



การประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศและการสำรวจระยะไกลในการสร้างแบบจำลองการคาดการณ์การขยายตัวของเมือง
เพื่อการเปรียบเทียบแผนพัฒนาโครงข่ายถนนผังเมือง: กรณีศึกษาเมืองขอนแก่น

APPLICATION OF GEOINFORMATICS AND REMOTE SENSING IN URBAN EXPANSION
PREDICTION MODELING FOR COMPARATIVE URBAN ROAD NETWORK PLANNING: A CASE
STUDY OF KHON KAEN CITY

กวิน ตรีกุล¹, ชติชาช ไวยสุระสิงห์* และพนกฤษณ คลังบุญครอง³

¹นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²รองศาสตราจารย์, ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ศาสตราจารย์, ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Corresponding Author, Email: fceews@kku.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาแบบจำลองการทำนายการขยายตัวของเมืองขอนแก่นเพื่อประกอบการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับแผนที่ได้จากการจัดลำดับความสำคัญเครือข่ายถนนในเขตเมืองที่ถูกบรรจุไว้ในแผนการพัฒนาโครงข่ายถนนผังเมืองที่จัดทำโดยกรมทางหลวงชนบท งานวิจัยนี้บูรณาการการทำนายการขยายตัวของเมืองร่วมกับปัจจัยสำคัญสามประการ ได้แก่ (1) การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (2) โครงข่ายถนน และ (3) ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) แล้วนำผลการทำนายมาประเมินร่วมกับข้อมูลการพัฒนาเครือข่ายถนนในเขตเมืองเพื่อยืนยันความเหมาะสมของแผนที่ถูกบรรจุไว้ในการพัฒนา โดยมีพื้นที่ศึกษาคือเขตเทศบาลนครขอนแก่น ณ จังหวัดขอนแก่น เป็นกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat (พ.ศ. 2542–2562) และข้อมูลจาก Google Maps เพื่อสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2567 ถึง พ.ศ. 2592 นอกจากนี้ ยังประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายแนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบการจำลองในปี พ.ศ. 2567 กับสภาพจริง พบว่าค่าดัชนี Kno , $Klocation$ และ $Kquantity$ อยู่ระหว่าง 0.6-0.8 ซึ่งบ่งชี้ถึงความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ จากนั้นจึงใช้แบบจำลองในการทำนายการขยายตัวของเมืองและการใช้ที่ดินสำหรับปี พ.ศ. 2567, 2572, 2577, 2582, 2587, และ 2592 ผลการวิจัยยืนยันถึงความสอดคล้องของการปรับปรุงเครือข่ายถนนที่เสนอ โดยแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของแบบจำลองในการสนับสนุนการวางแผนเมืองเชิงกลยุทธ์

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน; การทำนายการขยายตัวของเมืองและการใช้ที่ดิน; การพัฒนาแบบจำลองการใช้ที่ดิน; การสำรวจระยะไกล

Kavin Treekul¹, Chattichai Waisurasingha^{2*} and Pongrid Klungboonkrong³

¹Master Student in Civil Engineering Program, Fac. of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.

²Associate Professor, Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Fac. of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.

³Professor, Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Fac. of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.

ABSTRACT

The objective of this research is to develop a predictive model for the urban expansion of Khon Kaen city, aimed at supporting analysis and comparison with maps produced from the prioritization of urban road networks included in the urban road network development plan by the Department of Rural Roads. This research integrates urban expansion prediction with three key factors: (1) land use change, (2) road networks, and (3) Digital Elevation Model (DEM) data. The prediction results are evaluated alongside urban road network development data to confirm the suitability of the maps included in the plan. The study area focuses on Khon Kaen Municipality in Khon Kaen Province as a case study. This research employs Landsat satellite images (1999–2019) and Google Maps data to construct a land use change model from 2024 to 2049. Additionally, artificial neural networks are applied to predict future land use trends. When comparing the 2024 simulation with actual conditions, the K_{no}, K_{location}, and K_{quantity} indices range between 0.6 and 0.8, indicating an acceptable level of accuracy. The model is subsequently used to predict urban expansion and land use for the years 2024, 2029, 2034, 2039, 2044, and 2049. The research findings confirm the alignment of the proposed road network improvements, demonstrating the model's utility in supporting strategic urban planning.

KEYWORDS: land use changes; forecast urban expansion and land use; land use modeling; remote sensing

1. บทนำ

กรมทางหลวงชนบทได้ร่วมกับที่ปรึกษาจากสถาบันการศึกษาทั่วประเทศจำนวน 8 แห่ง อันประกอบด้วยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และมหาวิทยาลัยนเรศวร ในการจัดทำแผนสนับสนุนการพัฒนาดนผั่งเมืองให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (ปี พ.ศ. 2561-2580) ทั้งนี้ได้มีการใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (analytic hierarchy process: AHP) เพื่อการวางแผนและจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนาสายทางของถนนผั่งเมือง โดยได้มีการใช้การเปรียบเทียบความสำคัญเชิงคุณภาพแบบคู่ (pairwise comparison) เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักปัจจัยสำหรับปัจจัยในแต่ละด้านร่วมกับหน่วยงานในระดับพื้นที่แขวงทางหลวงชนบท (ขทข.) ได้แก่ กรมทางหลวงชนบท กรมโยธาธิการและผังเมือง ผู้แทนองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น หอการค้าจังหวัดรวมถึงองค์กรเอกชนในพื้นที่ แขวงทางหลวงชนบท เป็นต้น โดยพิจารณาเกณฑ์ปัจจัยเกณฑ์ที่เป็นปัจจัยหลัก ซึ่งประกอบด้วยปัจจัย 4 ด้านดังนี้ (1) ด้านวิศวกรรม (2) ด้านเศรษฐกิจ (3) ด้านความต้องการของพื้นที่ และ (4) ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม และได้มีการจัดลำดับความสำคัญของการพัฒนาดนผั่งเมืองขึ้น ซึ่งการศึกษาดังกล่าวได้มีการนำผลการศึกษาใส่ไว้ในแผนการพัฒนาสายทางของถนนผั่งเมืองของกรมทางหลวงชนบท [1] ซึ่งนับเป็นข้อมูลอ้างอิงที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำมาวิเคราะห์ต่อข้อคิดในการศึกษาวิจัยทางภูมิสารสนเทศและการสำรวจระยะไกล (Geographic Information System and Remote Sensing) ในมิติของการวิเคราะห์เปรียบเทียบร่วมกับแนวโน้มการขยายตัวของเมือง โดยผู้วิจัยได้เลือกเอาเมืองขอนแก่นเป็นพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบนำร่อง ทั้งนี้เพราะเมืองขอนแก่นนอกจากจะมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วแล้วยังเป็นเมืองแรกๆที่ประกาศตัวในการพัฒนาเป็น “นครอัจฉริยะ (smart city)” ยิ่งไปกว่านั้น หากพิจารณาในแง่การขยายตัวของเมือง เมืองที่ตั้งเป้าเป็นนครอัจฉริยะ จะมีการบริหารจัดการทรัพยากรของเมืองให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีความมุ่งหวังในการพัฒนาเมืองให้เกิดเป็นเมืองที่มีการพัฒนาขึ้นอย่างมีสุขภาพอนามัยที่ดี มีคุณภาพชีวิตที่ดี ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีคุณภาพ สะดวก สะอาดปลอดภัย รองรับสังคมในอนาคต การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เมืองขอนแก่นนั้นจัดเป็นเมืองที่มีอัตราการเติบโตที่ค่อนข้างสูง จึงนับเป็นเมืองที่น่าจะนำมาวิเคราะห์เพื่อ

เปรียบเทียบการขยายตัวของเมืองขอนแก่นเปรียบเทียบกับแผนสนับสนุนการพัฒนาถนนผังเมืองให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ดังกล่าว

การศึกษาในอดีตได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของงานสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ควบคู่กับระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information Systems: GIS) ในการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินแบบหลายช่วงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมที่ดิน (Land Use/ Land Cover Change) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยในเขตเมืองของจังหวัดต่าง ๆ ในแต่ละประเทศ โดยการศึกษาของ [2] กล่าวว่า จังหวัดที่ประสบกับการเปลี่ยนแปลงที่ดินอย่างรวดเร็วมักเกิดขึ้นด้วยสาเหตุหลายประการส่วนหนึ่งมาจากแนวทางการดำเนินนโยบายของรัฐบาลทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งการดำเนินการโดยรัฐบาลท้องถิ่นอย่างเทศบาลเป็นต้น หนึ่งในวิธีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ที่สามารถใช้ตรวจสอบปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงที่ดินได้คือการสร้างแบบจำลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการสำรวจระยะไกล วิธีที่สามารถใช้ได้คือแบบจำลอง Land Change Modeler ของ IDRISI โดยอ้างอิงจากข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมที่ดิน (Land Use/ Land Cover: LU/LC) ในปี ค.ศ. 2014 และ 2018 ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เช่น ข้อมูลถนน DEM และระยะทางยูคลิดไปยังถนน เป็นต้น โดยผลลัพธ์ได้แสดงให้เห็นถึงการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมที่ดินในปีที่ผ่านมา เพื่อทำนายอนาคตของการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมที่ดิน ซึ่งสิ่งนี้จะเรียกว่า แบบจำลองการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (LU/LC model) โดยผลลัพธ์ได้แสดงให้เห็นถึงตำแหน่ง และทิศทางของการขยายตัวของเมือง ทั้งนี้ Land Change Modeler ของ IDRISI เป็นแบบจำลองที่วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินตามหลักของ Cellular Automata-Markov Chain

งานวิจัยของ [3] กล่าวว่าแบบจำลองการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (LU/LC model) นี้เป็นการแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์เชิงพื้นที่สำหรับการวางแผนการพัฒนาที่ดินอย่างยั่งยืน ทั้งนี้การขยายตัวของพื้นที่ที่มนุษย์สร้างขึ้นมักเกิดจากแปรสภาพของป่า หุบเขา และพื้นที่การเกษตร รวมถึงการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เหล่านี้เป็นเขตเมืองและอุตสาหกรรม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ การติดตามกระบวนการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้และการวางแผนการใช้ที่ดินอย่างยั่งยืนสามารถทำได้สำเร็จโดยใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลหลายช่วงเวลา (Multitemporal Remotely Sensed Data) เก็บข้อมูลเชิงพื้นที่และสร้างเป็นแบบจำลองการทำนายสภาพการใช้ที่ดินในอนาคต อนึ่ง ในการทดสอบประสิทธิภาพในการทำนายของแบบจำลองจะใช้การประเมินด้วยค่าดัชนี Kappa ซึ่งแสดงผลลัพธ์ของดัชนี Kappa นี้สามารถแสดงออกเป็น 4 แบบดังนี้ ตามข้อเสนอแนะของ [4] ที่มีความหมายและหน้าที่ที่แตกต่างกันดังนี้

- (ก) แบบดัชนี Kappa มาตรฐาน (Kstandard) เป็นความถูกต้องมาตรฐาน ที่แสดงถึงการวัดความสอดคล้องระหว่างแผนที่สองแผนที่ โดยใช้การกระจายตัวของจำนวนข้อมูลแบบสุ่มเพื่อคำนวณค่าที่คาดหวังของความถูกต้อง (Expected Proportion Correct Due To Chance) วิธีการนี้ใช้เพื่อประเมินการจำแนกประเภทของข้อมูลว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งที่สามารถจำแนกได้จากความบังเอิญเท่านั้น
- (ข) แบบดัชนี Kappa โดยรวม (Kno) เป็นความถูกต้องโดยรวมใช้เพื่อประเมินว่าแผนที่จำลองมีความสอดคล้องมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับสิ่งที่สามารถจำลองได้จากการสุ่มตำแหน่งและปริมาณของข้อมูล โดย Kappa ประเภทนี้ใช้ในการวัดว่าการจำลองข้อมูลมีความสำเร็จมากน้อยเพียงใดเมื่อไม่มีความสามารถในการระบุทั้งปริมาณและตำแหน่งของข้อมูล
- (ค) แบบดัชนี Kappa ตำแหน่ง (Klocation) เป็นความถูกต้องของตำแหน่งที่ใช้เพื่อวัดความสามารถของการจำลองข้อมูลในการระบุตำแหน่งของข้อมูลในแผนที่ให้ถูกต้อง การวัดนี้จะเปรียบเทียบว่าตำแหน่งของข้อมูลในแผนที่จำลองนั้นตรงกับความเป็นจริงมากน้อยเพียงใด โดยไม่คำนึงถึงปริมาณของข้อมูลที่ถูกจัดอยู่ในแต่ละหมวดหมู่

- (ง) แบบดัชนี Kappa ปริมาณ (Kquantity) เป็นความถูกต้องของปริมาณ ซึ่งแสดงถึงความสามารถของการจำลองข้อมูลในการระบุปริมาณของข้อมูลในแต่ละหมวดหมู่ได้ถูกต้อง ค่าดัชนีนี้จะเน้นที่ความแม่นยำในการจำแนกปริมาณของข้อมูลในแต่ละหมวดหมู่ โดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งของข้อมูลในแผนที่

การแยกประเภทของแบบดัชนี Kappa เหล่านี้ช่วยให้สามารถเข้าใจข้อผิดพลาดและความแม่นยำในการจำลองข้อมูลได้ชัดเจนขึ้น ไม่ว่าจะเป็นด้านปริมาณหรือตำแหน่งของข้อมูลที่จำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และบอกถึงความแม่นยำของการทำนายเมื่อเทียบกับข้อมูลเปรียบเทียบ [3-4] ซึ่งนับเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งต่อการนำเอาวิเคราะห์และทำนายการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตของเมืองขอนแก่นว่า สอดรับกับแผนยุทธศาสตร์ด้าน โครงข่ายคมนาคมของถนนผังเมืองของกรมทางหลวงชนบทมากน้อยเพียงใด

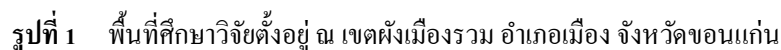
การศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกเอาเขตผังเมืองขอนแก่น (รูปที่ 1) ซึ่งถือเป็นเมืองที่มีความสำคัญทางด้านการเงินและเศรษฐกิจของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเป็นเมืองแรกที่ประกาศตัวให้มีพันธกิจของการพัฒนาเมืองให้เป็นนครอัจฉริยะ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาองค์ประกอบในการพัฒนาเมืองนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน พร้อมด้วยการผนวกเอาแผนการพัฒนาเมืองเข้าไว้เพื่อจำลองการขยายตัวของนครขอนแก่นในอนาคต [5] ได้มีการศึกษาปัจจัยในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน สิ่งปกคลุมดินและการขยายตัวของเมืองขอนแก่นในช่วงระยะเวลา 20 ปี ที่ผ่านมา (ปี พ.ศ. 2533-2558) โดยใช้ภาพถ่ายเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลาควบคู่กับระบบภูมิสารสนเทศศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเมืองขอนแก่นตลอดระยะเวลาดังกล่าว และยังไปกว่านั้นเพื่อวิเคราะห์ถึงแรงขับเคลื่อนอันเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการทำนายการขยายตัวของเมืองในอนาคตซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาประเทศในเวลาถัดมา อย่างไรก็ดีตาม การศึกษาที่ผ่านมา นั้น มีการมุ่งเน้นเฉพาะการนำเอาข้อมูลภาพถ่ายเทียมที่แบบ Optical มาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งข้อมูลแบบ Optical Remote Sensing นั้นมีข้อจำกัดในการจำแนกพื้นที่เขตเมืองเนื่องจากในอุปสรรคในการบดบังของเมฆ รวมถึงความคลุมเครือในการจำแนกการใช้ที่ดินประเภททุ่งนา และ พื้นที่เปิดโล่ง ที่มีความใกล้เคียงกันมาก [5] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการขยายตัวของเมืองที่มีความเป็นไปได้เป็นอย่างมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาถึงความสอดคล้องกันระหว่างการขยายตัวของเมืองต่อไปในอนาคตและแผนที่ยุทธศาสตร์ 20 ปีที่มีการวิเคราะห์ขึ้นมา

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์หลักคือการพัฒนาแบบจำลองการขยายตัวของเมืองในอนาคตเพื่อใช้วิเคราะห์ร่วมกับผลการวางแผนและจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนาสายทางของถนนผังเมือง โดยผู้วิจัยได้มีการวิเคราะห์โดยพยากรณ์การขยายตัวของเมืองร่วมกับปัจจัยต่อไปนี้ (1) การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (2) โครงข่ายถนน และ (3) ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข แล้วนำผลการพยากรณ์มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลการจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนาสายทางของถนนผังเมืองของเมือง เพื่อพิจารณาว่าแบบจำลองการขยายตัวของเมืองในอนาคตสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการยืนยันความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาสายทางของถนนผังเมืองได้ และมีวัตถุประสงค์ย่อยคือเพื่อวิเคราะห์และจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของเมืองขอนแก่นใน ปี ค.ศ. 2024 ถึง 2049 เพื่อทำนายทิศทางการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินสำหรับใช้เป็นปัจจัยในการวิเคราะห์การขยายตัวของเมืองออกไปอีก 30 ปี ข้างหน้า โดยเว้นช่วงทุก ๆ 5 ปี นับจากปี ค.ศ. 2019

3. ขอบเขตในการศึกษา

พื้นที่ศึกษาในโครงการอยู่ภายใต้เขตผังเมืองรวม อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ดังรูปที่ 1



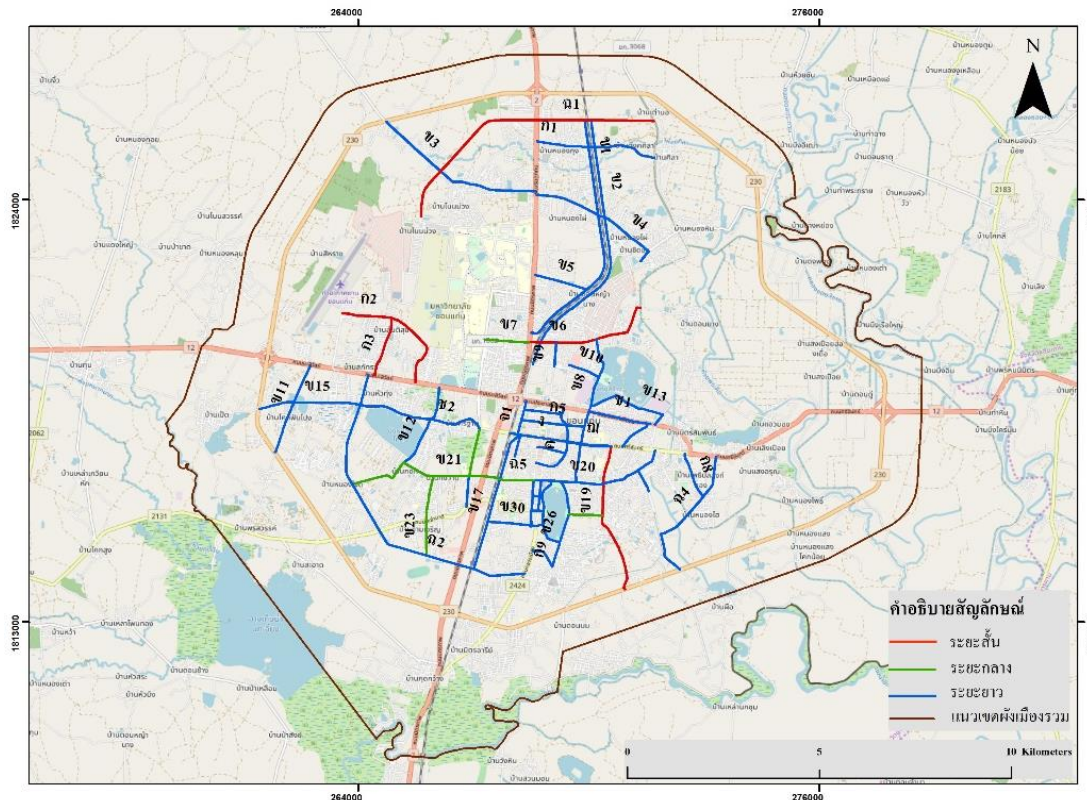
4.1 แผนสนับสนุนการพัฒนาถนนฝั่งเมืองของกรมทางหลวงชนบท

Kavin Treekul¹, Chattichai Waisurasingha^{2*} and Pongrid Klungboonkrong³

ประเภท คือ (1) ถนนเดิมที่มีอยู่แล้วรอการขยายเขตทางในอนาคตทั้งหมด 36 สายทาง (2) ถนนเดิมที่มีอยู่แล้วแต่บางส่วนยังไม่มีแนวเขตทางทั้งหมด 11 สายทาง และ (3) ถนนที่ยังไม่มีแนวเขตทางทั้งหมด 5 สายทาง ทั้งหมดนี้ได้มีการนำเอาเข้าประกวดการมีส่วนร่วมของผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานในพื้นที่ เช่น นักผังเมือง นักบริหารท้องถิ่น และนักธุรกิจ มาช่วยกันตัดสินใจด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์โดยคำนึงถึงปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจแง่มุมที่หลากหลายเช่น ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐกิจ ด้านความต้องการของพื้นที่ รวมถึงด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นการจัดกลุ่มปีที่จะดำเนินการพัฒนาสายทางถนนผังเมือง ซึ่งแบ่งเป็นการจัดกลุ่มถนนออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะสั้นคือ พ.ศ.2563 ถึง พ.ศ.2567 (จำนวน 5 สายทาง งบประมาณที่ต้องใช้ 1,900 ล้านบาท) ระยะกลาง คือ พ.ศ.2568 ถึง พ.ศ.2572 (จำนวน 6 สายทาง งบประมาณที่ต้องใช้ 1,000 ล้านบาท) และระยะยาว 41 คือ พ.ศ.2573 ถึง พ.ศ.2582 (จำนวน สายทาง งบประมาณที่ต้องใช้ 8,600 ล้านบาท) ดังรูปที่ 2 อย่างไรก็ตาม การจัดลำดับความสำคัญดังกล่าวยังไม่มีความสอดคล้องกับแนวโน้มการขยายตัวของเมืองร่วม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมืองที่มีอัตราการเติบโตที่รวดเร็วอย่างเมืองขอนแก่นเป็นต้น โดยเหตุนี้ การนำผลการจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนาโครงการพัฒนาสายทางซึ่งเป็นถนนในเขตผังเมืองเพื่อประเมินความสอดคล้องระหว่างแผนการพัฒนากับทิศทางการขยายตัวของเมืองจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ

4.2 การวิเคราะห์ทิศทางการขยายตัวของเมือง

การศึกษาในอดีตได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของงานสำรวจระยะไกล (remote sensing) ควบคู่กับระบบภูมิสารสนเทศ (GIS) ในการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินแบบหลายช่วงเวลา ยกตัวอย่างเช่น [6] ได้นำเอาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท (Landsat) แบบหลายช่วงเวลามาวิเคราะห์การขยายตัวของนครไนโรบี (Nairobi) เมืองหลวงของประเทศเคนยา (Kenya) ในระหว่างปี ค.ศ. 1976-2000 (25 ปี) ซึ่งเป็นเศรษฐกิจสำคัญสำหรับทวีปแอฟริกา โดยผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลต่อการขยายตัวของเมือง อาทิ ปริมาณประชากร รายได้ประชากร และเส้นทางคมนาคม เป็นต้น ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ ในเวลาต่อมา [7] ได้นำภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลา โดยเป็นข้อมูลระหว่างปี ค.ศ.1973-2000 (28 ปี) มาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในเขตเมืองบินดูรา (Bindura) ประเทศซิมบับเว (Zimbabwe) ซึ่งเป็นเมืองกลีกรรรมและแหล่งแร่ทองคำที่สำคัญของภูมิภาคแอฟริกาตะวันออก และสำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ขณะที่ [8] ได้ใช้ Land Change Modeler (LCM) วิเคราะห์แผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (LU/LC) ในปี ค.ศ. 2005, 2010 และ 2017 ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ในพื้นที่ที่มีการพัฒนาเป็นเมืองอย่างรวดเร็วในภูมิภาคทางดั่งฮองกง และมาเก๊าของประเศจีนทางตอนใต้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในช่วงปี ค.ศ. 2005-2017 และคาดการณ์สถานการณ์ในอนาคตสำหรับปี ค.ศ. 2024 และ 2031 โดยได้ให้ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง LU/LC ในปัจจุบันและที่คาดการณ์ไว้จะช่วยให้ผู้กำหนดนโยบายและผู้ตัดสินใจพิจารณาทบทวนและพัฒนานโยบายใหม่เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนและการคุ้มครองทรัพยากรธรรมชาติ จากการศึกษาวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมา จะเห็นว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลาได้ให้ผลการศึกษาที่ดีในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน (LU/LC change analysis) ของเมืองสำคัญๆที่กำลังพัฒนาโดยได้แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์แรงขับเคลื่อนได้อย่างชัดเจน โดยเหตุทั้งหมดที่กล่าวมานี้ การวิเคราะห์การขยายตัวของเมืองสำคัญในประเทศไทยจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจึงเป็นเรื่องที่สามารถทำได้ และผลการศึกษาต่าง ๆ ได้ชี้ให้เห็นชัดเจนว่า การวิเคราะห์การขยายตัวของเมืองนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเมืองทั้งมิติทางด้านเศรษฐกิจ และมิติทางด้านสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2 แผนที่ดิจิทัลแสดงโครงข่ายแผนการพัฒนาด้านผังเมืองในเขตเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น [1]

5. เครื่องมือและข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

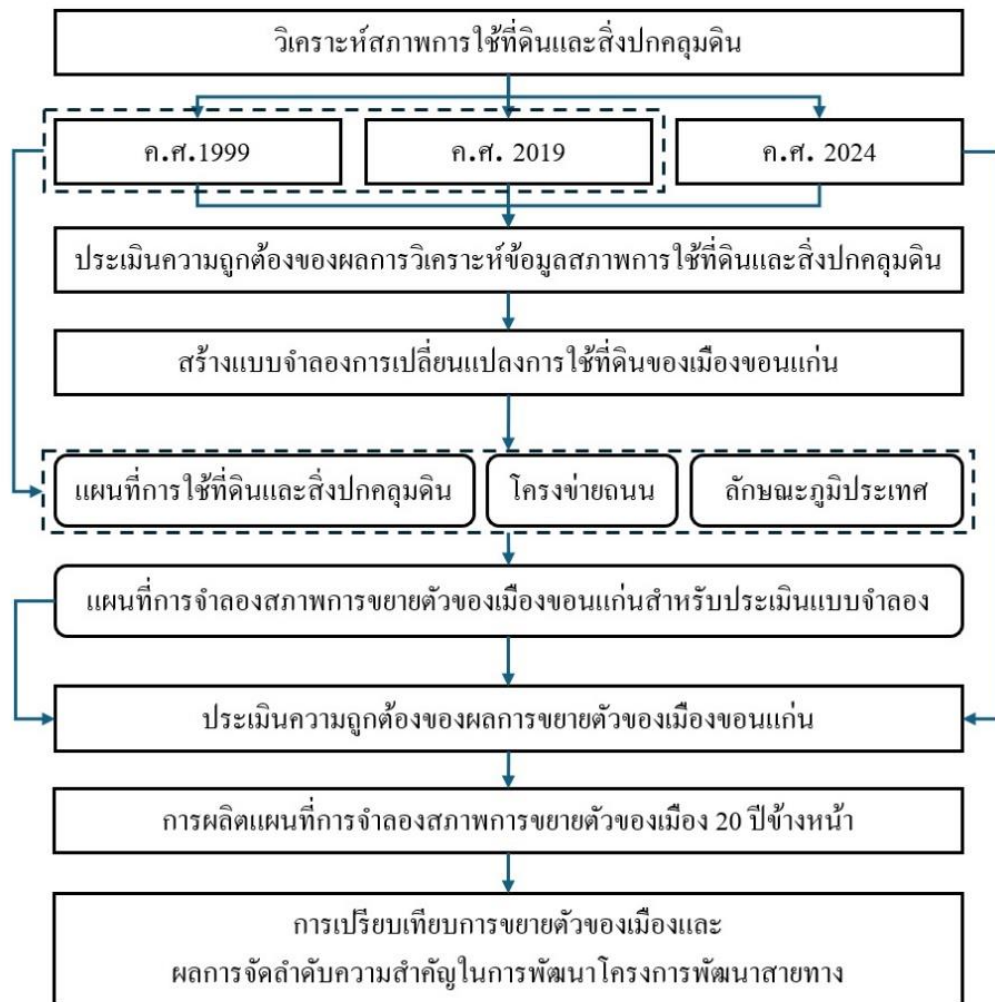
การจำลองการใช้ที่ดิน (LCM) สำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่พัฒนาโดย Clark Labs เป็นโมดูลหนึ่งในซอฟต์แวร์ Terrset2020 โดยมีหลักการสำคัญของ LCM คือ (1) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างช่วงเวลา (2) หาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงกับปัจจัยต่างๆ เช่น ความลาดชัน ระยะห่างจากถนน การเติบโตของเมือง และ (3) สร้างแบบจำลองเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยได้เลือกวิเคราะห์ข้อมูลชุด Landsat ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 และใช้ข้อมูลจาก Google Earth ในการเป็นข้อมูลอ้างอิงความถูกต้องสำหรับการประเมินความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลชุด Landsat ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ชุดข้อมูล	บันทึกข้อมูล	ตัวรับสัญญาณ	Path/row	ความละเอียด (เมตร)
Landsat 7	25 พฤศจิกายน ค.ศ. 1999	ETM+	128/49	30x30
Landsat 8	24 พฤศจิกายน ค.ศ. 2019	OLI	128/49	30x30
Landsat 8	27 เมษายน ค.ศ. 2024	OLI	128/49	30x30

6. วิธีการดำเนินงานวิจัย

สำหรับการศึกษาวิจัยนี้มีขั้นตอนโดยสรุปของวิธีการศึกษาวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนโดยสรุปของวิธีการศึกษาวิจัย (Research Flow)

6.1 การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (LULC)

ในการศึกษาวิจัยนี้จะได้มีการนำข้อมูลชุด Landsat ข้างต้นมาใช้ในการวิเคราะห์โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดพื้นที่สนามบินออกจากการจำแนกและแบ่งการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ

- พื้นที่แหล่งชุมชน (Build-up Area, [BA]) คือ บริเวณที่มนุษย์สร้างขึ้น สิ่งปลูกสร้าง ที่พักอาศัย อาคารบ้านเรือน เป็นต้น
- พื้นที่การเกษตร (Agriculture, [AG]) คือ บริเวณพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกทำการเกษตร เช่น ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง เป็นต้น
- พื้นที่พืชพรรณ (Vegetation, [VG]) คือ บริเวณที่มีการกระจายของต้นไม้ซึ่งเป็นได้ทั้งป่าดิบ ป่าโปร่ง และป่าละเมาะ
- พื้นที่ว่างเปล่า (Bare Land, [BL]) คือ บริเวณพื้นที่โล่งหรือพื้นที่ว่างเปล่า แต่อาจจะมีหญ้าปกคลุมเล็กน้อย
- แหล่งน้ำ (Water Resources, [WR]) คือ บริเวณที่เป็นน้ำ เช่น แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ บึงหนองหรือรวมไปถึงบริเวณน้ำท่วม

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการจำแนกประเภทแบบควบคุม (supervised classification) ที่อาศัยการแปลตีความข้อมูลภาพถ่ายเทียม การวิเคราะห์แผนที่จาก Google Earth การลงพื้นที่ และประสบการณ์ของแต่ละบุคคล เพื่อกำหนดตัวอย่างข้อมูลในแต่ละประเภทบนสิ่งปกคลุมดินได้ ซึ่งเรียกว่า “พื้นที่ตัวอย่าง (training sample)” ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เน้นไปที่ตัวจำแนกแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines: SVM)

6.2 การประเมินความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้การวิเคราะห์เมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน (Error Matrix) ดังรูปที่ 4 เพื่อวิเคราะห์หาค่า Kappa มาตรฐาน จากสมการที่ 1 และค่า kappa index ในเชิงสถิติจะเขียนอยู่ในรูป $\hat{K}$ ซึ่งถือว่าเป็นค่าความถูกต้อง [5] และค่า $\hat{K}$ นี้สามารถคำนวณได้จาก สมการ (1)

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (1)$$

กำหนดให้ r คือ จำนวนแถวของตาราง error matrix, x_{ii} คือ ค่าในแถวที่ i และคอลัมน์ที่ i , x_{i+} คือ ผลรวมของค่าอ้างอิงในแต่ละแถว (แสดงค่าทางขวามือของตาราง error matrix), x_{+i} คือ ผลรวมของค่าอ้างอิงในแต่ละคอลัมน์ (แสดงค่าทางส่วนล่างของตาราง error matrix) และ N คือ ผลรวมจากทุกค่าอ้างอิง

		j = Columns (Reference)			Row Total
		1	2	r	x_{i+}
i = Rows (Classification)	1	x_{11}	x_{12}	x_{1k}	x_{1+}
	2	x_{21}	x_{22}	x_{2k}	x_{2+}
	r	x_{k1}	x_{k2}	x_{kk}	x_{k+}
Column Total x_{+i}		x_{+1}	x_{+2}	x_{+3}	x_{+4}

รูปที่ 4 ตัวอย่างการสร้างตารางเมตริกซ์ความคลาดเคลื่อน [5]

6.3 การประเมินความถูกต้องของผลการขยายตัวของเมืองขอนแก่น

การประเมินความถูกต้องของผลการขยายตัวของเมืองขอนแก่น โดยเป็นการเปรียบเทียบผลการขยายตัวของเมืองในปี ค.ศ. 2024 เทียบกับข้อมูลผลการจำแนกที่ได้จากปี ค.ศ. 2024 โดยจะได้มีการใช้โมดูล Validate ที่เป็นไปตามหลักการของ [4] ในการวิเคราะห์หาค่า Kappa ต่าง ๆ ทั้ง Kstandard, Kno, Klocation, และ Kquantity ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยหากค่าใกล้ 1 แสดงถึงมีความถูกต้องสูง และหากค่าใกล้ 0 จะหมายถึงความถูกต้องต่ำ ทั้งนี้สามารถแบ่งเกณฑ์การพิจารณาโดยละเอียดดังนี้

- (ก) 0.00 - 0.20 แสดงถึง ความถูกต้องต่ำมาก
- (ข) 0.21 - 0.40 แสดงถึง ความถูกต้องต่ำ
- (ค) 0.41 - 0.60 แสดงถึง ความถูกต้องปานกลาง
- (ง) 0.61 - 0.80 แสดงถึง ความถูกต้องดี
- (จ) 0.81 - 1.00 แสดงถึง ความถูกต้องดีมาก

6.4 การผลิตแผนที่การจำลองสภาพการขยายตัวของเมือง 30 ปีข้างหน้า

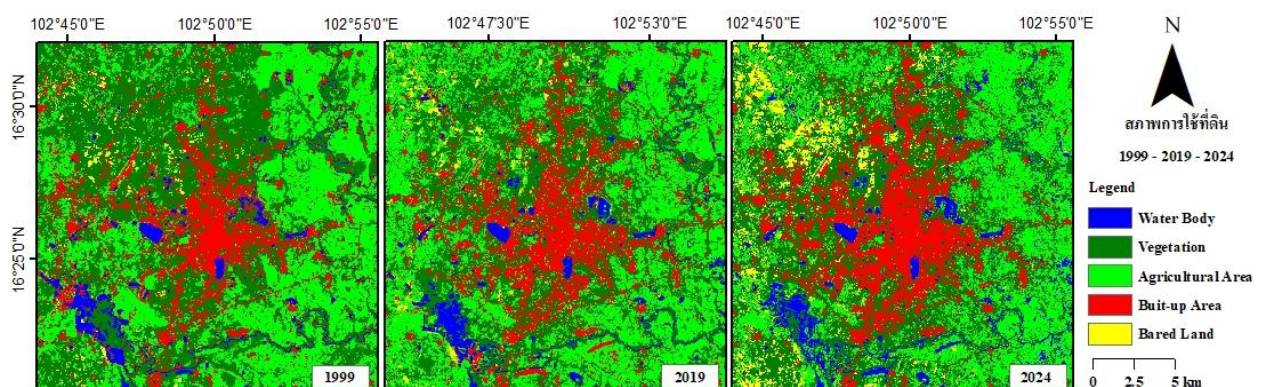
ภายหลังจากการวิเคราะห์ถึงคุณภาพการวิเคราะห์ผลการขยายตัวของเมืองในปี ค.ศ. 2024 เทียบกับข้อมูลผลการจำแนกที่ได้จากปี ค.ศ. 2024 จะได้มีการจำแนกถึงผลการทำนายสภาพการใช้ที่ล่วงหน้า ทุก ๆ 5 ปีเป็นเวลา 30 ปี จนถึงปี ค.ศ. 2049

6.5 การเปรียบเทียบการขยายตัวของเมืองและผลการจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนาโครงการพัฒนาสายทาง

เพื่อที่จะวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยที่ต้องการจำลองการขยายตัวของเมืองในอนาคตเพื่อใช้วิเคราะห์ร่วมกับผลการวางแผนและจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนาสายทางของถนนผังเมือง ซึ่งเป็นแผนการพัฒนายาวไกลถึง 20 ปีในอนาคต การศึกษาในขั้นตอนนี้จะได้มีการวิเคราะห์โดยการนำเอาชั้นข้อมูลแผนการพัฒนายาวไกลของถนนผังเมืองมาซ้อนทับกับแผนที่การจำลองสภาพการขยายตัวของเมือง 20 ปีข้างหน้า นับจากปี ค.ศ. 2019 ซึ่งก็คือ แผนที่การจำลองสภาพการขยายตัวของเมืองปี ค.ศ. 2039

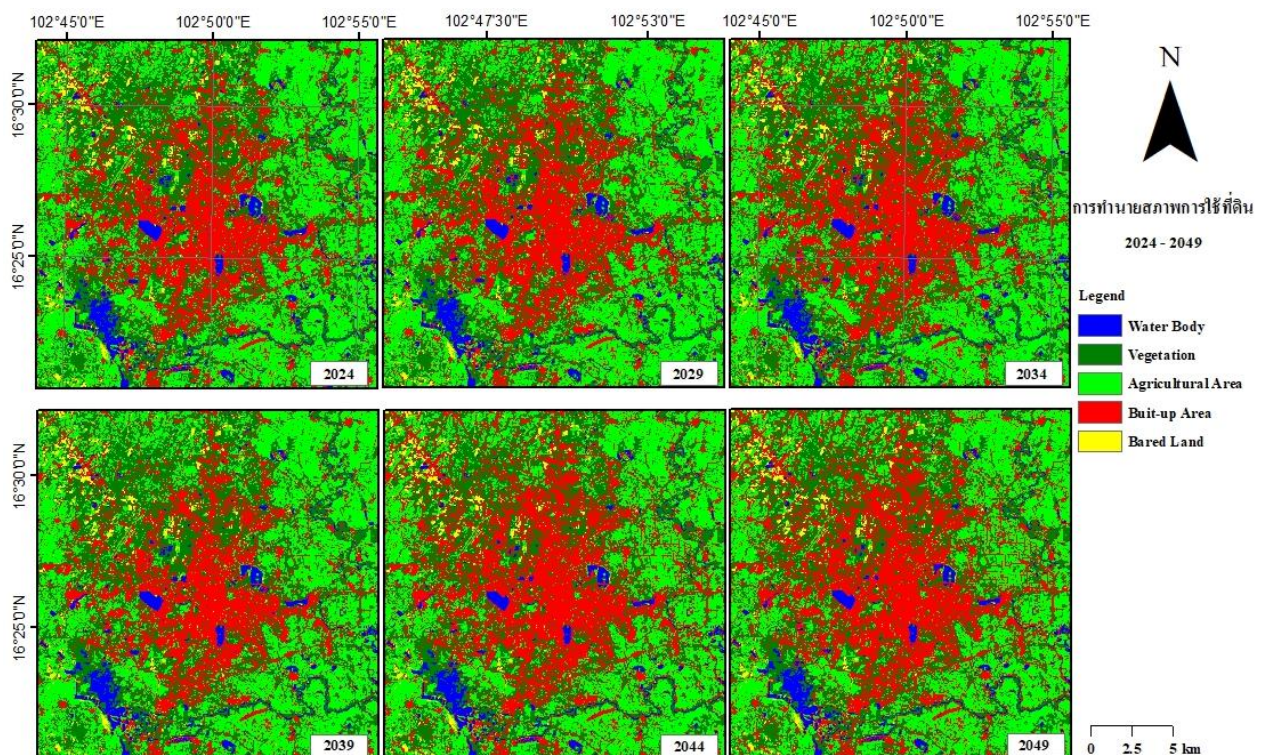
7. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลลัพธ์รูปที่ 5 สำหรับการจำแนกการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ของปี ค.ศ. 1999, 2019 และ 2024 ซึ่งค่าความถูกต้องของการจำแนกเมื่อเทียบกับข้อมูลอ้างอิงแล้วพบว่า มีความถูกต้องในรูปของค่า $\hat{K}$ เป็น 0.94, 0.97 และ 0.88 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก เหมาะสมสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ในขั้นตอนของการพัฒนาแบบจำลองการใช้ที่ดิน



รูปที่ 5 ผลการจำแนกการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ด้วยตัวจำแนกแบบ SVM ของปี ค.ศ. 1999, 2019 และ 2024

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้มีการพัฒนาแบบจำลองการใช้ที่ดินลงในโมดูล Land Use Modeler ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 6 โดยผู้วิจัยได้มีการ Validate แบบจำลองทำนายสภาพการใช้ที่ดินดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า มีความถูกต้องของแบบจำลองมีเฉพาะส่วนของค่า KStandard เท่านั้นที่ต่ำกว่า 0.6 ในขณะที่ KLocation, KQuantity และ KNo เกิน 0.6 ซึ่งสอดคล้องกับค่าวิเคราะห์ของ [4] ที่เสนอแนะว่า ในการพยากรณ์การใช้ที่ดินนั้น ค่า KStandard ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ค่า Kappa แบบทั่วไปนั้นอาจจะให้ค่าที่ต่ำกว่า สำหรับในกรณีนี้ ถึงแม้ว่าจะมีค่าที่ต่ำกว่า 0.6 แต่ก็มากกว่า 0.4 จึงนับว่า มีความถูกต้องปานกลาง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการทำนายผลการใช้ที่ดินในอนาคต ในขณะที่ค่า Kappa ตัวอื่น ๆ ใกล้เคียงกับการศึกษาในอดีตของ [7] ที่เป็นการทำนายแบบ Rapid Change เช่นเดียวกับการทดสอบในการศึกษานี้โดยอยู่ในระดับ 0.6 – 0.8 สะท้อนให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือการของทำนายแบบ Rapid Change สะท้อนให้เห็นว่า ตำแหน่งที่ได้ของการใช้ที่ดินมีความถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลอ้างอิงซึ่งเป็นการจำแนกการใช้ที่ดินของปี ค.ศ. 2024



รูปที่ 6 ผลการทำนายสภาพการใช้ที่ล่วงหน้า ทุก ๆ 5 ปีเป็นเวลา 30 ปี

หลังจากนั้น จึงได้มีการนำเอาชั้นข้อมูลแผนสนับสนุนการพัฒนาถนนผังเมืองในส่วนของการพัฒนาสายทางของถนนผังเมืองที่ดำเนินการโดยใช้เทคนิค AHP มาช่วยในการจัดลำดับความสำคัญความสำคัญและวางแผนการพัฒนามาออกเป็นระยะสั้น (ปี ค.ศ.2020 ถึง ค.ศ.2024) ระยะกลาง (ปี ค.ศ.2025 ถึง ค.ศ.2029) และระยะยาว (ค.ศ.2030 ถึง ค.ศ.2039) ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลการขยายตัวของเมืองทั้งปี ค.ศ.2039 แล้วจะเห็นว่า มีการสอดคล้องกับการเติบโตของเมืองอย่างชัดเจนยืนยันความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาสายทางของถนนผังเมืองร่วมกับข้อมูลถนนผังเมืองของเขตผังเมืองรวมของเมืองขอนแก่น พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องผลการลำดับความสำคัญของการพัฒนาถนนผังเมืองที่ได้ทำไว้แล้วล่วงหน้า นั้นหมายถึง ผลการทำนายการเปลี่ยนแปลง

การใช้ที่ดินด้วยแบบจำลองการขยายตัวของเมืองที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคการจัดลำดับความสำคัญแบบภูมิสารสนเทศที่มีการผสมผสานเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมได้สะท้อนให้เห็นถึงทิศทางการพัฒนาเมืองที่สอดคล้องกับแผนการขยายโครงข่ายถนนผังเมืองของแผนการพัฒนาสายทางของถนนผังเมือง และแผนสนับสนุนการพัฒนาถนนผังเมืองในส่วนของการพัฒนาสายทางของถนนผังเมืองของเมืองขอนแก่นฉบับนี้ได้ถูกบรรจุเข้าไปในแผนของกรมทางหลวงชนบท ในด้านหนึ่งผลลัพธ์จากการพยากรณ์การขยายตัวของเมืองนับเป็นการยืนยันการวิเคราะห์วางแผนด้วยเทคนิค AHP มาช่วยในการจัดลำดับความสำคัญความสำคัญแต่ในอีกทางหนึ่งก็แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการพยากรณ์อนาคตของเมืองในการช่วยยืนยันความเชื่อมั่นให้กับผู้บริหารในการตัดสินใจได้ด้วยเช่นกัน และในมิติเดียวกันนี้เองสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ [9] ที่ได้กล่าวว่า การพยากรณ์และการวิเคราะห์การเติบโตของเมืองนับเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจใช้แนวทางปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวางแผนและการจัดการในอนาคต

ตารางที่ 1 ค่าของรายการดัชนี Kappa แบบต่าง ๆ

รายการดัชนี Kappa	ค่าดัชนี Kappa
Kstandard	0.5368
Kno	0.7222
Klocation	0.6313
KQuantity	0.6313

8. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองการขยายตัวของเมืองในอนาคตเพื่อใช้วิเคราะห์ร่วมกับผลการวางแผนและจัดลำดับความสำคัญในการพัฒนาสายทางของถนนผังเมือง ภายใต้กรอบแนวคิดของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้/ครอบคลุมที่ดิน (LULC) เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาเป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเพื่อพยากรณ์ทิศทางการเติบโตหรือการเปลี่ยนแปลงของสภาพการใช้ที่ดินในอนาคต เพื่อที่จะทำนายรูปแบบการขยายตัวของพื้นที่ในเขตผังเมืองรวมขอนแก่นในอีก 30 ปีข้างหน้า นับจาก ปี ค.ศ. 2019 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการขยายตัวของเมืองในปี ค.ศ. 2039 แสดงให้เห็นถึงการสอดคล้องอย่างชัดเจนกับการเติบโตของเมือง ซึ่งยืนยันความเหมาะสมในการพัฒนาโครงข่ายถนนผังเมือง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลถนนผังเมืองในเขตผังเมืองรวมของเมืองขอนแก่น พบว่าผลลัพธ์สอดคล้องกับลำดับความสำคัญในการพัฒนาด้านที่วางแผนไว้ล่วงหน้า การทำนายการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยแบบจำลองการขยายตัวของเมืองที่พัฒนาด้วยเทคนิคการจัดลำดับความสำคัญเชิงภูมิสารสนเทศและการสำรวจระยะไกลด้วย LCM ที่มีการใช้เทคโนโลยีการคำนวณด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ได้แสดงให้เห็นถึงทิศทางการพัฒนาเมืองที่สอดคล้องกับแผนการขยายโครงข่ายถนนผังเมือง โดยการพัฒนาสายทางถนนผังเมืองของเมืองขอนแก่นฉบับนี้ได้รับการบรรจุไว้ในแผนของกรมทางหลวงชนบท

การศึกษาในอนาคตการศึกษาควรอย่างยิ่งที่จะวิเคราะห์ปัจจัยด้านนโยบายภาครัฐที่มีผลต่อการเติบโตของเมือง ทั้งนี้เพื่อที่จะได้มีการทดสอบนโยบายของภาครัฐต่าง ๆ ว่า หากมีการกำหนดลงไปแล้วจะก่อให้เกิดจากทัศน์ (Scenario) แบบใดได้บ้าง ยิ่งไปกว่านั้น ควรจะมีการนำแนวทางการศึกษานี้ไปทดลองใช้งานกับพื้นที่อื่น ๆ เพื่อที่จะยืนยันความถูกต้องของการศึกษา ทั้งนี้เพราะการศึกษาวิจัยนี้ดำเนินการเฉพาะพื้นที่ในเขตผังเมืองรวมของอำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่นเท่านั้น ดังนั้น การจะนำเอาการพยากรณ์อนาคตของเมืองไปเป็นส่วนหนึ่งในการปฏิบัติงานตามหลักคิดของ [9] จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาต่อขอในพื้นที่อื่น ๆ

ด้วยเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษาในอนาคตสามารถทำต่อขยายได้โดยระบุถึงความสัมพันธ์ระหว่างผังเมืองที่ประกาศไว้กับผลการศึกษา และในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงหรือควบคุมผังเมืองหรือหากมีการปรับปรุงแผนโครงข่ายถนนจะมีการส่งผลต่อแบบจำลองการทำนายการขยายตัวของเมืองในอนาคตในมิติความถูกต้องของแบบจำลองอย่างไร อีกทั้งการศึกษาในอนาคตควรจะมีการดำเนินการพิจารณาถึงประเด็นการวางแผนทางด้านการคมนาคมขนส่ง ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากขึ้นเพียงใด อนึ่ง ผลการศึกษาวิจัยนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนเชิงกลยุทธ์ด้านการขนส่งและจราจรในมิติที่ผสมผสานกับการขยายตัวของเมืองได้ ทั้งนี้ผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นแล้วว่า การมีฉันทกทัศน์ด้านการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นการยืนยันความมั่นใจในการวางแผนการพัฒนาสายทางในเขตเมืองได้อย่างชัดเจน

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิทยานิพนธ์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอกราบขอบพระคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยจากศูนย์วิจัยพัฒนามูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน. (2563). รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) โครงการจัดทำแผนพัฒนาทางหลวงชนบทประจำกรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 กลุ่มที่ 3 (มหาวิทยาลัยขอนแก่น). มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น
- [2] Aryaguna, P. A., & Saputra, A. N. (2020). Land change modeler for predicting land cover change in Banjarmasin City, South Borneo (2014—2022). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 500, 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012002>
- [3] Keshtkar, H., & Voigt, W. (2016). A spatiotemporal analysis of landscape change using an integrated Markov chain and cellular automata models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0068-4>
- [4] Pontius, R. G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, 1011-1016.
- [5] Van Ninh, T., Waisurasingha, C. (2018). Land use/cover change and landscape fragmentation analyses in Khon Kaen City, Northeastern Thailand. *International Journal of GEOMATE*, 15 (47), 201-208.
- [6] Mundia, C. N., & Aniya, M. (2005). Analysis of land use/cover changes and urban expansion of Nairobi city using remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 26(13), 2831-2849. <https://doi.org/10.1080/01431160500117865>
- [7] Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., & Manjoro, M. (2009). Rural sustainability under threat in Zimbabwe – Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography*, 29(3), 435-447. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.002>
- [8] Hasan, S., Shi, W., Zhu, X., Abbas, S., & Khan, H. U. A. (2020). Future Simulation of Land Use Changes in Rapidly Urbanizing South China Based on Land Change Modeler and Remote Sensing Data. *Sustainability*, 12(11), 4350. <https://doi.org/10.3390/su12114350>
- [9] Kamusoko, C. (2022). *Optical and SAR Remote Sensing of Urban Areas: A Practical Guide*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-5149-6>