แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน กับการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคต

Land Use Change Model and Urban Area Prediction in the Future

ชูเดช โลศิริ[1]
Chudech Losiri

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปรากฏการณ์บนพื้นผิวโลกที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ การเพิ่มขึ้นของประชากรเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่เมืองที่พบว่ามีการเพิ่มขึ้นทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงปริมาณอย่างต่อเนื่อง ในระยะเวลากว่า 20 ปีที่ผ่านมา นักวางแผนพัฒนาพื้นที่ได้พยายามทำความเข้าใจกับปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยการประยุกต์เทคนิคและวิธีการ ในการคาดการแนวโน้มของการขยายตัวของพื้นเมืองด้วยแบบจำลอง ผ่านทฤษฎีและหลักการของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เชิงปริมาณ และเชิงที่ตั้ง รวมถึงปัจจัยขับเคลื่อนทางชีวกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคม ที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เมือง บทความนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกรอบแนวคิด ความซับซ้อน ประเภทของแบบจำลอง แรงขับเคลื่อน และตัวอย่างแบบจำลองที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ศึกษาสามารถเลือกใช้แบบจำลองในการคาดการณ์พื้นที่เมืองได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: พื้นที่เมือง แบบจำลอง การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

---

[1]*อาจารย์ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ*
Lecturer, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok.
Corresponding e-mail: chudech@g.swu.ac.th

Abstract

The land use change is a phenomenon on the earth's surface that is significant to the well-being of humanity. The increase in population is one of the factors affecting the dynamics of the space, especially in an urban area which can see clearly that there is an increase in both the quantity and spatial dramatically. More than 20 years ago, development planners tried to understand with such phenomena by applying techniques and methods to forecast the trend of urban expansion by using models. A land use change model uses theory and principles of land use change and also quantitative, qualitative, and location analysis including driving forces of biophysical, social, and economic factors that have an influence on the change in the urban area. This article reviews relevant information about the framework, complexities, types, driving forces, and examples of existing land use models. The objective is to help model users to select the suitable model for the urban area prediction.

Keywords: Urban Area, Model, Land Use Change

บทนำ

พื้นที่เมืองเป็นแหล่งรวมตัวอย่างหนาแน่นของประชากร ที่ส่วนใหญ่มีอาชีพนอกภาคการเกษตร และมีโครงสร้างพื้นฐานสำคัญที่อำนวยความสะดวกต่อการดำรงชีวิตของผู้ที่อยู่อาศัย พื้นที่เมืองนั้นมีความสำคัญต่อการพัฒนาของประเทศอย่างมาก ทั้งในด้านระบบของเมืองที่เชื่องโยงกับแบบรูปของการตั้งถิ่นฐาน ด้านรูปร่างของเมือง ที่แสดงถึงโครงสร้างและลักษณะทางกายภาพ และด้านนิเวศวิทยาเมือง ที่เป็นองค์ประกอบของสังคมและประชากรของเขตเมืองและชุมชนโดยรอบ สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดการขยายตัวเชิงพื้นที่ของเมือง ซึ่งจำเป็นต้องมีการติดตามอย่างเป็นระบบ ในระยะเวลาหนึ่งๆ เพื่อก่อให้เกิดการวางแผนพัฒนาพื้นที่ทั้งทางด้านกายภาพ เช่น สาธารณูปโภคและสาธารณูปการ และด้านเศรษฐกิจสังคม เช่น ระบบเศรษฐกิจของเมืองและพฤติกรรมของคนที่อาศัยภายในพื้นที่เมือง ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด และตอบสนองต่อความต้องการของประชากรที่จะเพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้นของพื้นที่ดังกล่าวในอนาคต

ในปัจจุบัน นักวางแผนพัฒนาพื้นที่ได้พยายามทำความเข้าใจกับกระบวนการของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ ด้วยการใช้แบบจำลองที่เป็นตัวแทนของวัตถุ เหตุการณ์ กระบวนการ และระบบ ในการคาดการณ์หรือทำให้เห็นว่าหากสิ่งต่างๆ ตลอดจนระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบหรือระบบเหล่านั้นหรือไม่ (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2549) ซึ่งแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นแบบจำลองหนึ่งที่นำปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับระบบการใช้ที่ดินมาใช้ในการจำลอง และยังคำนึงถึงปัจจัยทางเศรษฐกิจสังคมที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่ (Bhatta, 2010) ในการคาดการณ์แบบรูปการใช้ที่ดินในอนาคต ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงด้านชีวกายภาพและเศรษฐกิจสังคม โดยเฉพาะในพื้นที่เมืองที่เป็นศูนย์กลางของระบบเศรษฐกิจ สังคม และการเมืองการปกครอง ที่มีแนวโน้มว่าการตั้งถิ่นฐานของประชากรในพื้นที่นี้ มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น เพื่อให้นักวางแผนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา สามารถจัดระเบียบเชิงพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจึงเป็นเครื่องมือสนับสนุน และถูกใช้ในการคาดการณ์พื้นที่ในอนาคตอยู่เสมอ

บทความฉบับนี้ได้รวบรวมประเด็นสำคัญของแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ใช้ในการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านทราบถึงความเป็นมา กรอบแนวคิด ความซับซ้อน ประเภท และตัวอย่างของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้แบบจำลองในการคาดการณ์ได้อย่างเหมาะสม

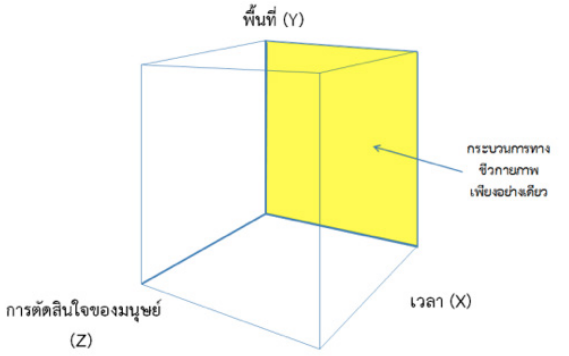
ความเป็นมาของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แบบจำลองได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นเวลานานแล้ว โดยแบบจำลองของฟอน เทอเนิน (von Thünen) เป็นแบบจำลองทำเลที่ตั้งที่ได้แสดงลักษณะการใช้ที่ดินทางการเกษตรแบบจำลองแรกของโลก และยังเป็นต้นแบบของแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาการของพื้นที่เมือง อาทิ แบบจำลองทำเลที่ตั้งทางพื้นที่อุตสาหกรรมของ เวบเบอร์ (Weber) และทฤษฎีแหล่งกลางของ คริสตัลเลอร์ (Christaller) ที่ใช้ในการจำลองลักษณะของกิจกรรมและแบบรูปการขยายตัวของพื้นที่เมืองในระดับภูมิภาค นอกจากนี้ ยังมีการสร้างแบบจำลองของโครงสร้างภายในเมือง ที่แสดงลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่ เช่น แบบจำลองวงแหวนของเบอร์เจสส์ (Burgess) แบบจำลองรูปเสี้ยวของฮอยท์ (Hoyt) และแบบจำลองหลายศูนย์กลางของแฮริสและอัลล์มาน (Harris and Ullman) ทั้งนี้ แบบจำลองทั้งหมดข้างต้นเป็นแบบจำลองเชิงทฤษฎีที่เกิดจากการสังเกตลักษณะการใช้

ประโยชน์พื้นที่ของเมือง โดยไม่ได้คำนึงถึงพลวัตทางธรรมชาติของการพัฒนาเมือง (Liu, 2009: 7) เมื่อเกิดการปฏิวัติเชิงปริมาณทางภูมิศาสตร์ แบบจำลองจึงถูกนำมาใช้มากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะนักภูมิศาสตร์ในทวีปอเมริกาเหนือ ในช่วงตอนปลายของ ค.ศ. 1950 -1960 มีการใช้สมการทางคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ในการจำลองความซับซ้อนของการขยายตัวของพื้นที่เมืองตามทฤษฎี (Batty, 1981) และมีการพิจารณาถึงพลวัตของการใช้ที่ดิน ระบบการคมนาคมขนส่ง ประชากร กิจกรรมทางเศรษฐกิจของเมือง ประกอบการคาดการณ์พื้นที่ในอนาคตด้วย

กรอบแนวคิดของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นส่วนหนึ่งของการติดตามการเปลี่ยนแปลงของโลกที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความสมดุลของระบบนิเวศและความเป็นอยู่ของมนุษย์ (Agarwal et al., 2002) และเป็นปัจจัยเร่งตัวหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก โดยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน มีความเป็นพลวัตที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ (space) กระบวนการทางชีวกายภาพ (biophysical process) เวลา (time) และการตัดสินใจของมนุษย์ (human decision making) (ภาพที่ 1) ดังนั้น การพิจารณาแบบจำลอง เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่เมืองในอนาคต ผู้ศึกษาควรพิจารณาถึงกรอบแนวคิดและลักษณะที่สำคัญของแบบจำลองต่างๆ (สมพร สง่าวงศ์, 2554 และ Verburg et al., 2004) ดังนี้



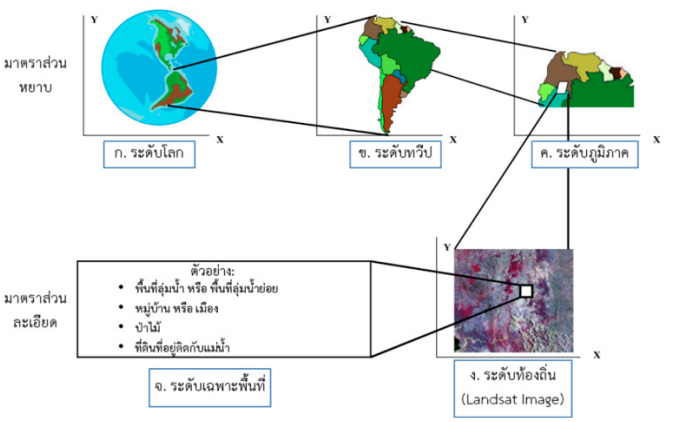
ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดสำหรับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน
ที่มา: Agarwal et al. (2002: 1)

1. ระดับของการวิเคราะห์ (levels of analysis)

แบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน สามารถแบ่งตามระดับของการวิเคราะห์ได้เป็น 2 ระดับ คือ การวิเคราะห์ในระดับจุลภาค เป็นการจำลองลักษณะพฤติกรรมของแต่ละปัจจัยด้วยวิธีการเชิงปริมาณ (Verburg et al., 2004) หน่วยของการวิเคราะห์ในระดับนี้จะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของเจ้าของที่ดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจะขึ้นอยู่กับลักษณะของทรัพยสิทธิ เงื่อนไขทางเศรษฐกิจ สังคม ภูมิศาสตร์ และสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเดิม (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554) ส่วนการวิเคราะห์ในระดับมหภาค จะเป็นการจำลองปรากฏการณ์ต่างๆ บนพื้นฐานของทฤษฎีและวิธีการทางเศรษฐศาสตร์มหภาค ซึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับนี้ คือ ประชากร เศรษฐกิจ เทคโนโลยี ระบบสถาบัน และการเมือง (Silva and Wu, 2012)

2. การเปลี่ยนแปลงระหว่างมาตราส่วน (cross-scale dynamics)

มาตราส่วนในที่นี้ครอบคลุมถึง มาตราส่วนเชิงพื้นที่ เชิงเวลา เชิงปริมาณ หรือมิติของการวิเคราะห์ ที่ใช้ในการวัดและศึกษาปรากฏการณ์ ตลอดจนกระบวนการของการจำลอง (Gibson et al., 2000) โดยมาตราส่วนเชิงพื้นที่เป็นมาตราส่วนที่นักวิจัยให้ความสำคัญมากที่สุด แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิด สามารถนำไปประยุกต์ในมาตราส่วนที่แตกต่างกัน เช่น ระดับภูมิภาคหรือระดับท้องถิ่น ซึ่งต้องการความละเอียดของข้อมูลในการจำลองที่ไม่เหมือนกัน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 มาตราส่วนเชิงพื้นที่ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน
ที่มา: Agarwal et al. (2002: 3)

3. แรงขับเคลื่อน (driving forces)

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน อาศัยการจำลองบนพื้นฐานของปัจจัยทางเศรษฐกิจสังคม (socioeconomic) ชีวกายภาพ (biophysical) และปัจจัยอื่นๆ เช่น การจัดการที่ดิน ถึงแม้ว่าปัจจัยทางชีวกายภาพจะไม่ได้เป็นปัจจัยหลัก แต่ก็สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการจัดสรรที่ดิน อาทิ การศึกษาในระดับท้องถิ่น แรงขับเคลื่อนด้านนโยบายและการรักษาพื้นที่เชิงนิเวศ จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อระบบการใช้ที่ดิน ในทางตรงกันข้าม การศึกษาในระดับภูมิภาค จำเป็นต้องคำนึงถึงนโยบายของรัฐ และระยะห่างจากตลาด ท่าเรือ หรือสนามบิน เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจแบบรูปของการใช้ประโยชน์ที่ดิน

4. ปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่และผลกระทบจากพื้นที่ข้างเคียง (spatial interaction and neighborhood effects)

แบบรูปของการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่แสดงถึงการกระจายของภูมิทัศน์ต่างๆ กับการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท เช่น การขยายตัวของพื้นที่เมืองมักจะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับบริเวณเมืองเดิม เป็นต้น ดังนั้น การศึกษาปฏิสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) จากโครงข่าย 3 โครงข่าย ได้แก่ โครงข่ายทางกายภาพ โครงข่ายของการตั้งถิ่นฐาน และโครงข่ายของปฏิสัมพันธ์ นอกจากนี้ ผลกระทบของพื้นที่ข้างเคียงก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ผู้ศึกษาจำเป็นต้องคำนึงถึง เนื่องจากการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณหนึ่ง ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณอื่น โดยแบบจำลองที่คำนึงถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ได้แก่ เซลลูลาร์ออโตมาตา (Cellular Automata: CA)

5. พลวัตเชิงเวลา (temporal dynamics)

มิติเชิงเวลามีความสำคัญอย่างมากต่อการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเป็นแบบมิใช่เชิงเส้น ที่จะต้องใช้วิธีการจำลองแบบพลวัตในช่วงสั้นๆ โดยส่วนใหญ่แล้วการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมักขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมาก่อนหน้านั้น นอกจากนี้ เหตุการณ์ย่อยอื่นๆ ที่เกิดขึ้นอาจทำให้ผลลัพธ์ของการจำลองแตกต่างกันออกไป เช่น การสร้างเส้นทางคมนาคมในช่วงเวลาที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดการขยายตัวของพื้นที่เมืองมากขึ้น และทำให้เกิดแบบรูปของพื้นที่เมืองที่แตกต่างจากอดีต ที่มีการขยายตัวของพื้นที่เมืองจากศูนย์กลาง

6. ระดับของการบูรณาการ (level of integration)

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นการประสานและการทำงานร่วมกันระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ของระบบที่อยู่ในแบบจำลอง ด้วยการแลกเปลี่ยนพลังงาน สสาร และข้อสนเทศ ที่แสดงด้วยวงจรย้อนกลับที่มีความซับซ้อนและยากต่อการแยกแยะสาเหตุออกจากผลลัพธ์ ตลอดจนช่องว่างระหว่างมิติเชิงพื้นที่และมิติเชิงเวลา ความไม่ต่อเนื่อง ระดับการทรงตัว และข้อจำกัด ซึ่งความซับซ้อนนี้ทำให้การทำงานของระบบย่อยๆ ที่มีความสำคัญต่อการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแนวทางของการบูรณาการนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ 1) การเชื่อมโยงของระบบย่อยแบบไม่แข็งแรง ที่เป็นการแยกวิเคราะห์หรือจำลองระบบย่อยๆ ออกจากกัน และ 2) การเชื่อมโยงของระบบย่อยแบบแข็งแรง ที่เป็นการบูรณาการและเลียนแบบพฤติกรรมของระบบย่อยๆ ในแต่ละส่วน โดยมีการสร้างจุดเชื่อมต่อระหว่างระบบย่อยเหล่านั้นให้ทำงานประสานกัน

ความซับซ้อนของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การประยุกต์แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคตนั้น นอกเหนือจากการพิจารณากรอบแนวคิดของแบบจำลองแล้ว ความซับซ้อนของแบบจำลองก็เป็นอีกประเด็นหนึ่ง ที่ผู้ศึกษาควรจะให้ความสนใจ โดยส่วนใหญ่แล้วความซับซ้อนของแบบจำลองมีอยู่ด้วยกัน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเวลา ด้านพื้นที่ และด้านการตัดสินใจของมนุษย์ ที่ส่งผลต่อการเลือกใช้แบบจำลอง (สมพร สง่าวงศ์, 2554 และ Agarwal et al., 2002) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความซับซ้อนด้านเวลา (temporal complexity)

เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญและมีความสัมพันธ์อย่างมากต่อกระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ กล่าวคือ การตัดสินใจของมนุษย์ในระยะเวลาสั้น เช่น การเลือกเส้นทางในการขับรถเพื่อไปทำงานหรือการซื้อสิ่งของอุปโภคบริโภค ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ปฏิบัติในทุกๆ วัน หรือการตัดสินใจของมนุษย์ในระยะเวลายาว เช่น การเลือกปลูกพืชตามฤดูกาล หรือการเลือกพื้นที่ในการปลูกบ้านเพื่ออยู่อาศัย สามารถส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการเลือกใช้แบบจำลอง ในบางครั้งแบบจำลองที่คาดการณ์ผลลัพธ์ในระยะเวลาสั้น อาจมีความถูกต้องมากกว่าการคาดการณ์ในระยะเวลายาว ทั้งนี้ จึงขึ้นอยู่กับผู้ศึกษาในการพิจาณาถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการคาดการณ์การใช้ประโยชน์พื้นที่ เนื่องจากมีปัจจัยอื่นๆ เช่น นโยบาย ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความซับซ้อนของเวลาในเรื่องของการใช้ประโยชน์ที่ดิน

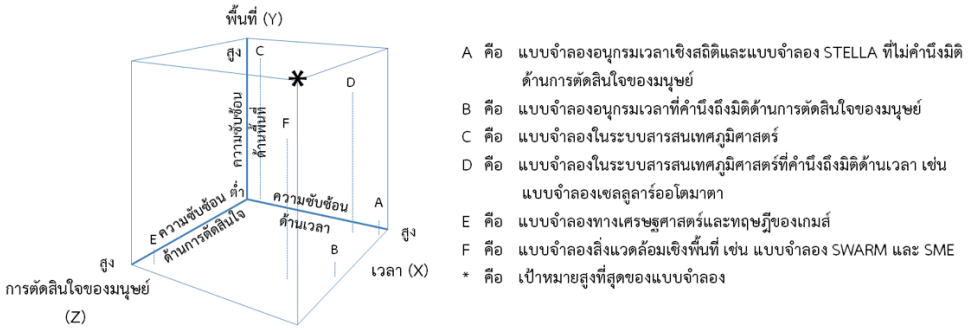
2. ความซับซ้อนด้านพื้นที่ (spatial complexity)

เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงขอบเขตเชิงพื้นที่ของแบบจำลอง ที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) แบบจำลองตัวแทนเชิงพื้นที่ (spatially representative model) ที่สามารถสร้างและแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ในสองหรือสามมิติ แต่ไม่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงทอพอโลยี (topological relationship) หรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูปลักษณ์ทางภูมิศาสตร์ (geographic feature) ได้แก่ จุดภาพ จุด เส้น และพื้นที่รูปปิด เป็นต้น ในกรณีนี้ค่าของจุดภาพอาจเปลี่ยนแปลงหรือยังคงค่าเดิมจากเวลาหนึ่งไปอีกเวลาหนึ่งได้ อย่างไรก็ตาม ตรรกะที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองนี้ อาจจะไม่ขึ้นอยู่กับจุดภาพใกล้เคียง และ 2) แบบจำลองโต้ตอบเชิงพื้นที่ (spatially interactive model) เป็นแบบจำลองที่แสดงถึงความสัมพันธ์และการโต้ตอบกันของจุดภาพข้างเคียงได้ตลอดเวลา โดยแบบจำลองที่มีความซับซ้อนเชิงพื้นที่ต่ำจะสามารถแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ได้น้อย แบบจำลองที่มีความซับซ้อนเชิงพื้นที่ปานกลางจะสามารถแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่แบบจำลองที่มีความซับซ้อนเชิงพื้นที่สูงจะมีประสิทธิภาพสำหรับการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ได้หลายมิติ

3. ความซับซ้อนด้านการตัดสินใจของมนุษย์ (human decision making complexity)

เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงผลกระทบของการตัดสินใจของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งแบบจำลองมักจะนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์เข้ามาร่วมในกระบวนการจำลองอยู่เสมอ ในอดีตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของการใช้ที่ดินมักจะขึ้นอยู่กับกระบวนการทางธรรมชาติและระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง แต่ในปัจจุบันการตัดสินใจของมนุษย์ มีอิทธิพลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังจะเห็นได้จากพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชานเมืองของกรุงเทพมหานคร ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นที่อยู่อาศัยของผู้มีรายได้สูง เนื่องจากบริเวณดังกล่าวถูกกำหนดบทบาทให้มีการใช้พื้นที่ตามหลักของการวางผังเมือง เป็นต้น

ในการประยุกต์แบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคตนั้น ผู้ศึกษาจะต้องคำนึงถึงมิติทั้ง 3 ตลอดจนมาตราส่วนและความซับซ้อน เพื่อเป็นหลักในการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม ดังภาพที่ 3 ที่แสดงถึงกรอบแนวคิดทั้ง 3 มิติของความซับซ้อน โดยแกน X แทนมิติด้านพื้นที่ แกน Y แทนมิติด้านเวลา และแกน Z แทนมิติด้านการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งแบบจำลองแต่ละประเภทจะมีโครงสร้าง เทคนิค ประสิทธิภาพ และการนำไปใช้ในการจำลองพื้นที่ได้อย่างแตกต่างกัน (สมพร สง่าวงศ์, 2556)



ภาพที่ 3 การทบทวนและการประเมินแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน
ที่มา: Agarwal et al. (2002: 7)

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่า แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ดีจะต้องมีการประสานการทำงานของทั้ง 3 มิติ ในบางครั้งการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของแต่ละสถานการณ์ อาจจะต้องการความซับซ้อนของแต่ละมิติที่ไม่เท่ากัน ดังนั้น ผู้ศึกษาจำเป็นต้องเลือกประเภทของแบบจำลองให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์หรือตรงตามสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้

ประเภทของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

นักวิชาการหลายท่านได้จำแนกประเภทของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินไว้แตกต่างกัน อาทิ Merlin ได้แบ่งประเภทของแบบจำลองเมือง เป็น 3 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองพัฒนาการ แบบจำลองระบบการคมนาคมขนส่ง และแบบจำลองทรัพยากรในพื้นที่เมือง (Rui, 2013) ในขณะที่ Briassoulis (2000) ได้จำแนกประเภทของแบบจำลองบนพื้นฐานของหน้าที่และวิธีการ นอกจากนี้ Silva and Wu (2012) ได้ทำการจำแนกประเภทของแบบจำลองตามสมบัติ วิธีการ การประยุกต์ และวิธีการจำลอง ซึ่งในบทความนี้จะใช้วิธีการจำแนกประเภทของแบบจำลองตามวิธีการประยุกต์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. แบบจำลองปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial interaction model)

เป็นแบบจำลองพื้นฐานที่อยู่บนหลักการของปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ที่นำมาใช้อย่างมากในสาขาภูมิภาคศึกษาและปริมาณวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์ เพื่อการบ่งชี้ถึงการเคลื่อนย้ายของสิ่งต่างๆ บนพื้นที่ที่เป็นผลจากการกระทำของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น แบบจำลองแรงโน้มถ่วง

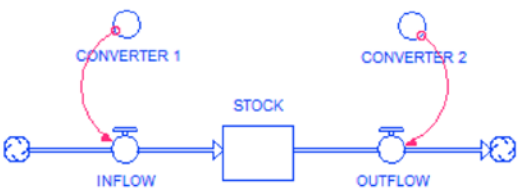
(gravity model) ที่ประยุกต์กฎของนิวตันในการอธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของวัตถุ 2 ชนิดที่มีขนาดและระยะทางที่แตกต่างกัน

2. แบบจำลองที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์และสถิติ (mathematical and statistical model)

เป็นแบบจำลองที่อาศัยสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์และสถิติในการหาคำตอบที่คงที่ จากวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในการคาดการณ์ เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการกระจายของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินตามเวลา นอกจากนี้ ยังมีการใช้ทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ในการจำลองที่มีความซับซ้อน ด้วยสมการจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะอยู่ในรูปของข้อมูลเชิงปริมาณที่ยากต่อการเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่

3. แบบจำลองระบบพลวัต (system dynamic model)

เป็นแบบจำลองเชิงปริมาณที่พัฒนาโดย Prof. Jay Forrester ในการวิเคราะห์กระบวนการทางอุตสาหกรรมและมีการพัฒนาเพื่อใช้ศึกษาพลวัตของพื้นที่เมือง ที่องค์ประกอบของระบบมีความสัมพันธ์กับแบบมิใช่เส้นตรง โดยอาศัยวงจรย้อนกลับ สต็อก และโฟลว์ (ภาพที่ 4) ในการแสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหรือปัจจัยต่างๆ ของระบบ เพื่อให้เกิดการตอบสนองในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ถึงแม้ว่าความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ของแบบจำลองนี้จะเป็นไปได้ค่อนข้างยาก (สมพร สง่าวงศ์, 2554 และ Losiri et al., 2016)



ภาพที่ 4 โครงสร้างพื้นฐานของแบบจำลองระบบพลวัต

4. แบบจำลองระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert model)

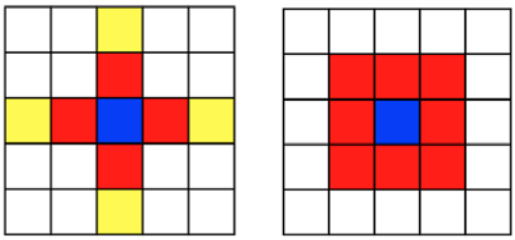
เป็นแบบจำลองที่รวมการพิจารณาความเชี่ยวชาญกับเทคนิคความน่าจะเป็นไว้ด้วยกัน เช่น ความน่าจะเป็นแบบเบย์ (Bayesian) ทฤษฎีฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของเดมพ์สเตอร์และเชเฟอร์ (Dempster-Schaefer theory) หรือวิธีการทางตรรกศาสตร์และกฎต่างๆ (logic-based and rule based) ในการแปลงความรู้เชิงคุณภาพให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

5. แบบจำลองวิวัฒนาการ (evolutionary model)

เป็นแบบจำลองที่อาศัยเทคนิคและวิธีการของปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) เข้ามาใช้ในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งแบบจำลองที่นิยมนำมาใช้ คือ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network: ANN) พัฒนาขึ้นเพื่อปรับแก้ตัวแปรของแบบจำลองอย่างอัตโนมัติ โดยจัดเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ ที่ประกอบด้วยกลุ่มของโครงข่ายใยประสาทที่เชื่อมโยงกัน และสามารถประมวลผลข้อมูลโดยใช้กระบวนการเชื่อมโยงกับระบบคำนวณได้ แบบจำลอง ANN มีโครงสร้างคล้ายกับสมองของมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ต่างๆ โดยแต่ละเซลล์จะมีค่าเบี่ยงเบน (bias) และระหว่างเซลล์ต่างๆ จะมีการเชื่อมโยงถึงกันโดยมีค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งทั้งสองค่านี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลอง นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์แบบจำลองวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm: GA) ที่เป็นการเลียนแบบการคัดเลือพันธุกรรมตามธรรมชาติ ด้วยกระบวนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ การคัดเลือกสายพันธุ์ ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ และการแทนที่ วัฏจักรของ GA มีการทำงานคล้ายคลึงกับการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ โดยสิ่งมีชีวิตที่มีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าจะสามารถอยู่รอดได้ ในขณะที่สิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่ไม่สามารถปรับตัวได้ก็จะต้องสูญพันธุ์ไป GA อาศัยการจำลองวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตในระบบธรรมชาติกล่าวคือ กระบวนการภายในของ GA ทำให้คำตอบของระบบที่มีอยู่เกิดวิวัฒนาการในตัวเอง อันจะนำไปสู่การปรับตัวให้กลายเป็นคำตอบที่ดีกว่าและดีที่สุด (Liu, 2009 และ Liu, Feng, Pontius, 2014)

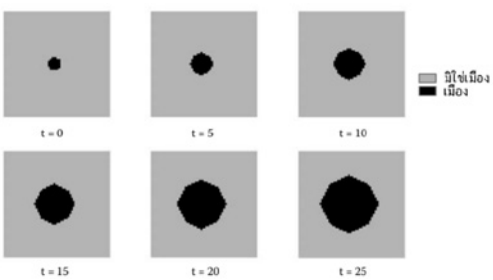
6. แบบจำลองมาร์คอฟเซลลูลาร์ออร์โตมาตา (Markov Cellular Automata: MCA)

เป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยเซลลูลาร์ออโตมาตา (CA) และ มาร์คอฟ (Markov) ที่ประสานความร่วมมือ เพื่อการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบของแรสเตอร์ ใน CA แต่ละกริดเซลล์ (grid cell) จะมีสถานภาพ (state) เป็นของตัวเอง โดยสถานภาพในอนาคตจะขึ้นอยู่กับกฎของการเปลี่ยนแปลง (transition rule) เชิงพื้นที่และเวลา (time) ของกริดเซลล์เพื่อนบ้านที่อยู่ข้างเคียง (neighborhood) ซึ่งเซลล์เพื่อนบ้านที่นิยมใช้กันในการจำลองของ CA มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ Von Neumann neighborhood ที่ประกอบด้วยเซลล์เพื่อนบ้านจำนวน 4 เซลล์ และ Moore neighborhood ที่ประกอบด้วยเซลล์เพื่อนบ้านจำนวน 8 เซลล์ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 Von Neumann neighborhood (ซ้าย) และ Moore neighborhood (ขวา)

แบบจำลอง MCA เป็นแบบจำลองชนิดเพื่อนบ้านที่มิใช่เชิงตรรกะ (non logical neighborhood) ที่อาศัยโครงข่ายของกราฟ เนื่องจากแบบจำลอง MCA มีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับข้อมูลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) จึงสามารถทำงานร่วมกันได้โดยสะดวก (Santé et al., 2010) แบบจำลองนี้นับว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่อีกหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เมืองในช่วงเวลาต่อมา (สมพร สง่าวงศ์, 2554) ดังภาพที่ 6 ที่แสดงถึงการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองในแต่ละช่วงเวลาด้วยการประยุกต์แบบจำลองบนพื้นฐานของ CA



ภาพที่ 6 การประยุกต์แบบจำลอง CA ในการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองในแต่ละช่วงเวลา
ที่มา: Liu (2009: 31)

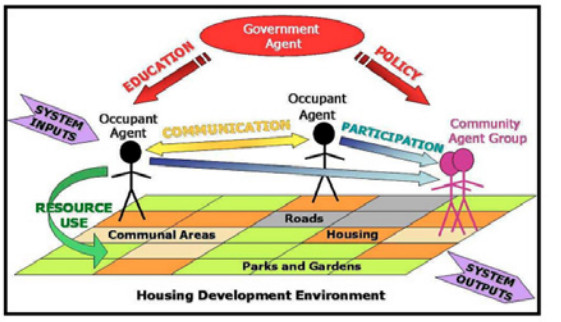
7. แบบจำลองตัวแทน (Agent Based Model: ABM)

เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาตั้งแต่ในช่วง ค.ศ. 1980 แบบจำลองนี้อาศัยตัวแทน (agent) ของวัตถุและประชากรที่สามารถสะท้อนพฤติกรรม ในด้านของการตัดสินใจของตัวแทนในระบบผ่านพื้นที่และเวลา (Batty, 2009) ด้วยกฎของการตัดสินใจ (rule) ต่างๆ ที่จะส่งผลต่อองค์ประกอบทั้งหมด การทำงานของแบบจำลองตัวแทน ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1) เป็นการพยากรณ์การตัดสินใจจากปัจจัยต่างๆ ของแต่ละตัวแทนในระบบ ซึ่งตัวแทนจะ

เป็นผู้ที่มีบทบาทในการแสดงกระบวนการ ทั้งนี้ ตัวแทนอาจหมายรวมถึง อะตอม เซลล์ของสิ่งมีชีวิต สัตว์ มนุษย์ และองค์กร 2) เป็นการพยากรณ์ผลลัพธ์ที่จะเกิดกับระบบ และ 3) เป็นการวนซ้ำ เพื่อให้ได้ปัจจัยที่ดีที่สุดที่ส่งกระทบต่อการตัดสินใจของแต่ละตัวแทน แบบจำลอง ABM จึงเป็นแบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นสูงในการตัดสินใจของหลายตัวแทนภายใต้ระบบที่ความความซับซ้อน ซึ่งพฤติกรรมของระบบที่เปลี่ยนแปลงจะถูกควบคุมโดยกฎของการกระทำระหว่างผู้กระทำกับกลุ่มผู้ถูกกระทำที่ทำงานอย่างเป็นอิสระ

8. แบบจำลองผสม (hybrid model)

เป็นแบบจำลองที่เกิดจากการบูรณาการเทคนิคต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การเชื่อมโยงแบบจำลอง CA กับแบบจำลอง ABM โดยแบบจำลองแบบ MCA จะเป็นแบบจำลองที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในขณะที่แบบจำลอง ABM จะแสดงพฤติกรรมและบทบาทของของมนุษย์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ ดังภาพที่ 7 แสดงการจำลองการพัฒนาพื้นที่อยู่อาศัย ที่จะต้องคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวแทนที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การประกอบอาชีพ ชุมชน รัฐบาล หรือระหว่างตัวแทนกับสิ่งแวดล้อมที่ถูกใช้ในการจำลองเชิงพื้นที่



ภาพที่ 7 การใช้แบบจำลองผสมระหว่างแบบจำลอง MCA กับแบบจำลอง ABM
ที่มา: Rui (2013: 21)

แรงขับเคลื่อนที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากความรู้เรื่องกรอบแนวคิด ความซับซ้อน และประเภทของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ล้วนเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการเลือกแบบจำลองที่เหมาะต่อการคาดการณ์พื้นที่เมือง อย่างไรก็ตามแรงขับเคลื่อนหรือปัจจัยนำเข้าก็เป็นสิ่งที่สำคัญอีก

หนึ่งองค์ประกอบ ที่ผู้ใช้แบบจำลองจะต้องพิจารณาถึง จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัจจัยนำเข้าที่นิยมใช้ในการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคตมีอยู่ด้วยกันหลายปัจจัย ซึ่งส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ทั้งนี้ Wahyudi และ Liu (2013) ได้จำแนกประเภทของปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลอง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 9 ประเภท ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แรงขับเคลื่อนหรือปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ประเภท	ปัจจัยนำเข้า
ลักษณะภูมิประเทศ	ความสูง ความชัน ความสูงต่ำเชิงเงา
ความเชื่อมโยง	ถนนสายหลัก/รอง จุดตัดของถนน ด่านเก็บเงิน ทางน้ำ ทางรถไฟ
สิ่งอำนวยความสะดวก	สถานีรถประเภทต่างๆ ท่าอากาศยาน ศูนย์การค้า ย่านธุรกิจ แหล่งอุตสาหกรรม พื้นที่ที่ได้รับการพัฒนา โรงเรียน โรงพยาบาล สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ
สิ่งแวดล้อม	พื้นที่สีเขียว
นโยบายของรัฐบาล	การจัดเขตในบริเวณต่างๆ
ข้อจำกัดของพื้นที่	แหล่งน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ ป่าไม้ อุทยานแห่งชาติ พื้นที่ป้องกันการบุกรุก
ประชากร	จำนวนประชากร ความหนาแน่น อัตราการเจริญเติบโต การย้ายถิ่น
เศรษฐกิจ	รายได้ประชาชาติ มูลค่าที่ดิน การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ
ที่ดิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน

โดยส่วนใหญ่แล้วปัจจัยนำเข้าที่แสดงดังตารางที่ 1 จะอยู่ในรูปแบบของแผนที่แรสเตอร์ที่มีขนาดของจุดภาพที่เหมาะสมกับมาตราส่วนของการศึกษา โดยข้อมูลบางประเภท เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สิ่งแวดล้อม นโยบายของรัฐ ประชากร เศรษฐกิจ และที่ดิน จะสามารถใช้ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของแผนที่แรสเตอร์ได้โดยตรง ส่วนปัจจัยประเภทอื่นๆ จะต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของแผนที่ระยะห่างจากสิ่งต่างๆ ด้วยการหาระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean distance) ทั้งนี้ ก่อนที่จะนำปัจจัยนำเข้าไปใช้ ผู้ศึกษาจะต้องตรวจสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยวิธีการทางสถิติ ซึ่งสถิติที่นิยมใช้ ได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (logistic regression analysis) และการวัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วย Cramer's V เป็นต้น

ตัวอย่างแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เมือง

ปัจจุบันแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่นำมาใช้คาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคตนั้นมีอยู่มาก บทความนี้จึงได้ยกตัวอย่างแบบจำลองที่นิยมใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่เมืองในประเทศไทย ด้วยการสืบค้นงานวิจัยและปริญญานิพนธ์ในระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยต่างๆ พบว่ามีแบบจำลองที่นิยมใช้ถึง 6 แบบจำลอง ได้แก่ CA_MARKOV CLUE-S SLEUTH LCM LTM และ URBANSIM ตามลำดับ โดยตารางที่ 2 ได้แสดงข้อมูลของผู้พัฒนา วัตถุประสงค์ ตลอดจนจุดแข็งและจุดอ่อนของแต่ละแบบจำลอง เพื่อให้ผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้ สามารถตัดสินใจเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมกับการศึกษา

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบจุดแข็งและจุดอ่อนของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แบบจำลอง	ผู้พัฒนา/วัตถุประสงค์	จุดแข็ง	จุดอ่อน
CA_MARKOV	พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการคลาร์ก เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการทำงานของ CA และ Markov Chain	- เหมาะสมกับข้อมูลที่มีโครงสร้างแบบแรสเตอร์ - ทำงานกับข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ดี - เหมาะสมกับการเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ	- ขาดมิติการตัดสินใจของมนุษย์ - ขาดตัวแปรทางด้านชีวภาพ - กฎของการเปลี่ยนแปลงถูกกำหนดด้วยมาตราส่วนระดับท้องถิ่น
CLUE-S	พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัย Wageningen เพื่อสร้างสถานการณ์จำลองของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ที่เป็นไปตามแรงขับเคลื่อน โดยใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์	- เหมาะสมในการวิเคราะห์กับสถานการณ์ต่างๆ - สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับท้องถิ่นที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงในระดับภูมิภาค - สามารถบูรณาการร่วมกับการวางแผนในเชิงนโยบายได้	- ไม่สามารถจำลองพลวัตของการใช้ที่ดินได้ หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีต - จำลองบนพื้นฐานของการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการถดถอยเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2 (ต่อ)

แบบจำลอง	ผู้พัฒนา/วัตถุประสงค์	จุดแข็ง	จุดอ่อน
LTM	พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการคลาร์กเพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการทำงานของ CA และ Markov Chain	- ให้ผลลัพธ์ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย - บูรณาการ GIS ANN และสถิติเชิงพื้นที่ในการคาดการณ์ - ใช้กับแบบจำลองมาตราส่วนระดับภูมิภาคได้เป็นอย่างดี	- คำนวณความต้องการของที่ดินจากจำนวนประชากรที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงอย่างเดียว - ไม่สามารถจำลองความเป็นพลวัตของแรงขับเคลื่อนของปัจจัยต่างๆ
SLEUTH	พัฒนาโดย Clarke et al. (1997) แห่งมหาวิทยาลัย California, Santa Barbara เพื่อจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองและตรวจสอบแหล่งชุมชนเมืองที่เกิดใหม่ ที่อาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	- จำลองการขยายตัวของเมือง 4 รูปแบบ - ให้ผลลัพธ์ทั้งรูปภาพและสถิติ - ถูกออกแบบให้สามารถปรับค่าได้เองโดยการใช้ค่าตัวคูณ (threshold multi plier) - เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด ติดตั้งง่าย - เชื่อมโยงกับข้อมูล GIS ที่มีโครงสร้างแบบแรสเตอร์ได้ง่าย	- ไม่ใช้การตัดสินใจของมนุษย์ที่มีผลต่อการขยายตัวของเมืองและสิ่งก่อสร้าง - ไม่ได้นำปัจจัยทางด้านชีวภาพ เศรษฐกิจ และสังคมมาพิจารณา - ใช้ข้อมูลปริมาณมาก ใช้เวลาเตรียมข้อมูลนาน - ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงในกระบวนการจำลอง ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูง
URBANSIM	พัฒนาโดย Paul Waddell เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดิน การคมนาคม และนโยบายสาธารณะที่กำหนดแนวโน้มของการขยายตัวของชุมชนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ	- สะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการของการเปลี่ยนแปลงโลกกับการจำลองสิ่งแวดล้อม - สามารถจำลองความซับซ้อนของระบบเมืองได้ดี - เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด	- แบบจำลองมีความซับซ้อนสูง - ใช้ข้อมูลมาก ต้องเสียเวลาและงบประมาณในการเตรียมข้อมูลก่อนการจำลอง - การสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน

บทสรุป

ในปัจจุบันแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้ถูกนำมาใช้ในการติดตามและคาดการณ์การขยายตัวของพื้นที่เมืองอย่างแพร่หลาย ซึ่งแบบจำลองประเภทนี้ประกอบไปด้วยระบบที่มีองค์ประกอบและกระบวนการที่ซับซ้อนที่ มีความเป็นพลวัต และประกอบด้วยปัจจัยหลายชนิด เช่น ปัจจัยทางชีวภาพและปัจจัยทางกายภาพ เวลา และการตัดสินใจของมนุษย์ ดังนั้น ผู้ศึกษาจำเป็นต้องเลือกแบบจำลอง ด้วยการพิจารณาถึงสมบัติของแบบจำลอง อาทิ กรอบแนวคิด ความซับซ้อน ประเภท และแรงขับเคลื่อนของแบบจำลอง ให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการศึกษามากที่สุด เพื่อให้แบบจำลองที่นำมาใช้ สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ได้ตรงกับความเป็นจริง โดยแบบจำลองที่นิยมใช้กันมากในประเทศไทย คือ แบบจำลอง CA_MARKOV อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวยังไม่ได้คำนึงถึงแรงขับเคลื่อน ที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้น ผู้ที่จะเลือกแบบจำลองไปประยุกต์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงแรงขับเคลื่อนต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยจะต้องเลือกใช้แบบจำลองที่สามารถทำงานร่วมกับแรงขับเคลื่อนเหล่านั้นได้ เช่น แบบจำลอง CLUE-S และ LCM เพื่อให้ผลลัพธ์ของการจำลองการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคตมีความเสมือนจริงและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2549). **การจำลองแบบการจัดการลุ่มน้ำและระบบสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2554). **โครงการศึกษาเพื่อกำหนดเป้าหมายและแนวทางการใช้ที่ดินที่สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาประเทศ.** กรุงเทพฯ: สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สมพร สง่าวงศ์. (2554). **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน.** เชียงใหม่: ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

_____. (2556). **การประเมินผลกระทบจากการขยายตัวของเมืองที่มีต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน.** เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยและบริการวิชาการ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Agarwal, C., Green, G.M., Grove, J.M., Evans, T., P., Schweik, C. (2002). A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice. **Gen. Tech. Rep. NE-297.** Newton Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station.

Batty, M. (1981). Urban models. **In Quantitative geography: a British view.** Eds. N, Wrigley and R.J. Bennett, 181-191. London: Routledge and Kegan Paul.

_____. (2009). **Urban Modeling.** Retrieved May 10, 2016, from http://www.casa.ucl.ac.uk /rits/BATTY-Urban-Modelling-2009.pdf

Bhatta, B. (2010). **Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data.** Berlin: Springer.

Briassoulis, H. (2000). Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. **Doctoral Thesis in Geography.** Lesvos, Greece: University of Aegean.

Clarke, K. C., Hoppen, C., and Gaydos, L. J. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanisation in the San Francisco Bay Area, **Environment and Planning B.** 24: 247261.

Gibson, C.C., Ostrom, E., and Anh, T.K., (2000). The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. Ecological Economics. 32: 217–239.

Liu, Y. (2009). **Modelling urban development with geographic information systems and cellular automata.** FL: CRC Press.

Liu, Y.; Feng, Y., and Pontius, R.G., Jr. (2014). Spatially-Explicit Simulation of Urban Growth through Self-Adaptive Genetic Algorithm and Cellular Automata Modelling. **Land.** 3: 719-738.

Losiri, C., Nagai, M., Ninsawat, S., Shrestha, R.P. (2016). Modeling Urban Expansion in Bangkok Metropolitan Region Using Demographic–Economic Data through Cellular Automata-Markov Chain and Multi-Layer Perceptron-Markov Chain Models. **Sustainability.** 8(7): 686.

Rui, Y. (2013). Urban growth modeling based on land-use changes and road network expansion. **Doctoral Thesis in Geodesy and Geoinformatics.** Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology.

Santé, I., Garcia, A.M., Miranda, D. and Crecente, R., (2010). Cellular automata models for the simulationof real-world urban processes: A review and analysis. **Landscape and Urban Planning.** 96: 108-122.

Silva, E. and Wu, Ning. (2012). Surveying models in urban land studies. **Journal of Planning Literature.** 27(2): 139-152.

Verburg, P.H., Schot, P.P., Dijst, M.J., and Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: current practice and research priorities. **GeoJournal.** 61: 309-324.

Wahyudi, A. and Liu, Y. (2013). Cellular automata for urban growth modeling: a chronological review on transition rules. **Proceedings of the 13rd International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management.** CUPUM: The Nethelands.