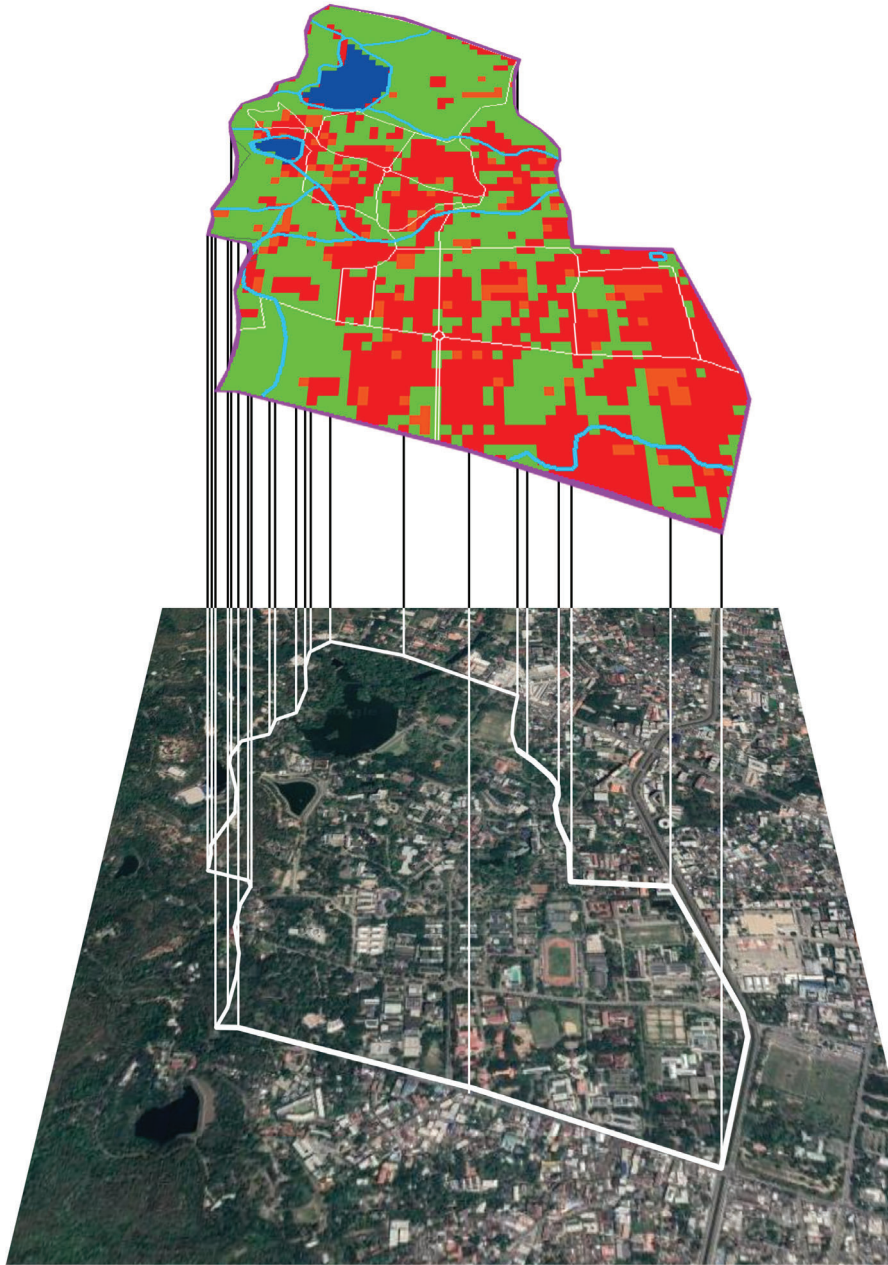




การศึกษาสิ่งปกคลุมผิวดินของ “ชีวภูมิภาคล้านนา”: กรณีศึกษาเขตการศึกษาสวนสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

The study of land cover in “Lanna bioregion”: a case study of Suan Sak campus, Chiang Mai University

ปวร มณีสถิตย์¹
Paworn Maneesatit¹

Received: 2022-08-10

Revised: 2023-03-26

Accepted: 2023-05-19

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยวิธีการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินแบบกำกับดูแล (supervised landcover classification) ในพื้นที่ศึกษาบริเวณเขตการศึกษาสวนสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเปรียบเทียบผลการศึกษากับข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่ภายใต้โครงการสนับสนุนการจัดลำดับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก ปี พ.ศ. 2562 ผลการศึกษา พบว่า การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินแบบกำกับดูแลในพื้นที่ศึกษา มีความถูกต้องโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 83 มีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ที่ 0.74 โดยพบว่ามีค่าความถูกต้องของผู้ใช้ ในพื้นที่ที่มีค่าระดับน้ำสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 100 และมีค่าต่ำสุด คือ ป่าและต้นไม้ใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 66.67 นอกจากนี้ เมื่อนำผลการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่ พบว่า มีความคลาดเคลื่อนของปริมาณสิ่งปกคลุมผิวดินค่อนข้างมาก เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาวิเคราะห์มีความละเอียดของภาพที่ค่อนข้างน้อย จึงทำให้ไม่สามารถจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กได้ โดยเฉพาะสวนหย่อมขนาดเล็ก และเส้นทางน้ำขนาดเล็ก อย่างไรก็ตาม หากนำวิธีการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการสำรวจพื้นที่ นอกจากจะช่วยให้ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นแล้ว ยังเป็นการลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการลงพื้นที่สำรวจได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: สิ่งปกคลุมผิวดิน การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ชีวภูมิภาคล้านนา

¹ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
(Faculty of Architecture, Chiang Mai University)
ผู้เขียนหลัก (corresponding author) E-mail: paworn.m@cmu.ac.th

Abstract

This article aims to classify land cover from satellite imagery using Geographic Information System (GIS) with a supervised land cover classification method in the study area of Suan Sak Park, Chiang Mai University. The study compares the results with data obtained from field surveys under the Chiang Mai University's Green University Ranking 2019 project. The study found that the overall accuracy of the supervised land cover classification in the study area was 83.00%. The Kappa coefficient was 0.74. It was found that the user's accuracy in the water area was the highest at 100%, while the lowest accuracy was in the forest class at 66.67%. When comparing the results of land cover classification with the field survey data, a significant discrepancy in the quantity of land cover was observed. This discrepancy was mainly due to the low spatial resolution of the satellite imagery used for analysis, which limited the classification of land cover in small areas, particularly small-sized gardens and narrow waterways. However, applying the mentioned land cover classification method in conjunction with field surveys not only improves the accuracy and precision of the data but also reduces the time and cost of on-site surveys.

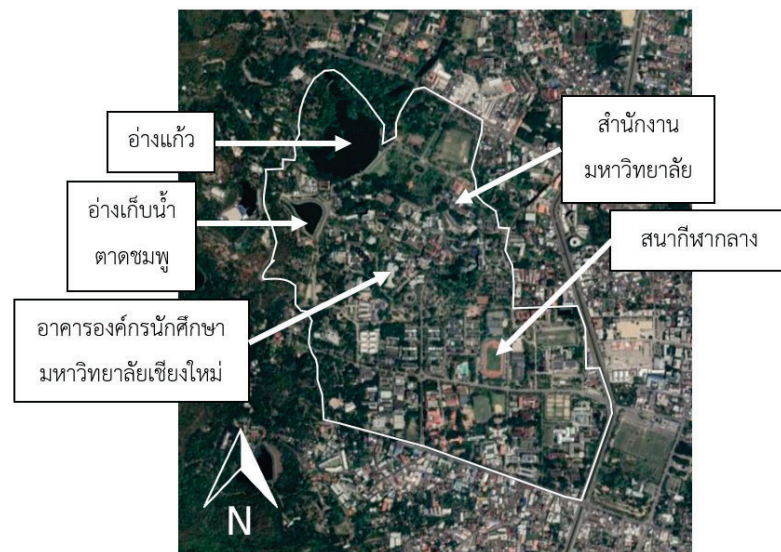
Keywords: land cover, land cover classification, geographic information system, Lanna biaoregion

ที่มาและความสำคัญ

บทความนี้ มุ่งศึกษาสิ่งปกคลุมผิวดินในบริเวณเขตการศึกษาสวนสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ดังภาพที่ 1) พื้นที่ 2.05 ตารางกิโลเมตร ผ่านการทดลองจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System (GIS) ในการวิเคราะห์และจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินจากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีกำกับดูแล หรือ Supervised land cover classification เพื่อให้ทราบถึงลักษณะของสิ่งปกคลุมผิวดิน และนำผลการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้มีการสำรวจ ตามโครงการสนับสนุนการจัดลำดับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก (Greenmetric World University Ranking) เมื่อปี พ.ศ. 2562 และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลความคลาดเคลื่อน ข้อจำกัดในการใช้งานภาพถ่ายดาวเทียม และเสนอแนะแนวทางในการศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาลักษณะของสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ศึกษา และเปรียบเทียบระหว่างผลจากการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินกับข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่ศึกษา ภายใต้โครงการสนับสนุนการจัดลำดับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก พ.ศ. 2562



ภาพที่ 1 ภาพถ่ายทางอากาศของวิทยาเขตสวนสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2563

ข้อมูลของพื้นที่ศึกษา

เขตการศึกษาสวนสัก (ดังภาพที่ 1) เป็นวิทยาเขตหลักของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 2.05 ตารางกิโลเมตรหรือราว 1,281 ไร่ ประกอบด้วย อาคารเรียนของคณะต่าง ๆ อาคารส่วนบริหาร สถาบันวิจัย หอพักนักศึกษา สนามกีฬา พื้นที่ส่วนกลาง อ่างเก็บน้ำ รวมถึงพื้นที่สีเขียวหรือพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจต่าง ๆ ทิศเหนือติดกับถนนห้วยแก้ว ทิศใต้ติดกับถนนสุเทพ ทิศตะวันออกติดกับถนนชลประทาน และทิศตะวันตกติดกับดอยสุเทพ

ตามที่โครงการสนับสนุนการจัดลำดับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก พ.ศ. 2562 ได้มีการสำรวจพื้นที่ภายในเขตการศึกษาสวนสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 2.05 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 1,281 ไร่ โดยการศึกษาและสำรวจพื้นที่ของ Chindapol (2019) ได้ทำการแบ่งประเภทของสิ่งปกคลุมผิวดินตามเกณฑ์ในการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลกออกเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วย (1) พื้นที่ปลูกต้นไม้ใหญ่ (2) สนามหญ้า (3) สวนหย่อม (4) น้ำ และ (5) อาคาร ถนน พื้นลาดแข็ง และพื้นดินเปิดโล่ง ดังภาพที่ 2 และตารางที่ 1



ภาพที่ 2 แผนที่จากการสำรวจในพื้นที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เขตการศึกษาสวนสัก
ที่มา: ปรับปรุงจาก Chindapol (2019)

ตารางที่ 1 สัดส่วนของสิ่งปกคลุมผิวดินจากการสำรวจภายในพื้นที่ศึกษา

สี	รายละเอียดพื้นที่	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (%)
	พื้นที่ป่า (ต้นไม้ใหญ่)	432,465.60	270.29	21.10
	สนามหญ้า	116,827.20	73.02	5.70
	สวน สวนหย่อม	184,464.00	115.29	9.00
	พื้นลาดแข็ง (ถนน อาคาร และพื้นดินเปิดโล่ง)	969,460.80	605.91	47.30
	น้ำ (บ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำ และเส้นทางน้ำ)	346,382.40	216.49	16.90
	รวม	2,049,600.00	1,281.00	100

ที่มา: ปรับปรุงจาก Chindapol (2019)

การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

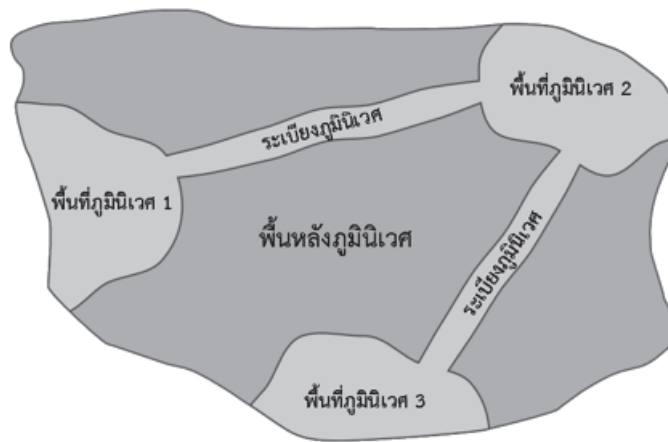
เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้องกับประเด็นศึกษา ประกอบด้วย

1. ทฤษฎีภูมินิเวศวิทยา (landscape ecology)

เป็นทฤษฎีพื้นฐานที่อธิบายองค์ประกอบ โครงสร้าง บทบาทหน้าที่ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบนิเวศ เป็นการทำความเข้าใจถึงองค์ประกอบ เงื่อนไข และปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติในบริเวณพื้นที่ศึกษา กล่าวคือ ระบบนิเวศ (ecosystem) เป็นความสัมพันธ์ของทั้งพืช สัตว์ รวมถึงสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เช่น จุลินทรีย์ ส่งอิทธิพลซึ่งกันและกันด้วยการถ่ายเทพลังงาน สารอาหาร การหมุนเวียนสสาร นำไปสู่กระบวนการทางธรรมชาติ และความหลากหลายทางชีวภาพที่เกิดขึ้นในภูมินิเวศ (Odum, 1971)

1.1 โครงสร้างภูมินิเวศ (landscape structure) เป็นลักษณะทางกายภาพของภูมินิเวศที่ประกอบกันขึ้นจากพื้นฐานทางธรณีวิทยา ลักษณะทางภูมิประเทศ และปัจจัยอื่น ๆ ส่งผลให้เกิดความเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ เช่น สภาพดิน ภูมิอากาศ ความลาดชัน กระบวนการทางธรรมชาติ (Barrett & Bohlen, 1991; Forman & Wilson, 1995) (ดังภาพที่ 3) ประกอบด้วย

- 1) พื้นที่ภูมินิเวศ (patch) เป็นบริเวณที่มีความเป็นผืนหรือเป็นเนื้อเดียวกัน มีองค์ประกอบสภาพแวดล้อม และคุณสมบัติใกล้เคียงกัน
- 2) พื้นหลังภูมินิเวศ (matrix) เป็นพื้นที่ที่ครอบคลุมองค์ประกอบอย่างกว้างขวาง โดยจะเป็นองค์ประกอบหลักทางภูมิทัศน์ที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่บริเวณนั้น ๆ มากที่สุด
- 3) ระเบียบภูมินิเวศ (corridor) เป็นบริเวณที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมต่อพื้นที่แต่ละพื้นที่เข้าด้วยกัน



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของโครงสร้างทางภูมิทัศน์ตามกรอบแนวคิดของภูมิโนเวศวิทยา

ที่มา: ปรับปรุงจาก Barnes (2000)

1.2 บทบาทหน้าที่ของภูมิโนเวศ (landscape function) คือ ความสัมพันธ์ของกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนภูมิโนเวศ เช่น การหมุนเวียนของสสารและพลังงาน วิถีจักรต่าง ๆ ของทั้งสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต (Odum, 1971) โดยสามารถจำแนกบทบาทหน้าที่ได้ดังนี้

1) บทบาทของผู้ผลิต (production function) ความสามารถในการเป็นแหล่งทรัพยากร เช่น แหล่งน้ำ แหล่งอาหาร ผลผลิตออกซิเจนในชั้นบรรยากาศ เป็นต้น

2) บทบาทในการรองรับความต้องการเชิงพื้นที่ (carrying / supporting function) เป็นการรองรับต่อการเปลี่ยนแปลง หรือกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน การตั้งถิ่นฐาน การเกษตรกรรม เป็นต้น

3) บทบาทของการควบคุม (regulation function) เป็นพลวัตหรือปรากฏการณ์ตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นเพื่อให้ระบบนิเวศสามารถดำรงอยู่ หรือเป็นการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ เช่น วิถีจักรของน้ำ ฤดูกาล เป็นต้น

4) บทบาทของการให้ข้อมูล (Infotmayion function) เป็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง วิวัฒนาการของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับธรรมชาติ เช่น ประวัติศาสตร์ สังคม เศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

1.3 การเปลี่ยนแปลงของภูมิโนเวศ (landscape change) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนภูมิโนเวศ จาก 2 ปัจจัยหลักดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติ เกิดจากระบบนิเวศอันมีพลวัตทางธรรมชาติเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสิ่งที่มีชีวิต หรือไม่มีชีวิตก็ได้ เช่น ฤดูกาล การพังทลายของหน้าดินจากฝน การตกตะกอนของแม่น้ำ การเปลี่ยนทิศทางของกระแสน้ำในธรรมชาติ เป็นต้น

2) การเปลี่ยนแปลงโดยมนุษย์ เกิดจากการที่มนุษย์ปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อม เพื่อรองรับความต้องการหรือกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสิ่งปกคลุมผิวดิน เช่น การเปลี่ยนพื้นที่ป่า

ให้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม การตั้งถิ่นฐาน การสร้างเขื่อน การทำเหมือง เป็นต้น โดยการเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลให้โครงสร้าง บทบาทหน้าที่ และพลวัตทางธรรมชาติเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (Barnes, 2000)

2. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System (GIS) คือ กระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ในการกำหนดข้อมูลต่าง ๆ โดยสัมพันธ์กับพิกัดตำแหน่งจริงบนผิวโลก ตามระบบเส้นรุ้ง และเส้นแวง เช่น จังหวัด อำเภอ ตำบล ตำแหน่งถนน หมู่บ้าน เป็นต้น

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถแปลความหมายของข้อมูลต่าง ๆ ทั้งในเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) ให้เชื่อมโยงกัน และสามารถแสดงข้อมูลได้พร้อม ๆ กันในรูปแบบของภาพ และแผนที่ (Geo-Informatics Center for Thailand (GISTHAI), 1999)

ข้อมูลเชิงพื้นที่ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ ข้อมูลเชิงภาพแบบเวกเตอร์ (vector data) และ ข้อมูลเชิงภาพแบบแรสเตอร์ (raster data) (GIS Geography, 2021) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ข้อมูลเชิงภาพ (graphic data) ใช้แทนสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในแผนที่ (ดังภาพที่ 4) ประกอบด้วย

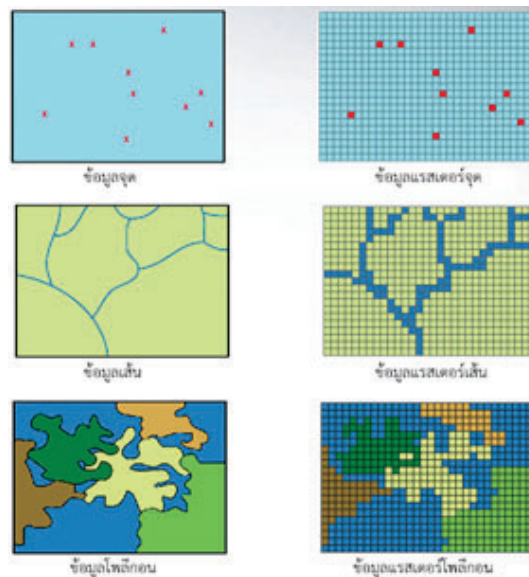
1) ข้อมูลแบบเวกเตอร์ (vector format) เป็นข้อมูลที่แสดงในรูปแบบของรูปภาพที่ปรากฏบนแผนที่ ประกอบด้วย

(1) จุด (point) แสดงตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ ที่ปรากฏในแผนที่ เช่น ที่ตั้งระบบโครงสร้างพื้นฐาน ตำแหน่งอาคาร ตำแหน่งต้นไม้ เป็นต้น

(2) เส้น (line) แสดงข้อมูล หรือสิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นหรือเป็นแนวยาว หรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระยะทาง เช่น ถนน แม่น้ำลำคลอง แนวสายไฟ ความลาดชัน เป็นต้น

(3) รูปแบบปิด (polygon) แสดงข้อมูลที่มีลักษณะเป็นผืนหรือบริเวณพื้นที่ เช่น พื้นที่ป่าไม้ ขอบเขตของชุมชนและการปกครอง เป็นต้น

2) ข้อมูลแบบแรสเตอร์ (raster data) เป็นข้อมูลที่มีการจัดการในลักษณะของช่องตารางสี่เหลี่ยม เรียกว่า พิกเซล (pixel) ที่มีขนาดแต่ละช่องเท่ากันและความสัมพันธ์กับพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยในแต่ละช่องจะบรรจุข้อมูลเอาไว้และมักถูกใช้กับข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน เช่น ความลาดชันของภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน สิ่งปกคลุมผิวดิน เป็นต้น



ภาพที่ 4 ภาพเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลแบบเวกเตอร์ (vector data) และแรสเตอร์ (raster data)

ที่มา: ปรับปรุงจาก Humboldt State University (2017)

2.2 ข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) เป็นข้อมูลที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลภาพที่กล่าวไปในข้างต้น รวมถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของข้อมูล ทั้งในเชิงปริมาณ เช่น ความสูงของอาคาร ขนาดของพื้นที่ จำนวนประชากร และเชิงคุณภาพ เช่น สภาพภูมิประเทศ คุณภาพน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชื่อนถนน ชื่อหมู่บ้าน เป็นต้น

3. สิ่งปกคลุมผิวดิน

สิ่งปกคลุมผิวดิน หมายถึง ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลก เช่น ป่าไม้ ต้นไม้ ผิวน้ำ หุ่นหญ้า พื้นดิน เป็นต้น การได้มาซึ่งสิ่งปกคลุมผิวดิน ได้จากการสำรวจภาคพื้นดิน (field survey) และการวิเคราะห์จากภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายดาวเทียม (Yodcharoen, et al., 2017)

4. การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน

การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน เป็นการประมวลผลเพื่อแยกข้อมูลสิ่งปกคลุมผิวดินทั้งหมด ออกเป็นกลุ่มย่อย หรือเป็นระดับ (class) โดยอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันของวัตถุต่าง ๆ ในภาพออกจากกัน โดยจุดภาพที่ถูกจัดให้อยู่กลุ่มเดียวกันจะมีคุณสมบัติการสะท้อนแสงคล้ายกันหรือเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และใช้ลักษณะทางสถิติเป็นตัวกำหนดความแตกต่างระหว่างข้อมูลแต่ละกลุ่ม โดยภาพที่จำแนกได้นั้น จะแสดงถึงสิ่งปกคลุมพื้นดินประเภทใดประเภทหนึ่งที่แตกต่างกันออกไป เช่น ต้นไม้ แม่น้ำ อาคาร ถนน เป็นต้น (GISTDA, 2015; Nikolli, 2010)

ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้วิธีการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินแบบกำกับดูแล เป็นการจำแนก

ข้อมูลภาพจากการกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (training area) ของสิ่งปกคลุมผิวดินแต่ละประเภท กล่าวคือ เป็นการเลือกพื้นที่ตัวอย่างของสิ่งปกคลุมผิวดินในประเภทต่าง ๆ ตามการพิจารณาจากสี (tone/color) ขนาด (size) รูปร่าง (shape) เนื้อภาพ (texture) รูปแบบ (pattern) ความสูงและเงา (height and shadow) ที่ตั้ง (site) และความเกี่ยวพัน (association) โดยระบบจะทำการวิเคราะห์ข้อมูล และรวบรวมกลุ่มของการจำแนกที่มีลักษณะคล้ายกัน เข้าไว้เป็นกลุ่มหรือชั้นข้อมูลเดียวกัน และประมวลผลออกมาเป็นสิ่งปกคลุมผิวดินแต่ละประเภทที่ผู้ศึกษาได้กำหนดไว้ (Rattana, 2019) โดยมีหลักการทำงานดังนี้

4.1 กำหนดช่วงคลื่นข้อมูลดาวเทียม เป็นการเลือกใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวิธีการจำแนกและประเภทของข้อมูล เช่น การจำแนกประเภทข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT โดยใช้ช่วงคลื่น 2, 3 และ 4 เป็นต้น

4.2 กำหนดพื้นที่ตัวอย่าง โดยกำหนดขอบเขตลงในบริเวณที่ผู้ศึกษาต้องการทราบว่าเป็นสิ่งปกคลุมผิวดินประเภทใด เพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลประเภทนั้น เช่น บริเวณที่เป็นป่า สนามหญ้า แหล่งน้ำ พื้นดินเปิดโล่ง หรือสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น

4.3 วิเคราะห์ค่าทางสถิติกับกลุ่มของพื้นที่ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสหสัมพันธ์ เพื่อใช้ค่าสถิติเหล่านี้ในการกำหนดประเภทข้อมูลสิ่งปกคลุมผิวดินแต่ละประเภท

4.4 ตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน โดยการเปรียบเทียบข้อมูลสิ่งปกคลุมผิวดินที่ผ่านการวิเคราะห์จำแนกแล้ว กับภาพถ่ายความละเอียดสูงจาก Google Earth ผ่านการกำหนดจุดตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่ม และคำนวณหาความถูกต้องจากการคำนวณทางสถิติ

ในการตรวจสอบความถูกต้อง จะพิจารณาจาก 4 ค่า ได้แก่ (1) ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) (2) ค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน (User's accuracy) (3) ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) และ (4) ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient)

สมการของการคำนวณค่าความถูกต้องและค่าสัมประสิทธิ์แคปปา

สมการ

ผลจากการคำนวณค่าความถูกต้อง และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาที่คำนวณได้ จะนำมาเปรียบเทียบ

$$\text{Producer's accuracy } j = \frac{n_{jj}}{n_{+j}}$$

$$\text{User's accuracy } i = \frac{n_{ii}}{n_{+i}}$$

$$\text{Overall accuracy } i = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n}$$

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

$\hat{K}$ คือ สัมประสิทธิ์แคปปาของความสอดคล้อง

K คือ จำนวนของแถว ในที่นี้คือประเภทของสิ่งปกคลุมผิวดิน

n_{ii} คือ จำนวนของการสังเกตการณ์ในแถว i และคอลัมน์ j

n_{i+} คือ ผลรวมนอกแนวทแยงมุมของแถว i

n_{+i} คือ ผลรวมนอกแนวทแยงมุมคอลัมน์ i

N คือ จำนวนของการสังเกตการณ์ทั้งหมด

กับเกณฑ์ เพื่อตรวจสอบว่ามีความถูกต้องมากหรือน้อย และข้อมูลมีความสอดคล้องกันมากหรือน้อยเพียงใด (ดังตารางที่ 2) (Landis & Koch, 1977)

ตารางที่ 2 เกณฑ์ในการเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง และสัมประสิทธิ์แคปปา

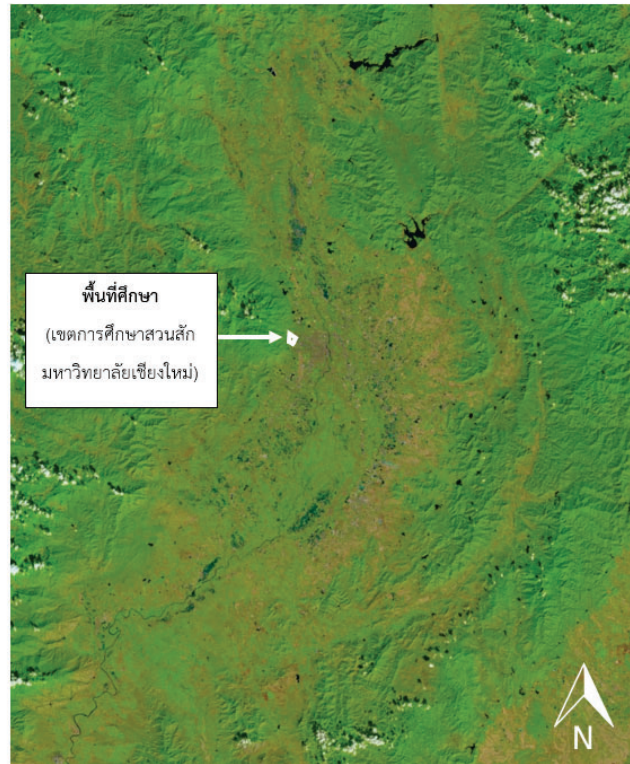
เกณฑ์การเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง	
ร้อยละ 0 - 24	น้อย
ร้อยละ 25 - 49	พอใช้
ร้อยละ 50 - 74	ปานกลาง
ร้อยละ 75 - 100	สูง
เกณฑ์การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แคปปา	
<0.00	แย่
0.00-0.20	น้อย
0.21-0.40	พอใช้
0.41-0.60	ปานกลาง
0.61-0.80	ดี
0.81-1.00	ดีมาก

5. การทำแผนที่ (mapping) คือ การรวบรวมข้อมูลทางภูมิศาสตร์ หรือข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับพื้นที่บนพื้นผิวโลก และนำมาแสดงในรูปแบบของสัญลักษณ์ที่ปรากฏบนแผนที่ โดยจำแนกลักษณะของข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลเชิงคุณภาพ

สัญลักษณ์ที่ปรากฏบนแผนที่ แบ่งออกเป็น สัญลักษณ์จุด เส้น และสัญลักษณ์เชิงพื้นที่ โดยผู้จัดทำแผนที่จะต้องเลือกใช้สัญลักษณ์ให้เหมาะสมและสัมพันธ์กับข้อมูลที่ต้องการจะนำเสนอ เพื่อให้ผู้อ่านแผนที่สามารถเข้าใจข้อมูลบนแผนที่ได้ง่าย (Lisle, 2004)

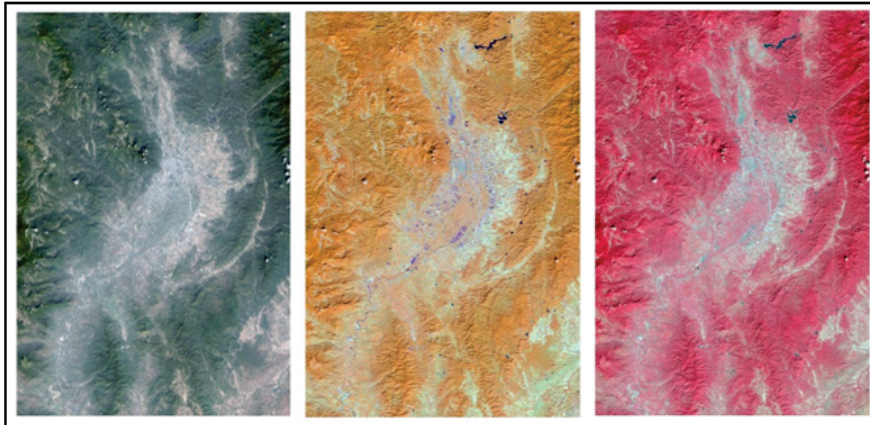
วิธีการศึกษา

การค้นหาลำโพงภาพถ่ายดาวเทียม จากแหล่งข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โดยเลือกช่วงเวลาที่สามารถมองเห็นรายละเอียดได้ดีและไม่มีเมฆบดบัง ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาเลือกภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เมื่อวันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2562 บริเวณแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ หมอก หรือฝุ่นควันบดบังพื้นที่ ทำให้สามารถเห็นพื้นที่ได้อย่างชัดเจน (ดังภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เมื่อวันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2562 บริเวณแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน
ที่มา: United States Geological Survey (USGS) (2020)

การทำภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จ เป็นการผสมสีภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อเตรียมสำหรับการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินในขั้นตอนต่อไป โดยอาศัยคุณสมบัติในการแสดงภาพจากดาวเทียมที่มีความแตกต่างของสีในแต่ละช่วงคลื่น (แบนด์) จากข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่นำเข้ามาจะเป็นสีขาว-ดำ และสามารถนำมาซ้อนทับกันเพื่อแสดงผลได้ครั้งละ 3 แบนด์ ซึ่งแต่ละแบนด์จะแทนด้วยแม่สี 3 สีหลัก คือ สีแดง เขียว และน้ำเงิน เมื่อนำมาซ้อนทับกันจะได้ภาพที่เป็นภาพสีผสม (color composite) การผสมสีภาพจากดาวเทียมทั้ง 3 แบนด์จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการแสดงรายละเอียดเฉพาะเรื่องที่แตกต่างกันออกไป โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้การผสมสีทั้งหมด 3 ภาพ ได้แก่ (1) สีธรรมชาติ แบนด์ 4, 3, 2 (2) สีผสมเท็จแสดงพื้นที่เมืองและแหล่งน้ำ แบนด์ 5, 6, 4 และ (3) สีผสมเท็จแสดงพืชพรรณในช่วงคลื่นอินฟราเรด แบนด์ 5, 4, 3 ตามลำดับ (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 บริเวณแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2562 (ซ้าย) สีธรรมชาติ (band 4, 3, 2) (กลาง) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จ แสดงพื้นที่เมืองและแหล่งน้ำ (band 5, 6, 4) และ (ขวา) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จ แสดงพืชพรรณในช่วงคลื่นอินฟราเรด (band 5, 4, 3)

3. กำหนดขอบเขตและการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน เป็นการเลือกบริเวณที่ต้องการจะจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน ซึ่งในบทความนี้จะใช้พื้นที่เขตการศึกษาสวนสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นบริเวณที่จะทำการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน และใช้การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน จากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จที่ผสมสีเตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 2 ด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล

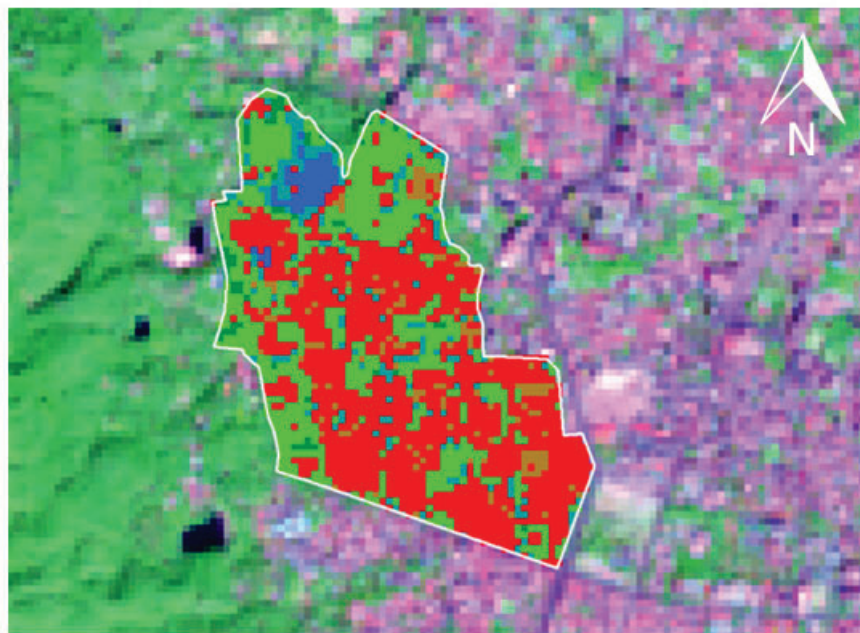
โดยจะแยกสิ่งปกคลุมผิวดินออกเป็น 6 ประเภทตามลักษณะของ สี ขนาด รูปร่าง เนื้อภาพ รูปแบบ ความสูงและเงา ที่ตั้ง และความเกี่ยวพัน รวมถึงลักษณะของสิ่งปกคลุมผิวดินที่สังเกตเห็นได้จากการประเมินภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา ได้แก่ (1) สวน สวนหย่อม สนามหญ้า (2) ลานดินเปิดโล่ง (3) สิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ ถนน อาคาร ลานลาดแข็ง (4) ป่า ต้นไม้ใหญ่ (5) บ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำ เส้นทางน้ำ และ (6) ที่ลุ่ม พื้นที่ชุ่มน้ำ

4. ตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน โดยการคำนวณค่าความถูกต้อง และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาที่คำนวณได้ นำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าความถูกต้อง ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ

5. นำผลการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน มาเปรียบเทียบกับผลการสำรวจพื้นที่ภายใต้โครงการสนับสนุนการจัดลำดับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก 2019 และสรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เมื่อจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน (ดังภาพที่ 9) พบว่า ในพื้นที่เขตการศึกษาสวนสัก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประกอบด้วย สิ่งปกคลุมผิวดิน คือ สวน สวนหย่อม สนามหญ้า ลานดินเปิดโล่ง พื้นลาดแข็ง ถนน อาคาร ป่า ต้นไม้ใหญ่ บ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำ เส้นทางน้ำ ที่ลุ่ม และพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยสามารถจัดเป็น 6 กลุ่มตามคุณลักษณะของสิ่งปกคลุมผิวดิน ได้แก่ (1) สวน สวนหย่อม สนามหญ้า คิดเป็นร้อยละ 29.7 (2) ลานดินเปิดโล่ง คิดเป็นร้อยละ 6.4 (3) สิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ ถนน อาคาร พื้นหรือลานลาดแข็ง คิดเป็นร้อยละ 50.78 (4) ป่า ต้นไม้ใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 2.62 (5) แหล่งน้ำ บ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำ เส้นทางน้ำ คิดเป็นร้อยละ 2.54 และ (6) ที่ลุ่ม พื้นที่ชุ่มน้ำ คิดเป็นร้อยละ 7.96 (ดังตารางที่ 3) โดยมีสิ่งปกคลุมประเภทสิ่งปลูกสร้าง ประเภทถนน อาคาร และลานลาดแข็งมากที่สุด คิดเป็นพื้นที่ 1,040,800 ตารางเมตร รองลงมา คือ ประเภทสวน สวนหย่อม และสนามหญ้า คิดเป็นพื้นที่ 608,300 ตารางเมตร และมีพื้นที่โล่ง พื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นอันดับ 3 คิดเป็นพื้นที่ 163,200 ตารางเมตร ทำให้พื้นที่สวนสัก มีสภาพแวดล้อมร่มรื่น และอากาศค่อนข้างเย็นสบายกว่าพื้นที่อื่น ๆ โดยรอบมหาวิทยาลัย



ภาพที่ 7 แผนที่แสดงการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เขตการศึกษาสวนสัก
จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2562

ตารางที่ 3 สัดส่วนของสิ่งปกคลุมผิวดินจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8

สี	สิ่งปกคลุมผิวดิน	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (ร้อยละ)
	สวน สวนหย่อม สนามหญ้า	608,800.00	380.50	29.70
	ลานดินเปิดโล่ง	131,200.00	82.00	6.40
	สิ่งปลูกสร้าง (ถนน อาคาร ลานลาดแข็ง)	1,040,800.00	650.50	50.78
	ป่า ต้นไม้ใหญ่	53,600.00	33.50	2.62
	น้ำ (บ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำ เส้นทางน้ำ)	52,000.00	32.50	2.54
	ที่ลุ่ม พื้นที่ชุ่มน้ำ	163,200.00	102.00	7.96
	รวม	2,049,600.00	1,281.00	100.00

การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน

จากการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน ด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล พบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) คิดเป็นร้อยละ 83 ซึ่งอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วงร้อยละ 75 - 100) และมีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.74 ซึ่งอยู่ในระดับดี (อยู่ในช่วง 0.61 - 0.80) (ดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบความแม่นยำของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน

Class	น้ำ	ที่ลุ่ม พื้นที่ชุ่มน้ำ	ป่า ต้นไม้ใหญ่	สิ่งปลูกสร้าง	ลานดินเปิดโล่ง	สวน สนามหญ้า	Total
น้ำ	1	0	0	0	0	0	1
ที่ลุ่ม พื้นที่ชุ่มน้ำ	0	2	0	0	0	0	5
ป่า ต้นไม้ใหญ่	0	0	1	0	0	0	6
สิ่งปลูกสร้าง	0	0	0	53	0	0	54
ลานดินเปิดโล่ง	0	0	0	1	6	1	8
สวน สนามหญ้า	0	0	0	0	0	20	26
รวม	1	2	1	54	6	21	100
ค่าความถูกต้อง (overall Accuracy) ร้อยละ 83							
ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.74							

นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) ในแต่ละประเภทของการจำแนกอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วงร้อยละ 75 - 100) อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาค้างนี้ยังพบว่ามี การปะปนกันของกลุ่ม พื้นที่ชุ่มน้ำ ป่า ต้นไม้ใหญ่ สวน และสนามหญ้า ซึ่งแสดงให้เห็นจากค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy) ซึ่งมีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 75.05, 66.67 และ 76.92 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าความถูกต้องของผู้ผลิต และค่าความถูกต้องของผู้ใช้

Class	ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) (ร้อยละ)	ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ User's Accuracy (ร้อยละ)
น้ำ	100	100
ที่ลุ่ม พื้นที่ชุ่มน้ำ	100	75.05
ป่า ต้นไม้ใหญ่	100	66.67
สิ่งปลูกสร้าง	98.15	98.15
ลานดินเปิดโล่ง	100	75.00
สวน สนามหญ้า	95.24	76.92

การเปรียบเทียบผลการศึกษาและสรุปผลการศึกษา

เมื่อนำผลที่ได้จากการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน (ดังตารางที่ 4) มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่ศึกษา ภายใต้โครงการสนับสนุนการจัดลำดับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก พ.ศ. 2562 (ดังตารางที่ 1) ทำให้ได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 6

กล่าวคือ ปริมาณพื้นที่ของสิ่งปกคลุมผิวดินที่จำแนกด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยวิธีกำกับดูแลภายใต้ค่าความถูกต้องโดยรวม คิดเป็นร้อยละ 83 และสัมประสิทธิ์แคปปาในเกณฑ์ที่ดีที่ 0.74 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของปริมาณพื้นที่สิ่งปกคลุมผิวดินแต่ละประเภทค่อนข้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการลงสำรวจพื้นที่ศึกษา

นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของความคลาดเคลื่อนดังกล่าว จะพบว่ามีความสาเหตุมาจากความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ เนื่องจากมีความละเอียดไม่เพียงพอที่จะเห็นรายละเอียดของพื้นที่ได้ครบถ้วน โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก เช่น สวนหย่อมขนาดเล็ก เส้นทางน้ำมีขนาดเล็ก เป็นต้น

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน และข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่
พื้นที่ศึกษาโครงการสนับสนุนการจัดลำดับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก 2019

สิ่งปกคลุม ผิวดิน	การสำรวจพื้นที่ศึกษาโครงการสนับสนุนการ จัดลำดับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อจัดอันดับ มหาวิทยาลัยสีเขียวโลก พ.ศ. 2562 โดย Chindapol (2019)			การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินแบบกำกับดูแล		
	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (ร้อยละ)	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่ (ไร่)	พื้นที่ (ร้อยละ)
สนามหญ้า	116,827.20	73.02	5.70	608,800.00	380.50	29.70
สวน สวน หย่อม	184,464.00	115.29	9.00			
ลานดินเปิดโล่ง	969,460.80	605.91	47.30	131,200.00	82.00	6.40
สิ่งปลูกสร้าง (ถนน อาคาร ลานลาดแข็ง)				1,040,800.00	650.50	50.78
ป่า ต้นไม้ใหญ่	432,465.60	270.29	21.10	53,600.00	33.50	2.62
น้ำ (บ่อน้ำ อ่าง เก็บน้ำ เส้นทาง น้ำ)	346,382.40	216.49	16.90	52,000.00	32.50	2.54
ที่ลุ่ม พื้นที่ชุ่ม น้ำ	-	-	-	163,200.00	102.00	7.96
รวม	2,049,600.00	1,281.00	100	2,049,600.00	1,281.00	100.00

ข้อจำกัดของการศึกษา

การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินแบบกำกับดูแล มีข้อจำกัดสองประการหลัก ข้อจำกัดประการแรก คือ
เกณฑ์ที่แตกต่างกันในการแบ่งประเภทของการสำรวจข้อมูลสิ่งปกคลุมผิวดิน เนื่องจากเกณฑ์ในการแบ่ง
ประเภทตามการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก จะแบ่งประเภทของสิ่งปกคลุมผิวดินออกเป็น 5 ประเภท
ได้แก่ (1) พื้นที่ป่า (ต้นไม้ใหญ่) (2) สนามหญ้า (3) สวน สวนหย่อม (4) พื้นลาดแข็ง (ถนน อาคาร และพื้นดิน
เปิดโล่ง) และ (5) น้ำ (บ่อน้ำ อ่างเก็บน้ำ และเส้นทางน้ำ)

ในขณะที่เกณฑ์ในการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะแบ่งเกณฑ์ตามลักษณะของ สี ขนาด รูปร่าง เนื้อภาพ รูปแบบ ความสูงและเงา ที่ตั้ง ความเกี่ยวพัน รวมถึงลักษณะของสิ่งปกคลุมผิวดินที่สังเกตเห็นได้จากการประเมินภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา ส่งผลให้การเปรียบเทียบผลของการศึกษาทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงควรกำหนดเกณฑ์ของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินให้มีความใกล้เคียงกัน เพื่อให้ผลของการเปรียบเทียบผลการศึกษามีความชัดเจน และมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

ข้อจำกัดประการที่สอง คือ ความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้วิเคราะห์ เนื่องจากผู้ศึกษาเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจากแหล่งที่เปิดให้เข้าถึงข้อมูลได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ส่งผลให้ความละเอียดของข้อมูลไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการลงสำรวจพื้นที่ ถึงแม้ว่าค่าความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะอยู่ในเกณฑ์ที่สูง ดังนั้นจึงต้องอาศัยการนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ให้ค่าความละเอียดของภาพที่สูงมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการเข้าถึงข้อมูลตามไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

จากค่าความแม่นยำของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินด้วยวิธีกำกับดูแลในการศึกษาคั้งนี้ พบว่าสิ่งปกคลุมผิวดินที่เป็นแหล่งน้ำ มีค่าความถูกต้องของการจำแนกสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 100 ดังนั้นหากนำการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการลงสำรวจพื้นที่จริง โดยเฉพาะพื้นที่ขนาดใหญ่ที่เป็นแหล่งน้ำ นอกจากจะช่วยให้ข้อมูลทั้งหมดมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นแล้ว ยังเป็นการลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการลงสำรวจพื้นที่ได้อีกทางหนึ่งด้วย ทั้งนี้ ผู้ศึกษาควรเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดเหมาะสมกับพื้นที่ที่ต้องการศึกษา เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวิเคราะห์และการจำแนกมากที่สุด เช่น การเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงในการศึกษาพื้นที่ที่มีขนาดเล็กในระดับชุมชน หรือเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดต่ำลง เมื่อศึกษาพื้นที่ในระดับภูมิภาค เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง การศึกษานิเวศบริการของชีวมณฑลล้านนา กรณีศึกษา: แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ ภายใต้วิสัยทัศน์ของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน่วยงานพัฒนาเมืองสิ่งแวดล้อม และการขับเคลื่อนเชียงใหม่สู่เมืองมรดกโลก ประจำปีงบประมาณ 2563

เอกสารอ้างอิง

- Barnes, T.G. (2000). **Landscape ecology and ecosystems management**. Lexington KY: University of Kentucky.
- Barrett, G.W., & Bohlen, P.J. (1991). Landscape ecology. In Hudson, W. (Ed.). **Landscape linkage and biodiversity** (pp. 149–161). Washington, D.C.: Island Press.
- Chindapol, S. (2019). **Khrongkarn sanapsanun karn chat lamdap mahawitthayalai Chiang Mai phuea chat andap mahawitthayalai sikhiao lok 2019**. (In Thai) [Final sustainable report of Chiang Mai University for the UI green metric ranking 2019] Chiang Mai: Chiang Mai University.
- Forman, R.T.T. & Wilson, E.O. (1995). **Land mosaics**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Geo-Informatics Center for Thailand (GISTHAI). (1999). **Geographic Information System**. Retrieved November 7, 2019, from <http://www.gisthai.org/v2/index.php/resources/education/menu-learning-gis>
- GIS Geography. (2021). **Vector vs raster: what's the difference between GIS spatial data types?**. Retrieved November 7, 2019, from <https://gisgeography.com/spatial-data-types-vector-raster/>
- GISTDA. (2015). **Visual interpretation**. Retrieved November 7, 2019, from <https://www.gistda.or.th/main/th/node/997>
- Humboldt State University. (2017). **Raster to vector: conversion between data models**. Retrieved November 9, 2019, from http://gsp.humboldt.edu/olm_2017/Lessons/GIS/08Rasters/RasterToVector.html
- Landis, J.R.; & Koch, G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 33 (1), 159–174.
- Lisle, R.J. (2004). **Geological structures and maps a practical guide**. Oxford: Elsevier.
- Nikolli, P. (2010). Land cover classification in Albania. In Wagner W. & Székely, B. (Ed.). **Proceeding of International Conference on Spatial Data Infrastructures 2010** (pp. 412-416). Vienna: Vienna university of technology.
- Odum, E.P. (1971). **Fundamentals of ecology**. Philadelphia: W.B. Saunders co.

- Rattana, C. (2019). Botkwamwichakarn: karn plae phap dao tiem duay computer. (In Thai) [Academic article: satellite image classification using computer]. Retrieved January, 10, 2020, from <http://blog.bru.ac.th/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=10313>
- United States Geological Survey (USGS). (2020). **Satellite imagery of the study area.** Retrieved January, 10, 2020, from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Yodcharoen, S., et al. (2017). Karn chamnaek sing pokkholum din chak phapthai daoatham nai phuenthi lumnarn lam phachi duai withi decision tree. (In Thai) [Land cover classification from satellite images in lam pachi basin by decision tree method]. **Proceeding of the 18th TSAE National Conference and the 10th International Conference: TSAE 2017** (pp. 192–197). Bangkok: Thai societies of agricultural engineering.