

การพัฒนาระบบติดตามการกักเก็บคาร์บอนรายเดือนในภาคการเกษตร แบบใกล้เคียงเวลาจริง

Development of a Monthly Near-Real-Time Carbon Monitoring System for Agriculture Areas

รัชดา คำจริง¹ และ ศักดิ์ดา หอมหวาน^{2*}

Ratchada Kamching¹ and Sakda Homhuan^{2*}

Received: 9 March 2020, Revised: 24 September 2020, Accepted: 9 October 2020

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบติดตามการกักเก็บคาร์บอนรายเดือนในภาคการเกษตรแบบใกล้เคียงเวลาจริง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิในพื้นที่การเกษตรและพัฒนาระบบคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือผิวดินในพื้นที่การเกษตรแบบใกล้เคียงเวลาจริงด้วยวิธีการวิเคราะห์ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิจากข้อมูลของดาวเทียม TERRA/AQUA MODIS รายวันในปี 2560 รายละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร ในช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้ โดยใช้ข้อมูลจำนวน 8 วัน รวมทั้งสิ้น 44 ช่วงเวลา เพื่อการหาค่าเฉลี่ยรายสัปดาห์และนำเสนอในรูปแบบข้อมูลรายเดือน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปฐมภูมิสุทธิด้วยแบบจำลอง 3PGS ผลการศึกษาพบว่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิของพื้นที่เกษตรกรรมมีค่าเฉลี่ย $4.59 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ โดยมีผลรวมเท่ากับ $800,113.4 \text{ tonC/day}$ ซึ่งผลผลิตปฐมภูมิสุทธิจากแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่สำรวจจากภาคสนามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.72 และพบว่าพื้นที่สวนผลไม้มีค่าเฉลี่ยผลผลิตปฐมภูมิสุทธิต่อพื้นที่มากที่สุดคือ $5.36 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ พื้นที่นาข้าวและพืชไร่มีผลผลิตปฐมภูมิสุทธิคิดเป็น 86% ของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิทั้งหมดที่ผลิตได้ การศึกษานี้ นำแบบจำลองมาพัฒนาเป็นระบบคำนวณปฐมภูมิสุทธิและการกักเก็บคาร์บอนร่วมกับ Python package ชื่อ PyModis ซึ่งเครื่องมือที่ใช้สำหรับดาวโหลดข้อมูลอัตโนมัติ

¹ สาขาเทคโนโลยีสำรวจและภูมิสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ 27 ถนนอินใจมี ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ 53000

¹ Department of Survey Technology and Geo-Informatics, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, 27 Injaime Road, Thait, Mueang, Uttaradit 53000, Thailand.

² ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เลขที่ 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

² Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, 239 Huai Kaew Road, Suthep, Mueang Chiang Mai, Chiang Mai 50200, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sakda.homhuan@cmu.ac.th

ที่พัฒนาด้วยภาษา Python การศึกษานี้ทำให้ได้ระบบดาวโหลดข้อมูลอัตโนมัติรายวันที่สามารถคำนวณผลผลิตปฐมภูมิสุทธิและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนได้อัตโนมัติแบบใกล้เคียงเวลาจริง โดยข้อมูลจากระบบถูกผลิตเป็นบริการข้อมูลให้กับผู้ใช้แบบ Web map service ต่อไป

คำสำคัญ: ระบบติดตามอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ, การกักเก็บคาร์บอน, ระบบใกล้เคียงเวลาจริง

ABSTRACT

The development of a near real-time agricultural monitoring system for monthly carbon sequestration in agriculture aimed to study the amount of net primary production in agricultural areas and to develop a system for above ground carbon sequestration calculating in farming area at near real-time net primary yield analysis. Daily TERRA/AQUA MODIS satellite data in 2017 with 250 m spatial resolution in the red and near-infrared wavelengths within 8 days about 44 periods were used for weekly averages net primary production calculation which were represented in monthly data format. The 3PGS model was used for analyzing a net primary production. The average and the total amount of net primary production in farmland were 4.59 gC/m²/day and 800,113.4 tonC/day, respectively. The result from the model was statistically correlated with the field survey data with $R^2 = 0.72$ at 95% confidence interval. The orchard area was the highest average net primary production which was 5.36 gC/m²/day of the total net primary production. The net primary production in rice fields and other crops was about 86% of the total net primary in the area. Python package called PyModis as well as Python-based automated data download tool were used in the model to develop and calculate a net primary production and carbon sequestration system. This study provides a system for automatic daily data downloading which is capable for near-real-time automatic calculation of net primary production and carbon sequestration. The data from the system will be produced as a web map service to the user later.

Key words: net primary production monitoring system, carbon storage, near real-time system

บทนำ

พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ถูกใช้เป็นเครื่องมือให้เกิดความร่วมมือจากนานาประเทศในการกระตุ้นให้เกิดการลดการปลดปล่อยคาร์บอนและก๊าซเรือนกระจก ผลจากข้อตกลงนี้ก่อให้เกิดการตื่นตัวถึงการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ไม่รวมภาคการใช้ที่ดินและป่าไม้) คิด

เป็น 226.08 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และเพิ่มเป็น 318.66 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปี พ.ศ. 2556 โดยสัดส่วนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากภาคพลังงาน รองลงมา ได้แก่ ภาคเกษตรกรรมภาคการใช้ที่ดินและป่าไม้ ภาคกระบวนการผลิตและการใช้ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และภาคของเสียโดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมผลการศึกษาพบว่ากิจกรรมจาก

การเพาะปลูกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอน (Schahczenski and Hill, 2009) คาร์บอนในพื้นที่เกษตรกรรมถูกกักเก็บไว้ในรูปของมวลชีวภาพ ขณะที่การสูญเสียการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตรเกิดขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยวเอาผลผลิตออกไป อีกทั้งมวลชีวภาพที่เหลือทิ้งทางการเกษตรที่ถูกปล่อยทิ้งให้ย่อยสลายคาร์บอนที่เคยกักเก็บเปลี่ยนมากักเก็บไว้ในดิน ขณะที่มวลชีวภาพบางส่วนนำออกจากพื้นที่ผ่านการถูกเผาไหม้

การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่พืชใช้แสงแดด น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ เปลี่ยนออกมาเป็น น้ำตาลกลูโคส น้ำ และออกซิเจน เป็นกระบวนการผลิตขั้นต้นที่เกิดจากพืชหรือการผลิตขั้นปฐมภูมิ (Primary productivity) (Kvet *et al.*, 1971) ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ อัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (Net Primary Production: NPP) เป็นผลผลิตของพืชที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยหักส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจและการผลิตขั้นปฐมภูมิทั้งหมด (Gross Primary Production: GPP) เป็นผลผลิตของพืชทั้งหมดรวมส่วนที่สูญเสียไปจากกระบวนการหายใจ ส่วนของเนื้อเยื่อที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงนี้เรียกว่ามวลชีวภาพ (Biomass) โดยนิยามตรวจวัดในรูปของน้ำหนักแห้งโดยมีค่าเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืชหรือหน่วยต่อพื้นที่

การศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงด้านมวลชีวภาพจากการเกษตรระดับแปลงปัจจุบันสามารถทำได้ง่ายเนื่องจากการใช้ประโยชน์ทางด้านเทคโนโลยีด้านการสำรวจจากระยะไกลที่มีคุณสมบัติในการบันทึกข้อมูลทั้งด้านรายละเอียดของช่วงคลื่นทั้งเชิงพื้นที่และเวลา ทำให้มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประเมินปริมาณของมวลชีวภาพด้วยข้อมูลการสำรวจระยะไกลมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Fang *et al.*, 2019;

Zhang *et al.*, 2019) ในปัจจุบันการศึกษาในต่างประเทศได้ใช้ข้อมูลภาพจากการสำรวจด้วยดาวเทียม Landsat มาจำแนกประเภทการทำการเกษตรของพืชแต่ละชนิดในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (MacDonald *et al.*, 1975) ซึ่งประเภทของการเพาะปลูกมีความสัมพันธ์กับปริมาณของมวลชีวภาพในหลังการเก็บเกี่ยวแต่การศึกษาที่ผ่านมา ยังคงถูกแสดงให้เห็นปริมาณมวลชีวภาพเพียงช่วงเวลาเดียวเท่านั้น (Brickley *et al.*, 2006) การนำการประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (NPP) ด้วยแบบจำลอง 3PGS จากข้อมูลของดาวเทียมมาประมวลผลร่วมกับระบบที่สามารถประมวลผลได้แบบใกล้เคียงเวลาจริง ก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการพัฒนาระบบติดตามการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนรายเดือนในภาคการเกษตรแบบใกล้เคียงเวลาจริงที่จะสามารถ ดาวโหลดข้อมูลอัตโนมัติรายวัน คำนวณ NPP จาก NDVI (Normalized difference vegetation index) ได้อัตโนมัติ และบริการข้อมูลให้กับผู้ใช้แบบ web map service (wms)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิในพื้นที่การเกษตรและพัฒนาระบบคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือผิวดินในพื้นที่การเกษตร โดยนำ PyModis (Python package ที่พัฒนาด้วยภาษา Python) มาใช้ร่วมกับแบบจำลอง 3PGS เพื่อให้สามารถดาวโหลดและคำนวณผลผลิตปฐมภูมิสุทธิในพื้นที่การเกษตรและพัฒนาระบบคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือผิวดินได้แบบอัตโนมัติ ช่วยลดเวลาการทำงานและช่วยในการติดตามข้อมูลปริมาณและการกระจายของมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือผิวดินในพื้นที่การเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ทำการเกษตรที่อยู่ในแนวบันทึก h27v07 ของดาวเทียม TERRA-AQUA ครอบคลุมพื้นที่ 61 จังหวัด ครอบคลุมทุกภาคของประเทศไทย

2. วิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพ

วิธีการประเมินปริมาณของคาร์บอนเหนือผิวดินได้นำแนวคิดที่มีการใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลร่วมกับแบบจำลอง 3PGS ซึ่งแบบจำลอง 3PGS (Physiological Principles for Predicting Growth from Satellites) ถูกนำมาใช้อย่างหลากหลายทั้งเพื่อทำนายการเจริญเติบโตของพืชและคำนวณการกักเก็บคาร์บอน (Coops *et al.*, 1998; Thanyapraneeekul and Susaki, 2006; Charoenpanyanet *et al.*, 2011) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก (ภาพที่ 1) โดยมีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังนี้

1) วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน

แบบจำลองนี้สามารถใช้ประเมินอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิมีหน่วยเป็นกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{gC/m}^2/\text{day}$) ซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์ต่อการวัดการเจริญเติบโตของพืชพรรณ (Coops *et al.*, 1998; Thanyapraneeekul and Susaki, 2006) โดยมีวิธีการคำนวณดังจากสมการ 1

$$\text{NPP} = 0.45 \times \text{GPP} \quad (1)$$

โดยที่ GPP เป็นผลผลิตขั้นปฐมภูมิทั้งหมดมีหน่วยเป็นกรัมคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{gC/m}^2/\text{day}$) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 2

$$\text{GPP} = 1.8 \text{ gC/MJ} \times \text{APAR} \quad (2)$$

ค่า APAR คือรังสีที่ถูกดูดกลืนเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืช ค่า APAR สามารถคำนวณ

จาก FPAR และ PAR (Potitthrp, 2003 Cited Dye and Goward, 1993) โดยมีหน่วยคือ เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{MJ/m}^2/\text{day}$) ดังนี้

$$\text{APAR} = \text{FPAR} \times \text{PAR} \quad (3)$$

ค่า PAR ในสมการ 3 ได้จากการนำข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ มาวิเคราะห์ค่า Photosynthetically active radiation (PAR) โดยมีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{MJ/m}^2/\text{day}$) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 4 ดังนี้

$$\text{PAR} = 0.45 \times \text{Solar Radiation} \quad (4)$$

ข้อมูลรังสีจากดวงอาทิตย์ของปี 2554 ถึง 2559 จำนวนทั้งสิ้น 35 สถานี ถูกมาหาค่าเฉลี่ยทุกๆ 8 วัน และประมาณค่าเชิงพื้นที่โดยใช้วิธี IDW Interpolation เพื่อให้ได้ชั้นข้อมูลความเข้มแสงดวงอาทิตย์รายเดือน สำหรับ ค่า Fraction of the solar radiation (FPAR) ในสมการ 5 หมายถึงสัดส่วนของการแผ่รังสีในช่วงคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงสามารถคำนวณได้จากค่า NDVI (Thanyapraneeekul and Susaki, 2006) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

$$\text{FPAR} = ((\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min})) \times (\text{FPAR}_{\max} - \text{FPAR}_{\min}) + \text{FPAR}_{\min} \quad (5)$$

โดยที่ $\text{FPAR}_{\max}$ และ $\text{FPAR}_{\min}$ ในการศึกษานี้เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0.95 และ 0.01 ตามลำดับ และค่าดัชนีพืชพรรณ โดยนำค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) หรือ NIR กับค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีแดง (RED) หรือ R มาวิเคราะห์ด้วยสมการ 6 ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 ค่าที่เข้าใกล้ +1 บ่งบอกถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่ นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์การจำแนกสิ่งปกคลุมดิน

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR+R) \quad (6)$$

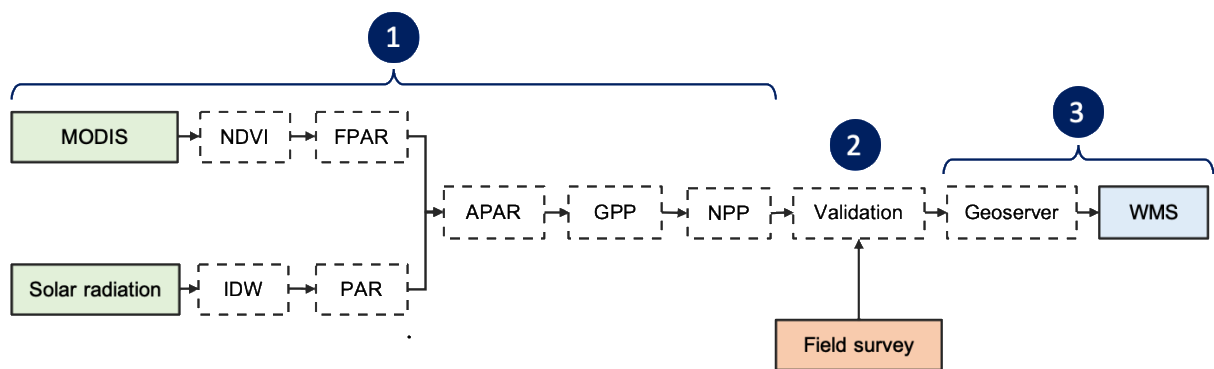
3. การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

การสำรวจข้อมูลภาคสนามเพื่อตรวจวัดปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้ในพืชการเกษตรสำหรับนำไปใช้เปรียบเทียบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม ในการศึกษาเก็บข้อมูลในพื้นที่นาข้าวและพืชไร่ทั้งสิ้น 26 แปลง โดยกำหนดให้แปลงตัวอย่างมีขนาด 30×30 เมตร โดยเก็บข้อมูลบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางแปลง จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างมวลชีวภาพที่พบในพื้นที่ ขนาด 1×1 เมตร ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก จำนวน 3 ครั้งต่อ 1 แปลง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

4. พัฒนาระบบสำหรับวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนแบบอัตโนมัติ

การพัฒนาระบบสำหรับคำนวณผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิจากสมการที่ 1 - 6 (หมายเลข 1 ในภาพ

ที่ 1) ถูกพัฒนาเป็นชุดคำสั่งเพื่อให้ทำงานได้อัตโนมัติ โดยการประยุกต์ใช้ร่วมกับ PyModis ซึ่งเป็น Open source library ที่พัฒนาด้วยภาษา Python เพื่อทำงานกับข้อมูล MODIS (Delucchi, 2020) มีฟังก์ชันสำหรับดาวน์โหลดข้อมูลของ MODIS ฟังก์ชันสำหรับเปลี่ยนระบบพิกัด ฟังก์ชันสำหรับ Mosaic ของข้อมูล MODIS และฟังก์ชันอื่นๆ โปรแกรมของ PyModis สามารถเข้าถึงได้ที่ <http://www.pymodis.org> การศึกษานี้เลือกใช้ข้อมูล Surface reflectance ทุก 8 วัน ของ MODIS ของดาวเทียม Aqua จาก URL <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLA/> และข้อมูลของ MODIS ของดาวเทียม Terra จาก URL <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/> รายละเอียดของชุดคำสั่งสามารถเข้าถึงได้ที่ <https://github.com/dookda/dev-modis-download> จากนั้นพัฒนาระบบบริการข้อมูลด้วย GeoServer เพื่อให้เจ้าหน้าที่หรือผู้ที่สนใจสามารถนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1) ปริมาณและการกระจายของมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือผิวดินในพื้นที่การเกษตรข้อมูลจากดาวเทียม TERRA/AQUA MODIS ถูกนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ (MODIS Land Products) ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดได้ที่ (<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/>)

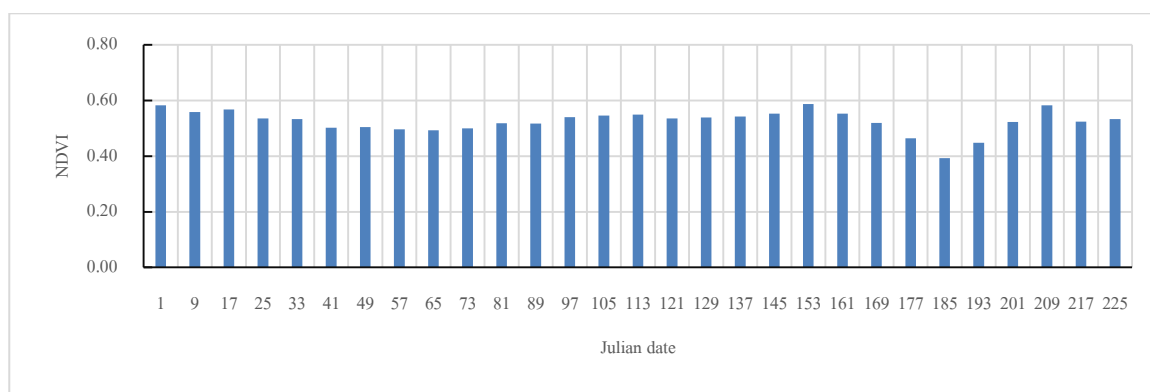
การศึกษารั้วนี้ได้นำผลิตภัณฑ์ MODIS Surface Reflectance มาใช้งาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้ Atmospheric correction มาแล้ว และถูกจัดทำให้เป็นข้อมูลเชิงประกอบหรือข้อมูล Composite ที่มีคาบเวลา 8 วัน (MODIS 8 day composite products) ซึ่งข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย 7 ช่วงคลื่น ดังตาราง 3 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ของ

MODIS Surface Reflectance ภูกราชงานในรูปแบบของวันที่ของปี (Julian day)

ข้อมูลของ MODIS ที่ใช้ในการศึกษานี้มีทั้งหมด 7 Band ประกอบด้วย Band 1 ช่วงคลื่น 620-670 nm Band 2 ช่วงคลื่น 841-876 nm Band 3 ช่วงคลื่น 459-479 nm Band 4 ช่วงคลื่น 545-565 nm Band 5 ช่วงคลื่น 1230-1250 nm Band 6 ช่วงคลื่น 1628-1652 nm และ Band 7 ช่วงคลื่น 2105-2155 nm

หลังจากการวิเคราะห์ด้วยสมการ 6 โดยเลือกให้ข้อมูลใน Band 1 เป็น Red reflectance (Band centered 645 nm.) และ Band 2 เป็น near-infrared reflectance (Band centered 858 nm.) ผลการคำนวณพบว่า ค่า NDVI สูงพบได้บริเวณป่าไม้ทางด้านทิศ

ตะวันตกของประเทศไทย ในขณะที่ที่ปล่อยว่างจะมีค่า NDVI ต่ำ ซึ่งพบมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ซึ่งค่าการสะท้อนในพื้นที่การเกษตรเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาที่ผ่านมา (Chompuchan and Kositsakulchai, 2005) พื้นที่ที่มีการทำการเกษตรในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวมีค่าการสะท้อนอยู่ในช่วง 0 - 0.3 ซึ่งพบได้ทั่วไปในบริเวณพื้นที่ราบทั้งในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขณะที่พื้นที่อื่นๆ เช่น พื้นที่เปิดโล่ง พื้นที่แหล่งน้ำ ค่า NDVI ที่วิเคราะห์มีค่าค่อนข้างต่ำ (ค่าการสะท้อนน้อยกว่า < 0.10) สำหรับค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณในพื้นที่เกษตรตลอดทั้งปีแสดงดังภาพที่ 2

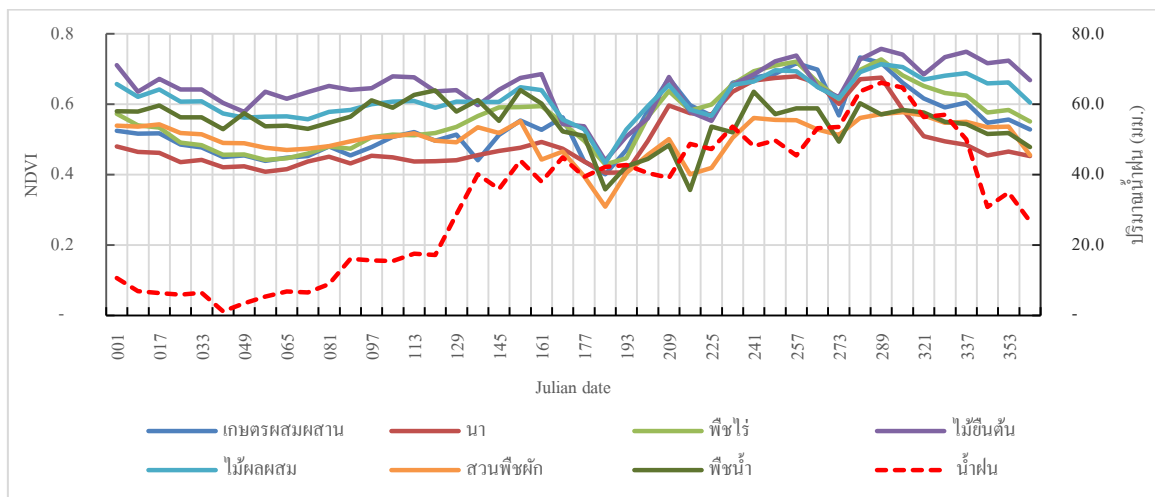


ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณในพื้นที่เกษตรตลอดทั้งปี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีพืชพรรณ พบการกระจายของดัชนีพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่ของประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพืชพรรณในพื้นที่การเกษตรโดยจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย ที่แบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบการเกษตรออกเป็น 6 ประเภท ประกอบด้วย นาข้าว พืชไร่ สวนพืชผัก เกษตรผสมผสาน ไม้ผลผสม และไม้ยืนต้น พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินการเกษตรแบบไม้ยืนต้นมีค่าดัชนีพืชพรรณสูงกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอื่นๆ และการทำการเกษตรแบบไม้ผลผสมมีค่าการสะท้อนรองลงมา ขณะที่พื้นที่นา

ข้าวและสวนพืชผักมีค่าการสะท้อนต่ำกว่าการทำการเกษตร (ภาพที่ 3) จากลักษณะค่าการสะท้อนนี้สามารถจัดกลุ่มของไม้ยืนต้น เช่น การทำการเกษตรแบบปลูกไม้ผล สวนยาง กับการเกษตรที่ไม่ใช่ไม้ยืนต้นได้ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ

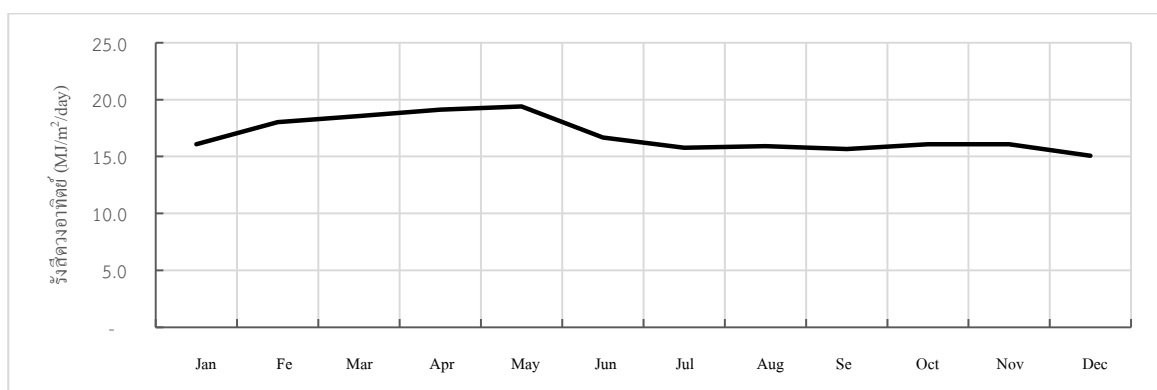
อย่างไรก็ตามข้อมูลจาก MODIS ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลที่ถูกรวมเอาค่าการสะท้อน 8 วัน เข้าไว้ด้วยกันเพื่อลดค่าของข้อมูลที่ถูกรบกวนจากเมฆ แต่ยังคงมีค่าการสะท้อนของเมฆเป็นอยู่มากในช่วงฤดูฝน ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม



ภาพที่ 3 ค่าดัชนีพืชพรรณของการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่างๆ และปริมาณน้ำฝนตลอดปี

ผลการประมาณค่าเชิงพื้นที่ของข้อมูลความเข้มของแสง พบว่า ในแต่ละเดือนจะมีค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน เดือนที่มีรังสีจากดวงอาทิตย์สูงสุดได้แก่เดือนพฤษภาคม มีค่า $19.4 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ รองลงมาเป็นเดือนเมษายนและมีนาคม โดยมีค่า

เท่ากับ 19.1 และ $18.5 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 4) เมื่อวิเคราะห์ภาพรวมของการกระจายรังสีดวงอาทิตย์พบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่ารังสีดวงอาทิตย์มากกว่าภาคอื่นๆ ของประเทศ



ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยรังสีจากดวงอาทิตย์แต่ละเดือน

การประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ (NPP) ของพื้นที่การเกษตร พบว่า มีค่าเฉลี่ย NPP เท่ากับ $4.59 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ เมื่อคำนวณทั้งหมดของภาคการเกษตรจะพบว่า NPP เท่ากับ $800,113.4 \text{ tonC/day}$ การใช้ประโยชน์ที่ดินแบบไม้ยืนต้นและไม้ผลผสมมีค่าเฉลี่ยของ NPP มากที่สุดคือ $5.36 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ และ

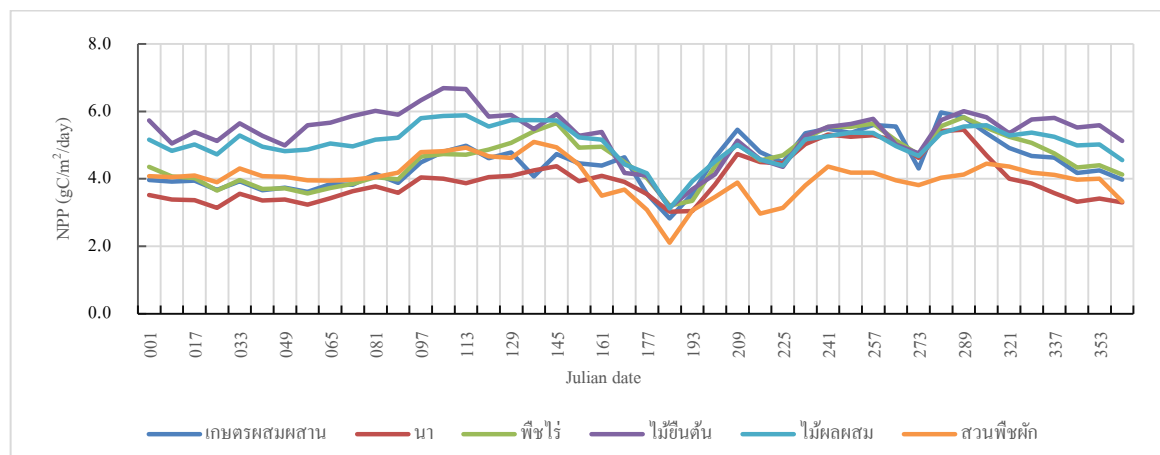
$5.06 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ แต่เมื่อดูผลผลิตรวมทั้งประเทศแล้ว กลับพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบนาข้าวและพืชไร่มี NPP มากที่สุด โดยทั้งพื้นที่ทำการเกษตรแบบนาข้าวและพืชไร่รวมกันคิดเป็น 86% (ตารางที่ 1) ของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิทั้งหมดที่ผลิตได้ โดยนาข้าวมีค่าเฉลี่ยผลผลิตปฐมภูมิสุทธิเท่ากับ 4.02

gC/m²/day มีผลรวมทั้งหมดเท่ากับ 359,404.5 tonC/day พืชไร่ มีค่าเฉลี่ยผลผลิตปฐมภูมิสุทธิเท่ากับ 4.59 gC/m²/day มีผลรวมทั้งหมดเท่ากับ 336,876.9 tonC/day

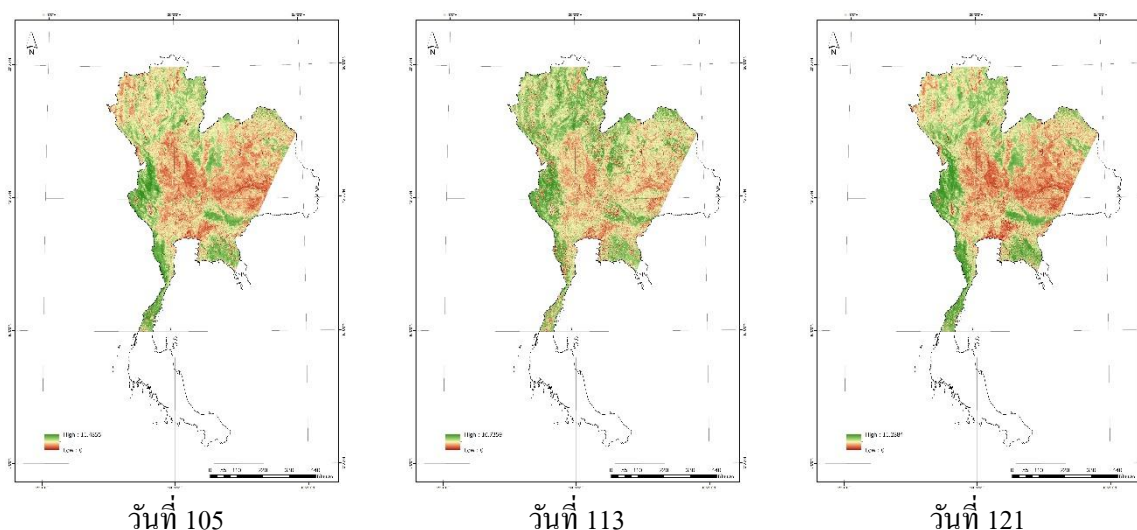
ช่วงเวลาที่มี NPP สูงสุดคือช่วงวันที่ 105 และ 113 ของปี หรือระหว่างวันที่ 15 ถึง 50 พ.ค. ของปี (ภาพที่ 5) แผนที่มีการกระจายของผลผลิตปฐมภูมิสุทธิแสดงดัง (ภาพที่ 6)

ตารางที่ 1 ผลการประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิในพื้นที่การเกษตรของประเทศไทย

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่ (Km ²)	Average NPP (gC/m ² /day)	Total NPP (tonC/day)
เกษตรผสมผสาน	252	4.47	112.7
นา	894,539	4.02	359,404.5
พืชไร่	733,692	4.59	336,876.9
ไม้ยืนต้น	75,829	5.36	40,629.9
ไม้ผลผสม	122,816	5.06	62,153.1
สวนพืชผัก	2,331	4.02	936.3
รวม	1,829,459	4.59	800,113.4



ภาพที่ 5 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิของแต่ละช่วงเวลา

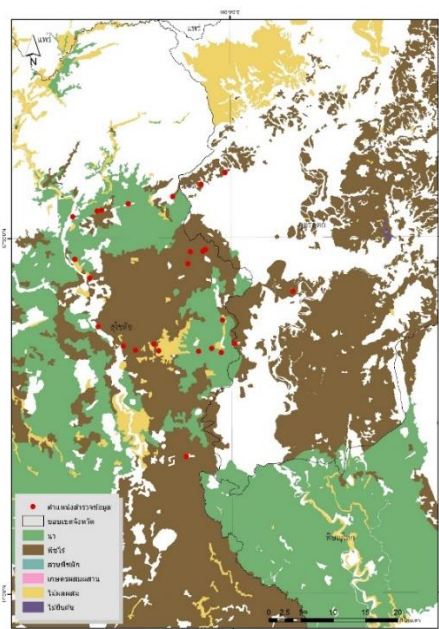


ภาพที่ 6 ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิต่อของช่วงวันที่ 105-121 ของปี พ.ศ. 2560

2) การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่การเกษตรจำนวน 26 แห่ง กระจายอยู่ในพื้นที่ทำการเกษตรในช่วงเวลาหลังการเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 7) ผลศึกษาพบว่าปริมาณมวลชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 kg/m^2 โดยมีมวลชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 1.27 kg/m^2

และมีมวลชีวภาพต่ำสุดเท่ากับ 0.40 kg/m^2 เมื่อคิดเป็นปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้เท่ากับ 0.38 gC/m^2 (คำนวณจากร้อยละ 47 ของน้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ) โดยมีปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บสูงสุดเท่ากับ 0.60 gC/m^2 และต่ำสุดเท่ากับ 0.19 gC/m^2 (ตาราง 2)



1



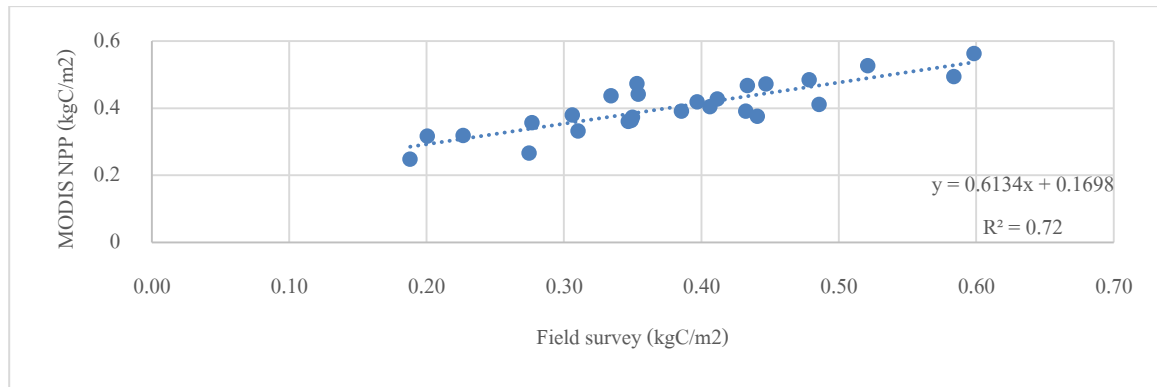
2

ภาพที่ 7 1) ตำแหน่งการเก็บข้อมูลมวลชีวภาพ 2) การเก็บข้อมูลชีวภาพในพื้นที่ขนาด 1×1 เมตร ในพื้นที่การเกษตร

ตารางที่ 2 ข้อมูลมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการสำรวจภาคสนาม

id	x	y	elevation	Biomass (kg/m ²)	C (kgC/m ²) *
1	609021	1779516	59	0.95	0.45
2	636774	1839490	79	1.24	0.58
3	600677	1877164	71	0.74	0.35
4	643182	1795201	80	0.40	0.19
5	588099	1873212	53	0.88	0.41
6	584770	1855699	72	0.66	0.31
7	631844	1851977	83	0.43	0.20
8	651430	1850385	62	0.58	0.27
9	589966	1809482	55	0.48	0.23
10	610631	1813665	76	0.74	0.35
11	610652	1813714	82	0.92	0.43
12	651264	1791076	59	0.74	0.35
13	604132	1786500	79	0.75	0.35
14	587096	1790193	53	1.02	0.48
15	634751	1772353	53	0.94	0.44
16	625392	1749235	52	0.59	0.28
17	613880	1746612	58	0.84	0.40
18	620812	1759895	57	0.71	0.33
19	640914	1776969	54	1.27	0.60
20	583528	1798708	87	0.92	0.43
21	636190	1798656	96	1.11	0.52
22	623523	1825714	96	0.82	0.39
23	622550	1839330	80	0.65	0.31
24	656079	1837365	59	1.03	0.49
25	622086	1858850	60	0.86	0.41
26	622671	1858850	62	0.75	0.35
Average				0.81	0.38

* คัดจากร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ (IPCC, 2006)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจาก 3PGS ผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ กับข้อมูลที่สำรวจจากภาคสนาม

3) การพัฒนาระบบคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือผิวดินในพื้นที่การเกษตร

ข้อมูลปริมาณคาร์บอนที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกนำมาเผยแพร่ในรูปแบบของ Web map service โดยใช้ซอฟต์แวร์ GeoServer ที่ทำหน้าที่เรียกชั้นข้อมูลต่างๆ ที่อยู่ในระบบมาสร้างเป็น Web map service โดยให้บริการข้อมูลทั้งรูปแบบ bitmap เช่น PNG, JPG, TIFF และแบบ Vector เช่น Shapefile, GeoJson, GML, KML เป็นต้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้งานแผนที่ผ่านโปรแกรมด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ArcGIS, QGIS, Google Earth ซึ่งผลจากการศึกษานี้ได้ถูกรวบรวมไว้ในเครื่องแม่ข่าย ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูระบบแผนที่ออนไลน์เพื่อเรียกดูชั้นข้อมูลดัชนีพืชพรรณ รังสีดวงอาทิตย์ และผลผลิตขั้นปฐมภูมิของประเทศผ่านด้วยเว็บ browser จาก URL: <http://www.cgi.uru.ac.th/carbon>

สรุป

การนำข้อมูลจากดาวเทียมระบบ MODIS มาใช้ในการประเมินปริมาณคาร์บอนเหนือผิวดินในพื้นที่ทำการเกษตรด้วยแบบจำลอง 3PGS โดยมีพื้นที่ศึกษาเป็นแนวนันทิกข้อมูล h27v07 ของ TERRA/AQUA MODIS ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของประเทศไทยจำนวน 61 จังหวัด โดยมีรายละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ

250 เมตร ข้อมูลที่นำไปวิเคราะห์เป็นข้อมูลค่าการสะท้อนของ MODIS ช่วงคลื่น Red (620-670 nm) และ NIR (841-876 nm) ทุก 8 วัน ในปี 2560 ซึ่งรวมทั้งสิ้น 44 ช่วงเวลา ถูกวิเคราะห์ด้วยสมการคำนวณหาปริมาณคาร์บอน

ผลการประเมินผลผลิตปฐมภูมิสุทธิ หรือ NPP ของพื้นที่การเกษตร พบว่า มีค่าเฉลี่ย NPP เท่ากับ 4.59 gC/m²/day ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Potitthep (2003) ที่ทำการประมาณค่า NPP ในพื้นที่การเกษตรของประเทศไทยโดยใช้แบบจำลองผลผลิตที่มีประสิทธิภาพ (Production Efficiency Model: PEM) มีค่าเท่ากับ 1,432 gC/m²/year หรือเท่ากับ 3.92 gC/m²/day ขณะที่การเกษตรแบบปลูกไม้ยืนต้นมี NPP ที่คำนวณได้เท่ากับ 5.36 gC/m²/day ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Charoenpanyanet *et al.* (2011) ที่ได้ใช้แบบจำลอง 3PGS ในการประเมินผลผลิตสุทธิขั้นปฐมภูมิของป่าไม้ต่างชนิดโดยมีค่า NPP เท่ากับ 5.11 gC/m²/day และผลการประมาณค่า NPP ที่ได้จากการศึกษานี้มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่สำรวจได้จากสนามอย่างมีนัยสำคัญที่ยอมรับได้ถึงแม้การใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลสามารถนำมาประมาณผลผลิตขั้นปฐมภูมิของพืชการเกษตรได้เป็นอย่างดีแต่ข้อจำกัดของข้อมูลจากกลุ่มเมฆในช่วงฤดูฝนทำให้ไม่สามารถบันทึกข้อมูลได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงที่เกิดมรสุมในฤดูฝน

การติดตามปริมาณคาร์บอนเหนือผิวดินในพื้นที่เกษตรนี้ใช้ PyModis ซึ่งเป็น Open source library ที่สามารถนำมาพัฒนาโดยไม่มีค่าใช้จ่ายด้านลิขสิทธิ์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า PyModis เป็น library ที่ช่วยให้ความสะดวกสำหรับการดาวโหลดข้อมูลอัตโนมัติโดยการตั้งเวลาให้ดาวโหลดในช่วงเวลาที่ต้องการได้เป็นอย่างดี ข้อมูล Surface reflectance ที่ดาวโหลดได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง 3PGS ด้วย Python script ที่พัฒนาขึ้นทำให้งานทำงานเป็นอย่างรวดเร็ว ลดเวลาการวิเคราะห์ด้วยผู้ใช้งาน และข้อมูลได้ถูกเผยแพร่ในรูปแบบแผนที่บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อให้ผู้สนใจสามารถเรียกดูข้อมูลได้ผ่าน Web browser และ GIS software

วิธีการดังกล่าวทำให้ได้ข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนรายเดือนเพื่อนำไปใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ภาคเกษตร และช่วยลดเวลา ในการดาวโหลดและวิเคราะห์ข้อมูลสามารถทำให้ประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมีความรวดเร็วและใกล้เคียงเวลาจริงมากขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นคุณค่าและความก้าวหน้าทางวิชาการที่เกิดขึ้นจากผลงานวิจัย รวมทั้งระบบยังมีคุณค่าต่อการนำไปพัฒนาชุมชน สังคม และประเทศ ในประเด็นการส่งเสริมการลดการเผาในพื้นที่ทำการเกษตรได้ โดยสำนักงานเกษตรจังหวัดอุดรธานีได้นำข้อมูลจากระบบติดตามการกักเก็บคาร์บอนรายเดือนในภาคการเกษตรแบบใกล้เคียงเวลาจริงไปช่วยในการตัดสินใจเพื่อลงมือส่งเสริมการลดการเผาในพื้นที่ทำการเกษตร กล่าวคือจากค่า NPP ในระบบสามารถทำให้ทราบว่าพื้นที่ที่มีค่า NPP ต่ำ แสดงว่าเกษตรกรใช้วิธีการเผาแทนที่จะใช้วิธีการไถกลบในพื้นที่ทำการเกษตร วิธีการเผาจะส่งผลให้ไม่มีปริมาณชีวมวลสะสมอยู่ในพื้นที่ จากข้อมูลดังกล่าวจึงส่งผลให้สำนักงานเกษตรจังหวัดอุดรธานีสามารถที่จะลงไปยังพื้นที่ที่มีค่า NPP ต่ำ เพื่อทำการส่งเสริมการลด

การเผาพื้นที่ได้อย่างตรงเป้าหมายและส่งเสริมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งกระบวนการวิจัยดังกล่าวยังได้ส่งเสริมและกระตุ้นให้ทีมวิจัยเกิดความคิดและค้นคว้าเพื่อต่อยอดในการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบติดตามและเตือนภัยไฟป่าในพื้นที่วนเกษตรขึ้น โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพที่ใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลร่วมกับแบบจำลอง 3PGS ในลักษณะเดียวกันเพื่อดูการสะสมตัวของมวลชีวภาพผสมกับจุดความร้อน (Hotspot) และนำมาประมวลผลในระบบติดตามและเตือนภัยไฟป่าในพื้นที่วนเกษตรจังหวัดอุดรธานี โดยระบบดังกล่าวได้ดำเนินการพัฒนาเสร็จสิ้นและในปัจจุบันทางสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดอุดรธานีได้ใช้ระบบเป็นเครื่องมือในการติดตามและช่วยในการตัดสินใจในการเฝ้าระวังและจัดการไฟป่าของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องร่วมกับเกษตรกรในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับข้อเสนอแนะที่จะทำให้ระบบดังกล่าวสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นนั้นการเก็บข้อมูลภาคสนามสำหรับใช้ตรวจสอบความถูกต้องทำได้ในพื้นที่บางส่วนของข้อมูลที่บ้านที่กได้จากข้อมูล MODIS และไม่ครอบคลุมการใช้ประโยชน์ที่ดินทุกประเภทที่ศึกษา การเพิ่มข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่จะทำให้ผลการศึกษา มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ข้อมูลที่ได้จากวิเคราะห์ยังไม่ถูกนำไปเปรียบเทียบกับ MODIS Gross Primary Productivity และ Net Primary Productivity อย่างไรก็ตามข้อมูลแบบอัตโนมัติมีข้อจำกัดจากกลุ่มเมฆทำให้ข้อมูลบางช่วงต่ำกว่าความเป็นจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงฤดูฝนที่มีปกคลุมของเมฆ ผู้ที่สนใจนำข้อมูลไปใช้ต่อควรหลีกเลี่ยงข้อมูลช่วงระยะเวลาดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัย รวมทั้งสำนักงานเกษตรจังหวัดอุดรธานี ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบติดตามการกักเก็บคาร์บอนรายเดือนในภาคการเกษตรแบบใกล้เวลาจริงสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการส่งเสริมการลดการเผาในพื้นที่ทำการเกษตรของจังหวัดอุดรธานี ผู้วิจัยหวังอย่างยิ่งว่างานวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ และเป็นแนวทางในการนำระบบไปขยายผลสู่การนำใช้เพื่อการวางแผนสำหรับจังหวัดอื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Bricklemeyer, R.S., Lawrence, R.L., Miller, P.R. and Battogtokh, N. 2006. Predicting tillage practices and agricultural soil disturbance in north central Montana with Landsat imagery. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 114(2006): 210-216.
- Charoenpanyanet, A., Hemwan, P. and Sangngam, C. 2011. **Remote sensing for estimation of net primary productivity (NPP) of different forest types**. GISTDA. Available Source: <http://gist.soc.cmu.ac.th/webboard/index.php/news/activities/Research/0050.html>, April 20, 2020. (in Thai)
- Chompuchan, C. and Kositsakulchai, C. 2005. **Study of cropping calendar of dry-season rice using NOAA/AVHRR images**. Researchgate. Available Source: https://www.researchgate.net/publication/239538228_Study_of_Cropping_Calendar_of_Dry-season_Rice_using_NOAA_AVHRR_Images_in_Thai_with_English_abstract_karsuksaptithinkarphaeaplukkhawchwngvdulaengdwypaphthaycakdawtheiym_NOAA_AVHRR, April 20, 2020. (in Thai)
- Coops, N.C., Waring, R.H. and Landsberg, J.J. 1998. Assessing Forest productivity in Australia and New Zealand using a physiologically-based model driven with averaged monthly weather data and satellite – derived estimates of canopy photosynthetic capacity. **Forest Ecology and Management** 104(1-4): 113-127.
- Delucchi, L. 2020. **Welcome to pyModis**. PyModis. Available Source: <http://www.pymodis.org/>, April 20, 2020.
- Fang, L., Yang, J., Zhang, W., Zhang, W. and Yan, Q. 2019. Combining allometry and landsat-derived disturbance history to estimate tree biomass in subtropical planted forests. **Remote Sensing of Environment** 235: 111423
- IPCC. 2006. **Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use**. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Available Source: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>, April 20, 2020.
- Kvet, J., Ondok, J.P., Necas, J. and Jarvia, P.G. 1971. Method of growth analysis, pp. 648-752. In Sestak, Z., Catsky, J. and Jarvis, P.G., eds. **Plant Photosynthesis Production: Manual of Methods**. Junk N.V. Publishers, The Hague, Netherlands.
- MacDonald, R.B., Hall, F.G. and Erb, R.B. 1975. The use of LANDSAT data in Large Area Crop

- Inventory Experiment (LACIE), pp. 1B-1-1B-23. **In Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data.** LARS, Purdues University, West Lafayette, IN.
- Potithrp, S. 2003. Estimation of net primary productivity (NPP) using remote sensing and local parameters in Thailand. Master of Science (Information Technology), Asian Institute of Technology.
- Potithrp, S. 2003. Estimation of net primary productivity (NPP) using remote sensing and local parameters in Thailand. Master of Science (Information Technology), Asian Institute of Technology. Cited Dye, D.G. and Goward, S.N. 1993. Cover Photosynthetically active radiation absorbed by global land vegetation in August 1984. **International Journal of Remote Sensing** 14(18): 3361-3364.
- Schahczenski, J. and Hill, H. 2009. **agriculture, climate change and carbon sequestration.** **ATTRA: National Sustainable.** Agriculture Information Service. Available Source: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs141p2_002437.pdf, February 20, 2020.
- Thanyapraneeekul, J. and Susaki, J. 2006. Estimation of forest plantation productivity using a physiologically based model driven with meteorological data and satellite-derived estimates of canopy photosynthetic capacity. **IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing** 58: 339-342.
- Zhang, R., Zhou, X., Ouyang, Z., Avitabile, V., Qi, J., Chen, J. and Giannico, V. 2019. Estimating aboveground biomass in subtropical forests of China by integrating multisource remote sensing and ground data. **Remote Sensing of Environment** 232(9): DOI:10.1016/j.rse.2019.111341.