



การติดตามและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต จังหวัดอุดรธานี

MONITORING AND PREDICTION OF FUTURE LAND USE CHANGE

IN UDONTHANI PROVINCE



เกศินี นงโพธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2562

การติดตามและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต จังหวัดอุดรธานี



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

MONITORING AND PREDICTION OF FUTURE LAND USE CHANGE
IN UDONTHANI PROVINCE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Geoinformatics)

Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University

2019

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การติดตามและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต จังหวัดอุดรธานี
ของ
เกศินี นงโพธิ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก	 ประธาน
(อาจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนทิพย์ ปิยะทัศนานนท์)
..... ที่ปรึกษาร่วม	 กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุชาติพิทย์ ขวณะเวสสกุล)	(อาจารย์ ดร.อสมารณ์ สิทธิ)

ชื่อเรื่อง	การติดตามและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน อนาคต จังหวัดอุดรธานี
ผู้วิจัย	เกศินี นงโพธิ์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ชูเดช โลศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. สุชาติพย์ ชวนะเวสสกุล

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 และพื้นที่อื่นๆ ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วง พ.ศ. 2552-2562 พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่นาข้าวลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ยางพารา มันสำปะหลัง และอ้อย ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจมีพื้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด หากพิจารณาความถูกต้องของการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ พบว่า แบบจำลอง LCM มีความถูกต้องของมากกว่าแบบจำลอง CA-Markov โดยมีความถูกต้องเท่ากับ ร้อยยละ 85 และ 79 ตามลำดับ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงใช้แบบจำลอง LCM ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 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 พื้นที่อื่นๆ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีแนวโน้มว่าจะลดลง เท่ากับ 922.43, 316.47, 272.02, 185.54, และ 21.57 ตร.กม ตามลำดับ

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

Title	MONITORING AND PREDICTION OF FUTURE LAND USE CHANGE IN UDONTHANI PROVINCE
Author	KESINEE NONGPHO
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Dr. Chudech Losiri
Co Advisor	Dr. Sutatip Chavanavesskul

At present, economic and social and cultural changes of Udonthani province are significant reasons for a land use change, especially the expansion of urban and agricultural areas for supporting urban development and food production, which is the most important, both in the region and the country. 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 Udonthani 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, cassava, a rubber plantation, other agricultural areas, forest, water and other areas. The results of the study found that the forest areas and paddy fields decreased continuously from 2009-2019, while rubber plantation areas with cassava and sugarcane increased, one of the main crops in Udonthani province. Moreover, it was found that the residential and water areas also increased. The accuracy of the Land Change Modeler model is at 85 percent and the most accurate model. The LCM model was applied to predict land use in the study area in 2037, including sugarcane, cassava, residential and water areas increased to approximately 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 increased by approximately 922.43 square kilometers, 316.47, 272.02, 185.54, and 21.57 square kilometers respectively.

Keyword : CA-Markov Model, Land Change Model, Land Use Change

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชูเดช โลศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ อาจารย์ ดร.สุธาทิพย์ ขวณะเวสสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ติดตามดูแล ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ในที่สุด และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาภูมิศาสตร์

คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ทำให้การทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด

เกศินี นงโพธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	14
ภูมิหลัง	14
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	17
ความสำคัญของงานวิจัย	17
ขอบเขตของการวิจัย	17
กรอบแนวคิดในการศึกษา	18
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
1. พื้นที่ศึกษา	19
2. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	21
3. แนวคิดด้านการรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียม	24
4. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	33
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	43
1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	43
2. เครื่องมือในการศึกษา	43

3. ขั้นตอนในการศึกษา	43
3.1 การรวบรวมข้อมูล	43
4. การวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	49
1. การใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี	49
1.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี	49
1.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี	55
2. การเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	65
2.1 คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov	65
2.2 คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler	67
2.3 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้ที่ดินจากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการจำแนกข้อมูลดาวเทียม	81
2.4 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง	85
3. คาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	90
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ	108
สรุปผล.....	108
1. การใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี	108
2. การเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	109
3. การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของจังหวัดอุดรธานี	110
อภิปรายผล	111
ข้อเสนอแนะ	114

บรรณานุกรม	115
ประวัติผู้เขียน.....	119



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 คุณลักษณะของข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 5 และ 8.....	27
ตาราง 2 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง Land Change Modeler.....	45
ตาราง 3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2552 2557 และ 2562	50
ตาราง 4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2552 2557 และ 2562	51
ตาราง 5 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557	56
ตาราง 6 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557	60
ตาราง 7 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2557-2562	61
ตาราง 8 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2557-2562.....	64
ตาราง 9 สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง CA-Markov	66
ตาราง 10 ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2562 จาก แบบจำลอง CA-Markov.....	66
ตาราง 11 สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง Land Change Modeler.....	68
ตาราง 12 ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง Land Change Modeler	68
ตาราง 13 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในอนาคต.....	71
ตาราง 14 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง และความแตกต่างของข้อมูลจาก แบบจำลอง กับข้อมูลการจำแนกจากดาวเทียม	84
ตาราง 15 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง CA-Markov	88
ตาราง 16 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง Land Change Modeler	89

ตาราง 17 สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2580 จากแบบจำลอง Land Change Modeler.....	90
ตาราง 18 ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2580 จากแบบจำลอง Land Change Modeler	91
ตาราง 19 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในอนาคต.....	92
ตาราง 20 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2580.....	103
ตาราง 21 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2562-2580.....	105
ตาราง 22 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2562-2580	106



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษา.....	18
ภาพประกอบ 2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา	21
ภาพประกอบ 3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2552	54
ภาพประกอบ 4 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2557	54
ภาพประกอบ 5 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2562	55
ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557	56
ภาพประกอบ 7 แผนที่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ระหว่าง พ.ศ. 2552-2557	59
ภาพประกอบ 8 แผนที่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ระหว่าง พ.ศ. 2557-2562	65
ภาพประกอบ 9 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง Land Change Modeler	72
ภาพประกอบ 10 ค่าสถิติ Cramer's V ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยของแบบจำลอง Land Change Modeler.....	73
ภาพประกอบ 11 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ชุมชน	75
ภาพประกอบ 12 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นนาข้าว.....	76
ภาพประกอบ 13 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นอ้อย	77
ภาพประกอบ 14 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงจากอ้อยเป็นมันสำปะหลัง	77
ภาพประกอบ 15 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ	78
ภาพประกอบ 16 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ.....	79
ภาพประกอบ 17 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่อื่นๆ.....	80
ภาพประกอบ 18 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง CA-Markov	81

ภาพประกอบ 19 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง Land Change Modeler	83
ภาพประกอบ 20 การเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการจำแนกดาวเทียม Landsat พ.ศ. 2562.....	87
ภาพประกอบ 21 ค่าสถิติ Cramer's V ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยของแบบจำลอง Land Change Modeler	93
ภาพประกอบ 22 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ชุมชน	95
ภาพประกอบ 23 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นนาข้าว.....	96
ภาพประกอบ 24 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นอ้อย	97
ภาพประกอบ 25 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นมันสำปะหลัง	98
ภาพประกอบ 26 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ	99
ภาพประกอบ 27 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ.....	100
ภาพประกอบ 28 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่อื่นๆ.....	101
ภาพประกอบ 29 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2580	102
ภาพประกอบ 30 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2580.....	103
ภาพประกอบ 31 แผนที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ระหว่าง พ.ศ. 2562-2580.....	107

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

จังหวัดอุดรธานีเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลาย ทั้งพื้นที่เกษตรกรรม ป่าไม้ และแหล่งชุมชน เศรษฐกิจของจังหวัดขึ้นอยู่กับกิจกรรมทางการเกษตร อุตสาหกรรม และการขายส่ง ขายปลีก (สำนักงานจังหวัดอุดรธานี, 2562) การพัฒนาเศรษฐกิจที่มุ่งการเจริญเติบโต ประกอบกับความต้องการใช้ที่ดินเพื่อใช้ในกิจกรรมทางเศรษฐกิจ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่น การพัฒนาเมือง เขตอุตสาหกรรม เป็นต้น รวมถึงพื้นที่การปลูกของพืชเศรษฐกิจหลักของจังหวัดมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ของจังหวัดอุดรธานีเป็นการใช้เพื่อการเกษตรซึ่งมีการปลูกพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง อ้อยโรงงาน อีกทั้งนโยบายของภาครัฐที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนพื้นที่นาที่ไม่เหมาะสมให้ปลูกอ้อยแทน ประกอบกับราคาอ้อยและมันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์ดี หรือพืชทางเลือกอื่นที่ให้ผลตอบแทนมากกว่า จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกอ้อยโรงงานและมันสำปะหลังซึ่งมีลักษณะเป็นการปลูกพืชเชิงเดี่ยว โดยขาดการบำรุงรักษา และไม่มีมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ทำให้คุณภาพของดินเสื่อมโทรมและขาดความอุดมสมบูรณ์ และจากการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูก พบว่าจังหวัดอุดรธานีมีเนื้อที่ถือครองที่ดินเพื่อการเกษตรและเนื้อที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 4,541,344 ไร่ การศึกษาข้อมูลจากลักษณะการถือครองที่ดินการเกษตรย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2554 - 2558) พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี จำแนกเป็นเนื้อที่ของเจ้าของที่ดิน เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.018 สำหรับเนื้อที่ของผู้เช่าอื่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.019 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) จะเห็นได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นพื้นที่ถือครองทางการเกษตร และจุดอ่อนในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการเกษตร ทำให้มีการขยายพื้นที่เกษตรกรรมมากขึ้นเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทั้งนี้ เนื่องจากการพัฒนาด้านเศรษฐกิจสังคม ซึ่งเป็นปัจจัยขับเคลื่อนที่ช่วยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของเมือง การเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรม และความต้องการอาหาร/สินค้าการเกษตรที่มากขึ้น สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติ และการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ การดูแลรักษาทรัพยากรธรรมชาติ รวมทั้งการจัดการปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ซึ่งเป็นการตอบสนองความต้องการด้านการค้าการลงทุนด้านสังคม ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านการบริหารจัดการ

จังหวัดอุดรธานีเป็นศูนย์กลางเศรษฐกิจโดยมีอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจที่จัดอยู่ในลำดับที่ 1 ของกลุ่มจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน มีผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) พ.ศ. 2558 มีมูลค่า 98,757 ล้านบาท อีกทั้งเป็นที่ตั้งตลาดสินค้าการเกษตรที่ใหญ่ที่สุดของภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตลาดเมืองทองเจริญศรี ตั้งอยู่ริมถนนนิตโย บนเนื้อที่ 97 ไร่ มูลค่าการค้าหมุนเวียนเฉลี่ยต่อวันประมาณ 109 ล้านบาท มีสินค้าการเกษตรทั้งในประเทศและจากประเทศจีน กลุ่มประเทศลุ่มแม่น้ำโขงหรือ Greater Mekong Subregion (GMS) การเติบโตอย่างต่อเนื่องทางเศรษฐกิจของอุดรธานี ส่วนหนึ่งมาจากปัจจัยสนับสนุนสำคัญ คือ การเป็นจุดยุทธศาสตร์ในด้านการคมนาคมขนส่ง ทั้งรถ ราง และอากาศ โดยจังหวัดอุดรธานีมีเส้นทางคมนาคมเชื่อมต่อกับจังหวัดหนองคาย ผ่านสะพานมิตรภาพไทย - สปป.ลาว ส่งผลให้นิยมเข้ามาจับจ่ายใช้สอยในจังหวัดอุดรธานี ทำให้เกิดโอกาสในด้านตลาดสินค้าและบริการตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 และนโยบายรัฐบาลส่งเสริมเกษตรปลอดภัย อาหารปลอดภัย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงความโดดเด่นทางการท่องเที่ยวของอุดรธานี มีทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ ธรรมชาติ และวัฒนธรรม (สำนักงานจังหวัดอุดรธานี, 2562)

ด้านเศรษฐกิจของจังหวัดอุดรธานีจะมีอัตราการอย่างต่อเนื่อง แต่ทว่ายังคงมีความเหลื่อมล้ำ และประชาชนที่อยู่ในภาคการเกษตร มีปัญหาหนี้สินเฉลี่ยระดับสูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อเกษตรกรที่ยังคงใช้วิถีเกษตรดั้งเดิมทำให้เกิดปัญหาด้านประสิทธิภาพการผลิตที่ยังต่ำอยู่มากเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการผลิตเฉลี่ยในระดับประเทศ ไม่ว่าจะเป็นข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา อันเนื่องมาจากสภาพปัญหาดินที่มีความเค็มดินเสื่อมสภาพ และมีสภาพเป็นดินร่วนปนทรายไม่กักเก็บน้ำ ทำให้ประชาชนมีความต้องการพื้นที่มากขึ้นเพื่อการเกษตร ทำให้เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ที่มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งพบว่า จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่ป่าลดลงทุกปี เนื้อที่ป่าไม้คงเหลือ 719,357.86 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 10.40 ของเนื้อที่ทั้งหมด พื้นที่ที่เสี่ยงต่อการบุกรุกทำลายป่าของจังหวัดอุดรธานี เป็นพื้นที่ภูเขาในอำเภอบ้านผือ รองลงมาคือ อำเภอหนองแสง อำเภอน้ำโสม เนื่องจากมีความอุดมสมบูรณ์เหมาะกับการปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น ยางพารา มันสำปะหลัง และอ้อย ทำให้บริเวณภูเขามีความเสี่ยงต่อการพังทลายของดินโคลนและน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ได้ และจากการพัฒนาพื้นฐานทางการเกษตรจังหวัดอุดรธานี เพื่อให้เกิดการพัฒนาไปสู่ความสำเร็จโดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มจำนวนพื้นที่การเกษตรที่ได้รับประโยชน์จากการพัฒนาให้มากขึ้น ต้องมีข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินให้มีความเหมาะสมกับสถานการณ์ทางด้านเศรษฐกิจหรือนำไปวิเคราะห์ร่วมกับการคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต ให้

สอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจและยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580) เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนของจังหวัดต่อไป

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในหลายช่วงเวลานั้นมีความสำคัญ เนื่องจากสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินและการจัดการเชิงพื้นที่ในอนาคต ในอดีตเป็นการยากที่จะได้มาซึ่งข้อมูลและเป็นเรื่องมีความยุ่งยากซับซ้อน แต่ปัจจุบันการนำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลเข้ามาใช้ในการศึกษา ทำให้สามารถแปลความหมายการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายจากดาวเทียมซึ่งสามารถบันทึกได้ในบริเวณกว้าง เนื่องจากข้อมูลจากดาวเทียมเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการจำแนกการใช้ที่ดินแบบหลายช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพสูงมีการรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ในอดีตเปรียบเทียบกับข้อมูลปัจจุบันเพื่อติดตามและตรวจสอบของการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาได้อย่างรวดเร็วและมีความละเอียดถูกต้อง (ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาส, 2557) การศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat ร่วมกับแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) ที่สามารถคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้โดยอาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินสองช่วงปี และปัจจัยขับเคลื่อนต่างๆ ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลอง Markov Chain Model นิยมใช้ในอดีต เช่น วราภรณ์ (2545) ใช้ในการคาดคะเนแนวโน้มสภาพการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำปิง-วัง เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านการแสดงผลเชิงพื้นที่ และไม่ได้รวมปัจจัยแวดล้อมด้วย สำหรับแบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายพื้นที่ทำงานเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่โดยอาศัยความเหมาะสมของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในพื้นที่ ตามปัจจัยขับเคลื่อนที่เกี่ยวข้อง การศึกษานี้ได้อิงหลักการและเทคนิคของ Eastman (2012) โดยแบบจำลองนี้สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง ศักยภาพการเปลี่ยนแปลง และการคาดการณ์ (ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ และคณะ, 2556) ด้วยการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีตสูงของจังหวัดอุดรธานี การทราบข้อมูลล่วงหน้าเพื่อช่วยในการบริหารจัดการพื้นที่ และการพัฒนาชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถนำไปสู่การวางแผนพัฒนาและการจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างมีระบบ และนำข้อมูลไปใช้เป็นกรอบแนวทางในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในทิศทางที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพจากวิสัยทัศน์และข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่มีความสอดคล้องกับการพัฒนาทางเศรษฐกิจของจังหวัดอุดรธานีต่อไป

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของ จังหวัดอุดรธานี โดยมีวัตถุประสงค์ย่อย ดังนี้

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

ความสำคัญของงานวิจัย

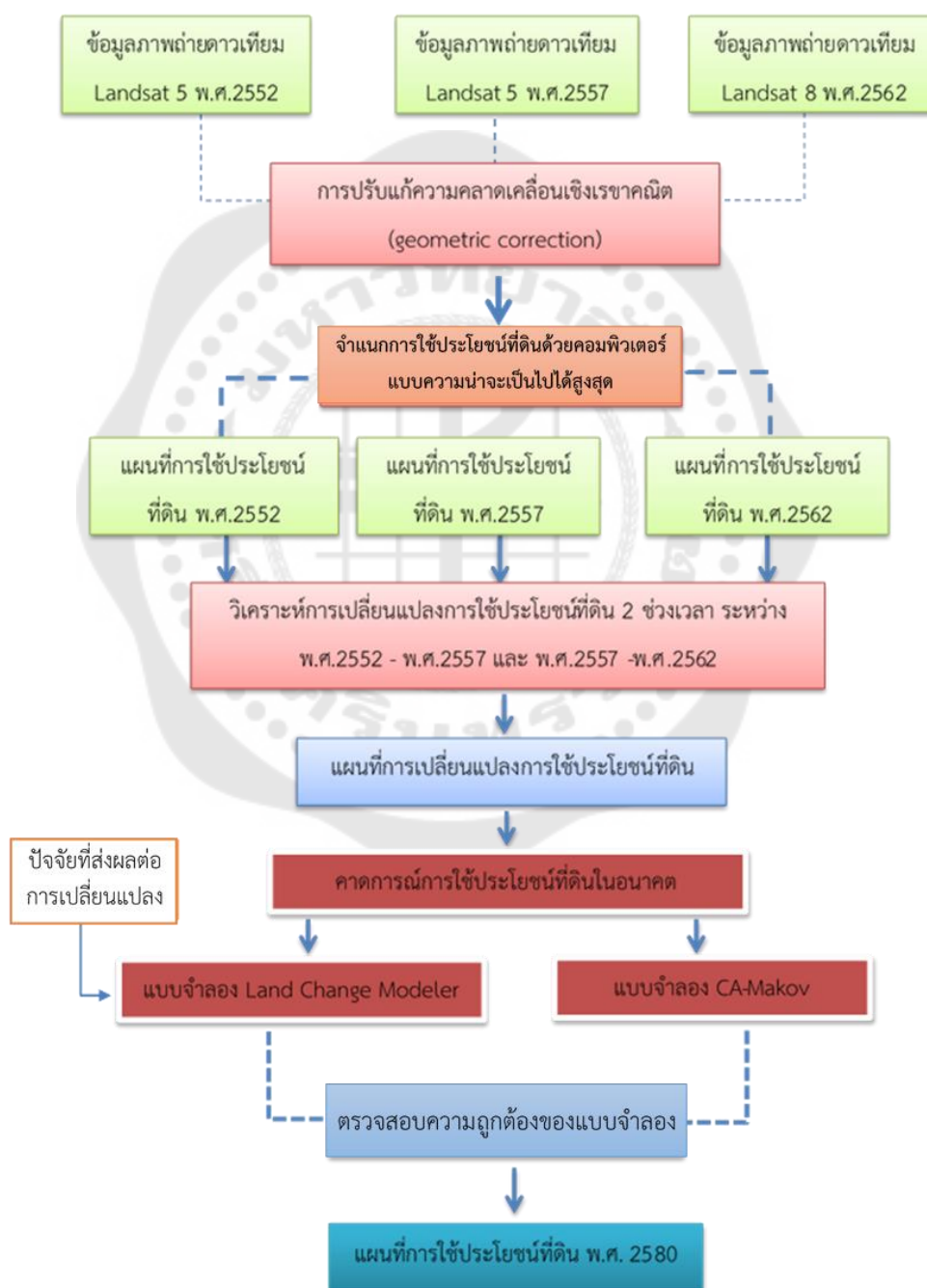
1. ได้แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดอุดรธานีและทราบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน
2. ทราบแบบจำลองที่เหมาะสมในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน
3. สามารถนำไปใช้วางแผนการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2580 และกำหนดเป็นกรอบแนวทางในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในทิศทางที่เหมาะสม และมีข้อมูลเพียงพอในการสนับสนุนการตัดสินใจที่สอดคล้องกับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและยุทธศาสตร์การพัฒนาของ จังหวัดอุดรธานี ที่ถูกกำหนดไว้ในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580)

ขอบเขตของการวิจัย

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

กรอบแนวคิดในการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำเทคนิคและข้อมูลการสำรวจระยะไกลซึ่งเป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมใช้ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและติดตามการเปลี่ยนแปลง และได้นำแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดอุดรธานี ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ศึกษา
2. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
3. เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกล
4. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พื้นที่ศึกษา

1.1 ขอบเขตการปกครอง

จังหวัดอุดรธานี ตั้งอยู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่มากเป็นอันดับที่ 4 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีเนื้อที่ของจังหวัดประมาณ 11,730.302 ตร.กม. หรือประมาณ 7,331,438.75 ไร่ ตั้งอยู่ละติจูดที่ 17 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 103 องศาตะวันออก มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดข้างเคียง ดังนี้ (ภาพประกอบ 2)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ จังหวัดหนองคาย
ทิศใต้	ติดต่อกับ จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดกาฬสินธุ์
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ จังหวัดสกลนคร และจังหวัดกาฬสินธุ์
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ จังหวัดหนองบัวลำภู และจังหวัดเลย

1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบ มีแนวทิวเขาภูพานวางตัวเป็นแนวยาวในแนวทิศเหนือ – ไปทางทิศใต้ ซึ่งเป็นเส้นกั้นเขตแดนธรรมชาติกับจังหวัดข้างเคียง และมีลำห้วยหมากแข้งไหลผ่าน เขตเทศบาลนครอุดรธานี และอยู่ห่างจากแนวพรมแดนธรรมชาติระหว่างประเทศ ได้แก่ แม่น้ำโขงเป็นแนวพรมแดน ทางด้านฝั่งซ้ายเป็นประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ที่ห่างจากตัวจังหวัดประมาณ 50 กิโลเมตร จังหวัดใกล้เคียงเดินทางติดต่อทางรถยนต์เป็นส่วนมากที่มีสภาพโครงข่ายถนนเป็นแบบใยแมงมุม ติดต่อกับเส้นทางเข้าออกได้ทุกทิศทาง

1.3 ลักษณะภูมิอากาศ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีภูเขาล้อมรอบทางด้านทิศตะวันออก และด้านทิศใต้ ได้แก่ ภูเขาเพชรบูรณ์และดงพญาเย็น อยู่ทางตะวันตก ภูเขาสันกำแพง และพนมดงรัก ที่อยู่ทางทิศใต้ ทำให้เกิดฝนจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อย ส่วนมากเป็นฝนที่เกิดจากพายุดีเปรสชัน ที่เคลื่อนผ่านเข้ามาในระหว่างเดือนสิงหาคม - กันยายน มีปริมาณฝนเฉลี่ย ปีละ 1,400 – 1,600 มิลลิเมตร มีอากาศค่อนข้างรุนแรง โดยมีอากาศร้อนมากในฤดูร้อนและอากาศหนาวเย็นในฤดูหนาว (สถานีอุตุนิยมวิทยาอุดรธานี, 2533)

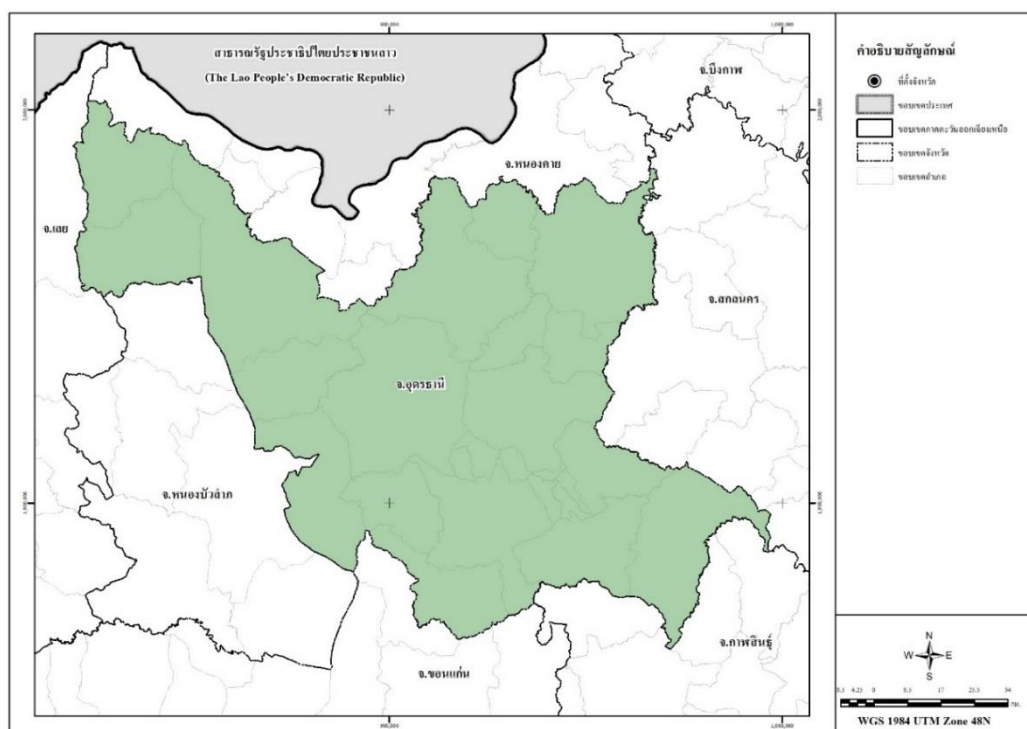
ความเร็วลมและทิศทางลมในพื้นที่จังหวัด รับผิดชอบของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม กระแสลมมีความเร็วเฉลี่ยแต่ละเดือนอยู่ระหว่าง 2.1 - 2.5 น็อต (4.0 - 4.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) สำหรับช่วงประมาณเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละเดือนระหว่าง 1.9 - 2.2 น็อต (3.45 - 4.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ค่าความเร็วลมสูงสุดตรวจวัดได้ในคาบ 35 ปี เท่ากับ 70 น็อต (128 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

1.4 เศรษฐกิจ

เศรษฐกิจของจังหวัดอุดรธานี ขึ้นอยู่กับการขายส่ง การขายปลีกด้านเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม โดยมีผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ใน พ.ศ. 2559 มีมูลค่า 137,907 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจาก 130,437 ล้านบาท ในปีที่ผ่านมา เท่ากับ 7,470 ล้านบาท โครงสร้างการผลิตของจังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วย ภาคเกษตร สัดส่วนร้อยละ 12.9 และภาคนอกเกษตร สัดส่วนร้อยละ 87.1 โดยสาขาการผลิตที่สำคัญของจังหวัดอุดรธานี 5 อันดับแรก ได้แก่ สาขาการขายส่ง การขายปลีก เกษตรกรรม การเงิน อุตสาหกรรม และบริการอสังหาริมทรัพย์ สัดส่วนร้อยละ 20.4 12.6 12.1 11.8 และ 10.2 ตามลำดับ แนวโน้มเศรษฐกิจการเกษตร พ.ศ. 2561 คาดว่ามีการขยายตัว ร้อยละ 3.5 - 4.5 ซึ่งมีปัจจัยสนับสนุน ได้แก่ การดำเนินนโยบายด้านการเกษตรให้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนภายใต้โครงการของภาครัฐ อาทิ ระบบส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร การปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชในพื้นที่เหมาะสม zoning ข้าวครบวงจร บริหารจัดการน้ำ ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ประกอบกับภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของโลกปรับตัวดีขึ้น ประเทศคู่ค้าสั่งซื้อสินค้าเกษตรไทยมากขึ้น ส่งผลให้ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรจังหวัด อุดรธานี พ.ศ. 2561 ขยายตัวร้อยละ 3.8 (สำนักงานคลังจังหวัดอุดรธานี, 2560)

1.5 ข้อมูลด้านป่าไม้

จังหวัดอุดรธานีมีพื้นที่รวม 11,730.30 ตร.กม. เป็นพื้นที่ป่าไม้ 1,847 ตร.กม. หรือร้อยละ 15.75 เป็นป่าสงวนแห่งชาติ จำนวน 21 ป่า ครอบคลุมพื้นที่ 2,908,723.5 ไร่ วนอุทยาน 5 แห่ง ชนิดป่าป่าเป็นชนิดป่าแดงหรือป่าโคก (ป่าเต็ง – รัง) ส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่บนที่สูงอยู่บนภูเขาทางด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกเฉียงใต้ อำเภอน้ำโสม อำเภอหนองวัวซอ อำเภอกุดจับ อำเภอบ้านผือ อำเภอกุมภวาปี และอำเภอสว่างสามหมอก (สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 6 อุดรธานี, 2552)



ภาพประกอบ 2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

2. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.1 ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

เป็นระบบสารสนเทศ ที่รวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบ สามารถทำการสืบค้นและการปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ใช้ประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้ โดยสามารถทำการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ที่ยังมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) สำหรับอธิบายรายละเอียดของวัตถุ ปรากฏการณ์ต่างๆ และคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่ นั้นๆ ซึ่งจะทำให้การใช้ข้อมูลมีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบของคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และวิธีการ ที่ออกแบบมาเพื่อการจัดเก็บ การจัดการ การจัดทำ วิเคราะห์ข้อมูล สร้างแบบจำลอง และการแสดงผล ข้อมูลในลักษณะเชิงพื้นที่ เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนและปัญหาในการจัดการที่มีความยุ่งยากซับซ้อน (U.S. Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography, 1988)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึงกระบวนการหรือวิธีการในการใช้คอมพิวเตอร์ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ข้อมูล และการออกแบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สำหรับการเสริมสร้างการจัดเก็บ การปรับปรุง การคำนวณข้อมูล และการวิเคราะห์อย่างมีประสิทธิภาพ ให้สามารถแสดงผลของข้อมูลที่ อ้างอิงเชิงพื้นที่ในทางภูมิศาสตร์ (สุระ พัฒนะเกียรติ, 2546)

ซึ่งโดยสรุป ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ และข้อมูล โดยที่ระบบมีความสามารถในการรวบรวม จัดการ ประมวลผล วิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ และช่วยให้การตัดสินใจมีประโยชน์ได้มากที่สุด

2.2 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีองค์ประกอบหลัก 5 ส่วนใหญ่ ได้แก่ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (hardware) โปรแกรม (software) ขั้นตอนการทำงาน (methods) ข้อมูล (data) และบุคลากร (people) โดยมีรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย, ม.ป.ป.)

2.2.1 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่อต่างๆ ใช้ ในการนำเข้าข้อมูล ประมวลผล และแสดงผลลัพธ์ของการทำงาน เช่น เครื่องดิจิทัล เครื่องกราฟ ภาพ เครื่องพิมพ์ภาพ หรืออื่นๆ

2.2.2 โปรแกรม คือ ชุดคำสั่งที่สั่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานตามขั้นตอนที่ได้ ตั้งไว้ เช่น โปรแกรม ArcGIS QGIS และอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานและเครื่องมือที่ จำเป็นต่างๆ สำหรับการนำเข้าและการปรับแต่งข้อมูล รวมถึงการจัดการระบบฐานข้อมูล ที่ สามารถเรียกค้น วิเคราะห์ และการสร้างแบบจำลองภาพข้อมูล

2.2.3 บุคลากร คือ ผู้ปฏิบัติงานซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น บันทึกข้อมูลและส่งเข้าประมวลผลกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ผู้ดูแลระบบฐานข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญทำ การวิเคราะห์ เพื่อช่วยให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจจากการใช้ข้อมูลได้ บุคลากรเป็นองค์ประกอบที่ สำคัญที่สุดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เนื่องจากหากขาดบุคลากร ข้อมูลที่มีอยู่มาก จะเป็น เพียงข้อมูลที่ไม่มีคุณค่า เพราะไม่ได้ถูกนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์

2.2.4 ข้อมูล คือ สิ่งที่มีอยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น และเป็นสิ่งที่ต้องป้อนให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลเป็นผลลัพธ์ออกมาเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูล โดยได้รับการดูแลจากระบบจัดการฐานข้อมูล (database management system) หรือ DBMS

2.2.5 วิธีการหรือขั้นตอน คือ วิธีการที่องค์กรนั้นๆ นำเอาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ไปใช้งาน โดยแต่ละองค์กรย่อมมีความแตกต่างกันออกไป ฉะนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องเลือกวิธีการในการจัดการกับปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับของหน่วยงานนั้นๆ

2.3 ลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

สามารถจำแนกได้ 2 รูปแบบ คือข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลเชิงบรรยาย

1. ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นข้อมูลเกี่ยวกับรูปทรง และตำแหน่งจากพื้นโลกจริง จะถูกนำเสนอในรูปของจุด (point) เส้น (line) และรูปหลายเหลี่ยม (polygon)

2. ข้อมูลเชิงบรรยาย เป็นข้อมูลตารางที่จะอธิบายถึง ลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่

2.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.4.1 การนำเข้าข้อมูล (input) การนำเข้าข้อมูลทางภูมิศาสตร์โดยข้อมูลนั้นอาจเป็นการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ต้นแบบ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ ให้อยู่ในรูปของดิจิทัลจะถูกใช้งานได้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น จากแผนที่กระดาษไปสู่ข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลหรือเพิ่มข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ในการนำเข้า เช่น เครื่องดิจิทัลไทซ์ หรือ แป้นพิมพ์ เป็นต้น

2.4.2 การปรับแต่งข้อมูล (data manipulation) ข้อมูลที่ได้นำเข้าสู่ระบบจำเป็นต้องได้รับการปรับแต่งให้เหมาะสมกับงาน ซึ่งการคำนวณและวิเคราะห์ผลข้อมูลหลายรูปแบบ และมีการปรับปรุง ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูลนั้นๆ ข้อมูลต้องได้รับการปรับให้อยู่ในขนาดเดียวกันเสียก่อน เช่น ข้อมูลบางอย่างมีมาตราส่วน (scale) ที่แตกต่างกัน การใช้ระบบพิกัดแผนที่ที่แตกต่างกัน

2.4.3 การบริหารข้อมูล (data management) และระบบจัดการฐานข้อมูล (database management system หรือ DBMS) นำมาใช้ในการบริหารข้อมูลเพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพ สำหรับ DBMS ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่มีความเชื่อถือและนิยมใช้กัน คือ DBMS แบบ Relational หรือระบบจัดการฐานข้อมูลแบบสัมพันธ์ (relational DBMS) ซึ่งมีหลักการทำงานพื้นฐาน คือ ข้อมูลจะถูกจัดเก็บในรูปของตาราง (Table) หลายๆ ตารางที่มีความสัมพันธ์กัน ในแต่ละตารางแบ่งออกเป็นแถวๆ และในแต่ละแถวจะแบ่งเป็นคอลัมน์

2.4.4 การเรียกค้นและวิเคราะห์ข้อมูล (data query and analysis) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความพร้อมของข้อมูลแล้ว ขั้นตอนถัดไป คือ การนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น จุดสองจุดมีระยะห่างกันกี่เมตร ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช หรือต้องมีการสอบถามอย่างง่าย ๆ โดยใช้เมาส์เลื่อนไปในบริเวณที่เลือก (point and click) เพื่อเรียกค้นข้อมูล นอกจากนี้มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น การวิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูล (overlay analysis) และการวิเคราะห์เชิงประมาณค่า (proximity analysis หรือ buffer) เป็นต้น

2.4.5 การนำเสนอข้อมูล (data visualization) เป็นวิธีการแสดงผลของข้อมูล และข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถทำการเสนอข้อมูลให้ดียิ่งขึ้น เช่น การนำเสนอภาพถ่ายจากสถานที่จริง การนำเสนอภาพเคลื่อนไหว ข้อมูลแผนที่ หรือระบบสื่อต่าง ๆ จะทำให้ผลลัพธ์ที่กำลังนำเสนอสามารถเข้าใจความหมายและมองภาพของได้ดียิ่งขึ้น และเป็นการดึงดูดความสนใจของผู้ฟังอีกด้วย

3. แนวคิดด้านการรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียม

3.1 ความหมาย

การรับรู้จากระยะไกล (remote sensing) หมายถึง การได้มาของข้อมูล (data acquisition) โดยใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในการบันทึกภาพอุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และกระบวนการในการสกัดสารสนเทศ (information extraction) ต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล โดยองค์ประกอบทั้งสองส่วน เริ่มจากการที่ได้ทำการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูล การได้ข้อมูลสารสนเทศต่างๆ จากเครื่องบันทึกข้อมูล ไปจนถึงการนำข้อมูลใช้สนับสนุนการตัดสินใจมีรายละเอียดในแต่ละองค์ประกอบ ดังนี้ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552)

- องค์ประกอบของการได้ข้อมูล ประกอบด้วย แหล่งพลังงานที่ทำหน้าที่ในการปฏิสัมพันธ์กับพื้นผิวหรือวัตถุบนพื้นโลกด้วยระบบของการตรวจวัด และระบบการบันทึกข้อมูล

- องค์ประกอบการสกัดข้อมูล เพื่อเป็นการวิเคราะห์และทำการประมวลผล มีขั้นตอนต่างๆ คือ การปรับแก้ข้อมูล และการพิมพ์ภาพเบื้องต้น (data pre-preprocessing and printing) การแปล ตีความ (interpretation) ซึ่งจะต้องใช้ความรู้และความเข้าใจพื้นฐานของผู้แปล และจากการตรวจสอบข้อมูลภาคสนาม เพื่อทำแผนที่และจัดการสารสนเทศต่อไป

การรับรู้จากระยะไกล หรือ รีโมทเซนซิง เป็นวิทยาศาสตร์ และศิลปะ ของการได้มาของข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที หรือปรากฏการณ์จากเครื่องบันทึกข้อมูล (remote sensor) โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุ หรือพื้นที่เป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูล 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (spectral) รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนพื้นโลก (spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามแต่ละช่วงเวลา (temporal) ข้อมูลต่างๆที่ได้รับนั้นจะทำการวิเคราะห์ และจัดการเพื่อให้สามารถแปลตีความหมายของข้อมูลให้สะดวกยิ่งขึ้น อาจดำเนินการได้โดยการแปลด้วยสายตา หรือการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการข้อมูล และผู้ใช้ที่หลากหลาย สามารถนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ ความก้าวหน้าของวิทยาการด้านรีโมทเซนซิงในปัจจุบัน ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกนับวันมีความสำคัญมากขึ้นเนื่องจากวิวัฒนาการไปอย่างรวดเร็วของข้อมูลการสำรวจที่ได้จากดาวเทียม ทั้งในเรื่องการเก็บบันทึกและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเฉพาะในเรื่องของความละเอียดเชิงพื้นที่และความละเอียดเชิงคลื่น ของระบบบันทึกข้อมูลที่มีการพัฒนาปรับปรุง ทำให้เกิดความหลากหลายในการนำไปใช้ในด้านต่างๆ เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลจากดาวเทียมเป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบันสามารถใช้เป็นข้อมูลในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ได้เป็นปัจจุบัน เนื่องจากการบันทึกข้อมูลเป็นระบบทั้งในด้านเวลา ช่วงคลื่น และเชิงพื้นที่ ข้อมูลจากดาวเทียมบันทึกเป็นข้อมูลเชิงเลข ทำให้สามารถนำไปผลิตและวิเคราะห์ภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์โดยตรง อีกทั้งยังสามารถนำไปผสมผสานกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (จริญธร บุญญานุภาพ, 2557)

3.2 ดาวเทียม Landsat

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่สำคัญที่นำมาใช้ในงานสำรวจจากระยะไกล มักออกแบบตามลักษณะการใช้งาน เพื่อให้เกิดความสะดวกในการเลือกดาวเทียมมาใช้ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งดาวเทียมที่สำคัญ ได้แก่ ดาวเทียม Landsat เป็นดาวเทียมที่ได้รับการออกแบบเพื่อสำรวจทรัพยากรธรรมชาติโดยเฉพาะ โดยมีจุดมุ่งหมาย ดังนี้

3.2.1 บันทึกภาพหลายช่วงคลื่น (multispectral) ของผิวโลก

3.2.2 ทำการจัดเก็บและถ่ายทอดข้อมูลจากสถานีวัดระบบอัตโนมัติ ณ จุดต่างๆ บนภาคพื้นดิน (data collection system)

3.2.3 สามารถวัดค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่นต่างๆ สำหรับนำไปใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลแบบอัตโนมัติ

3.2.4 พัฒนาวิธีการผลิตข้อมูลสำหรับเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลให้อยู่ในลักษณะภาพถ่ายที่ใช้งานได้

ดาวเทียม Landsat 5 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อ พ.ศ. 2535 โดยมีระดับโคจรสูงเหนือพื้นโลก 705 กิโลเมตร และความถี่ในการบันทึกภาพบริเวณเดียวกันแต่บันทึกทีละช่วงเวลาทุก 16 วัน และมีระบบ Thematic Mapper (TM) สามารถบันทึกค่าสีเทาได้ 256 ระดับใน 7 ช่วงคลื่น และมีการปรับปรุงรายละเอียดของภาพให้ดีขึ้น มีการปรับลดการกระจายของแสงลงได้คุณสมบัติที่ดี มีความละเอียดช่วงคลื่นแสง (spectral resolution) แคบลง โดยมีรายละเอียดของภาพสูงขึ้น คือ 30 เมตร ในทุกช่วงคลื่น เว้นช่วงคลื่นความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดของภาพ 120 เมตร (0.45 - 0.52 ไมโครเมตร 1.55 - 1.75 ไมโครเมตร 10.40 - 12.50 ไมโครเมตร และ 2.08 - 2.35 ไมโครเมตร) สามารถเลือกช่วงคลื่นที่เหมาะสมมาวิเคราะห์ได้ดียิ่งขึ้น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาทรัพยากรโลก

ดาวเทียม Landsat 8 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รับการพัฒนาโดยความร่วมมือระหว่างองค์การ NASA และ USGS (U.S. Geological Survey) ส่งขึ้นสู่วงโคจรวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2556 โคจรสูงเหนือพื้นโลก 705 กิโลเมตร ดาวเทียม Landsat 8 โคจรซ้ำตำแหน่งเดิมทุกๆ 16 วัน ความกว้างของแนวถ่ายภาพ 185 กิโลเมตรประกอบด้วยระบบบันทึกภาพ 2 ชนิด คือ Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) มีทั้งหมด 11 ช่วงคลื่นซึ่งให้รายละเอียดจุดภาพ 30 เมตร (visible, NIR, SWIR) 100 เมตร (thermal) และ 15 เมตร (panchromatic) ดังตาราง 1

ตาราง 1 คุณลักษณะของข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 5 และ 8

ดาวเทียม	ระบบบันทึกข้อมูล	รายละเอียดภาพ	ช่วงคลื่น/ความถี่	ความสูงการโคจร	ความกว้างของภาพ	บันทึกข้อมูลซ้ำ
LANDSAT 5	Thematic Mapper	30 ม.	B1 0.45 - 0.52	705 กม.	185 กม.	16 วัน
			B2 0.52 - 0.60			
			B3 0.60 - 0.69			
			B4 0.77 - 0.90			
			B6 10.40 - 12.50			
			B7 2.08 - 2.35			
	Multispectral Scanner	80 ม.	B4 0.5 - 0.6			
			B5 0.6 - 0.7			
			B6 0.7 - 0.8			
			B7 0.8 - 1.1			
LANDSAT 8	Operational Land Imager	30 ม.	B1 0.45 - 0.52	705 กม.	185 กม.	16 วัน
			B2 0.45 - 0.52			
			B3 0.52 - 0.60			
			B4 0.60 - 0.69			
			B5 0.77 - 0.90			
			B6 1.55 - 1.75			
			B7 10.40 - 12.50			
		15 ม.	B8 2.08 - 2.35			
		30 ม.	B9 2.08 - 2.35			
	Thermal Infrared Sensor	100 ม.	B10 0.5 - 0.6			
			B11 0.6 - 0.7			

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2562. ออนไลน์)

3.3 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (image classification)

การจำแนกเป็นการแบ่งของจุดภาพต่างๆ ตามประเภทข้อมูล ที่มีคุณสมบัติลักษณะการสะท้อนคล้ายกันให้เป็นกลุ่ม เป็นระดับ ที่สามารถเรียกได้ว่าชนิดหรือประเภท เป็นการจำแนกข้อมูลจุดภาพทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา เพื่อแบ่งแยกวัตถุ ที่แสดงในภาพออกจากกัน โดยใช้ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวกำหนดความแตกต่างระหว่างกลุ่มจุดภาพ โดยที่จุดภาพนั้นจัดให้อยู่กลุ่มเดียวกันโดยมีลักษณะในทางสถิติเฉพาะกลุ่มเป็นไปในแนวทางเดียวกัน สิ่งปกคลุมพื้นดินประเภทใดประเภทหนึ่งที่แตกต่างกันไปนั้นจะแสดงถึงกลุ่มจุดภาพที่จำแนกได้

การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ เป็นการจำแนกจุดภาพที่มีสมบัติการสะท้อนแสงเหมือนกันออกเป็นกลุ่มหรือเป็นระดับเดียวกัน สามารถเรียกว่า ชนิดหรือประเภท เพื่อที่จะจำแนกวัตถุที่แสดงในข้อมูลภาพออกมาได้ ในการจำแนกประเภทข้อมูล ต้องใช้การตัดสินใจ หรือความรู้ทางสถิติในการจำแนกของผู้ปฏิบัติเอง เนื่องจากจำนวนจุดภาพที่รวมกันเป็นพื้นที่ศึกษา มีจำนวนจุดภาพมากจึงมีการนำเอาความสามารถของคอมพิวเตอร์มาช่วยในการประมวลผลการคำนวณทางสถิติเอง ทำให้ได้ผลในเวลาอันรวดเร็ว และทำการตรวจสอบความถูกต้องได้ทันที ซึ่งการใช้เครื่องคิดเลข ใช้เวลามากและอาจเกิดความผิดพลาดได้

การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification) และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพทั้งสองวิธีให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพนั้น ก่อนเริ่มจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียม ควรศึกษาสถิติของข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่น ทั้งนี้เพื่อให้ได้ช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการใช้จำแนกประเภทข้อมูลภาพ

3.3.1 การจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม

การจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม เป็นการจำแนกข้อมูลที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดลักษณะของประเภทข้อมูลเอง โดยเป็นผู้เลือกตัวอย่างประเภทข้อมูลให้แก่เครื่อง ซึ่งเรียกการจำแนกนี้ว่าเป็นวิธีแบบควบคุมโดยผู้วิเคราะห์ต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด ข้อมูลตัวแทนหรือข้อมูลตัวอย่างที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดนั้นได้จากการตีความภาพดาวเทียมด้วยสายตาโดยใช้ประสบการณ์ ความรู้ ความเข้าใจที่มีอยู่ และมีวิธีการต่างๆ ที่ช่วยในการตีความหมาย โดยการทำการสำรวจภาคสนาม รวมถึงการใช้ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายต่างๆ และค่าสถิติอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความถูกต้องตามระบบการจำแนก โดยการเลือกตัวอย่างที่มีข้อมูลทางสถิติที่เป็นการกำหนดลักษณะของข้อมูล ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ลักษณะทางสถิติของพื้นที่ไปทำการประมวลผลข้อมูลภาพ และทำการจำแนกแต่ละจุดภาพของข้อมูลให้เป็นประเภทข้อมูลตามที่

ผู้ใช้งานกำหนดตามพื้นที่นั้นๆ ผู้ใช้จะต้องมีความรู้ในพื้นที่ศึกษาเป็นอย่างดี โดยจากการศึกษาจากข้อมูลประกอบตลอดจนการสังเกตลักษณะเชิงกายภาพ (physical characteristics) ของประเภทข้อมูลดังที่กล่าว ซึ่งการจำแนกวิธีนี้จะต้องมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ ที่มีความหลากหลายและครอบคลุมทุกประเภท เป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูลหรือไม่

ก. การเลือกตัวอย่างประเภทข้อมูล (sampling of training data) เป็นสิ่งจำเป็นต่อการจำแนกข้อมูลแบบควบคุม การเลือกพื้นที่ตัวอย่างต้องมีความช่างสังเกตของผู้ปฏิบัติที่เข้าใจลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นอย่างดี และควรแยกประเภทให้ละเอียด ครอบคลุมทุกลักษณะทางกายภาพของการใช้ที่ดิน โดยมีหลักการในการเลือกพื้นที่ตัวอย่าง ดังนี้

- 1) การเลือกตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของประเภทการใช้ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดินที่เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดในชั้นจำแนกประเภทนั้นๆ
- 2) การเลือกแปลงพื้นที่ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทเดียวกันมีการกระจายทั่วพื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นๆ
- 3) การเลือกจำนวนจุดภาพที่ปรากฏในภาพต่อตัวอย่างประเภทการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ควรจะประกอบด้วยจุดภาพไม่ต่ำกว่า 30 จุดภาพ เพื่อให้มีตัวแทนในด้านสถิติมีลักษณะการกระจายแบบปกติ
- 4) การเลือกประเภทตัวอย่างมีลักษณะเป็นเอกพันธ์ (homogeneous) หรือมีสีกลุ่มเดียวกัน เพื่อเป็นการลดการปะปนของข้อมูลกับประเภทอื่น พื้นที่ของข้อมูลที่ดีที่เป็นตัวอย่างนั้นจะต้องมีความเป็นเนื้อเดียวกันมาก

การเลือกพื้นที่ตัวอย่างทำได้โดยการเลือกขอบเขตพื้นที่ตัวอย่างที่ต้องการเลือกจากหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อได้ขอบเขตของพื้นที่ตัวอย่างของทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การเลือกตัวอย่างของข้อมูลจากช่วงคลื่นที่จะใช้ในการประมวลผลภาพดาวเทียม ประเภทของข้อมูลตัวอย่างแต่ละช่วงคลื่นจะมีค่าสถิติที่ต่างกัน ซึ่งนำมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ และทำการประเมินได้ว่าตัวอย่างข้อมูลที่ได้ทำการเลือกมาตามช่วงคลื่นนั้น มีความน่าเชื่อถือ และเป็นตัวแทนที่ดีหรือไม่ สถิติที่สำคัญ คือ ค่าการสะท้อนต่ำสุด-สูงสุดของประเภทการใช้ที่ดินนั้น ค่าสะท้อนเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่าความแปรปรวนร่วม และค่าสหสัมพันธ์

ข. การศึกษาลักษณะทางสถิติของพื้นที่ตัวอย่าง

สำหรับข้อมูลภาพจากดาวเทียมแต่ละจุดภาพนั้นจะมีค่าเป็น 3 มิติ คือ ค่าพิกัดตั้ง (i) ค่าพิกัดแนวนอน (j) และความสว่างของจุดภาพ (BV) โดยที่แต่ละจุดภาพมีลักษณะความสว่างแตกต่างกันตามแต่ละช่วงคลื่นเป็นลักษณะของเวกเตอร์จุดภาพ ดังนี้

$$\begin{array}{l} \text{การวัดค่าเวกเตอร์ (Xc)} \\ \text{ตามตำแหน่งของ 1 จุดภาพ (i,j)} \\ \text{ตามค่าความสว่าง (BV)} \\ \text{ในช่วงคลื่นต่างๆ (k = 1-k)} \end{array} \left| \begin{array}{l} BV_{ij1} \\ BV_{ij2} \\ BV_{ij3} \\ BV_{ij4} \\ BV_{ijk} \end{array} \right|$$

ค่าสถิติของพื้นที่ตัวอย่างที่ของข้อมูลที่เป็นที่นิยมในการนำมาวิเคราะห์ ได้แก่

1) ค่าสะท้อนเฉลี่ย จากจุดภาพของแต่ละพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ลักษณะบ่งชี้ เพื่อดูความแตกต่าง หรือความคล้ายคลึงระหว่างประเภทข้อมูลต่างๆ

2) ค่าความแปรปรวน เป็นการวัดความแตกต่างของข้อมูล โดยทั่วไปค่าความแปรปรวนของวัตถุกลุ่มน้ำจะมีค่าต่ำที่สุด และจะมีลักษณะเป็นเอกพันธ์มาก ค่าความแปรปรวนของพืชพรรณมีมากขึ้น และกลุ่มพื้นที่การค้ำมีค่าความแปรปรวนมากที่สุด เพราะมีการปะปนของวัตถุต่างประเภทกันมากที่สุด

3) ค่าสหสัมพันธ์ มีประโยชน์สำหรับการเลือกช่วงคลื่นที่ใช้ในการคำนวณโดยช่วงคลื่นที่มีความสัมพันธ์สูง จะให้ข้อมูลลักษณะเช่นเดียวกัน เช่น กลุ่มคลื่นตามองเห็นช่วงคลื่นอินฟราเรดกลาง ซึ่งไม่ต้องใช้ช่วงคลื่นทั้งหมด ทำการเลือกใช้ช่วงคลื่นที่มีความสัมพันธ์ต่ำได้ เป็นการลดจำนวนข้อมูลในการคำนวณ ทำให้การคำนวณเร็วมากขึ้น

เมื่อผู้ใช้ทำการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างและทำการวิเคราะห์ค่าสถิติของพื้นที่ตัวอย่างแล้ว ขั้นตอนต่อไปผู้ใช้อาจต้องทำการกำหนดวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ ให้กับคอมพิวเตอร์โดยวิธีการที่นิยมกันมากใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ ได้แก่

ค. กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพ (classification decision rules)

1) กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบระยะห่างต่ำสุด (minimum distance to means) กฎการจำแนกที่ง่ายและทำงานได้เร็วที่สุด ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (Aronoff, 2005) คือ

- การคำนวณค่าเฉลี่ย (DN) ของข้อมูลแต่ละชนิด ตัวอย่างจากทุกช่วงคลื่นนั้นๆ ค่าเฉลี่ยที่ได้ เรียกว่า เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย (mean vector)
- จำนวนจุดภาพที่อยู่ในข้อมูลภาพดาวเทียมที่นำมาทำการจำแนก จะต้องจัดให้อยู่ในชั้นข้อมูลที่ใกล้เคียง mean vector ของชั้นข้อมูลนั้น
- แนวขอบเขตของข้อมูล (data boundary) ถูกกำหนดให้อยู่รอบเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย ดังนั้นหากจุดภาพใดตกอยู่นอกขอบเขตก็就会被จำแนกเป็นค่าที่ไม่ทราบ (unknown)

การจำแนกประเภทข้อมูลแบบระยะห่างต่ำสุด ให้ผลลัพธ์ที่ดีคงเดิม และไม่มีจุดภาพของข้อมูลภาพดาวเทียมที่ไม่ถูกการจำแนก แต่จะมีการคำนวณมากขึ้น และมีความซับซ้อนหลายอย่าง คือการทำงานกับข้อมูลที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันมากจะไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ หากระยะห่างต่ำสุดของจุดภาพ ใกล้เคียงกับกลุ่มประเภทข้อมูลมากกว่า 1 กลุ่ม การจำแนกให้จุดภาพนั้นเข้าไปอยู่ในประเภทข้อมูลหนึ่งอาจมีความผิดพลาดได้

2) กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน (parallelepiped classification or box classifier) เป็นการจำแนกที่นิยมใช้มากที่สุดในงานประมวลผลข้อมูล เพราะทำงานได้รวดเร็ว มีขีดความสามารถในการคำนวณสูง การทำงานของวิธีนี้ เป็นการจำแนกจุดภาพออกโดยกำหนดค่าจำนวนตัวเลขต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละช่วงคลื่น หรือใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เหมือนกับการนำเอากรอบสี่เหลี่ยมไปวางโดยรอบของชั้นข้อมูลตัวอย่าง ในขอบเขตของกรอบสี่เหลี่ยมหนึ่งๆ จุดภาพก็就会被จำแนกตามกลุ่มที่ตกอยู่ มีข้อดีของการจำแนกประเภทข้อมูลแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน คือสามารถคำนวณได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว เนื่องจากการคำนวณไม่ซับซ้อน แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดตรงที่ว่าถ้าเกิดการปะปนของประเภทข้อมูลสูง เพราะค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด บางส่วนของแต่ละประเภทข้อมูลโปรแกรมไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มใดได้เกิดจากการตกอยู่ในช่วงค่าเดียวกัน และเกิดเป็นข้อมูลที่จำแนกประเภทไม่ได้จำนวนมาก ในการจัดจุดภาพให้อยู่ในชั้นข้อมูลประเภทใดนั้นถ้าขอบสี่เหลี่ยมซ้อนกัน ก็จะทำให้ยากต่อการตัดสินใจ การเหลื่อมกันของรูปสี่เหลี่ยมนี้มีโอกาสเกิดขึ้นสูงกับข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์สูง (high correlation) หรือค่าความแปรปรวนร่วมสูง (high covariance) อย่างไรก็ตามสามารถทำการแก้ไขได้โดยการปรับขนาดของกรอบสี่เหลี่ยมให้มีขนาดเล็กลงมีลักษณะคล้ายกับชั้นบันได (Aronoff, 2005)

3) กฎการตัดสินใจเพื่อการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (maximum likelihood classifier) เปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ แล้วนั้นจะพบว่า เป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุดแต่ใช้เวลาในการคำนวณมาก (Paul J. Curran, 1985) หลักการทำงานคือ ครั้งแรก

จะต้องมีการคำนวณเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย ค่าแปรปรวน และค่าสหสัมพันธ์ของช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการจำแนกประเภท ของชั้นข้อมูลจากข้อมูลตัวอย่างโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแต่ละชั้นข้อมูลจะต้องมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ การกระจายตัวของจุดภาพรอบๆ ค่าเฉลี่ย อธิบายได้โดยทฤษฎีของความน่าจะเป็น (Aronoff, 2005)

ข้อเสียเปรียบของการจำแนกประเภทข้อมูลชนิดนี้คือ การใช้เวลาในการคำนวณมาก ในการจำแนกค่าของจุดภาพแต่ละค่าให้อยู่ในประเภทใดประเภทหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำงานกับข้อมูลช่วงคลื่นของภาพดาวเทียม หรือใช้ข้อมูลที่มีกลุ่มค่าการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันจำนวนมาก ดังนั้นการทำงานจึงช้ากว่าวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นปัญหาดังกล่าวสามารถที่จะแก้ไขได้โดยการนำวิธีการต่างๆ มาใช้ เช่น การลดขนาดของข้อมูลโดยวิธีการ PCA หรือ CA ก่อนที่จะนำมาใช้ในการจำแนกประเภท เป็นต้น

3.3.2 การจำแนกประเภทข้อมูลแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification)

การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นวิธีการที่ตัวผู้วิเคราะห์ข้อมูลนั้นไม่ต้องทำการเลือกหรือกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของข้อมูลภาพดาวเทียมออกเป็นแต่ละประเภทให้กับคอมพิวเตอร์ ใช้ในกรณีที่มีข้อมูลไม่เพียงพอในพื้นที่สำหรับการจำแนก หรือผู้ใช้งานในการแปลตีความมีความรู้ไม่เพียงพอและไม่มีแผนที่ในพื้นที่ศึกษา วิธีนี้สามารถทำได้โดยสุ่มตัวอย่างแบบคลัสเตอร์หลายๆ แล้วจึงนำกลุ่มข้อมูลดังกล่าวมาแบ่งเป็นประเภทต่างๆ โดยแต่ละประเภทข้อมูลมีลักษณะเชิงคลื่นที่เหมือนกัน โดยใช้เทคนิคการรวมกลุ่ม (clustering) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ

ก. การรวมกลุ่มแบบลำดับชั้น (hierarchical clustering) จุดภาพของข้อมูลภาพดาวเทียมจะถูกจัดรวมเป็นกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายกัน โดยใช้ระยะห่างเป็นเครื่องวัด เริ่มต้นด้วยการสมมติว่าแต่ละจุดภาพเป็น 1 กลุ่ม จุดภาพที่มีระยะห่างกันน้อยที่สุดก็จะรวมตัวเข้าด้วยกัน จากนั้นจะเป็นการรวมกลุ่มจุดภาพข้อมูลภาพดาวเทียมไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้กลุ่มของข้อมูลตามจำนวนที่กำหนดไว้จึงหยุด

ข. การรวมกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น (non-hierarchical clustering) เริ่มต้นด้วยการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มชั่วคราวจำนวนหนึ่ง หลังจากนั้นภายในแต่ละกลุ่มจะถูกตรวจสอบโดยใช้ตัวแปรหรือระยะห่างที่เลือกมาแล้วเพื่อทำการจัดตำแหน่งใหม่ให้อยู่ในกลุ่มที่เหมาะสมกว่าโดยมีการแบ่งกลุ่มที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของการรวมกลุ่มข้อมูลภาพด้วยวิธีนี้ได้แก่ วิธี ISODATA และวิธี K-mean

4. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

แบบจำลองได้ถูกใช้ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นเวลานานแล้ว โดยแบบจำลองของฟอนเทอเนิน (von Thünen) เป็นแบบจำลองทำเลที่ตั้งที่ได้แสดงลักษณะการใช้ที่ดินทางการเกษตรแบบจำลองแรกของโลกและยังเป็นต้นแบบของแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาของพื้นที่เมือง (ชูเดช โลศิริ, 2559)

การนำแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินมาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่และเวลา เพื่อให้เห็นว่าการจำลองการใช้ที่ดินในเขตเมืองสามารถช่วยให้ความเข้าใจสิ่งที่เกี่ยวข้องกับระบบเมืองที่เกิดขึ้นตลอดเวลาและในการคาดการณ์การเติบโตเชิงพื้นที่ในอนาคต (Herold; Menz; and Clarke, 2001) โดยมีแนวความคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนี้

4.1 แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ (markov chain model)

แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ประยุกต์ทฤษฎีความน่าจะเป็นมาใช้วิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรที่สนใจในปัจจุบัน เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมหรือความเป็นไปของการดำเนินงานของสถานการณ์ของตัวแปรนั้นในอนาคต โดยอาศัยข้อมูลในปัจจุบันเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นและมีความต่อเนื่องกันว่าได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟถูกพัฒนาขึ้นโดยนักคณิตศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ Andrei A. Markov เพื่ออธิบายและพยากรณ์พฤติกรรมของก๊าซในถังปิด ต่อมาได้มีผู้นำแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ มาประยุกต์อธิบายปัญหาต่างๆ เช่น เศรษฐศาสตร์ ประชากรศาสตร์ สาธารณสุข วิศวกรรมศาสตร์ แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟมีสมมติฐานที่สำคัญ ดังนี้

4.1.1 แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสถานะ จากสถานะหนึ่งเป็นสถานะอื่นๆ ของช่วงเวลาหนึ่งนั้น และในระยะยาว

4.1.2 ปัญหาที่จะใช้แบบจำลองมาร์คอฟจะต้องสามารถแจกแจงสถานะ (state) ของบุคคลหรือสิ่งที่กำลังศึกษาได้

4.1.3 ความน่าจะเป็นของสถานะ (state probability) อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงเวลาซึ่งความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจะมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลา ยกเว้นจะมีปัจจัยอื่นมากระทบทำให้ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะเปลี่ยนแปลง

4.1.4 ต้องมีข้อมูลความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ในอนาคตเกี่ยวกับการคงอยู่ในสถานะเดิมหรือเปลี่ยนสถานะใหม่ เรียกความน่าจะเป็นนี้ว่า ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (transition probability)

แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟจะให้ความสนใจกับโอกาสในการเปลี่ยนสถานะของระบบที่กำลังศึกษาว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรในแต่ละช่วงเวลา โดยสามารถที่จะแจกแจงสถานะของระบบที่ทำการศึกษาจากข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน อาศัยหลักสถิติและความน่าจะเป็นมาประยุกต์ในการบ่งบอกถึงสถานะภาพว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เพื่อพยากรณ์อนาคตที่จะเกิดให้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ช่วยให้ผู้พยากรณ์สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ แบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟมีใช้แบบจำลองสำหรับการตัดสินใจโดยตรง แต่เป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเพื่อประกอบการวางแผนที่รองรับต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้นได้

สรุปได้ว่าแบบจำลองลูกโซ่มาร์คอฟ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำหลักของการกระจายความน่าจะเป็นมาใช้กับตัวอย่างที่ได้รับการสุ่มเลือกขึ้นมาจากเหตุการณ์ทั้งหมด เพื่อประเมินค่าของเหตุการณ์ที่ได้เกิดขึ้นมาแล้วในอดีตหรือคาดการณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งมีสมมติฐานที่ว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทั้งในอดีตและปัจจุบันจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลาที่เลือกขึ้นมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ในการหาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินภายในลุ่มน้ำ ซึ่งสามารถศึกษาและทำการวิเคราะห์ได้โดยง่ายด้วยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแต่ละประเภทภายในช่วงระยะเวลาที่กำหนด นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟการเคลื่อนที่ และการกำหนดเมทริกซ์ความน่าจะเป็นแล้วจึงนำ vector ที่เป็นค่าของสัดส่วนการใช้ที่ดินมาคูณด้วย ก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น vector ของสัดส่วนการใช้ที่ดินที่เกิดขึ้นในช่วงอนาคต

4.2 แบบจำลองมาร์คอฟเซลลูลาอโตมาตา (Markov Cellular Automata)

แบบจำลองที่มาร์คอฟเซลลูลาอโตมาตา เป็นการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเวลา (spatial-transition based model) มาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในอดีตตามแนวคิดของแบบจำลอง Markov Chain ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่โดยรอบตามแนวคิดของแบบจำลอง Cellular Automata การใช้มาร์คอฟเซลลูลาอโตมาตา มาสร้างแบบจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยอยู่ในกลุ่มของแบบจำลองซึ่งมีตัวแปรหลักที่มีการเปลี่ยนแปลงครั้งคราว (discrete model) แบบจำลองประกอบด้วยตารางกริด (cells) มีจำนวนหนึ่งค่าของแต่ละกริดที่มีการเปลี่ยนแปลง (states) ในแต่ละค่าของกริดที่อยู่ใกล้ๆ กัน Tommaso and Norman (1987) กล่าวว่า เซลลูลาอโตมาตา เป็นการ

ประยุกต์องค์ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ร่วมกับแนวความคิดทางฟิสิกส์เป็นหลักในการปฏิบัติงาน และให้คำจำกัดความว่า เซลลูลาอโตมาตา โดยเซลล์ย่อยๆ ที่อยู่รวมกัน แสดงพื้นที่ในรูปของตารางสี่เหลี่ยมเรียกว่า กริดหรือเซลล์ แต่ละเซลล์ คือ หนึ่งหน่วยข้อมูล สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ รูปแบบของเซลล์ใหม่ จะถูกกำหนดจากเซลล์แวดล้อมที่มีลักษณะเป็นตารางขนาด 3×3 เมตร ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปที่ละเซลล์จนครบทั้งพื้นที่และจะคำนวณซ้ำตามจำนวนระยะเวลาที่กำหนด จากลักษณะการทำงานดังกล่าว เซลลูลาอโตมาตา จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นทฤษฎีในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ในอนาคต

เซลลูลาอโตมาตา คือ เซลล์ที่อยู่อย่างอิสระสามารถทำการเปลี่ยนรูปแบบได้ตามที่ Pontius (2000) ได้กล่าวไว้ ซึ่งปัจจัยของการเปลี่ยนแปลง คือ เซลล์แวดล้อมตามกฎ “The game of life” สร้างโดย John Conway ใน ค.ศ. 1970 การคาดการณ์ตามหลัก เซลลูลาอโตมาตา ใช้โอกาสของการเปลี่ยนแปลง (transition rule) ร่วมกับข้อมูลของพื้นที่แวดล้อม และแสดงผลในรูปแบบที่หรือแบบจำลองได้ ตามทฤษฎี “The game of life” ถูกนำไปใช้ร่วมกับเซลลูลาอโตมาตา เพื่อคาดการณ์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แบบจำลองมาร์คอฟเซลลูลาอโตมาตา หรือแบบจำลอง ซีเอ มาร์คอฟ (CA Markov) คือ การนำหลักการของเซลลูลาอโตมาตาและลูกโซ่มาร์คอฟ มาประยุกต์ร่วมกัน เพื่อคาดการณ์รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเซลล์ จะพิจารณาจากโอกาสการเปลี่ยนแปลง (the probability area) จากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการลูกโซ่มาร์คอฟ ร่วมกับกระบวนการกรองของพื้นที่แวดล้อมที่อยู่ติดกัน (ขนาด 5×5 Neighborhood) ซึ่งหลักการทำงานของ ซีเอ มาร์คอฟ สามารถสรุปได้ดังนี้

4.2.1 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลของ ซีเอ มาร์คอฟ จะใช้ข้อมูลโอกาสการเปลี่ยนแปลงจากการวิเคราะห์ด้วยลูกโซ่มาร์คอฟ ร่วมกับตัวกรอง CA filter ขนาด 5×5 Neighborhood เพื่อหาความน่าจะเป็นของประเภทสิ่งปกคลุมดินในช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา

4.2.2 ตัวกรอง CA filter จะเคลื่อนที่ซ้อนทับกับข้อมูลของปีที่เริ่มทำการศึกษานี้ไปที่ละเซลล์จนครบทั้งพื้นที่ศึกษา จากนั้นจะเริ่มเคลื่อนที่ซ้อนทับที่ละเซลล์อีกครั้ง และจะเคลื่อนที่วนซ้ำไปเรื่อยๆ เป็นจำนวนรอบเท่ากับช่วงระยะเวลาที่ต้องการศึกษา เช่น ต้องการคาดการณ์ในระยะเวลาอีก 5 ปีข้างหน้า กระบวนการพิจารณาจะเริ่ม และทำการวนซ้ำจนครบ 5 รอบ

4.2.3 ในการวนซ้ำแต่ละครั้ง ชนิดหรือประเภทของการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือคงเดิม ตามแต่ละประเภทของพื้นที่โดยรอบตามทฤษฎี “The game of life” และโอกาสการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยลูกโซ่มาร์คอฟ

4.2.4 เมื่อสิ้นสุดผลลัพธ์ที่ได้ คือแผนที่สิ่งปกคลุมดิน ซึ่งประกอบด้วย พื้นที่ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งสามารถบอกลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้สามารถวางแผนการใช้ที่ดินในอนาคตได้

จากกระบวนการขั้นตอนของ CA-Markov การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้ CA-Markov มีข้อดีในเรื่องของความเรียบง่ายและสะดวก ซึ่งในการสร้างแบบจำลอง CA-Markov ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ต้องใช้ข้อมูลอย่างน้อยเพียงแค่ 2 ช่วงเวลา ตามที่แบบจำลองต้องการ และข้อดีอีกข้อหนึ่ง คือ ความสามารถในการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ครอบคลุมมากกว่าแบบจำลองแบบอื่น ๆ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่สูง แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถคำนึงถึงปัจจัยทางด้านสังคม ประชากร และเศรษฐกิจได้

4.3 แบบจำลอง Land Change Modeler (LCM)

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน Land Change Modeler พัฒนาขึ้นโดย Clark Labs, Clark University, USA ถูกสร้างขึ้นใน ซอฟต์แวร์ IDRISI มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต เพื่อให้เกิดความยั่งยืนทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ต่างๆ (Clark, 2013)

กระบวนการในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง Land Change Modeler ประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง (change analysis) การจำลองพื้นที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลง (transition potential modeling) และการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง (change prediction) ขั้นตอนดังกล่าวจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีแผนที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลา เพื่อเป็นแผนที่พื้นฐานในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ข้อมูลที่จำเป็นในแบบจำลอง Land Change Modeler ได้แก่ แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเวลาที่ 1 และ 2 (รวมถึงช่วงเวลาที่ 3) แผนที่โครงข่ายถนนในช่วงเวลาที่ 2 แผนที่ความสูงของภูมิประเทศ (DEM) แผนที่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างช่วงเวลาที่ 1 และ 2 แผนที่พื้นที่กันออก แผนที่โครงสร้างสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ และนโยบายการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

4.3.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง เป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างแผนที่ช่วงเวลาที่ 1 และช่วงเวลาที่ 2 สำหรับผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องเลือกหรือกำหนดประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมือนกัน การเปลี่ยนแปลงที่ถูกตรวจวัดได้

จะเป็นการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเวลาที่ 1 เป็นการใช้อย่างที่ดินประเภทอื่นๆ ในช่วงเวลาที่ 2 ผู้วิเคราะห์สามารถพบการเปลี่ยนแปลงใน 2 ช่วงเวลาที่หลากหลาย ซึ่งมีความสลับซับซ้อนสูง วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง คือ การระบุประเภทของการเปลี่ยนแปลงหลัก ที่จะใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

4.3.2 การจำลองพื้นที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลง การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต เป็นขั้นตอนที่ระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การสร้างแผนที่ศักยภาพ (transition potential maps) ที่สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลาดำเนินการโดยใช้ค่าทางสถิติ ซึ่งแบบจำลอง Land Change Modeler ใช้ Cramer's V เป็นตัวประเมิน หากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีปัจจัยที่เหมือนกัน ผู้วิเคราะห์สามารถรวมการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น เป็นแบบจำลองย่อยเดียวกัน หลังจากนั้นแบบจำลองจะใช้ MLP ในการคาดการณ์พื้นที่ที่มีศักยภาพสำหรับการคาดการณ์ในอนาคต

4.3.3 การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง (change prediction) โดยมีความสำคัญ 2 ขั้นตอน ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต คือ การจำลองความต้องการของการเปลี่ยนแปลง (change demand modelling) และการจัดสรรการเปลี่ยนแปลง (change allocation) การจำลองความต้องการที่มีการเปลี่ยนแปลง จะใช้ข้อมูลจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลา โดยแบบจำลอง Land Change Modeler อาศัยวิธีการของ Markov ในการคำนวณสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยผู้ทำการวิเคราะห์เป็นผู้เลือกช่วงปีที่ต้องการคาดการณ์ การจัดสรรการเปลี่ยนแปลง เป็นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต และอาศัยแผนที่ศักยภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในการสร้างแผนที่ ผ่านกระบวนการจัดสรรที่ดินด้วยการวิเคราะห์หลายตัวแปร ผู้วิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์เป็นแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต หรือ VDO ในรูปแบบของ .avi

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐธินา ผ่องพุฒิ และคณะ (2559) ได้ใช้โปรแกรม IDRISI และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่สูงชัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต พบว่าระหว่าง พ.ศ. 2543 - 2556 มีพื้นที่ป่าไม้ลดลง ในขณะที่พื้นที่ยางพาราเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ยางพาราส่วนหนึ่งอยู่บนพื้นที่สูงชันมากกว่า 30 องศา และใช้วิธีการปลูกที่ไม่เหมาะสม ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม และการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2561 พบว่าพื้นที่ป่า และพื้นที่ไม้ผลผสมจะลดลง ส่วนพื้นที่ปาล์มน้ำมัน พื้นที่ยางพารา และพื้นที่ที่พักอาศัยจะเพิ่มมากขึ้น ส่วนการลดผลกระทบจากดินถล่มที่เกิดจากมนุษย์ต้องดำเนินการเชิงรุกและปลูกพื้นที่ยางพาราในพื้นที่สูงชันเพื่อใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเหมาะสม โดยยึดหลักการอนุรักษ์ดินและน้ำ

ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ และคณะ (2556) ได้ประยุกต์ระบบภูมิสารสนเทศในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน บริเวณลุ่มน้ำคลองกุย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ร่วมกับการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุ (object-based classification) ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว นอกจากนี้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถจัดเก็บ รวบรวม สืบค้น วิเคราะห์ข้อมูลและการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และปริมาณได้ สำหรับการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคต ซึ่งแบบจำลอง LCM เป็นส่วนหนึ่งในโปรแกรม IDRISI ที่สามารถคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตได้ โดยอาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในสองช่วงปี และปัจจัยที่มีอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงในการวิเคราะห์

ธีรเวทย์ ลิ้มโกลลวิลาส (2557) ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat เพื่อช่วยในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำตะคอง และจำแนกการใช้ที่ดินในอดีตถึงปัจจุบัน (พ.ศ. 2434 2545 และ 2556) ด้วยการแบ่งการใช้ที่ดินเป็น 5 ประเภทได้แก่ ที่อยู่อาศัย ป่าไม้ เกษตรกรรม แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ โดยมีความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลเท่ากับร้อยละ 80 และคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต พบว่า การใช้ที่ดินที่อยู่อาศัย พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่แหล่งน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.42, 7.65 และ 1.42 ของพื้นที่ลุ่มน้ำลำตะคองตามลำดับ พื้นที่เกษตรกรรมมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 18.06 จากการคาดการณ์สัดส่วนการจำแนกที่ได้จากแบบจำลอง CA-Markov ของลุ่มน้ำลำตะคองในปี 2567 พบว่า มีการใช้ที่ดินที่อยู่อาศัย และพื้นที่ป่าไม้ เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.71 และ 24.99 ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่

อื่นๆ มีแนวโน้มลดลงร้อยละ 60.90, 2.27 และ 2.12 โดยความถูกต้องของแบบจำลอง CA-Markov เท่ากับร้อยละ 70

พิชณะ คงยังยืน และคณะ (2538) ได้ศึกษาการติดตามการใช้พื้นที่ปลูกยางพารา ในจังหวัดจันทบุรี โดยจำแนกพื้นที่ยางพาราด้วยภาพถ่ายดาวเทียมใน พ.ศ. 2548 2552 และ 2556 โดยใช้การวิเคราะห์เชิงวัตถุภาพ และคาดการณ์พื้นที่ยางพาราใน พ.ศ. 2560 โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov ทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมออกเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM พ.ศ. 2548 และ 2552 และภาพถ่ายดาวเทียม SMMS พ.ศ. 2556 ผลการวิเคราะห์ใน พ.ศ. 2548 พบว่าพื้นที่ปลูกยางพารา มีพื้นที่ 103,534.42 ไร่ หรือ ร้อยละ 2.62 ของพื้นที่จังหวัด ส่วนใน พ.ศ. 2552 พื้นที่ยางพาราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีพื้นที่ 440,436.51 ไร่ ในขณะที่ใน พ.ศ. 2556 พื้นที่ยางพาราเพิ่มขึ้น 545,623.33 ไร่ และคาดการณ์พื้นที่ยางพาราในอนาคต พ.ศ. 2560 จากการศึกษพบว่า มีแนวโน้มลดลง โดยมีพื้นที่ เท่ากับ 538,295.39 ไร่

สุพิชชา ภมรจันทรมัส และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาการขยายตัวของเมืองและปริมาณการใช้ไฟฟ้า และคาดการณ์ทิศทางและปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต จังหวัดชลบุรี โดยใช้วิธีการซ้อนทับกับภาพถ่ายจากดาวเทียม ร่วมกับ CA-Markov โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 7 ทำการจำแนกข้อมูลภาพด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล แบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ สิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ พื้นที่ว่างเปล่า พื้นที่เพาะปลูก และป่าไม้ ทำการศึกษการขยายตัวของเมืองจากข้อมูลที่จำแนกด้วยดาวเทียมใน พ.ศ. 2547 2551 และ 2555 นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสิ่งปลูกสร้าง กับปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปีเพื่อหาค่าเฉลี่ยไฟฟ้าต่อวันต่อตร.กม. และทำการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov ใน พ.ศ. 2559 นำข้อมูลสิ่งปลูกสร้างที่ได้จากการคาดการณ์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อวันต่อตารางกิโลเมตร การศึกษาพบว่า ใน พ.ศ. 2559 มีความต้องการไฟฟ้า 19,010,161.16 เมกะวัตต์เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2555 เฉลี่ยปีละ 4,752,540.29 เมกะวัตต์โดยพบว่าพื้นที่ที่ต้องการไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นแบ่งออกได้เป็น สองกลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ พื้นที่นิคมอุตสาหกรรม โดยมีความต้องการไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น มีทิศทางการขยายตัวออกจากริมนิคอุตสาหกรรม และอีกกลุ่ม คือสถานที่ท่องเที่ยว โดยมีการพัฒนาเพื่อรองรับนักท่องเที่ยว ส่งผลให้มีปริมาณความต้องการไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น จึงควรมีการวางแผนและจัดการในการรองรับกับความต้องการไฟฟ้าที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต

Abuelaish and Olmedo (2016) ได้ศึกษาเรื่องการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงที่ดินที่เป็นประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของโลกและการคาดการณ์มีความจำเป็นในการประเมินสภาพแวดล้อม ผนวกชาจะมีการเติบโตของประชากรมากกว่า 2.4 ล้านคนใน ค.ศ 2023 และความต้องการที่ดินจะเกินขีดความสามารถของการใช้ที่ดินโดยการวางแผนการใช้ที่ดินเป็นปัญหาที่ยากที่สุดในผนวกชาเนื่องจากพื้นที่นี้มีขนาดเล็ก มีการเติบโตของเมืองและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะต้องมีการวางแผนและการจัดการแบบบูรณาการที่เหมาะสมทันที นักวางแผนต้องการสถิติและเครื่องมือการประเมินเพื่อให้บรรลุวิสัยทัศน์สำหรับอนาคต ดังนั้นการศึกษานี้รวมการใช้การรับรู้ระยะไกลจากดาวเทียมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยใช้ภาพดาวเทียม Landsat ใน ค.ศ 1972, 1982, 1990, 2002 และ 2013 และการเลือกแบบจำลองในการคาดการณ์ใน ค.ศ 2023 ได้แก่ แบบจำลอง Geomod CA-Markov และ Land Change Modeler พบว่าพื้นที่เขตเมืองที่คาดการณ์ไว้จะเพิ่มขึ้น 212.3 ตร.กม. ภายใน ค.ศ 2023 คิดเป็นร้อยละ 58.83 ของแถบผนวกชา

Ansari and Golabi (2019) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยใช้แบบจำลอง LCM บริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ Meighan ได้ใช้ภาพ Landsat ค.ศ 2000 2007 และ 2015 เพื่อสร้างแผนที่การใช้ที่ดินจำแนกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ ทะเลสาบน้ำเค็ม เกษตรกรรม ทุ่งหญ้า สิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น น้ำเสีย พื้นที่ชุ่มน้ำและเหมือง แบบจำลอง LCM ในซอฟต์แวร์ IDRISI นำมาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ที่ดินใน ค.ศ 2023 บนพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม และการวิเคราะห์ Markov Chain สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมมีปัจจัยที่มีอิทธิพลหลากหลายรวมถึง ระยะทางจากถนน ระยะทางจากพื้นที่ที่มีมนุษย์สร้างขึ้น ระยะทางจากที่ดินเปลี่ยนแปลง ระยะทางจากแหล่งน้ำ ระดับความสูงและความลาดชัน

Pickard *et al.* (2017) ได้เปรียบเทียบแบบจำลองการใช้ที่ดินซึ่งพบว่าจำนวนที่เพิ่มขึ้นของแบบจำลองทำให้ยากต่อการเลือกแบบจำลอง การวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของนักวิจัย วิธีการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม ในปัจจุบันเป็นที่รู้กันว่าการเลือกรูปแบบจำเป็นต้องใช้วิธีการทำซ้ำเพื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองและทำความเข้าใจแบบจำลองต่างๆ เมื่อใช้ข้อมูลการสอบเทียบและการตรวจสอบความถูกต้อง เปรียบเทียบปริมาณ ทางตำแหน่ง และความแม่นยำในเลือกหรือการกำหนดของค่าทั้งสี่แบบจำลอง (SLEUTH GEOMOD Land Change Modeler (LCM) และ FUTURES) รูปแบบการจำลองการพัฒนาเมืองของแบบจำลองโดยใช้ปัจจัยที่เหมือนกันของข้อมูลจากบริเวณ Charlotte, North Carolina ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าแบบจำลอง

การเปลี่ยนแปลงที่ดินทั้งสี่นี้เป็นตัวแทนของการพัฒนาเมืองซึ่งมีความแปรปรวนแตกต่างกัน ซึ่งบางแบบจำลองอาจจำลองปริมาณและการจัดสรรที่ดีกว่า การศึกษาเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นถึงช่วงของความถูกต้องสำหรับแบบจำลองต่างๆ เหล่านี้และแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการพิจารณาประเภทของความถูกต้องเมื่อทำการประเมินแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงที่ดิน

Armenteras *et al.* (2019) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม Amazônia แสดงให้เห็นว่าอัตราการตัดไม้ทำลายป่าลดลงแต่ NW Amazonia มีการสูญเสียป่าในลุ่มน้ำแอมซอน แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงในระดับภูมิภาคนี้ช่วยสนับสนุนการวิเคราะห์หาสาเหตุและผลการศึกษาที่ตามมาของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และมีความสำคัญในการสร้างสถานการณ์เพื่อวางแผนอนาคตการอนุรักษ์ป่าแอมซอน แบบจำลอง LCM ถูกใช้เพื่อคาดการณ์และวิเคราะห์ (ค.ศ. 2007 - ค.ศ. 2016) และอนาคต ค.ศ. 2030 โดยกำหนดสองสถานการณ์ทางเลือกในการคาดการณ์ การศึกษานี้เห็นความจำเป็นเร่งด่วนในการค้นหากลไกในการดำเนินการวางแผนที่มีประสิทธิภาพในภูมิภาคเพื่อป้องกันการขยายตัวที่ไม่สามารถควบคุมได้ของการทำลายป่าและอัตราการกระจายตัวและเพื่อให้เห็นความสำคัญของความสมบูรณ์พื้นที่คุ้มครอง

Durmusoglu and Tanriover (2017) ได้วิเคราะห์ข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกล ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์และแบบจำลอง CA-Markov เพื่อคาดการณ์การใช้ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินบริเวณทะเลสาบโมแกนที่มีความสำคัญทางนิเวศวิทยาและวัฒนธรรมสูง ได้ใช้ภาพถ่ายทางอากาศใน ค.ศ. 1975 และ 1999 และภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird ค.ศ. 2009 ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยวิธีการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินแบบ object-based เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ศึกษาสำหรับคาดการณ์อนาคต ค.ศ. 2029 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ผลการวิจัยพบว่าพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่จะถูกแปรสภาพเป็นที่อยู่อาศัยอีก 40 ปีข้างหน้า

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินนำมาใช้ในการติดตามและคาดการณ์ในอนาคตนั้น การศึกษาเครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการทบทวนข้อดีข้อเสียของแต่ละเครื่องมือรวมถึงประเด็นของข้อมูลที่สามารถหาได้ การศึกษาแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินได้จัดทำขึ้นเพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสม โดยที่แบบ CA มีรูปแบบเป็นพลวัตเนื่องจากถูกพัฒนาเพื่อจำลองรูปแบบเชิงพื้นที่ที่เกิดขึ้นในอดีตจนถึงปัจจุบัน และสามารถนำรูปแบบที่เกิดขึ้นในอดีตจนถึงปัจจุบันไปคาดการณ์การเติบโตเชิงพื้นที่ในอนาคตโดยใช้เครื่องมือ CA-Markov อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวยังไม่ได้คำนึงถึงตัวแปร

ทางด้านสังคม ประชากร และสภาพเศรษฐกิจที่ส่งผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้น ผู้ใช้แบบจำลองสามารถเลือกใช้แบบจำลอง LCM ที่ทำงานร่วมกับแรงขับเคลื่อนเหล่านั้นได้ที่เป็นตัวแปรทางด้านสังคม ประชากร และเศรษฐกิจ เพื่อให้ผลลัพธ์ของการจำลองการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตมีความเสมือนจริงและก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด การใช้แบบจำลองดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการช่วย วางแผนในการจัดการการพัฒนาพื้นที่ได้ โดยสามารถทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งสามารถดำเนินการได้ด้วยวิธีการจัดการเชิงพื้นที่ รวมถึงสามารถแก้ไขและอธิบายตัวแปรต่างๆ ได้ นอกจากนี้ผลการจำลองที่ได้จากแบบจำลองอยู่ในรูปแบบของแผนที่ซึ่งสามารถช่วยให้นำไปวิเคราะห์ต่อไปได้



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
2. เครื่องมือในการศึกษา
3. ขั้นตอนการศึกษา
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

วิเคราะห์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 2557 และ พ.ศ. 2562 บริเวณ จังหวัดอุดรธานี โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายเทียม path 128 row 048 และ path 129 row 048 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลภาพถ่ายเทียม Landsat 5 TM พ.ศ. 2552 และ Landsat 8 พ.ศ. 2557 และ 2562 โดยพื้นที่ศึกษาใช้ภาพจำนวน 2 Full Scene ในรูปแบบ Digital Image จาก U.S. Geological Survey

2. เครื่องมือในการศึกษา

2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่รองรับโปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายเทียม โปรแกรมสำเร็จรูประบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และโปรแกรม IDRISI Selva

2.2 เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (Global Positioning System : GPS)

2.3 อุปกรณ์สำรวจภาคสนาม

3. ขั้นตอนในการศึกษา

3.1 การรวบรวมข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลทั้งทางด้านเอกสาร งานวิจัย และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับจังหวัดอุดรธานี พร้อมทั้งลงสำรวจในภูมิประเทศจริง เพื่อให้เข้าใจถึงสภาพพื้นที่จริง เพื่อประโยชน์ต่อการวิจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ทำการรวบรวมข้อมูลเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับจังหวัดอุดรธานี เพื่อให้ทราบถึงภูมิหลังของพื้นที่ศึกษา และลักษณะเฉพาะของการพัฒนา จังหวัดอุดรธานี

3.1.2 ทำการเลือกช่วงเวลาที่จะทำการศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน อ้างอิงข้อมูลภูมิหลังของพื้นที่ศึกษา ศึกษาการเปลี่ยนแปลง 2 ช่วงเวลา คือ ระหว่าง พ.ศ. 2552 – 2557 และระหว่าง พ.ศ. 2557 – 2562 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายเทียม Landsat 5 และ Landsat 8

3.1.3 ทำการกำหนดจุดสำรวจลงบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 8 และดำเนินการลงสำรวจในภูมิประเทศจริง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาปัจจุบัน

3.2 การนำเข้าและประมวลผล

การนำเข้าข้อมูลและประมวลผลด้วย โปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และโปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมหลักที่นำมาใช้งาน เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี 2 ช่วงเวลา คือ ระหว่าง พ.ศ. 2552 – 2557 และระหว่าง พ.ศ. 2557 – 2562 โดยใช้มีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (data preparation) ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM ที่บันทึกข้อมูล พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2557 และภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 พ.ศ. 2562 ในรูปแบบของข้อมูลราสเตอร์ (raster format)

3.2.2 การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (geometric correction) การปรับแก้ทางเรขาคณิต จะใช้วิธีการแปลงภาพสู่แผนที่ (image to map) อ้างอิงโดยการกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (ground control point) จากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร โดยการแปลงข้อมูล (transformation) ด้วยวิธีประมาณค่าจากตำแหน่งใกล้เคียงที่สุด (nearest neighbor) ซึ่งกำหนดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน 1 จุดภาพ (30 × 30 เมตร) โปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

3.2.3 การแปลตีความเพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (image interpretation and analysis) การแปลตีความเพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด เป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยยึดการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตามการใช้ที่ดินในระดับที่ 2 ของกองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2542 และแยกตามประเภทพืชเศรษฐกิจของจังหวัดอุดรธานีที่สำคัญ สามารถจำแนกออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ ที่อยู่อาศัย นา ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ยางพารา เกษตรกรรมอื่นๆ ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ

3.2.4 การประเมินค่าความถูกต้อง และการตรวจสอบความถูกต้องในภาคสนาม (accuracy assessment) การประเมินค่าความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำหลังจากการจำแนกข้อมูลภาพเสร็จสมบูรณ์ โดยเปรียบเทียบผลการจำแนกที่ได้กับข้อมูลภาคพื้นดินที่ได้จากการสำรวจภาคสนามด้วยเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (GPS)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต โดยใช้แบบจำลอง Land Change Modeler (LCM) และแบบจำลอง CA- Markov ในโปรแกรม IDRISI Selva พัฒนาโดย Clark Labs, Clark University, USA เป็นโปรแกรมมีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

4.1 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง Land Change Modeler

ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง Land Change Modeler สำหรับคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตประกอบด้วย แบบจำลองความสูงเชิงเลข แผนที่ความชัน แผนที่ทิศด้านลาด ระยะห่างจากเทศบาลเมือง เทศบาลตำบล ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำชลประทาน พื้นที่ป่าอนุรักษ์ ความหนาแน่นประชากร (คนต่อ ตร.กม.) และเขตประกอบการอุตสาหกรรม โดยข้อมูลที่นำเข้าแบบจำลองต้องอยู่ในรูปแบบของข้อมูลราสเตอร์ มีขนาดจุดภาพ 30 x 30 เมตร ตามคุณลักษณะของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ดังตาราง 2

ตาราง 2 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง Land Change Modeler

ข้อมูล	ปีของข้อมูล	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
แบบจำลองความสูงเชิงเลข	2545	- กรมพัฒนาที่ดิน	เพื่อสงวน อนุรักษ์ ทาง
ความชัน		- แผนที่ภูมิประเทศ	ธรรมชาติ
ทิศด้านลาด		มาตราส่วน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร	
ระยะห่างจากถนน	2560	- กรมทางหลวง	ระยะยิ่งใกล้เส้นทาง
ระยะห่างจากทางรถไฟ	2560	- การรถไฟแห่งประเทศไทย	คมนาคม ยิ่งมีความสะดวกในการเข้าถึง
ระยะห่างจากทางน้ำ	2554	- กรมชลประทาน	เพื่อการเกษตรกรรม
ระยะห่างจากแหล่งน้ำชลประทาน	2554	- กรมทรัพยากรน้ำ	อุตสาหกรรม ชุมชน
ความหนาแน่นประชากร (คนต่อ ตร.กม.)	2561	กรมการปกครอง	

ตาราง 2 (ต่อ)

ข้อมูล	ปีของข้อมูล	แหล่งที่มา	หมายเหตุ
พื้นที่ป่าอนุรักษ์	2560	กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช	เพื่อการสงวน อนุรักษ์ธรรมชาติ
พื้นที่เทศบาลเมือง	2556	กรมการปกครอง	เพื่อการพัฒนาชุมชน
พื้นที่เทศบาลตำบล	2556		และสิ่งปลูกสร้าง
			อุตสาหกรรมและ
เขตประกอบการอุตสาหกรรม	2560	กระทรวงอุตสาหกรรม	คลังสินค้า รวมถึงสาธารณูปโภค

4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การติดตามและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้ข้อมูลทางด้านภูมิสารสนเทศ ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ก. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี จากข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 2557 และ 2562 ตามช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา คือ ระหว่าง พ.ศ. 2552 – 2557 และระหว่าง พ.ศ. 2557 – 2562 โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ (overlay analysis) ด้วยโปรแกรมประมวลผลข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ข. วิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและคำนวณพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ระหว่าง พ.ศ. 2552 – 2557 และระหว่าง พ.ศ. 2557 – 2562

4.2.2 วิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบจำลองการคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ก. นำข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 และ 2557 ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 โดยใช้แบบจำลอง Markov Chain Model ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูประบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ โอกาสของการเปลี่ยนแปลง (probability of change) และค่าสัดส่วนของการเปลี่ยน (transition area) นำค่าดังกล่าวไปใช้เพื่อการทำนายรูปแบบการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler และแบบจำลอง CA-Markov

ข. ตรวจสอบค่าความถูกต้องของแบบจำลอง โดยนำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูประบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซ้อนทับกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากการจำแนกประเภทข้อมูลดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งผ่านการตรวจสอบความถูกต้องจากข้อมูลภาคสนามแล้ว

4.3.3 การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ก. การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในอีก 18 ปี ข้างหน้า ด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2557 และ 2562 ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2580 โดยใช้แบบจำลอง Markov Chain ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูประบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ โอกาสของการเปลี่ยนแปลง (probability of change) และค่าสัดส่วนของการเปลี่ยน (transition area) นำค่าสัดส่วนของการใช้ที่ดินที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าดังกล่าวไปใช้เพื่อการทำนายรูปแบบการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2580 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

ข. การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler

1) การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในอีก 18 ปี ข้างหน้า โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2557 และ 2562 ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2580 โดยใช้แบบจำลอง Land Change Modeler ซึ่งถูกพัฒนาโดย Clark Labs, Clark University, USA โดยแบบจำลอง Land Change Modeler พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลา ซึ่งการจำลองนั้น จำเป็นต้องอาศัยพื้นที่ศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2) การจำลองพื้นที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลง โดยข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของ แผนที่ระยะห่างจากสถานที่ ปรากฏการณ์ และสิ่งต่างๆ ในรูปแบบราสเตอร์ เช่น แผนที่ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ถนนสายหลัก ศูนย์กลางเมือง พื้นที่เมือง พื้นที่การเกษตร พื้นที่ป่าไม้ หรือสถานที่สำคัญ เป็นต้น การบ่งชี้ปัจจัยต่างๆ จะใช้การทดสอบทางสถิติด้วยวิธีการของ Cramer's V ในการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ หากค่า Cramer's V มีค่ามากกว่า 0.15 บ่งชี้ว่าปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน นอกจากนี้ ถ้าค่า Cramer's V มีค่ามากกว่า 0.4 จะ

บ่งชี้ได้ว่าปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นๆ มาก หลังจากการเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแล้วนั้น แบบจำลอง Land Change Modeler จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP ในการสร้างแผนที่ศักยภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในอนาคต

3) การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ด้วยการบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในสองช่วงเวลา และคาดการณ์ความต้องการของการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยวิธีการ Markov ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของเมตริกความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภทที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าดังกล่าวไปใช้เพื่อการทำนายรูปแบบการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2580 จากแบบจำลอง Land Change Modeler

ค. วิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ พ.ศ. 2562-2580 และคำนวณพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2580 แสดงผลในรูปของแผนที่และนำผลจากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้นำระบบภูมิสารสนเทศ มาประยุกต์ร่วมกับแบบจำลอง CA – Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler เพื่อใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลง และคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน และเพื่อเทียบความถูกต้องของแบบจำลองทั้ง 2 แบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี
2. การเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลอง CA – Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน
3. การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของจังหวัดอุดรธานี

1. การใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี

1.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี

ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat พ.ศ. 2552 2557 และ 2562 จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด พบว่า สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกได้ 9 ประเภท โดยสามารถสรุปได้ดังตาราง 3 และ 4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2552 พบว่าพื้นที่นาข้าวมากที่สุดประมาณ 4,341.61 ตร.กม. หรือร้อยละ 39.21 รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกอ้อย 1,908.76 ตร.กม. หรือร้อยละ 17.24 พื้นที่ป่าไม้ 1,756.86 ตร.กม. หรือร้อยละ 15.87 เกษตรกรรมอื่นๆ 827.51 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.47 พื้นที่อื่นๆ 754.38 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.81 พื้นที่ชุมชน 521.28 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.71 พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 490.38 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.43 พื้นที่แหล่งน้ำ 318.43 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.88 และพื้นที่ปลูกยางพารา 152.64 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.38 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 3

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2557 พบว่าพื้นที่นาข้าวมากที่สุดประมาณ 3,501.27 ตร.กม. หรือร้อยละ 31.62 รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกอ้อย 1,499.77 ตร.กม. หรือร้อยละ 13.55 พื้นที่ป่าไม้ 1,381.50 ตร.กม. หรือร้อยละ 12.48 พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 1,126.54 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.18 พื้นที่ปลูกยางพารา 1,094.81 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.89 พื้นที่อื่นๆ 839.96 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.59 พื้นที่ชุมชน 690.37 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.24 เกษตรกรรมอื่นๆ 517.81 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.68 และพื้นที่แหล่งน้ำ 419.79 ตร.กม. หรือร้อยละ 3.79 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 4

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 พบว่าพื้นที่นาข้าวมากที่สุดประมาณ 3,068.84 ตร.กม. หรือร้อยละ 27.72 รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกอ้อย 2,065.33 ตร.กม. หรือร้อยละ 18.65 พื้นที่ป่าไม้ 1,292.26 ตร.กม. หรือร้อยละ 11.67 พื้นที่ปลูกยางพารา 1,265.37 ตร.กม. หรือร้อยละ 11.43 พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 1,031.06 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.31 พื้นที่อื่นๆ 748.68 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.76 พื้นที่ชุมชน 723.12 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.53 เกษตรกรรมอื่นๆ 444.94 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.02 และพื้นที่แหล่งน้ำ 432.27 ตร.กม. หรือร้อยละ 3.90 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 5

ตาราง 3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2552 2557 และ 2562

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2552		พ.ศ. 2557		พ.ศ. 2562	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ
พื้นที่ชุมชน	521.28	4.71	690.38	6.24	723.12	6.53
พื้นที่เกษตรกรรม	7,720.91	69.74	7,740.22	69.91	7,875.54	71.13
พื้นที่ป่าไม้	1,756.86	15.87	1,381.51	12.48	1,292.26	11.67
พื้นที่แหล่งน้ำ	318.43	2.88	419.80	3.79	432.27	3.90
พื้นที่อื่นๆ	754.38	6.81	839.96	7.59	748.68	6.76
รวม	11,071.87	100.00	11,071.87	100.00	11,071.87	100.00

ตาราง 4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2552 2557 และ 2562

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2552		พ.ศ. 2557		พ.ศ. 2562	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	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
พื้นที่อื่นๆ	754.38	6.81	839.96	7.59	748.68	6.76
รวม	11,071.87	100.00	11,071.87	100.00	11,071.87	100.00

1.1.1 พื้นที่ชุมชน ประกอบด้วย แหล่งชุมชน พื้นที่อาศัย และเส้นทางคมนาคม ซึ่งจะพบมากบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา อยู่ในพื้นที่อำเภอเมืองอุดรธานี จากผลการจำแนกภาพดาวเทียมพบว่าพื้นที่ชุมชนใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 521.28 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 4.71 ต่อมาเป็น พ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 690.37 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 6.24 และมีพื้นที่มากที่สุดใน พ.ศ. 2562 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 723.12 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 6.53 ของพื้นที่ศึกษา จะเห็นได้ว่าพื้นที่ชุมชนมีพื้นที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปีจาก พ.ศ. 2552 - 2562

1.1.2 นาข้าว เป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดอุดรธานี จากผลการจำแนกภาพดาวเทียมพบว่าพื้นที่นาข้าวมีมากที่สุดใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 4,341.61 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 39.21 ต่อมาเป็นปีพ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 3,501.27 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 31.62 และใน พ.ศ. 2562 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 3,068.84 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 27.72 ของพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาพบว่าพื้นที่นาข้าวในจังหวัดอุดรธานีมีแนวโน้มลดลงทุกปี เนื่องมาจากประชาชนส่วนใหญ่เปลี่ยนการปลูกพืชชนิดอื่นที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า

1.1.3 อ้อย เป็นพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรนิยมปลูกกันมาก จากผลการจำแนกภาพดาวเทียม พบว่าพื้นที่ปลูกอ้อยมีพื้นที่ใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1,908.76 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 17.24 ต่อมาเป็น และใน พ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1499.77 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 13.55 และมีพื้นที่มากที่สุดใน พ.ศ. 2562 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 2,065.33 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 18.65 ของพื้นที่ศึกษา จากการศึกษาค้นคว้ามีพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นใน พ.ศ. 2562 เนื่องมาจากทางรัฐบาลได้มีนโยบายขยายพื้นที่ปลูกอ้อยทดแทนในพื้นที่นาข้าวที่ไม่เหมาะสม และประกอบกับมีโรงงานน้ำตาลตั้งใหม่เกิดขึ้นจึงทำให้มีการส่งเสริมพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้น และพื้นที่ปลูกอ้อยลดลงใน พ.ศ. 2557 เนื่องจากราคารับซื้ออ้อยของโรงงานน้ำตาลมีราคาตกต่ำ โดยราคาอ้างอิงจากราคาน้ำตาลทรายในตลาดโลกเป็นหลัก ในช่วงพ.ศ. 2556 – 2557 เศรษฐกิจโลกชะลอตัวทำให้ราคาส่งออกน้ำตาลทรายลดต่ำลง

1.1.4 มันสำปะหลัง เป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจ ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน และสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จากผลการจำแนกภาพดาวเทียม พบว่ามันสำปะหลังมีพื้นที่ ใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 490.38 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 4.43 ต่อมาเป็น พ.ศ. 2562 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1,031.06 ตร.กม. เป็นร้อยละ 9.31 และมีพื้นที่มากที่สุดใน พ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1126.54 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 10.18 ของพื้นที่ศึกษา จากการศึกษาค้นคว้า พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2552 – 2557 เนื่องมาจากราคามันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์ดี ส่งผลให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก และการระบาดของเพลี้ยแป้งลดลงมาก แต่หลังจาก พ.ศ. 2557 – 2562 มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังลดลงเนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า เช่น อ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และ ยางพารา รวมถึงพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่แซมในสวนยางพารา ซึ่งปัจจุบันยางพาราเจริญเติบโตจึงไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังแซมได้อีก

1.1.5 ยางพารา โดยแต่ก่อนยางพารานั้นมีการปลูกในภาคใต้ของประเทศเท่านั้น แต่ในปัจจุบันนี้ มีเกษตรกรหันมาปลูกยางพารากันอย่างแพร่หลาย เนื่องมาจากเป็นไม้ที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรสูง จากผลการจำแนกภาพดาวเทียม พบว่าไม้ยืนต้นมีพื้นที่ใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 152.64 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 1.38 ต่อมาเป็น พ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1094.81 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 9.89 และมีพื้นที่มากที่สุดใน พ.ศ. 2562 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1,265.37

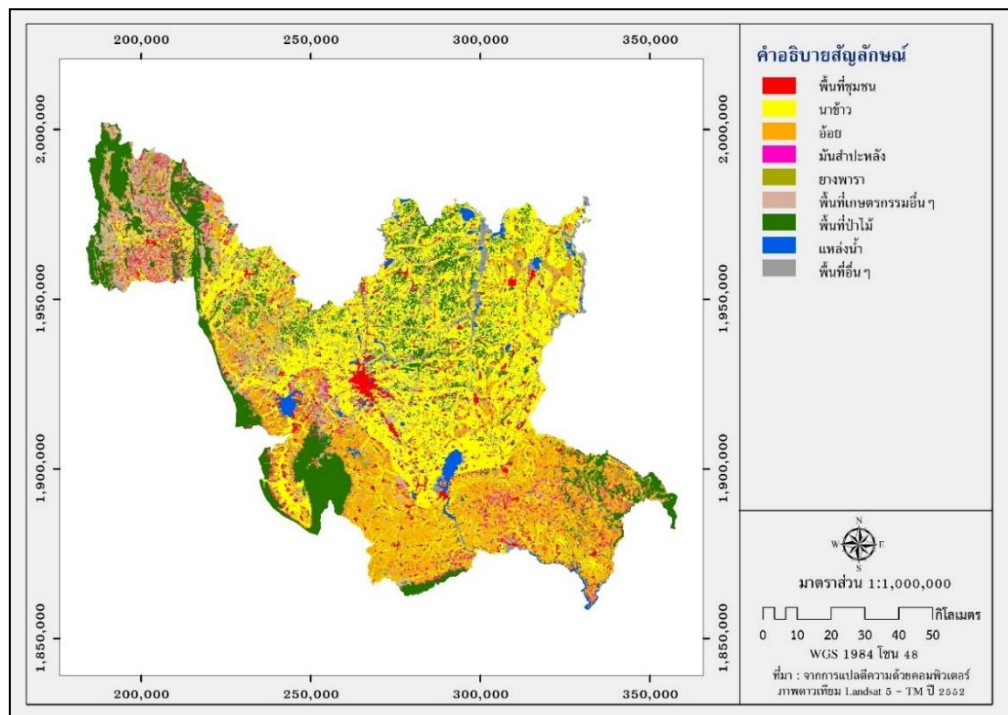
ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 11.43 ของพื้นที่ศึกษา จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ปลูกยางพารามีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี จากพ.ศ. 2552 - 2562

1.1.6 พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ ประกอบด้วย ข้าวโพด ไม้ผล และพืชสวนต่างๆ จากผลการจำแนกภาพดาวเทียม พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีพื้นที่มากที่สุดใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 52.76 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 7.08 ต่อมาเป็น ปีพ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 47.18 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 6.33 และในปี พ.ศ. 2562 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 10.33.76 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 1.39 ของพื้นที่ศึกษา จากการศึกษาพบว่า การปลูกพืชเกษตรกรรมอื่นๆ มีแนวโน้มลดลงทุกปี เนื่องมาจากประชาชนส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นการปลูกพืชเศรษฐกิจที่ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่า

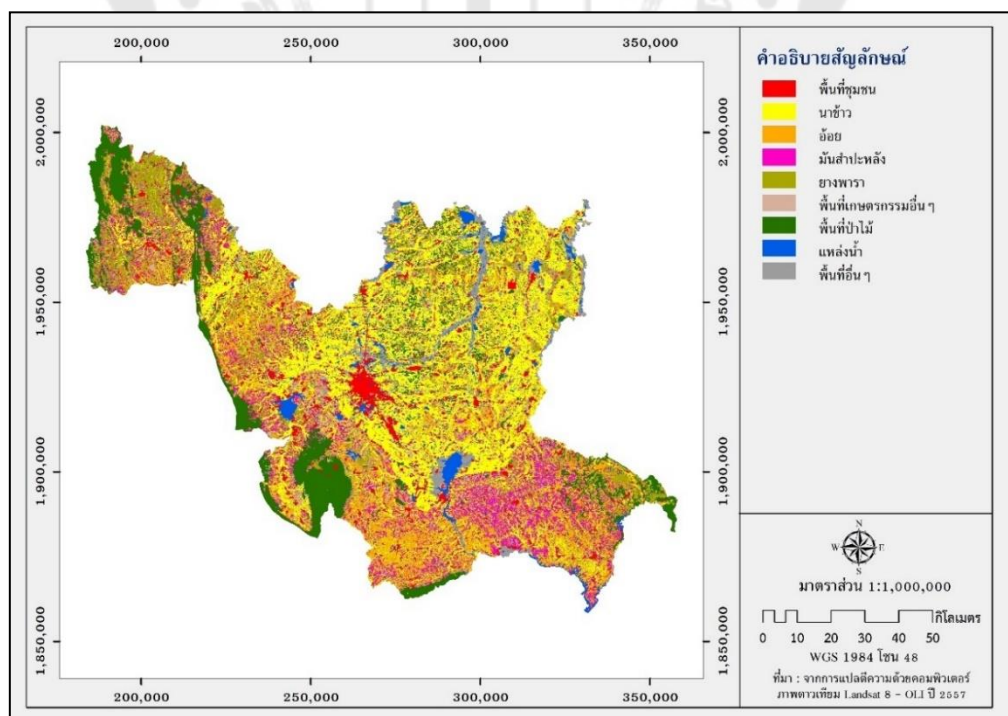
1.1.7 พื้นที่ป่าไม้ เป็นชนิดป่าแดงหรือป่าโคก (ป่าเต็ง – รัง) ส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่เป็นภูเขาทางด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดอุดรธานี และอยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ จากผลการจำแนกภาพดาวเทียม พบว่าพื้นที่ป่ามีมากที่สุดใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1,756.86 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 15.87 ต่อมาเป็นพ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1381.50 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 12.48 และใน พ.ศ. 2562 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 1,292.26 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 11.67 ของพื้นที่ศึกษา จะเห็นได้ว่าพื้นที่ป่าไม้ในจังหวัดอุดรธานีมีแนวโน้มลดลงทุกปี

1.1.8 แหล่งน้ำ ใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรกรรม พบทั้งแหล่งน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น จากผลการจำแนกภาพดาวเทียม พบว่าแหล่งน้ำมีพื้นที่ใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 318.43 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 2.88 ต่อมาเป็น พ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 419.79 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 3.79 และมีพื้นที่มากที่สุดใน พ.ศ. 2562 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 432.27 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 3.90 ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งแหล่งน้ำในพื้นที่ศึกษา อาจเพิ่มสูงขึ้นทุกปี เนื่องมาจากความต้องการใช้น้ำในการทำเกษตรกรรม

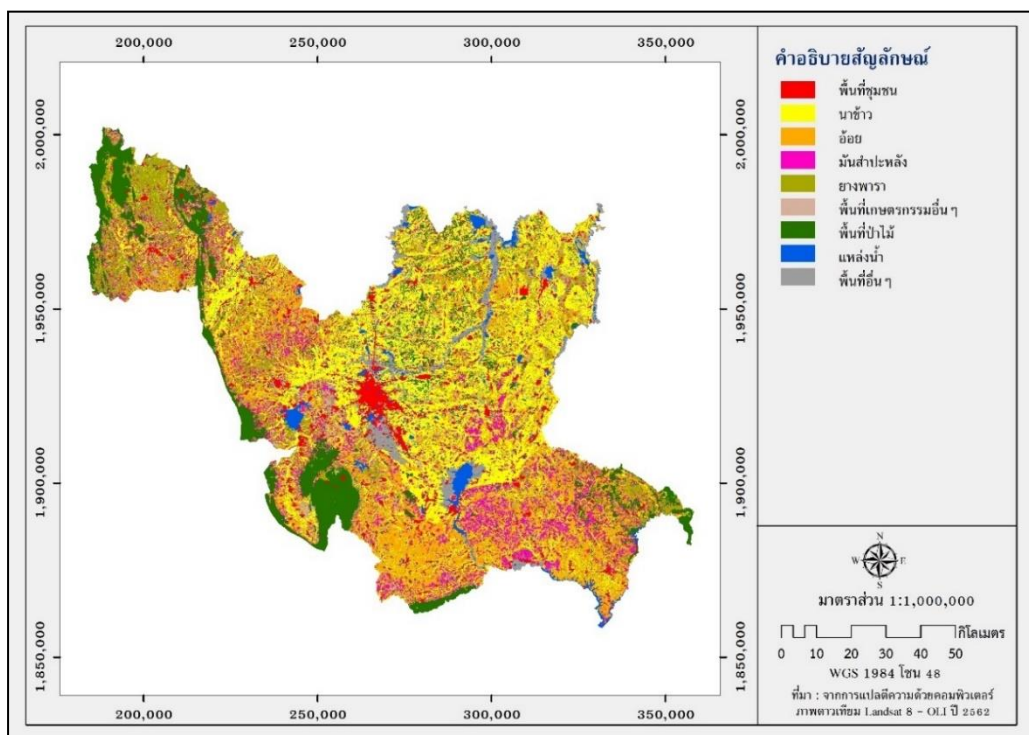
1.1.9 พื้นที่อื่นๆ ประกอบด้วย ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ พื้นที่ลุ่มและที่น้ำขัง เหมืองแร่ บ่อขุด และพื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่นๆ จากผลการจำแนกภาพดาวเทียม พบว่าพื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่ใน พ.ศ. 2552 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 754.38 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 6.81 ต่อมาเป็น พ.ศ. 2557 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 839.96 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 7.59 และใน พ.ศ. 2562 มีคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 748.68 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 6.76 ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เพราะอยู่ในช่วงการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือเป็นพื้นที่เตรียมการเพาะปลูก



ภาพประกอบ 3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดจันทบุรี พ.ศ. 2552



ภาพประกอบ 4 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดจันทบุรี พ.ศ. 2557



ภาพประกอบ 5 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2562

1.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี

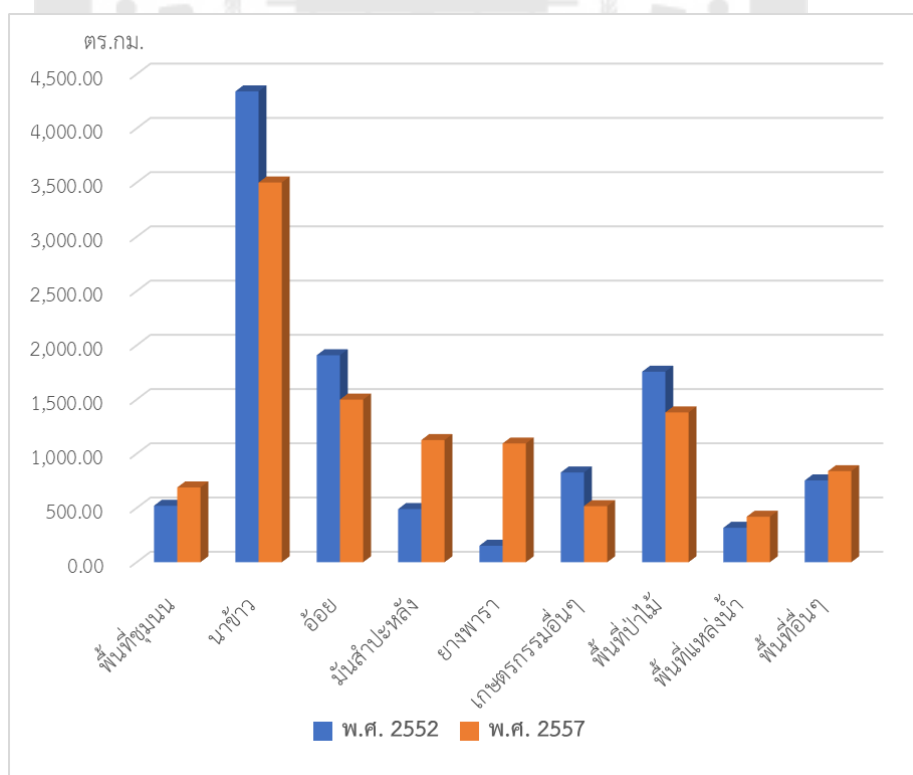
ผลการศึกษาสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ ระหว่างข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของพ.ศ. 2552 2557 และ 2562 ตามช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา คือ ระหว่าง พ.ศ. 2552-2557 และระหว่าง พ.ศ. 2557-2562 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูประบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินพร้อมทั้งคำนวณพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท และวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีผลการศึกษา ดังนี้

1.2.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557 ได้ผลลัพธ์ของสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังตาราง 5 ถึงตาราง 6 และภาพประกอบ 6 ถึงภาพประกอบ 7 โดยสรุปลักษณะการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

ตาราง 5 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2552		พ.ศ. 2557		การเปลี่ยนแปลง	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	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
เกษตรกรรมอื่นๆ	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
รวม	11,071.87	100.00	11,071.87	100.00	3,868.76	100.00



ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557

พื้นที่ชุมชน : การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ชุมชน พบว่ามีพื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 169.10 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 4.37 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพมาจากพื้นที่ป่าไม้ 45.09 ตร.กม. นาข้าว 44.65 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 37.21 ตร.กม. และพื้นที่อื่นๆ 34.81 ตร.กม.

นาข้าว : การเปลี่ยนแปลงของนาข้าว พบว่ามีพื้นที่การปลูกนาข้าวลดลงจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 840.33 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 21.272 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพไปเป็นอ้อย 339.64 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 275.10 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 81.97 ตร.กม. ยางพารา 74.30 ตร.กม. มันสำปะหลัง 50.49 ตร.กม. และแหล่งน้ำ 48.50 ตร.กม.

อ้อย : การเปลี่ยนแปลงของอ้อย พบว่ามีพื้นที่การปลูกอ้อยลดลงจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 408.99 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 10.57 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพไปเป็นมันสำปะหลัง 585.90 ตร.กม. ยางพารา 300.45 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 154.44 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 40.71 ตร.กม. และแหล่งน้ำ 10.46 ตร.กม.

มันสำปะหลัง : การเปลี่ยนแปลงของมันสำปะหลัง พบว่ามีพื้นที่การปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 636.16 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 16.44 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพมาจากอ้อย 585.90 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 170.04 ตร.กม. พื้นที่ป่าไม้ 86.62 ตร.กม. นาข้าว 50.49 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 48.63 ตร.กม. และยางพารา 10.36 ตร.กม.

ยางพารา : การเปลี่ยนแปลงของยางพารา พบว่ามีพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 942.17 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 24.35 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพจากอ้อย 300.45 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 283.08 ตร.กม. มันสำปะหลัง 164.35 ตร.กม. พื้นที่ป่าไม้ 107.96 ตร.กม. นาข้าว 74.30 ตร.กม. และพื้นที่อื่นๆ 50.48 ตร.กม.

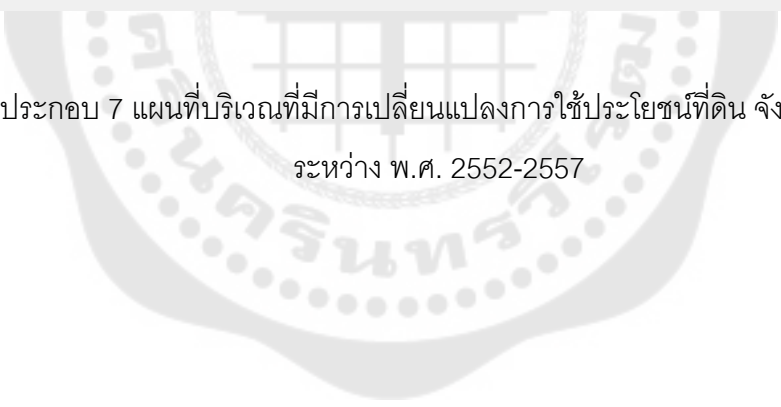
เกษตรกรรมอื่นๆ : การเปลี่ยนแปลงของเกษตรกรรมอื่นๆ พบว่ามีพื้นที่การปลูกลดลงจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 309.70 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 8.01 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพไปเป็นยางพารา 283.08 ตร.กม. มันสำปะหลัง 170.04 ตร.กม. อ้อย 103.92 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 37.36 ตร.กม. และพื้นที่ชุมชน 37.21 ตร.กม.

พื้นที่ป่าไม้ : การเปลี่ยนแปลงของป่าไม้ พบว่ามีพื้นที่ป่าไม้ลดลงจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 375.36 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 9.70 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพจากพื้นที่ป่าไม้ไปเป็นอ้อย 126.70 ตร.กม. ยางพารา 107.96 ตร.กม. มันสำปะหลัง 96.62 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 54.69 ตร.กม. และพื้นที่ชุมชน 45.09 ตร.กม.

แหล่งน้ำ : การเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ พบว่ามีแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 101.37 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 2.62 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพจากนาข้าว 48.50 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 43.98 ตร.กม. อ้อย 10.46 ตร.กม. และพื้นที่อื่นๆ 9.28 ตร.กม.

พื้นที่อื่นๆ : การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่อื่นๆ พบว่ามีพื้นที่ เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2552 ประมาณ 85.58 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 2.21 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพมาจากนาข้าว 275.10 ตร.กม. พื้นที่ป่าไม้ 54.69 ตร.กม. อ้อย 40.71 ตร.กม. และเกษตรกรรมอื่นๆ 37.36 ตร.กม.

สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วง พ.ศ. 2552 – 2557 ของพื้นที่ศึกษา มีพื้นที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งสิ้น 3,868.76 ตร.กม. โดยมีพื้นที่ยางพารามีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ เพิ่มขึ้น 942.17 ตร.กม. หรือร้อยละ 24.35 รองลงมาเป็นนาข้าวมีพื้นที่ลดลง เป็น 840.33 ตร.กม. หรือร้อยละ 21.72 รองลงมาเป็นมันสำปะหลังมีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 636.16 ตร.กม. หรือร้อยละ 16.44 รองลงมาเป็นอ้อยมีพื้นที่ลดลง เป็น 408.99 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.57 รองลงมาเป็นพื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่ลดลง เป็น 375.36 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.70 รองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีพื้นที่ลดลง เป็น 309.70 ตร.กม. หรือร้อยละ 8.01 รองลงมาเป็นพื้นที่ชุมชน มีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 169.10 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.37 รองลงมาเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 101.37 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.62 และพื้นที่อื่นๆ เพิ่มขึ้น 85.58 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.21 แสดงให้เห็นว่าจากสถานการณ์ราคามันสำปะหลังเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนพื้นที่มาปลูกมันสำปะหลัง แทนพื้นที่ปลูกอ้อย นาข้าว และพื้นที่ว่างเปล่า และมีพื้นที่ที่มีสภาพอากาศที่เอื้ออำนวย ปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตทำให้ได้ผลผลิตสูง อีกทั้งในพื้นที่ยังมีการปลูกยางพารากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นไม้ที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรสูง ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นต่อเนื่องในช่วงเวลานั้น จึงทำให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้นทั้งมันสำปะหลัง และยางพาราซึ่งทำให้เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพื่อนำมาทำการเกษตรมากขึ้นด้วย



ภาพประกอบ 7 แผนที่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี
ระหว่าง พ.ศ. 2552-2557

ตาราง 6 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2552-2557

การใช้ประโยชน์ที่ดิน		การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2557/ตร.กม.								
พ.ศ. 2552	พื้นที่ชุมชน	นาข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ยางพารา	เกษตรกรรมอื่นๆ	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่แหล่งน้ำ	พื้นที่อื่นๆ	รวม
พื้นที่ชุมชน	498.56	1.79	2.22	2.18	2.45	4.93	2.25	3.07	3.83	521.28
นาข้าว	44.65	3,415.95	339.64	50.49	74.30	81.97	11.01	48.50	275.10	4,341.61
อ้อย	15.96	18.09	776.93	585.90	300.45	154.44	5.83	10.46	40.71	1,908.76
มันสำปะหลัง	7.27	4.59	90.49	171.72	164.35	36.73	4.02	2.75	8.46	490.38
ยางพารา	3.02	0.52	9.20	10.36	111.18	12.21	4.24	0.42	1.49	152.64
เกษตรกรรมอื่นๆ	37.21	15.07	103.92	170.04	283.08	149.21	25.51	6.11	37.36	827.51
พื้นที่ป่าไม้	45.09	16.45	126.70	86.62	107.96	38.89	1,271.18	9.28	54.69	1,756.86
พื้นที่แหล่งน้ำ	3.82	3.99	1.06	0.60	0.57	4.27	0.47	295.22	8.43	318.43
พื้นที่อื่นๆ	34.81	24.82	49.62	48.63	50.48	35.15	57.00	43.98	409.90	754.38
รวม	690.38	3,501.28	1,499.77	1,126.54	1,094.81	517.81	1,381.51	419.80	839.96	11,071.87

1.2.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2557-2562

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2557-2562 ได้ผลลัพธ์ของสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังตาราง 7 และภาพประกอบ 8 โดยสรุปลักษณะการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

ตาราง 7 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2557-2562

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2557		พ.ศ. 2562		การเปลี่ยนแปลง	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	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
พื้นที่อื่นๆ	839.96	7.59	748.68	6.76	-91.29	-6.20
รวม	11,071.87	100.00	11,071.87	100.00	1,471.37	100.00

พื้นที่ชุมชน : การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ชุมชน พบว่ามีพื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 32.74 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 2.23 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพมาจากพื้นที่นาข้าว 13.56 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 10.43 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 3.66 ตร.กม. พื้นที่ป่าไม้ 3.08 ตร.กม. มันสำปะหลัง 3.07 ตร.กม. และอ้อย 2.93 ตร.กม.

นาข้าว : การเปลี่ยนแปลงของนาข้าว พบว่ามีพื้นที่การปลูกนาข้าวลดลงจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 432.44 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 29.39 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพไปเป็นอ้อย 349.17 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 49.48 ตร.กม. ยางพารา 26.72 ตร.กม. มันสำปะหลัง 23.39 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 18.35 ตร.กม. พื้นที่ชุมชน 13.56 ตร.กม. และแหล่งน้ำ 7.88 ตร.กม.

อ้อย : การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ปลูกอ้อย พบว่ามีพื้นที่การปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 565.55 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 38.44 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพไปเป็นนาข้าว 349.17 ตร.กม. มันสำปะหลัง 267.89 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 66.28 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 63.88 ตร.กม. และพื้นที่ป่าไม้ 52.72 ตร.กม.

มันสำปะหลัง : การเปลี่ยนแปลงของมันสำปะหลัง พบว่ามีพื้นที่การปลูกมันสำปะหลังลดลงจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 95.48 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 6.49 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพมาจากอ้อย 267.89 ตร.กม. ยางพารา 113.14 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 18.69 ตร.กม. พื้นที่ป่าไม้ 4.36 ตร.กม. นาข้าว 2.94 ตร.กม. และพื้นที่อื่นๆ 2.39 ตร.กม.

ยางพารา : การเปลี่ยนแปลงของยางพารา พบว่ามีพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 170.56 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 11.59 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพจากมันสำปะหลัง 113.14 ตร.กม. อ้อย 58.64 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 30.29 ตร.กม. นาข้าว 26.72 ตร.กม. พื้นที่ป่าไม้ 19.45 ตร.กม. และพื้นที่อื่นๆ 14.67 ตร.กม.

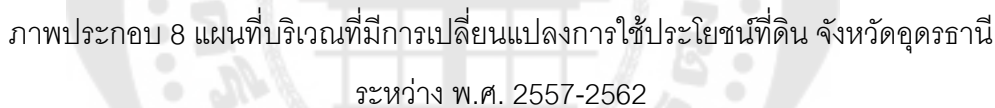
เกษตรกรรมอื่นๆ : การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ พบว่ามีพื้นที่การปลูกลดลงจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 72.88 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 4.95 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพไปเป็นอ้อย 63.88 ตร.กม. มันสำปะหลัง 51.05 ตร.กม. ยางพารา 30.29 ตร.กม. นาข้าว 4.60 ตร.กม. และพื้นที่ชุมชน 3.66 ตร.กม.

พื้นที่ป่าไม้ : การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้ พบว่ามีพื้นที่ป่าไม้ลดลงจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 89.25 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 6.07 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพจากพื้นที่ป่าไม้ไปเป็นอ้อย 52.72 ตร.กม. มันสำปะหลัง 29.55 ตร.กม. ยางพารา 19.45 ตร.กม. พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ 3.97 ตร.กม. นาข้าว 3.34 ตร.กม. และพื้นที่ชุมชน 3.07 ตร.กม.

แหล่งน้ำ : การเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ พบว่ามีแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 12.47 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 0.85 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพจากนาข้าว 7.88 ตร.กม. พื้นที่อื่นๆ 44.75 ตร.กม. อ้อย 1.42 ตร.กม. และพื้นที่ป่าไม้ 1.13 ตร.กม.

พื้นที่อื่นๆ : การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่อื่นๆ พบว่ามีพื้นที่อื่นๆ ลดลงจาก พ.ศ. 2557 ประมาณ 91.29 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 6.20 ของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด โดยแปรสภาพไปเป็นอ้อย 66.28 ตร.กม. มันสำปะหลัง 28.78 ตร.กม. ยางพารา 14.67 ตร.กม. นาข้าว 12.82 ตร.กม. เกษตรกรรมอื่นๆ 11.27 ตร.กม. พื้นที่ชุมชน 10.43 ตร.กม. พื้นที่แหล่งน้ำ 4.75 ตร.กม. และพื้นที่ป่าไม้ 3.84 ตร.กม.

สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วง พ.ศ. 2557 – 2562 ของพื้นที่ศึกษา มีพื้นที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งสิ้น 1,471.37 ตร.กม. โดยมีพื้นที่อ้อยมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ เพิ่มขึ้น 565.55 ตร.กม. หรือร้อยละ 38.44 รองลงมาเป็นนาข้าวมีพื้นที่ลดลง เป็น 432.44 ตร.กม. หรือร้อยละ 29.39 รองลงมาเป็นยางพารา มีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 170.56 ตร.กม. หรือร้อยละ 11.59 รองลงมาเป็นมันสำปะหลัง มีพื้นที่ลดลง เป็น 95.48 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.49 รองลงมาเป็นพื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่ลดลง เป็น 91.29 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.20 รองลงมาเป็นพื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่ลดลง เป็น 89.25 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.07 รองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีพื้นที่ลดลง เป็น 72.88 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.95 รองลงมาเป็นพื้นที่ชุมชน มีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 32.74 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.23 และพื้นที่แหล่งน้ำ มีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 12.47 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.85 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2562 เนื่องมาจากทางรัฐบาลได้มีนโยบายขยายพื้นที่ปลูกอ้อยทดแทนในพื้นที่นาข้าวที่ไม่เหมาะสม และประกอบกับมีโรงงานน้ำตาลตั้งใหม่เกิดขึ้นจึงทำให้มีการส่งเสริมพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นอีกทั้งหลังจาก พ.ศ. 2557 – 2562 มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังลดลงเนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า เช่น อ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และยางพารา รวมถึงพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่แซมในสวนยางพารา ซึ่งปัจจุบันยางพาราเจริญเติบโตจึงไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังแซมได้อีก



2.1 คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 ช่วงเวลา คือ พ.ศ. 2552 และ 2557 เป็นข้อมูลพื้นฐาน ได้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง Markov คือ ค่าสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน (transition area) ดังตาราง 9 และค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Probability of Change) ดังตาราง 10 นำค่าดังกล่าวใช้คาดการณ์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพ.ศ. 2562 เพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลอง

ตาราง 9 สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง CA-Markov

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
U	660.28	2.38	2.94	2.88	3.24	6.53	2.98	4.07	5.07
A1	36.01	2,754.78	273.90	40.72	59.92	66.10	8.88	39.11	221.85
A203	12.54	14.21	610.46	460.36	236.07	121.34	4.58	8.22	31.98
A204	16.70	10.54	207.87	394.49	377.57	84.38	9.24	6.32	19.43
A302	21.63	3.73	65.97	74.31	797.45	87.60	30.38	3.03	10.72
A	23.28	9.43	65.03	106.40	177.13	93.37	15.96	3.83	23.38
F	35.45	12.94	99.63	68.11	84.89	30.58	999.59	7.30	43.00
W	5.04	5.27	1.40	0.80	0.75	5.63	0.62	389.20	11.11
M	38.76	27.63	55.25	54.14	56.21	39.14	63.46	48.97	456.40

หมายเหตุ U คือ พื้นที่ชุมชน A1 คือ นาข้าว A203 คือ อ้อย
A204 คือ มันสำปะหลัง A302 คือ ยางพารา A คือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ
F คือ พื้นที่ป่าไม้ W คือ พื้นที่แหล่งน้ำ M คือ พื้นที่อื่นๆ

ตาราง 10 ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง CA-Markov

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
U	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
A1	0.01	0.79	0.08	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.06
A203	0.01	0.01	0.41	0.31	0.16	0.08	0.00	0.01	0.02
A204	0.01	0.01	0.18	0.35	0.34	0.07	0.01	0.01	0.02

ตาราง 10 (ต่อ)

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
A302	0.02	0.00	0.06	0.07	0.73	0.08	0.03	0.00	0.01
A	0.05	0.02	0.13	0.21	0.34	0.18	0.03	0.01	0.05
F	0.03	0.01	0.07	0.05	0.06	0.02	0.72	0.01	0.03
W	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.93	0.03
M	0.05	0.03	0.07	0.06	0.07	0.05	0.08	0.06	0.54
หมายเหตุ	U คือ พื้นที่ชุมชน		A1 คือ นาข้าว		A203 คือ อ้อย				
	A204 คือ มั่นลำปะหลัง		A302 คือ ยางพารา		A คือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ				
	F คือ พื้นที่ป่าไม้		W คือ พื้นที่แหล่งน้ำ		M คือ พื้นที่อื่นๆ				

2.2 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change

Modeler

การคาดการณ์การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 จากข้อมูลดาวเทียม พ.ศ. 2552 และ 2557 โดยกำหนดสัดส่วนการใช้ที่ดิน ดังตาราง 11 และความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ดังตาราง 12 ด้วยแบบจำลอง Markov นำค่าดังกล่าวไปใช้เพื่อการทำนายหรือการคาดการณ์รูปแบบการใช้ที่ดินใน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ทำการระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการสร้างแผนที่ศักยภาพ (transition potential maps) ดังภาพประกอบ 11 - 17 แผนที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลงสร้างขึ้นจากวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลา ด้วยการใช้ค่าทางสถิติ ซึ่งใช้ Cramer's V เป็นตัวประเมิน พบว่า มีปัจจัยที่สามารถนำมาที่ใช้ในแบบจำลอง Land Change Modeler สำหรับคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตได้ ประกอบด้วย แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ระยะห่างจากเทศบาลเมือง เทศบาลตำบล ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำชลประทาน พื้นที่ป่าอนุรักษ์ และเขตประกอบการอุตสาหกรรม ดังตาราง 13 และภาพประกอบ 9 - 10 ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2562 เพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลอง

ตาราง 11 สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง Land Change Modeler

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
U	660.28	2.38	2.94	2.88	3.24	6.53	2.98	4.07	5.07
A1	36.01	2,754.78	273.90	40.72	59.92	66.10	8.88	39.11	221.85
A203	12.54	14.21	610.46	460.36	236.07	121.34	4.58	8.22	31.98
A204	16.70	10.54	207.87	394.49	377.57	84.38	9.24	6.32	19.43
A302	21.63	3.73	65.97	74.31	797.45	87.60	30.38	3.03	10.72
A	23.28	9.43	65.03	106.40	177.13	93.37	15.96	3.83	23.38
F	35.45	12.94	99.63	68.11	84.89	30.58	999.59	7.30	43.00
W	5.04	5.27	1.40	0.80	0.75	5.63	0.62	389.20	11.11
M	38.76	27.63	55.25	54.14	56.21	39.14	63.46	48.97	456.40

หมายเหตุ U คือ พื้นที่ชุมชน A1 คือ นาข้าว A203 คือ อ้อย
A204 คือ มันสำปะหลัง A302 คือ ยางพารา A คือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ
F คือ พื้นที่ป่าไม้ W คือ พื้นที่แหล่งน้ำ M คือ พื้นที่อื่นๆ

ตาราง 12 ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2562 จากแบบจำลอง Land Change Modeler

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
U	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
A1	0.01	0.79	0.08	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.06
A203	0.01	0.01	0.41	0.31	0.16	0.08	0.00	0.01	0.02
A204	0.01	0.01	0.18	0.35	0.34	0.07	0.01	0.01	0.02

ตาราง 12 (ต่อ)

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
A302	0.02	0.00	0.06	0.07	0.73	0.08	0.03	0.00	0.01
A	0.05	0.02	0.13	0.21	0.34	0.18	0.03	0.01	0.05
F	0.03	0.01	0.07	0.05	0.06	0.02	0.72	0.01	0.03
W	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.93	0.03
M	0.05	0.03	0.07	0.06	0.07	0.05	0.08	0.06	0.54

หมายเหตุ	U คือ พื้นที่ชุมชน	A1 คือ นาข้าว	A203 คือ อ้อย
	A204 คือ มั่นลำปะหลัง	A302 คือ ยางพารา	A คือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ
	F คือ พื้นที่ป่าไม้	W คือ พื้นที่แหล่งน้ำ	M คือ พื้นที่อื่นๆ

การศึกษาครั้งนี้ ได้แบ่งประเภทของปัจจัยหลักที่ใช้ประกอบการหาความสัมพันธ์ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เส้นทางคมนาคม สิ่งแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ เพื่อหาความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยปัจจัยแต่ละชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนี้

1) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเส้นทางคมนาคม เช่น ถนนสายหลัก เส้นทางรถไฟ มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นอย่างมาก โดยระยะห่างจากเส้นทางคมนาคมดังกล่าว จะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท เช่น การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่ชุมชน มักจะมีระดับความสัมพันธ์สูงกับปัจจัยเส้นทางคมนาคม

2) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม เช่น พื้นที่ป่าไม้ อาทิ พื้นที่ป่าเพื่อการอนุรักษ์ ล้วนมีความสัมพันธ์สูงกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยบริเวณที่ใกล้เคียงกับพื้นที่เกษตรกรรมหรือพื้นที่ชุมชน หากอยู่ไม่ไกลจากพื้นที่ป่าไม้มากนัก มักจะมีโอกาสสูงที่จะเปลี่ยนจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมหรือเปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน และ พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่อื่น ๆ ไปเป็นพื้นที่ชุมชน ระยะห่างของพื้นที่ป่าไม้อาจจะมีระดับความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำ โดยพื้นที่อยู่ไกลจากการเปลี่ยนแปลงนั้นค่อนข้างมาก

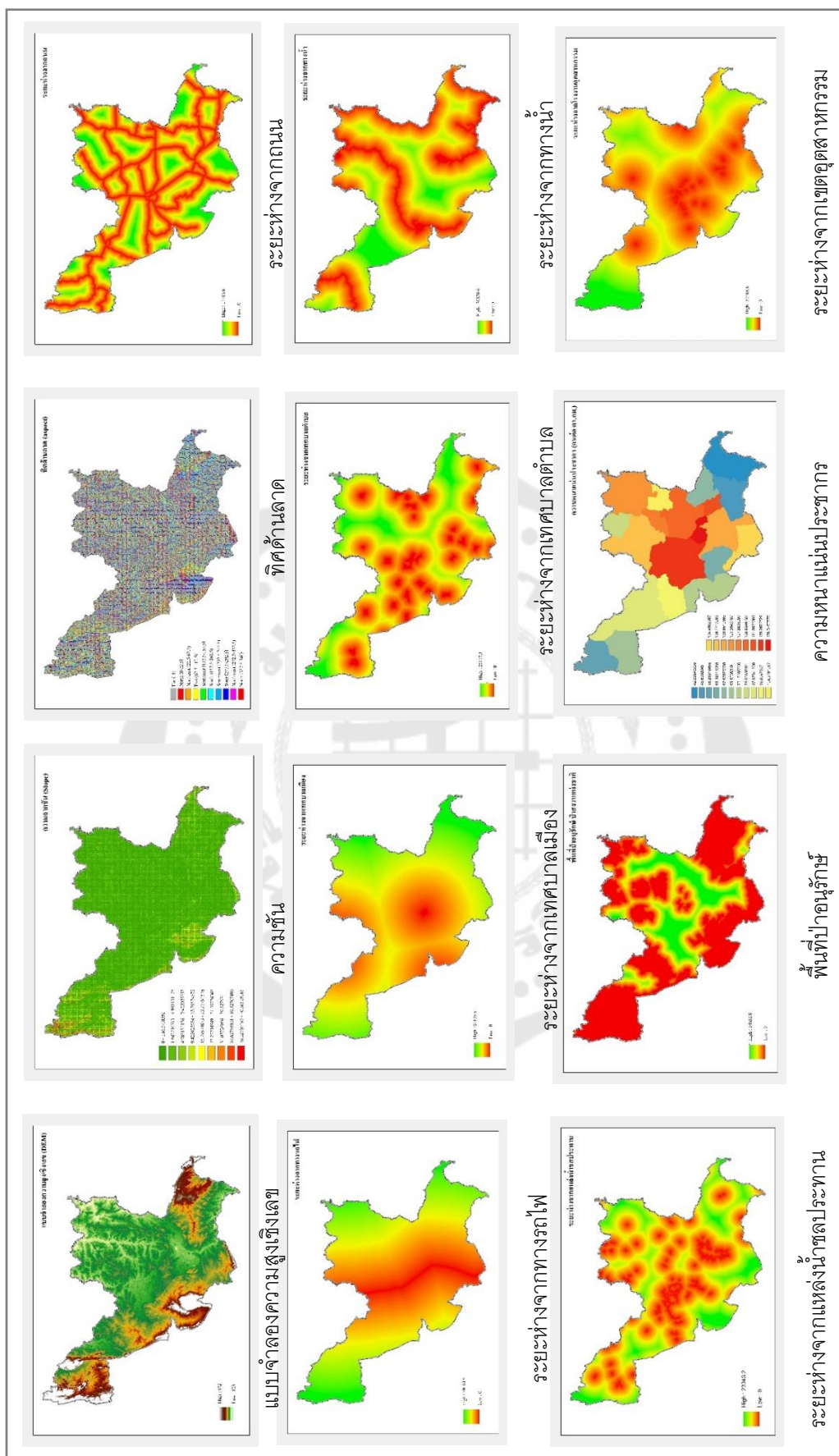
3) ปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น พื้นที่ชุมชน เขตเทศบาล ระดับความสูงเชิงเลข ความหนาแน่นประชากร เขตโรงงาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในส่วนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอยู่มาก พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่การพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีศักยภาพสูงที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อพื้นที่โดยรอบ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท มักมีระดับความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูงกับปัจจัยเหล่านี้ เช่น ระยะห่างจากพื้นที่ชุมชน (เทศบาลเมือง เทศบาลตำบล) จะมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงเมื่อพิจารณากับการเปลี่ยนแปลงจากเกษตรกรรมเป็นพื้นที่ชุมชน นอกจากนี้ แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในระดับที่แตกต่างกัน เช่น การเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมหรือพื้นที่อื่น ๆ เป็นพื้นที่ชุมชน มักจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีลักษณะเป็นที่ราบ ที่จะแสดงถึงค่าระดับความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างสูง หากพื้นที่ดังกล่าวมีระดับความสูงที่มาก การพัฒนาเป็นพื้นที่ชุมชนย่อมเกิดขึ้นได้น้อย โดยค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงในระดับต่ำ

และเมื่อนำปัจจัยต่างๆ ที่มีผลในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต มาสร้างความสัมพันธ์ พบว่า ปัจจัยต่างๆ สามารถสร้างความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบการเปลี่ยนแปลงเกษตรกรรมเป็นชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่อุตสาหกรรมและคลังสินค้า การเปลี่ยนแปลงป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อื่น ๆ เป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่อุตสาหกรรมและคลังสินค้า ดังนี้

ตาราง 13 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในอนาคต

ประเภท	ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง	ประเภทข้อมูล	หมายเหตุ
ระดับความสูงเชิงเลข	/	Raster	เพื่อสงวน อนุรักษ์ ทางธรรมชาติ
ความลาดชัน		Raster	
ทิศด้านลาด		Raster	
ถนนสายหลัก	/	Line	ระยะยิ่งใกล้เส้นทางคมนาคม
ทางรถไฟ	/	Line	ยิ่งมีความสะดวกในการเข้าถึง
แหล่งน้ำธรรมชาติ	/	Polygon	เพื่อการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ชุมชน และการสงวน อนุรักษ์ ทางธรรมชาติ
แหล่งน้ำชลประทาน	/	Polygon	เพื่อการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม
พื้นที่ป่าเพื่ออนุรักษ์ (เขตป่าสงวนแห่งชาติ)	/	Polygon	เพื่อการสงวน อนุรักษ์ ทาง ธรรมชาติ
ความหนาแน่นประชากร (คนต่อ ตร.กม.)		Polygon	เพื่อการพัฒนาชุมชนและสิ่งปลูก สร้าง
พื้นที่เทศบาลเมือง	/	Polygon	เพื่อการพัฒนาชุมชนและสิ่งปลูก สร้าง อุตสาหกรรมและคลังสินค้า รวมถึงสาธารณูปโภค
พื้นที่เทศบาลตำบล	/	Polygon	
โรงงานอุตสาหกรรม	/	point	เพื่อพัฒนาด้านอุตสาหกรรมและ คลังสินค้า

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ / คือ ปัจจัยที่นำมาใช้วิเคราะห์

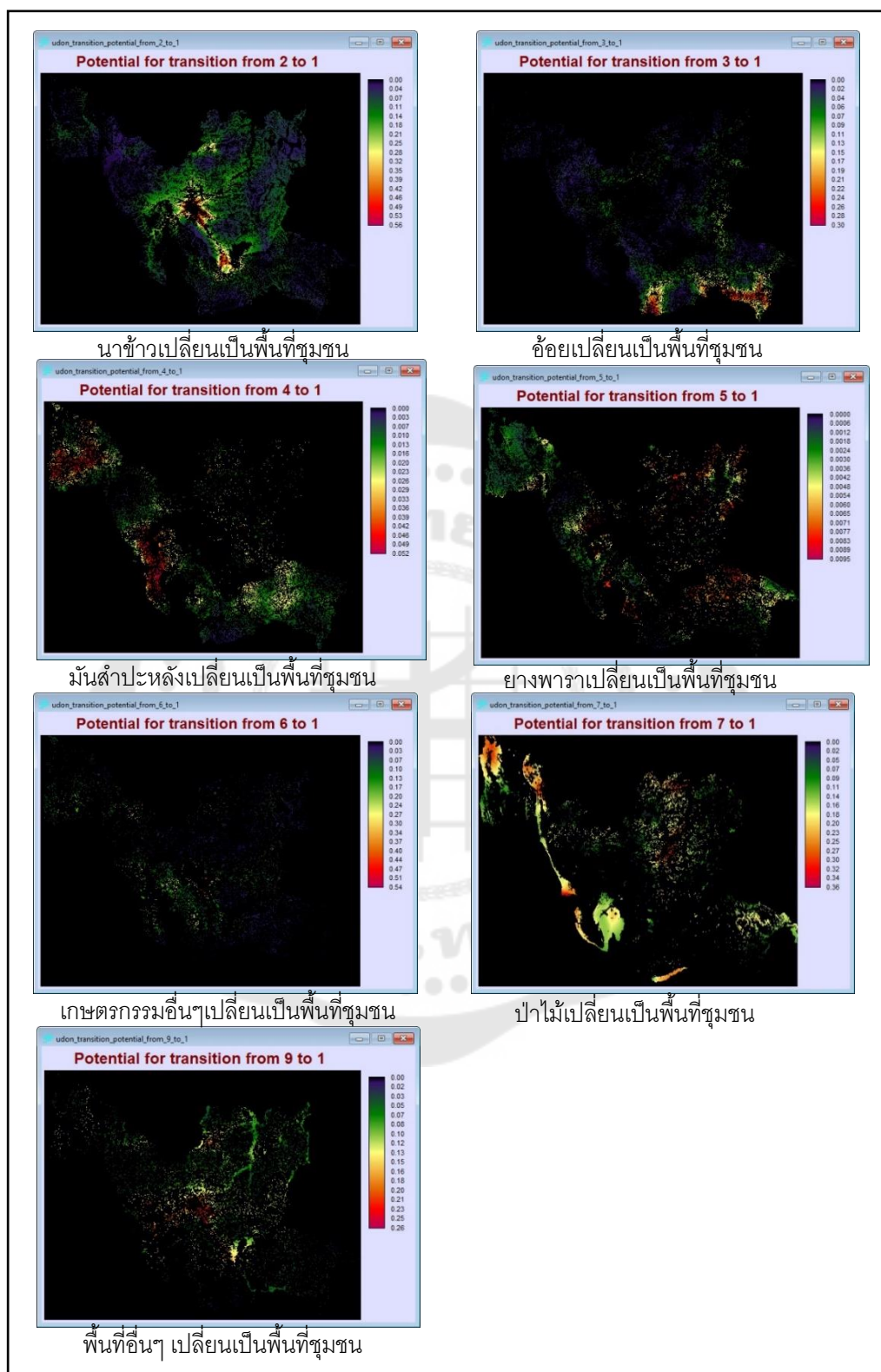


พื้นที่ศักยภาพของการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยที่ความเหมาะสมของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พิจารณาจากความสัมพันธของปัจจัยแต่ละประเภท ความเหมาะสมของสภาพภูมิประเทศ และความเหมาะสมของดิน ซึ่งพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ตามสภาพพื้นที่นั้น พื้นที่ความเหมาะสมมากจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง 1 ในขณะที่พื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อยจะมีค่าเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0 พื้นที่ความเหมาะสมเพื่อเกษตรกรรม ได้แก่ นาข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และยางพารา ของจังหวัดอุดรธานี มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 พบพื้นที่เหมาะสมสูงสุดบริเวณตอนกลางและใต้ของจังหวัดซึ่งเป็นบริเวณที่ราบ ได้แก่ อำเภอโนนสะอาด อำเภอศรีธาตุ อำเภอวังสามหมอ และอำเภอหนองหาร เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกนาข้าว มันสำปะหลัง อ้อยโรงงาน และยางพารา ภาพประกอบ 12 - 15

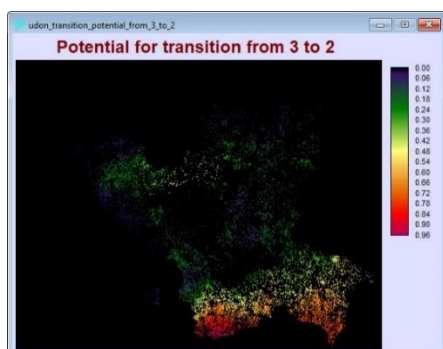
ทั้งนี้ พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเป็นพื้นที่เกษตรกรรมของจังหวัดอุดรธานี มักถูกเปลี่ยนแปลงเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆ คือ เปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอน้ำโสม อำเภอหนองวัวซอ อำเภอโนนสะอาด ตามแนวเส้นทางคมนาคมสายหลักของจังหวัดอุดรธานี

พื้นที่ที่มีความเหมาะสมเพื่อพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างของจังหวัดอุดรธานี มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 พบพื้นที่เหมาะสมสูงสุดกระจุกตัวอยู่บริเวณอำเภอเมืองอุดรธานี ตลอดจนแม่น้ำสายหลัก ได้แก่ อำเภอเมืองอุดรธานี อำเภอประจักษ์ อำเภอน้ำโสม และอำเภอโนนสะอาด และกระจุกตัวมากบริเวณหนองหานกุมภวาปี ด้านใต้ของจังหวัดติดอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว ภาพประกอบ 11

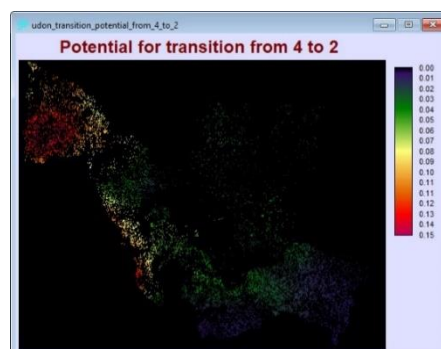
พื้นที่ที่มีความเหมาะสมเพื่อพื้นที่แหล่งน้ำ สำหรับเกษตรกรรม ชุมชน และการสงวนอนุรักษ์ทางธรรมชาติ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 พบพื้นที่เหมาะสมบริเวณตอนกลาง และด้านใต้ของจังหวัดอุดรธานี เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และตามแนวทางน้ำหลักของจังหวัด ได้แก่ ห้วยน้ำโสม ห้วยหลวง และหนองหารกุมภวาปี ทั้งนี้พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเป็นพื้นที่แหล่งน้ำของจังหวัดอุดรธานี มักเปลี่ยนแปลงมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆ คือ มาจากพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อื่นๆ ได้แก่ อำเภอเมืองอุดรธานี อำเภอประจักษ์ อำเภอกุมภวาปี อำเภอน้ำโสม และอำเภอวังสามหมอ ภาพประกอบ 16 - 17



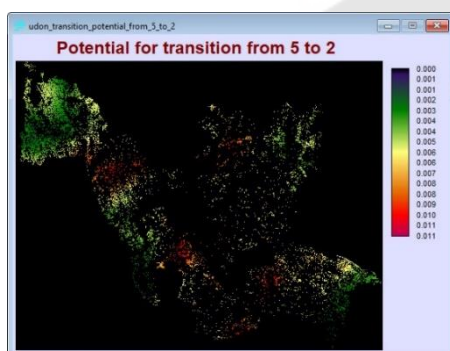
ภาพประกอบ 11 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ชุมชน



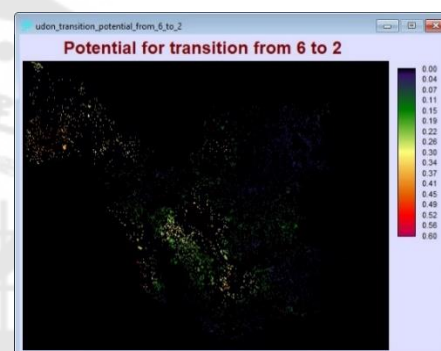
อ้อยเปลี่ยนเป็นนาข้าว



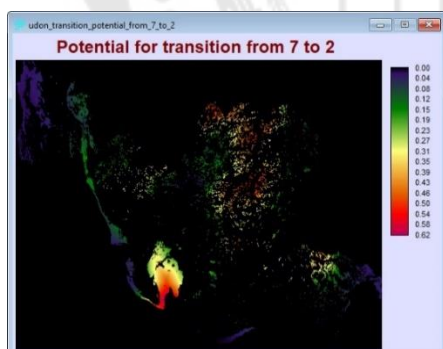
มันสำปะหลังเปลี่ยนเป็นนาข้าว



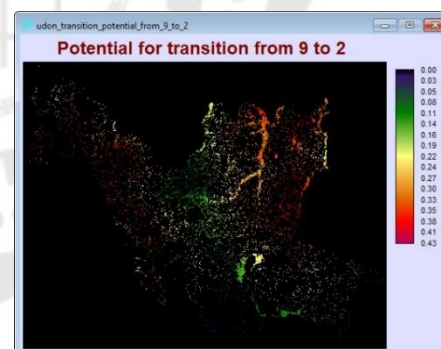
ยางพาราเปลี่ยนเป็นนาข้าว



เกษตรกรรมอื่นๆเปลี่ยนเป็นนาข้าว

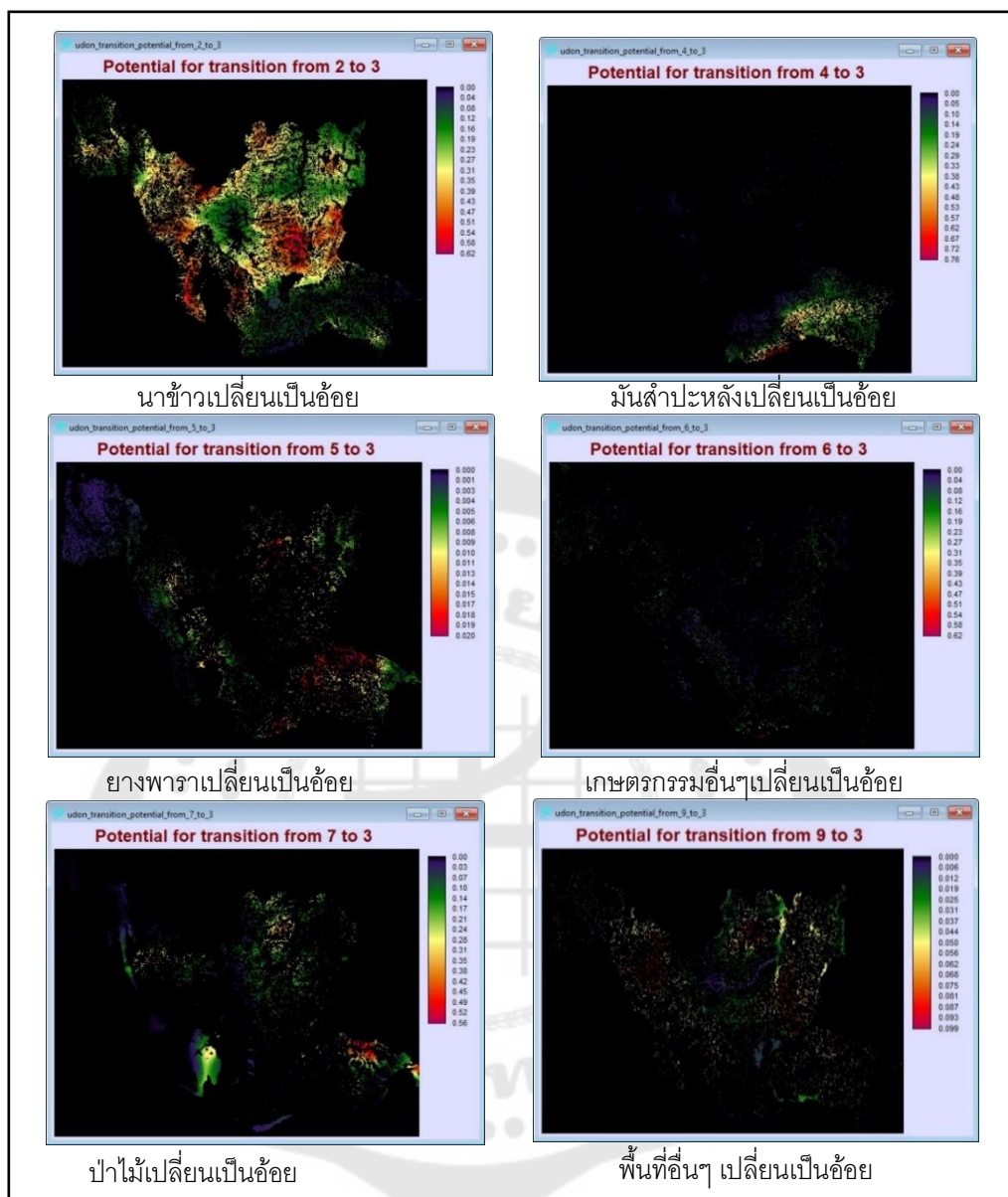


ป่าไม้เปลี่ยนเป็นนาข้าว

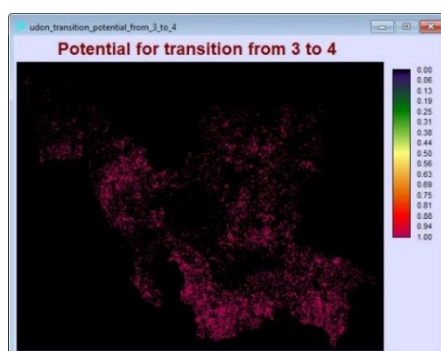


พื้นที่อื่นๆ เปลี่ยนเป็นนาข้าว

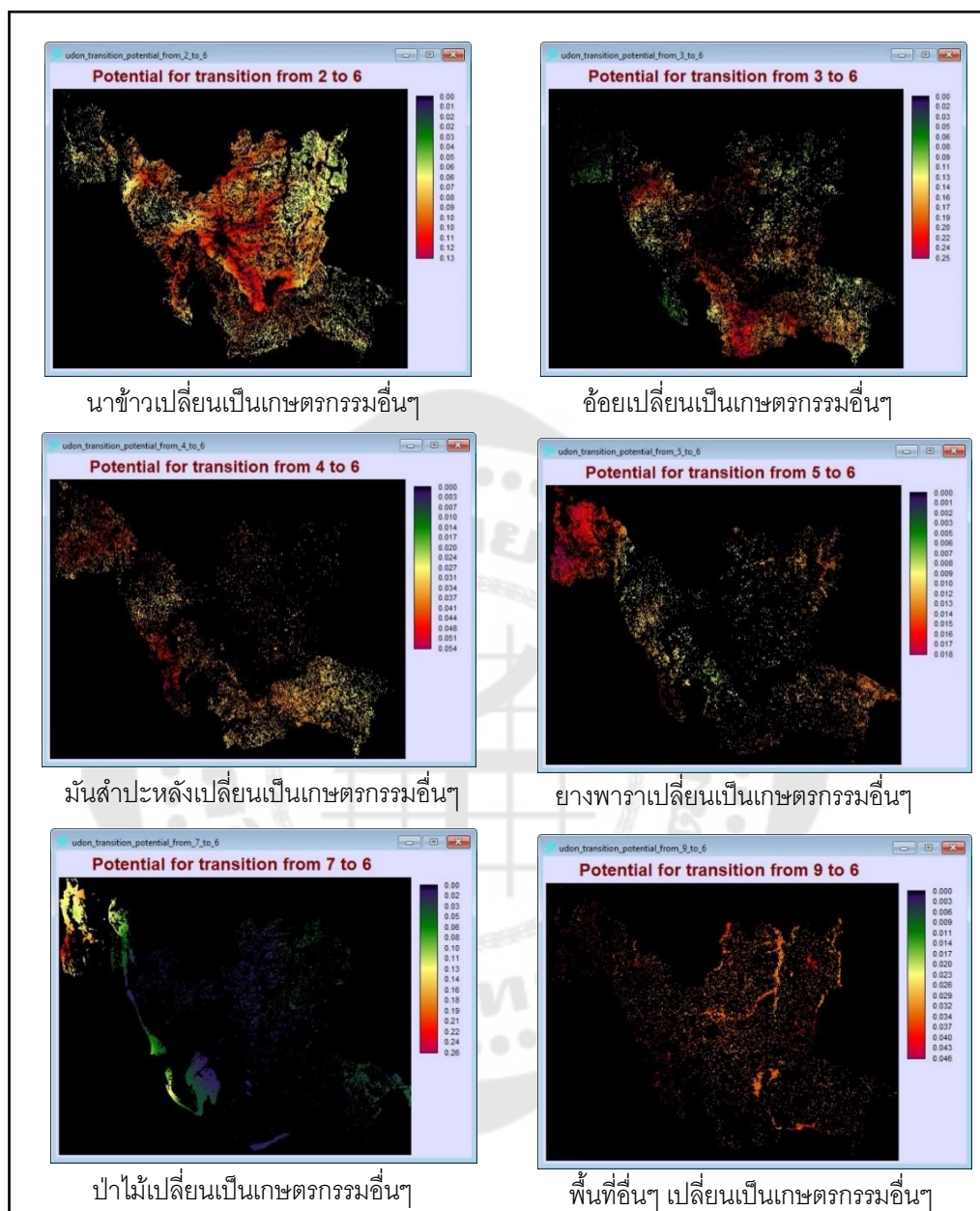
ภาพประกอบ 12 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นนาข้าว



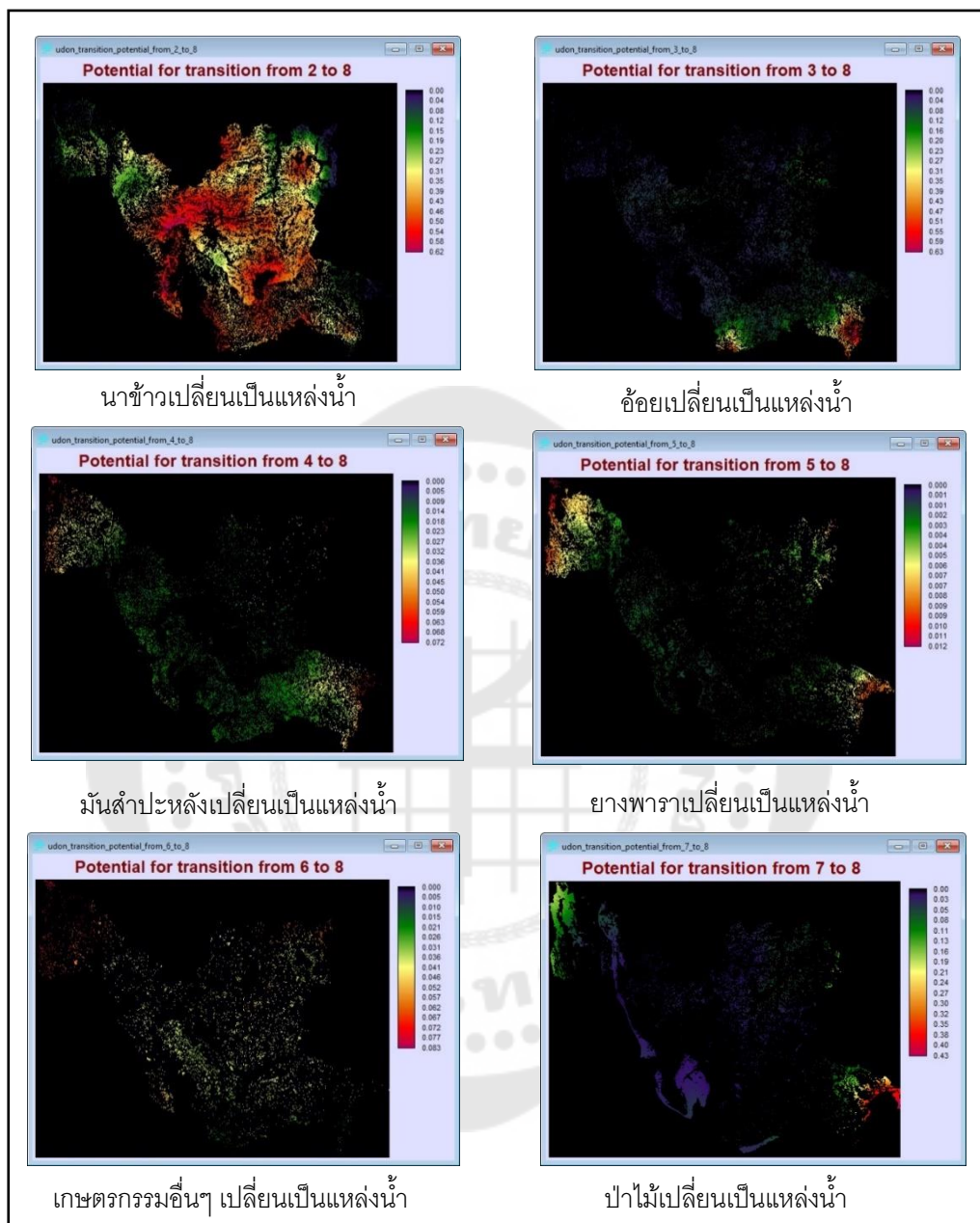
ภาพประกอบ 13 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นอ้อย



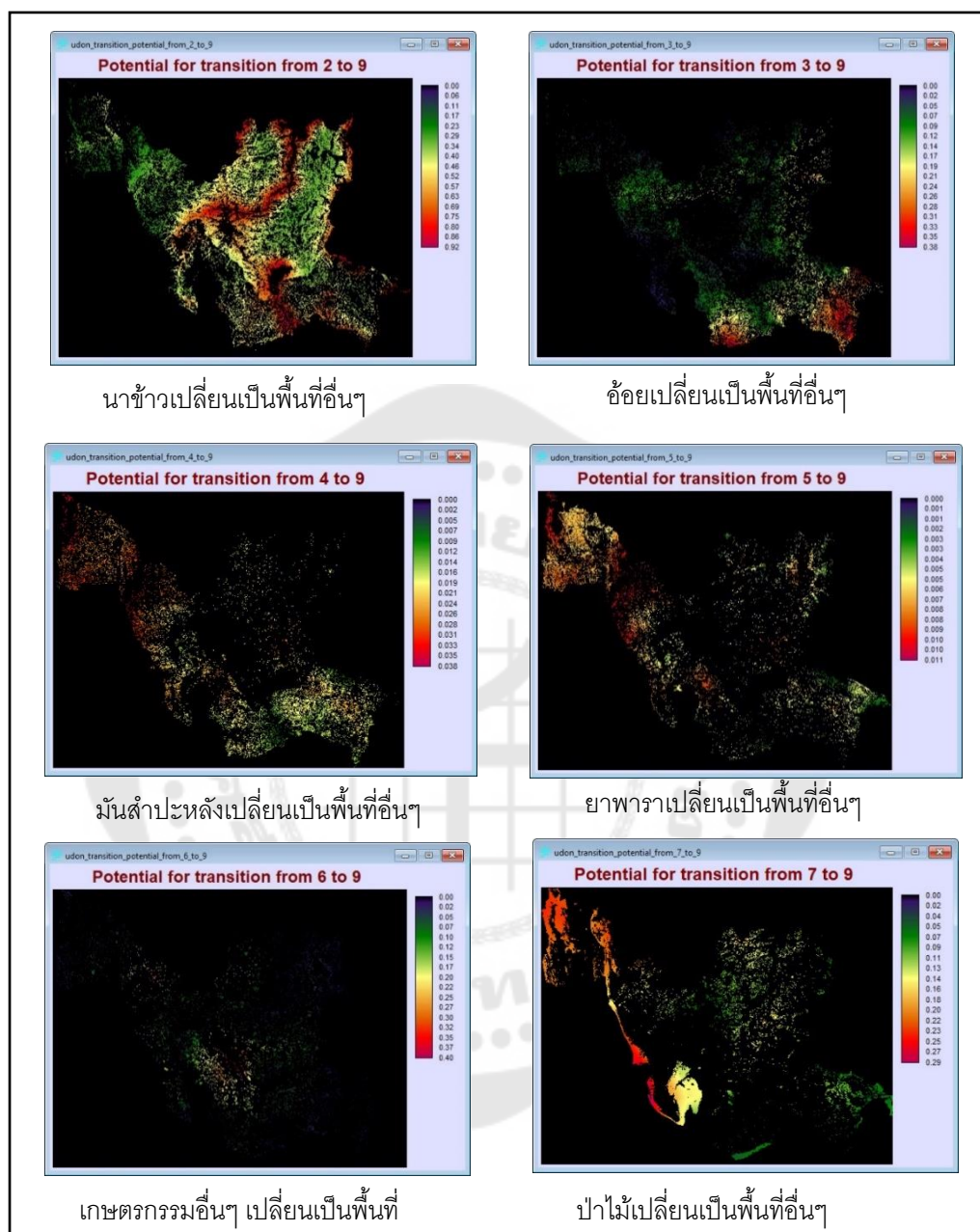
ภาพประกอบ 14 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงจากอ้อยเป็นมันสำปะหลัง



ภาพประกอบ 15 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ



ภาพประกอบ 16 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ

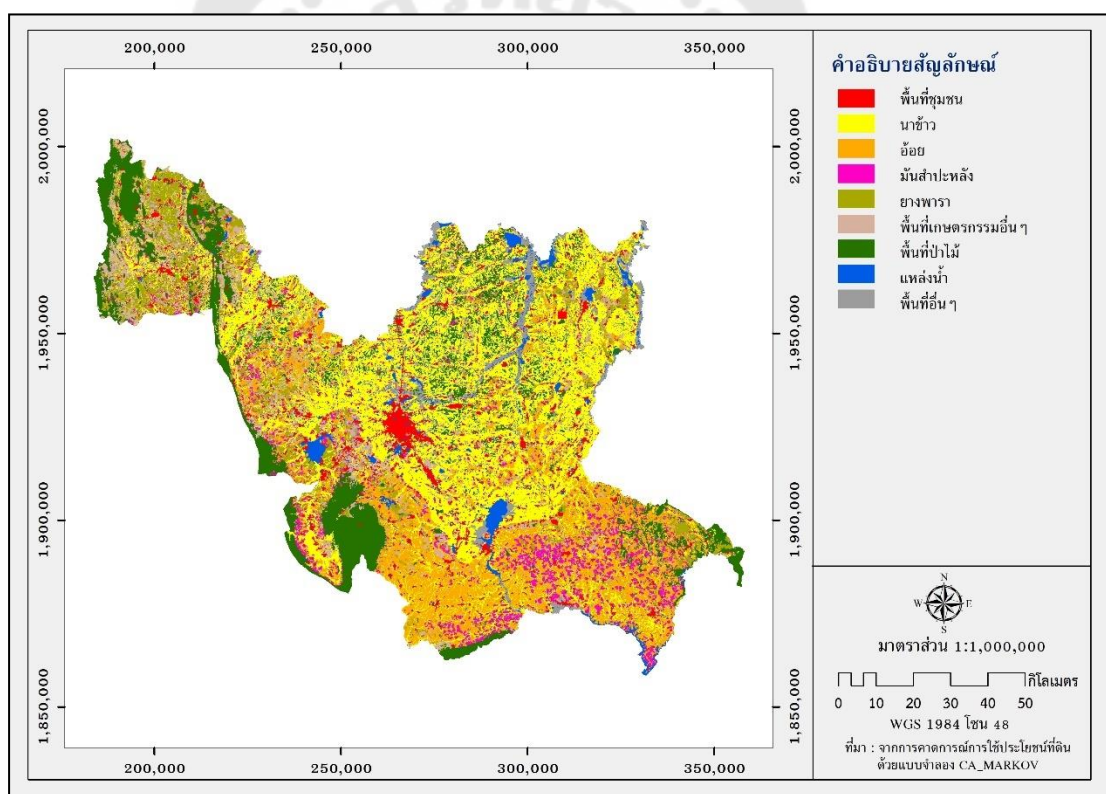


ภาพประกอบ 17 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่อื่นๆ

2.3 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้ที่ดินจากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการจำแนกข้อมูลดาวเทียม

2.3.1 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้ที่ดินจากแบบจำลอง CA-Markov

ผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov พบว่ามีพื้นที่นาข้าวมากที่สุดประมาณ 3,681.24 ตร.กม. หรือร้อยละ 33.25 รองลงมาคือ อ้อยมีพื้นที่ 1,791.43 ตร.กม. หรือร้อยละ 16.18 พื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่ 1,511.07 ตร.กม. หรือร้อยละ 13.65 ยางพารามีพื้นที่ 851.06 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.69 เกษตรกรรมอื่นๆ 844.39 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.63 พื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่ 737.37 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.66 พื้นที่ชุมชนมีพื้นที่ 680.60 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.15 พื้นที่มันสำปะหลังมีพื้นที่ 566.04 ตร.กม. หรือร้อยละ 5.11 และพื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่ 408.67 ตร.กม. หรือร้อยละ 3.69 ตามลำดับ ดังตาราง 14 และภาพประกอบ 18

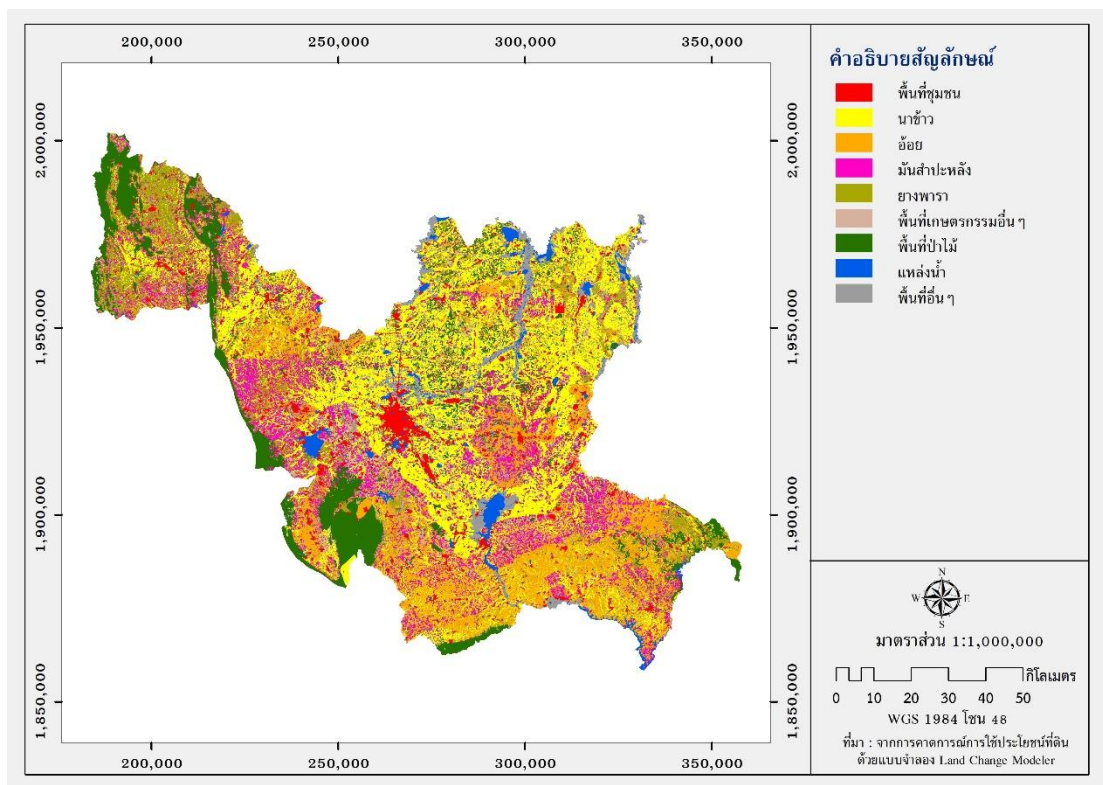


ภาพประกอบ 18 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2562
ที่ได้จากแบบจำลอง CA-Markov

เมื่อนำข้อมูลการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง กับข้อมูลการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายเทียม มาเปรียบเทียบกัน พบว่า พื้นที่ชุมชนมีพื้นที่ต่างกัน 42.52 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.73 ของความแตกต่างทั้งหมด พื้นที่นาข้าว ต่างกัน 612.39 ตร.กม. หรือร้อยละ 24.88 พื้นที่ปลูกอ้อย ต่างกัน 273.90 ตร.กม. หรือร้อยละ 11.13 พื้นที่มันสำปะหลัง ต่างกัน 465.02 ตร.กม. หรือร้อยละ 18.89 ยางพารา ต่างกัน 414.32 ตร.กม. หรือร้อยละ 16.83 พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ ต่างกัน 399.45 ตร.กม. หรือร้อยละ 16.23 พื้นที่ป่าไม้ ต่างกัน 218.81 ตร.กม. หรือร้อยละ 8.89 พื้นที่แหล่งน้ำ ต่างกัน 23.60 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.96 และพื้นที่อื่นๆ ต่างกัน 11.30 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.46 ดังตาราง 14 ทั้งนี้แบบจำลอง CA-Markov ใช้หลักการของกฎการมีชีวิตและการตายของเซลล์แวดล้อมตามทฤษฎี “The game of life” มาใช้ในการวิเคราะห์ร่วม ซึ่งสามารถคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ของสิ่งที่มีชีวิต เช่น พื้นที่ป่าไม้ อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา

2.3.2 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้ที่ดินจากแบบจำลอง Land Change Modeler (LCM)

ผลจากการคาดการณ์การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler พบว่ามีพื้นที่นาข้าวมากที่สุดประมาณ 3,306.08 ตร.กม. หรือร้อยละ 29.86 รองลงมาคือ อ้อยมีพื้นที่ 1,792.67 ตร.กม. หรือร้อยละ 16.19 มันสำปะหลังมีพื้นที่ 1,368.54 ตร.กม. หรือร้อยละ 12.36 พื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่ 1,268.91 ตร.กม. หรือร้อยละ 11.46 ยางพารามีพื้นที่ 1,025.07 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.26 พื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่ 757.06 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.84 พื้นที่ชุมชนมีพื้นที่ 690.38 ตร.กม. หรือร้อยละ 6.24 เกษตรกรรมอื่นๆ 443.35 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.00 และพื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่ 419.80 ตร.กม. หรือร้อยละ 3.79 ตามลำดับ ดังตารางที่ 14 และภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง Land Change Modeler

เมื่อนำข้อมูลการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง กับข้อมูลการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายเทียม มาเปรียบเทียบกัน พบว่า พื้นที่ชุมชนมีพื้นที่ต่างกัน 32.74 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.81 ของความแตกต่างทั้งหมด พื้นที่นาข้าว ต่างกัน 237.24 ตร.กม. หรือร้อยละ 20.34 พื้นที่ปลูกอ้อย ต่างกัน 272.66 ตร.กม. หรือร้อยละ 23.38 พื้นที่มันสำปะหลัง ต่างกัน 337.48 ตร.กม. หรือร้อยละ 28.94 ยางพารา ต่างกัน 240.30 ตร.กม. หรือร้อยละ 20.61 พื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ ต่างกัน 1.58 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.14 พื้นที่ป่าไม้ ต่างกัน 23.34 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.00 พื้นที่แหล่งน้ำ ต่างกัน 12.47 ตร.กม. หรือร้อยละ 1.07 และพื้นที่อื่น ๆ ต่างกัน 8.38 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.72 ดังตาราง 14 ทั้งนี้แบบจำลอง Land Change Modeler นำปัจจัยด้านทางกายภาพ สภาพทางเศรษฐกิจ และสังคม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของพื้นที่เข้าร่วมในการวิเคราะห์ด้วยจะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น สามารถคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตาราง 14 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง และความแตกต่างของข้อมูลจากแบบจำลอง กับข้อมูลการจำแนกจากดาวเทียม

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	การจำแนกดาวเทียม			แบบจำลอง CA-Markov			แบบจำลอง LCM			การเปลี่ยนแปลง (CA-Markov)			การเปลี่ยนแปลง (LCM)		
	ตร.กม.	ร้อยละ		ตร.กม.	ร้อยละ		ตร.กม.	ร้อยละ		ตร.กม.	ร้อยละ		ตร.กม.	ร้อยละ	
พื้นที่ชุมชน	723.12	6.53		680.60	6.15		690.38	6.24		-42.52	-1.73		-32.74	-2.81	
นาข้าว	3,068.84	27.72		3,681.24	33.25		3,306.08	29.86		612.39	24.88		237.24	20.34	
อ้อย	2,065.33	18.65		1,791.43	16.18		1,792.67	16.19		-273.90	-11.13		-272.66	-23.38	
มันสำปะหลัง	1,031.06	9.31		566.04	5.11		1,368.54	12.36		-465.02	-18.89		337.48	28.94	
ยางพารา	1,265.37	11.43		851.06	7.69		1,025.07	9.26		-414.32	-16.83		-240.30	-20.61	
เกษตรกรรมอื่นๆ	444.94	4.02		844.39	7.63		443.35	4.00		399.45	16.23		-1.58	-0.14	
พื้นที่ป่าไม้	1,292.26	11.67		1,511.07	13.65		1,268.91	11.46		218.81	8.89		-23.34	-2.00	
พื้นที่แหล่งน้ำ	432.27	3.90		408.67	3.69		419.80	3.79		-23.60	-0.96		-12.47	-1.07	
พื้นที่อื่นๆ	748.68	6.76		737.37	6.66		757.06	6.84		-11.30	-0.46		8.38	0.72	
รวม	11,071.87	100.00		11,071.87	100.00		11,071.87	100.00		2,461.32	100.00		1,166.20	100.00	

2.4 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง

การประเมินความถูกต้องจากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ใช้วิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติแคปป่า (Kappa Statistic; KHAT หรือ KAPPA Index of Agreement; KIA) ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่จะทำการบ่งชี้ข้อมูลในแต่ละประเภททั้งหมดว่ามีความเข้ากันได้ หรือมีความถูกต้องระหว่างข้อมูลจากการจำแนกการสำรวจระยะไกลและข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงที่บ่งชี้ค่าหลักในแนวทแยงและการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดในแถวและคอลัมน์ (ธีระ ลาภิศชาญกุล, 2550) ดังสมการ

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

โดยที่ r = จำนวนแถว
 N = จำนวนทั้งหมดที่ทำการจำแนก
 x_{ii} = จำนวนค่าจุดภาพในแต่ละแถว i และคอลัมน์ i ของการจำแนกแต่ละประเภท
 x_{i+}, x_{+i} = จำนวนเศษค่าจุดภาพในแต่ละแถว i และคอลัมน์ i ของการจำแนกแต่ละประเภท

การหาค่าสถิติ Kappa ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการหาความสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากการจำแนกประเภทของข้อมูลโดยตรง พร้อมทั้งทำการประเมินความถูกต้อง ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของผู้จัดกลุ่มหรือผู้จำแนกกลุ่มข้อมูลว่ามีเท่าไรคิดเป็นร้อยละเท่าใด และค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (user's accuracy) ของแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นค่าที่บ่งบอกว่าข้อมูลที่ได้เมื่อนำไปใช้ประโยชน์มีความถูกต้องคิดเป็นร้อยละเท่าไร (ภาดियะ พัฒนาศักดิ์, 2557)

การประเมินระดับความถูกต้องของค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปาตามเกณฑ์ของ Congalton and Green (2008) ดังนี้

- ค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปา มากกว่าร้อยละ 80 แสดงถึงความสอดคล้องหรือความถูกต้องระดับสูง ระหว่างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากการจำแนกข้อมูลดาวเทียมและแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง

- ค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปา อยู่ระหว่างร้อยละ 40 - 80 แสดงถึงความสอดคล้องหรือความถูกต้องระดับปานกลาง ระหว่างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากการจำแนกข้อมูลดาวเทียมและแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง

- ค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปา น้อยกว่าร้อยละ 40 แสดงถึงความสอดคล้องหรือความถูกต้องระดับต่ำ ระหว่างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากการจำแนกข้อมูลดาวเทียมและแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง

ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในพ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในตาราง 15 พบว่า มีค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปา ร้อยละ 79.78 ซึ่งให้ความถูกต้องอยู่ระดับปานกลาง และพบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้งานมากกว่าร้อยละ 75 ได้แก่ พื้นที่ชุมชน นาข้าว พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ

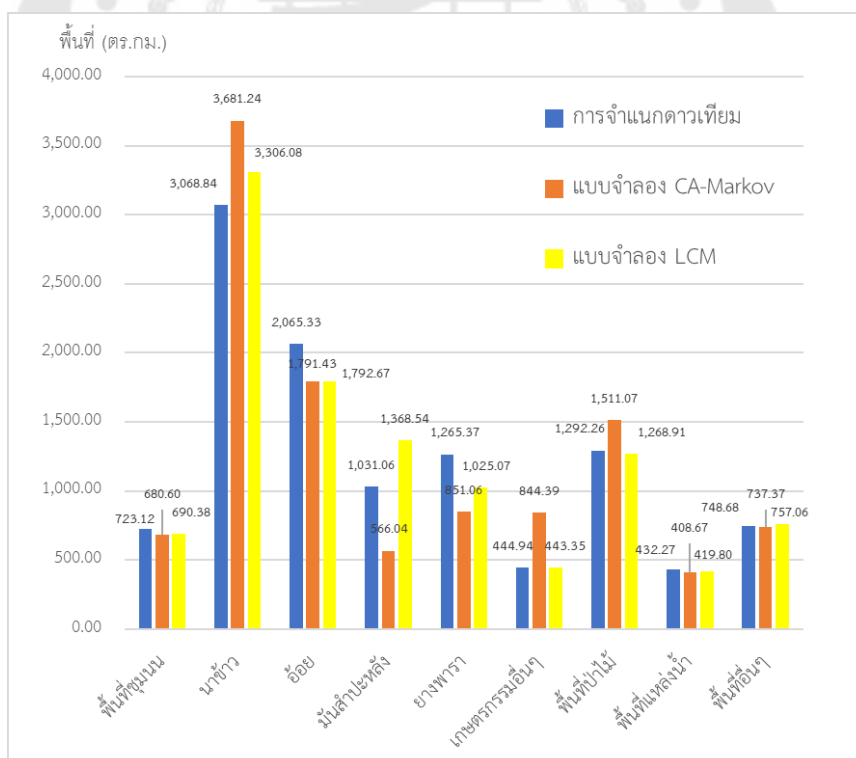
ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในพ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ในตาราง 16 พบว่า มีค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปา ร้อยละ 84.78 ซึ่งให้ความถูกต้องอยู่ระดับสูง และพบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้งานมากกว่าร้อยละ 75 ได้แก่ พื้นที่ชุมชน นาข้าว ยางพารา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้งานน้อยกว่าร้อยละ 75 ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา และพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ แต่พบว่าการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้งานสูงกว่าการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

ดังนั้น ผลการวิเคราะห์และคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคต พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ซึ่งให้เห็นว่าแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงใช้ที่ดินในอนาคต ทั้งสองนี้มีความแตกต่างกัน จากการเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นความถูกต้องทำให้เห็นถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้แบบจำลองเพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ให้ความแม่นยำในระดับปานกลาง ร้อยละ 79.78 จึงสามารถนำมาใช้ในการคำนวณสัดส่วนการใช้ที่ดินแบบไม่มีข้อจำกัดเชิงพื้นที่ได้ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler เป็นแบบจำลองที่มีความแม่นยำระดับสูง มีค่าความแม่นยำร้อยละ 84.78 ซึ่งแบบจำลองนี้ได้้นำปัจจัยด้านทางกายภาพ

ด้านเศรษฐกิจและสังคม ของพื้นที่เข้าร่วมในการวิเคราะห์ด้วยจึงทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยเป็นปัจจัยที่ดังกล่าวจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งมีผลทำให้การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาข้างต้นสามารถนำมาสรุปและแสดงผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่าง ดังภาพประกอบ 20 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลการจำแนกดาวเทียม Landsat มากที่สุดคือแบบจำลอง Land Change Modeler โดยมีประเภทรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินใกล้เคียงกับข้อมูลจำแนกดาวเทียมมากกว่าแบบจำลอง CA-Markov และในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลอง Land Change Modeler ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ใน พ.ศ. 2580 เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากแบบจำลอง Land Change Modeler กับที่ได้จากการจำแนกข้อมูลดาวเทียม พบว่า มีพื้นที่การใช้ที่ดินต่างกันประมาณ 1,166.20 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.53 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งมีพื้นที่แตกต่างที่น้อยกว่าจากแบบจำลอง CA-Markov ที่มีพื้นที่การใช้ที่ดินต่างกันประมาณ 2,461.32 ตร.กม.



ภาพประกอบ 20 การเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการจำแนกดาวเทียม Landsat พ.ศ. 2562

ตาราง 15 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง CA-Markov

พ.ศ. 2562 (ดาวเทียม)	พ.ศ. 2562 (ภาพถ่ายทางอากาศ)/ตร.กม.									
U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M	รวม	
U	650.82	23.94	7.34	1.14	0.69	18.35	12.65	0.52	7.67	723.12
A1	0.42	2,922.00	106.11	1.59	3.65	7.76	6.95	0.89	19.47	3,068.84
A203	2.13	470.67	955.27	240.44	71.51	144.35	110.53	0.99	69.44	2,065.33
A204	3.66	40.35	373.71	235.77	141.12	157.84	46.73	1.34	30.52	1,031.06
A302	12.61	48.19	211.50	42.86	591.66	272.23	68.37	0.75	17.21	1,265.37
A	6.26	49.65	77.59	26.58	39.41	208.99	14.51	1.12	20.82	444.94
F	0.31	4.81	33.20	6.63	1.39	10.12	1,233.59	0.08	2.13	1,292.26
W	0.86	18.40	3.98	0.41	0.45	3.33	3.23	396.93	4.68	432.27
M	3.51	103.22	22.73	10.63	1.18	21.43	14.51	6.05	565.43	748.68
รวม	680.60	3,681.24	1,791.43	566.04	851.06	844.39	1,511.07	408.67	737.37	11,071.87
P.A. (%)	95.62	79.38	53.32	41.65	69.52	24.75	81.64	97.13	76.68	
U.A. (%)	90.00	95.21	46.25	22.87	46.76	46.97	95.46	91.82	75.52	
Kappa (%)	79.78									

ค่าความถูกต้องของแบบจำลองเท่ากับร้อยละ 79.78

หมายเหตุ U คือ พื้นที่ชุมชน A1 คือ นาข้าว A203 คือ อ้อย
A204 คือ มันสำปะหลัง A302 คือ ยางพารา A คือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ
F คือ พื้นที่ป่าไม้ W คือ พื้นที่แหล่งน้ำ M คือ พื้นที่อื่นๆ
P.A., producer's accuracy; U.A., user's accuracy

ตาราง 16 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง Land Change Modeler

พ.ศ. 2562 (ดาวเทียม)	พ.ศ. 2562 (ดาวเทียม)/ตร.กม.									
	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M	รวม
U	685.03	13.12	3.99	3.69	0.94	3.11	3.03	0.38	9.83	723.12
A1	0.36	2,783.72	240.22	21.14	4.02	4.21	3.24	0.93	11.00	3,068.84
A203	0.86	326.97	996.15	550.12	35.53	55.48	45.25	0.79	54.19	2,065.33
A204	0.79	32.54	251.85	630.41	27.12	40.96	23.89	0.36	23.15	1,031.06
A302	1.23	32.40	107.06	125.55	945.42	25.23	15.67	0.42	12.40	1,265.37
A	0.32	24.59	59.30	25.47	9.24	311.58	3.85	0.45	10.16	444.94
F	0.34	15.36	91.46	7.32	1.41	1.11	1,171.49	0.12	3.64	1,292.26
W	0.66	7.38	2.18	1.30	0.49	0.50	1.08	414.43	4.26	432.27
M	0.79	70.00	40.47	3.53	0.92	1.18	1.42	1.93	628.44	748.68
รวม	690.38	3,306.08	1,792.67	1,368.54	1,025.07	443.35	1,268.91	419.80	757.06	11,071.87
P.A. (%)	99.23	84.20	55.57	46.06	92.23	70.28	92.32	98.72	83.01	
U.A. (%)	94.73	90.71	48.23	61.14	74.71	70.03	90.65	95.87	83.94	
Kappa (%)	84.78									

ค่าความถูกต้องของแบบจำลองเท่ากับร้อยละ 84.78

หมายเหตุ U คือ พื้นที่ชุมชน A1 คือ นาข้าว A203 คือ อ้อย
A204 คือ มั่นลำปะหลัง A302 คือ ยางพารา A คือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ
F คือ พื้นที่ป่าไม้ W คือ พื้นที่แหล่งน้ำ M คือ พื้นที่อื่นๆ
P.A., producer's accuracy; U.A., user's accuracy

3. คาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ในอีก 18 ปีข้างหน้า ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler คาดการณ์การใช้ที่ดิน พ.ศ. 2580 จากข้อมูลดาวเทียม Landsat พ.ศ. 2557 และ 2562 โดยกำหนดสัดส่วนการใช้ที่ดิน ตาราง 17 และความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ตาราง 18 ด้วยแบบจำลอง Markov นำค่าดังกล่าวไปใช้เพื่อการทำนายหรือการคาดการณ์รูปแบบการใช้ที่ดินใน พ.ศ. 2580 ด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ทำการระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการสร้างแผนที่ศักยภาพ (transition potential maps) ดังภาพประกอบ 22 - 28 แผนที่ศักยภาพของการเปลี่ยนแปลงสร้างขึ้นจากวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ช่วงเวลา ด้วยการใช้ค่าทางสถิติ ซึ่ง ใช้ Cramer's V เป็นตัวประเมิน พบว่า มีปัจจัยที่สามารถนำมาที่ใช้ในแบบจำลอง Land Change Modeler สำหรับคาดการณ์การใช้ที่ดินในอนาคตได้ ประกอบด้วย แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ระยะห่างจากเทศบาลเมือง เทศบาลตำบล ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากทางรถไฟ ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำชลประทาน พื้นที่ป่าอนุรักษ์ และเขตประกอบการอุตสาหกรรม ดังตาราง 19 ภาพประกอบ 21

ตาราง 17 สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2580 จากแบบจำลอง Land Change Modeler

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
U	723.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A1	40.82	1,950.86	755.24	147.00	0.00	49.72	0.00	22.71	102.50
A203	15.49	98.93	1,502.94	361.64	0.00	65.47	0.00	7.02	13.63
A204	8.97	21.96	425.31	530.58	0.00	35.26	0.00	2.99	5.98
A302	4.93	17.84	163.74	94.65	949.03	29.10	0.00	2.28	3.92
A	8.59	12.32	134.73	76.26	0.00	208.28	0.00	1.65	3.07
F	10.21	13.05	153.65	74.18	0.00	12.66	1,020.11	3.75	4.52

ตาราง 17 (ต่อ)

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
W	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	432.27	0.00
M	27.40	31.44	159.39	65.81	0.00	22.83	0.00	12.28	429.59

หมายเหตุ U คือ พื้นที่ชุมชน A1 คือ นาข้าว A203 คือ อ้อย
 A204 คือ มันสำปะหลัง A302 คือ ยางพารา A คือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ
 F คือ พื้นที่ป่าไม้ W คือ พื้นที่แหล่งน้ำ M คือ พื้นที่อื่นๆ

ตาราง 18 ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2580
 จากแบบจำลอง Land Change Modeler

	U	A1	A203	A204	A302	A	F	W	M
U	0.97	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
A1	0.01	0.59	0.25	0.05	0.04	0.02	0.01	0.01	0.03
A203	0.01	0.05	0.57	0.18	0.14	0.03	0.02	0.00	0.01
A204	0.01	0.02	0.41	0.27	0.23	0.03	0.01	0.00	0.01
A302	0.00	0.01	0.13	0.07	0.74	0.02	0.01	0.00	0.00
A	0.02	0.03	0.30	0.17	0.17	0.28	0.01	0.00	0.01
F	0.01	0.01	0.12	0.06	0.06	0.01	0.73	0.00	0.00
W	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	0.01
M	0.04	0.04	0.21	0.09	0.07	0.03	0.01	0.02	0.49

หมายเหตุ U คือ พื้นที่ชุมชน A1 คือ นาข้าว A203 คือ อ้อย
 A204 คือ มันสำปะหลัง A302 คือ ยางพารา A คือ พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ
 F คือ พื้นที่ป่าไม้ W คือ พื้นที่แหล่งน้ำ M คือ พื้นที่อื่นๆ

ตาราง 19 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในอนาคต

ประเภท	ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง	ประเภทข้อมูล	หมายเหตุ
ระดับความสูงเชิงเลข	/	Raster	เพื่อสงวน อนุรักษ์ ทางธรรมชาติ
ความชัน		Raster	
ทิศด้านลาด		Raster	
ถนนสายหลัก	/	Line	ระยะยิ่งใกล้เส้นทางคมนาคม
ทางรถไฟ	/	Line	ยิ่งมีความสะดวกในการเข้าถึง
แหล่งน้ำธรรมชาติ	/	Polygon	เพื่อการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ชุมชน และการสงวน อนุรักษ์ ทางธรรมชาติ
แหล่งน้ำชลประทาน	/	Polygon	เพื่อการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม
พื้นที่ป่าเพื่ออนุรักษ์ (เขตป่าสงวนแห่งชาติ)	/	Polygon	เพื่อการสงวน อนุรักษ์ ทาง ธรรมชาติ
ความหนาแน่นประชากร (คนต่อ ตร.กม.)		Polygon	เพื่อการพัฒนาชุมชนและสิ่งปลูก สร้าง
พื้นที่เทศบาลเมือง	/	Polygon	เพื่อการพัฒนาชุมชนและสิ่งปลูก สร้าง อุตสาหกรรมและคลังสินค้า รวมถึงสาธารณูปโภค
พื้นที่เทศบาลตำบล	/	Polygon	
โรงงานอุตสาหกรรม	/	point	เพื่อพัฒนาด้านอุตสาหกรรมและ คลังสินค้า

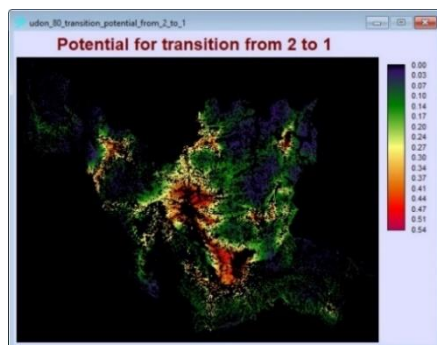
หมายเหตุ: สัญลักษณ์ / คือ ปัจจัยที่นำมาใช้วิเคราะห์

พื้นที่ศักยภาพของการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยที่ความเหมาะสมของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พิจารณาจากความสัมพันธของปัจจัยแต่ละประเภท ความเหมาะสมของสภาพภูมิประเทศ และความเหมาะสมของดิน ซึ่งพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ตามสภาพพื้นที่นั้น พื้นที่ความเหมาะสมมากจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง 1 ในขณะที่พื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อยจะมีค่าเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0 พื้นที่ความเหมาะสมเพื่อเกษตรกรรม ได้แก่ นาข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง ของจังหวัดอุดรธานี มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 พบพื้นที่เหมาะสมสูงสุดบริเวณตอนกลางและใต้ของจังหวัดซึ่งเป็นบริเวณที่ราบ ได้แก่ อำเภอโนนสะอาด อำเภอศรีธาตุ อำเภอวังสามหมอ และอำเภอหนองหาร เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกนาข้าว มันสำปะหลัง อ้อยโรงงาน และยางพารา ภาพประกอบ 23 - 26

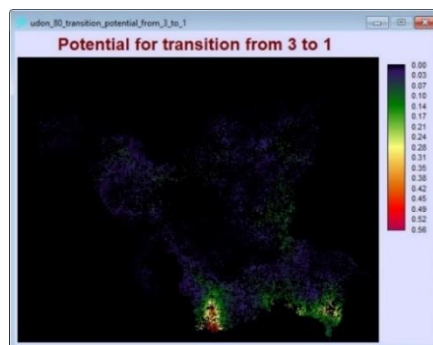
ทั้งนี้ พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเป็นพื้นที่เกษตรกรรมของจังหวัดอุดรธานี มักถูกเปลี่ยนแปลงเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆ คือ เปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอน้ำโสม อำเภอหนองวัวซอ อำเภอโนนสะอาด ตามแนวเส้นทางคมนาคมสายหลักของจังหวัดอุดรธานี

พื้นที่ที่มีความเหมาะสมเพื่อพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างของจังหวัดอุดรธานี มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 พบพื้นที่เหมาะสมสูงสุดกระจุกตัวอยู่บริเวณอำเภอเมืองอุดรธานี ตลอดจนแม่น้ำสายหลัก ได้แก่ อำเภอเมืองอุดรธานี อำเภอประจักษ์ อำเภอน้ำโสม และอำเภอโนนสะอาด และกระจุกตัวมากบริเวณหนองหานกุมภวาปี ด้านใต้ของจังหวัดติดอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำปาว ภาพประกอบ 22

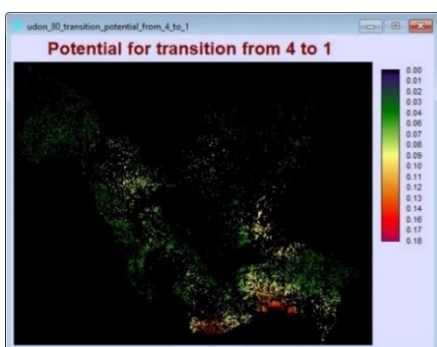
พื้นที่ที่มีความเหมาะสมเพื่อพื้นที่แหล่งน้ำ สำหรับเกษตรกรรม ชุมชน และการสงวนอนุรักษ์ทางธรรมชาติ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 พบพื้นที่เหมาะสมบริเวณตอนกลาง และด้านใต้ของจังหวัดอุดรธานี เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และตามแนวทางน้ำหลักของจังหวัด ได้แก่ ห้วยน้ำโสม ห้วยหลวง และหนองหารกุมภวาปี ทั้งนี้พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเป็นพื้นที่แหล่งน้ำของจังหวัดอุดรธานี มักเปลี่ยนแปลงมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆ คือ มาจากพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อื่นๆ ได้แก่ อำเภอเมืองอุดรธานี อำเภอประจักษ์ อำเภอกุมภวาปี อำเภอน้ำโสม และอำเภอวังสามหมอ ภาพประกอบ 27 - 28



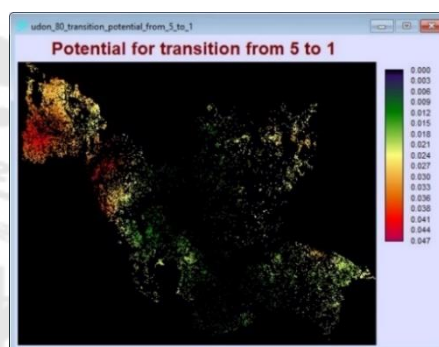
น้ำข้าวเปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน



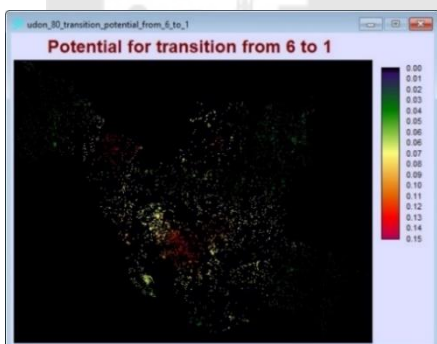
อ้อยเปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน



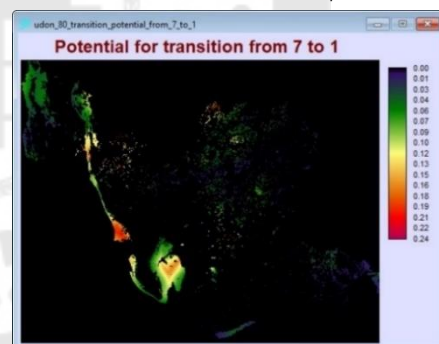
มันลำปะหลังเปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน



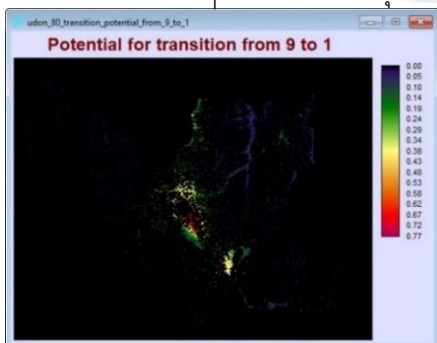
ยางพาราเปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน



เกษตรกรรมอื่นๆเปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน

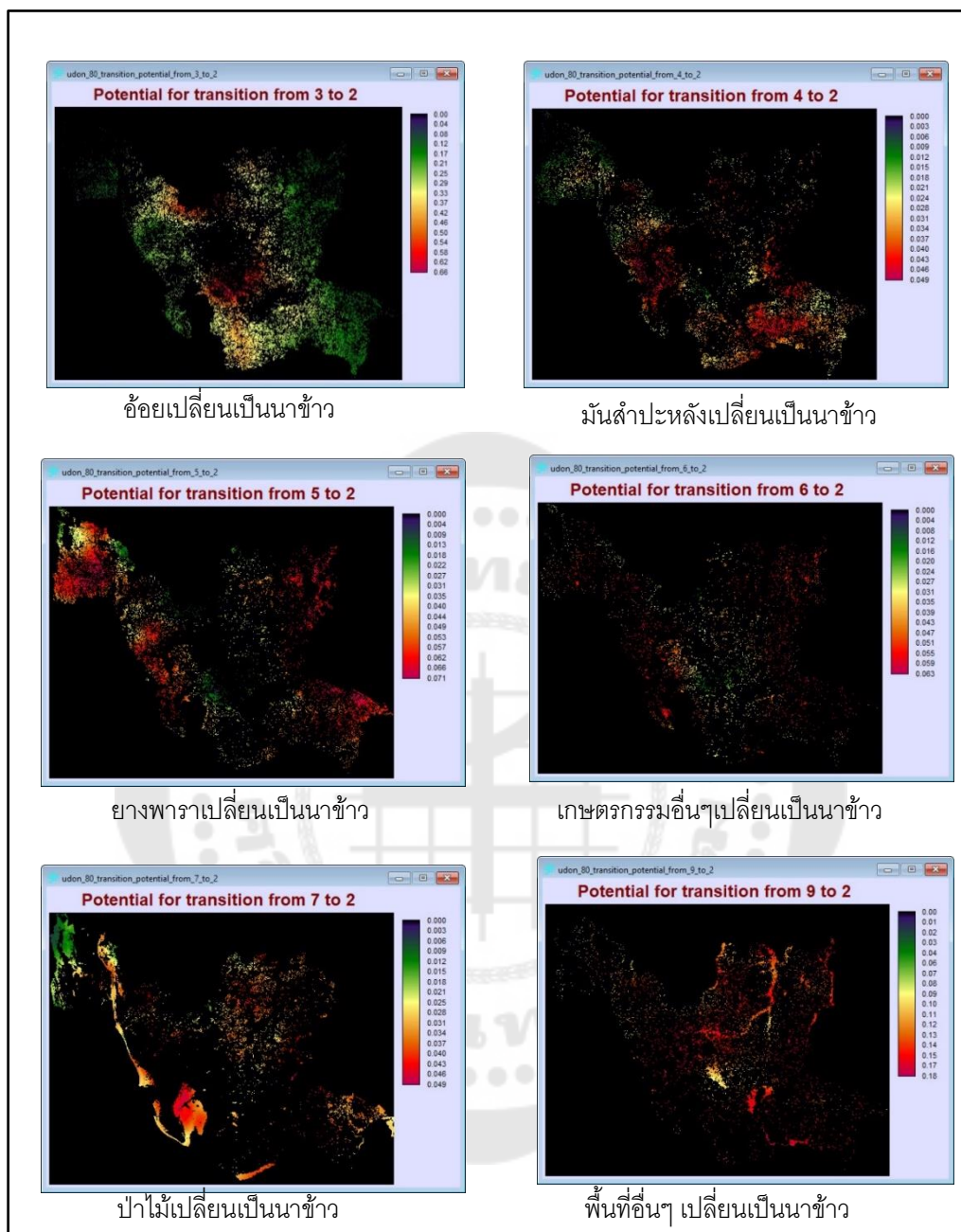


ป่าไม้เปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน

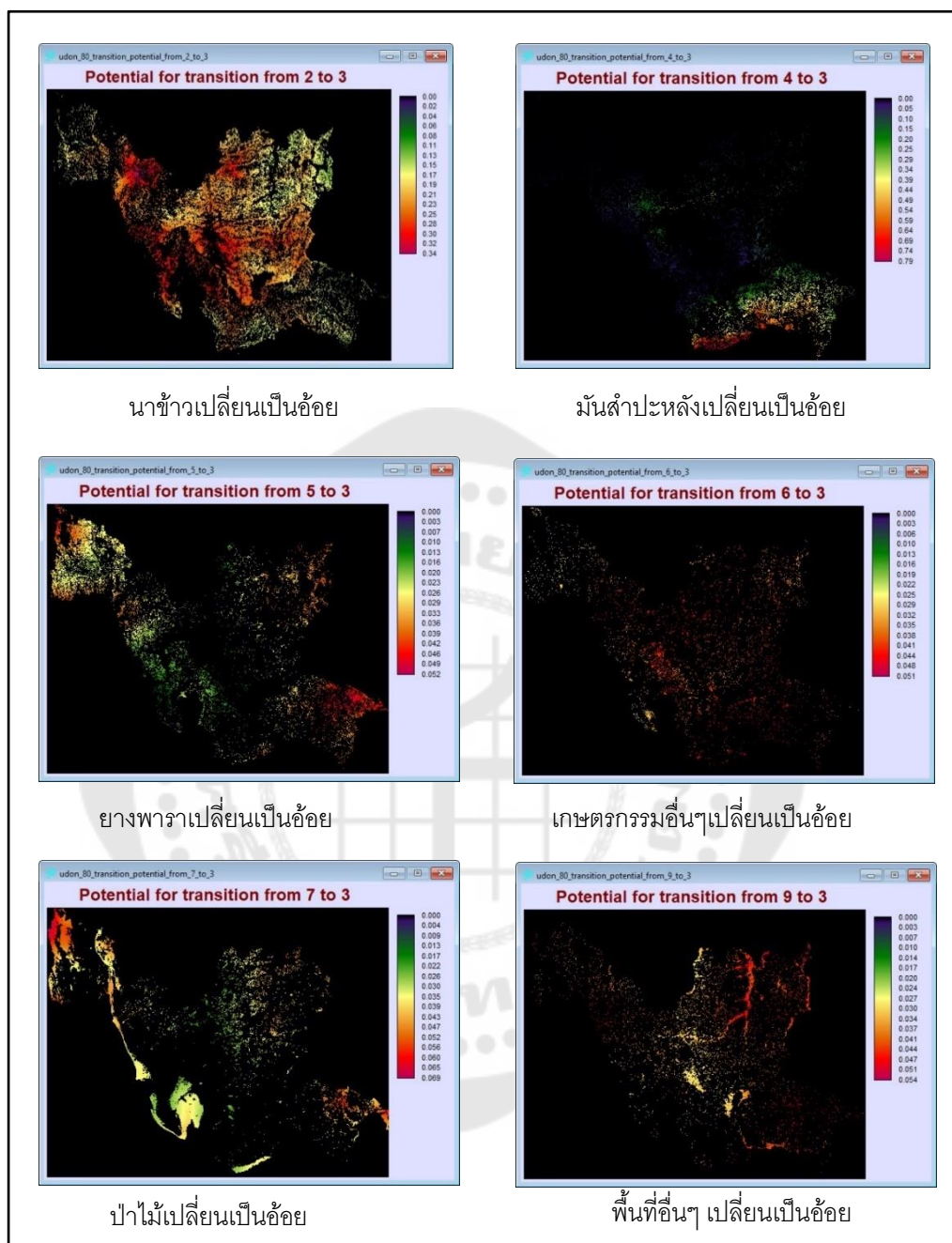


พื้นที่อื่นๆ เปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชน

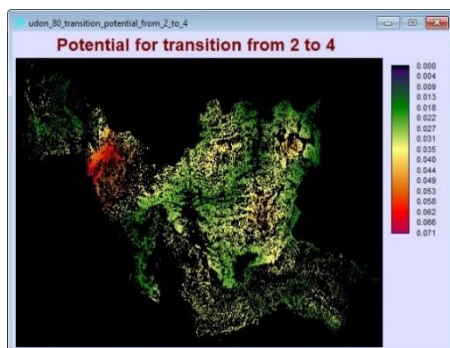
ภาพประกอบ 22 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ชุมชน



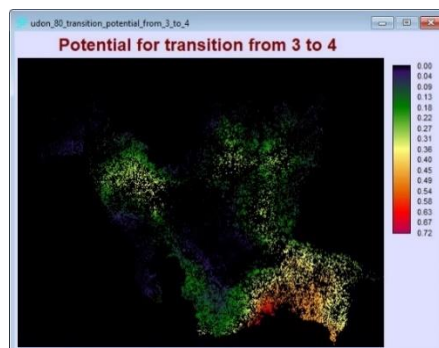
ภาพประกอบ 23 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นนาข้าว



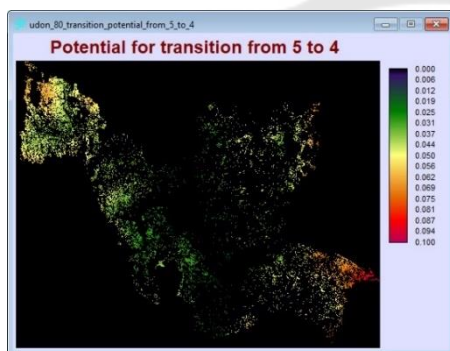
ภาพประกอบ 24 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นอ้อย



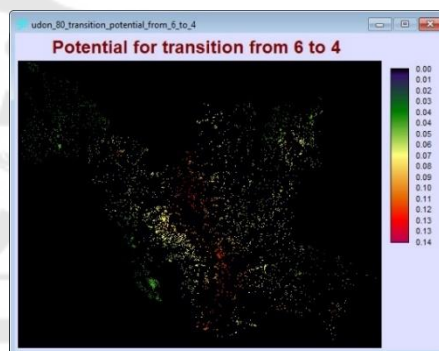
นาข้าวเปลี่ยนเป็นมันสำปะหลัง



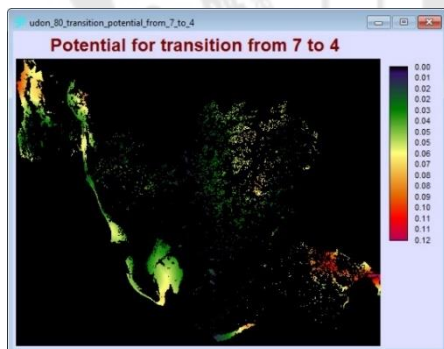
อ้อยเปลี่ยนเป็นมันสำปะหลัง



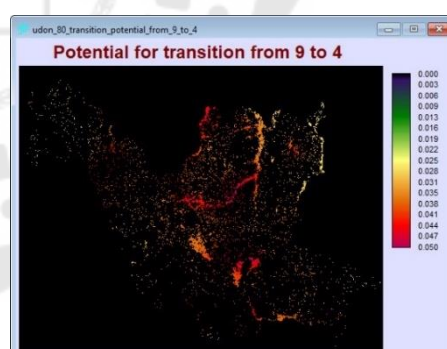
ยางพาราเปลี่ยนเป็นมันสำปะหลัง



เกษตรกรรมอื่นๆเปลี่ยนเป็นมันสำปะหลัง



ป่าไม้เปลี่ยนเป็นมันสำปะหลัง

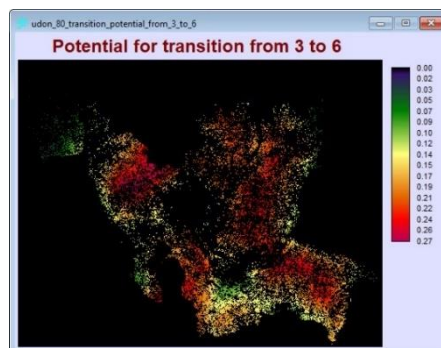


พื้นที่อื่นๆ เปลี่ยนเป็นมันสำปะหลัง

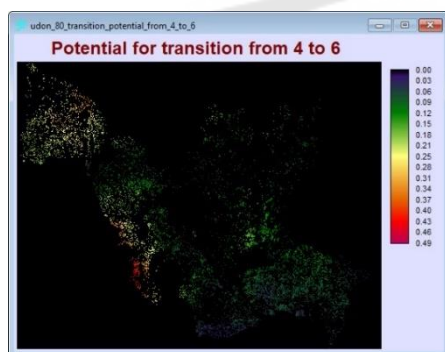
ภาพประกอบ 25 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นมันสำปะหลัง



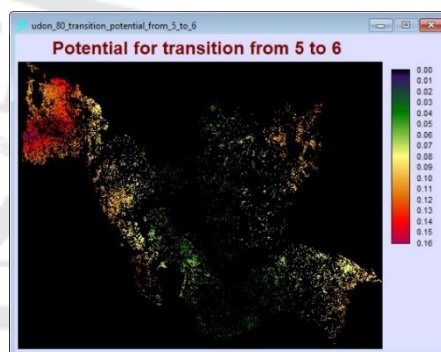
นาข้าวเปลี่ยนเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ



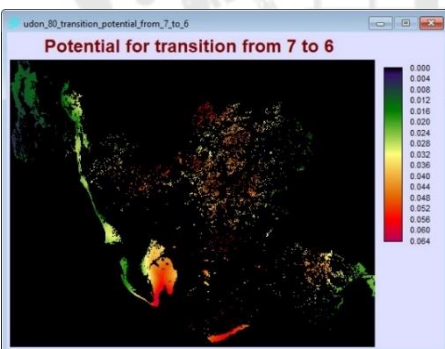
อ้อยเปลี่ยนเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ



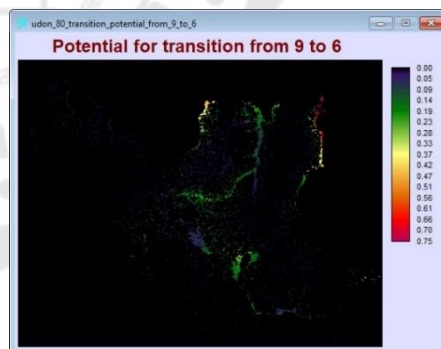
มันสำปะหลังเปลี่ยนเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ



ยางพาราเปลี่ยนเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ

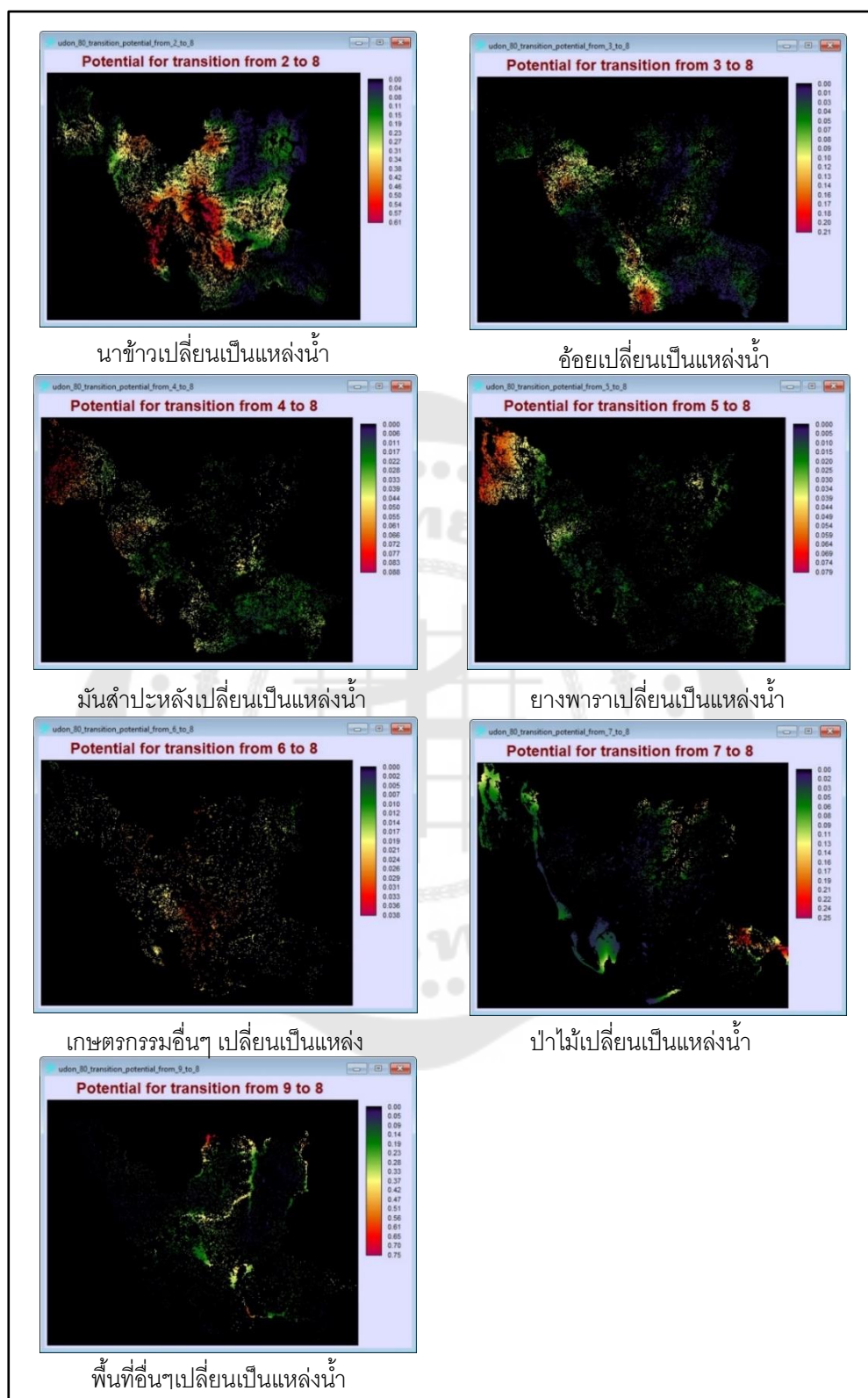


ป่าไม้เปลี่ยนเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ

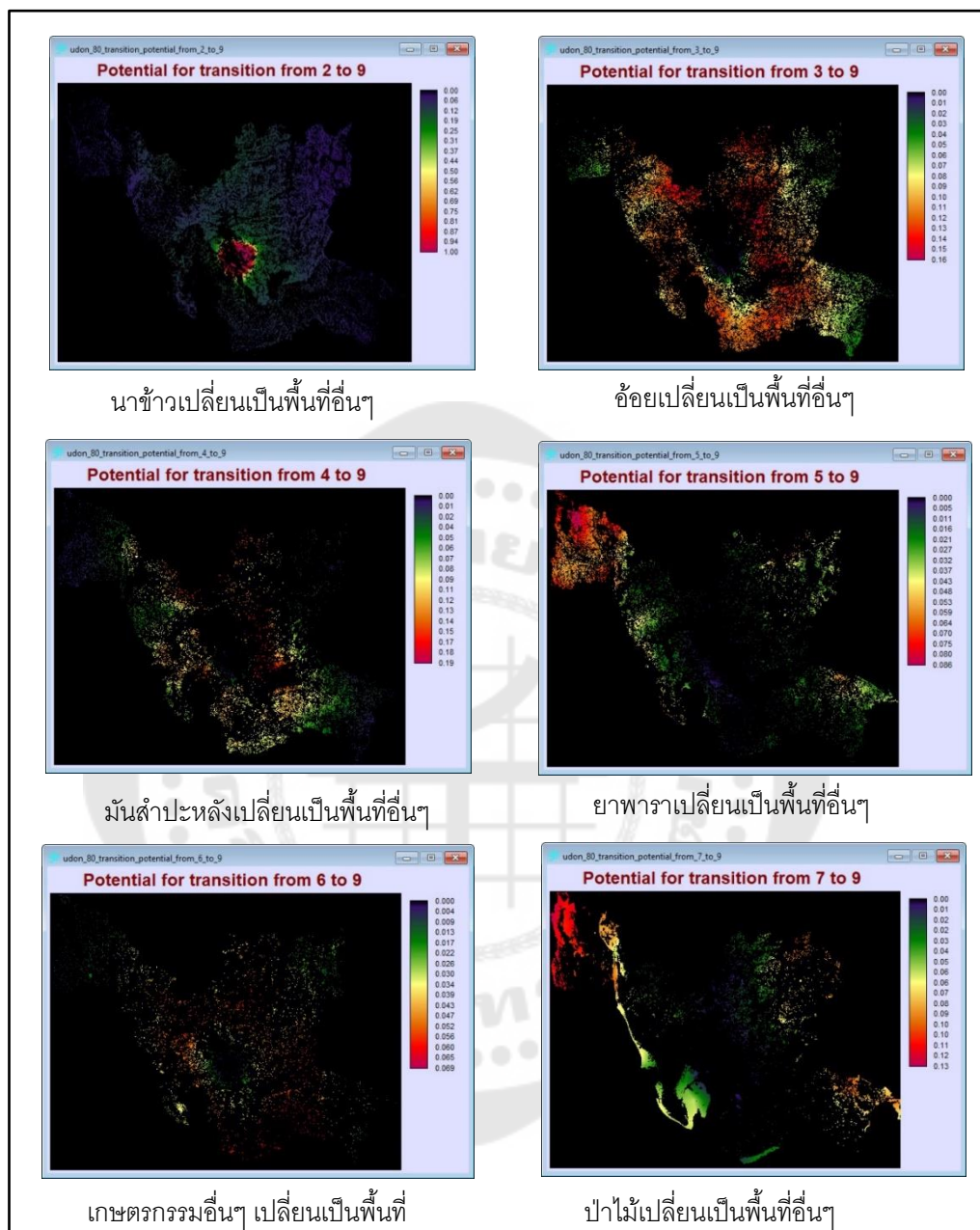


พื้นที่อื่นๆ เปลี่ยนเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ

ภาพประกอบ 26 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นเกษตรกรรมอื่นๆ

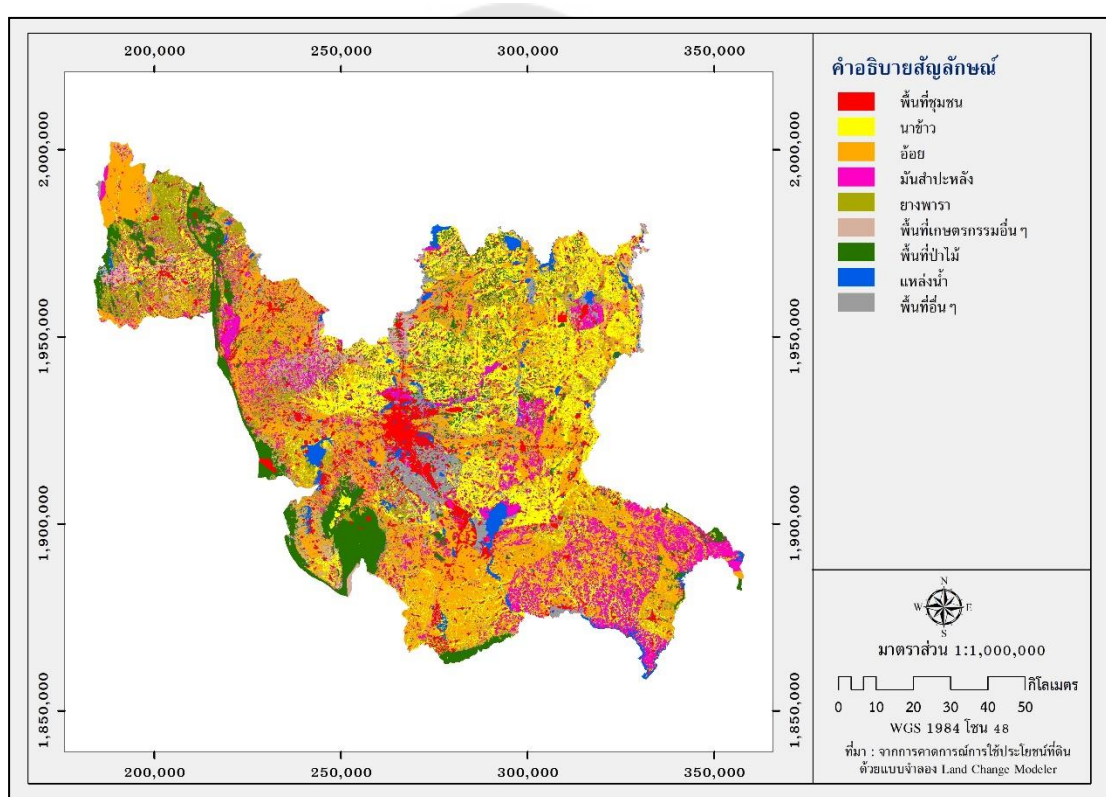


ภาพประกอบ 27 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ



ภาพประกอบ 28 แผนที่ศักยภาพต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่อื่นๆ

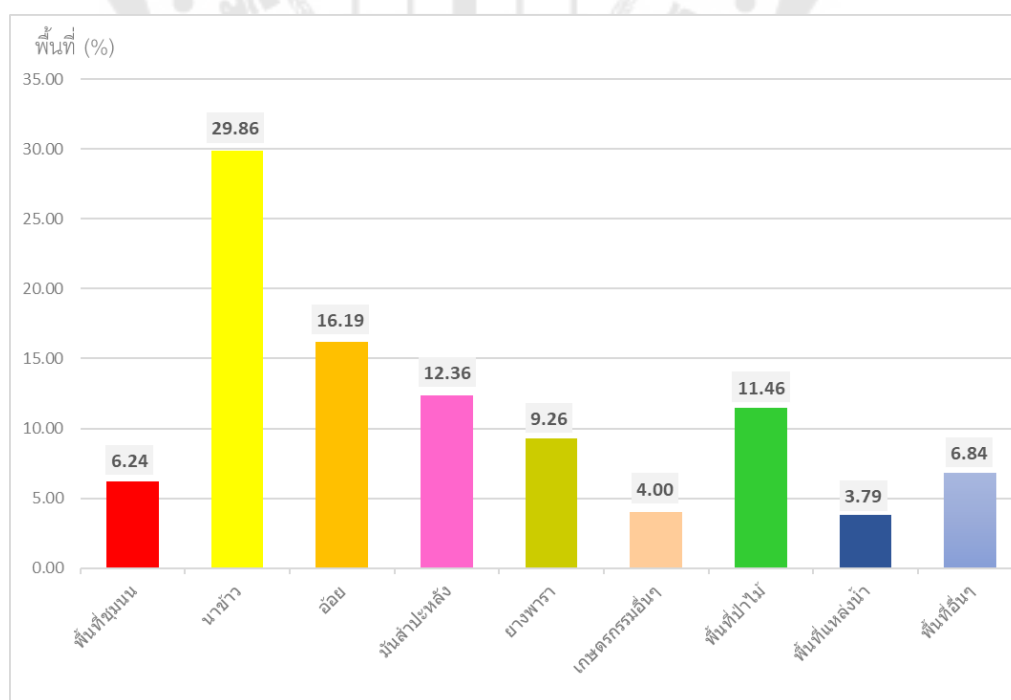
การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler พบว่า อีก 18 ปีข้างหน้าพื้นที่ศึกษามีพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุดประมาณ 3,295.21 ตร.กม. หรือร้อยละ 19.76 รองลงมาคือ นาข้าว 2,146.42 ตร.กม. หรือร้อยละ 19.39 มันสำปะหลัง 1,350.12 ตร.กม. หรือร้อยละ 12.19 พื้นที่ป่าไม้ 1,020.24 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.21 ยางพารา 948.90ตร.กม. หรือร้อยละ 8.57 พื้นที่ชุมชน 839.52 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.58 พื้นที่อื่นๆ 563.14 ตร.กม. หรือร้อยละ 5.09 พื้นที่แหล่งน้ำ 484.94 ตร.กม. หรือร้อยละ 3.38 และพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ 423.37 ตร.กม. หรือร้อยละ 3.82 ตามลำดับ ดังตาราง 20 และภาพประกอบ 29 และ 30



ภาพประกอบ 29 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2580

ตาราง 20 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2580

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)	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
รวม	11,071.87	100.00



ภาพประกอบ 30 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2580

สรุปได้ว่า การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วง พ.ศ. 2562-2580 มีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 1,229.88 ตร.กม. 319.06 ตร.กม. 116.41 ตร.กม. และ 52.67 ตร.กม. ตามลำดับ ส่วนพื้นที่นาข้าว ยางพารา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อื่นๆ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มี แนวโน้มว่าจะลดลง เท่ากับ 922.43 ตร.กม. 316.47 ตร.กม. 272.02 ตร.กม. 185.54 ตร.กม. และ 21.57 ตร.กม. ตามลำดับ ดังตาราง 21 และภาพประกอบ 31 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ดังตาราง 22 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ปลูกอ้อย มาจากพื้นที่นาข้าว มันสำปะหลัง พื้นที่อื่นๆ และพื้นที่ป่าไม้ การเพิ่มขึ้นของมันสำปะหลัง มาจากพื้นที่อ้อย นาข้าว ยางพารา และพื้นที่ป่าไม้ การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชุมชน มาจากการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจตามนโยบายการพัฒนาของจังหวัด และประชากรที่อาจเพิ่มสูงขึ้นด้วย และการเพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำเพื่อนำมาใช้อุปโภคบริโภค และการนำไปใช้เพื่อการเกษตร ผลจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกมากขึ้น ขณะที่พื้นที่ปลูกยางพารา ที่มีขยายตัวมาตลอดนั้นมีพื้นที่ลดลงอาจเป็นผลจากการถึงรอบตัดฟันของยางพาราและน้ำยางให้ผลผลิตน้อย รวมถึงราคาผลผลิตที่อาจตกต่ำจึงทำให้มีการแปรสภาพพื้นที่ปลูกพืชชนิดอื่นแทนที่ให้ผลตอบแทนสูงกว่า และพื้นที่นาข้าวมีการเปลี่ยนแปลงโดยตลอดมีพื้นที่ลดลงเปลี่ยนสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นการปลูกอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่อื่นๆ ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นๆ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สำหรับพื้นที่ป่าไม้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงโดยเปลี่ยนสภาพเป็นการทำการเกษตรที่มีการขยายตัวมากขึ้น

ตาราง 21 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2562-2580

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2562		พ.ศ. 2580		การเปลี่ยนแปลง	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ
พื้นที่ชุมชน	723.12	6.53	839.52	7.58	116.41	3.39
นาข้าว	3,068.84	27.72	2,146.42	19.39	-922.43	-26.85
อ้อย	2,065.33	18.65	3,295.21	29.76	1,229.88	35.79
มันสำปะหลัง	1,031.06	9.31	1,350.12	12.19	319.06	9.29
ยางพารา	1,265.37	11.43	948.90	8.57	-316.47	-9.21
เกษตรกรรมอื่นๆ	444.94	4.02	423.37	3.82	-21.57	-0.63
พื้นที่ป่าไม้	1,292.26	11.67	1,020.24	9.21	-272.02	-7.92
พื้นที่แหล่งน้ำ	432.27	3.90	484.94	4.38	52.67	1.53
พื้นที่อื่นๆ	748.68	6.76	563.14	5.09	-185.54	-5.40
รวม	11,071.87	100.00	11,071.87	100.00	3436.04	100.00

ตาราง 22 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2562-2580

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2580/ตร.กม.										
การใช้ประโยชน์ที่ดิน										
พ.ศ. 2562	พื้นที่ชุมชน	นาข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ยางพารา	เกษตรกรรมอื่นๆ	พื้นที่ป่าไม้	แหล่งน้ำ	พื้นที่อื่นๆ	รวม
พื้นที่ชุมชน	723.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	723.12
นาข้าว	40.82	1,950.86	755.24	147.00	0.00	49.72	0.00	22.71	102.50	3,068.84
อ้อย	15.49	98.93	1,503.15	361.64	0.00	65.47	0.00	7.02	13.63	2,065.33
มันสำปะหลัง	8.97	21.96	425.31	530.58	0.00	35.26	0.00	2.99	5.98	1,031.06
ยางพารา	4.93	17.84	163.74	94.65	948.90	29.10	0.00	2.28	3.92	1,265.37
เกษตรกรรมอื่นๆ	8.59	12.32	134.73	76.26	0.00	208.32	0.00	1.65	3.07	444.94
พื้นที่ป่าไม้	10.21	13.05	153.65	74.18	0.00	12.66	1,020.24	3.75	4.52	1,292.26
พื้นที่แหล่งน้ำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	432.27	0.00	432.27
พื้นที่อื่นๆ	27.40	31.44	159.39	65.81	0.00	22.83	0.00	12.28	429.52	748.68
รวม	839.52	2,146.42	3,295.21	1,350.12	948.90	423.37	1,020.24	484.94	563.14	11,071.87

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ

การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี โดยใช้เทคนิคและข้อมูลการสำรวจระยะไกลซึ่งเป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ใช้ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 2557 และ 2562 และนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ ในช่วงเวลาระหว่าง พ.ศ. 2552-2557 และ พ.ศ. 2557-2562 รวมถึงการเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler และนำแบบจำลองมาใช้ในการคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคตของจังหวัดอุดรธานี สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

สรุปผล

การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2552 2557 และ 2562 และคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2580 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดอุดรธานี

1.1 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ปี พ.ศ. 2552 มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินดังนี้ พื้นที่นาข้าว ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุด 4,341.61 ตร.กม. (ร้อยละ 39.21) รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกอ้อย 1,908.76 ตร.กม. (ร้อยละ 17.24) พื้นที่ป่าไม้ 1,756.86 ตร.กม. (ร้อยละ 15.87) พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ 827.51 ตร.กม. (ร้อยละ 7.47) พื้นที่อื่นๆ 754.38 ตร.กม. (ร้อยละ 6.81) พื้นที่ชุมชน 521.28 ตร.กม. (ร้อยละ 4.71) มั่นลำปะหลัง 490.38 ตร.กม. (ร้อยละ 4.43) พื้นที่แหล่งน้ำ 318.43 ตร.กม. (ร้อยละ 2.88) และพื้นที่ปลูกยางพารา 152.64 ตร.กม. (ร้อยละ 1.38) ตามลำดับ

1.2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี ปี พ.ศ. 2557 มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินดังนี้ พื้นที่นาข้าว ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุด 3501.27 ตร.กม. (ร้อยละ 31.62) รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกอ้อย 1499.77 ตร.กม. (ร้อยละ 13.55) พื้นที่ป่าไม้ 1381.50 ตร.กม. (ร้อยละ 12.48) มั่นลำปะหลัง 1126.54 ตร.กม. (ร้อยละ 10.18) พื้นที่ปลูกยางพารา 1094.81 ตร.กม. (ร้อยละ 9.89) พื้นที่อื่นๆ 839.96 ตร.กม. (ร้อยละ 7.59) พื้นที่ชุมชน 690.37 ตร.กม. (ร้อยละ 6.24) พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ 517.81 ตร.กม. (ร้อยละ 4.68) และพื้นที่แหล่งน้ำ 419.79 ตร.กม. (ร้อยละ 3.79) ตามลำดับ

1.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2559 มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนี้ พื้นที่นาข้าว ซึ่งมีพื้นที่มากที่สุด 3,068.84 ตร.กม. (ร้อยละ 27.72) รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกอ้อย 2,065.33 ตร.กม. (ร้อยละ 18.65) พื้นที่ป่าไม้ 1,292.26 ตร.กม. (ร้อยละ 11.67) พื้นที่ปลูกยางพารา 1,265.37 ตร.กม. (ร้อยละ 11.43) มั่นสำปะหลัง 1,031.06 ตร.กม. (ร้อยละ 9.31) พื้นที่อื่นๆ 748.68 ตร.กม. (ร้อยละ 6.76) พื้นที่ชุมชน 723.12 ตร.กม. (ร้อยละ 6.53) พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ 444.94 ตร.กม. (ร้อยละ 4.02) และพื้นที่แหล่งน้ำ 432.27 ตร.กม. (ร้อยละ 3.90) ตามลำดับ

1.4 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปี ได้แก่ พื้นที่ชุมชน ยางพารา และพื้นที่แหล่งน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีแนวโน้มลดลงทุกปี ได้แก่ พื้นที่นาข้าว เกษตรกรรมอื่นๆ และพื้นที่ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน ได้แก่ พื้นที่ปลูกอ้อย มั่นสำปะหลัง และพื้นที่อื่น ในช่วง พ.ศ. 2552-2557 พบว่ามีพื้นที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งสิ้น 3,868.76 ตร.กม. โดยมีพื้นที่ยางพารามีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดยมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด 942.17 ตร.กม. หรือร้อยละ 24.35 และมีพื้นที่นาข้าวมีพื้นที่ลดลงอย่างมาก เป็น 840.33 ตร.กม. หรือร้อยละ 21.72 และในช่วงพ.ศ. 2557-2562 พบว่ามีพื้นที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งสิ้น 1,471.37 ตร.กม. โดยมีพื้นที่ปลูกอ้อยมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดยมีพื้นที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด 565.55 ตร.กม. หรือร้อยละ 38.44 และมีพื้นที่นาข้าวที่มีพื้นที่ลดลงอย่างมาก มีพื้นที่เป็น 432.44 ตร.กม. หรือร้อยละ 29.39

2. การเปรียบเทียบศักยภาพของแบบจำลอง CA-Markov และแบบจำลอง Land Change Modeler ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

2.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CA-Markov เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2562 พบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 โดยผลประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง มีค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปา เท่ากับร้อยละ 79 โดยที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง พบว่ามีพื้นที่นาข้าวมากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกอ้อย พื้นที่ป่าไม้ ยางพารา พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ พื้นที่อื่นๆ พื้นที่ชุมชน พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง และพื้นที่แหล่งน้ำ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีสัดส่วนของพื้นที่การใช้ที่ดินทุกประเภทตรงกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลดาวเทียม โดยมี พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกันประมาณ 2,461.32 ตร.กม. หรือร้อยละ 22.23 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีพื้นที่ชุมชนเป็นพื้นที่ซึ่งมีสัดส่วนต่างมากที่สุด รองลงมาเป็นพื้นที่นาข้าว พื้นที่ปลูกอ้อย พื้นที่มันสำปะหลัง ยางพารา พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ ตามลำดับ สรุปได้ว่า แบบจำลองใน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ สามารถนำมาใช้ในการศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และสามารถคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ของสิ่งที่มีชีวิต เช่น พื้นที่ป่าไม้ ยางพารา และพืชไร่ ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการนำปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดินมาใช้ในการคาดการณ์เท่านั้น จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจึงมีความถูกต้องลดน้อยลงเช่นกัน ทั้งนี้ หากมีการนำปัจจัยด้านทางกายภาพด้านเศรษฐกิจและสังคม ของพื้นที่เข้ามาวิเคราะห์ร่วมกับโอกาสของการเปลี่ยนแปลง และสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง Land Change Modeler เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2562 พบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 โดยผลประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง มีค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับร้อยละ 85 โดยที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ด้วยแบบจำลอง พบว่ามีพื้นที่นาข้าวมากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่ปลูกอ้อย พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง พื้นที่ป่าไม้ ยางพารา พื้นที่อื่นๆ พื้นที่ชุมชน พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ และพื้นที่แหล่งน้ำ ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีสัดส่วนของพื้นที่การใช้ที่ดินทุกประเภทตรงกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2562 ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลดาวเทียม โดยมี พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกันประมาณ 1,166.20 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.53 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด มีพื้นที่ชุมชนเป็นพื้นที่ซึ่งมีสัดส่วนต่างมากที่สุด รองลงมาเป็นพื้นที่นาข้าว พื้นที่ปลูกอ้อย พื้นที่มันสำปะหลัง ยางพารา พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ ตามลำดับ สรุปได้ว่า แบบจำลองในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ สามารถนำมาใช้ในการศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และสามารถคาดการณ์แนวโน้มการใช้ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้นำปัจจัยด้านทางกายภาพด้านเศรษฐกิจและสังคม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของพื้นที่เข้าร่วมในการวิเคราะห์ร่วมกับโอกาสของการเปลี่ยนแปลง และสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วย จะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของจังหวัดอุดรธานี

3.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของจังหวัดอุดรธานีได้เลือกใช้แบบจำลอง Land Change Modeler ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ใน พ.ศ. 2580 พบว่า มีพื้นที่ปลูกอ้อยมากที่สุดประมาณ 3,295.21 ตร.กม. หรือร้อยละ 29.76 รองลงมาคือ นาข้าว 2,146.42 ตร.กม. หรือร้อยละ 19.39 มันสำปะหลัง 1,350.12 ตร.กม. หรือ

ร้อยละ 12.19 พื้นที่ป่าไม้ 1,020.24 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.21 ยางพารา 948.90 ตร.กม. หรือร้อยละ 8.57 พื้นที่ชุมชน 839.52 ตร.กม. หรือร้อยละ 7.58 พื้นที่อื่นๆ 563.14 ตร.กม. หรือร้อยละ 5.09 พื้นที่แหล่งน้ำ 484.94 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.38 และพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ 423.37 ตร.กม. หรือร้อยละ 3.82 ตามลำดับ

3.2 การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ระหว่าง พ.ศ. 2562 - 2580 มีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 1,229.88 ตร.กม. 319.06 ตร.กม. 116.41 ตร.กม. และ 52.67 ตร.กม. ตามลำดับ ส่วนพื้นที่นาข้าว ยางพารา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อื่นๆ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีแนวโน้มว่าจะลดลง เท่ากับ 922.43 ตร.กม. 316.47 ตร.กม. 272.02 ตร.กม. 185.54 ตร.กม. และ 21.57 ตร.กม. ตามลำดับ

อภิปรายผล

การใช้ประโยชน์ที่ดินที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2552 – 2562 จะเห็นได้ว่า มีพื้นที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งสิ้น 4,251.31 ตร.กม. โดยมีพื้นที่นาข้าวมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ลดลง 1,272.77 ตร.กม. หรือร้อยละ 29.94 รองลงมาเป็นพื้นที่ยางพารา มีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 1,112.73 ตร.กม. หรือร้อยละ 26.17 รองลงมาเป็นพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง มีพื้นที่เพิ่มขึ้น เป็น 540.68 ตร.กม. หรือร้อยละ 12.72 พื้นที่ป่าไม้ลดลง 464.60 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.93 พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ ลดลง 382.57 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.00 พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ ลดลง 382.57 ตร.กม. หรือร้อยละ 9.00 พื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้น 201.83 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.75 พื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้น 201.83 ตร.กม. หรือร้อยละ 4.75 พื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้น 156.56 ตร.กม. หรือร้อยละ 3.68 พื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น 113.84 ตร.กม. หรือร้อยละ 2.68 และพื้นที่อื่นๆ ลดลง 5.71 ตร.กม. หรือร้อยละ 0.73 และจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรมโดยเฉพาะพื้นที่ปลูกยางพารามันสำปะหลัง และอ้อย เนื่องจากจังหวัดอุดรธานี มีลักษณะภูมิประเทศและสภาพอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ สามารถปลูกได้ทั้งพืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล ซึ่งพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและสร้างรายได้ให้กับจังหวัดอุดรธานี ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง และยางพารา มีแหล่งผลิตในหลายอำเภอและมีแหล่งโรงงานรับซื้อผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างรวดเร็วเพื่อความต้องการใช้ในกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินของมนุษย์ทางด้านเศรษฐกิจและสังคม

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดอุดรธานี มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ใน พ.ศ. 2552 – 2562 มีพื้นที่การเปลี่ยนแปลงของยางพารามากที่สุด พบว่ามีพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้น จากการเปลี่ยนสภาพพื้นที่มาจากอ้อย มันสำปะหลัง พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่นาข้าว ซึ่งโดยแต่ก่อนยางพารานั้นมีการปลูกในภาคใต้เท่านั้น แต่ในปัจจุบันมีเกษตรกรหันมาปลูกยางพารากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นไม้ที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรสูง และมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี รองลงมาคือ มันสำปะหลัง เป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจ ปลูกง่าย ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวน และสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2552 – 2557 เนื่องจากราคามันสำปะหลังอยู่ในเกณฑ์ดี ส่งผลให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก และการระบาดของเพลี้ยแป้งลดลงมาก แต่หลังจาก พ.ศ. 2557 – 2562 มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังลดลงเนื่องจากเกษตรกรปรับเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่นที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกว่า เช่น อ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และ ยางพารา รวมถึงพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่แซมในสวนยางพารา ซึ่งปัจจุบันยางพาราเจริญเติบโตจึงไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังแซมได้อีก และพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นมากในปี พ.ศ. 2562 เนื่องจากทางรัฐบาลได้มีนโยบายขยายพื้นที่ปลูกอ้อยทดแทนในพื้นที่นาข้าวที่ไม่เหมาะสม และประกอบกับมีโรงงานน้ำตาลตั้งใหม่เกิดขึ้นจึงทำให้มีการส่งเสริมพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้น ส่วนพื้นที่นาข้าว และพื้นที่ป่าไม้ มีแนวโน้มของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดโดยมีพื้นที่ที่ลดลงทุกปี เนื่องจากเกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้นทั้งมันสำปะหลัง และยางพารา ซึ่งทำให้เกิดการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ และเปลี่ยนสภาพพื้นที่อื่นๆ เพื่อนำมาทำการเกษตรมากขึ้นด้วย รวมถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชุมชนมาจากการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจตามนโยบายการพัฒนาของจังหวัด และประชากรที่อาจเพิ่มสูงขึ้น และจากการเพิ่มขึ้นของแหล่งน้ำเพื่อนำมาใช้อุปโภคบริโภค และการนำไปใช้เพื่อการเกษตร ผลจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกมากขึ้นจึงทำให้เกิดอุตสาหกรรมขึ้นมากมายโดยเฉพาะสิ่งของต่างๆ ที่อำนวยความสะดวกและตอบสนองต่อความต้องการแก่มนุษย์เพิ่มมากยิ่งขึ้น ทำให้ปริมาณความต้องการอุปโภคบริโภคที่มากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการนี้ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่เป็นจำนวนมากและรวดเร็วในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา

แบบจำลอง Land Change Modeler สามารถคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตได้ ได้จากการตรวจสอบแบบจำลอง พบว่า มีค่าความถูกต้องโดยรวม เท่ากับ ร้อยละ 85 และมีค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้งานในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินมีความถูกต้องโดยรวมสูงกว่าแบบจำลอง CA-Markov ที่มีความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 79 ทั้งนี้เนื่องจาก

แบบจำลอง Land Change Modeler ได้เปรียบในเรื่องของสมการของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ มีการคำนวณถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปัจจัยต่างๆ และเมื่อพิจารณาความสอดคล้องของการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า มีพื้นที่การใช้ที่ดินต่างกันประมาณ 1,166.20 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.53 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งมีพื้นที่แตกต่างที่น้อยกว่าจากแบบจำลอง CA-Markov ซึ่งการนำปัจจัยด้านทางกายภาพ ด้านเศรษฐกิจและสังคม มีผลในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เข้าร่วมในการวิเคราะห์ร่วมกับโอกาสของการเปลี่ยนแปลง และสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วย จะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง Land Change Modeler ในระยะเวลา 18 ปี ข้างหน้า ตั้งแต่ พ.ศ. 2562 – 2580 มีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกอ้อย มัน ลำปะหูลัง พื้นที่ชุมชน และพื้นที่แหล่งน้ำ จะมีพื้นที่เพิ่มขึ้น ส่วนพื้นที่นาข้าว ยางพารา พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อื่นๆ และพื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ มีแนวโน้มว่าจะลดลง จะเห็นได้ว่าภาคการเกษตรในอนาคตมีแนวโน้มการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปเป็นกรอบการดำเนินงานในการพัฒนาภาคการเกษตรให้สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพเพื่อนำไปวางแผนพัฒนาในระยะยาว ด้านผลผลิตการเกษตรจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการผลิตให้ได้มาตรฐานตามความต้องการของตลาด และต้องมีการพัฒนามาตรฐานสินค้าเกษตรอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานสินค้าเกษตรของอาเซียนและมาตรฐานสินค้าเกษตรของโลกต่อไป และจากการที่พื้นที่ป่าไม้ลดลงชี้ให้เห็นว่าการผลิตภาคเกษตรยังจำเป็นต้องพึ่งทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องมีการฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและส่งเสริมให้เกษตรกรทำการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น พื้นที่เกษตรจึงต้องมีการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ และปรับเปลี่ยนการผลิตให้เหมาะสมกับศักยภาพพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมเพื่อการบริหารจัดการสินค้าเกษตรรวมถึงผลักดันให้มีพื้นที่เกษตรกรรมยั่งยืนเพิ่มขึ้นต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตโดยใช้แบบจำลองควรมีการเปรียบเทียบกับแบบจำลองต่างๆ เพื่อให้สามารถนำแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด รวมถึงการกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงแปลงการใช้ที่ดินให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา เพื่อให้ได้ผลการคาดการณ์ในอนาคตที่มีความถูกต้องมากที่สุด

2. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ของจังหวัดอุดรธานีในระยะเวลา 10 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2552 – 2562 พบว่า มีพืชเศรษฐกิจของจังหวัดมีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนซึ่งเป็นไปตามราคาสินค้าและกลไกตลาด การคาดการณ์ในอนาคตอาจไม่เป็นดังผลการศึกษา ถ้ามีสถานการณ์ต่าง ๆ เข้ามาในเรื่องของราคาพืชผล ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการปลูกพืชชนิดต่างๆ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงการนำปัจจัยต่างๆ เข้ามาใช้ในแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากที่สุด



บรรณานุกรม

- Amir Ansari, & Mohammad H. Golabi. (2019). Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands – A case study: Meighan Wetland, Iran. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 64-70.
- Aronoff, S. (2005). *Remote sensing for GIS managers*. Redlands, Calif: ESRI Press.
- Basheer Abuelaish, & María Teresa Camacho Olmedo. (2016). Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4), 1-14.
- Brian Pickard, Joshua Gray, & Ross Meentemeyer. (2017). Comparing Quantity, Allocation and Configuration Accuracy of Multiple Land Change Models. *MDPI journals*, 6(3), 52-72.
- Congalton, R.G. and Green, K. (1999). Assessing The Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Boca Raton. FL: Lewis Publishers. pp. 137.
- Clark, L. (2013). *IDRISI Spotlight: The Land Change Modeler*. USA: Clark Labs, Clark University.
- Dolors Armenteras, Uriel Murcia, Tania Marisol González, Oscar Javier Barón, & Jorge Eliecer Arias. (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Elsevier ScienceDirect Journals*, 17.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI SELVA Manual*. USA: Clark Labs, Clark University.
- Paul J. Curran. (1985). *Principles of Remote Sensing*. London: Longman Group Limited.
- Tommaso Toffoli, & Norman Margolus. (1987). *Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling*. MA, USA: MIT Press Cambridge.
- Z.O. Durmusoglu, & A.A. Tanriover. (2017). Modelling land use/cover change in Lake Mogan and surroundings using CA-Markov Chain Analysis. *Journal of Environmental Biology*, 38(5(SI)), 981-989.
- จรัญธร บุญญานุกาพ. (2557). หลักการรับรู้จากระยะไกล ด้านนิเวศวิทยาพืชพรรณ และการอนุรักษ์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

- ชูเดช โลศิริ. (2559). แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินกับการคาดการณ์พื้นที่เมืองในอนาคต. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 19 (ฉบับเดือนมกราคม-ธันวาคม 2559), 340-357.
- ณัฐนิชา ผ่องพุดิ, อรอนงค์ ผิวนิล, เกษม จันทรแก้ว, สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์. (2559). ผลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่สูงชัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารวิทยาศาสตร์ มข, 44(1), 212-221.
- ธีระ ลาภิศขยางกูล. (2550). การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจากการจำแนกภาพถ่ายเทียม. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 9 (ฉบับที่ 3 กันยายน -ธันวาคม 2550), 17-27.
- ธีรเวทย์ ลิ้มโกมลวิลาส. (2557). คาดการณ์การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำตะคอง พ.ศ. 2567 ด้วยแบบจำลอง CA-MARKOV. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ., 17(ฉบับเดือนมกราคม-ธันวาคม 2557), 94-113.
- ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ, ศิริลักษณ์ พุกขปิติกุล, วราทิพย์ บัวแก้ว, ณัฏฐา แก้วภู. (2556). การเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุม โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศบริเวณลุ่มน้ำคลองกุย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ รายงานการประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2556. กรุงเทพฯ.
- วรภรณ์ สีหนันทวงศ์. (2547). การศึกษาแนวโน้มสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำปิง-วังเพื่อการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- พิชณะ คงยังยืน, ณรงค์ พลัฏฐ์, สุพรรณ กาญจนสุพรรณ, & แก้ว นวลขวี. (2558). การติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกยางพาราในจังหวัดจันทบุรี : หลักการการวิเคราะห์เชิงวัตถุภาพและแบบจำลอง. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร, 10(1), 96-107.
- ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย. (ม.ป.ป.). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. สืบค้นจาก <http://www.gisthai.org/about-gis/gis.html>
- ภาติยะ พัฒนาศักดิ์. (2557). การวิเคราะห์รูปแบบการใช้ที่ดินโดยการจำแนกประเภทข้อมูลภาพจากดาวเทียม ในอำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิจัยรามคำแหง (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 17(2), 10-22.
- สำนักงานจังหวัดอุดรธานี. (2562). แผนพัฒนาจังหวัดอุดรธานี พ.ศ. 2561-2564 ฉบับทบทวน. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562. อุดรธานี.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). การถือครองที่ดินทางการเกษตร. กรุงเทพฯ.

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

พิชชา ภมรจันทรมัส, สุพรรณ กาญจนสุธรรม, แก้ว นวลฉวี, & ณรงค์ พลธิ์รักษ์. (2559). การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อคาดการณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้า: กรณีศึกษาจังหวัดชลบุรี. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 26(1), 113-120.



ภาคผนวก



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

เกศินี นงโพธิ์

วัน เดือน ปี เกิด

21 พฤษภาคม 2527

สถานที่เกิด

สุโขทัย

วุฒิการศึกษา

ปริญญาตรี สาขาวิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญาโท สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

