

**การศึกษาแบบจำลองการขยายตัวของเมืองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV**  
**กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร**  
**The Study of CA-MARKOV Urban Growth Model Study Area:**  
**Muang District, Samutsakorn Province**

**กัลป์ กลับแสง<sup>1</sup>**

**วิวัฒน์ อุดมพิศทรัพย์<sup>2</sup>**

**สุรชาติพิศ ชวนะเวสสกุล<sup>3</sup>**

**บทคัดย่อ**

การศึกษาแบบจำลองการขยายตัวของเมืองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร มีวัตถุประสงค์ เพื่อเทียบความถูกต้องเชิงตัวเลขและเชิงพื้นที่ของแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV กับการขยายตัวของเมืองและคาดการณ์การขยายตัวของเมืองในปี พ.ศ. 2563 โดยในการศึกษาได้ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินซึ่งรวบรวมข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2545, 2550 และ 2555 เพื่อทำการคาดการณ์การขยายตัวของเมืองในปี พ.ศ. 2559 โดยใช้แบบจำลองทั้ง 2 ชนิด และทำการตรวจสอบความถูกต้องใกล้เคียงด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM พ.ศ. 2559 โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 ด้วยตารางคำนวณค่าผิดพลาด (Error Matrix) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV มีค่าความถูกต้องรวม ร้อยละ 83.06 และเมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงรูปการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมดนอกเหนือจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พบว่าแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV มีค่าความถูกต้องร้อยละ 81.81 และเมื่อทำการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 พบว่ามีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้น 33.60 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่อื่นๆลดลง 34.60 ตารางกิโลเมตร

**คำสำคัญ :** แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV การขยายตัวของเมือง

**Abstract**

A study CA-MARKOV Urban Growth Model Study Area: Muang District, Samutsakorn Province has an objective to compare the numerical and spatial accuracy of CA-MARKOV model in prediction of urban growth and to predict the urban growth in 2020. This study has used the Landuse data that collect from Land Development Department (2002, 2007 and 2012) to predict the urban growth in 2016 by using CA-MARKOV model and verify the accuracy of model's output by compare the landuse data of satellite image, Landsat 7 ETM (2016) and Error Matrix. The results of study found out that CA-MARKOV model has accuracy of overall landuse by 83.06 percent and the accuracy of urban area by 81.81 percent. And the simulated result of 2020 found out that urban area was increased by 33.60 km<sup>2</sup> and the others area reduced by 34.60 km<sup>2</sup>

**Keywords:** CA-MARKOV, Urban Growth Model

<sup>1</sup> บัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>3</sup> อาจารย์ ดร. ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

## บทนำ

ในปัจจุบันการขยายตัวของเมืองของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้ความต้องการทางด้านทรัพยากรสูงขึ้นและต้องการที่อยู่อาศัยมากขึ้นเพื่อรองรับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะการที่ประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ปัญหาด้านการจราจร ความแออัดของชุมชน

จังหวัดสมุทรสาครเป็นจังหวัดที่มีอาณาเขตติดต่อกับกรุงเทพมหานครจึงได้รับอิทธิพลจากการขยายตัวของเมือง โดยเป็นพื้นที่ที่รองรับการขยายตัวของเมือง อีกทั้งจังหวัดสมุทรสาครมีสถิติของประชากรที่เพิ่มขึ้นทุกปี โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรใน พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2556 ประมาณร้อยละ 24 (ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2556) มีเศรษฐกิจที่เติบโตโดยสามารถวัดจากรายได้เฉลี่ยต่อหัวประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและจากแผนพัฒนาจังหวัดสมุทรสาครยังได้กล่าวถึงการขยายตัวของเมืองจังหวัดสมุทรสาครว่ามีอัตราการขยายตัวสูงขึ้นวิเคราะห์ได้จากข้อมูลรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2545 ของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าพื้นที่เมืองและชุมชน คิดเป็นร้อยละ 24 ของพื้นที่ทั้งหมด (110 ตารางกิโลเมตร) และ พ.ศ. 2555 คิดเป็นร้อยละ 39 (181 ตารางกิโลเมตร) เพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 64 (71 ตารางกิโลเมตร)

ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางการป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น การศึกษาแบบจำลองการขยายตัวของเมือง จึงเป็นสิ่งสำคัญในการวางแผนรองรับและจัดระบบการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสมุทรสาครให้มีประสิทธิภาพ โดยการศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV เนื่องจากเป็นแบบจำลองการขยายตัวของเมืองที่มีกลไกการทำงานไม่ซับซ้อน มีความแม่นยำ โดยแบบจำลองจะทำการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่เกิดขึ้น 2 ช่วงปีและจำลองการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในปีข้างหน้า แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV ต้องการปัจจัยที่สำคัญคือ รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเวลาต่างๆ ทำให้ต้องมีการนำข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) มาใช้ร่วมด้วย เพื่อให้ข้อมูลมีความทันสมัย และสามารถนำมาตีความด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินและจำแนกเป็นรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างๆ ได้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับแบบจำลองและการศึกษาการขยายตัวของเมือง ที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีตเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในอนาคตและใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยวิเคราะห์จากผลลัพธ์ที่ได้ เปรียบเทียบกับพื้นที่เมืองที่เป็นอยู่จริงในปัจจุบัน เพื่อคำนวณค่าความแม่นยำด้วยวิธีการ Error Matrix

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อเทียบความถูกต้องเชิงตัวเลขและเชิงพื้นที่ของแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV กับการขยายตัวของเมืองอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร
2. เพื่อคาดการณ์การขยายตัวของเมืองปี พ.ศ. 2563

## วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทำการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ และข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม โดยมีรายละเอียดดังนี้
  - 1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ ประกอบด้วย
    - 1) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษาการสำรวจภาคสนาม
  - 1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ ประกอบด้วย
    - 1) ตำรา เอกสาร ผลงานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้อง จากหน่วยงานต่างๆ
    - 2) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2545, 2550 และ 2555 จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
    - 3) ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ตำแหน่ง Path/Row ที่ 129/51 ของ พ.ศ. 2559 จากเว็บไซต์ <http://www.usgs.gov/> สืบค้นวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2559

4) ข้อมูลขอบเขตการปกครองจากกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

## 2. การสำรวจระยะไกล

2.1 นำเข้าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยใช้ช่วงคลื่น (Spectral) หรือข้อมูลการสะท้อน ดูดกลืน และส่งต่อพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ ที่ดาวเทียมได้ทำการบันทึกไว้ มาทำการผสมสีภาพโดยกำหนดให้ช่วงคลื่นที่ 4 ให้เป็นสีแดง ช่วงคลื่นที่ 5 ให้เป็นสีเขียวและช่วงคลื่นที่ 3 ให้เป็นแสงสีน้ำเงินเพื่อให้เหมาะสมกับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด (วสันต์, 2555)

2.2 ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต เพื่อให้ได้ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่ถูกต้อง

2.3 นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต และผสมสีแล้ว มาทำการจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยวิธีการจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification) เพื่อใช้ในการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และนำไปทำการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ต่อไป

2.4 ทำการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเชิงพื้นที่โดยทำการกำหนดตำแหน่งพื้นที่ตรวจสอบก่อนลงสำรวจจริง และนำผลการสำรวจมาปรับแก้ส่วนที่มีความผิดพลาดจากการแปลภาพในขั้นแรก

2.5 นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต และผสมสีแล้วมาทำการจำแนกข้อมูลโดยวิธีการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) โดยทำการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทเพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณและสร้างข้อมูลแผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตามการศึกษา

## 3. แบบจำลอง CA-MARKOV

3.1 นำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของ พ.ศ. 2545, 2550 และ 2555 เพื่อหาแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินของ พ.ศ. 2559 ด้วยโปรแกรม IDRISI ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (Probability of Changing) และค่าสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลง (Transition of Changing)

3.2 นำค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (Probability of Changing) และค่าสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลง (Transition of Changing) ที่ได้มาสร้างแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 ด้วยแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV

3.3 นำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 ที่ได้จากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV มาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการวิเคราะห์จากการสำรวจระยะไกลในข้อ 2.5 เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ตารางคำนวณค่าผิดพลาด (Error Matrix) ดังที่แสดงในตารางที่ 1 เพื่อคำนวณค่าความถูกต้องทั้งหมด

3.4 นำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของ พ.ศ. 2555 และ 2559 เพื่อหาแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินของ พ.ศ. 2563 ด้วยโปรแกรม IDRISI ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (Probability of Changing) และค่าสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลง (Transition of Changing)

3.5 นำค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (Probability of Changing) และค่าสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลง (Transition of Changing) ที่ได้มาสร้างแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 ด้วยแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV

**ตารางที่ 1 ตารางคำนวณค่าความผิดพลาด (Error Matrix)**

	ข้อมูลอ้างอิง				ผลรวมแถว
	1	2	3	k	
ข้อมูลจากแบบจำลอง					
1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{13}$	$n_{1k}$	$n_{1+}$
2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{23}$	$n_{2k}$	$n_{2+}$
3	$n_{31}$	$n_{32}$	$n_{33}$	$n_{3k}$	$n_{3+}$
k	$n_{k1}$	$n_{k2}$	$n_{k3}$	$n_{k4}$	$n_{4+}$
ผลรวมสดมภ์	$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n_{+3}$	$n_{+4}$	

ที่มา : Contgatalton and Green (1999) อ้างอิงใน วสันต์ (2555)

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^n n_{ij}}{n}$$

เมื่อ  $i$  คือ แถว (Row) และ  $j$  คือ สดมภ์ (Column)  
 $n_{ij}$  คือ แถวที่  $i$  สดมภ์ที่  $i$  หรือแถวที่  $j$  สดมภ์ที่  $j$   
 $n$  คือ ผลรวมทั้งหมด

**4. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**

4.1 นำแผนที่การขยายตัวของเมือง พ.ศ. 2559 ที่ได้จากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV มาเปรียบเทียบกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองในเชิงพื้นที่

**ผลการศึกษา**
**1. ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน**

1.1 การจำแนกรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร พ.ศ. 2559 ซึ่งครอบคลุมพื้นที่โดยประมาณ 460 ตารางกิโลเมตร โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกล และการลงภาคสนาม สามารถจำแนกรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินออกได้เป็น 11 ประเภท โดยสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2 และ รูปที่ 1

**ตารางที่ 2 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาครปี พ.ศ. 2559**

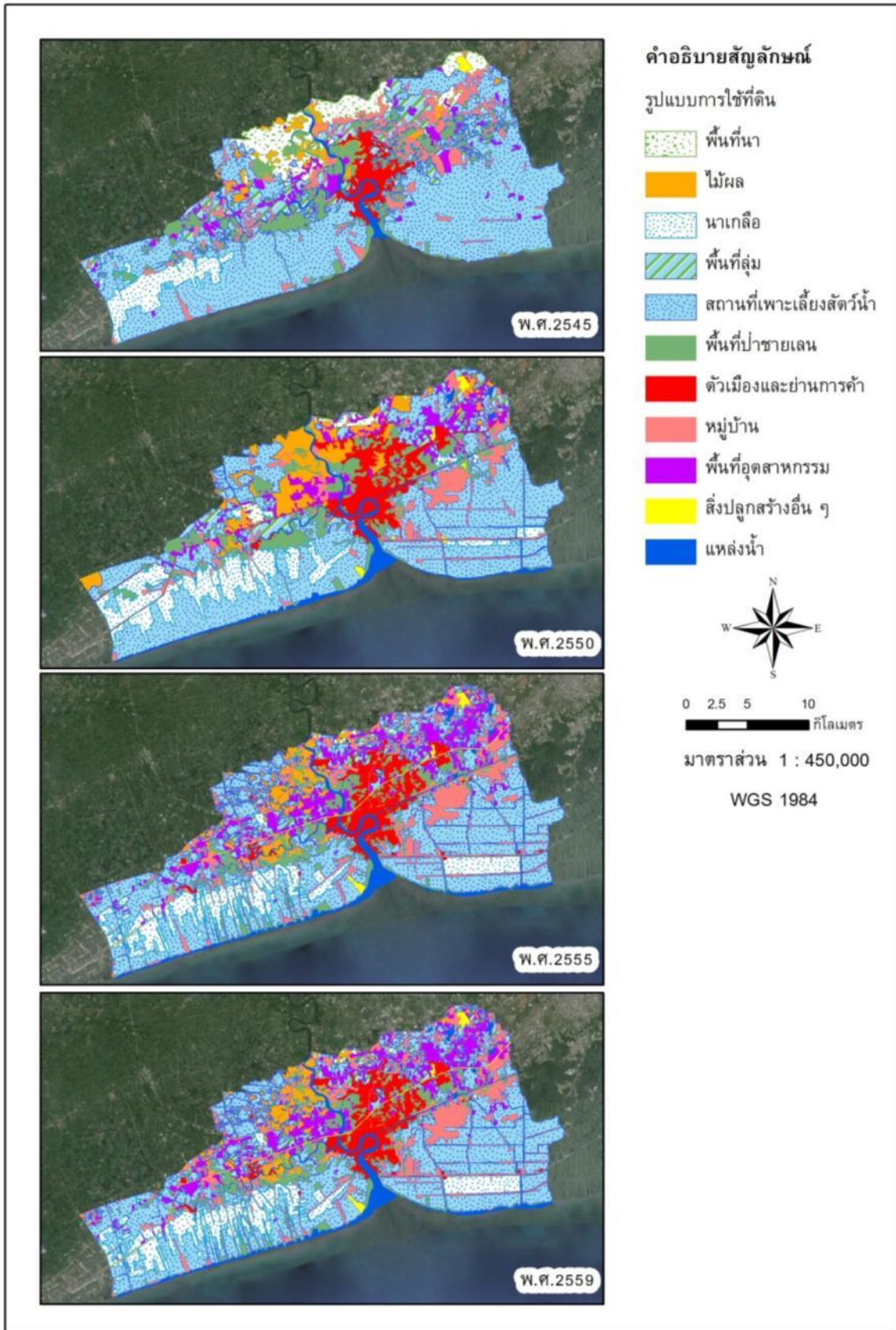
รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
พื้นที่นา (A1)	1.51	945.09	0.33
ไม้ผล (A4)	18.66	11,665.57	4.06
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9)	175.64	109,774.31	38.16
ป่าชายเลน (F3)	35.04	21,900.84	7.61
พื้นที่ลุ่ม (M2)	29.35	18,343.66	6.38
พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่นๆ (M4)	49.64	31,022.65	10.78
ตัวเมืองและย่านการค้า (U1)	32.22	19,512.46	6.78
หมู่บ้าน (U2)	50.56	31,598.84	10.98
พื้นที่อุตสาหกรรม (U5)	37.27	23,292.25	8.10
สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ (U6)	6.13	3,830.43	1.33
แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1)	25.26	15,785.54	5.49
รวม	460.27	287,671.63	100.00

1.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้วิธีการซ้อนทับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ปี พ.ศ. 2545 2550 2555 และ 2559 โดยสามารถสรุปลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 1

**ตารางที่ 3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ปี พ.ศ. 2545 2550 2555 และ 2559**

รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน	อัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน							
	พ.ศ. 2545		พ.ศ. 2550		พ.ศ. 2555		พ.ศ. 2559	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ
พื้นที่นา	34.85	7.68	-29.43	-6.51	-3.90	-0.85	-0.01	-0.01
ไม้ผล	10.47	2.31	+25.47	+5.52	-16.76	-3.65	-0.51	-0.12
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	221.02	48.74	-29.53	-7.04	-12.37	-2.69	-3.48	-0.85
ป่าชายเลน	47.68	10.51	-1.90	-0.54	-9.35	-2.04	-1.39	-0.32
พื้นที่ลุ่ม	47.78	10.54	-25.41	-5.67	+8.07	+1.76	-1.09	-0.25
พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่นๆ	21.88	4.82	+30.52	+6.59	-3.76	-0.82	+1.00	+0.19
ตัวเมืองและย่านการค้า	24.69	5.44	+6.26	+1.29	+0.04	+0.01	+0.24	+0.04
หมู่บ้าน	23.75	5.24	+5.35	+1.10	+17.92	+3.90	+3.54	+0.74
พื้นที่อุตสาหกรรม	13.13	2.90	+10.60	+2.27	+11.89	+2.59	+1.64	+0.34
สิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ	1.01	0.22	+0.92	+0.20	+4.15	+0.90	+0.05	+0.01
แหล่งน้ำธรรมชาติ	7.22	1.59	+12.89	+2.79	+5.14	+1.12	+0.01	+0.01





รูปที่ 1 แผนที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร  
ปี พ.ศ. 2545 2550 2555 2559

## 2. การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองโดยใช้แบบจำลองและการเทียบความถูกต้องเชิงพื้นที่

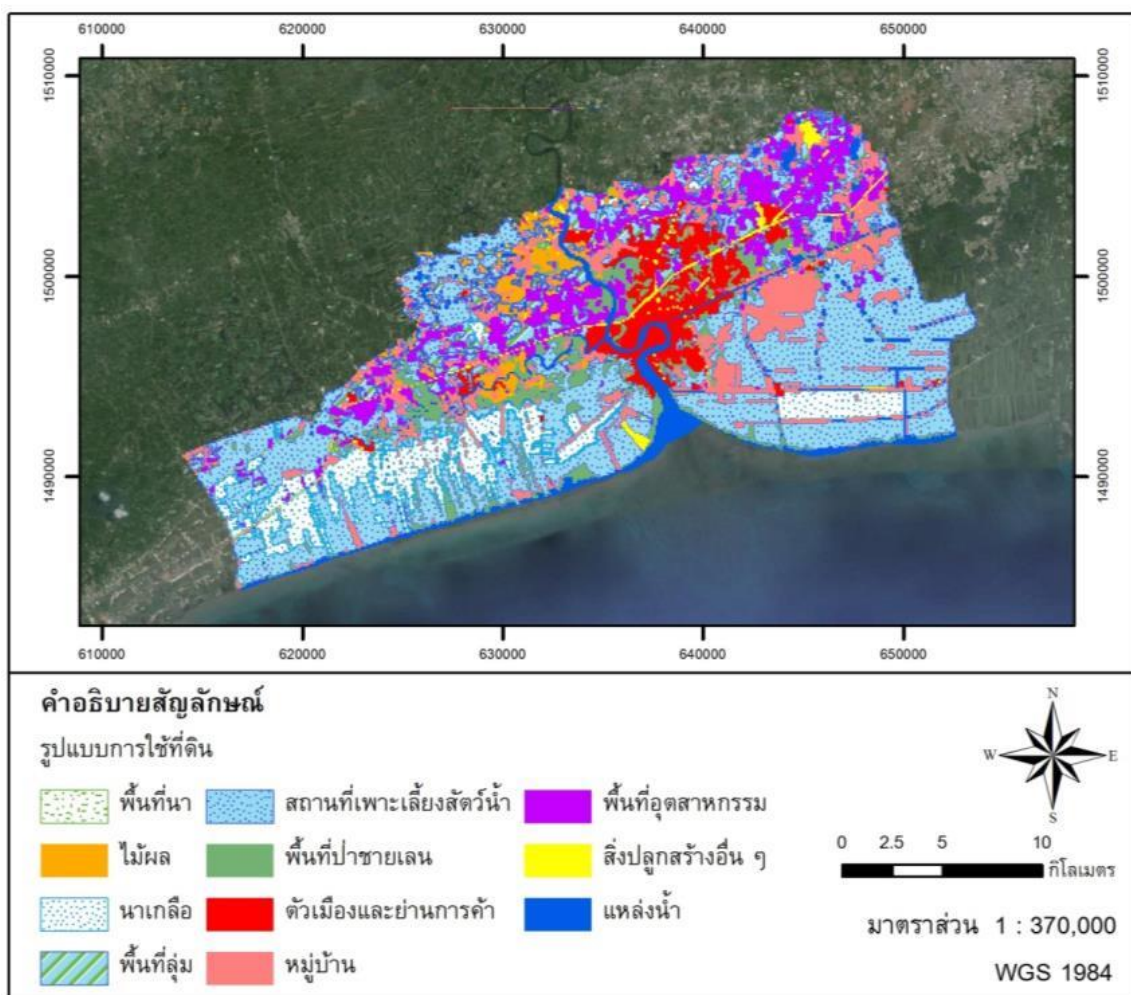
### 2.1 การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองและการเทียบความถูกต้องโดยใช้แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ

#### CA-MARKOV

การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองของแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2445 2550 และ 2555 เพื่อทำการคาดการณ์การขยายตัวของเมือง พ.ศ. 2559 พบว่ามีลักษณะการขยายตัวของเมือง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ใกล้เคียงกับรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 2

ตารางที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาครปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV

รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
พื้นที่นา (A1)	0.65	408.38	0.14
ไม้ผล (A4)	15.44	9,648.09	3.36
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9)	168.40	105,247.40	36.67
ป่าชายเลน (F3)	32.22	20,140.53	7.02
พื้นที่ลุ่ม (M2)	27.82	17,387.41	6.06
พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่นๆ (M4)	48.21	30,130.09	10.50
ตัวเมืองและย่านการค้า (U1)	29.90	18,689.33	6.51
หมู่บ้าน (U2)	56.30	35,187.38	12.26
พื้นที่อุตสาหกรรม (U5)	44.99	28,116.36	9.80
สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ (U6)	8.38	5,238.45	1.83
แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1)	26.90	16,811.05	5.86
รวม	459.21	287,004.47	100



รูปที่ 2 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาครปี พ.ศ. 2559  
ที่ได้จากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV

เมื่อเทียบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ตารางคำนวณค่าผิดพลาด (Error Matrix) แล้วพบว่า แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV มีค่าความถูกต้องรวมร้อยละ 83.06 โดยสามารถสรุปได้ดัง

ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ร้อยละความถูกต้องของแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV โดยใช้ตารางคำนวณค่าผิดพลาด (Error Matrix)

	A1	A4	A9	F3	M2	M4	U1	U2	U5	U6	W1	รวม
A1	0.6309	0.1279	0.0778	0.0006	0.2493	0.0020	0.0094	0.1936	0.1237	0.0256	0.0504	1.4912
A4	0.0038	12.1944	0.7017	0.0313	2.2054	0.0143	0.0567	1.8105	0.7459	0.3033	0.5228	18.5900
A9	0.0018	0.7697	155.6510	3.5745	0.8358	1.8616	0.2184	7.0248	2.4305	0.4416	2.5459	175.3556
F3	0.0000	1.2446	1.7321	25.0884	0.7872	0.3343	1.2339	1.9825	1.5077	0.3682	0.7312	35.0101
M2	0.0013	0.1870	1.1294	0.0476	21.1708	0.1339	0.4631	1.9986	3.4663	0.2319	0.4675	29.2974
M4	0.0000	0.0071	1.8649	0.3800	0.1448	45.0436	0.0601	1.6161	0.2294	0.1244	0.1482	49.6185
U1	0.0000	0.0929	0.2909	1.2735	0.4360	0.0058	26.6651	0.0504	0.1590	1.7961	0.4462	31.2159
U2	0.0036	0.2792	3.6771	0.3059	0.8134	0.5116	0.5037	39.1886	2.3796	0.6083	2.1088	50.3797
U5	0.0012	0.2757	1.6159	0.4321	0.8278	0.0860	0.0303	0.1372	32.7846	0.7511	0.2827	37.2245
U6	0.0003	0.0806	0.3267	0.1397	0.1639	0.0885	0.2960	0.4798	0.8197	3.5657	0.1546	6.1154
W1	0.0104	0.1778	1.3284	0.9512	0.1856	0.1267	0.3665	1.8177	0.3397	0.1654	19.4396	24.9090
รวม	0.6534	15.4369	168.3958	32.2248	27.8199	48.2081	29.9029	56.2998	44.9862	8.3815	26.8977	459.2072

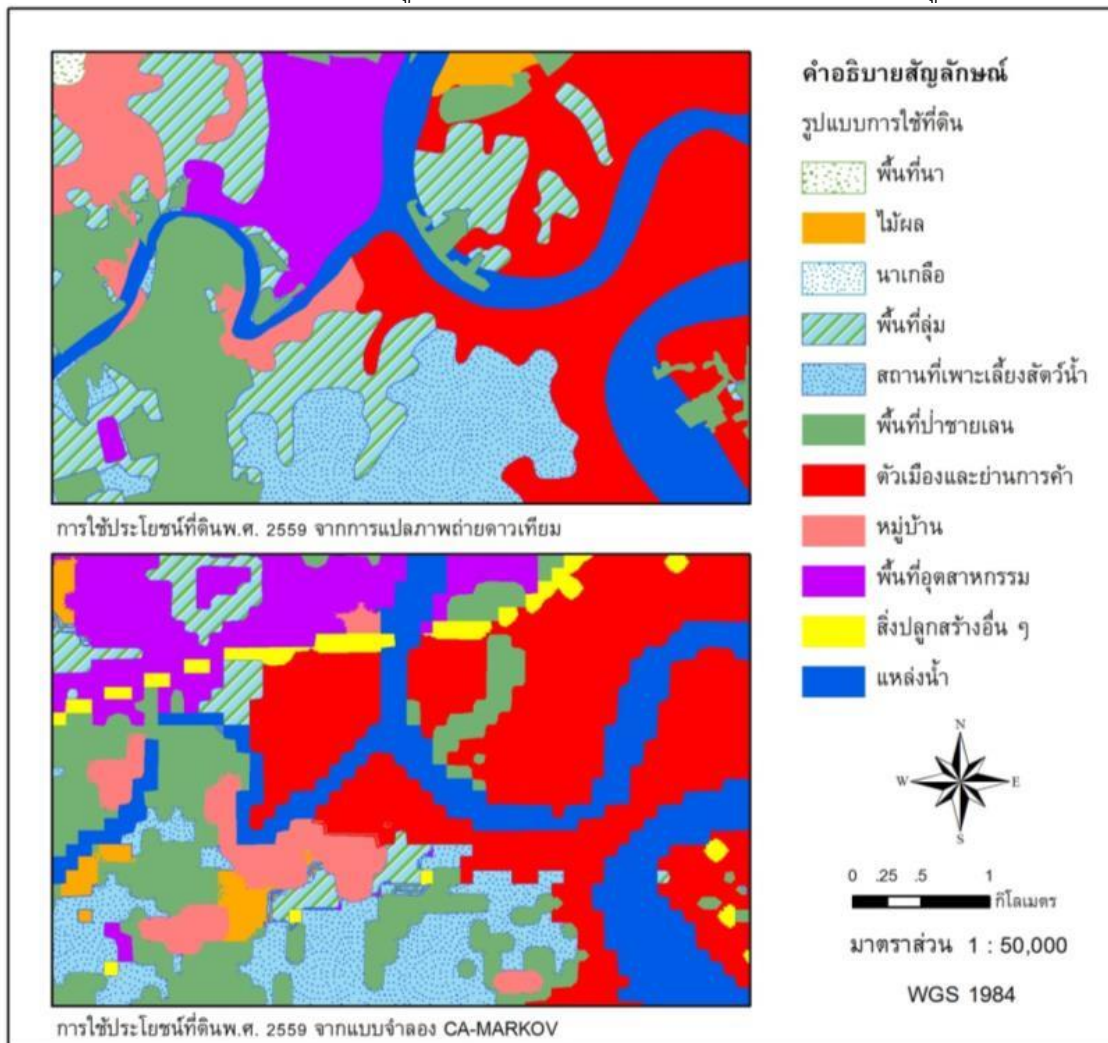


ค่าความถูกต้องรวมสามารถคำนวณได้ด้วย

$$((0.6309 + 12.1944 + 155.6510 + 25.0884 + 21.1708 + 45.0436 + 26.6651 + 39.1886 + 32.7846 + 3.5657 + 19.4396) / 459.2072) \times 100 = 83.06$$

## 2.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV ในเชิงพื้นที่

การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV ในเชิงพื้นที่ ทำได้โดยการเปรียบเทียบแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมืองจังหวัดสมุทรสาคร พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและรวบรวมข้อมูล กับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมืองจังหวัดสมุทรสาคร พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการวิเคราะห์ของแบบจำลอง มาซ้อนทับกันเพื่อหาความแตกต่างของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เกิดขึ้นในตำแหน่งหนึ่ง จากการวิเคราะห์ พบว่า แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV มีความแม่นยำเชิงพื้นที่ไม่สูงมากนัก เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้ยังมีการแสดงผลการใช้ประโยชน์ที่ดินผิดพลาดในบางตำแหน่ง และมีลักษณะความต่อเนื่องของรูปแบบการใช้ที่ดินที่ไม่แน่นอน โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนที่เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาครปี พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม และจากการสำรวจพื้นที่จริงกับ ผลลัพธ์ของแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV

ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV มีรูปแบบการวิเคราะห์ของแบบจำลองเป็นแบบพลวัต ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่ให้ความสำคัญกับพื้นที่รอบข้างและเวลาเป็นสำคัญ โดยที่ไม่มีการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น ความลาดชัน เส้นทางคมนาคม ลักษณะของดิน เป็นต้น

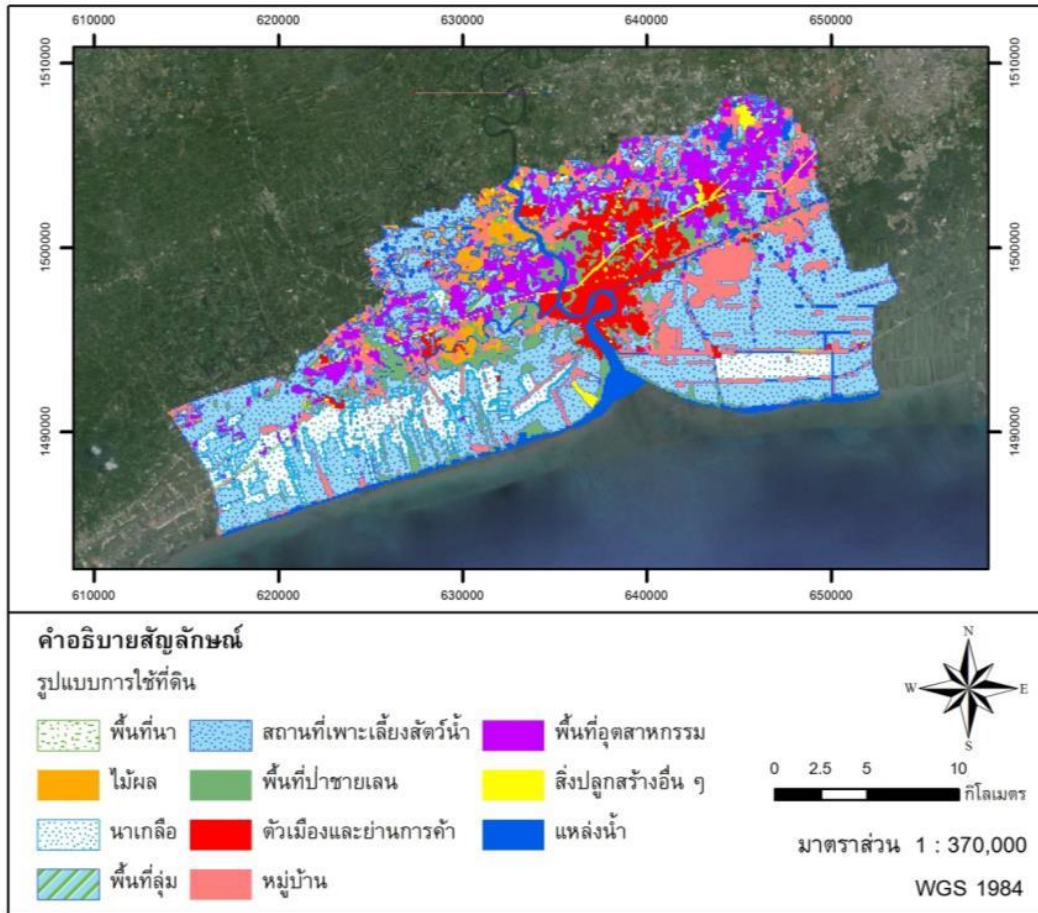
### 3. การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองในปี พ.ศ. 2563

การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองในปี พ.ศ. 2563 ด้วยแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2555 และ 2559 เพื่อทำการคาดการณ์การขยายตัวของเมือง พ.ศ. 2563 พบว่ามีลักษณะการขยายตัวของเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6 และรูปที่ 4 6

ตารางที่ 6 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาครปี พ.ศ. 2563 ที่ได้จากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV

รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ	อัตราการเปลี่ยนแปลงจากปี พ.ศ. 2559 (ตร.กม.)
พื้นที่นา (A1)	0.22	139.85	0.05	-1.29
ไม้ผล (A4)	13.60	8,501.90	2.96	-5.06
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9)	158.77	99,231.01	34.57	-16.87
ป่าชายเลน (F3)	28.07	17,542.75	6.11	-6.97
พื้นที่ลุ่ม (M2)	23.95	14,970.52	5.22	-5.40
พื้นที่เขตเตล็ดอื่นๆ (M4)	45.54	28,459.96	9.91	-4.10
ตัวเมืองและย่านการค้า (U1)	32.00	19,998.71	6.97	+0.78
หมู่บ้าน (U2)	64.23	40,144.81	13.99	+13.67
พื้นที่อุตสาหกรรม (U5)	52.13	32,580.02	11.35	+14.86
สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ (U6)	10.42	6,515.22	2.27	+4.29
แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1)	30.35	18,968.92	6.61	+5.09
รวม	459.29	287,053.67	100.00	-0.98

จากตารางการใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาครปี พ.ศ. 2563 ที่ได้จากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV จะพบว่าพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างทั้งหมดเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 33.60 ตารางกิโลเมตร ในขณะที่พื้นที่อื่นๆ ลดลง 34.60 ตารางกิโลเมตร และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 จะพบว่าพื้นที่เมืองมีความหนาแน่นมากขึ้นและขยายตัวออกไปในทิศทางรอบๆ จากขอบเขตเดิม และพื้นที่ส่วนใหญ่จะขยายออกไปในทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทางถนนทางหลวงหมายเลข 35 และถนนทางหลวงหมายเลข 3242 เป็นการขยายตัวเข้าใกล้กับกรุงเทพมหานครมากขึ้น ซึ่งลักษณะและรูปแบบการขยายตัวดังกล่าว มีแนวโน้มการขยายตัวที่ใกล้เคียงกับการขยายตัวของเมืองในปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2559 และสอดคล้องกับนโยบายการใช้ที่ดินซึ่งกำหนดให้พื้นที่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอ เป็นที่อยู่อาศัย และพื้นที่ในบริเวณทิศตะวันตกของอำเภอเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV สามารถนำไปวิเคราะห์ วางแผนรองรับและจัดระบบการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสมุทรสาครให้มีประสิทธิภาพได้



รูปที่ 4 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาครปี พ.ศ. 2563  
ที่ได้จากแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV

### สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาแบบจำลองการขยายตัวของเมืองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาครโดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2545 2550 2555 และ 2559 สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV เพื่อคาดการณ์การขยายตัวของเมืองใน พ.ศ. 2559 พบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์การขยายตัวของเมืองในปี พ.ศ. 2559 ได้โดยมีค่าความถูกต้องเชิงตัวเลขของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทตัวเมืองและย่านการค้าร้อยละ 85.42 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทหมู่บ้านร้อยละ 77.79 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่อุตสาหกรรมร้อยละ 88.07 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ ร้อยละ 58.31 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่นาร้อยละ 42.31 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทไม้ผลร้อยละ 65.60 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทสถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร้อยละ 88.76 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่ายายเลนร้อยละ 71.66 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ลุ่มร้อยละ 72.26 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่น ๆ ร้อยละ 90.78 มีค่าความถูกต้องของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทแหล่งน้ำธรรมชาติ ร้อยละ 78.04

2. เมื่อพิจารณาถึงความถูกต้องของแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV ในด้านการแสดงผลในเชิงพื้นที่แบบจำลองยังไม่สามารถให้ความถูกต้องได้มาก เนื่องจากรูปแบบการวิเคราะห์ของแบบจำลองเป็นแบบพลวัต ซึ่งเป็น การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่ให้ความสำคัญกับพื้นที่รอบข้างและเวลา ทำให้ไม่มีการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการขยายตัวของเมืองหรือการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น ความลาดชัน ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม ความหนาแน่นของประชากร เป็นต้น

3. จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV เพื่อคาดการณ์การขยายตัวของเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร พ.ศ. 2563 พบว่าพื้นที่เมืองทั้งหมดมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 33.60 ตารางกิโลเมตร ในขณะที่พื้นที่อื่นๆเช่น พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่ลุ่ม จะลดลงทั้งหมด 34.60 ตารางกิโลเมตร และมีลักษณะการขยายตัวของเมืองออกไปในทิศทางรอบๆ จากขอบเขตเดิม โดยที่พื้นที่ส่วนใหญ่จะขยายออกไปในทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีรูปแบบการขยายตัวที่คล้ายกับรูปแบบการขยายตัวของเมืองในช่วงปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2559 และสอดคล้องกับนโยบายการใช้ที่ดินซึ่งกำหนดให้พื้นที่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอ เป็นที่อยู่อาศัย และพื้นที่ในบริเวณทิศตะวันตกของอำเภอเป็นพื้นที่เกษตรกรรม

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาแบบจำลองการขยายตัวของเมืองอื่นๆ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบมาตรฐานของแบบจำลองการขยายตัวของเมือง
2. ควรมีการศึกษาในพื้นที่เมืองอื่นๆ เพื่อให้สามารถศึกษาศักยภาพของแบบจำลองเพิ่มเติมได้

### เอกสารอ้างอิง

- กรมการปกครอง. (2557). **จำนวนประชากรประเทศไทย, สำนักงานทะเบียนกลาง.** เข้าถึงเมื่อ 4 กันยายน 2558. เข้าถึงได้จาก [http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat\\_age\\_disp.php](http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age_disp.php)
- ฉัตรชัย พงศ์ประยูร. (2527). **ภูมิศาสตร์เมือง.** กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- ชุตินพงศ์ ร่มสนธิ. (2551). **การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้ แบบจำลอง CA\_MARKOV บริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่.** วิทยาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ถ่ายเอกสาร)
- เขาวลิต ศิลปทอง. **หลักการเบื้องต้นการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing).** สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). เข้าถึงเมื่อ 25 กรกฎาคม 2556. เข้าถึงได้จาก [http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/gis\\_km14/gis\\_km14%2817%29.pdf](http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/gis_km14/gis_km14%2817%29.pdf)
- ฐานิตย์ วงศ์วิเศษ. (2548). **แบบจำลองเพื่อศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเล อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ถ่ายเอกสาร)
- วสันต์ ออวัฒนา. (2555). **การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดภูเก็ต.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาภูมิศาสตร์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (ถ่ายเอกสาร)
- สมชาย เดชะพรหมพันธุ์. (2521). **ภูมิ. 356 :ภูมิศาสตร์เมือง.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สรศักดิ์ กลิ่นดาว. (2542). **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ : หลักการเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2556). **สถิติประชากรจังหวัดสมุทรสาคร.** เข้าถึงเมื่อ 13 ธันวาคม 2558. เข้าถึงได้จาก [http://service.nso.go.th/nso/nso\\_center/project/search\\_center/23project-th.htm](http://service.nso.go.th/nso/nso_center/project/search_center/23project-th.htm)
- Batisani Nnyaladzi and Yarnal Brent. (2009). "Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and landscape transformations." **Applied Geography.** 29: 235-249
- Geospatial Innovation Facility, RS/GIS Quick Start Guides. **(Course Materials).** เข้าถึงเมื่อ 10 พฤษภาคม 2557. เข้าถึงได้จาก <http://gif.berkeley.edu/documents/Landsat%20Band%20Information>.



**เอกสารอ้างอิง**

- He Chunyang, and others. (2006). **Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China.** Disaster Prevention Research Institute. Kyoto University. Gokasho. Uji. Kyoto. Japan
- Samat Narimah. (2009). “Integrating GIS And เซลล์เอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV Model In Evaluating Urban Spatial Growth.” **Malaysian Journal of Environmental Management** 10, 1: 84-99
- Subedi Praveen, Subedi Kabiraj and Thapa Bina. (2013). “Application of a Hybrid Cellular Automaton – Markov (CA-MARKOV) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida.” **Applied Ecology and Environmental Sciences** 1, 6: 126-132
- U.S. EPA. (2000). **Projecting Land-Use Change: A Summary of Models for Assessing the Effects of Community Growth and Change on Land-Use Patterns.** EPA/600/R-00/098. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Cincinnati. OH. 260 pp.
- Vliet van Jasper, White Roger and Dragicevic Suzana. (2009). “Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton.” **Computers, Environment and Urban Systems.** 33: 35-43
- Ye Baoying and Bai Zhongke. (2008). Simulating Land use/cover change of Nenjiang country based on เซลล์เอ-มาร์คอฟ CA-MARKOV model. **IFIP International Federation for Information Processing** 258: 321-329
- Yecui Hu, Yunmei Zheng and Xinqi Zheng. (2013). “Simulation of Land-use Scenarios for Beijing Using CLUE-S and Markov Composite Models.” **Chin. Geogra. Sci** 23, 1: 92-100
- Yu-Pin Lin, and others. (2008). “Monitoring and Predicting Land-use Changes and the Hydrology of the Urbanized Paochiao Watershed in Taiwan Using Remote Sensing Data, Urban Growth Models and a Hydrological Model.” **Sensors** 2008 8 : 658-680