

การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลง การปกคลุมของป่าไม้บริเวณอุทยานแห่งชาติทับลาน

Multitemporal Analysis of Landsat Data for Forest Cover Changes Detection, Tab Lan National Park

ดร. ศันสนีย์ มณีโชติ*

Dr. Sunsanee Maneechot*

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ตูลา คมกฤต มโนรัตน์

Assistant Professor Tula Khomkit Manorat

คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

340 ถ. สุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 ประเทศไทย

Faculty of Humanities and Social Science, Nakhon Ratchasima Rajabhat University 340

Suranarai Road, Nai Mueang Subdistrict, Mueang Nakhon Ratchasima District,

Nakhon Ratchasima Province 30000, Thailand

*Corresponding Author. E-mail : sunsanee.m@nrru.ac.th

(Received: June 8, 2021, Revised: August 6, 2021, Accepted: August 24, 2021)

บทคัดย่อ : การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณด้วยการวิเคราะห์การปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ และติดตามรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลา สำหรับพื้นที่ป่าอนุรักษ์อุทยานแห่งชาติทับลานและระยะกันชนจากอุทยาน 5 กิโลเมตร ในการจำแนกความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณด้วยการวิเคราะห์การปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ เป็นการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินและความหนาแน่นเรือนยอดพืชพรรณ นำมาสร้างเป็นแบบจำลองความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณและดิน (Soil Vegetation Canopy Density: SVCD) จำแนกการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำ พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดปานกลาง และพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง พบว่า พื้นที่ศึกษามีเนื้อที่คิดเป็นร้อยละ 15.75 15.84 13.80 และ 54.61 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ เมื่อนำแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม จำนวน 67 ตำแหน่ง พบว่า มีค่าความถูกต้องทั้งหมด 85.07 เปอร์เซ็นต์ และค่า Kappa coefficient เท่ากับ 0.795 จากนั้นทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ จำนวน 3 คู่ปี ด้วยการวิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูล โดยมีการจำแนกรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ถูกทำลาย พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดลดลง พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น และพื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือน

ยอดไม้เปลี่ยนแปลง พบว่า ตลอดช่วงของการศึกษา พื้นที่ศึกษาบริเวณอุทยานแห่งชาติทับลานและพื้นที่โดยรอบในรัศมี 5 กิโลเมตร มีอัตราการถูกบุกรุกทำลายเฉลี่ย 15.35 ตารางกิโลเมตรต่อปี ส่วนใหญ่บุกรุกเพื่อทำเกษตรกรรม ในส่วนของพื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดลดลงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย 11.44 ตารางกิโลเมตรต่อปี

คำสำคัญ: ความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณ, ความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณและดิน, ภาพถ่ายจากดาวเทียม แลนด์แซทหลายช่วงเวลา

Abstract : This study was conducted to categorize vegetation canopy density with forest canopy cover analysis and to observe patterns of forest canopy changes by multi-temporal LANDSAT imagery for the Tub Lan National Park (TLNP) and its buffer distance of 5 kilometers. In addition, vegetation canopy density classification was created from the integration between Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and analysis of Forest Canopy Density (FCD) into a model of Soil Vegetation Canopy Density (SVCD). The forest canopy density was classified into four levels: non-forested areas, low forest cover density, moderate forest cover density, and high forest cover density. The study found that study area was calculated in percentages of the overall areas at 15.75, 15.84, 13.80, and 54.61 respectively, with 85.07 percent of overall accuracy and 0.795 of kappa coefficient. Then, the 3-year pairs of vegetation canopy changes were measured by using the overlay analysis. The forest canopy changes pattern was classified into four patterns: deforestation, FCD Loss, FCD Gain, and no Change. It was found that in the 20-year period from 1999 to 2019 the area was invaded and destroyed at approximately 15.35 square-kilometers per year and the ratio of loss of forest canopy density changes has an average of 11.44 square-kilometers per year.

Keywords: Vegetation canopy density, Soil Vegetation Canopy Density, Multi-temporal LANDSAT imagery

1. บทนำ

ปัจจุบันการเพิ่มจำนวนประชากรของประเทศทำให้ความต้องการจากภาคเกษตรกรรมมากขึ้น ความจำเป็นที่ต้องการขยายพื้นที่เพาะปลูกมีเพิ่มขึ้น พื้นที่ป่าไม้ในเขตภูเขาจึงเป็นเป้าหมายของการขยายพื้นที่เพื่อการเพาะปลูก นำไปสู่การตัดไม้ทำลายป่าและเปลี่ยนสภาพเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ทุ่งหญ้า อ่างเก็บน้ำ และที่อยู่อาศัย การตัดไม้ทำลายป่าส่งผลกระทบเป็นบริเวณกว้าง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและมีผลต่อปัจจัยทางชีวภาพ รวมไปถึงสภาพดิน น้ำ อากาศ สัตว์ป่า และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่าเป็นการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ กล่าวคือ ป่าไม้มีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต แต่เมื่อต้นไม้เหี่ยวตายไปหรือถูกเผาคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปล่อยออกมาอีกครั้ง นอกจากนี้ต้นไม้ที่กำลังย่อยสลายยังผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่มีผลกระทบรุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน และยังมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ได้แก่ การกัดเซาะและพังทลายของดิน น้ำท่วม ความแห้งแล้ง คุณภาพน้ำเสื่อมลงเนื่องจากการพัดพาตะกอนลงสู่แหล่งน้ำ [1]–[3]

สำหรับประเทศไทยการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรมในช่วงเวลาทศวรรษนี้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือกลุ่มไม้ผลและไม้ยืนต้นมีพื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จากนโยบายหรือการส่งเสริมจากภาครัฐให้เกษตรกรปลูกพืชเชิงเดี่ยว เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรเน้นการส่งออกเป็นสำคัญ ทำให้เกิดการบุกรุกทำลายป่าซึ่งเป็นการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ในระยะยาว รัฐจึงมีความพยายามเพื่อรักษาผืนป่าด้วยการติดตามและตรวจสอบปัญหาที่จะทำให้พื้นที่ป่าไม้แปรสภาพกลายเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และปัญหาการบุกรุกถือครองที่ดินในพื้นที่ป่าไม้ ด้วยการนำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลมาช่วยในการสนับสนุนให้มีการทำแผนที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเป็นพื้นฐานสำหรับ

การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง ทำให้ทราบถึงธรรมชาติอัตราการเปลี่ยนแปลง และขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะเป็นเครื่องมือสนับสนุนต่อการวางแผนการจัดการที่ดินและการตัดสินใจเชิงนโยบายร่วมกับการพิจารณาในเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นการขยายตัวของเมือง การทำลายป่าไม้ การจัดการแหล่งน้ำและความเสื่อมโทรมของที่ดิน เพื่อให้เกิดการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืนต่อไป [4]

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยสมรรถนะที่ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการได้มาของข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกลสามารถให้ข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้างขวาง ตรวจสอบข้อมูลย้อนหลัง ณ ตำแหน่งเดิมได้แม่นยำ รวมถึงให้ข้อมูลในเชิงปริมาณทำให้สามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจน สามารถทำงานครอบคลุมพื้นที่ได้หลายระดับจากการมีข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียดของจุดภาพแตกต่างกัน จึงสามารถเลือกใช้งานได้ตามความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ที่ต้องการศึกษา อีกทั้งการมีข้อมูลที่ประกอบด้วยหลายช่วงคลื่นจึงสามารถนำไปสร้างเป็นดัชนีพืชพรรณได้ มีดัชนีพืชพรรณมากมายซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่ป่าไม้ ได้แก่ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [5] Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) [6] และ Enhanced Vegetation Index (EVI) [7] ต่อมาได้มีการคิดค้นการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเรือนยอด (Forest Canopy Density: FCD) ซึ่งเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดสำหรับการประเมินสภาพป่าไม้ เพื่อการวางแผนการดำเนินการฟื้นฟูและแนวทางการจัดการโดยรวมของป่าไม้ โดย [8] ได้อาศัยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการบูรณาการของดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index: VI) ดัชนีความเป็นดิน (Bare Soil Index: BI) ดัชนีความเป็นเงา (Shadow Index: SI) และดัชนีความร้อน (Thermal Index: TI) ซึ่งประสบความสำเร็จเป็น

อย่างมากในพื้นที่เขตร้อน [9] นอกจากนี้ [10] ยังได้มีการใช้ FCD ในการทำแผนที่ป่าไม้ปกคลุมและประเมินความหนาแน่นเรือนยอดของป่าไม้ ซึ่งมีความถูกต้องทั้งหมดสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ รวมไปถึงการประเมินการเปลี่ยนแปลงและการแตกกระจายของผืนป่า มีความถูกต้องทั้งหมด 85 เปอร์เซ็นต์ [11]

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ถึงความสำคัญของการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ อันได้แก่ ภาพถ่ายจากดาวเทียม ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบการกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก มาใช้ในการจำแนกและติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ นำไปสู่การประเมินการปกคลุมของป่าไม้ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของป่า อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ในการจัดการและวางแผนอนุรักษ์ป่าไม้ ทำให้ทราบตำแหน่งพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกทำลาย นำไปสู่การดำเนินการเฝ้าระวังและรักษาพื้นที่ป่าอนุรักษ์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อจำแนกความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณด้วยการวิเคราะห์การปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ

2.2 เพื่อติดตามรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลา

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

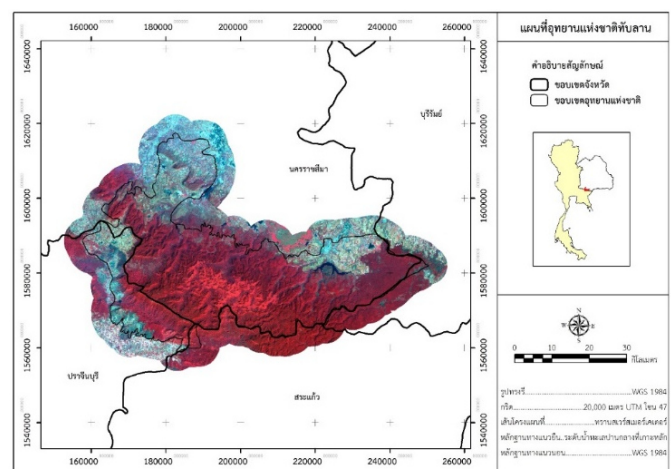
ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในเขตอุทยานแห่งชาติห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี และพื้นที่โดยรอบในรัศมี 5 กิโลเมตร

อุทยานแห่งชาติห้วยขาแข้งตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $14^{\circ} 05'$ ถึง $14^{\circ} 33'$ เหนือ และเส้นแวงที่ $101^{\circ} 50'$ ถึง $102^{\circ} 40'$ ตะวันออก รวมเนื้อที่ประมาณ 1,397,375 ไร่ หรือ

2,235.80 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่อำเภอปางศิขณ อำเภอน้ำหนาว อำเภอศรีประจักษ์ อำเภอเสนา จังหวัดนครราชสีมา และอำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี ดังภาพที่ 1

3.2 ขอบเขตด้านข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 5-TM และภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8-OLI แบบหลายช่วงคลื่น มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร โดยเลือกเอาเฉพาะภาพถ่ายที่มีเมฆปกคลุมน้อยที่สุด



ภาพที่ 1 แผนที่อุทยานแห่งชาติห้วยขาแข้ง

4. วิธีดำเนินการศึกษา

ขั้นตอนในการศึกษามีทั้งหมด 7 ขั้นตอน คือ (1) ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (2) การรวบรวมข้อมูล (3) การประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเบื้องต้น (Pre-processing) (4) การวิเคราะห์ความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณ (5) การจัดชั้นการจำแนกความหนาแน่นของเรือนยอด (6) การตรวจสอบความถูกต้อง (7) การติดตามรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ

4.1 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนเอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ หลักการและวิธีการวิเคราะห์

ความหนาแน่นเรือนยอดพืชพรรณ (Forest Canopy Density: FCD) ดัชนีพืชพรรณ การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมทั้งวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในแบบต่างๆ ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

4.2 การรวบรวมข้อมูล

ทำการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

4.2.1 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณย้อนหลัง 12 ปี ได้มีการนำ

ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT จำนวน 3 ช่วงเวลาในระบบหลายช่วงคลื่น ได้แก่ ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM ระหว่างปี พ.ศ. 2542 และปี พ.ศ. 2552 และภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 OLI ปี พ.ศ. 2562 ซึ่งได้ทำการดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <https://glovis.usgs.gov/> มีรายละเอียดคุณสมบัติของดาวเทียมและภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM และ LANDSAT-8 OLI LANDSAT-5 TM

LANDSAT-5 TM				LANDSAT-8 OLI			
ความกว้างของภาพ 185 km. ความถี่โคจร 16 วัน				ความกว้างของภาพ 185 km. ความถี่โคจร 16 วัน			
Band 1	Blue	30 m.	0.45-0.52	Band 1	Coatal/Aerosol	30 m.	0.435-0.451
Band 2	Green	30 m.	0.52-0.60	Band 2	Blue	30 m.	0.452-0.512
Band 3	Red	30 m.	0.63-0.69	Band 3	Green	30 m.	0.533-0.590
Band 4	NIR	30 m.	0.76-0.90	Band 4	Red	30 m.	0.636-0.673
Band 5	SWIR-1	30 m.	1.55-1.75	Band 5	NIR	30 m.	0.851-0.879
Band 6	TIR	120 m.	10.40-12.50	Band 6	SWIR-1	30 m.	1.566-1.651
Band 7	SWIR-2	30 m.	2.08-2.35	Band 7	SWIR-2	30 m.	2.107-20294
				Band 8	PAN	15 m.	0.503-0.676
				Band 9	Cirrus	30 m.	1.363-1.384

ตารางที่ 2 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT ที่ใช้ในการศึกษา

พื้นที่ศึกษา	รายละเอียดดาวเทียม	Path/Row	วันที่ถ่ายภาพ
อุทยานแห่งชาติทับลาน	LANDSAT-5 TM	128/50	17 มกราคม 2542
	LANDSAT-5 TM	128/50	12 มกราคม 2552
	LANDSAT-8 OLI	128/50	24 มกราคม 2562

ตารางที่ 3 ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ใช้ในการวิจัย

ชั้นข้อมูล	มาตราส่วน	แหล่งที่มา
ข้อมูลป่าไม้	1:50,000	ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ข้อมูลภูมิสารสนเทศ	1:50,000	ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปีพ.ศ. 2545	1:4,000	สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร
ขอบเขตการปกครอง	1:50,000	ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ข้อมูลเส้นชั้นความสูง	1:50,000	ศูนย์ภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
แผนที่ภูมิประเทศ	1:50,000	กรมแผนที่ทหาร

4.2.2 ข้อมูลเชิงพื้นที่

ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังตารางที่ 3

4.3 การประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเบื้องต้น (Pre-processing)

เป็นการแก้ไขความคลาดเคลื่อนเชิงบรรยากาศ (Atmospheric Correction) ด้วยการแปลงค่าการสะท้อนของจุดภาพ (Digital Number: DN) ให้เป็นค่าการสะท้อนที่ส่วนบนสุดของบรรยากาศ (Top of Atmosphere Reflectance: TOA) และการปรับแก้ภาพเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ของภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 สำหรับภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5TM ทำการคำนวณตามวิธีการที่แนะนำโดย [12] [13] โดยใช้เครื่องมือ Raster Calculation ในโปรแกรม PCI Geomatica เพื่อแปลงค่าเชิงเลข DN เป็นค่า Spectral Radiance ดังสมการที่ (1) และแปลงเป็นค่า TOA reflectance ดังสมการที่ (2)

$$L_{\lambda} = gain * DN + bias \quad (1)$$

โดยที่ L_{λ} = ค่า Spectral radiance (Watts / (m²*srad* μm), gain = ค่า Gain ในแต่ละแบนด์, DN = ค่า

dn ในแต่ละแบนด์, bias = ค่า Bias (offset) ในแต่ละแบนด์

$$\rho_{TOA}^i = \frac{\pi * L_{\lambda}^i * d^2}{ESUN_{\lambda}^i * \cos(\theta_s)} \quad (2)$$

โดยที่ ρ_{TOA}^i = ค่า TOA reflectance ของ band I, L_{λ}^i = ค่า Spectral radiance ของ band I (W/m²/μm/sr), d = ค่า Earth-sun distance เป็นค่าระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ในหน่วยดาราศาสตร์ในแต่ละวันที่ของปี, $ESUN_{\lambda}^i$ = ค่า Mean Solar Exo-atmospheric Irradiance ของ band I และ θ_s = ค่า Sun Zenith angle จาก header file

4.3.2 สำหรับภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 OLI ได้ดำเนินการคำนวณตามวิธีการของ [13] เพื่อแปลงค่าเชิงเลข DN เป็นค่า spectral radiance ดังสมการที่ (3) และแปลงเป็นค่า TOA reflectance ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (3)$$

โดยที่ L_{λ} = ค่า Spectral radiance (Watts / (m²*srad* μm), M_L = ค่าสัมประสิทธิ์ เพื่อคูณเข้าสำหรับการแปลงค่าเฉพาะแบนด์ ได้จาก Metadata

(RADIANCE_MULT_BAND_X, โดย X คือ แบนด์ที่ X), Q_{cal} = ค่า Digital number และ A_L = ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อบวกเพิ่มสำหรับการแปลงค่าเฉพาะแบนด์นั้นได้จาก Metadata (RADIANCE_ADD_BAND_X, โดย X คือ แบนด์ที่ X)

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (4)$$

โดยที่ $\rho\lambda'$ = ค่า TOA planetary reflectance, M_p = ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อคูณเข้าสำหรับการแปลงค่าเฉพาะแบนด์นั้น ได้จาก Metadata (REFLECTANCE_MULT_BAND_X, โดยที่ X คือ แบนด์ที่ X), Q_{cal} = ค่า digital number และ A_p = ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อบวกเพิ่มสำหรับการแปลงค่าเฉพาะแบนด์นั้น ได้จาก Metadata (REFLECTANCE_ADD_BAND_X, โดย X คือ แบนด์ที่ X)

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (5)$$

โดยที่ $\rho\lambda$ = ค่า TOA planetary reflectance, θ_{SE} = ค่ามุมของความสูงดวงอาทิตย์ จากข้อมูล Metadata (SUN_ELEVATION) และ $\theta_{SE} = 90^\circ - \theta_{SZ}$

4.4 การวิเคราะห์ความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณ

สำหรับการวิเคราะห์ความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณ เป็นการอ้างอิงแนวคิดของ [9] แต่มีการดัดแปลงบางตัวแปรที่นำมาใช้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 การคำนวณหาดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (The Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI)

ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินถูกพัฒนามาจาก NDVI และมีการให้ค่าคงที่ (L) เพิ่มเข้าไปเป็นตัวหารของ NDVI เพื่อใช้ในการลดผลกระทบจากค่าการสะท้อนของดิน ค่า L เปลี่ยนแปลงด้วยคุณสมบัติการสะท้อนของดิน ได้แก่ สี และความสว่าง ค่า L ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น

ของพืชพรรณ กล่าวคือ เมื่อมีพืชพรรณปกคลุมน้อยมากจะใช้ค่า $L = 1.0$ พืชพรรณปกคลุมปานกลาง จะใช้ค่า $L = 0.5$ พืชพรรณปกคลุมหนาแน่น จะใช้ค่า $L = 0.25$ ซึ่งค่ามาตรฐานที่ใช้ในการประยุกต์ส่วนใหญ่จะมีค่า $L = 0.5$ ดัชนี SAVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 บริเวณที่มีพื้นดินมากกว่าพืช ค่าจะเข้าใกล้ -1 และบริเวณที่มีพืชปกคลุมพื้นดินหนาแน่น ค่าจะเข้าใกล้ +1

$$SAVI = \frac{(B_4 - B_3)}{(B_4 + B_3 + L)} \times (1 + L) \quad (6)$$

เมื่อ B_3 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่นแสงสีแดง

B_4 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

4.4.2 การคำนวณหาดัชนีดิน (Bare Soil Index: BI)

ดัชนีความเป็นดิน (Bare Soil Index: BI) มีความสัมพันธ์กับพื้นที่เปิดโล่ง ซึ่งจะมีค่าสูงในพื้นที่ที่มีหน้าดินเปิด และพื้นที่เมืองที่มีความสว่างของสิ่งปลูกสร้างรวมไปถึงเส้นทางคมนาคม ในทางกลับกัน หากพื้นที่มีพืชพรรณปกคลุมและมีความหนาแน่นของเรือนยอดสูงจะทำให้ค่าดัชนี BI ต่ำ เช่น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ไม้ผลและไม้ยืนต้น พื้นที่เกษตรกรรมที่กำลังเจริญเติบโต และพื้นที่ทุ่งหญ้าปกคลุมดิน เป็นต้น ดัชนีนี้จึงสามารถช่วยในการจำแนกบริเวณที่เป็นพืชพรรณและดินออกจากกันได้ ดัชนี BI ได้มาจากการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงคลื่นสีน้ำเงิน, ช่วงคลื่นสีแดง, ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง มาคำนวณหาค่าดัชนีความเป็นดินดังสมการ

$$BI = \frac{(B_5 + B_3) - (B_4 + B_1)}{(B_5 + B_3) + (B_4 + B_1)} \times 100 + 100$$

$$; 0 < BI < 200 \quad (7)$$

เมื่อ B_1 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่นแสง
สีน้ำเงิน

B_3 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่นแสง
สีแดง

B_4 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่น
อินฟราเรดใกล้

B_4 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่น
อินฟราเรดคลื่นสั้น

4.4.3 การคำนวณหาความหนาแน่นของพืช
พรรณ (Vegetation Density: VD)

สำหรับการหาความหนาแน่นของพืชพรรณจะ
ใช้ตัวแปร 2 ตัวแปร คือ ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (SAVI)
และดัชนีความเป็นดิน (BI) โดยนำมาทำการวิเคราะห์องค์
ประกอบหลักที่ 1 (First Principal Component: PC1)
ระหว่าง SAVI และ BI เพื่อสร้างช่วงคลื่นใหม่ที่ได้จากการ
แปลงค่าจุดภาพให้เป็นค่าใหม่ในตำแหน่งเดิม โดยที่ค่าจุด
ภาพใหม่มีรูปแบบเป็นผลบวกเชิงเส้น

จากนั้นจึงนำมาทำการจัดช่วงค่าสเกลให้อยู่
ระหว่าง 0-100 เพื่อจัดชั้นการจำแนก โดยตำแหน่งที่
มีค่ามากที่สุดที่ความหนาแน่นของพืชพรรณเท่ากับ 0
เปอร์เซ็นต์ และตำแหน่งที่มีค่าน้อยที่สุดที่ความหนาแน่น
ของพืชพรรณเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

4.4.4 การหาดัชนีความเป็นเงา (Shadow
Index: SI)

เป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ช่วง
คลื่นสีน้ำเงิน ช่วงคลื่นสีเขียว และช่วงคลื่นสีแดง มา
คำนวณดังสมการ [14]

$$BI = \frac{(B_5+B_3)-(B_4+B_1)}{(B_5+B_3)+(B_4+B_1)} \times 100 + 100$$

(8)

; $0 < BI < 200$

เมื่อ B_1 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่น
แสงสีน้ำเงิน

B_2 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่นแสง
สีเขียว

B_3 = ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกในช่วงคลื่นแสง
สีแดง

เมื่อได้ค่าดัชนีความเป็นเงาแล้วจึงทำการจัด
ช่วงค่าสเกลให้อยู่ระหว่าง 0-100 เพื่อจัดชั้นการจำแนก
โดยตำแหน่งที่มีค่ามากที่สุดที่ความหนาแน่นของพืชพรรณ
เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และตำแหน่งที่มีค่าน้อยที่สุดที่
ความหนาแน่นของพืชพรรณเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์

4.4.5 การคำนวณค่าความหนาแน่นเรือน
ยอดของพืชพรรณและดิน (Soil Vegetation Canopy
Density: SVCD)

เป็นการนำข้อมูลที่เป็นผลการวิเคราะห์ค่า
ความหนาแน่นของพืชพรรณ (Vegetation Density: VD)
และค่าดัชนีความเป็นเงา (SI) มาคำนวณหาความหนา
แน่นเรือนยอดของพืชพรรณ [9] ดังสมการ

$$SVCD = \sqrt{VD(SI + 1)} - 1 \quad (9)$$

เมื่อ SVCD = ความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณ

VD = ความหนาแน่นของพืชพรรณ

SI = ค่าดัชนีเงา

4.5 การจัดชั้นการจำแนกความหนาแน่นของ
เรือนยอด

ทำการจัดชั้นการจำแนกความหนาแน่นของเรือน
ยอดจากแบบจำลอง SVCD โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ

4.5.1 พื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า (Non-forest: NF) มี
ระดับความหนาแน่นของเรือนยอด 0-20% ได้แก่ พื้นที่
เกษตรกรรม ที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ

4.5.2 พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำ
(Low Forest Cover Density: LFCD) มีระดับความหนา
แน่นของเรือนยอด 20-40% ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้จำพวกป่า
เต็งรัง และป่าเบญจพรรณที่เริ่มมีความเสื่อมโทรม

4.5.3 พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอด
ปานกลาง (Moderate Forest Cover Density: MFCD)
มีระดับความหนาแน่นของเรือนยอด 40-60% ได้แก่ พื้นที่
ป่าไม้จำพวกป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณที่สมบูรณ์

4.5.4 พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง (High Forest Cover Density: HFCD) มีระดับความหนาแน่นของเรือนยอด มากกว่า 60% ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้จำพวกป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น และป่าดิบเขาที่สมบูรณ์

4.6 การตรวจสอบความถูกต้อง

การกำหนดจำนวนข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการประเมินความถูกต้อง โดยคำนวณจากสมการแบบ Worst-Case Multinomial Distribution ที่สมมติให้ประเภทหนึ่งประเภทใดมีสัดส่วนที่เข้าใกล้หรือมีพื้นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ศึกษา [15] ดังนี้

$$N = \frac{B}{4b^2} \quad (10)$$

เมื่อ N คือ จำนวนจุดตัวอย่าง

b คือ ความถูกต้องแม่นยำที่ต้องการของประเภทนั้นๆ

B คือ ค่าที่ได้จากตารางการกระจายแบบไคสแควร์ (χ^2) ที่ 1 Degree of Freedom

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง SVCD ในการจำแนกความหนาแน่นของเรือนยอดด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท โดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม มาทำการประเมินความถูกต้องด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความสอดคล้องแคปปา (Kappa Coefficient) [16] ดังสมการที่ (11)

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \times n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \times n_{+i})} \quad (11)$$

เมื่อ $\hat{K}$ = ค่าความสอดคล้องสัมประสิทธิ์ kappa

k = จำนวนของแถว หมายถึง ระดับความหนาแน่นเรือนยอด

n_{ii} = จำนวนของจุดอ้างอิงในแถว i และคอลัมน์ i

N_{i+} = ผลรวมนอกแนวทแยงมุมของแถว i

N_{+i} = ผลรวมนอกแนวทแยงมุมของแถว i

N = จำนวนจุดอ้างอิงทั้งหมด

การแปลตีความหมายของค่า Kappa Statistics พิจารณาได้ดังตารางที่ 3 [16]

4.7 การติดตามรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ

เมื่อได้แผนที่การจำแนกการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณจากแบบจำลอง SVCD แล้ว จึงทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลง และทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงจำนวน 3 คู่ปี คือ ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2552 ระหว่างปี พ.ศ. 2552-2562 ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2562 เพื่อทำการจำแนกรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่ป่าไม้แบบ Form-To

ตารางที่ 3 การแปลตีความหมายของค่า Kappa Statistics

ค่า Kappa	ขนาดความสอดคล้อง (Strange of Agreement)
< 0.00	แย่ (Poor)
0.00 – 0.20	น้อย (Slight)
0.21 – 0.40	พอใช้ (Fair)
0.41 – 0.60	ปานกลาง (Moderate)
0.61 – 0.80	ดี (Sub Stantial)
0.81 – 1.00	ดีมาก / ค่อนข้างสมบูรณ์ (Almost Perfected)

สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบนด์ (Image Differencing) การวิเคราะห์การถดถอย (Image Regression) การวิเคราะห์ความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index Differencing) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) การวิเคราะห์ Tasseled Cap (KT) และ Post-Classification Comparison แต่เนื่องจากวิธีดังกล่าวข้างต้น ไม่สามารถวิเคราะห์การ

เปลี่ยนแปลงแบบ Form-To ได้ คือ แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงว่าระดับการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นระดับใด หรือเพิ่มขึ้นจากระดับใด

ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้การวิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูล (Overlay Analysis) โดยจำแนกออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ Class 1: Deforestation Class 2: FCD Loss Class 3: FCD Gain และ Class 4: No Change ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การจำแนกรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ

Date 1	Date 2	Class	ความหมายของรูปแบบการเปลี่ยนแปลง
NF	NF	No Change	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดไม่เปลี่ยนแปลง
	LFCD	FCD Gain	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น
	MFCD	FCD Gain	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น
	HFCD	FCD Gain	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น
LFCD	NF	Deforestation	พื้นที่ป่าไม่ถูกทำลาย
	LFCD	No Change	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดไม่เปลี่ยนแปลง
	MFCD	FCD Gain	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น
	HFCD	FCD Gain	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น
MFCD	NF	Deforestation	พื้นที่ป่าไม่ถูกทำลาย
	LFCD	FCD Loss	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดลดลง
	MFCD	No Change	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดไม่เปลี่ยนแปลง
	HFCD	FCD Gain	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น
HFCD	NF	Deforestation	พื้นที่ป่าไม่ถูกทำลาย
	LFCD	FCD Loss	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดลดลง
	MFCD	FCD Loss	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดลดลง
	HFCD	No Change	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดไม่เปลี่ยนแปลง

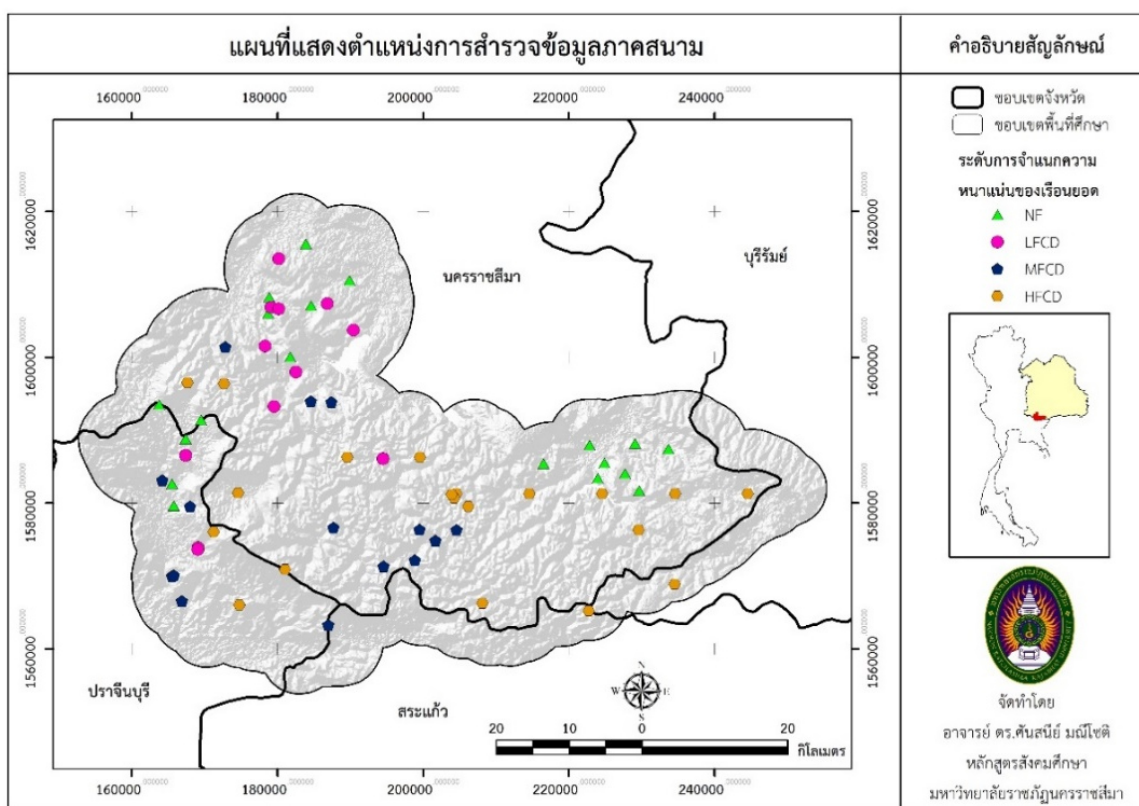
NF = Non-forest, LFCD = Low Forest Cover Density, MFCD = Moderate Forest Cover Density, HFCD = High Forest Cover Density

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการจำแนกความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณด้วยการวิเคราะห์การปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ

จากการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างดัชนีพืชพรรณ ปรับแก้ดินและความหนาแน่นเรือนยอดพืชพรรณ นำมาสร้างเป็นแบบจำลอง SVCD เพื่อจำแนกความหนาแน่นเรือนยอดด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลา เมื่อนำแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม จำนวน 67 ตำแหน่ง ซึ่งจำแนกตามระดับความหนาแน่นของเรือนยอด 4 ระดับ คือ NF ได้แก่ พื้นที่

เกษตรกรรม ที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ LFCD ได้แก่ ป่าเต็งรัง MFCD ได้แก่ ป่าเบญจพรรณ HFCD ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น และป่าดิบเขา โดยได้ทำการสำรวจในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม แสดงดังภาพที่ 2 และการแสดงผลการประเมินความแม่นยำดังตารางที่ 5 พบว่า แบบจำลอง SVCD มีค่าความถูกต้องทั้งหมด 85.07 เปอร์เซ็นต์ และค่า Kappa coefficient เท่ากับ 0.795 ซึ่งแบบจำลองนี้ให้ผลการจำแนกความถูกต้องทั้งหมดและความสอดคล้องจัดอยู่ในเกณฑ์ดี ระหว่างแผนที่การจำแนกและข้อมูลอ้างอิงทางภาคพื้นดิน [16]



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงตำแหน่งข้อมูลภาคสนาม

ตารางที่ 5 ความสอดคล้องระหว่างการสำรวจภาคสนามและผลการจำแนกด้วยแบบจำลอง SVCD ใน ปี พ.ศ. 2562

SVCD Model							
Image Classification	Field observation by survey					Accuracy (%)	
	NF	LFCD	MFCD	HFCD	Total	User's	Producer's
NF	19	1	0	0	20	95.00	100.00
LFCD	0	7	0	0	7	100.00	58.33
MFCD	0	3	10	0	13	76.92	66.67
HFCD	0	1	5	21	27	77.78	100.00
Total	19	12	15	21	67		
Overall accuracy (%)	85.07						
Kappa coefficient	0.795						

เมื่อพิจารณาความแม่นยำ (Accuracy) แยกตามความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's Accuracy) และความถูกต้องของผู้ใช้งาน (User's Accuracy) ในแต่ละระดับความหนาแน่นเรือนยอด พบว่า สำหรับแบบจำลอง SVCD มีความถูกต้องของผู้ผลิตอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า และพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง ด้วยค่า Producer's Accuracy 100.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการจำแนกพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดปานกลาง และพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำ มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ด้วยค่า Producer's Accuracy เท่ากับ 66.67 และ 58.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดปานกลางมีความสับสนในการจำแนกกับพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง และพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำมีความสับสนในการจำแนกกับพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดปานกลาง สำหรับการเพิ่มความแม่นยำในส่วนของผู้ใช้งานพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมผสม (Spectral Mixture Analysis: SMA) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการจำแนกวัตถุที่แตกต่างกันมากกว่าหนึ่งชนิดภายในหนึ่งจุดภาพ ด้วยการพิจารณาการสะท้อนของสเปกตรัม

ของวัตถุแต่ละชนิด พบว่าให้ค่าความถูกต้องทั้งหมด 80-85 เปอร์เซ็นต์ [17]–[20] และในส่วนของความถูกต้องของผู้ใช้งานนั้นแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือในการจำแนกอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับทุกระดับความหนาแน่นเรือนยอด ด้วยค่า User's Accuracy มากกว่า 76.92 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิเคราะห์พบว่า ใน ปี พ.ศ. 2562 พื้นที่ศึกษามีพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำ พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดปานกลาง และพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง คิดเป็นร้อยละ 15.75, 15.84, 13.80 และ 54.61 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ

5.2 ผลการติดตามรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลา

จากการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ จำนวน 3 คู่ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2552 ระหว่างปี พ.ศ. 2552-2562 และระหว่างปี พ.ศ. 2542-2562 ด้วยการวิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูลทำให้สามารถจำแนกรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) พื้นที่ป่าไม้ถูกทำลาย 2) พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอด

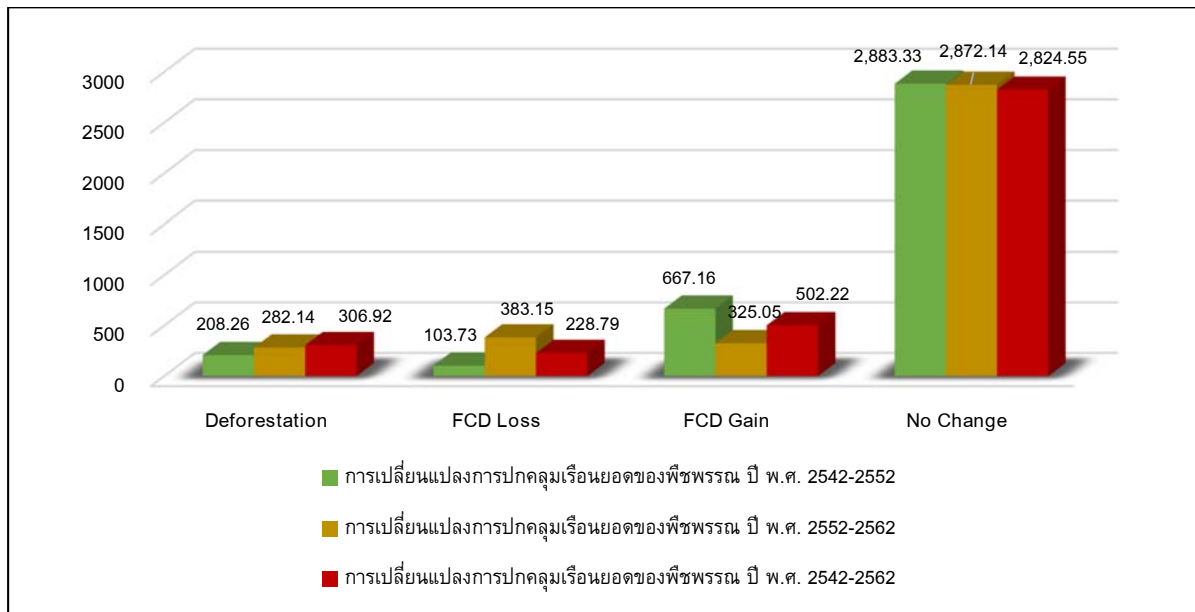
- ลดลง 3) พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น และ
4) พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดไม่เปลี่ยนแปลง

จากการวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2552 ระหว่าง ปี พ.ศ. 2552-2562 และระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2562 ดังแสดงในตารางที่ 6 และแผนภูมิภาพที่ 3 พบว่า ตลอดช่วงของการศึกษา ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2552-2562 พื้นที่ศึกษาบริเวณอุทยานแห่งชาติทับลาน และพื้นที่โดยรอบในรัศมี 5 กิโลเมตร มีอัตราการถูกบุกรุกทำลายเฉลี่ย 15.35 ตารางกิโลเมตรต่อปี ส่วนใหญ่บุกรุก

เพื่อทำเกษตรกรรม ในส่วนของพื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดลดลงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย 11.44 ตารางกิโลเมตรต่อปี สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของป่ามาจากการลักลอบตัดไม้มีค่าเป็นจำนวนมาก เช่น ไม้กฤษณา ไม้พะยุง เป็นต้น ในส่วนของพื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้นมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย 25.11 ตารางกิโลเมตรต่อปี เกิดจากการฟื้นตัวตามธรรมชาติ และการปลูกสร้างสวนป่าโดยได้รับความร่วมมือจากประชาชนในพื้นที่ช่วยกันดูแล

ตารางที่ 6 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2552 ระหว่างปี พ.ศ. 2552-2562 และระหว่างปี พ.ศ. 2542-2562

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ	การเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ						อัตราการเปลี่ยนแปลง/ปี		
	ปี พ.ศ. 2542-2552		ปี พ.ศ. 2552-2562		ปี พ.ศ. 2542-2562		2542-2552	2552-2562	2542-2562
	ตร.กม.	%	ตร.กม.	%	ตร.กม.	%	ตร.กม.	ตร.กม.	ตร.กม.
Deforestation	208.26	5.39	282.14	7.30	306.92	7.95	20.83	28.21	15.35
FCD Loss	103.73	2.69	383.15	9.92	228.79	5.92	10.37	38.31	11.44
FCD Gain	667.16	17.27	325.05	8.42	502.22	13.00	66.72	32.51	25.11
No Change	2,883.33	74.65	2,872.14	74.36	2,824.55	73.13	288.33	287.21	141.23
Total	3,862.48	100.00	3,862.48	100.00	3,862.48	100.00			



ภาพที่ 3 แผนภูมิรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ
ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2552 ระหว่าง ปี พ.ศ. 2552-2562 และระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2562

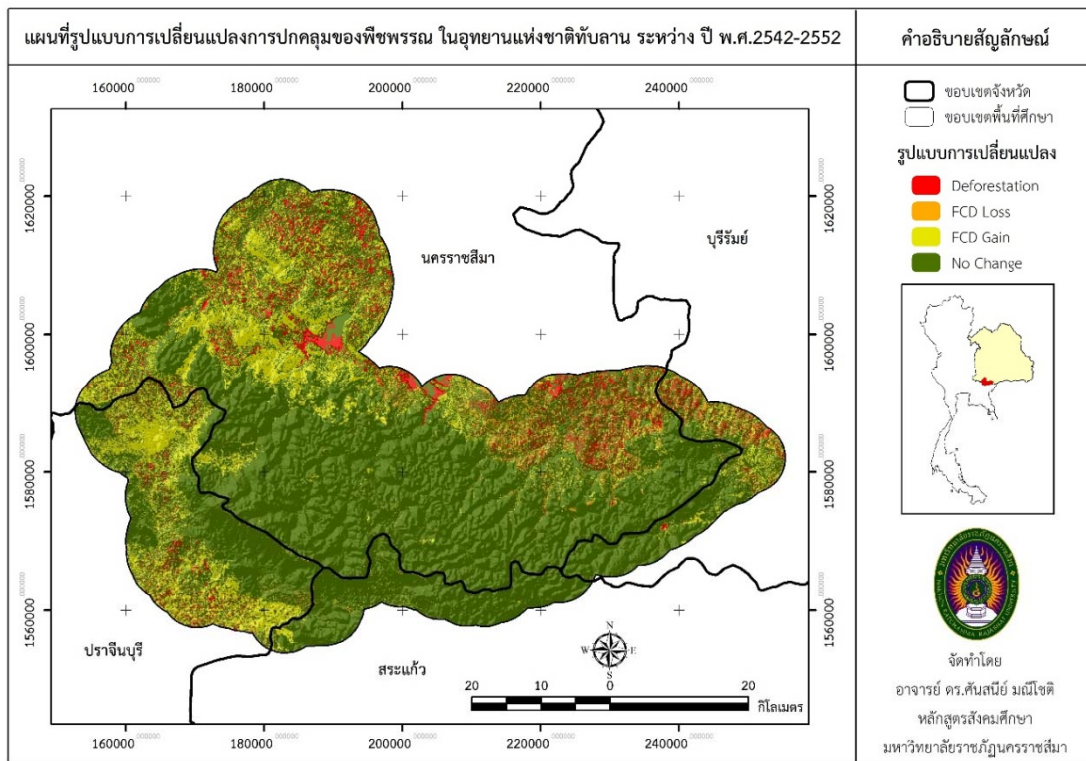
จากการวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2552-2562 โดยจำแนกออกเป็น 4 รูปแบบ ดังตารางที่ 7 และภาพที่ 4 พบว่า มีพื้นที่ป่าที่ความหนาแน่นเรือนยอดไม่เปลี่ยนแปลงมากที่สุด มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 73.13 ของพื้นที่ รองลงมา คือ พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 13.00 พื้นที่ป่าไม้ถูกทำลาย มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 7.95 เกิดจากการบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าไม้ให้กลายเป็นพื้นที่เกษตรกรรมอย่างถาวร และพื้นที่

ป่าที่ความหนาแน่นเรือนยอดลดลง มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 5.92 เกิดจากการเปลี่ยนสภาพจากป่าปิดไปเป็นป่าเปิด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน แสดงให้เห็นว่า ปัญหาหลักที่ทำให้ความสมบูรณ์ของป่าไม้ลดลง มีสาเหตุมาจากพื้นที่ป่าไม้ถูกทำลายและพื้นที่ป่าเสื่อมสภาพ เนื่องมาจากการลักลอบตัดไม้มีค่าเป็นจำนวนมาก และการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อทำเกษตรกรรม เช่น ไร่มันสำปะหลัง ไร่ข้าวโพด ไม้ผล เป็นต้น

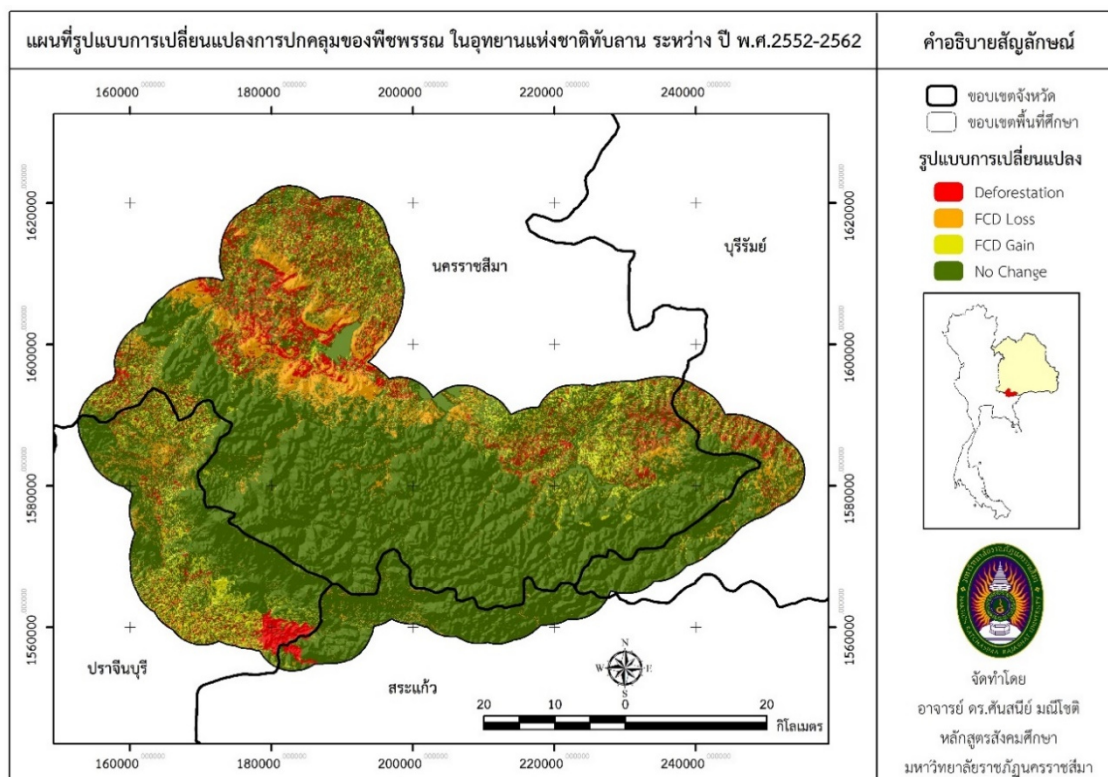
ตารางที่ 7 พื้นที่รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณในระหว่าง ปี พ.ศ. 2542 2552 และ 2562

รูปแบบการเปลี่ยนแปลง	ความหมายของรูปแบบการเปลี่ยนแปลง	เส้นทางการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ ปี พ.ศ. 2542 2552 และ 2562	พื้นที่ (ตร.กม.)
Deforestation	พื้นที่ป่าไม้ถูกทำลาย	LFCD- NF- NF, LFCD- LFCD- NF, LFCD- MFCD- NF, MFCD- LFCD- NF, MFCD- NF- NF, MFCD- MFCD- NF, HFCD- NF- NF, HFCD- MFCD- NF, HFCD- LFCD- NF	306.92 (7.95%)
FCD Loss	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดลดลง	MFCD- LFCD- LFCD, MFCD- MFCD- LFCD, MFCD- NF- LFCD, HFCD- LFCD- MFCD, HFCD- MFCD- MFCD, HFCD- HFCD- MFCD	228.79 (5.92%)
FCD Gain	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น	NF- NF- LFCD, NF- LFCD- LFCD, NF- LFCD- MFCD, NF- MFCD- LFCD, NF- MFCD- MFCD, NF- MFCD- HFCD, LFCD- NF- MFCD, LFCD- LFCD- MFCD, LFCD- MFCD- MFCD, LFCD- MFCD- HFCD, LFCD- HFCD- HFCD, LFCD- HFCD- MFCD, MFCD- MFCD- HFCD, MFCD- LFCD- HFCD, MFCD- HFCD- HFCD	502.22 (13.00%)
No Change	พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดไม่เปลี่ยนแปลง	NF- NF- NF, NF- LFCD- NF, NF- MFCD- NF LFCD- NF- LFCD, LFCD- LFCD- LFCD, LFCD- MFCD- LFCD, LFCD- HFCD- LFCD, MFCD- NF- MFCD, MFCD- LFCD- MFCD, MFCD- MFCD- MFCD, MFCD- HFCD- MFCD, HFCD- LFCD- HFCD, HFCD- MFCD- HFCD, HFCD- HFCD- HFCD	2,824.55 (73.13%)
หมายเหตุ: HFCD = High Forest Cover Density, MFCD = Moderate Forest Cover Density, LFCD = Low Forest Cover Density, NF = Non-forest			

1)

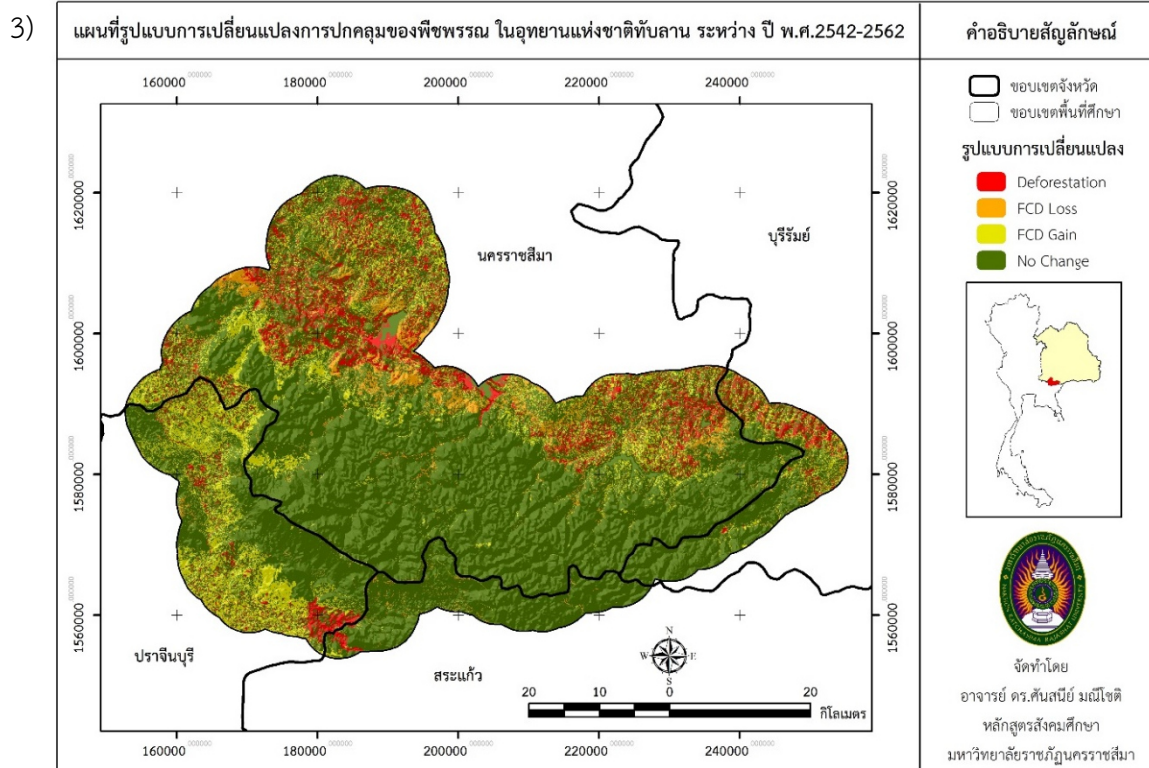


2)



ภาพที่ 4 แผนที่รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณระหว่าง

1) ปี พ.ศ. 2542-2552 2) ปี พ.ศ. 2552-2562 3) ปี พ.ศ. 2542-2562



ภาพที่ 4 แผนที่รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณระหว่าง

1) ปี พ.ศ. 2542-2552 2) ปี พ.ศ. 2552-2562 3) ปี พ.ศ. 2542-2562

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 ผลการจำแนกความหนาแน่นเรือนยอดของพืชพรรณด้วยการวิเคราะห์การปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ

จากการวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดินและความหนาแน่นเรือนยอดพืชพรรณ นำมาสร้างเป็นแบบจำลอง SVCD เพื่อจำแนกความหนาแน่นเรือนยอดด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลา เมื่อนำแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม จำนวน 67 ตำแหน่ง พบว่า แบบจำลอง SVCD มีค่าความถูกต้องทั้งหมด 85.07 เปอร์เซ็นต์ และค่า Kappa coefficient เท่ากับ 0.795 ซึ่งแบบจำลองนี้ให้ผลการจำแนกความถูกต้องทั้งหมดและความสอดคล้องจัดอยู่ในเกณฑ์ดี

จากผลการประเมินความถูกต้องทั้ง 3 ประเภท คือ ความถูกต้องโดยรวม ความถูกต้องของผู้ผลิต และความถูกต้องของผู้ใช้ จึงสามารถอธิบายได้ว่า สำหรับอุทยานแห่งชาติทับลาน แบบจำลอง SVCD มีความเหมาะสมต่อการจำแนกความหนาแน่นเรือนยอดได้ดี เนื่องจากพืชพรรณส่วนใหญ่ในอุทยานแห่งชาติทับลานเป็นป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา และป่าดิบชื้น ซึ่งเป็นป่าประเภทที่ไม่มีการผลัดใบ ที่ได้จัดไว้เป็นกลุ่มพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง ประกอบกับพืชพรรณมีความหนาแน่นทึบและเต็มไปด้วยป่าที่อุดมสมบูรณ์เป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดความสับสนในการจำแนกกับพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดปานกลาง ได้แก่ ป่าเบญจพรรณที่สมบูรณ์ได้ และในส่วนของพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำ ประกอบด้วยป่าเต็งรังซึ่งเป็นป่าประเภทที่มีการผลัดใบ จึงทำให้เกิดความสับสนในการจำแนกกับป่า

เบญจพรรณที่เป็นป่าประเภทที่มีการผลัดใบได้เช่นกัน ผลการวิเคราะห์พบว่า ใน ปี พ.ศ. 2562 พื้นที่ศึกษามีพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำ พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดปานกลาง และพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูง คิดเป็นร้อยละ 15.75 15.84 13.80 และ 54.61 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ

6.2 ผลการติดตามรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลา

จากการนำภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM และ LANDSAT-8 OLI มาจำแนกการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณและพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง SVCD ที่ได้จากวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 มาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2552 ระหว่าง ปี พ.ศ. 2552-2562 และระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2562 พบว่า พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดสูงและพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตลอดช่วงของการศึกษา ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2562 โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นต่อปี 3.25 และ 5.61 ตารางกิโลเมตรต่อปี ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดต่ำ และพื้นที่ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นเรือนยอดปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงตลอดช่วงของการศึกษา ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2562 โดยมีอัตราการลดลงต่อปี 6.78 และ 2.07 ตารางกิโลเมตรต่อปี ตามลำดับ

จากการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ จำนวน 3 คู่ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2552 ระหว่างปี พ.ศ. 2552-2562 และระหว่างปี พ.ศ. 2542-2562 ด้วยการวิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูล พบว่าตลอดช่วงของการศึกษา ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2552-2562 พื้นที่ศึกษาบริเวณอุทยานแห่งชาติทับลานและพื้นที่โดยรอบในรัศมี 5 กิโลเมตร มีอัตราการถูกบุกรุกทำลายเฉลี่ย 15.35 ตารางกิโลเมตรต่อปี ส่วนใหญ่ถูกบุกรุกเพื่อทำเกษตรกรรม ในส่วนของพื้นที่ป่าที่มีความหนา

แน่นเรือนยอดลดลงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย 11.44 ตารางกิโลเมตรต่อปี สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของป่ามาจากการลักลอบตัดไม้มีค่าเป็นจำนวนมาก เช่น ไม้กฤษณา ไม้พะยุง เป็นต้น ในส่วนของพื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้นมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย 25.11 ตารางกิโลเมตรต่อปี เกิดจากการฟื้นตัวตามธรรมชาติ และการปลูกสร้างสวนป่าโดยได้รับความร่วมมือจากประชาชนในพื้นที่ช่วยกันดูแล ส่วนใหญ่อยู่ทางตอนล่างของอำเภอน้ำหนาว จังหวัดนครราชสีมา และอำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี

จากการวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมเรือนยอดของพืชพรรณ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2552-2562 โดยจำแนกออกเป็น 4 รูปแบบ พบว่า มีพื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดไม่เปลี่ยนแปลงมากที่สุด มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 73.13 ของพื้นที่ รองลงมาคือ พื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดเพิ่มขึ้น มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 13.00 พื้นที่ป่าไม้ถูกทำลาย มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 7.95 เกิดจากการบุกรุกทำลายพื้นที่ป่าไม้ให้กลายเป็นพื้นที่เกษตรกรรมอย่างถาวร และพื้นที่ป่าที่มีความหนาแน่นเรือนยอดลดลง มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 5.92 เกิดจากการเปลี่ยนสภาพจากป่าปิดไปเป็นป่าเปิด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน แสดงให้เห็นว่า ปัญหาหลักที่ทำให้ความสมบูรณ์ของป่าไม้ลดลง มีสาเหตุมาจากพื้นที่ป่าไม้ถูกทำลายและพื้นที่ป่าเสื่อมสภาพ เนื่องมาจากการลักลอบตัดไม้มีค่าเป็นจำนวนมาก และการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อทำเกษตรกรรม เช่น ไร่มันสำปะหลัง ไร่ข้าวโพด ไม้ผล เป็นต้น

7. ข้อเสนอแนะ

สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง มีหลายเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบนด์ (Image Differencing) การวิเคราะห์การถดถอย (Image Regression) การวิเคราะห์ความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index

Differencing) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) การวิเคราะห์ Tasseled Cap (KT) และ Post-Classification Comparison หรือจะเป็นการใช้ Machine learning เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลถึงปริมาณในการสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

9. บรรณานุกรม

- (1) IPCC, Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers. March. 28, 2021. 2014, https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
- (2) R.U. Ayres, J. Walter, "The greenhouse effect: Damages, costs and abatement," *Environmental & Resource Economic*, vol. 1, pp. 237-270, 1991.
- (3) R. L. Peters, J. D. S. Darling, "The Greenhouse Effect and Nature Reserves," *Bioscience*, vol. 35, no. 11, pp. 707-717, 2016.
- (4) สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, "แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564." https://www.nesdc.go.th/ewf_dl_link.php?nid=6422. 2563, https://www.nesdc.go.th/ewf_dl_link.php?nid=6422
- (5) J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, J.C. Harlan. "Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green Wave Effect) of natural vegetation," 1974, <https://ntrs.nasa.gov/citations/197400089555>
- (6) A.R. Huete, "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)," *Remote Sensing of Environment*, vol. 25, no. 3, pp. 295-309, 1988.
- (7) A. R. Huete, C. Justice, W. van Leeuwen. "MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document," 1999, http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf
- (8) A. Rikimaru, S. Miyatake, P. Dugan, "Sky is the limit for forest management tool.," *ITTO Tropical Forest Update*, vol. 9/3, pp. 6-9, 1999.
- (9) A. Rikimaru, P. S. Roy, S. Miyatake, "Tropical forest cover density mapping," *Tropical Ecology*, vol. 43(1), no. June, pp. 39-47, 2002.
- (10) J. Kumar, P. Talwar, A.P. Krishna, "Assessment of Forest Cover Conditions and Canopy Density using Remote Sensing and GIS Techniques in Parts of Jharkhand State," *International Journal of Research in Agriculture and Forest*, vol. 4, no. 4, pp. 12-18, 2017.
- (11) S. Kumar Gupta, A. Chandra Pandey, "Forest Canopy Density and Fragmentation Analysis for Evaluating Spatio-Temporal Status of Forest in the Hazaribagh Wild Life Sanctuary, Jharkhand (India)," *Research Journal of Environmental Sciences*, vol. 12, no. 4, pp. 198-212, 2018,
- (12) G. Chander, B. Markam, "Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, no. 11 PART II, pp. 2674-2677, 2003.
- (13) USGS, "Landsat 8 (L8) Data Users Handbook Version 2.0," 2016, <https://dl.icdst.org/pdfs/files/2512b7ec8c34f3a7330e7fa339792e5e.pdf>
- (14) A. Rikimaru, S. Miyatake, "Development of Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model using Indices of Vegetation, Bare soil and Shadow," 1997, <https://a-a-r-s.org/proceeding/ACRS1997/Papers/FR97-5.htm>
- (15) R. G. Congalton, K. Green, "Assessing the accuracy of remotely sensed data : principles and practices," 2nd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group., 2009.
- (16) J.R. Landis, G.G. Koch, "The measurement of observer agreement for categorical data," *Biometrics*, vol. 33, no. 1, pp. 159-174, 1977.
- (17) D. Gudex-Cross, J. Pontius, A. Adams, "Enhanced forest cover mapping using spectral unmixing and object-based classification of multi-temporal Landsat imagery," *Remote Sensing of Environment*, vol. 196, pp. 193-204, 2017.

- (18) J. Yang, P.J. Weisberg, N.A. Bristow, "Remote Sensing of Environment Landsat remote sensing approaches for monitoring long-term tree cover dynamics in semi-arid woodlands : Comparison of vegetation indices and spectral mixture analysis," *Remote Sensing of Environment*, vol. 119, pp. 62–71, 2012.
- (19) M.T. Mayes, J.F. Mustard, J.M. Melillo, "Remote Sensing of Environment Forest cover change in Miombo Woodlands : modeling land cover of African dry tropical forests with linear spectral mixture analysis," *Remote Sensing of Environment*, vol. 165, pp. 203–215, 2015.
- (20) R.C. Grecchi et al., "An integrated remote sensing and GIS approach for monitoring areas affected by selective logging: A case study in northern Mato Grosso, Brazilian Amazon," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 61, no. April, pp. 70–80, 2017.