

การติดตามการขยายเขตเมืองในจังหวัดจันทบุรี
ด้วยข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลโดยกูเกิลเอิร์ธเอนจิน
**Urban Growth Monitoring in Chanthaburi
Using Remote Sensing Data on Google Earth Engine**

กัมภีร์ ธีระเวช^{1*}, ขนิษฐา ยารักษ์² และ ทบทอง ชันเจริญ¹

Kumpee Teeravech¹, Kanitta Yarak² and Topthong Chancharoen¹

¹ สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Geoinformatics Program, Faculty of Computer Science and Information Technology,

Rambhai Barni Rajabhat University

² บริษัท พีแซท อินฟอร์เมชั่น เทคโนโลยี (เอเชีย) จำกัด

PIESAT Information Technology (Asia) Co., Ltd.

Received: December 8, 2023; Revised: December 19, 2023; Accepted: December 20, 2023; Published: December 29, 2023

ABSTRACT – Google Earth Engine remote sensing data, consisting of 102 images acquired by LANDSAT-5 TM and LANDSAT-8 OLI satellites, were utilized to classify six land use categories using the Random Forest algorithm. The primary objective was to analyze land use patterns spanning a temporal span of three decades. To achieve this, we deployed machine learning techniques, specifically the Random Forest algorithm, with the aim of examining temporal changes and identifying patterns related to urban expansion. Our analysis revealed that between 1992 and 2012, herbaceous and field crops were the predominant land use categories, with areas of 3,404.96 sq.km., 2,596.02 sq.km., 2,404.79 sq.km., 2,604.32 sq.km., and 2,623.44 sq.km. at five-year intervals. However, a significant shift occurred in 2017 and 2022 when land use transitioned toward perennial fruit and woody crops, becoming the top-ranking land use category with areas of 2,695.83 sq.km. and 2,516.83 sq.km. This transformation was accompanied by a simultaneous increase in urban expansion, indicating a noticeable departure from the cultivation of herbaceous and field crops. Moreover, there was a noticeable decline in the extent of land allocated to perennial fruit crops. Projections based on the CA-Markov model predict a sustained trend of urban expansion, with the urban area and infrastructure expected to reach 115.15 sq.km. and 126.02 sq.km. by 2027 and 2032, respectively.

KEYWORDS: Google Earth Engine, Machine Learning, Urban Growth, Random Forest, CA-Markov Urban Growth Model

*Corresponding Author: kumpee.t@rbru.ac.th

บทคัดย่อ -- ข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลโดยภูเกิลเอร์ธเอนจินจำนวน 102 ภาพ จากดาวเทียม LANDSAT-5 TM และ LANDSAT-8 OLI ถูกใช้สำหรับจำแนกการใช้ที่ดิน 6 ประเภทย้อนหลัง 30 ปี ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง โดยอาศัย อัลกอริทึมป่าสุ่ม เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและศึกษารูปแบบการขยายเขตเมืองของพื้นที่ พบว่า พ.ศ. 2535 ถึงปี พ.ศ. 2555 มีการใช้ที่ดินสำหรับพืชผลไม้ล้มลุกและพืชไร่มากเป็นอันดับที่ 1 โดยมีพื้นที่ 3,404.96 ตร.กม. 2,596.02 ตร.กม. 2,404.79 ตร.กม. 2,604.32 ตร.กม. และ 2,623.44 ตร.กม. ในทุก ๆ ปีตามลำดับ ในขณะที่ พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2565 มีการใช้ที่ดินสำหรับพืชผลไม้ยืนต้นเป็นอันดับที่ 1 โดยมีพื้นที่ 2,695.83 ตร.กม. และ 2,516.83 ตร.กม. การขยายเขตของเมืองเพิ่มมากขึ้นสวนทางกับพื้นที่พืชผลไม้ล้มลุก พืชไร่ และพืชผลไม้ยืนต้นที่ลดลง การคาดการณ์ด้วยแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ ชี้ให้เห็นแนวโน้มว่าใน พ.ศ. 2570 และ พ.ศ. 2575 จะมีการขยายตัวของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นเป็น 115.15 ตร.กม. และ 126.02 ตร.กม.

คำสำคัญ: ภูเกิลเอร์ธเอนจิน, การเรียนรู้ของเครื่อง, การขยายเขตเมือง, อัลกอริทึมป่าสุ่ม, แบบจำลองการขยายตัวของเมือง ซีเอ-มาร์คอฟ

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งกลุ่มดินของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว การพัฒนาอุตสาหกรรมได้ขยายไปสู่พื้นที่เกษตรกรรมบริเวณรอบชานเมือง การใช้ที่ดินในรูปแบบของพื้นที่เกษตรกรรมมีปริมาณลดลงจนกระทั่งอาณาเขตของเมืองและชนบทเชื่อมต่อกันจนกลายเป็นพื้นที่เมืองไปในที่สุด [1] องค์การสหประชาชาติคาดการณ์ว่าใน พ.ศ. 2593 จะมีจำนวนประชากรโลกสูงถึง 9.8 พันล้านคน และเพิ่มขึ้นเป็น 11.2 พันล้านคนใน พ.ศ. 2643 [2] สำหรับประเทศไทยคาดว่าจะใน พ.ศ. 2593 ประเทศไทยจะมีสัดส่วนประชากรเมืองถึงร้อยละ 73 โดยแนวโน้มของลักษณะการกลายเป็นเมืองที่สำคัญในอนาคตจะเป็นการเติบโตของเมืองขนาดกลางและขนาดเล็ก เมืองศูนย์กลางในระดับภูมิภาคมากกว่าการเติบโตของเมืองขนาดใหญ่ที่มีการขยายตัวที่เกินขีดความสามารถในการรองรับ

จันทบุรี เป็นหนึ่งในจังหวัดที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการจัดตั้งโครงการพัฒนาเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor : EEC) ในบริเวณจังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง และจังหวัดฉะเชิงเทรา [3] สำหรับจังหวัดจันทบุรี เป็นจังหวัดที่ยังคงมีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวของความเป็นเมือง ดังนั้นการกลายเป็นเมืองของจังหวัดจันทบุรีมีความเป็นไปได้ทั้งโอกาสและความท้าทาย เนื่องจากการขยายตัวของเมืองอย่างไร้ทิศทาง เช่น กรุงเทพมหานคร ส่งผลให้เกิดความเสื่อม

โทรมของสภาพแวดล้อม ความเหลื่อมล้ำทางสังคม การขาดแคลนที่อยู่อาศัยจากการย้ายถิ่นฐานตามแหล่งรายได้ และขาดโครงสร้างพื้นฐานและการบริการอย่างทั่วถึง อีกทั้งการขยายตัวของเมืองโดยขาดการวางแผนจัดการเชิงพื้นที่ที่เหมาะสมก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น ก่อให้เกิดปัญหาด้านการจราจร เสี่ยงรบกวนทัศนียภาพ และการกระทำผิดกฎหมาย [4] นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกษตรกรสูญเสียพื้นที่ทำการเกษตร และไม่มีที่ดินทำกินเป็นของตนเองอีกด้วย [5]

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM และ LANDSAT-8 OLI ครอบคลุมระยะเวลาทั้งสิ้น 30 ปี มาทำการจัดข้อมูลและวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series) ร่วมกับข้อมูลสต็อกขอบเขตด้วยวิธีการแบ่งส่วนภาพเชิงวัตถุ (object based segmentation) และการสกัดข้อมูลค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นด้วยดัชนีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อจำแนกสิ่งกลุ่มดิน โดยวิธีการจำแนกข้อมูลภาพเชิงจุดภาพ (pixel-based classification) ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) [6] โดยอาศัยอัลกอริทึมที่เรียกว่า ป่าสุ่มหรือแรนดอมฟอเรสต์ (random forest) [7][8] และทำการคาดการณ์การขยายเขตเมืองใน พ.ศ. 2570 และ พ.ศ. 2575 ด้วยแบบจำลองการขยายตัวของเมืองซีเอ-มาร์คอฟ (CA-Markov urban growth model) เป็นการผสมผสานแนวคิดแบบจำลองเซลล์ลูลาร์ ออโตมาตา (cellular automata) ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลที่มีความเป็นพลวัตและมีความชัดเจนในเรื่องของเวลา และแนวคิดแบบจำลองมาร์คอฟ (markov chain) ที่มีความสามารถในการศึกษาความเป็นไปได้ของสถานการณ์จากช่วงเวลาหนึ่งไปยังช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้น

ชีเอ-มาร์คอฟ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น สำหรับวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปรที่สนใจในปัจจุบัน เพื่อคาดการณ์ความเป็นไปของสถานการณ์ที่สนใจดังกล่าวในอนาคต [9] นิยมใช้สำหรับการศึกษาการขยายตัวของเมือง [10][11] เนื่องจากไม่ซับซ้อนและมีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ ถูกนำไปประยุกต์อย่างแพร่หลายร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสำหรับการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินและคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในอนาคต เช่น การศึกษาบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว จังหวัดจันทบุรี เพื่อวางแผนจัดการและแก้ไขปัญหาการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้ [12] และการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำสาขาย่อยห้วยผาก จังหวัดเพชรบุรี [13]

ทั้งนี้ผลการวิจัยจะเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ทราบกระบวนการจัดการการใช้ที่ดินให้สมดุลระหว่างการพัฒนาทางเศรษฐกิจ การตั้งถิ่นฐานของชุมชนและ การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม อันนำไปสู่การพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน ในระยะยาวตามแนวนโยบายของรัฐบาลทั้งยุทธศาสตร์ชาติ แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติประเด็นพื้นที่และเมืองนำอยู่อย่างนิยยะ และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 [14]

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยข้อมูลการสำรวจจากระยะไกล ในช่วง พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565
- 2) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและศึกษารูปแบบการขยายเขตเมือง
- 3) เพื่อคาดการณ์การขยายเขตเมือง พ.ศ. 2570 และ พ.ศ. 2575

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การติดตามการขยายเขตเมือง ในช่วง พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและศึกษารูปแบบการขยายเขตเมือง ตลอดจนคาดการณ์การขยายเขตเมืองในจังหวัดจันทบุรี มีขั้นตอนการดำเนินงานหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การติดตามการขยายเขตเมืองในจังหวัดจันทบุรีอาศัยการเก็บรวบรวมข้อมูล 2 ประเภทหลัก ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.1 การรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM และ LANDSAT-8 OLI ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี (Path ที่ 128 และ Row ที่ 51) บนกูเกิลเอิร์ธเอนจิน [15][16] ระหว่างพ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 โดยเลือกภาพทุกภาพตลอดปีจำนวน 102 ภาพ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผลิตภัณฑ์ของภาพถ่ายจากดาวเทียมที่นำมาใช้คือ ระดับที่ 2 ซึ่งเป็นระดับที่มีการปรับแก้เชิงรังสีและลดความผิดพลาดของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ เช่น ก๊าซ ละอองลอย ไออน้ำ แสดงผลจุดภาพในรูปแบบค่าการสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพื้นผิวโลกที่ได้มีการปรับแก้เชิงเรขาคณิตและเชิงตำแหน่งให้มีตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่ถูกต้องเรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 1. ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัย

ปี	ประเภทดาวเทียม	จำนวนภาพถ่ายจากดาวเทียม
2535	LANDSAT-5 TM	6
2540	LANDSAT-5 TM	17
2545	LANDSAT-5 TM	13
2550	LANDSAT-5 TM	12
2555	LANDSAT-5 TM	12
2560	LANDSAT-8 OLI	22
2565	LANDSAT-8 OLI	20

3.1.2 การรวบรวมข้อมูลการใช้ที่ดิน

ข้อมูลการใช้ที่ดินถูกรวบรวมจากเว็บไซต์ดินออนไลน์ (<https://dinonline.idd.go.th/>) ซึ่งให้บริการข้อมูลดินและการใช้ที่ดิน โดยกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ข้อมูลการใช้ที่ดินจะถูกนำไปใช้เป็นตัวแทนในการสกัดข้อมูลฝึกฝนสำหรับจำแนกข้อมูลสิ่งปกคลุมดินบนภาพถ่ายจากดาวเทียม วิจัยนี้ทำการจัดกลุ่มการใช้ที่ดิน 6 ประเภท โดยประยุกต์จากประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. การจัดกลุ่มการใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้าง

ลำดับ	ประเภทการใช้ที่ดิน	ประเภทการใช้ที่ดินโดยกรมพัฒนาที่ดิน
1	สิ่งปลูกสร้างและพื้นที่ผิวประดิษฐ์	ตัวเมืองและย่านการค้า หมู่บ้าน
2	พืชล้มลุก และพืชไร่	นาข้าว ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด
3	ไม้ยืนต้น	ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ยูคาลิปตัส สัก ทุเรียน เงาะ มะพร้าว ลิ้นจี่ มะม่วง มะม่วงหิมพานต์ ลำไย
4	ต้นไม้ปกคลุม	ป่าไม้ผลัดใบสมบูรณ์ ป่าผลัดใบสมบูรณ์
5	ป่าชายเลน	ป่าชายเลนสมบูรณ์
6	แหล่งน้ำ	แม่น้ำ ลำคลอง ทะเล ทะเลสาบ บึง อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำในไร่นา

3.2 การประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียม

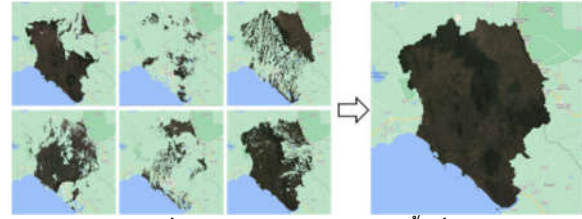
การประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมสำหรับการจำแนกสิ่งปลูกสร้างดินด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง โดยอาศัยอัลกอริทึมป่าสุ่มมีขั้นตอนการดำเนินการที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล การจำแนกสิ่งปลูกสร้างดิน เพื่อให้ได้มาซึ่งแผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้างดิน และการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล

ก) การขจัดเมฆออกจากภาพถ่าย (cloud removing)

เนื่องจากสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปจังหวัดจันทบุรีตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น โดยได้รับฝนจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีฝนตกชุกติดต่อกันประมาณ 6 เดือนต่อปี จึงส่งผลให้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมบริเวณดังกล่าวมีเมฆปกคลุมในพื้นที่อยู่มาก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการขจัดเมฆและเงาของเมฆออก โดยผลิตภัณฑ์ระดับที่ 2 มีการประมวลผลพื้นที่เมฆและเงาเมฆปกคลุมไว้แล้วจึงสามารถนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาใช้สำหรับการขจัดเมฆได้

จากนั้นรวมภาพด้วยวิธีการ image composite โดยใช้ค่ามัธยฐาน (median) ดังตัวอย่างซึ่งแสดงไว้ใน ดังรูปที่ 1 เพื่อเติมข้อมูลบางส่วนของภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ขาดหายไปเนื่องจากการขจัดเมฆ จากนั้นจัดข้อมูลเป็นช่วงอนุกรมเวลา (time series) โดยการวิจัยนี้จะทำการเตรียมภาพถ่ายทุก ๆ 5 ปี คือ พ.ศ. 2535 พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2555 พ.ศ. 2560 และพ.ศ. 2565



รูปที่ 1. ข้อมูลภาพถ่ายบริเวณพื้นที่ศึกษา
หลังผ่านการรวมภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน

ข) การจัดทำข้อมูลฝึกฝน (training data)

การจัดทำข้อมูลฝึกฝน ใช้การอ้างอิงชุดข้อมูลการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ดังรูป 2 (ก)



ก. การใช้ที่ดิน

ข. ข้อมูลหลังการแบ่งส่วนภาพ

จากกรมพัฒนาที่ดิน



ค. ข้อมูลหลังการซ้อนทับ

ง. ข้อมูลจุดกึ่งกลาง

รูปที่ 2. การจัดทำชุดข้อมูลฝึกฝน

โดยข้อมูลการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2550 จะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นตัวแทนในการสกัดข้อมูลฝึกฝนบนภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 และข้อมูลการฝึกฝนดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้สำหรับการจำแนกการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 พ.ศ. 2535 พ.ศ. 2540 พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2550 และพ.ศ. 2555 ในขณะที่ข้อมูลการใช้ที่ดิน พ.ศ. 2560 จะถูกนำไปใช้เพื่อนเป็นตัวแทนในการสกัดข้อมูลฝึกฝนบนภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 และข้อมูลการฝึกฝนดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้สำหรับการจำแนกการใช้ที่ดินจากภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 พ.ศ. 2560 และพ.ศ. 2565 ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 พ.ศ. 2550 และ LANDSAT-8 พ.ศ. 2560 ถูกนำไปใช้ร่วมกับข้อมูลสกัดขอบเขตด้วยวิธีการแบ่งส่วนภาพเชิงวัตถุ (object based segmentation) ดัง

รูป 2 (ข) เพื่อให้ได้ขอบเขตของวัตถุบนพื้นผิวโลกชัดเจน และสามารถนำไปทำข้อมูลฝึกฝนที่เป็นตัวแทนของข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินได้ ชุดข้อมูลข้างต้นถูกนำไปวิเคราะห์การซ้อนทับกัน (overlay) ด้วยวิธีอินเตอร์เซก (intersect) ดังรูป 2 (ค) จากนั้นคัดกรองข้อมูลขนาดเล็กลง เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูล และทำการแปลงข้อมูลจากพื้นที่รูปปิด (polygon) เป็นข้อมูลจุด (point) โดยกำหนดให้อยู่กึ่งกลางของข้อมูลเพื่อนำไปใช้สำหรับการสกัดค่าการสะท้อนและดัชนีต่าง ๆ ดังรูป 2 (ง)

จากนั้นทำการสกัดข้อมูลค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (blue) ช่วงคลื่นสีเขียว (green) ช่วงคลื่นสีแดง (red) ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) ช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น (SWIR) และดัชนีต่าง ๆ ได้แก่ ดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) และ ดัชนีผลต่างสิ่งปลูกสร้าง (NDBI) จากการคำนวณด้วยช่วงคลื่นต่าง ๆ เพื่อแสดงค่าบ่งชี้ของลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวโลก รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. ดัชนีสำหรับการจำแนกข้อมูล

ดัชนี	สมการคำนวณ	อ้างอิง
ดัชนีความต่างพืชพรรณ	$(NIR-RED) / (NIR+RED)$	(Rouse et al., 1974) [17]
ดัชนีผลต่างสิ่งปลูกสร้าง	$(SWIR-NIR) / (SWIR+NIR)$	(Zha et al., 2003) [18]

ตารางที่ 4. รายละเอียดการคัดกรองข้อมูล

ประเภท	รายละเอียดการคัดกรองออก
สิ่งปลูกสร้าง	$NDBI < 0.0$
ไม้ล้มลุกและพืชไร่	$NDVI < 0.0$
ไม้ยืนต้น	$NDVI < 0.0$
ต้นไม้ปกคลุม	$NDVI < 0.0$
ป่าชายเลน	$NDVI < 0.0$
แหล่งน้ำ	$NDVI > 0.0$

การสกัดค่าการสะท้อนเชิงสเปกตรัมและค่าดัชนีเชิงสเปกตรัมต่างๆ เพื่อจัดทำเป็นข้อมูลฝึกฝนดังกล่าว ได้ทำการประมวลผลบนกูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยสกัดค่าต่าง ๆ ณ ตำแหน่งจุดภาพที่ตรงตามข้อมูลที่ได้จัดทำในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ตามประเภทการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดิน 6 กลุ่ม โดยหลังจากประมวลผลเสร็จสิ้นจะได้ข้อมูลเป็นไฟล์ CSV จากนั้นทำการการ

คัดกรองข้อมูลเบื้องต้นที่ผิดเพี้ยนออกไป เพื่อให้ได้ข้อมูลฝึกฝนที่ถูกต้อง โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4

3.2.2 การจำแนกสิ่งคลุมดินและการใช้ที่ดิน

การจำแนกสิ่งคลุมดินด้วยการประมวลผลบนกูเกิลเอิร์ธเอนจิน เพื่อกำหนดจุดภาพของภาพถ่ายจากดาวเทียมให้เป็นประเภทการใช้ที่ดิน และ สิ่งคลุมดิน โดยวิธีการจำแนกข้อมูลภาพเชิงจุดภาพ (pixel-based classification) ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องกับชุดข้อมูลฝึกฝนที่ได้เตรียมไว้ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ดังนั้นเมื่อได้ข้อมูลฝึกฝนที่ผ่านกระบวนการต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ทำการนำเข้าข้อมูลฝึกฝน (training data) ไปยังกูเกิลเอิร์ธเอนจิน เพื่อใช้ในการจำแนกการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินของจังหวัดจันทบุรีทุก ๆ 5 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565

3.2.3 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก

การสำรวจข้อมูลภาคสนามถูกทำเพื่อตรวจสอบผลการจำแนกและตรวจสอบผลการวิเคราะห์ โดยการสำรวจจะกำหนดขอบเขตการสำรวจให้กระจายทั่วทั้งพื้นที่จังหวัดจันทบุรีและบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ตำแหน่งที่สำรวจ ประเภทการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดิน ประเภทสิ่งปลูกสร้าง รูปภาพ เป็นต้น เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกและตรวจสอบการวิเคราะห์ผลอื่น ๆ

3.3 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของเมือง

ผลการจำแนกข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินของจังหวัด ในช่วงเวลาต่าง ๆ ถูกนำมาวิเคราะห์ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เมืองด้วยวิธีการตรวจหาการเปลี่ยนแปลง (change detection) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของเมืองกับการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินประเภทอื่น โดยจัดทำเป็นช่วงระยะเวลาทุก ๆ 5 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565

3.4 การคาดการณ์การขยายตัวของเมือง

ผลการวิเคราะห์ถูกนำมาวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของเมืองในอนาคต โดยมีการคำนวณค่าสถิติความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงและค่าสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลง โดยใช้แบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ ประมวลผลร่วมกับข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดิน พ.ศ. 2535 และ พ.ศ. 2540 เพื่อคาดการณ์ข้อมูลการขยายตัวของเมืองใน พ.ศ. 2545 และ พ.ศ. 2550 สำหรับคาดการณ์ข้อมูลการขยายตัวของเมือง

ในพ.ศ. 2555 ผลที่ได้จากการคาดการณ์จะถูกนำมาเปรียบเทียบหาความถูกต้องและนำไปใช้คาดการณ์ใน พ.ศ. 2570 และ พ.ศ. 2575

4. ผลการวิจัย

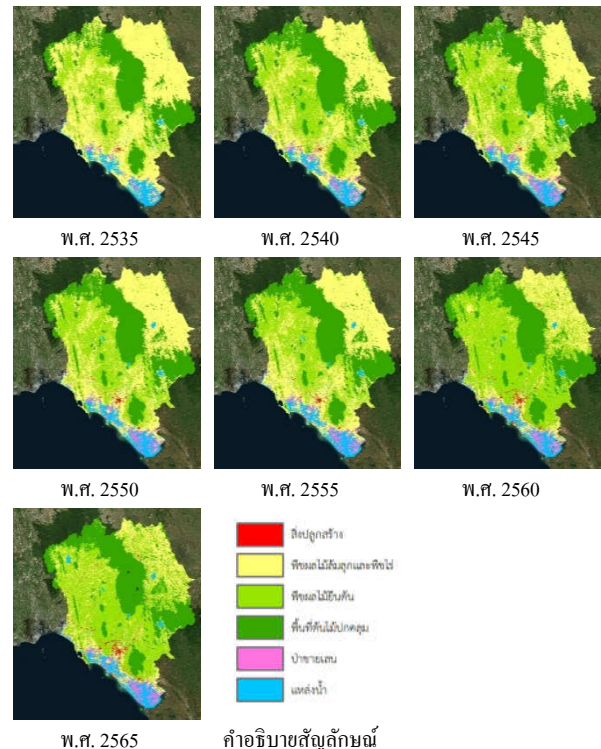
การติดตามการขยายตัวของเมืองด้วยข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลโดยดาวเทียมเรดาร์และแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ เพื่อจำแนกการใช้ที่ดิน วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและศึกษารูปแบบการขยายตัวของเมือง พร้อมทั้งคาดการณ์การขยายตัวของเมือง มีผลการศึกษาวิจัยสรุปประเด็น ดังนี้

4.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดจันทบุรี พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565

ผลจากการจำแนกด้วยการประมวลผลเพื่อจำแนกคุณภาพของภาพถ่ายจากดาวเทียมให้เป็นประเภทการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดิน ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดจันทบุรี มีการใช้ที่ดินของพื้นที่ส่วนใหญ่เพื่อเป็นพื้นที่สำหรับพืชผลไม้ล้มลุกและพืชไร่ และพืชผลไม้ยืนต้น จากการศึกษาพบว่า ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึงปี พ.ศ. 2555 มีการใช้ที่ดินสำหรับพืชผลไม้ล้มลุกและพืชไร่มากเป็นอันดับที่ 1 ของจังหวัด มีพื้นที่ 3,404.96 ตร.กม. 2,596.02 ตร.กม. 2,404.79 ตร.กม. 2,604.32 ตร.กม. และ 2,623.44 ตร.กม. ในทุก ๆ 5 ปี ตามลำดับ

พ.ศ. 2535 มีการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ดินไม้ปกคลุมและพืชผลไม้ยืนต้นเป็นอันดับ 2 และ 3 โดยมีพื้นที่ 1,534.41 และ 1,083.25 ตร.กม. มีการใช้ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ 311.68 ตร.กม. ป่าชายเลน 74.04 ตร.กม. และสิ่งปลูกสร้าง 12.99 ตร.กม. พ.ศ. 2540 มีการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ดินไม้ปกคลุม และพืชผลไม้ยืนต้นเป็นอันดับ 2 และ 3 โดยมีพื้นที่ 1,912.32 และ 1,461.66 ตร.กม. มีการใช้ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ 300.33 ตร.กม. ป่าชายเลน 134.34 ตร.กม. และสิ่งปลูกสร้าง 16.66 ตร.กม.

พ.ศ. 2545 มีการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ดินไม้ปกคลุม และพืชผลไม้ยืนต้นเป็นอันดับ 2 และ 3 โดยมีพื้นที่ 2,021.74 และ 1,489.59 ตร.กม. มีการใช้ที่ดินประเภทแหล่งน้ำอยู่ที่ 319.88 ตร.กม. ป่าชายเลน 174.23 ตร.กม. และสิ่งปลูกสร้าง 11.09 ตร.กม. พ.ศ. 2550 มีการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ดินไม้ปกคลุม และ



พ.ศ. 2565 คำอธิบายสัญลักษณ์

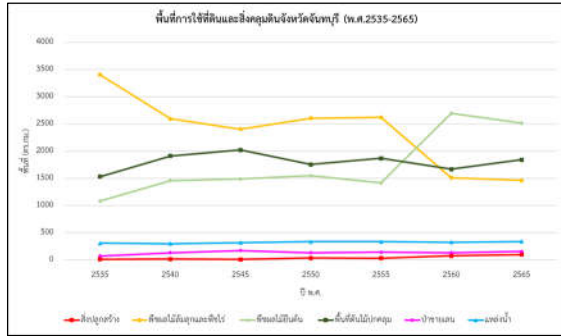
รูปที่ 3. การใช้ที่ดินของจังหวัดจันทบุรี ทุก ๆ 5 ปี
ระหว่างปี พ.ศ. 2535 ถึงปี พ.ศ. 2565

พืชผลไม้ยืนต้นเป็นอันดับ 2 และ 3 โดยมีพื้นที่ 1,756.47 และ 1,549.70 ตร.กม. มีการใช้ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ 339.06 ตร.กม. ป่าชายเลน 135.54 ตร.กม. และสิ่งปลูกสร้าง 36.25 ตร.กม.

พ.ศ. 2555 มีการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ดินไม้ปกคลุม และพืชผลไม้ยืนต้นเป็นอันดับ 2 และ 3 โดยมีพื้นที่ 1,868.22 และ 1,416.75 ตร.กม. มีการใช้ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ 336.01 ตร.กม. ป่าชายเลน 143.57 ตร.กม. และสิ่งปลูกสร้าง 33.34 ตร.กม.

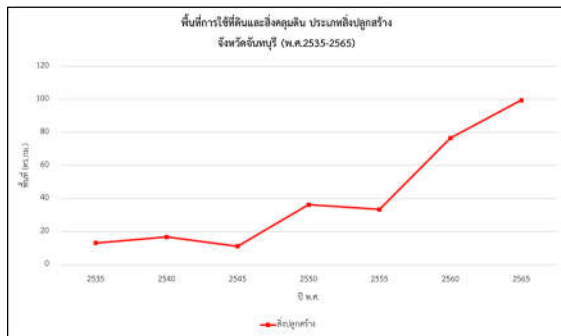
สำหรับปี พ.ศ. 2560 การใช้ที่ดินสำหรับพืชผลไม้ยืนต้นมีมากเป็นอันดับ 1 โดยมีพื้นที่ 2,695.83 ตร.กม. รองลงมาคือพื้นที่ดินไม้ปกคลุม และพืชผลไม้ล้มลุกและพืชไร่ มีพื้นที่ 1,669.95 และ 1,513.96 ตร.กม. มีการใช้ที่ดินประเภทแหล่งน้ำอยู่ที่ 326.95 ตร.กม. ป่าชายเลน 132.98 ตร.กม. และสิ่งปลูกสร้าง 76.63 ตร.กม. ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงในหลายปีที่ผ่านมา สำหรับ พ.ศ. 2565 การใช้ที่ดินสำหรับพืชผลไม้ยืนต้นยังคงมีมากเป็นอันดับที่ 1 โดยมีพื้นที่ 2,516.83 ตร.กม. รองลงมาคือ พื้นที่ดินไม้ปกคลุม และพืชผลไม้ล้มลุกและพืชไร่ มีพื้นที่

1,841.93 และ 1,462.47 ตร.กม. การใช้ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ 341.20 ตร.กม. ป่าชายเลน 156.54 ตร.กม. และสิ่งปลูกสร้าง 99.50 ตร.กม. เมื่อนำข้อมูลไปแสดงให้อยู่ในรูปแบบของกราฟเส้น ดังรูปที่ 4 สามารถเห็นข้อมูลภาพรวมได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบในแต่ละปี



รูปที่ 4. กราฟเส้นแสดงพื้นที่การใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้างของ จังหวัดจันทบุรี ระหว่าง พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2565

สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปลูกสร้างประเภท สิ่งปลูกสร้างเป็นการใช้ที่ดินประเภทที่สามารถอ้างถึงความเป็น เมืองของพื้นที่ได้ผลการศึกษาทำให้ทราบว่า ตลอดระยะเวลา 30 ปี ที่ผ่านมา จังหวัดจันทบุรี มีการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5 เพื่อรองรับการอยู่อาศัยและการเติบโตทาง เศรษฐกิจของจังหวัดจันทบุรี



รูปที่ 5. กราฟเส้นแสดงพื้นที่การใช้ที่ดินและสิ่งปลูกสร้าง ประเภทสิ่งปลูกสร้าง ระหว่าง พ.ศ. 2535 - พ.ศ. 2565

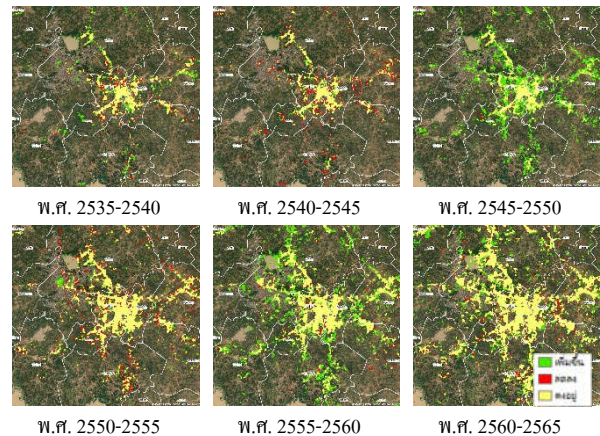
4.2 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เมืองในจังหวัดจันทบุรี

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างของจันทบุรี ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 พบว่า มีการเพิ่มขึ้นและลดลงตาม ช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งในช่วง พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2545 มีการ

เปลี่ยนแปลงของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเพียงเล็กน้อย พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2550 มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ถึง 25.16 ตร.กม. พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ. 2560 มีการเพิ่มขึ้นถึง 47.5 ตร.กม. และ พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2565 มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่จำนวน 22.78 ตร. กม. โดยส่วนใหญ่พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างพัฒนาเปลี่ยนแปลง มาจากพื้นที่พืชผลไม้ล้มลุกและพืชไร่ รองลงมาคือ พื้นที่พืชผลไม้ ยืนต้น โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.

ตารางที่ 5. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่เมืองและ สิ่งปลูกสร้าง พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565

ประเภท การใช้ ที่ดินเดิม	พื้นที่ (ตร.กม.)					
	2535- 2540	2540- 2545	2545- 2550	2550- 2555	2555- 2560	2560- 2565
ไม้ล้มลุก, พืชไร่	3.45	-5.19	23.04	-3.34	44.11	7.19
ไม้ยืนต้น	-0.03	-0.16	1.42	0.38	2.09	16.08
ต้นไม้ ปกคลุม	0.00	0.01	0.02	0.00	0.06	0.03
ป่า ชายเลน	0.05	0.01	0.41	0.09	0.41	-0.13
แหล่งน้ำ	0.21	-0.24	0.27	-0.03	0.83	-0.39
รวม	+3.68	-5.57	+25.16	-2.9	+47.5	+22.78



รูปที่ 6. รูปแบบการขยายตัวของเมืองในช่วง พ.ศ. 2535-2565 บริเวณพื้นที่อำเภอเมืองจันทบุรี

เมื่อวิเคราะห์และศึกษารูปแบบการขยายตัวของเขตเมือง ดัง รูปที่ 6 พบว่า ในช่วง พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2545 พื้นที่เมือง ยังไม่มีการขยายตัวอย่างชัดเจน และกระจุกตัวบริเวณใจกลางเมือง เท่านั้น แต่ภายหลัง พ.ศ. 2545 เป็นต้นมา พื้นที่เมืองได้ขยายตัวขึ้น

อย่างชัดเจน และมีการกระจายตัวไปหลายทิศทางตามแนวเส้นทางคมนาคม และภายหลัง พ.ศ. 2555 พื้นที่เมืองได้เจริญเติบโตและขยายตัวจากเดิมมากขึ้น โดยการขยายตัวเริ่มไม่มีทิศทางที่แน่นอน ซึ่งส่วนใหญ่จะขยายตัวไปทางทิศตะวันตก เนื่องด้วยทางทิศตะวันออกมีสภาพภูมิประเทศเป็นภูเขา

4.3 การคาดการณ์การใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินพ.ศ. 2570 และ พ.ศ. 2575

การศึกษาเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่มีการใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดิน พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 สำหรับคาดการณ์สถานการณ์การใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินในอนาคตด้วยแบบจำลองซีเอ-มาร์คอฟ ตามแนวทางของ [19] ซึ่งมีสมการเป็น

$$V_{(j+1)} = V_{(j)} \times P_{jk} \quad (1)$$

เมื่อ V_j และ V_{j+1} คือสัดส่วนการใช้ที่ดินในระยะที่ j และระยะที่ $j+1$ ตามลำดับ โดยที่ $V = [V_1, V_2, V_3, \dots, V_m]$,

m คือจำนวนประเภทของการใช้ที่ดิน,

P_{jk} คือ เมทริกซ์การแปลงสถานะ (state transition matrix) ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินแต่ละประเภทจากระยะที่ j ไปสู่ระยะที่ $j+1$ โดยที่ $j = 1, 2, 3, \dots, m$ และ $k = 1, 2, 3, \dots, m$ โดยที่ P มีรูปแบบเป็น

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2m} \\ P_{m1} & P_{m2} & P_{mm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

โดยงานวิจัยนี้กำหนดค่า $m=6$ และผลการคาดการณ์การขยายตัวของเมืองใน พ.ศ. 2570 และ พ.ศ. 2575 ถูกจัดจำแนกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแรกคือพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างและประเภทที่สองคือพื้นที่ไม่ใช่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง ดังรายละเอียดในตารางที่ 6.

ตารางที่ 6. การใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินพ.ศ. 2570 และพ.ศ. 2575

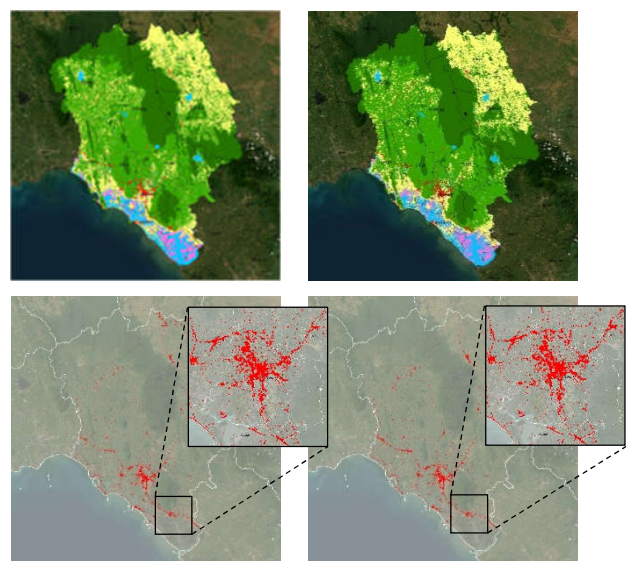
การใช้ที่ดินและ สิ่งคลุมดิน	ขนาดพื้นที่			
	พ.ศ. 2570		พ.ศ. 2575	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ
เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	115.15	1.80	126.02	1.96
อื่น ๆ	6,298.28	98.20	6,287.41	98.04

การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองพ.ศ. 2570 อาศัยข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินของ พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2565 เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ พบว่าพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่จำนวน 115.15 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 1.80 และพื้นที่ไม่ใช่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่จำนวน 6,298.28 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 98.20 ของพื้นที่ทั้งหมด

การขยายตัวของเมือง พ.ศ. 2575 อาศัยข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินของ พ.ศ. 2560 และพ.ศ. 2565 เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง พบว่าพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่จำนวน 126.02 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 1.96 และพื้นที่ไม่ใช่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่จำนวน 6,287.41 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 98.04 ของพื้นที่ทั้งหมด ดังรูปที่ 7

5. สรุปและอภิปรายผล

การติดตามการขยายเขตเมืองในจังหวัดจันทบุรีด้วยข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลโดยกูเกิลเอิร์ธเอนจิน เพื่อจำแนกการใช้ที่ดินด้วยข้อมูลการสำรวจจากระยะไกล พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดมีการใช้ที่ดินประเภทพืชผลไม้ล้มลุกและพืชไร่ และพืชผลไม้ยืนต้น ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างพื้นฐานของจังหวัดที่มีเกษตรกรรมเป็นพื้นฐานของเศรษฐกิจ โดยผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในจังหวัดเกินครึ่งหนึ่งมาจากภาคเกษตรกรรม



รูปที่ 7. การคาดการณ์การขยายตัวของเขตเมือง จ.จันทบุรี

พ.ศ. 2570 (ซ้าย) และพ.ศ. 2575 (ขวา)

โดยพืชที่นิยมปลูกมากในจังหวัดคือพืชไม้ผล พริกไทย และยางพารา และเมื่อศึกษาการขยายเขตของเมืองย้อนหลัง 30 ปี พบว่า เมืองมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การใช้ที่ดินสำหรับพืชผลไม้ล้มลุกและพืชไร่ รวมทั้งพื้นที่พืชผลไม้ยืนต้นลดลง ทั้งนี้เพื่อรองรับการอยู่อาศัยและการเติบโตทางเศรษฐกิจของจังหวัด โดยรูปแบบการขยายตัวของเขตเมืองมักกระจุกอยู่บริเวณแนวเส้นทางคมนาคม และขยายตัวต่อเนื่องแบบไร้ทิศทางในปัจจุบัน โดยมีแนวโน้มว่าใน พ.ศ. 2570 และ พ.ศ. 2575 จะมีการขยายตัวของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นเป็น 115.15 ตร.กม. และ 126.02 ตร.กม. ตามลำดับ ซึ่งการศึกษานี้ได้มีการตรวจสอบค่าความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) ของการจำแนกการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดิน โดยใช้จุดตรวจสอบจำนวนทั้งสิ้น 130 จุด ซึ่งผลการตรวจสอบมีความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 82.31

6. ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการจำแนกการใช้ที่ดินและสิ่งคลุมดินด้วยวิธีการจำแนกแบบอื่น ๆ นอกเหนือจากการจำแนกเชิงจุดภาพ เช่น การจำแนกเชิงวัตถุ รวมถึงจัดทำข้อมูลฝึกฝนเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้การจำแนกสามารถแยกวัตถุบนพื้นผิวโลกได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 2) ควรเพิ่มการคาดการณ์ด้วยแบบจำลองอื่นๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง และเลือกแบบจำลองที่มีการพิจารณาปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการขยายตัวของเมือง เช่น รูปแบบผังเมือง มูลค่าที่ดิน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรโณบล ควรอาจ และ ผกามาศ ถิ่นพังงา, “กระบวนการกลายเป็นเมืองในประเทศไทย,” [ออนไลน์], 2556, เข้าถึงได้: <https://www.tei.or.th/thaicityclimate/public/research-46.pdf>. [เข้าถึงเมื่อ: 10 มกราคม 2566].
- [2] UN, “World Population Prospects 2019: Data booklet”, [Online], pp. 2-4, 2019, Available: <https://www.un.org>.

development.desa.pd/files/files/documents/2020/Jan/un_2017_world_population_prospects-2017_revision_databooklet.pdf. [Accessed on: Feb. 7, 2023].

- [3] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (สกพอ.), “ความเป็นมาของ อีอีซี,” [ออนไลน์], 2566, เข้าถึงได้: <https://www.eeco.or.th/th/government-initiative>. [เข้าถึงเมื่อ: 15 มกราคม 2566].
- [4] ปวีณา เปรมเจริญ, “การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ศึกษาการใช้ที่ดินในเขตเทศบาลเมืองแสนสุข จังหวัดชลบุรี,” วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการ), บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2555.
- [5] กริณี สงเอียด, “ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินเขตชายเมือง: กรณีศึกษาเขตคลังสินค้า กรุงเทพมหานคร,” วิทยานิพนธ์ ผ.ม. (สาขาการวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2555.
- [6] S. Sah, “Machine Learning: A Review of Learning Types,” *ResearchGate*, no. July, 2020, doi: 10.20944/preprints202007.0230.v1.
- [7] A. D. Kulkarni and B. Lowe, “Random Forest Algorithm for Land Cover Classification,” *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.*, vol. 4, no. 3, pp. 58–63, 2016.
- [8] H. Guan, J. Yu, J. Li, and L. Luo, “Random Forests-Based Feature Selection for Land-Use Classification Using Lidar Data and Ortho-imagery,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XXXIX-B7, no. September, pp. 203–208, 2012, doi: 10.5194/isprsarchives-xxxix-b7-203-2012.
- [9] Z. Zhang, G. Hörmann, J. Huang, and N. Fohrer, “A Random Forest-Based CA-Markov Model to Examine the Dynamics of Land Use/Cover Change Aided with Remote Sensing and GIS,” *Remote Sens.*, vol. 15, no. 8, 2023, doi: 10.3390/rs15082128.
- [10] P. Chotchaiwong and S. Wijitkosum, “Predicting urban expansion and urban land use changes in Nakhon Ratchasima city using a CA-Markov model under two different scenarios,” *Land*, vol. 8, no. 9, 2019, doi: 10.3390/land8090140.

- [11] K. Kityuttachai, N. K. Tripathi, T. Tipdecho, and R. Shrestha, "CA-Markov analysis of constrained coastal urban growth modeling: Hua hin Seaside City, Thailand," *Sustain.*, vol. 5, no. 4, pp. 1480–1500, 2013, doi: 10.3390/su5041480.
- [12] S. Tonsiri, W. Arunpraparut, and W. Khunrattanasiri, "การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว จังหวัดจันทบุรี," vol. 37, no. 2, pp. 138–150, 2023.
- [13] C. Chompuchan and W. Taesombat, "การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำสาขาย่อยห้วยผาก จังหวัดเพชรบุรี ด้วยแบบจำลอง CA-Markov Land use forecasting in Huai Phak subbasin, Phetchaburi province using CA-Markov model," no. July, 2020.
- [14] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, "แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564," [ออนไลน์], 2566, เข้าถึงได้: https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=6422, [เข้าถึงเมื่อ: 18 มกราคม 2566].
- [15] N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore, "Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone," *Remote Sens. Environ.*, vol. 202, pp. 18–27, 2017, doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
- [16] M. Amani et al., "Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 13, no. September, pp. 5326–5350, 2020, doi: 10.1109/JSTARS.2020.3021052.
- [17] J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering, "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS", In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations*, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317, 1974.
- [18] Z. Yong, G. Jingqing, and S. Ni., "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery," *International Journal of Remote Sensing - INT J REMOTE SENS*, 24, pp. 583-594, 2003, doi:10.1080/01431160304987.
- [19] M. S. Mondal, N. Sharma, P. K. Garg, and M. Kappas, "Statistical independence test and validation of CA Markov land use land cover (LULC) prediction results," *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.*, vol. 19, no. 2, pp. 259–272, 2016, doi: 10.1016/j.ejrs.2016.08.001.