

**การประยุกต์ใช้ตัวจำแนกแบบจักรแห่งการเรียนรู้ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเชิงผสมผสาน
ระหว่างแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟเพื่อประเมิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน:
กรณีศึกษาเมืองขอนแก่น**

**Application of Machine Learning Classifier to Analyze Combined Passive and Active Remotely
Sensed Data for Assessing Land Use/Cover Changes: A Case Study of Khon Kaen City**

แทนรัฐ สุจารี (Tanrat Sujaree)* ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (Dr.Chattichai Waisurasingha)^{1**}

ดร.พนกฤษณ คลังบุญครอง (Dr.Pongrid Klungboonkrong)*** อนันต์ ศรีเดช (Anant Sridet)****

ดร.ชุตินา ไวยสุระสิงห์ (Dr.Chutima Waisurasingha)***** ดร.ศิริรัตน์ พัฒนไพโรจน์ (Dr.Sirorat Pattanapairoj) *****

บทคัดย่อ

การวางแผนและจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เขตเมืองที่สำคัญอย่างเมืองขอนแก่นจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในปัจจุบันข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟซึ่งเป็นข้อมูลดิบนั้นได้มีการเปิดให้บริการข้อมูลฟรี ดังนั้น วัตถุประสงค์ของบทความนี้เป็นการเปรียบเทียบผลการจำแนกข้อมูลผสมผสานข้อมูลในทั้งสองลักษณะเข้าด้วยกันเปรียบเทียบกับการใช้เพียงการใช้ข้อมูลแบบพาสซีฟเพียงอย่างเดียวผ่านการจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค่าขึ้น ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า การผสมผสานข้อมูลแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟที่เป็นการรวมกันของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทเข้ากับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ในช่วงคลื่น C band นั้น สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกได้เกินกว่า 90% ซึ่งสูงกว่าการใช้เพียงข้อมูลแลนด์แซทเพียงอย่างเดียว

ABSTRACT

Land-use planning and management in a metropolitan like Khon Kaen City necessitate an analysis of information related to change of land use/ land cover. At present, as raw data, active and passive remotely sensed images are provided free of charge. Therefore, using support vector machine classifier, the objective of this article is to compare the classification results obtained from the combined active and passive satellite imagery to the results from the use of only passive satellite imagery. The results illustrated that a map of land use/ land cover derived on the combined active and passive satellite imagery composing of Landsat and C-band SAR satellite imagery leads to accuracy of over 90%, which are higher than the use of only Landsat data.

คำสำคัญ: การจำแนกแบบเวกเตอร์ค่าขึ้น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลภาพถ่ายเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์

Keywords: Support vector machine, Landsat imagery, Synthetic aperture radar imagery

¹Corresponding author: chattichai@gmail.com

*นักศึกษาลัทธิธรรม วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****อาจารย์ สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*****อาจารย์ ภาควิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*****อาจารย์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

แนวคิดสำคัญในการพัฒนาเมืองในช่วงปลายศตวรรษที่ 20 คือการขับเคลื่อนเมืองให้เติบโตไปสู่ความเป็นนครอัจฉริยะ (Smart City) เพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรอย่างยั่งยืน กว่าครึ่งของประชากรโลกอาศัยอยู่ในเขตเมือง และมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องปีละ 50 ล้านคน [1-2] โดยอีก 50 ปีข้างหน้า กว่า 2 ของ 3 จำนวนประชากรโลกมีแนวโน้มที่จะอาศัยอยู่ในเขตเมือง สิ่งเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาเมืองที่ต้องมีการวางแผนการใช้ที่ดินให้รองรับกับการขับเคลื่อนเมืองในมิติของความยั่งยืนและตอบโจทย์คุณภาพความเป็นอยู่ในชีวิตของประชากรโลกในอนาคต ทั้งนี้ การวางแผนการพัฒนาเมืองต่อไปอนาคตได้นั้นจำเป็นต้องอ้างอิงที่จะต้องทราบถึงทิศทาง การเติบโตของเมืองในอดีต ดังนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

การศึกษาในอดีตได้ชี้ชัดตรงกันว่า การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากข้อมูลการรับรู้ระยะไกล โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและแผนที่ ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกแบบพาสซีฟที่เก็บข้อมูลการสะท้อนของแสงจากดวงอาทิตย์และการแผ่รังสีของวัตถุต่างๆ บนผิวโลก โดยการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและแผนที่ในช่วงที่ผ่านมาใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (visible and infrared band) มาเป็นข้อมูลหลักในการจำแนก และในเวลาต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบแอคทีฟ ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่อาศัยการส่งสัญญาณคลื่นแสงในช่วงคลื่นไมโครเวฟให้ตกกระทบยังผิวโลกและรับสัญญาณคลื่นแสงที่สะท้อนกลับมา โดยดาวเทียมในลักษณะนี้ได้แก่ ดาวเทียม RADARSAT-1 และ -2 และดาวเทียม Sentinel S1 เป็นต้น ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในกลุ่มนี้เก็บกวาดข้อมูลในแบบเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (synthetic aperture radar: SAR) และมีจุดเด่นที่สามารถเก็บข้อมูลโดยไม่ขึ้นกับสภาพอากาศ การศึกษาที่ผ่านมา [3] ได้แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบ SAR มีความสามารถในการจำแนกเมืองออกจากการใช้ที่ดินประเภทอื่นได้เป็นอย่างดี และในช่วงเวลาเดียวกัน [2] ได้มีการศึกษาที่เป็นการผสมผสานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟเพื่อการจำแนกข้อมูลการใช้ที่ดินในเขตเมือง โดยเป็นการนำเอาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟชื่อดาวเทียม SPOT และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบแอคทีฟชื่อดาวเทียม RADARSAT-2 มาใช้งานร่วมกัน ผลการศึกษาพบว่า การผสมผสานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทั้งแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟนั้นให้ความถูกต้องในการจำแนกการใช้ที่ดินไปดีกว่าการใช้เพียงแบบใดแบบหนึ่ง โดยเหตุนี้เอง การศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในมิติการผสมผสานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์ในบริบทของพื้นที่เมืองขอนแก่นที่เป็นเมืองแห่งแรกในเขตภูมิภาคของประเทศไทยที่ประกาศตัวในการขับเคลื่อนเป็นนครอัจฉริยะ (Smart City)

อนึ่ง การศึกษาของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของเมืองขอนแก่นได้ถูกวิเคราะห์โดย [4] ได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟด้วยเทคนิคการจำแนกด้วยจักรกลเรียนรู้ (Machine Learning) โดยใช้ตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยัน (Support Vector Machine: SVM) ซึ่งให้ความถูกต้องที่สูงกว่า 90% ซึ่งสูงกว่าการใช้ตัวจำแนกแบบความน่าจะเป็นได้สูงสุด (Maximum Likelihood Classifier: MLC) ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยันมาเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์จำแนกการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากการผสมผสานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ และเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ศักยภาพของการผสมผสานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 2 แบบเข้าไว้ด้วยกัน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ผสมผสานระหว่างแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟเปรียบเทียบกับการใช้เพียงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟเพียงอย่างเดียวโดยใช้ตัวจำแนกแบบ SVM มาเป็นเครื่องมือหลักในการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินของเมืองขอนแก่นในช่วงเวลาระหว่างปี ค.ศ. 2008 ถึง ค.ศ. 2018 (10 ปี) อันจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการแสดงให้เห็นถึงภาพการขยายตัวของเมืองขอนแก่น

พื้นที่ศึกษา ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้จะเป็นการวิเคราะห์การใช้ที่ดินที่ตั้งอยู่ในเขตท้องที่ที่จัดทำผังเมืองรวมจังหวัดขอนแก่น (ภาพที่ 1) ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $16^{\circ} 10' - 16^{\circ} 40'$ องศาเหนือ และเส้นแวงที่ $102^{\circ} 39' - 103^{\circ} 01'$ องศาตะวันออก ความสูงเฉลี่ย 165 เมตร เหนือระดับทะเลปานกลาง (รทก.) ในปี ค.ศ. 2018 ความหนาแน่นของจำนวนประชากรเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 2,500 คน ต่อ ตร.กม. และรายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือนอยู่ที่ประมาณ 17,600 บาทต่อเดือน พื้นที่ในเขตผังเมืองรวมจังหวัดขอนแก่นเป็นศูนย์กลางของความเจริญด้านต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น การเป็นศูนย์กลางการศึกษาทั้งในระดับอุดมศึกษาและอาชีวศึกษา ศูนย์กลางการแพทย์ ศูนย์กลางระบบลอจิสติกส์สำหรับขนถ่ายสินค้า และศูนย์กลางหน่วยงานภาครัฐในภูมิภาค เป็นต้น

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

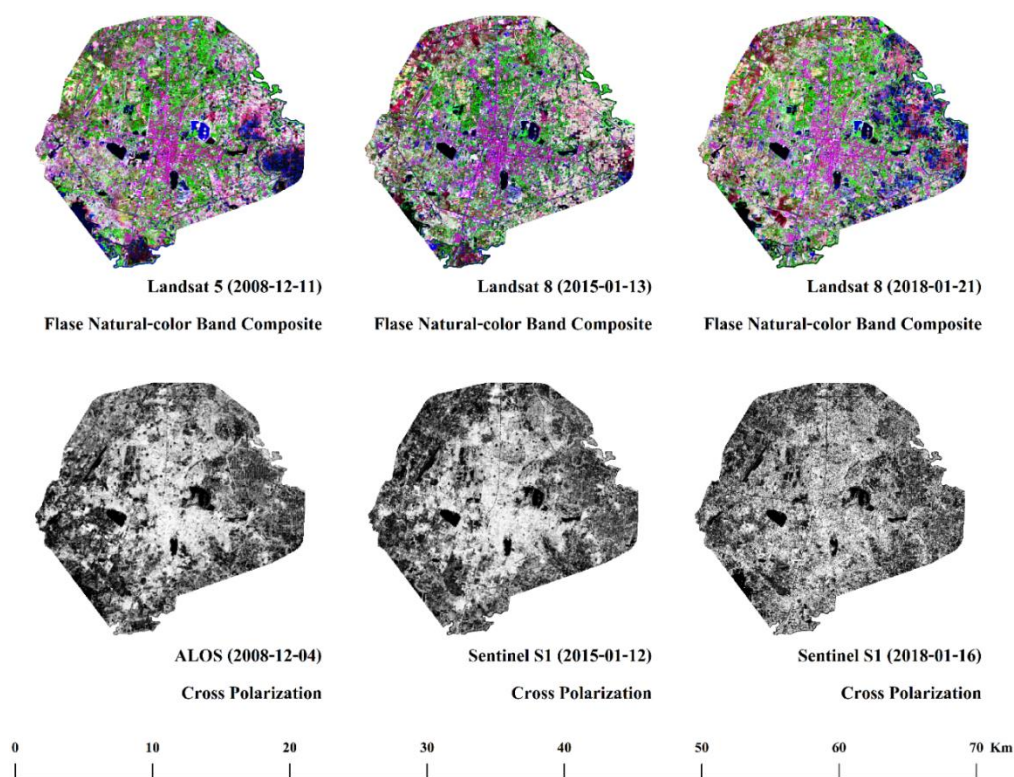
จากตารางที่ 1 และภาพที่ 1 ได้แสดงรายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟประกอบด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมชุด Landsat โดยเฉพาะแบนด์ที่ตาเปล่ามองเห็น (visible band) แบนด์อินฟราเรดใกล้ (near infrared band: NIR) และแบนด์อินฟราเรดกลาง (mid infrared band: MIR) และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบแอคทีฟเป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบ SAR ของดาวเทียม ALOS และ Sentinel-1 (S1A) นอกจากนี้ข้อมูลอ้างอิงสำหรับใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้จาก Google Earth™

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้งานวิจัย

ปี ค.ศ.	ชื่อดาวเทียม	วันที่เก็บข้อมูล	หมายเหตุ
2008	Landsat 5	2008-12-11	แบนด์ Visible, NIR และ MIR
2015	Landsat 8	2015-01-13	แบนด์ Visible, NIR และ MIR
2018	Landsat 8	2018-01-21	แบนด์ Visible, NIR และ MIR
2008	ALOS	2008-12-04	คลื่นไมโครเวฟแบนด์ L
2015	Sentinel-1 (S1A)	2015-01-12	คลื่นไมโครเวฟแบนด์ C
2018	Sentinel - 1 (S1A)	2018-01-16	คลื่นไมโครเวฟแบนด์ C

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้มีการใช้เครื่องมือซึ่งประกอบด้วย (1) โปรแกรม ATCOR 1.3 เป็นโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์คำนวณปรับแก้เชิงคลื่นในมิติของการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ (atmospheric correction) โดยโปรแกรมนี้จะทำงานภายใต้โปรแกรม Erdas Imagine 2014 (2) โปรแกรม SNAP เป็นโปรแกรมสำหรับการประมวลผลขั้นต้นสำหรับภาพถ่าย SAR และแปลงข้อมูล SAR เป็น Sigma Naught ในหน่วยเดซิเบล รวมถึงช่วยผนวกข้อมูลภาพ Landsat และข้อมูลภาพ SAR เข้าไว้ด้วยกัน และ (3) โปรแกรม ENVI 5.3 เป็นโปรแกรมสำหรับการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมด้วยตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยัน พร้อมทั้งวิเคราะห์ประเมินความถูกต้องในการจำแนก

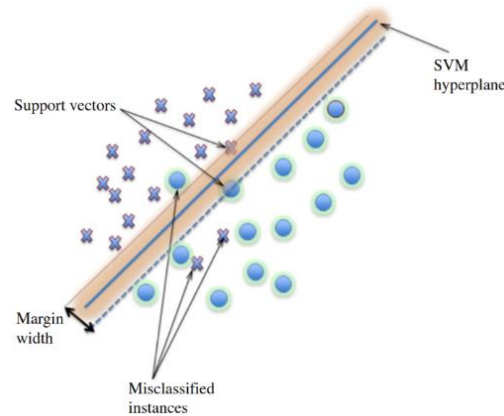


ภาพที่ 1 ข้อมูลภาพดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินซึ่งประกอบด้วยข้อมูลภาพดาวเทียมแบบพาซิฟและข้อมูลภาพดาวเทียมแบบแอกติฟเป็นข้อมูลภาพดาวเทียมแบบ SAR

ตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยัน

ตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยัน (Support Vector Machines Classifier, [SVMC]) นั้นเป็นใช้หลักการจักรกลเรียนรู้แบบควบคุมที่ทำกรจำแนกข้อมูลโดยไม่ได้อาศัยพารามิเตอร์ทางสถิติ (non-parametric statistical) โดยจะต้องมีการกำหนดพื้นที่ต้นแบบ (training area) สำหรับใช้เป็นในการสร้างระนาบเส้นแบ่ง (hyperplane) เพื่อใช้ในการสร้างขอบเขต

แบ่งกลุ่มข้อมูลผ่านการใช้ฟังก์ชันแกน (kernel function) ซึ่งมีด้วยกันหลายแบบ [5] แต่ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้ฟังก์ชันแกนเชิงเส้น (linear kernel) ดังแสดงในภาพที่ 2 ที่จะนำมาใช้ในการกลุ่มข้อมูลภาพดาวเทียมออกเป็นการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ



ภาพที่ 2 หลักการจำแนกประเภทแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ดัดแปลงจาก [6]

การประเมินความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียม

ในการประเมินความถูกต้องของการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลอ้างอิง (reference data) เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้อง โดยการสุ่มเลือกการทำจุดจำนวนไม่น้อยกว่า 50 จุด ในแต่ละประเภทชุดข้อมูลจากภาพดาวเทียมความละเอียดสูงที่ได้จากโปรแกรม Google Earth™ ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับที่เคยใช้ในการศึกษาของ [6] โดยผลการจำแนกประเภทอยู่ในหลัก (columns) ของตารางและข้อมูลอ้างอิงอยู่ในแถว (rows) ของเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน เพื่อวิเคราะห์ถึงค่าความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) ความถูกต้องของผู้ใช้ (user's accuracy) ความถูกต้องของผู้ผลิตแผนที่ (producer's accuracy) และค่า kappa index [7-8]

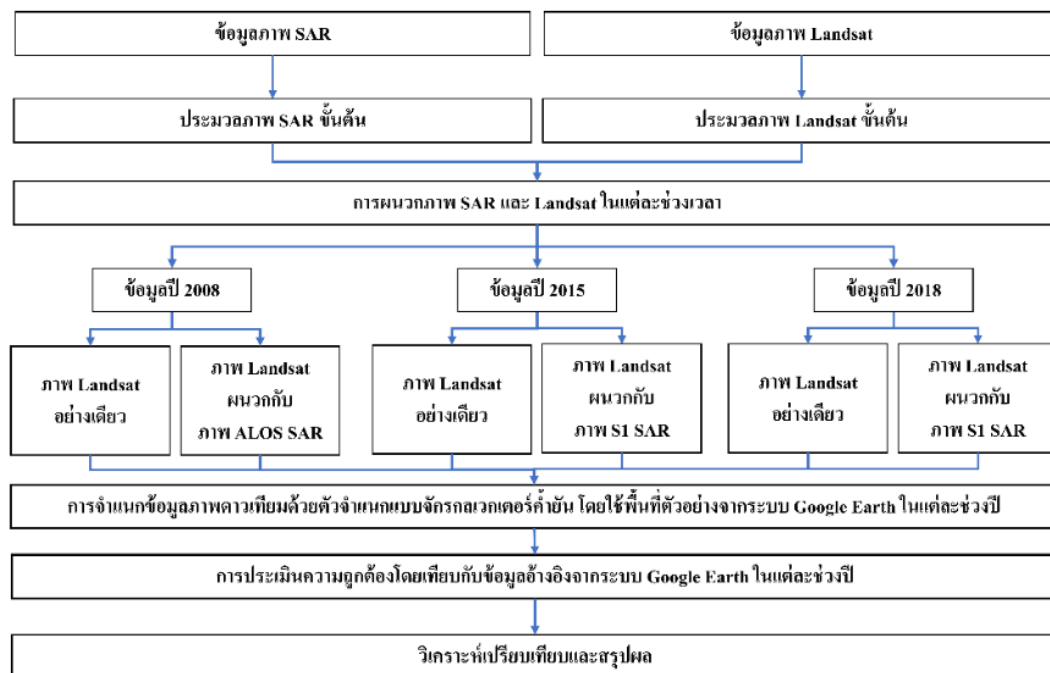
วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้มีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งเป็นไปเพื่อการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่การใช้ที่ดินที่ได้จากการใช้ผสมผสานภาพ Landsat กับข้อมูล SAR กับการใช้เพียงข้อมูลภาพ Landsat เพียงอย่างเดียวของปีปี ค.ศ.2008 ค.ศ.2015 และ ค.ศ.2018 ด้วยการใช้อัตราจำแนกแบบ SVM มีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

การประมวลผลข้อมูลภาพเบื้องต้น (pre-processing remotely sensed data)

การประมวลผลข้อมูลภาพสำหรับข้อมูลภาพ Landsat ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 2 ส่วนคือ (1) *การปรับแก้เชิงเรขาคณิต (geometric correction)* เป็นการขจัดความเพี้ยนเชิงเรขาคณิตของภาพเพื่อปรับเทียบสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดภาพและระบบพิกัดภูมิศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีระบบพิกัดอยู่ในระบบ UTM WGS84 Zone 48N อยู่ในระบบเดียวกัน จึงไม่ได้ต้องมีการปรับแก้เชิงเรขาคณิต และ (2) *การปรับแก้เชิงคลื่น (radiometric correction)* ที่เป็นการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศของภาพดาวเทียมของแต่ละปี โดยการใช้แบบจำลองชั้นบรรยากาศ MODTRAN โดยกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกาที่มีอยู่ในโมดูล Atcor ของโปรแกรม Erdas Imagine 2014

การประมวลผลข้อมูลภาพสำหรับข้อมูลภาพ SAR ของดาวเทียม ALOS และ Sentinel S1 ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม ทำงานสรุปในภาพที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้ (1) การปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ผ่านการใช้ข้อมูลวงโคจรความละเอียดสูงที่ประกอบด้วยตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียมขณะที่เก็บข้อมูลเข้ามาปรับแก้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะทำให้ข้อมูลภาพที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ถูกต้องสามารถนำมาซ้อนทับกับข้อมูลภาพดาวเทียมอื่นเพื่อการวิเคราะห์หลายช่วงเวลาได้อย่างเหมาะสม (2) การปรับแก้เชิงคลื่น (radiometric correction) ที่ประกอบด้วย การปรับแก้สัญญาณรบกวนจากอุณหภูมิ (Thermal Noise Removal) การปรับแก้สัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพ (Border Noise Removal) การปรับเทียบสัญญาณภาพดาวเทียม (Calibrate) ให้เป็นค่า Sigma Naught และการกรองสัญญาณคลื่นรบกวน (Speckle Noise Filter) ด้วยตัวกรองสัญญาณภาพดาวเทียมแบบ Lee ซึ่งได้ดำเนินการกรองสัญญาณรบกวนด้วยหน้าต่างขนาด 9x9 จุดภาพ ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพภาพให้เหมาะสมกับการศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (3) การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากภูมิประเทศ (Topographic Correction) ทั้งนี้เพราะข้อมูลภาพ SAR จะเป็นการกวาดข้อมูลในลักษณะมุมเฉียงที่มากกว่า 0 องศา จึงทำให้เกิดความเพี้ยนของภาพ ดังนั้นเพื่อให้ข้อมูลภาพ SAR มีความสมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องอย่างซึ่งจะต้องมีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากภูมิประเทศโดยอาศัยข้อมูลแบบจำลองความสูง โดยในการศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูล SRTM DEM ความละเอียดทางราบ 30x30 เมตร มาเป็นข้อมูลหลักในการคำนวณปรับแก้ และ (4) การแปลงสัญญาณข้อมูลภาพ SAR เดซิเบล (Conversion to dB) ให้มีหน่วยเป็น ซึ่งเป็นข้อมูลการสะท้อนกลับที่ยังมีไม่มีหน่วยวัดให้มีหน่วยเป็นเดซิเบลด้วยฟังก์ชันลอการิทึม



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์

การกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (training sample)

กำหนดพื้นที่ตัวอย่างเพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลแต่ละประเภท เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ค่าทางสถิติกับกลุ่มพื้นที่ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสหสัมพันธ์เพื่อใช้ค่าสถิติในการกำหนดประเภทข้อมูล

การจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน (land use classification)

การศึกษานี้ใช้การจำแนกประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาในแต่ละปีด้วยตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยัน เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat หลายช่วงเวลาผสมผสานกับข้อมูลภาพ SAR และการใช้เพียงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพียงอย่างเดียว เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการขยายตัวของเมืองขอนแก่น

การประเมินความถูกต้อง (accuracy assessment)

การประเมินความถูกต้องของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินในแต่ละปี (ค.ศ.2008 ค.ศ.2015 และ ค.ศ.2018) ได้ใช้ข้อมูลอ้างอิงผ่านการแปลภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงของแต่ละปีใน Google Earth™ ผ่านฟังก์ชันย้อนเวลาโดยอาศัยวิธีการแบบสุ่มเลือก (random) จำนวนอย่างน้อย 75 จุดสำหรับแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน แล้ววิเคราะห์ผ่านเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน (error matrix) เพื่อประเมินค่าความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (user's accuracy) ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) และ ค่าดัชนีแคปปา (kappa index) โดยค่าต่างๆเหล่านี้ถือเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการประเมินคุณภาพของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

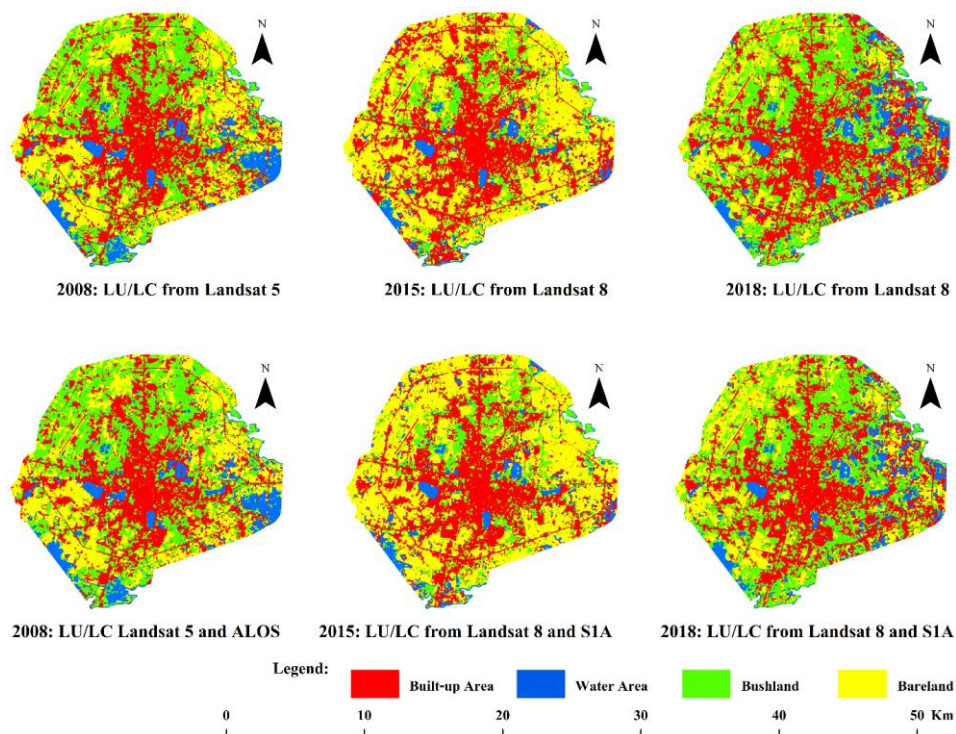
การศึกษานี้ได้จำแนกและแบ่งการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

- (1) พื้นที่ชุมชน (built-up area, [BU]) เป็นบริเวณสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่มนุษย์ขึ้นเช่น บ้าน อาคารที่พักอาศัย และถนน เป็นต้น
- (2) พื้นที่แหล่งน้ำ (water body, [WA]) เป็นบริเวณที่เป็นพื้นที่ผิวน้ำเช่น ลำน้ำ อ่างเก็บน้ำ หนอง บึง และยังมีหมายรวมถึงบริเวณโดนน้ำท่วม ณ ขณะที่ทำการถ่ายภาพดาวเทียมด้วย
- (3) พื้นที่พืชพรรณ (bushland, [BL]) เป็นบริเวณที่มีลักษณะการใช้ที่ดินที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่ป่าละเมาะ และพื้นที่สีเขียวอื่นๆ เป็นต้น
- (4) พื้นที่เปล่าโล่ง (bare land, [BA]) เป็นบริเวณพื้นที่โล่งหรือพื้นที่ว่างเปล่า แต่อาจจะมีหญ้าปกคลุมเล็กน้อย ในการนี้ยังหมายความว่าพื้นที่ว่างเปล่าต่าง โดยหมายรวมถึงพื้นที่ทุ่งนาที่ว่างเว้นจากการปลูกข้าว ทำให้เกิดเป็นพื้นที่เปล่าโล่งพร้อมที่จะทำกิจกรรมอื่นๆ ทั้งในภาคเกษตรและภาคก่อสร้างต่อไป

การศึกษานี้ได้จำแนกกรณีศึกษาออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ (1) การจำแนกประเภทการใช้ที่ดินด้วยการใช้เพียงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และ (2) การจำแนกประเภทการใช้ที่ดินด้วยการใช้ที่ดินข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ผสมผสานกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SAR ซึ่งวิเคราะห์ประเภทการใช้ที่ดินของเมืองขอนแก่นในปี ค.ศ.2008 ค.ศ.2015 และ ค.ศ.2018 โดยใช้ตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยัน โดยผลลัพธ์ดังกล่าวได้แสดงออกมาเป็นแผนที่การใช้ที่ดินดังภาพที่ 4 และมีผลลัพธ์ที่ได้จากการนำไปประเมินความถูกต้องกับข้อมูลอ้างอิงได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ที่เป็นผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินของปี ค.ศ.2008 ค.ศ.2015 และ ค.ศ.2018 โดยพบว่า การใช้ตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยันมาวิเคราะห์ข้อมูล Landsat เพียงอย่างเดียวให้ความถูกต้องที่น้อยกว่าการวิเคราะห์ข้อมูล Landsat ผสมผสานกับข้อมูล SAR อย่างไรก็ดีตาม ข้อมูลทั้งสองลักษณะนั้นมีค่า kappa index ในระดับที่เกินกว่า 0.85 ของทั้งสามปี ซึ่งการสอดคล้องกับการศึกษาของ [4] ที่ชี้ชัดว่ามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม การผสมผสานข้อมูล

Landsat เข้ากับข้อมูล SAR นั้นมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินถึงแม้ว่าจะไม่มากนัก แต่ก็มีส่วนสำคัญในการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับผลลัพธ์ของการจำแนก ทั้งนี้ผลการศึกษาที่ยังชี้ให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้ในการจำแนกพื้นที่ชุมชนมีความถูกต้องดีขึ้นเป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการผสมผสานข้อมูล Landsat เข้ากับข้อมูล S1A ซึ่งเป็นภาพ SAR ที่รับส่งสัญญาณคลื่นด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบ C band มีความถูกต้องสูงกว่าการใช้เพียงข้อมูล Landsat อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การผสมผสานข้อมูล Landsat เข้ากับข้อมูล ALOS ที่รับส่งสัญญาณคลื่นด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบ L band นั้นกลับมีความถูกต้องที่ลดลงแต่ก็เป็นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการศึกษาในประเด็นนี้ได้แสดงให้เห็นการปรับปรุงคุณภาพของการจำแนกเมื่อมีการผสมผสานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบพาสซีฟอย่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เข้ากับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบแอคทีฟอย่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบ Sentinel S1A

อนึ่ง ผู้วิจัยได้นำแผนที่การใช้ที่ดินที่ได้จากในการผสมผสานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เข้ากับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบแอคทีฟอย่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบ Sentinel S1A มาวิเคราะห์ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินดังแสดงในตารางที่ 4 โดยจะเห็นว่า พื้นที่เขตเมืองของแก่นมีการเปลี่ยนแปลงแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่พื้นที่พืชพรรณและพื้นที่เปิดโล่งมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ทดแทนกัน กล่าวคือ ในช่วงเพาะปลูกพื้นที่เปิดโล่งก็จะถูกนำไปใช้เพื่อการเกษตร และหลังเก็บเกี่ยวพื้นที่ก็จะกลายเป็นพื้นที่เปิดโล่ง ในขณะที่แหล่งน้ำนั้นขึ้นกับลักษณะของอุทกภัยที่เกิดขึ้นในแต่ละปี



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบผลการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินด้วยการใช้เพียงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินด้วยการใช้ที่ดินข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ผสมผสานกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SAR



ตารางที่ 2 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินจากข้อมูล Landsat เพียงอย่างเดียว ของปี ค.ศ. 2008 ค.ศ.2015 และ ค.ศ.2018

year	classified data	reference data				row total	user's accuracy
		Urban	Water	Bushland	Bareland		(%)
2008	Urban	75	3	12	4	94	79.79
	Water	0	71	3	0	74	95.95
	Bushland	0	3	70	5	78	89.74
	Bareland	0	0	1	55	56	98.21
	column total	75	77	86	64		
	producer's accuracy (%)	100.00	92.21	81.40	85.94		
overall accuracy (%)		89.74		kappa index		0.86	
2015	Urban	72	3	1	11	83	82.76
	Water	0	69	0	1	70	98.57
	Bushland	0	3	71	6	80	88.75
	Bareland	2	0	3	57	62	91.94
	column total	74	75	75	75		
	producer's accuracy (%)	97.30	92.00	94.67	76.00		
overall accuracy (%)		89.96		kappa index		0.86	
2018	Urban	70	4	1	7	82	85.37
	Water	0	67	0	0	67	100.00
	Bushland	0	3	75	5	83	90.36
	Bareland	5	1	0	63	69	91.30
	column total	75	75	76	75		
	producer's accuracy (%)	93.33	89.33	98.68	84.00		
overall accuracy (%)		91.36		kappa index		0.88	



ตารางที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินจากข้อมูล Landsat ผสมผสานกับข้อมูล SAR ของ
ปี ค.ศ.2008 ค.ศ.2015 และ ค.ศ.2018

year	classified data	reference data				row total	user's accuracy
		Urban	Water	Bushland	Bareland		(%)
2008	Urban	75	4	4	12	95	78.95
	Water	0	71	0	3	74	95.95
	Bushland	0	2	71	5	78	91.03
	Bareland	0	0	1	55	56	98.21
	column total	75	77	76	75		
	producer's accuracy (%)	100.00	92.21	93.42	73.33		
overall accuracy (%)		90.06		kappa index		0.87	
2015	Urban	74	2	1	8	85	87.06
	Water	0	69	0	2	71	97.18
	Bushland	0	3	69	5	77	89.61
	Bareland	0	1	5	60	66	90.91
	column total	74	75	75	75		
	producer's accuracy (%)	100.00	92.00	92.00	80.00		
overall accuracy (%)		90.97		kappa index		0.88	
2018	Urban	73	3	1	3	80	91.25
	Water	0	67	0	0	67	100.00
	Bushland	2	5	75	4	86	87.21
	Bareland	0	0	0	68	68	100.00
	column total	75	75	76	75		
	producer's accuracy (%)	97.33	89.33	98.68	90.67		
overall accuracy (%)		94.02		kappa index		0.92	

ตารางที่ 4 สรุปการใช้ประโยชน์ที่ดินและร้อยละของการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการจำแนกด้วยการผสมผสานข้อมูลภาพดาวเทียมแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ

ประเภทการใช้ ที่ดิน	ค.ศ. 2008		ค.ศ. 2015		ค.ศ. 2018		ร้อยละการเปลี่ยนแปลง ประเภทการใช้ที่ดิน	
	ขนาดพื้นที่ (km ²)	(%)	ขนาดพื้นที่ (km ²)	(%)	ขนาดพื้นที่ (km ²)	(%)	2008-2015	2015-2018
พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง	75.55	31.37	80.8	33.55	84.00	34.88	2.18	1.33
พื้นที่แหล่งน้ำ	21.35	8.86	15.93	6.61	19.11	7.94	-2.25	1.33
พื้นที่พืชพรรณ	81.92	34.01	41.19	17.10	88.54	36.76	-16.91	19.66
พื้นที่เปิดโล่ง	62.02	25.75	102.91	42.73	49.17	20.42	16.98	-22.31
Total	240.84	100.00	240.83	100.00	240.82	100.00		

บทสรุป

งานศึกษานี้ได้ดำเนินการเปรียบเทียบคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินที่ได้จากการผสมผสานข้อมูลภาพดาวเทียมแบบพาสซีฟอย่างข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เข้ากับข้อมูลภาพดาวเทียม SAR ซึ่งเป็นข้อมูลภาพดาวเทียมแบบแอคทีฟ กับผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้เพียงข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ในการศึกษานี้ได้มีการใช้ตัวจำแนกแบบจักรกลเวกเตอร์ค้ำยันในการวิเคราะห์ข้อมูลประเภทการใช้ที่ดินของเมืองขอนแก่นในช่วงเวลาระหว่างปี ค.ศ. 2008 ถึง ค.ศ. 2018 (10 ปี) โดยผลลัพธ์ได้ชี้ให้เห็นว่า การผสมผสานข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เข้ากับข้อมูลภาพดาวเทียม SAR ที่มีการรับส่งสัญญาณด้วยช่วงคลื่น C band อย่างข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel S1A นั้นให้ผลลัพธ์ที่ได้ขึ้นมากกว่าการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เพียงอย่างเดียวในระดับที่มีนัยสำคัญ ขณะที่การผสมผสานข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เข้ากับข้อมูลภาพดาวเทียม SAR ที่มีการรับส่งสัญญาณด้วยช่วงคลื่น L band อย่างข้อมูลภาพดาวเทียม ALOS กลับให้ความถูกต้องของการจำแนกที่ลดลงเล็กน้อยในระดับที่ไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เพียงอย่างเดียว จากผลการศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นว่า การผสมผสานข้อมูลภาพดาวเทียมแบบพาสซีฟอย่างข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เข้ากับข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel S1A ซึ่งเป็นข้อมูลภาพดาวเทียมแบบแอคทีฟนั้นให้สามารถปรับปรุงคุณภาพในการจำแนกได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินที่เป็นเมืองหรือสิ่งปลูกสร้าง ดังนั้น การศึกษานี้ในอนาคตควรอย่างยิ่งที่จะมีการวิเคราะห์ทดสอบการผสมผสานข้อมูลภาพดาวเทียมแบบพาสซีฟอย่างข้อมูลภาพดาวเทียม Landsat เข้ากับข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel S1A กับพื้นที่เขตเมืองอื่น ๆ ทั้งนี้เพื่อที่จะพัฒนาเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิทยานิพนธ์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอกราบขอบพระคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยจากศูนย์วิจัยพัฒนามูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงในความอนุเคราะห์ข้อมูลจากโครงการการศึกษาออกแบบรายละเอียดระบบขนส่งสาธารณะในเขตจังหวัดขอนแก่นและผลกระทบสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยพัฒนามูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ สถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Sujaree T. Application of Markov-cellula automata model to simulate future land use/cover change in the Khon Kaen City [M.Eng]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2019. Thai.
2. Werner A, Storie CD, Storie J. Evaluating SAR-optical image fusions for urban LULC classification in Vancouver Canada. Canadian Journal of Remote Sensing. 2014; 40 (4): 278-290.
3. Lv Q, Dou Y, Niu X, Xu J, Xu J, Xia, F. Urban land use and land cover classification using remotely sensed sar data through deep belief networks. Journal of Sensors. 2015; art. no. 538063.
4. Van NT, Waisurasingha C. Land use/cover change and landscape fragmentation analyses in Khon Kaen City, Northeastern Thailand. International Journal of GEOMATE. 2018; 15 (47): 201-208.
5. Mountrakis G, Im J, Ogole C. Support vector machines in remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2011; 66(3): 247-259.
6. Kamusoko C, Gamba J, Murakami H. Mapping woodland cover in the Miombo ecosystem: A comparison of machine learning classifiers. Land. 2014; 3 (2): 524-540.
7. Congaton RG, Green K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. New York: Lewis Publishers. 1999.
8. Foody G. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and Practices. The Photogrammetric Record. 2010; 25: 204-205.