

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประเมินโครงสร้างภูมิทัศน์เพื่อติดตามความเป็นพื้นที่สีเขียว อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ

ปรีช กองสมบัติ^{*}, อุทัยวรรณ ผิวพรรณ¹, สุระ พัฒนเกียรติ², จุฑาทิพย์ ศรีสุวรรณ¹ และพัชริษา กุลสุวรรณ¹

รับต้นฉบับ: 28 มีนาคม 2568

ฉบับแก้ไข: 20 พฤษภาคม 2568

รับลงพิมพ์: 22 พฤษภาคม 2568

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: การเปลี่ยนแปลงการกลายเป็นเมือง เป็นการเปลี่ยนโครงสร้างภูมิทัศน์กายภาพ และมนุษย์ภายในพื้นที่เพื่อสนองตอบการพัฒนาสังคมเศรษฐกิจ มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ภายในเมืองต่อที่ว่างเมืองที่ลดลง พร้อมกับความหลากหลายการใช้ที่ดินขยายตัวออกนอกเขตเมือง ที่ส่งผลต่อการลดลงของพื้นที่สีเขียวเมืองและชนบท การวิจัยมุ่งหวังประเมินการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างนิเวศภูมิทัศน์ในช่วงปี 2554-2565 ติดตามความหลากหลายของประเภทสิ่งปกคลุมดิน ด้วยแบบจำลองโมเสกภูมิทัศน์ และแบบจำลองความเข้มข้นกิจกรรมของมนุษย์ อธิบายโครงสร้างหลักและความต่อเนื่ององค์ประกอบภูมิทัศน์ ประกอบด้วยพื้นที่พัฒนา พื้นที่เกษตร พื้นที่ธรรมชาติ และพื้นที่ผสม เพื่อประเมินสถานการณ์ของความเป็นพื้นที่สีเขียว อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ

วิธีการ: ดำเนินการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เพื่อจำแนกพื้นที่สีเขียวและไม่ใช่พื้นที่สีเขียว บนฐานภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล-2เอ ร่วมกับดัชนีที่หลากหลาย ดัชนีความแตกต่างของ พืชพรรณ ดิน น้ำ และสิ่งปลูกสร้าง ด้วยวิธีการจำแนกแบบผสมผสาน ตรวจสอบประเมินความถูกต้องผลลัพธ์การจำแนกกับจุดทดสอบภาคสนาม ด้วยวิธีแบบเรียลไทม์ผ่านระบบนำทางด้วยดาวเทียม วิเคราะห์ด้วยตารางความคลาดเคลื่อนเพื่อประเมินค่าความถูกต้องโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีแคปปา กำหนดความเชื่อมั่นที่ระดับร้อยละ 80 ที่การยอมรับระดับมากขึ้นไป และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โครงสร้าง รูปแบบ และการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ เพื่อประเมินการกระจายตัว การจัดวางตัว การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ กับระดับความเข้มข้นกิจกรรมของมนุษย์ ด้วยหลักการทางนิเวศวิทยาภูมิทัศน์

ผลการศึกษา: พบว่า การจำแนกสิ่งปกคลุมดินอำเภอเมือง ปี 2565 มีค่าความถูกต้องโดยรวม เท่ากับ 80.21 ค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีแคปปา เท่ากับ 0.73 มีค่าสอดคล้องตรงกันเกือบสมบูรณ์ จำแนกเป็นพื้นที่เกษตรมากที่สุด ร้อยละ 60.46 รองลงมา คือ พื้นที่ป่าไม้ ดินว่างเปล่า เกษตรกรรมไม่ขึ้นต้น ชุมชนสิ่งปลูกสร้าง และน้ำ เท่ากับร้อยละ 8.59, 6.85, 4.72, 1.85 และ 0.66 ตามลำดับ สามารถบ่งชี้โครงสร้างภูมิทัศน์หลักอำเภอเมืองได้เป็นเมทริกซ์เกษตร มีการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2554-2565 เปลี่ยนแปลงลดลงในกลุ่มโมเสกภูมิทัศน์

ของพื้นที่เกษตรและธรรมชาติ มีสัดส่วนร้อยละ 72.93 และ 16.56 ลดเหลือ ร้อยละ 66.72 และ 12.63 ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มโมเสกภูมิทัศน์พื้นที่พัฒนา พื้นที่ผสมและน้ำ มีสัดส่วนร้อยละ 5.43, 3.23 และ 1.84 เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.93, 9.83 และ 1.89 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสุทธิในประเภทโมเสกมีการเปลี่ยนแปลงจากความเป็นเอกลักษณะ เปลี่ยนเป็นพื้นที่ที่มีการครอบงำและการมีอยู่ ทั้งในพื้นที่เกษตรเด่น พื้นที่ธรรมชาติเด่น พื้นที่พัฒนาเด่น ลดลง ร้อยละ 30.13, 5.76, 1.48 ตามลำดับ ถูกแทนที่ด้วยพื้นที่ผสมที่ได้รับอิทธิพลจากทั้งสามองค์ประกอบ สอดคล้องกับระดับความเข้มข้นกิจกรรมของมนุษย์ พบว่า พื้นที่ระดับความเข้มข้นสุดขีด เป็นพื้นที่บริเวณศูนย์กลางเมืองหนาแน่น ร้อยละ 4.17 เมื่อออกห่างจากเมือง เป็นรูปแบบเชิงเส้นและกระจาย เริ่มมีระดับความเข้มข้นลดลง เปลี่ยนเป็นภูมิทัศน์ด้านเกษตรเพิ่มขึ้น มีความเข้มข้นทั้งในระดับสูงมากและระดับสูง เท่ากับร้อยละ 6.10 และ 61.15 ตามลำดับ และพื้นที่เกษตรที่มีการพัฒนาประปราย จัดอยู่ในระดับความเข้มข้นปานกลาง ร้อยละ 13.59 และกลายเป็นพื้นที่ที่มีกิจกรรมในระดับความเข้มข้นต่ำและต่ำที่สุด กล่าวคือ กลายเป็นพื้นที่ธรรมชาติที่แทบไม่มีการรบกวนด้วยกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งเป็นพื้นที่ห่อหุ้มป่าธรรมชาติ ป่าชายฝั่งริมน้ำ ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ที่กระจายอยู่เขตเมืองและชุมชน เท่ากับร้อยละ 13.59 และ 8.03 ตามลำดับ

สรุป: ผลการศึกษาสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศบนฐานการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล ร่วมกับดัชนีที่หลากหลาย เพื่อนำไปใช้ในการประเมินสถานการณ์ความเป็นพื้นที่สีเขียวในเชิงปริมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ร่วมกับการประเมินโครงสร้างภูมิทัศน์ผ่านแบบจำลองโมเสกภูมิทัศน์และระดับความเข้มข้นของกิจกรรมมนุษย์ มาใช้เพื่ออธิบายการมีปฏิสัมพันธ์กันเชิงพื้นที่ ระหว่างองค์ประกอบความเป็นพื้นที่พัฒนา พื้นที่ธรรมชาติ พื้นที่เกษตร และพื้นที่ผสม เพื่อให้เห็นความเป็นเอกลักษณะ การถูกครอบงำ และการมีอยู่ แสดงถึงทิศทางและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภูมิทัศน์ที่ส่งผลกับสิ่งแวดล้อมเมืองและชุมชนในปัจจุบัน ในด้านของการสูญเสียพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ พื้นที่ว่าง หรือเพื่อใช้เป็นตัวแทนติดตามสถานการณ์การขยายตัวของเมืองที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ซับซ้อน ช่วยให้นักวางแผนมีสารสนเทศในการวางแผนอนุรักษ์จัดการพื้นที่เป้าหมายเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนได้ในอนาคต

คำสำคัญ : นิเวศวิทยาภูมิทัศน์, โมเสกภูมิทัศน์, ภูมิทัศน์เมือง, การเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดิน, เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

¹ สาขาการจัดการจัดการสังคมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตอำนาจเจริญ อำนาจเจริญ 37000

² คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170

* ผู้รับผิดชอบบทความ: E-mail: prat.kon@mahidol.edu

<https://doi.org/10.34044/tferj.2025.9.1.6261>

ORIGINAL ARTICLE

**Landscape Structure Changes Assessment to Monitor Green Spaces
in Mueang District, Amnatchaoen Province**Prat Kongsombut^{1*}, Uthaiwan Phewphan¹, Sura Pattanakiate², Chuthathip Srisuwan¹, and Patticha Kulsuwan¹

Received: 28 March 2025

Revised: 20 May 2025

Accepted: 22 May 2025

ABSTRACT

Background and Objectives: Urbanization refers to the change of both physical and human landscape structures within an area in response to socio-economic development. This transformation leads to a reduction in urban open spaces, alongside the expansion of diverse land uses into peri-urban areas, contributing to the decline of green spaces in both urban and rural environments. This research aims to assess the changes in landscape ecological structures during the period from 2011 to 2022 by monitoring the diversity of land cover types using the Landscape Mosaic (LM) model and the LM-Anthropic model to describe the main structures and continuity of landscape components, including developed areas, agricultural areas, natural areas, and mixed-use areas, in order to evaluate the condition of green spaces in Mueang District, Amnat Charoen Province.

Methodology: This study applies geo-information technology to classify green and non-green areas based on Sentinel-2A satellite imagery, in conjunction with various indices, including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Bare Soil Index (NDBSI), Normalized Difference Water Index (NDWI), and Normalized Difference Built-up Index (NDBI), using a hybrid classification method. The accuracy of the classification results was validated against ground truth points using real-time data collection via a Global Navigation Satellite System (GNSS). A confusion matrix was used to calculate overall classification accuracy and the Kappa coefficient, with the confidence level set at 80% and a minimum acceptance threshold of substantial agreement. The resulting data were further analyzed to examine landscape structure, patterns, and changes in order to assess spatial distribution, configuration, and component changes in relation to the intensity levels of human activities, following the principles of landscape ecology.

Main Results: The land cover classification results for Mueang Amnat Charoen District in 2022 revealed an overall accuracy of 80.21% and a Kappa coefficient of 0.73, indicating substantial agreement. Agricultural land was the most dominant category, accounting for 60.46% of the area, followed by forest, barren land, perennial crops, community and built-up areas, and water bodies, at 8.59%, 6.85%, 4.72%, 1.85%, and 0.66%, respectively. These results characterize Mueang District's core landscape structure as an agricultural matrix. Between 2011 and 2022, significant

landscape changes were observed. The proportions of agricultural and natural landscape mosaics declined from 72.93% and 16.56% to 66.72% and 12.63%, respectively. In contrast, developed, mixed-use, and water landscape mosaics increased from 5.43%, 3.23%, and 1.84% to 8.93%, 9.83%, and 1.89%, respectively. Net changes in mosaic types revealed a transformation from uniqueness toward areas of dominance and presence. Specifically, dominant agricultural, natural, and developed mosaic types declined by 30.13%, 5.76%, and 1.48%, respectively, and were replaced by mixed-use mosaics influenced by the convergence of all three components. This pattern corresponds with the intensity levels of human activities. Areas of extreme activity intensity were concentrated in dense urban cores, covering 4.17% of the district. Moving outward from the urban center, the spatial pattern took on linear and dispersed forms, with decreasing levels of intensity and an increase in agricultural landscapes. Areas with very high and high levels of activity intensity accounted for 6.10% and 61.15%, respectively. Sparsely developed agricultural zones were categorized as moderate-intensity areas, comprising 13.59%. Low and very low-intensity areas—primarily undisturbed natural areas such as small and large forest patches and riparian woodlands—were scattered across urban and peri-urban areas, comprising 13.59% and 8.03% of the total area, respectively.

Conclusion: This study demonstrates the effective application of geo-information technology for quantitatively assessing green space conditions through Sentinel satellite imagery classification, integrated with multiple indices. The approach is further enhanced by incorporating landscape mosaic modeling and human activity intensity analysis to evaluate landscape structure. These models support spatial interpretation of interactions among developed urban areas, natural green spaces, agricultural land, and mixed-use areas—revealing patterns of uniqueness, dominance, and presence. The results highlight the directions and trends of landscape structural change, which potentially affect urban and community environments, particularly the loss of natural green space and open areas, and the ongoing expansion of urban zones characterized by increasingly complex land use. It offers essential spatial information to support planners in conserving and managing target areas for long-term sustainable environmental development.

Keywords: Landscape ecology, landscape mosaic, urban landscape, land cover change, Geo-information technology

¹ Innovation for Social and Environmental Management, Mahidol University-Amnatcharoen Campus, Amnatcharoen 37000, Thailand

² Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom 73170, Thailand

* **Corresponding author:** E-mail: prat.kon@mahidol.edu

<https://doi.org/10.34044/tferj.2025.9.1.6261>

คำนำ (Introduction)

นิเวศวิทยาภูมิทัศน์ (Landscape ecology) เป็นการศึกษาโครงสร้างภูมิทัศน์ทางพื้นที่ที่มีความหลากหลาย ต่อความเข้าใจในกระบวนการทางนิเวศวิทยาที่ปรากฏในภูมิทัศน์ภาพรวม (Forman & Godron, 1986) มีบทบาทสำคัญเพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างเชิงปริภูมิ หรือรูปแบบการจัดเรียงตัวกันขององค์ประกอบต่างๆ ทางนิเวศวิทยาที่ปรากฏในภูมิทัศน์ ประกอบด้วย ห่อม เส้นทางเชื่อม และเมทริกซ์ ของพื้นที่สังคมสิ่งมีชีวิต ผ่านมุมมองเชิงโครงสร้าง บทบาท การเปลี่ยนแปลง และความหลากหลายของช่วงเวลาในระบบภูมิทัศน์ (McGarigal & Mark, 1995; Thaitakoo, 2005) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ถือเป็นรูปแบบและสาเหตุหลักอย่างหนึ่ง ต่อปฏิสัมพันธ์ภาพรวมทางภูมิทัศน์ จากการเปลี่ยนแปลงที่เป็นพลวัต เกิดจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ เป็นผืนกิจกรรมที่มีความหลากหลายทั้งในรูปแบบของ ประเภทที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม สาธารณูปโภค พื้นที่สีเขียว และอื่น ๆ โดยภาคเกษตรกรรมและการพัฒนาเมือง ถือเป็นกิจกรรมหลักที่เป็นเอกลักษณ์ของมนุษย์ พลวัตดังกล่าวนี้สามารถสังเกตเห็นได้เชิงประจักษ์ในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Wilcox & Murphy, 1985; Kutintara, 2012) ในสังคมไทยมีการเปลี่ยนแปลง เริ่มจากการพัฒนาชุมชนสังคมพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน สิ่งอำนวยความสะดวก การเพิ่มขึ้นที่อยู่อาศัย การย้ายถิ่นฐาน และการอพยพเข้าสู่เมือง จนเกิดการพัฒนากลายเป็นเมือง

และได้ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางชีวภาพกายภาพที่ต่อเนื่องของพื้นที่ อาทิ การเปลี่ยนแปลงระบบเครือข่ายลำน้ำ พื้นที่ป่า พื้นที่ราบลุ่มขนาดใหญ่ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์พื้นที่ (Khwanart & Thinphangnga, 2013) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงยังส่งผลต่อการลดลงของพื้นที่สีเขียวและป่าไม้ของประเทศไทย แต่เดิมประเทศไทยมีพื้นที่ป่าไม้มากถึงร้อยละ 70 (Baimai, 2007) ปัจจุบันลดลงเหลืออยู่เพียงร้อยละ 31.57 โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ป่าเหลือน้อยที่สุด ร้อยละ 14.89 (Royal Forest Department, 2022) ถึงแม้ว่านโยบายของประเทศไทยมีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวทั้งในและนอกเขตอนุรักษ์ให้เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 40 แต่พบว่า พื้นที่ป่าไม้ ยังคงมีแนวโน้มลดลง และเกิดการแตกกระจายเป็นหย่อม ทำให้ป่าไม้ที่เคยเป็นผืนขนาดใหญ่ พบหลงเหลือเพียงเฉพาะในเขตอนุรักษ์ที่ได้รับการปกป้องตามนโยบาย และตามพื้นที่ต้นน้ำประเทศ (Tangkitngamwong, 2012) ในขณะที่นอกเขตอนุรักษ์ เขตเมือง และชุมชน ยังประสบกับปัญหาด้านความต้องการใช้ที่ดินที่เพิ่มมากขึ้น ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงและเกิดการขยายตัวที่ส่งผลต่อการลดลงของพื้นที่สีเขียวเมืองและชุมชนโดยตรง

การศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความหลากหลาย ปัจจุบันสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เพื่อใช้ในการศึกษา ติดตาม รายงานสถานการณ์ ไปจนถึงการใช้แบบจำลองเพื่อประเมินและคาดการณ์ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เกิดขึ้นในอนาคต (GISTDA, 2009) อีกทั้ง

เทคโนโลยีดาวเทียมเพื่อการสำรวจได้มีการพัฒนา ดาวเทียมและระบบเซนเซอร์ที่ให้คุณสมบัติทั้งใน ส่วนของความละเอียด เชิงพื้นที่ เชิงสเปกตรัม เชิง รัศมี และเชิงช่วงเวลา สามารถแสดงสารสนเทศสิ่ง ปกคลุมดินที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ผู้ใช้ทำความเข้าใจและตีความสิ่งปกคลุมดินในช่วงเวลาได้อย่าง รวดเร็ว (Radeloff *et al.*, 2023) มีการนำภาพ ดาวเทียมไปใช้เพื่อการวิจัยพัฒนาผลของการ จำแนกให้ได้ข้อมูลที่ต้องการมากขึ้น ตั้งแต่การใช้ เทคนิคการจำแนกด้วยระบบคอมพิวเตอร์ วิธีการไม่ กำกับดูแล เพื่อจัดกลุ่มค่าสถิติการสะท้อนช่วงคลื่น หรือเชิงสเปกตรัม อาทิ วิธีการจับกลุ่มข้อมูล: วิธีการ K-means, วิธีการ ISODATA, วิธีการ วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ร่วมกับวิธีการ แบบกำกับดูแล ผ่านการคัดเลือกกลุ่มตัวแทนพื้นที่ จริงใช้เป็นตัวแทนค่าสถิติการสะท้อนช่วงคลื่น กำกับในการวิเคราะห์ อาทิ วิธีการ Parallepiped, Minimum distance to mean, Maximum likelihood และ Support Vector Machine (Shahi *et al.*, 2022) ไปจนถึงการประยุกต์อัลกอริทึมเพื่อปรับปรุงการ จำแนก การทำสัดส่วนภาพตามคุณสมบัติการ สะท้อน เพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะทาง (Lu & Weng, 2007) มีงานวิจัยที่ได้นำสารสนเทศสิ่งปกคลุมดินมา วิเคราะห์ร่วมกับหลักการนิเวศภูมิทัศน์เพื่ออธิบาย สถานการณ์ การคงอยู่ การลดลง เป็นกรอบทำความเข้าใจโครงสร้าง บทบาท และรูปแบบภูมิทัศน์เมือง กับพื้นที่สีเขียว ช่วยให้นักวางแผนและออกแบบพื้นที่ เห็นถึงการมีอยู่ของทุนพื้นที่ธรรมชาติ ที่เป็นทั้ง แหล่งบริการนิเวศวิทยา ถิ่นอาศัยสังคมสิ่งมีชีวิต

พื้นที่ความหลากหลายทางชีวภาพ ต้องประกอบ ด้มนุสรสร้างขึ้น ทั้งในส่วนองพื้นที่เมือง อาคาร พื้นดาดแข็ง ที่มีความต่อเนื่องกลมกลืนระหว่างกัน คล้ายแผ่นโมเสค (Mosaic) (Thaitakoo *et al.*, 2018) และความเข้าใจองค้ประกอบดังกล่าว ยังนำไปสู่ แนวทางการศึกษา การวิเคราะห์ การอนุรักษ์และ จัดการทางพื้นที่อย่างยั่งยืน ทั้งในระดับพื้นที่ขนาด ใหญ่ไปจนถึงระดับพื้นที่ขนาดเล็ก (Hanpachern, 2011; Kongsombut *et al.*, 2024)

ในการวิจัยนี้ได้เห็นความสำคัญของการนำ หลักการนิเวศวิทยภูมิทัศน์ (Forman & Godron, 1986) และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิ สารสนเทศ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างภูมิทัศน์พื้นที่สีเขียวเมือง ผ่านแบบจำลองโมเสคภูมิทัศน์ (Landscape mosaic) (Vogt *et al.*, 2024) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ช่วยให้เกิด ความเข้าใจ ผ่านองค์ประกอบรูปแบบสิ่งปกคลุมดิน ที่หลากหลายของประเทศ (Land Development Department, 2022) จัดกลุ่มให้อยู่ในรูปแบบการ เปลี่ยนแปลงของสัดส่วนสัมพันธ์ที่ปรากฏของ พื้นที่ ระหว่างพื้นที่พัฒนา พื้นที่เกษตร พื้นที่ ธรรมชาติ และพื้นที่ผสม (Riitters *et al.*, 2009; Riitters *et al.*, 2020) ในอำเภอเมืองอำนาจเจริญ ช่วงระหว่างปี 2554 - 2565 เนื่องด้วยอำเภอเป็น พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลของศูนย์กลางโครงข่าย ที่มี เป้าหมายการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การคมนาคม โลจิสติกส์ สิ่งอำนวยความสะดวกทางการค้า การเชื่อมโยงการท่องเที่ยว และพัฒนาบริการเพื่อ หนุนเสริมการค้า การบริการ การลงทุน หรือการ

ขยายตัวทางสังคมเศรษฐกิจ (National Statistical Office, 2022) ด้วยสมมติฐานของการพัฒนาโครงสร้างภูมิทัศน์เมืองกับระดับกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดขึ้นที่สะท้อนการเปลี่ยนแปลงเชิงสัมพันธ์กับความเป็นพื้นที่สีเขียวและที่ว่างเมืองที่อาจมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมทั้งการศึกษาดังกล่าว สามารถนำมาใช้ติดตามการขยายตัวของเมือง พื้นที่ชนเมือง พื้นที่ท้องถื่น ตลอดจนสนับสนุนแนวทางและการจัดทำนโยบายเพื่อการจัดการและอนุรักษ์พื้นที่สีเขียวธรรมชาติของประเทศไทยได้อย่างยั่งยืนในระยะยาว

อุปกรณ์และวิธีการ (Material and Methods)

1. สถานที่ศึกษา (Study area)

อำเภอเมืองอำนาจเจริญ ตั้งอยู่ระหว่างเส้น

ละติจูดที่ 15-16 องศา 30 ลิปดาเหนือ และเส้นลองจิจูดที่ 104-105 องศา 15 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่เท่ากับ 910.05 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 27.64 ของพื้นที่จังหวัด มีอาณาเขตทิศเหนือติดกับอำเภอเสนางคนิคม ทิศตะวันออก ติดกับ อำเภอปทุมราชวงศา ทิศใต้ ติดกับ อำเภอพนา และ อำเภอหัวตะพาน จังหวัดอำนาจเจริญ และทิศตะวันตก ติดกับ อำเภอป่าดัว และ อำเภอไทยเจริญ จังหวัดยโสธร (Figure 1) ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าเมืองร้อน มีลักษณะดินทั่วไปเป็นดินร่วนปนทรายและดินลูกรังบางส่วน อำเภอเมืองมีประชากรทั้งสิ้น 65,018 คน คิดเป็นร้อยละ 34.75 เป็นอำเภอที่มีประชากรมากที่สุดของจังหวัด (National Statistical Office, 2022)

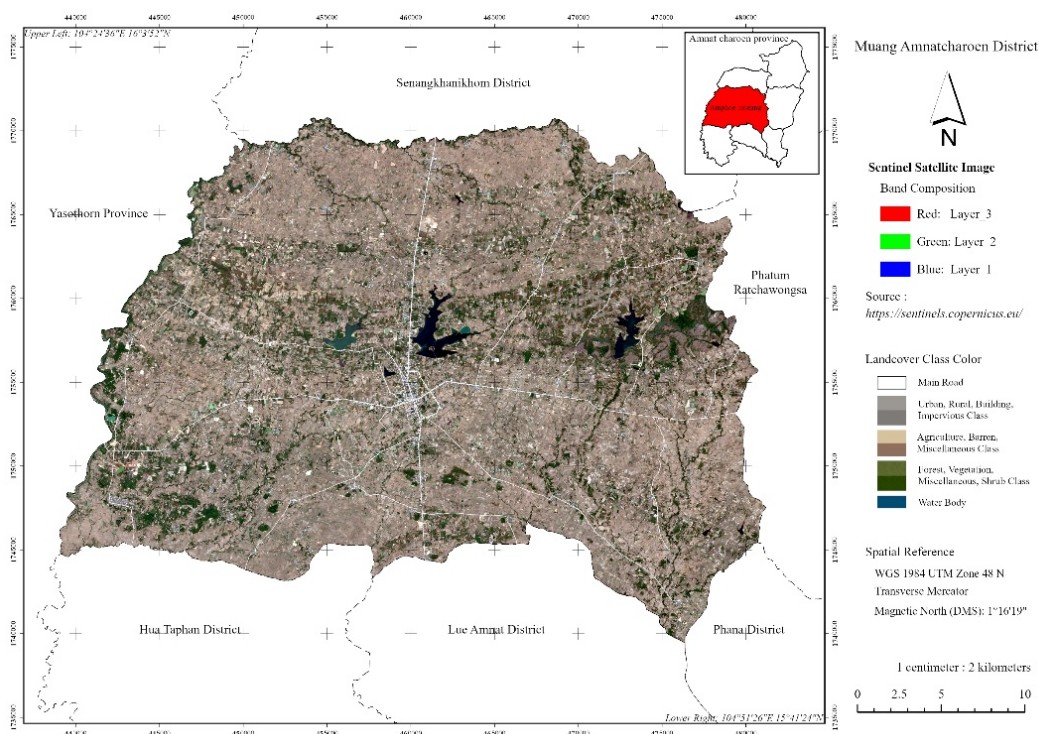


Figure 1 Sentinel satellite imagery of the study area in Mueang District, Amnat Charoen Province.

1. การเก็บข้อมูล (Data collection)

1.1 ดำเนินการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ และซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ บนฐานการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A ร่วมกับข้อมูลเขตการปกครอง การใช้ที่ดิน พื้นที่น้ำ พื้นที่ป่าไม้ ที่อยู่ในรูปแบบทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแผนที่ฐาน ได้แก่ แผนที่

ภูมิประเทศ และภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง (Esri, Maxar, USDA, USGS, GeoEye, Getmapping, AeroGRID, IGN, IGP, UPR-EGP, and the GIS user community) และเครื่องระบุตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS handheld) ที่เชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนดังแสดงในแผนภาพ (Figure 2)

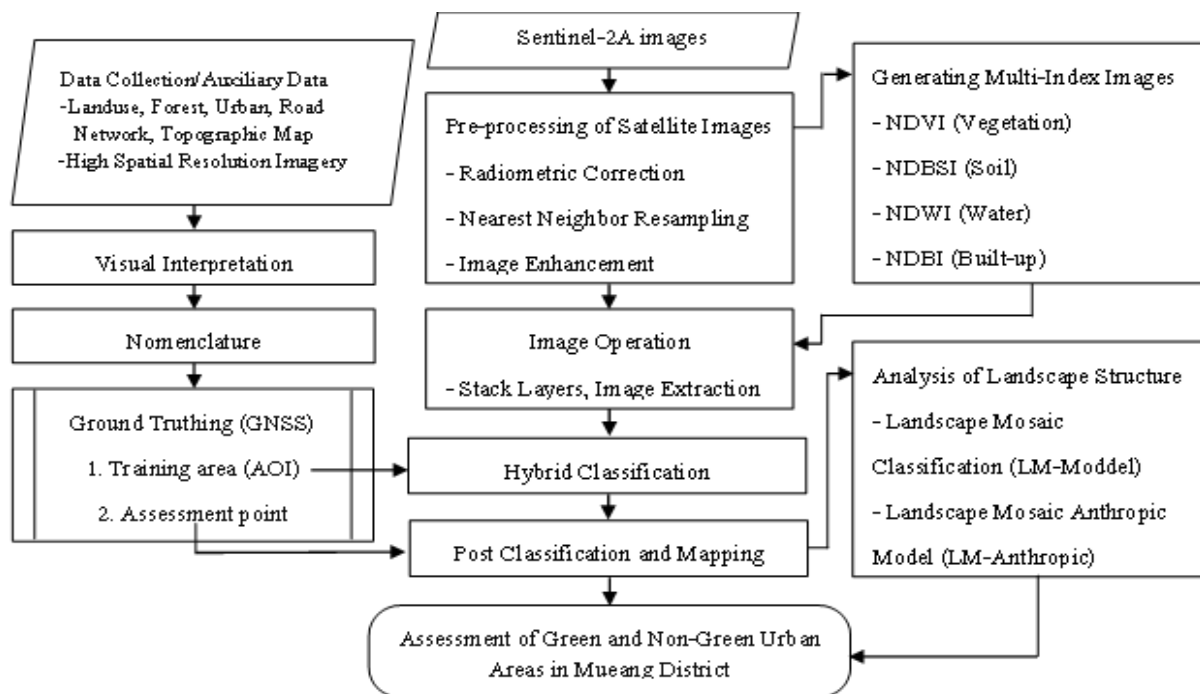


Figure2 Overall methodology workflow

1.2 การเตรียมภาพก่อนการประมวลผล ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2A ปราศจากเมฆ บันทึกข้อมูลในเดือนมีนาคม 2565 ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ก่อนการวิเคราะห์ จากแหล่งข้อมูล The Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.-copernicus.eu>) นำภาพมาปรับปรุงรายละเอียดพื้นที่ ด้วยวิธีการ Nearest Neighbor ให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตรในทุกแบนด์ และรวมข้อมูลแต่ละแบนด์

ด้วย วิธี Stack Layer พร้อมตรวจสอบคุณภาพข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ฮิสโตแกรม (Histogram Analysis) ก่อนที่จะนำภาพไปทำสัดส่วนภาพหลายดัชนี ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณ (NDVI), ดัชนีดิน (BSI), ดัชนีน้ำ (NDWI) และดัชนีสิ่งปลูกสร้าง (NDBI) (Table 1) เพื่อเพิ่มช่วงค่าดัชนี ในการจำแนกข้อมูลความเป็นพื้นที่สีเขียวและไม่ใช้สีเขียว จากนั้นตัดข้อมูลภาพ (Image extraction) ให้อยู่ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา

Table 1 Remotely sensed indices for Sentinel satellite image classification

Index	Formular	Source
Normalized Different Vegetation Index: NDVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	Rouse <i>et al.</i> , 1974
Bare Soil Index: BSI	$\frac{(SWIR+R) - (NIR+B)}{(SWIR+R) + (NIR+B)}$	Rikimaru <i>et al.</i> , 2002
Normalized Different Water Index: NDWI	$\frac{GREEN-NIR}{GREEN+NIR}$	McFEETERS, 1996
Normalized Different Built-up Index: NDBI	$\frac{SWIR-NIR}{SWIR+NIR}$	Zha <i>et al.</i> , 2003

1.3 ดำเนินการสำรวจข้อมูลภาคสนาม (Field data collection) โคนทำการกำหนดประเภทข้อมูล (Nomenclature) จากการปรับปรุงระบบประเภทข้อมูลการใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินเป็นมาตรฐาน (Land Development Department, 2022) จัดกลุ่มสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 7 ประเภท คือ พื้นที่เกษตร พื้นที่ดินว่างเปล่า พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เบ็ดเตล็ด พื้นที่เกษตรไม้ยืนต้น พื้นที่แหล่งน้ำ เป็นตัวแทนสิ่งปกคลุมดิน เพื่อให้สอดคล้องกับการจำแนกและการประเมินการเปลี่ยนแปลงด้วยแบบจำลองโมเสกภูมิทัศน์

1.4 การสำรวจข้อมูลภาคสนาม (Ground truth) เน้นการสำรวจพื้นที่ด้วยวิธีแบบเรียลไทม์ (Real-time tracking) สุ่มตรวจในพื้นที่ประเภทสิ่งปกคลุมดิน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงกับช่วงเวลาของการบันทึกภาพดาวเทียม การสำรวจได้นำข้อมูลดาวเทียมเชื่อมต่อกับระบบนำทางสัญญาณดาวเทียม (GNSS) เพื่อระบุตำแหน่งสิ่งปกคลุมดินตามการกำหนดประเภทข้อมูล ซึ่งแบ่งการสำรวจ

ข้อมูลภาคสนามออกเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) ข้อมูลตัวแทนพื้นที่ (Training Area) สุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง ด้วยการคัดเลือกจากการแปลตีความภาพดาวเทียมรายละเอียดสูงในเบื้องต้นพิจารณาจากองค์ประกอบความเป็นผืนและเนื้อเดียวกันทางพื้นที่ พร้อมลงภาคสนามบันทึกข้อมูลจำนวนประเภทละ 10 ตำแหน่ง/พื้นที่ (หนึ่งตำแหน่งแทนรายละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร ที่ขนาด 3 x 3 ตารางกริด) และ 2) ข้อมูลตรวจสอบความถูกต้องภายหลังการจำแนก (Accuracy Assessment) จำนวนทั้งหมด 485 จุดตรวจสอบที่กระจายครอบคลุมทั่วพื้นที่อำเภอเมือง

2. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis)

2.1 การจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน (Land cover classification)

1) การจำแนกข้อมูลแบบผสมผสาน (Hybrid classification) โดยจำแนกสิ่งปกคลุมดินเบื้องต้น ด้วยการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised) วิธี ISODATA clustering algorithm

และนำผลไปจำแนกระดับย่อยร่วมกับข้อมูลตัวแทนพื้นที่ (Training area) ด้วยการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised) วิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) ด้วยตัวกรองฟังก์ชันฐานรัศมี (Radial basis function) กำหนดค่าจำนวนตัวอย่างสูงสุดต่อประเภทในการจำแนกเท่ากับ 800 เมื่อจำแนกเสร็จสิ้น ทำการนำภาพผลลัพธ์มาปรับแก้ด้วยการแปลตีความด้วยสายตาเพื่อตรวจสอบข้อมูลให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2) การปรับแก้ข้อมูลและประเมินผลการจำแนกภาพ (Post-classification and accuracy assessment) ทำการปรับปรุงผลลัพธ์การจำแนกและนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกร่วมกับผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม (Accuracy assessment) เพื่อหาระดับความถูกต้องที่สามารถยอมรับได้ โดยทั่วไปอยู่ที่ร้อยละ 80 (Pattanakit, 2003) และคำนวณค่าดัชนีแคปปา (Kappa Index) (Cohen, 1968) โดยจัดทำตารางวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Confusion matrix) (Story & Congalton, 1986)

2.2 การจำแนกและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภูมิทัศน์ด้วยแบบจำลอง Landscape Mosaic Model

ทำการจำแนกบนฐานข้อมูลการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2554 (Land Development Department, 2011) และผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินปี 2565 ผ่านแบบจำลอง Landscape mosaic model (Wickham & Norton, 1994; Vogt & Riitters, 2017) วิเคราะห์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ผ่านขอบเขตหน้าต่างเคลื่อนที่ (Moving window) กำหนดตารางกริด 9 x 9 ช่อง ขนาดจุดภาพ 10 ตารางเมตร คำนวณจุดทดสอบในทุก ๆ จุดภาพกับจุดภาพโดยรอบตารางพิกเซล เพื่อคำนวณสัดส่วนที่ปรากฏในขอบเขตหน้าต่างเคลื่อนที่ แสดงความเป็นสัดส่วนของพื้นที่ธรรมชาติ (N) พื้นที่เกษตร (A) พื้นที่พัฒนาแล้ว (D) และพื้นที่ผสม (M) ด้วยค่าสัดส่วนผสม มีช่วงค่า 0.0-1.0 (ร้อยละ 0-100) ภายในแผนภูมิสามเหลี่ยม (Figure 3 and Table 2) (Vogt *et al.*, 2024) โดยมีรายละเอียดดังนี้

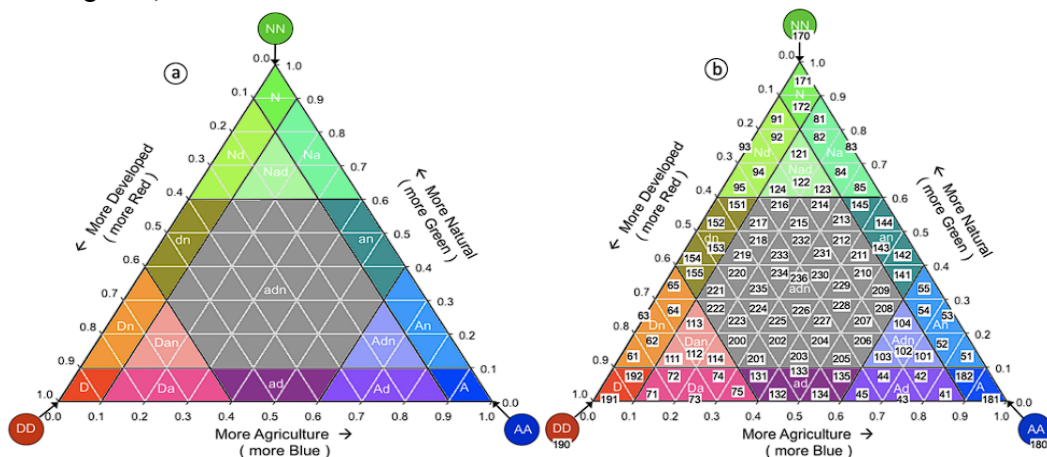


Figure 3 Legend for the original 19-typology and number codes are landscape structure in Mueang District

Source : Vogt *et al.*, (2024)

โมเสคประเภทการมีอยู่ (Presence) แสดงการมีอยู่ของสิ่งปกคลุมในระดับเบาบางและเพิ่มขึ้นตามลำดับ ช่วงค่า 0.1 แต่น้อยกว่า 0.6 (ร้อยละ 10-59) ระบุประเภทด้วยอักษรพิมพ์เล็ก (n, a, d, m)

โมเสคประเภทการครอบงำ (Dominance) แสดงถึงการครอบงำของสิ่งปกคลumnั้น หรือมีพื้นที่ปรากฏในระดับที่เข้าใจได้ว่าเป็นโครงสร้างหลัก ช่วงค่าเท่ากับ 0.6 แต่น้อยกว่า 1.0 (ร้อยละ 10-99)

โดยระบุประเภทด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ (N, A, D)

โมเสคประเภทความเป็นเอกลักษณ์ (Uniqueness) แสดงถึงการถูกรอบคลุมโดยประเภทสิ่งปกคลุมดินนั้น ๆ เพียงชนิดเดียว เป็นโครงสร้างหลักที่ไม่มีการผสมของสัดส่วนภูมิทัศน์ใด ๆ ช่วงค่าเท่ากับ 1.0 หรือมีพื้นที่ปรากฏร้อยละ 100 ระบุประเภทด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่คู่กัน (NN, AA, DD)

Table 2 Typology of Landscape Structure in Landscape Mosaic Model

Major Landscape	Symbology	Description	Percent		
			N%	A%	D%
Natural-Dominated	N	Natural core	90-99	1-9	0
Mosaics	Na	Natural with sparse agriculture	70-89	10-25	<10-20
(NN Class)	Nad	Natural with mixed influence	60-70	15-25	10-20
>99-100%	Nd	Natural with development	60-70	<10	20-30
Agriculture-	A	Agriculture core	25-35	50-60	15-25
Dominated Mosaics	An	Agriculture with sparse natural	50-60	30-40	<20
(AA Class)	Ad	Agriculture with sparse development	20-30	50-60	20-30
>99-100%	Aad	Agriculture with mixed influence	10-20	60-70	20-30
Developed-	D	Developed core	10-20	<10	>70
Dominated Mosaics	Dn	Developed with sparse natural	20-30	10-20	50-60
(DD Class)	Dan	Developed with mixed influence	20-30	20-30	40-50
>99-100%	Da	Developed with sparse agriculture	<15	30-40	>50
Mixed Mosaics	an	Mixed agriculture and natural	<10	30-50	40-60
	nd	Mixed natural and developed	40	30	30
	ad	Mixed agriculture and developed	30	30	40
	and	Equally mixed	30-50	25-45	20-45

ดำเนินการประมวลผลภาพแล้วเสร็จ พร้อมระบุประเภทสัดส่วนที่ปรากฏตามโครงสร้างภูมิ

ทัศน์ทั้งหมด 19 ประเภท ตามรหัสตัวเลขที่ใช้แทนประเภทบนแผนภาพโมเสค เป็นกรอบในการ

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภูมิทัศน์อำเภอเมือง ในช่วงระหว่างปี 2554-2565

2.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นกิจกรรมของมนุษย์ด้วยแบบจำลอง LM-anthropic model

วิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของกิจกรรมมนุษย์ที่เกิดจากภาคเกษตรและการพัฒนาเมืองเป็นแบบจำลองที่ได้มีการทบทวนผ่านแบบจำลองโมเสกภูมิทัศน์ (Vogt *et al.*, 2024) โดยกำหนดค่า

ความเข้มข้นบนมาตราส่วนเชิงเส้น ตั้งแต่ 0% (NN: LM Value 170) จนถึง 100% (DD: LM Value 190) ผ่านกระบวนการประมาณค่าระหว่างเส้นค่าคงที่ (Iso-line Interpolation) (Figure 4) เพื่อแปลงข้อมูลโมเสกภูมิทัศน์เป็นระดับความเข้มข้นต่อเนื่อง พร้อมจำแนกรูปแบบการขยายตัวกิจกรรมของมนุษย์ แบ่งออกเป็น 6 ระดับ เพื่อใช้ประเมินระดับความเข้มข้นกิจกรรมภายในอำเภอเมืองอำนาจเจริญ

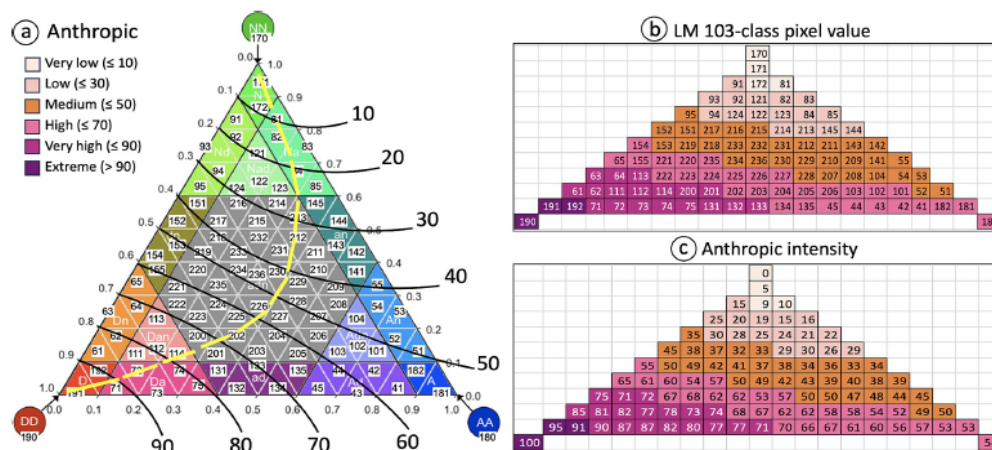


Figure 4 Degree of anthropic intensity associated landscape mosaic and respective anthropic intensity value

Source : Vogt *et al.*, (2024)

ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

1. ผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินอำเภอเมืองอำนาจเจริญ ปี พ.ศ. 2565

การจำแนกข้อมูลภาพ Sentinel-2A วิธี Hybrid classification จากการสุ่มตรวจในพื้นที่สิ่งปกคลุมดิน จำนวน 485 แห่ง พบว่าผลการจำแนกให้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ร้อยละ 80.21 และค่าสัมประสิทธิ์ดัชนีแคปปาเท่ากับ 0.73 หรือสอดคล้องตรงกันเกือบสมบูรณ์ (Almost perfect agreement) (Landis & Koch, 1977)

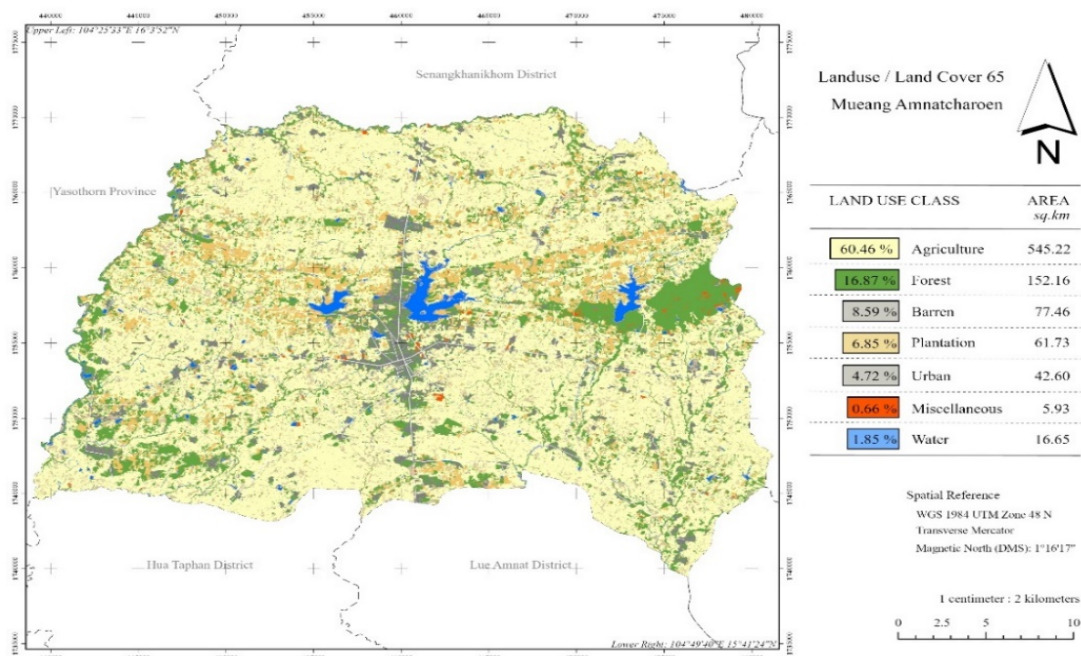
และให้ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy: UA) เท่ากับ 81.10 และค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy: PA) เท่ากับ 81.73 โดยพบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีพื้นที่มากที่สุด (545.22 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 60.46) รองลงมาเป็น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ดินว่างเปล่า พื้นที่เกษตรกรรมไม่ยืนต้น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่น้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีพื้นที่เท่ากับ 77.46, 61.73, 42.6, 16.65 และ 5.93 ตร.กม. ตามลำดับ (ร้อยละ 8.59, 6.85, 4.72, 1.85 และ 0.66 ตามลำดับ) (Table 3 and Figure 5)

Table 3 Matrix table comparing satellite image interpretation results with ground truth data.

Table Matrix		Result of Hybrid Classification							
		F*	A*	M*	U*	W*	T*	UA (%)*	EO (%)*
Ground Truth Data	F*	128	20	2	1	-	151	84.77	15.23
	A*	4	140	2	4	-	150	93.33	6.67
	M*	2	19	47	24	-	95	49.47	50.53
	U*	-	2	13	53	-	68	77.94	22.06
	W*	-	-	-	-	21	21	100	0
	T*	134	181	64	85	100	485		
	PA (%)*	95.52	77.35	73.44	62.35	100			
	EO (%)*	4.48	22.65	26.56	37.65	0			
● Overall Accuracy) 80.21 %					● Kappa Index 0.73				

Remark: *Forest (F), Agriculture (A), Misselaneous (M), Urban and Built-up (U), Water (W), Total (T)

Producer's Accuracy (PA%), Error of Producer's (EO%), User's Accuracy (UA%), Error of User's (EO%)

**Figure 5** Land use and land cover in 2022 of Mueang District, Amnat Charoen Province.

ผลการจำแนกภาพเซนติเนล ที่เป็นดาวเทียมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจและติดตามพื้นที่เกษตร พืชพรรณ และป่าไม้ ด้วยรายละเอียด

ช่วงค่าการสะท้อนที่หลากหลายและรายละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร พร้อมประยุกต์ใช้ดัชนีที่หลากหลายร่วมในการวิจัย ให้ค่าความถูกต้องโดยรวมอยู่ใน

ระดับยอมรับที่มาก ในประเภทวัตถุพื้นดินน้ำ ป่าไม้ เกษตร เบ็ดเตล็ด สิ่งปลูกสร้าง มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (PA%) ร้อยละ 100, 95.52, 77.35, 73.44 และ 62.35 และค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (UA%) พื้นที่น้ำ เกษตร ป่าไม้ สิ่งปลูกสร้าง เบ็ดเตล็ด เท่ากับร้อยละ 100, 93.33, 84.77, 77.94 และ 49.47 ซึ่งจัดอยู่ในระดับสูง มากกว่าร้อยละ 80 ระดับปานกลาง ร้อยละ 70-80 (Foody, 2002) ให้ผลใกล้เคียงกับการจำแนกด้วยวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนของงานวิจัย Osgouei *et al.* (2019) ในประเภทพื้นที่ป่าไม้ เกษตร/ดินว่างเปล่า และสิ่งปลูกสร้าง และ Prasomsup *et al.* (2021) ในประเภทป่าไม้ และ เกษตร และกรณีศึกษาการจำแนกความเป็นเมือง (Buathongkhue *et al.*, 2022) ทั้งนี้งานวิจัย พื้นที่เกษตร พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีความหลากหลายของประเภทในระดับย่อย ทำให้มีความความถูกต้องอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พบว่ามีกร

ผสมของจุดภาพระหว่างค่าการสะท้อนแสง พื้นที่ดินว่างเปล่าและลานหินแข็ง ทำให้ระดับความถูกต้องมีผลโดยตรงของจุดผสมเหล่านี้สูงตามไปด้วย ซึ่งการจำแนกควรคำนึงองค์ประกอบภูมิทัศน์สิ่งแวดล้อมเฉพาะถิ่นในพื้นที่มาพิจารณาด้วย และใช้เทคนิคเฉพาะทาง (Lu & Weng, 2007) อาทิ การคัดเลือกวัตถุผสมออกจากภาพก่อนวิเคราะห์ การใช้เทคนิคจำแนกเชิงสเปกตรัม การจำแนกเชิงวัตถุ และการจำแนกแบบเรียนรู้เชิงลึก

2. ผลการจำแนกโครงสร้างและรูปแบบภูมิทัศน์

โครงสร้างภูมิทัศน์อำเภอเมือง ปี พ.ศ. 2565 พบว่า ส่วนใหญ่เป็นภูมิทัศน์เกษตรกรรม (ร้อยละ 66.72) รองลงมา ได้แก่ ภูมิทัศน์ธรรมชาติ ภูมิทัศน์แบบผสม และภูมิทัศน์พัฒนาแล้ว (ร้อยละ 12.63, 9.83 และ 8.92 ตามลำดับ) โดยองค์ประกอบของแต่ละโครงสร้างภูมิทัศน์ (Figure 6) มีรายละเอียดคือ

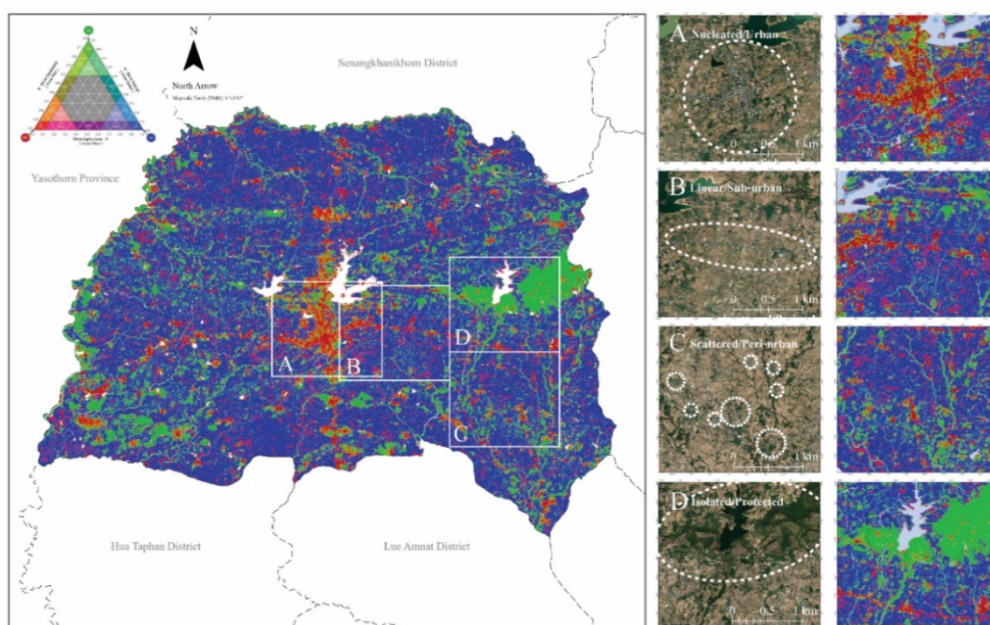


Figure 6 Landscape structure in 2022 of Mueang District, Amnatcharoen Province.

ภูมิทัศน์เกษตรเอกลักษณ์ (AA) มีสัดส่วนร้อยละ 35.62 รองลงมา คือ พื้นที่เกษตรมีการครอบงำ (A), พื้นที่เกษตรมีพื้นที่พัฒนาผสมเล็กน้อย (Ad), พื้นที่เกษตรมีพื้นที่ธรรมชาติผสมเล็กน้อย (An), พื้นที่เกษตรที่ได้รับอิทธิพลจากทั้งธรรมชาติและพัฒนา (Adn) เท่ากับร้อยละ 12.25, 9.32, 8.58, 0.95 ตามลำดับ ในขณะที่ภูมิทัศน์ธรรมชาติเอกลักษณ์ (NN) มีสัดส่วนร้อยละ 5.24 รองลงมา คือ พื้นที่ธรรมชาติมีเกษตรผสมเล็กน้อย (Na), พื้นที่ธรรมชาติมีพื้นที่พัฒนาผสมเล็กน้อย (Nd), พื้นที่ธรรมชาติมีการครอบงำ (N), และพื้นที่ธรรมชาติที่ได้รับอิทธิพลทั้งการพัฒนาและเกษตร (Nad) เท่ากับร้อยละ 3.39, 1.92, 1.66, 0.42 ตามลำดับ ภูมิทัศน์แบบผสมที่มีสัดส่วนใกล้เคียงกันของ พื้นที่เกษตร/ธรรมชาติ (an), พื้นที่เกษตร/พัฒนา (ad), พื้นที่ธรรมชาติ/พัฒนา (dn), และพื้นที่ผสมทั้งสามองค์ประกอบ (and) เท่ากับร้อยละ 3.09, 2.97, 2.74, 1.03 ตามลำดับ ในขณะที่สัดส่วนที่น้อยที่สุด คือ ภูมิทัศน์พัฒนาแล้ว ปรากฏเป็นพื้นที่พัฒนามีเกษตรผสมเล็กน้อย (Da) มีสัดส่วนร้อยละ 2.72 รองลงมา คือ โครงสร้างภูมิทัศน์พัฒนาเอกลักษณ์ (DD) พื้นที่พัฒนามีพื้นที่ธรรมชาติผสมเล็กน้อย (Dn) พื้นที่พัฒนามีการครอบงำ (D) และพื้นที่พัฒนาได้รับอิทธิพลจากทั้งเกษตรและธรรมชาติ (Dan) ร้อยละ 2.65, 1.81, 1.51, 0.23 ตามลำดับ และพื้นที่น้ำ แหล่งน้ำธรรมชาติ/แหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น เท่ากับร้อยละ 1.89 เป็นต้น

รูปแบบภูมิทัศน์อำเภอเมือง มีลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ลอนลาดเล็กน้อยจนถึงราบเรียบ มี

ภูเขาขนาดเล็กๆ คือ ภูสิงห์-ภูผาผึ้ง เป็นส่วนพื้นที่อนุรักษ์ (Figure 6 D) เป็นหย่อมผืนป่าขนาดใหญ่ที่สุดของอำเภอ (Largest forest patch) วางตัวเป็นแนวยาวจากทิศตะวันออกเข้าสู่บริเวณกลางอำเภอ เกิดลำน้ำ 2 แนว เป็นส่วนในระบบลุ่มน้ำย่อย คือ ลำเซบก มีแหล่งรองรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยสีโท ไหลลงทางทิศตะวันออกเฉียงใต้บรรจบกับลำน้ำลำเซบกไหลลงสู่ อ.ลืออำนาจ อ.พนา ทางตอนใต้ และลำเซบายมีแหล่งรองรับน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากเชิงเขาตอนเหนือของจังหวัด คือ ภูสระดอกบัว และภูพนมดี เกิดลำน้ำที่ไหลเข้าสู่ตอนกลางจากทางทิศเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ ไหลบรรจบที่แหล่งรองรับน้ำ อ่างเก็บน้ำพุทรอุทยาน อ่างเก็บน้ำห้วยโพธิ์กลาง ก่อนไหลลงสู่ห้วยโพธิ์และลำเซบายออกสู่ทิศใต้ของอำเภอ บริเวณลำน้ำต่างๆ รายล้อมด้วยหย่อมป่า (Forest patch) และบางบริเวณต่อเนื่องเป็นแนวป่าริ้วตามชายฝั่งริมน้ำ (Riparian corridor) ความเป็นเมืองมีรูปแบบการตั้งถิ่นฐานบริเวณศูนย์กลางเมืองแบบรวมกลุ่ม (Nucleated) มีการกระจายของอาคารและหมู่บ้านตามโครงข่ายถนนแบบกริด และมีแกนเส้นทางสายหลักจากกลางเมืองออกไปตามแนวของถนนขยางกูร ทิศเหนือ-ทิศใต้ (มุกดาหาร-อำนาจเจริญ-อุบลราชธานี) และถนนอรุณประเสริฐ ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก (อำเภอขามเฒ่า-ยโสธร) (Figure 6 A) รูปแบบการตั้งถิ่นฐานเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเป็นตามแนวยาว (Linear) ตามรอบๆ เขตเมือง มีการกระจายออกตามระยะห่างศูนย์กลางเมือง (Figure 6 B) มีการเปลี่ยนผ่านประเภทสิ่งปกคลุมดินของชุมชน เริ่มปรากฏ

การปกคลุมด้วยพื้นที่เกษตรกรรม ในขณะที่รอบนอกเขตเมืองบริเวณชุมชนตามตำบลต่างๆ มีการตั้งถิ่นฐานแบบกระจาย (Scattered) กระจุกตัวอยู่ตามพื้นที่ดอนโดยรอบเขตชุมชนเป็นพื้นที่ลุ่มต่ำการเกษตร (Figure 6 C)

3. ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นกิจกรรมของมนุษย์

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นกิจกรรมของมนุษย์ เขตอำเภอเมือง ปี พ.ศ. 2565 ตามความเข้มข้นของแผนภูมิจากระดับสูงสุดถึงน้อยที่สุด (Figure 7) พบว่า ที่ระดับการพัฒนาเมืองหนาแน่นสูงสุด (Extreme anthropic: Iso-line 90-100) เป็นพื้นที่ศูนย์กลางและตามแกนถนนหลักของเมือง มีพื้นที่เท่ากับ 37.53 ตร.กม. (ร้อยละ 4.17) พื้นที่ระดับการพัฒนาความเข้มข้นสูงมาก (Very high anthropic: 70-90) เป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง/บ้านเรือน

รอยต่อพื้นที่เกษตรกรรมผสมเท่ากับ 54.90 ตร.กม. (ร้อยละ 6.10) พื้นที่ระดับความเข้มข้นสูง (High anthropic: 50-70) เป็นพื้นที่เมทริกซ์ปรากฏบริเวณชานเมืองและชุมชนท้องถิ่นทั้งอำเภอ เท่ากับ 550.25 ตร.กม. (ร้อยละ 61.15) ในขณะที่พื้นที่ระดับความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งมีกิจกรรมการพัฒนาน้อยและเข้าใกล้ความเป็นธรรมชาติ ประกอบด้วย พื้นที่ความเข้มข้นปานกลาง (Medium Anthropic: 30-50) เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการพัฒนาประปราย มีพื้นที่ 122.25 ตร.กม. (ร้อยละ 13.59) พื้นที่ความเข้มข้นต่ำ (Low anthropic: 10-30) เป็นพื้นที่รอยต่อระหว่างพื้นที่พัฒนาเล็กน้อยกับพื้นที่สีเขียว มีพื้นที่ 47.49 ตร.กม. (ร้อยละ 5.28) และพื้นที่ธรรมชาติที่ไม่มีการรบกวนด้วยกิจกรรมการพัฒนา มีพื้นที่ 72.26 ตร.กม. (ร้อยละ 8.03) เป็นต้น

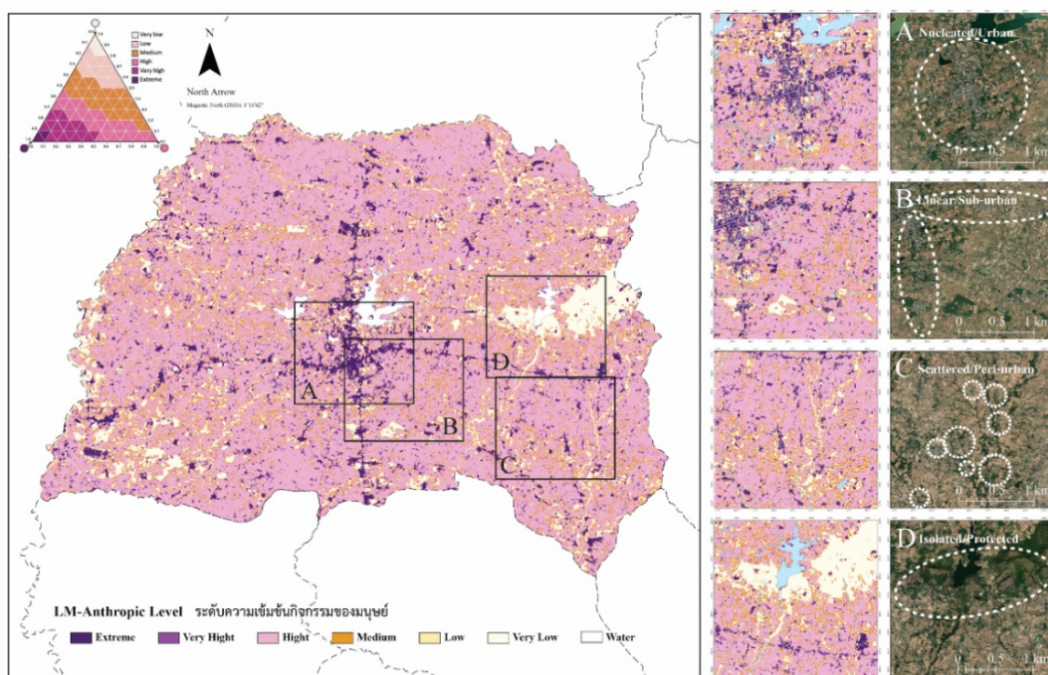
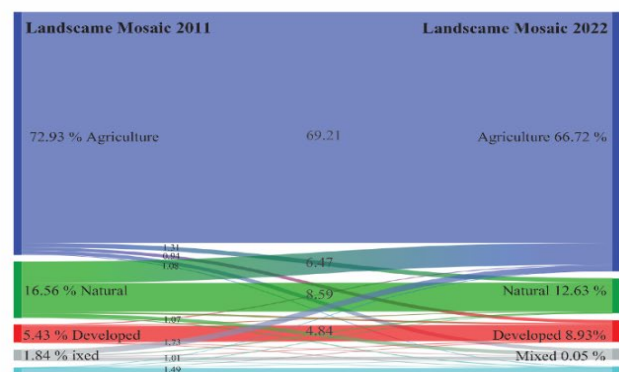
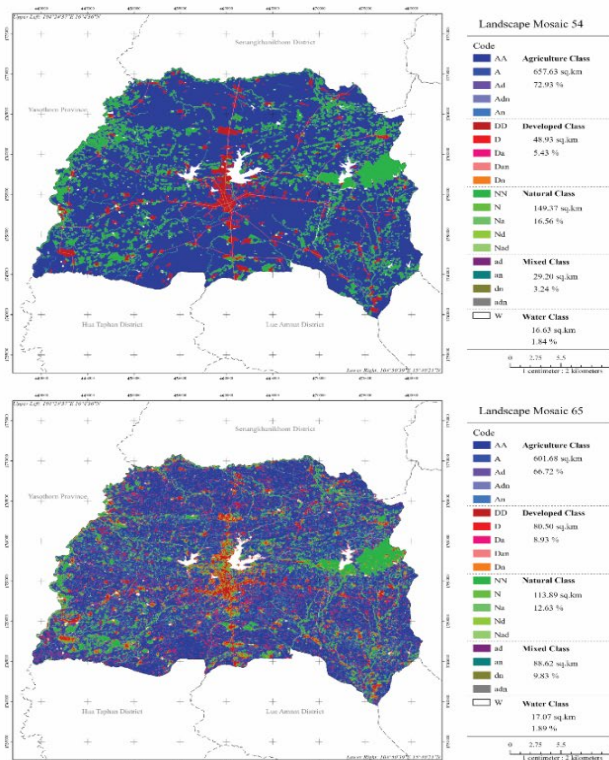


Figure 7 Degree of Anthropogenic and intensity value in 2020 of Mueang District, Amnatcharoen Province.

4. ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภูมิทัศน์อำเภอเมือง ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2554-2565

การเปลี่ยนแปลงกลุ่มโครงสร้างภูมิทัศน์ปี พ.ศ. 2554 (Figure 8) พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมชาติ พัฒนา ผสม และน้ำ มีพื้นที่เท่ากับ 657.63, 149.37, 48.93, 29.20 และ 16.63 ตร.กม. (ร้อยละ 72.93, 16.56, 5.43, 3.24 และ 1.84) ขณะที่ปี พ.ศ. 2565 (Figure 9) มีพื้นที่เท่ากับ 601.68,

113.89, 88.62, 80.50 และ 17.07 ตร.กม. (ร้อยละ 66.72, 12.63, 9.83, 8.93 และ 1.89) ตามลำดับ พบกลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ได้แก่ พื้นที่ผสม พัฒนา และน้ำ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.59, 3.50 และ 0.05 ตามลำดับ) และกลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงลดลง ได้แก่ พื้นที่เกษตร และธรรมชาติ (ลดลง ร้อยละ 6.20 และ 3.93 ตามลำดับ) การเปลี่ยนแปลงภายในแต่ละกลุ่มมีรายละเอียด คือ (Table 4)



Landscape Structure Changes in Mueang Amnat Charoen District from 2011 to 2022.

Structure Type	Year 2011		Year 2022		Net Change	
	Area (km ²)	Percent	Area (km ²)	Percent	Area (km ²)	Percent
Agriculture	657.63	72.93	601.68	66.72	-55.94	-6.20
AA, A, Ad, An, And						
Developed	48.93	5.43	80.50	8.93	31.56	3.50
DD, D, Du, Dn, Dun						
Natural	149.37	16.56	113.89	12.63	-35.48	-3.93
NN, N, Na, Nad						
Mixed	29.20	3.24	88.62	9.83	54.42	6.59
ad, an, dn, and						
Water W	16.63	1.84	17.07	1.89	0.44	0.05
Total	901.76	100	901.76	100		

Figure 8 Landscape mosaic structure and flow diagrams area change in 2020 at Mueang District, Amnatcharoen District.

โครงสร้างเมทริกซ์เกษตร ปรากฏพื้นที่เกษตรเอกลักษณ์ (AA) มีการลดลงสุทธิมากที่สุด ร้อยละ 30.13 ถูกแทนที่ด้วยภูมิทัศน์เกษตร (A, Ad, An, Adn) กล่าวได้ว่าเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ผสมผสาน ทำให้ปรากฏลักษณะความไม่ต่อเนื่องของเมทริกซ์เกษตรเพิ่มขึ้น ในส่วนหย่อมภูมิทัศน์

(Landscape patch) พื้นที่ธรรมชาติเอกลักษณ์ (NN) มีพื้นที่ลดลงสุทธิ เท่ากับร้อยละ 5.76 พบในบริเวณผืนป่าขนาดใหญ่ (เขตรวนอุทยาน) ป่าชายฝั่งริมน้ำตามพื้นที่ลุ่มต่ำ หย่อมขนาดเล็กที่เป็นพื้นที่สีเขียวเมือง/ชุมชน มีรูปแบบลดลงในเชิงขนาดพื้นที่ เกิดการแตกกระจายเป็นผืนขนาดเล็กลง เนื่องมาจาก

เปลี่ยนไปเป็น พื้นที่เกษตร พื้นที่พัฒนา และพื้นที่
ผสม (Anthropic patch) ที่มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็น
ผืนและหย่อม ทั้งในในบริเวณศูนย์กลางอำเภอ รอบ

นอกเขตเมืองและชุมชนตำบลต่างๆ หรือสอดคล้อง
ตามระดับความเข้มข้นของกิจกรรมการพัฒนาอย่าง
มีนัยสำคัญ (Antrop, 2003)

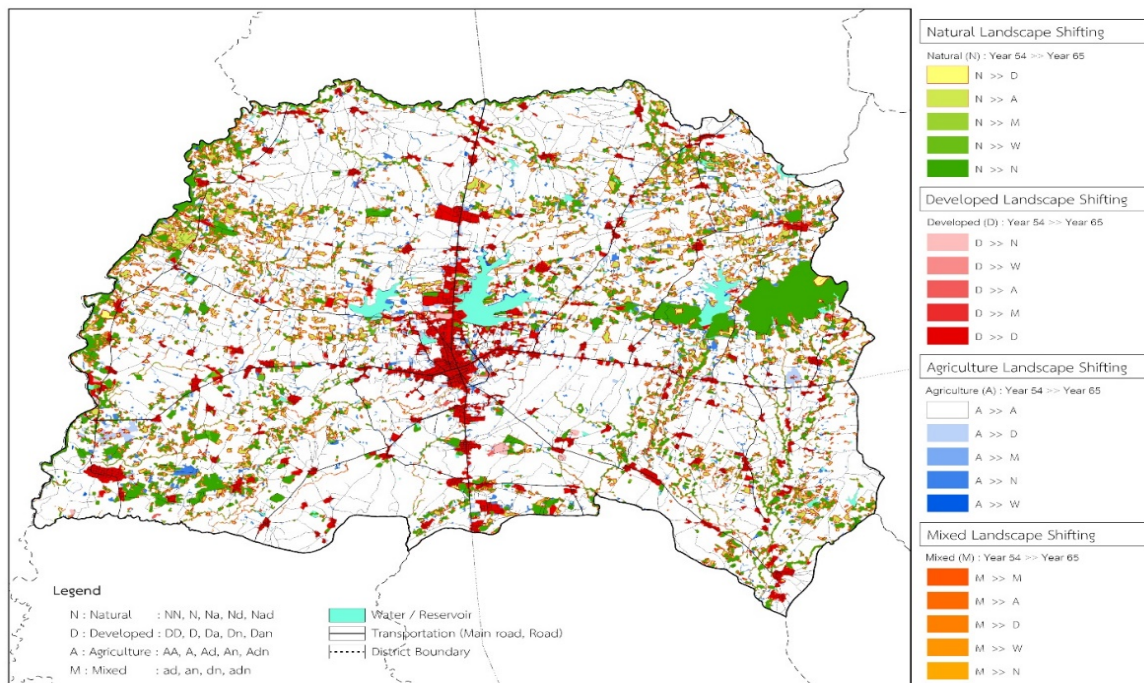


Figure 9 Assessment of green and Non-green situation form landscape mosaic change from 2011-2022

ผลการจำแนกโครงสร้าง รูปแบบ และการ
เปลี่ยนแปลง สามารถนำมาใช้เพื่อทำความเข้าใจใน
เชิงโครงสร้างหลักและบริบทที่ปรากฏของเมือง
และท้องถิ่น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทำให้เข้าใจ
ปฏิสัมพันธ์ของประเภทโครงสร้างโมเสก และการ
เชื่อมติดกันด้วยเส้นขอบระหว่างพื้นที่ ซึ่งพื้นที่
เหล่านั้นเป็นบริบทที่ไม่อาจใช้เพียงการทำความเข้าใจ
ผ่านการแปลตีความสิ่งปกคลุมดินในเชิง
ปริมาณ หรือใช้ฐานเมตริกซ์ภูมิทัศน์ในการ
วิเคราะห์บางประการ (Vogt & Riitters, 2017) อาทิ
เมตริกซ์สัดส่วนภูมิทัศน์ (Percent of landscape:
PLAND) เมตริกซ์จำนวนของหย่อม (Number of
Patch: NP) ที่ให้ข้อมูลการจัดวางตัวของภูมิทัศน์

ซึ่งแบบจำลองโมเสกได้แสดงถึงปฏิสัมพันธ์ การ
ขยายตัว การรुकืบ การสอดแทรก ของ
องค์ประกอบภูมิทัศน์ พร้อมทางเลือกการนำ
แบบจำลองความเข้มข้นกิจกรรมของมนุษย์ แสดง
ระดับกิจกรรมการพัฒนาความเป็นเมือง หรือเข้าใจ
ระดับการพัฒนาของชุมชนและความเป็นเมือง ได้
ตามบริบทการตั้งถิ่นฐานเดิมของไทย (Muensee *et al.*, 2015) ให้สารสนเทศเพื่อการวางแผนอนุรักษ์
และจัดการความเป็นเมือง ตั้งแต่การเพิ่มพื้นที่
ธรรมชาติ การเติมเต็มที่ว่าง การรुकืบพื้นที่เมืองต่อ
พื้นที่ธรรมชาติ พร้อมทั้งการระบุและติดตามพื้นที่
ธรรมชาติเป้าหมายที่อาจเสี่ยงต่อการลดลงใน
อนาคต (Riitters *et al.*, 2020)

Table 4 Summary of landscape mosaic percent change in Mueang District from 2011 to 2022

Landscape Structure		2011 (%)	2022 (%)	Net Change
Agriculture Mosaics	AA	65.75	35.62	-30.13
	A	2.06	12.25	10.19
	Ad	1.00	9.32	8.32
	An	4.10	8.58	4.48
	Adn	0.01	0.95	0.94
	DD	4.13	2.65	-1.48
Developed Mosaics	D	0.35	1.51	1.16
	Dn	0.16	1.81	1.65
	Da	0.77	2.72	1.95
	Dan	0.01	0.23	0.23
	NN	11.00	5.24	-5.76
Natural Mosaics	N	1.31	1.66	0.35
	Na	4.06	3.39	-0.67
	Nd	0.18	1.92	1.74
	Nad	0.01	0.42	0.41
	ad	0.52	2.97	2.45
Mixed Mosaic	an	2.56	3.09	0.53
	dn	0.10	1.03	0.93
	and	0.05	2.74	2.69
	W	1.84	1.89	0.05

การนำแบบจำลองมาใช้เป็นข้อมูลใน รูปแบบภูมิสารสนเทศเพื่อทำความเข้าใจสถานการณ์ ความเป็นพื้นที่ธรรมชาติต่อสถานการณ์การขยายตัว ของกิจกรรมความเข้มข้นของมนุษย์ ทำให้ทราบถึง พื้นที่เส้นขอบ พื้นที่เชื่อมติดกัน ที่ส่งผลต่อพื้นที่ถิ่น สัตว์มีชีวิตรวมที่มีแนวโน้มต่อสูญเสียพื้นที่ความ เป็นเอกลักษณ์ธรรมชาติ ด้วยการลดลงทั้งในด้าน

ของ จำนวน ขนาด เส้นรอบรูป รูปลักษณะของหย่อม และการแทรกแซงของพื้นที่ผสม ๆ ที่เข้าใกล้ และ/ หรือเจาะเข้าไปในพื้นที่ธรรมชาติที่มีเอกลักษณ์ที่ ปรากฏในภูมิทัศน์ และยังโดยเฉพาะหย่อมพื้นที่สี เขียวปัจจุบันในประเทศ ที่มีรูปแบบการกระจายตัว อยู่เป็นหย่อมอย่างโดดเดี่ยวท่ามกลางความเข้มข้น ของพื้นที่เกษตรและรูปแบบสิ่งปกคลุมดินที่ซับซ้อน

สูงขึ้น ซึ่งเป็นวิธีการใช้ที่ดินหลักของชุมชนและสังคมไทย ช่วยให้นักวางแผนมีข้อมูลสารสนเทศในการวางแผนอนุรักษ์และจัดการพื้นที่ธรรมชาติเมือง เพื่อให้เกิดบริการเชิงนิเวศวิทยาของเมือง และสร้างความเชื่อมโยงพื้นที่สีเขียวธรรมชาติทั้งในและนอกเขตอนุรักษ์ ด้วยหลักการทางนิเวศวิทยาภูมิทัศน์ (Thaitakoo *et al.* 2018) หรือผ่านการวางแผนเชื่อมโยงด้วยการสร้างโครงข่ายพื้นที่สีเขียวเมือง (Do *et al.*, 2018; Guo *et al.*, 2018) ที่สร้างระบบพื้นที่สีเขียวที่คอยรักษาความหลากหลายทางระบบนิเวศ ทั้งในระดับท้องถิ่น ภูมิภาค และในระดับประเทศ ให้เกิดความยั่งยืนต่อไป

สรุป (Conclusion)

การประยุกต์แบบจำลองโมเสกและความเข้มข้นกิจกรรมของมนุษย์ เป็นแบบจำลองที่มีศักยภาพในการทำความเข้าใจปฏิสัมพันธ์ทางพื้นที่ให้เห็นโครงสร้าง รูปแบบ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ทางพื้นที่ ระหว่างสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติต่อสิ่งแวดล้อมทางมนุษย์ที่เกิดขึ้นสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศบนฐานการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนลร่วมกับดัชนีที่หลากหลาย เพื่อนำไปใช้ในการประเมินสถานการณ์ความเป็นพื้นที่สีเขียวในเชิงปริมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ร่วมกับการประเมินโครงสร้างภูมิทัศน์ผ่านแบบจำลองโมเสกภูมิทัศน์และระดับความเข้มข้นของกิจกรรมมนุษย์ มาใช้เพื่ออธิบายการมีปฏิสัมพันธ์กันเชิงพื้นที่ ระหว่างองค์ประกอบความเป็นพื้นที่พัฒนา พื้นที่ธรรมชาติ พื้นที่เกษตร และ

พื้นที่ผสม เพื่อให้เห็นความเป็นเอกลักษณ์ การถูกรบกวน และการมีอยู่ แสดงถึงทิศทางและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภูมิทัศน์ที่ส่งผลกับสิ่งแวดล้อมเมืองและชุมชนในปัจจุบัน ในด้านการสูญเสียพื้นที่สีเขียวธรรมชาติ พื้นที่ว่าง หรือเพื่อใช้เป็นตัวแทนติดตามสถานการณ์การขยายตัวของเมืองที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ซับซ้อน ช่วยให้นักวางแผนมีสารสนเทศในการวางแผนอนุรักษ์จัดการพื้นที่เป้าหมายเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนได้ในอนาคต

ข้อเสนอแนะในงานวิจัย การใช้แบบจำลองโมเสกภูมิทัศน์ ควรนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างเพื่อการวางแผนอนุรักษ์พื้นที่สีเขียวเมือง การใช้เป็นข้อมูลสารสนเทศร่วมกับแบบจำลองเชิงพื้นที่ ด้วยแบบจำลองศักยภาพเชิงพื้นที่ การนำแบบจำลองไปใช้ร่วมกับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต หรือผลของแบบจำลองและคาดการณ์ดังกล่าว ควรได้รับการทวนสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ผ่านการสำรวจภาคสนาม และประเมินระดับกิจกรรมความหลากหลายสิ่งปกคลุมดินที่เกิดขึ้นหรือใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดเป้าหมายของการป้องกันการลดลงอันเนื่องมาจากการขยายตัวของพื้นที่โดยรอบที่สร้างการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของพื้นที่ธรรมชาติ เพื่อนำไปสู่แนวทางการปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมในการจัดการพื้นที่สีเขียว และสร้างความเชื่อมโยงระหว่างหย่อมพื้นที่สีเขียวที่ใกล้เคียงกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้เป็นไปตามนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ป่าไม้แห่งชาติต่อไป

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย “การจำแนกโครงสร้างและรูปแบบทางนิเวศภูมิทัศน์ของพื้นที่สีเขียว จังหวัดอำนาจเจริญ กรณีศึกษาอำเภอเมืองอำนาจเจริญ” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากโจทย์วิจัยในพื้นที่จังหวัดอำนาจเจริญ แบบบูรณาการ ประจำปี 2564 จากโครงการจัดตั้งวิทยาเขตอำนาจเจริญมหาวิทยาลัยมหิดล

เอกสารอ้างอิง (References)

- Antrop, M. 2003. Why landscapes of the past are important for the future. **Landscape and Urban Planning** 70(1-2): 21-34. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.002>
- Baimai, W. 2007. Biodiversity situation in Thailand. **The Thailand Research Fund**, Bangkok. (in Thai)
- Buathongkhue, C., B. Thongmak, A. Chaiyarat, P. Rattanathawon & N. Kaewthong. 2022. **Application of SENTINEL-2 and LANDSAT 8 to classifying second-level land use classification in the Sathingpra peninsular, Songkhla Province**. pp.1-9. In Proceedings The 27th National Convention on Civil Engineering, NCCE 27, August 24-26, 2022, Chiang Rai, Thailand. (in Thai)
- Cohen, J. 1968. Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. **Psychological Bulletin** 70(4):213–220. <http://dx.doi.org/10.1037/h0026256>
- Do, D. T., J. Huang, Y. Cheng & T. C. T. Troung. 2018. Da Nang green space system planning: an ecology landscape approach. **Sustainability** 10(10), 3506: 1-26. <https://doi.org/10.3390/su10103506>
- Foody, G. M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment** 80(1): 185-201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Forman, R. R. T. & M. Godron. 1986. **Landscape ecology**. New York: John Wiley and Sons.
- Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) (GISTDA). 2009. **Space technology and geo-information**. Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization), Amarin Printing and Publishing Co.Ltd.
- Guo, S., K. Saito, W. Yin & C. Su. 2018. Landscape connectivity as a tool in green space evaluation and optimization of the Haidan District, Beijing. **Sustainability** 10(6): 1979: 1-14. <https://doi.org/10.3390/su10061979>
- Hanpachern, R. 2011. Landscape ecology along Mekong River corridor in Nong Khai Province. **KKU Research Journal** 1(3): 187-208. (in Thai)

- Khwanart, W. & P. Thinphangnga. 2013. Urbanisation in Thailand. **Thailand Environment Institute** 1 (1): 4-5. <https://www.tei.or.th/thaicityclimate/public/research-46.pdf>. (Accessed: April 29, 2025) (in Thai)
- Kongsombut, P., S. Pattanakiat, W. Rawang, P. Srijuntrapun, U. Phewphan, T. Phutthai, S. Vongvassana & J. Jumpasingha. 2024. Landscape ecological structure and pattern for green space conservation in forest monasteries in northeast Thailand. **Environment and Natural Resources Journal** 22 (4): 1-12. <https://doi.org/10.32526/enrj/22/20240016>
- Kutintara, U. 2012. **Sustainable land use and natural resources management**. Kasetsart University Press. (in Thai)
- Land Development Department. 2022. **Land use condition 2022**. Office of Land Use Policy and Planning, Land Development Department, pp. 15-19. https://webapp.ddd.go.th/lpd/node_modules/img/Download /LandUseInfor/report on land used change 2565.pdf. (in Thai)
- Landis, J. R. & G. G. Koch. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics** 33(1): 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lu, D. & Q. Weng. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. **International Journal of Remote Sensing** 28(5): 823-870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- McFeeters, S. K. 1996. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, 17(7): 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- McGarigal, K. & B. J. Marks. 1995. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. **USDA Forest Service General Technical Report PNW-351**, Corvallis. https://www.fs.usda.gov/pnw/pubs/pnw_gtr351.pdf (Accessed: April 30, 2025)
- Muensee, C., A. Intaraksa & O. Phewnil. 2015. Human settlement in limited areas in Mae Poon and Mae Prong Watershed areas, Mae Poon Sub-district, Laplae District, Uttaradit Province. **Journal of Social Sciences Srinakharinwirot University** 18: 40-50. (in Thai)
- National Statistical Office. 2022. Amnat Charoen Province statistical report 2022. **Amnat Charoen Provincial Statistical Office**. <https://amnatchr.nso.go.th/images/41-65.pdf>. (Accessed: October 23, 2024) (in Thai)
- Osgouei, P. E., S. Kaya, E. Sertel & U. Alganci. 2019. Separating built-up areas from bare land in Mediterranean cities using Sentinel-2A imagery. **Remote Sensing** 11(3): 1-24. <https://doi.org/10.3390/rs11030345>

Pattanakiat, S. 2003. **Geographic information systems in ecology and environment**. United Production Printing, Bangkok. (in Thai)

Prasomsup, W., A. Phinyoyang, T. Thirakultomorn, P. Banju-ngam & T. Lakhunhot. 2021. **Remote sensing techniques for land use and land cover classification using Sentinel-2A satellite imagery with object-based analysis**. pp 1-8. *In* Proceedings The 26th National Convention on Civil Engineering, NCCE 26, June 23-25, 2021, Online Conference, Thailand. (in Thai)

Radeloff, V. C., D. P. Roy, M. A. Wulder, M. Anderson, B. Cook, C. J. Crawford, M. Friedl, F. Gao, N. Gorelick, M. Hansen, S. Healey, P. Hostert, G. Hulley, J. L. Huntington, D. M. Johnson, C. Neigh, A. Lyapustin, L. Lymburner, N. Pahlevan & Z. Zhu. 2023. Need and vision for global medium-resolution Landsat and Sentinel-2 data products. **Remote Sensing of Environment** 300(113918): 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113918>

Rikimaru, A., P. S. Roy & S. Miyatake. 2002. Tropical forest cover density mapping. **International Society for Tropical Ecology** 43, 39–47.

Riitters, K. H., J. D. Wickham & T. G. Wade. 2009. An indicator of forest dynamics using a shifting landscape mosaic. **Ecological Indicator** 9(1): 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.02.003>

Riitters, K., K. Schleeweis & J. Costanza. 2020. Forest

area change in the shifting landscape mosaic of the continental united states from 2001 to 2016.

Land 9(11), 417: 1-20. <https://doi.org/10.3390/land9110417>

Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell & D. W. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Third ERTS-1 Symposium NASA, NASA SP-351**, Washington DC.

Royal Forest Department. 2022. Forest area status report 2022. **Office of Forest Land Management, Royal Forest Department**: 8. https://www.forest.go.th/land/wp-content/uploads/sites/29/2023/01/Forest-Area-2565-Full_compressed.pdf. (Accessed: October 23, 2024) (in Thai)

Shahi, A. P., P. K. Rai, Ul-Islam Rabi & V. N. Mishra. 2022. Remote sensing data extraction and inversion techniques: A review. **Elsevier eBooks**: 85–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99262-6.00021-3>. (Accessed: May 5, 2024)

Story, M. & R. G. Congalton. 1986. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** 52(3): 397-399.

Tangkitngamwong, O. 2012. Landscape ecology: The application to landscape planning for natural area conservation and management in Thailand. **NAJUA: Architecture, Design and Built Environment** (25): 263-87. (in Thai)

- Thaitakoo, D. 2005. **Quantitative landscape structure, analysis, and modeling: A theoretical review of quantitative approaches in landscape ecology.** Department of Landscape Architecture. Available source: <https://www.land.arch.chula.ac.th/pdf/landspatial.pdf>. (in Thai)
- Thaitakoo, D., M. Nantavisai & P. Ansusinha. 2018. Urban ecosystems: landscape components and ecosystem services. **Unisearch Journal** 5(1): 21-26. <https://doi.org/10.58837/chula.unisearch.5.1.4>
- Vogt, P. & K. Riitters. 2017. GuidosToolbox: Universal digital image object analysis. **European Journal of Remote Sensing** 50(1): 352-361. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1330650>

- Vogt, P., J. Wickham, J. I. Barredo & K. Riitters. 2024. Revisiting the lanscape mosaic model. **PLoS ONE** 19(5): e0304215. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304215>
- Wilcox, B. A. & D. D. Murphy. 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. **American Naturalist** 125(6): 879–887.
- Zha, Y., J. Gao & S. Ni. 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing** 24(3):583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>