การศึกษาความแตกต่างของแบบจำลองการขยายตัวของเมือง CA-MARKOV, CLUE-S และ SLEUTH

Study of differences in urban growth models CA-MARKOV, CLUE-S and SLEUTH

กัลป์ กลับแสง*

Gun Glubsaeng*

คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University

E-mail: gun.elite125@gmail.com

Received 25 Febuary 2021

Revised 8 March 2021

Accepted 8 March 2021

บทคัดย่อ

ปัจจัยทางสังคมและเศรษฐกิจมีผลต่อรูปแบบการขยายตัวของเมือง ทำให้เกิดการตั้งถิ่นฐานที่อยู่อาศัยและเกิดย่านธุรกิจอย่างหนาแน่น การบริหารจัดการและการพัฒนาเมืองให้มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญ ประกอบกับปัจจุบันได้มีการคิดค้นแบบจำลองการขยายตัวของเมืองเป็นจำนวนมาก จึงได้ทำการศึกษาความแตกต่างของแบบจำลองการขยายตัวของเมือง CA-MARKOV, CLUE-S และ SLEUTH เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลอง โดยเป็นแบบจำลองที่สามารถจำลองรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของเมืองหรือการใช้ที่ดิน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการขยายตัวของเมืองในบริบทต่างๆ ได้หลากหลายพื้นที่ ใช้ปัจจัยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่สามารถเก็บรวบรวมและเข้าถึงได้ง่าย จากการศึกษาพบว่าการรูปแบบการขยายตัวของเมืองจากแบบจำลองทั้งสาม มีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากแบบจำลองมีพื้นฐานวิธีการวิเคราะห์ของแบบจำลองที่เหมือนกัน คือวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา มีการกำหนดกฎของการเปลี่ยนแปลง สิ่งที่แตกต่างกันคือสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง CLUE-S มีข้อได้เปรียบสูงสุดเนื่องจากแบบจำลองมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการใช้ที่ดินกับปัจจัยต่างๆ ในขณะที่แบบจำลอง CA-MARKOV จะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่การใช้ที่ดินบริเวณรอบข้าง และแบบจำลอง SLEUTH จะให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของรูปแบบการใช้ที่ดินประเภทเมืองกับปัจจัยด้านเส้นทางคมนาคมและความลาดชัน

คำสำคัญ การขยายตัวของเมือง แบบจำลอง CA-MARKOV แบบจำลอง CLUE-S แบบจำลอง SLEUTH

Abstract

The social and economic factors had affected the urban growth pattern, cause a high density of settlement and business district. The development and management of urban growth become important and many urban growth models were developed nowadays. So, the study was conducted to compare the difference of urban growth models CA-MARKOV, CLUE-S and SLEUTH. These urban growth models can simulate the urban growth pattern and can be applied to others context area, use data analysis factors that can be easily collected and accessed. The study found that the urban growth pattern of these three models is not much difference because the analysis method of these models is to analyze the change of area in each time. The difference is the equation of models, the CLUE-S has advantage because the model has analyzed the relationship between landuse and other factors. The CA-MARKOV has analyzed the relationship of each nearby landuse. And the SLEUTH has analyzed the relationship of urban, transportation routes and slope.

Keywords: Urban Growth Model, CA-MARKOV Model, CLUE-S Model, SLEUTH Model

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายความเป็นเมืองมากยิ่งขึ้น อันเนื่องมาจากความต้องการทางเศรษฐกิจและสังคม เช่น โอกาสในการประกอบอาชีพ การเข้าถึงระบบสาธารณูปโภค เทคโนโลยี และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ กล่าวคือด้านเศรษฐกิจ อันเนื่องมาจากสังคมเมืองมีความต้องการสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจ โดยการส่งเสริมการค้าการลงทุน ทำให้เกิดสินค้าและบริการจำนวนมาก จนนำมาสู่การเปิดตลาดแรงงานขนาดใหญ่ ด้านสังคมสามารถดึงดูดแรงงานภาคเกษตรกรรมเข้าสู่แรงงานภาคบริการและภาคอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการย้ายถิ่นฐานจากชนบทเข้าสู่เมือง ซึ่งจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของประชากรในเขตเมืองที่มีจำนวนสูงกว่าประชากรในชนบท ในขณะที่อัตราเกิดของประชากรในชนบทสูงกว่าประชากรเมืองทุกช่วงเวลา แสดงว่ามีการย้ายถิ่นฐานจากเขตชนบทเข้าสู่เขตเมือง ทำให้มีการยกฐานะของพื้นที่ต่างๆ เป็นเขตเมืองเพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งการขยายตัวของเมืองจะต้องมีความสัมพันกับสิ่งแวดล้อมด้วย อันเนื่องมากจากการอาศัยอยู่ของประชากรอย่างหนาแน่นในเขตเมือง จะต้องมีการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เช่นปัญหาน้ำเสียจากที่พักอาศัย ปัญหาขยะ การจัดการพื้นที่สีเขียว และอื่นๆ ที่ทำให้สิ่งแวดล้อมในเมืองดีขึ้น ไม่มีมลภาวะและมีความปลอดภัยในการดำเนินชีวิต การศึกษาการขยายตัวของเมืองจึงมีความสำคัญในการช่วยให้มีการจัดการการใช้ที่ดินภายในเมืองให้เกิดความเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อเมือง สามารถสร้างการเติบโตอย่างยั่งยืนได้

2. แบบจำลองการขยายตัวของเมือง

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาแบบจำลองการขยายตัวของเมือง CA-MARKOV, CLUE-S และ SLEUTH โดยมีการเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ซึ่งสามารถแสดงภาพรวมของแบบจำลองการขยายตัวของเมืองได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ภาพรวมของแบบจำลองการขยายตัวของเมือง

แบบจำลอง	วัตถุประสงค์	ใช้งานได้หลายพื้นที่	ปัจจัย	ข้อจำกัด	คุณสมบัติ
SLEUTH	✓	✓	✓	✓	เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาเพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของเมืองและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปเป็นเมืองผลลัพท์ที่ได้สามารถแสดงผลได้ในรูปแบบภาพและสถิติและข้อมูลที่แบบจำลองต้องการสามารถเข้าถึงได้ง่ายด้วยวิธีการทางรีโมตเซนซิ่ง
CA-MARKOV	✓	✓	✓	✓	เป็นที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่จำลองรูปแบบการขยายตัวของสิ่งใดสิ่งหนึ่งมีลักษณะการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและเป็นพื้นฐานของแบบจำลองอื่นๆ
CLUE-S	✓	✓	✓	✓	เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสามารถประยุกต์ใช้เพื่อหาการขยายตัวของเมืองได้และ ข้อมูลที่แบบจำลองต้องการสามารถเข้าถึงได้ง่ายด้วยวิธีการทางรีโมตเซนซิ่ง

2.1 แบบจำลอง CA-MARKOV

ดี เอฟ เวกเนอร์ (D F Wagner. 1997: 219-234) กล่าวว่า Cellular Automata หรือ CA-MARKOV คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดหนึ่ง คิดค้นโดย Alan Turing และ John von Neumann โดยแบบจำลอง Cellular Automata สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โครงสร้างของแบบจำลองมีลักษณะที่ไม่ซับซ้อน มีความสามารถในการแสดงความเป็นพลวัต มีการแสดงในเรื่องของเวลาที่ชัดเจน โดยปกติแล้วในการศึกษาการขยายตัวของเมืองโดยการใช้แบบจำลอง CA-MARKOV จะใช้ปัจจัยหลักคือ รูปแบบการใช้ที่ดิน อย่างต่ำ 2 ช่วงเวลา และสามารถนำปัจจัยเชิงพื้นที่อื่นๆที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ แต่ต้องมีการวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองอื่นๆ

ไซน์ (Singh. 2003) ได้สรุปการทำงานของ Cellular Automata ว่าเป็นแบบจำลองที่ไม่ต่อเนื่อง ประกอบด้วยเซลล์ (cell) และเวลา (time steps) โดยมีเซลล์จำนวนมากมีลักษณะเป็นช่องตาราง ซึ่งในแต่ละเซลล์จะมีค่าตัวเลขอยู่ รวมทั้งมีเวลากำกับไว้ด้วย และในแต่ละเซลล์จะถูกควบคุมการทำงานด้วยกฎการเปลี่ยนแปลง (Transition rules) และมีองค์ประกอบทั้งหมด 5 ส่วน ดังนี้

2.1.1 พื้นที่เซลล์ (Cell Space) คือพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยความละเอียด (resolution) จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแบบจำลองและข้อมูลที่มีอยู่ซึ่งจะต้องพิจารณาเลือกให้เหมาะสม

2.1.2 สถานะเซลล์ (Cell States) จะแสดงถึงสถานภาพของแต่ละพื้นที่ในแต่ละเซลล์ เช่น สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละเซลล์จะถูกแทนค่าด้วยรหัสที่ตั้งขึ้นมา เช่น 1 คือนาข้าว 2 คือ พืชไร่ เป็นต้น

2.1.3 ช่วงเวลา (Time Steps) แบบจำลอง Cellular Automata จะแสดงถึงช่วงเวลาระหว่างเหตุการณ์ในแต่ละเวลาในที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง การกำหนดช่วงเวลานั้นอยู่ที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนด

2.1.4 กฎการเปลี่ยนแปลง (Transition rules) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการใช้แบบจำลอง Cellular Automata ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเพื่อที่จะกำหนดลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นพลวัต กฎการเปลี่ยนแปลงนี้โดยปกติจะระบุถึงสถานะของเซลล์ก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงที่ได้รับอิทธิพลจากเซลล์รอบข้างโดยสามารถแทนด้วยสมการ 1

$$\{S_{t+1}\} = f(\{S_t\}\{I_t^h\}) \qquad \textbf{สมการที่ 1}$$

โดยที่ $\{S_{t+1}\}$ = สถานะของเซลล์ที่ช่วงเวลา $(t+1)$

$\{S_t\}$ = สถานะของเซลล์ที่ช่วงเวลา (t)

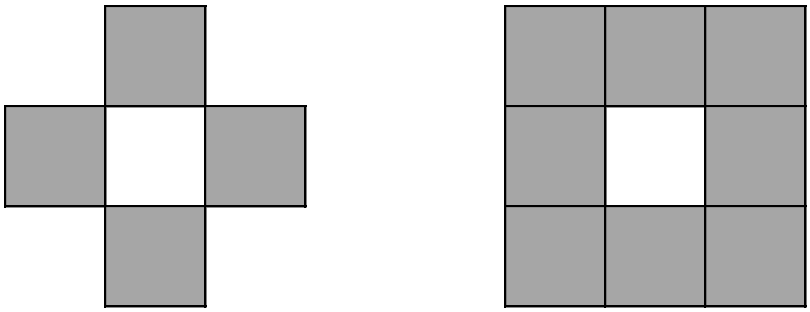
$\{I_t^h\}$ = เซลล์ข้างเคียง

f = กฎของการเปลี่ยนแปลง

t = ช่วงเวลา

h = ขนาดของเซลล์ข้างเคียง

2.1.5 เซลล์รอบข้าง (Neighborhood) มี 2 แนวคิดที่ได้กล่าวถึงเซลล์รอบข้างคือ Neumann ได้เสนอว่ามี 4 เซลล์ และ Moore ได้เสนอไว้ว่ามี 8 เซลล์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะของเซลล์รอบข้างตามแนวคิดของ Neumann และ Moore ตามลำดับ

ที่มา: Singh. (2003). *Modelling Land Use Land Cover Changes using Cellular Automata in a Geo-spatial Environment*.

ในหลายๆ แบบจำลอง Cellular นั้น กฎของการเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่ประกอบขึ้นมาจากกระบวนการกรอง (Filtering) และการจัดการชั้นข้อมูล (Reclassification) โดย ทอมมาโซ ทอฟโฟลี่ และนอร์แมน มากูลัส (Tommaso Toffoli; & Norman Margolus. 1987) ได้กล่าวไว้ ใน ค.ศ. 1970 นักคณิตศาสตร์ชื่อ จอห์น คอนเวย์ (John Conway) ได้นำ Cellular Automata มาใช้ร่วมกับทฤษฎี Game of Life โดยกำหนดให้หนึ่งหน่วยของเซลล์แทนค่าด้วย 1 หรือ เซลล์ที่มีชีวิต (live) และ 0 หรือเซลล์ที่ไม่มีชีวิต (dead) โดยแต่ละเซลล์จะถูกล้อมรอบด้วยเซลล์จำนวน 8 เซลล์ในทิศทางต่างๆ ดังภาพที่ 2

Northwest	North	Northeast
West	**Central**	East
Southwest	South	Southeast

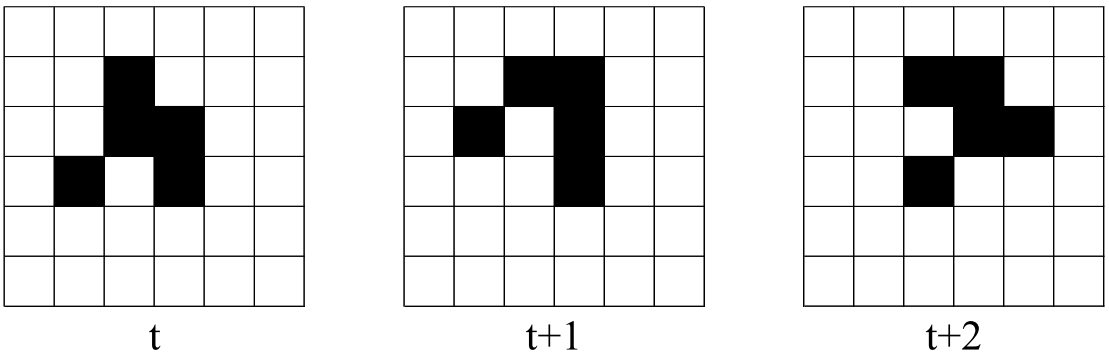
ภาพที่ 2 ตำแหน่งของเซลล์แวดล้อมทั้ง 8 หรือขนาด 3x3 เซลล์

ที่มา: Tommaso Toffoli; & Norman Margolus. (1987). *Cellular Automata Machine: A New Environment for Modelling*.

โดยมีตั้งกฎการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ดังนี้

1) เซลล์ที่ไม่มีชีวิต ในช่วงเวลา T จะเปลี่ยนเป็นเซลล์ที่มีชีวิตในช่วงเวลา T+1 ถ้าเซลล์รอบๆ เซลล์นั้นมีจำนวนเท่ากับ 3 เซลล์ ในเซลล์ล้อมรอบ (Neighborhood) ขนาด 3x3

2) เซลล์ที่มีชีวิตในช่วงเวลา T จะเปลี่ยนเป็นเซลล์ที่ไม่มีชีวิตในช่วงเวลาที่ T+1 ถ้ามีเซลล์ล้อมรอบด้วยจำนวนน้อยกว่า 2 หรือ มากกว่า 3 เซลล์ ในเซลล์ล้อมรอบ (Neighborhood) ขนาด 3x3



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงสถานะของเซลล์ในแต่ละช่วงเวลาตามทฤษฎี Game of Life

ที่มา: Fedra K.; & Feoli E. (1998). *GIS technology and spatial analysis in coastal zone management*.

2.2 แบบจำลอง CLUE-S

ปีเตอร์ เวนเบิร์ก (Peter Verburg. 2004) กล่าวว่าแบบจำลอง CLUE (The Conversion of Land Use and its Effects modeling framework) คือแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปัจจัยผลักดัน แบบจำลองชนิดนี้ได้ถูกพัฒนามาเพื่อใช้ในพื้นที่ระดับประเทศ และทวีปซึ่งมีขนาดพื้นที่ใหญ่ โดยต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อให้สามารถใช้ได้ในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กลงมาโดยใช้ชื่อว่า CLUE-S (The Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent) แบบจำลองนี้พัฒนามาเพื่อใช้ในการจำลองพื้นที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปัจจัยผลักดันของพื้นที่ศึกษา ร่วมกับการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลที่ใช้คือรูปแบบการใช้ที่ดินในช่วงเวลาต่างๆตั้งแต่ 2 ช่วงเวลาขึ้นไป

องค์ประกอบหลักของแบบจำลอง CLUE-S ได้แก่ องค์ประกอบส่วนคุณลักษณะ (non-spatial module) และองค์ประกอบส่วนเชิงพื้นที่ (spatial module) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 องค์ประกอบส่วนคุณลักษณะ (non-spatial module) เป็นการกำหนดปริมาณความต้องการและตำแหน่งการใช้ที่ดินในรูปแบบต่างๆในพื้นที่ศึกษา วิธีการคำนวณจะแตกต่างกันออกไปตามพื้นที่ศึกษา โดยแบบจำลอง CLUE-S จะไม่มีการคำนวณเพื่อหาปริมาณความต้องการการใช้ที่ดิน แต่แบบจำลองจะใช้ปริมาณการใช้ที่ดินที่กำหนดมาเปรียบเทียบผลลัพท์ที่ได้จากแบบจำลอง

2.2.2 ส่วนเชิงพื้นที่ (spatial module) ประกอบด้วย 3 ส่วนย่อยได้แก่

1) การกำหนดความน่าจะเป็นของการใช้ที่ดิน (Probability) กำหนดได้จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา มีผลมาจากความต้องการการใช้ที่ดินและปัจจัยต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ เศรษฐกิจและสังคม ปัจจัยดังกล่าวจะมีทั้งปัจจัยที่เร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดการเปลี่ยนแปลง ความน่าจะเป็นของการใช้ที่ดินกำหนดได้ดังสมการ 2

$$\mathbf{R_{ki} = a_k X_{1i} + b_k X_{2i} + ...} \qquad \textbf{สมการที่ 2}$$

โดยกำหนดให้

$\mathbf{R}$ = ความน่าจะเป็นของการใช้ที่ดิน

$\mathbf{i}$ = พื้นที่ศึกษา

$\mathbf{k}$ = รูปแบบการใช้ที่ดิน

$\mathbf{X_{1,2}}$ = ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดิน

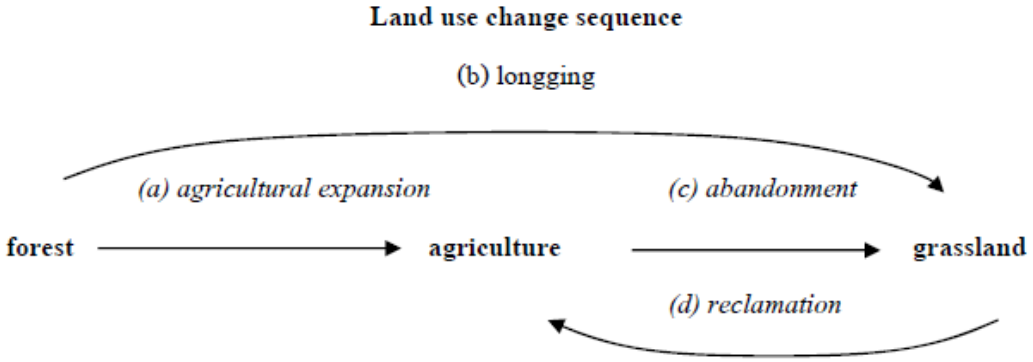
$\mathbf{a_k, b_k}$ = ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบการใช้ที่ดินและปัจจัยต่างๆ

อย่างไรก็ตาม ในการคาดคะเนความน่าจะเป็นของการใช้ที่ดินนั้น ควรจะต้องมีวิธีการทางสถิติมาใช้ในการคำนวณ วิธีการดังกล่าวเรียกว่า Logistic regression เป็นวิธีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินแต่ละประเภทและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์จะนำมาใช้ในการคำนวณหาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

2) การกำหนดกฎการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Decision) คือการกำหนดว่ารูปแบบการใช้ที่ดินชนิดใดสามารถเปลี่ยนแปลงได้หรือไม่ได้ และหากมีการเปลี่ยนแปลงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบใด โดยมีการกำหนดกฎมาทั้งหมด 3 ข้อคือ เสถียรภาพ (Stability) ลำดับการเปลี่ยนแปลง (conversion sequence) และพื้นที่ต้องห้าม (Restriction area) โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) เสถียรภาพ (Stability) เป็นการกำหนดระดับความยากง่ายในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยกำหนดเป็นค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดย 1 คือระดับที่จะมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปเป็นรูปแบบอื่นได้ยากที่สุดหรือไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เช่น พื้นที่ชุมชนจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น และ 0 คือระดับที่จะมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินง่ายที่สุดเช่น พื้นที่ป่าไม้จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ชุมชน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การกำหนดเสถียรภาพจะแตกต่างออกไปตามแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

(2) ลำดับการเปลี่ยนแปลง (conversion sequence) คือการกำหนดลำดับการเปลี่ยนแปลงให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้ที่ดินในพื้นที่นั้นๆ โดยลำดับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจะต้องสอดคล้องกับความเป็นจริง เช่น กำหนดให้พื้นที่ป่าเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และต่อมาพื้นที่เกษตรกรรมเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่รกร้าง เป็นต้น ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน



ภาพที่ 4 ตัวอย่างลำดับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ที่มา: Peter Verburg. (2004). *The CLUE Modelling Framework*.

(3) พื้นที่ต้องห้าม (Restriction area) คือการกำหนดให้พื้นที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดินที่เป็นอยู่ ไปเป็นรูปแบบอื่นๆได้ เช่น พื้นที่ป่าสงวน อุทยานแห่งชาติ เป็นต้น

3) การจัดสรรการใช้ที่ดิน (Allocation) เป็นการกำหนดตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ประกอบไปด้วยชุดสมการการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และแบบจำลองแบบพลวัต (Dynamic Model) โดยเมื่อนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดในแบบจำลอง CLUE-S แล้ว แบบจำลองจะกำหนดตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยมีลำดับดังนี้

(1) รวบรวมชุดปัจจัยที่จำเป็นในการกำหนดตำแหน่งการใช้ที่ดิน

(2) คาดการณ์ความน่าจะเป็นของแต่ละเซลล์ โดยคำนวณรูปแบบการใช้ที่ดินแต่ละรูปแบบด้วยสมการ 3

$$\mathbf{TPROP_{i,u} = P_{i,u} + ELAS_u + ITER_u} \qquad \textbf{สมการที่ 3}$$

โดยกำหนดให้

$\mathbf{TPROP_{i,u}}$ = ความน่าจะเป็นของการใช้ที่ดิน

$\mathbf{P_{i,u}}$ = พื้นที่ที่เหมาะสมของรูปแบบการใช้ที่ดิน

$\mathbf{ELAS_u}$ = การเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนของรูปแบบการใช้ที่ดิน

$\mathbf{ITER_u}$ = การคำนวณซ้ำของแต่ละรูปแบบการใช้ที่ดินซึ่งสัมพันธ์กับรูปแบบการใช้ที่ดินแต่ละรูปแบบ

(3) กำหนดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยการคำนวณซ้ำค่าตัวแปรต่างๆ ของรูปแบบการใช้ที่ดินรูปแบบต่างๆ โดยจะทำการกำหนดรูปแบบการใช้ที่ดินด้วยความน่าจะเป็นสูงสุดของแต่ละเซลล์

การกำหนดตำแหน่งของแต่ละรูปแบบการใช้ที่ดินจะถูกเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการการใช้ที่ดินที่กำหนด สำหรับรูปแบบการใช้ที่ดินประเภทใดที่กำหนดตำแหน่งแล้วมีพื้นที่น้อยกว่าปริมาณความต้องการที่กำหนดก็จะถูกนำมาคำนวณซ้ำเพื่อเพิ่มพื้นที่ขึ้น และหากรูปแบบการใช้ที่ดิน ประเภทใดที่กำหนดตำแหน่งแล้วมีพื้นที่มากกว่าประมาณความต้องการการใช้ที่ดินที่กำหนดก็จะถูกคำนวณซ้ำใหม่อีกครั้งเพื่อลดพื้นที่ลง ในขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 จะคำนวณซ้ำจนกว่าจะมีค่าเท่ากับปริมาณความต้องการการใช้ที่ดินที่กำหนด และเมื่อทำการคำนวณเสร็จสิ้นแล้ว แบบจำลองจะสร้างข้อมูลการใช้ที่ดิน จากนั้นแบบจำลองจะคำนวณในช่วงเวลาต่อไปจนกว่าจะถึงปีที่กำหนด

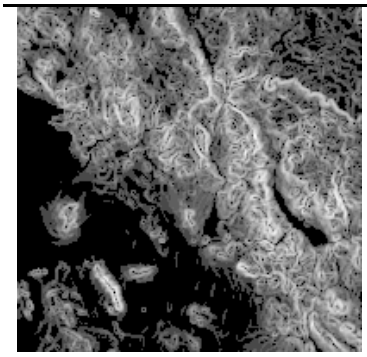
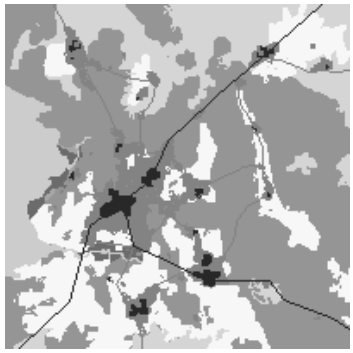
2.3 แบบจำลอง SLEUTH

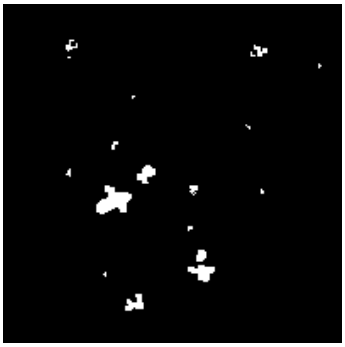
แบบจำลอง SLEUTH (Slope, Land use, Exclusion, Urban extent, Transportation and Hill shade), หรือชื่อเรียกอย่างเป็นทางการคือ Clarke Cellular Automaton Urban Growth Model แบบจำลองนี้พัฒนามาจากการรวมกันของแบบจำลอง 2 ชนิดได้แก่ The Urban Growth Model (UGM) และ The land cover deltatron model (LCD) ถูกพัฒนาโดย Keith C. Clarke เพื่อให้สามารถใช้งานกับพื้นที่หลายขนาดและเป็นมาตรฐานทั่วโลก (U.S. Geological Survey. 1996)

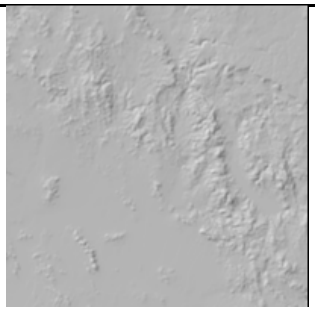
แบบจำลอง SLEUTH ต้องใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ ความลาดชัน, รูปแบบการใช้ที่ดิน, พื้นที่กันออก, พื้นที่เมือง, การคมนาคมและเนินเขา โดยข้อมูลทั้งหมดนั้นจะอยู่รูปแบบของไฟล์ภาพนามสกุล .gif โดยค่า Cell Value ที่เท่ากับ 0 และ 255 จะหมายถึง ไม่มีข้อมูลในเซลล์นั้นๆ และเซลล์ที่มีค่าจะอยู่ระหว่าง $0 < n < 255$ แบบจำลองนี้ต้องการข้อมูลที่มีค่าแถวและสดมภ์ที่เท่ากันเพื่อความแม่นยำในการคำนวณ และต้องคำนวณการเปลี่ยนแปลงของเมืองเป็นช่วงเวลาอย่างน้อย 4 ช่วงเวลาด้วยกัน และแบบจำลองต้องใช้ข้อมูลรูปแบบการใช้ที่ดิน 2 รูปแบบขึ้นไปเพื่อการคำนวณ

ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลองชนิดนี้แบ่งออกเป็น 6 ประเภทดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง SLEUTH

ภาพประกอบ	ปัจจัย
	ความชัน (Slope) ข้อมูลความชันได้มาจากข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model หรือ DEM) ซึ่งในประเทศไทยได้มีการจัดทำขึ้นโดยกรมแผนที่ทหาร โดยข้อมูลภายในแบบจำลองนี้ ค่า Cell value ต้องมีค่าเป็น ร้อยละ และค่าร้อยละจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100%
	รูปแบบการใช้ที่ดิน (Land use) คือแผนที่รูปแบบการใช้ที่ดินในปีที่ศึกษา โดยในแต่ละ Pixel ควรจะมีค่าตัวเลขอยู่ในช่วงสีเทา และแบ่งรูปแบบการใช้ที่ดินไว้อย่างชัดเจน เช่น (R,G,B) รูปแบบการใช้ที่ดิน (1,1,1) ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (2,2,2) พื้นที่เกษตรกรรม (3,3,3) แหล่งน้ำ

ภาพประกอบ	ปัจจัย
	พื้นที่ยกเว้น (Exclusion) พื้นที่ยกเว้นคือพื้นที่ที่จะไม่สามารถแปรสภาพกลายเป็นเมืองได้ เช่น พื้นที่ป่าแหล่งน้ำเป็นต้น โดยการกำหนดค่า pixel value สามารถใช้โทนสีใดก็ได้ ขึ้นอยู่กับกฎการเปลี่ยนแปลงที่กำหนด เช่นกำหนดให้พื้นที่ที่ค่า pixel value เท่ากับ 0 ไม่สามารถพัฒนากลายเป็นเมืองได้
	เมือง (Urban extent) ข้อมูลพื้นที่เมืองในปีแรกสุดของการศึกษา จะถูกนำมาคำนวณโดยแบบจำลอง เรียกว่า Seed และข้อมูลในปีต่อๆมาจะนำมาคำนวณหาค่าทางสถิติโดยแบบจำลองเพื่อจำลองการขยายตัวของเมืองในอนาคต ด้วยเหตุนี้ ข้อมูลพื้นที่เมืองที่ใช้นั้นจะต้องมีตั้งแต่ 4 ช่วงเวลาขึ้นไปเพื่อทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น ข้อมูลเมืองในปีต่างๆ ต้องอยู่ในรูปแบบ raster โดยมีค่า Pixel Value ระหว่าง 0 ถึง 255
	ถนน (Transportation) ข้อมูลถนน หรือเส้นทางคมนาคม ได้ถูกนำมาคำนวณในแบบจำลอง เนื่องจากรูปแบบของถนนนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาของการขยายตัวของเมืองโดยจะเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดรูปแบบและทิศทางการขยายตัวของเมือง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำแบบจำลอง SLEUTH ได้นำข้อมูลถนนมาใช้ในการคำนวณซึ่งจะต้องมีอย่างต่ำ 2 ปี โดยจะกำหนดให้ข้อมูลถนนในปีแรกเป็นตัวตั้งต้น และข้อมูลในปีต่อมาจะนำมาเพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงต่อไป ข้อมูลถนนในปีต่างๆ ต้องอยู่ในรูปแบบ raster โดยมีค่า Pixel Value ระหว่าง 0 ถึง 255

ภาพประกอบ	ปัจจัย
	Hill shade ใช้เพื่อเป็นภาพพื้นหลังของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อที่จะสร้างและเพิ่มมุมมองการมองเห็นสภาพแวดล้อมโดยรอบในข้อมูลการขยายตัวของเมือง โดยข้อมูล Hill shade สามารถสร้างได้จากข้อมูล DEM และต้องอยู่ในโทนสีเทา

ที่มา: U.S. Geological Survey. (1996). *Project Gigalopolis: The SLEUTH Overview*.

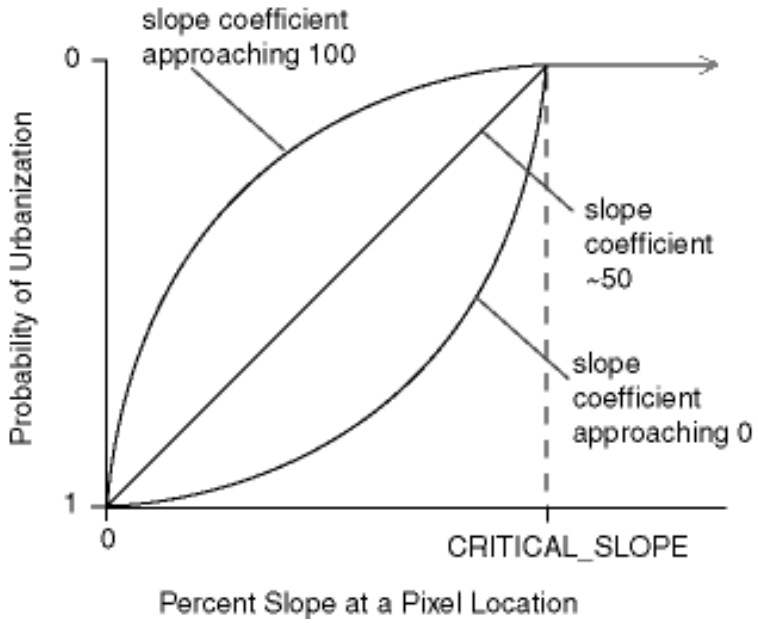
ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของเมืองจะทำการควบคุมแบบจำลองการขยายตัวของเมือง โดยค่าเหล่านี้จะถูกสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบการใช้ที่ดินในอดีตของพื้นที่ศึกษา โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองนี้มีทั้งหมด 5 ค่าด้วยกัน ได้แก่

2.3.1 Dispersion coefficient ประกอบด้วย Spontaneous growth ซึ่งทำการควบคุมความเป็นไปได้ที่ pixel หนึ่งจะพัฒนาเป็นพื้นที่เมืองและ Road influenced growth ซึ่งทำการควบคุมการขยายตัวของเมืองที่เกิดขึ้นตามเส้นทางคมนาคมขนส่ง

2.3.2 Breed coefficient จะทำการควบคุมความเป็นไปได้ของการขยายตัวของเมือง ในพื้นที่ที่ไม่ได้เป็นเมืองมาก่อน

2.3.3 Spread coefficient จะทำการควบคุมความน่าจะเป็นของ pixel ที่เป็นส่วนหนึ่งของการขยายตัวของเมืองจะสร้างพื้นที่เมืองรอบ

2.3.4 Slope coefficient จะทำการควบคุมการขยายตัวของเมืองโดยวิเคราะห์จากค่าความชันของแต่ละ pixel ที่เหมาะสมต่อการขยายตัวของเมือง โดยเมื่อค่า Slope coefficient สูง pixel นั้นๆจะมีโอกาสที่จะพัฒนาเป็นเมืองสูง แต่หากค่า Slope coefficient มีค่าเข้าใกล้ 0 มากขึ้นก็จะทำให้โอกาสที่ pixel นั้นจะพัฒนากลายเป็นเมืองต่ำลง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชันและความเป็นเมือง

ที่มา: Qi Lingrui. (2012). *Urban Land Expansion Model based on SLEUTH, a Case Study in Urban Land Expansion Model based on SLEUTH*.

2.3.5 Road gravity coefficient จะทำการควบคุมค่าระยะการค้นหาสูงสุดของ pixel ที่จะพัฒนากลายเป็นพื้นที่เมืองไปตามแนวเส้นทาง

3. สรุป

จากการศึกษาพบว่าการรูปแบบการขยายตัวของเมืองจากแบบจำลองทั้งสาม มีความใกล้เคียงกัน กล่าวคือในด้านวิธีการ แบบจำลองทั้ง 3 แบบ ใช้วิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาและมีการกำหนดกฎของการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน ต่างกันที่การวิเคราะห์ลำดับการเปลี่ยนแปลง โดยแบบจำลอง CLUE-S มีการวิเคราะห์ลำดับการเปลี่ยนแปลง แต่แบบจำลอง CA-MARKOV และ SLEUTH ไม่มีการวิเคราะห์ลำดับการเปลี่ยนแปลง สำหรับปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์พบว่าแบบจำลองทั้ง 3 แบบ มีการใช้รูปแบบการใช้ที่ดิน และพื้นที่ยกเว้นในการวิเคราะห์ข้อมูล ในส่วนของปัจจัยเส้นทางคมนาคมและความชันไม่มีการใช้ในแบบจำลอง CA-MARKOV และ CLUE-S แต่มีการใช้ในแบบจำลอง SLEUTH โดยสามารถสรุปความแตกต่างของแบบจำลองการขยายตัวของเมือง CA-MARKOV, CLUE-S และ SLEUTH ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปความแตกต่างของแบบจำลอง CA-MARKOV, CLUE-S และ SLEUTH

วิธีการและปัจจัยที่ใช้	แบบจำลองการขยายตัวของเมือง		
	CA-MARKOV	CLUE-S	SLEUTH
- รูปแบบการใช้ที่ดิน	✓	✓	✓
- เส้นทางคมนาคม	×	×	✓
- ความชัน	×	×	✓
- พื้นที่ยกเว้น	✓	✓	✓
- วิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา	✓	✓	✓
- มีการกำหนดกฎของการเปลี่ยนแปลง	✓	✓	✓
- มีการวิเคราะห์ลำดับการเปลี่ยนแปลง	×	✓	×

เอกสารอ้างอิง

D F Wagner. (1997). Cellular Automata and Geographic Information Systems. *Environment and Planning B Planning and Design, 24(2),* 219-234.

Fedra K.; & Feoli E. (1998). GIS technology and spatial analysis in coastal zone management. *EEZ Technology, 3,* 171-179.

Keith C. Clarke. (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal*, Computers, Environment and Urban Systems, 26,* 525–552.

Peter Verburg. (2004). *The CLUE Modelling Framework. (Course material).* Institude for Environmental Studies. University Amsterdam.

Qi Lingrui. (2012). *Urban Land Expansion Model based on SLEUTH, a Case Study in Urban Land Expansion Model based on SLEUTH.* Master degree thesis. Department of Physical Geography and Ecosystems Science. Lund University. Sweden.

Singh Anuj Kumar. (2003). *Modelling Land Use Land Cover Changes using Cellular Automata in a Geo-spatial Environment.* M.S. thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enshede, The Netherlands.

Tommaso Toffoli; & Norman Margolus. (1987). *Cellular Automata Machine: A New Environment for Modelling.* The MIT Press Cambridge: Massachusetts. London. England.

U.S. Geological Survey. (1996). *Project Gigalopolis: The SLEUTH Overview*. สืบค้น มิถุนายน 10, 2563 จาก http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/About/about.html.