

การประยุกต์เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อประเมินมวลชีวภาพป่าดิบเขาต่ำ
อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่

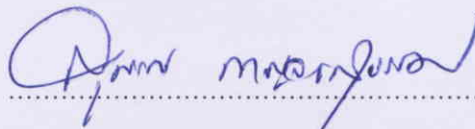
ขวัญชัย ชัยอุดม

คุณูปการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์
คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กุมภาพันธ์ 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การวิจัยนี้ได้รับทุนการศึกษา ระดับปริญญาเอก
จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ประจำปีการศึกษา 2554

คณะกรรมการควบคุมคุษฎีนิพนธ์และคณะกรรมการสอบคุษฎีนิพนธ์ ได้พิจารณา
คุษฎีนิพนธ์ของ ขวัญชัย ชัยอุดม ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปรัชญาคุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมคุษฎีนิพนธ์



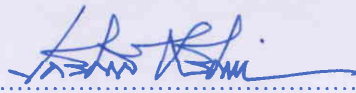
(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก



(รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี)

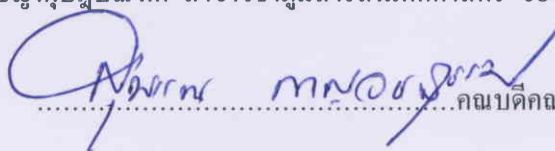
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินขวง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์อนุมัติให้รับคุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปรัชญาคุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา



(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

.....คณบดีคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2559

ประกาศคุณูปการ

คุณฉันทิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี และรองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.วิษณุภาส สังพาลี อาจารย์ประจำสาขาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่กรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษาด้านสถิติ ตรวจสอบแก้ไขและวิจารณ์ผลงาน ทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำการวิจัยให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์หัวหน้าอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยทำให้คุณฉันทิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ส่วนหนึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อชูศักดิ์ (ผู้ล่วงลับ) คุณแม่ประทุม ชัยอุดม ภรรยาและลูกๆ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ทุกคนที่ทำให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของคุณฉันทิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูทดแทนแด่ บพพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบนานเท่านานนี้

ขวัญชัย ชัยอุดม

54810056: สาขาวิชา: ภูมิสารสนเทศศาสตร์; ปร.ด. ภูมิสารสนเทศศาสตร์

คำสำคัญ: ภูมิสารสนเทศศาสตร์/ มวลชีวภาพ/ ดัชนีพืชพรรณ/ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์/
สมการแอลโลเมตรี

ขวัญชัย ชัยอุดม: การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินมวลชีวภาพป่าดิบ
เขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่

(APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGY TO ESTIMATE LOWER
MONTANE RAIN FOREST BIOMASS; A CASE STUDY OF DOI INTHANON NATIONAL
PARK CHIANG MAI, THAILAND)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุพรรณ กาญจนสุธรรม, D.Tech. Sci., แก้ว นวลฉวี, Ph.D.,
เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง, D.Sc. 98 หน้า. ปี พ.ศ. 2559.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) จำแนกประเภทป่าไม้ภายในเขตอุทยานแห่งชาติดอย
อินทนนท์ จำแนกโดยเทคนิค Supervised Classification และ 2) การประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน
ป่าดิบเขาต่ำ จากแปลงตัวอย่างถาวร จำนวน 85 แปลง โดยหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากสมการ
แอลโลเมตรี และดัชนีพืชพรรณ 4 ตัวแปร คือ NDVI GVI DVI และ TNDVI เพื่อหาสมการที่
เหมาะสมโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเชิงเส้น (Multiple Linear Regression) จาก
ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 7 ปี พ.ศ. 2551

ผลการวิจัยพบว่า อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์สามารถแบ่งประเภทป่าไม้ออกได้
ทั้งหมด 6 ประเภท โดยป่าดิบเขา พบมากที่สุดมีพื้นที่เท่ากับ 161.23 ตร.กม. (33.42%) รองลงมา คือ
ป่าดิบเขา-ป่าสน 77.933 ตร.กม. (16.15%) ป่าเต็งรัง 77.394 ตร.กม. (16.04%) ป่าเบญจพรรณ
63.085 (13.07%) และป่าดิบเขาสูงมีพื้นที่น้อยที่สุด 25.923 ตร.กม. (5.37%) และพื้นที่เกษตร/ที่อยู่
อาศัยพบว่า มีพื้นที่ 60.358 ตร.กม. (12.51%) ความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) ของพื้นที่
ป่าทั้งหมด เท่ากับ 86.90 % สำหรับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง 85
แปลง โดยวิเคราะห์จากสมการแอลโลเมตรี ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 472.12 Mg.ha⁻¹ และเมื่อนำค่ามวล
ชีวภาพเหนือพื้นดินมาหาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 4 ตัวแปร พบว่า ค่า NDVI มี
ความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ มากที่สุด โดยมีค่า R² = 0.76020 รองลงมาคือ
ค่า TNDVI R² = 0.75960 ส่วนค่า DVI และ GVI ไม่มีความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพ

สมการที่เหมาะสมในการหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขานั้นพบว่า ค่า NDVI
และ TNDVI เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพมากที่สุด ดังสมการ Biomass (Mg.ha⁻¹)
= 18.34+58.27*log(NDVI)-174.34*log(TNDVI) (R² = 0.8027) (F = 88.89, df= 80)) (P = < 0.001)

และ Biomass ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) = $42.22 + 58.27 \cdot \ln(\text{NDVI}) - 174.34 \cdot \ln(\text{TNDVI})$ ($R^2 = 0.8027$) ($F = 88.89$, $df = 80$) ($P < 0.001$) โดยสมการทั้ง 2 นี้สามารถนำไปประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ค่าการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นป่าดิบเขาต่ำได้ ช่วยลดระยะเวลา งบประมาณ และได้ข้อมูลที่ทันสมัย และเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการจัดการทรัพยากรป่าไม้ให้มีความยั่งยืนได้ต่อไป

54810056: MAJOR: GEOINFORMATICS; Ph.D. (GEOINFORMATICS)

KEYWORDS: GEOINFORMATICS/ VETETATION INDEX/ ABOVE GROUND BIOMASS/

DOI INTHANON NATIONAL PARK/ ALLOMETRIC EQUATION

KWANCHAI CHAI-UDOM: APPLICATION OF GEOINFORMATION

TECHNOLOGY TO ESTIMATE LOWER MONTANE RAIN FOREST BIOMASS; A CASE

STUDY OF DOI INTHANON NATIONAL PARK CHIANG MAI, THAILAND. ADVISORY

COMMITTEE: SUPAN KARNCHANASUTHAM, D.Tech. Sci., KAEW NUALCHAWEE,

Ph.D., KRIANGSAK SRI-NGERNYUANG, D.Sc. 98 P. 2016.

This research aims to 1) classified forest type of Doi Inthanon National Park by Supervise Classification techniques and 2) estimate the above-ground biomass in lower montane forest from 85 permanent sample plots for analyze the above-ground biomass allometric equation. And vegetation index NDVI GVI DVI and TNDVI 4 variables to determine the appropriate analysis using multiple linear regression. This research was used data from LANDSAT 7 satellite data.

The results showed that Doi Inthanon National Park can be divided into a total of six types of forest, evergreen forest with an area of 161.23 km². (33.42%), followed by the mountane oak Forest 77.933 km² (16.15. %), Dipterocarp forest 77.394 km². (16.04%), Mixed Deciduous Forest 63.085 km². (13.07%) and Upper montane forest 25.923 km². (5.37%) and agricultural/residential area found 60.358 km². (12.51%), the overall accuracy (Overall accuracy) of the total forest area equal to 86.90% for the above-ground biomass from Lower montane forest conversion, by analyzing 85 samples from allometric equation. an average of AGB as 472.12 Mg,ha-1. The above ground biomass relationship with the vegetation index, the 4 variables and found that the NDVI is correlated with the biomass above ground rainforest low as possible ($R^2 = 0.76020$), followed by the value of TNDVI ($R^2 = 0.75960$) and DVI and GVI no relation to the biomass.

The best-fit model for estimation of above-ground biomass of lower montane forest and found that the NDVI TNDVI variables that were associated with the most famous equation of biomass Biomass (Mg,ha-1) = 18.34 + 58.27 *. log (NDVI) -174.34 * log (TNDVI) with $R^2 = 0.8027$ (F = 88.89, df = 80)) (P = <0.001) and Biomass (Mg,ha-1) = 42.22 + 58.27 * ln (NDVI). -

$174.34 * \ln(\text{TNDVI})$ with $R^2 = 0.8027$ ($F = 88.89$, $df = 80$) ($P = <0.001$) in the second equation can be used to estimate the biomass above ground. The sequestration of carbon in forests, lower montane forest. Reducing the time, budget and up to date. The database used to manage forest resources sustainably for the future.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ช
สารบัญ.....	๗
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	6
ขอบเขตของการวิจัย.....	7
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	7
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
มวลชีวภาพ.....	9
การประเมินค่ามวลชีวภาพป่าไม้.....	11
เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ.....	14
การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์.....	28
ลักษณะของดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา.....	29
พื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์.....	30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	42
การจำแนกประเภทป่าไม้ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่.....	42
ขั้นตอนการจำแนกพื้นที่ป่าไม้บนภาพถ่ายดาวเทียม.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาดำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่.....	47
การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	47
การสำรวจข้อมูลภาพสนามและการจัดสร้างแบบจำลองการประเมิน ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาดำ.....	45
4 ผลการวิจัย.....	50
การจำแนกประเภทป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์.....	50
ป่าดิบเขา.....	52
ป่าดิบเขา – ป่าสน.....	53
ป่าเต็งรัง.....	54
ป่าเบญจพรรณ.....	55
ป่าดิบเขาสูง.....	56
พื้นที่การเกษตรและที่อยู่อาศัย.....	57
การตรวจสอบความถูกต้องการจำแนกประเภทป่า อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์.....	58
ศึกษาสมการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขาดำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่.....	59
ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาดำ กับดัชนีพืชพรรณ.....	62
การวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขาดำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่.....	72
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	75
สรุป และอภิปรายผลการศึกษา.....	75
การจำแนกประเภทป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่... ..	76
การตรวจสอบความถูกต้องการจำแนกประเภทป่าอุทยานแห่งชาติ ดอยอินทนนท์.....	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติ ดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่.....	77
ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพืชพรรณ.....	78
การวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่.....	79
ข้อเสนอแนะ.....	80
บรรณานุกรม.....	83
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก.....	85
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของสังคมพืชและป่าธรรมชาติชนิดต่างๆ ของประเทศไทย.....	24
2-2 ระบบบันทึกข้อมูล ETM+ ของดาวเทียม Landsat 7.....	29
4-1 พื้นที่ประเภทป่าต่างๆ ในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	51
4-2 แมทริกซ์การคำนวณการประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment) ของพื้นที่ ประเภทป่าต่างๆ ในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	58
4-3 มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าไม้ต่างๆ ในประเทศไทย.....	61
4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาดำภายในแปลงตัวอย่าง 15-ha. (N = 85) กับค่าดัชนีพืชพรรณต่างๆ.....	71

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
2-1 พื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์และที่ตั้งแปลงตัวอย่างถาวร.....	29
4-1 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ บันทึกเมื่อ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551.....	50
4-2 ประเภทป่าไม้ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	51
4-3 ร้อยละของประเภทป่าไม้ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	52
4-4 พื้นที่ป่าดิบเขา บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	52
4-5 พื้นที่ป่าดิบเขา-ป่าสน บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551..	53
4-6 พื้นที่ป่าเต็งรัง บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	54
4-7 พื้นที่ป่าเบญจพรรณ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551...	55
4-8 พื้นที่ป่าดิบเขาสูง บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	56
4-9 พื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัย บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	57
4-10 ตำแหน่งแปลงตัวอย่าง 15-ha. (300 x 500 เมตร) ที่ใช้ในการศึกษามวลชีวภาพ เหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	60
4-11 ขนาดแปลงตัวอย่าง 300 x 500 เมตร และแปลงย่อยขนาด 20 x 20 เมตรที่ใช้ใน การศึกษามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551.....	60
4-12 ลักษณะพืชพรรณป่าดิบเขาต่ำภายในแปลงตัวอย่าง 15 ha.....	62
4-13 ค่า NDVI ภายในแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 ha. แปลจากดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551.....	62
4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า NDVI.....	63
4-15 ค่า GVI ภายในแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 ha. แปลจากดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551.....	63
4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า GVI.....	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-17 ค่า GVI ภายในแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 ha. แปลงจากดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551.....	64
4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า DVI.....	65
4-19 ค่า TNDVI ภายในแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 ha. แปลงจากดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551.....	65
4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า TNDVI	66
4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\log(\text{NDVI})$	66
4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\log(\text{GVI})$	67
4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\log(\text{DVI})$	68
4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\log(\text{TNDVI})$	68
4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\ln(\text{NDVI})$	69
4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\ln(\text{GVI})$	70
4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\ln(\text{DVI})$	71
4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\ln(\text{TNDVI})$	71

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของโลกนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการประเมินของคณะกรรมการติดตามการเปลี่ยนแปลงของโลกนานาชาติ (International Panel on Climate Change, IPCC) ครั้งที่ 4 เมื่อปี พ.ศ. 2550 พบว่า ในศตวรรษที่ผ่านมา พ.ศ. 2449-2548 อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกเพิ่มขึ้น 0.74 (0.56-0.92) องศาเซลเซียส ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเพิ่มขึ้นในระยะหลังสูงกว่าในอดีต การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายปีเพิ่มขึ้นจากปีละ 28.7 เป็น 49 พันล้านตันคาร์บอน โดยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ประมาณ 80% ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงานฟอสซิลเป็นสำคัญโดยการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้มีส่วนทำให้ก๊าซเพิ่มขึ้นด้วย และใน 50 ปีที่ผ่านมา อุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นในทุกทวีป ยกเว้นทวีปแอนตาร์กติกา นอกจากนี้ยังคาดการณ์ว่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเพิ่มขึ้น 25-90% และภายใน 2-3 ทศวรรษหน้า อุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นทศวรรษละประมาณ 0.2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและระดับน้ำทะเล คือ อุณหภูมิอาจสูงขึ้น 1.8 – 4.0 องศาเซลเซียส ระหว่างปี พ.ศ. 2633-2642 โดยอาจทำให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 0.18-0.38 เมตร ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่ำกว่า 1.8 องศาเซลเซียสและอาจเพิ่มสูงขึ้นถึง 0.26-0.59 เมตร ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่า 4.0 องศาเซลเซียส

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2556) ได้กล่าวถึงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศออกเป็นด้านต่างๆ อาทิเช่น 1) ความมั่นคงทางอาหารจากประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรที่จะต้องได้รับผลกระทบเนื่องจากสภาพอากาศแปรปรวน 2) สุขอนามัย อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเอื้ออำนวยต่อการระบาดของเชื้อโรคบางชนิด เช่น มาลาเรีย 3) การอพยพย้ายถิ่นจะเป็นผลที่ตามมาจากการที่บางพื้นที่ต่ำ ชายฝั่งทะเลจะถูกน้ำท่วมในขณะที่ที่สูงและก้นดงจะได้รับความสะดวกสบายมากขึ้น ผู้ที่อยู่ในพื้นที่ที่ 2 จะมีการเคลื่อนย้ายออกจากพื้นที่เพื่อหาที่อยู่ที่เหมาะสมใหม่ 4) ทรัพยากรธรรมชาติบางชนิดจะได้รับผลกระทบ เช่น เกิดปรากฏการณ์ปะการังเปลี่ยนสี บางชนิดกลายเป็นสีขาว 5) การตกของฝนมีการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านของพื้นที่ และช่วงเวลาทำให้เป็นปัญหาต่อการเกษตร 6) ภาวะภัยแล้งในพื้นที่แห้งแล้งจะทวีความรุนแรง รวมทั้งมีการขยายตัวของพื้นที่แห้งแล้งด้วย 7) ความรุนแรงของพายุอาจมีความรุนแรงมากขึ้น เมื่อผสมกับอิทธิพลจากภาวะโลกร้อน ส่วนผลกระทบทางด้านป่าไม้พบว่า ถ้าหากปริมาณก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า จากค่าปกติจะทำให้โครงสร้างของป่าไม้เปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก โดยป่าเขตร้อนในพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศจะลดลงในขณะที่ป่าในพื้นที่ภาคใต้จะเพิ่มขึ้น ป่าบางประเภท เช่น ป่าดิบแล้ง (Tropical very dry forest) จะเพิ่มมากขึ้นในแถบภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ

สถานการณ์ป่าไม้ประเทศไทย จากรายงานของสำนักงานที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้ (2558) พบว่าพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยลดลงอย่างมาก จากปี พ.ศ. 2516 ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้ 221,707 ตร.กม. (43.21% ของพื้นที่ทั้งหมด) ลดลงเหลือ 163,656.64 (31.62%) ตร.กม. ในปี พ.ศ. 2557 โดยภาคเหนือมีพื้นที่ป่าไม้มากที่สุด 62,031 ตร.กม. (38%) รองลงมาคือ ภาคตะวันตก ตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคใต้ ภาคตะวันออก มีพื้นที่เท่ากับ 32,201, 25,198, 19,043, 17,695 และ 7,488 ตร.กม. ตามลำดับ สาเหตุที่เป็นต้นกำเนิดของการทำลายป่าที่เกิดขึ้นในปัจจุบันมีมากมาย อาทิเช่น 1) การทำไร่เลื่อนลอยของชาวเขาแผ้วถางป่าเพื่อปลูกพืชไร่อยู่ตามภูเขาสูง โดยเฉพาะป่าดิบเขาบริเวณต้นน้ำลำธาร 2) การบุกรุกป่าเพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ซึ่งจะพบได้ทั่วไปในเขตภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก 3) การบุกรุกป่าเพื่อเข้าไปตั้งถิ่นฐานใหม่ การทำลายป่าในรูปลักษณะนี้มองได้ชัดเจนจากการจัดที่ดินทำกินของนิคมต่างๆ เช่นนิคมสหกรณ์ที่ดิน นิคมชาวเขา เป็นต้น 3) ไฟป่า ซึ่งนอกจากจะทำลายพื้นที่ป่าไม้แล้วยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินอีกด้วย 4) การทำไม้ออกเกินกำลังของป่า และ 5) การทำเหมืองเปิด (Strip Mining) การทำลายป่ารูปแบบนี้นับว่าร้ายแรงมาก มีการเปิดหน้าดินออกเพื่อขุดหาแร่ เมื่อพื้นดินปราศจากสิ่งปกคลุม ฝนตกลงมากระทบกับพื้นดินโดยตรง และเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดิน และก่อให้เกิดกษัยการของดินตามมาอีกด้วย รวมถึงการทุจริตของหน่วยงานรัฐบาล การกระจายความมั่งคั่งและอำนาจอย่างไม่เสมอภาค การเพิ่มขึ้นของประชากร และการพัฒนาเป็นเมืองอย่างไม่เป็นระบบ

อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ (สำนักอุทยานแห่งชาติ, 2556) มีเนื้อที่ 301,500 ไร่ มีพื้นที่ครอบคลุมอำเภอดอยหล่อ อำเภอจอมทองและอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบไปด้วยภูเขาสูงสลับซับซ้อน มีดอยอินทนนท์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาหิมาลัย พาดผ่านจากประเทศเนปาล ภูฐาน พม่า เป็นยอดเขาที่สูงที่สุดในประเทศไทย โดยมีความสูง 2,565 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง ดอยอินทนนท์ประกอบไปด้วยสังคมพืชและป่าชนิดต่างๆ ดังนี้ ป่าเต็งรัง (Deciduous dipterocarp forest) ป่าเต็งรังผสมสนเขา (Pine-dipterocarp forest) ป่าสนผสมก่อ (Pine-oak forest) ป่าดิบเขา (Hill evergreen forest) ป่าเบญจพรรณ (Mixed deciduous forest) ป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest) และไร่ร้าง (Abandoned area)

ป่าดิบเขา เป็นป่าประเภทหนึ่งซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่ง สามารถพบเห็นตั้งแต่ระดับความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 1,000 เมตรขึ้นไป พบปรากฏอยู่ทางทิศตะวันตกของพื้นที่ และเรียงตัวตามแนวเหนือใต้ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 67 ตร.กม. หรือประมาณ 14% ของพื้นที่อุทยานทั้งหมด (ปิยฉัตร, 2536) โดยมากเป็นป่าที่มีเรือนยอดเบียดกันหนาแน่น ดินในป่ามีความลึกและมีความชื้นสูง มีเศษไม้ ใบไม้ ปกคลุมผิวดินหนาและเป็นป่าที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณน้ำในพื้นที่ ทั้งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว พื้นที่ป่าดิบเขาจะมีฝนตกเกือบตลอดทั้งปี และมีอุณหภูมิที่ต่ำอยู่เสมอ จึงทำให้อากาศบริเวณดังกล่าวมีปริมาณไอน้ำสูง การคายระเหยน้ำสู่บรรยากาศมีน้อย อีกทั้งมีพืชปกคลุมดินหนาแน่น และดินน้ำซึมได้ดี นอกจากนี้ ธวัชชัย (2556) ยังได้กล่าวอีกว่า ป่าดิบเขาจัดเป็นป่าไม้ผลัดใบ แบ่งออกเป็นป่าดิบเขาต่ำ และป่าดิบเขาสูง โดยป่าดิบเขาต่ำ สามารถแบ่งย่อยออกเป็นป่า 2 ชนิด คือ ป่าไม้ก่อ ป่าไม้ก่อ-ไม้สน ป่าประเภทดังกล่าวสามารถพบบนภูเขาที่สูงกว่าระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ประมาณ 1,000 เมตร จนถึง 1,900 เมตร สภาพป่ามีเรือนยอดแน่นทึบ มีไม้พื้นล่างหนาแน่นคล้ายคลึงกับป่าดิบชื้นและป่าดิบแล้งบนที่ต่ำ แต่แตกต่างกันในองค์ประกอบของพรรณไม้ ปัจจุบันป่าดิบเขาต่ำที่สมบูรณ์เหลืออยู่น้อยมาก ส่วนใหญ่จะถูกชาวเขาเผ่าต่างทำไร่เลื่อนลอย พื้นที่ป่าดิบเขาตามธรรมชาติ เมื่อถูกทำลายแล้วทิ้งร้างไว้นานๆ จะเปลี่ยนสภาพไปเป็นป่าดิบเขาต่ำรุ่นสอง เช่น ป่าไม้ก่อ หรือป่าไม้ก่อ-ไม้สน พื้นที่ป่าดิบเขาต่ำดั้งเดิมในปัจจุบันพบเหลือเป็นหย่อมๆ บนภูเขา เช่น ดอยอินทนนท์ ดอยเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่, ดอยภูคา จังหวัดน่าน, เทือกเขาสูงในป่าทุ่งใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี, เขาสอยดาว จังหวัดจันทบุรี, บนภูเขาหินทรายทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ภูหลวง จังหวัดเลย และบนภูเขาสูงทางภาคใต้ เช่น เขาหลวง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งโดยภาพรวมแล้วป่าดิบเขาจะเป็นป่าต้นน้ำลำธาร หรือพื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1 และดังนั้นเพื่อให้เกิดการป้องกันพื้นที่ต้นน้ำลำธาร จำเป็นอย่างยิ่งจะต้องมีการอนุรักษ์และป้องกันมิให้ป่าดิบเขาถูกทำลายจนเสื่อมโทรมหรือบุกรุก หากสภาพป่าดิบเขามีความสมบูรณ์ก็จะส่งผลต่อระบบนิเวศดินและน้ำ การป้องกันปัญหาน้ำป่าไหลหลาก อุทกภัยน้ำท่วม แผ่นดินถล่ม การตื่นเงินของลำธาร สภาวะแห้งแล้ง และความวิปริตทางสภาวะอากาศ และสภาวะแวดล้อม

ป่าไม้มีบทบาททั้งในการทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บ (sink) และแหล่งปลดปล่อย (source) ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ การกักเก็บหรือดูดซับก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ จะผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยพืชทุกชนิดจะนำก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์มาใช้ในการปรุงอาหารแล้วเปลี่ยนสภาพเป็นเซลลูโลสและกลายเป็นมวลชีวภาพในที่สุด ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการลดก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ในอากาศ (ชิงชัย, 2546) การศึกษามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าเพื่อให้ได้ความถูกต้องจะต้องมีการตัดลำต้น กิ่ง ใบ เพื่อนำมาหาน้ำหนักแห้ง การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูงของต้นไม้ จึงทำให้เกิดมีการใช้สมการ

แอลโลเมตรี เพื่อคำนวณหามวลชีวภาพของป่าประเภทต่างๆ ทั้งป่าปลูกและป่าธรรมชาติ แต่ในป่าธรรมชาติที่เป็นป่าต้นน้ำลำธาร เช่น ป่าดิบเขา การศึกษากระทำได้ยากเพราะมีข้อจำกัดในการตัดลำต้น กิ่ง ใบ เนื่องจากป่าดิบเขาส่วนใหญ่ จะอยู่ในลุ่มน้ำชั้น 1 และอยู่ในเขตป่าสงวน หรือในเขตอุทยานเป็นส่วนใหญ่

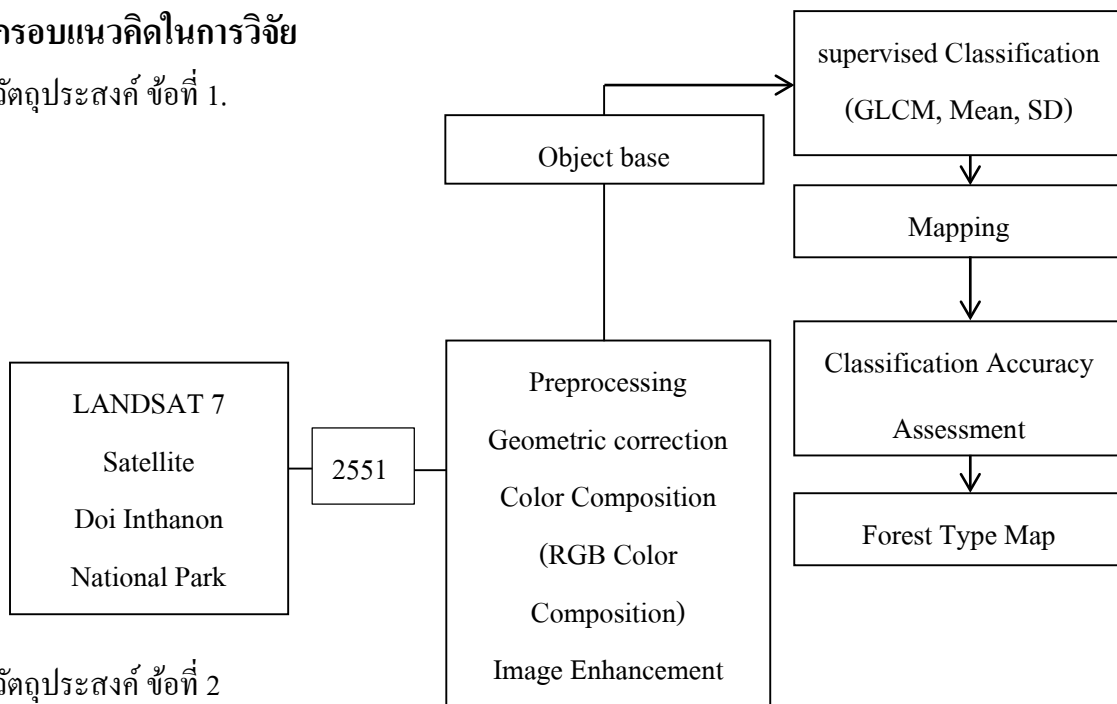
เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geoinformation Technology) เป็นศาสตร์ที่บูรณาการกันระหว่างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System) และการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) เพื่อศึกษาลักษณะต่างๆ บนพื้นโลก การศึกษาทางด้านรับรู้จากระยะไกลเป็นการอาศัยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในด้านการป่าไม้มีการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการจำแนกประเภทของป่าไม้ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะนำลักษณะการสะท้อนคลื่นแสงของดาวเทียมความละเอียดสูง มาใช้ในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยใช้สมการ Allometric ของป่าดิบเขาต่ำในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อเป็นแนวทางในการหามวลชีวภาพป่าดิบเขาต่ำอื่นๆ ในประเทศไทย ซึ่งหากและการศึกษาออกมาได้ค่ามวลชีวภาพที่มีความเที่ยงตรงก็จะประหยัดทั้งงบประมาณ ค่าใช้จ่าย และเวลาว่าการประเมินแบบเดิม นอกจากนี้ยังสามารถหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนได้อีกด้วย และจะส่งผลต่อแนวทางหรือนโยบายในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของไทยต่อไปในอนาคตให้คงสภาพที่สมบูรณ์ยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

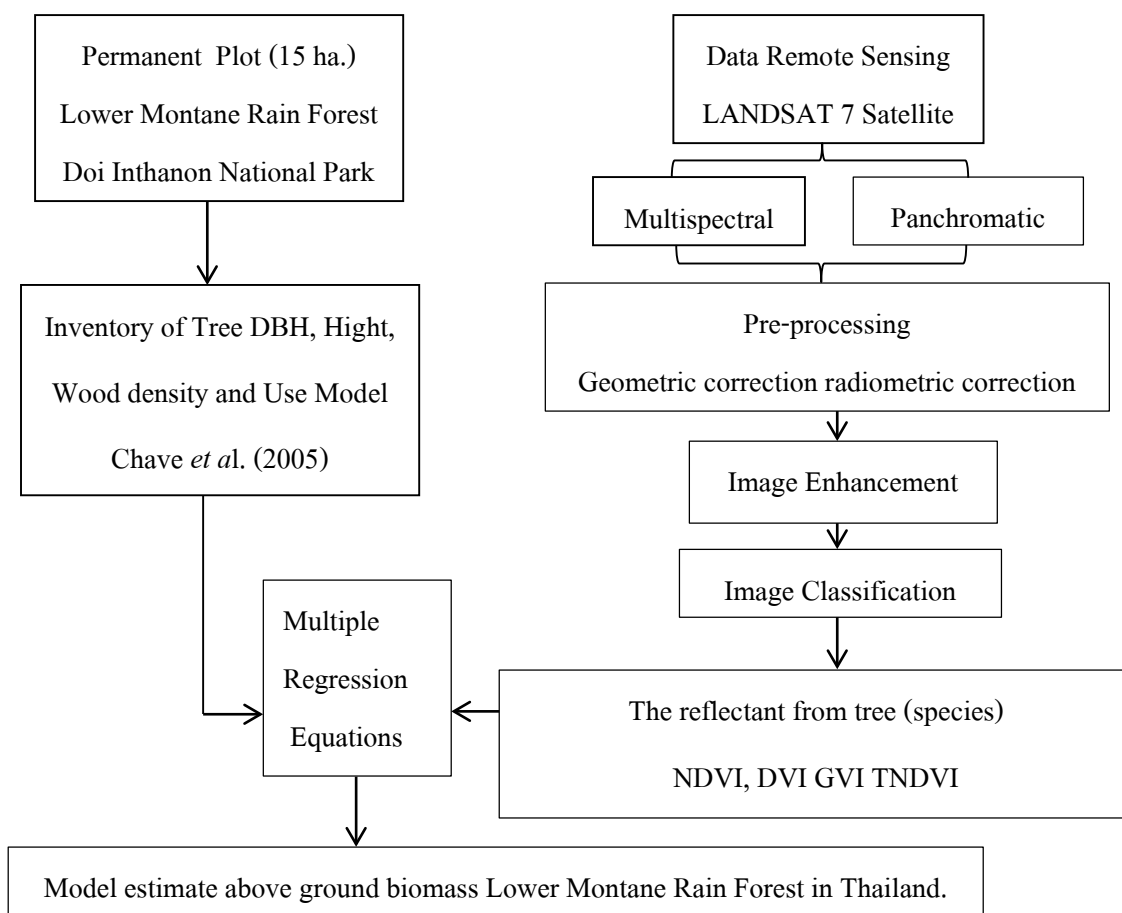
1. จำแนกประเภทป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่
2. เพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

กรอบแนวคิดในการวิจัย

วัตถุประสงค์ ข้อที่ 1.



วัตถุประสงค์ ข้อที่ 2



ภาพที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากภาพที่ 1-1 แสดงกรอบแนวคิดของการทำวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งอธิบายได้ว่าการวิจัยครั้งนี้เริ่มต้นจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศของโลก ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ทั้งสิ้น แนวทางหนึ่งที่จะช่วยบรรเทาปัญหานี้ได้คือ ทรัพยากรป่าไม้ ซึ่งป่าไม้จะช่วยนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสร้างอาหารและจะเก็บไว้ในรูปของเนื้อไม้ ที่เรียกว่า มวลชีวภาพ ปัจจุบันประเทศไทยเหลือพื้นที่ป่าเพียง 31.62% และส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณภาคเหนือของประเทศ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ เป็นอุทยานที่มีความอุดมสมบูรณ์ของป่าไม้ และมีความหลากหลายของประเภทป่า นอกจากนี้ยังมีป่าดิบเขาซึ่งเป็นป่าที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นป่าต้นน้ำลำธาร โดยส่วนใหญ่ป่าประเภทนี้จะขึ้นบริเวณที่สูงมากกว่า 1,000 เมตรขึ้นไป ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวก็เป็นพื้นที่ป่าสงวนเป็นส่วนใหญ่ การศึกษาด้านมวลชีวภาพป่าไม้จึงกระทำได้ยาก เพราะต้องมีการตัดต้นไม้ และนำมาหาค่าหนักแห้ง เพื่อประเมินค่ามวลชีวภาพ ดังนั้นเทคโนโลยีทางด้านภูมิสารสนเทศจึงเป็นทางเลือกที่จะนำมาใช้ประเมินมวลชีวภาพได้โดยใช้เพียงภาพถ่ายดาวเทียม จึงทำให้ประหยัดทั้งเวลา และงบประมาณในการศึกษา การศึกษานี้จึงเริ่มต้นจากนำภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 บันทึกเมื่อปี 2551 จำแนกประเภทของป่าไม้ภายในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ เพื่อให้ทราบพื้นที่ของป่าประเภทต่างๆ จากนั้นจะนำภาพถ่ายดาวเทียมไปศึกษาค่าดัชนีพืชพรรณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมวลชีวภาพ เช่น NDVI, DVI, GVI และ TNDVI เพื่อนำไปหาความสัมพันธ์กับแปลงตัวอย่างถาวรของป่าดิบเขาต่ำ เพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการประเมินค่ามวลชีวภาพที่มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้พยากรณ์ค่ามวลชีวภาพป่าดิบเขาที่อื่นๆ ต่อไปนอกจากนี้ยังสามารถนำสมการไปใช้คำนวณค่าปริมาณการสะสมของคาร์บอนได้อีกด้วย ซึ่งจะเป็นข้อมูลให้เราทราบประโยชน์ของป่าไม้ในการช่วยแก้ปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทราบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าในปี พ.ศ. 2552
2. นำสมการประเมินมวลชีวภาพป่าดิบเขาไปใช้ในพื้นที่อื่นๆ
3. ทราบศักยภาพการกักเก็บ CO₂ ของป่าดิบเขา

4. แนวทางการฟื้นฟูป่าดิบเขาให้คงสภาพเป็นป่าต้นน้ำลำธารอย่างยั่งยืน
5. ตระหนักถึงความสำคัญของป่าดิบเขากับปัญหาภาวะโลกร้อน
6. ประเมินค่าเชิงเศรษฐกิจในการจัดการป่าไม้เพื่อลด CO₂

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งขอบเขตออกเป็น 2 ด้าน ดังนี้

ขอบเขตเชิงพื้นที่

อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ พื้นที่ครอบคลุมอยู่ในท้องที่อำเภอดอยหล่อ อำเภอจอมทองและอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่มีเนื้อที่ประมาณ 482.4 ตารางกิโลเมตร หรือ 301,500 ไร่

ขอบเขตเชิงเนื้อหา

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาใช้ในการศึกษาจำแนกประเภทป่าไม้ภายในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่และศึกษาสมการ allometric ที่เหมาะสมในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาค่า

ข้อจำกัดของการวิจัย

การศึกษาจำแนกประเภทป่าไม้และการศึกษาหาสมการ allometric เพื่อหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขา ภายในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ครั้งนี้ใช้ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ ที่บันทึกในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ป่าดิบเขาค่า (Lower Montane Rain Forest) หมายถึง ป่าไม้ที่ขึ้นสูงกว่าระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ประมาณ 1,000 เมตร จนถึง 1,900 เมตรในที่นี้จะใช้แปลงถาวรขนาด 15-ha. (18°31' 24" N, 98°29' 42" E และมีความสูง 1,700 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง)
2. สมการแอลโลเมตริก (Allometric) หมายถึง สมการความสัมพันธ์ระหว่างความโตที่ระดับอก หรือ 1.30 เมตร (diameter at breast height: DBH) และความสูงทั้งหมด (Height) ของต้นไม้ ซึ่งใช้คำนวณน้ำหนักแห้งของต้นไม้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

3. มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above-ground Biomass) หมายถึง น้ำหนักหรือมวล ทั้งสิ้นของต้นไม้ในแปลงถาวร 15-ha โดยน้ำหนักทั้งสิ้นของต้นไม้ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ทั้งนี้ไม่รวมถึงรากและตอที่เหลืออยู่ ($Mg \cdot ha^{-1}$)

4. ความหนาแน่นของเนื้อไม้ (Wood density) หมายถึง น้ำหนักอบแห้งของเนื้อไม้ต่อ น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของไม้เมื่ออบแห้งแล้วหรือเมื่อสดจากแปลงถาวร 15-ha. plot

5. มวลชีวภาพ (Biomass) หมายถึง มวลของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งหรือใน ระบบนิเวศใดๆ นิยมที่จะคำนวณออกมาในรูปน้ำหนักแห้ง (ตัน/ไร่)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินมวลชีวภาพป่าดิบเขาต่ำ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. มวลชีวภาพ
2. การประเมินค่ามวลชีวภาพป่าไม้
3. เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
4. การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์
5. คุณลักษณะของดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา
6. พื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. มวลชีวภาพ

ป่าไม้มีบทบาทสำคัญอย่างมาก และมีการเกี่ยวข้องโดยตรงกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมามากที่สุด คือประมาณร้อยละ 71 ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด โดยป่าไม้จะมีบทบาททั้งในการทำน้ำที่เป็นแหล่งกักเก็บ (sink) และแหล่งปลดปล่อย (source) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การกักเก็บหรือดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยพืชทุกชนิดจะนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการปรุงอาหารแล้วเปลี่ยนสภาพให้เป็นเซลลูโลสและกลายเป็นมวลชีวภาพในที่สุด โดยถูกจัดเก็บในรูปของธาตุคาร์บอนในเนื้อไม้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ซึ่งในขณะเดียวกันก็จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่บรรยากาศผ่านกระบวนการหายใจ การตายและการย่อยสลายของเศษซากพืช ป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์ไม่เคยถูกรบกวนมาก่อนนั่นถือว่ามีสมดุลมีผลผลิตขั้นปฐมภูมিরวมเป็นศูนย์ (พงษ์ศักดิ์, 2538) จึงไม่มีการกักเก็บหรือปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากป่าเหล่านี้ ซึ่งป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์เหล่านี้เหลืออยู่น้อยมากในปัจจุบัน ปัญหาที่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของก๊าซในภาคป่าไม้ คือ

การลดลงของพื้นที่ป่าไม้ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซซึ่งสะสมอยู่ในรูปมวลชีวภาพที่ถูกเผาไหม้ ออกสู่อากาศ (ชิงชัย, 2546)

1.1 ความหมายของมวลชีวภาพ

รัชชาติ (2548) กล่าวว่า มวลชีวภาพ (biomass) หมายถึง มวลของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งหรือในระบบนิเวศใดๆ มวลชีวภาพดังกล่าว ประกอบไปด้วยมวลของพืชสีเขียวที่สร้างขึ้นมาจากขบวนการสังเคราะห์แสง รวมกับมวลของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ มวลชีวภาพสามารถวัดออกมาในรูปของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง น้ำหนักจืด น้ำหนักแห้งเป็นกรัมต่อตารางเมตร กิโลกรัมต่อไร่ หรือในรูปของพลังงานซึ่งมีหน่วยเป็นแคลอรี แต่โดยทั่วไปนิยมที่จะหาออกมาในรูปน้ำหนักแห้ง มีหน่วยเป็นตันต่อไร่ มวลชีวภาพสามารถวัดได้หลายรูปแบบ เช่น การวัดการไหลเวียนของพลังงาน ผ่านระบบนิเวศหรือจากการประมาณโดยอ้อม เช่น จากปริมาณของสิ่งต่างๆ ที่ผลิตขึ้นมา จากวัตถุดิบที่ใช้ หรือผลตอบแทนที่ได้

ดังนั้นเมื่อก้าวถึงมวลชีวภาพไม้ จะหมายถึง มวลหรือน้ำหนักของต้นไม้ที่สร้างขึ้นมาจากขบวนการสังเคราะห์แสง สามารถแยกวัดมวลชีวภาพออกตามส่วนต่างๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ ราก ดอก ผล และซากใบไม้ เศษไม้ที่ร่วงหล่น

Ovington (1962) ได้ให้ความหมายของมวลชีวภาพไว้ว่า หมายถึง ปริมาณของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ดินในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของสถานการณ์ใด ๆ โดยเฉพาะ มวลชีวภาพอาจหาออกมาในรูปของน้ำหนักสด (fresh weight) น้ำหนักแห้ง (dry weight) น้ำหนักปราศจากขี้เถ้า (ash free dry weight) น้ำหนักคาร์บอน (carbon weight) ที่อาจมีหน่วยเป็น กรัมต่อ 1 ตารางเมตรหรือต่อ 1 เฮกแตร์ หรือมวลชีวภาพ คือ น้ำหนักแห้งของพืชชนิดที่กำหนดต่อหน่วยพื้นที่ (อุทิศ, 2542) เช่นเดียวกับ พงษ์ศักดิ์ (2538) ได้ให้ความหมายว่ามวลชีวภาพหมายถึง น้ำหนักของพืชที่วัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้ง หรือน้ำหนักแห้งของพืชที่ปราศจากขี้เถ้า อาจเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช เช่น ต่อดินหรือต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งหมายถึงมวลชีวภาพของพืชทั้งกลุ่ม ทั้งหมู่ไม้หรือทั้งสังคมพืช โดยปกติมักใช้พื้นที่ 1 ตารางเมตรหรือ 1 เฮกแตร์ แล้วแต่ชนิดของสังคมพืช

มวลชีวภาพของน้ำหนักแห้งของต้นไม้ได้มาจากพืช 2 กลุ่ม คือ ไม้เนื้ออ่อน (softwoods) และไม้เนื้อแข็ง (hardwoods) ไม้เนื้อแข็ง คือ พืชใบเลี้ยงคู่โดยปกติจะมีใบกว้าง (broad-leaved) และผลัดใบ ส่วนไม้เนื้ออ่อน เป็นพวกไม้สน ปกติจะมีใบแคบเป็นเส้นหรือมีใบเป็นสเกล (scale) และไม้ผลัดใบ มวลชีวภาพของไม้ทั้งสองกลุ่มส่วนใหญ่จะพบในลำต้นที่ประมาณจากพื้นดินถึงยอด หรือเลือกประมาณบางส่วน การเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพทั้งหมดในป่าจะมีความผันแปรไปในแต่ละ

ท้องถิ่น ซึ่งสามารถที่จะแสดงมวลชีวภาพได้ในส่วนที่เหลือจากลำต้น เช่น ตอ (stump) ใบ (foliage) กล้าไม้ (seedling) ลูกไม้ (sapling) และ ไม้พุ่ม (shrub) ปัจจุบันมวลชีวภาพในป่าไม้ที่ได้จากการสำรวจจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทั้งข้อมูลด้านปริมาตรและด้านการปลูกสร้างสวนป่า โดยมีการประยุกต์จากปัจจัยที่ได้จากการประมาณค่า โดยจะใช้วิธีการ 2 วิธีในการประมาณค่า คือ 1) จากสมการมวลชีวภาพ และ 2) จากการประมาณ โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานประกอบ ซึ่งแต่ละวิธีการจะสามารถใช้ได้ตามส่วนประกอบที่มีอยู่ (ชิงชัย, 2546)

2. การประเมินค่ามวลชีวภาพป่าไม้

มวลชีวภาพของพืชพรรณสามารถแยกได้เป็นมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและมวลชีวภาพใต้พื้นดิน ซึ่งมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในที่นี้จะเป็นน้ำหนักหรือมวลทั้งสิ้นของต้นไม้ต้นหนึ่งหรือหลายต้นในพื้นที่ที่กำหนด น้ำหนักแห้งทั้งสิ้นของต้นไม้ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ทั้งนี้ไม่รวมถึงรากและตอที่เหลืออยู่หลังจากตัดต้นไม้แล้ว (Edward and Grubb, 1977) จากการรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่าการศึกษามวลชีวภาพในประเทศไทยนิยมวิธีการศึกษาได้ 3 รูปแบบ (พงษ์ศักดิ์, 2538; ชิงชัย, 2546; รักษาติ, 2548 และ Kira and Shidei, 1967)

รูปแบบที่ 1 เป็นการศึกษาโครงสร้างของผลผลิตพืชพรรณไม้ทั้งป่าหรือหมู่ไม้ (forest stand) ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการตัดต้นไม้ทั้งแปลง และใช้เทคนิคการแบ่งชั้นต้นไม้ที่เรียกว่า Stratified clip technique โดยจะตัดทอนต้นไม้ออกเป็นชั้นๆ ทุก 1 เมตร ตั้งแต่โคนถึงปลายยอด และในแต่ละชั้นจะทำการชั่งน้ำหนักสดของส่วนต่างๆ เมื่อได้ทำการชั่งน้ำหนักสดของส่วนต่างๆ ของต้นไม้เสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องทำการเก็บตัวอย่างย่อย (subsampling) ของส่วนต่างๆ ของต้นไม้จากการอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 80 - 90 °C หลังจากทีกลุ่มตัวอย่างย่อยผ่านการอบแห้งแล้ว จะทำการชั่งน้ำหนักในแต่ละส่วนของกลุ่มตัวอย่างย่อย โดยน้ำหนักที่ได้นี้เรียกว่า น้ำหนักอบแห้ง หลังจากที่ได้ข้อมูลน้ำหนักอบแห้งของตัวอย่างแล้ว นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture Content, MC) ในแต่ละส่วนของแต่ละต้น (เกียรติกิจ และคณะ, 2530) จากสมการ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = (\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}) / \text{น้ำหนักอบแห้ง} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่ น้ำหนักสดและน้ำหนักอบแห้งของลำต้น กิ่งใหญ่ กิ่งเล็ก ใบ และรากมีหน่วยเป็นกรัม

จากนั้น นำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้ไปคำนวณเพื่อเปลี่ยนน้ำหนักสดของต้นไม้ตัวอย่าง

ของแต่ละต้นให้เป็นน้ำหนักอบแห้ง จากสมการ ดังนี้

$$\text{น้ำหนักอบแห้ง} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสด}}{100 + \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}} \dots\dots\dots (2)$$

โดยที่ น้ำหนักสดของตัวอย่างและน้ำหนักอบแห้งลำต้น กิ่งใหญ่ กิ่งเล็ก ใบ และราก มีหน่วยเป็นกิโลกรัม น้ำหนักอบแห้ง คือ มวลชีวภาพในแต่ละส่วนของต้นไม้ และจากมวลชีวภาพนี้จะนำไปประมาณหาค่ามวลชีวภาพของต้นไม้ทั้งป่าหรือหมู่ไม้ได้

วิธีการวัดปริมาณมวลชีวภาพโดยวิธีนี้จะมีประโยชน์มากในการศึกษาทางสัตวศาสตร์ วิทยาและทางสรีระวิทยาของใบไม้หรือของเนื้อไม้ แต่มีข้อเสียคือ มีการดำเนินการที่ยากและใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง

รูปแบบที่ 2 เป็นวิธีทางแอลโลเมตรี (allometry method) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างมิติต่างๆ ของต้นไม้ โดยจะทำการตัดฟันต้นไม้แบบเดียวกับรูปแบบที่หนึ่ง แต่จะตัดเฉพาะต้นไม้ที่เป็นตัวแทนในแต่ละชั้น และนำมาหาน้ำหนักอบแห้งหรือมวลชีวภาพแต่ละส่วนของต้นไม้ โดยจะนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับค่าความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (Ht) และค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at Breast Height, DBH) ที่ความสูง 1.30 เมตร และผลคำนวณจะได้สมการแอลโลเมตรีที่สามารถนำไปประมาณค่ามวลชีวภาพของต้นไม้อื่นได้ โดยอาศัยค่าความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (Ht) และค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ซึ่งวิธีนี้ผู้ศึกษาไม่จำเป็นต้องตัดต้นไม้ ทำให้ลดเวลา และงบประมาณได้ในการศึกษามวลชีวภาพ

จากการศึกษาของชิงชัย (2546) พบว่าสูตรทางแอลโลเมตริก ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษานิเวศวิทยาของป่าไม้เป็นครั้งแรกโดย Kittredge (1944) โดยอยู่ในรูปสมการ

$$\log W1 = b \text{ Log } D - a \dots\dots\dots (3)$$

โดยที่ W1 = มวลชีวภาพของใบต่อต้น (กิโลกรัม : kg)
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอก (เซนติเมตร : cm)
 a, b = ค่าคงที่

ต่อมา Satoo and Senda (1958) ได้พัฒนาสมการแอลโลเมตริก เพื่อใช้หาปริมาณมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ของต้นไม้ โดยมีรูปสมการ

$$Y = AX^h \dots\dots\dots (4)$$

หรือ

$$\log Y = \log A + h \log X \dots\dots\dots(5)$$

โดยที่ Y = มวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก (kg)

X = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอก (cm)

A, h = ค่าคงที่

สมการ $Y = AX^h$ เป็นสมการยกกำลังซึ่งในอดีตการคำนวณสมการเพื่อหาค่าคงที่ของ A และ h กระทำได้ยาก จึงมีการแปลงใหม่ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง แล้วจึงวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆ ของความสัมพันธ์โดยอาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) โดยจะใส่ค่าลอการิทึมในสมการยกกำลัง ดังสมการด้านล่าง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่นิยมใช้ในการคำนวณในอดีตและตัวแปรที่ใช้ในสมการจะใช้ค่าเพียงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เพียงค่าเดียว

ต่อมา Kira and Shidei (1967) พบว่า การใช้ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (Ht) มาเป็นตัวแปรอิสระร่วมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสอง (DBH^2) ในรูปของปริมาตรเชิงพาราโบลา (parabolic volume) คือ $DBH^2 \cdot Ht$ โดยมีหน่วยเป็น ($cm^2 \cdot m$) สามารถใช้ในการประมาณค่าปริมาตรของลำต้นและมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ค่ามวลชีวภาพที่ประมาณได้มีความถูกต้องมากขึ้น จึงทำให้มีผู้นิยมใช้ศึกษามวลชีวภาพจนถึงปัจจุบัน โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$Y = aX^b \dots\dots\dots(6)$$

โดยที่ Y คือ มวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบและราก (กิโลกรัม)

ปริมาตรของลำต้น (เมตร³)X คือ ตัวแปรอิสระ $DBH^2 \cdot Ht$ (เซนติเมตร² · เมตร)

a, b คือ ค่าคงที่

การศึกษามวลชีวภาพในส่วนต่างๆ ของพืชนั้น ได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อครอบคลุมชนิดพืชหรือต้นไม้ที่หลากหลาย ทำให้ได้สมการแอลโลเมตรีที่มีความถูกต้องมากที่สุด จึงทำให้สามารถนำสมการแอลโลเมตรีที่ได้ไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ที่มีชนิดพืชหรือต้นไม้ที่เราสนใจชนิดเดียวกันได้ โดยไม่ต้องทำการพัฒนาสมการแอลโลเมตรีขึ้นมาใหม่

รูปแบบที่ 3 เป็นการนำสมการแอลโลเมตรีที่ได้จากการศึกษามาแล้วมาใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพ โดยอาศัยการคัดเลือกสมการของชนิดพืชหรือต้นไม้ที่ใกล้เคียงกัน นิยมใช้กับการศึกษามวลชีวภาพในป่าธรรมชาติ เนื่องจากป่าไม้ในประเทศไทยมีหลายประเภท แต่ละประเภทก็มีสังคมพืชหลักแต่ละชนิดแตกต่างกันเป็นการยากที่จะทำการศึกษาคอบทุกสังคมพืชนอกจากนี้ยังมีความลำบากในการเข้าถึง และด้วยเงื่อนไขในการศึกษาที่ต้องทำการตัดไม้จำนวนมากและมีขนาดใหญ่ ซึ่งป่าธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า ดังนั้น การศึกษามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าธรรมชาติของในประเทศไทย จะอาศัยสมการแอลโลเมตรีที่ได้มีการจัดทำไว้แล้วของแต่ละประเภทของป่ามาปรับใช้ในการศึกษามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าธรรมชาติ

3. เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geoinformation Technology)

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ หมายถึง การบูรณาการความรู้และเทคโนโลยีทางด้านรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) และระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positional System : GPS) เพื่อประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่วิทยาการด้านการรับรู้จากระยะไกลเป็นการศึกษาองค์ประกอบต่างๆ บนพื้นโลกและในชั้นบรรยากาศ เพื่อศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติโดยการเลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่มีความละเอียดของภาพและประเภทของดาวเทียมหลากหลาย สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเชิงพื้นที่ วิเคราะห์ข้อมูลและประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดการทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกสามารถนำมาใช้กำหนดตำแหน่งเชิงพื้นที่ และติดตามการเคลื่อนที่ของคนและสิ่งของได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

ดังนั้นเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ จึงเป็นการศึกษาเพื่อนำผลวิเคราะห์มาใช้ประกอบในการวางแผนการตัดสินใจได้อย่างมากมายหลายด้าน อาทิ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม ภัยธรรมชาติ การจราจรและการขนส่ง ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

2.1 องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ประกอบไปด้วยเทคโนโลยีทางการรับรู้จากระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การรับรู้จากระยะไกล (Remote sensing) หมายถึง การได้มาของข้อมูล (Data acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (Information extraction) ต่างๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีกระบวนการเริ่มจาก การส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานเพื่อให้ได้ข้อมูล การสกัดสารสนเทศต่างๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำเข้าไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบมีดังนี้

1) การได้มาของข้อมูล ประกอบไปด้วย แหล่งพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุต่างๆ บนพื้นโลก ระบบการตรวจวัดข้อมูล และบันทึกข้อมูล

2) การสกัดข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ การปรับเทียบข้อมูลเบื้องต้นและการพิมพ์ภาพ (Preprocessing calibration development and printing) การตีความ (Interpretation) ซึ่งต้องอาศัยพื้นฐานความรู้และความเข้าใจของผู้แปลและการตรวจสอบในภาคสนาม เพื่อจัดทำแผนที่และจัดการสารสนเทศต่อไป

ในการได้มาซึ่งข้อมูลจากดาวเทียมประเภทต่างๆ ของระบบการรับรู้จากระยะไกล โดยปกติเครื่องมือที่ติดตั้งบนดาวเทียมเป็นเครื่องวัดแบบพาสซีฟ (Passive sensor) ตรวจจับรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกหรือสะท้อนจากพื้นผิวโลก เมื่อโลกรับพลังงานและความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ จะมีคลื่นรังสีแม่เหล็กน้อยกว่า 50% ที่ถึงพื้นผิวโลก (Howard, 1991) สาเหตุจากที่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศจะถูกดูดกลืนไว้ (Absorption) สะท้อนกลับ (Reflectance) และเกิดการกระจัดกระจาย (Scattering) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเมฆ น้ำ ก๊าซ ฝุ่นละออง และอนุภาคอื่นๆ ในชั้นบรรยากาศ ส่วนรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหลือเมื่อผ่านสู่พื้นผิวโลกจะถูกทำการดูดกลืน สะท้อน และมีการกระจัดกระจายพลังงานของคลื่นสั้น ในรูปแบบต่างๆ เมื่อพื้นผิวโลกดูดกลืนพลังงานของรังสีคลื่นสั้นไว้แล้ว หลังจากนั้นจะปล่อยออกมาในรูปของรังสีคลื่นยาว รังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกในลักษณะต่างๆ ผู้ตรวจวัดของการรับรู้จากระยะไกล มีประมาณ 8-15 เปอร์เซ็นต์ของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ โดยพบว่าสามารถสะท้อนหิมะได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ป่าไม้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดินชื้นประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ (Howard, 1991)

ข้อมูลภาพที่ได้จากพลังงานแสงที่สะท้อนสู่เครื่องวัด จะถูกเก็บในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล โครงสร้างของข้อมูลจะเป็นตารางกริด แต่ละช่องกริดของข้อมูลมักเรียกว่า จุดภาพ หรือ "Pixel"

โดยในแต่ละจุดภาพจะแสดงค่าตัวเลขจำนวนเต็มบวกที่เรียกว่า ตัวเลขดิจิทัล (Digital number, DN) ซึ่งค่าเหล่านี้อาจเป็นตัวแทนของค่าการแผ่รังสี (Radiance หรือ Spectral brightness) ค่าความชัน (Slope gradient) ก็ได้ โดยข้อมูลภาพที่ได้แม้ไม่แสดงว่าได้บ่งบอกโดยตรงเกี่ยวกับตัวแปรของสิ่งที่สนใจต่างๆ แต่ข้อมูลภาพจะมีความสัมพันธ์กับสิ่งที่สนใจนั้นๆ ทำให้เครื่องมือวัดรังสีที่สะท้อนจากสภาพพื้นผิวโลกในช่วงของความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับพื้นผิวโลกลักษณะต่างๆ ได้อย่างมากมาย

2.1.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system) เป็นระบบสารสนเทศที่นำเอาข้อมูลมารวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์ห้อย่างเป็นระบบ สามารถทำการสืบค้นข้อมูลและปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้ ข้อมูลที่นำมารวบรวมและจัดเก็บในระบบที่สามารถนำไปจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ยังมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลลักษณะประจำ (Attribute data) ที่ใช้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์และคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะทำการนำเอาข้อมูลไปใช้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Components of GIS) (ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศแห่งประเทศไทย, 2556)

องค์ประกอบหลักของระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จัดแบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ คือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Hardware) โปรแกรม (Software) ขั้นตอนการทำงาน (Methods) ข้อมูล (Data) และบุคลากร (People) โดยมีรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ เช่น Digitizer, Scanner, Plotter, Printer หรืออื่น ๆ เพื่อใช้ในการนำเข้าข้อมูล ประมวลผล แสดงผล และผลิตผลลัพธ์ของการทำงาน

2) โปรแกรม คือ ชุดของคำสั่งสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม Arc/Info, MapInfo ฯลฯ ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชัน การทำงานและเครื่องมือที่จำเป็นต่าง ๆ สำหรับนำเข้าและปรับแต่งข้อมูล, จัดการระบบฐานข้อมูล, เรียกค้น, วิเคราะห์ และ จำลองภาพ

3) ข้อมูล คือ ข้อมูลต่าง ๆ ที่จะใช้ในระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และถูกจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูล โดยได้รับการดูแล จากระบบจัดการฐานข้อมูลหรือ DBMS ข้อมูลจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญรองลงมาจากบุคลากร

4) บุคลากร คือ ผู้ปฏิบัติงานซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ผู้นำเข้าข้อมูล ช่างเทคนิค ผู้ดูแลระบบฐานข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล ผู้บริหารซึ่งต้องใช้ข้อมูลใน

การตัดสินใจ บุคลากรจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื่องจากถ้าขาดบุคลากร ข้อมูลที่มีอยู่มากมายมหาศาลนั้น ก็จะเป็นเพียงขยะไม่มีคุณค่าใดเลยเพราะไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน อาจกล่าวได้ว่า ถ้าขาดบุคลากรก็จะมีระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

5) วิธีการหรือขั้นตอนการทำงาน คือ วิธีการที่องค์กรนั้น ๆ นำเอาระบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ไปใช้งาน โดยแต่ละ ระบบแต่ละองค์กรย่อมมีความแตกต่างกันออกไป ฉะนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องเลือกวิธีการในการจัดการกับปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับของหน่วยงานนั้น ๆ เอง

2.1.3 ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก เป็นระบบโครงข่ายดาวเทียมระบุตำแหน่งอย่างน้อย 24 ดวงรอบโลก โดยโคจรอยู่เหนือพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร ซึ่งดาวเทียมมีชื่ออ้างอิงว่า NAVSTAR เดิมระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกได้ถูกออกแบบมาใช้ทางกิจการทางทหาร ของสหรัฐอเมริกา ต่อมาได้เปิดโอกาสให้ประชาชนทั่วไปได้ใช้ประโยชน์โดยไม่คิดมูลค่า ทำให้มีผู้ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกเพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลาย โดยระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกจะรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่ง ณ จุดใดๆ บนโลกอ้างอิงกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่จำกัดสภาพอากาศแต่อย่างใด ปัจจุบันระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกทำงานโดยอาศัยการรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 2 มิติ คือ เฉพาะค่าในแนวราบ และหากระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกรับดาวเทียมได้ 4 ดวงขึ้นไป จะทำให้ทราบตำแหน่งในแบบ 3 มิติ คือ ตำแหน่ง และความสูง (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

2.2 เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรป่าไม้

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและบทความที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีทางด้านภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ทางด้านป่าไม้ โดยแบ่งออกได้ดังนี้

2.2.1 การคัดเลือกช่วงคลื่นเพื่อศึกษาพืชพรรณ

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาที่เป็นข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากร LANDSAT 7 ข้อมูลจำนวน 4 ช่วงคลื่น (band) โดยมีรายละเอียดของข้อมูลและการประยุกต์ใช้ซึ่งสรุปได้ดังนี้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

ช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน (0.45-0.52 ไมโครเมตร) มีคุณลักษณะที่มีความสามารถในการส่องผ่านบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำ (Water Penetration Band) รวมทั้งความสามารถในการจำแนกลักษณะของพืชพรรณ ดิน และการใช้ที่ดิน

ช่วงคลื่นแสงสีเขียว (0.53-0.60 ไมโครเมตร) ช่วงคลื่นนี้มีชื่อเรียกว่า “Chlorophyll Absorption Band” ดังนั้นในช่วงคลื่นแสงสีเขียวนี้จึงเป็นช่วงคลื่นที่สามารถใช้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของพืชพรรณได้เป็นอย่างดี

ช่วงคลื่นแสงสีแดง (0.62-0.69 ไมโครเมตร) สามารถใช้ในการจำแนกขอบเขตชนิดของดิน และใช้ในด้านธรณีวิทยา

ช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ (0.77-0.90 ไมโครเมตร) ในช่วงคลื่นที่มากกว่า 0.75 ไมโครเมตร เป็นช่วงคลื่นที่ตอบสนองต่อมวลชีวภาพของพืชได้เป็นอย่างดี ดังนั้นช่วงคลื่นนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์พืช และช่วงนี้สามารถใช้ตรวจสอบบริเวณที่เป็นพื้นดินหรือพืชไร่ และพื้นดินหรือแหล่งน้ำเป็นต้น

2.2.2 การสะท้อนช่วงคลื่นของพืชพรรณ

Lillesand and Kiefer (1994) กล่าวว่า การปรากฏให้เห็นภาพของวัตถุเกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนแสงของวัตถุ และสาเหตุที่ทำให้ต้นไม้ปรากฏภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของต้นไม้ เช่น การเรียงตัวของใบ รูปแบบของใบ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี ชนิดของดินและสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลที่ใช้สำหรับจุดประสงค์ทางด้านป่าไม้ เช่น ชนิดป่า สภาพป่า ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index : LAI) โครงสร้างป่า มวลชีวภาพของหมู่ไม้ (stand biomass) และโดยมากการหาช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการให้ข้อมูลของพืชพรรณมักจะนำช่วงคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น (visible) กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near - infrared) มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพืชพรรณจะมีความแปรผันสูงระหว่างช่วงคลื่นสีแดงที่ถูกดูดกลืนมากกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มีการสะท้อนมาก

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

พลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าจะใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบจะแตกต่างไปจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ในช่วงคลื่นที่มีขนาดสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนโดยใบพืชแทบจะไม่มีการทะลุทะลวงมักพบค่าต่ำลงที่ 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 คลื่นสีแดงจะถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลล์เป็นปริมาณมากแหล่งพลังงานของช่วงอินฟราเรดจะกระจายและแผ่พลังงานรังสีได้สูงจากเรือนยอดโดยอิทธิพลของโครงสร้างภายในใบพืช ปกติแล้วค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจะมีความสัมพันธ์อย่างมากในความแตกต่างระหว่างพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงคลื่นสีแดง ที่แสดงค่าความแตกต่างเป็นตัวเลขความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับการปกคลุมของพืชพรรณมีหลายลักษณะ เช่น การทำอัตราส่วน (rationing) เพื่อหา ลักษณะทางธรณีวิทยา และการทำค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (normalized difference vegetation index : NDVI) สำหรับการหาความแตกต่างของพืชพรรณ (vegetation monitoring) หรือเป็นช่วงบ่งชี้ถึงความหนาแน่นของมวลชีวภาพ ยิ่งค่า NDVI มีค่ามากก็จะมี ความหนาแน่นของพืชพรรณมาก (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) ปกติค่า NDVI เป็นสมการอย่างง่ายที่ใช้ข้อมูลดาวเทียมสองช่วงคลื่น ถ้าช่วงคลื่นหนึ่งเป็นช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น (visible : VIS) และอีกช่วงคลื่นหนึ่งคือช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared : NIR)

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \dots\dots\dots(7)$$

สมการที่สร้างขึ้นทั้งหมดสร้างขึ้นจากช่วงคลื่นใหม่ของภาพที่บรรจุจุดภาพต่อจุดภาพ คือค่า NDVI ของภาพ แต่โดยปกติค่า NDVI มีค่าต่ำสุดเท่ากับ -1 และสูงสุดเท่ากับ 1 และเมื่อคำนวณค่าของจุดภาพอื่นมีค่าเท่ากับ 8 บิต ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 255 เนื่องจากดัชนีความเป็นพืชพรรณของพืชจะมีความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ซึ่งสะท้อนอย่างมากในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ใบพืชสีเขียวมีการสะท้อนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยในช่วง 0.5 – 0.7 ไมครอน (เขียวถึงแดง)

และประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง 0.7 – 1.3 ไมครอน (อินฟราเรดใกล้) ซึ่งเห็นได้ชัดจากระดับชั้นบรรยากาศที่เหมาะสม แต่บางส่วนจะมีความแตกต่างตามการให้แสงสว่างและความลาดชันของพื้นผิว (Kidwell, 1990) นอกจากค่า NDVI แล้ว การวัดพืชพรรณในลักษณะต่าง ๆ มีการพัฒนาโดยอาศัยอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (band ratioing) ในรูปของการบวก การลบ การคูณ การหาร และการผสมของการปฏิบัติการทั้ง 4 ข้างต้น เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับค่ามวลชีวภาพ ที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันได้แก่

1) RVI (Ratio Vegetation Index) ค่าอัตราส่วนพืชพรรณหรือเรียกว่าการหาร แบบง่าย สมการคือ (Jordan, 1969)

$$RVI = \frac{NIR}{Red} \dots\dots\dots(8)$$

2) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ซึ่งได้มีการพัฒนามาจากค่า RVI โดย Rouse et al., (1973) อยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$NDVI = \frac{RVI-1}{RVI+1} \quad \text{หรือ} \quad NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อ NIR = Near Infrared band

R = Red band

3) IPVI (Infrared Percentage Vegetation Index) ซึ่งเป็นสมการที่พัฒนาจาก Crippen (1990) สมการที่ได้คือ

$$IPVI = \frac{NDVI+1}{2} \quad \text{หรือ} \quad IPVI = \frac{NIR}{NIR+Red} \dots\dots\dots(10)$$

4) DVI (Difference Vegetation Index) (Lillesand and Kiefer, 1994)

$$DVI = NIR - Red \dots\dots\dots(11)$$

5) GEMI (Global Environmental Monitoring Index) (Lillesand and Kiefer, 1994)

ดัชนีสมการ

$$GEMI = \eta \left(1 - 0.25 \times \eta \right) - \frac{\text{Red} - 0.125}{1 - \text{Red}} \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{เมื่อ } \eta = \frac{2(\text{NIR}^2 - \text{Red}^2) + (1.5\text{NIR}) + (0.5\text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red} + 0.5)}$$

6) GVI (Green Vegetation Index) พัฒนาโดย Jackson (1983) เพื่อใช้กับข้อมูลดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM จำนวน 6 แบนด์ ในรูปของสมการ

$$GVI = - (0.2848 \times \text{TM1}) - (0.2435 \times \text{TM2}) - (0.5436 \times \text{TM3}) + (0.7243 \times \text{TM4}) \\ + (0.0840 \times \text{TM5}) - (0.1800 \times \text{TM7}) \dots \dots \dots (13)$$

นอกจากนี้ Howard (1991) ยังได้พัฒนารูปแบบของสมการเพื่อหาค่า GVI เช่นกัน โดยสมการที่นิยมนำมาศึกษาเกี่ยวกับพืชพรรณเพื่อประมาณค่าดังกล่าว จากช่วงคลื่นสีเขียว (green) สีแดง (red) และอินฟราเรดใกล้ (near - infrared) สมการที่ได้คือ

$$GVI = - 0.29 (\text{Green}) - 0.56 (\text{Red}) + 0.60 (\text{NIR}) + 0.49 (\text{NIR}) \dots \dots \dots (14)$$

7) TNDVI (Transformed Normalized Difference Vegetation Index) เป็นดัชนีที่วัดปริมาณมวลชีวภาพสีเขียวและส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ในพืช ซึ่งได้มีการบวก 0.5 ให้กับค่า NDVI เพื่อหลีกเลี่ยงค่าการติดลบและใช้การถอดรากที่สองกับค่าดังกล่าว (Howard, 1991) แสดงสมการในรูป

$$TNDVI = \left(\frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} + 0.5 \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (15)$$

2.2.3 การจำแนกพื้นที่ป่าไม้

อดีตในปี พ.ศ. 2504 ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าปกคลุมพื้นที่ถึง 171 ล้านไร่ (หรือประมาณร้อยละ 53) กระทั่งในปัจจุบันเนื้อที่ป่าของประเทศไทยได้ถูกทำลายและมีการใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากร และการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจของประเทศอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วงห้าทศวรรษที่ผ่านมา จนในปี พ.ศ. 2551 เนื้อที่ป่าของประเทศไทยลดลงเหลือเพียง 96 ล้านไร่ (หรือประมาณร้อยละ 30) พื้นที่ป่าที่เหลือส่วนใหญ่กระจายตามเทือกเขาแนวชายแดนไทย - พม่า เขตจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ตาก กาญจนบุรี และเพชรบุรี ลงไปถึงภาคใต้ในเขตจังหวัด ระนอง พังงา สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช จันทบุรี และตราดชายแดนไทย - มาเลเซีย ส่วนทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเนื้อที่ป่าไม้เหลือน้อยที่สุด โดยจะพบป่ากระจายอยู่เฉพาะในเขตจังหวัด ชัยภูมิ เลย อุดรธานี สกลนคร นครราชสีมา และอุบลราชธานี นอกจากนั้นมีป่าอยู่บ้างในบริเวณรอยต่อ 5 จังหวัด ได้แก่ สระแก้ว ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง และจันทบุรี (ชวีชัย สันติสุข, 2555) พื้นที่ป่าและสังคมพืชตามธรรมชาติที่เหลือในปัจจุบัน ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่เขตป่าอนุรักษ์ ได้แก่ อุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า และพื้นที่ต้นน้ำลำธาร

ชวีชัย สันติสุข (2555) ได้จำแนกประเภทป่าไม้ โดยข้อมูลด้านองค์ประกอบของพรรณพฤกษชาติ (Floristic composition) ในป่าเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับชนิดป่าไม้ในประเทศไทย ประกอบไปด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้

1.1 ลมฟ้าอากาศ (Climatic) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ก่อให้เกิดป่าชนิดต่างๆ (Climatic formation) ในประเทศไทย ตัวแปรที่สำคัญคือ ฤดูกาล และปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี และการกระจายของฝน (จำนวนวันที่ฝนตก) โดยในพื้นที่ภาคกลาง (ตั้งแต่บริเวณเหนือจังหวัดชุมพร) ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,050–1,470 มม. จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายปี ระหว่าง 75–97 วัน ส่วนใหญ่ฝนตก ในช่วงเดือนพฤษภาคม–ตุลาคม ป่าส่วนใหญ่ของภาคกลางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นป่าชนิดที่ผลัดใบ (Deciduous forest) ในฤดูแล้ง แทบทั้งสิ้น ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ หรือ ป่าผสมผลัดใบและป่าเต็งรัง ยกเว้นพื้นที่บริเวณหุบเขาที่ชุ่มชื้น พื้นที่ริมลำธาร แม่น้ำ ซึ่งมีความชุ่มชื้นตลอดปี ป่าที่ขึ้นอยู่จะเปลี่ยนสภาพไปเป็นป่าชนิดที่ไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) ได้แก่ ป่าดิบแล้ง (Seasonal rain forest หรือ Semi-evergreen forest หรือ Dry evergreen forest)

1.2 ชนิดของดินหิน (Edaphic) ลักษณะของดินที่มีความลึกอุดมสมบูรณ์ ความสามารถในการเก็บความชื้น จะเป็นปัจจัยกำหนดชนิดป่า เช่น ป่าที่มีดินชั้น ไม่สมบูรณ์ แห้งแล้งไม่สามารถกักเก็บความชื้นในดิน ไว้ในฤดูแล้งในท้องที่มีฤดูฝนและฤดูแล้งแยกกันอย่างชัดเจน ป่าส่วนใหญ่จะ

เป็นป่าผลัดใบ มักจะเป็นป่าเต็งรัง ป่าแดง หรือป่าแพะ ซึ่งส่วนใหญ่จะชอบดินที่มีสภาพเป็นกรด แต่หากบริเวณที่มีดินอุดมสมบูรณ์ก็จะเป็นป่าผสมผลัดใบหรือป่าเบญจพรรณ

1.3 ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Elevation) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิ (Temperature) และความชุ่มชื้นในอากาศ (Atmospheric humidity) ภูเขาในเขตร้อนจะมีอุณหภูมิลดลง โดยเฉลี่ย 0.4–0.7 C° ต่อระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นประมาณ 100 เมตร อุณหภูมิเฉลี่ยยิ่งลดลงมากบนภูเขาสูงประกอบกับความชุ่มชื้นที่มีมากขึ้น จากเมฆ/หมอกที่มักจะปกคลุมสันเขาและยอดเขาที่สูงเกินกว่า 1,000 เมตร ตั้งแต่ระดับความสูงประมาณ 1,900–2,565 เมตร จะอยู่ในแนวเขตปกคลุมของเมฆ/หมอกเกือบตลอดปี บางครั้งเรียกป่าในเขตนี้อีกว่า “ป่าเมฆ” หรือ “Cloud forest” ป่าส่วนใหญ่จะเป็นประเภทป่าไม่ผลัดใบ ประกอบด้วยพรรณไม้เขตอบอุ่น (Temperate) และพรรณไม้เขตภูเขา (Montane) จำนวนมาก

1.4 ชีวิตปัจจัย (Biotic) ได้แก่ ป่าที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงหรือทางอ้อม ไฟป่าที่เกิดขึ้นเป็นประจำโดยเฉพาะในป่าผลัดใบ ทำให้เกิดป่าผสมผลัดใบหรือป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรังขึ้น การเลี้ยงสัตว์ในป่าและการแผ้วถางป่า ทำให้ป่าธรรมชาติดั้งเดิมเปลี่ยนสภาพเป็นป่ารุ่น ป่าใสอ่อนหรือป่าเหล่า (Secondary growth) อันทำให้เกิดความสับสนในการระบุสังคมพืชประเภทนี้ที่จัดเป็นสังคมพืชในช่วงระยะทดแทน (Successional stage) ไฟป่าจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีส่วนทำให้ชนิดป่าและสังคมพืชเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยเฉพาะป่าผลัดใบที่มีเศษไม้ ใบ ไม้ร่วงหล่นเป็นเชื้อเพลิงอยู่มาก จึงเกิดไฟไหม้ลุกลามไปตามพื้นล่างของป่าเป็นประจำทุกปี พรรณไม้ในป่าประเภทนี้ จำเป็นจะต้องปรับตัวให้เข้ากับไฟป่า กล่าวคือ มีเปลือกหนา ระบบรากแข็งแรง ทนไฟ เช่น พรรณไม้ในป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ จากปัจจัยทั้งหมดข้างต้นเราสามารถสรุปดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของสังคมพืชและป่าธรรมชาติชนิดต่างๆ
ของประเทศไทย

ชนิดป่า	ปัจจัย			ความสูงจากระดับทะเล ปานกลาง (เมตร)
	ลมฟ้า อากาศ	สภาพดิน และหิน	ชีวปัจจัย	
ป่าไม่ผลัดใบ EVERGREEN FOREST				
1. ป่าดิบชื้น Tropical evergreen rain forest	xx	X		800-900
2. ป่าดิบแล้ง Seasonal rain forest / Dry evergreen forest	xx	X		800-900
3. ป่าดิบเขาต่ำ Lower montane rain forest	xx	X		1,000-1,800
4. ป่าไม้ก่อ Lower montane oak forest	xx	x	x	1,000-2,000
5. ป่าไม้ก่อ-ไม้สน Lower montane pine-oak forest	xx	xx	xx	1,000-1,400
6. ป่าไม้สนเขา Lower montane coniferous forest	xx	xx		1,100-1,500
7. ป่าละเมาะเขาต่ำ Lower montane scrub	xx	xx	x	1,200-1,800
8. ป่าดิบเขาสูง Upper montane rain forest	xx	x		2,000-2,500
9. ป่าละเมาะเขาสูง Upper montane scrub	xx	xx	x	1,900-2,300
10. แอ่งพรุภูเขา Montane peat bog or sphagnum bog	xx	xx	x	1,200-2,500
11. ป่าชายเลน Mangrove forest	x	xx		0-20
12. ป่าพรุ Peat swamp forest	xx	xx		0-30
13. ป่าบึงน้ำจืด, ป่าบึง-ทาม Freshwater swamp forest	x	xx		5-200

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

ชนิดป่า	ปัจจัย			ความสูงจากระดับทะเล ปานกลาง (เมตร)
	ลมฟ้า อากาศ	สภาพดิน และหิน	ชีวปัจจัย	
14. สังกมพีชชายหาด (หาดทรายและโขด หิน) Strand vegetation (sand strand, sand dune & rock strand)	x	xx	xx	0-20
ป่าผลัดใบ DECIDUOUS FOREST				
15. ป่าเบญจพรรณ, ป่าผสมผลัดใบ Mixed deciduous forest	x	xx	xx	800-900
16. ป่าเต็งรัง Deciduous dipterocarp forest	x	xx	xx	600-900
17. ป่าเต็งรัง-ไม้สน Pine-deciduous dipterocarp forest	x	xx	xx	150-1,200

ที่มา: ธวัชชัย สันติสุข (2555)

หมายเหตุ x หมายถึง ปัจจัยสิ่งแวดล้อมนั้นมีอิทธิพลต่อการกระจายของสังกมพีชและป่าน้อย
xx หมายถึง ปัจจัยสิ่งแวดล้อมนั้นมีอิทธิพลต่อการกระจายของสังกมพีชและป่ามาก

ชนิดป่าของประเทศไทย

ธวัชชัย สันติสุข (2555) ได้จำแนกชนิดป่าของประเทศไทยออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ ป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) และป่าผลัดใบ (Deciduous forest) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen forest) มีเรือนยอดที่เขียวชอุ่มตลอดปี เนื่องจากต้นไม้แทบทั้งหมดที่ขึ้นเป็นประเภทไม่ผลัดใบ เช่น ป่าดิบชื้น แต่ก็อาจจะพบไม้ต้นผลัดใบขึ้นแทรกในชั้นเรือนยอดอยู่บ้าง ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศและความชุ่มชื้นในดิน เช่น ป่าดิบแล้ง โดย ป่าไม่ผลัดใบในประเทศไทย จำแนกออกเป็นชนิดหลัก ได้ 14 ชนิด ดังนี้

1. ป่าดิบชื้น (Tropical evergreen rain forest หรือ Tropical rain forest)
2. ป่าดิบแล้ง (Seasonal rain forest หรือ Semi-evergreen forest หรือ Dry evergreen forest)
3. ป่าดิบเขาต่ำ (Lower montane rain forest)
4. ป่าไม้ก่อ (Lower montane oak forest)
5. ป่าไม้ก่อ-ไม้สน (Lower montane pine-oak forest)

6. ป่าไม้สนเขา (Lower montane coniferous forest)
7. ป่าละเมาะเขาค่ำ (Lower montane scrub)
8. ป่าดิบเขาสูงหรือป่าเมฆ (Upper montane rain forest หรือ Cloud forest)
9. ป่าละเมาะเขาสูง (Upper montane scrub)
10. แอ่งพรุภูเขา (Montane peat bog หรือ Sphagnum bog)
11. ป่าชายเลนหรือป่าโกงกาง (Mangrove forest)
12. ป่าพรุ (Peat swamp forest)
13. ป่าบึงน้ำจืด หรือป่าบึง-ทาม (Freshwater swamp forest)
14. สังกมพืชชายหาด (Strand vegetation) ตามหาดทราย (Sand strand) และ โขดหิน (Rock strand)

ป่าผลัดใบ (Deciduous forest) เป็นป่าไม้ที่ผลัดใบตามฤดูกาล (Seasonal) พบทั่วไปทุกภาคที่มีช่วงฤดูแล้งยาวนานชัดเจน ระหว่าง 4-7 เดือน ยกเว้นภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงใต้ (จันทบุรี-ตราด) เมื่อถึงฤดูแล้งที่มีปริมาณความชุ่มชื้นในดินและบรรยากาศลดลงอย่างมาก ต้นไม้ในป่าประเภทนี้จะผลัดใบร่วงลงสู่พื้นดินและเตรียมผลิใบอ่อนขึ้นมาใหม่ ในช่วงต้นฤดูฝนหรือเมื่อมีความชุ่มชื้นมากขึ้น พืชพรรณในป่าผลัดใบส่วนใหญ่เป็นพรรณไม้ผลัดใบ (Deciduous species) แทบทั้งสิ้น ในฤดูแล้ง (มกราคม-มีนาคม) ใบไม้แห้งจะกองทับถมบนพื้นป่าทำให้เกิดไฟป่าลุกลามในป่าผลัดใบได้ง่ายแทบทุกปี ป่าผลัดใบพบทั่วไปบนที่ราบเชิงเขา และบนภูเขาสูงที่ไม่เกินระดับ 1,000 เมตร (ยกเว้นป่าเต็งรัง-ไม้สน) จำแนกออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. ป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบ (Mixed deciduous forest)
2. ป่าเต็งรัง (Deciduous dipterocarp forest หรือ Dry dipterocarp forest)
3. ป่าเต็งรัง-ไม้สน (Pine-deciduous dipterocarp forest)

ในที่นี้ผู้วิจัยจะขอกล่าวเฉพาะป่าดิบเขาค่ำ (Lower montane rain forest) ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษา โดยมีคุณลักษณะของป่าดังนี้

ป่าดิบเขาค่ำ พบบนภูเขาที่สูงกว่าระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ประมาณ 1,000 เมตร จนถึง 1,900 เมตร สภาพป่ามีเรือนยอดแน่นทึบ มีไม้พื้นล่างหนาแน่นคล้ายคลึงกับป่าดิบชื้นและป่าดิบแล้งบนที่ต่ำ แต่แตกต่างกันในองค์ประกอบของพรรณไม้ ป่าดิบเขาค่ำประกอบด้วยพรรณไม้เขตอบอุ่น (Temperate species) และพรรณไม้ภูเขา (Montane species) ที่ต้องการอากาศค่อนข้าง

หนาวเย็นตลอดปี ส่วนใหญ่ได้แก่ ไม้ก่อ นอกจากนี้ยังมีพรรณไม้ในระดับต่ำ (Lowland species) ที่เป็นพรรณไม้เด่นของป่าดิบชื้นและป่าดิบแล้งขึ้นปะปนอยู่ด้วย พรรณพืชจำพวกหมากปาล์มที่เป็น ต้น กอ หรือหวาย มีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับป่าดิบชื้นและป่าดิบแล้ง ความสูงของเรือนยอดชั้นบนของป่าดิบเขาต่ำ ประมาณ 20–35 เมตร ความสูงของเรือนยอดจะลดลงตามระดับความสูงของพื้นที่เพิ่มขึ้น ปัจจุบันป่าดิบเขาต่ำที่สมบูรณ์เหลืออยู่น้อยมาก ส่วนใหญ่จะถูกชาวเขาเผ่าต่างทำไร่เลื่อนลอย เมื่อถูกทำลายแล้วทิ้งร้างไว้นานๆ จะเปลี่ยนสภาพไปเป็นป่าดิบเขาต่ำรุ่นสอง เช่น ป่าไม้ก่อหรือป่าไม้ก่อ-ไม้สน พื้นที่ป่าดิบเขาต่ำดั้งเดิมในปัจจุบัน พบเหลือเป็นหย่อมๆ บนภูเขา เช่น คอยอินทนนท์ คอยเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่, คอยภูคา จังหวัดน่าน, เทือกเขาสูงในป่าทุ่งใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี, เขาสอยดาว จังหวัดจันทบุรี, บนภูเขาหินทรายทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ภูหลวง จังหวัดเลย และบนภูเขาสูงทางภาคใต้ เช่น เขาหลวง จังหวัดนครศรีธรรมราช ไม้ต้นที่พบทั่วไปในป่าดิบเขาต่ำ เช่น ไม้ก่อชนิดต่างๆ ของวงศ์ Fagaceae เช่น ก่อเคียด *Castanopsis acuminatissima* (Blume) A. DC., ก่อหรั่ง *C. armata* (Roxb), ก่อน้ำ *C. calathiformis* (Skan) Rehder & E.H.Wilson, ก่อแป้น *C. diversifolia* (Kurz) King ex Hook.f., ก่อหนาม *C. echidnocarpa* Hook.f. & Thomson ex A.DC., ก่อแหลม *C. ferox* (Roxb), ก่อตาหมู *C. fissa* (Champ. ex Benth.) Rehder & E.H.Wilson, ก่อตี *C. indica* Roxb. ex Lindl, ก่อหิน *C. piriformis* Hickel & A.Camus, ก่อदान *C. purpurea* Barnett, ก่อจี่หมู *C. rhamnifolia* (Miq.) A.DC., ก่อใบเลื่อม *C. tribuloides* (Sm.) A.DC., ก่อหมี *Lithocarpus auriculatus* (Hickel & A. Camus) Barnett., ก่อฝัะ *L. dealbatus* (Hook.f. & Thomson ex Miq.) Rehder., ก่อหม่น *L. elegans* (Blume) Hatus. ex Soepadmo., ก่อพวง *L. fenestratus* (Roxb.) Rehder., ก่อเลือด *L. garrettianus* (Craib) A. Camus., ก่อค้าง *L. lindleyanus* (Wall. ex A.DC.) A.Camus., ก่อแงะ *L. polystachyus* (Wall. ex A. DC.) Rehder., ก่อหัวหมู *L. sootepensis* (Craib) A.Camus., ก่อหม่น *L. thomsonii* (Miq.) Rehder., ก่อดำ *L. truncates* (King ex Hook. f.), ก่อหนูน *Quercus brandisiana* Kurz., ก่อตลับ *Q. rex* (Hemsl.), ก่อตาคลอย *Q. lenticellata* (Barnett.), ก่อค้าง *Q. myrsinifolia* (Blume), ก่อหมวก *Q. oidocarpa* (Korth.), ก่อสี่เสียด *Q. poilanei* Hickel & A.Camus., ก่อตาหมูหลวง *Q. semiserrata* Roxb., ก่อแอบ *Q. vestita* Rehder & E.H.Wilson. พรรณไม้ชนิดอื่น เช่น จำปีหลวง *Michelia rajaniana* (Craib), แก้วมหาวัน *M. fl oribunda* (Finet & Gagnep), จำปีป่า *M. baillonii* (Pierre) Finet & Gagnep., มณฑาดอย *Manglietia garrettii* (Craib), ดอกแข็ง *Magnolia hodgsonii* (Hook.f. & Thomson), จำปีดง *M. henryi* Dunn. (Magnoliaceae), ทะโล้ *Schima wallichii* (DC.) Korth.(Theaceae), ดอกลาด *Actinodaphne henryi* Gamble., แกง *Cinnamomum tamala* (Buch.-Ham.) Nees et Eberm., เขียดขาว *Lindera pulcherrima* (Wall.) Benth., สะหมี่

Litsea monopetala (Roxb.), หมี่ปั้ง *L. semecarpifolia* (Wallich ex Nees.), ทัง *L. beusekomii* (Kosterm.), เมียดต้น *L. martabanica* (Kurz) Hook.f., พัน *Phoebe tavoyana* (Meisn.) Hook. f. (Lauraceae), จันทร์ทอง *Fraxinus floribundus* Wall., มากกอ *Olea salicifolia* Wallich ex G. Don. (Oleaceae), มะกอกเลื้อย *Canarium subulatum* Guill. (Burseraceae), ญิบตีบ *Ulmus lanceifolia* Roxburgh ex Wallich. (Ulmaceae), ก่วมแดง *Acer calcaratum* Gagnep., ก่วมขาว *A. laurinum* Hassk., ก่วม *A. oblongum* Wall. ex DC. (Aceraceae), มะมือ *Choerospondias axillaris* (Roxb.), แกนมอ *Rhus succedanea* (L.) Kuntze., มะม่วงจีใต้ *Mangifera sylvatica* Roxburgh. (Anacardiaceae), ยมหอม *Toona ciliate* M. Roem., จี้อย *Walsura robusta* Roxb. (Meliaceae), สารภีคิง *Mammea harmandii* Kosterm., กะนวน *Garcinia merguensis* Wight. (Guttiferae), มุ่นคอย *Elaeocarpus braceanus* Watt ex C.B. Clarke., กุ่นเถื่อน *E. floribundus* Bl., มุ่นคอย *E. prunifolius* Wall. ex C. Muell., ก่อเรียน *Sloanea sigun* K. Schum., สตี *S. tomentosa* Hort. ex A.C. White & B. Sloane. (Elaeocarpaceae), มะซัก *Sapindus rarak* A. DC. (Sapindaceae), ตีนจาดง *Adinandra integerrima* T. Anders. ex Dyer., เมียงอาม *Camellia connate* (Craib), เหมือดเม็ก *C. oleifera* var. *confuse* (Craib), จีฝั่ง *Gordonia dalglieshiana* (Craib), เหมือดหอม *Symplocos racemosa* Roxb., เหมือดปลาชีว *S. sumuntia* Buch.-Ham. ex D. Don. (Symplocaceae), มะเนียงน้ำ *Aesculus assamica* Griffith. (Hippocastanaceae), คางคาก *Nyssa javanica* Blume. (Nyssaceae), ซ้าส้าน *Saurauia nepaulensis* Wall., ส้านเห็บ *S. roxburghii* Wall. (Actinidiaceae), มะยมหิน *Meliosma pinnata* (Roxb.) (Sabiaceae), ตะแกรน้ำ *Eriobotrya bengalensis* (Roxb.) forma *bengalensis* (Roxb.) (Rosaceae), เหมือดคนคอง *Helicia formosana* Hemsl. เหมือดคน *Heliciopsis terminalis* (Kurz.) (Proteaceae), หัวเขา *Syzygium angkae* (Craib) Chantar. & J. Parn. (Myrtaceae), ขางขาว *Xanthophyllum virens* Roxb. (Xanthophyllaceae), น่องขาว *Alstonia rostrata* C.E.C. Fisch. (Apocynaceae) เป็นต้น

3. การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ ซึ่งความสัมพันธ์อาจเป็นได้ทั้งเส้นตรงและเส้นโค้ง เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ชนิด ได้แก่ ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่กำหนดค่าได้หรือควบคุมได้ จะเขียนแทนด้วย x และตัวแปรตาม (Dependent variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องการศึกษาหรือพยากรณ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ ตัวแปรตามเขียนแทนด้วย y ความสัมพันธ์ของสองตัวแปรนี้ศึกษาได้ 2 แบบ คือ

3.1 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ถ้าตัวแปรทั้งสองตัวสัมพันธ์กัน สามารถกำหนดได้แน่นอนว่า ตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม การวิเคราะห์การถดถอยจะเป็นการศึกษาหาสมการพีชคณิต เพื่อใช้เป็นสมการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรนี้เพื่อจะนำมาใช้ในการคาดหมายหรือประมาณค่าตัวแปรตามเมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระ

3.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) เป็นการศึกษาระดับและทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยไม่กำหนดว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระ ตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม (ภัทรลินี ภัทรโกศล, 2550)

4. คุณลักษณะของดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้มีการนำเอาข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ โดยมีคุณลักษณะดังนี้

4.1 ดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ (องค์กรมมหาชน) หรือ สทอภ. (Geo-informatics and space technology development agency (Public organization) : GISDTA ได้เริ่มให้บริการข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2544 โดยมีระบบ ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบ TM โดยปรับปรุงให้มีความไวต่อทุกช่วงคลื่นมากขึ้น สามารถรับระดับสีเทาได้ถึง 256 ระดับ ใน 8 ช่วงคลื่น (ตาราง 2.2) สามารถปรับปรุงแยกความแตกต่างได้ในทุกช่วงคลื่นในพื้นที่ 30 เมตร เว้นแต่คลื่นความร้อนในพื้นที่ 60 เมตร ส่วนในคลื่นแบนด์ ค สามารถใช้ในการแยกแยะทางพื้นที่ได้ละเอียดถึง 15 เมตร

ตารางที่ 2-2 ระบบบันทึกข้อมูล ETM+ ของดาวเทียม LANDSAT 7

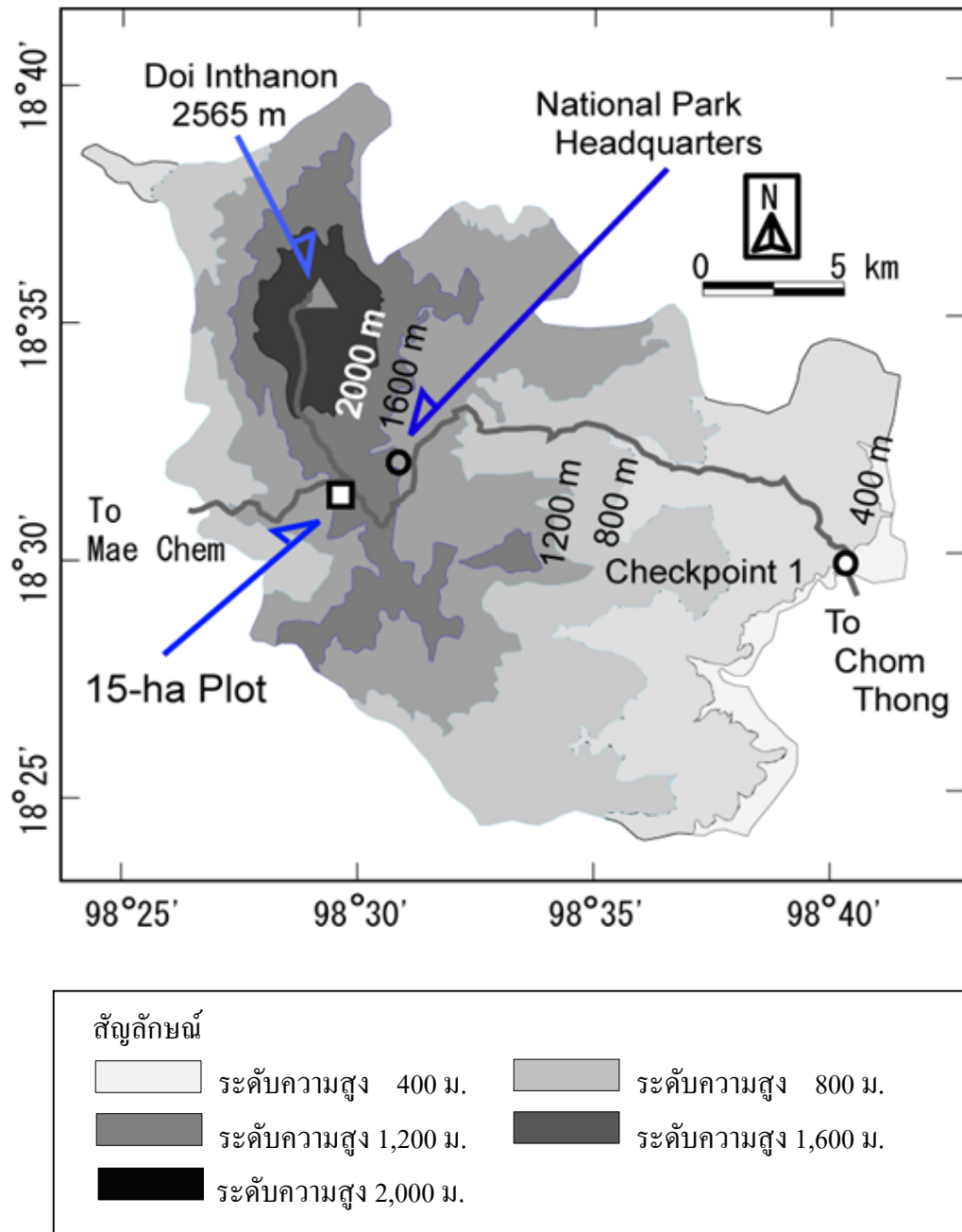
แบนด์	ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมครอน)	ค่าความคมชัดข้อมูล (เมตร)
1	สีน้ำเงิน – เขียว	0.450 – 0.515	30
2	สีเขียว	0.525 – 0.605	30
3	สีแดง	0.630 – 0.690	30
4	อินฟราเรดใกล้	0.775 – 0.900	30
5	อินฟราเรดคลื่นสั้น	1.550 – 1.750	30
6	อินฟราเรดคลื่นยาว (ความ	10.46 – 12.45	60
7	ร้อน)	2.090 – 2.350	30
8	อินฟราเรดคลื่นสั้น สีเขียว-อินฟราเรดใกล้	0.250 – 0.900	15

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552)

5. พื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์

อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ ได้รับการประกาศจัดตั้งเป็นอุทยานแห่งชาติเป็นลำดับที่ 6 (สำนักอุทยานแห่งชาติ, 2556) อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 18°24' ถึง 18° 40' เหนือ และลองจิจูดที่ 98°24' ถึง 98°42' มีพื้นที่ทั้งหมด 485.4 ตร.กม. (301,500 ไร่) ครอบคลุมพื้นที่ 4 อำเภอในจังหวัดเชียงใหม่คือ อำเภอจอมทอง แม่แจ่ม แม่วางและสันป่าตอง พื้นที่ในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยภูเขาสูงสลับซับซ้อน มีพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับทะเลประมาณ 400 เมตร ถึง 2,565 เมตร ป่าไม้ปกคลุมจากพื้นที่ล่างขึ้นไปจนถึงยอดเขา ประกอบด้วย 5 ชนิดคือ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง-ไม้สน ป่าดิบแล้ง และป่าดิบเขา โดยมีรายละเอียดดังนี้

แผนที่ขอบเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ และแปลงตัวอย่างถาวร 15-ha



ภาพที่ 2-1 พื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์และที่ตั้งแปลงตัวอย่างถาวร

5.1 ลักษณะภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศประกอบด้วยภูเขาสูงสลับซับซ้อน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาถนนธงชัยที่ทอดตัวตามแนวเหนือ-ใต้ มาจากเทือกเขาหิมาลัยในประเทศเนปาล มีความสูงของพื้นที่อยู่ระหว่าง 400-2,565 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยจุดที่สูงที่สุดอยู่ที่ยอดดอยอินทนนท์ ซึ่งเป็นจุดที่สูงที่สุดในประเทศไทย ยอดเขาที่มีระดับสูงรองลงมา คือ ดอยหัวหมกดหลาง สูง 2,330 เมตร ดอยหัวหมคน้อย สูง 1,900 เมตร และ ดอยหัวเสือ สูง 1,881 เมตรจากระดับน้ำทะเล อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์เป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธารที่สำคัญของแม่น้ำปิงและให้กำเนิดแม่น้ำลำธารหลายสาย ที่สำคัญได้แก่ ลำน้ำแม่วาง แม่กลาง แม่ยะ แม่หอย แม่แจ่มและแม่เตี้ยะ ลำน้ำเหล่านี้ไหลผ่านชุมชนต่างๆ ในเขตอำเภอจอมทอง แม่แจ่ม สอด แม่วางและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ แล้วไหลลงสู่แม่น้ำปิง

5.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา

หินที่พบบริเวณดอยอินทนนท์มีอายุตั้งแต่ประมาณ ยุคพรีแคมเบรียน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหินไนส์ (Gneiss) จนถึงยุคเทอร์เชียรี ซึ่งเป็นพวกหินกรวดมน โดยมีหินไนส์เป็นหินที่เกิดเป็นแกนใหญ่ ปรากฏทางทิศตะวันตกของพื้นที่ ซึ่งเรียงตัวในแนวเหนือ – ใต้ และทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือและที่บริเวณยอดดอยอินทนนท์ รองลงมาเป็นหินแกรนิตปรากฏกระจายอยู่ทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ พบหินแกรนิตไดโอไรต์ทางตอนกลางของพื้นที่ พบหินปูนทางทิศตะวันออกสุดของพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีหินกรวด หินทรายและหินฟิลไลต์ (Phyllite) อีกด้วย ดอยอินทนนท์เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาถนนธงชัยทางด้านทิศตะวันตก พบหินไนส์ที่มีอายุในมหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian Era) และจัดให้เป็นหินฐานรากเนื้อผลึก (Crystalline basement) เนื่องจากเป็นหินแปรเกรดสูง อยู่ใต้หินตะกอนและหินแปรของมหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic Era) (Baum et al., 1982, อ้างโดย นิวัติ, 2546) หินไนส์ เป็นหินที่พบเป็นส่วนใหญ่ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ หินไนส์ที่พบจะเป็นหินชนิด Sillimanite Gneiss เช่นที่บริเวณยอดดอยอินทนนท์ และหิน Biotite Gneiss ซึ่งมีสีเทา-เทาอ่อน เนื้อหยาบและหยาบปานกลาง ประกอบไปด้วยแร่ธาตุ ควอร์ต (Quartz) มัสโคไวท์ (Muscovite) ไบโอไตท์ (Biotite) ไมกาชีสต์ (Micro-Schist) และเฟลด์สปาร์ (Feldspar) และแร่อื่นๆ (สำนักอุทยานแห่งชาติ, 2556)

5.3 ชนิดป่าไม้อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์

จากการสำรวจของ ธวัชชัย สันติสุข (2541) ได้แบ่งออกได้ดังนี้

5.3.1 ป่าเบญจพรรณ (Mixed Deciduous Forest; MDF) หรือป่าผลัดใบผสมมีกระจายทั่วไปในระดับต่ำกว่า 800 เมตร เป็นพื้นที่ค่อนข้างราบตามเชิงเขา ที่ลาดชันต่ำและปานกลาง พื้นที่ที่มีความ

ชุ่มชื้นสูงและสภาพดินที่ยังไม่ถูกชะล้างมากเท่าดินป่าเต็งรัง เรือนยอดของป่าเบญจพรรณจะมี ต้นไม้ชนิดต่างๆ ขึ้นปะปนกัน ไม่มีพืชโคชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นไม้เด่น องค์ประกอบของป่าค่อนข้าง หลากหลาย ป่าชนิดนี้มีไม้วงศ์ Leguminosea วงศ์ Labiatae วงศ์ Combretaceae และวงศ์ Lythraceae

5.3.2 ป่าเต็งรัง (Dry Dipterocarp Forest; DDF) พบป่าชนิดนี้ขึ้นในพื้นที่แล้งตามไหล่เขา และตามสันเขา ที่ระดับความสูง 600-800 เมตร ป่าเต็งรังจะมีเรือนยอดเปิด โดยทั่วไปต้นไม้จะมีความสูงต่ำกว่า 20 เมตร ไม้เด่น คือ ยางกราด *Dipterocarpus intricatus* Dyer., เหียง *D. obtusifolius* Teijsm. ex Miq., พลวง *D. tuberculatus* Roxb., เต็ง *Shorea obtuse* Wall. และรัง *S. siamensis* Miq. (วงศ์ Dipterocarpaceae)

5.3.3 ป่าเต็งรัง-ไม้สน (Pine-Deciduous Dipterocarp Forest; PDDF) ป่าชนิดนี้ขึ้นในระดับ ความสูง 800-1,200 เมตร คล้ายกับป่าเต็งรังแต่จะเด่นที่มีเรือนยอดของไม้สนสูงเด่น และมีไม้อื่นที่เป็นพรรณไม้ป่าดิบเขาแทรกอยู่ด้วย ปกติป่าชนิดนี้จะมีเรือนยอด 3 ระดับชั้น ชั้นที่ 1 เป็นไม้สน สองใบ *Pinus merkusii* Jungh. & Vriese ex Vriese. (วงศ์ Pinaceae) และมีไม้สนสามใบ *P. kesiya* ปะปนอยู่ด้วยส่วนไม้เด่นในเรือนยอดนี้ คือ ไม้ยางหลายชนิด (Dipterocarps) เช่นเดียวกับป่าเต็งรัง พืชล่างเป็นพวกหญ้า

5.3.4 ป่าดิบแล้ง (Dry Evergreen Forest; DEF) ป่าประเภทนี้จะมีสีเขียวตลอดปีทั้งในฤดู ฝนและฤดูแล้ง มักพบตามที่ชุ่มชื้นบริเวณหุบเขา ลำห้วย น้ำตก ตั้งแต่ที่ต่ำจนถึง 900 เมตรจากระดับน้ำทะเล โครงสร้างของป่ามีเรือนยอด 3 ชั้น โดย 2 ใน 3 ของไม้เรือนยอดหลักเป็นไม้ไม่ผลัด ใบ ไม้สำคัญ อาทิเช่น วงศ์ Meliaceae, Myetaceae, Anacardiaceae เป็นต้น

5.3.5 ป่าดิบเขา (Montane Forest) พบที่ความสูงตั้งแต่ 700 เมตรเป็นต้นไป โดยแบ่ง ออกเป็น ป่าดิบเขาดำ และป่าดิบเขาสูง มีรายละเอียดดังนี้

1) ป่าดิบเขาดำ (Lower Montane Rain Forest; LMRF) แบ่งย่อยออกเป็น 3 ชนิดตามสภาพ และองค์ประกอบของพรรณไม้ ได้แก่ ป่าดิบเขาดำ ป่าไม้ก่อ และป่าไม้ก่อ-ไม้สน

1.1) ป่าดิบเขาดำ (Lower Montane Rain Forest; LMRF) ป่าดิบเขาดำมีเรือนยอด แน่นทึบ คล้ายป่าดิบชื้นและป่าดิบแล้ง แต่แตกต่างกันที่องค์ประกอบของพรรณไม้ ในป่าดิบเขาดำ พรรณไม้ที่เด่นพบทั่วไป ได้แก่ ไม้วงศ์ Facaceae, วงศ์ Lauraceae, วงศ์ Magnoliaceae และวงศ์ Theaceae ป่าดิบเขาดำอยู่ตามที่ลาดชันชุ่มชื้น และแอ่งน้ำในหุบเขาสองข้างน้ำ ป่าดิบเขาดำพบที่ ความสูงต่ำกว่า 1,000 เมตร และมักกลืนไปกับป่าดิบแล้ง ส่วนพื้นที่สูงกว่า 1,800 เมตรขึ้นไป ป่าดิบ เขาดำจะกลืนไปกับป่าดิบเขาสูง ไม่มีขอบเขตแบ่งที่ชัดเจน และ โครงสร้างของป่ามี 3 ชั้นเรือนยอด ไม่มีไม้พื้นล่างและไม้เลื้อยเนื้อแข็งมากนัก

1.2) ป่าไม้ก้อ (Lower Montane Oak Forest; LMOF) ป่าไม้ก้อเป็นป่ารุ่นสอง (ป่าที่ชาวเขาทิ้งร้างไปนานแล้ว) หรือป่าดิบเขาเดิม มีทั้งป่าก้อโปร่งและป่าก้อทึบ โดยเป็นป่าที่ค่อนข้างแน่นและเรือนยอดปิด ไม้พุ่มและไม้ล้มลุกไม้ก้อยพบ กิ่งของต้นไม้จะมีไลเคนปกคลุมหนาแน่น ส่วนป่าเปิดที่เป็นลักษณะหนึ่งของป่าไม้ก้อ จะมีไม้ต้นเรือนยอดโปร่งแตกกิ่งต่ำ เป็นเพราะพืชโคนไฟและ โคนตัดฟัน จะมีหญ้าขึ้นหนาแน่น และมีกลุ่มของเฟิร์นก้านดำ ไม้เด่นที่พบได้แก่ ไม้วงศ์ก้อ *Facaceae* สกุล *Castanopsis*, *Lithocarpus* และ *Quercus* เป็นต้น

1.3) ป่าไม้ก้อ-ไม้สน (Lower Montane Pine-Oak Forest; LMPSE) ป่าชนิดนี้มีพรรณไม้คล้ายป่าไม้ก้อ แต่ต่างกันที่ป่าชนิดนี้มีไม้สนสามใบ *Pinus kesiya* Royle ex Gordon. ขึ้นกระจายตั้งแต่สองสามต้นจนถึงขึ้นเป็นกลุ่มหนาแน่น โดยป่าชนิดนี้จะขึ้นหนาแน่นตามสันเขาที่โล่งแจ้ง ความชันปานกลาง ที่ระดับความสูงระหว่าง 1,000-1,400 เมตร และจะลดลงที่ระดับความสูงกว่า 1,500 เมตรขึ้นไป ซึ่งจะพบไม้สนอยู่ห่างๆ กัน ไม้เรือนยอดเด่น (สูง 30-40 เมตร) ได้แก่ สนสามใบ ส่วนไม้อื่นเป็นพืชในวงศ์ *Facaceae* ที่พบในป่าดิบเขาดำ

2) ป่าดิบเขาสูง (Upper Montane Rain Forest; UMRF) ป่าชนิดนี้จะพบที่ระดับความสูง 1,800 เมตรเป็นต้นไป ต้นไม้มีความหนาแน่นและความสูงไม่ถึง 20 เมตร และมีความแตกต่างกับป่าดิบเขาดำที่องค์ประกอบของพรรณไม้โดยไม้เด่นของป่าดิบเขาดำจะค่อยๆ หายไปเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น พรรณไม้ที่สำคัญวงศ์ก้อ เช่น ก่อเรียบ พรรณไม้วงศ์ *Theaceae* ได้แก่ ทะโล้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพืชของอาศัย (เฟิร์น มอสส์ และไลเคน) เกาะตามกิ่งบนเรือนยอดของต้นไม้ใหญ่อีกด้วย

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้เขียนได้เรียบเรียงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารและงานวิจัยภายในประเทศ

สุจิตี บุญสร้าง และ วันชัย อรุณประภรณ์ (2554) ศึกษาการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับค่าการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่าย ดาวเทียม LANDSAT 5 TM ใน ปี 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 ผลการศึกษาพบว่า ป่าดิบแล้งมีสมการที่เหมาะสมที่สุด คือ $CS = 630.339 (R) - 74.019$ และมีค่า

สัมประสิทธิ์กำหนด (R^2) เท่ากับ 0.839 ป่าดิบเขามีสมการที่เหมาะสม 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 ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน ในปี พ.ศ. 2550 โดยใช้สมการที่เหมาะสมสำหรับป่าประเภทต่างๆ นั้น สามารถประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้ทั้งสิ้น 8,886,516.9 ตันคาร์บอน โดยป่าประเภทต่างๆ มีอัตราการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินแตกต่างกันไปโดยที่ป่าดิบแล้งมีอัตราการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ ป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ตามลำดับ (129, 102.43, 80.16, และ 54.68 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์)

พิทักษ์ ไชยลังกา (2553) ศึกษาการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่ายูคาลิปตัสจากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล: กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา โดยมีวัตถุประสงค์ คือ สร้างแบบจำลองการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่ายูคาลิปตัส จัดทำแผนที่สวนป่าจากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล และประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่ายูคาลิปตัส โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT -TM (ปี พ.ศ. 2552) ผลการสร้างแบบจำลองการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่ายูคาลิปตัสที่อาศัยการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุนามเชิงเส้นระหว่างข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากแปลงสำรวจ 55 แปลงกับสมการค่าความสว่าง 5 แบนด์ และค่าดัชนีในรูปแบบต่างๆ จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม พบว่า สมการมี 2 รูปแบบ คือ (1) $ABG_{EP} = 661.011 + 127.288 (Greenness)$ และ (2) $ABG_{EP} = 1,113.145 + 78.316 (Greenness) + 2,561.736 (NDWI)$ ค่า R^2 และค่าการประมาณความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสมการถดถอย (SEE) เท่ากับ 0.718 และ 533.011 กิโลกรัม และ 0.741 และ 515.718 กิโลกรัม ตามลำดับ และผลการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองโดยอาศัยการพล็อตค่าคู่ความสัมพันธ์และวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ค่าประมาณและค่าสังเกตการณ์ พบว่าสมการในรูปแบบที่ (2) มีความเหมาะสมกว่าแบบที่ (1) สำหรับการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่ายูคาลิปตัสจากแบบจำลอง พบว่ามี 999,143.97 ตันและค่าคาร์บอนสะสม มีค่าเท่ากับ 499,571.99 ตัน และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT -TM สามารถนำมาหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการสำรวจภาคสนามและข้อมูลดัชนี Greenness และ NDWI

ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ วาสนา พุฒกลาง อัครเดช นังตะลา และพงษ์เทพ วรรณรส (2552) ศึกษาการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากดาวเทียม THEOS สำหรับหาพื้นที่ยางพารา มี

วัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการวิเคราะห์พื้นที่ปลูกยางพาราตามช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตด้วยข้อมูลจากดาวเทียม และเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของดาวเทียม THEOS ในหาพื้นที่ปลูกยางพาราโดยวิธีเปรียบเทียบจากดาวเทียม SPOT-5 พื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณรอยต่อ 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเลย หนองคาย และอุดรธานี ซึ่งมีลักษณะภูมิสภาพที่มีความหลากหลาย มีทั้งพื้นที่ภูเขาเชิงเขาและพื้นที่ลุ่มกึ่งลอนลาด โดยวิธีศึกษาเริ่มจากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตของข้อมูลจากดาวเทียม SPOT-5 (PAN/MS) ถ่ายเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2549 ด้วยวิธี Image to image โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM เป็นภาพอ้างอิง ต่อจากนั้นเป็นการเน้นข้อมูลภาพ และใช้ภาพที่ปรับแก้แล้วข้อมูลจากดาวเทียม SPOT-5 มาปรับแก้อีกครั้งหนึ่งด้วยวิธี Image to Image กับข้อมูลจากดาวเทียม THEOS และทำการเน้นข้อมูลก็จะได้ภาพอีกชุดหนึ่ง จากนั้นนำภาพทั้งสองชุดไปวิเคราะห์พื้นที่ปลูกยางพาราและนำมาตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธี Kappa Statistic และจากการสำรวจภาพสนาม จากนั้นนำมาเปรียบเทียบสมรรถนะความแยกชัด ผลสรุปว่า ข้อมูลจากดาวเทียม THEOS ในระบบ Panchromatic มีสมรรถนะในการวิเคราะห์หาพื้นที่ปลูกยางพาราได้ทุกช่วงอายุ โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกใหม่ ความแตกต่างของการได้มาซึ่งข้อมูลพื้นที่ปลูกยางพาราระหว่างข้อมูลจากดาวเทียม THEOS และ SPOT-5 อยู่ที่อายุน้อยกว่า 3 ปี และเพื่อการตีความที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผู้แปลต้องมีความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพ

ภัทรา ชัยเพียรเจริญกิจ (2551) ศึกษาศักยภาพด้านความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลจากดาวเทียม THEOS เพื่อประโยชน์ในการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งมุ่งเน้นลักษณะพื้นที่สวนลำไย การจำลองข้อมูลจากดาวเทียม THEOS รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร ได้มาจากข้อมูลดาวเทียม QUICKBIRD รายละเอียดจุดภาพ 0.60 เมตร และการจำลองข้อมูลจากดาวเทียม THEOS รายละเอียด 15 เมตร โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT-5 รายละเอียด 10 เมตร การจำลองข้อมูลสร้างจากเทคนิค 3 เทคนิค คือ 1) การประมาณค่าจากตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor Interpolation : NN) 2) การประมาณค่าแบบเส้นคู่ (Bi-Linear Interpolation : BL) 3) การประสานเชิงลูกบาศก์ (Cubic Convolution Interpolation : CC) ผลปรากฏว่า มีความคล้ายคลึงกันมากทั้งในด้านความคมชัดของภาพข้อมูลและค่าเชิงสถิติของจุดภาพข้อมูลจนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ตัวแทนภาพจากข้อมูลที่ได้ ถูกนำไปทดสอบศักยภาพการจำแนกสิ่งปกคลุม เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามร่วมกับข้อมูลจากดาวเทียมรายละเอียดสูง QUICKBIRD ผลการศึกษามาตราส่วนที่เหมาะสมในการจำแนกอยู่ที่ช่วง 1:2,000 – 1:4,000 อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการจำแนกของทั้ง 2 ดาวเทียมมีความใกล้เคียงกัน

ชมพู ญูรอดกลับ และ สคาร ที่จันทิก (2551) ศึกษาโครงสร้างและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสังคมพืชบริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีสังคมป่า 5 สังคม จากแปลงตัวอย่างทั้งหมด 39 แปลง มีไม้ทั้งหมด 289 ชนิด 150 สกุล 69 วงศ์ ความหนาแน่นเฉลี่ยของต้นไม้ของป่าเบญจพรรณต่ำที่สุด คือ 522 ต้น/เฮกแตร์ และมากขึ้นตามลำดับคือ ป่าเต็งรัง ป่าเต็งรังผสมสน ป่าดิบเขา ป่าสนผสมก่อ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1027, 1275, 1353 และ 1426 ต้น/เฮกแตร์ ค่าเฉลี่ยของ DBH และพื้นที่หน้าตัดของป่าเบญจพรรณมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 0.14% ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ ป่าเต็งรัง ป่าสนผสมก่อ และป่าดิบเขา มีค่าเท่ากับ 0.16, 0.39, 0.40 และ 0.60% ตามลำดับ ส่วนมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขามีค่าเฉลี่ยเหนือพื้นดินมากที่สุด คือ 197.21 ต้น/เฮกแตร์ รองลงมาคือ ป่าสนผสมก่อ ป่าเต็งรังผสมสน ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 192.96, 175.59, 58.03 และ 49.63 ต้น/เฮกแตร์ ตามลำดับ

จำลอง แปลกสระน้อย (2549) ศึกษาการประยุกต์การรับรู้จากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าดิบแล้งและป่าเต็งรัง บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จากข้อมูลดาวเทียม 2 ช่วงเวลา คือ ปี พ.ศ. 2537 และ 2546 จำแนกข้อมูลดาวเทียมจากการรับรู้จากระยะไกล และใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูลของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อประเมินหาพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่า และวางแผนสำรวจชนิดพันธุ์พืชเพื่อศึกษาสังคมชนิดพันธุ์พืชที่มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2548 ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ได้ 6 กลุ่ม ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง ป่าไผ่ ป่าปลูก พุ่มหญ้า และสิ่งปลูกสร้าง จากการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่ป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 ช่วงเวลา คือ ปี พ.ศ. 2537 และ 2546 พบว่า พื้นที่ดิบแล้งและพื้นที่ป่าเต็งรัง ในบริเวณพื้นที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราชมีการเปลี่ยนแปลงจำนวน 6 พื้นที่ รวมทั้งสิ้น 198.93 ไร่ หรือร้อยละ 0.40 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ป่าดิบแล้งเพิ่มขึ้น 198.93 ไร่ พื้นที่ป่าเต็งรังลดลง 128.15 ไร่ และพุ่มหญ้าพื้นที่ลดลง 70.78 ไร่ ส่วนการศึกษาสังคมป่าดิบแล้งและป่าเต็งรังในบริเวณพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง ปี พ.ศ. 2548 พบว่า ชนิดพันธุ์ไม้ที่มีความเด่นมากที่สุด ได้แก่ มะค่าโมง โดยมีค่าความสำคัญ (Importance value index หรือ IVI) มากกว่าพันธุ์ไม้ชนิดอื่นๆ บริเวณพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 พื้นที่ในอดีตเคยเป็นพื้นที่ที่ถูกบุกรุกแผ้วถาง ตัดไม้เผาป่า เพื่อทำไร่เลื่อนลอย ทำให้ผืนป่าที่เคยสมบูรณ์กลายเป็นป่าเสื่อมโทรม หลังจากที่มีประกาศของคณะรัฐมนตรีให้ใช้พื้นที่แห่งนี้เป็นป่าสงวนส่วนหนึ่งของป่าภูเขาวังน้ำเขียว เพื่อใช้เป็นพื้นที่ศึกษาวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช ในปี พ.ศ. 2510 ปัญหาการการบุกรุกพื้นที่จึงค่อยๆ หดไป ป่าเริ่มฟื้นฟูโดยทางธรรมชาติโดยการทดแทน บางพื้นที่กลุ่มไม้ดั้งเดิม

สามารถยึดครองพื้นที่ที่กลับมา และกลายเป็นไม้รุ่นสอง (Secondary forest) ในบริเวณพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่ 1, 2 ป่ารุ่นสองขยายขอบเขตพื้นที่ที่กว้างกว่าเดิมทำให้พื้นที่ไร่ร้างที่เป็นป่าพงและสาบเสือมีขนาดเล็กลงและเปลี่ยนสภาพโดยตลอด เนื่องจากสภาพพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่ 1, 2, 4, 5, 6 มีพื้นที่ติดกับแนวเขตพื้นที่ป่าดิบแล้งและพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นที่ทุ่งหญ้าและล้อมรอบพื้นที่ด้วยป่าดิบแล้งทำให้มีเมล็ดพันธุ์ไม้ปริมาณมากเข้าไปในไร่ร้างและทุ่งหญ้า ไม่ว่าจะอาศัยกระบวนการใดก็ตามเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมจึงงอกและเจริญเติบโตเป็นไม้ใหญ่ทดแทนวัชพืชจำพวก หญ้าคา สาบเสือ ไม้ พุ่มหนามต่างๆ และพันธุ์ไม้เบิกนำในพื้นที่ไร่ร้างและทุ่งหญ้าจึงเริ่มกลายเป็นป่าดิบแล้งขึ้นใหม่

นวลปราง นวลอุไร (2548) ศึกษาการเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศจากการสำรวจป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกล บริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน โดยวิธีการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ใช้การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (DBH) ของต้นไม้ที่มีขนาดมากกว่า 4.5 ซม.เป็นต้นไป ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของต้นไม้ (D-H relation) ในการประเมินความสูงของต้นไม้ คำนวณมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าโดยใช้สมการแอลโลเมตริก (Allometric equation) ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินมีค่าเป็น 0.5 เท่าของมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน ผลการศึกษาจากแปลงขนาด 30x30 ตารางเมตร จำนวน 9, 16, 50 และ 10 แปลง ในป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และป่าดิบชื้น ตามลำดับ พบว่า ป่าดิบชื้นมีปริมาณการเก็บกักคาร์บอนในมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดินที่สุด 168.0 ± 4 $61.32, 34.26 \pm 24.18$ และ 29.31 ± 9.17 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ ส่วนการประเมินค่าดัชนีพื้นที่ผิว มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินจากการรับรู้จากระยะไกล ศึกษาโดยใช้ดาวเทียม การวางตำแหน่งแปลงตัวอย่างใช้เทคนิค GPS (Global positioning system) ค่าพิกัดตำแหน่งของแปลงตัวอย่างได้จากการแปลงค่าพิกัดจุดภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-TM ที่นำมาหาค่าความส่องสว่าง (Brightness values) เพื่อใช้เป็นดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่างๆ ข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-TM นำมาหาความสัมพันธ์กันในรูปแบบของสมการความถดถอยแบบเส้นตรง ผลการศึกษาพบว่า เมื่อกำหนดให้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นตัวอิสระ และข้อมูลจากภาคสนามเป็นตัวแปรตาม ได้ค่าดัชนีพื้นที่ใบและมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน จากรูปแบบสมการที่ดีที่สุดของป่าแต่ละชนิดดังนี้ ป่าดิบชื้น มีค่าดัชนีพื้นที่ใบโดยเฉลี่ยมากที่สุด 7.68 รองลงมาได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.81, 3.38 และ 3.27 ตามลำดับ ขณะที่มวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบชื้นมีค่าโดยเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ

336.12 ตัน/เฮกแตร์ รองลงมาได้แก่ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 207.70, 68.53 และ 58.63 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ

จิรนนท์ ชีรกุลพิศุทธิ์ (2546) ศึกษาศักยภาพการสะสมธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าทองผาภูมิ โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 2) ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ ในส่วนแรกทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก ≥ 4.5 เซนติเมตรของต้นไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่างแล้วคำนวณจากสมการแอลโลเมตริก การสะสมคาร์บอนเหนือพื้นดินคำนวณโดยนำค่ามวลชีวภาพคูณด้วย conversion factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 ผลการศึกษาพบว่าการสะสมธาตุคาร์บอนแตกต่างกันในป่าแต่ละประเภท โดยป่าดิบชื้น มีค่าสูงกว่า (KP 27) และป่าเบญจพรรณ โดยค่าที่ได้ตามลำดับดังนี้ 137.73 ± 48.07 , 70.81 ± 1.08 , 70.29 ± 7.38 48.14 ± 16.72 ตัน คาร์บอน / เฮกแตร์ เนื่องจากความหลากหลายในแง่ของที่อยู่อาศัยในป่าแต่ละประเภทส่งผลให้การสะสมของมวลชีวภาพ องค์ประกอบของพันธุ์พืช และความสัมพันธ์แอลโลเมตริกที่ใช้ในป่าแตกต่างกันไป รูปแบบการกระจายของขนาดต้นไม้ในพื้นที่ศึกษามีความคล้ายคลึงกัน คือต้นไม้ที่พบมากที่สุด คือขนาด $\geq 4.5 - 20$ เซนติเมตร ซึ่งต้นไม้ที่มีขนาดเล็กเหล่านี้เป็นขนาดของกลุ่มไม้ที่มีศักยภาพต่ำสุดในการสะสมคาร์บอนแต่จะเป็นตัวหลักบอกลักษณะของป่าในอนาคต โดยกลุ่มไม้เหล่านี้จะเจริญต่อไปนั้นหมายถึงกลุ่มไม้ที่มีความสามารถที่จะเพิ่มการสะสมมวลชีวภาพและธาตุคาร์บอนได้ขึ้นไปอีก ส่วนการประเมินหาอัตราผลผลิตขั้นปฐมภูมียุบนพื้นฐานของการใช้ Miami model โดยปัจจัยที่คำนึงถึงได้แก่ อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จากการศึกษาพบว่าอัตราผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินประมาณค่าได้เท่ากับ 10.34 ตัน คาร์บอน / เฮกแตร์ / ปี และพบว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อาจเป็นเพราะว่าพื้นที่ในการศึกษาตั้งอยู่ในเขตร้อนที่มีปริมาณแสงและอุณหภูมิไม่ได้เป็นปัจจัยจำกัดสำหรับผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของป่า

เอกสารและงานวิจัยต่างประเทศ

Chave et al. (2005) ศึกษาและปรับปรุงสมการแอลโลเมตริกเพื่อประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอนในป่าเขตร้อน พบว่าป่าเขตร้อนเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนขนาดใหญ่แต่ยังไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้อย่างถูกต้อง วิธีการหนึ่งที่สามารถคำนวณหาค่ามวลชีวภาพได้คือการวางแผนศึกษาในระยะยาวและหาแบบจำลองความสัมพันธ์ที่ได้จากแปลงตัวอย่างเพื่อนำไปประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ศึกษาโดยนำแบบจำลองที่เกี่ยวข้องจากป่าเขตร้อนและข้อมูลตัวอย่างจากต้นไม้ 2,410 ต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรรวมทั้งข้อมูลจาก 27 พื้นที่ศึกษานำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและความหนาแน่นของเนื้อไม้, พื้นที่หน้าตัดของลำต้น และ

ความสูงของต้นไม้ และพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว และสมการทั้งหมดใช้ทดสอบทั้งป่าเดิมและป่าที่เกิดใหม่ เช่น ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้นในพื้นที่ลุ่ม ป่าดิบเขาและป่าโกงกาง การประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจะใช้ตัวแปรความโน้มถ่วงจำเพาะของไม้ ความสูงในป่าชนิดต่างๆ โดยให้ความคาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.5 – 6.5% เพื่อประเมินค่าคาร์บอนทั้งหมดในวัฏจักรอันเป็นผลมาจากการตัดไม้ทำลายป่า โดยสมการที่ดีที่สุดในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน แบ่งตามประเภทป่าได้ดังนี้

Dry forest stands:

$$(AGB)_{est} = \exp(-2.187 + 0.961x \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.112 x (\rho D^2 H)^{0.916}$$

$$(AGB)_{est} = \rho x \exp(-0.667 + 1.784 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3)$$

Moist forest stands:

$$(AGB)_{est} = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.0509 x \rho D^2 H$$

$$(AGB)_{est} = \rho x \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3)$$

Moist mangrove forest stands:

$$(AGB)_{est} = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.0509 x \rho D^2 H$$

$$(AGB)_{est} = \rho x \exp(-1.349 + 1.980 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3)$$

Wet forest stands:

$$(AGB)_{est} = \exp(-2.557 + 0.940 x \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.0776 x \rho D^2 H^{0.940}$$

$$(AGB)_{est} = \rho x \exp(-1.239 + 1.980 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3)$$

Weiguo L. et al. (2006) ศึกษาการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของระบบนิเวศโอเอซิสกับดัชนีพืชพรรณที่ Fukang, Xinjiang China โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม MODIS วิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ 4 ตัวแปร คือ NVDI DVI RVI และ MSAVI พื้นที่ศึกษามีขนาด 30,700 ตร.กม. แต่สุ่มมาใช้วิเคราะห์ 53 แปลง (250x250 ม.) และนำมาหาความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพเพื่อหาสมการที่เหมาะสมในการประเมินค่ามวลชีวภาพ ผลการศึกษาพบว่า สมการที่ดีที่สุดคือ $Y = -593.3NDVI^3 + 7509.7NDVI^2 - 1268.9NDVI + 191$

Navar. (2009) ศึกษาสมการแอลโลเมตรีเพื่อประเมินชนิดพรรณไม้และปริมาณกักเก็บคาร์บอนสำหรับป่าภาคตะวันตกเฉียงเหนือของเม็กซิโก จากต้นไม้ 872 ชนิดโดยวิธีการตัดส่วนต่างๆ ของพันธุ์ไม้คือ ใบ กิ่ง ลำต้นและราก และสมการแอลโลเมตรีนี้ใช้เพียง เส้นผ่าศูนย์กลางเพียงออก (DBH) เป็นตัวแปรอิสระและใช้การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงสำหรับตัวแปรในสมการยกกำลังสอง ผลการศึกษาพบว่า 31 สมการสามารถนำไปใช้ประเมินค่ามวลชีวภาพทั้ง 3 อย่างคือ ลำ

ต้น กิ่งใบ เนื้อพื้นดินและรากได้ตามชนิดพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกัน 10 กลุ่ม โดยค่าปริมาณกักเก็บคาร์บอนของป่ามีค่า 130 Mg ha^{-1} และค่ามวลชีวภาพเนื้อพื้นดินมีค่า 73 Mg ha^{-1}

Jukka Miettinen, and Soo Chin Liew (2009) ศึกษาการประเมินการกระจายของค่ามวลชีวภาพในคาบสมุทรมมาเลเซีย หมู่เกาะสุมาตราและเกาะบอร์เนียว โดยใช้การปกคลุมของพื้นที่จากดาวเทียมความละเอียดหลายระดับ การศึกษาครั้งนี้ใช้แผนที่การปกคลุมดินความละเอียดสูง (20 เมตร) ที่สกัดมาจากแผนที่การปกคลุมดินความละเอียดปานกลาง (500 เมตร) โดยสามารถนำไปประเมินมวลชีวภาพในแผนที่ที่สิ่งปกคลุมดินความละเอียดปานกลางได้ รวมทั้งยังสามารถติดตามขอบเขตการปกคลุมพื้นที่ป่าได้อีกด้วย แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้ประเมินมวลชีวภาพเนื้อพื้นดินในพื้นที่ใหญ่ๆ ได้ 1 ใน 4 ของพื้นที่ศึกษาถูกปกคลุมโดยจุดภาพขนาดเล็ก (500 เมตร) ที่หลอมรวมจากชนิดการปกคลุมดินประเภทต่างๆ รวมกันได้มวลชีวภาพ 14% ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่ามีมากกว่า 60% ของพื้นที่ทั้งหมดและมีค่ามวลชีวภาพ 43% โดยในพื้นที่นี้โครงสร้างของสิ่งปกคลุมดินที่มีค่าสูงๆ จะมีผลต่อค่ามวลชีวภาพอย่างมาก และสรุปได้ว่าการติดตามพื้นที่ป่าหรือการปกคลุมดินสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมความละเอียดปานกลางในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ได้ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

Sungpalee et al. (2009) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงและลักษณะการกระจายของความหนาแน่นเนื้อไม้ในป่าดิบเขาภาคเหนือของประเทศไทย พบว่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ในป่าเขตร้อนจะมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของชนิดพันธุ์ไม้ ไม่ว่าจะเป็น ขนาด อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการตาย และคาดคะเนความสัมพันธ์ภายในกลุ่มระหว่างลักษณะการกระจายความหนาแน่นของเนื้อไม้กับสภาพแวดล้อมขนาดเล็กเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเนื้อไม้ที่มีขนาดใหญ่กว่า การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเจาะเนื้อไม้ 515 ต้นจาก 72 ชนิดพันธุ์ จากแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 เฮกแตร์ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ความแตกต่างของความหนาแน่นเนื้อไม้ ลักษณะการกระจายของความหนาแน่นของเนื้อไม้ ผลการศึกษาความแตกต่างภายในชนิดพันธุ์ไม้เดียวกันมีค่าต่ำกว่าความแตกต่างระหว่างต่างชนิดของพันธุ์ไม้กัน (20% ต่อ 80% ของความแตกต่างทั้งหมด) แสดงให้เห็นว่าชนิดของพันธุ์ไม้มีค่าความหนาแน่นแตกต่างกัน ค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่างชนิดกันจะมีค่าแปรผกผันกับขนาดความโตสูงสุด อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการตายของกล้าไม้ ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นมีค่าผกผันกับความสูงของพื้นที่ ความลาดชันสูงและอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการตายของกล้าไม้ แต่ความลาดเอียงของความลาดชันมีค่าแปรผันตามกับค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ โดยความลาดชันด้านทิศตะวันออกมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าทิศตะวันตก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ศึกษา บริเวณสันเขาหันหน้าไปทางทิศตะวันออก และยังพบว่าสภาพลมแรงซึ่งจะส่งผลกระตุ้นให้ต้นไม้อัตราการเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้มีค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ต่ำตามไปด้วย

บทสรุปจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกลนั้นส่วนใหญ่ใช้ค่าดัชนีพืชพรรณดังนี้ คือ NDVI TVI GVI IR/R และใช้สมการถดถอยหาความสัมพันธ์กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนได้โดยส่วนใหญ่พบว่า ป่าดิบเขา มีอัตราการกักเก็บคาร์บอนได้มากที่สุด ส่วนในพื้นที่ป่าปลูก ค่าดัชนีพืชพรรณที่นิยมนำมาใช้กับสมการคือ Greenness NDWI

สำหรับการหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าไม้ นั้น นิยมใช้สมการของ Ogawa et al. (1961) ในป่าดิบเขา โดยคำนวณจากการหาค่าน้ำหนักแห้งของลำต้น ใบ กิ่ง และขนาดความโตของต้นไม้ (DBH) อีกวิธีการหนึ่งซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อย และรวดเร็ว คือการใช้สมการ Allometric ที่ใช้ค่ามวลชีวภาพจากภาคสนามและนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณของดาวเทียม เช่น ค่าความส่องสว่าง ค่าดัชนีพื้นที่ใบ ซึ่งค่าดัชนีที่ใช้จะมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของป่า และลักษณะทางภูมิประเทศ สำหรับสมการ Allometric ที่นิยมนำมาอ้างอิงและใช้กันมากที่สุดในขณะนี้คือ สมการของ Chave et al. (2005) ซึ่งจะใช้ค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ หรือพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ มาใช้ในการประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าประเภทต่างๆ ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียมสามารถนำมาใช้ในการประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเชื่อมั่นมากถึง 70-80%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินมวลชีวภาพป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ตามวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ 1) เพื่อจำแนกประเภทป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ และ 2) เพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การจำแนกประเภทป่าไม้ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และรวบรวมข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ ในระบบข้อมูลตัวเลขบันทึก บันทึกในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551
2. ครอบคลุมพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่
3. แผนที่ดิจิทัลภูมิประเทศ จากกรมแผนที่ทหาร มาตรฐาน 1:50,000 ลำดับชุด L7018 ระวังแผนที่ 4746III
4. ข้อมูลภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มาตรฐาน 25,000 ปี พ.ศ. 2550
5. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ความเร็วหน่วยประมวลผลกลาง Core II dual 2.0 GHz. หน่วยความจำ 2 GB. แลหน่วยเก็บข้อมูล 250 GB.
6. เครื่องมือกำหนดตำแหน่งพิกัดบนโลก (GPS)
7. เข็มทิศ
8. กล้องถ่ายรูป
9. เครื่องพิมพ์ และ Plotter

10. โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม ERDAS IMAGINE จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
11. โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS จากคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ขั้นตอนการจำแนกพื้นที่ประเภทป่าไม้จากข้อมูลดาวเทียม

การจำแนกพื้นที่ประเภทป่าไม้บนข้อมูลดาวเทียม เป็นการแปลตีความข้อมูลพื้นที่ประเภทป่า ออกจากพื้นที่การใช้ประโยชน์อื่นๆ บนข้อมูลจากดาวเทียม ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การเตรียมข้อมูลเบื้องต้น (Pre-Processing)

1.1 คัดเลือกข้อมูลดาวเทียมในช่วงเวลาที่ปราศจากเมฆ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ ที่บันทึกวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 และเลือกแบนด์ 5-6-4 (R-G-B)

1.2 การแสดงภาพ เป็นการเรียกข้อมูลจากแหล่งจัดเก็บ ซึ่งอยู่ในรูปของตัวเลขมาแสดงเป็นภาพในปัจจุบัน การแสดงผลออกมาทางจอภาพ โดยการเปลี่ยนค่าตัวเลขในแต่ละช่วงมาเป็นค่าความเข้มของแสงเป็นภาพขาว-ดำได้พร้อมกันทั้ง 3 แบนด์ และเมื่อหาค่าความเข้มของแสงเป็นสีต่างๆ กันในแต่ละแบนด์แล้วนำมาซ้อนเข้าด้วยกันทำให้เกิดเป็นภาพสีผสมขึ้น (Color Composite) สำหรับภาพสีที่นิยมใช้ คือ ภาพสีผสมเท็จ (False Color Composite)

2. การเน้นภาพให้สมบูรณ์ (Image Enhancement)

ขบวนการสร้างภาพกลับคืน (Image Restoration) หรือปรับปรุงข้อมูลที่มีข้อบกพร่องในคุณสมบัติต่างๆ ให้มีความถูกต้องตรงตามความเป็นจริงและให้มีความละเอียดชัดเจนตามเป้าหมายเพื่อเตรียมในการวิเคราะห์ต่อไป ประกอบไปด้วย

2.1 การแก้ระดับความเข้มสีเทา (Radiometric Correction) การแก้ระดับสีเทาที่อาจผิดพลาดจากอุปกรณ์บันทึกภาพ หรือจากมุมแสงอาทิตย์ (Sun Angle) หรือจากการแผ่กระจายพลังแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านชั้นบรรยากาศ ทำให้ได้ข้อมูลควมถ่วงสมบูรณ์และเป็นการปรับค่าข้อมูลบริเวณเดียวกัน แต่บันทึกในต่างวันต่างฤดูให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน

2.2 การปรับแก้ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) การบิดเบือนของตำแหน่งในภาพเนื่องจากความผิดพลาดของการโคจรและระบบการบันทึกของภาพดาวเทียมโดยอาศัยจุดยึดโยงจากแผนที่ข้อมูลจะได้รับการแก้ไขให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและสอดคล้องกับตำแหน่งบนพื้นโลกตามระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ หรือพิกัด UTM ของแผนที่ในที่นี่ใช้แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 มาทำการปรับแก้ให้เป็นไปตามระบบมาตรฐานทางแผนที่มาตราส่วน

1:50,000 ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันของประเทศไทย คือระบบ UTM หรือ Universal Transverse Mercator รูปทรงรี (Ellipsoid) และพื้นหลักฐานทางราบ (Horizontal Datum) ในระบบ World Geodetic System 1984 (WGS 1984) โดยอ้างอิงกับพื้นที่ภูมิประเทศ ลำดับชุด L7018 โดยใช้แบบจำลอง Polynomial Order 2 ในการคำนวณค่าพิกัดใหม่ที่อ้างอิงจากแผนที่ภูมิประเทศชุด L7018 ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งต้องใช้จุดควบคุมประมาณ 20 จุดต่อข้อมูลจากดาวเทียม 1 ภาพ และมาความคาดเคลื่อน (Root Mean Square Error/RMS) ไม่เกิน 1.0

3. การเน้นคุณภาพข้อมูล (Image Enhancement) การปรับปรุงค่าระดับความเข้มสีเทาของข้อมูลโดยการเลือกวิธีเน้นคุณภาพให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลใหม่ตามที่ต้องการศึกษาทำให้การวิเคราะห์ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้วิธียืดความเข้มสีเทา เดิมอยู่ในช่วงแคบๆ ให้กระจายกว้างขึ้นโดยเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งทำได้หลายวิธี คือ

3.1 Linear Contrast Stretch เป็นการขยายค่าความเข้มสีเทาเดิมให้มีค่ามากยิ่งขึ้นตามสมการเส้นตรง

3.2 Histogram Equalization เป็น Non-Linear Contrast Stretch โดยการกระจายค่าความเข้มสีเทาให้เป็นการกระจายแบบปกติ คือให้จำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความเข้มมีจำนวนใกล้เคียงกัน

3.3 Piecewise Stretch การขยายค่าความเข้มสีเทาเฉพาะช่วงที่ต้องการให้ขยายออกไป ทำให้ได้ข้อมูลชัดเจนเฉพาะช่วงที่ต้องการ

3.4 Rationing Image การหาอัตราส่วนระหว่างแบนด์ โดยนำค่าความเข้มของแบนด์หนึ่งในแต่ละจุดภาพเดียวกัน ภาพที่ได้ใหม่สามารถเน้นเฉพาะพืชพรรณให้มีความแตกต่างจากพื้นที่อื่นๆ

3.5 Principle Component Analysis (PCA) เทคนิคการเน้นภาพโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของการสะท้อนแสงที่มีค่าซ้ำซ้อนกันเพื่อสร้างภาพใหม่ให้มีขนาดเล็กลงและได้ภาพที่มีข้อมูลรายละเอียดครบถ้วนและมีคุณภาพเด่นชัดขึ้น

3.6 Color Composite Image การทำภาพสีผสมจากข้อมูลจากดาวเทียมสามารถทำได้โดยการนำข้อมูลจากดาวเทียมขาวดำ 3 ช่วงคลื่นใดๆ มาผสมเป็นภาพสีผสมให้รายละเอียดข้อมูลด้านต่างๆ ชัดเจนกว่าภาพขาวดำ โดยสามารถทำได้ทั้งภาพที่ถ่ายวันเดียวกัน (Single-Data Image) และภาพจากดาวเทียมหลายวัน (Multi-date Image) รวมทั้งภาพจากดาวเทียมต่างกัน

4. การกำหนดประเภทข้อมูล (Nomenclature Identification)

การกำหนดประเภทข้อมูลเป็นการกำหนดจำนวนและคุณลักษณะของประเภทข้อมูล

ก่อนที่จะทำการแปลหรือตีความข้อมูล เพื่อควบคุมการแปลภาพให้ครอบคลุมลักษณะการใช้ที่ดิน หรือสิ่งปกคลุมดินทุกประเภทที่พบในพื้นที่ศึกษานั้นๆ และเป็นเกณฑ์ที่ช่วยในการตัดสินใจคิดว่าวัตถุที่พบเป็นประเภทใด ในการศึกษาครั้งนี้ออกแบบการกำหนดประเภทข้อมูล ออกเป็นพื้นที่ป่า และพื้นที่ไม่ใช่ป่าไม้

5. การจำแนกพื้นที่ประเภทป่าไม้บนข้อมูลจากดาวเทียม (Image Classification)

ก่อนการแปลข้อมูลภาพจะทำภาพสีผสม (Color Composite Image) โดยการนำข้อมูลภาพดาวเทียม จำนวน 3 ช่วงคลื่นมาผสมให้เกิดภาพสีผสมให้รายละเอียดข้อมูลต่างๆ ชัดเจนกว่าภาพขาวดำ โดยสามารถทำได้ทั้งภาพวันที่เดียวกัน และภาพจากดาวเทียมหลายวัน โดยการผสมสีแบบ 4 แบนด์ 5 แบนด์ และแบบ 3 ให้แสงผ่านสีแดง เขียว น้ำเงิน ตามลำดับ

การทำภาพผสมสีเท็จ (False Color Composite) ของข้อมูลจากดาวเทียมเป็นการเลือกใช้ค่าความสว่างของข้อมูลในแต่ละแบนด์ของดาวเทียมไทยโชด ผสมเป็นภาพผ่านแสงสีแดง เขียว น้ำเงิน (RGB) เพื่อให้พื้นที่ป่าไม้ปรากฏเป็นสีแดง-ม่วงแดง และเหมาะต่อการจำแนกด้วยสายตา

5.1 การจำแนกประเภทข้อมูลใช้แบบควบคุม (supervised Classification) และจำแนกประเภทป่าออกเป็น 6 ประเภท ประกอบด้วย ป่าเบญจพรรณ, ป่าเต็งรัง, ป่าดิบเขา-ป่าสน, ป่าดิบเขา-ป่าดิบเขาสูง และพื้นที่การเกษตรและที่อยู่อาศัย

5.2 การใช้ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index)

การตีความพื้นที่ป่าไม้ได้นำดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) มาช่วยในการจำแนกเพื่อเพิ่มความถูกต้อง ดัชนีพืชพรรณเป็นค่าดัชนีชี้วัดถึงพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม พื้นที่ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่นจะมีความแตกต่างจากพื้นที่ที่พืชปกคลุมอยู่น้อยและมีความแตกต่างจากพื้นที่ที่ไม่มีพืชปกคลุม

ดัชนีพืชพรรณที่เลือกใช้เรียกว่า Normalize Difference Vegetation Index เป็นการคำนวณโดยนำค่าการสะท้อนแสงในรูปตัวเลข (Digital Number) ของพืชในช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาคำนวณผ่านเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ ในที่นี้คือเข้าสัดส่วนซึ่งกันและกัน แล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีปริมาณพืชปกคลุม กับบริเวณที่ไม่มีพืชพรรณ ปกคลุม ซึ่งใช้ติดตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพืชพรรณ NDVI ใช้ความแตกต่างของช่วงคลื่น ตามมองเห็นในช่วงคลื่นสีแดง พืชหรือคลอโรฟิลล์ในใบพืช จะดูดกลืนพลังงานช่วงคลื่นสีแดง ในทางตรงกันข้ามในแถบคลื่นช่วงคลื่นได้แดงใกล้ (Near Infrared) ใบและกิ่งก้านพืชจะสะท้อน ช่วงคลื่นได้แดงใกล้ได้ดี แตกต่างจากพื้นที่ที่ไม่มีพืช หรือพื้นที่อื่นๆ (ดิน น้ำ)

หลักการคำนวณดัชนีพืชพรรณโดยวิธี Normalize Difference Vegetation Index เป็นการเข้าสัดส่วนระหว่างสองช่วงคลื่น เป็นการปรับให้มีลักษณะการกระจายแบบปกติ คือ นำช่วงคลื่นได้

แดงใกล้หรืออินฟราเรดใกล้มาลบด้วยช่วงคลื่นแสงสีแดง แล้วหารด้วยผลบวก ของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแสงสีแดง ดังนี้

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่ NDVI = ดัชนีพืชพรรณ โดยวิธี Normalized Difference Vegetation Index

NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED = ช่วงคลื่นแสงสีแดง

การคำนวณดัชนีพรรณพืชโดยปกติจะให้ค่าอยู่ระหว่าง -1 และ 1 โดยเซลล์ภาพที่มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึงบริเวณที่มีพืชหนาแน่นและมวลชีวภาพสูง

6. การวิเคราะห์ความถูกต้อง (Classification Accuracy)

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมกับการออกสำรวจในภาคสนาม (Ground truth) เพื่อหาระดับความถูกต้องที่สามารถยอมรับได้ โดยทั่วไปแล้วโอกาสความน่าจะถูกต้อง (p) อยู่ที่ 80% และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (E) เท่ากับ 10% และนำมาประมาณคุณภาพตัวอย่างจำนวนอย่างน้อยที่สุด ที่ควรจะนำมาตรวจสอบด้วยสูตร

$$n = \frac{Z^2(p)(q)}{E^2} \dots \dots \dots (2)$$

โดย n = จำนวนจุดภาพอย่างน้อยที่สุดที่ควรจะใช้สุ่มเป็นตัวอย่าง

P = โอกาสความน่าจะเป็นที่จุดภาพนั้นน่าจะถูกต้อง

Q = ค่าความแตกต่างระหว่าง 100-P

E = ร้อยละของความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้

Z = ค่ามาตรฐานตามการแจกแจงแบบปกติ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด (95%)

ทำการสรุปผลการสำรวจและตรวจสอบความถูกต้องภาพสนาม ด้วยตารางจากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม เพื่อให้ทราบตรงความถูกต้องของการจำแนกพื้นที่ป่าไม้และไม่ใช่ป่าไม้ โดยเลือกสุ่มตรวจในแต่ละจังหวัดไม่น้อยกว่า 50 จุด โดยกำหนดค่าของความถูกต้องที่มากกว่า ร้อยละ 80 ของพื้นที่สุ่มตรวจ และสร้างตารางประเมินความถูกต้อง

2. การประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่

แบ่งขั้นตอนการวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การรวบรวมและจัดการข้อมูล 2) การสำรวจข้อมูลภาพสนามและการจัดสร้างแบบจำลองการประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การเตรียมข้อมูลจากข้อมูลดาวเทียม

2.1.1 ในการจัดเตรียมข้อมูลจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7 ที่นำมาใช้ในการศึกษามีขั้นตอนการดำเนินงานหลัก คือ การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ให้กับข้อมูลจากดาวเทียมแบบภาพคู่ภาพ (Image to image) โดยใช้โปรแกรม ERDAS Imagine ที่อาศัยข้อมูลภาพถ่ายออร์โธรีทิซิงเลข กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งมีระบบพิกัดอ้างอิงเป็นระบบ UTM WGS 84 Zone 48 เป็นข้อมูลภาพอ้างอิง ทำให้ขนาดของจุดภาพเท่ากับ 20 x 20 เมตร จากนั้นทำการผลิตเป็นข้อมูลจากดาวเทียมที่ได้จากการผสมข้อมูลช่วงคลื่น 5 6 4 (R G B) เพื่อเน้นพืชพรรณให้เด่นสำหรับใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพต่อไป

2.1.2 แปลงตัวอย่างป่าดิบเขาต่ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้แปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15-ha. (18° 31' 24"N, 98° 29' 42"E) ขนาดแปลงเท่ากับ 300 x 500 เมตร โดยแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 20 x 20 เมตร และที่ความสูง 1,700 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง จากนั้นนำข้อมูลแปลงตัวอย่างไปซ้อนทับกับข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7 ซึ่งบันทึกข้อมูลในปี พ.ศ. 2551 นำไปใช้ในการสำรวจภาคสนามต่อไป

2.2 การสำรวจข้อมูลภาพสนามและการจัดสร้างแบบจำลองการประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ

ในการสำรวจข้อมูลภาพสนามในแปลงตัวอย่างขนาด 20 x 20 เมตรซึ่งเป็นตัวแทนของจุดภาพ (pixel) โดยทำการบันทึกเส้นรอบวง (Girth at Breast Height: GHB) ณ ระดับความสูงเพียงอก (1.30 เมตร) ของต้นไม้ที่มีขนาดมากกว่า 1 เซนติเมตร สำหรับนำไปคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter Breast Height: DBH) และความหนาแน่นของเนื้อไม้ จากการศึกษาของ Sungpalee et al. (2009) จากนั้นนำผลที่ได้จากการสำรวจภาพสนามที่จัดเก็บในรูปแบบไฟล์ Microsoft Excel มาทำการคำนวณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยอาศัยสมการแอลโลเมตรีของ Chave et al. (2005) ดังต่อไปนี้

$$(AGB)_{est} = \rho \times \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3)$$

.....(3)

โดยที่

ρ = ค่าความหนาแน่นของเนื้อไม้

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter Breast Height, DBH)

นำข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ Band 2(green), Band 3(red) และ Band 4(near infrared) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ที่แสดงค่าในรูปแบบของข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital number: DN) ที่เป็นเลขจำนวนเต็มบวก ตั้งแต่ 0-255 ที่เป็นค่าของจุดภาพ (Pixel) บริเวณเดียวกันกับพื้นที่ที่มีการวางแปลงตัวอย่างเก็บข้อมูล ซึ่งบันทึกจากเครื่องมือกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) มาหาค่าความสัมพันธ์ของดาวเทียม Band2, Band 3 และ Band 4 ให้เป็นดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่างๆ กัน 8 รูปแบบ โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$G \text{ (green radiance)} = \text{Green band (แบนด์ 2)} \dots\dots\dots(4)$$

$$R \text{ (red radiance)} = \text{Red band (แบนด์ 3)} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{NIR (Near-Infrared radiance)} = \text{NIR band (แบนด์ 4)} \dots\dots\dots(6)$$

DVI (Difference vegetation Index) ค่าผลต่างพืชพรรณ

$$\text{DVI} = \text{NIR-Red} \dots\dots\dots(7)$$

RVI (Ratio vegetation index) ค่าอัตราส่วนพืชพรรณ

$$\text{RVI} = \frac{\text{NIR}}{\text{Red}} \dots\dots\dots(8)$$

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR-Red}}{\text{NIR+Red}} \dots\dots\dots(9)$$

TNDI (Transformed Normalized Difference Vegetation Index)

$$\text{TNDVI} = \text{Sqrt} \left[\left(\frac{\text{Nir-Red}}{\text{Nir+Red}} \right) + 0.5 \right] \dots\dots\dots(10)$$

GVI (Green Vegetation Index)

$$\text{GVI} = -0.29(\text{Green}) - 0.56(\text{Red}) + 0.60(\text{NIR}) + 0.49(\text{NIR}) \dots\dots\dots(11)$$

สำหรับสมการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาดำ จะนำค่าดัชนีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรี โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง (Linear regression analysis) โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด พร้อมทั้งทดสอบค่าทางสถิติ F ว่าสมการเหมาะสมหรือมีความคาดเคลื่อนเพียงใด เพื่อประกอบการตัดสินใจว่าเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถนำมาใช้ในการประเมินมวลชีวภาพป่าดิบเขาดำในพื้นที่อื่นๆ ได้ต่อไปในอนาคต

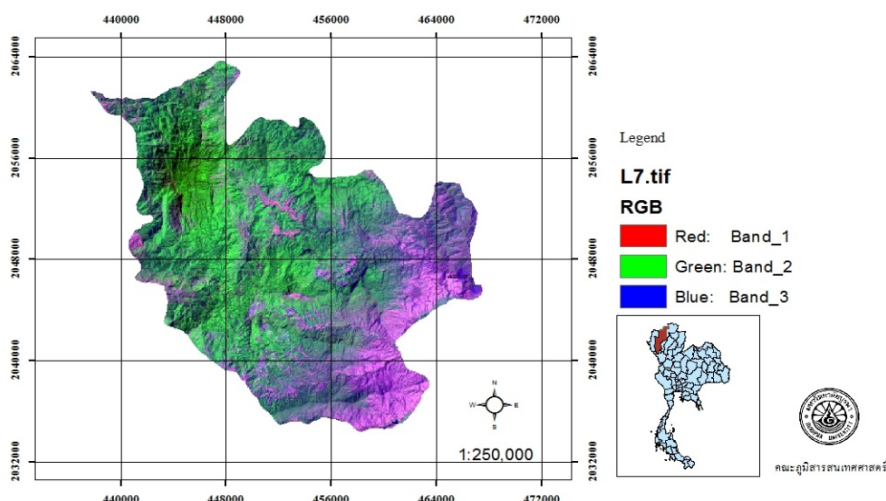
บทที่ 4

ผลการวิจัย

การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินมวลชีวภาพป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Landsat 7 ETM+ สามารถแบ่งผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ได้เป็น 2 ส่วนประกอบไปด้วย 1) เพื่อจำแนกประเภทป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ และ 2) เพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

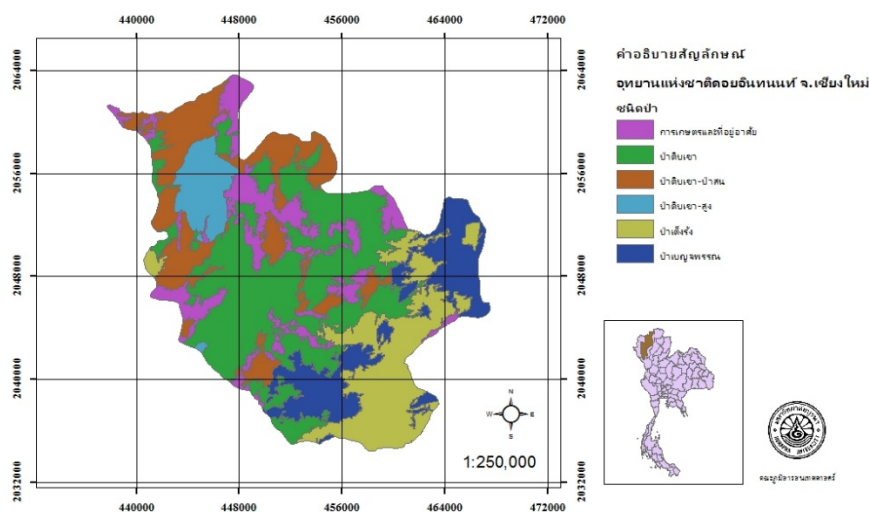
การจำแนกประเภทป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์

จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 (ดังภาพที่ 4-1) โดยเทคนิค supervised classification แยกประเภทโดยใช้ 3 สมการ ในการแยก class ที่ถูกต้องที่สุด คือ 1. GLCM (Gray-Level Co-Occurrence Matrix) 2. Mean 3. Standard deviation สามารถแยกประเภทป่าไม้อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ. เชียงใหม่ ออกได้ทั้งหมด 6 ประเภท ประกอบด้วย ป่าดิบเขาสูง, ป่าดิบเขา, ป่าดิบเขา-ป่าสน, ป่าเต็งรัง, ป่าเบญจพรรณ และพื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัย (ดังภาพที่ 4-2)



ภาพที่ 4-1 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ บันทึกเมื่อ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2558)



ภาพที่ 4-2 ประเภทป่าไม้ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ พ.ศ. 2551

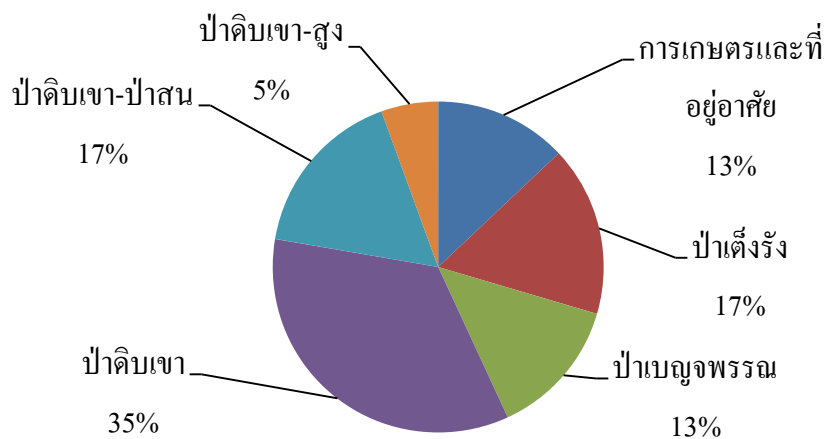
จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ พบว่าพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ รวมทั้งหมด 482.4 ตารางกิโลเมตร แบ่งออกเป็นป่าประเภทต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4-1 ตารางที่ 4-1 พื้นที่ประเภทป่าต่างๆ ในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

ประเภท	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละ
ป่าดิบเขา	161.235	33.42
ป่าดิบเขา-ป่าสน	77.933	16.15
ป่าเต็งรัง	77.394	16.04
ป่าเบญจพรรณ	63.085	13.07
การเกษตรและที่อยู่อาศัย	60.358	12.51
ป่าดิบเขา-สูง	25.923	5.37
*พื้นที่อื่นๆ	16.472	3.41
รวม	482.4	100

*พื้นที่ขอบภาพที่มีรายละเอียดภาพต่างกัน

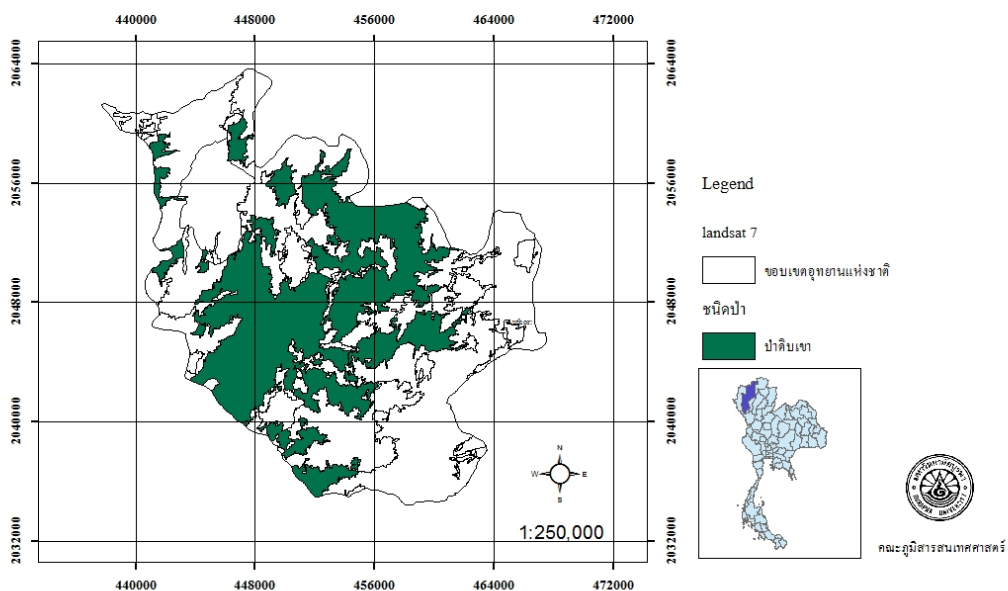
จากตารางพบว่าอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ประกอบไปด้วย ป่าดิบเขา มากที่สุดโดยมีพื้นที่ 161.23 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 33.42 รองลงมา คือป่าดิบเขา-ป่าสน และป่าเต็งรัง โดยมีพื้นที่เท่ากับ 77.933 และ 77.394 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 16.15 และ 16.04 ตามลำดับ ป่าเบญจพรรณมีพื้นที่เท่ากับ 63.085 ร้อยละ 13.07 และป่าดิบเขาสูงมีพื้นที่น้อยที่สุดเท่ากับ 25.923 หรือ

ร้อยละ 5.37 ส่วนพื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัยพบว่ามีพื้นที่ 60.358 หรือร้อยละ 12.51 จากพื้นที่ทั้งหมด (ภาพที่ 4-3) สามารถแบ่งรายละเอียดตามประเภทป่าออกได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4-3 ร้อยละของประเภทป่าไม้ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

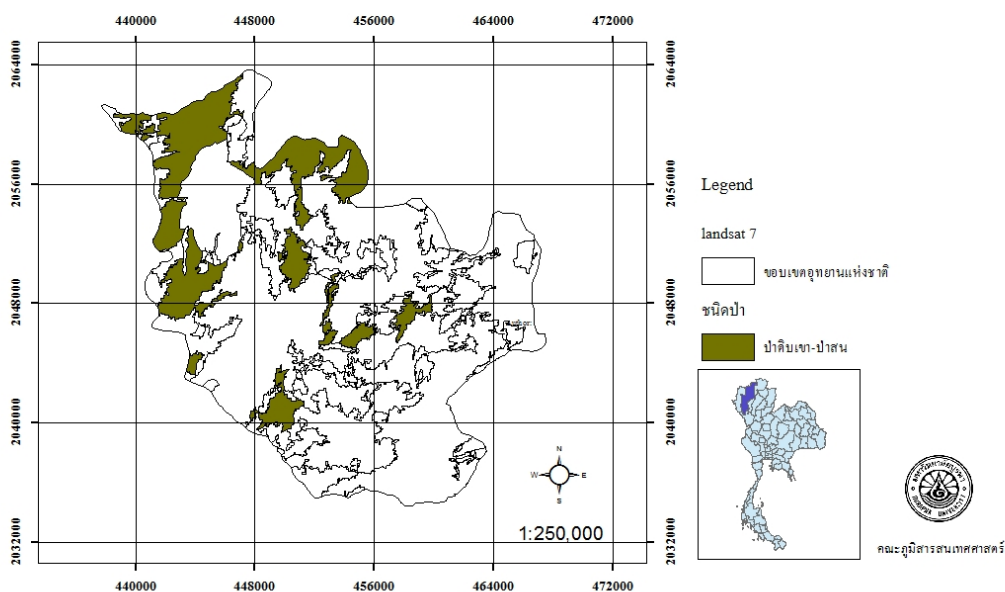
1. ป่าดิบเขา พบพื้นที่มากที่สุดเท่ากับ 161.23 ตารางกิโลเมตร หรือ 100,768 ไร่ (ร้อยละ 33.42) ดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 พื้นที่ป่าดิบเขา บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

พื้นที่ป่าดิบเขาส่วนใหญ่พบที่ความสูงตั้งแต่ 700 เมตรขึ้นไป ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่อุทยานฯ พรรณไม้เด่นที่พบทั่วไปได้แก่ ไม้ในวงศ์ Fagaceae, วงศ์ Lauraceae, วงศ์ Magnoliaceae และวงศ์ Theaceae โครงสร้างของป่ามี 3 เรือนยอด ไม่มีไม้พื้นล่างและไม้เลื้อยเนื้อแข็งมากนัก ไม้ต้นที่สำคัญได้แก่ ไม้ก่อหลายชนิดในสกุล *Castanopsis*, *Lithocarpus* และ *Quercus* (วงศ์ Fagaceae) สกูด *Michelia* และสกูด *Paramichelia* (วงศ์ Magnoliaceae), สกูด *Actinodaphne*, สกูด *Cinnamomum* และสกูด *Litsea* (วงศ์ Lauraceae), ทะโล้ *Schima wallichii* และสกูด *Camellia* (วงศ์ Theaceae) เป็นต้น (ก่องกานดา, 2550)

2. ป่าดิบเขา-ป่าสน พบพื้นที่เท่ากับ 77.394 ตารางกิโลเมตร หรือ 48,371 ไร่ (ร้อยละ 16.15) ดังภาพที่ 4-5

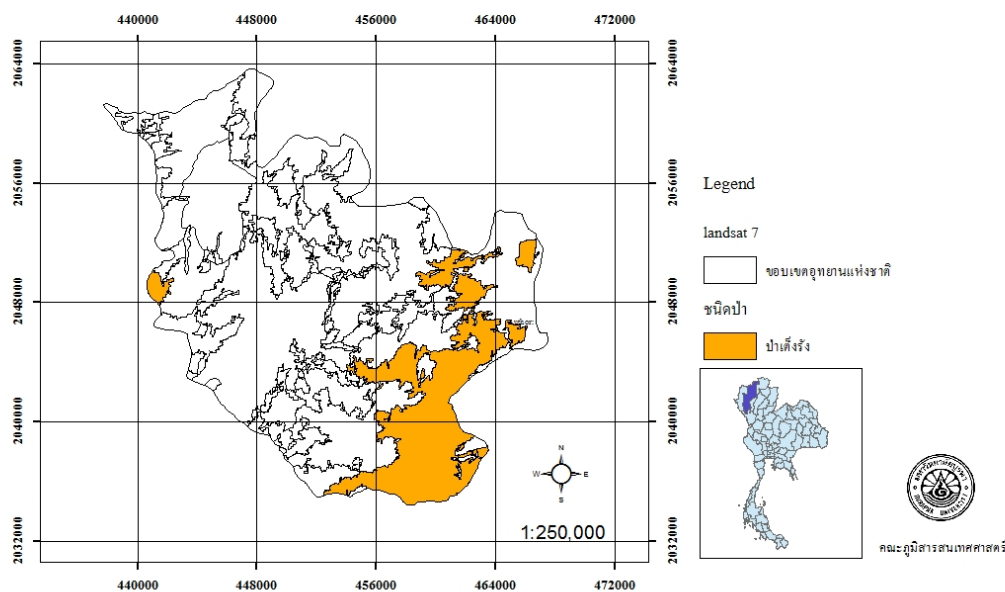


ภาพที่ 4-5 พื้นที่ป่าดิบเขา-ป่าสน บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

พื้นที่ป่าดิบเขา-ป่าสน ส่วนใหญ่พบที่ความสูงตั้งแต่ 1,000 – 1,400 เมตรขึ้นไป ส่วนใหญ่ขึ้นหนาแน่นตามสันที่โล่งแจ้ง ความลาดชันปานกลางของพื้นที่อุทยานฯ โดยสังคมป่าดิบเขา-ป่าสนจะน้อยลงเมื่อระดับความสูงมากกว่า 1,500 เมตรขึ้นไป ซึ่งจะพบไม้สนอยู่ห่างๆ กัน ไม้เรือน

ยอดเด่น (สูง 30-40 เมตร) ได้แก่ สนสามใบ ส่วนไม้อื่นๆ ส่วนมากเป็นพืชในวงศ์ Fagaceae ที่พบในป่าดิบเขา (ก่องกานดา, 2550)

3. ป่าเต็งรัง พบพื้นที่เท่ากับ 77.933 ตารางกิโลเมตร หรือ 48,708 ไร่ (ร้อยละ 16.04) ดังภาพที่ 4-6

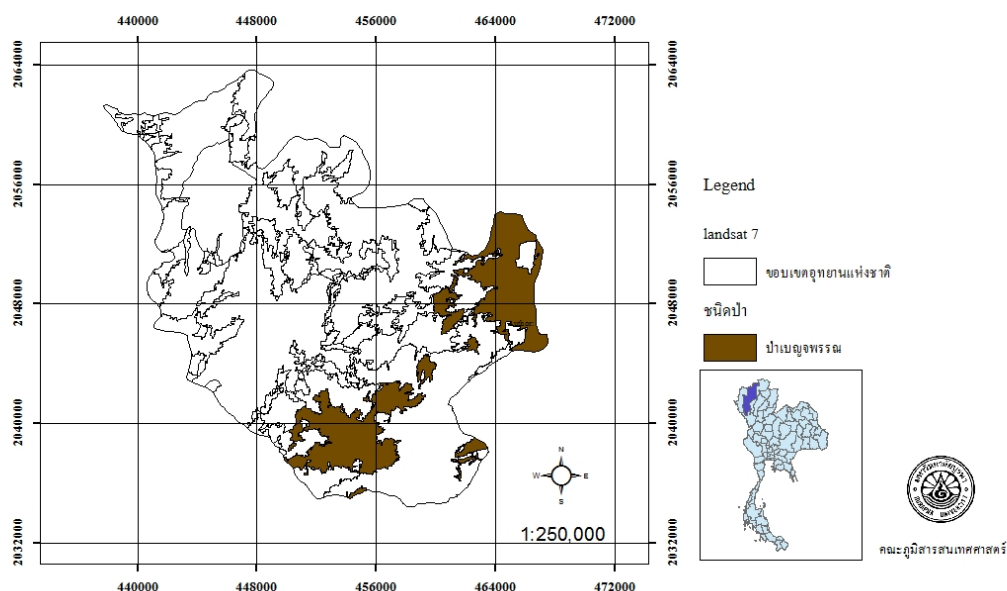


ภาพที่ 4-6 พื้นที่ป่าเต็งรัง บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

พื้นที่ป่าเต็งรัง ส่วนใหญ่พบบริเวณทิศใต้ของพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ที่ความสูงตั้งแต่ 600 – 800 เมตรขึ้นไป เป็นป่าที่มีเรือนยอดเปิด โดยทั่วไปต้นไม้จะมีความสูงต่ำกว่า 20 เมตร ไม้เด่นที่พบ คือ ยางกราด *Dipterocarpus intricatus*, เหียง *D. obtusifolius*, พलग *D. tuberculatus*, เต็ง *Shorea obtusa* และรัง *S. siamensis* (วงศ์ Dipterocarpaceae) นอกจากนี้แล้วยังพบไม้ต้นขนาดเล็กอีกหลายชนิด เช่น แสลงใจ วงศ์ Loganiaceae, ปอมีน *Colona floribunda* วงศ์ Tiliaceae และยังพบพืชพื้นล่างที่เด่นคือ พากหญ้า รวมถึงพวกไผ่ต้นเล็ก (สกุล *Arundinaria* วงศ์ Gramineae) (ก่องกานดา, 2550)

4. ป่าเบญจพรรณ พบพื้นที่เท่ากับ 63.085 ตารางกิโลเมตร หรือ 39,428 ไร่ (ร้อยละ 13.07)

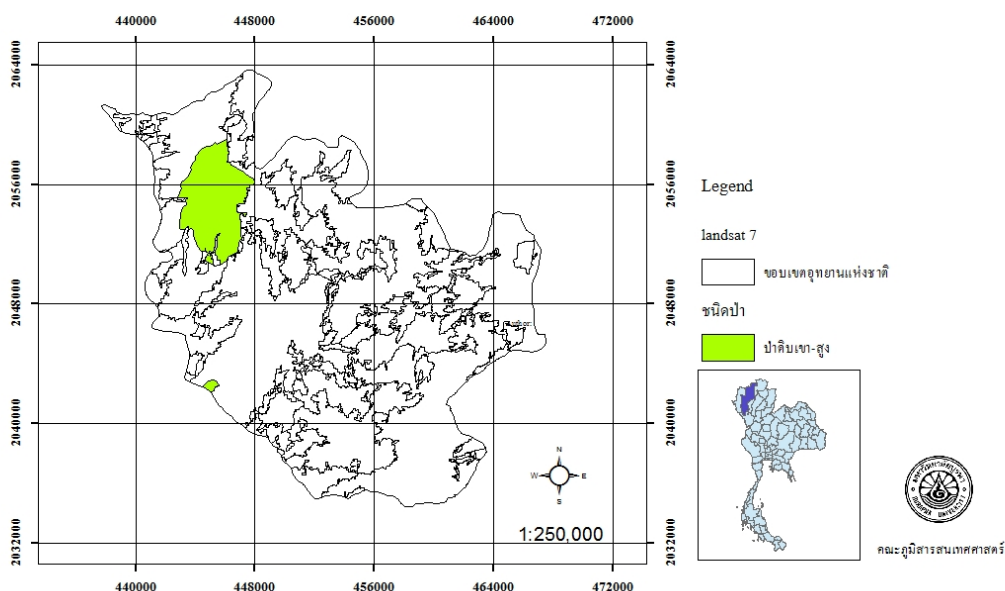
ดั่งภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 พื้นที่ป่าเบญจพรรณ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

พื้นที่ป่าเบญจพรรณ ส่วนใหญ่พบบริเวณทิศใต้และทิศตะวันออกของพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ที่ความสูงต่ำกว่า 800 เมตร เป็นพื้นที่ค่อนข้างราบตามเชิงเขา ที่ลาดชันต่ำถึงปานกลาง และเป็นพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้นสูง เรือนยอดของป่าชนิดนี้จะมีต้นไม้ชนิดต่างๆ ขึ้นปะปนกัน ไม่มีพืชใดชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นไม้เด่นนำ องค์ประกอบของป่าค่อนข้างหลากหลาย โดยสังเกตได้จะมีไม้ในวงศ์ Leguminosae เช่น สกุล *Albizia*, สกุล *Dalbergia*, สกุล *Millettia* วงศ์ Labiateae เช่น สกุล *Vitex*, วงศ์ Combretaceae สกุล *Terminalia* และวงศ์ Lythraceae สกุล *Lagerstroemia* ส่วนไม้วงศ์ยางที่ผลัดใบจะไม่พบในป่าชนิดนี้ (ก่องกานดา, 2550)

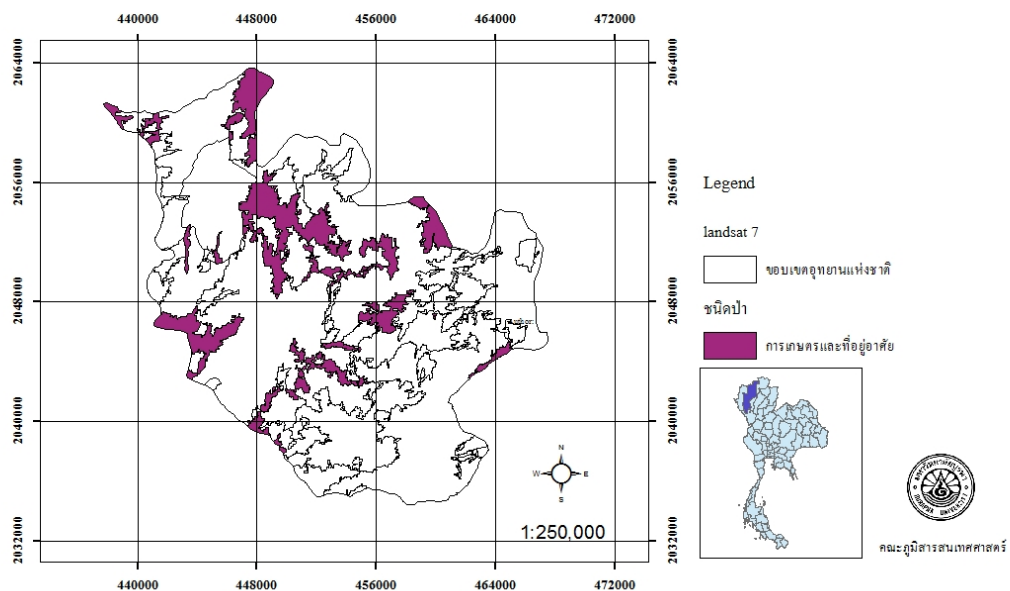
5. ป่าดิบเขาสูง พบพื้นที่เท่ากับ 25.923 ตารางกิโลเมตร หรือ 16,201 ไร่ (ร้อยละ 5.37) ดัง
ภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 พื้นที่ป่าดิบเขาสูง บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

พื้นที่ป่าดิบเขาสูง พบที่ความสูงตั้งแต่ 1,800 เมตร ต้นไม้ป่าชนิดนี้จะมีความสูงและหนาแน่นแต่เมื่อเทียบกับป่าดิบเขาต่ำแล้วความสูงจะลดลงโดยสูงไม่ถึง 20 เมตร และเรือนยอดจะแน่นแบนต่อเนื่องกันไป พรรณไม้ที่สำคัญมีไม้วงศ์ก่อเพียงบางชนิด เช่น ก่อเรียก *Quercus glabricupulata* พรรณไม้วงศ์ Theaceae ได้แก่ ทะโล้ *Schima wallichii* เมงเม่านก *Eurya nitidia* และขี้ผึ้ง *Gordonia dalglieshiana* สกุด *Acer* (วงศ์ Aceraceae) และโพสามหาง *Exbucklandia populnia* วงศ์ Hamamelidaceae พรรณไม้ที่พบทั่วไปได้แก่ เหมือดคอย *Myrsine semiserrata* (วงศ์ Myrsinaceae) ส้มปี *Vaccinium sprengelii* และกุหลาบพันปี *Rhododendrum arboreum subsp.* (ก่องกานดา, 2550)

6. พื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัย พบพื้นที่เท่ากับ 60.358 ตารางกิโลเมตร หรือ 37,723 ไร่ (ร้อยละ 12.51) ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 พื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัย บริเวณอุทยานแห่งชาติคอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

พื้นที่เกษตรจะประกอบไปด้วยพื้นที่ของเกษตรโครงการหลวงซึ่งจะปลูกไม้ดอก-ไม้ผลเมืองหนาว และพื้นที่เกษตรของชาวเขา ซึ่งจะมี 2 ชนิดพันธุ์ คือ กะเหรี่ยงและม้ง โดยกะเหรี่ยงจะทำเกษตรด้วยการปลูกข้าวไร่ ทำนาเป็นขั้นบันไดตามหุบเขา ปลูกผักต่างๆ แบบไร่หมุนเวียน ส่วนม้งเป็นสังคมการเกษตร ทำไร่แบบเลื่อนลอยในอดีต ปัจจุบันหันมาเปลี่ยนเป็นปลูกพืช ผัก ผลไม้ ไม้ดอกเมืองหนาว ส่วนด้านที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่อยู่ใกล้ที่ทำการอุทยานและโครงการหลวงคอยอินทนนท์

การตรวจสอบความถูกต้องการจำแนกประเภทป่าอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์

จากการสำรวจและตรวจสอบความถูกต้องภาคสนาม (Classification Accuracy) จากการเลือกสุ่มตรวจประเภทป่าต่างๆ รวมจุดสำรวจทั้งสิ้น 145 จุด แบ่งออกเป็น ป่าเบญจพรรณ 20 จุด (ร้อยละ 13) ป่าเต็งรัง 24 จุด (ร้อยละ 16) ป่าดิบเขา 50 จุด (ร้อยละ 33) ป่าดิบเขา-ป่าสน 24 จุด (ร้อยละ 16) ป่าดิบเขาสูง 8 จุด (ร้อยละ 5) พื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัย 19 จุด (ร้อยละ 12) ดังตาราง 4-2

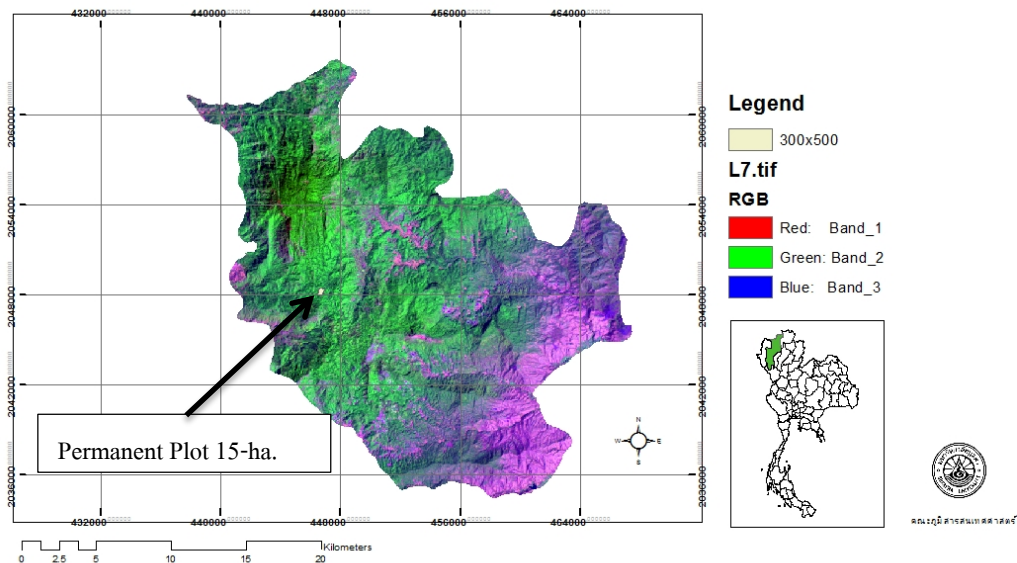
ตารางที่ 4-2 แมทริกซ์การคำนวณการประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment) ของพื้นที่ประเภทป่าต่างๆ ในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

ประเภท	ผลการสำรวจภาคสนาม						
	ป่าเบญจพรรณ	ป่าเต็งรัง	ป่าดิบเขา	ป่าดิบเขา-ป่าสน	ป่าดิบเขาสูง	การเกษตรและที่อยู่อาศัย	รวมจุดสำรวจ
ป่าเบญจพรรณ	18	1	0	0	0	1	20
ป่าเต็งรัง	2	21	0	0	0	1	24
ป่าดิบเขา	0	0	45	3	1	1	50
ป่าดิบเขา-ป่าสน	1	0	2	20	0	1	24
ป่าดิบเขาสูง	0	0	1	0	7	0	8
การเกษตรและที่อยู่อาศัย	1	1	1	1	0	15	19
รวม	22	23	49	24	8	19	145

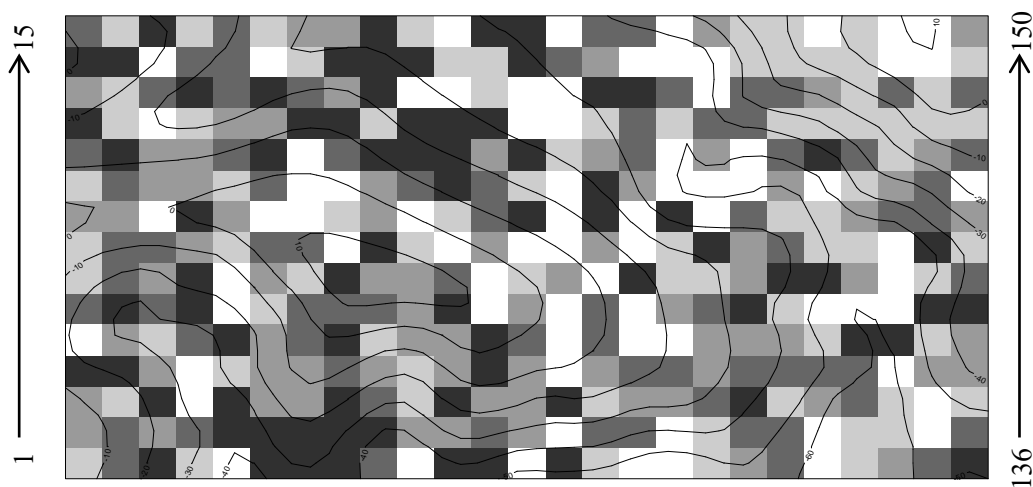
จากตารางพบว่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) ของพื้นที่ป่าทั้งหมด เท่ากับ $((18+21+45+20+7+15)/145) \times 100 = 86.90\%$ ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนในการแปลภาพ เท่ากับ $((4+2+4+4+1+4)/145) \times 100 = 13.10\%$ เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ Landsat 7 ETM+ นั้น บันทึกในช่วงปี พ.ศ. 2551 ซึ่งเป็นช่วงที่อุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ระบบกราดภาพเริ่มมีปัญหา เนื่องจากชิ้นส่วนสำหรับการกราดภาพทำงานผิดพลาด ทำให้ได้ภาพที่มีลักษณะเป็นแถบเว้นแถบในแนวนอน ส่งผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมและความถูกต้องในการแปลภาพดังกล่าว

ศึกษาสมการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

การศึกษามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำครั้งนี้ได้ทำการศึกษาจากแปลงตัวอย่างขนาด 300 x 500 เมตร (ภาพที่ 4-10) และแบ่งแปลงย่อยเป็นขนาด 20 x 20 เมตร ทั้งหมด 85 แปลงย่อย (ภาพที่ 4-11) โดยทำการบันทึกเส้นรอบวง (Girth at Breast Height: GHB) ณ ระดับความสูงเพียงอก (1.30 เมตร) ของต้นไม้ที่มีขนาดมากกว่า 1 เซนติเมตร สำหรับนำไปคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter Breast Height: DBH) และความหนาแน่นของเนื้อไม้ จากนั้นนำมาคำนวณโดยอาศัยสมการแอลโลเมตรีของ Chave et al. (2005) ดังนี้ $(AGB)_{est} = \rho \times \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)$ ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 4-10 ตำแหน่งแปลงตัวอย่าง 15-ha (300 x 500 เมตร) ที่ใช้ในการศึกษามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551



ภาพที่ 4-11 ขนาดแปลงตัวอย่าง 300 x 500 เมตร และแปลงย่อยขนาด 20 x 20 เมตรที่ใช้ในการศึกษามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2551

จากการคำนวณพบว่า ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำ มีค่าระหว่าง $210.833 \pm 884.6832 \text{ Mg.ha}^{-1}$ หรือเฉลี่ย $472.12 \text{ Mg.ha}^{-1}$ เมื่อนำไปเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ สามารถสรุปออกได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าไม้ต่างๆ ในประเทศไทย

ประเภทป่า	มวลชีวภาพเหนือ พื้นดิน (Above ground biomass) Mg.ha^{-1}	ค่าเฉลี่ยมวล ชีวภาพเหนือ พื้นดิน Mg.ha^{-1}	ผู้วิจัย
ป่าดิบเขา ต่ำ	210.83 ± 884.68	472.12	การศึกษาครั้งนี้
ป่าดิบเขา	284.73 ± 149.15	197.21	ชมพู่ บุญรอดกลับ และ ศการ ทีจันติก (2551)
ป่าดิบเขา	-	246.00	สุนทร คำของ และ อื่นๆ (2551)
ป่าดิบชื้น	336.07 ± 215.77	-	นวลปราง นวลอุไร (2548)

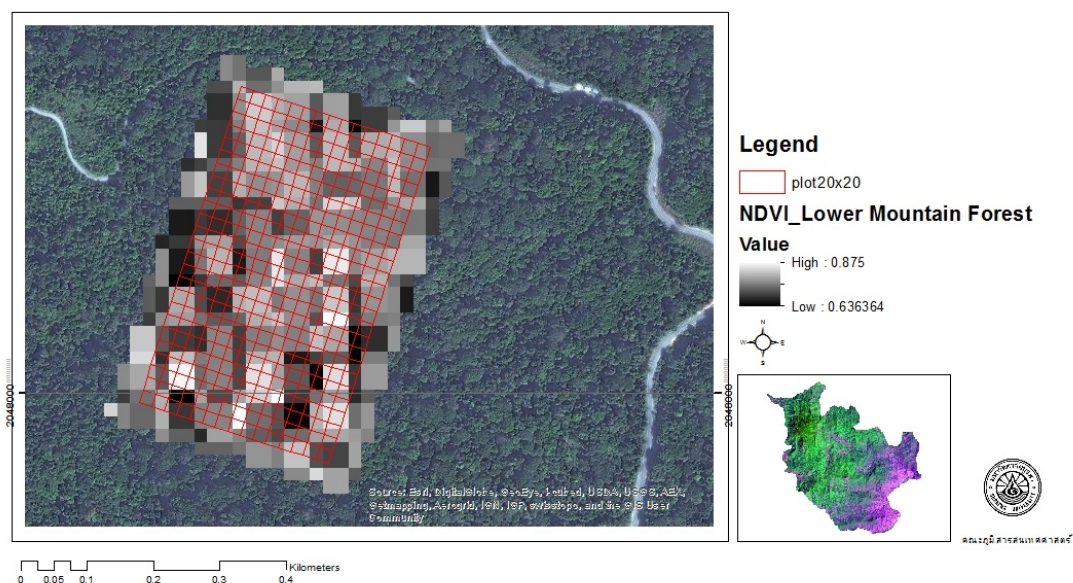
จากตารางพบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ในบริเวณแปลงตัวอย่าง 15 ha. (N = 85) มีค่าเท่ากับ $210.83 \pm 884.68 \text{ Mg.ha}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ $472.12 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ในขณะที่ การศึกษาของชมพู่ บุญรอดกลับ และ ศการ ทีจันติก (2551 : 411-419) พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสังคมพืชป่าดิบเขา บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์มีค่าเท่ากับ $284.73 \pm 149.15 \text{ Mg.ha}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 197.21 tan/ha . โดยสาเหตุที่ป่าดิบเขาต่ำมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินสูงกว่าเนื่องจากไม้ที่ปรากฏในแปลงมีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะไม้สกุล Fagaceae Lauraceae เป็นส่วนใหญ่จึงมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้ในปริมาณที่สูง (ภาพที่ 4-12)



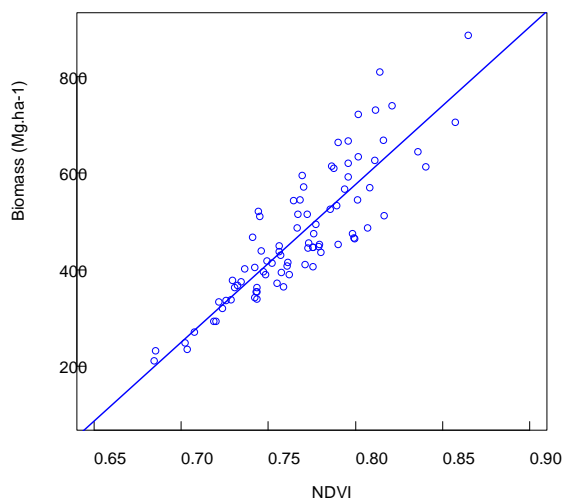
ภาพที่ 4-12 ลักษณะพืชพรรณป่าดิบเขาต่ำภายในแปลงตัวอย่าง 15 ha.

ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำกับดัชนีพืชพรรณ

จากการเลือกแปลงตัวอย่างทั้งหมด 85 แปลง และนำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพืชพรรณ 4 ตัวแปร ประกอบไปด้วย ค่า NDVI, GVI, DVI และ TNDVI จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ปรากฏผลการศึกษาดังนี้

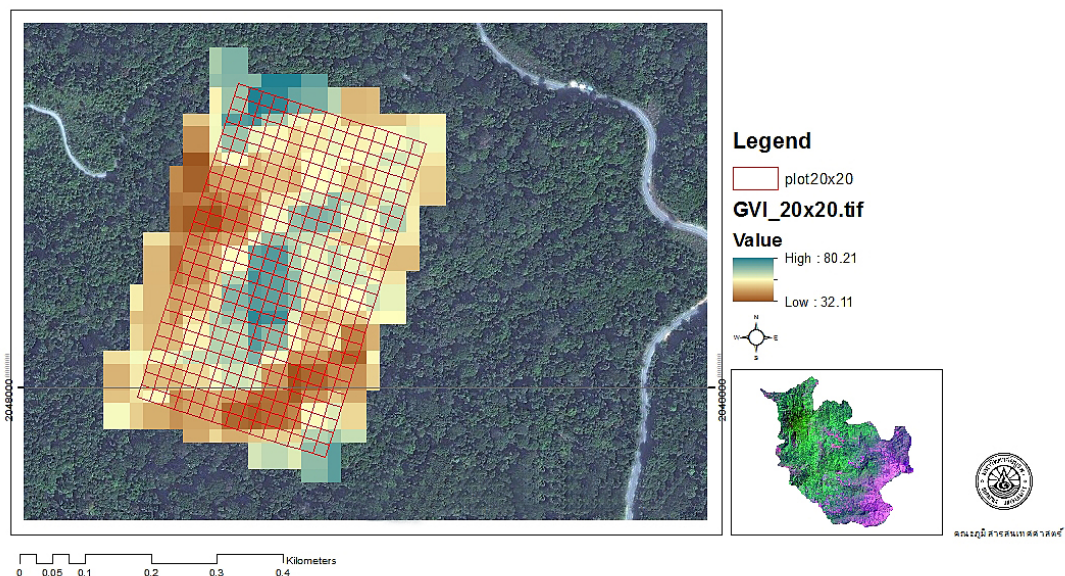


ภาพที่ 4-13 ค่า NDVI ภายในแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 ha. แปลงจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

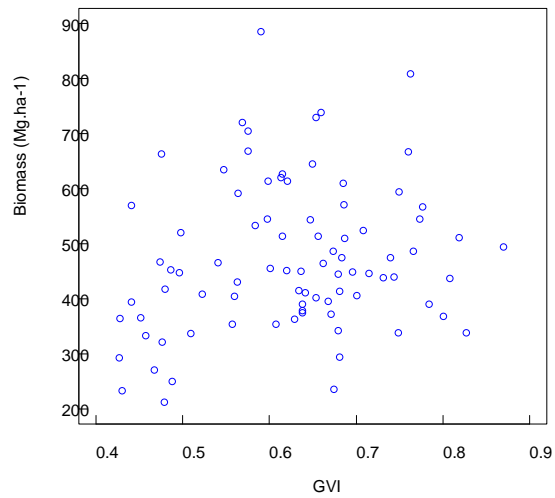


ภาพที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า NDVI

จากภาพที่ 4-14 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า NDVI ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ Biomass (Mg.ha⁻¹) = -2031.4+3259.5 (NDVI) $r^2 = 0.7602$ $F = 267.3^{***}$

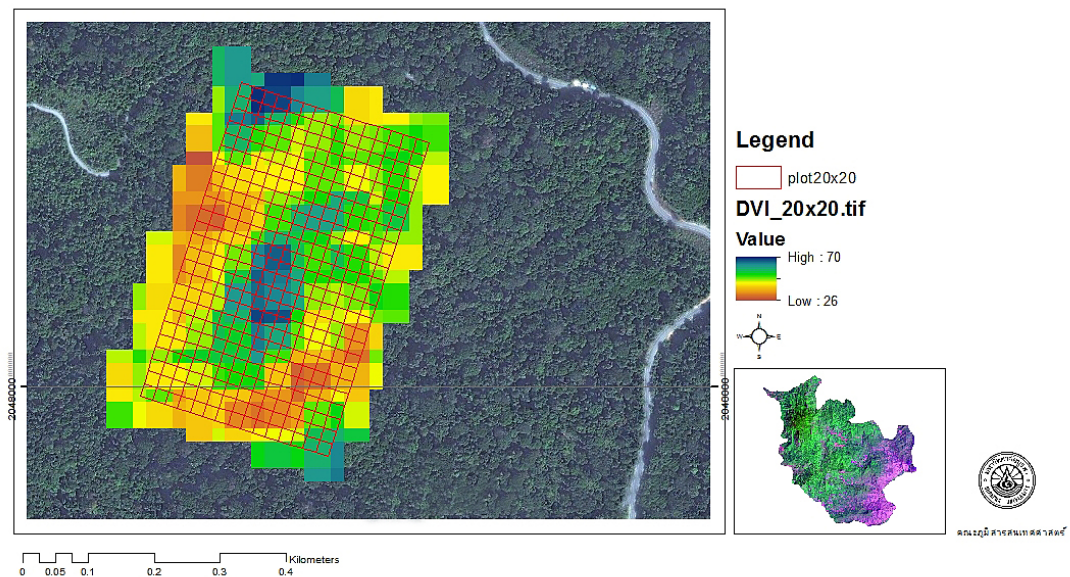


ภาพที่ 4-15 ค่า GVI ภายในแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 ha. แปลงจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

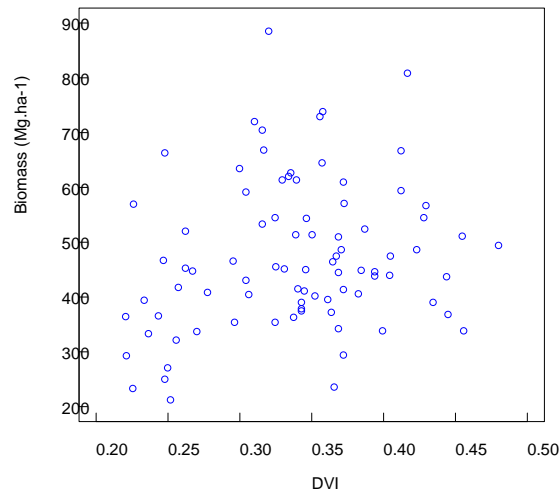


ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า GVI

จากภาพที่ 4-16 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) ไม่มีผลต่อค่า GVI ($P = 0.08547$) ดังสมการ $Biomass (Mg.ha^{-1}) = 326.41 + 233.07 (GVI)$
 $R^2 = 0.02359$ $F = 3.029$

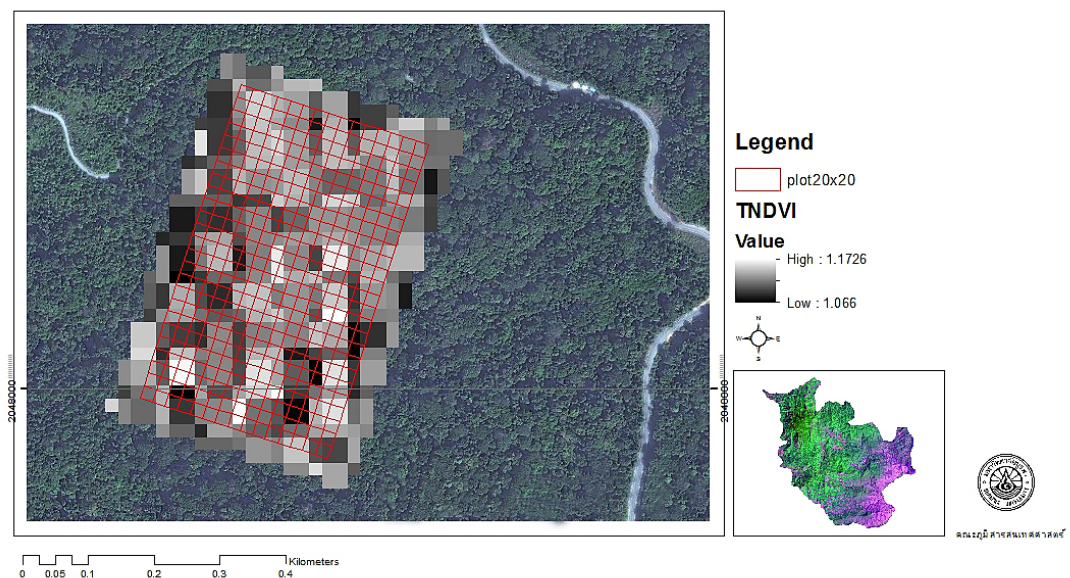


ภาพที่ 4-17 ค่า DVI ภายในแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 ha. แปลงจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

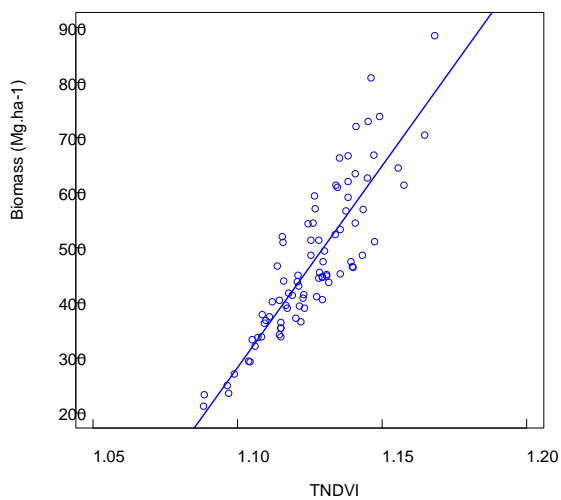


ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า DVI

จากภาพที่ 4-18 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) ไม่มีผลต่อค่า DVI (P = 0.0606) ดังสมการ Biomass (Mg.ha-1) = 324.26+436.79 (DVI) $R^2 = 0.03023$ $F = 3.619$



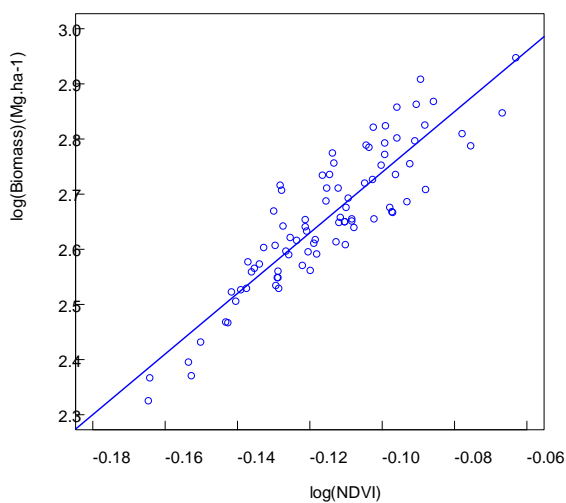
ภาพที่ 4-19 ค่า TNDVI ภายในแปลงตัวอย่างถาวรขนาด 15 ha. แปลงจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551



ภาพที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า TNDVI

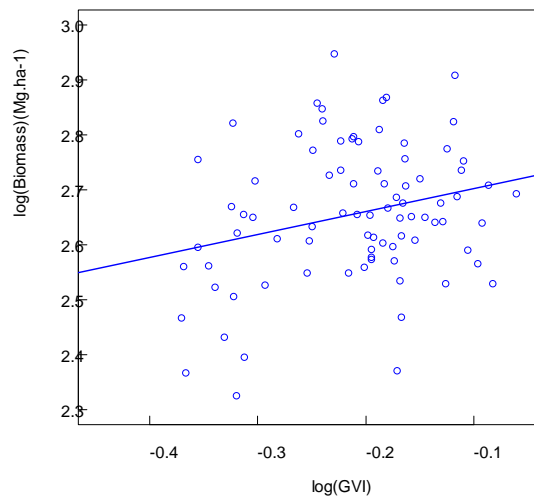
จากภาพที่ 4-20 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า TNDVI ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = -7795.6 + 7343.1 (\text{TNDVI}) \quad R^2 = 0.7596 \quad F = 266.5^{***}$$



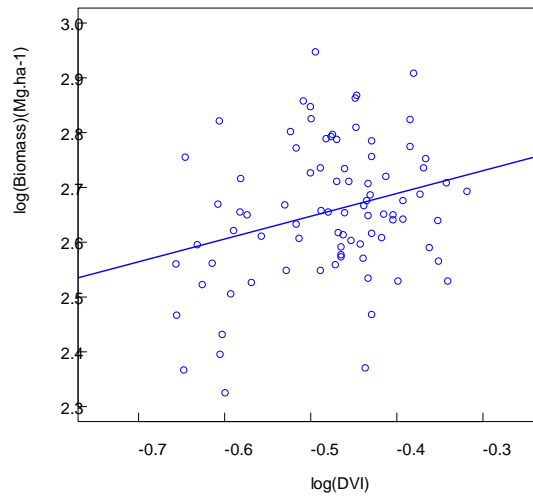
ภาพที่ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า log(NDVI)

จากภาพที่ 4-21 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\log(\text{NDVI})$ ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ $\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 3.28973 + 5.5019\log(\text{NDVI})$ $R^2 = 0.7968$ $F = 330.4^{***}$



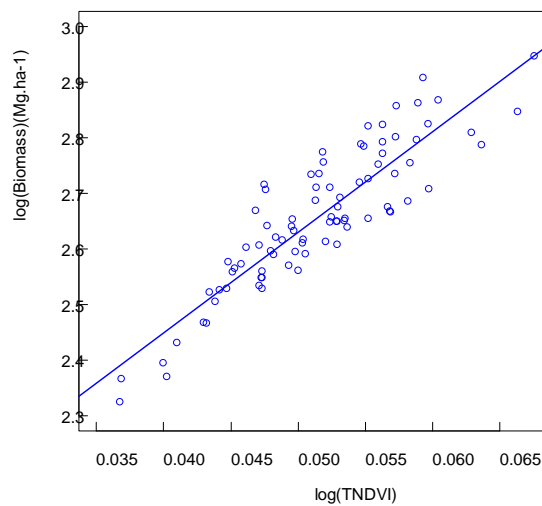
ภาพที่ 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\log(\text{GVI})$

จากภาพพบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) ไม่มีผลต่อค่า $\log(\text{GVI})$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P = 0.01639$) ดังสมการ $\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 2.74477 + 0.41858\log(\text{GVI})$ $R^2 = 0.0562$ $F = 6.002$



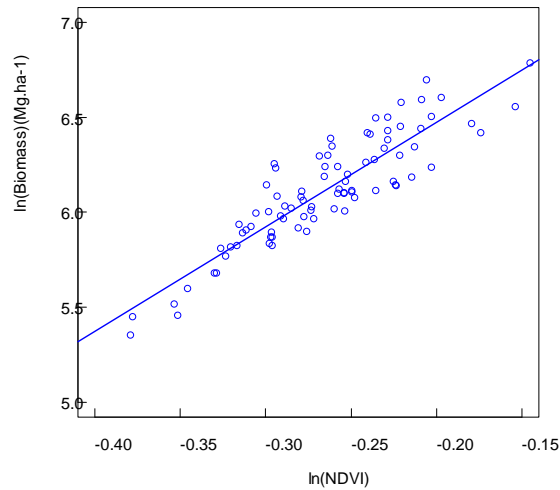
ภาพที่ 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\log(\text{DVI})$

จากภาพที่ 4-23 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง ($N = 85$) ไม่มีผลต่อค่า $\log(\text{DVI})$ ที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($P = 0.009681$) ดังสมการ $\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 2.8556 + 0.4163\log(\text{DVI})$ $R^2 = 0.06681$ $F = 7.013^{**}$



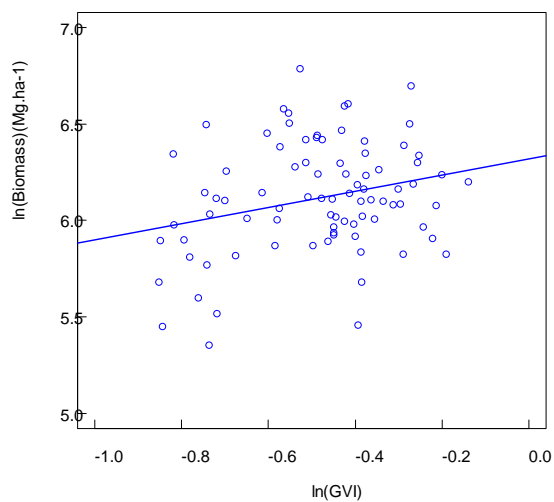
ภาพที่ 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\log(\text{TNDVI})$

จากภาพที่ 4-24 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\log(\text{TNDVI})$ ในเชิงบวกที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ $\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 1.72301 + 18.41018\log(\text{TNDVI})$ $R^2 = 0.7937$ $F = 324.3^{***}$



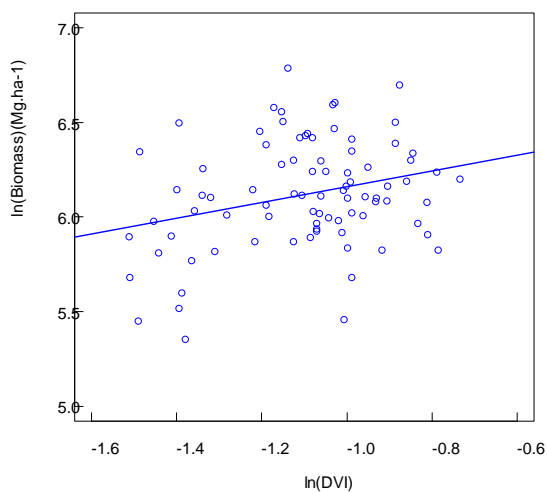
ภาพที่ 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\ln(\text{NDVI})$

จากภาพที่ 4-25 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\ln(\text{NDVI})$ ในเชิงบวกที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ $\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 7.57489 + 5.50199\ln(\text{NDVI})$ $R^2 = 0.7968$ $F = 330.4^{***}$



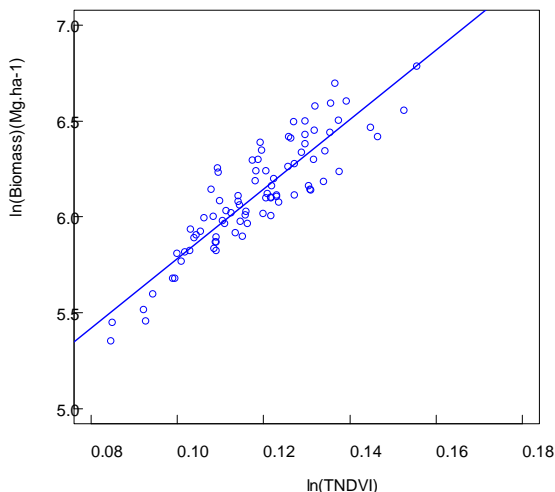
ภาพที่ 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\ln(\text{GVI})$

จากภาพที่ 4-26 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\ln(\text{GVI})$ ที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($P = 0.1639$) ดังสมการ Biomass (Mg.ha⁻¹) = $6.32006 + 0.41858 \ln(\text{GVI})$ $R^2 = 0.0562$ $F = 6.002^*$



ภาพที่ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\ln(\text{DVI})$

จากภาพที่ 4-27 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\ln(\text{DVI})$ ที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ($P = 0.009681$) ดังสมการ $\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 6.5753 + 0.4163\ln(\text{DVI})$ $R^2 = 0.06681$ $F = 7.013^{**}$



ภาพที่ 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่า $\ln(\text{TNDVI})$

จากภาพที่ 4-28 พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\ln(\text{TNDVI})$ ที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ $\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 3.9674 + 18.1402\ln(\text{TNDVI})$ $R^2 = 0.7937$ $F = 324.3^{***}$

ตารางที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำภายในแปลงตัวอย่าง 15-ha (N = 85) กับค่าดัชนีพืชพรรณต่างๆ

ค่าดัชนีพืชพรรณ	สมการความสัมพันธ์	R-squared	p-value	F
NDVI	$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = -2031.4 + 3259.5 (\text{NDVI})$	0.76020	$P < 0.01$	267.3 ^{***}
$\log(\text{NDVI})$	$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 1.72301 + 18.41018\log(\text{TNDVI})$	0.79680	$P < 0.01$	330.4 ^{***}
$\ln(\text{NDVI})$	$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 7.57489 + 5.50199\ln(\text{NDVI})$	0.07937	$P < 0.01$	330.4 ^{***}
GVI	$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 326.41 + 233.07 (\text{GVI})$	0.02359	$P = 0.08547$	3.029
$\log(\text{GVI})$	$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 2.74477 + 0.41858\log(\text{GVI})$	0.05620	$P = 0.01639$	6.002 [*]
$\ln(\text{GVI})$	$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}) = 6.32006 + 0.41858\ln(\text{GVI})$	0.05620	$P = 0.01639$	6.002 [*]

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

ค่าดัชนีพืชพรรณ	สมการความสัมพันธ์	R-squared	p-value	F
DVI	Biomass (Mg.ha-1) = 324.26+436.79 (DVI)	0.03023	P = 0.06060	3.619
log(DVI)	Biomass (Mg.ha-1) = 2.8556+0.4163log(DVI)	0.06681	P = 0.00968	7.013**
ln(DVI)	Biomass (Mg.ha-1) = 6.5753+0.4163ln(DVI)	0.05620	P = < 0.01	7.013**
TNDVI	Biomass (Mg.ha-1) = -7795.6+7343.1 (TNDVI)	0.75960	P = < 0.01	266.5***
log(TNDVI)	Biomass (Mg.ha-1) = 1.72301+18.41018log(TNDVI)	0.79370	P = < 0.01	324.3***
ln(TNDVI)	Biomass (Mg.ha-1) = 3.9674+18.1402ln(TNDVI)	0.79370	P = < 0.01	324.3***

จากตารางที่ 4-4 พบว่าค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำมากที่สุด โดยมีค่า $R^2 = 0.76020$ รองลงมาคือ ค่า TNDVI $R^2 = 0.75960$ ส่วนค่า DVI และ GVI ไม่มีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพ โดยความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพกับ สอดคล้องกับงานวิจัยของของ Weiguo et al. (2006) ที่ได้สมการ $Y = 1640.6NDVI - 111$ และ $R^2 = 0.743$ และการศึกษาประมาณมวลชีวภาพของแปลงสักในจังหวัดปราจีนบุรี โดยใช้ภาพจากดาวเทียมของ เสาวณี ศรีสุวรรณ และอื่นๆ (2009: 69-75) พบว่าค่ามวลชีวภาพกับค่า NDVI มีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่า $R^2 = 0.72$

การวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

เมื่อนำค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่วิเคราะห์ได้จากภาคสนาม โดยอาศัยสมการแอล โลเมตรีของ Chave et al. (2005) ดังต่อไปนี้

$$(AGB)_{est} = \rho \times \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)$$

จากแปลงตัวอย่าง 85 แปลงย่อยมาหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียม ได้แก่ NDVI GVI DVI และ TNDVI โดยวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเชิงเส้น (Multiple Linear Regression) เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ ปรัชญาผลการศึกษาออกได้เป็นสมการ 2 รูปแบบดังนี้

1. แบบที่ 1.

มีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ คือ NDVI และ TNDVI และให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ

$$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 18.34 + 58.27 * \log(\text{NDVI}) - 174.34 * \log(\text{TNDVI})$$

โดยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($R^2 = 0.8027$) ($F = 88.89$, $df = 80$) ($P < 0.001$)

1. แบบที่ 2.

มีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปรที่ถูกคัดเลือกเข้าไปใช้ในการสร้างสมการ คือ NDVI และ TNDVI และให้รูปแบบสมการความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ

$$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 42.22 + 58.27 * \ln(\text{NDVI}) - 174.34 * \ln(\text{TNDVI})$$

โดยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($R^2 = 0.8027$) ($F = 88.89$, $df = 80$) ($P < 0.001$)

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าพรรณนิพืชพรรณกับค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ พบว่า สมการแบบที่ 1 และ 2 เหมาะสมจะนำไปใช้ เนื่องจากค่าความเชื่อมั่น R^2 มีค่าเท่ากับ 0.8027 หรือ 80% โดยค่า NDVI และ TNDVI มีความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพมากที่สุด เนื่องจากป่าดิบเขาต่ำในบริเวณแปลงตัวอย่างมีเรือนยอดแน่นหรือหนาทึบเนื่องจากเป็นไม้ที่ขนาดความโตมาก ทำให้ได้ค่าการสะท้อนแสงมากตามไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Weiguo et.al. (2006) ที่นำค่า NDVI ไปใช้ในการหามวลชีวภาพ ดังสมการ $Y = -5593.3\text{NDVI}^3 + 7509.7\text{NDVI}^2 - 1268.9\text{NDVI} + 191$ $R^2 = 0.752$ ($N = 53$) ซึ่งจากสมการที่ได้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำได้ โดยไม่ต้องไปสำรวจภาคสนามทั้งหมด เพื่อลดงบประมาณค่าใช้จ่าย และเวลาในการทำการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัยสามารถตอบสนองความต้องการใช้ข้อมูลที่เร่งด่วนได้ นอกจากนี้ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินยังสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นป่าดิบเขาต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นที่พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1A เป็นพื้นที่แหล่งต้นน้ำลำธารที่เป็นเสมือนฟองน้ำขนาดใหญ่ทำหน้าที่ดูดซับน้ำฝน และเป็นแหล่งต้นน้ำที่ผลิตน้ำลงสู่พื้นที่ด้านล่างเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภคต่อไป และที่สำคัญอย่างยิ่งคือใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการ

จัดการทรัพยากรป่าไม้ให้มีความยั่งยืน เพราะป่าไม้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนแหล่งใหญ่ สามารถช่วยบรรเทาปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินมวลชีวภาพป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่ ครั้งนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Landsat 7 ETM+ บันทึกเมื่อ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ศึกษาการจำแนกประเภทป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ใช้จำแนกแบบ supervise classification โดยการจำแนกครั้งนี้จะใช้ 3 สมการ ในการแยก class ที่ถูกต้องที่สุด คือ 1. การวิเคราะห์เมตริกซ์ความสัมพันธ์ของระดับสีเทา (Gray-level Co-occurrence Matric; GLCM) 2. Mean และ 3. Standard deviation จำแนกประเภทป่าและ 2) เพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากสมการแอลโลเมตรีของ Chave et al. (2005) จากแปลงตัวอย่าง 85 แปลง และค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลดาวเทียม ได้แก่ NDVI GVI DVI และ TNDVI โดยวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเชิงเส้น (Multiple Linear Regression) เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ เพื่อหาสมการที่เหมาะสม ซึ่งสามารถสรุปได้ตามลำดับดังนี้

สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

สามารถแบ่งผลการวิจัยออกได้ตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1. การจำแนกประเภทป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่

จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ บันทึกเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 โดยเทคนิค supervised classification สามารถแยกประเภทป่าไม้อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ. เชียงใหม่ ออกได้ทั้งหมด 6 ประเภทประกอบไปด้วย ป่าดิบเขาสูง, ป่าดิบเขา, ป่าดิบเขา-ป่าสน, ป่าเต็งรัง, ป่าเบญจพรรณ และพื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัย โดยป่าดิบเขา พบมากที่สุดมีพื้นที่เท่ากับ 161.23 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 33.42 รองลงมา คือป่าดิบเขา-ป่าสน และป่าเต็งรัง โดยมีพื้นที่เท่ากับ 77.933 และ 77.394 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 16.15 และ 16.04 ตามลำดับ ป่าเบญจพรรณมีพื้นที่เท่ากับ 63.085 ร้อยละ 13.07 และป่าดิบเขาสูงมีพื้นที่น้อยที่สุดเท่ากับ 25.923 หรือร้อยละ 5.37 ส่วนพื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัยพบว่ามีพื้นที่ 60.358 หรือร้อยละ 12.51 จากพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ป่าดิบเขาส่วนใหญ่พบที่ความสูงตั้งแต่ 700 เมตรขึ้นไป ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่อุทยานฯ พรรณไม้เด่นที่พบทั่วไปได้แก่ ไม้ในวงศ์ Fagaceae, วงศ์ Lauraceae, วงศ์ Magnoliaceae และวงศ์ Theaceae โครงสร้างของป่ามี 3 เรือนยอด ไม่มีไม้พื้นล่างและไม้เลื้อย

เนื้อแข็งมากมัก ไม้ต้นที่สำคัญได้แก่ ไม้ก่อหลายชนิดในสกุล *Castanopsis*, *Lithocarpus* และ *Quercus* (วงศ์ *Fagaceae*) สกุล *Michelia* และสกุล *Paramichelia* (วงศ์ *Magnoliaceae*), สกุล *Actinodaphne*, สกุล *Cinnamomum* และสกุล *Litsea* (วงศ์ *Lauraceae*), ทะโล้ *Schima wallichii* และ สกุล *Camellia* (วงศ์ *Theaceae*) เป็นต้น

พื้นที่ป่าดิบเขา-ป่าสน ส่วนใหญ่พบที่ความสูงตั้งแต่ 1,000 – 1,400 เมตรขึ้นไป ส่วนใหญ่ขึ้นหนาแน่นตามสันที่โล่งแจ้ง ความลาดชันปานกลางของพื้นที่อุทยานฯ โดยสังคมป่าดิบเขา-ป่าสนจะน้อยลงเมื่อระดับความสูงสูงกว่า 1,500 เมตรขึ้นไป ซึ่งจะพบไม้สนอยู่ห่างๆ กัน ไม้เรือนยอดเด่น (สูง 30-40 เมตร) ได้แก่ สนสามใบ ส่วนไม้อื่นๆ ส่วนมากเป็นพืชในวงศ์ *Facaceae* ที่พบในป่าดิบเขา

พื้นที่ป่าเต็งรัง ส่วนใหญ่พบบริเวณทิศใต้ของพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ที่ความสูงตั้งแต่ 600 – 800 เมตรขึ้นไป เป็นป่าที่มีเรือนยอดเปิด โดยทั่วไปต้นไม้จะมีความสูงต่ำกว่า 20 เมตร ไม้เด่นที่พบ คือ ยางกราด *Dipterocarpus intricatus*, เหียง *D. obtusifolius*, พलग *D. tuberculatus*, เต็ง *Shorea obtusa* และรัง *S. siamensis* (วงศ์ *Dipterocarpaceae*) นอกจากนี้แล้วยังพบไม้ต้นและไม้ต้นขนาดเล็กอีกหลายชนิด เช่น แสลงใจ วงศ์ *Loganiaceae*, ปอมีน *Colona floribunda* วงศ์ *Tiliaceae* และยังพบพืชพื้นล่างที่เด่นคือ พวกหญ้า รวมถึงพวกไผ่ต้นเล็ก (สกุล *Arundinaria* วงศ์ *Gramineae*)

พื้นที่ป่าเบญจพรรณ ส่วนใหญ่พบบริเวณทิศใต้และทิศตะวันออกของพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ที่ความสูงต่ำกว่า 800 เมตร เป็นพื้นที่ค่อนข้างราบตามเชิงเขา ที่ลาดชันต่ำถึงปานกลาง และเป็นพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้นสูง เรือนยอดของป่าชนิดนี้จะมีต้นไม้ชนิดต่างๆ ขึ้นปะปนกัน ไม่มีพืชใดชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นไม้เด่นนำ องค์ประกอบของป่าค่อนข้างหลากหลาย โดยสังเกตได้จะมีไม้ในวงศ์ *Leguminosea* เช่น สกุล *Albizia*, สกุล *Dalbergia*, สกุล *Millatia* วงศ์ *Labiatae* เช่น สกุล *Vitex*, วงศ์ *Combretaceae* สกุล *Terminalia* และวงศ์ *Lythraceae* สกุล *Lagerstroemia* ส่วนไม้วงศ์ยางที่ผลัดใบจะไม่พบในป่าชนิดนี้

พื้นที่ป่าดิบเขาสูง พบที่ความสูงตั้งแต่ 1,800 เมตร ต้นไม้ป่าชนิดนี้จะมีความสูงและหนาแน่นแต่เมื่อเทียบกับป่าดิบเขาต่ำแล้วความสูงจะลดลงโดยสูงไม่ถึง 20 เมตร และเรือนยอดจะแน่นแบนต่อเนื่องกันไป พรรณไม้ที่สำคัญมีไม้วงศ์ก่อเพียงบางชนิด เช่น ก่อเรียบ *Quercus glabricupulata* พรรณไม้วงศ์ *Theaceae* ได้แก่ ทะโล้ *Schima wallichii*; แมงเม่านก *Eurya nitida* และจี่ฝี่ *Gordonia dalglieshiana* สกุล *Acer* (วงศ์ *Aceraceae*) และ โปสามหาง *Exbucklandia populnia* วงศ์ *Hamamelidaceae* พรรณไม้ที่พบทั่วไปได้แก่ เหมือดคอย *Myrsine semiserrata* (วงศ์ *Myrsinaceae*) สีมปี *Vaccinium sprengelii* และกุหลาบพันปี *Rhododendrum arboreum subsp.*

พื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัยจะประกอบไปด้วยพื้นที่ของเกษตร โครงการหลวงซึ่งจะปลูกไม้ดอก-ไม้ผลเมืองหนาว และพื้นที่เกษตรของชาวเขา ซึ่งจะมี 2 ชนิดพันธุ์ คือ กะเหรี่ยงและม้ง โดยกะเหรี่ยงจะทำเกษตรด้วยการปลูกข้าวไร่ ทำนาเป็นขั้นบันไดตามหุบเขา ปลูกผักต่างๆ แบบไร่หมุนเวียน ส่วนม้งเป็นสังคมการเกษตร ทำไร่แบบเลื่อนลอยในอดีต ปัจจุบันหันมาเปลี่ยนเป็นปลูกพืช ผัก ผลไม้ ไม้ดอกเมืองหนาว ส่วนด้านที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่อยู่ใกล้ที่ทำการอุทยานและโครงการหลวง ดอยอินทนนท์

การตรวจสอบความถูกต้องการจำแนกประเภทป่าอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์

จากการสำรวจและตรวจสอบความถูกต้องภาคสนาม (Classification Accuracy) จากการเลือกสุ่มตรวจประเภทป่าต่างๆ รวมจุดสำรวจทั้งสิ้น 145 จุด แบ่งออกเป็น ป่าเบญจพรรณ 20 จุด (ร้อยละ 13) ป่าเต็งรัง 24 จุด (ร้อยละ 16) ป่าดิบเขา 50 จุด (ร้อยละ 33) ป่าดิบเขา-ป่าสน 24 จุด (ร้อยละ 16) ป่าดิบเขาสูง 8 จุด (ร้อยละ 5) พื้นที่เกษตรและที่อยู่อาศัย 19 จุด (ร้อยละ 12) พบว่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) ของพื้นที่ป่าทั้งหมด เท่ากับ 86.90 % ค่าความคลาดเคลื่อนในการแปลภาพ เท่ากับ 13.10 % เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ Landsat 7 ETM+ นั้นบันทึกในช่วงปี พ.ศ. 2551 ซึ่งเป็นช่วงที่อุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ระบบกราดภาพเริ่มมีปัญหา เนื่องจากชิ้นส่วนสำหรับการกราดภาพทำงานผิดพลาด ทำให้ได้ภาพที่มีลักษณะเป็นแถบเว้นแถบในแนวนอน ส่งผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมและความถูกต้องในการแปลภาพดังกล่าว

2. การประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาดำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาดำ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ในบริเวณแปลงตัวอย่าง 15 ha. (N = 85) มีค่าเท่ากับ $210.83 \pm 884.68 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ และค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ $472.12 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ในขณะที่ การศึกษาของชมพู่ บุญรอดกลับ และ ศคาร ที่จันทัก (2551: 411-419) พบว่าค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสังคมพืชป่าดิบเขา บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์มีค่าเท่ากับ $284.73 \pm 149.15 \text{ tan/ha}$ และค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 197.21 tan/ha . โดยสาเหตุที่ป่าดิบเขาดำมีค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินสูงกว่าเนื่องจากไม้ที่ปรากฏในแปลงมีขนาดใหญ่ ไม้พุ่มไม้ขนาดเล็กในป่าดิบเขาในระดับสูง และอุณหภูมิบริเวณป่าดิบเขาดำทำให้มีการย่อยสลายของเศษซากพืชน้อย ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพืชพรรณ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับค่าดัชนีพืชพรรณ 4 ตัวแปร ประกอบไปด้วย ค่า NDVI GVI DVI และ TNDVI ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า NDVI ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha-1)} = -2031.4 + 3259.5 (\text{NDVI}) \quad r^2 = 0.7602 \quad F = 267.3^{***}$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) ไม่มีผลต่อค่า GVI ($P = 0.08547$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha-1)} = 326.41 + 233.07 (\text{GVI}) \quad R^2 = 0.02359 \quad F = 3.029$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) ไม่มีผลต่อค่า DVI ($P = 0.0606$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha-1)} = 324.26 + 436.79 (\text{DVI}) \quad R^2 = 0.03023 \quad F = 3.619$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า TNDVI ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha-1)} = -7795.6 + 7343.1 (\text{TNDVI}) \quad R^2 = 0.7596 \quad F = 266.5^{***}$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\log(\text{NDVI})$ ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha-1)} = 3.28973 + 5.5019 \log(\text{NDVI}) \quad R^2 = 0.7968 \quad F = 330.4^{***}$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) ไม่มีผลต่อค่า $\log(\text{GVI})$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P = 0.01639$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha-1)} = 2.74477 + 0.41858 \log(\text{GVI}) \quad R^2 = 0.0562 \quad F = 6.002$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) ไม่มีผลต่อค่า $\log(\text{DVI})$ ที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($P = 0.009681$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha-1)} = 2.8556 + 0.4163 \log(\text{DVI}) \quad R^2 = 0.06681 \quad F = 7.013^{**}$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\log(\text{TNDVI})$ ในเชิงบวกที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha-1)} = 1.72301 + 18.41018 \log(\text{TNDVI}) \quad R^2 = 0.7937 \quad F = 324.3^{***}$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\ln(\text{NDVI})$ ในเชิงบวกที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 7.57489 + 5.50199 \ln(\text{NDVI}) \quad R^2 = 0.7968 \quad F = 330.4^{***}$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\ln(\text{DVI})$ ที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ($P = 0.009681$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 6.5753 + 0.4163 \ln(\text{DVI}) \quad R^2 = 0.06681 \quad F = 7.013^{**}$$

ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำจากแปลงตัวอย่าง (N = 85) มีผลต่อค่า $\ln(\text{TNDVI})$ ที่นัยสำคัญที่ระดับ 0.001 ($P = < 2.2e^{-16}$) ดังสมการ

$$\text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 3.9674 + 18.1402 \ln(\text{TNDVI}) \quad R^2 = 0.7937 \quad F = 324.3^{***}$$

สรุปค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพเหนือพื้นดินป่าดิบเขาต่ำ มากที่สุด โดยมีค่า $R^2 = 0.76020$ รองลงมาคือ ค่า TNDVI $R^2 = 0.75960$ ส่วนค่า DVI และ GVI ไม่มีความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพ โดยความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพกับ สอดคล้องกับงานวิจัยของของ Weiguo and other (2006) ที่ได้สมการ $Y = 1640.6 \text{NDVI} - 111$ และ $R^2 = 0.743$ และการศึกษาประมาณมวลชีวภาพของแปลงสักในจังหวัดปราจีนบุรี โดยใช้ภาพจากดาวเทียมของ เสาวณี ศรีสุวรรณ และอื่นๆ (2009: 69-75) พบว่าค่ามวลชีวภาพกับค่า NDVI มีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่า $R^2 = 0.72$

การวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

จากวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบเชิงเส้น (Multiple Linear Regression) ระหว่างค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับดัชนีพืชพรรณ และคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความสัมพันธ์ เพื่อสร้างเป็นสมการที่ใช้ในการประเมินมวลชีวภาพ ผลการศึกษาสรุปได้เป็นสมการที่เหมาะสม 2 รูปแบบดังนี้

$$1. \text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 18.34 + 58.27 * \log(\text{NDVI}) - 174.34 * \log(\text{TNDVI})$$

$$(R^2 = 0.8027) (F = 88.89, df = 80) (P = < 0.001)$$

$$2. \text{Biomass (Mg.ha}^{-1}\text{)} = 42.22 + 58.27 * \ln(\text{NDVI}) - 174.34 * \ln(\text{TNDVI})$$

$$(R^2 = 0.8027) (F = 88.89, df = 80) (P = < 0.001)$$

สมการแบบที่ 1 และ 2 เหมาะสมจะนำไปใช้ เนื่องจากค่าความเชื่อมั่น R^2 มีค่าเท่ากับ 0.8027 หรือ 80% โดยค่า NDVI และ TNDVI มีความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพมากที่สุด เนื่องจาก

ป่าดิบเขาต่ำในบริเวณแปลงตัวอย่างมีเรือนยอดแน่นหรือหนาที่บเนื่องจากเป็นไม้ที่ขนาดความโตมาก ทำให้ได้ค่าการสะท้อนแสงมากตามไปด้วยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Weiguo et.al. (2006) ที่นำค่า NDVI ไปใช้ในการหามวลชีวภาพ ดังสมการ $Y = -5593.3NDVI^3 + 7509.7NDVI^2 - 1268.9NDVI + 191$ $R^2 = 0.752$ ($N = 53$) ซึ่งจากสมการที่ได้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาต่ำได้ โดยไม่ต้องไปสำรวจภาคสนามทั้งหมด เพื่อลดงบประมาณค่าใช้จ่าย และเวลาในการทำการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัยสามารถตอบสนองความต้องการใช้ข้อมูลที่เร่งด่วนได้ นอกจากนี้ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินยังสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นป่าดิบเขาต่ำอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นที่พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1A เป็นพื้นที่แหล่งต้นน้ำลำธารที่เป็นเสมือนฟองน้ำขนาดใหญ่ทำหน้าที่ดูดซับน้ำฝน และเป็นแหล่งต้นน้ำที่ผลิตน้ำลงสู่พื้นที่ด้านล่างเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภคต่อไป และที่สำคัญอย่างยิ่งคือใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการจัดการทรัพยากรป่าไม้ให้มีความยั่งยืน เพราะป่าไม้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนแหล่งใหญ่ สามารถช่วยบรรเทาปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ เป็นอุทยานที่มีความหลากหลายของป่าไม้เป็นอย่างมาก มีเทือกเขาสลับซับซ้อน เป็นสถานที่ที่เป็นจุดสูงสุดของประเทศไทย และยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดเชียงใหม่อีกด้วย อีกทั้งยังเป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร และเป็นแหล่งกำเนิดแม่น้ำปิงซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักของภาคเหนือ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์จึงเป็นมรดกอันล้ำค่าของธรรมชาติที่จำเป็นต้องอนุรักษ์และดำเนินการเพื่อให้คงอยู่ตลอดไป จึงควรมีการวางมาตรการในการจัดการพื้นที่ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งประโยชน์ โดยเฉพาะพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. การจัดการป่าไม้และการใช้ประโยชน์

ข้อมูลที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ทำให้ทราบถึงชนิดป่าไม้ขนาด และตำแหน่งที่ตั้งของป่าแต่ละประเภท ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการพื้นที่ป่าในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ได้ เช่น การเกิดไฟป่าในฤดูร้อน โดยเฉพาะในป่าผลัดใบ

(ป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ) การปลูกป่าเพิ่มเติมในพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมโดยเฉพาะป่าต้นน้ำลำธาร (ป่าดิบเขา) และปัญหาที่น่าเป็นห่วงอย่างยิ่งในปัจจุบัน คือ เรื่องการบุกรุกป่าเพื่อทำเป็นสถานที่พัก สำหรับนักท่องเที่ยว อีกทั้งการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกของชาวเขาที่มากขึ้นทุกวัน การกำหนดเขตในการจัดการพื้นที่ดังกล่าวจึงจำเป็นต้องบริหารจัดการอย่างเร่งด่วน อีกทั้งต้องมีการใช้กฎหมายอย่าง เข้มงวดอีกด้วย นอกจากนี้ควรมีการจัดทำแผนแม่บทอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ในการแบ่งการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ให้มีความชัดเจน การเพิ่มศักยภาพของพื้นที่เพิ่มเติม เช่นการปรับปรุงดินให้มีศักยภาพในการทำการเกษตร การอนุรักษ์ดินและน้ำ และควรมีแผนการจัดการจัดการองค์ความรู้ ของชุมชนควบคู่ไปกับการพัฒนา เช่นการปลูกพืชพร้อมๆ กันหลายๆ ชนิดในพื้นที่เดียวกัน

2. ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขาดำ เป็นดัชนีที่แสดงถึงความสามารถในการ ให้ผลผลิตของป่า สามารถนำไปคำนวณหาค่าปริมาณสะสมของคาร์บอน เพื่อลดปัญหาโลกร้อนได้ อีกทางหนึ่ง โดยหลักการของ Carbon sink นอกจากนี้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับป่าชนิดเดียวกันที่อยู่ต่างพื้นที่กันแต่ช่วงเวลาต่างกันได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในด้านการศึกษาทางด้านป่า ไม้

3. สมการประเมินมวลชีวภาพป่าดิบเขาดำ สามารถนำไปใช้ประเมินหาค่าปริมาณ คาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าดิบเขาดำได้ทั้งในอดีต และอนาคตเมื่อมีข้อมูลภาพถ่าย ดาวเทียมที่อยู่ในช่วงเดียวกันกับสมการที่สร้างขึ้นได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ตำแหน่งวางแปลงตัวอย่างควรมีให้มีสัมพันธ์การภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อสะดวกในการ วิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณและได้ผลการวิจัยที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง

2. ควรมีการวางแปลงตัวอย่างเพิ่มเติมในพื้นที่ป่าชนิดเดียวกัน เพื่อนำค่าที่ได้มา เปรียบเทียบ และปรับสมการให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. ควรมีการศึกษาหาสมการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างป่าชนิดอื่นๆ กับค่ามวลชีวภาพ เพื่อจะได้ค่ามวลชีวภาพป่าไม้ทั้งหมดทั่วประเทศ

4. ควรมีการนำดาวเทียมอื่นๆ ที่มีศักยภาพในการประเมินการหามวลชีวภาพมาทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบหาความถูกต้องของข้อมูลต่อไป

บรรณานุกรม

- ก่องกานดา ชยามฤต. (2550). *พรรณไม้ในอุทยานแห่งชาติคอยอินทนนท์*. สำนักอุทยานแห่งชาติ, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- เกียรติก้อง พิตรปรีชา, ธิดิ วิสารัตน์, สมบูรณ์ กิรติประยูร และ ชิงชัย วิริยะบัญชา. (2530). *การประมาณมวลชีวภาพและปริมาตรรายต้นของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชัน*. เอกสารทางวิชาการ เล่มที่ 18. กรุงเทพฯ: งานนิเวศวิทยาป่าไม้ ฝ่ายวนวัฒนวิจัย กองบำรุง กรมป่าไม้.
- จำลอง แปลกสรน้อย. (2549). *ศึกษาการประยุกต์การรับรู้จากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าดิบแล้งและป่าเต็ง บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาสารสนเทศภูมิศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- จิรนนท์ ชีรกุลพิศุทธิ์. (2546). *ศักยภาพการสะสมธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าทองผาภูมิ*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาสัตววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชิงชัย วิริยะบัญชา. (2546). *คู่มือการประมาณมวลชีวภาพของหมูไม้*. ฝ่ายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- ชมพู บุญรอดกลับ และ สการ ที่จันทัก. (2551). *โครงสร้างและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสังคมพืชบริเวณอุทยานแห่งชาติคอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่*. ใน การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า 411-419
- ชรินทร์ มงคลสวัสดิ์, วาสนา พุฒกลาง, อัครเดช นังตะลา และ พงษ์เทพ วรรณรส. (2552). *การวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมธีออส สำหรับหาพื้นที่ปลูกยางพารา*. ใน การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติประจำปี 2552, นนทบุรี, อิมแพ็คเมืองทองธานี.
- ธวัชชัย สันติสุข. (2555). *ป่าของประเทศไทย* (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

- นวลปราง นวลอุไร. (2548). *การเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าจากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกลบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย, สาขาสัตววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยฉัตร ลำเถลลอย. (2536). *การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวางแผนการใช้ที่ดิน : กรณีศึกษาพื้นที่คอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย, สาขาวิชาภูมิศาสตร์, คณะสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. (2538). *ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้*. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ. มูลนิธิป่าเขตร้อน. (2556). *ป่าดงดิบเขา (Hill Evergreen Forest)*. วันที่ค้นข้อมูล 11 กรกฎาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://www.tropicalforest.or.th/p23.htm>.
- พิทักษ์ ไชยลังกา. (2553). *การประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่ายูคาลิปตัสจากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล: กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย, สาขาภูมิสารสนเทศ, สำนักวิชาวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ภัทรา ชัยเพียรเจริญกิจ. (2551). *ศักยภาพด้านความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลดาวเทียม THEOS ในการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน: กรณีศึกษาพื้นที่สวนลำไย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาภูมิสารสนเทศ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภัทรสินี ภัทร โภศล. (2550). *สถิติเพื่อการวิจัยทางวิทยาศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัชชาติ สุขสำราญ. (2548). *การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพไม้ป่าชายเลน*. ใน เอกสารทางวิชาการ เลขที่ 15/2448 (หน้า 14). กรุงเทพฯ: สำนักอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศแห่งประเทศไทย, 2556). *องค์ประกอบของ GIS*. วันที่ค้นข้อมูล 2 กรกฎาคม 2556, เข้าถึงได้จาก <http://www.gisthai.org/about-gis/compo-gis.html>.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2556). *สรุปสาระสำคัญ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบเอ็ด พ.ศ. 2555 - 2559*. วันที่ค้นข้อมูล 10 กรกฎาคม 2556, เข้าถึงได้จาก www.nesdb.go.th/Portals/0/news/plan/p11/SummaryPlan11_thai.pdf

- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2540). *การสำรวจจากระยะไกล*. กรุงเทพฯ: กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- สำนักงานที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้. (2558). *โครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2556-2557*. วันที่ค้นข้อมูล 15 มีนาคม 2559, เข้าถึงได้จาก <http://forestinfo.forest.go.th/Content/file/executivesum56-57.pdf>.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, (2552). *ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 2). บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด(มหาชน): สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).
- สำนักอุทยานแห่งชาติ. (2556). *คอยอินทนนท์ (Doi Inthanon)*. วันที่ค้นข้อมูล 28 สิงหาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://park.dnp.go.th/visitor/nationparkshow.php?PTA_CODE=1006
- สุชี บุญสร้าง และ วันชัย อรุณประภารัตน์. (2554). การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกล บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋อน จังหวัดตาก. *วารสารวนศาสตร์*, 30(3), 14-23.
- สุนทร ค่ายอง, ตฤณ เสริมธากุล และ เสวียน เปรมประสิทธิ์. (2551). *การสะสมของคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ชนิดต่างๆ บริเวณคอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่*. ใน การประชุมทางวิชาการสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 4: มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตพะเยา หน้า 126-136
- เสาวณี ศรีสุวรรณ, สมพงษ์ เลียงโรคาพาธ และ กาญจนา นาตะภากร. (2009). การประมาณมวลชีวภาพของแปลงสักในจังหวัดปราจีนบุรี โดยใช้ภาพจากดาวเทียม. *ENGINEERING TRANSACTIONS*. 12(1), 69-75
- อุทิศ ภูอินทร์. (2542). *นิเวศวิทยาพื้นฐานเพื่อการป่าไม้*: สำนักงานมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Formard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests [Abstracts]. *Journal Ecosystem Ecology*, 145: 87-99.
- Navar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Journal Forest Ecology and Management*, 257: 427-434
- Crippen, R. E. (1990). *Calculation the vegetation index faster*. . *Journal Remote Sensing of Environment*, 34:71-73.

- Edwards, P.J. and Grubb, P.J. (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.
- Howard, J. A. (1991). *Remote Sensing of Forest Resources*. London: Chapman & Hall
- Jackson, R.D. (1983). *Spectral Indices in n-Space, Remote Sensing of Environment* , 13, 409-421.
- Jordan, C. F. (1996). *Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. Journal of Ecology*, 17, 70-87.
- Jukka Miettinen, and Soo Chin Liew (2009). Estimation of biomass distribution in Peninsular Malaysia and in the islands of Sumatra, Java and Borneo based on multi-resolution remote sensing land cover analysis. *Journal Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14, 357-373
- Kidwell, K. B. (1990). *Global Vegetation Index User's Guide*. New York: Macmillan Publishing.
- Kittredge, J. (1944). *Estimation of amount of foliage of trees and stands*. *Journal Forestry*, 42, 905-912.
- Kira, T. and Shidei, T. (1967). Primary production and turnover of organic matter in different ecosystems of the Western Pacific. *Japanese Journal of Ecology*, 17, 70-87.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley & Sun Press.
- Ogawa, H., K. Yoda and T. Kira. (1961). A preliminary survey on the vegetation of Thailand. *Nature and life in SE Asia* 1, 21-157.
- Ovington, J.D. (1962). Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. *Advances in Ecological Research*, 1, 103-192.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell J. A., and Deering, D. W. (1973). *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS*. Third ERTS Symposium NASA, : 309-317.
- Satoo, T. and Senda, M. (1958). *Materials for the studies of growth in stand. IV. Amount of leaves and production of wood in young plantation of chameacyparis obtusa*. Departmental Bulletin in Paper The Tokyo University Forests, 54, 71-100.

- Sungpalee, W., Itoh, A., Kanzaki, M., Sri-ngernyuang, K., Noguchi, H., Mizuno, T., Teejuntuk, S., Hara, S., Chai-udom, K., Ohkubo, T., Sahunalu, P., Dhanmmanonda, P., Nanami, S., Yamakura, Y., & Sorn-ngai, A. (2009). Intra- and interspecific variation in wood density and fine-scale spatial distribution of stand-level wood density in a northern Thai tropical montane forest [Abstracts]. *Journal of Tropical Ecology*, 25(4), 359–370.
- Weiguo, L., Wei, G., Zhiqiang, G., and Xinli, W. (2006). Correlation analysis between the biomass of oasis ecosystem and the vegetation index at Fukang. *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability III*, 6(2), 60-67

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ค่า NDVI TNDVI GVI และ DVI
โดยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ จากแปลงตัวอย่างถาวร ป่าดิบเขาต่ำ
อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ค่า NDVI TNDVI GVI และ DVI โดยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ จากแปลงตัวอย่างถาวร ป่าดิบเขาต่ำ อุทยานแห่งชาติ ดอยอินทนนท์ จ.เชียงใหม่

Plot	Biomass.ha	NDVI	GVI	DVI	TNDVI
1	210.8337	0.684447	0.479336	0.251926	1.088282
2	232.40545	0.685262	0.430487	0.225519	1.088669
3	248.23593	0.702386	0.487805	0.248175	1.0965
4	234.04178	0.7037	0.674889	0.365917	1.097133
5	269.9618	0.707853	0.467461	0.249862	1.099022
6	293.02778	0.718995	0.68104	0.372415	1.104035
7	292.0667	0.719998	0.426722	0.221141	1.10453
8	332.5916	0.721678	0.457876	0.236665	1.10519
9	320.11355	0.723739	0.476701	0.255689	1.106194
10	335.83473	0.725977	0.509375	0.270073	1.107114
11	337.73515	0.728587	0.748823	0.399539	1.1084
12	377.62608	0.729406	0.638792	0.343066	1.108679
13	362.02518	0.731011	0.629736	0.337681	1.109482
14	367.19	0.732491	0.801394	0.445256	1.10998
15	373.85705	0.73475	0.638792	0.343066	1.111109
16	400.85168	0.736732	0.654227	0.35267	1.112068
17	466.1902	0.741336	0.474079	0.246848	1.113955
18	403.6839	0.742305	0.560201	0.306472	1.114548
19	341.84783	0.742513	0.679319	0.368846	1.114576
20	353.53335	0.743187	0.557317	0.296508	1.114974
21	363.04738	0.7435	0.428192	0.220766	1.115123
22	353.4309	0.743603	0.608182	0.324783	1.115131
23	337.96698	0.743825	0.827204	0.456031	1.115171
24	519.98098	0.744589	0.498459	0.262335	1.115564
25	509.15113	0.745141	0.687361	0.368945	1.115838

Plot	Biomass.ha	NDVI	GVI	DVI	TNDVI
26	438.5166	0.746002	0.74421	0.404637	1.116173
27	394.87688	0.747408	0.668335	0.361191	1.11684
28	388.98643	0.748665	0.784604	0.434704	1.117421
29	417.0357	0.749412	0.480002	0.25747	1.117757
30	412.29438	0.752235	0.681594	0.372454	1.119003
31	371.64005	0.755213	0.671289	0.363858	1.12023
32	437.2542	0.756421	0.731707	0.394161	1.120839
33	449.419	0.756609	0.636783	0.346162	1.120985
34	429.12585	0.757311	0.5631	0.304326	1.121266
35	393.5696	0.757829	0.441453	0.233643	1.121529
36	364.00145	0.759	0.45189	0.243498	1.122052
37	407.25788	0.760815	0.522737	0.277447	1.122827
38	414.40863	0.761211	0.634491	0.340362	1.12303
39	389.48798	0.762181	0.638792	0.343066	1.123389
40	542.3855	0.764726	0.647602	0.346509	1.124577
41	485.872	0.766704	0.766551	0.423358	1.125399
42	513.51175	0.767025	0.656913	0.350621	1.125558
43	543.83208	0.768348	0.598199	0.324603	1.126135
44	593.9141	0.769638	0.750151	0.412486	1.126766
45	570.50863	0.770335	0.686546	0.37267	1.126984
46	409.68783	0.771415	0.642006	0.344941	1.127402
47	513.4951	0.7727	0.615313	0.339285	1.12814
48	444.62323	0.77277	0.679408	0.368592	1.128166
49	454.6489	0.773503	0.601352	0.325384	1.128495
50	446.20755	0.7757	0.496797	0.2672	1.129469
51	445.88685	0.775886	0.715596	0.394282	1.129551
52	405.25963	0.776008	0.701474	0.38246	1.129503
53	474.11195	0.7763	0.740176	0.404805	1.129734
54	492.89708	0.777359	0.870495	0.480252	1.130187

Plot	Biomass.ha	NDVI	GVI	DVI	TNDVI
55	447.90905	0.779139	0.696111	0.384496	1.130987
56	451.11193	0.779349	0.620247	0.33141	1.131051
57	435.53748	0.780507	0.80866	0.444245	1.13159
58	523.81435	0.78572	0.708852	0.387096	1.13389
59	613.6882	0.786457	0.5988	0.32969	1.13416
60	608.54113	0.78767	0.68525	0.372263	1.134742
61	531.97238	0.789483	0.584039	0.315954	1.135553
62	662.71423	0.79016	0.475465	0.248023	1.135522
63	452.0642	0.790332	0.486912	0.262212	1.135633
64	565.72565	0.794109	0.777485	0.429955	1.137558
65	620.01505	0.795876	0.613595	0.334034	1.138361
66	591.16638	0.795911	0.563796	0.304275	1.138378
67	666.03043	0.795983	0.760815	0.412454	1.138412
68	473.6932	0.798347	0.683679	0.367515	1.139447
69	465.1633	0.799359	0.541126	0.295289	1.139827
70	463.89348	0.799639	0.662021	0.364964	1.139998
71	543.7533	0.801321	0.77419	0.428159	1.140742
72	633.41585	0.801834	0.547507	0.299782	1.140962
73	720.2428	0.802008	0.569039	0.310156	1.141049
74	485.50473	0.807217	0.674157	0.371041	1.14332
75	568.4838	0.808443	0.441347	0.226277	1.143683
76	625.89893	0.811295	0.615083	0.335465	1.144988
77	729.0267	0.811783	0.654374	0.356123	1.145329
78	808.5123	0.814138	0.763122	0.416962	1.146287
79	667.33408	0.816429	0.575843	0.317044	1.147357
80	510.49353	0.816605	0.819352	0.455008	1.147432
81	738.12445	0.821032	0.660085	0.35807	1.149333
82	643.87585	0.835886	0.649792	0.357355	1.155803
83	612.52325	0.840506	0.621334	0.339393	1.15777

Plot	Biomass.ha	NDVI	GVI	DVI	TNDVI
84	703.99588	0.857493	0.575705	0.315942	1.164967
85	884.68318	0.865109	0.590501	0.320229	1.168347