ค ง ท ค ท Sentinel-5A

ท ค ง ท ช ง ถ

Above Ground Biomass Assessment from Sentinel-2A data Using Multiple Linear Regression Analysis

ธ ถ ถ ค ธ 1,- ธ ง 2 ถ ° 1 3 ท ธ ° ไช ถ 4 ° ณ ธ 5

1,2,4,5

3

Corresponding author; E mail address Tinn.th@rmuti.ac.th

ง ท

ค่ามวลชีวภาพสามารถแปลงเป็นค่าการกักเก็บคาร์บอนได้ด้วยการคูณค่าคงที่จาก Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ซึ่งการประมาณค่ามวลชีวภาพหรือการกักเก็บคาร์บอนยังเป็นประเด็นการศึกษาที่เป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบัน บทความนี้ นำเสนอการประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2A โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ มีวัตถุประสงค์ของการศึกษา คือ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ จากข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากการสำรวจรังวัดต้นไม้และสมการแอลโลเมตรี ข้อมูลค่าการสะท้อนแสงของภาพดาวเทียม Sentinel-2A ในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง อินฟราเรดใกล้ และข้อมูลค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และการประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ได้แก่ ค่า NDVI โดยแบบจำลองการประเมินค่ามวลชีภาพเหนือพื้นดิน คือ “Biomass = (12,281.87NDVI) - 2,682.65” โดยมีค่า R^2 อยู่ที่ 0.76 และผลการประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพื้นที่ศึกษา มีปริมาณเท่ากับ 39.11 ตัน/ไร่

คำสำคัญ: มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน, ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2A, การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

Abstract

The biomass can convert to the carbon stock value by multiplying the constant value from Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). At present, biomass and carbon stock assessments are of great interest. This article presents an above-ground biomass assessment from Sentinel-2A data using multiple linear regression analysis. The objective of the study was mathematical modeling with multiple linear regression analysis. The factors to be used in the analysis were (1) biomass data from in-situ measurement and allometry equation, (2) Sentinel-2A data including blue, green, red, and near-infrared bands, and (3) normalized difference vegetation index (NDVI). As a result, the factor related to above-ground biomass was NDVI. The above-ground biomass model was “Biomass = (12,281.87NDVI) - 2,682.65” with R-squared of 0.76. The above-ground biomass value of the study area was about 39.11 tons/rai.

Keywords Above Ground Biomass, Sentinel-2A data, Multiple Linear Regression Analysis

1. ง

ปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้จำนวนมาก เนื่องจากป่าไม้มีบทบาทสำคัญในวัฏจักรคาร์บอน (Carbon Cycle) โดยเป็นทั้งแหล่งกักเก็บและแหล่งปลดปล่อยคาร์บอนทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ IPCC [1] ได้กำหนดแหล่งสะสมคาร์บอนในต้นไม้และดินออกเป็น 5 แหล่ง ได้แก่ แหล่งสะสมคาร์บอนเหนือพื้นดิน ใต้ดิน ไม้ยืนต้นตาย ซากพืช และในดิน โดยแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญที่สุดและมีการเปลี่ยนแปลงได้มากที่สุด คือ แหล่งสะสมคาร์บอนเหนือพื้นดิน ทั้งนี้ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่ามวลชีวภาพ (Biomass) ที่เป็นค่ามวลรวมขององค์ประกอบทุกส่วนของต้นไม้ หรือน้ำหนักแห้งของพืชที่กำหนดต่อหน่วยพื้นที่ [2][3] สำหรับมวลชีวภาพของพืชพรรณสามารถแยกได้เป็น มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพใต้พื้นดิน ซึ่งมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในที่นี้จะเป็นน้ำหนักหรือมวลทั้งสิ้นของต้นไม้ต้นหนึ่งหรือหลายต้นในพื้นที่ที่กำหนด น้ำหนักทั้งสิ้นของต้นไม้ได้แก่

ลำต้น กิ่ง ก้าน และใบ ทั้งนี้ไม่รวมถึงราก และตอที่เหลืออยู่หลังจากที่ตัดต้นไม้แล้ว [4] ดังนั้นข้อมูลลักษณะทางกายวิภาคของต้นไม้ จึงสามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ได้ โดยอาศัยสมการ Allometry ที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพและลักษณะโครงสร้างของต้นไม้ ซึ่งลักษณะโครงสร้างต้นไม้สามารถวัดได้จากการสำรวจข้อมูลในภาคสนาม แต่ทว่าวิธีการนี้จำเป็นต้องอาศัยบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในงานสนามและยังเป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายมาก

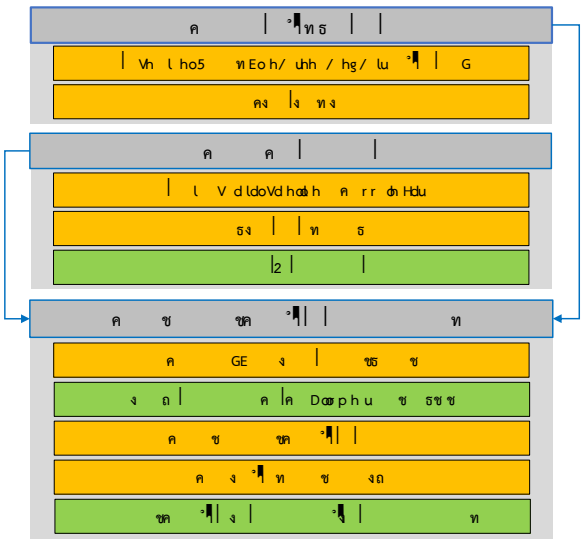
การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A และเทคนิคทางด้านภูมิสารสนเทศ เพื่อประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเต็งรังในพื้นที่ศูนย์การศึกษาหนองระเวียง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน มีพื้นที่รวม 2,513.11 ไร่ (รูปที่ 1) เพื่อเป็นต้นแบบและแนวทางการศึกษาสำหรับพื้นที่อื่น ๆ



1 พื้นที่ศึกษา

2. ค ค

การประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากข้อมูล Sentinel-2A โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ มีวิธีการศึกษา 3 องค์ประกอบหลัก ดังรูปที่ 2 ได้แก่ การรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูล การจำแนกข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ และ การสร้างแบบจำลองการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน



5 กรอบแนวคิดการศึกษา

2.1

2.1.1 *Sentinel- A*

ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2A เข้าถึงได้ผ่านเว็บไซต์ของสำนักงานสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (https://earthexplorer.usgs.gov) การศึกษานี้ใช้ข้อมูล L1C_T47PRS_A025226_20200421T033833 รูปแบบ TOA บันทึกข้อมูลวันที่ 21 เมษายน 2563 มีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 1

ธ ช รายละเอียดของข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2A

Band	Band name	Wave length (nm)	Spatial resolution (m)
2	Blue	496.6	10
3	Green	560.0	10
4	Red	664.5	10
8	Near Infrared	835.1	10

2.1.2

ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2A เป็นข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric correction) มาแล้ว แต่ต้องปรับแก้การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) โดยใช้การอ้างอิงตามหมุดหลักฐาน WGS1984 แบบ UTM zone 48N วิธีการปรับแก้อ้างอิงค่าพิกัดที่ถูกต้องจากภาพที่ต้องการปรับแก้ไปหาภาพที่มีระบบพิกัดอ้างอิงแบบภาพสู่ภาพ (image to image) โดยอาศัยสมการสำหรับใช้ในการปรับแกความคลาดเคลื่อนแบบ Second Order Polynomials และกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองมีขนาดไม่เกิน 1 จุดภาพ และเลือกวิธีการแปลงค่าระดับสีเทาใหม่ (resampling) แบบ Nearest Neighbor

2.1.3 *NDVI*

ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) เป็นการคำนวณค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพืชที่มีต่อช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared) และ ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (Red) สามารถใช้บ่งชี้ความสมบูรณ์ของพืชพรรณตอบสนองค่าความเขียวของพืช และเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการใช้งานเป็นจำนวนมาก เช่น การประเมินกิจกรรมของพืช สังเคราะห์แสง การตรวจสอบพืช และการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน [5] โดย NDVI มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$NDVI = \left(\frac{Nir-Red}{Nir+Red}\right) \quad (1)$$

2.2

การจำแนกข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ในการศึกษานี้เป็นการจำแนกข้อมูลพื้นที่ที่เป็นป่าไม้ และพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าไม้ (พื้นที่สิ่งก่อสร้าง แหล่งน้ำ พื้นที่เปิดโล่ง รวมถึงพื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่น) โดยการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมความละเอียดสูงที่ได้จาก Google Earth ด้วยวิธีการจำแนกข้อมูลด้วยสายตา (Visual image interpretation) หลักการแปลตีความภาพจะผสมผสานองค์ประกอบที่อธิบายคุณลักษณะของวัตถุและรูปลักษณ์ที่ปรากฏบนภาพ

ประกอบด้วย วรรณะของภาพ (Image tone) ลายผิว ของภาพ (Image texture) เงา (shadow) รูปแบบ (Pattern) รูปร่าง (Shape) ขนาด (Size) และที่ตั้ง การวางตำแหน่งและการรวมกลุ่ม (Site, Situation and Association) [6]

2.3

2.3.1 DBH

การสำรวจต้นไม้ในแปลงตัวอย่างขนาด 10x10 เมตร จำนวน 10 แปลง ที่ผ่านการกำหนดจุดแปลงตัวอย่างจากข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ เป็นการสำรวจรังวัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้ในหน่วยเซนติเมตร ณ ความสูงเพียงอก หรือประมาณ 1.3 เมตร เพื่อนำมาหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ (Diameter at Breast height, DBH) โดยอาศัยเทปวัดขนาดต้นไม้ (Diameter Tape) และสำรวจรังวัดความสูงของต้นไม้ในหน่วยเมตร โดยอาศัยกล้องวัดความสูง (Laser Meter)

2.3.2 Allometry

ข้อมูล DBH ของแปลงตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม จะถูกนำมาใช้ในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยอาศัยสมการ Allometry ของป่าเต็งรัง [7] ดังสมการที่ (2-4) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นปริมาณมวลชีวภาพเหนือพ้นดินของแปลงตัวอย่างในหน่วยตันต่อพื้นที่

$$w_s = 0.0396\ (D^2\ H)^{0.9326} \quad (2)$$

$$w_b = 0.03487\ (D^2\ H)^{1.027} \quad (3)$$

$$w_l = \left(\frac{28.0}{W_{tc}+0.25}\right)^{1.027} \quad (4)$$

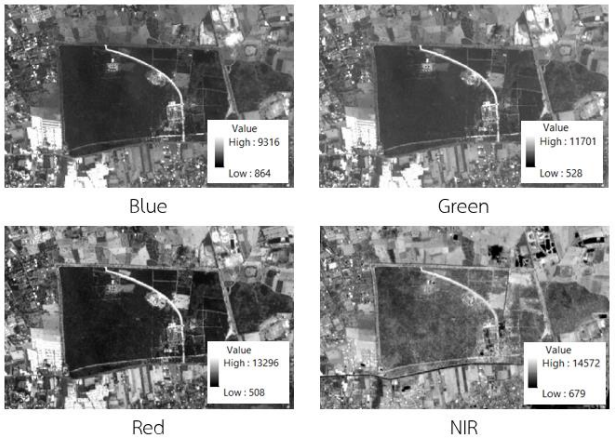
โดยที่ w_s คือ มวลชีวภาพในส่วนของลำต้น (กิโลกรัม), w_b คือ มวลชีวภาพในส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม), w_l คือ มวลชีวภาพในส่วนของใบ (กิโลกรัม), w_{tc} คือ มวลชีวภาพในส่วนของลำต้นและกิ่ง (กิโลกรัม), D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับ 1.3 เมตร (เซนติเมตร) และ H คือ ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

2.3.3

แบบจำลองการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน พัฒนาจากวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression analysis) โดยต้นแปรต้น คือ ข้อมูลภาพดาวเทียม แบนด์ Bule, Green, Red และ NIR (รูปที่ 3) และข้อมูลดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) (รูปที่ 4) ส่วนตัวแปรตาม ได้แก่ ข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงตัวอย่างทั้ง 10 แปลง การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ อาศัยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (SPSS) ใช้กระบวนการคิดแบบเปรียบเทียบคู่ (Stepwise method) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแบบจำลองการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่เกิดจากการความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งหมด

2.3.4

ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินได้จากการใช้แบบจำลองการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากข้อ 2.3.3 มาประเมินร่วมกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน



3 ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2A ทั้ง 4 band



4 ข้อมูล NDVI

3. ค ค

3.1

พื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่ศึกษา เป็นประเภทของป่าเต็งรัง (dry dipterocarp forest) ทั้งหมด และผลการจำแนกข้อมูลพื้นที่ป่าไม้จากข้อมูลภาพดาวเทียมความละเอียดสูงของ Google Earth พบว่า มีพื้นที่ป่าไม้ 1,964.46 ไร่ และไม่ใช่พื้นที่ป่าไม้ 548.65 ไร่ โดยแผนที่ขอบเขตพื้นที่ป่าไม้แสดงดังรูปที่ 5



พื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่ศึกษา

3.2

ผลการคำนวณปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงตัวอย่างจากข้อมูล DBH และสมการ Allometry ของป่าเต็งรังในหน่วยกิโลกรัมต่อหน่วยพื้นที่ ทั้ง 10 แปลงตัวอย่าง ซึ่งมีการกระจายตัวดังรูปที่ 6 ได้ข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงตัวอย่าง ในหน่วยกิโลกรัมต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร แสดงดังตารางที่ 2



ตำแหน่งแปลงตัวอย่างในการสำรวจ DBH

3.3

แบบจำลองการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยสกัดค่าข้อมูลของตัวแปรตามในพื้นที่ที่ตรงกับแปลงตัวอย่าง ต้นแปรต้น ได้แก่ ข้อมูลภาพดาวเทียม แบนด์ Bule, Green, Red และ NIR และข้อมูลดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) ส่วนตัวแปรตาม ได้แก่ ข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแปลงตัวอย่างทั้ง 10 แปลง ข้อมูลตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่ถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเต็งรังในพื้นที่ศึกษา แสดงดังตารางที่ 2

ธ ช 5 ตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่ใช้ในการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ช		Blue	Green	Red	NIR	NDVI
1	4106.21	1101	1001	796	2848	0.56
2	2238.13	1123	1033	956	2227	0.40
3	1266.82	1117	1051	937	2454	0.45
4	1884.73	1147	1059	1131	2210	0.32
5	5127.68	1140	1052	816	2733	0.54
6	5259.04	1083	992	775	2932	0.58
7	3335.25	1115	1074	840	3058	0.57
8	3729.10	1135	1082	937	2506	0.46
9	2834.87	1086	998	856	2224	0.44
10	2202.79	1124	1019	882	2414	0.46

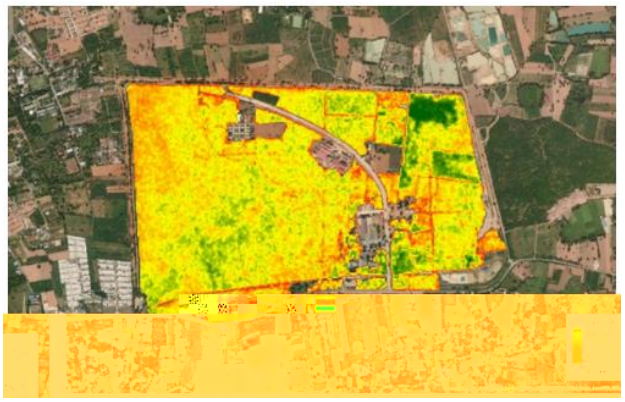
โดยที่ Bule , Green, Red และ NIR คือ ค่าการสะท้อนแสงของในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน เขียว แดง และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ตามลำดับ, NDVI คือ ข้อมูลดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์

สำหรับผลการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจากตัวแปรทั้งหมด ได้แบบจำลองการประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเต็งรังในพื้นที่ศึกษา ที่มีความน่าเชื่อถือ (R^2) เท่ากับ 0.76 และรูปแบบของแบบจำลองแสดงดังสมการที่ (5)

$$\textit{ปริมาณมวลชีภาพ} = (12{,}281.876 \times NDVI) - 2{,}682.649 \qquad (5)$$

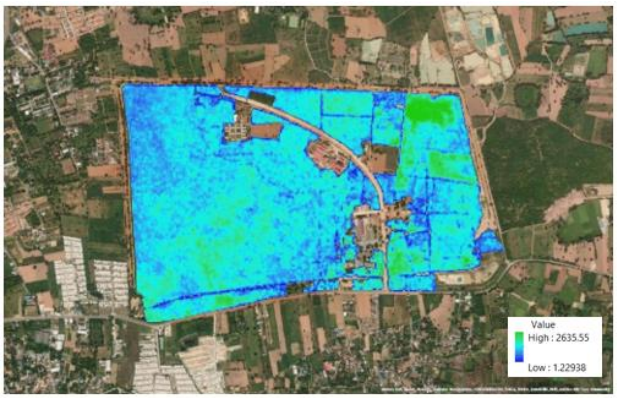
3.4

ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากการใช้แบบจำลอง พบว่า ป่าเต็งรังในพื้นที่ศึกษามีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ยทั้งหมด เท่ากับ 2,444.22 กิโลกรัม/100 ตารางเมตร หรือ 39.11 ตัน/ไร่ โดยความหนาแน่นของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าไม้ แสดงดังรูปที่ 7 ทั้งนี้พื้นที่ 100 ตารางเมตรที่มีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุด คือ 5,607.55 กิโลกรัม และน้อยที่สุดคือ 2.62 กิโลกรัม



: แผนที่ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

อย่างไรก็ตาม ค่ามวลชีวภาพมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้ ดังนั้นจึงสามารถแปลงปริมาณมวลชีวภาพเป็นค่าการกักเก็บคาร์บอนได้ด้วยการคูณค่าคงที่จาก IPCC คือ 0.47 สำหรับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้เฉลี่ยทั้งหมด เท่ากับ 1,148.78 กิโลกรัม/100 ตารางเมตร หรือ 18.38 ตัน/ไร่ และความหนาแน่นของการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ แสดงดังรูปที่ 8



: แผนที่ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

4.

การศึกษาการประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2A โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศ และสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างแบบจำลองการประเมินปริมาณมวลชีวภาพจากข้อมูลมวลชีวภาพและข้อมูลตัวแปรต้นต่างๆ ของแปลงตัวอย่าง เพื่อใช้แบบจำลองในการประเมินปริมาณมวลชีวภาพของทั้งพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดใหญ่ ไม่สามารถตรวจวัดมวลชีวภาพในภาคสนามได้ทั้งหมด หรืออาจใช้เวลา กำลังคน และงบประมาณสูงในการสำรวจจากภาคสนาม รวมไปถึงการศึกษานี้สามารถประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบ หรือแนวทางการศึกษาสำหรับการสร้างแบบจำลองการประเมินมวลชีวภาพตลอดจนการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่อื่น หรือประเภทป่าอื่น ๆ ได้

อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้ สามารถสรุปผลการศึกษา ข้อสังเกต และข้อเสนอแนะ ได้ดังต่อไปนี้

1. การจำแนกข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ พบว่า พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ป่าเต็งรัง พื้นที่เท่ากับ 1,964.46 ไร่ และเป็นพื้นที่อื่น ๆ เท่ากับ 548.65 ไร่

2. แบบจำลองการประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน จากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ได้แบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถืออยู่ที่ 75.8% โดยที่ตัวแปรต้นเพียงตัวแปรเดียวที่มีผลต่อปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ได้แก่ ค่า NDVI โดยรูปแบบจำลองเป็นดังนี้

ปริมาณมวลชีภาพ = (12,281.876 x NDVI) – 2,682.649

3. ผลการประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน พบว่า ป่าเต็งรังในพื้นที่ศึกษามีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเฉลี่ย เท่ากับ 39.11 ตัน/ไร่

4. ลักษณะของป่าไม้ในพื้นที่ศึกษา คือ ป่าเต็งรัง จะมีช่วงเวลาที่ป่าผลัดใบและไม่ผลัดใบ โดยช่วงที่ไม่ผลัดใบหรือป่ามีความสมบูรณ์ที่สุดจะอยู่ในช่วงฤดูที่มีเมฆฝน ส่งผลให้ภาพดาวเทียมที่จะใช้ในการศึกษาถูกปกคลุมด้วยเมฆ ไม่เหมาะสำหรับใช้ในการศึกษา ส่งผลให้ภาพภาพดาวเทียม Sentinel-2A ที่สามารถใช้ในการศึกษาเป็นช่วงที่ป่าเต็งรังในพื้นที่ศึกษาไม่อยู่ในช่วงที่สมบูรณ์ที่สุด อาจใช้ข้อมูลจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) เพื่อลดผลกระทบจากการบดบังของเมฆที่เกิดกับข้อมูลภาพดาวเทียมได้

5. ตัวแปรต้นที่ใช้ในการศึกษา ควรเพิ่มดัชนีอื่นๆ ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน อาทิ Normalized Difference Water Index (NDWI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Triangular Vegetation Index (TVI), Forest canopy density (FCD) เป็นต้น อาจทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการศึกษานี้

6. การศึกษานี้มีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ทำให้ได้ข้อมูลจากแปลงตัวอย่างเพียง 10 แปลง สำหรับผู้สนใจในแนวทางการศึกษานี้อาจต้องประเมินจำนวนแปลงตัวอย่างให้เหมาะสมตามหลักวิชาการ และอาจแยกเป็นแปลงสำหรับสร้างแบบจำลอง (Model-building) และแปลงสำหรับการทดสอบผลที่ได้จากแบบจำลอง (Validation) เพื่อใช้ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง (Accuracy assessment) จะทำให้แบบจำลองและผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

7. การศึกษานี้ในพื้นที่ของป่าเต็งรัง พบว่า ช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลของดาวเทียมที่ต่างกัน อาจส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลองการประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เนื่องจากลักษณะของป่าเต็งรังจะมีการผลัดใบ และแบบจำลองที่ได้จากการศึกษานี้แปลผกผันโดยตรงกับค่า NDVI อาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองนี้เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ประเมินค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าเต็งรังในช่วงเดือนเมษายน ดังนั้นการศึกษาเพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถใช้ได้กับข้อมูลภาพดาวเทียมในทุกช่วงการเปลี่ยนแปลงของป่าเต็งรัง อาจต้องพิจารณาการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมหลายช่วงเวลาเข้าใช้ในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลอง

ค ช ช

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4 Agriculture, forestry and other land use*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.

[2] อุทิศ กุฎอินทร์. (2542). . ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

[3] พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ. (2538). . คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. พิมพ์ครั้งที่ 2.

[4] Edwards, P. J., and Grubb, A. (1977). Studies of Mineral Cycling in a Montane Rain Forest in New Guinea, The distribution of organic matter in the Vegetation and Soil. *Journal of Ecology*. 65: 43-69.

[5] Jensen, J. R. (2005). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. 3rd ed. USA: Pearson Prentice Hall.

[6] สุวิทย์ อ่องสมหวัง. (2559). . สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล, สำนักวิชาวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

[7] Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., and Kira, T. (1965). Comparative ecological studies on three main type of forest vegetation in Thailand II. *Plant biomass. Nature and Life in Southeast Asia*. 4: pp. 49-80.