

การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและแบบจำลองชีวฟิสิกส์เพื่อประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

Application of Satellite Data and Biophysical Model for Assessing Above-ground Carbon Sequestration

ธีรวงค์ เหล่าสุวรรณ,¹ ญาณวุฒิ อุทรักษ์,² ธนัทเดช โรจนกุล^{3*}

Teerawong Laosuwan,¹ Yannawut Uttaruk,² Tanutdech Rotjanakusol^{3*}

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและแบบจำลองชีวฟิสิกส์ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของต้นไม้ในศูนย์ศึกษารวมชาติ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม วิธีการดำเนินงานได้นำข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ มาปรับแก้ค่าการสะท้อนของบรรยากาศและทำการจำแนกพืชพรรณโดยใช้แบบจำลองชีวฟิสิกส์ใน 2 ในสองรูปแบบคือ 1) MSAVI2 และ 2) FVC จากนั้นนำข้อมูลที่ผ่านมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติร่วมกับข้อมูลที่ทำกรสำรวจภาคสนามและได้สมการความสัมพันธ์ $y=0.057e^{0.0460x}$ ทั้งนี้ได้นำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวมาคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ศูนย์ศึกษารวมชาติจากพื้นที่ทั้งหมด 98.100 ไร่ พบว่ามีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 859.990 ตันต่อพื้นที่ศึกษาหรือคิดเป็น 36.462 ตันต่อไร่

คำสำคัญ: ข้อมูลดาวเทียม แบบจำลองชีวฟิสิกส์ การกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

Abstract

This research aims to application of satellite data and biophysical model to estimate above-ground carbon sequestration on natural education center in Mahasarakham University. The research methodology was analyzing Landsat 7 ETM + data by adjusted Top of Atmosphere (TOA) and classifies vegetation using biophysical models in 2 form as follow; 1) MSAVI2 and 2) FVC. In addition, this research was building the relationship equation between satellite data from Landsat 7 ETM+ with field data and the results showed the equation $y=0.057e^{0.0460x}$. As a result, the calculated amount of above-ground carbon sequestration in study area was 859.990 tons per area or 36.462 tons per rai.

Keywords: Satellite data, Biophysical Model, Above-ground Carbon Sequestration

^{1,2,3} อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

^{1,2,3} หน่ววิจัยเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

^{1,2,3} Lecturer, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150

^{1,2,3} Space Technology and Geoinformatics Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150

*Corresponding author: Tanutdech Rotjanakusol, Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150. E-mail: tanutdechohm@gmail.com



บทนำ

โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของพลังงานแสง ซึ่งพลังงานบางส่วนก็จะสะท้อนกลับออกไปนอกโลกในสภาพของพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนนี้จะถูกก๊าซเรือนกระจก (green-house gases) ที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศตามธรรมชาติในปริมาณที่ไม่มากนักดูดกลืนเอาไว้บางส่วน พลังงานความร้อนที่ก๊าซเรือนกระจกดูดกลืนเอาไว้จะทำให้โลกมีความอบอุ่นและทำให้สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ในโลกนี้ได้ แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะเก็บและสะท้อนความร้อนกลับลงมายังโลก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน (global warming) ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นล้วนมาจากกิจกรรมของมนุษย์ทั้งสิ้น โดยก๊าซที่มีความสำคัญอย่างมากก็คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)^{1,2} ทั้งนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยกระบวนการต่างๆ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงและการตัดไม้ทำลายป่า เป็นต้น แต่ในขณะเดียวกันการเจริญเติบโตของต้นไม้โดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ก็ทำให้ป่าไม้ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเปลี่ยนสภาพให้เป็นมวลชีวภาพ (biomass) ทั้งในส่วนของพื้นดิน (ลำต้น, กิ่ง, ใบ) และใต้ดิน (ราก) ทำให้คาร์บอนถูกตรึงอยู่ในต้นไม้จนกว่าจะมีการตัดต้นไม้ออกจากพื้นที่ไป โดยกระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า “การกักเก็บคาร์บอน” (carbon sequestration) ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์²

การใช้ข้อมูลจากดาวเทียมนั้นมาจากคำว่า remote sensing หรือ “การรับรู้ระยะไกล”³ โดยการรับรู้ระยะไกลหมายถึง การบันทึกหรือการได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่เป้าหมายด้วยเครื่องรับรู้ (sensor) โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุนั้นๆ ทั้งนี้ได้อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) เป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะคือ ช่วงคลื่น (spectral) รูปทรงพื้นที่ (spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (temporal) ของสิ่งต่างๆ บนพื้นผิวโลก^{4,5} โดยการรับรู้จากระยะไกลนั้นจัดเป็นศาสตร์อีกแขนงหนึ่งในสาขาฟิสิกส์และฟิสิกส์ประยุกต์⁵⁻⁹ ในปัจจุบันได้มีการนำการ

รับรู้ระยะไกลเข้ามาช่วยในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน¹⁰⁻¹³ เนื่องจากข้อมูลดาวเทียมนั้นสามารถบันทึกค่าการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ได้พร้อมกันในหลายช่วงคลื่น (multi-spectral) ทำให้สามารถนำเอาคุณสมบัติของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ ที่ดาวเทียมบันทึกได้มาประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ป่าไม่ได้ อีกทั้งยังกระทำได้สะดวกรวดเร็วและใช้งบประมาณน้อยลงอีกด้วย^{14,15} สำหรับการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและแบบจำลองชีวฟิสิกส์ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของต้นไม้ในบริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม

การรวบรวมข้อมูลดาวเทียม

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 7 ETM+ Path 127 Row 49 จาก The U.S. Geological Survey, USA โดยสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <http://earthexplorer.usgs.gov/> ทั้งนี้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ดังกล่าวสามารถแสดงรายละเอียดได้ดัง Table 1 ต่อไปนี้¹⁶

Table 1 Detail of Landsat 7 ETM+

Band	Characteristics
Band 1: 0.450-0.515 μm (Blue-Green)	Ground/plant differentiation, coastal zones
Band 2: 0.525-0.605 μm (Green)	Vegetation
Band 3: 0.630-0.690 μm (Red)	Differentiate plant species
Band 4: 0.775-0.900 μm (Near infrared)	Biomass
Band 5: 1.550 - 1.750 μm (Shortwave infrared)	Snow/cloud differentiation
Band 6: 10.40 - 12.50 μm (Thermal infrared)	Thermal
Band 7: 2.090 - 2.350 μm (Reflective infrared)	Lithology
Band 8: 0.520-0.900 μm (Far infrared)	Panchromatic

วิธีการดำเนินงาน

การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น

ในการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์นั้น ได้ผู้วิจัยได้ทำการปรับแก้ค่า Top of Atmosphere (TOA) ของข้อมูลดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องของข้อมูลโดยได้กระทำใน 2 ขั้นตอน ดังนี้ คือ 1) ขั้นตอนสำหรับการทำ Convert Digital Number to Radiance และ 2) ขั้นตอนการทำ Convert Radiance to TOA Reflectance ซึ่งในดำเนินการใน 2 ขั้นตอนดังกล่าวผู้วิจัยได้อ้างอิงจากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ดังนี้^{17,18}

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

โดยที่

$\rho\lambda'$ คือ ค่าการสะท้อนของบรรยากาศจากโลกที่ยังไม่มีการปรับแก้ไขสำหรับมุมของดวงอาทิตย์

M_p คือ ค่าการสะท้อนของ Band X จากข้อมูลดาวเทียม Landsat 7 ETM+

Q_{cal} คือ การปรับมาตรฐานค่าข้อมูลเชิงตัวเลข (DN : Digital Number) ในจุดภาพ (Pixel)

A_p คือ ค่าการสะท้อนจำเพาะของ Band X จากข้อมูลดาวเทียม Landsat 7 ETM+

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin \theta} \quad (2)$$

โดยที่

$\rho\lambda$ คือ ค่าการสะท้อนจากผิวโลกที่ปรับแก้มุมของดวงอาทิตย์

θ คือ ค่ามุมสะท้อนจากดวงอาทิตย์กับดาวเทียม Landsat 7 ETM+

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) นำผลของข้อมูลที่ได้จากการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นมาใช้สร้างแบบจำลองชีวฟิสิกส์ในรูปแบบที่ 1 Modified Soil-Adjusted Vegetation Index 2 (MSAVI2) โดยอ้างอิงจากสมการที่ 3^{19,20}

$$MSAVI\ 2 = \frac{(2NIR+1) - \sqrt{(2NIR+1)^2 - 8(NIR-Red)}}{2} \quad (3)$$

โดยที่

MSAVI2 คือ ค่าดัชนีพืชพรรณ

NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) ความยาวคลื่น 0.76 – 0.90 ไมโครเมตร

RED คือ ช่วงคลื่นแสงสีแดงความยาวคลื่น 0.60 – 0.70 ไมโครเมตร

2) นำผลของข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ได้จากแบบจำลองชีวฟิสิกส์ในรูปแบบที่ 1 มาใช้สร้างแบบจำลองชีวฟิสิกส์ในรูปแบบที่ 2 Fractional green Vegetation Cover (FVC) โดยอ้างอิงจากสมการที่ 4^{19,20}

$$FVC = (VI - VI_{soil}) / (VI_{forest} - VI_{soil}) \quad (4)$$

โดยที่

FVC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปกคลุม

VI คือ ค่าดัชนีพืชพรรณ

VI_{soil} คือ ดัชนีของดิน

VI_{forest} คือ ดัชนีเรือนยอด

การดำเนินการภาคสนาม

1) ทำการเลือกพื้นที่แปลงศึกษาโดยกำหนดแปลงตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนจำนวน 13 แปลง ขนาด 25×25 ตารางเมตร (Figure 1)



Figure 1 Sample plots from Landsat 7 ETM+

2) ทำการวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยใช้เครื่องวัดค่าพิกัดจากดาวเทียม (Global Positioning System)

3) วัดต้นไม้ในแปลงที่ตัวอย่างโดยวัดขนาดไม้ต้นที่มีเส้นรอบวงตั้งแต่ 30 เซนติเมตรและที่ความสูงระดับ

อก (DBH) 130 เซนติเมตร บันทึกชื่อพรรณไม้ ขนาดเส้นรอบวงพร้อมทั้งความสูงของต้นไม้ลงในแบบสำรวจข้อมูล

4) ในการหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง จะคำนวณการสะสมเป็นต้นในทุกๆ แปลง หลังจากนั้นจึงค่อยพิจารณาหาค่าปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้เด่นที่เป็นดัชนีของสังคมป่า และเนื่องจากสังคมไม้และย่อยสังคมไม้จะแตกต่างกันในเรื่องขององค์ประกอบ จึงจำเป็นต้องใช้สมการการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันเพื่อให้เหมาะกับสภาพโครงสร้างของป่า ซึ่งในการศึกษาใช้สมการดังแสดงใน Table 2 ดังนี้

Table 2 Allometric equation²¹

Forest Type	Equation
- Dry Dipterocarp Forest	$Ws = 0.0396 D^2 H 0.9326$
- Mixed Deciduous Forest	$Wb = 0.003487 D^2 H 1.0270$
	$WI = (28.0/Wtc+0.025)^{-1}$

ผลการดำเนินงาน

ผลการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น

สำหรับผลการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์นั้นโดยทำการปรับแก้ค่า TOA ของข้อมูลดาวเทียม Landsat 7 ETM+ นั้นสามารถแสดงได้ดัง Figure 2 และ Figure 3

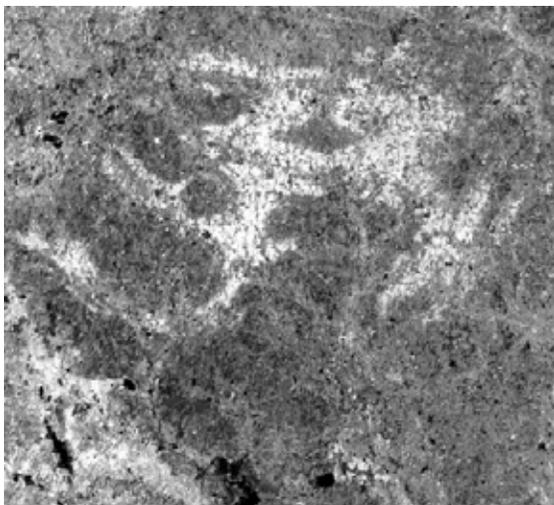


Figure 2 Before TOA

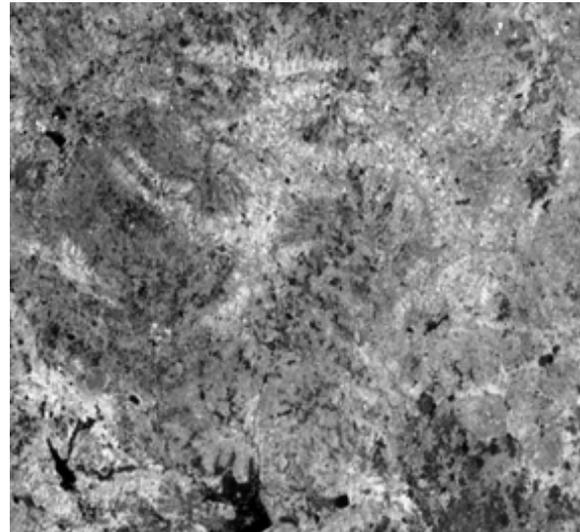


Figure 3 After TOA

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับผลการสร้างแบบจำลองชีวฟิสิกส์ในรูปแบบที่ 1 (Figure 4) ทั้งนี้ค่าของ Modified Soil-Adjusted Vegetation Index 2 หรือ MSAVI2 จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 โดยค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 จะเป็นค่าของดินและน้ำ ส่วนค่าที่มากกว่า 0 จะเป็นค่าของพืชพรรณ ส่วนใน Figure 5 แสดงผลการสร้างแบบจำลองชีวฟิสิกส์ในรูปแบบที่ 2 Fractional green Vegetation Cover (FVC) โดยค่าของดินและน้ำจะมีค่าเป็น 0 ส่วนค่าของพืชพรรณจะมีค่ามากกว่า 0 ถึง 100

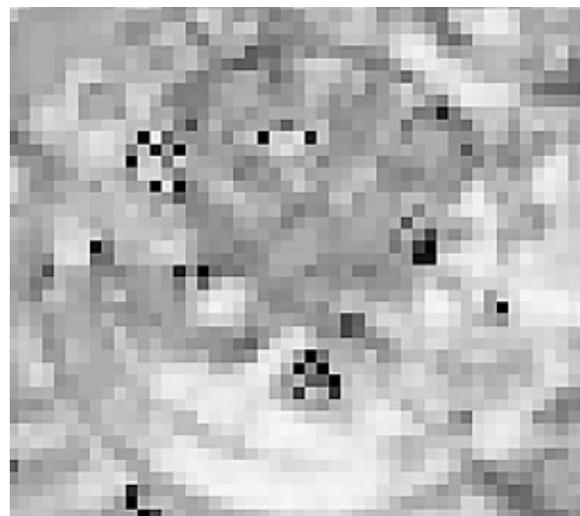


Figure 4 Biophysical Model (MSAVI2)

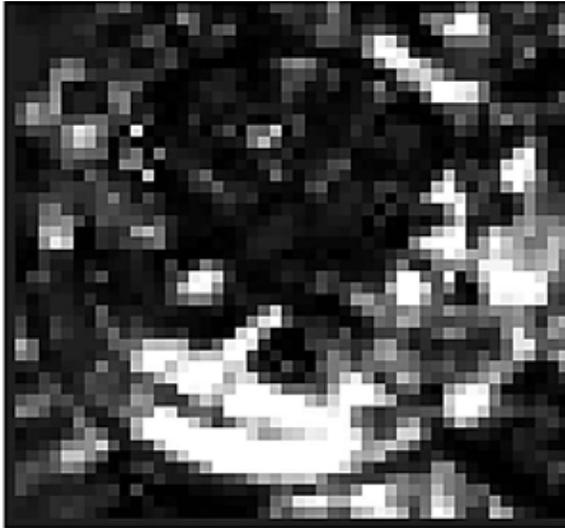


Figure 5 Biophysical Model (FVC)

ผลการดำเนินการภาคสนาม

จากการวางแผนตัวอย่างจำนวน 13 แปลง ในพื้นที่ศึกษา ได้ทำการวัดความสูงของต้นไม้ที่มีเส้นรอบวงตั้งแต่ 30 เซนติเมตรและที่ความสูงระดับอก (DBH) 130 เซนติเมตร และได้นำไปวิเคราะห์หามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า FVC กับปริมาณคาร์บอนจากแปลงตัวอย่างจำนวน 13 แปลงสามารถแสดงได้ดัง Figure 6 และได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.057e^{0.0460x}$ มีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.880$ ทั้งนี้ได้นำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวมาคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ศึกษา ผลการประมาณคาร์บอนต่อพื้นที่ในศูนย์ศึกษาธรรมชาติจากพื้นที่ทั้งหมด 98.100 ไร่ พบว่ามีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 859.990 ตันต่อพื้นที่ศึกษาหรือคิดเป็น 36.462 ตันต่อไร่

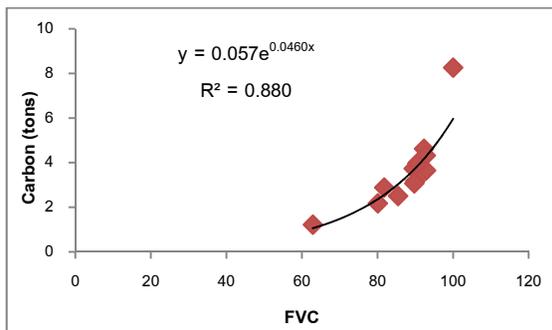


Figure 6 Correlated with FVC

สรุปผล

การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและแบบจำลองชีวฟิสิกส์ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของต้นไม้ในศูนย์ศึกษาธรรมชาติ ภายในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม พบว่าผลของการศึกษาสามารถนำไปคำนวณเพื่อประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้ทั้งสิ้น 36.462 ตันต่อไร่ จากพื้นที่ศึกษาจำนวน 98.100 ไร่ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำผลของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ มาทำการเปรียบเทียบข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามจากข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 13 แปลง ด้วยวิธี Paired Sample t-test พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% โดยผลการดำเนินงานในการศึกษานี้จะถูกนำไปใช้เป็นต้นแบบในการประมาณค่ามวลชีวภาพของต้นไม้ในพื้นที่อื่นๆ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทั้งนี้เพื่อเป็นการรองรับการเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) ของมหาวิทยาลัยมหาสารคามต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. นฐปัทม์ จิตพิทักษ์. มาตรการป้องกันเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก. วารสารสิ่งแวดล้อม, 2 (11); 2542.
2. อุษา กลิ่นหอม, ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ, พรชัย อุทรักษ์, ฤทธิรงค์ จังโกฏี, เพ็ญแข ธรรมเสนานุภาพ และคมกริช วงศ์ภาค่า. การชดเชยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคป่าไม้. รายงานฉบับสมบูรณ์ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่องการศึกษาวิธีการตรวจวัดการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่ปลูกป่าและพื้นที่ฟื้นฟูสภาพป่า. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ; 2554.
3. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ. เทคโนโลยีอวกาศประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาสารคาม : ตักศิลาการพิมพ์; 2557.
4. Campbell, J.B. Introduction to Remote Sensing. Taylor & Francis, London; 1996.
5. Charles Elachi, Jakob Van Zy. Introduction to the Physics and Techniques of Remote



- Sensing. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey; 2006.
6. Arbind Kumar Shah. “Remote sensing”- A part of an Applied Physics. The Himalayan Physics, (4); 2013.
 7. Rees, W. G. Physical Principles of Remote Sensing. Cambridge University Press; 2013.
 8. Deekshatulu, B.L. and O.P. Bajpai. Physics of Remote Sensing, Current Science, 51(24): 1983.
 9. University of Miami. Tutorial 1: Remote Sensing Remote Sensing: Platforms, physics, data, data availability and acquisition. ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก:http://yyy.rsmas.miami.edu/IAI/Inst2000/lectures/binford_jul18/rstut.pdf.
 10. Schlerf, M., Alzberger, C., Hill, J., Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data. Remote Sens. Environ, 95; 2005.
 11. Senpaseuth, P., Navanugraha, C., Pattanakiat, S., The Estimation of Carbon Storage in Dry Evergreen and Dry Dipterocarp Forests in Sang Khom District, Nong Khai Province, Thailand. Environment and Natural Resources Journal, 7 (2); 2009
 12. Patel, N.K., Saxena, R.K., Shiwalkar, A., Study of fractional vegetation cover using high spectral resolution data. J. Indian Soc. Remote Sens., 35; 2007.
 13. Jundang, W., Puangchit, L., Diloksumpun, S., Carbon Storage of Dry Dipterocarp Forest and Eucalypt Plantation at Mancha Khiri Plantation, Khon Kaen Province. Thai Journal of Forestry, 29 (3); 2010.
 14. Ling Du, Tao Zhou, Zhenhua Zou, Xiang Zhao, Kaicheng Huang, Hao Wu. Mapping Forest Biomass Using Remote Sensing and National Forest Inventory in China. Forest, 5; 2014.
 15. Klosterman, S. T., Hufkens, K., Gray, J. M., Melaas, E., Sonnentag, O., Lavine, I., Mitchell, L., Norman, R., Friedl, M. A., Richardson. A. D., Evaluating Remote Sensing of Deciduous Forest Phenology at Multiple Spatial Scales Using PhenoCam Imagery. Biogeosciences, 11 (2); 2014.
 16. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). ดาวเทียม LANDSAT-7 ETM+. ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก: <http://www.gistda.or.th/main/th/node/92>
 17. Yale University. Converting Digital Numbers to Top of Atmosphere (ToA) Reflectance. ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก: http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat_DN_to_Reflectance.pdf.
 18. Claudio Parente. TOA reflectance and NDVI calculation for Landsat 7 ETM+ images of Sicily. The 2nd Electronic International Interdisciplinary Conference; 2013.
 19. Brian Johnson, Ryutaro Tateishi, Toshiyuki Kobayashi. Remote Sensing of Fractional Green Vegetation Cover Using Spatially-Interpolated Endmembers. Remote Sensing, 4; 2012.
 20. Shahram Yousefi Khanghah, Hossein Arzani, Seyed Akbar Javadi, Mohammad Jafary. Above ground biomass estimation of arid rangelands using IRS p6 imagery (case study: Deylam, Iran). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 4(1): 2014.
 21. Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., Kira, T., Comparative ecological studies on three main type of forest vegetation in Thailand II. Plant Biomass. Nature and Life in Southeast Asia, 4; 1965.