การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนยางพาราโดยการประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล กรณีศึกษา จังหวัดระยอง

Estimation of Above Ground Carbon Stock in Para Rubber Plantation by Application of Remote Sensing, Rayong Province

ทิชา โลลุพิมาน*, กาญจนา นาคะภากร และอัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ตำบลศาลายา อำเภอศาลายา จังหวัดนครปฐม 73170

สิริกร กาญจนสุนทร

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

สุเพชร จิรขจรกุล

ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Ticha Lolupiman*, Kanchana Nakhapakorn and Achara Ussawarujikulchai

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University,

Salaya, Phuttamonthon, Nakhonpathom 73170

Sirikorn Kanchanasoontorn

Department of Geography, Faculty of Social Science, Kasetsart University, Bangkhen Campus,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

Supet Jirakajohnkool

Department of Rural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนยางพารา โดยการประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเพื่อช่วยในการจำแนกพื้นที่ปลูกยางพาราออกเป็น 2 ช่วงอายุ ด้วยกัน นั่นคือ ช่วง

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** lolupiman.t@gmail.com

DOI 10.14456/tstj.2016.75

ก่อนผลิตน้ำยาง (0-7 ปี) และช่วงอายุผลิตน้ำยาง (8-25 ปี) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีวิเคราะห์เนื้อภาพ (texture analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 OLI เดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2557 เพื่อใช้ในการจำแนกพื้นที่ปลูกยางพารา ในส่วนของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของยางพารานั้นประเมินจากสมการมวลชีวภาพ (allometric equation) โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของยางพาราในพื้นที่ศึกษา และนำมาเปรียบเทียบระหว่างจำนวนคาร์บอนที่ยางพารากักเก็บได้กับปริมาณน้ำที่ยางพาราใช้ (water footprint) ผลการศึกษาพบว่าจังหวัดระยองมีพื้นที่ปลูกยางพาราจำนวน 766,133.30 ไร่ หรือ 122,581.33 เฮกตาร์ โดยแบ่งเป็นช่วงก่อนให้ผลผลิต 74,008.55 ไร่ หรือ 11,841.37 เฮกตาร์ และช่วงให้ผลผลิต 692,124.75 ไร่ หรือ 110,739.96เฮกตาร์ ซึ่งคิดเป็นจำนวนการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดได้ 3,404,834.96 ตันคาร์บอน โดยแบ่งเป็นช่วงก่อนและช่วงเก็บน้ำยาง 7,638.79 และ 3,397,196.17 ตันคาร์บอน ตามลำดับ

คำสำคัญ : ยางพารา; การกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน; การวิเคราะห์เนื้อภาพ; และการสำรวจระยะไกล

Abstract

This study focuses on above ground carbon stock estimation of Para rubber plantation at Rayong province by applying remote sensing technique to classify Para plantation. Para plantation is divided into 2 classes. The first is young stage or the rubber which less than 7 years old and another is harvest stage which the age more than 7 year. Moreover, texture analysis technique is used to Para rubber classification process. In addition, this study uses NDVI combine with texture analysis to separate vegetation area from others land cover. LANDSAT 8 OLI on December 2014 is used in this study. In the part of carbon stock estimation, data collection is important. Diameter and height (DBH) are collected in data collection at field study site. DBH is used in allometric equation to estimate biomass and calculate carbon stock later. Moreover, this study compares the value of carbon stock with water footprint to indicate environmental efficiency of Para rubber. The result of this study indicates that there is Para rubber plantation area 766,133.30 rai or 122,581.33 ha that 74,008.55 ha is young stage and 11,841.37 ha is harvest stage. The total carbon stock is 3,404,834.96 ton C which young stage and harvest stage are 7,638.79 and 3,397,196.17 ton Carbon respectively.

Keywords: Para rubber; above ground carbon stock; texture analysis and remote sensing

1. บทนำ

การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นนับเป็นปัญหาหลักที่สำคัญที่ส่งผลต่อภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน แม้ว่าหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั่วโลกได้พยายามแก้ปัญหามาหลายปี แต่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นยังคงอยู่ในสภาวะวิกฤติ แม้ว่าสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะมาจากภาคอุตสาหกรรม แต่โดยปกติแล้วพืชพรรณตามธรรมชาติสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้

ในการสังเคราะห์แสง และถือเป็นการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในชั้นบรรยากาศโดยใช้กลไกตามธรรมชาติ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ก่อนราคาน้ำยางจะลดต่ำลงอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน รัฐบาลได้มีนโยบายการส่งเสริมการปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นทุกปี โดยได้กำหนดไว้ว่า ในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยต้องมีจำนวนยางพาราเป็นจำนวน 45,000 ต้น [1] เพื่อเป็นการเร่งผลผลิตน้ำยางในการส่งออกสู่ตลาดโลก แม้ว่าในปัจจุบันราคาน้ำยางในตลาดโลกจะตกต่ำลงอย่างมาก แต่พื้นที่การปลูกยางพาราของประเทศไทยกลับมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยที่จังหวัดระยอง ถือเป็นจังหวัดที่มีการปลูกยางพารามากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งในภาคตะวันออก และเป็นอันดับสามของประเทศ [2]

โดยพืชพรรณตามธรรมชาติทุกชนิดสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นยางพาราจึงสามารถที่จะดูดซับและเก็บสะสมคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศได้เช่นกัน จากนโยบายการส่งเสริมการปลูกยางพาราในประเทศไทย ทำให้ปัจจุบันพื้นที่ปลูกยางพารามีจำนวนมาก แม้ว่าราคายางจะตกต่ำอย่างมากในปัจจุบัน แต่ยางพาราเป็นพืชที่ให้ผลผลิตตั้งแต่อายุ 8 ถึง 20 ปี ดังนั้นการลดพื้นที่ปลูกยางพาราจึงต้องใช้ระยะเวลานาน และจะเกิดประโยชน์เป็นอย่างมากหากมีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของยางพารา เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพของยางพาราในเชิงสิ่งแวดล้อมด้วย นอกจากนี้การปลูกยางพารายังจำเป็นต้องใช้น้ำในการเจริญเติบโต จึงสามารถพิจารณาความคุ้มค่าของยางพาราในเชิงสิ่งแวดล้อม ทั้งด้านการกักเก็บคาร์บอนและในด้านการติดตามการใช้น้ำ (water footprint) เพื่อแสดงว่ายางพารามีประสิทธิภาพในเชิงสิ่งแวดล้อมเพียงพอต่อการส่งเสริมการปลูกจำนวนมากหรือไม่

รูปที่ 1 แผนที่พื้นที่ศึกษา จังหวัดระยอง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของยางพาราในช่วงอายุก่อนการเก็บน้ำยาง และช่วงการเก็บน้ำยาง ในพื้นที่ปลูกยางพารา จังหวัดระยอง

2.2 เพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกยางพาราออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงก่อนเก็บน้ำยาง และช่วงการเก็บน้ำยาง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อภาพ

3. พื้นที่ศึกษา

จังหวัดระยองดังแสดงในรูปที่ 1 ตั้งอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย ภูมิประเทศโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นที่ราบชายฝั่งเกิดจากการทับถมของตะกอนบริเวณแอ่งลุ่มน้ำระยอง และที่ลาดสลับเนินเขาและภูเขา มีลักษณะเป็นลอนลูกคลื่นสูงต่ำสลับกันไป มีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน อากาศอบอุ่นไม่ร้อนจัด มีฝนตกชุกระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมของทุกปี ปริมาณฝนเฉลี่ย 1,200-1,700 มิลลิเมตร/ปี ประกอบไปด้วย 8 อำเภอ คือ อำเภอเมืองระยอง อำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ อำเภอเขาชะเมา อำเภอปลวกแดง อำเภอบ้านค่าย อำเภอพัฒนานิคม และอำเภอบ้านฉาง

ยางพาราถือเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจของจังหวัดระยอง ปัจจุบันจังหวัดระยองมีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งสิ้น 810,193 ไร่ หรือประมาณ 129,631 เฮกตาร์ โดยที่อำเภอที่มีการปลูกยางพารามากที่สุดได้แก่ อำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ และอำเภอเขาชะเมา ตามลำดับ [3]

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 การประเมินการกักเก็บคาร์บอน

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยทั่วไปแล้วสามารถประเมินได้ 2 วิธี ด้วยกัน

4.1.1 การประเมินโดยการเก็บตัวอย่างพืชพรรณทั้งกิ่ง ใบ ลำต้น และรากมาอบแห้งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง และวิเคราะห์จำนวนคาร์บอนที่แต่ละส่วนของพืชสามารถกักเก็บได้ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนของพืชได้ทั้งเหนือและใต้ดิน [4]

4.1.2 การคำนวณหาจากมวลชีวภาพของพืชพรรณแต่ละชนิดโดยการคำนวณจากค่าความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ (DBH) แล้วนำไปแทนค่าในสมการมวลชีวภาพ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ในส่วนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน แล้วนำมาคำนวณหาการกักเก็บคาร์บอนจากมวลชีวภาพ ซึ่งการศึกษานี้ใช้วิธีคำนวณการกักเก็บคาร์บอนโดยการคำนวณจากมวลชีวภาพ โดยใช้สมการมวลชีวภาพของยางพาราดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมการมวลชีวภาพของยางพารา

ส่วนประกอบต้นไม้	สมการมวลชีวภาพ	r^2
ลำต้น	$\log W_S = 0.866 \log D^2H - 1.255$	0.991
กิ่ง	$\log W_B = 1.144 \log D^2H - 5.222$	0.878
ใบ	$\log W_L = 0.572 \log D^2H - 1.152$	0.922

ที่มา : พงษ์ศักดิ์ [5]

โดยที่ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับ 1.30 เมตร เหนือพื้นดิน (เซนติเมตร) และ H คือ ความสูง (เมตร) หลังจากได้ค่ามวลชีวภาพของยางพาราแล้ว จึงคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของยางพาราที่

คำนวณมาจากความสามารถของยางพาราที่กักเก็บคาร์บอนไว้ในส่วนต่าง ๆ ของต้นตามสมการ

$$C_T = 0.5 \times W_T \qquad \text{Eq.1}$$

โดยที่ C_T คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของยางพาราหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อพื้นที่; W_T คือ ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อพื้นที่; 0.5 คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่ยางพาราสามารถกักเก็บได้ คิดเทียบกับน้ำหนักแห้งของยางพารา

4.2 การวิเคราะห์เนื้อภาพ

Haralick [6] กล่าวว่าการวิเคราะห์เนื้อภาพ (texture analysis) เป็นการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อภาพของภาพ (image texture) โดยการคำนวณความผันแปรจากค่าสะท้อนของคลื่น (spectral) หรือค่าเชิงตัวเลข (digital number, DN) ของจุดภาพ (pixel) ซึ่งเป็นการคำนวณจากค่าความเข้มในระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพ และสามารถเรียกการวิเคราะห์ในลักษณะนี้ได้ว่าการวิเคราะห์เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระดับสีเทา (gray level co-occurrence matrix, GLCM) [7] ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่า DN ครั้งละ 2 จุดภาพ ใน 4 ทิศทาง คือ 0° (horizontal), 45° (diagonal), 90° (anti-diagonal) และ 135° (vertical) ซึ่งการวิเคราะห์ GLCM สามารถวิเคราะห์ได้ 6 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมการการวิเคราะห์ GLCM รูปแบบต่าง ๆ

GLCM	สมการ	โดยที่
Contrast หรือค่าความเปรียบต่าง	$\sum_{i,j=0}^{N=1} P_{i,j}(i-j)^2$	i,j คือ ค่าระดับสีขาว ดำ ของคู่จุดภาพ $P_{i,j}$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของความสัมพันธ์ของคู่จุดภาพ μ คือ ค่าเฉลี่ย σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน N คือ จำนวนคู่จุดภาพ
Angular second moment หรือค่าโมเมนต์อันดับที่สองเชิงมุม	$\sum_{i,j=0}^{N=1} {P_{i,j}}^2$	
Correlation หรือค่าสหสัมพันธ์	$\sum_{i,j=0}^{N=1} P_{i,j}\left[\frac{(i-\mu_i)(i-\mu_j)}{\sqrt{(\sigma^2{}_i)(\sigma^2{}_j)}}\right]$	
Homogeneity หรือค่าเอกพันธ์ (uniform)	$\sum_{i,j=0}^{N=1} \frac{P_{i,j}}{1+(i-j)^2}$	
Entropy หรือค่าความไม่เป็นระเบียบ	$\sum_{i,j=0}^{N=1} P_{i,j}(-\ln P_{i,j})$	
Dissimilarity หรือค่าความแตกต่าง	$\sum_{i,j=0}^{N=1} P_{i,j}\lvert i-j\rvert$	

โดยที่แต่ละรูปแบบจะมีสมการในการคำนวณความความสัมพันธ์ของ 2 จุดภาพ ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เนื้อภาพของภาพนั้นแตกต่างกัน

4.3 การประยุกต์การวิเคราะห์เนื้อภาพร่วมกับการประเมินการกักเก็บคาร์บอน

การวิเคราะห์เนื้อภาพสามารถใช้ในการจำแนกลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยการดูจากลักษณะเนื้อภาพของบริเวณที่สนใจ ดังนั้นจึงมีการประยุกต์การวิเคราะห์เนื้อภาพในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ออกจากกัน โดยได้มีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เนื้อภาพเพื่อจำแนกการใช้

ประโยชน์ที่ดินดังต่อไปนี้

ศศิกานต์ [8] ได้จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากข้อมูลดาวเทียมไทยโชต โดยการวิเคราะห์เนื้อภาพ บริเวณอำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งได้วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่าความเปรียบต่าง ค่าโมเมนต์อันดับที่สองเชิงมุม ค่าสหสัมพันธ์ ค่าความเอกพันธ์ ค่าเอนโทรปี ค่าความแตกต่าง และเซมิแวริโอแกรม โดยผลที่ได้พบว่าผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบข้อมูลหลายช่วงคลื่นผสมกับค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์เนื้อภาพให้ค่าความถูกต้องสูงสุด โดยที่มีค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.81

นอกจากสามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทแล้ว ยังสามารถจำแนกเฉพาะพืชพรรณได้อีกด้วย โดยที่ ชรัตน์ และคณะ [7] ได้จำแนกช่วงอายุของยางพาราด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต บริเวณลุ่มน้ำห้วยคอง โดยการแบ่งพื้นที่ปลูกยางพาราออกเป็น 3 ช่วงอายุ ได้แก่ น้อยกว่า 5 ปี 5-10 ปี และมากกว่า 10 ปี และพบว่าการวิเคราะห์เนื้อภาพแบบ entropy ร่วมกับข้อมูลหลายช่วงคลื่นให้ผลน่าเชื่อถือที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.67 นอกจากนี้ Charoenjit และคณะ [9] ได้ประเมินปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของยางพาราบริเวณภาคตะวันออกจากภาพดาวเทียมไทยโชต โดยการประยุกต์การวิเคราะห์เนื้อภาพด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบการจำแนกเชิงวัตถุ (object-based classification) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียมความละเอียดสูงจากลักษณะเนื้อภาพ (texture) โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์การแปลภาพด้วยการจำแนกเชิงวัตถุร่วมกับการใช้ค่าการสะท้อนของพืชพรรณ นอกจากนี้ ยังใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามร่วมด้วย เพื่อจัดทำแบบจำลอง (parametric model) ขึ้นเพื่อจำแนกยางพาราออกเป็น 3 ช่วงอายุ คือ ช่วงกล้ายาง ช่วงยางหนุ่ม และยางแก่ หลังจากนั้นจึงคำนวณมวลชีวภาพการกักเก็บคาร์บอนของยางพาราในแต่ละช่วงอายุ

5. วิธีการศึกษา

5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ

ข้อมูลปฐมภูมิมาจากการเก็บข้อมูลภาคสนามพื้นที่การศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน

(1) การดำเนินการเก็บค่าความสูงและเส้นรอบวงของต้นยางพาราในพื้นที่จังหวัดระยอง โดยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนพฤศจิกายน เพื่อให้ใกล้เคียงกับภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งได้วางแปลงขนาด 60x60 เมตร เพื่อดำเนินการเก็บข้อมูลและวัดค่าความสูงและเส้นรอบวงของต้นยางพารา (DBH) ทุกต้นในแปลงเก็บข้อมูลแต่ละแปลง

(2) การลงภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยการลงสำรวจและกำหนดจุดพิกัดแปลงปลูกยางพาราที่มีอายุต่ำกว่า 7 ปี ทั้งสิ้นจำนวน 80 จุดเป็นอย่างน้อยในบริเวณ 3 อำเภอ คือ อำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ และอำเภอเขาชะเมา เพื่อนำไปตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นสุดท้าย

5.1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ

ข้อมูลทุติยภูมิเป็นข้อมูลที่ได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

(1) ข้อมูลเชิงพื้นที่จังหวัดระยอง ได้แก่ ข้อมูลขอบเขตจังหวัดระยอง และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

(2) ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 OLI บริเวณจังหวัดระยอง ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2557 ทั้งระบบ panchromatic และ

ระบบหลายช่วงคลื่น (multi-spectral)

5.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

(1) อุปกรณ์ในการลงเก็บข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ GPS สายวัดระยะ เครื่องมือวัดความสูง (hypsometer) เชือก และอุปกรณ์จดบันทึก

(2) อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ คอมพิวเตอร์ และ software ที่เกี่ยวข้อง

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.2.1 การเตรียมข้อมูล

(1) การคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูล (pre-processing) นั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้คำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) เพื่อใช้จำแนกยางพาราออกเป็น 2 ช่วงอายุ ต่อไป โดยในการคำนวณนั้น ใช้ข้อมูลหลายช่วงคลื่นของภาพ LANDSAT 8 OLI ที่มีความละเอียดของภาพ 30 เมตร ในช่วงคลื่นสีแดง (red) และอินฟราเรดใกล้ (near-infrared) เพื่อคำนวณหา NDVI ตามสมการที่ 2

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \qquad \text{Eq. 2}$$

(2) การวิเคราะห์เนื้อภาพ (texture analysis) ในส่วนการวิเคราะห์เนื้อภาพนั้นจะใช้ภาพ LANDSAT 8 OLI ในระบบ panchromatic ที่มีความละเอียดของภาพ 15 เมตร ในการวิเคราะห์เนื้อภาพ โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อภาพทั้งสิ้น 6 รูปแบบ ด้วยกัน ประกอบด้วย homogeneity, entropy, contrast, dissimilarity, angular second moment และ correlation

5.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการเตรียมข้อมูล NDVI และ texture analysis แล้วนั้น จึงได้นำข้อมูลมาจำแนกพื้นที่ปลูกยางพารา โดยการใช้ค่า NDVI และ texture analysis ร่วมกันในการแปลภาพ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เทคนิคการแปลภาพด้วย decision tree และเนื่องจากการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การจำแนกช่วงอายุของยางพาราออกเป็น 2 ช่วงชั้นด้วยกัน คือ ช่วงยางพาราอายุ 0-7 ปี หรือช่วงยาง พาราก่อนกรีดน้ำยาง และช่วงยางพาราอายุมากกว่า 7 ปีขึ้นไป หรือช่วงระหว่างกรีดน้ำยาง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วลักษณะเนื้อภาพของยางพาราในช่วงอายุต่ำกว่า 7 ปี จะเป็นช่วงที่มีการปกคลุมของเรือนยอดไม่เต็มที่ จึงยังคงเป็นพื้นดินที่มีลักษณะเป็นร่องการปลูกยางพารา ในขณะที่ยางพาราที่อายุมากกว่า 7 ปี นั้นมีเรือนยอดปกคลุมอย่างเต็มที่ ดังนั้นจึงสามารถใช้การวิเคราะห์เนื้อภาพในการจำแนกยางพาราทั้งสองช่วงอายุนี้ได้ ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ decision tree ในการจำแนกช่วงชั้นยางพาราทั้ง 2 ช่วง

(1) การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากค่า NDVI ได้มีการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 2 ส่วน ด้วยค่า NDVI ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ค่า NDVI = 0.3 เป็นค่าที่ใช้ในการแยกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 2 ส่วน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยค่า NDVI

NDVI value	
< 0.3	> 0.3
ดินและน้ำ [10]	ป่าไม้ [10]
พืชพรรณทางการเกษตร [10]	สวนผลไม้ [10]
ยางพาราอายุต่ำกว่า 7 ปี [11]	ยางพาราอายุมากกว่า 7 ปี [11]

ผลที่ได้จากการจำแนกด้วย NDVI จะได้พื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีค่า NDVI ต่ำกว่า 0.3 อันประกอบด้วยดินและน้ำ พืชพรรณทางการเกษตร และยางพาราอายุต่ำกว่า

7 ปี ในส่วนที่ 2 คือ การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีค่า NDVI มากกว่า 0.3 ประกอบด้วย สวนผลไม้ ป่าไม้ และยางพาราอายุมากกว่า 7 ปี และทำการนำบริเวณที่เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินจำพวกน้ำและป่าไม้ออกด้วยการซ้อนทับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ ยางพาราอายุต่ำกว่า 7 ปี ที่ผสมกับพืชพรรณทางการเกษตรและที่ดินเปล่า และอีกส่วนคือยางพาราอายุมากกว่า 7 ปี ที่ปะปนกับสวนผลไม้

(2) การจำแนกยางพาราด้วยการวิเคราะห์เนื้อภาพ การวิเคราะห์เนื้อภาพนั้นถูกนำมาใช้ในการจำแนกยางพาราทั้งสองช่วงอายุออกจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ เนื่องจากพื้นที่ปลูกยางพารามีลักษณะเป็นร่องดินอย่างชัดเจน โดยเฉพาะยางที่มีอายุต่ำกว่า 7 ปี และมีลักษณะเรือนยอดที่ค่อนข้างเรียบ จึงสามารถแยกออกจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น เช่น พืชพรรณทางการเกษตรและสวนผลไม้ได้นั่นเอง ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อภาพทั้งสิ้น 6 แบบ ด้วยกัน ประกอบด้วย homogeneity, entropy, dissimilarity, angular second moment, correlation และ contrast

5.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาคสนาม

ข้อมูลจากการลงภาคสนามหรือข้อมูลความสูง และเส้นรอบวง (DBH) ของยางพารานั้น จะถูกนำมาแทนค่าในสมการตามตารางที่ 1 เพื่อประเมินค่าปริมาณมวลชีวภาพของยางพารา แล้วหลังจากนั้นจึงคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากสมการที่ 1

ในส่วนของการเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนกับปริมาณการใช้น้ำ (water footprint) ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำปริมาณการใช้น้ำในการปลูกยางพาราของประเทศไทย ซึ่งจัดทำโดยสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติในปี พ.ศ. 2556 [12] เพื่อดูปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและปริมาณการใช้น้ำในการปลูกยางพาราเทียบต่อ 1 รอบการปลูกยางพาราหรือ 25 ปี

6. ผลการศึกษา

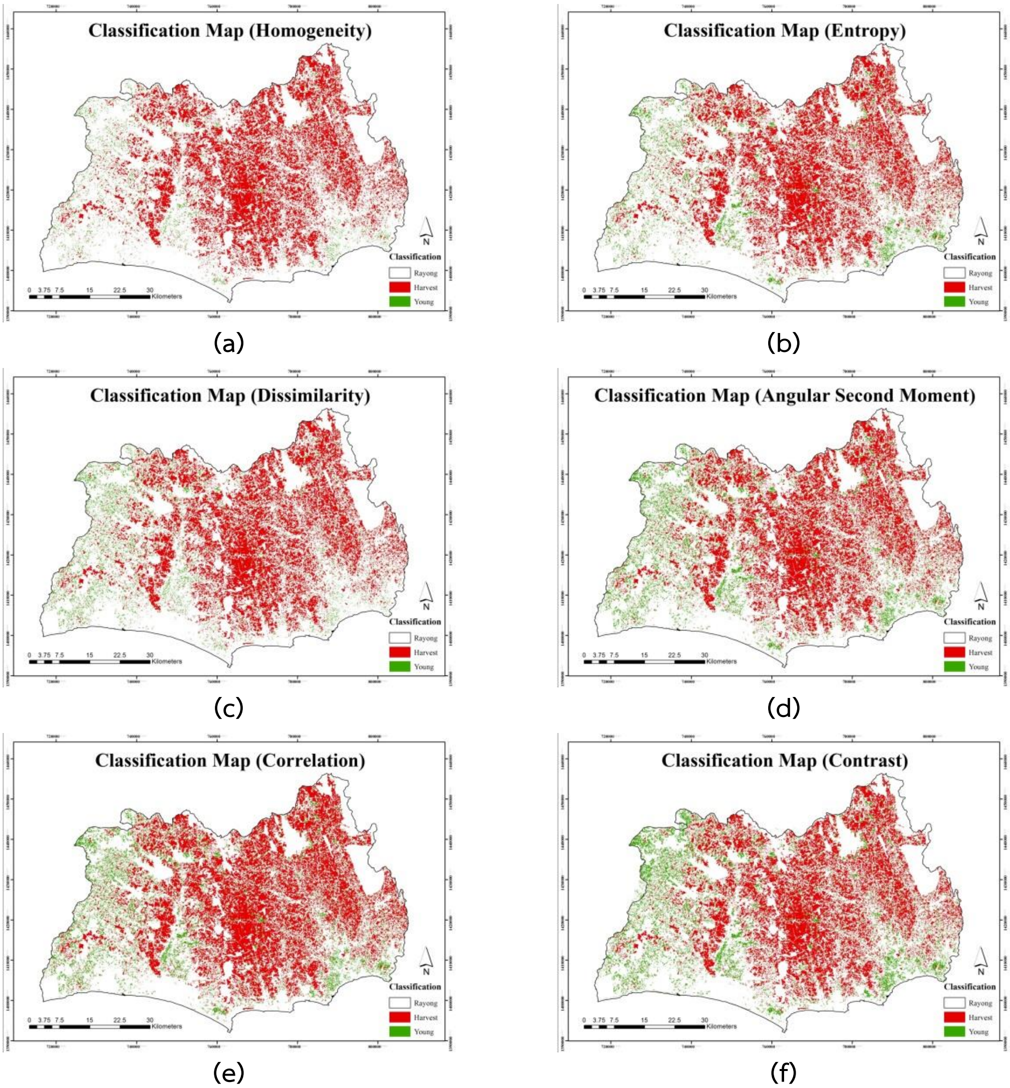
6.1 ผลการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม

การแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 OLI ด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อภาพร่วมกับการใช้ค่า NDVI ในการจำแนกยางพาราออกเป็น 2 ช่วงอายุ นั้น ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 แสดงพื้นที่ปลูกยางพาราของจังหวัดระยอง จากการวิเคราะห์เนื้อภาพที่แตกต่างกัน โดยที่สีเขียวแสดงถึงพื้นที่ปลูกยางพาราในช่วงอายุมากกว่า 7 ปี หรือช่วงที่มีการเก็บน้ำยาง และสีแดงแสดงถึงพื้นที่การปลูกยางพาราที่มีอายุน้อยกว่า 7 ปี หรือช่วงที่ยังไม่มีการกรีดยาง ซึ่งผลการตรวจสอบความถูกต้องโดยการเทียบกับพื้นที่ปลูกยางพาราจากกรมพัฒนาที่ดินร่วมกับการลงสำรวจพื้นที่ภาคสนาม พบว่าการแปลภาพในรูปแบบ homogeneity มีค่าความถูกต้องมากที่สุดคือ 89.65 % ส่วนค่าความถูกต้องที่รองลงมา คือ การแปลภาพในรูปแบบ entropy และ dissimilarity ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 85.98 และ 81.71 % ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความถูกต้องของการแปลภาพจากการวิเคราะห์เนื้อภาพ

Texture analysis	Overall Acc. (%)
Homogeneity	89.65
Entropy	85.98
Dissimilarity	81.71
Angular second moment	77.87
Correlation	75.94
Contrast	63.00



รูปที่ 2 พื้นที่ปลูกยางพาราบริเวณจังหวัดระยองจากการวิเคราะห์เนื้อภาพทั้ง 6 รูปแบบ (a) homogeneity (b) entropy (c) dissimilarity (d) correlation (e) contrast และ (f) angular second moment

เมื่อนำผลที่ได้จากการแปลภาพมาคำนวณหาพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่าได้พื้นที่ปลูกยางพาราทั้งหมด 810,193 ไร่ หรือประมาณ 129,631 เฮกตาร์ ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [3] ซึ่งระบุว่าในปี พ.ศ. 2557 มีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งสิ้น 753,032 ไร่ หรือประมาณ 120,584 เฮกตาร์ โดยที่ผลการแปลภาพถ่ายเมื่อเทียบกับลักษณะยางพาราในพื้นที่จริงแสดงในตารางที่ 5

6.2 การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ปลูกยางพารา จังหวัดระยอง

6.2.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามจะเก็บเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของยางพารา ซึ่งผลจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของต้นไม้พบว่า ยาง พาราที่อายุต่ำกว่า 7 ปี และมากกว่า 7 ปี นั้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 5.69 และ 31.11 เซนติเมตร

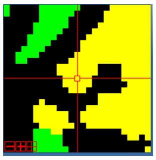
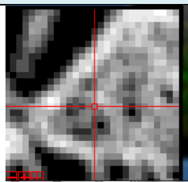
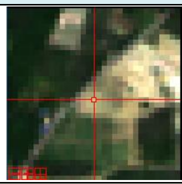
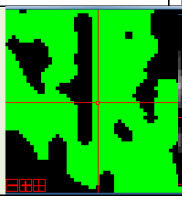
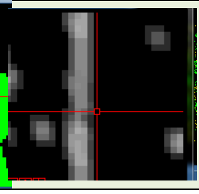
และมีความสูง 3.3 และ 12.08 เมตร ตามลำดับ

6.2.2 การประเมินการกักเก็บคาร์บอน

การศึกษาครั้งนี้คำนวณการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพารา โดยการคำนวณจากสมการมวลชีวภาพ (allomatric equation) ตามตารางที่ 1 พบว่าสวนยางพาราจังหวัดระยองสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ทั้งสิ้น 3,404,834.96 ตันคาร์บอน ซึ่งสามารถแยกออกเป็นการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพาราในช่วงอายุน้อยกว่า 7 ปี หรือช่วงก่อนให้ผลผลิต (ก่อนกรีดน้ำยาง) 7,638.79 ตันคาร์บอน และการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพาราในช่วง อายุหลัง 7 ปี หรือช่วงให้ผลผลิต (ช่วงกรีดน้ำยาง) 3,397,196.17 ตันคาร์บอน

ในส่วนของการประเมินการติดตามการใช้น้ำ หรือ water footprint ได้นำข้อมูลจากการประเมินการใช้น้ำจากสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ [12] ที่ได้ทำการประเมิน water footprint ของสวนยางพาราของประเทศไทย พบว่าในกระบวนการผลิตน้ำยางสดในประเทศไทย มีปริมาณ water footprint รวมทั้งสิ้น 3,824 ลบ.ม.ต่อตันน้ำยางสด

ตารางที่ 5 ลักษณะพื้นที่ปลูกยางพาราในช่วงอายุต่ำกว่า 7 ปี และมากกว่า 7 ปี จากภาพถ่ายและการแปลภาพ

จุดที่	ลักษณะพื้นที่ปลูกยางพารา	ภาพถ่าย	ภาพจากการแปลภาพ	ภาพจากการทำ texture analysis	ภาพจาก LANDSAT 8 (ผสม 432)
1	สวนยางอายุต่ำกว่า 7 ปี				
2	สวนยางอายุมากกว่า 7 ปี				

7. สรุปและอภิปรายผล

7.1 อภิปรายผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ปลูกยางพารา จังหวัดระยอง เพื่อเป็นการศึกษาการปลูกพืชเศรษฐกิจในเชิงสิ่งแวดล้อม พบว่าการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 OLI ที่ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์เนื้อภาพในการแปลภาพ พบว่ารูปแบบ homogeneity ให้ผลการแปลดีที่สุด ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 89 % รองลงมา คือ entropy และ dissimilarity ซึ่งให้ค่าความถูกต้อง 85 และ 81 % ตามลำดับ ซึ่งจากการแปลภาพพบว่าบริเวณสวนผลไม้และยางพาราอายุต่ำว่า 7 ปี ไม่สามารถแปลภาพแยกออกจากกันได้ เนื่องจากช่วงค่า texture ที่ใกล้เคียงกัน รวมทั้งค่า spectral ที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นค่าผสมระหว่างค่าการสะท้อนของดินและค่าการสะท้อนของเรือนยอดยางพารา ทำให้ไม่สามารถแปลสวนผลไม้ออกจากสวนยางพาราที่อยู่ในช่วงก่อนเก็บน้ำยางออกจากกันได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับ

การศึกษาของ Charoenjit และคณะ [9] ที่วิเคราะห์พื้นที่ปลูกยางพาราโดยการวิเคราะห์เนื้อภาพจากดาวเทียมไทยโชต พบว่าผลจากการวิเคราะห์แบบ homogineity ให้ค่าความสอดคล้องสูงถึง 0.875 แต่ต่างจากการ ศึกษาของ ชรัตน์ [7] ที่พบว่าข้อมูลจากการวิเคราะห์เนื้อภาพแบบ entropy และ contrast เหมาะสมในการจำแนกยางพาราที่สุด ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้การวิเคราะห์แบบ entropy ให้ค่าความถูกต้องมาเป็นอันดับสอง แต่สำหรับการวิเคราะห์แบบ contrast นั้นแตก ต่างกัน เนื่องจากการศึกษานี้พบว่าการวิเคราะห์แบบ contrast นั้นให้ค่าความถูกต้องเป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งผลจากการศึกษาของ ชรัตน์ [7] นั้นแตกต่างจากการ ศึกษานี้ อาจเป็นไปได้ว่าลักษณะพื้นที่ศึกษานั้นแตก ต่างกัน การศึกษาของ ชรัตน์ [7] นั้นได้ศึกษาบริเวณภาคอีสาน แต่การศึกษานี้ศึกษาในพื้นที่ภาคตะวันออก เช่นเดียวกับของ Charoenjit และคณะ [9] จึงเป็นไปได้ว่าพื้นที่ศึกษาที่ต่างกันมีผลต่อการวิเคราะห์เนื้อภาพ เนื่องจากพื้นที่ศึกษานั้นส่งผลถึงลักษณะทางภูมิประเทศ ภูมิ อากาศ และชนิดพันธุ์ของยางพาราต่างกัน ดังนั้นการปลูกยางพาราจึงอาจแตกต่างกันด้วย ในภาคตะวันออก การปลูกจะเว้นระยะระหว่างต้นประมาณ 3 เมตร แต่ในพื้นที่แห้งแล้ง เช่น ภาคอีสาน การปลูกอาจต้องห่างกันมากขึ้น จึงเห็นลักษณะของ contrast ได้ชัดเจนกว่าในบริเวณภาคตะวันออก เป็นต้น นอกจากลักษณะแปลงที่ต่างกันแล้ว ชนิดพันธุ์ของยางพาราอาจส่งผลต่อลักษณะเรือนยอดที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงส่งผลต่อมาถึงลักษณะเนื้อภาพของยางพาราในการแปลภาพแตกต่างกันตามไปด้วย ผลที่ได้จากการศึกษาของ ชรัตน์ [7] จึงแตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ และการ ศึกษาของ Charoenjit และคณะ [9]

ในส่วนของพื้นที่ปลูกยางพาราที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในการหาพื้นที่ปลูกยางพารานั้น พบว่ามีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งสิ้น 810,193 ไร่ หรือประมาณ 129,631 เฮกตาร์ ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณพื้นที่ปลูกยางพาราของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [3] ที่ระบุว่าจังหวัดระยองมีพื้นที่ปลูกยางพารา 753,032 ไร่ หรือประมาณ 120,584 เฮกตาร์ ถือว่าข้อมูลทั้งสองมีความใกล้เคียงกันในระดับหนึ่งแต่ในส่วนของพื้นที่จากการแปลภาพนั้นมีจำนวนมากกว่า เนื่องจากในการแปลภาพนั้นอาจมีการแปลพื้นที่สวนผลไม้ปะปนกับสวนยางพาราด้วยเช่นกันเพราะค่าการสะท้อนของสวนผลไม้และสวนยางพาราที่โตเต็มที่นั้นมีค่าการสะท้อนที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้ค่า NDVI และค่าการวิเคราะห์เนื้อภาพไม่สามารถแยกออกจากกันได้ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้ในส่วนของข้อมูลที่ได้จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรนั้น เป็นข้อมูลจากการลงทะเบียนของเกษตรกรที่ทำการปลูกยางพารา อาจมีเกษตรกรบางส่วนนั้นไม่ได้ลงทะเบียนกับทางสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร จึงทำให้พื้นที่ปลูกยางพารามีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ในส่วนของสวนผลไม้ในจังหวัดระยองนั้นจากข้อมูลของสำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง [13] ระบุว่าจังหวัดระยองมีเนื้อที่สวนผลไม้ 108,234 ไร่ ซึ่งรวมทั้งพื้นที่ปลูกทุเรียน มังคุด เงาะ และลองกอง จึงเป็นผลให้พื้นที่ทางการเกษตรส่วนใหญ่ของจังหวัดระยองนั้นคือพื้นที่ปลูกยางพารานั่นเองดังข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [3] ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

ในด้านการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพาราในจังหวัดระยองนั้น สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ทั้งสิ้น 12,029,516.35 กิโลกรัมคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ซึ่งถือได้ว่ายางพารามีประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนค่อนข้างสูง เนื่องจากยางพาราเป็นพืชที่ปลูกระยะยาวอายุในการเก็บผลผลิตประมาณ 8-25 ปี เมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น เช่น มันสำปะหลัง สับปะรด ที่มีช่วงการปลูกประมาณ 1 ปี และเมื่อเปรียบเทียบกับ

การใช้น้ำหรือwater footprint พบว่ายางพารา 1 เฮกตาร์ สามารถให้น้ำยางได้ 1000 กิโล กรัม ซึ่งใช้น้ำ (water footprint) ในกระบวนการผลิตทั้งหมดเฉลี่ย 3,824 ลูกบาศก์เมตรต่อหนึ่งกระบวน การผลิตน้ำยางสด นั่นหมายความว่าใน 1 รอบการปลูกยางพาราสามารถให้น้ำยางได้ตั้งแต่อายุ 8-25 ปี หรือประมาณ 17 ปี ในการผลิตน้ำยางสด เท่ากับว่ายางพารามีปริมาณ water footprint ประมาณ 65,008 ลบ.ม.ต่อ 1 รอบการปลูกน้ำยาง แต่มีการกักเก็บคาร์บอนได้ 12,029,516.35 กิโลกรัมคาร์บอน แสดงว่ายางพารามีอัตราการใช้น้ำที่น้อยเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น เช่น ปาล์มน้ำมัน แต่มีประสิทธิ-ภาพเชิงสิ่งแวดล้อมในด้านปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในระดับที่สูง

7.2 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่สวนยางพารา จังหวัดระยอง ผลการศึกษาพบว่าจังหวัดระยองมีพื้นที่ปลูกยางพาราจำนวนทั้งสิ้น 810,193.36 ไร่ หรือ 129,631 เฮกตาร์ โดยแบ่งเป็นช่วงก่อนให้ผลผลิต 95649.33 ไร่ หรือ 15,303.89 เฮกตาร์ และช่วงให้ผลผลิต 714544.03 ไร่ หรือ 114,327.05 เฮกตาร์ ซึ่งคิดเป็นจำนวนการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดได้ 75,184,477.18 kgC/ไร่ หรือ 12,029,516.35 kg C/เฮกตาร์ โดยแบ่งเป็นช่วงก่อนและช่วงเก็บน้ำยาง 200,832.90 และ 74,983,644.28 kgC/ไร่ หรือ 32,133.26 และ 11,997,383.08 kg C/เฮกตาร์ ตามลำดับ โดยที่วิธีการจำแนกยางพาราด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อภาพรูปแบบที่ให้ผลดีที่สุด คือ homogeneity ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 89 % รองลงมาคือ entropy และ dissimilarity ซึ่งให้ค่าความถูกต้อง 85 และ 81 % ตามลำดับ

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 การศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้ decision tree ในการจำแนกยางพาราออกเป็น 2 ช่วงอายุ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อจำกัดในด้านของข้อมูล ซึ่งอาจส่งผลให้การวิเคราะห์มีความผิดเพี้ยนได้ เพื่อเป็นการปรับปรุงการวิจัยในอนาคตจึงอาจใช้วิธีอื่นในการแปลภาพ ได้แก่ วิธี expert system เป็นต้น

8.2 ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถจำแนกยางพาราออกจากการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นได้ แต่สามารถเพิ่มความถูกต้องในการแปลภาพได้โดยการแปลภาพในช่วงที่ยางพารามีการผลัดใบ เพื่อเป็นการแยกบริเวณที่เป็นสวนผลไม้กับบริเวณที่เป็นยางพาราเล็กออกจากกัน เนื่องจากมีบางจุดนั้นยังไม่สามารถแยกสวนยางพาราออกจากสวนผลไม้ได้ชัดเจน การแปลภาพเพิ่มเติมในช่วงที่ยางมีการผลัดใบจึงสามารถแยกยางพาราออกจากสวนอื่นได้ดีกว่า

9. รายการอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2554, แผนปฏิบัติการราชการสี่ปี พ.ศ. 2555-2558, แหล่งที่มา : http://www.oae.go.th/download/journal/plan 2555_2558.pdf, 19 พฤษภาคม 2557.

[2] สถาบันวิจัยยาง, 2557, สถิติยางไทย, แหล่งที่มา : http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm, 6 มกราคม 2558.

[3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557, สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2557, โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

[4] ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, 2550, โครงการการศึกษาหาประสิทธิภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ในป่าธรรมชาติและในป่าสวนป่าบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

[5] พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล และวารินทร์ จิระสุขทวีกุ, 2531, ผลผลิตมวลชีวภาพเหนือผิวดินของสวนยางพาราในลุ่มน้ำระยอง, ฝ่ายวิจัยกองอนุรักษ์ต้นน้ำ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

[6] Haralick, R.M., 1979, Statistical and structural approaches to texture, Proc. IEEE 67: 786-804.

[7] ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, อุราวรรณ จันทร์เกษ, วาสนา พุฒกลาง, พัทยา คำแดง และพงษ์เทพ วรรณรส, 2554, การวิเคราะห์เนื้อภาพเพื่อจำแนกช่วงอายุของยางพาราด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม THEOS ลุ่มน้ำห้วยคอง, การประชุมวิชาการ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อการสนับสนุนการดำเนินงานท้องถิ่นสู่การพัฒนาประเทศ, โรงแรมเชียงใหม่แกรนด์วิว และโรงแรมอเวย์, เชียงใหม่.

[8] ศศิกานต์ ไพลกลาง, 2554, การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากข้อมูลดาวเทียมธีออสโดยการวิเคราะห์ค่าลายผิว, วิทยานิพนธ์ปริญญาท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

[9] Charoenjit, K., Zuddas, P., Allemand, P., Pattanakiat, S. and Pachana, K., 2015, Estimation of biomass and carbon stock in Para rubber plantations using object-based classification from Thaichote satellite data in Eastern Thailand, J. Appl. Remote Sens. 1: 96072.

[10] ภาวิดา ยะโสวงษ์ และชุลีรัตน์ จรัสกุลชัย, 2556, การจัดทำดัชนีค้นคืนภาพถ่ายดาวเทียมด้วยการจัดกลุ่มและค่าดัชนีพืชพรรณ, J. Inform. Sci. Technol. 4(2): 1-8.

[11] ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, วาสนา พุฒกลาง, อัครเดช นังตะลา และปวีณา บุญโยธา, 2552, การวิเคราะห์พื้นที่ปลูกยางพาราในลุ่มน้ำโขงด้วยข้อมูลดาวเทียม, น. 18-42, การประชุมวิชาการดาวเทียมธีออสเทคโนโลยีอวกาศของไทยเพื่อการพัฒนาภูมิสารสนเทศ, โรงแรมณุศา พลาญ่า โฮเต็ล แอนด์ สปา, ชลบุรี.

[12] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556, การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินต์ของผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมัน ไบโอดีเซล และผลิตภัณฑ์ยางพารา, รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม, ปทุมธานี.

[13] สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง, 2557, สถานการณ์ผลผลิตผลไม้จังหวัดระยอง, รายงานประจำปี 2557, สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง, ระยอง.