

นิพนธ์ต้นฉบับ

เทคนิคการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน
ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ
Land Use Classification Technique Using
Unmanned Aerial Vehicle Orthophotos

ไกรวุฒิ ศิริอ่อน^{1,2}Kraiwut Siri-on^{1,2}ปิยวัฒน์ ดิลกสัมพันธ์^{1*}Piyawat Diloksumpun^{1*}วีระภาส คุณรัตนศิริ¹Weeraphart Khunrattanasiri¹¹คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand

²สำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Forest Land Management Office, Royal Forest Department, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand

*Corresponding Author, E-mail: piyawat.d@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 4 มิถุนายน 2564

รับแก้ไข 21 กรกฎาคม 2564

รับลงพิมพ์ 27 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) can currently take high-resolution orthophotos but the camera sensor only has an RGB band. Classifying land use using UAV aerial photos through computer needs suitable techniques. The objective of this research was to find suitable techniques for such land use classification. Pixel and object-based classification techniques were applied and validated using visual interpretation techniques. The study area was in the Ban Pa Not, Mae Tha subdistrict, Mae On district, Chiang Mai province, in a total area of approximately 1,182.47 rai, with some parts in the Pa Khun Mae Tha National Reserved Forest.

We found that pixel-based classification techniques have an overall accuracy of 39.4% with a Kappa coefficient of 0.27, while object-based classification technique has an overall accuracy of 34.2% with a Kappa coefficient of 0.22. Pixel-based classification techniques gave a slightly higher value but both techniques had an acceptable level of performance as indicated by the Kappa coefficient values on the Landis and Koch scale. We conclude that orthophotos in the RGB band obtained from UAVs are not suitable for land use classification and it is necessary to find additional techniques to validate such classifications.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, Land use classification, National reserved forest, Pixel-based classification, Object-based classification

บทคัดย่อ

อากาศยานไร้คนขับ ในปัจจุบันสามารถบินถ่ายภาพถ่ายภาพเชิงเลขที่มีความละเอียดสูง แต่ด้วยกล้องบันทึกภาพสามารถบันทึกได้ในแถบความถี่ RGB การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินต้องหาเทคนิคที่เหมาะสม การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ (pixel-based classification) และเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ (object-based classification) เปรียบเทียบกับการจำแนกด้วยสายตา ในบริเวณ บ้านป่านี้อ ต่าบลแม่ทา อำเภอมะนัง จังหวัดเชียงใหม่ เนื้อที่ 1,182.47 ไร่ คาบเกี่ยวเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าขุนแม่ทา

ผลการศึกษา พบว่า เทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ ร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 39.4 ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.27 และ เทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ ร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 34.2 ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.22 ซึ่งเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพให้ค่าที่สูงกว่าเล็กน้อยแต่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาระดับความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์ Kappa ระดับพอใช้ ทั้งสองเทคนิค แสดงว่าภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีเพียงแถบช่วงคลื่น RGB ไม่เหมาะกับการจำแนกโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย มีความจำเป็นต้องศึกษาเทคนิคเพิ่มเติม

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ป่าสงวนแห่งชาติ การจำแนกเชิงจุดภาพ การจำแนกเชิงวัตถุ

คำนำ

การจัดทำแผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการวางแผนจัดการพื้นที่ป่าไม้ นั้นในอดีตใช้การเดินสำรวจเพื่อให้ได้มาซึ่งแผนที่ แต่สภาพพื้นที่ที่เป็นป่าเขายากต่อการเข้าถึงทำให้การสำรวจทำได้ในพื้นที่จำกัด ใช้เวลาจำนวนคนและงบประมาณเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลควบคู่กับการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบอากาศยานไร้คนขับด้วยขนาดอากาศยานที่มีขนาดเล็กสามารถบินถ่ายภาพได้ทันทีและมีความละเอียดสูง ในกิจการป่าไม้ภายใต้ความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและกรมป่าไม้ทำการบินทดสอบสำรวจ

ทรัพยากรป่าไม้เป็นครั้งแรก ณ บริเวณบ้านป่านี้อ จังหวัดเชียงใหม่ บนเนื้อที่ 1,182.47 ไร่ ซึ่งเป็นพื้นที่คาบเกี่ยวเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าขุนแม่ทา (Defence technology institute, 2018) ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขที่มีความละเอียดสูงจึงสามารถนำมาจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งช่วยทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าไม้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

ข้อแตกต่างระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรกับภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับคือความละเอียดจุดภาพและจำนวนแถบความถี่ อากาศยานไร้คนขับให้ความละเอียดจุดภาพที่สูงเมื่อเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งถือเป็นจุดเด่นที่ได้ภาพที่ให้รายละเอียดดี แต่มีข้อจำกัดที่กล้องบันทึกภาพมี

แถบความถี่เพียง 3 แถบ คือ แถบสีแดง (red) สีเขียว (green) และ สีน้ำเงิน (blue) หรือมักเรียกว่า RGB ซึ่งต่างจากภาพถ่ายดาวเทียมที่จะมีจำนวนแถบความถี่เป็นจำนวนมากเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์และจำแนกข้อมูลภาพ การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยจึงจำเป็นต้องหาเทคนิคที่เหมาะสมจากการศึกษาของ Suttinon *et al.* (2014) ได้ทำการเปรียบเทียบกระบวนการจำแนกข้อมูลระหว่างวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพ และวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายปรับความคมชัดจากดาวเทียมไทยโชต ซึ่งผลการศึกษาพบว่า วิธีการจำแนกการจำแนกเชิงวัตถุให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงกว่าค่าความถูกต้องโดยรวมของวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพถึงร้อยละ 20

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาแนวทางในการนำเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ และเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุมาใช้ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง และนำเทคนิคที่ได้ไปประยุกต์ในการจัดทำแผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าไม้ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับในโอกาสต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษา

วิธีการดำเนินการศึกษา ประกอบด้วย ขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ดังนี้ จัดทำภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ จัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาจากการแปลด้วยสายตา วิเคราะห์จำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลขด้วยเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ

และเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ และเปรียบเทียบและการประเมินความถูกต้องการวิเคราะห์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ปรากฏตาม Figure 1

การจัดทำภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ

1. จัดทำภาพถ่ายสีเชิงเลข โดยนำเข้าภาพถ่ายพื้นที่ศึกษาที่บันทึกภาพจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยกล้องบันทึกภาพชนิดแถบความถี่ RGB บันทึกภาพเมื่อวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ภายใต้วรรณมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและกรมป่าไม้ จำนวน 146 ภาพ ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาบริเวณ บ้านป่าบ่อต ตำบลแม่ทา อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ เนื้อที่ 1,182.47 ไร่ ปรากฏตาม Figure 2 ด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan กำหนดค่าพิกัดให้แก่ภาพถ่ายจากการรังวัดจุดยึดโยงภาพถ่ายทางอากาศ Ground Control Point (GCP) ด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก ความละเอียดสูงชนิดสองความถี่ GNSS Trimble R6 โดยการรังวัดแบบสถิต (static survey) ในระบบพิกัด WGS 1984 Zone 47N โดยทำการรังวัดบนพื้นที่จริงในตำแหน่งที่ปรากฏบนภาพเด่นชัด นำค่าพิกัดและ ค่าความสูง ประมวลผลด้วยโปรแกรม Trimble Business Center

2. ตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยแผนที่ภูมิประเทศ ลำดับชุด L7018 ระวาง 4846 II และภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข โครงการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี พ.ศ. 2545 ระวาง 4846 II 2654 และ 4846 II 2854

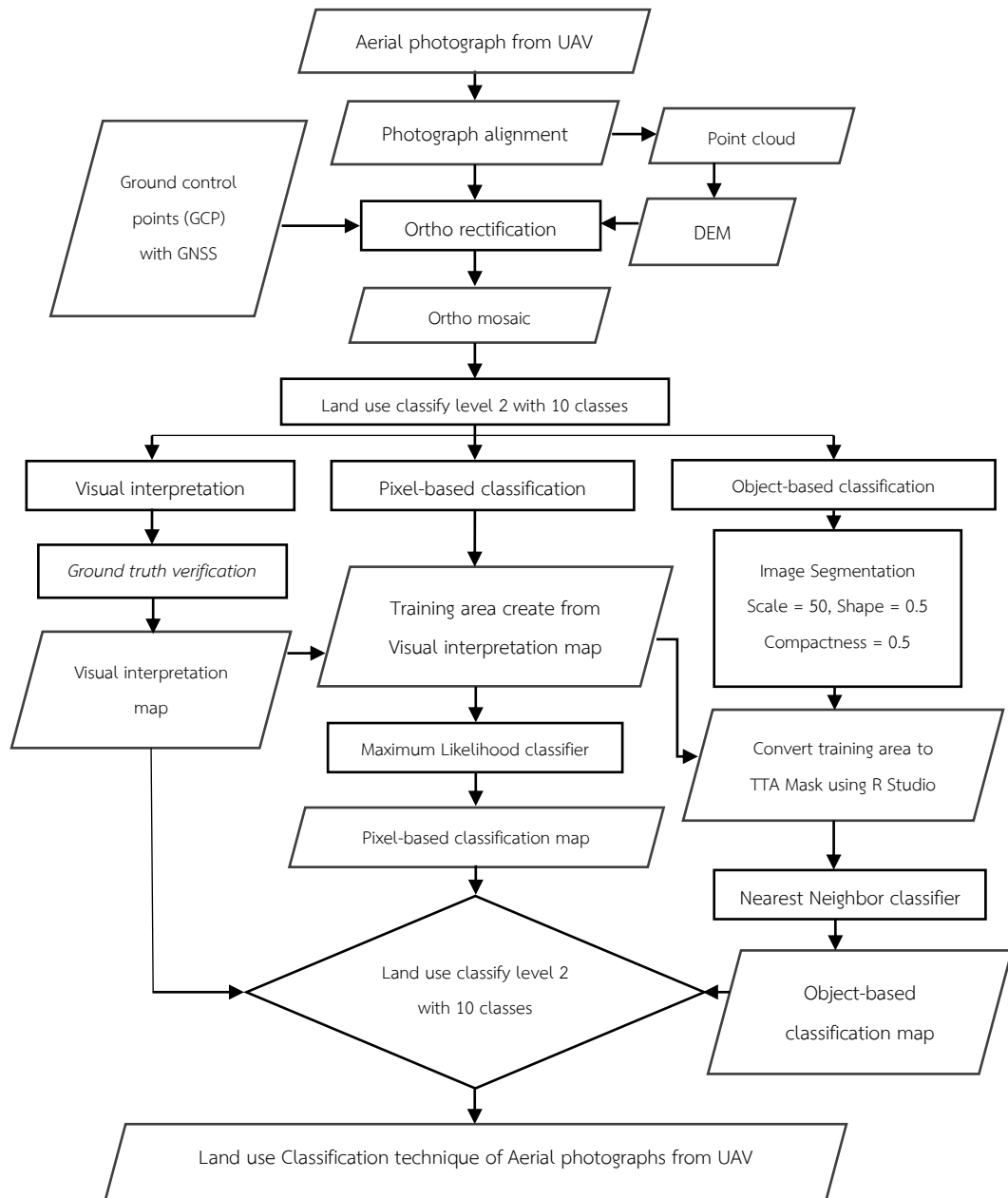


Figure 1 Research process flow chart.

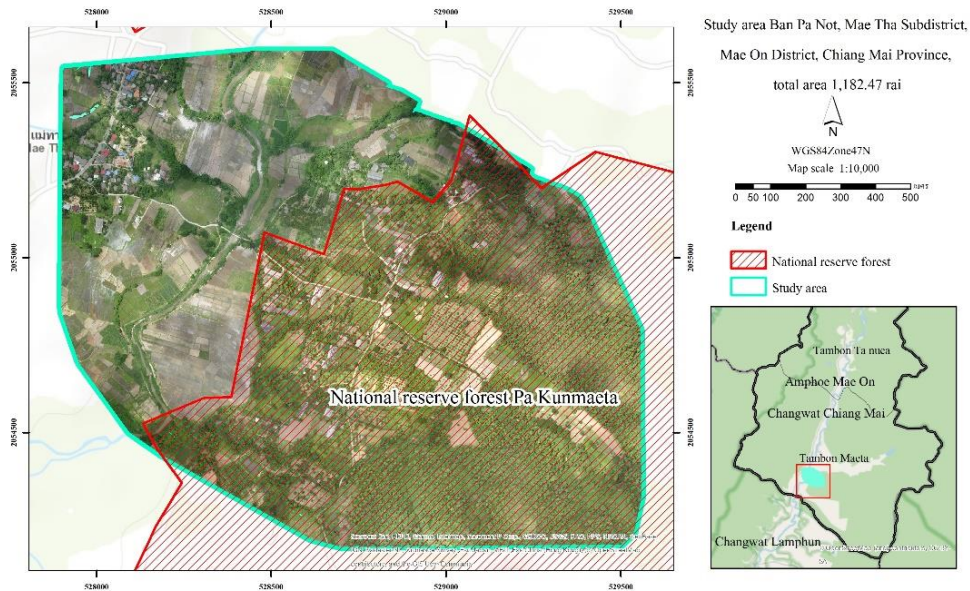


Figure 2 Study area in the Ban Pa Not, Mae Tha subdistrict, Mae On district, Chiang Mai province, with some parts encroaching the Pa Khun Mae Tha national reserved forest.

การจัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

การจัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับใช้เทคนิคการจำแนกด้วยสายตา (visual interpretation) ด้วยโปรแกรม ArcGIS โดยวิธี On Screen Digitizing ในระบบพิกัด UTM WGS 84 Zone47N โดยจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในลำดับที่ 2 ทั้งหมด 10 ประเภท อ้างอิงสัญลักษณ์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตาม คณะอนุกรรมการอ่านภาพถ่ายทางอากาศ (Office of the State Land Management under Office of the Permanent Secretary, 2013) ดังนี้ นาข้าว ไม้ผล ป่าไม้ผลัดใบ ป่าผลัดใบ พื้นที่เบ็ดเตล็ด ทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ไม้พุ่มบ้าน/หมู่บ้าน สถานีคมนาคม (ถนน) แหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งน้ำสร้างขึ้น

จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกด้วยสายตา กับข้อมูลจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ปี พ.ศ. 2560 จากกรมพัฒนาที่ดิน รวมถึงตรวจสอบความถูกต้องในพื้นที่จริงด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก Garmin Map 60csx

การวิเคราะห์การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

1. จำแนกเชิงจุดภาพ ด้วยโปรแกรม ArcGIS โดยใช้วิธีจำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล ด้วยพื้นที่ตัวอย่าง (training area) เป็นตัวแทนของค่าทางสถิติในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ปรากฏในภาพ นำผลการจำแนกด้วยสายตาสร้างเป็นพื้นที่ตัวอย่างโดยทำการสุ่มจุดพื้นที่ตัวอย่าง ด้วยคำสั่ง Systematic Random Point ให้กระจายแบบเป็นระบบในทุกชั้นข้อมูลและครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด

จากนั้นทำการแปลงจุดพื้นที่ตัวอย่างให้เป็น Polygon เพื่อคำนวณค่าทางสถิติของภาพในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกข้อมูลในการจำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล ใช้ตัวจำแนกแบบโอกาสความน่าจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood classification) ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ

2. จำแนกเชิงวัตถุ ด้วยโปรแกรม eCognition จำแนกข้อมูลโดยใช้กระบวนการแยกส่วนภาพ (segmentation) โดยทำการแบ่งกลุ่มของข้อมูลจุดภาพที่มีค่าทางสถิติใกล้เคียงกันและอยู่ติดกันเพื่อสร้างเป็นวัตถุ พิจารณาจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ประกอบด้วย Scale (มาตราส่วน) Color (สี) Shape (รูปร่าง) Smoothness (ความราบเรียบ) และ Compactness (การเกาะกลุ่ม) ใช้พื้นที่ตัวอย่างเดียวกับการจำแนกเชิงจุดภาพ เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกข้อมูลในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตัวจำแนกใช้ตัวจำแนกข้อมูลแบบ Nearest Neighbor ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับข้อมูลเดียวกับการจำแนกเชิงจุดภาพ

การเปรียบเทียบและการประเมินความถูกต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

1. เปรียบเทียบผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพและเชิงวัตถุ กับผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยสายตา โดยวิธีการซ้อนทับข้อมูล (overlay) ด้วยโปรแกรม ArcGIS

2. การประเมินความถูกต้องการวิเคราะห์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

2.1. กำหนดจำนวนจุดตรวจสอบความถูกต้อง ด้วยการคำนวณจุดตรวจสอบ (Congalton

and K. Green, 1999) กำหนดให้โอกาสที่จะเกิดความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 85 และกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มยอมรับได้ไม่เกินร้อยละ 5 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยจำนวนจุดตรวจสอบกระจายทุกชั้นข้อมูล ใช้การสุ่มแบบชั้นภูมิ (stratified random sampling) ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และไม่ซ้ำกับจุดที่ใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่าง

$$n = \frac{Z^2(p)(q)}{e^2}$$

เมื่อ n คือ จำนวนจุดตรวจสอบ

p คือ โอกาสที่จะเกิดความถูกต้อง

Z คือ ค่ามาตรฐาน

q คือ โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด (1 - p)

e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการสุ่ม

2.2. ประเมินความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพและเชิงวัตถุ ด้วยการสร้างตาราง Error Matrix และทำการคำนวณด้วยสมการ ดังต่อไปนี้

2.2.1 คำนวณความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม (overall accuracy) เพื่อแสดงความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลที่มีความสอดคล้องตรงกันระหว่างจุดตรวจสอบกับข้อมูลอ้างอิง คิดเป็นร้อยละของจุดตรวจสอบทั้งหมด

$$OA = \frac{T_c}{T_a} \times 100$$

เมื่อ OA คือ ความถูกต้องโดยรวม (%)

Tc คือ ผลรวมของจุดที่จำแนกถูกต้อง

Ta คือ จำนวนจุดทั้งหมด

2.2.2 คำนวณสัมประสิทธิ์ Kappa เพื่อแสดงความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกพิจารณาลักษณะของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นใน Error

Matrix โดยใช้สัมประสิทธิ์ Kappa มาประเมินความถูกต้อง โดยพิจารณาทั้งความสอดคล้องระหว่างข้อมูลอ้างอิงกับข้อมูลจำแนก วิเคราะห์ควบคู่ไปกับค่าความถูกต้องผลการจำแนกโดยรวม (Lillesand *et al.*, 2015)

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_i * x_j)}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_i * x_j)}$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์ Kappa

N คือ จำนวนจุดตรวจสอบทั้งหมด

x_i คือ ผลรวมของค่าอ้างอิงในแต่ละแถว

x_{ii} คือ ค่าในแถวที่ i และคอลัมน์ที่ i

x_j คือ ผลรวมของค่าอ้างอิงในแต่ละคอลัมน์

r คือ จำนวนแถวของตาราง Error Matrix

ผลและวิจารณ์

การจัดทำภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ

การนำเข้าภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้

คนขับ ใช้ภาพถ่ายทั้งหมดจำนวน 146 ภาพ เข้าสู่โปรแกรม Agisoft Photoscan กำหนดค่าพิกัดทางตำแหน่งให้แก่ภาพถ่ายด้วยจุดยึดโยงภาพถ่ายทางอากาศกระจายรอบพื้นที่ จำนวน 11 จุด ประมวลผลได้ภาพมีความละเอียดจุดภาพ 0.094 เมตร (≈ 10 cm) ตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งกับแผนที่ภูมิประเทศ ลำดับชุด L7018 พบว่าเส้นถนนตรงกัน เปรียบเทียบตำแหน่งระหว่างภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข โครงการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี พ.ศ. 2545 ภาพซ้าย และภาพถ่ายเชิงเลข ภาพขวา พบว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง โดยสังเกตจากเส้นถนนหลัก เส้นลำน้ำ และกระทางนาที่ปรากฏมีความต่อเนื่องกัน ไม่มีการเลื่อนของภาพ ปรากฏตาม Figure 3(a) บริเวณขอบภาพถ่ายเชิงเลขมีความบิดเบี้ยวปรากฏ เนื่องจากบริเวณขอบภาพมีการซ้อนทับของภาพ (overlap) ที่น้อยไม่เพียงพอต่อการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข ปรากฏตาม Figure 3(b)



(a)



(b)

Figure 3 Sample UAV Orthophoto; (a) Imagery precision (b) Imagery distortion.

การจัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับด้วยสายตานำผลการจำแนกด้วยสายตาตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากกรมพัฒนาที่ดิน และทำการตรวจในพื้นที่จริงในตำแหน่งที่สงสัย จำนวน 10 จุด พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทไม้ผลมีเนื้อที่มาก

สุด จำนวน 418.71 ไร่ นาข้าว จำนวน 309.17 ไร่ ป่าผลัดใบ จำนวน 267.02 ไร่ ป่าไม่ผลัดใบ จำนวน 60.77 ไร่ พืชไร่/สวนผลไม้/ไม้พุ่ม จำนวน 52.1 ไร่ บ้าน/หมู่บ้าน จำนวน 47.33 ไร่ สถานีคมนาคม/ถนน จำนวน 10.87 ไร่ แหล่งน้ำธรรมชาติ จำนวน 9.64 ไร่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด จำนวน 3.82 ไร่ และพื้นที่แหล่งน้ำสร้างขึ้น มีเนื้อที่น้อยที่สุด จำนวน 3.04 ไร่ ปรากฏตาม Figure 4

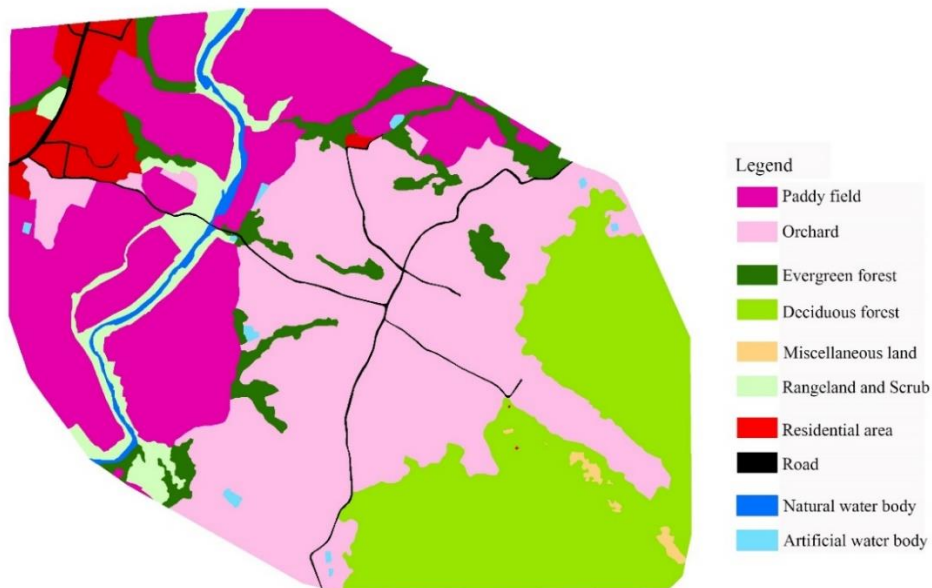


Figure 4 Land use classification through visual interpretation.

การวิเคราะห์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

1. การจำแนกเชิงจุดภาพ ดำเนินการสร้างพื้นที่ตัวอย่างโดยนำผลการจำแนกด้วยสายตา สร้างเป็นพื้นที่ตัวอย่างในโปรแกรม ArcGIS ด้วยคำสั่ง Systematic Random Point กระจายในทุกชั้นข้อมูลแบบเป็นระบบและครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด ได้จุด

ตัวอย่างทั้งหมด 1,310 จุด โดยแบ่งออกเป็น นาข้าว 200 จุด ไม้ผล 250 จุด ป่าไม่ผลัดใบ 150 จุด ป่าผลัดใบ 300 จุด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 20จุด พืชไร่หรือไม้พุ่ม 100 จุด บ้านหรือหมู่บ้าน 100 จุด สถานีคมนาคมและถนน 100 จุด แหล่งน้ำตามธรรมชาติ 80 จุด แหล่งน้ำสร้างขึ้น 10 จุด จากนั้นทำการแปลงจุดตัวอย่างให้เป็น Polygon กำหนดให้มีขนาด 2x2 เมตร

เพื่อให้ครอบคลุมภาพอย่างน้อย 400 Pixel และมีขนาดไม่ใหญ่เกินความกว้างของถนน (ถนนคอนกรีต กว้าง 4 เมตร)

ทำการจำแนกข้อมูลด้วยชุดเครื่องมือ Image Classification ในโปรแกรม ArcGIS ด้วยพื้นที่ตัวอย่างที่สร้างขึ้น จำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแลใช้ตัวจำแนกแบบโอกาสความน่าจะเป็นสูงสุดด้วยค่าสถิติของแถบความถี่ RGB พบว่าพื้นที่ตัวอย่างไม่สามารถจำแนกแหล่งน้ำออกจากนาข้าวและบริเวณอื่นๆ ที่เป็นแหล่งน้ำได้ ไม่สามารถจำแนกพื้นที่ป่าไม้ออกจากพื้นที่ไม่ผลัด นอกจากนั้นพื้นที่ถนนพบไปปรากฏในพื้นที่นาข้าวและพื้นที่ไม่ผลัดเป็นจำนวนมาก ปรากฏตาม Figure 5(a)

จากผลการจำแนกข้างต้น พบว่าไม่สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบางประเภทออกจากกันได้ จึงนำดัชนี Green-Red Vegetation Index (GRVI) ซึ่งเป็นดัชนีที่มีความสัมพันธ์ระหว่างแถบความถี่สีแดง และแถบความถี่สีเขียว ซึ่งเป็นแถบ

ความถี่ที่ประกอบอยู่ในภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ เข้ามาช่วยเพื่อให้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยหาก GRVI เป็นบวกแสดงว่าเป็น พืชพรรณ หากเป็นลบแสดงว่าเป็น ดิน และหากเป็น ศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์เป็นน้ำ (Motohka *et al.*, 2010)

$$GRVI = \frac{\rho_{green} - \rho_{red}}{\rho_{green} + \rho_{red}}$$

เมื่อ ρ_{green} คือ แถบความถี่ green

ρ_{red} คือ แถบความถี่ red

ทำการคำนวณดัชนี GRVI ด้วยโปรแกรม Erdas Imagine ด้วยคำสั่ง Band Math นำผลการคำนวณดัชนี GRVI รวมเข้ากับข้อมูลแถบความถี่จากภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นแถบความถี่ที่ 4 ประกอบด้วย แถบความถี่ RGB และ GRVI และทำการจำแนกข้อมูลอีกครั้ง พบว่าการเพิ่มแถบความถี่ GRVI เข้าไปในภาพช่วยให้การจำแนกข้อมูลดีขึ้น ปรากฏตาม Figure 5(b)

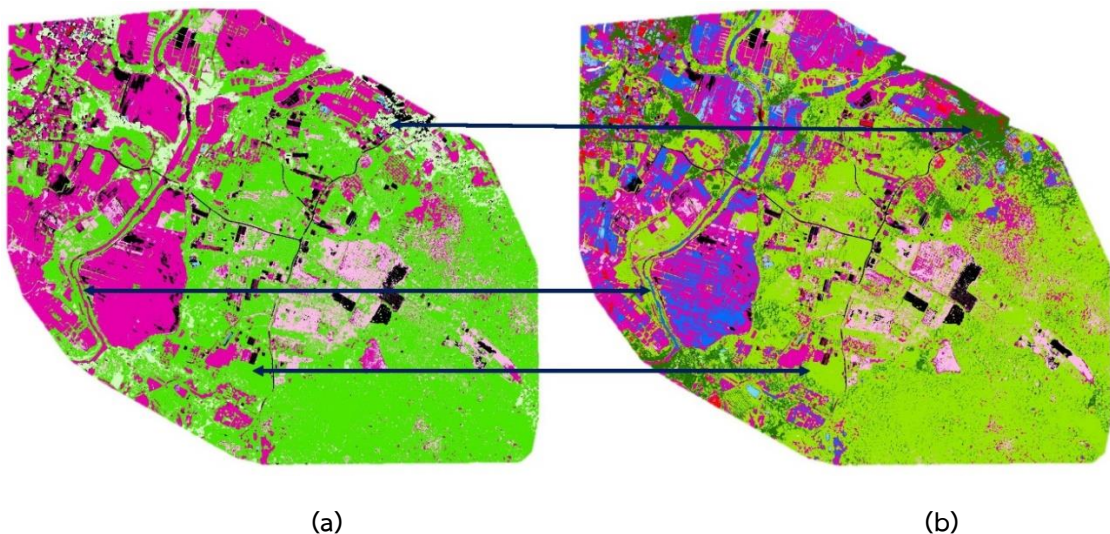
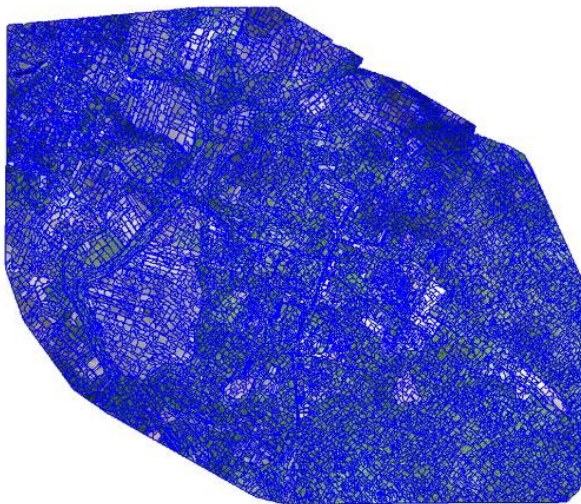


Figure 5 Pixel-based classification (a) without GRVI (b) with GRVI.

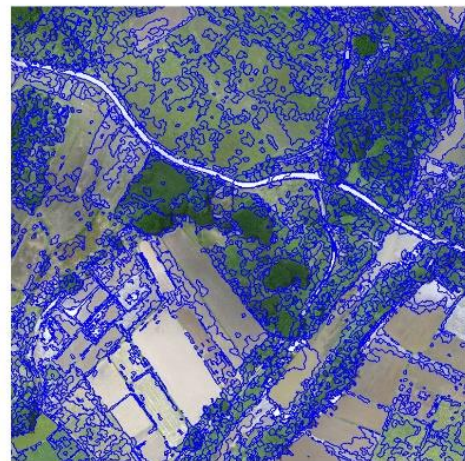
2. การจำแนกเชิงวัตถุ ดำเนินการจำแนกด้วยโปรแกรม eCognition ทำการแบ่งส่วนของวัตถุด้วยคำสั่ง Multi-Resolution Segmentation ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 ค่า ได้แก่ Scale, Shape และ Compactness โดยค่า Scale เป็นค่าที่แสดงขนาดของวัตถุบนภาพขนาดเล็กและใหญ่ ค่า Shape เป็นค่าน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณรูปร่างวัตถุภาพร่วมกับค่า Color ซึ่งเป็นค่าที่แปรผกผันกัน ($color = 1 - shape$) กล่าวคือ หากกำหนดค่าใดมากจะให้ความสำคัญกับค่านั้นมากกว่าอีกค่าหนึ่ง โดยผลรวมของค่าไม่เกินหนึ่ง ค่า Compactness เป็นค่าน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณความเป็นกลุ่มก้อนของวัตถุภาพร่วมกับค่า Smoothness ซึ่งเป็นค่าแปรผกผันกัน ($compactness = 1 - smoothness$) (Kanta *et al.*, 2014)

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการแบ่งส่วนวัตถุใช้ค่า Scale ที่ระดับละเอียดเนื่องจากภาพถ่ายเชิงเลขมีความละเอียดจุดภาพที่สูง การกำหนดค่า

Shape และ Color ใช้ระดับที่เท่ากัน เนื่องจากหากกำหนดค่าของ Color มากกว่า Shape ทำให้เกิด Polygon ขนาดเล็กซึ่งเป็นเงาของวัตถุในภาพขึ้นจำนวนมาก ในส่วนของค่า Compactness กับค่า Smoothness กำหนดในระดับที่เท่ากัน เนื่องจากหากกำหนดค่า Compactness มากในบริเวณที่เปิดโล่ง เช่น นาผืนใหญ่จะเกิดการแบ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ จำนวนมาก ดังนั้นการแบ่งวัตถุภาพใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแบ่งส่วนวัตถุ Scale, Shape, และ Compactness เป็น 50, 0.5, และ 0.5 ตามลำดับ ปรากฏตาม Figure 6(a) เมื่อทำการขยายตรวจสอบผลการแบ่งส่วนวัตถุภาพ พบว่าการแบ่งข้อมูลมีความเหมาะสม ในบริเวณนาข้าวไม่ปรากฏ Polygon ขนาดเล็กจำนวนมากขึ้นบริเวณลำน้ำและถนนมีรูปร่างตามภูมิประเทศ บริเวณพื้นที่ป่าไม่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนตามลักษณะที่ปรากฏในภาพถ่ายเชิงเลข ปรากฏตาม Figure 6(b)



(a)



(b)

Figure 6 (a) Result of segmentation with 50 scales, 0.5 shape, and 0.5 compactness. (b) Enlarged segmentation.

การนำเข้าพื้นที่ตัวอย่างใช้พื้นที่ตัวอย่างเดียวกับการจำแนกเชิงจุดภาพที่จัดเก็บในรูปแบบ Shapefile แต่ด้วยโปรแกรม eCognition ไม่สามารถใช้ Shapefile เป็นพื้นที่ตัวอย่างได้ โดยในโปรแกรมจะใช้ข้อมูลในรูปแบบ Sample เป็นพื้นที่ตัวอย่างที่เก็บอยู่ในรูปแบบ TTA Mask ดังนั้นจำเป็นต้องแปลงข้อมูล Shapefile ให้เป็น Sample โดยใช้โปรแกรม R Studio ในการแปลงข้อมูล จากนั้นทำการจำแนกข้อมูล ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับด้วยค่าเฉลี่ยทางสถิติของแถบความถี่ (Mean : red green blue GRVI) โดยใช้ตัวจำแนกข้อมูลแบบ Nearest Neighbor

การเปรียบเทียบและการประเมินความถูกต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

การเปรียบเทียบผลการจำแนกการใช้

ประโยชน์ที่ดินด้วยเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุและเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพกับผลการจำแนกด้วยสายตา พบว่า การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างพื้นที่ไม้ผลและพื้นที่ป่าไม้ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ทั้งสองเทคนิค มีการปะปนของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นเป็นจำนวนมาก พื้นที่แหล่งน้ำตามธรรมชาติพบว่าไปปรากฏบนพื้นที่นาข้าว ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาที่บันทึกภาพ เกษตรกรได้มีการเตรียมพื้นที่เพื่อทำการเกษตรโดยผันน้ำเข้าไปในพื้นที่เพื่อเตรียมทำนาข้าว กรณีที่พบพื้นที่ถนนไปปรากฏในพื้นที่ไม้ผล พบว่าเกษตรกรมีการเตรียมพื้นที่เพื่อปลูกไม้ผลขึ้นใหม่โดยทำการเปิดโล่งพื้นที่ ทำให้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องปรากฏตาม Figure 7 โดยมีรายละเอียดปรากฏตาม Table 1

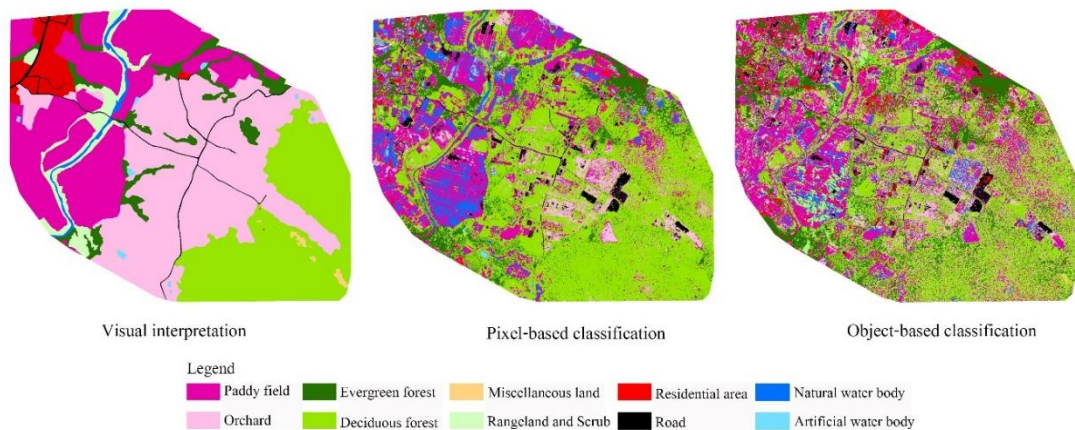


Figure 7 Comparison of various land use classification techniques.

Table 1 Comparative quantification of various land use classification techniques.

Land use type	Area (Rai)		
	Visual interpretation	Pixel-based classification	Object-based classification
Paddy field	309.17	265.55	301.03
Orchard	418.71	79.21	158.30
Evergreen forest	60.77	117.70	177.42
Deciduous forest	267.02	571.94	364.56
Miscellaneous land	3.82	0.91	12.98
Rangeland and shrub	52.10	4.53	50.67
Residential area	47.33	17.41	41.41
Road	10.87	31.38	31.01
Natural water body	9.64	74.98	45.09
Artificial water body	3.04	18.85	0.00
Total	1,182.47	1,182.47	1,182.47

การกำหนดจำนวนจุดตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งสองเทคนิคเปรียบเทียบกับการจำแนกด้วยสายตาในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยไม่ซ้ำกับจุดที่ใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่างจำนวน 500 จุด แบ่งออกเป็น นาข้าว 100 จุด ไม้ผล 100 จุด ป่าไม่ผลัดใบ 50 จุด ป่าผลัดใบ 100 จุด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 10จุด พืชหญ้า/ไม้พุ่ม 50 จุด บ้าน/หมู่บ้าน 50 จุด สถานีคมนาคม (ถนน) 20 จุด แหล่งน้ำธรรมชาติ 10 จุด แหล่งน้ำสร้างขึ้น 10 จุด

ผลการวิเคราะห์ตาราง Error Matrix และคำนวณผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละเทคนิคได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

เทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ ค่าร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 39.4

และมีค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.28 จากค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) คือ ค่าที่แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของตัวจำแนกข้อมูลว่าสามารถจำแนกข้อมูลได้ดีเพียงใด โดยป่าผลัดใบให้ค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 80 และทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ไม้พุ่มให้ค่าที่ต่ำสุด คือ ร้อยละ 4 แต่ทุกการใช้ประโยชน์ที่ดินให้ค่าที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างขนาด 2x2 เมตร ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของการจำแนกข้อมูลที่ดี เนื่องจากมีการปนของการจำแนกประเภทที่ดินอื่นเป็นจำนวนมาก หากมองถึงความถูกต้องของผู้ใช้งาน (user's accuracy) เป็นค่าที่แสดงถึงผลของการจำแนกว่ามีความน่าเชื่อถือในการนำข้อมูลไปใช้เป็นอย่างไ โดยค่าความถูกต้องของผู้ใช้งานในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ยกเว้นพื้นที่เบ็ดเตล็ด ให้ค่าสูงถึงร้อยละ 100 แต่ไม่สัมพันธ์กับค่าความถูกต้องของผู้ผลิต ซึ่งได้แค่

ภาพ ทำให้ได้ค่าทางสถิติที่ไม่ดีหรือไปใกล้เคียงกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น และทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินให้ค่าความถูกต้องของผู้ผลิตที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของการจำแนกข้อมูลที่ดี หากมองถึงความถูกต้องของผู้ใช้งานแล้ว ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้นให้ค่าเท่ากับ 0 ดังนั้น การนำผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงวัตถุไปใช้งานถือว่า ไม่มีความน่าเชื่อถือ ผลปรากฏตาม Table 3

Reference (Visual interpretation)

	Lu_type	A1	A4	F1	F2	M	M1	U2	U4	W1	W2	Total	User's accuracy
Pixel-based classification	A1	49	26	0	5		7	10	7	1	2	107	46%
	A4	4	13	0	9	1	3	1	1	0	0	32	41%
	F1	1	6	26	5		14	13	1	0	0	66	39%
	F2	20	48	22	80	7	24	12	3	1	1	218	37%
	M	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	100%
	M1	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	4	50%
	U2	1	2	0	0	0	0	7	0	0	1	11	64%
	U4	4	2	1	1	1	0	1	7	1	0	18	39%
	W1	19	0	0	0	0	0	2	0	6	0	27	22%
	W2	2	2	0	0	0	0	4	1	1	6	16	38%
Total		100	100	50	100	10	50	50	20	10	10	500	
Producer's accuracy		49%	13%	52%	80%	10%	4%	14%	35%	60%	60%		
overall accuracy =		39.4 %		KHAT =		0.28							

Table 3 Accuracy assessment of object-based classification

Object-based classification	Reference (Visual interpretation)											Total	user's accuracy
	Lu_type	A1	A4	F1	F2	M	M1	U2	U4	W1	W2		
	A1	58	26	1	13	1	6	8	4	4	3	124	47%
	A4	6	17	4	16	1	4	1	2	0	2	53	32%
	F1	4	11	32	16	0	11	20	1	1	0	96	33%
	F2	12	33	11	44	5	20	5	1	1	2	134	33%
	M	0	2	0	5	2	2	0	0	0	0	11	18%
	M1	7	3	1	1	0	2	1	2	2	0	19	11%
	U2	3	2	1	1	0	4	9	1	1	0	22	41%
	U4	4	2	0	0	1	0	3	7	1	3	21	33%
	W1	6	4	0	4		1	3	2	0	0	20	0%
	W2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	Total	100	100	50	100	10	50	50	20	10	10	500	
	Producer's accuracy	58%	17%	64%	44%	20%	4%	18%	35%	0%	0%		
	overall accuracy =	34.2 %											KHAT = 0.22

จากผลการประเมินความถูกต้องเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพและเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa ซึ่งเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การพิจารณาระดับความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์ Kappa (Landis and Koch, 1977) อยู่ที่ ระดับพอใช้ ทั้งสองเทคนิค ความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้ไปในทิศทางเดียวกัน คือได้ความถูกต้องในระดับต่ำ แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างขนาด 2x2 เมตร ไม่เหมาะสมในการจำแนกข้อมูล เนื่องจากการเป็นกลุ่มเดียวกันหรือการเป็นเนื้อเดียวกันของพื้นที่ตัวอย่าง (homogeneous) มีขนาดเล็กเกินไป และด้วยภาพถ่ายเชิงเลขมีความละเอียดสูง ทำให้มีเงาในภาพ หากพื้นที่ตัวอย่างไปตกในเงาของภาพอาจทำให้การจำแนกเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้น ควรมีการกำหนดขนาดของพื้นที่ตัวอย่างในแต่ละ

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินขนาดที่เหมาะสมและใหญ่ขึ้น เพื่อให้การเป็นเนื้อเดียวกันของพื้นที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น

ภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับมีความละเอียดที่สูงแต่ด้วยมีแถบความถี่เพียง RGB ทำให้การจำแนกโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยได้ความถูกต้องในระดับ พอใช้ เนื่องจากการไม่มีแถบความถี่ Near Infrared และแถบความถี่อื่นๆ เช่นเดียวกับดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมาช่วยในการจำแนกข้อมูล ถึงแม้มีการนำดัชนี GRVI เข้ามาช่วย แต่ดัชนี GRVI มีความสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างพืชพรรณดิน และน้ำได้เท่านั้น ยังไม่สามารถแยกชนิดของพืชพรรณแต่ละประเภทได้ละเอียดเท่าดัชนี NDVI ซึ่งใช้แถบความถี่ Near Infrared ในการจำแนกข้อมูล

สรุป

จากการศึกษาเทคนิคการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ จำแนกข้อมูลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยสรุปผลได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพและเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุพบว่า สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภทขนาดเนื้อที่ใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากค่าความถูกต้องของผู้ผลิต แล้วให้ค่าที่ต่ำไม่ถึงร้อยละ 80 ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างที่ขนาด 2x2 เมตร ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของการจำแนกข้อมูลที่ดี หากมองถึงการนำข้อมูลไปใช้งาน ค่าความถูกต้องของผู้ใช้งานของผลการจำแนกข้อมูลทั้งสองเทคนิคอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 กล่าวคือ การนำข้อมูลไปใช้งานถือว่า ไม่มีความน่าเชื่อถือ

2. เทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ มีค่าร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 39.4 ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.27 และเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ มีค่าร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 34.2 ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.22 ไม่สามารถจำแนกแหล่งน้ำสร้างขึ้นซึ่งเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพให้ค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย แต่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาระดับความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์ Kappa ระดับพอใช้ ทั้งสองเทคนิค แสดงว่าภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีเพียงแถบช่วงคลื่น RGB ไม่เหมาะกับการจำแนกโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย

ข้อเสนอแนะ

1. การบินถ่ายภาพ ถ่ายทางอากาศหากวางแผนไม่ครอบคลุมพื้นที่ เช่น พื้นที่ที่ต้องการ

ภาพถ่ายเชิงเลขอยู่บริเวณขอบภาพ หลังจากทำการตัดแก้ภาพถ่ายเชิงเลขแล้วพบว่าบริเวณขอบภาพมีความบิดเบี้ยวทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้งานได้ ดังนั้นการบินถ่ายภาพควรวางแผนการบินให้กว้างกว่าพื้นที่ที่ต้องการใช้ภาพถ่ายเชิงเลข การกำหนดช่วงเวลาในการบินถ่ายภาพควรเลือกช่วงเวลาให้ตรงตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เช่น การศึกษาพื้นที่ป่าผลัดใบ ควรอยู่ในช่วงที่ต้นไม้ยังไม่ทิ้งใบ หากเป็นช่วงที่ต้นไม้ทิ้งใบแล้วทำให้ยากต่อการจำแนกข้อมูลและอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของผลการจำแนกได้

2. ภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีเพียงแถบช่วงคลื่น RGB ไม่เหมาะกับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย ดังนั้น ควรเลือกใช้ภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีกล้องบันทึกภาพแบบหลายแถบความถี่ (multispectral camera) มี แถบ ความ ถี่ Near Infrared ช่วยในการจำแนกพืชพรรณมาพร้อมตัวอากาศยานซึ่งมีราคาไม่สูง สามารถช่วยให้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยให้ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินดีขึ้น

3. ภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับเป็นภาพที่มีความละเอียดสูง มีความสามารถในการเห็นวัตถุที่มีขนาดเล็กถึงระดับที่สามารถจำแนกชนิดต้นไม้ได้ ดังนั้นการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับ 2 อาจจะไม่เหมาะสม ควรจะเป็นการจำแนกวัตถุแต่ละชนิดที่ปรากฏอยู่บนพื้นดินหรือการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับที่ละเอียดขึ้น

4. ในการศึกษาการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีเพียงแถบความถี่ RGB พบว่านอกจากดัชนี GRVI แล้วยังมีดัชนีอีกจำนวนมาก เช่น Modified GRVI (MGRVI) New Red-Green-Blue Vegetation Index (RGBVI)

Green Leaf Index (GLI) ซึ่งหากนำมาประยุกต์เพื่อศึกษาเทคนิคและวิเคราะห์ความถูกต้อง อาจช่วยให้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความถูกต้องที่สูงขึ้น

REFERENCES

- Congalton, R. G. and K. Green. 1999. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices**. CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Defence Technology Institute. 2018. Defence technology institute and Royal Forest Department Developing unmanned aerial vehicle technology improve innovation to thailand 4.0. **Thailand Defence Technology Journal** 7(29): 6. (In Thai)
- Kanta, K., J. Jantakomut, P. Sangrawee and P. Phutong. 2014. **Forest Cover Classification from Thaichote Imageries Using Object-based Classification with Multi-parameters**. Available source: <http://research.gistda.or.th>, January 10, 2019. (In Thai)
- Landis, J. R. and G. G. Koch. 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics** 33(2): 363-374.
- Lillesand, T., R. W. Kiefer and J. Chipman. 2015. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Wiley.
- Motohka, T., K. Nasahara, O. Hiroyuki and S. Tsuchida. 2010. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. **Remote Sens.** 2(10): 2369-2387.
- Office of the State Land Management under Office of the Permanent Secretary. 2013. **Handbook for Aerial Interpretation of Aerial Interpretation Subcommittee**. Bangkok. (In Thai)
- Suttinon, S., K. Piyathamrongchai and J. Payakpate. 2014. **Comparison Classification Procedure between Pixel-based and Object-based Image Classification Methods Using Thaichote Satellite Pan-Sharpning Imagery**. Available source: <https://www.researchgate.net>, January 10, 2019. (In Thai)
-