การวิเคราะห์การขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างต่อเส้นทางการไหลของน้ำบริเวณโดยรอบจุดสิ้นสุดโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

An Analysis of Build-Up Growth Impacts to Water Stream Line of Motorway-6 Project End Point in Muang District of Nakhon Ratchasima Province

ปฏิวัติ ฤทธิเดช,[1] สาธิต แสงประดิษฐ์,[2] นุชนาฎ บัวศรี,[2] นฤเศรษฐ์ ประเสริฐศรี,[2] ธีรญา อุทธา[2] และเบญจมาภรณ์ พุ่มหิรัญโรจน์[3]

Patiwat Littidej,[1] Satith Saengpradit,[2] Nutchanat Buasri,[2] Narueset Prasertsri,[2] Theeraya Uttha[2] and Benjamabhorn Pumhirunroj[3]

Received: 6 August 2018 ; Revised : 23 January 2019 ; Accepted: 20 February 2019

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินอันเนื่องจากการเติบโตของเมืองที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์จังหวัดนครราชสีมาก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมหลายประการ วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือเพื่อประเมินอัตราการเติบโตและสร้างแผนที่ของสิ่งปลูกสร้างจากข้อมูลเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของภาพดาวเทียมระหว่าง พ.ศ.2556-2559 สำหรับทำนายการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างของปี พ.ศ.2564 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ผลการศึกษาพบว่าถนนมอเตอร์เวย์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบการขยายตัวของชุมชนเมืองมากที่สุด ในขณะที่พื้นที่เบ็ดเตล็ดเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่มากที่สุด พื้นที่สิ่งก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง รูปแบบการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างเปลี่ยนเป็นการเติบโตแบบกระจายตามแนวถนนมอเตอร์เวย์มากกว่าถนนสายรอง พื้นที่สิ่งปลูกสร้างจากการจำลองส่งผลให้เส้นทางน้ำไหลในลำดับที่ 1 ถึง 2 มีความยาวน้อยลง และมีทิศทางไหลออกห่างจากแม่น้ำสายหลัก (ลำตะคอง) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบปัญหาเรื่องความถูกต้องในการคาดการณ์รูปแบบการขยายตัวจากการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งพบว่ามีความถูกต้องในระดับปานกลาง (60 %) ภายใต้ขอบเขตหน่วยพื้นที่ขนาด 1 ตารางกิโลเมตร จากการประยุกต์นี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสามารถในการวางแผนจัดการชุมชนได้ในระดับหนึ่ง แต่ควรให้ความสนใจในเรื่องของค่าความถูกต้องและการคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการจำลองแบบ ทั้งนี้เพื่อให้แบบจำลองมีความเป็นไปได้ในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การขยายตัวของสิ่งปลูกสร้าง, มอเตอร์เวย์ 6 (บางปะอิน-นครราชสีมา), แบบจำลอง CA-Markov, เส้นทางการไหลของน้ำ, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Abstract

Due to rapid growth of Nakhon Ratchasima province. Land use and Land cover change (LULC) change takes place in surrounding end point of Motorway of Nakhon Ratchasima municipality and its vicinity, various types of environmental impacts occur in the area. Main objectives of the study are to assess built-up growth rate and mapping from transition matrix of satellite image during 2013-2016. Results of the built-up growth prediction of land cover in 2021 using CA-Markov showed that Motorway road was the strongest predictor variable and the most vulnerable land

---

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ [2]ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

[1,2]อาจารย์ ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[3] สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร 47000

[1] Assist. Prof., [1,2]Faculty of Informatics, Mahasarakham University

** Corresponding : Patiwat Littidej, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand : patiwat_noof@hotmai.com*

use lost was miscellaneous. Urban and built-up areas had continuously increased while agricultural and forest had continuously decreased. Urban growth pattern was linear strip development but its pattern was changed to be a scattered development. The simulated area results in a shorter flow of water in stream order 1 to 2. The direction of the flow of water away from the main river (Lamtaklong). However, the forecast of urban growth pattern remains problematic because the model performed with a relatively moderate predictive ability (60 %) at a spatial unit of 1 km. x 1 km. This application of the CA-Markov model demonstrated an ability to address a range of local planning issue, but spatial accuracy and variable selection were among the factors that must be further considered for practical application.

Keywords: Built-Up growth, Motorway-6 (M-6 Bangpain-Nakhon Ratchasima), CA-Markov model, Stream flow, Geographic Information System (GIS)

บทนำ

จากการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทำให้ความต้องการทางด้านสาธารณูปโภคมีเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะด้านการคมนาคมขนส่ง ทำให้ทางหลวงในปัจจุบันไม่สามารถรองรับความต้องการเดินทางและขนส่งสินค้าของประชาชนที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจรแออัดเดินทางล่าช้าเกิดอุบัติเหตุทางถนนบ่อยครั้ง และนำไปสู่ความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจของประเทศอย่างมหาศาล ด้วยสภาพเศรษฐกิจ สังคม และการพัฒนาประเทศที่เปลี่ยนไปจากเดิม โดยให้ความสำคัญของการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง เพื่อความสะดวกและปลอดภัยในการเดินทางและขนส่งสินค้าภายในประเทศเชื่อมโยงเข้ากับระบบขนส่งทั้งทางน้ำ ทางราง และทางอากาศ ซึ่งส่งเสริมบทบาทของประเทศไทยในการเป็นศูนย์กลางด้านการคมนาคมขนส่งและโลจิสติกส์ของภูมิภาค ซึ่งจะเห็นได้จากการที่รัฐบาลได้ผลักดันให้มีการดำเนินการอนุมัติการลงทุนโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (มอเตอร์เวย์) 3 สาย ได้แก่ 1 สายบางปะอิน-สระบุรี-นครราชสีมา ระยะทาง 196 กม. 2. สายบางใหญ่-กาญจนบุรี 96 กม. 3. สายพัทยา-มาบตาพุด 32 กม. ซึ่งจากโครงการดังกล่าว ทำให้มีการเข้ามาซื้อที่ดินของกลุ่มนายทุนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ตามแนวโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างไร้ทิศทาง และทำให้เกิดการใช้พื้นที่ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกกรณีตัวอย่างบริเวณทางหลวงพิเศษหมายเลข 6 สายบางปะอิน-นครราชสีมา ซึ่งเป็นทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายที่สามของประเทศไทย และมีเศรษฐกิจใกล้เคียงกับโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองที่ได้รับการอนุมัติในข้างต้น เมื่อมีการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างและสิ่งปกคลุมดิน บางครั้งมีการเติบโตที่ผิดรูปไปขวางเส้นทางการระบายน้ำ ในการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะสร้างแบบจำลองทำนายอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นจุดทางหลวงพิเศษหมายเลข 6 และถนนเลี่ยงเมืองหมายเลข 2 นครราชสีมา ปัจจุบันมีการวิจัยด้านการทำนายการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินมีการศึกษามาอย่างต่อเนื่องและมีการสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่ออธิบายรูปแบบการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างรอบชุมชนเมืองที่มีความซับซ้อน ทั้งนี้[1,2] ได้กล่าวว่าการจำลองแบบคือกระบวนการทำซ้ำรูปแบบจากการสังเกตภายใต้ตัวแปรที่ทราบค่า (Known Factors) เพื่อคาดการณ์รูปแบบการใช้ที่ดินในอนาคต โดยที่[3] พบว่าขั้นตอนของการกำหนดเงื่อนไข (Transition Rules) มีความสำคัญมากที่สุดในกระบวนการสร้างแบบจำลอง โดยที่[4] สรุปว่าขั้นตอนของการคาดการณ์แนวโน้มโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนของการสร้างมาตรวัด (Calibration) โดยศึกษาและจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบจากข้อมูลย้อนหลัง และ 2) ขั้นตอนของการคาดการณ์แนวโน้ม (Prediction) ทั้งนี้ในปัจจุบัน แบบจำลองมีพัฒนาการที่รวดเร็วและได้กลายเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจที่สำคัญ ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากพัฒนาการด้านข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่นข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่มีความสามารถสูง ส่งผลให้แบบจำลองการขยายตัวของชุมชนเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์และวางแผนเพื่อแก้ปัญหาเชิงพื้นที่[4] จำแนกข้อมูลพื้นที่เมืองจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM เพื่อจำลองแบบการขยายตัวของเมือง[5] ประยุกต์ทฤษฎี Cellular Automation (CA) ในแบบจำลองการขยายตัวของเมืองภายใต้หลักการพื้นฐานการวิเคราะห์แบบตารางกริดซึ่งได้จากการจำแนกข้อมูลเชิงพื้นที่จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM[2] วิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่เมืองย้อนหลังจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อศึกษาขีดจำกัดการขยายตัวของพื้นที่เมืองที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ด้วยการคำนวณ

Pixel ภาพด้วย Kernel 3x3[2] ยังได้จำแนกข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลมาประยุกต์ใช้กับทฤษฎี Cellular Automation (CA) โดยวิเคราะห์ร่วมกับทฤษฎีทางสถิติแบบ Stochastic เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่จากการวิเคราะห์ Pixel รอบข้างที่มีผลต่อ Pixel กลาง[6] ศึกษาวิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินบริเวณห้วยหินดาด จังหวัดระยอง โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินระหว่างช่วงเวลาผนวกกับแบบจำลอง Markov Chain Model เพื่อศึกษาถึงวิวัฒนาการการใช้ที่ดิน 5 ประเภทหลัก และมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับจังหวัดนครราชสีมาคือมีถนนสายหลักตัดผ่าน[7,8] ได้ใช้แบบจำลอง Markov Chain Model ศึกษาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำปิง-วัง เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม ทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมปี พ.ศ. 2538 ปี พ.ศ.2543 และปี พ.ศ. 2545 เพื่อคาดการณ์การใช้ที่ดินในอีก 8 ปีข้างหน้าด้วยแบบจำลอง Markov Chain Model เพื่อใช้วางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม

ในการวิจัยนี้จึงมีความมุ่งหวังเพื่อศึกษาทั้งอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างและจำลองการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่สองข้างทางตามแนวถนนที่ใช้วิจัยเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางน้ำไหล โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov ซึ่งเป็นแบบจำลองทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และข้อมูลพื้นฐานที่สกัดได้จากภาพดาวเทียม พ.ศ.2556-2559 ซึ่งเป็นช่วงปีที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีรูปแบบขยายตัวไปตามแนวถนนเชื่อมต่อสายย่อย การวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการนำไปกำหนดอัตราการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณโดยรอบมอเตอร์เวย์ เพื่อใช้วางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินในปีอนาคตและจัดการทรัพยากรที่ดินให้สอดคล้องกับศักยภาพของที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มรอบกำหนดซ้ำ (Iterations) ที่เหมาะสมสำหรับใช้กำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง CA-Markov ที่ใช้กับพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ (นครราชสีมา) และถนนเลี่ยงเมืองหมายเลข 2 นครราชสีมา

2) เพื่อหาอัตราการเติบโตและสร้างแผนที่การเติบโตของสิ่งปลูกสร้างของพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ (นครราชสีมา) และถนนเลี่ยงเมืองหมายเลข 2 นครราชสีมา

3) เพื่อวิเคราะห์ผลการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างต่อลักษณะเส้นการไหลของน้ำ

ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้ ขั้นตอนแรกคือการสร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ ๆ มีสิ่งปกคลุมใกล้เคียงกันและมีปัจจัยขับเคลื่อน (Driving force) เหมือนกัน ในการวิจัยนี้ใช้การนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่จุดสิ้นจุดมอเตอร์เวย์ เมืองนครราชสีมา ขนาดความกว้าง 1,000 เมตร และความยาว 13 กิโลเมตร ตามแนวจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ดังแสดงใน Figure 1-2 มาสร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงและรอบกำหนดซ้ำที่เหมาะสม จะได้ผลเป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์การวนรอบซ้ำและจำนวนช่วงภาพที่เหมาะสมที่จะใช้แบบจำลอง CA-Markov มาทำนายการอัตราการเติบโตสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์จังหวัดนครราชสีมาหรือที่คนส่วนใหญ่จะเรียกว่าโคราช (Korat) และจะเป็นการวิเคราะห์แนวโน้มการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างเพื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเส้นการไหลของน้ำในขั้นตอนสุดท้ายโดยรายละเอียดของการทำงานทั้งหมดแสดงรายละเอียดดัง Figure 3 โดยมีพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ตั้งอยู่ใน ต.ปรุใหญ่ มีเขตพื้นที่ติดต่อกับตำบลข้างเคียง ดังนี้ ทิศเหนือติดกับ ต.พุดซา และ เทศบาลนครนครราชสีมา, ทิศใต้ ติดกับเทศบาลนครนครราชสีมา ต.หนองจะบก, ทิศตะวันออก ติดกับ ต.หนองจะบก, ทิศตะวันตก ติดกับ ต.พลกรัง, ต.บ้านใหม่ และ ต.สุรนารี ขนาดของความยาวถนนที่ใช้ในงานวิจัย มีความยาว 15.68 กิโลเมตร ระยะกันชนมีขนาด 500 เมตร ออกจากเส้นถนน โดยมีพื้นที่ศึกษารวม ทั้งหมด 15.62 ตารางกิโลเมตร (ตร.กม.)

ขั้นตอนการวิจัยหลักคือการจำลองการขยายตัวของประเภทการใช้ที่ดินของสิ่งปลูกสร้าง เพราะว่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นทางน้ำไหล การศึกษานี้ทำการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ พื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างทุกประเภท รวมทั้งย่านการค้า ที่อยู่อาศัย สถานที่ราชการและเส้นทางคมนาคม 2) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ได้แก่ พื้นที่โล่ง พื้นที่ถม เป็นต้น ซึ่งรวมไปถึงพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ เช่นพื้นที่นา พื้นที่ไร่ พื้นที่สวน เป็นต้น 3) พื้นที่แหล่งน้ำ ได้แก่ พื้นที่แหล่งน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และมนุษย์สร้างขึ้น 4) พื้นที่ป่าไม้ และทำการจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) จากการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเพิ่มความสูงของพื้นที่ ๆ มีการเปลี่ยนแปลงจากคลาสอื่น ๆ มาเป็นสิ่งปลูกสร้างจะทำการจำลองเพิ่มระดับความสูงเชิงพื้นที่ของคลาสนั้น ๆ เพิ่มขึ้นจากระดับความสูงเดิมเป็น 2 เมตร การศึกษานี้จะสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบสำหรับวิเคราะห์การเป็นแปลงเส้นทางน้ำในพื้นที่อื่น ๆ ได้

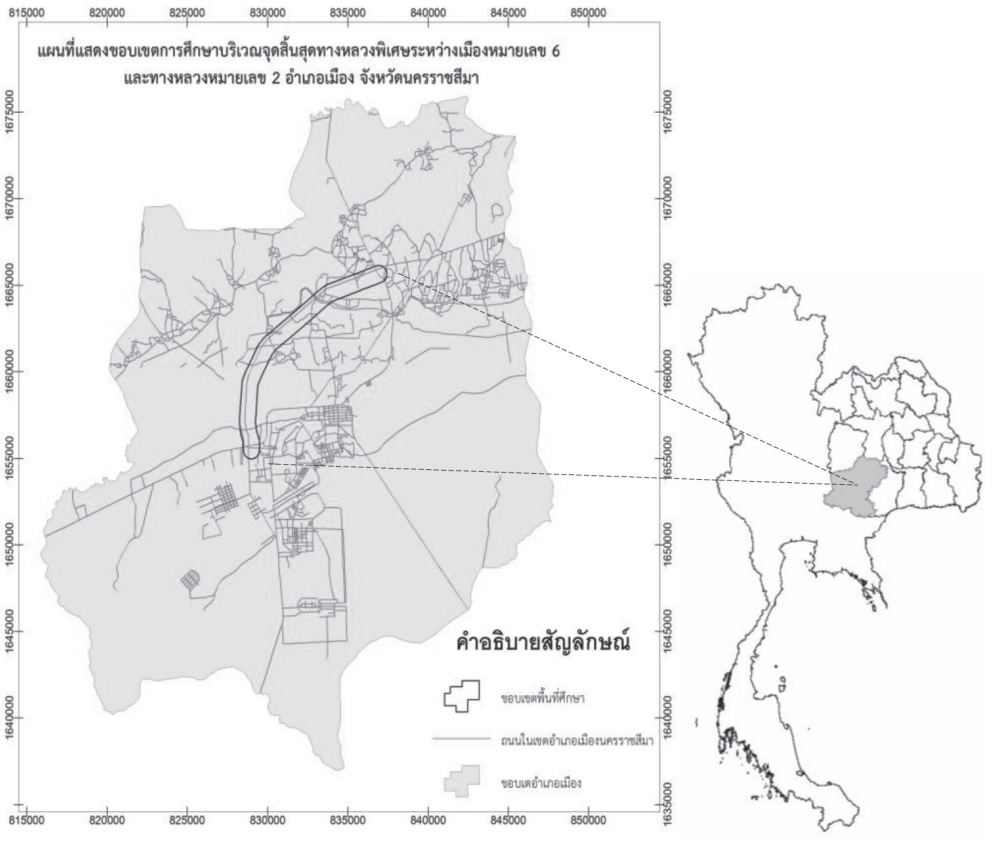

Figure 1 the extent of study area in Muang district of Nakhon Ratchasima province

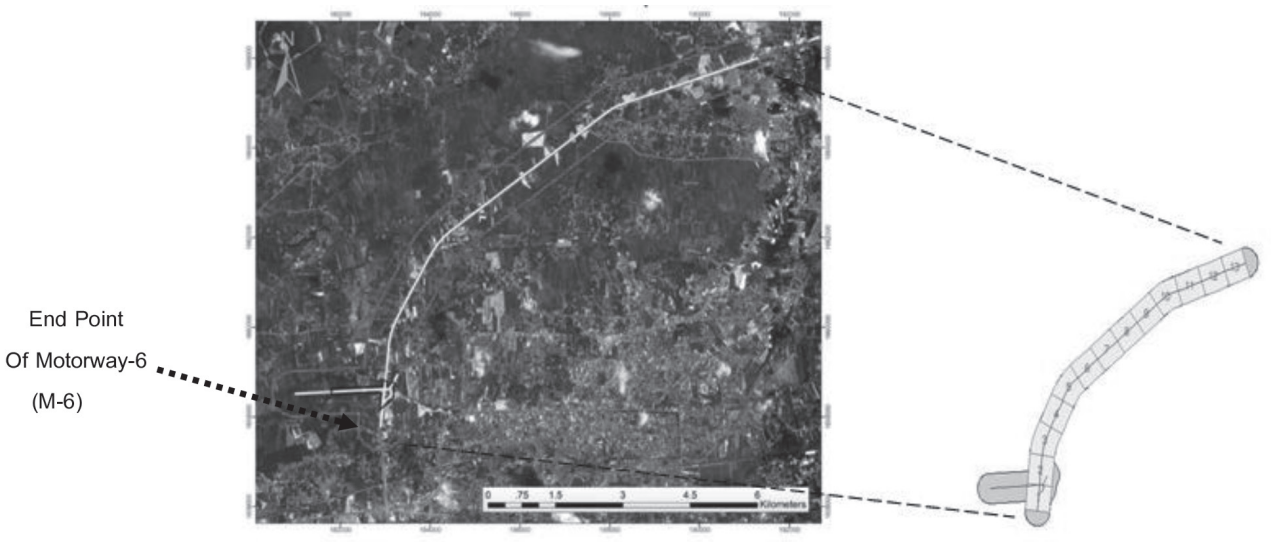

Figure 2 end point of Motorway-6 connected by by-pass road (road no.2 or Mittrapap road) and covered with 13 polygons of spatial unit for built-up growth simulation

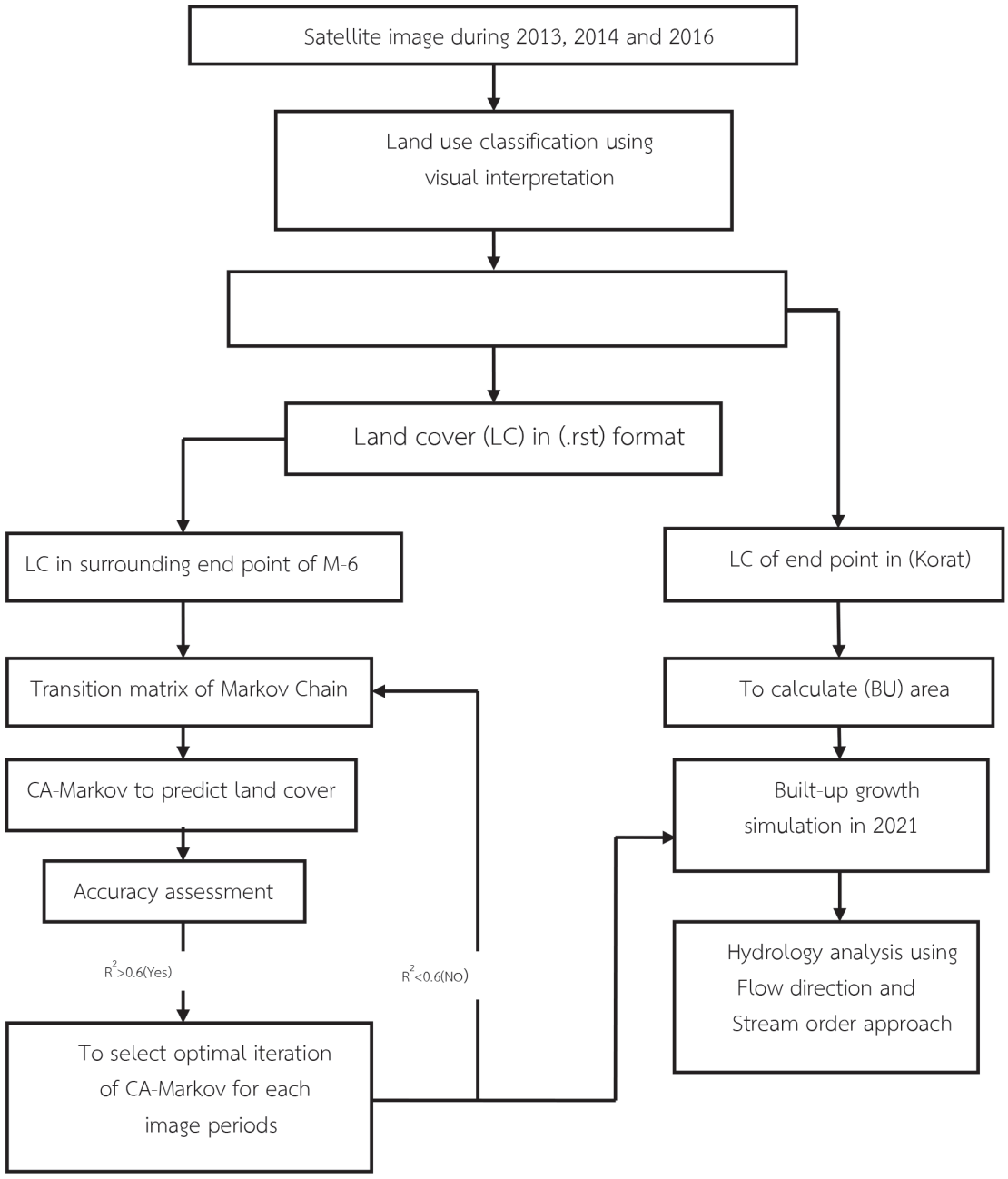

Figure 3 Framework of the study

แบบจำลองทำนายอัตราการเติบโตสิ่งปลูกสร้าง

Cellular Automata (CA) คือเทคนิคในการจำลองสถานการณ์ที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับเมืองที่มีความหลากหลาย เช่น การเจริญเติบโตของชุมชนเมือง การเติบโตของเมืองในอดีต และพัฒนาการของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น CA เป็นแบบจำลองเชิงพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของขบวนการต่าง ๆ ในพื้นที่แสดงในรูปแบบของข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่หรือในรูปแบบของแผนที่ หลักการทำงานของ CA อาศัยการคำนวณความเปลี่ยนแปลงจากจุดภาพข้างเคียงโดยกำหนดเงื่อนไขไว้ล่วงหน้า ซึ่งจะมีการคำนวณซ้ำเป็นรอบ ๆ จนกว่าจะสามารถกำหนดตำแหน่งการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาได้ครบถ้วนตามเงื่อนไขที่ตั้งเอาไว้

แบบจำลองมาร์คอร์ฟ (Markov Model) เป็นขบวนการที่มีการเคลื่อนจากสภาพหนึ่งไปอีกสภาพหนึ่ง โดยประยุกต์เอาทฤษฎีความน่าจะเป็นมาใช้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสถานการณ์จากช่วงเวลาหนึ่งไปยังอีกช่วงเวลาหนึ่ง [2]แบบจำลองมาร์คอฟเป็นการทำนายสถานการณ์ของระบบ ณ เวลาถัดไป (t+1) โดยจะต้องรู้ถึงสถานะของระบบในช่วงเวลา (t) ซึ่งหลักของแบบจำลองมาร์คอฟ คือ การใช้ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในสมการที่ 1 อันเป็นผลสรุปความน่าจะเป็นที่จุดภาพของการใช้ประโยชน์ที่ดิน 1 ประเภท (i) ณ ช่วงเวลาหนึ่ง (t) เปลี่ยนไปเป็นการใช้ที่ดินประเภทอื่น

(j) เมื่อเวลาเปลี่ยนไปช่วงเวลาหนึ่ง (t+1) โดย
$\Pr(X_t = j | X_s = i)$ เมื่อ $r = t-s, 0 \le s < t, 1 \le i, j \le k$
ผลรวมของความน่าจะเป็นจะมีค่าเท่ากับ 1

$$S(t+1) = P_{ij} x s(t) \quad (1)$$

โดยที่ s(t+1),s(t) คือสถานะ ณ เวลา t หรือ t+1, คือ เมทริกซ์ของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงที่คำนวณจากสมการ

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n1} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อ $(0 \le P_{ij} < 1 and \sum_j^n = P_{ij} = 1, (ij = 1, 2, \dots n))$

เมื่อ P_{ij} คือ โอกาสของการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ภาพที่ *i* สิ่งปกคลุมประเภท *j* และ *K* คือ ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน รูปแบบการใช้งานของแบบจำลองจะต้องทำการสร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของภาพสองช่วงเวลาและใช้เมทริกซ์นี้มาทำการสร้างกฎการเปลี่ยนแปลงและแผนที่ความน่าจะเป็นของการทำนายสิ่งปกคลุมดินตามการกำหนดรอบวนซ้ำที่เหมาะสม ผลที่ได้จะแสดงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามการกำหนดรอบวนซ้ำ โดยถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจะทำให้พื้นที่ตำแหน่งนี้จะถูกทำการเพิ่มความสูงพื้นที่ขึ้นไป 2 เมตร โดยมีสมมติฐานที่ว่าเป็นการถมที่ดินเพื่อทำการก่อสร้าง ซึ่งจะต้องทำการอัพเดทความสูงเชิงเลขในทุกเซลล์ใหม่ เพื่อที่จะใช้จำลองการไหลของเส้นทางน้ำต่อไป

ผลการวิจัยและอภิปราย

1. แนวโน้มสิ่งปกคลุมดินของจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์หมายเลข 6 (นครราชสีมา) และการคำนวณหาเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลง

นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2556, 2557 และ 2559 มาทำการจำแนกด้วยวิธีการแปลตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) โดยพิจารณาจากองค์ประกอบของการแปลตีความด้วยสายตา ประกอบด้วย รูปร่าง (Shape) ขนาด (Size) รูปแบบ (Pattern) ความเข้มของสีและสี (Tone and Color) เนื้อภาพ (Texture) เงา (Shadow) ตำแหน่งที่ตั้ง (Site) และความเกี่ยวพัน (Association)[3] ทำการจำแนกข้อมูลออกเป็น 4 ประเภท ประกอบด้วย 1) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ พื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างทุกประเภท รวมทั้งย่านการค้า ที่อยู่อาศัย สถานที่ราชการและเส้นทางคมนาคม 2) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ได้แก่ พื้นที่โล่ง พื้นที่ถม เป็นต้น ซึ่งรวมไปถึงพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ เช่นพื้นที่นา พื้นที่ไร่ พื้นที่สวน เป็นต้น 3) พื้นที่แหล่งน้ำ ได้แก่ พื้นที่แหล่งน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น 4) พื้นที่ป่าไม้ ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ธรรมชาติและป่าปลูก ผลของการแปลภาพดาวเทียมปี พ.ศ.2556 พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 1.46 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เบ็ดเตล็ดเท่ากับ 12.82 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ถนนเท่ากับ 0.69 และพื้นที่แหล่งน้ำมีขนาดเท่ากับ 0.55 ตารางกิโลเมตร ผลของการแปลภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2557 พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 1.55 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เบ็ดเตล็ดเท่ากับ 12.85 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ถนนเท่ากับ 0.71 และพื้นที่แหล่งน้ำมีขนาดเท่ากับ 0.49 ตารางกิโลเมตร และผลของการแปลภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2559 พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเท่ากับ 1.89 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เบ็ดเตล็ดเท่ากับ 12.54 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ถนนเท่ากับ 0.71 และพื้นที่แหล่งน้ำมีขนาดเท่ากับ 0.47 ตารางกิโลเมตร จากผลของการแปลภาพดังกล่าวพบว่า พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและถนนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยส่วนใหญ่ประเภทสิ่งปกคลุมดินที่เปลี่ยนแปลงมาเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างคือ พื้นที่แหล่งน้ำและพื้นที่เบ็ดเตล็ด พื้นที่แหล่งน้ำลดลงอย่างต่อเนื่องสาเหตุเนื่องมาจากว่ามีการถมที่ดินในพื้นที่แหล่งน้ำเดิมเพื่อที่จะทำการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง เช่น โครงการหมู่บ้านจัดสรร และที่อยู่อาศัยประเภทอื่น ๆ เป็นต้น และตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นตามแนวถนนเลี่ยงเมืองและพื้นที่ใกล้จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนพื้นที่เบ็ดเตล็ดค่อนข้างจะคงที่แต่มีลดลงเล็กน้อยในปี พ.ศ.2559 ชั้นข้อมูลสิ่งปกคลุมดินเหล่านี้จะถูกแปลงไปเป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปแบบของไฟล์ (.rst) เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรม Idrisi 17.0 ใช้หาค่าเมทริกซ์ของการเปลี่ยนแปลงรอบวนซ้ำที่เหมาะสม และจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การคำนวณหาเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลอง CA-Markov จะมีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ ในการวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดค่าเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลง (Transition matrix) และช่วงปีของภาพดาวเทียมอยู่ระหว่าง 2556-2559 โดยใช้พื้นที่ต้นแบบในการสร้างและทดสอบแบบจำลองในพื้นที่โดยรอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์นครราชสีมาโดยแสดงในบล็อกที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และแสดงใน Figure 2 เพื่อทำให้แน่ใจว่าแบบจำลองสามารถที่จะคาดการณ์สิ่งปกคลุมดินได้

แม่นยำในระดับที่น่าพอใจ โดยจะแสดงผลการจำลองผลเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงตาม Table 1 ในการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ตั้งแต่รอบที่ 1-10 สำหรับวิเคราะห์หาเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของภาพแต่ละช่วงปีและนำไปสร้างแผนที่สิ่งปกคุลมดินเปรียบเทียบความแม่นยำเชิงตำแหน่งของรูปปิดที่จำลองมาจากแบบจำลองและขนาดพื้นที่รูปปิดต้องทับกันกับรูปปิดที่แปลจากภาพดาวเทียมและนำมาตรวจสอบความแม่นด้วยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 ระหว่างแผนที่ที่สร้างจากจากแบบจำลอง CA-Markov เป็นฐานเปรียบเทียบกับข้อมูลที่แปลตีความด้วยสายตาทั้ง 4 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2559 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดัง Table 1 พบว่าแบบจำลอง CA ที่สร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงจากภาพระหว่างช่วงปี 2556/2557 มีค่า R^2 ที่มีค่ามากกว่า 0.9 เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของสิ่งปกคุลมดินที่แปลด้วยสายตา จากการกำหนดรอบกำหนดซ้ำตั้งแต่รอบที่ 1 ถึง 4 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อกำหนดรอบกำหนดซ้ำที่สูงขึ้นเนื่องจากว่าช่วงของภาพที่นำมาใช้คำนวณหาเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงมีความห่างกันน้อยทำให้การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคุลมดินยังมีไม่มาก แต่การกำหนดรอบวนซ้ำที่จะสามารถกำหนดได้จริงกับความห่างของช่วงเวลาของภาพที่ใช้เป็นฐานจำเป็นจะต้องกำหนดรอบที่ไม่มากเกินไปและมีค่า R^2 ที่พอยอมรับได้ โดยเมื่อกำหนดรอบวนซ้ำไม่เกิน 3 ทำให้ค่า R^2 มากกว่า 0.6 ในทุก ๆ การทดสอบความถูกต้อง ดังนั้นควรกำหนดรอบวนซ้ำที่ใช้อยู่ในช่วง 1-3 สำหรับความห่างของช่วงภาพทุก ๆ 1 ปี สำหรับพื้นที่ ๆ มีลักษณะเป็นจุดสิ้นสุดทางหลวงในจังหวัดอื่น ๆ ที่จะสามารถใช้เป็นต้นแบบในการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินได้

2. รอบวนซ้ำที่เหมาะสมกับช่วงภาพ

การทดสอบจำนวนรอบวนซ้ำที่เหมาะสมในการกำหนดเป็นพารามิเตอร์ของ CA-Markov จะกำหนดค่าตั้งแต่รอบที่ 1 จนถึงรอบที่ 10 โดยปกติโดยทั่วไปแล้วการกำหนดรอบวนซ้ำจะอ้างอิงจากระยะห่างระหว่างของช่วงปีของภาพที่ใช้สร้างเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลง แต่ในการวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดจำนวนรอบวนซ้ำหลาย ๆรอบสำหรับสร้างแผนที่สิ่งปกคลุมดินที่มีระยะห่างระหว่างของช่วงปีของภาพตั้งแต่ พ.ศ. 2556/2557, 2556/2559, และ 2557/2559 เพื่อที่จะดูแนวโน้มของการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างเป็นหลักโดยใช้วิธีการวัดความถูกต้องด้วยตำแหน่งและประเภทของสิ่งปกคลุมดินที่สร้างจากแบบจำลอง CA-Markov เปรียบเทียบกับภาพที่แปลด้วยสายตาของปี พ.ศ.2559 ผลการเปรียบเทียบแสดงดัง Table 2 ผลการทดสอบจำนวนรอบวนซ้ำที่เหมาะสมพบว่าจำนวนรอบวนซ้ำตั้งแต่รอบที่ 1 ถึง 3 มีผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 มากกว่า 0.8สำหรับการทดสอบทุกครั้ง โดย R^2 ระหว่าง CA Markov ที่สร้างจากภาพ พ.ศ.2556/2557 เทียบกับภาพที่แปลด้วยตาของปี พ.ศ.2559 เพื่อพิสูจน์ว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์ได้ดีในระดับที่พอยอมรับได้หรือไม่ สำหรับช่วงภาพที่มีระยะห่าง 3 ปี ผลสำหรับรอบกำหนดซ้ำที่ 1, 2, และ 3 มีค่า (R^2) เท่ากับ 0.91, 0.87, และ 0.85 ตามลำดับ และมีค่าใกล้เคียงกันกับการทดสอบกับช่วงภาพที่มีระยะห่างกันมากขึ้น และจะใช้การกำหนดรอบวนซ้ำรอบเท่ากับ 3 มาทำการสร้างแผนที่การเติบโตของสิ่งปลูกสร้าง ณ จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ (นครราชสีมา) และแนวถนนเลี่ยงเมืองรวมทั้งหมด 13 บล็อกตามแนวถนนเลี่ยงเมืองนครราชสีมาหมายเลข 2

Table 1 Result comparison of land cover simulation using CA-Markov with visual interpretation in block 2 of end point of Motor-6 based satellite image on March (2556/2557)

Iteration Year/R^2	CA-Markov with visual interpretation (Year 2556-2557)			CA-Markov with visual interpretation (Year 2557-2558)			CA-Markov with visual interpretation (Year 2558-2559)		
	2557	2558	2559	2557	2558	2559	2557	2558	2559
1	0.99	0.71	0.64	0.84	0.94	0.72	0.98	0.94	0.72
2	0.96	0.70	0.63	0.67	0.75	0.64	0.91	0.75	0.64
3	0.93	0.69	0.62	0.65	0.72	0.62	0.87	0.72	0.62
4	0.90	0.67	0.61	0.58	0.660	0.60	0.81	0.66	0.60
5	0.86	0.66	0.61	0.53	0.59	0.56	0.74	0.59	0.56
6	0.83	0.64	0.59	0.52	0.58	0.555	0.71	0.58	0.55
7	0.81	0.63	0.58	0.51	0.56	0.55	0.64	0.56	0.55
8	0.78	0.62	0.56	0.49	0.55	0.54	0.62	0.551	0.54
9	0.76	0.60	0.54	0.47	0.53	0.52	0.61	0.53	0.52
10	0.735	0.59	0.53	0.45	0.50	0.495	0.58	0.50	0.49

Table 2 The average result of R^2 with land cover simulation using CA-Markov with visual interpretation in block 3 to 13 of end point of Motor-6 based satellite image on March 2556/2557, 2556/2559, and 2557/2559 compared with image on March 2559

Iteration	Result of (R^2) between (modeling from image) Year 2556/2557 with (Interpretation) Year 2559	Result of (R^2) between (modeling from image) Year 2556/2559 with (Interpretation) Year 2559	Result of (R^2) between (modeling from image) Year 2557/2559 with (Interpretation) Year 2559
1	0.91	0.90	0.89
2	0.87	0.87	0.87
3	0.85	0.85	0.85
4	0.81	0.81	0.82
5	0.79	0.78	0.79
6	0.77	0.76	0.78
7	0.75	0.74	0.76
8	0.74	0.71	0.74
9	0.72	0.70	0.72
10	0.71	0.68	0.70

3. อัตราการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้าง (Built-Up Growth Rate, BUGR)

อัตราการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างเป็นดัชนีที่สร้างขึ้นมาเพื่อหาความสัมพันธ์กับค่ารอบการกำหนดซ้ำโดยมุ่งหวังให้การนำดัชนีนี้ถูกใช้เป็นตัวกำหนดการถ่ายรอบการกำหนดซ้ำและช่วงเวลาของภาพดาวเทียมที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำนายการเติบโตของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างในพื้นที่อื่น ๆ เช่น จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์นครปฐม-กาญจนบุรี ที่กำลังจะสร้างในอนาคตเป็นต้น อัตราการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างดังสมการที่ 3 เป็นอัตราส่วนที่คำนวณจากพื้นที่ของสิ่งปลูกสร้างต่อขนาดของพื้นที่บล็อกย่อยที่ถูกแบ่งเพื่อที่จะศึกษาถึงรูปแบบและแนวโน้มการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างตามระยะทางที่ห่างจากจุดสิ้นสุดของมอเตอร์เวย์

$$BUGR = \frac{Built-Up\ Area}{Total\ area\ of\ block} \qquad (3)$$

เมื่อ *Built–UP Area* คือ จำนวนทั้งหมดของสิ่งปลูกสร้างที่ตกอยู่ในบล็อกนั้น ๆ และ *Total area of block* คือ พื้นที่รวมของแต่ละบล็อกย่อยจะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร

การสร้างดัชนีการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างนำมาจากการคาดการณ์พื้นที่การใช้ที่ดินจาก CA-Markov (กำหนดรอบวนซ้ำที่ 1, 2 และ 3) ของภาพปี 2557/2559 ผลของดัชนีการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างแสดงดังตารางที่ 3, 4, และ 5 พบว่า บล็อกที่อยู่ใกล้จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ในระยะ 2 กิโลเมตร มีอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างตั้งแต่ 0.155(15.5%) ถึง 0.241(24.1%) สำหรับรอบวนซ้ำที่ 1 และ 2 จะมีความใกล้เคียงกัน ส่วนบล็อกที่อยู่ห่างจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ที่มีค่ามากกว่า 0.21(21%) คือตั้งแต่บล็อกที่ 10 หรือระยะ 10 กิโลเมตรจากจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ และมีความแตกต่างกันมากขึ้นของอัตราการเติบโตที่เพิ่มขึ้นสำหรับรอบกำหนดที่ 3 ตั้งแต่ระยะ 1 ถึง 4 กิโลเมตร โดยมีอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างตั้งแต่ 0.124 (12.4%) ถึง 0.314 (31.4%) และระยะ 9 ถึง 13 กิโลเมตร มีอัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างตั้งแต่ 0.124 (12.4%) ถึง 0.314 (31.4%) 0.122 (31.4%) ถึง 0.355 (35.5%) โดยการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนมาจากพื้นที่เบ็ดเตล็ด ส่วนพื้นที่แหล่งน้ำและถนนไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการกำหนดรอบวนซ้ำที่มากขึ้นจะทำให้อัตราการเติบโตของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างสูงขึ้น แต่การเติบโตของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจะไม่แตกต่างกันมากในช่วงระยะห่างจากจุดสิ้นสุดช่วง 5 ถึง 8 กิโลเมตร ทั้งทางด้านจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์และจุดสิ้นสุดถนนเลี่ยงเมืองหมายเลข 2 นครราชสีมา–ขอนแก่น

4. การฉายภาพการเติบโตสิ่งปลูกสร้าง

พื้นที่การเติบโตของสิ่งปลูกสร้างและสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่น ๆ นำมาจากการคาดการณ์พื้นที่การใช้ที่ดินจาก CA-Markov (กำหนดรอบวนซ้ำที่ 1, 2 และ 3) แสดง

Figure 4 และการฉายภาพสิ่งปลูกสร้างและปกคลุมดินอื่น ๆ ในปี พ.ศ.2564 หรืออีก 5 ปีข้างหน้าโดยสร้างจากเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงของภาพปี 2557/2559 และกำหนดรอบวนซ้ำที่ 5 ดังแสดงใน Figure 5 ผลการฉายภาพของการกำหนดรอบวนซ้ำตั้งแต่ 1 ถึง 3 พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจะกระจายตัวอยู่รอบจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์และจุดเชื่อมทางแยกของถนนเลี่ยงเมืองหมายเลข 2 (มิตรภาพ) ซึ่งในพื้นที่นี้มีสิ่งปลูกสร้างอยู่หนาแน่นก่อนที่จะมีการอนุมัติก่อสร้างมอเตอร์เวย์ทำให้สิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่แล้วในพื้นที่มีอิทธิพลต่อแบบจำลองในการคำนวณค่าเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงทำให้ผลของการคาดการณ์ด้วยรอบกำหนดซ้ำที่ไม่ห่างกันมากจึงพบว่าพื้นที่จะกระจุกตัวอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเดิมที่มีอยู่แล้ว

Table 3 Land cover prediction of CA-Markov model using iteration = 1 based image 2557/2559 of block 1 to 13

Block number	Block area (sq.km)	Prediction of BUGR from CA-Markov model (iteration = 1)			
		Built-Up	Miscellaneous	Road	Water body
1	1	0.155	12.505	0.182	0.009
2	1	0.241	12.421	0.180	0.059
3	1	0.099	12.423	0.178	0.050
4	1	0.084	9.541	0.231	0.023
5	1	0.060	9.536	0.080	0.011
6	1	0.102	9.541	0.048	0.022
7	1	0.025	9.536	0.056	0.022
8	1	0.016	9.536	0.042	0.016
9	1	0.064	9.536	0.052	0.021
10	1	0.210	9.540	0.054	0.005
11	1	0.048	9.537	0.047	0.014
12	1	0.193	9.554	0.042	0.045
13	1	0.352	9.781	0.108	0.058

Table 4 Land cover prediction of CA-Markov model using iteration = 2 based image 2557/2559 of block 1 to 13

Block number	Block area (sq.km)	Prediction of BUGR from CA-Markov model (iteration = 2)			
		Built-Up	Miscellaneous	Road	Water body
1	1	0.155	6.739	0.182	0.009
2	1	0.242	6.657	0.180	0.059
3	1	0.101	9.856	0.178	0.050
4	1	0.085	6.976	0.231	0.023
5	1	0.060	6.971	0.080	0.009
6	1	0.103	6.975	0.048	0.021
7	1	0.025	6.970	0.056	0.020
8	1	0.016	6.970	0.042	0.013
9	1	0.217	6.981	0.052	0.020
10	1	0.369	9.393	0.053	0.005
11	1	0.172	2.376	0.047	0.014
12	1	0.228	2.393	0.042	0.044
13	1	0.359	2.608	0.108	0.059

Table 5 Land cover prediction of CA-Markov model using iteration = 3 based image 2557/2559 of block 1 to 13

Block number	Block area (sq.km)	Prediction of BUGR from CA-Markov model (iteration = 3)			
		Built-Up	Miscellaneous	Road	Water body
1	1	0.283	3.646	0.182	0.009
2	1	0.314	3.655	0.181	0.059
3	1	0.143	12.028	0.178	0.052
4	1	0.120	8.296	0.231	0.023
5	1	0.084	8.293	0.080	0.009
6	1	0.126	8.296	0.048	0.021
7	1	0.031	8.292	0.056	0.019
8	1	0.017	8.292	0.042	0.013
9	1	0.216	8.298	0.052	0.020
10	1	0.348	8.328	0.053	0.005
11	1	0.122	5.603	0.047	0.014
12	1	0.197	5.618	0.042	0.044
13	1	0.355	5.839	0.109	0.056

ผลการฉายภาพสิ่งปกคุลมดินปี พ.ศ.2564 พบว่ามีพื้นที่สิ่งปลูกสร้างประมาณ 1.96 ตารางกิโลเมตร พื้นที่เบ็ดเตล็ด 12.74 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ป่า 0.67 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่แหล่งน้ำ 0.42 ตารางกิโลเมตร พื้นที่สิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีตำแหน่งของการเพิ่มขึ้นอยู่ใกล้กับจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ และขยายออกไปตามแนวถนนสายย่อยที่เชื่อมกับถนนเลี่ยงเมือง พื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลงอย่างต่อเนื่องส่วนใหญ่เป็นพื้นที่การเกษตรที่มีการถมที่ดินไว้แล้วเพื่อเตรียมก่อสร้างบ้านจัดสรรและอาคารพาณิชย์ ส่วนพื้นที่ป่าและแหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในทุก ๆ รอบการกำหนดวนซ้ำ ซึ่งจะเป็นภาพที่ใช้ในการนำไปสร้างแผนที่ความสูงเชิงเลขสำหรับใช้จำลองการไหลของเส้นน้ำดังแสดงใน Figure 6 เป็นการจำลองลำดับเส้นการไหลของน้ำในระดับ 1 และ 2 ของการจำลองการไหลของน้ำจากระดับความสูงเชิงเลขจากการแปลภาพการใช้ประโยชนที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ.2559 และการจำลองการไหลของเส้นน้ำปี พ.ศ.2564 จะจำลองจากระดับความสูงเชิงเลขที่คำนวณจากการกำหนดรอบวนซ้ำที่ 5 ดังแสดงใน Figure 5 และผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงเส้นการไหลของน้ำแสดงใน Table 6 โดยพื้นที่รูปปิดที่มีความสูงเชิงเลขเพิ่มขึ้น 2 เมตร เป็นพื้นที่ที่แบบจำลองทำการคาดการณ์แล้วว่าจะเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้างในปี พ.ศ. 2564 ส่งผลต่อทิศทางการไหลของน้ำเปลี่ยนแปลงไม่ไหลลงสู่ลำตะคอง และทำให้มีโอกาสท่วมขังในพื้นที่ห่างลำตะคองมีมากขึ้น

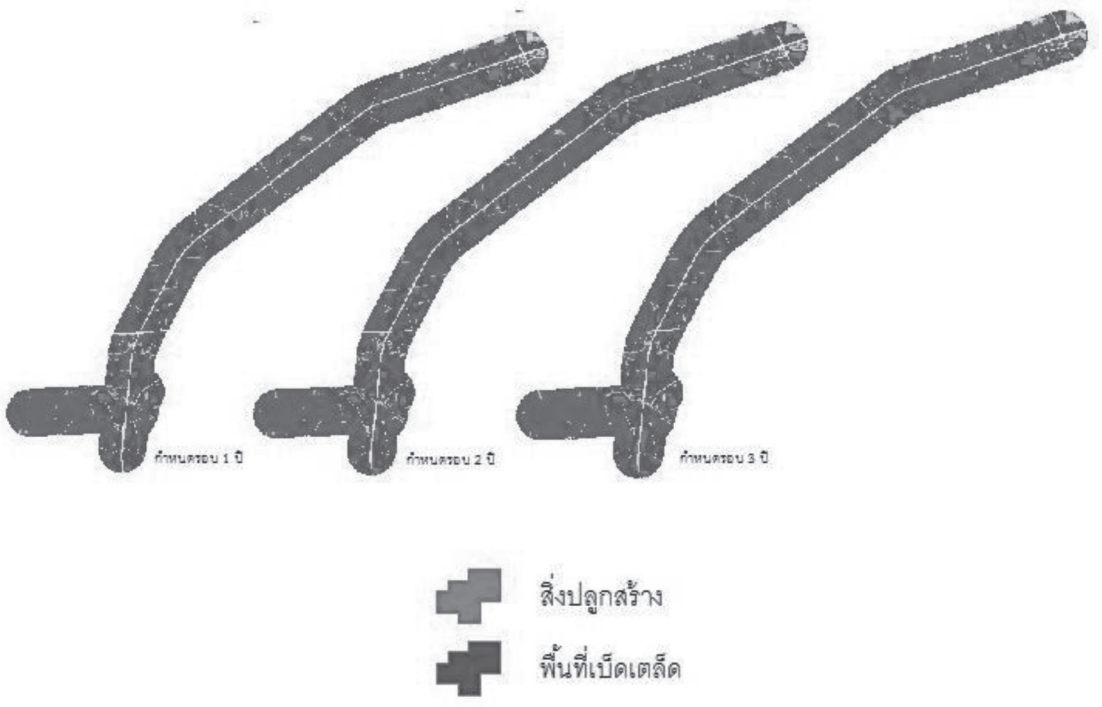

Figure 4 the major land cover class of Year (2564) based on CA-Markov model using iteration = 1, 2, and 3 and image 2557/2559

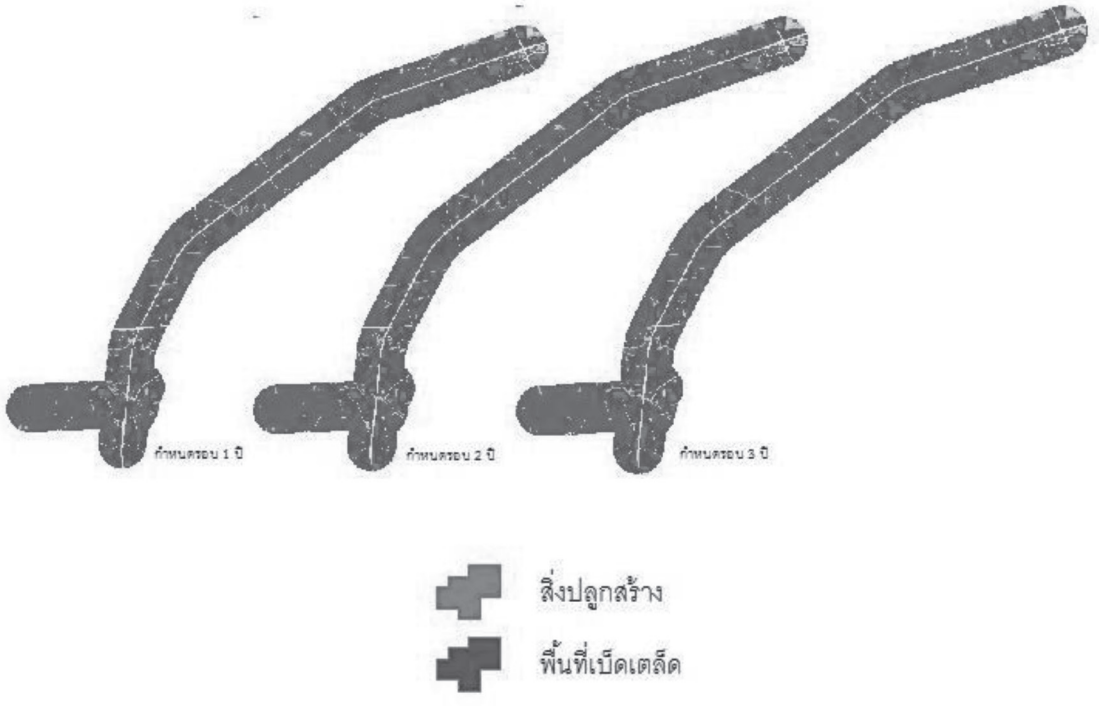

Figure 5 the land cover of Year (2564) based on CA-Markov model using iteration = 5 and image 2557/2559

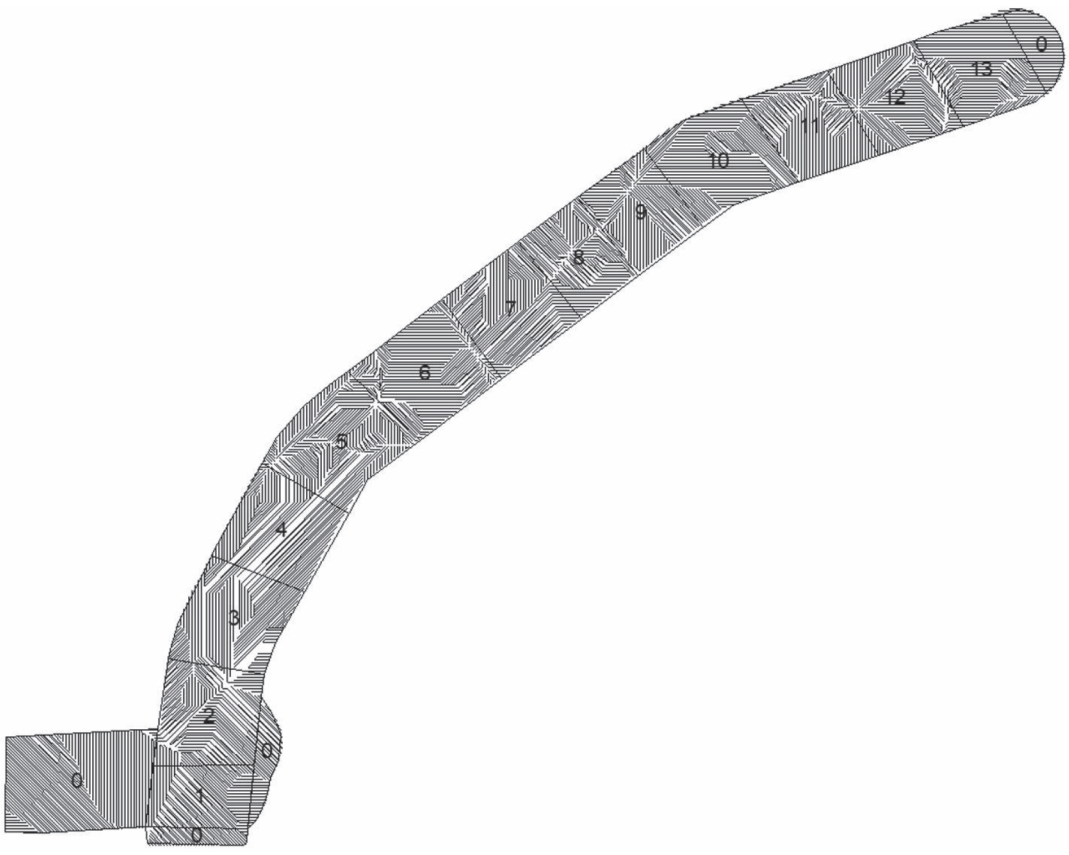

Figure 6 Stream flow generated from stream order 1 and 2 based on DEM derived from land cover Year (2559)

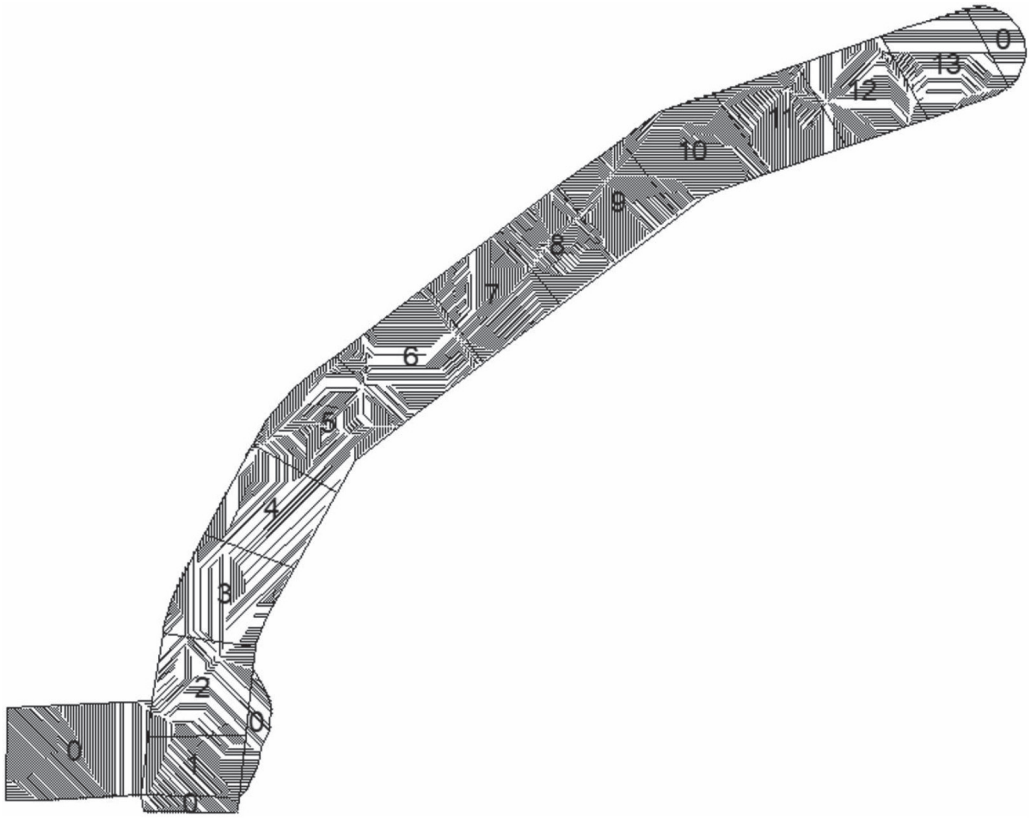

Figure 7 Stream flow generated from stream order 1 and 2 of Year (2564) based on DEM derived from land cover simulation 2557/2559 with iteration = 5

Table 6 Comparison of stream order Year 2559/2564 in term of stream length and number of stream line

Block number	Stream order Year (2559) Stream order Year (2564)	
	Order 1 and 2 (Length KM./no. stream line)	Order 1 and 2 (Length KM./no. stream line)
1	62/36	59/34
2	63/38	25/18
3	62/37	23/17
4	63/38	24/19
5	64/39	29/28
6	65/42	30/29
7	64/92	63/91
8	63/34	63/34
9	65/98	65/98
10	67/102	67/101
11	60/35	42/27
12	71/45	24/17
13	73/46	21/15

5. ผลกระทบต่อเส้นทางน้ำไหลจากการเติบโตของสิ่งปลูกสร้าง

สิ่งปกคลุมดินประเภทสิ่งปลูกสร้างที่มีการขยายตัวจะแสดงเป็นสีแดงใน Figure 4 และ 5 พื้นที่เหล่านี้จะถูกนำมาสร้างเป็นชั้นข้อมูลความสูงเชิงเลข (DEM) ที่ทำการเพิ่มระดับความสูงขึ้นไปอีก 2 เมตร เพื่อนำชั้นข้อมูลความสูงเชิงเลขมาวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นการไหลของน้ำในการศึกษานี้จะใช้การเปรียบเทียบความยาวเส้นน้ำ (stream length) และจำนวนลำดับเส้นน้ำ (number of stream line) ประจำแต่ละบล๊อก โดยจะใช้ลำดับการไหลของเส้นการไหลของน้ำ (stream order) ในระดับที่ 1 และ 2 รวมกัน เนื่องจากว่าเป็นระดับที่เป็นการไหลขั้นต้นของลำน้ำ เป็นจุดที่สร้างการไหลของน้ำให้ไหลจากที่สูงไปที่ต่ำ โดยผลการศึกษาแสดงใน Table 6 พบว่า จากการวิเคราะห์เส้นลำดับการไหลของน้ำด้วยข้อมูลความสูงเชิงเลขปี พ.ศ.2559 พบว่าบล็อกที่ 13 และ 12 มีลำดับเส้นการไหลของน้ำที่ 1 และ 2 มากที่สุด ที่ 73 และ 72 กิโลเมตรตามลำดับ และจำนวนเส้นการไหลมีจำนวนมากที่สุดในบล็อกที่ 9 และ 10 จำนวน 98 และ 102 เส้นตามลำดับ จำนวนเส้นการไหลของน้ำมากจะส่งผลให้การระบายน้ำไหลลงสู่แม่น้ำสายหลักได้รวดเร็วกว่าและมีความเสี่ยงต่อการท่วมขังน้อยกว่าบล็อกที่มีจำนวนลำดับเส้นน้ำและความยาวเส้นน้ำน้อย จากการจำลองการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างในปี พ.ศ.2564 พบว่าความยาวเส้นการไหลมีจำนวนมากที่สุดในบล็อกที่ 9 และ 10 จำนวน 67 และ 65 กิโลเมตร และจำนวนเส้นการไหลของน้ำมากสุด ในบล็อกที่ 9 และ 10 จำนวน 98 และ 101 เส้นตามลำดับ

ความยาวเส้นการไหลและจำนวนเส้นทางน้ำไหลในบล็อกที่เป็นตำแหน่งของจุดสิ้นสุดคือบล็อกที่ 3 และบล็อกที่อยู่ใกล้ ๆ จุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์คือบล็อกที่ 2, 4, 5, และ 6 ตามลำดับ มีจำนวนลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบผลของทั้ง 2 ปี เนื่องจากว่าบล็อกเหล่านี้มีจำนวนของการเพิ่มขึ้นของสิ่งปลูกสร้างมากกว่าบล็อกที่อยู่ห่างจากจุดสิ้นสุดโครงการ แต่ก็จะมีบล็อก 12 และ 13 ที่อยู่ห่างจุดสิ้นสุดโครงการแต่มีการลดลงของจำนวนเส้นการไหลของน้ำด้วยเนื่องจากว่ามีการเพิ่มขึ้นของสิ่งปลูกสร้าง ถึงแม้ว่าบล็อกจะมีระยะทางไกลจากจุดสิ้นสุด แต่เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งชุมชนที่หนาแน่นและมีแรงดึงดูดมาจากปัจจัยทางเศรษฐกิจและสังคมของพื้นที่นี้มากกว่าพื้นที่ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา การที่ความสูงของพื้นที่ที่มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นมา 2 เมตร ส่งผลให้จากเดิมที่เป็นพื้นที่ที่เป็นแนวทางไหลของน้ำ แต่เมื่อถูกเปลี่ยนไปเป็นสิ่งก่อสร้างทำให้ความต่อเนื่องของเส้นน้ำขาดช่วงไป และน้ำไม่

ไหลไปลงในแม่น้ำสายหลัก อิทธิพลของการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างถ้ามีความต่อเนื่องกันในแบบของรูปปิดต่อเนื่องจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางน้ำได้มากกว่าพื้นที่ที่มีรูปปิดที่อยู่กระจายกัน เนื่องจากกว่ารูปปิดที่อยู่ติดกันจะทำให้การวิเคราะห์จำนวนลำดับเส้นน้ำมีลำดับของต้นน้ำมีจำนวนและขนาดลดน้อยลง รวมทั้งทำให้ความยาวเส้นน้ำลดลงด้วย การศึกษานี้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นบล็อกย่อยเพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ได้ถึงความใกล้เคียงจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์จะส่งผลต่อการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างได้อย่างไร ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าภายในระยะไม่เกิน 5 กิโลเมตร จากจุดสิ้นสุดที่จะมีการขยายตัวมากกว่าพื้นที่บล็อกอื่น ๆ และมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางน้ำที่เห็นได้ชัดเจนกว่าพื้นที่ที่อยู่ไกลกว่า แต่การไหลจริงในธรรมชาติจะไม่ถูกกีดกันหรือขวางทางน้ำจากการแบ่งขอบเขตของบล็อก แต่การศึกษานี้จะทำให้สามารถมองภาพการคาดการณ์ได้ว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้เคียงกับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการขยายตัวจะสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าพื้นที่ที่อยู่ห่างออกไป

สรุปผลการวิจัย

การขยายตัวของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจะขยายตัวตามแนวของถนนมอเตอร์เวย์เป็นส่วนใหญ่จะเห็นได้ว่าในปี พ.ศ.2564 พื้นที่สิ่งปลูกสร้างมีการขยายตัวเกือบเต็มความจุของบล็อกพื้นที่ศึกษา และอัตราการขยายตัวจะกระจุกตัวอยู่ใกล้บริเวณจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์ โดยมีแนวโน้มอัตราการเติบโตของสร้างปลูกสร้างเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเข้าใกล้บริเวณจุดสิ้นสุดทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง อัตราการเติบโตของสิ่งปลูกสร้าง (BUGR) ยิ่งอัตราเข้าใกล้ 1 หมายถึงพื้นที่การขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างในบล็อกนั้น ๆ กำลังขยายตัวอย่างสูงและมีโอกาสที่จะอิ่มตัวได้เร็วมากขึ้นในพื้นที่บล็อกที่ 1 และ 2 ซึ่งมีอัตรา BUGR มากกว่า 0.1 (10%) ต่อขนาดบล็อกเฉลี่ย 1 ตารางกิโลเมตร เป็นอัตราการขยายตัวที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ ๆ อยู่ห่างจากตัวแปรขับเคลื่อนคือจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์และทางเชื่อมทางแยกถนนเลี่ยงเมือง และจะพบว่ารูปแบบการเติบโตของสิ่งปลูกสร้างเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ในรูปแบบกระจายแบบมีทิศทางไปตามแนวถนนสายรอง และเมื่ออยู่ห่างจากจุดสิ้นสุดมอเตอร์เวย์จะมีการขยายตัวไปตามแนวถนนเลี่ยงเมืองในระยะห่างจากถนนประมาณ 100-300 เมตร

แนวทางการใช้งานของแบบจำลองทำนายการใช้ประโยชน์ที่ดินต้องมีการกำหนดขอบเขตของหน่วยพื้นที่ย่อย (Spatial unit) ให้เหมาะสมกับรูปแบบการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่ โดยในการศึกษานี้พบว่าการกำหนดขอบเขตไม่เกิน 1 กิโลเมตร และจากการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของการคาดการณ์จากแบบจำลอง CA-Markov พบว่ามีความถูกต้องในระดับปานกลาง (60 %) การศึกษาครั้งต่อไปควรต้องทดสอบโดยการสร้างรูปแบบของหน่วยเชิงพื้นที่ขึ้นมาและไม่ควรกำหนดให้มีขอบเขตที่เกินกว่า 5 กิโลเมตร จากปัจจัยตัวแปรที่มีอิทธิพล เช่น ถนนสายหลัก แบบจำลองจะสามารถคาดการณ์ได้ดีในช่วงระยะทางไม่ห่างจากตัวแปรที่มีอิทธิพล และควรที่จะกำหนดขอบเขตพื้นที่ให้ครอบคลุมกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต้องการคาดการณ์ รวมทั้งความหนาแน่นของคลาสต้องมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจะทำให้แบบจำลองสามารถคาดการณ์ได้แม่นยำมากขึ้น

การคาดการณ์อัตราการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างบริเวณโดยรอบจุดสิ้นสุดโครงการทางหลวงพิเศษ หมายเลข 6 พื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ด้วยการสร้างจากแบบจำลอง CA-Markov จากข้อมูลปีฐานระหว่างปี พ.ศ.2556-2559 พบว่า ช่วงกำหนดรอบวนซ้ำที่เหมาะสมของแบบจำลอง CA-Markov ในการคาดการณ์ภาพที่มีช่วงห่างกัน 1 ปี สามารถกำหนดค่ารอบกำหนดซ้ำได้ตั้งแต่ในช่วง 1-3 โดยที่ยังมีค่าสัมประสิทธิ์ที่พอยอมรับได้ (R^2>0.8) และค่อยลดลงไปเรื่อย ๆ จนถึงการกำหนดวนซ้ำมากกว่า 7 ปี ในการศึกษานี้จะได้รูปแบบของการกำหนดจำนวนรอบวนซ้ำที่ใช้กับช่วงห่างของปี ที่เหมาะสมสำหรับคำนวณหาค่าเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการจำลองรูปแบบการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างได้ทั้งขนาดและทิศทางจะสามารถวิเคราะห์ได้ถึงแนวทางการไหลและจำนวนเส้นการไหลของน้ำได้

จากผลการศึกษานี้ได้พบความสัมพันธ์ว่าระดับความสูงเชิงพื้นที่มีผลต่อการวิเคราะห์การไหลของน้ำทั้งในด้านความยาวการไหลสะสมของเส้นน้ำ จำนวนเส้นลำดับการไหลของเส้นน้ำ โดยถ้ามีจำนวนสิ่งปลูกสร้างอยู่ติดกันมาก จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมที่เคยเป็นพื้นที่รับน้ำเปลี่ยนเป็นพื้นที่ขังน้ำ เนื่องจากน้ำไม่มีจุดไหลออก (Outlet) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งต่อไปในพื้นที่อื่น ๆ หรือใกล้เคียงที่มีการนำแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาช่วยวิเคราะห์อาจจะเพิ่มเติมในส่วนของชั้นข้อมูลโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ (Tri Irregular Network, TIN) มาร่วมใช้วิเคราะห์เส้นการไหลของน้ำจะทำให้แสดงทิศทางการไหลได้สมบูรณ์มากขึ้น รวมทั้งการวิเคราะห์การไหลสะสมของน้ำ (Flow accumulation) จะช่วยให้สามารถมองภาพการไหลสะสมของน้ำและจุดที่จะใช้ระบายน้ำออกจากพื้นที่บล็อกได้ และการศึกษานี้จะสามารถใช้เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะด้านการไหลและอุปสรรคการไหลของน้ำจากการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างต่อไปในพื้นที่อื่น ๆ ได้ในอนาคต งานวิจัยนี้จะทำให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียนำไปวางแผน

การเพื่อลดผลกระทบด้านการระบายน้ำได้ เช่น การเพิ่มเส้นทางน้ำไหลในรูปแบบท่อระบายน้ำ การเตรียมพื้นที่รับน้ำเพื่อรองรับฝนตกหนักมากกว่าปกติได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยคณะวิทยาการสารสนเทศ งบประมาณรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560 และหน่วยวิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และหน่วยวิจัย Climate Changes, Mitigation and Adaptation Research Unit; CMARE) คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อาจารย์เบญจมาภรณ์ พุ่มหิรัญโรจน์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ผู้เชี่ยวชาญด้านสถิติเชิงพื้นที่ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและทรัพยากรที่จำเป็นในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Wu Fulong. Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. Geographical Information Science. pp. 795-818; 2002.
2. Wu Fulong. A Parameterized Urban Cellular Model Combining Spontaneous and Self-Organising. Growth. Geocomputation: Innovation in GIS 7. Taylor & Francis, pp. 73-85; 2000.
3. Ward D.P., A.T. Murray, S.R. Phinn. An optimized cellular automata approach for sustainable urban development in rapidly urbanizing regions. 1999.
4. Jantz Clair, ScoH J Goetz, Mary K Shelley. Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area. Environment and Planning B: Planning and Design, pp. 251-271; 2003.
5. พิชณะ คงยั่งยืน. การติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกยางพาราในจังหวัดจันทบุรี: หลักการการวิเคราะห์เชิงวัตถุภาพและแบบจำลอง. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี , 10(1), 96-107. 2558.
6. พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุติกุล และวารินทร์ จิระสุขทวีกุล. วิวัฒนาการการใช้ที่ดินห้วยหินดาด จังหวัดระยอง. สถานีวิจัยห้วยหินดาด กลุ่มลุ่มน้ำ ส่วนวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้, กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ. 2538.
7. วราภรณ์ สีหนันทวงศ์. การศึกษาแนวโน้มสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำปิง-วังเพื่อการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2545.
8. ฐานิตย์ วงศ์วิเศษ. แบบจำลองเพื่อการศึกษาการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเล อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2548.