

การใช้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าปลูก ในลุ่มน้ำแม่ดาวที่ท่าเหมืองแร่สังกะสี อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Carbon Storage of Plantation Forests in Zinc-Mined Mae Tao Watershed, Mae Sod District, Tak Province

ศุภกานต์ ธิเตจี¹, สุนทร คำยอง², อัมรินทร์ บุญตัน³, อริศรา เจริญปัญญาเนตร⁴ และ พันธุ์พล หัตถโกศล³

Suppagarn Thiteja¹, Soontorn Khamyong², Amarin Boontun³,

Arisara Charoenpanyanet⁴ and Panlop Huttagosol³

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ภาควิชาเกษตรที่สูงและทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹Plant and Soil Sciences Department, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

²Highland Agriculture and Natural Resources Department, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

³Mining and Petroleum Engineering Department, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

⁴Geography Department, Faculty of Social Science, Chiang Mai University

Received : 17 June 2019

Revised : 30 July 2019

Accepted : 21 August 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ACS) ของป่าปลูกเพื่อการทดแทนพื้นที่การทำเหมืองแร่สังกะสีของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด ในลุ่มน้ำแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ประกอบด้วยป่าปลูก 2 พื้นที่ คือ อายุ 19 ปี (พ.ศ. 2543, PF1) เนื้อที่ 328 ไร่ และ 20 ปี (พ.ศ. 2542, PF2) เนื้อที่ 505 ไร่ พื้นที่เดิมเคยเป็นป่าเบญจพรรณที่มีสภาพเสื่อมโทรมจากการบุกรุกเพื่อการเกษตร การปลูกป่าใช้ไม้สักเป็นพันธุ์ไม้หลักและมีพันธุ์ไม้อื่นๆ อีกหลายชนิด ศึกษาสำรวจพรรณไม้ภาคสนามโดยการวางแปลงสุ่มตัวอย่างขนาด 40x40 ม. ขึ้นอายุละ 5 แปลง รวม 10 แปลง และเก็บข้อมูลโดยวัดเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับ 1.3 ม. จากพื้นดินของต้นไม้ที่มีความสูง 1.5 ม. ขึ้นไปและวัดความสูงของต้นไม้ คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือและใต้พื้นดิน (CS) โดยใช้สมการแอลโลเมทรี พบว่า PF1 และ PF2 มีค่า CS เฉลี่ย 6,477 กก./ไร่ (40.48 เมกกะกรัม/เฮกแตร์) และ 9,202 กก./ไร่ (57.51 เมกกะกรัม/เฮกแตร์) ตามลำดับ ความสัมพันธ์ของ ACS และ NDVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 แต่ละฤดูกาลในรอบ 1 ปี พบว่าค่า NDVI ของเดือนธันวาคม มีความสัมพันธ์กับ ACS มากที่สุด คือ PF1: CS = 79,029(NDVI)-16,215; R²=0.96 และ PF2: ACS = 28,687(NDVI)-517; R²=0.90 ค่า ACS ในพื้นที่ PF1 และ PF2 ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1,800 และ 3,800 เมกกะกรัมตามลำดับ ดังนั้นการคัดเลือกช่วงเวลาภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเมิน ACS ในพื้นที่ป่าปลูกที่มีพันธุ์ไม้ส่วนใหญ่เป็นไม้ผลัดใบ ควรจะใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่ต้นไม้เริ่มมีการทิ้งใบบางส่วน เพื่อให้ได้ค่า NDVI ที่เป็นตัวแทนของทั้งใบ กิ่ง และลำต้น รวมทั้งพืชพื้นล่าง

คำสำคัญ : ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ, การกักเก็บคาร์บอน, ป่าปลูก, เหมืองแร่สังกะสี, การสำรวจจากระยะไกล

*Corresponding author. E-mail : suppagarn.t@cmu.ac.th

Abstract

The research objective is to study the relationship between normalized differentiation vegetation index (NDVI) and above-ground carbon storage (ACS) in biomass of two plantation forests for compensated zinc-mined land of Phadaeng Industry Co., Ltd. in Mae Tao watershed, Mae Sod district, Tak province. The plantation forests included 19- and 20-year old stands (1999, PF1; 2000, PF2) which had areas of 328 and 505 rai, respectively. The original forest was degraded mixed deciduous suffered from shifting cultivation. Teak (*Tectona grandis*) was planted as the main species and some other species. Five plots each (10 plots), 40x40 m² in size were used for plant survey in the forests. Plant data were collected by measuring stem girth at 1.3 m above-ground and tree height of all tree species with the height over 1.5 m. Carbon storage in above- and below-ground biomass (CS) was measured using allometric equations. The results show that PF1 and PF2 had the CS values of 6,477 (40.48 Mg/ha) and 9,202 kg/rai (57.51 Mg/ha), respectively. The relationship between the above-ground carbon storage (ACS) and NDVI values based on Landsat-8 satellite imagery was investigated in different season during a year, and found that the data in December were the most correlated values to the ACS as PF1: ACS = 79,029(NDVI)-16,215; R²=0.96 and PF2: ACS = 28,687(NDVI)-517; R²=0.90. Thus, the total amounts of ACS in PF1 and PF2 areas were estimated to 1,800 and 3,800 Mg, respectively. The selection of satellite image for evaluating ACS in the plantations consisted of mainly deciduous trees should select the time of some falling leaves in order to receive the NDVI values as the representatives of leaves, branches, stems, and ground-covered species.

Keywords : NDVI, carbon storage, plantation forest, zinc mine, remote sensing

บทนำ

พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ดาวตอนบนฝั่งขวาตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มีลักษณะเป็นภูเขาสูงสลับที่ราบระหว่างภูเขาและที่ราบสองฝั่งลำห้วย ประกอบด้วยหน่วยหินตะกอนยุคเพอร์เมียน และหน่วยหินตะกอนยุคไทรแอสสิก ซึ่งเป็นหน่วยหินที่พบแหล่งแร่สังกะสีที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ประกอบด้วยพื้นที่ดอยผาเต๊ะ ดอยหัวโล้น ดอยหัวโล้นตะวันออก ดอยผาแดง และแหล่งแร่พระเจดีย์ (Bureau of Mineral Resources, 2004) ป่าไม้ที่ปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าเบญจพรรณ แต่พบป่าเต็งรังเป็นหย่อมๆ ตามสันเขา ในลุ่มน้ำนี้ไม่มีชุมชนตั้งถิ่นฐาน แต่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมของหมู่บ้านพะเต๊ะ บ้านถ้ำเสือ และบ้านหนองน้ำเขียว ซึ่งเป็นชนชาติพันธุ์กะเหรี่ยง ในอดีตมีการปลูกข้าวยังชีพแบบไร่หมุนเวียนและทำนาข้าวตามพื้นที่ริมห้วย ต่อมารัฐได้ให้สัมปทานเหมืองแร่สังกะสีในลุ่มน้ำห้วยแม่ดาว 2 บริเวณ คือ ดอยผาเต๊ะ ดำเนินการโดยบริษัทตากไม้นิ่ง จำกัด และดอยผาแดงและพระเจดีย์ โดยบริษัทไทยซิงค์ (พ. ศ. 2512-2518) ช่วงปี พ.ศ. 2527-2560 มีการทำเหมืองโดยบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด เนื่องจากพื้นที่ทำเหมืองแร่อยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติจึงต้องมีการปลูกป่าชดเชยและบำรุงรักษาป่าที่ปลูกในพื้นที่อย่างน้อยเท่ากับพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตตามระเบียบกรมป่าไม้วางด้วยการอนุญาตให้เข้าทำประโยชน์หรืออยู่อาศัยภายในเขตป่าสงวนแห่งชาติ พ.ศ. 2539 (Bureau of Land Use Permission, 1996) ปี พ.ศ. 2542 และ 2543 บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด ร่วมกับสำนักบริหารและจัดการพื้นที่อนุรักษ์ที่ 14 ตาก ได้ปลูกป่าเพื่อพัฒนาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าแม่สอดบริเวณทิศเหนือของโครงการเหมืองแร่สังกะสีผาแดง (PDI, 2013) การปลูกป่าจะช่วยลด

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยการกักเก็บไว้ในมวลชีวภาพและในดิน คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกของโลกและส่งผลให้เกิดสภาวะโลกร้อนประมาณ 72.7 % ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (Cunningham and Saigo, 2001) ระบบนิเวศป่าไม้มีอิทธิพลต่อการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ (Smith, 1981; Waring and Running, 1998) ป่าไม้มีการกักเก็บคาร์บอนโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งสะสมในรูปแบบคาร์โบไฮเดรตในเนื้อเยื่อพืชของอวัยวะต่างๆ ได้แก่ ลำต้น กิ่งก้าน ใบ และราก (Landsberg and Gower, 1997; Waring and Running, 1998) การศึกษาการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ในประเทศไทยเริ่มได้รับความสนใจกันมาก (Teuanchay, 2015) โดยการสำรวจภาคสนามและประยุกต์ใช้ใช้เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกล เช่น Tuangrat (2013) ใช้ดัชนีพืชพรรณในการจำแนกปริมาณการปกคลุมของพืชพรรณติดตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพืชพรรณ และ Boonsang and Arunpraparatt (2011) ได้ประเมินปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าแม่ตึ้น จังหวัดตาก โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของดัชนีพรรณพืชกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในป่าชนิดต่างๆ

วัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณกับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนที่อยู่เหนือดินของป่าปลูกของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด ในลุ่มน้ำแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยวิธีการสำรวจภาคสนามและเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกล

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่วิจัย คือ ป่าปลูกอายุ 19 ปี (พ.ศ.2543; PF1) และ อายุ 20 ปี (พ.ศ.2542; PF2) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไม้สัก มีพันธุ์ไม้ชนิดอื่นบ้างที่ปลูกเสริมและพันธุ์ไม้ดั้งเดิมที่ขึ้นทดแทน เพื่อการทดแทนพื้นที่การทำเหมืองแร่ของบริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด อยู่ในลุ่มน้ำแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (Figure 1)

ขั้นตอนการศึกษา

(1) การสำรวจข้อมูลมวลชีวภาพของพืชในภาคสนาม

ทำการสำรวจภาคสนามเมื่อวันที่ 24-26 ธันวาคม 2561 ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มมีการทิ้งใบบางส่วน เก็บข้อมูลโดยการวางแปลงสุ่มตัวอย่างขนาด 40x40 เมตร ซึ่งใช้วิธีแจกแจงพื้นที่ก่อนการสุ่มตัวอย่างในพื้นที่ PF1 จำนวน 5 แปลง และพื้นที่ PF2 จำนวน 5 แปลง เพื่อศึกษาความแตกต่างของสังคมพืชป่าปลูก สำรวจข้อมูลต้นไม้โดยวัดเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับ 1.3 เมตรจากพื้นดินของต้นไม้ที่สูงกว่า 1.5 เมตรขึ้นไป และวัดความสูงของต้นไม้ คำนวณค่าความเด่นสัมพัทธ์ (Relative dominance) ตามสมการ ความเด่นสัมพัทธ์ของพืชชนิด ก. = (พื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมของพันธุ์ไม้ชนิด ก./ พื้นที่หน้าตัดลำต้นรวมของพันธุ์ไม้ทุกชนิด) X 100

(2) คำนวณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน

นำข้อมูลจากภาคสนามมาคำนวณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด แยกเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง และ ใบ ตามสมการแอลโลเมทรีของ Ogino *et al.* (1967) มวลชีวภาพของรากตามสมการแอลโลเมทรีของ Ogawa *et al.* (1965) ดังนี้

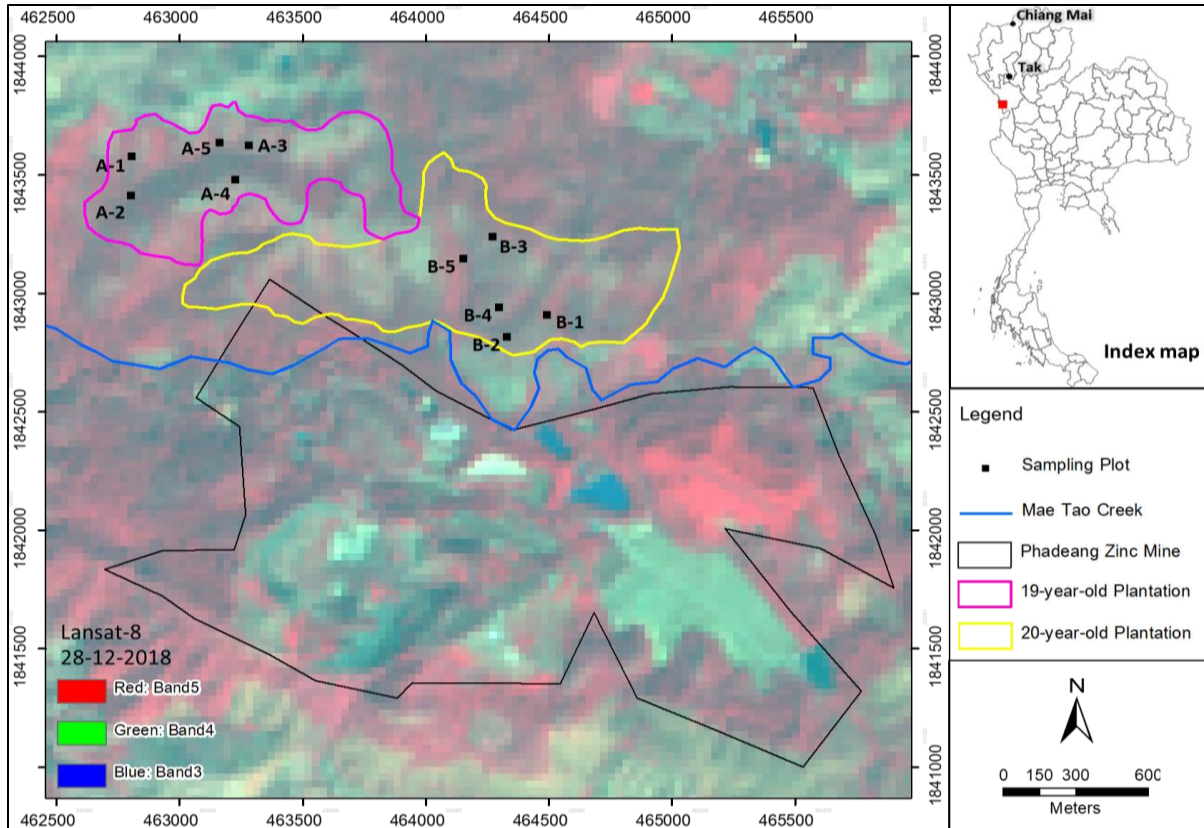


Figure 1 Two plantation forests of zinc-mined Mae Tao watershed, Mae Sod district, Tak province

$$W_s = 189 (D^2H)^{0.902}$$

$$W_B = 0.125 W_s^{1.204}$$

$$W_L = 1/(11.4/W_s^{0.90} + 0.172)$$

$$W_R = 0.026 (D^2H)^{0.775}$$

เมื่อ W_s คือ มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัม) W_B คือ มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม) W_L คือ มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัม) W_R คือ มวลชีวภาพของราก (กิโลกรัม) D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นไม้ที่มีความสูงเหนือพื้นดิน 1.3 เมตร ขึ้นไป (เซนติเมตร) และ H คือ ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และ ราก โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการศึกษาพันธุ์ไม้ในประเทศไทยจำนวน 62 ชนิด ของ Tsutsumi *et al.* (1983) สำหรับต้นไม้ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมากกว่า 4.5 เซนติเมตร ขึ้นไป ปริมาณคาร์บอนในลำต้น กิ่ง ใบ และ ราก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 49.90, 48.70, 48.30 และ 48.12 ตามลำดับ ส่วนต้นไม้ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นน้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร ปริมาณคาร์บอนในลำต้น กิ่ง ใบ และ ราก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 48.80, 49.40, 46.60 และ 48.10 ตามลำดับ

(3) วิเคราะห์ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ซึ่งผ่านกระบวนการปรับแก้ข้อมูลทางเรขาคณิตแล้ว โดยใช้ภาพที่มีการบันทึกไว้ในรอบ 1 ปี คือ ข้อมูลปี พ.ศ.2561 วันที่ 22 กุมภาพันธ์, 20 มีนาคม, 16 เมษายน, 18 พฤษภาคม, 3 มิถุนายน, 28 กันยายน, 29 ตุลาคม, 10 ธันวาคม และ 28 ธันวาคม และข้อมูลปี พ.ศ.2562 วันที่ 19 มกราคม นำข้อมูล Landsat-8 มาวิเคราะห์ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) ตามสมการของ Kriegler *et al.* (1969) ดังนี้

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED$$

เมื่อ NIR คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดระยะใกล้ และ RED คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

(4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดิน (ไม่รวมคาร์บอนในราก; ACS)

สร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่า ACS กับค่า NDVI ของแต่ละช่วงเวลาในรูปแบบสมการถดถอยอย่างง่าย คือ

$$ACS = a + (b)NDVI$$

เมื่อ a คือค่าคงที่ และ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ของแต่ละสมการเพื่อคัดเลือกสมการที่ดีที่สุดสำหรับประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินเชิงพื้นที่

ผลการวิจัย

1. ปริมาณมวลชีวภาพในป่าปลูกจากการสำรวจภาคสนาม

การสำรวจภาคสนามช่วงเดือนธันวาคม 2561 ในพื้นที่ป่าปลูก PF1 อายุ 19 ปี โดยใช้แปลงสุ่มตัวอย่าง 5 แปลง พบว่าปริมาณมวลชีวภาพรวมเฉลี่ย 5 แปลง (Table 1) เท่ากับ $13,118 \pm 2,756$ ก.ก./ไร่ แบ่งเป็นชีวมวลในลำต้น กิ่ง ใบ และราก เท่ากับ 8,392 ก.ก./ไร่ กิ่ง 2,579 ก.ก./ไร่ 441 ก.ก./ไร่ และ 1,706 ก.ก./ไร่ ตามลำดับ พันธุ์ไม้เด่นที่สุดที่พบใน 4 แปลง คือ สัก (*Tectona grandis*) ส่วนอีกหนึ่งแปลงคือ ทองหลาง (*Erythrina subumbrans*) พันธุ์ไม้เด่นในลำดับรองลงมา คือ ตุ่มกว้าว (*Mitragyna rotundifolia*) กุ๊ก (*Lanea coromandelica*) และ ปอเลียง (*Berrya mollis*)

พื้นที่ป่าปลูก PF2 อายุ 20 ปี มีปริมาณมวลชีวภาพรวมเฉลี่ย 5 แปลง (Table 1) มากกว่า PF1 ($18,630 \pm 3,411$ ก.ก./ไร่) แบ่งเป็นส่วนที่อยู่ในลำต้น กิ่ง ใบ และราก เท่ากับ 12,025; 3,883; 396 และ 2,326 ก.ก./ไร่ ตามลำดับ พันธุ์ไม้เด่นที่สุดใน 5 แปลง คือ สัก (*Tectona grandis*) รองลงมา คือ ตุ่มกว้าว (*Mitragyna rotundifolia*) ป้าง (*Dalbergia cana*) เค็ด (*Catunargam tomentosa*) กางขี้มอด (*Albizia odoratissima*) และ สักขี้ไก่ (*Premna tomentosa*)

2. ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมทรี

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือและใต้พื้นดิน (CS) ที่คำนวณโดยใช้สมการแอลโลเมทรีในพื้นที่ป่าปลูก PF1 (Table 3) มีค่าเฉลี่ยใน 5 แปลง เท่ากับ $6,477 \pm 1,363$ ก.ก./ไร่ แบ่งออกเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และราก เท่ากับ 4,188; 1,256; 213 และ 821 ก.ก./ไร่ ตามลำดับ โดยที่ไม้สักมีการสะสมมากที่สุด (ร้อยละ 44.20 ของปริมาณทั้งหมด)

พื้นที่ป่าปลูก PF2 (Table 4) มีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยใน 5 แปลง เท่ากับ $9,202 \pm 1,685$ ก.ก./ไร่ แบ่งออกเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และราก เท่ากับ 6,000; 1,891; 191 และ 1,119 ก.ก./ไร่ ตามลำดับ ไม้สักมีการสะสมมากที่สุด (ร้อยละ 85 ของปริมาณทั้งหมด)

Table 1 Standing plant biomass and dominant tree species in 5 plots of 19-year-old PF1

| Plot no. | Biomass (kg/rai) | | | | | Species richness | Dominant species | | |
|----------|------------------|--------|-------|-------|--------|------------------|--|-------------------------|------------------------|
| | Stem | Branch | Leaf | Root | Total | | Name of species | Tree density (Tree/rai) | Relative dominance (%) |
| A-1 | 9,606 | 2,906 | 632 | 2,008 | 15,152 | 36 | <i>Erythrina subumbrans</i> (Hassk.) | 31 | 22.24 |
| | | | | | | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze | 103 | 19.27 |
| | | | | | | | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 21 | 18.87 |
| A-2 | 9,868 | 3,100 | 327 | 1,955 | 15,250 | 37 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 47 | 53.38 |
| | | | | | | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze | 141 | 23.15 |
| | | | | | | | <i>Lanea coromandelica</i> Merr. | 23 | 2.44 |
| A-3 | 5,321 | 1,541 | 692 | 1,157 | 8,710 | 30 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 48 | 35.56 |
| | | | | | | | <i>Erythrina subumbrans</i> (Hassk.) | 13 | 19.08 |
| | | | | | | | <i>Lanea coromandelica</i> Merr. | 39 | 8.72 |
| A-4 | 9,244 | 2,956 | 284 | 1,812 | 14,297 | 35 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 27 | 36.02 |
| | | | | | | | <i>Erythrina subumbrans</i> (Hassk.) | 19 | 24.26 |
| | | | | | | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze | 78 | 13.24 |
| A-5 | 7,921 | 2,390 | 271 | 1,599 | 12,180 | 23 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 36 | 44.10 |
| | | | | | | | <i>Berya mollis</i> Wall. ex Kurz | 50 | 14.52 |
| | | | | | | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze | 29 | 10.73 |
| Mean | 8,392 | 2,579 | 441 | 1,706 | 13,118 | 32 | | | |
| S.D. | 1,873 | 639 | 204 | 346 | 2,756 | 6 | | | |
| C.V.(%) | 22.32 | 24.79 | 46.17 | 20.25 | 21.01 | 18.03 | | | |

Table 2 Standing plant biomass and dominant tree species in 5 plots of 20-year-old PF2

| Plot no. | Biomass (kg/rai) | | | | | Species richness | Dominant species | | |
|----------|------------------|--------|-------|-------|--------|------------------|--|-------------------------|------------------------|
| | Stem | Branch | Leaf | Root | Total | | Name of species | Tree density (Tree/rai) | Relative dominance (%) |
| B-1 | 15,022 | 5,250 | 382 | 2,793 | 23,446 | 23 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 86 | 78.45 |
| | | | | | | | <i>Dalbergia cana</i> Graham ex Kurz | 303 | 16.00 |
| | | | | | | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze | 163 | 3.41 |
| B-2 | 9,182 | 2,839 | 320 | 1,814 | 14,154 | 25 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 87 | 79.77 |
| | | | | | | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze | 116 | 15.00 |
| | | | | | | | <i>Premna tomentosa</i> Willd. | 2 | 0.76 |
| B-3 | 11,232 | 3,329 | 404 | 2,294 | 17,259 | 29 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 107 | 67.55 |
| | | | | | | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze | 137 | 13.99 |
| | | | | | | | <i>Catunargam tomentosa</i> (Blume ex DC) Tirveng. | 70 | 5.87 |
| B-4 | 11,811 | 3,996 | 470 | 2,199 | 18,476 | 26 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 69 | 70.46 |
| | | | | | | | <i>Catunargam tomentosa</i> (Blume ex DC) Tirveng. | 71 | 9.91 |
| | | | | | | | <i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth. | 7 | 4.80 |
| B-5 | 12,878 | 4,003 | 405 | 2,530 | 19,815 | 21 | <i>Tectona grandis</i> L.f. | 130 | 82.25 |
| | | | | | | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze | 88 | 9.19 |
| | | | | | | | <i>Catunargam tomentosa</i> (Blume ex DC) Tirveng. | 57 | 3.79 |
| Mean | 12,025 | 3,883 | 396 | 2,326 | 18,630 | 25 | | | |
| S.D. | 2,149 | 907 | 54 | 367 | 3,411 | 3 | | | |
| C.V.(%) | 17.87 | 23.36 | 13.63 | 15.78 | 18.31 | 12.23 | | | |

Table 3 Amounts of carbon storage in 5 plots of 19-year-old PF1

| Plot no. | Carbon storage (kg/rai) | | | | | Carbon storage of Teak (% of all species) |
|----------|-------------------------|--------|-------|-------|-------|---|
| | Stem | Branch | Leaf | Root | Total | |
| A-1 | 4,793 | 1,415 | 305 | 966 | 7,480 | 23.60 |
| A-2 | 4,924 | 1,510 | 158 | 941 | 7,532 | 65.00 |
| A-3 | 2,655 | 750 | 334 | 557 | 4,296 | 35.90 |
| A-4 | 4,613 | 1,440 | 137 | 872 | 7,062 | 43.90 |
| A-5 | 3,952 | 1,164 | 131 | 769 | 6,016 | 52.60 |
| Mean | 4,188 | 1,256 | 213 | 821 | 6,477 | 44.20 |
| S.D. | 935 | 311 | 98 | 166 | 1,363 | 15.78 |
| C.V.(%) | 22.32 | 24.79 | 46.17 | 20.25 | 21.04 | 21.17 |

Table 4 Amounts of carbon storage in 5 plots of 20-year-old PF2

| Plot no. | Carbon storage (kg/rai) | | | | | Carbon storage of Teak (% of all species) |
|----------|-------------------------|--------|-------|-------|--------|--|
| | Stem | Branch | Leaf | Root | Total | |
| B-1 | 7,496 | 2,557 | 184 | 1,344 | 11,581 | 88.70 |
| B-2 | 4,582 | 1,383 | 155 | 873 | 6,992 | 87.50 |
| B-3 | 5,605 | 1,621 | 195 | 1,104 | 8,525 | 78.40 |
| B-4 | 5,893 | 1,946 | 227 | 1,058 | 9,125 | 79.90 |
| B-5 | 6,426 | 1,949 | 196 | 1,217 | 9,788 | 90.50 |
| Mean | 6,000 | 1,891 | 191 | 1,119 | 9,202 | 85.00 |
| S.D. | 1,072 | 442 | 26 | 177 | 1,685 | 5.47 |
| C.V.(%) | 17.87 | 23.36 | 13.63 | 15.78 | 18.31 | 18.74 |

3. ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้ดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ

การวิเคราะห์ NDVI จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ในแปลงสำรวจพื้นที่ PF1 (Table 5) พบว่า NDVI มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกันยายน 2561 (0.495 ± 0.022) และมีค่าน้อยสุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 (0.162 ± 0.043) ในแปลงสำรวจพื้นที่ PF2 (Table 6) มีค่า NDVI เฉลี่ยสูงสุดในเดือนตุลาคม 2561 (0.487 ± 0.030) และมีค่าน้อยสุดในเดือนเมษายน (0.189 ± 0.027) สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีที่สุดระหว่างค่า ACS กับค่า NDVI (Figure 2) สำหรับประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าปลูกทั้งสองชั้นอายุ ใช้ข้อมูล Landsat-8 วันที่ 28 ธันวาคม 2561 โดยสมการที่ดีที่สุดของ PF2 คือ $ACS = 79,029(NDVI) - 16,215$ ($R^2=0.96$) และจากสมการดังกล่าวสามารถประเมิน ACS เชิงพื้นที่ได้ดังแสดงใน Figure 3 ซึ่งมีค่า ACS น้อยที่สุดเท่ากับ 0 กก./ไร่ มากที่สุด 14,209 กก./ไร่ และมีค่าเฉลี่ย $5,408 \pm 3,010$ กก./ไร่ และ PF2 สมการที่ดีที่สุดคือ $ACS = 28,687(NDVI) - 517$ ($R^2=0.90$) และสามารถประเมิน ACS เชิงพื้นที่ได้ค่า ACS น้อยที่สุด มากที่สุด และค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5,427 กก./ไร่ 10,267 กก./ไร่ $7,509 \pm 919$ กก./ไร่ ตามลำดับ (Figure 4)

Table 5 Regression of normalized difference vegetation index (NDVI) and above-ground carbon storage (ACS) of 19-year-old plantation forest PF1

| Plot no. | NDVI | | | | | | | | | ACS |
|----------|-----------|------------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | 29/1/2019 | 28/12/2018 | 29/10/2018 | 28/9/2018 | 3/6/2018 | 18/5/2018 | 16/4/2018 | 20/3/2018 | 22/2/2018 | |
| A-1 | 0.226 | 0.285 | 0.436 | 0.489 | 0.272 | NA | 0.136 | 0.140 | 0.128 | 6514 |
| A-2 | 0.275 | 0.291 | 0.479 | 0.520 | 0.286 | NA | 0.236 | 0.239 | 0.235 | 6592 |
| A-3 | 0.203 | 0.253 | 0.462 | 0.495 | 0.237 | 0.288 | 0.130 | 0.137 | 0.132 | 3740 |
| A-4 | 0.236 | 0.280 | 0.439 | 0.461 | 0.249 | 0.356 | 0.177 | 0.171 | 0.155 | 6190 |
| A-5 | 0.226 | 0.275 | 0.462 | 0.509 | 0.260 | 0.294 | 0.149 | 0.160 | 0.160 | 5247 |
| Mean | 0.233 | 0.277 | 0.455 | 0.495 | 0.261 | 0.313 | 0.166 | 0.169 | 0.162 | 5656 |
| S.D. | 0.026 | 0.015 | 0.018 | 0.022 | 0.019 | 0.037 | 0.043 | 0.041 | 0.043 | 1197 |
| R^2 | 0.570 | 0.957 | 0.003 | 0.044 | 0.620 | 0.715 | 0.344 | 0.292 | 0.203 | |

Table 6 Regression of normalized difference vegetation index (NDVI) and above-ground carbon storage (ACS) of 20-year-old plantation forest PF2

| Plot no. | NDVI | | | | | | | | | ACS |
|----------|-----------|------------|------------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| | 29/1/2019 | 28/12/2018 | 10/12/2018 | 29/10/2018 | 3/6/2018 | 18/5/2018 | 16/4/2018 | 20/3/2018 | 22/2/2018 | |
| B-1 | 0.305 | 0.359 | 0.440 | 0.517 | 0.224 | 0.471 | 0.227 | 0.216 | 0.249 | 10237 |
| B-2 | 0.212 | 0.233 | 0.199 | 0.479 | 0.212 | 0.291 | 0.199 | 0.201 | 0.212 | 6119 |
| B-3 | 0.246 | 0.285 | 0.214 | 0.440 | 0.226 | 0.294 | 0.158 | 0.164 | 0.145 | 7421 |
| B-4 | 0.262 | 0.283 | 0.339 | 0.495 | 0.252 | 0.262 | 0.169 | 0.181 | 0.163 | 8067 |
| B-5 | 0.297 | 0.339 | 0.391 | 0.506 | 0.272 | 0.390 | 0.194 | 0.247 | 0.257 | 8571 |
| Mean | 0.265 | 0.300 | 0.316 | 0.487 | 0.237 | 0.342 | 0.189 | 0.202 | 0.205 | 8083 |
| S.D. | 0.038 | 0.050 | 0.107 | 0.030 | 0.025 | 0.087 | 0.027 | 0.032 | 0.050 | 1514 |
| R^2 | 0.897 | 0.903 | 0.863 | 0.440 | 0.096 | 0.680 | 0.277 | 0.168 | 0.231 | |

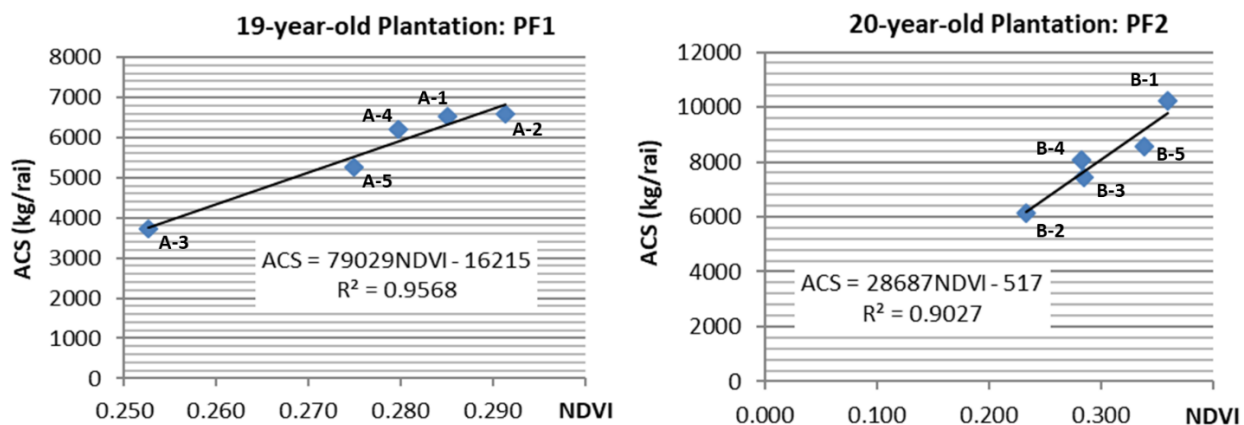


Figure 2 Best regression of normalized difference vegetation index (NDVI) and above-ground carbon storage (ACS) in two plantation forest (Landsat-8: 28/12/2018)

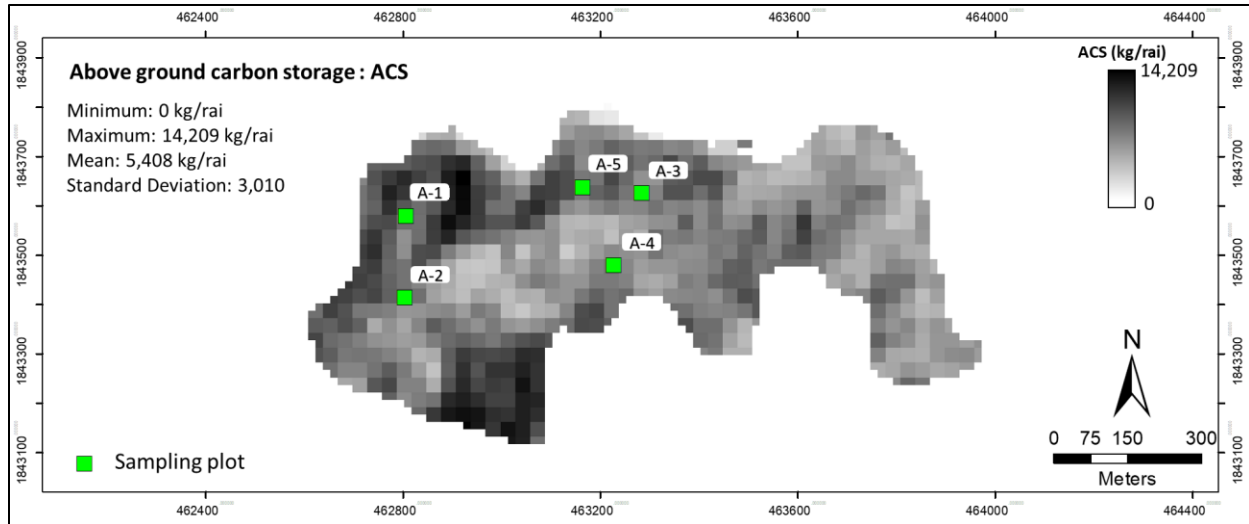


Figure 3 Approximate above-ground carbon storage of 19-year-old plantation forest PF1

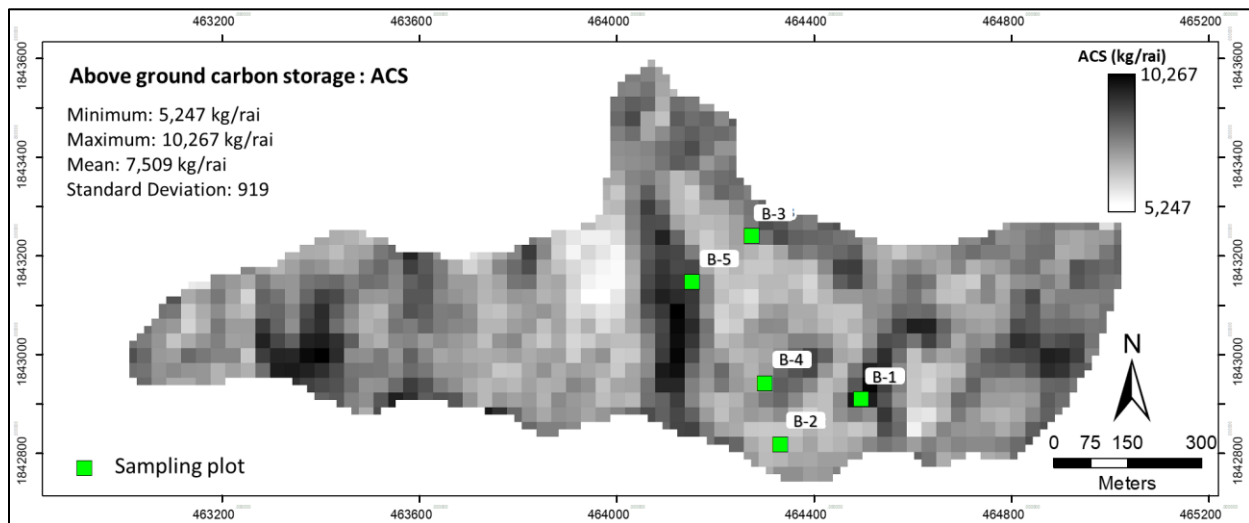


Figure 4 Approximate above-ground carbon storage of 20-year-old plantation forest PF2

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษานี้พบว่าป่าปลูกอายุ 19 ปี (PF1) มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยเท่ากับ $6,477 \pm 1,363$ กก./ไร่ น้อยกว่าป่าปลูกอายุ 20 ปี (PF2; $9,202 \pm 1,685$ กก./ไร่) เนื่องจาก PF2 มีต้นสักมากกว่า PF1 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าปลูกทั้งสองชั้นอายุ มีค่าใกล้เคียงกับป่าปลูกอายุ 18 ปี ในพื้นที่ที่ฟื้นฟูที่ดินจากการทำเหมืองถ่านหินบ้านนุ อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน ซึ่งมี CS = 7,648 กก./ไร่ (Thananiti *et al.*, 2017) แต่น้อยกว่าป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์ เช่น Nichapat *et al.* (2016) พบว่าป่าเบญจพรรณในพื้นที่ป่าปกปัก อพ.สธ. บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ มี CS = 16,875 กก./ไร่ Teuanchay (2015) พบว่าในพื้นที่ป่าชุมชน ตำบลแม่ทา อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ ป่าเบญจพรรณมี CS = 21,933 กก./ไร่ และป่าเต็งรังมี CS = 11,548 กก./ไร่ เนื่องจากป่าปลูกมีความผันแปรของสังคมพืชน้อยกว่าป่าธรรมชาติ การศึกษา

ความผันแปรของสังคัมพีช (C.V.) พบว่า PF1 และ PF2 มีค่า 21.01 และ 18.31 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงจำนวนแปลงตัวอย่าง 5 แปลง สามารถใช้เป็นตัวแทนของป่าปลูกแต่ละชั้นอายุได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งหากเป็นป่าธรรมชาติควรใช้จำนวนแปลงมากกว่านี้

ดัชนีพืชพรรณที่สามารถจำแนกชนิดป่าได้ดีที่สุด คือ NDVI (Tuangrat, 2013) Pandapotan *et al.* (2016) สรุปได้ว่า NDVI เป็นดัชนีพืชพรรณที่ใช้ประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนในป่าได้ดีกว่าดัชนีอื่นๆ ซึ่งการศึกษาพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในชีวมวลของพีชจากการสำรวจเก็บข้อมูลภาคสนามในวันที่ 25 ธันวาคม 2561 มีความสัมพันธ์ที่สูงสุดกับค่า NDVI ของภาพถ่าย Landsat-8 วันที่ 28 ธันวาคม 2661 จากการสังเกตพบว่าช่วงเวลานี้ต้นไม้มีการผลัดใบประมาณร้อยละ 30-50 ของปริมาณใบทั้งหมด ส่งผลให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการสะท้อนทั้งเรือนยอดของต้นไม้ รวมถึงกิ่ง ลำต้น ราก และไม่พื้นล่าง ต่างจากช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน ต้นไม้มีการผลัดใบมากกว่าร้อยละ 80 ถึง 100 จึงทำให้ค่า NDVI มีค่าต่ำ และไม่มี ความสัมพันธ์กับค่า CS เดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมเป็นช่วงฤดูฝนทำให้ข้อมูล Landsat ถูกบดบังหรือได้รับอิทธิพล จากเมฆ ค่า NDVI จึงไม่มีความสัมพันธ์กับค่า CS ส่วนเดือนกันยายนถึงตุลาคมซึ่งต้นไม้เริ่มมีเรือนยอดที่หนาแน่นทำให้ NDVI มีค่าสูงและมีความสัมพันธ์กับค่า CS น้อยมาก

ค่า NDVI ที่วิเคราะห์ได้จากการศึกษานี้มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกันยายน ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนต้นไม้ไม่มีใบปกคลุมหนาแน่น ส่วนค่าน้อยสุดพบในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งที่ใบไม้ร่วงเกือบทั้งหมด นอกจากนี้บางส่วนอาจถูกไฟป่าเผาทำลายอินทรีย์วัตถุ จึงทำให้มีค่า NDVI ต่ำ จาก Figure 3 และ Figure 4 พบว่าค่าสูงสุดและต่ำสุดของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินอยู่ PF1 ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่ที่มีทั้งบริเวณป่าที่พบไม้สักหนาแน่นและบริเวณที่เป็นที่ดินโล่ง ส่วน PF2 มีความแปรปรวนของพื้นที่ไม้ในพื้นที่ไม่มากนักและไม่พบบริเวณที่เป็นที่ดินโล่งจึงทำให้ค่าค่าเฉลี่ยของ ACS สูงกว่า

สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 วิเคราะห์ค่า NDVI สามารถประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินเชิงพื้นที่บริเวณป่าปลูกอายุ 19 ปี และ 20 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,477 กก./ไร่ (40.48 เมกกะกรัม/เฮกแตร์) และ 9,202 กก./ไร่ (57.51 เมกกะกรัม/เฮกแตร์) ตามลำดับ และพบว่าค่า ACS จากการสำรวจภาคสนาม มีความสัมพันธ์กับ NDVI จากข้อมูล Landsat-8 เดือนธันวาคม มากที่สุด โดยสามารถประเมิน ACS ในพื้นที่ป่าปลูกได้เท่ากับ 1,800 (328 ไร่) และ 3,800 (505 ไร่) เมกกะกรัม ตามลำดับ การคัดเลือกช่วงเวลาภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเมิน ACS ในพื้นที่ป่าพื้นที่ที่มีพื้นที่ไม้ส่วนใหญ่เป็นไม้ผลัดใบควรจะใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่ต้นไม้เริ่มมีการทิ้งใบบางส่วน เพื่อให้ได้ค่า NDVI ที่เป็นตัวแทนของทั้งใบ กิ่ง และลำต้น รวมทั้งพืชพื้นล่าง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณณานิติ ธิชาญ และคุณจตุรงค์ วุฒิ ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลในภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

Boonsang, S. and Arunprapat W. (2011). Estimation of Above-Ground Carbon Sequestration of Forest Using Remote Sensing Techniques in Mae Tuen Wildlife Sanctuary, Tak Province. *Thai Journal of Forestry*, 30(3), 14-23. (in Thai)

- Bureau of Mineral Resources. (2004). *Map and data of Thai mineral resources Metal ore series of Thailand No. 5*. Department of Mineral Resources. Bangkok. (in Thai)
- Bureau of Land Use Permission. (1996). *Regulations of the Royal Forest Department regarding the granting of permission to enter into benefits or living in the National Reserved Forest 1996*. Department of Forestry. Bangkok. (in Thai)
- Cunningham, P. M. A. and Saigo, W. (2001). *Environmental Science: A global concern*. Seventh edition, McGraw-Hill Higher Education, 646 p.
- Kriegler, F.J., W.A. Malila, R.F. Nalepka and W. Richardson. (1969). Processing Transformations and their effects on multi-spectral recognition. pp 97-131. In *Proceeding the 6th International Symposium on Remote Sensing of the Environment*. University of Michigan, USA.
- Landsberg, J. J. and S. T. Gower. (1997). *Application of Physiological Ecology to Forest Management*. Academic Press, Inc., USA.
- Nichapat Duangthip, Paweena kaiwijit and Savent Pampasit. (2016). The Carbon Storage in Protection Area of Plant Genetic Conservation Project Under the Royal Initiation of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn (RSPG) at Sirikit Dam, Uttaradit Province. pp 99-112. In *Proceeding 12th National Academic Conference "Naresuan Research" Research and innovation with national development*. Phitsanulok. (in Thai)
- Pandapotan J., Sugianto S. and Darusman D. (2016). Estimation of Carbon Stock Stands using EVI and NDVI Vegetation Index in Production Forest of Lembah Seulawah Sub-District, Aceh Indonesia. *Aceh International Journal of Science and Technology*. 5. 126-139. <https://doi.org/10.13170/aijst.5.3.5836>.
- PDI; Padaeng Industry Public Company Limited. (2013). *Environmental and Health Impact Assessment Report of Zinc mining project for concession licenses 8/2010, 30769/15525 and 30779/15797*. SPS consulting service limited company, Bangkok. (in Thai)
- Smith, W. H. (1981). *Air Pollution and Forests interactions air contaminants and forest ecosystems*. Springer-Verag, New Tork Heidelberg Berlin, 368p.
- Thananiti Thichan, Soontorn Khamyong and Panlop Hatagosol. (2017). Carbon Storage in a 18-year-old Plantation Forest on Reclaimed Land of Ban Pu Lignite Mine, Northern Thailand. pp 262-269. In *Proceeding of Coal Mining and Utilization for Sustainable Development International Conference*. Mae Moh Mine, Lampang.
- Teuanchay Phongkhamphanh. (2015). *Plant Species Diversity and Potentials of Carbon and Water Storages in Various Community Forests of Mae Tha Sub-district, Mae On District, Chiang Mai Province*. M.S. Thesis. Chiangmai University, Chiangmai. 193 p. (in Thai)

- Tsutsumi, T., K. Yoda, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. (1983). Chapter 3. Forest: Felling, burning and regeneration, pp. 13-62. In K. Kyuma and C. Pairintra, eds., *Shifting Cultivation: An Experiment at Nam Phrom, Northeast Thailand and Its Implications for Upland Farming in the Monsoon Tropics*. A report of a cooperative research between Thai-Japanese University, Kyoto University, Japan.
- Tuangrat Klaydach. (2013). *Using of Vegetation Indices from Thaichote Satellite Data for Forest Types Classification in Doi Luang National Park, Chiang Rai Province*. M.S. Thesis. Kasetsart University, Bangkok. 104 p. (in Thai)
- Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino and T. Kira. (1965). Comparative ecological study on three main types of forest vegetation in Thailand. II. plant biomass. *Nature and Life in Southeast Asia* ,(4), 49-80.
- Ogino, K., D. Ratanawongs, T. Tsutsumi and T. Shidei. (1967). The Primary Production of Tropical Forest in Thailand. *The South-east Asian Studies*, 5(1), 122-154.
- Waring, R.H. and S. W. Running. (1998). *Forest Ecosystems: Analysis at multiple scales*. Second edition, Academic Press, San Diego, USA.