

# การติดตามและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในอนาคตจังหวัดอุดรธานี

## Monitoring and Prediction of Future Land Use Changes in Udon Thani Province

เกศินี นงโพธิ์<sup>1</sup> ชูเดช โลศิริ<sup>2</sup> และ สุชาติพิทย์ ชวนะเวสสกุล<sup>3</sup>  
*Kesine Nongpho, Chudech Losiri, and Sutatip Chavanavesskul*

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมของจังหวัดอุดรธานี เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเฉพาะการขยายตัวของพื้นที่เมืองและพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อการรองรับการพัฒนาและการเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญให้กับภูมิภาคและประเทศ ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลในหลายช่วงเวลา ร่วมกับการประยุกต์แบบจำลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) ในการคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตของจังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2580 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 5 และ 8 พ.ศ. 2552 2557 และ 2562 ถูกจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ชุมชน นาข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา เกษตรกรรมอื่น ป่าไม้ แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วง พ.ศ. 2552-2562 พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่นาข้าว ลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ยางพารามันสำปะหลัง และอ้อย ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจมีพื้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด หากพิจารณาความถูกต้องของการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ พบว่า แบบจำลอง LCM มีความถูกต้องของมากกว่าแบบจำลอง CA-Markov โดยมีความถูกต้องเท่ากับ ร้อยละ 85 และ 79 ตามลำดับ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงใช้แบบจำลอง LCM ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2580 โดยผลการคาดการณ์พบว่า พื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 1,229.88, 319.06, 116.41 และ 52.67 ตร.กม.ตามลำดับ ส่วนพื้นที่นาข้าว ยางพารา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อื่น ๆ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ มีแนวโน้มว่าจะลดลงเท่ากับ 922.43, 316.47, 272.02, 185.54, และ 21.57 ตร.กม. ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** แบบจำลอง CA-Markov, แบบจำลอง Land Change Modeler, การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

<sup>1</sup>นิสิตปริญญาโทหลักสูตรมหาบัณฑิตสาขาสารสนเทศ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

Master's degree student in Geoinformatics, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok.

<sup>2,3</sup>อาจารย์ ดร. ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

Lecturer, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok.

Corresponding author e-mail: kesinee.dia@gmail.com

ARTICLE HISTORY: Received 28 May 2020, Revised 20 June 2020, Accepted 7 August 2020.

## Abstract

At present, economic and social changes of Udon Thani province are significant reasons for land use change. The expansion of urban and agricultural areas for supporting urban development and food production of both region and the country levels are significant cause for this change. Therefore, this research aims to monitor land use change from multi-temporal remote sensing data, together with the application of geographic information systems and CA-Markov and Land Change Modeler (LCM) models to predict future land use of Udon Thani province in 2037. The satellite images from Landsat 5 and 8 in 2009, 2014 and 2019 were classified into nine categories: residential areas, paddy fields, sugarcane plantation, cassava plantation, rubber plantation, other agricultural areas, forest, water source and other areas. The study shows that forest areas and paddy fields decreased continuously from 2009-2019, while rubber, cassava and sugarcane plantations increased. Moreover, residential area and water source area increased. The Land Change Modeler model is the most accurate model, with 85 percent accuracy. Using the LCM model to predict land use in 2037, the sugarcane, cassava, residential and water areas will increase to 1,229.88, 319.06, 116.41 and 52.67 square kilometers, respectively. In contrast, paddy fields, forest areas, rubber plantations, other areas and other agricultural areas has the tendency to reduce to 922.43, 316.47, 272.02, 185.54, and 21.57 square kilometers respectively.

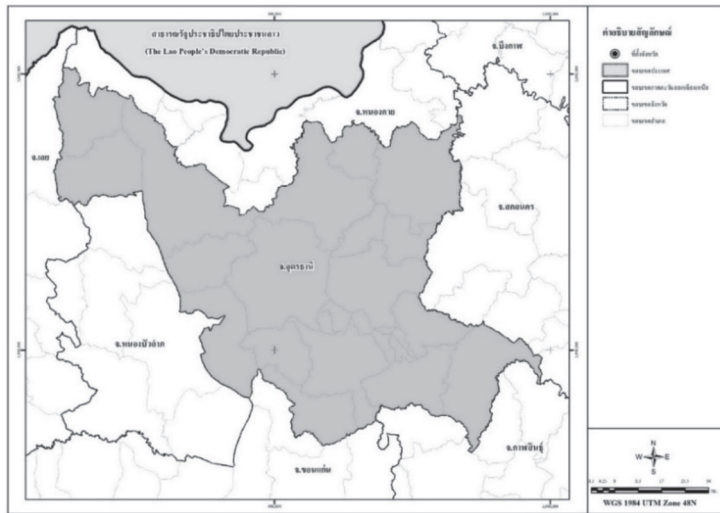
**Keywords:** CA-Markov model, Land change model, Land use change

## บทนำ

จังหวัดอุดรธานีเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีความสำคัญของประเทศไทย เป็นศูนย์กลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ซึ่งมีทรัพยากรธรรมชาติที่หลากหลายและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ป่าไม้ และแหล่งชุมชน รวมถึงมีแหล่งวัฒนธรรมที่สำคัญ และจากการเป็นศูนย์กลางการคมนาคมขนส่งทั้งในประเทศและกลุ่มประเทศอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง ด้วยโครงสร้างเศรษฐกิจของจังหวัดอุดรธานีมีอัตราการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องที่ขึ้นอยู่กับด้านเกษตรกรรม ด้านอุตสาหกรรม และด้านการขายส่ง ขายปลีก (สำนักงานจังหวัดอุดรธานี, 2562) ในการพัฒนาเศรษฐกิจที่มุ่งการเจริญเติบโต ประกอบกับความต้องการใช้ที่ดินเพื่อใช้ในกิจกรรมทางเศรษฐกิจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมเป็นปัจจัยขับเคลื่อนที่ช่วยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของเมือง การเจริญเติบโตทางภาคอุตสาหกรรม และความต้องการอาหาร/สินค้าการเกษตรที่มากขึ้น รวมถึงพื้นที่การปลูกของพืชเศรษฐกิจหลักของจังหวัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติ และการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็วตอบสนองต่อความต้องการด้านการค้าการลงทุน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ และการจัดการปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และจากการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการเกษตรของจังหวัดอุดรธานีนั้น การขับเคลื่อนการพัฒนาไปสู่ความสำเร็จโดย

มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มจำนวนพื้นที่การเกษตรที่ได้รับประโยชน์จากการพัฒนาให้มากขึ้น การมีข้อมูล  
ที่เพียงพอสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินให้มีความเหมาะสมกับสถานการณ์ทางด้านเศรษฐกิจหรือนำ  
ไปวิเคราะห์ร่วมกับการคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตเพื่อการวางแผนและนโยบายให้สอดคล้องกับ  
การพัฒนาเศรษฐกิจและยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580) เพื่อนำไปสู่การบรรลุเป้าหมาย  
การพัฒนาที่ยั่งยืนของจังหวัดต่อไป

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเชิงพื้นที่และหลายช่วงเวลานั้นมีความสำคัญ ได้มีการ  
รวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ในอดีตเปรียบเทียบกับข้อมูลปัจจุบันเพื่อติดตามและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง  
เชิงพื้นที่ได้อย่างรวดเร็วและมีความละเอียดถูกต้อง (ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ, 2557) เนื่องจากสามารถ  
ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินและจัดการเชิงพื้นที่ในอนาคต มีการรวบรวม  
ข้อมูลเชิงพื้นที่ในอดีตเปรียบเทียบกับข้อมูลปัจจุบันเพื่อ การศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจาก  
ดาวเทียม Landsat ร่วมกับแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler  
(LCM) ที่สามารถคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้โดยอาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและ  
สิ่งปกคลุมดินสองช่วงปี และปัจจัยขับเคลื่อนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลอง  
Markov Chain Model ที่นิยมใช้ในอดีต เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านการแสดงผลเชิงพื้นที่ และไม่ได้  
รวมปัจจัยแวดล้อมในแบบจำลอง สำหรับแบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) ถูกนำมา  
ประยุกต์ใช้งานในหลายพื้นที่ทำงานเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่โดยอาศัยความเหมาะสมของการใช้  
ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในพื้นที่ ตามปัจจัยขับเคลื่อนที่เกี่ยวข้อง อิงหลักการและเทคนิคของ  
Eastman (2012) โดยที่แบบจำลองนี้มีความสามารถในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ศักยภาพ  
การเปลี่ยนแปลง และการคาดการณ์ (ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ และคณะ. 2556) และจากการ  
เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีตของจังหวัดอุดรธานีที่มีการเปลี่ยนแปลงในอดีตสูง การทราบข้อมูล  
ล่วงหน้าเพื่อช่วยในการบริหารจัดการพื้นที่ และการพัฒนาชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น  
สามารถนำไปสู่การวางแผนพัฒนาและการจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างมีระบบ และนำข้อมูล  
ไปใช้เป็นกรอบแนวทางในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในทิศทางที่เหมาะสมและมี  
ประสิทธิภาพจากวิสัยทัศน์และข้อมูลที่เพียงพอที่มีความสอดคล้องกับการพัฒนาทางเศรษฐกิจของ  
จังหวัดอุดรธานีต่อไป



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา จังหวัดอุดรธานี

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

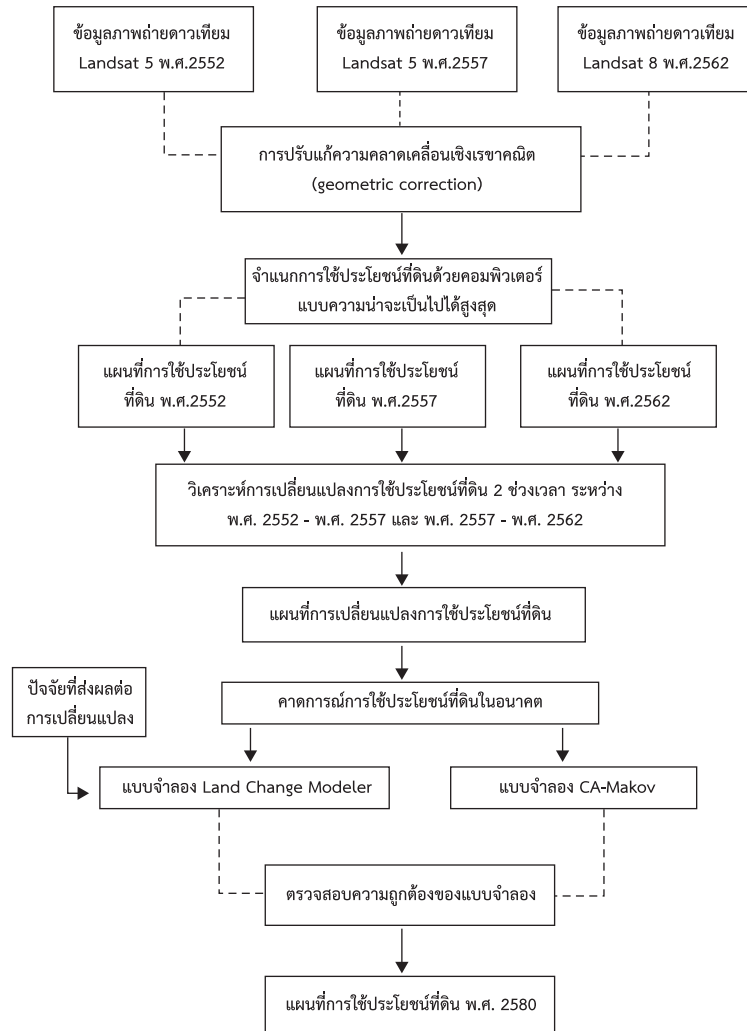
1. เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี
2. เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน
3. เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของจังหวัดอุดรธานี

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตเชิงพื้นที่ พื้นที่ศึกษาทั้งหมดประกอบด้วยพื้นที่บริเวณจังหวัดอุดรธานี ประกอบไปด้วย 24 อำเภอ เป็นพื้นที่ทั้งสิ้น 11,730.302 ตารางกิโลเมตร
2. ขอบเขตเชิงเนื้อหา ใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลในการศึกษาและวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประยุกต์ใช้กับแบบจำลองระบบภูมิสารสนเทศ แบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจัดทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน
3. ขอบเขตเชิงเวลา ติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552 กับ 2557 และระหว่าง พ.ศ. 2557 กับ 2562 และคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต พ.ศ. 2580

### กรอบความคิดที่ใช้วิจัย

การศึกษาค้นคว้าได้นำเทคนิคและข้อมูลการสำรวจระยะไกลซึ่งเป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมใช้ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ และได้้นำแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดอุดรธานี ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กรอบความคิดที่ใช้ในการวิจัย

## วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เทคนิค เครื่องมือที่นำมาสร้างฐานข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล การทำแผนที่ หรือแสดงผล และข้อมูลการสำรวจระยะไกลซึ่งเป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมใช้ในการจำแนก การใช้ประโยชน์ที่ดินและติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ และได้้นำแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังต่อไปนี้

### 1. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบสารสนเทศที่นำเอาข้อมูลมารวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ สามารถทำการสืบค้นข้อมูลและปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้ นำข้อมูลที่นำมารวบรวมและจัดเก็บใน

ระบบที่สามารถนำไปจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ยังมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) ที่ใช้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์และคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งจะทำการนำข้อมูลไปใช้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2552)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบของคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อการจัดเก็บ การจัดการ การจัดทำ การวิเคราะห์ การทำแบบจำลอง และการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนที่ซับซ้อน และปัญหาในการจัดการ (U.S. Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography. 1988)

ซึ่งโดยสรุปแล้วระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ และข้อมูล โดยที่ระบบมีความสามารถในการรวบรวม จัดการ ประมวลผล วิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ และนำไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ

## 2. การรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียม (Remote Sensing)

การรับรู้จากระยะไกล (remote sensing) หมายถึง การได้มาของข้อมูล (data acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (information extraction) ต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผลซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล การสกัดสารสนเทศต่าง ๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 2552)

การจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดลักษณะของประเภทข้อมูลเอง โดยเป็นผู้เลือกตัวอย่างประเภทข้อมูลให้แก่เครื่อง จึงเรียกการจำแนกข้อมูลประเภทนี้ว่าเป็นวิธีแบบควบคุมโดยผู้วิเคราะห์ที่ต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด ข้อมูลตัวแทนหรือข้อมูลตัวอย่างที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดนั้นได้จากการตีความหมายภาพดาวเทียมที่ถูกต้องด้วยสายตาโดยอาศัยประสบการณ์ ความเข้าใจและความรู้ที่มีอยู่ ตลอดจนกระบวนการต่าง ๆ ในการตีความหมายตัวอย่างที่เลือกเป็นข้อมูลทางสถิติที่กำหนดคุณลักษณะของข้อมูล ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์จะนำคุณลักษณะทางสถิติของพื้นที่ตัวอย่างนั้นไปทำการประมวลผลแล้วจำแนกแต่ละจุดภาพของข้อมูลดาวเทียมให้เป็นประเภทข้อมูลตามที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ตามพื้นที่ตัวอย่าง ซึ่งความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการจำแนกวิธีนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของพื้นที่ตัวอย่าง ว่ามีความหลากหลายครอบคลุมทุกประเภทข้อมูลหรือไม่ และเป็นตัวแทนของประชากรข้อมูลทุกประเภทหรือไม่ วิธีการนี้ผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้ในพื้นที่ศึกษาเป็นอย่างดี โดยศึกษาจากข้อมูลเสริมประกอบตลอดจนการสังเกตลักษณะเชิงกายภาพ (physical characteristics) ของประเภทข้อมูล

## 3. แบบจำลองมาร์คอฟเซลล์ลูออโตมาตา (Markov Cellular Automata)

การใช้มาร์คอฟเซลล์ลูออโตมาตา มาสร้างแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต เซลล์ลูออโตมาตา เป็นแบบจำลองในกลุ่มของแบบจำลองซึ่งตัวแปรหลักมีการเปลี่ยนแปลงเป็นครั้งคราว (discrete model) แบบจำลองประกอบเป็นตารางกริด (cells) ที่มีจำนวนหนึ่งค่าของแต่ละกริด มีการเปลี่ยนแปลง (states) ตามค่าของกริดที่อยู่ใกล้ ๆ กัน Tommaso and Norman (1987) กล่าวว่า เซลล์ลูออโตมาตา เป็นการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ร่วมกับแนวความคิดทางฟิสิกส์เป็นหลักในการปฏิบัติงาน และให้คำจำกัดความว่า เซลล์ลูออโตมาตา เซลล์ย่อย ๆ ที่อยู่

รวมกัน แสดงพื้นที่ในรูปของตารางสี่เหลี่ยมเรียกว่า กริดหรือเซลล์ แต่ละเซลล์ คือ หนึ่งหน่วยข้อมูล สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ รูปแบบของเซลล์ใหม่ จะถูกกำหนดจากเซลล์แวดล้อมที่มีลักษณะเป็น ตารางขนาด  $3 \times 3$  เมตร ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปที่ละเซลล์จนครบทั้งพื้นที่และจะคำนวณซ้ำตามจำนวน ระยะเวลาที่กำหนด จากลักษณะการทำงานดังกล่าว เซลล์ลูอาอโตมาตา จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็น ทฤษฎีในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ในอนาคต

ในขณะที่ Pontius (2000) กล่าวว่า เซลล์ลูอาอโตมาตา คือ เซลล์ที่อยู่อย่างอิสระสามารถ เปลี่ยนรูปแบบได้ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง คือ เซลล์แวดล้อมตามกฎ “The game of life” ที่สร้างโดย John Conway ใน พ.ศ. 2513 การคาดการณ์ตามหลัก เซลล์ลูอาอโตมาตา ใช้โอกาส ของการเปลี่ยนแปลง (transition rule) เช่นเดียวกับกระบวนการลูกโซ่มาร์คอฟ แตกต่างกันตรงที่ เซลล์ลูอาอโตมาตา คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงโดยใช้โอกาสของการเปลี่ยนแปลงร่วมกับข้อมูลของ พื้นที่แวดล้อม และสามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปของแผนที่หรือแบบจำลองได้ ทฤษฎี “The game of life” ถูกนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเซลล์ลูอาอโตมาตา เพื่อคาดการณ์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ ที่ดิน เรียกว่า “CA-Markov”

#### 4. แบบจำลอง Land Change Modeler (LCM)

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน LCM พัฒนาขึ้นโดย Clark Labs, Clark University, USA มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต เพื่อ ให้เกิดความยั่งยืนทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ต่าง ๆ (Clark. 2013) แบบจำลอง LCM เป็นเครื่องมือที่ถูก สร้างขึ้นใน ซอฟต์แวร์ IDRISI ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายพื้นที่ เช่น ญัฐมิชา ผ่องพุฒิ และคณะ (2559) ได้ใช้โปรแกรม IDRISI และแบบจำลอง LCM ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มใน พื้นที่สูงชัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในอนาคต โดยกระบวนการในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง LCM ประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง เป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ ที่ดินระหว่างแผนที่ช่วงเวลา 1 และช่วงเวลา 2 ผู้วิเคราะห์จะต้องกำหนดประเภทของการใช้ประโยชน์ ที่ดินให้เหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงที่ถูกตรวจวัดได้นั้น จะเป็นการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ประโยชน์ ที่ดินในช่วงเวลาที่ 1 เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ ในช่วงเวลาที่ 2 ผู้วิเคราะห์สามารถ พบการเปลี่ยนแปลงใน 2 ช่วงเวลาที่หลากหลาย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสลับซับซ้อนสูง วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง คือ การระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงหลัก ที่ จะใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

ขั้นที่ 2 การจำลองพื้นที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลง เป็นขั้นตอนที่ 2 ของการคาดการณ์ การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ด้วยการใช้พื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการสร้างแผนที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลง (transition potential maps) ที่สร้างขึ้นจาก การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลาด้วย การใช้ค่าทางสถิติ ซึ่งแบบจำลอง LCM ใช้ Cramer’s V เป็นตัวประเมิน หากการเปลี่ยนแปลงการใช้ ประโยชน์ที่ดิน มีปัจจัยที่เหมือนกัน ผู้วิเคราะห์สามารถรวมการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น เป็นแบบจำลอง ย่อยเดียวกัน

ขั้นที่ 3 การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง (change prediction) ขั้นตอนนี้เป็นการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยมีกระบวนการที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การจำลองความต้องการของการเปลี่ยนแปลง (change demand modelling) และการจัดสรรการเปลี่ยนแปลง (change allocation) การจำลองความต้องการของการเปลี่ยนแปลง จะใช้ข้อมูลจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลา โดยแบบจำลอง LCM อาศัยวิธีการของ Markov ในการคำนวณสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยผู้วิเคราะห์จะเป็นผู้กำหนดช่วงปีที่ต้องการคาดการณ์การจัดสรรการเปลี่ยนแปลง เป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยอาศัยแผนที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในการสร้างแผนที่ ผ่านกระบวนการจัดสรรที่ดินด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร ผู้วิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์เป็นแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต หรือ VDO ในรูปแบบของ .avi

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินนำมาใช้ในการติดตามและคาดการณ์ในอนาคตนั้น การศึกษาเครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการทบทวนข้อดีข้อเสียของแต่ละเครื่องมือรวมถึงประเด็นที่เกี่ยวกับข้อมูลที่สามารถหาได้ การศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินได้จัดทำขึ้นเพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสม โดยที่แบบจำลอง CA มีรูปแบบเป็นพลวัตเนื่องจากถูกพัฒนาเพื่อจำลองรูปแบบเชิงพื้นที่ที่เกิดขึ้นในอดีตจนถึงปัจจุบัน และสามารถนำรูปแบบที่เกิดขึ้นในอดีตจนถึงปัจจุบันไปคาดการณ์การเติบโตเชิงพื้นที่ในอนาคตโดยใช้เครื่องมือ CA-Markov อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้แบบจำลองสามารถเลือกใช้แบบจำลอง LCM ที่ทำงานร่วมกับแรงขับเคลื่อนเหล่านั้นได้ที่เป็นตัวแปรทางด้านสังคม ประชากร และเศรษฐกิจ เพื่อให้ผลลัพธ์ของการจำลองการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตมีความเสมือนจริงและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด การใช้แบบจำลองดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการช่วย วางแผนในการจัดการการพัฒนาพื้นที่ได้ โดยสามารถทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งสามารถดำเนินการได้ด้วยวิธีการจัดการเชิงพื้นที่ รวมถึงสามารถแก้ไขและอธิบายตัวแปรต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ผลการจำลองที่ได้จากแบบจำลองอยู่ในรูปแบบของแผนที่ซึ่งสามารถช่วยให้นำไปวิเคราะห์ต่อไปได้

## การวิเคราะห์ข้อมูล

### 1. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในจังหวัดอุดรธานี

การศึกษการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 5 และ 8 พ.ศ. 2552 2557 และ 2562 โดยข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม Landsat เป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ทำการประมวลผลภาพเบื้องต้นก่อนการจำแนกข้อมูลภาพ หลังจากนั้นทำการจำแนกประเภทข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยยึดการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตามการใช้ที่ดินในระดับที่ 2 ของกองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2542 และแยกตามประเภทพืชเศรษฐกิจของจังหวัดอุดรธานีที่สำคัญ สามารถจำแนกออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ 1) พื้นที่ชุมชน 2) นาข้าว 3) อ้อย 4) มันสำปะหลัง 5) ยางพารา 6) เกษตรกรรมอื่น ๆ 7) ป่าไม้ 8) พื้นที่แหล่งน้ำ 9) พื้นที่อื่น ๆ ด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลแบบความน่าจะเป็นสูงที่สุด (maximum likelihood classification) ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ตรวจสอบความถูกต้อง การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากแหล่งอื่น ๆ เปรียบเทียบกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียม



## 2. การเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน แบ่งเป็น

2.1 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 จากข้อมูลดาวเทียม พ.ศ. 2552 และ 2557 โดยกำหนดสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Transition Area) และความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลง (Probability of Change) การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ด้วยแบบจำลอง Markov นำค่าดังกล่าวไปใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov และเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการจำแนก พ.ศ. 2562 เพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลอง

2.2 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 จากข้อมูลดาวเทียม พ.ศ. 2552 และ 2557 โดยกำหนดสัดส่วนการใช้ที่ดิน (Transition Area) และความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลง (Probability of Change) การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ด้วยแบบจำลอง Markov นำค่าดังกล่าวไปใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ทำการระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการสร้างแผนที่ศักยภาพ (Transition Potential Maps) แผนที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลงสร้างขึ้นจากวิเคราะห์ ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลา ด้วยการใช้ค่าทางสถิติ ซึ่งแบบจำลอง LCM ใช้ Cramer's V เป็นตัวประเมิน เป็นการวัดความเข้มของความสัมพันธ์ของปัจจัย โดยมิตั้งแต่ 0-1 โดยค่า 0 คือ ไม่มีความสัมพันธ์กันของปัจจัยคู่หนึ่ง และค่า 1 คือ มีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ของปัจจัยคู่หนึ่ง ๆ โดยปัจจัยแต่ละชนิดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่สามารถนำมาใช้ในแบบจำลอง LCM สำหรับคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตได้ ประกอบด้วยแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ระยะห่างจากเทศบาลเมือง เทศบาลตำบล ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำชลประทาน พื้นที่ป่าอนุรักษ์ และเขตประกอบการอุตสาหกรรม ทั้งนี้ ระยะห่างของความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้น เป็นการใชแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Euclidean distance (Euclidean metric) ในการคำนวณระยะห่างโดยเป็นระยะทางตรงจากศูนย์กลางของทุก ๆ เซลล์ไปยังศูนย์กลางแหล่งที่สนใจใกล้ที่สุด มีหน่วยวัดเป็นเมตร และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบข้อมูลการใช้ประโยชน์จากการจำแนกเพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลอง

2.3 การประเมินความถูกต้องจากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ใช้วิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติแคปป่า (Kappa Statistic: KHAT หรือ KAPPA Index of Agreement: KIA) ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่จะทำการบ่งชี้ข้อมูลในแต่ละประเภททั้งหมดว่ามีความเข้ากันได้ โดยประเมินระดับความถูกต้องของค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปป่าตามเกณฑ์ของ Congalton and Green (2008)

## 3. คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของจังหวัดอุดรธานี

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2580 ผู้ศึกษาทำการตัดสินใจเลือกแบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องมากที่สุด วิเคราะห์ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 โดยหาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงและความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงจาก พ.ศ. 2557 เทียบกับ พ.ศ. 2562 เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2580

## ผลการศึกษา

### 1. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในจังหวัดอุดรธานี

#### 1.1 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 2557 และ 2562

จากการใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 และ 8 ผลจากการจำแนกข้อมูลดาวเทียม ทั้ง 3 ปี สามารถแบ่ง การใช้ที่ประโยชน์ดินออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. การใช้ที่ดินที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ พื้นที่ชุมชน ยางพารา และพื้นที่แหล่งน้ำ
2. การใช้ที่ดินที่มีแนวโน้มลดลง ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ นาข้าว และเกษตรกรรมอื่น ๆ
3. การใช้ที่ดินที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง และพื้นที่อื่น ๆ แสดงในภาพที่ 3 และ ตารางที่ 1

ตารางที่ 1: การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2552 2557 และ 2562

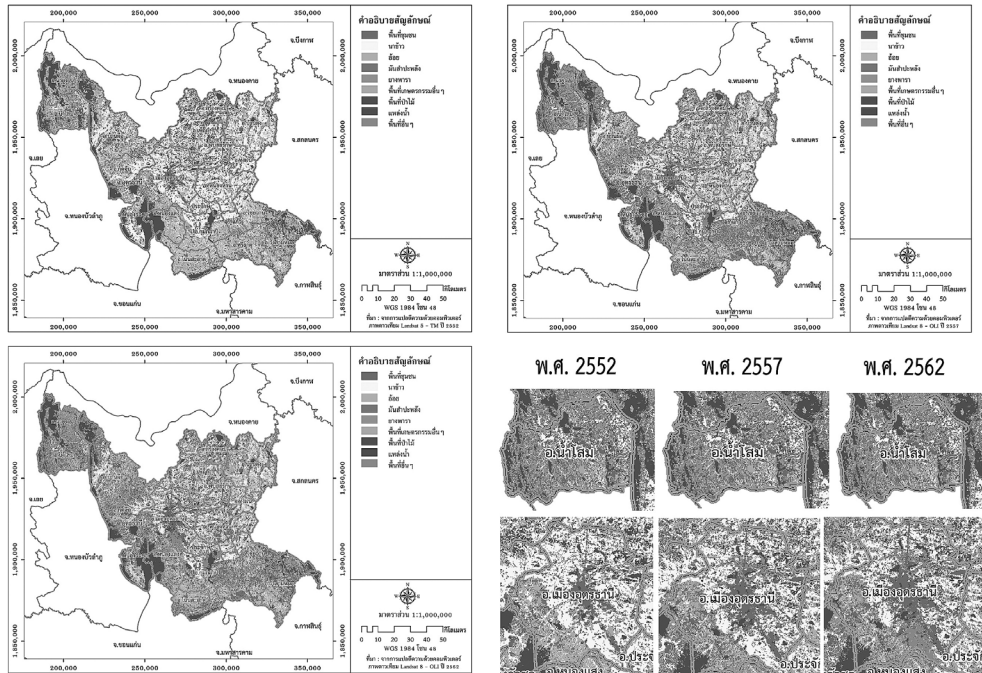
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2552		พ.ศ. 2557		พ.ศ. 2562	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)
พื้นที่ชุมชน	521.28	4.71	690.37	6.24	723.12	6.53
นาข้าว	4,341.61	39.21	3,501.27	31.62	3,068.84	27.72
อ้อย	1,908.76	17.24	1,499.77	13.55	2,065.33	18.65
มันสำปะหลัง	490.38	4.43	1,126.54	10.18	1,031.06	9.31
ยางพารา	152.64	1.38	1,094.81	9.89	1,265.37	11.43
เกษตรกรรมอื่นๆ	827.51	7.47	517.81	4.68	444.94	4.02
พื้นที่ป่าไม้	1,756.86	15.87	1,381.50	12.48	1,292.26	11.67
แหล่งน้ำ	318.43	2.88	419.79	3.79	432.27	3.90
พื้นที่อื่น ๆ	754.38	6.81	839.96	7.59	748.68	6.76
<b>รวม</b>	<b>11,071.87</b>	<b>100.00</b>	<b>11,071.87</b>	<b>100.0000</b>	<b>11,071.87</b>	<b>100.00</b>

#### 1.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี

ผลการศึกษาสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ ระหว่างข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 2557 และ 2562 ตามช่วงเวลาที่ต้องการศึกษาคือ ระหว่าง พ.ศ. 2552-2557 และระหว่าง พ.ศ. 2557-2562

1.2.1 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้ที่ดินด้วยดาวเทียม Landsat พ.ศ. 2552 เทียบกับ พ.ศ. 2557

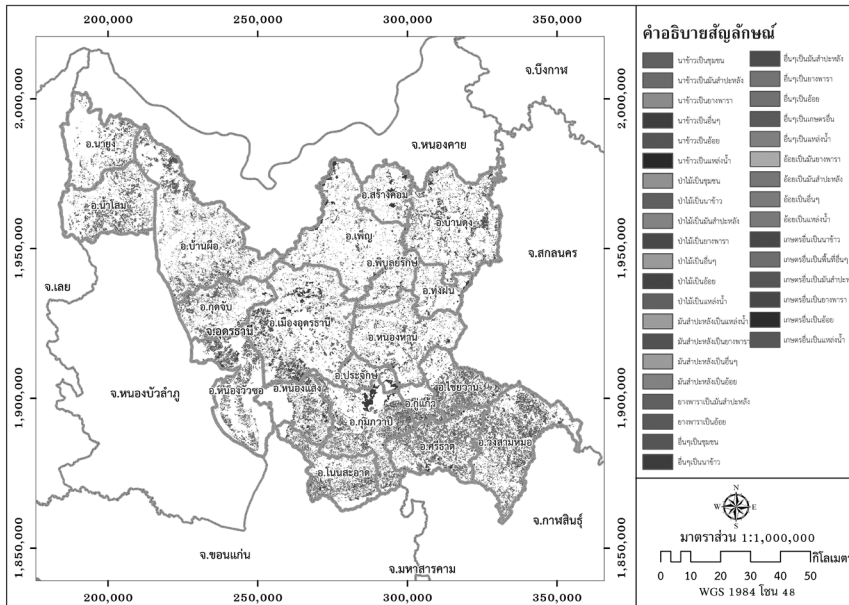
พบว่ามี พื้นที่ยางพารามีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ เพิ่มขึ้น 942.17 ตร.กม. ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่อำเภอนายูง อำเภอน้ำโสม อำเภอบ้านผือ และอำเภอหนองแสง รองลงมาเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง พื้นที่ชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ มีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 636.16, 169.10, 101.37, 85.58 ตร.กม. และมีพื้นที่ที่ลดลง ได้แก่ นาข้าวมีพื้นที่ลดลง เป็น 840.33 ตร.กม. รองลงมาเป็นอ้อย พื้นที่ป่าไม้ เกษตรกรรมอื่น ๆ มีพื้นที่ลดลง เป็น 408.99, 375.36, 309.70 ตร.กม. ตารางที่ 2 และภาพที่ 4



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบผลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 ช่วงเวลา

ตารางที่ 2: การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2552		พ.ศ. 2557		การเปลี่ยนแปลง	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)
พื้นที่ชุมชน	521.28	4.71	690.38	6.24	169.10	4.37
นาข้าว	4,341.61	39.21	3,501.28	31.62	-840.33	-21.72
อ้อย	1,908.76	17.24	1,499.77	13.55	-408.99	-10.57
มันสำปะหลัง	490.38	4.43	1,126.54	10.18	636.16	16.44
ยางพารา	152.64	1.38	1,094.81	9.89	942.17	24.35
เกษตรกรรมอื่น ๆ	827.51	7.47	517.81	4.68	-309.70	-8.01
พื้นที่ป่าไม้	1,756.86	15.87	1,381.51	12.48	-375.36	-9.70
พื้นที่แหล่งน้ำ	318.43	2.88	419.80	3.79	101.37	2.62
พื้นที่อื่นๆ	754.38	6.81	839.96	7.59	85.58	2.21
<b>รวม</b>	<b>11,071.87</b>	<b>100.00</b>	<b>11,071.87</b>	<b>100.00</b>	<b>3,868.76</b>	<b>100.00</b>



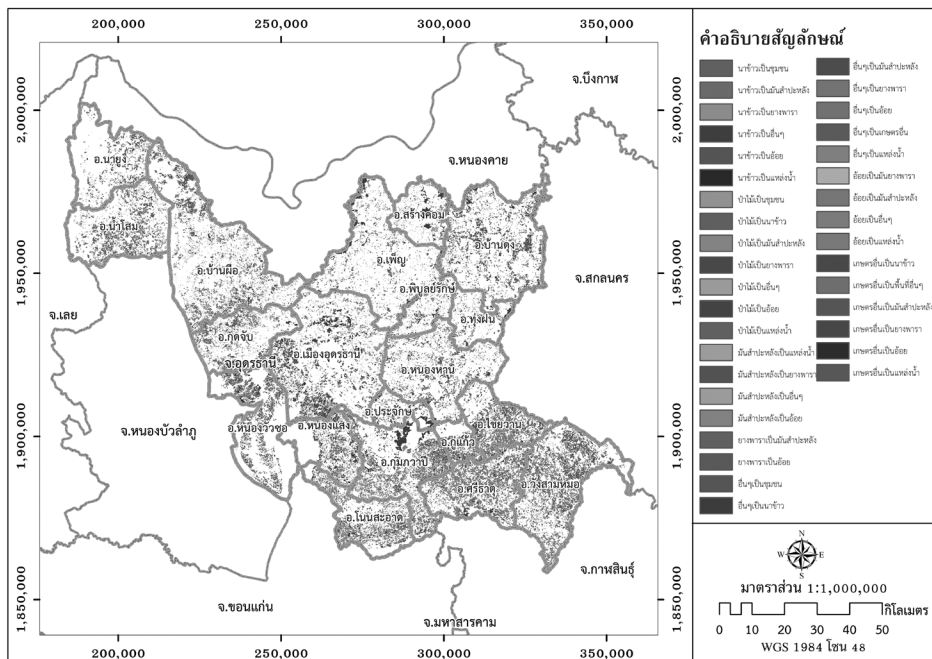
ภาพที่ 4 แผนที่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ระหว่าง พ.ศ. 2552-2557

1.2.2 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้ที่ดินด้วยดาวเทียม Landsat พ.ศ. 2557 เทียบกับ พ.ศ. 2562

พบว่า มีพื้นที่อ้อยมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ เพิ่มขึ้น 565.55 ตร.กม. ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่อำเภอวังสามหมอ อำเภอศรีธาตุ อำเภอไชยวาน อำเภอกุมภวาปี และอำเภอโนนสะอาด รองลงมาเป็นพื้นที่ปลูกยางพารา พื้นที่ชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 170.56, 32.74, 12.47 ตร.กม. และมีพื้นที่ที่ลดลง ได้แก่ นาข้าวมีพื้นที่ลดลง เป็น 432.44 ตร.กม. รองลงมาพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อื่น ๆ พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ มีพื้นที่ลดลง 95.48, 91.29, 89.25, 72.88 ตร.กม. ตารางที่ 3 และภาพที่ 5

ตารางที่ 3: การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2557-2562

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2557		พ.ศ. 2562		การเปลี่ยนแปลง	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)
พื้นที่ชุมชน	690.38	6.24	723.12	6.53	32.74	2.23
นาข้าว	3,501.28	31.62	3,068.84	27.72	-432.44	-29.39
อ้อย	1,499.77	13.55	2,065.33	18.65	565.55	38.44
มันสำปะหลัง	1,126.54	10.18	1,031.06	9.31	-95.48	-6.49
ยางพารา	1,094.81	9.89	1,265.37	11.43	170.56	11.59
เกษตรกรรมอื่นๆ	517.81	4.68	444.94	4.02	-72.88	-4.95
พื้นที่ป่าไม้	1,381.51	12.48	1,292.26	11.67	-89.25	-6.07
พื้นที่แหล่งน้ำ	419.80	3.79	432.27	3.90	12.47	0.85
พื้นที่อื่น ๆ	839.96	7.59	748.68	6.76	-91.29	-6.20
<b>รวม</b>	<b>11,071.87</b>	<b>100.00</b>	<b>11,071.87</b>	<b>100.00</b>	<b>1,471.37</b>	<b>100.00</b>



ภาพที่ 5 แผนที่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ระหว่าง พ.ศ. 2557-2562

## 2. การเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การประเมินความถูกต้องจากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติแคปป่า (KAPPA Index of Agreement: KIA) ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่จะทำการบ่งชี้ข้อมูลในแต่ละประเภททั้งหมดว่ามีความเข้ากันได้ หรือมีความถูกต้องระหว่างข้อมูลจากการจำแนกการสำรวจระยะไกลและข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงที่บ่งชี้ค่าหลักในแนวทแยงและการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดในแถวและคอลัมน์ (ธีระ ลากิศขางกุล, 2550) ดังสมการ

$$KHAT = \frac{\left| N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} \times x_{+i} \right|}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} \times x_{+i}}$$

โดยที่  $r$  = จำนวนแถว

$N$  = จำนวนทั้งหมดที่ทำการจำแนก

$x_{ii}$  = จำนวนค่าจุดภาพในแต่ละแถว  $i$  และคอลัมน์  $i$  ของการจำแนกแต่ละประเภท

$x_{i+}$ ,  $x_{+i}$  = จำนวนเศษค่าจุดภาพในแต่ละแถว  $i$  และคอลัมน์  $i$  ของการจำแนกแต่ละประเภท

### 2.1 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

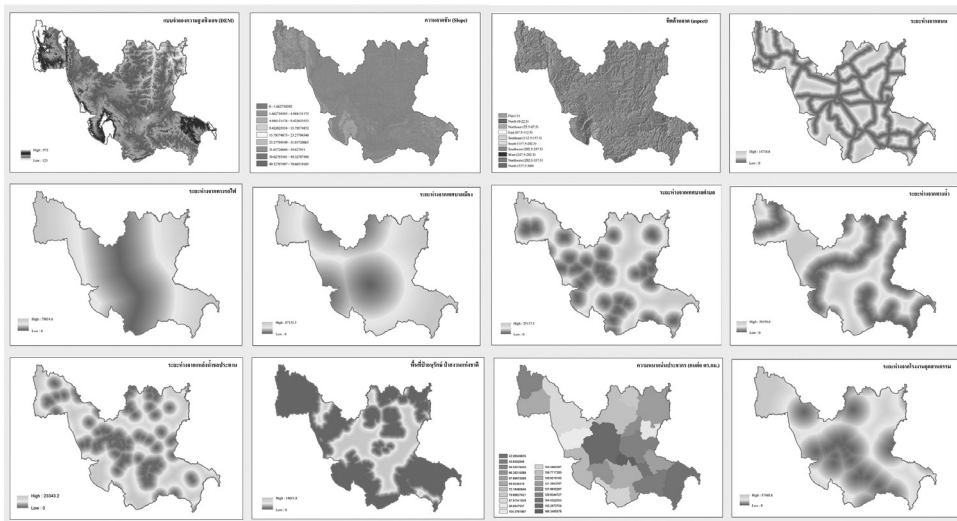
การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ พ.ศ. 2552 และ 2557 เป็นข้อมูลพื้นฐาน กำหนดค่าสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Transition Area) และค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Probability of Change) นำค่าดังกล่าวไปใช้ในการทำนายรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov และเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2562 เพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลอง

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง CA-Markov พ.ศ. 2562 เปรียบเทียบกับข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 ปีเดียวกัน แสดงในภาพที่ 7 พิจารณาทั้งความสอดคล้องกันระหว่างข้อมูลตรวจสอบกับข้อมูลอ้างอิง พบว่า แบบจำลอง CA-Markov มีค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปป่าเท่ากับ ร้อยละ 79 และพบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้งานมากกว่าร้อยละ 75 ได้แก่ พื้นที่ชุมชน นาข้าว พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ

### 2.2 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler

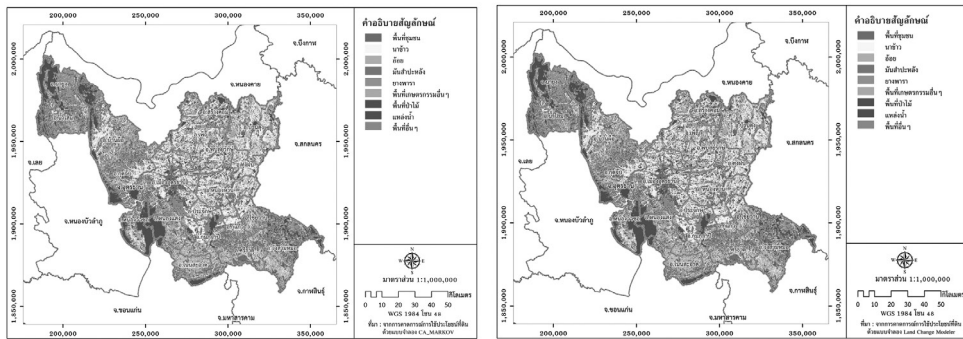
การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ใช้วิธีการของ Clark Labs (2013) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง (Change Analysis) ศักยภาพในการเปลี่ยนแปลง (Transition Potential) และการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง (Change Prediction) โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ พ.ศ. 2552 และ 2557 เป็นข้อมูลพื้นฐาน โดยคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วย แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ระยะห่างจากเทศบาลเมือง เทศบาลตำบล ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำชลประทาน พื้นที่ป่าอนุรักษ์ และเขตประกอบการอุตสาหกรรม แสดงในภาพที่ 6 ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2562 เพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลอง

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง Land Change Modeler พ.ศ. 2562 เปรียบเทียบกับข้อมูลดาวเทียม Landsat ปีเดียวกัน แสดงในภาพที่ 7 นำผลลัพธ์ที่ได้มาสร้างตารางคำนวณค่าความผิดพลาด พิจารณาทั้งความสอดคล้องกันระหว่างข้อมูลตรวจสอบกับข้อมูลอ้างอิง พบว่า แบบจำลอง Land Change Modeler มีค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปา เท่ากับ ร้อยละ 85 ซึ่งให้ความถูกต้องอยู่ระดับสูง และพบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้งานมากกว่าร้อยละ 75 ได้แก่ พื้นที่ชุมชน นาข้าว ยางพารา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ



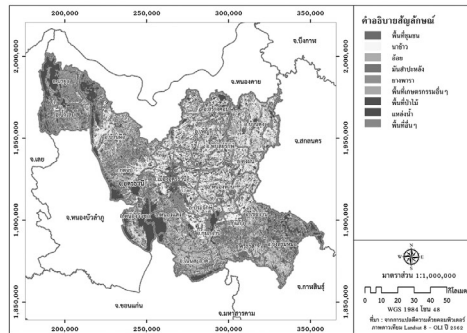
ภาพที่ 6 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง LCM

ดังนั้น ผลการวิเคราะห์และคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงใช้ที่ดินในอนาคต ทั้งสองนี้มีความแตกต่างกัน จากการเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นความถูกต้องทำให้เห็นถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้แบบจำลองเพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต การประเมินระดับความถูกต้องของค่าสถิติแคปปาตามเกณฑ์ของ Congalton and Green (2008) โดยผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ให้ความแม่นยำในระดับปานกลาง ร้อยละ 79.78 จึงสามารถนำมาใช้ในการคำนวณสัดส่วนการใช้ที่ดินแบบไม่มีข้อจำกัดเชิงพื้นที่ได้ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler เป็นแบบจำลองที่มีความแม่นยำระดับสูง มีค่าความแม่นยำร้อยละ 84.78 มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้งานมีค่าสูงกว่า 6 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งแบบจำลองนี้ได้นำปัจจัยด้านทางกายภาพด้านเศรษฐกิจและสังคม ของพื้นที่เข้าร่วมในการวิเคราะห์ด้วยจึงทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยเป็นปัจจัยที่ดังกล่าวจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งมีส่วนทำให้การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น



แบบจำลอง CA-Markov

แบบจำลอง LCM

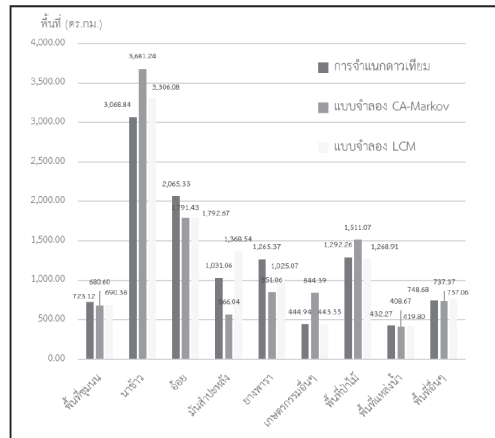


ข้อมูลที่จำแนกจากดาวเทียม

### ภาพที่ 7 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง CA-Markov แบบจำลอง LCM และข้อมูลที่จำแนกจากดาวเทียม Landsat 8

จากการศึกษาข้างต้นสามารถนำมาสรุปและแสดงผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่าง ดังภาพที่ 8 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลการจำแนกดาวเทียม Landsat มากที่สุดคือแบบจำลอง Land Change Modeler โดยมีประเภทรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินใกล้เคียงกับข้อมูลจำแนกดาวเทียม 6 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินมากกว่าแบบจำลอง CA-Markov และในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง Land Change Modeler ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ใน พ.ศ. 2580 เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง Land Change Modeler กับที่ได้จากการจำแนกข้อมูลดาวเทียม พบว่า มีพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกันประมาณ 1,166.20 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 10.53 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งมีพื้นที่แตกต่างที่น้อยกว่าจากแบบจำลอง CA-Markov ที่มีพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกันประมาณ 2,461.32 ตารางกิโลเมตร





ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการจำแนกดาวเทียม Landsat พ.ศ. 2562

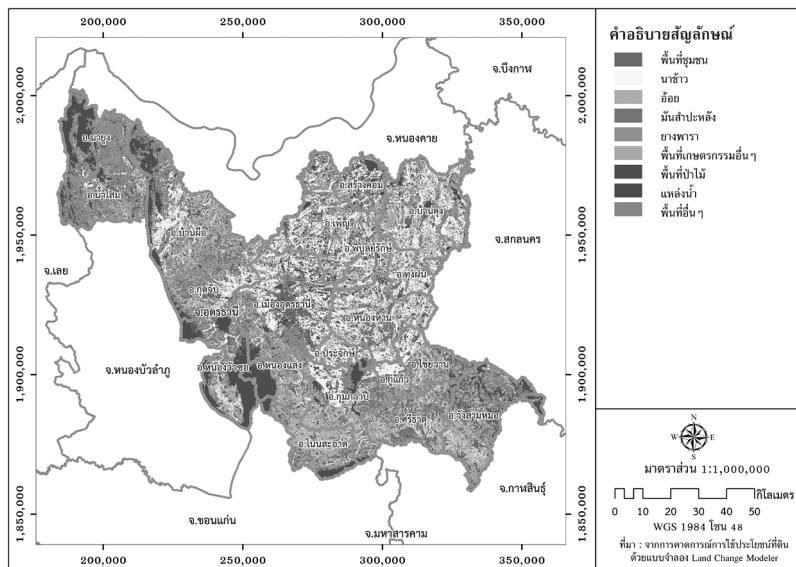
### 3. คาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ในอีก 18 ปีข้างหน้า ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง LCM ที่มีความถูกต้องมากที่สุด ในการคาดการณ์การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2580 ด้วยแบบจำลอง LCM ใช้วิธีการของ Clark Labs (2013) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง (Change Analysis) ศักยภาพในการเปลี่ยนแปลง (Transition Potential) และการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง (Change Prediction) โดยใช้ข้อมูล พ.ศ. 2557 และพ.ศ. 2562 พิจารณาร่วมกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วย แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ระยะห่างจากเทศบาลเมือง เทศบาลตำบล ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำชลประทาน พื้นที่ป่าอนุรักษ์ และเขตประกอบการอุตสาหกรรม วิเคราะห์การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต พ.ศ. 2580 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในกำหนดเป็นกรอบแนวทางในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้สอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจของจังหวัดอุดรธานีต่อไป

ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต พ.ศ.2580 คาดว่ามีพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุดประมาณ 3,295.21 ตร.กม. รองลงมาคือ นาข้าว มันสำปะหลัง พื้นที่ป่าไม้ ยางพารา พื้นที่ชุมชน พื้นที่อื่น ๆ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ 2,146.42, 1,350.12, 1,020.24, 948.90, 839.52, 563.14, 484.94 และ 423.37 ตร.กม. ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 9

ตารางที่ 4: การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2580

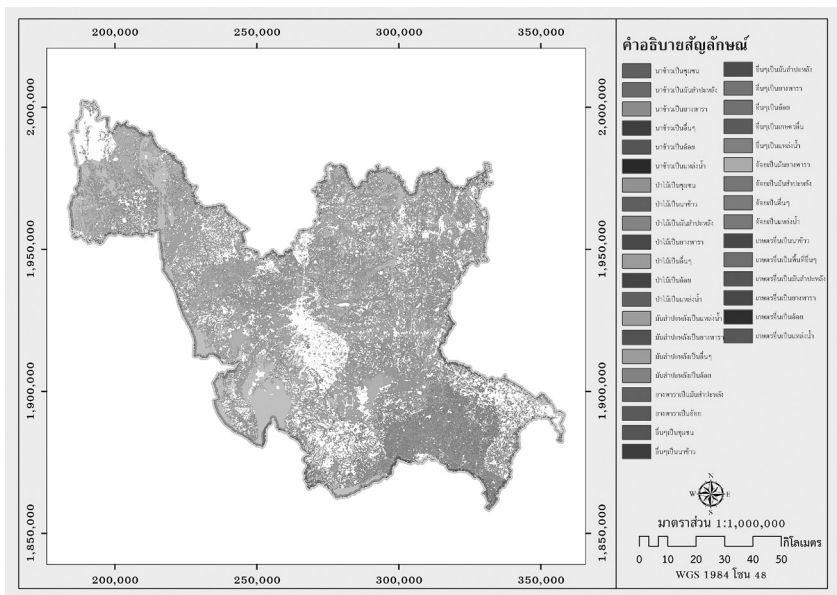
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัดส่วน (ร้อยละ)
พื้นที่ชุมชน	839.52	7.58
นาข้าว	2,146.42	19.39
อ้อย	3,295.21	29.76
มันสำปะหลัง	1,350.12	12.19
ยางพารา	948.90	8.57
เกษตรกรรมอื่นๆ	423.37	3.82
พื้นที่ป่าไม้	1,020.24	9.21
พื้นที่แหล่งน้ำ	484.94	4.38
พื้นที่อื่นๆ	563.14	5.09
<b>รวม</b>	<b>11,071.87</b>	<b>100.00</b>



ภาพที่ 9 การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง Land Change Modeler พ.ศ. 2580

การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วง พ.ศ. 2562-2580 มีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 1,229.88 ตารางกิโลเมตร 319.06 ตารางกิโลเมตร 116.41 ตารางกิโลเมตร และ 52.67 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่นาข้าว ยางพารา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อื่น ๆ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ มีแนวโน้มว่าจะลดลง เท่ากับ 922.43 ตารางกิโลเมตร 316.47 ตารางกิโลเมตร 272.02 ตารางกิโลเมตร 185.54 ตารางกิโลเมตร และ 21.57 ตารางกิโลเมตร ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ดังภาพที่ 10 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ปลูกอ้อย มาจากพื้นที่นาข้าว มันสำปะหลัง พื้นที่อื่น ๆ และพื้นที่ป่าไม้ การเพิ่มขึ้นของมันสำปะหลัง มาจากพื้นที่อ้อย นาข้าว ยางพารา และพื้นที่ป่าไม้ การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชุมชน มาจากการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจตามนโยบายการพัฒนาของจังหวัด และประชากรที่อาจเพิ่มสูงขึ้นด้วย และการเพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำเพื่อนำมาใช้อุปโภคบริโภค และการนำไปใช้เพื่อการเกษตร ขณะที่พื้นที่ปลูกยางพาราที่มีขยายตัวมาตลอดนั้นมีพื้นที่ลดลงอาจเป็นผลจากการถึงรอบตัดฟันของยางพาราและน้ำยางให้ผลผลิตน้อย และพื้นที่นาข้าวมีการเปลี่ยนแปลงโดยตลอดมีพื้นที่ลดลงเปลี่ยนสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นการปลูกอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่อื่น ๆ



ภาพที่ 10 แผนที่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ระหว่าง พ.ศ. 2562-2580

### สรุปผลการศึกษา

การใช้ประโยชน์ที่ดินที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2552 - 2562 จะเห็นได้ว่ามีพื้นที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งสิ้น 4,251.31 ตร.กม. โดยมีพื้นที่นาข้าวมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ลดลง 1272.77 ตร.กม. รองลงมาเป็นพื้นที่ยางพารา มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 1112.73 ตร.กม. รองลงมาเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 540.68 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ป่าไม้ลดลง 464.60 ตร.กม. พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ ลดลง 382.57 ตร.กม. พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ ลดลง 382.57 ตร.กม. พื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้น 201.83 ตร.กม. พื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้น 156.56 ตร.กม. พื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น 113.84 ตร.กม. และพื้นที่อื่น ๆ ลดลง 5.71 ตร.กม. และจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรมโดยเฉพาะพื้นที่ปลูกยางพารามันสำปะหลัง และ อ้อย เนื่องจากจังหวัดอุดรธานี มีลักษณะภูมิประเทศและสภาพอากาศที่

เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ สามารถปลูกได้ทั้งพืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล ซึ่งพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและสร้างรายได้ให้กับจังหวัดอุดรธานี ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง และยางพารา มีแหล่งผลิตในหลายอำเภอและมีแหล่งโรงงานรับซื้อผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินของมนุษย์ทางด้านเศรษฐกิจและสังคม

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดอุดรธานี มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ใน พ.ศ.2552-2562 มีพื้นที่การเปลี่ยนแปลงของยางพารามากที่สุด พบว่ามีพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้น จากการเปลี่ยนสภาพพื้นที่มาจากอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่นาข้าว ซึ่งโดยแต่ก่อนยางพารานั้นมีการปลูกในภาคใต้ของประเทศไทยเท่านั้น แต่ในปัจจุบันมีเกษตรกรหันมาปลูกยางพารากันอย่างแพร่หลาย เนื่องมาจากเป็นไม้ที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรสูง และมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี รองลงมาคือ มันสำปะหลัง เป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจ ปลูกง่ายทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ.2552-2557 เนื่องมาจากราคามันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์ดี ส่งผลให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก และการระบาดของเพลี้ยแป้งลดลงมากแต่หลังจาก พ.ศ.2557-2562 มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังลดลงเนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า เช่น อ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และยางพารา รวมถึงพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่แซมในสวนยางพารา ซึ่งปัจจุบันยางพาราเจริญเติบโตจึงไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังแซมได้อีก และพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นมากใน พ.ศ.2562 เนื่องมาจากทางรัฐบาลได้มีนโยบายขยายพื้นที่ปลูกอ้อยทดแทนในพื้นที่นาข้าวที่ไม่เหมาะสม และประกอบกับมีโรงงานน้ำตาลตั้งใหม่เกิดขึ้นจึงทำให้มีการส่งเสริมพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้น ส่วนพื้นที่นาข้าว และพื้นที่ป่าไม้มีแนวโน้มของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดโดยมีพื้นที่ที่ลดลงทุกปี เนื่องจากเกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้นทั้งมันสำปะหลัง และยางพารา ทำให้เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้และเปลี่ยนสภาพพื้นที่อื่น ๆ เพื่อนำมาทำการเกษตรมากขึ้นด้วย รวมถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชุมชน มาจากการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจตามนโยบายการพัฒนาของจังหวัด และประชากรที่อาจเพิ่มสูงขึ้นรวมถึงการเพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำเพื่อนำมาใช้อุปโภคบริโภค และการนำไปใช้เพื่อการเกษตร ผลจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกมากขึ้น จึงทำให้เกิดอุตสาหกรรมขึ้นมากมาย ปริมาณความต้องการอุปโภคบริโภคที่มากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการมนุษย์เพิ่มมากยิ่งขึ้น ทำให้นี้ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เป็นจำนวนมากและรวดเร็วในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา

แบบจำลอง LCM สามารถคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตได้ จากการตรวจสอบแบบจำลอง พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวม เท่ากับ ร้อยละ 85 ซึ่งมีความ ถูกต้องโดยรวมสูงกว่าแบบจำลอง CA-Markov ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลอง LCM ได้เปรียบในเรื่องของสมการของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ มีการคำนวณถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปัจจัยต่าง ๆ และเมื่อพิจารณาความสอดคล้องของการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า มีพื้นที่การใช้ที่ดินต่างกันประมาณ 1,166.20 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 10.53 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งมีพื้นที่แตกต่างที่น้อยกว่าจากแบบจำลอง CA-Markov ซึ่งการนำปัจจัยด้านทางกายภาพ ด้านเศรษฐกิจและสังคม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของพื้นที่เข้าร่วมในการวิเคราะห์ร่วมกับโอกาสของการเปลี่ยนแปลง และสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วย จะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง LCM ในระยะเวลา 18 ปี ข้างหน้า ตั้งแต่ พ.ศ.2562-2580 มีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้น ส่วนพื้นที่นาข้าว ยางพารา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อื่น ๆ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ มีแนวโน้มว่าจะลดลง จะเห็นได้ว่าภาคการเกษตรในอนาคตมีแนวโน้มการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปเป็นกรอบการดำเนินงานในการพัฒนาภาคการเกษตรให้สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพจะนำไปสู่การวางแผนพัฒนาในระยะยาว ดังนั้นพื้นที่เกษตรจึงต้องมีการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ และปรับเปลี่ยนการผลิตให้เหมาะสมกับศักยภาพพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมเพื่อการบริหารจัดการสินค้าเกษตรรวมถึงผลักดันให้มีพื้นที่เกษตรกรรมยั่งยืนเพิ่มขึ้นต่อไป

## ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตโดยใช้แบบจำลองควรมีการเปรียบเทียบกับแบบจำลองต่าง ๆ เพื่อให้สามารถนำแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด รวมถึงการกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงแปลงการใช้ที่ดินให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาเพื่อให้ได้ผลการคาดการณ์ในอนาคตที่มีความถูกต้องมากที่สุด
2. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ของจังหวัดอุดรธานีในระยะเวลา 10 ปี ระหว่าง พ.ศ.2552-2562 พบว่า มีพืชเศรษฐกิจของจังหวัดมีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนซึ่งเป็นไปตามราคาสินค้า และกลไกตลาด การคาดการณ์ในอนาคตอาจไม่เป็นดังผลการศึกษา ถ้ามีสถานการณ์ต่าง ๆ เข้ามาในเรื่องของราคาพืชผล ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงการนำปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาใช้ในแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- ณัฐนิชา ผ่องพุดิ, อรอนงค์ ผิวนิล, เกษม จันท์แก้ว, และสุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์. (2559). ผลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่สูงชัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข*, 44(1): 212-221.
- ธีระ ลาภิศขยางกุล. (2550). การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากการจำแนกภาพดาวเทียม. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 9(3): 17-27.
- ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาศ. (2557). คาดการณ์การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำตะคอง พ.ศ. 2567 ด้วยแบบจำลอง CA-MARKOV. *วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 17 (มกราคม-ธันวาคม 2557): 94-113.
- ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ, ศิริลักษณ์ พงษ์พิบัติกุล, วราทิพย์ บัวแก้ว, และณัฏฐ์ แก้วภู. (2556). การเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุม โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศบริเวณลุ่มน้ำคลองกุ่ม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. *รายงานการประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2556*. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานจังหวัดอุดรธานี. (2562). *แผนพัฒนาจังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2561-2564 ฉบับทบทวน*. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562. จังหวัดอุดรธานี. อุดรธานี: สำนักงานจังหวัดอุดรธานี.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2552). **ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์**. กรุงเทพฯ: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)

Congalton, R.G. & Green, K. (2008). **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

Clark, L. (2013). **IDRISI Spotlight: The Land Change Modeler**. USA: Clark Labs, Clark University.

Eastman, J. R. (2012). **IDRISI SELVA Manual**. USA: Clark Labs, Clark University.

Pontius, R.G., Jr. (2000). Quantification Error Versus Location Error in Comparison of Categorical Maps. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 66(8): 1011–1016.

Tommaso, Toffoli, & Norman Margolus. (1987). **Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling**. Cambridge, MA: MIT Press.

U.S. Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography. (1988). **A Summary of GIS Activities in the Federal Government**. Washington DC: Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography.