

การพัฒนาชุดองค์ความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟ ในพื้นที่จังหวัดตากบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ

Developing a Knowledge Framework to Support Fire and Smoke Management in Tak Province Based on The Application of Geoinformatics

¹สุภาสพงษ์ รุثمانอง, ²สุวิทย์ วงษ์บุญมาก, ³อิสราพร กล่อมกล้านุ่ม
⁴ภัทร์ศศิ์ พลายละหาร, และ ⁵ศุภฤทธิ ธาราธิพนาร

¹Suphatphong Ruthamnong, ²Suwit Wongbunmak, ³Isaraporn Klomklumnum
⁴Phatsasi Phailahan, and ⁵Suparit Tharathipnara

คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Faculty of Humanities and Social Sciences, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Thailand

E-mail: ¹suphatphong_r@kpru.ac.th, ¹suphatphong007@hotmail.com, ²suwit199@yahoo.com,

³is-mk@hotmail.com, ⁴phatsasi_p@kpru.ac.th, and ⁵s_tarathip@hotmail.com

Received April 25, 2024; Revised June 5, 2024; Accepted August 18, 2024

บทคัดย่อ

การจัดการไฟในพื้นที่เกิดปัญหาในปัจจุบัน ยังต้องการใช้องค์ความรู้เชิงพื้นที่เข้ามาช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการดำเนินการ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดองค์ความรู้ในการสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟในพื้นที่จังหวัดตากบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ และ (2) ประเมินผลความพึงพอใจของผู้ได้รับการถ่ายทอดชุดองค์ความรู้และสร้างแนวทางการใช้ประโยชน์จากชุดองค์ความรู้ดังกล่าว มีขั้นตอนการวิจัย ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ การสำรวจข้อมูลภาคสนาม การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ภูมิสารสนเทศ การพัฒนาชุดองค์ความรู้ และการประเมินผลการดำเนินงาน ผลการศึกษา พบว่า สามารถพัฒนาชุดองค์ความรู้ดังกล่าวได้ โดยประกอบด้วย (1) ผลการประเมินพื้นที่และความรุนแรงของการเผาไหม้จากข้อมูลดาวเทียม Landsat (2) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิด MODIS Hotspot และ Suomi NPP Hotspot (3) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่า โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ GIS (4) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรม โดยใช้ GIS และ (5) ผลการกำหนดเขตอันตรายหมอกควันไฟโดยใช้ภูมิสารสนเทศ เมื่อทำการประเมินผลชุดองค์ความรู้จากความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์ พบว่า มีความพึงพอใจต่อชุดองค์ความรู้ดังกล่าวโดยภาพรวมระดับมาก ($\bar{x} = 4.34$, $SD = 0.85$) และมีแนวทางการใช้ประโยชน์

จากชุดองค์ความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟ ในด้านการเตือนภัย เผ่าระวัง จัดการสนับสนุนการตัดสินใจ จัดลำดับความเสี่ยงในการเข้าถึงเพื่อแก้ปัญหา และประกอบการใช้กำหนดเป้าหมายและผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (OKRs) ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งครอบคลุมกระบวนการจัดการได้ทั้งระยะก่อนเกิด ระหว่างเกิด และหลังเกิดภัย

คำสำคัญ: ชุดองค์ความรู้; การจัดการไฟและหมอกควันไฟ; จุดความร้อน; ภูมิสารสนเทศ; ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Abstract

The current management of fire-affected areas still requires spatial knowledge to support decision-making processes. This article aimed to (1) develop a comprehensive knowledge framework aimed at bolstering the management of fire and smoke within Tak province through the application of geoinformatics; (2) assess the outcomes of this framework from user satisfaction and formulate guidelines for its effective utilization. The research methodology involved several distinct stages, including spatial data collection, field surveys, geoinformatics data analysis, knowledge framework development, and performance evaluation. The study yielded affirmative results regarding the feasibility of constructing a knowledge framework. This framework comprised the following: (1) estimation of burnt area and severity results utilizing Landsat satellite data; (2) analysis of data on the occurrence of MODIS Hotspot and Suomi NPP Hotspot phenomena; (3) assessment of forest fire risk areas using geographic information systems (GIS); (4) assessment of risk areas for agricultural open burning using GIS analysis; and (5) identification of smoke-prone zones using geoinformatics techniques. The evaluation of user satisfaction revealed a high level of overall contentment with the established knowledge framework ($\bar{x} = 4.34$, $SD = 0.85$). Furthermore, comprehensive guidelines were delineated to facilitate the effective utilization of this framework in supporting fire and smoke management. These guidelines encompass various facets, including warning systems, monitoring protocols, managerial strategies, decision support mechanisms, risk prioritization techniques, and the utilization of the framework in setting objectives and key results (OKRs) for pertinent agencies. Importantly, the framework is designed to address the entirety of fire and smoke management processes, encompassing pre-disaster preparedness, response during incidents, and post-disaster recovery phases.

Keywords: Knowledge Framework/ Body of Knowledge; Fire and Smoke Management; Hotspot; Geoinformatics/Geomatics; Geographic Information System: GIS.

บทนำ

ไฟป่า (Forest fire) การเผาในที่โล่ง (Open burning) หมอกควันไฟ (Smoke) และหมอกปนควัน (Smog) เป็นปัญหาที่สำคัญทั้งในระดับโลก ภูมิภาค ประเทศ และท้องถิ่น ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพ เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ ทำให้ป่าไม้ลดน้อยลง ทรัพยากรธรรมชาติถูกทำลาย เกิดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ (Loss of biodiversity) ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสภาพอากาศ (Haze, air pollution) และเป็นอันตรายต่อผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณโดยรอบ (Hoseinali & Rajabi, 2009) ในปัจจุบันมีการนำเอาเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geoinformatics, Geomatics) เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนและสร้างองค์ความรู้ในการบริหารจัดการไฟมาากยิ่งขึ้น ทั้งการสำรวจและใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) รวบรวมข้อมูล ตำแหน่งการเกิดไฟและพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ (Burned area) ในภาคสนาม การใช้ข้อมูลดาวเทียม (Satellite imagery) และรีโมทเซนซิง (Remote Sensing: RS) ในการสกัดพื้นที่เผาไหม้ (Burned area extraction) การให้ข้อมูลไฟแอคทีฟ (Active fire) จากจุดความร้อน (Hotspot) การประเมินความเสียหายและผลกระทบ การแสดงภาพและวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้โดยใช้หลักการผสมสีภาพดาวเทียม (Band combinations) และดัชนีเชิงคลื่น (Spectral index) ที่มีอยู่อย่างหลากหลาย รวมทั้ง การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) และการบูรณาการศาสตร์เพื่อศึกษาการเกิดไฟและผลกระทบในหลากหลายมิติ (สุภาสพงษ์ รุ้งทำนอง, 2564; Hoseinali & Rajabi, 2009) ดังเช่น การประเมินความอันตราย ความอ่อนไหว ความเสี่ยง และความน่าจะเป็นของการเกิดไฟ (Fire hazard, vulnerable, risk, and probability assessment) โดยการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ การวางแผนการชิงเผาหรือเผาตามกำหนด (Prescribed burn planning) การป้องกันไฟและการแพร่กระจาย (fire preventing and its spread) การจำลองสถานการณ์ไฟ (Fire simulation) การทำนายพฤติกรรมไฟ (fire behavior prediction) การประเมินและติดตามหลังการเกิดไฟ (Post fire assessment and monitoring) การฟื้นฟูผลกระทบจากไฟป่า (Forest fire rehabilitation) การวิเคราะห์ความรุนแรงของการเผาไหม้ (burn severity) และการกำหนดพื้นที่อันตรายจากหมอกควันไฟ เป็นต้น (สุภาสพงษ์ รุ้งทำนอง, 2564; Hoseinali & Rajabi, 2009; Maniatis et al., 2022:)

การประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศโดยเฉพาะ GIS ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงการเกิดไฟ นับได้ว่าเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีการศึกษากันมาก และมีกระบวนการวิธีในการดำเนินงานที่หลากหลาย โดยงานวิจัยของ Maniatis et al. (2022) ที่ได้สร้างแผนที่ความน่าจะเป็นในการเกิดไฟโดยใช้เครื่องมือการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning tools) และการวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-criteria decision analysis) บนพื้นฐานของการประยุกต์ใช้ GIS ในอุทยานแห่งชาติป่าดาเดีย-เลฟกิมิ-ซุฟลี (National Park Forest Dadia-Lefkimi-Soufli) ประเทศกรีซ งานวิจัยของ Mohammed et al. (2022) ที่ได้วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่าโดยใช้วิธีการเหมืองข้อมูล (Data mining approaches) บนพื้นฐานของการประยุกต์ใช้ GIS ในภาคตะวันตกของอิหร่าน และงานวิจัยของ Pramanick et al. (2023) ที่ได้วิเคราะห์

เพื่อกำหนดโซนพื้นที่เสี่ยงไฟป่าในมิซอรัม (Mizoram) ประเทศอินเดีย โดยการเปรียบเทียบแบบจำลองที่หลากหลายทั้งดัชนีความเสี่ยงไฟ (Fire risk index) ดัชนีความเสี่ยงไฟผสม (Hybrid fire index) และดัชนีความเสี่ยงไฟโครงสร้าง (Structural fire index) ซึ่งงานวิจัยดังที่กล่าวมาแม้จะมีระเบียบวิธีวิจัยที่แตกต่างกันไป ทั้งวิธีการและตัวเกณฑ์ (Criteria) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ แต่ก็สรุปได้ว่าล้วนแต่สามารถสร้างองค์ความรู้เพื่อใช้วางแผนและการจัดการความเสี่ยงการเกิดไฟได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังมีรูปแบบวิธีการวิเคราะห์อีกหลายรูปแบบที่ถูกนำมาใช้ ยกตัวอย่างได้เช่น การซ้อนทับข้อมูลแผนที่ (Map overlay) อัตราส่วนความถี่ (Frequency ratio) แบบจำลองไบนารี (Binary model) แบบจำลองดัชนี (Index model) แบบจำลองถดถอยเชิงเส้น (Logistic regression model) แบบจำลองกระบวนการ (Process model) และระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) (สุภาสพงษ์ ภูพานอง, 2564) อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการไฟ พบว่า การดำเนินการส่วนใหญ่ล้วนเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในพื้นที่ป่าไม้ ในขณะที่บริบทการเกิดไฟเชิงพื้นที่นั้นมีความหลากหลาย อีกทั้ง การศึกษาที่มีขอบเขตพื้นที่ระดับภูมิภาค ทำให้มีระดับผลการวิเคราะห์ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่หยาบ (Coarse spatial resolution) ยากต่อการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในระดับชุมชน

จังหวัดตาก ตั้งอยู่ในภาคตะวันตกของประเทศไทย ตามเกณฑ์การแบ่งภูมิภาคทางภูมิศาสตร์ของคณะกรรมการภูมิศาสตร์แห่งชาติ มีพื้นที่รวม 16,406.65 ตารางกิโลเมตร หรือ 10,254,156 ไร่ มีรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินหลักเป็นพื้นที่ป่าไม้ (ร้อยละ 74.04) รองลงมาคือพื้นที่เกษตรกรรม (ร้อยละ 21.17) พื้นที่น้ำ (ร้อยละ 1.94) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (ร้อยละ 1.93) และพื้นที่เปิดเตล็ด (ร้อยละ 0.92) ตามลำดับ การที่พื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่เป็นป่าผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 47.49) และพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่เป็นพืชไร่ (ร้อยละ 10.06) และพืชไร่หมุนเวียน (ร้อยละ 6.04) ทำให้เกิดปัญหาทั้งการเกิดไฟป่าและการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรม (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564) โดยจากรายงานการดับไฟป่าและพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ของส่วนควบคุมไฟป่า สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟป่า ในพื้นที่ 16 จังหวัดภาคเหนือ พบว่า ในช่วง 5 ปี ย้อนหลัง (พ.ศ. 2562-2566) จังหวัดตากมีสถิติการดับไฟป่าทั้งหมด 1,398 ครั้ง ครอบคลุมพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ 47,733 ไร่ ซึ่งมากเป็นอันดับที่ 3 รองจากจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน และใน พ.ศ. 2566 (ปีปัจจุบัน) จังหวัดตาก มีพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ 12,123 ไร่ ซึ่งมากเป็นอันดับที่ 3 รองจากจังหวัดเชียงใหม่และอุทัยธานี (ส่วนควบคุมไฟป่า สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2566) ซึ่งจะเห็นได้ว่าจังหวัดตากมีสถานการณ์ปัญหาไฟป่าในพื้นที่ค่อนข้างรุนแรง ทั้งนี้ จากการสืบค้นข้อมูลการจัดการไฟในพื้นที่ พบว่า ยังมุ่งเน้นในด้านการดับไฟ รวมถึงนโยบายการดำเนินการบังคับใช้กฎหมายเป็นหลัก ยังขาดการนำเอาข้อมูลเชิงพื้นที่มาเป็นบรรทัดฐานของการจัดการไฟในพื้นที่ โดยเฉพาะในระดับตำบล บทความวิจัยนี้นำเสนอด้านการพัฒนาชุดองค์ความรู้ในการสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟในพื้นที่จังหวัดตาก บนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ พร้อมทั้ง

ประเมินผลความพึงพอใจของผู้ที่ได้รับการถ่ายทอดจากชุดองค์ความรู้และสร้างแนวทางการใช้ประโยชน์จากชุดองค์ความรู้ดังกล่าว ทั้งนี้ ในเชิงวิชาการผลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงกระบวนการวิธีในการสร้างองค์ความรู้เพื่อใช้ในการจัดการไฟจากข้อมูลดาวเทียมและภูมิสารสนเทศ ในเชิงสังคมผลที่ได้จะนำไปสู่การใช้องค์ความรู้เชิงพื้นที่ไปแก้ไขปัญหาในระดับท้องถิ่น สร้างการรับรู้ปัญหาของประชาชน และพัฒนากระบวนการวิธีในการจัดการไฟของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะหน่วยงานระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดองค์ความรู้ในการสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟในพื้นที่จังหวัดตากบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ
2. เพื่อประเมินผลความพึงพอใจของผู้ที่ได้รับการถ่ายทอดจากชุดองค์ความรู้และสร้างแนวทางการใช้ประโยชน์จากชุดองค์ความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟในพื้นที่จังหวัดตาก

ระเบียบวิธีวิจัย

ขอบเขตและกรอบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงผสมผสานวิธี (mixed method research) มีพื้นที่วิจัย คือ จังหวัดตาก ในส่วนของกระบวนการสร้างชุดองค์ความรู้มุ่งเน้นกระบวนการวิธีที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศเป็นหลัก ส่วนการประเมินผลชุดองค์ความรู้ มีกลุ่มเป้าหมายเป็นกลุ่มผู้ได้รับการถ่ายทอดชุดองค์ความรู้ จำนวน 50 คน ใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) เป็นผู้บริหาร และเจ้าหน้าที่หรือบุคลากรของหน่วยงานที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการจัดการไฟในพื้นที่ โดยมีเครื่องมือเป็นแบบประเมินความพึงพอใจ 5 ระดับ มีช่วงเวลาในการประเมินผล ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2567 จากนั้น นำข้อมูลเชิงปริมาณมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) แปลผลระดับความพึงพอใจด้วยค่าเฉลี่ย (Mean, Average, $\bar{x}$) นำเสนอควบคู่กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ส่วนข้อมูลเชิงคุณภาพมีวิธีการวิจัยโดยสังเคราะห์ข้อมูลแล้วนำมาเขียนบรรยายเชิงพรรณนา (Descriptive analysis)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีเครื่องมือหลักที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ชุดคอมพิวเตอร์ โปรแกรม GIS โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านสถิติ ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (เครื่อง GPS) แบบสำรวจข้อมูลเชิงพื้นที่ภาคสนาม แบบนำสัมภาษณ์ และแบบประเมินชุดองค์ความรู้

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ลักษณะแผนที่เชิงเลขเฉพาะเรื่อง (Thematic digital map) แบบ เชฟไฟล์ (Shapefiles: .shp) รูปแบบไฟล์เวกเตอร์ (vector) มาตราส่วน 1 : 50,000 ประกอบด้วย ขอบเขตการปกครองระดับจังหวัด อำเภอ และตำบล ตำแหน่งหมู่บ้าน จุดความสูง (Spot height) เส้น ชั้นความสูง (contour line) เส้นทางน้ำ แหล่งน้ำ เส้นทางคมนาคม/ถนน พื้นที่เกษตรกรรม ที่อยู่อาศัย พืชเกษตร/ประเภทเกษตรกรรม และสิ่งปกคลุมดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use and Land Cover: LULC) พ.ศ. 2564 ของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2564) เขตป่าไม้ ประเภทป่าไม้ และชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ของกรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2566) และสถานีตรวจวัดค่า $PM_{2.5}$ ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2567)

2) ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS และ Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 พ.ศ. 2566 ครอบคลุม พื้นที่ศึกษา Path 131 Row 48; 130/48; 130/49 และ 131/49 ดาวเทียมโหลดได้จากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) เท่ากับ 30 เมตร (Visible, NIR, SWIR); 100 เมตร (Thermal); และ 15 เมตร (panchromatic) ซึ่งเป็นข้อมูลของสำนักงานสำรวจธรณีวิทยาแห่ง สหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey; USGS) (USGS EarthExplorer, 2024)

3) ข้อมูลจุดความร้อนจากตัวบันทึก/ระบบเซนเซอร์ MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: MODIS Hotspot) ที่ติดตั้งบนดาวเทียม TERRA และ AQUA และข้อมูลจุดความร้อน จาก Suomi NPP (VIIRS) (Suomi NPP Hotspot) พ.ศ. 2562–2566 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ดาวเทียมโหลด ได้จากเว็บไซต์ <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/> ซึ่งเป็นระบบสารสนเทศการเกิดไฟ สำหรับการจัดการทรัพยากร (Fire Information for Resource Management System; FIRMS) ของ องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration: NASA) โดย MODIS Hotspot และ Suomi NPP Hotspot มีความละเอียดเชิงพื้นที่ เท่ากับ 1 กิโลเมตร และ 375 เมตร ตามลำดับ (NASA Earth Data, 2024; NASA FIRMS, 2024)

4) ข้อมูลระดับค่า $PM_{2.5}$ ของ สถานี 76T จังหวัดตาก และสถานีโดยรอบอีก 23 สถานี ช่วง เดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2562–2566 ดาวเทียมโหลดได้จากเว็บไซต์ <http://air4thai.pcd.go.th/> ซึ่งเป็นข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ เป็นข้อมูลย้อนหลังรายเดือนรายสถานี (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2567)

5) ข้อมูลจากการวิเคราะห์โดยใช้ GIS เป็นข้อมูลราสเตอร์ (Raster) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ เท่ากับ 50 เมตร ประกอบด้วย ระดับความสูงของพื้นที่ (Elevation) ความลาดชัน (Slope) ทิศด้านลาด (Aspect) ความหนาแน่นของ MODIS Hotspot ความหนาแน่นของ Suomi NPP Hotspot ระยะห่างจาก

เส้นทางน้ำ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ระยะห่างจากทรัพยากรน้ำ ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากที่อยู่อาศัย และระดับค่า $PM_{2.5}$ เชิงพื้นที่

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยที่หลากหลาย สรุปได้ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ 1 มีขั้นตอน ประกอบด้วย

1) วางแผนการวิจัย รวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ สำรวจภาคสนาม จัดทำข้อมูล GIS กำหนดวัตถุประสงค์ สร้างกระบวนการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ และจัดสนทนากลุ่ม (Focus group) เพื่อให้ได้ซึ่งข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อใช้ในการวิจัยและกรอบการจัดทำชุดองค์ความรู้บนพื้นฐานความต้องการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2) กำหนดชุดองค์ความรู้และสร้างกระบวนการวิธีเพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้เชิงพื้นที่ โดยที่องค์ความรู้แต่ละประเด็นจะมีระเบียบวิธีวิจัยในการรวบรวม วิเคราะห์ และประเมินผลที่แตกต่างกันออกไป

3) ดาวนโหลด สกัด และประเมินพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้จากข้อมูลดาวเทียม Landsat โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนการเผาไหม้ (Normal Burn Ratio: NBR) ในวันก่อนเกิดไฟ (pre-fire) และหลังการเกิดไฟ (post-fire) ตามแนวทางการศึกษาของ Key & Benson (2006) ทั้งนี้ การประเมินความถูกต้องของการสกัดพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ กำหนดค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy: OA) และสัมประสิทธิ์แคปปาของความสอดคล้องที่ยอมรับได้ (Khat Coefficient of Agreement: Khat) ที่ค่า Khat > 0.80 (Jensen, 2005)

4) ประเมินความรุนแรงของการเผาไหม้จากข้อมูลดาวเทียม Landsat โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ค่า NBR ในวันก่อนเกิดไฟ และหลังการเกิดไฟ แบ่งความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับได้แก่ พื้นที่ที่ไม่ถูกเผาไหม้ (Unburned: UN) พื้นที่ความรุนแรงของการเผาไหม้ต่ำ (Low-severity burn: LSB) พื้นที่ความรุนแรงของการเผาไหม้ต่ำถึงปานกลาง (Moderate-low severity burn: M-LSB) พื้นที่ความรุนแรงของการเผาไหม้ปานกลางถึงสูง (Moderate-high severity burn: M-HSB) และพื้นที่ความรุนแรงของการเผาไหม้สูง (High-severity burn: HSB) (Key & Benson, 2006; Roy et al., 2006)

5) ดาวนโหลด จัดทำข้อมูล GIS และวิเคราะห์ข้อมูลการเกิด MODIS Hotspot และ Suomi NPP Hotspot ร่วมกับขอบเขตพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน และช่วงเวลาการเกิด รวมทั้งวิเคราะห์การกระจายตัว (distribution) และความหนาแน่น (density) ของการเกิด Hotspot

6) วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่า โดยใช้ GIS มีตัวเกณฑ์ (Criteria) วิเคราะห์ 10 ตัวประกอบด้วย ประเภทเชื้อเพลิงและป่าไม้ (Fuel/forest type) ความหนาแน่นของ MODIS Hotspot (MODIS hotspot density) ระดับความสูงของพื้นที่ ความลาดชัน ทิศด้านลาด ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ (Distance from stream) ระยะห่างจากถนน (Distance from road) ระยะห่างจากที่อยู่อาศัย (Proximity to settlement) ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม (Proximity to agricultural area) และระยะห่างจากแหล่งน้ำ (Proximity

to water body) ทั้งนี้ การกำหนดเขตพื้นที่เสี่ยงจะแบ่งออกเป็น 6 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด และไม่เสี่ยงหรือเป็นพื้นที่กันออก

7) วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรม โดยใช้ GIS มีตัวเกณฑ์วิเคราะห์ 4 ตัว ประกอบด้วย พืชเกษตร/ประเภทเกษตรกรรม (Plant/agricultural type) ความหนาแน่นของ Suomi NPP Hotspot (Suomi NPP hotspot density) ระยะห่างจากทรัพยากรน้ำ (Distance from water resource) และระยะห่างจากที่อยู่อาศัย (Proximity to settlement)

8) กำหนดเขตอันตรายหมอกควันไฟโดยใช้ภูมิสารสนเทศ โดยการนำเข้าข้อมูลค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ $PM_{2.5}$ ของสถานีตรวจวัด มาทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial interpolation) เพื่อสร้างแผนที่ระดับค่า $PM_{2.5}$ เชิงพื้นที่ ในช่วงเดือนและปีที่ทำการศึกษา (เดือนมกราคม-พฤษภาคม พ.ศ. 2562-2566) จากนั้นบูรณาการร่วมกับความหนาแน่นของ MODIS Hotspot และความหนาแน่นของ Suomi NPP Hotspot เพื่อกำหนดเขตอันตราย แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุดหรือไม่อันตราย

วัตถุประสงค์ที่ 2 มีขั้นตอน ประกอบด้วย

1) ประสานงานกับหน่วยงานระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อกำหนดข้อเสนอชุดองค์ความรู้ที่จัดทำขึ้นสู่การใช้ประโยชน์

2) จัดการชุดองค์ความรู้ที่จะนำไปถ่ายทอดให้อยู่ในรูปแบบที่หน่วยงานสามารถเข้าใจได้ง่าย เห็นองค์ประกอบและโครงสร้างของชุดองค์ความรู้ โดยจัดทำเป็นรูปแบบของข้อมูลการอธิบาย แผนที่ ข้อมูล GIS ข้อมูลสถิติ และแนวทางการใช้ประโยชน์ขององค์ความรู้แต่ละประเด็น

3) นำเสนอชุดองค์ความรู้ที่จัดทำขึ้นยังหน่วยงาน จำนวน 5 แห่ง โดยใช้กระบวนการสนทนากลุ่ม (focus group process) โดยหน่วยงานที่ถูกคัดเลือกเพื่อนำเสนอจะพิจารณาจากพื้นที่ที่มีความเสี่ยงและมีอุบัติการณ์การเกิดปัญหาสูงจากผลการศึกษาในวัตถุประสงค์ที่ 1

4) สร้างแนวทางการประเมินผลความพึงพอใจของผู้ได้รับการถ่ายทอดชุดองค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์และบริบทที่เกี่ยวข้องของชุดองค์ความรู้ (ตัวแทนจากหน่วยงาน หน่วยงานละ 10 คน เป็นผู้ประเมิน) จากนั้นใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ (Knowledge sharing) เพื่อสร้างแนวทางการใช้ประโยชน์จากชุดองค์ความรู้ดังกล่าวของหน่วยงาน พร้อมทั้ง สังเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับ แล้วนำมาเขียนบรรยายเชิงพรรณนา

5) ประเมินผลความพึงพอใจจากผู้ได้รับการถ่ายทอดชุดองค์ความรู้ โดยมีประเด็นการประเมินผล 10 ด้าน โดยแต่ละด้านมีระดับความพึงพอใจ 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด กำหนดค่าคะแนน เท่ากับ 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ

6) นำเข้าข้อมูลการประเมินความพึงพอใจยังโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านสถิติ วิเคราะห์ผลความพึงพอใจโดยใช้ค่าเฉลี่ย โดยมีเกณฑ์การแปลผล ดังนี้ ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.51-5.00 คะแนน,

3.51–4.50 คะแนน, 2.51–3.50 คะแนน, 1.51–2.50 คะแนน, 1.00–1.50 คะแนน แปลผลได้ว่ามีระดับความพึงพอใจ เท่ากับ มากที่สุด, มาก, ปานกลาง, น้อย และน้อยที่สุด ตามลำดับ

ผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ที่ 1. ผลการวิจัย พบว่า สามารถสร้างชุดองค์ความรู้ดังกล่าวได้ โดยชุดองค์ความรู้ดังกล่าว ประกอบด้วย (1) ผลการประเมินพื้นที่และความรุนแรงของการเผาไหม้จากข้อมูลดาวเทียม Landsat (2) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิด MODIS Hotspot และ Suomi NPP Hotspot (3) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟฟ้า โดยใช้ GIS (4) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรม โดยใช้ GIS และ (5) ผลการกำหนดเขตอันตรายหมอกควันไฟโดยใช้ภูมิสารสนเทศ โดยสรุปได้ ดังนี้

(1) ผลการประเมินพื้นที่และความรุนแรงของการเผาไหม้จากข้อมูลดาวเทียม Landsat

การประเมินพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ จังหวัดตาก พ.ศ. 2566 พบว่า มีพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ 389.64 ตารางกิโลเมตร หรือ 243,525 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.37 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ส่วนใหญ่ปรากฏในพื้นที่เกษตรกรรมมากกว่าพื้นที่ป่าไม้ โดยเกิดในพื้นที่เกษตรกรรม เท่ากับ ร้อยละ 55.50 และเกิดในพื้นที่ป่าไม้ เท่ากับ ร้อยละ 44.50 เมื่อพิจารณาในเชิงพื้นที่ ในพื้นที่เกษตรกรรม อำเภออุ้มผาง เป็นอำเภอที่พบการเผาไหม้มากที่สุด (ร้อยละ 26.68) รองลงมา ได้แก่ อำเภอท่าสองยาง (ร้อยละ 15.86) อำเภอวังเจ้า (ร้อยละ 11.98) และอำเภอสากเหล็ก (ร้อยละ 10.35) ส่วนในพื้นที่ป่าไม้ อำเภอสากเหล็ก เป็นอำเภอที่พบการเผาไหม้มากที่สุด (ร้อยละ 30.04) รองลงมา ได้แก่ อำเภออุ้มผาง (ร้อยละ 28.52) อำเภอท่าสองยาง (ร้อยละ 13.30) และอำเภอบ้านตาก (ร้อยละ 8.50) ทั้งนี้ เมื่อประเมินความรุนแรงของการเผาไหม้ พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีความรุนแรงของการเผาไหม้ระดับต่ำ (ร้อยละ 95.32) รองลงมา ได้แก่ ระดับต่ำถึงปานกลาง (ร้อยละ 4.21) ระดับปานกลางถึงสูง (ร้อยละ 0.37) และระดับสูง (ร้อยละ 0.10) ตามลำดับ

(2) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิด MODIS Hotspot และ Suomi NPP Hotspot

การวิเคราะห์การเกิด MODIS Hotspot ในพื้นที่จังหวัดตาก พบว่า ช่วง พ.ศ. 2562–2566 มีจุดความร้อนเกิดขึ้นทั้งสิ้น จำนวน 3,633 จุด โดยเกิดขึ้นในพื้นที่ป่าไม้ 2,712 จุด (ร้อยละ 74.65) และเกิดขึ้นในพื้นที่เกษตรกรรม 921 จุด (ร้อยละ 25.35) เมื่อพิจารณาจุดความร้อนทั้งหมด พบว่า พ.ศ. 2563 เป็นปีที่พบจุดความร้อนมากที่สุด (ร้อยละ 39.31) รองลงมา ได้แก่ พ.ศ. 2562 (ร้อยละ 29.20) พ.ศ. 2564 (ร้อยละ 22.29) พ.ศ. 2565 (ร้อยละ 6.61) และ พ.ศ. 2566 (ร้อยละ 2.59) โดยจุดความร้อนดังกล่าวจะปรากฏพบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์มากที่สุด (ร้อยละ 31.10) รองลงมา ได้แก่ เดือนมีนาคม (ร้อยละ 23.37) เดือนเมษายน (ร้อยละ 18.30) และเดือนมกราคม (ร้อยละ 17.15) และรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ที่พบจุดความร้อนมากที่สุด คือ ป่าผลัดใบผสมบุรณ

(ร้อยละ 61.35) รองลงมา ได้แก่ ป่าไม้ผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 9.33) ข้าวโพด (ร้อยละ 8.01) และ ข้าวโพดในลักษณะไร่หมุนเวียน (ร้อยละ 4.60) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจุดความร้อนที่เกิดในพื้นที่ป่าไม้ พบว่า พ.ศ. 2562 เป็นปีที่พบจุดความร้อนมากที่สุด (ร้อยละ 41.54) รองลงมา ได้แก่ พ.ศ. 2563 (ร้อยละ 40.55) พ.ศ. 2564 (ร้อยละ 15.71) พ.ศ. 2565 (ร้อยละ 1.87) และ พ.ศ. 2566 (ร้อยละ 0.33) โดยจุดความร้อนส่วนใหญ่จะปรากฏในช่วงเดือนมีนาคมมากที่สุด (ร้อยละ 39.67) รองลงมา ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์ (ร้อยละ 23.52) เดือนมกราคม (ร้อยละ 16.04) และเดือนเมษายน (ร้อยละ 13.52) ทั้งนี้ ประเภทป่าไม้ที่พบจุดความร้อนมากที่สุด คือ ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 90.99) รองลงมา ได้แก่ ป่าไม้ผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 7.69) และป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู (ร้อยละ 0.99) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจุดความร้อนที่เกิดในพื้นที่เกษตรกรรม พบว่า พ.ศ. 2563 เป็นปีที่พบจุดความร้อนมากที่สุด (ร้อยละ 32.57) รองลงมา ได้แก่ พ.ศ. 2562 (ร้อยละ 31.70) พ.ศ. 2564 (ร้อยละ 20.52) พ.ศ. 2565 (ร้อยละ 10.97) และ พ.ศ. 2566 (ร้อยละ 4.24) ตามลำดับ โดยจุดความร้อนส่วนใหญ่จะปรากฏในช่วงเดือนกุมภาพันธ์มากที่สุด (ร้อยละ 30.62) รองลงมา ได้แก่ เดือนเมษายน (ร้อยละ 19.11) เดือนมกราคม (ร้อยละ 18.46) และเดือนมีนาคม (ร้อยละ 11.62) ทั้งนี้ ประเภทการเกษตรที่พบจุดความร้อนมากที่สุด คือ ข้าวโพด (ร้อยละ 31.60) รองลงมา ได้แก่ ข้าวโพดในลักษณะไร่หมุนเวียน (ร้อยละ 18.13) และนาข้าว (ร้อยละ 10.86) ตามลำดับ

การพิจารณาในระดับตำบล พบว่า ตำบลที่พบจุดความร้อนมากที่สุด คือ ตำบลบ้านนา อำเภอสามเภา (ร้อยละ 11.56) รองลงมา ได้แก่ ตำบลแม่จัน อำเภออุ้มผาง (ร้อยละ 10.29) ตำบลแม่ตื่น อำเภอแม่ระมาด (ร้อยละ 6.94) ตำบลยกกระบัตร์ อำเภอสามเงา (ร้อยละ 3.63) และตำบลเชียงทอง อำเภอวังเจ้า (ร้อยละ 3.44) ตามลำดับ

การวิเคราะห์การเกิด Suomi NPP Hotspot ในพื้นที่จังหวัดตาก พบว่า ช่วง พ.ศ. 2562–2566 มีจุดความร้อนเกิดขึ้นทั้งสิ้น จำนวน 36,360 จุด โดยเกิดขึ้นในพื้นที่ป่าไม้ 29,494 จุด (ร้อยละ 81.12) และเกิดขึ้นในพื้นที่เกษตรกรรม 6,866 จุด (ร้อยละ 18.88) เมื่อพิจารณาจุดความร้อนทั้งหมด พบว่า พ.ศ. 2563 เป็นปีที่พบจุดความร้อนมากที่สุด (ร้อยละ 40.34) รองลงมา ได้แก่ พ.ศ. 2562 (ร้อยละ 31.05) พ.ศ. 2564 (ร้อยละ 20.67) พ.ศ. 2565 (ร้อยละ 6.42) และ พ.ศ. 2566 (ร้อยละ 1.52) ตามลำดับ โดยจุดความร้อนดังกล่าวจะปรากฏพบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์มากที่สุด (ร้อยละ 31.26) รองลงมา ได้แก่ เดือนมีนาคม (ร้อยละ 25.99) เดือนเมษายน (ร้อยละ 19.37) เดือนมกราคม (ร้อยละ 14.49) และเดือนธันวาคม (ร้อยละ 4.18) ตามลำดับ และรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ที่พบจุดความร้อนมากที่สุด คือ ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 68.35) รองลงมา ได้แก่ ป่าไม้ผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 10.30) ข้าวโพด (ร้อยละ 5.82) ข้าวโพดในลักษณะไร่หมุนเวียน (ร้อยละ 4.06) และป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู (ร้อยละ 2.14) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า รูปแบบของการเกิด Suomi NPP Hotspot นั้น มีความสอดคล้องกับการเกิด MODIS Hotspot ทั้งในเชิงคุณลักษณะ

การเกิด เดือน ปี รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน รวมทั้ง ตำบลที่เกิด ทั้งในพื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม จึงได้ทำการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial correlation) จำนวนการเกิด จุดความร้อนเชิงพื้นที่ ระหว่าง MODIS Hotspot และ Suomi Hotspot พบว่า มีค่าสหสัมพันธ์อยู่ใน ระดับสูงมาก โดยมีค่าเท่ากับ 0.96

(3) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่า โดยใช้ GIS

การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่า จังหวัดตาก พบว่า มีพื้นที่ไม่เสี่ยงหรือเป็นพื้นที่กันออกในการ วิเคราะห์ จำนวน 2,641,469 ไร่ (ร้อยละ 25.76) และมีพื้นที่ที่ถูกนำมาจำแนกพื้นที่เสี่ยงแต่ละระดับ จำนวน 7,612,687 ไร่ (ร้อยละ 74.24) ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยง พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีความเสี่ยง ระดับน้อย (ร้อยละ 20.22) รองลงมา ได้แก่ เสี่ยงปานกลาง (ร้อยละ 17.93) เสี่ยงมาก (ร้อยละ 15.24) เสี่ยงน้อยที่สุด (ร้อยละ 12.79) และเสี่ยงมากที่สุด (ร้อยละ 8.06) โดยพื้นที่เสี่ยงมากและมากที่สุดของ การเกิดจะกระจายตัวกันไปในเขตป่าไม้ของทุกอำเภอ โดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ใกล้ชุมชนและใกล้กับพื้นที่ เกษตรกรรมของคนในพื้นที่

(4) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรม โดยใช้ GIS

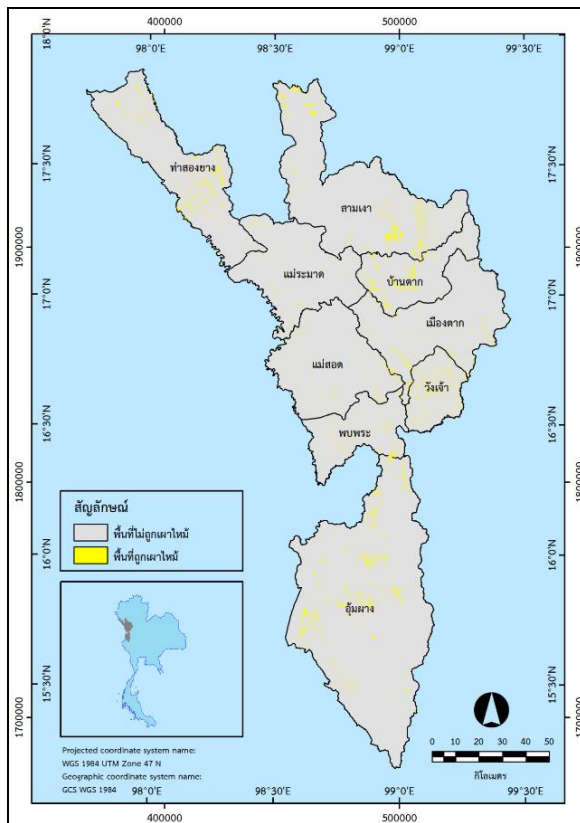
การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรม จังหวัดตาก พบว่า มีพื้นที่ไม่เสี่ยงหรือ เป็นพื้นที่กันออกในการวิเคราะห์ จำนวน 8,121,294 ไร่ (ร้อยละ 79.20) และมีพื้นที่ที่ถูกนำมาจำแนก พื้นที่เสี่ยงแต่ละระดับ จำนวน 2,132,862 ไร่ (ร้อยละ 20.80) ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยง พบว่า พื้นที่ ส่วนใหญ่มีความเสี่ยงระดับมาก (ร้อยละ 7.55) รองลงมา ได้แก่ เสี่ยงมากที่สุด (ร้อยละ 5.51) เสี่ยงปานกลาง (ร้อยละ 4.42) เสี่ยงน้อย (ร้อยละ 2.28) และเสี่ยงน้อยที่สุด (ร้อยละ 1.04) โดยพื้นที่ เสี่ยงมากและมากที่สุดของการเกิดจะอยู่บริเวณพื้นที่ฝั่งตะวันตกของจังหวัด โดยเฉพาะในเขตอำเภอ ท่าสองยาง อำเภอแม่ระมาด อำเภอแม่สอด อำเภอพบพระ และอำเภออุ้มผาง ทั้งนี้ ในส่วนของทาง ทิศตะวันออกจะเกิดในพื้นที่อำเภอสามเงา อำเภอบ้านตาก อำเภอเมืองตาก และอำเภอวังเจ้า

(5) ผลการกำหนดเขตอันตรายหมอกควันไฟโดยใช้ภูมิสารสนเทศ

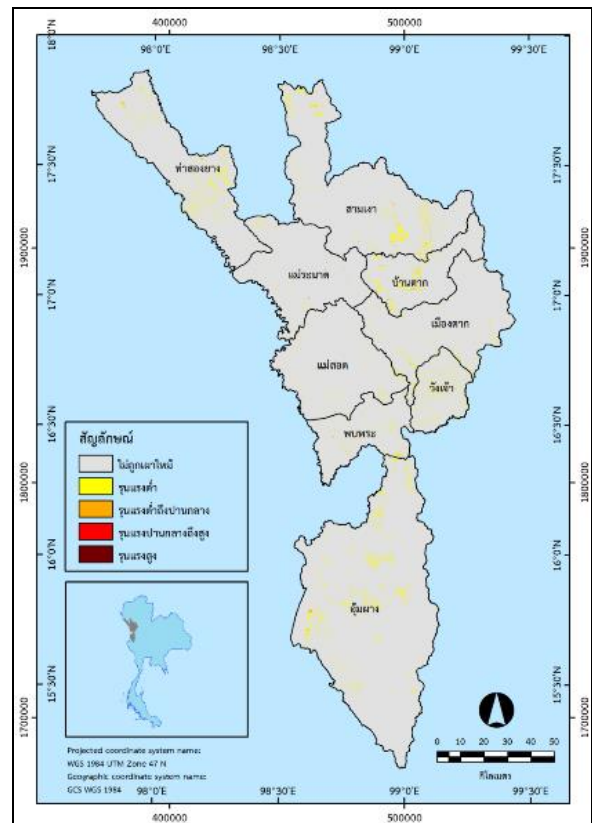
การวิเคราะห์ค่า $PM_{2.5}$ จังหวัดตาก ในช่วง พ.ศ. 2562–2566 จากข้อมูลค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของ $PM_{2.5}$ พบว่า โดยภาพรวมเดือนที่มีค่า $PM_{2.5}$ สูงที่สุด ได้แก่ เดือนมีนาคม โดยมีค่า $PM_{2.5}$ เท่ากับ 59.79 มคก./ลบ.ม. รองลงมา ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์ (56.51 มคก./ลบ.ม.) เดือนมกราคม (43.95 มคก./ลบ.ม.) เดือนเมษายน (41.75 มคก./ลบ.ม.) และเดือนพฤษภาคม (18.59 มคก./ลบ.ม.) ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2567)

การกำหนดเขตอันตรายหมอกควันไฟในช่วงที่เกิดวิกฤตโดยใช้ภูมิสารสนเทศ ใช้ข้อมูลระดับ ค่า $PM_{2.5}$ ของ สถานี 76T และสถานีโดยรอบ มาสร้างแผนที่ระดับค่า $PM_{2.5}$ เชิงพื้นที่ จากนั้น นำมา วิเคราะห์ร่วมกับความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของ MODIS Hotspot และ Suomi NPP Hotspot เพื่อแบ่งระดับ ความอันตราย ผลการศึกษา พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีความอันตรายระดับปานกลาง โดยมีพื้นที่ 3,564,344 ไร่ (ร้อยละ 34.76) รองลงมา ได้แก่ อันตรายมาก (ร้อยละ 30.62) น้อย (ร้อยละ 21.86)

น้อยที่สุด-ไม่อันตราย (ร้อยละ 9.35) และมากที่สุด (ร้อยละ 3.23) ตามลำดับ โดยทางตอนเหนือและทางฝั่งตะวันออกของจังหวัดจะมีความอันตรายมากกว่าทางตอนใต้ โดยอำเภอที่มีภาพรวมความรุนแรงมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ อำเภอบ้านตาก อำเภอสางเภา อำเภอเมืองตาก อำเภอท่าสองยาง และอำเภอแม่ระมาด ทั้งนี้ แสดงตัวอย่างขององค์ความรู้จากผลการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศในลักษณะของแผนที่ได้ดังภาพที่ 1-3

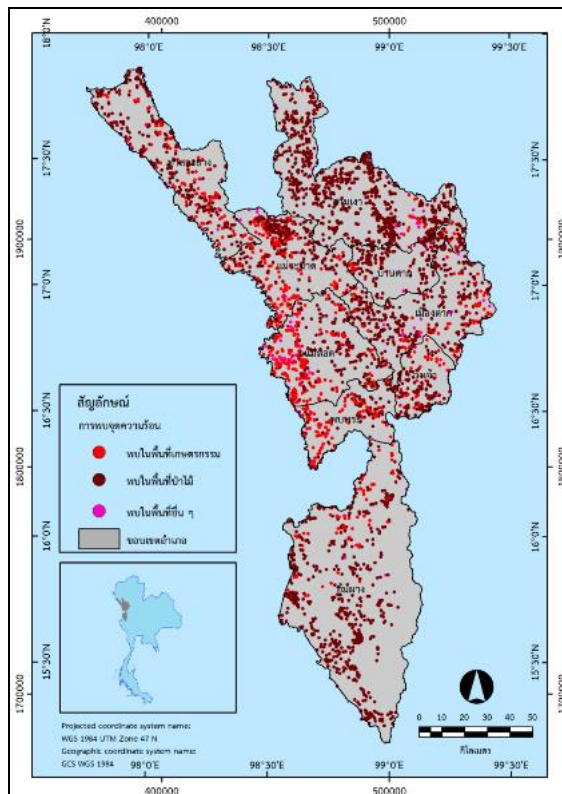


(A)

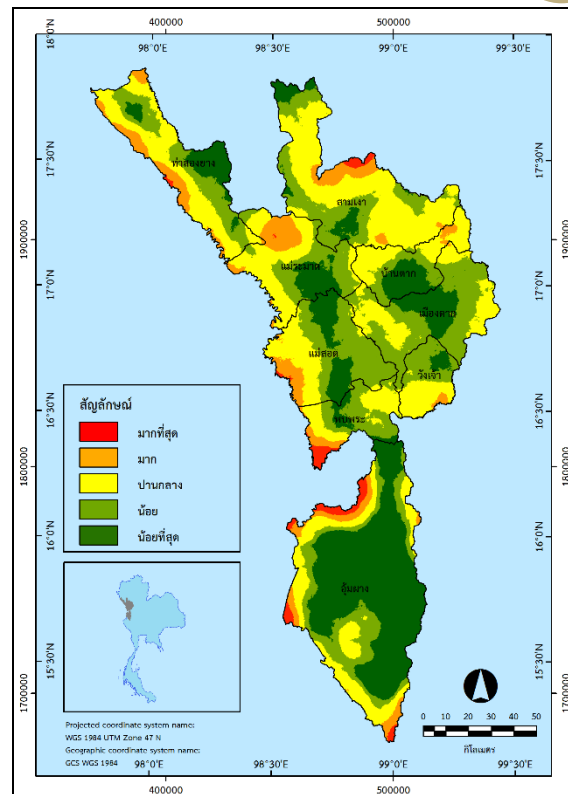


(B)

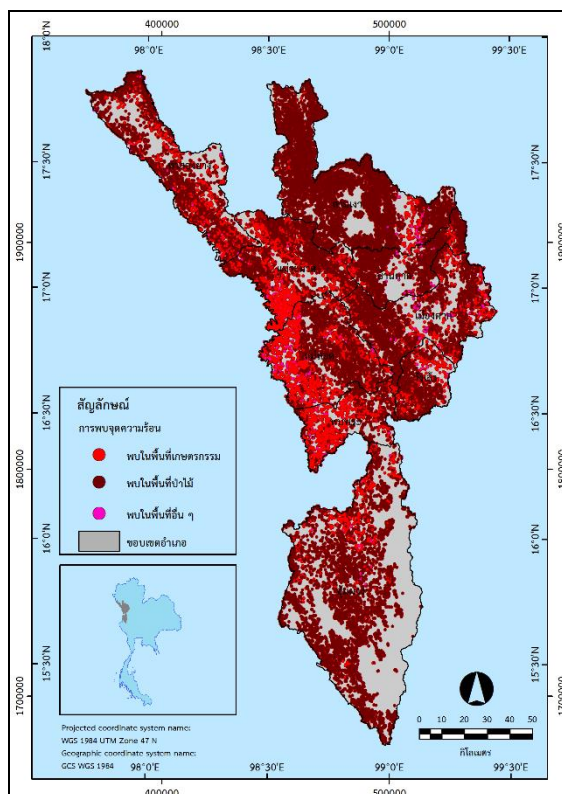
ภาพที่ 1 แสดง (A) พื้นที่ถูกเผาไหม้ พ.ศ. 2566 และ (B) ความรุนแรงของการเผาไหม้ พ.ศ. 2566 จังหวัดตาก



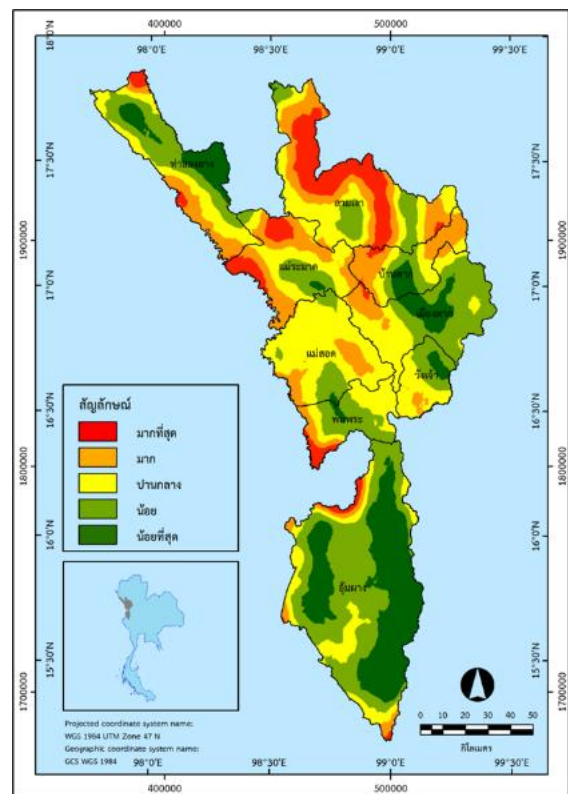
(A)



(B)

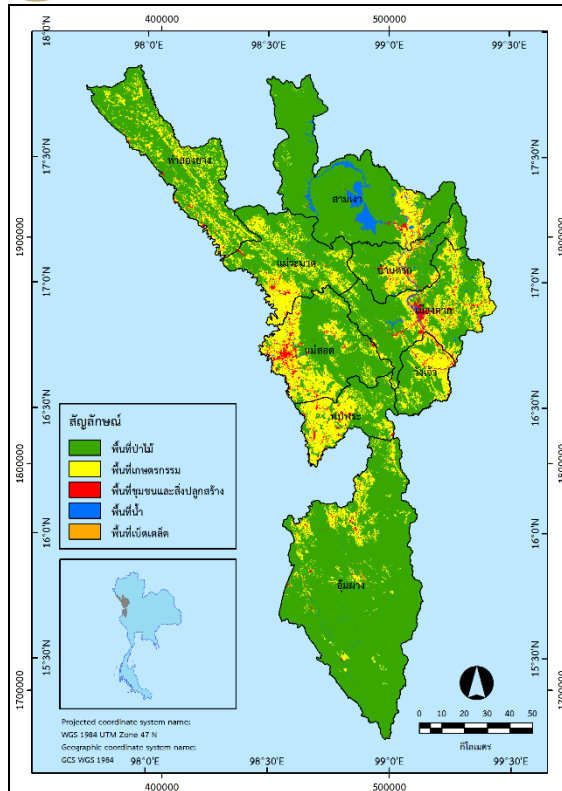


(C)

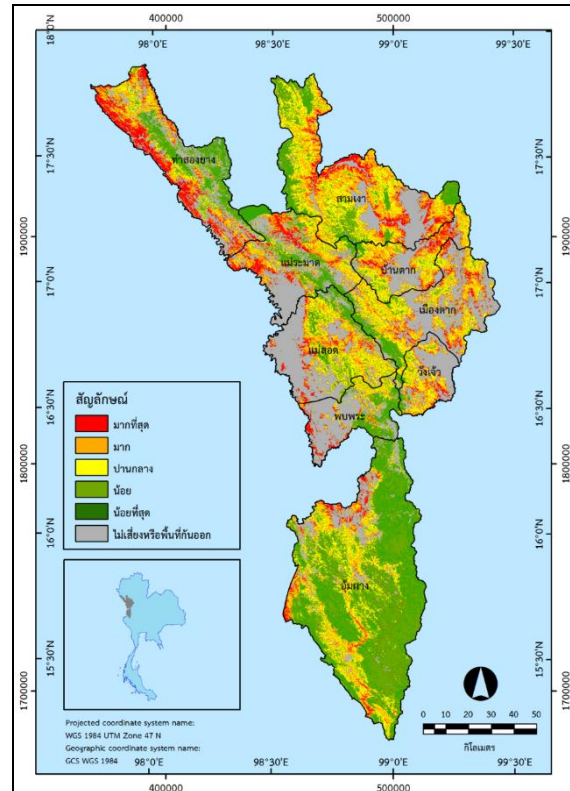


(D)

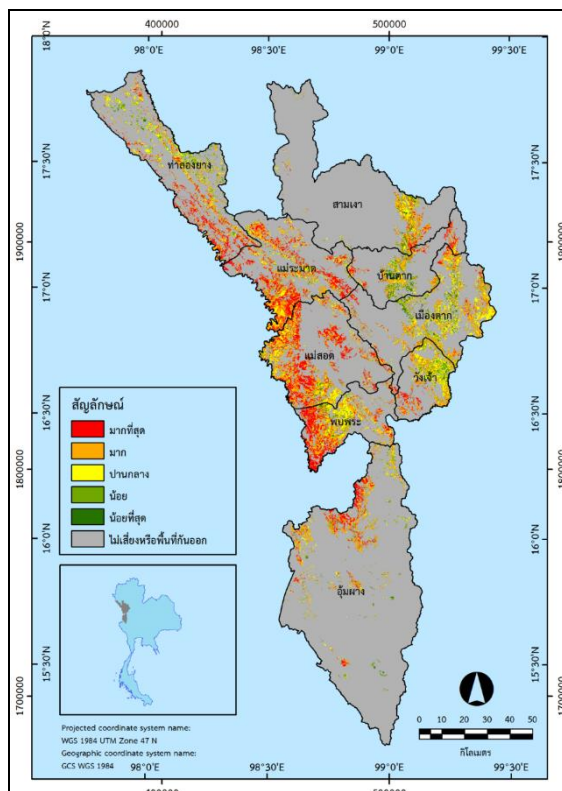
ภาพที่ 2 แสดง (A) การกระจายตัวของ MODIS Hotspot (B) ความหนาแน่นของ MODIS Hotspot (C) การกระจายตัวของ Suomi Hotspot และ (D) ความหนาแน่นของ Suomi Hotspot จังหวัดตาก



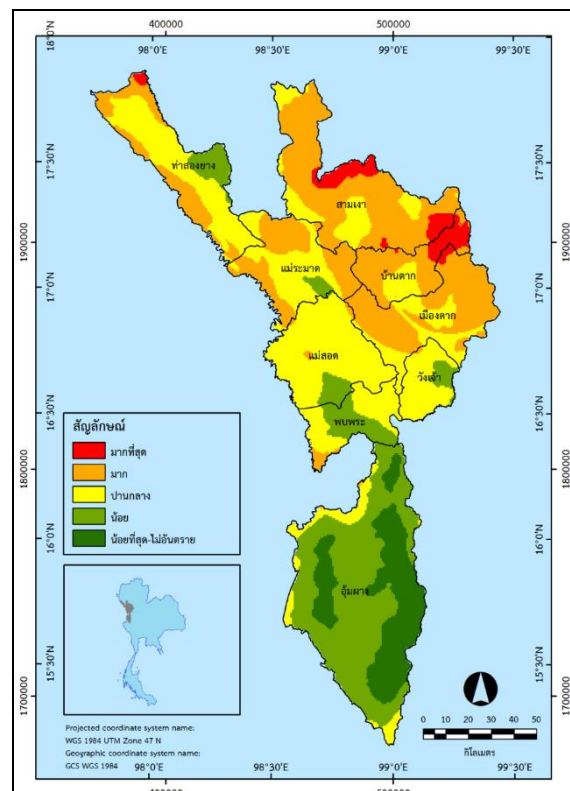
(A)



(B)



(C)



ภาพที่ 3 แสดง (A) การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เปรียบเทียบกับ (B) พื้นที่เสี่ยงไฟป่า (C) พื้นที่เสี่ยงการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรม และ (D) พื้นที่อันตรายหมอกควันไฟ จังหวัดตาก

วัตถุประสงค์ที่ 2. การประเมินผลความพึงพอใจของผู้ที่ได้รับการถ่ายทอดชุดองค์ความรู้ เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟในพื้นที่จังหวัดตากบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ พบว่า ผู้ที่ได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้มีความพึงพอใจโดยภาพรวมต่อชุดองค์ความรู้ระดับมาก ($\bar{X} = 4.34$, $SD = 0.85$) โดยประเด็นที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ความเหมาะสมและสอดคล้องกับการใช้งานของชุดองค์ความรู้ ($\bar{X} = 4.52$, $SD = 0.65$, ระดับมากที่สุด) รองลงมา ได้แก่ ความทันสมัยและเป็นปัจจุบันของขององค์ความรู้ ($\bar{X} = 4.51$, $SD = 0.65$, ระดับมากที่สุด) และความสามารถในการนำไปใช้ได้จริงของชุดองค์ความรู้ ($\bar{X} = 4.38$, $SD = 0.78$, ระดับมาก) รายละเอียดดังตารางที่ 1 ทั้งนี้ เมื่อทำการสอบถามถึงแนวทางการใช้ประโยชน์จากชุดองค์ความรู้ดังกล่าว พบว่าสามารถใช้ประโยชน์ได้ในหลายด้าน ทั้งการเตือนภัย เผ่าระวัง จัดการ สนับสนุนการตัดสินใจ จัดลำดับความสำคัญของการเข้าถึงเพื่อแก้ปัญหา และประกอบการกำหนดเป้าหมายและผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Objectives and Key Results: OKRs) ของหน่วยงาน ครอบคลุมกระบวนการจัดการได้ทั้งระยะก่อนเกิดระหว่างเกิด และหลังเกิดภัย โดยการที่ข้อมูลจาก GIS และข้อมูลจากดาวเทียม สามารถใช้แสดงภาพของปัญหาได้อย่างชัดเจน ยังทำให้ใช้เป็นหลักฐานบ่งชี้การเกิด ช่วงเวลาเกิด และใช้ประเมินปัจจัยหรือสาเหตุปัญหาในเบื้องต้นได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้ ข้อมูลดังกล่าวยังสามารถใช้ประกอบการจัดการด้านอื่น ๆ ได้อีก ดังเช่น การจัดทำแผนป้องกันแก้ไขปัญหา การจัดทำโครงการ และการวางนโยบาย เป็นต้น

ตารางที่ 1 ระดับความพึงพอใจของผู้ที่ได้รับการถ่ายทอดชุดองค์ความรู้ (n = 50)

ประเด็น	$\bar{X}$	SD	แปลผล	ลำดับ
1. ความเหมาะสมและสอดคล้องกับการใช้งานของชุดองค์ความรู้	4.52	0.65	มากที่สุด	1
2. ความครบถ้วน สมบูรณ์ และการมีปริมาณที่เหมาะสมขององค์ความรู้	4.12	0.80	มาก	8
3. ความถูกต้อง แม่นยำ และการมีคุณภาพขององค์ความรู้	4.26	0.92	มาก	5
4. ความน่าเชื่อถือของข้อมูลและแหล่งข้อมูลขององค์ความรู้	4.22	1.00	มาก	6
5. ความทันสมัยและเป็นปัจจุบันของขององค์ความรู้	4.51	0.65	มากที่สุด	2
6. ความสามารถในการนำไปใช้ได้จริงของชุดองค์ความรู้	4.38	0.78	มาก	3
7. ความสามารถในการสื่อสารหรือเรียนรู้ได้ของชุดองค์ความรู้	4.18	0.80	มาก	7
8. ความชัดเจนและสามารถเข้าใจได้ตรงกันของชุดองค์ความรู้	4.02	0.91	มาก	9
9. กระบวนการมีส่วนร่วมต่อการพัฒนาชุดองค์ความรู้	4.01	0.87	มาก	10
10. ความพึงพอใจโดยภาพรวมต่อชุดองค์ความรู้	4.34	0.85	มาก	4

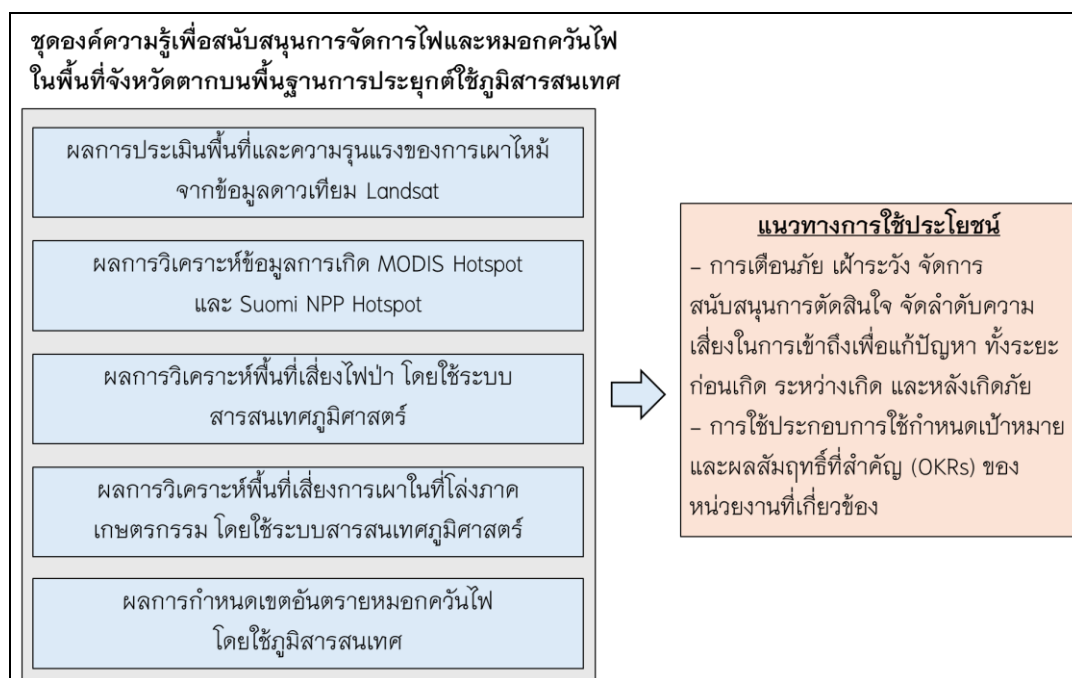
อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 1 พบว่า เกิดการพัฒนาชุดองค์ความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟในพื้นที่จังหวัดตากบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศที่หลากหลาย ทั้งการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยง การใช้ข้อมูล Hotspot การวิเคราะห์โซนอันตรายหมอกควันไฟ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้เพื่อการวางแผน จัดการ และสนับสนุนการจัดการไฟและปัญหาที่เกี่ยวข้องได้อย่างดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Maniatis et al. (2022) Mohammed et al. (2022), and Pramanick et al. (2023) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยภูมิสารสนเทศ จะทำให้ทราบถึงบริบทปัญหาที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ อันเป็นพื้นฐานของการวางแผนในการจัดการ ดังเช่น ในการวิเคราะห์ Hotspot ในพื้นที่จังหวัดตาก พบว่า การเผาในพื้นที่โล่งภาคเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะเกิดในพื้นที่ข้าวโพดและข้าวโพดในลักษณะไร่หมุนเวียน ซึ่งจะแตกต่างจากการเกิดไฟในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร ที่จะพบมากในพื้นที่ปลูกอ้อยและนาข้าว ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้ในการเข้าถึงกลุ่มเกษตรกรและชุมชนในการแก้ปัญหาได้เป็นต้น (สุภาสพงษ์ รุ้งทำนอง, 2559)

ผลจากการวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 2 พบว่า ผู้ได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้มีความพึงพอใจโดยภาพรวมต่อชุดองค์ความรู้ระดับมาก และมีประเด็นด้านความเหมาะสมและสอดคล้องกับการใช้งานของชุดองค์ความรู้ระดับมากที่สุด ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะผู้ได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้สามารถเล็งเห็นได้ว่าองค์ความรู้ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างไรได้บ้าง ส่วนในด้านของกระบวนการมีส่วนร่วมต่อการพัฒนาชุดองค์ความรู้ที่มีค่าคะแนนน้อยนั้น เนื่องจากในขั้นตอนของการสนทนากลุ่มเพื่อกำหนดชุดองค์ความรู้และการประเมินผลชุดองค์ความรู้นั้น มีบุคคลที่เข้าร่วมกิจกรรมเป็นคนละกลุ่มกัน ทั้งนี้ ชุดข้อมูลเชิงพื้นที่นับได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดการทรัพยากรและแก้ปัญหาในระดับชุมชน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruthamnong, (2018) ที่ได้จัดชุดองค์ความรู้ภูมิสารสนเทศด้านการอนุรักษ์และจัดการทรัพยากรทางธรรมชาติและทางวัฒนธรรม ลุ่มน้ำคลองสวนหมาก จังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 4 กลุ่ม 38 ชิ้นข้อมูล จากนั้นถ่ายทอดสู่ชุมชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยการประเมินผลการถ่ายทอดสู่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องผ่านการฝึกอบรม พบว่า โดยภาพรวมมีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ส่วนการประเมินผลการถ่ายทอดสู่ชุมชนผ่านหนังสือเล่มเล็กและหนังสืออิเล็กทรอนิกส์พบว่า โดยภาพรวมมีความพึงพอใจระดับมากถึงมากที่สุด และการศึกษาของสุภาสพงษ์ รุ้งทำนอง และปนัดดา พาณิชนพันธุ์ (2559) ที่ได้สร้างข้อมูล GIS เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานตามแผนยุทธศาสตร์จังหวัดกำแพงเพชร ครอบคลุม 3 ด้าน รวม 45 กลุ่มเรื่อง โดยมีชั้นข้อมูล ที่สำคัญ เช่น ข้อมูลพื้นฐานประชากรและแรงงาน พืชเศรษฐกิจ ผลิตภัณฑ์ชุมชน พื้นที่เสี่ยงภัย ข้อมูล กชช. 2ค. และ จปฐ. ฯลฯ โดยการเผยแพร่ผ่านกระบวนการอบรมเจ้าหน้าที่ของจังหวัด พบว่า มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด และข้อมูลดังกล่าวใช้สนับสนุนและเป็นแนวทางในการจัดทำข้อมูล GIS ของหน่วยงานได้เป็นอย่างดี

องค์ความรู้ใหม่

การพัฒนาชุดองค์ความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟในพื้นที่จังหวัดตากบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ ทำให้เกิดชุดองค์ความรู้ใหม่ ที่ประกอบด้วย (1) ผลการประเมินพื้นที่และความรุนแรงของการเผาไหม้จากข้อมูลดาวเทียม Landsat (2) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิด MODIS Hotspot และ Suomi NPP Hotspot (3) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่า โดยใช้ GIS (4) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรม โดยใช้ GIS และ (5) ผลการกำหนดเขตอันตรายหมอกควันไฟโดยใช้ภูมิสารสนเทศ ดังภาพที่ 4 ทั้งนี้ ในกรอบรวมภาพใหญ่ของการวิจัยหลังการสร้างชุดองค์ความรู้เสร็จสิ้น จะนำไปสู่การต่อยอดและสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมที่หลากหลายมากขึ้น โดยการถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟป่าและการเผาในที่โล่งภาคเกษตรกรรมในรูปแบบต่าง ๆ ประกอบด้วย การจัดอบรมเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการจัดการไฟป่าและการเผาในที่โล่ง โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นประชาชนในเขตพื้นที่เสี่ยง การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการฝึกใช้โปรแกรม GIS/RS และข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการจัดการไฟ โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นผู้นำชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การจัดทำสื่อนวัตกรรมและเผยแพร่องค์ความรู้ผ่านหนังสือเล่มเล็กโดยการจัดการความรู้ (knowledge management) เผยแพร่กับกลุ่มเป้าหมายเป็นประชาชนในเขตพื้นที่เสี่ยง และการกำหนดเป้าหมาย OKRs ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นด้านการจัดการไฟและหมอกควันไฟ ที่สอดคล้องกับบริบทพื้นที่บนหลักฐานเชิงประจักษ์ (empirical evidence) จากชุดองค์ความรู้ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ



ภาพที่ 4 องค์ความรู้ใหม่จากการพัฒนาชุดองค์ความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ

สรุป

การวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาชุดองค์ความรู้เพื่อสนับสนุนการจัดการไฟและหมอกควันไฟในพื้นที่จังหวัดตากบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ และประเมินผลความพึงพอใจของผู้ได้รับการถ่ายทอดชุดองค์ความรู้และสร้างแนวทางการใช้ประโยชน์จากชุดองค์ความรู้ดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่า สามารถพัฒนาชุดองค์ความรู้ดังกล่าวได้ โดยองค์ความรู้ดังกล่าวจะถูกสังเคราะห์และจัดให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมในการการถ่ายทอดสู่กลุ่มเป้าหมาย ทั้งในรูปแบบคำอธิบาย แผนที่ ข้อมูล GIS และข้อเสนอแนะการใช้ประโยชน์ ส่วนการถ่ายทอดชุดองค์ความรู้และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ประโยชน์ พบว่า โดยภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก และการอภิปรายกลุ่มและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทำให้มีข้อเสนอแนะแนวทางการใช้ประโยชน์จากชุดองค์ความรู้ดังกล่าวหลายมิติ ทั้งด้านการเตือนภัย เฝ้าระวัง จัดการ สนับสนุนการตัดสินใจ และใช้ประกอบการกำหนด OKRs ของหน่วยงาน ครอบคลุมกระบวนการจัดการได้ทั้งระยะก่อนเกิด ระหว่างเกิด และหลังเกิดภัย

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้และต่อยอด ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลจากการวิจัยนี้ มีข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ โดย (1) นักวิจัยหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรนำองค์ความรู้ดังกล่าวไปถ่ายทอดสู่ประชาชนในพื้นที่เสี่ยงเพื่อการเตือนภัย เฝ้าระวัง และจัดการภัยโดยชุมชน (2) ข้อมูล GIS และภูมิสารสนเทศที่ได้จากกระบวนการวิจัย รวมถึงกระบวนการวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถนำมาใช้ในการสร้างความเข้าใจในพื้นที่และฝึกฝนเชิงปฏิบัติการด้านต่าง ๆ ให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ เช่น การอบรมเชิงปฏิบัติการการใช้ภูมิสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการจัดการไฟ และ (3) ข้อมูลและผลการวิเคราะห์ที่ได้ สามารถส่งต่อยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อต่อยอดสู่การแก้ปัญหาเชิงพื้นที่ การเข้าถึงตำบลหรือหมู่บ้านที่มีความเสี่ยงหรือเกิดปัญหา การจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่เพื่อการแก้ปัญหา หรือสร้างแนวทางหรือนโยบายเพื่อการจัดการปัญหา ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ข้อค้นพบว่าสามารถพัฒนาชุดองค์ความรู้ได้ โดยมีกรอบของผลการวิเคราะห์ ได้แก่ การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่าและการเผาในที่โล่ง การวิเคราะห์ข้อมูล Hotspot และการกำหนดโซนอันตรายหมอกควันไฟ อย่างไรก็ตาม เฉพาะในประเด็นการสร้างแนวทางการจัดการโดยประยุกต์ภูมิสารสนเทศ ยังมีอีกหลายประเด็นที่มีความน่าสนใจ ดังเช่น การประเมินความเสียหายและผลกระทบจากการเกิดไฟและหมอกควันไฟในเชิงสุขภาพ เศรษฐกิจ สังคม ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม การจัดการและการตอบสนองต่อการเกิดเหตุการณ์เกิดไฟและหมอกควันไฟ การทำนายพฤติกรรมไฟ การวัดปริมาณค่า PM โดยใช้หลักการความลึกเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ

(Aerosol optical depth, AOD) การใช้โมเดลกลางแบบทำนายอากาศ MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2) การใช้เทคโนโลยีดาวเทียมร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence: AI) และการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมต่าง ๆ เช่น MODIS, Sentinel-5P หรือ Landsat ในการวิเคราะห์ค่า PM ในส่วนของงานวิจัยทางด้านสังคมและพื้นที่ มีประเด็นการวิจัยที่น่าสนใจ ดังเช่น การสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมประชาชนบนพื้นฐานของการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ การจัดการภัยพิบัติโดยมีชุมชนเป็นฐาน (community based disaster management) และการพัฒนาชุมชนนวัตกรรมด้านการจัดการไฟและหมอกควันไฟ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2567). ข้อมูลระดับค่า $PM_{2.5}$ ย้อนหลังรายเดือนรายสถานี. สืบค้นเมื่อ 4 มกราคม 2567, จาก <http://air4thai.pcd.go.th/web/V3/#/History>
- กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2566). โครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2566. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2567, จาก <https://www.forest.go.th/land/>
- กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2564). ชั้นข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2564. สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2567, จาก https://tswc.idd.go.th/Download GIS/Index_Lu.html
- ส่วนควบคุมไฟฟ้า สำนักป้องกันปราบปราม และควบคุมไฟฟ้า, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. (2566). สถิติไฟไหม้ป่าย้อนหลัง ประจำปีงบประมาณ 2541-2566. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2567, จาก <https://portal.dnp.go.th/DNP/FileSystem/download?uuid=51094b25-09a2-4bb5-97c9-c3b3beb77fb0.xls>.
- สุภาสพงษ์ ภูพานทอง. (2559). การศึกษารูปแบบ การกระจายตัว และความเสี่ยงต่อการเกิดไฟ เพื่อสร้างแนวทางการจัดการไฟในพื้นที่เกษตรกรรม โดยใช้ภูมิสารสนเทศ: กรณีศึกษา อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร. *วารสารพิกุล*, 14(2), 47-70.
- สุภาสพงษ์ ภูพานทอง. (2564). ภูมิสารสนเทศสำหรับการจัดการภัยพิบัติทางธรรมชาติ. กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- สุภาสพงษ์ ภูพานทอง และ ปนัดดา พาณิชนพรัตน์. (2559). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการสนับสนุนการดำเนินงานตามแผนยุทธศาสตร์จังหวัดกำแพงเพชร. *วารสารพิกุล*, 14(1), 105-140.
- Hoseinali, F., & Rajabi, M. A. (2009, 9 January). *Forest fire management using geospatial information system*. Retrieved March 2, 2024, from <https://www.geospatialworld.net/article/forest-fire-management-using-geospatial-information-system/>

- Jensen, J. R. (2005). *Introductory digital image processing: A Remote Sensing perspective*. (3rd ed), USA: Prentice–Hall.
- Key, C., & Benson, N. (2006). *Landscape assessment: Ground measure of severity; The Composite Burn Index, and remote sensing of severity, the Normalized Burn Index*. Retrieved December 20, 2023, from <https://www.researchgate.net/publication/241687027>
- Maniatis, Y., Doganis, A., & Chatzigeorgiadis, M. (2022). fire risk probability mapping using machine learning tools and multi-criteria decision analysis in the GIS environment: A case study in the national park forest Dadia–Lefkimi–Soufli, Greece. *Appl. Sci.*, 12(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app12062938>
- Mohammed, O. A., Vafaei, S., Kurdalivand, M. M., Rasooli, S., Yao, C., & Hu, T. (2022). A comparative study of forest fire mapping using GIS-based data mining approaches in Western Iran. *Sustainability*, 14(20), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su142013625>
- NASA Earth Data. (2024). *Fire Information for Resource Management System (FIRMS)*. Retrieved March 25, 2024, from <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-realtime/firms>
- NASA FIRMS. (2024). *Archive Download – NASA / LANCE / FIRMS*. Retrieved January 1, 2024, from <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/>
- Pramanick, N., Kundu, B., Acharyya, R., & Mukhopadhyay, A. (2023). Forest fire risk zone mapping in Mizoram using RS and GIS. *International Conference on Geospatial Science for Digital Earth Observation*, 1664. 1–17. DOI: 10.1088/1755–1315/1164/1/012005
- Roy, D., Boschetti, L., & Trigg, S. N. (2006) Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3(1),112–116. DOI: 10.1109/LGRS.2005.858485
- Ruthamnong, S. (2018). Propagation of GEO-informatics knowledge in conservation and management of natural resources, Khlong Suan Mak Basin, Kamphaeng Phet Province. *Journal of community development and life quality*, 6(2), 439–452.
- USGS EarthExplorer. (2024). *EarthExplorer*. Retrieved January 3, 2024, from <https://earthexplorer.usgs.gov/>