

การเฝ้าติดตามไฟป่าแบบใกล้เวลาจริงด้วยกูเกิลเอิร์ธเอนจิน กรณีศึกษา อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Near Real Time Wildfire Monitoring using Google Earth Engine: A Case Study of Amphoe Pai,

Mae Hong Son Province

Received : May 5, 2022

Revised : June 8, 2022

Accepted : June 13, 2022

^{1*} พงศ์พันธุ์ จันทะคัต, ^{2#} ยาวเรศ จันทะคัต และ ^{3#} จอมภัก จันทะคัต

¹ กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก 26001

² คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

³ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา 30000

^{1*} Pongpun Juntakut ^{2#} Yaowaret Jantakat and ^{3#} Chomphak Jantakat

¹ Department of Civil Engineering, Academic Division of Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon-Nayok 26001

² Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima 30000

³ Faculty of Business Management, Vongchavalitkul University, Nakhonratchasima 30000

* pongpun.ju@crma.ac.th, # yaowaret.ja@rmuti.ac.th, # jjomphak1905@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลักคือการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์มของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) เพื่อการเฝ้าติดตามและวิเคราะห์พื้นที่ไฟป่าโดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra และ Aqua ในระบบ MODIS จากฐานข้อมูล Fire Information for Resource Management System (FIRMS) ขององค์กร National Aeronautics and Space Administration (NASA) ซึ่งมุ่งเน้นการนำเสนอการใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินแพลตฟอร์มเพื่อการประเมินและแสดงผลจำนวนครั้ง และจำนวนผลรวมสะสมของจุดความร้อน (Hotspot) ในแบบใกล้เวลาจริงและอัตโนมัติ โดยสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่สนใจได้และกำหนดช่วงระยะเวลาที่ต้องการได้ ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษานี้ยังสามารถแสดงผลเชิงพื้นที่ที่เกิดจุดความร้อนบ่อยครั้งได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการเฝ้าระวังและการวางแผนเพื่อป้องกันการเกิดไฟป่าในพื้นที่ดังกล่าว ในการศึกษาได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการใช้งานแพลตฟอร์มโดยการเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงของเหตุการณ์ไฟป่าที่เกิดขึ้นจริงในปี พ.ศ.2563 ในพื้นที่อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นกรณีศึกษา พบว่ามีความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 76.19 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของความสอดคล้องเท่ากับ 0.78 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความสอดคล้องระดับดี ดังนั้นการใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินแพลตฟอร์มเพื่อการเฝ้าติดตามไฟป่าแบบใกล้เวลาจริงและอัตโนมัติ สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเฝ้าระวังพื้นที่ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: กูเกิลเอิร์ธเอนจิน, จุดความร้อนของไฟป่า, ภาพถ่ายดาวเทียม, แบบใกล้เวลาจริง

Abstract

The objective of the study was the guideline of the application of Google Earth Engine (GEE) platform for monitoring and analysis of wildfire by using satellite imagery of Terra and Aqua in the system of MODIS from database of the Fire Information for Resource Management System (FIRMS) by the National Aeronautics and Space Administration (NASA). The present study focused on the presentation of using GEE platform for the assessment and display the amount and cumulative count of hotspots in near real-time and automatic. In addition, it can determine the area of interesting (AOI) and time series. The results of the study presented the most of hotspot areas. It is useful for monitoring and planning of the protection of wildfire. In this study, the accuracy assessment was done by comparing with the locations of wildfire in year 2020 in Amphoe Pai, Mae Hong Son province as a case study. The study indicated that the values of total accuracy were 76.19% and the Kappa coefficient of correlation were 0.78. It means the results in good level. As a result, the application of GEE platform for monitoring wildfire in near real-time and automatic can be used as an efficient tool for monitoring the risk area of wildfire.

Keywords: Google earth engine, Wildfire hotspot, Satellite imagery, Near real time

1. บทนำ

ไฟป่า (Wildfire) เป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในหลายประเทศ ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ต้องเผชิญกับไฟป่าประจำปีในช่วงฤดูร้อนในหนึ่งรอบปี ซึ่งภัยธรรมชาติดังกล่าวนับวันยิ่งทวีความรุนแรงขึ้น และเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] ซึ่งสามารถสร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินของประชาชน และทางราชการรวมถึงเป็นผลเสียต่อคุณภาพอากาศในปัจจุบัน [2] โดยมีสาเหตุหลักหนึ่งมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) [3]-[6] ดังนั้นการเฝ้าระวังติดตามและการประเมินผลความเสียหายจากภัยธรรมชาติได้อย่างทันถ่วงที ในแบบใกล้เคียงกับเวลาจริง (Near real-time) จะเป็นข้อมูลที่มีค่าและประโยชน์อย่างยิ่งต่อการจัดการภัยธรรมชาติในด้านต่าง ๆ เช่น การป้องกัน การระงับเหตุ การสื่อสารข่าวสารของเหตุการณ์ การบรรเทาสาธารณภัยระหว่างเกิดเหตุภัยธรรมชาติ และการช่วยเหลือผู้ประสบภัยหลังจากการเกิดภัยธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งการเฝ้าติดตามและการประเมินผลความเสียหายจากภัยธรรมชาติได้อย่างทันถ่วงทีและรวดเร็วทันต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ณ เวลานั้น ยังคงเป็นความท้าทายเป็นอย่างมากสำหรับเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบ และมีอำนาจการตัดสินใจในการระงับเหตุ และบรรเทาสาธารณภัยที่จะต้องข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้องรวดเร็ว และประหยัคงบประมาณค่าใช้จ่าย เพื่อการจัดการภัยธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า [7],[8] ซึ่งในช่วงสิบปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลด้วยดาวเทียม (Satellite remote sensing technology) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เพื่อการจัดการภัยธรรมชาติอย่างแพร่หลาย เหตุผลหลักหนึ่งคือค่าใช้จ่ายที่น้อยลงมากสำหรับการใช้งานภาพถ่ายดาวเทียมในปัจจุบันโดยมีบริการให้ดาวเทียมโหลดไม่เสียค่าใช้จ่ายจากเว็บไซต์ในหลายองค์กร [7]-[12]

ปัจจุบันได้มีโปรแกรมกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มภูมิสารสนเทศของกูเกิล (Google) ใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ และการสร้างภาพ (Visualization) จากชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial information) ของภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite image) โดยกูเกิลรวบรวม และจัดเก็บย้อนหลังมากกว่า 40 ปี ไว้ในแบบคลังข้อมูลสาธารณะ เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Sentinel และ Landsat เป็นต้นโดยการใช้งานโปรแกรม GEE จะเป็น

การเขียนโค้ดคำสั่ง (Code editor) ในภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม นำมาวิเคราะห์และประมวลผลตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา เช่น แสดงข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Precipitation) หรือข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) เป็นต้น [13]

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเฝ้าติดตามและประเมินผลจากเหตุการณ์ไฟป่าในประเทศไทยปัจจุบันนั้น ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับจุดความร้อน (Hotspot) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI/TIRS ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของดัชนีเชิงคลื่นหลายช่วงเวลา ในพื้นที่ที่มีการถูกเผาไหม้จากไฟป่าในอุทยานแห่งชาติ คลองวังเจ้า คลองลาน และแม่วงก์ ในปี พ.ศ.2559 และ พ.ศ.2560 โดยใช้โปรแกรม ArcGIS ในการวิเคราะห์ ซึ่งจากงานวิจัยและการใช้เครื่องมือดังกล่าวได้นำมาใช้ในการเฝ้าติดตามของเหตุการณ์ไฟป่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ทว่ายังเกิดความล่าช้าต่อการประมวลผลของการเฝ้าติดตามของเหตุการณ์ไฟป่าที่ยังต้องใช้เวลาในการประมวลผล [14] และยังมีการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ MODIS กับ VIIRS นำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลจุดความร้อนร่วมกับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่อำเภอแล่นสัก จังหวัดอุทัยธานี ในปี พ.ศ.2559 ถึง พ.ศ.2562 เพื่อหาสาเหตุของการเกิดจุดความร้อนในพื้นที่ศึกษาในรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน ซึ่งงานวิจัยนี้ต้องใช้เวลาดำเนินการเพื่อประมวลผลข้อมูลจำนวนมากจึงทำให้ใช้เวลาการวิเคราะห์และประมวลผลที่มาก [15] ดังนั้นจากตัวอย่างงานวิจัยที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่ายังไม่มีการนำโปรแกรมกูเกิลเอิร์ธเอนจินมาประยุกต์ใช้ เพื่อการวิเคราะห์และประเมินผลไฟป่าอย่างจริงจังในประเทศไทย ซึ่งการนำแพลตฟอร์มโปรแกรมกูเกิลเอิร์ธเอนจินมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมจะช่วยให้ประหยัดเวลาในการประมวลผลของข้อมูลเชิงพื้นที่ได้เป็นอย่างดี และสามารถทันต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เพื่อการวางแผนและการป้องกัน

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (GEE) เพื่อการเฝ้าติดตามและวิเคราะห์พื้นที่ไฟป่า โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra และ Aqua ในระบบ MODIS จากฐานข้อมูล Fire Information for Resource Management System (FIRMS) ขององค์กร National Aeronautics and Space Administration (NASA)

2.2 การศึกษานี้ได้ประเมินและแสดงผลจำนวนครั้งและจำนวนสะสมรวมของจุดความร้อน (Hotspot) ในแบบใกล้เวลาจริงและอัตโนมัติ ซึ่งสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่สนใจได้ และกำหนดช่วงระยะเวลาที่ต้องการได้ ยิ่งไปกว่านั้นการศึกษานี้ยังสามารถแสดงผลเชิงพื้นที่ที่เกิดจุดความร้อนบ่อยครั้งได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการเฝ้าระวังและการวางแผนป้องกันการเกิดไฟป่าในพื้นที่เสี่ยงได้

2.3 การศึกษานี้ยังได้วิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้องของการใช้งานแพลตฟอร์ม GEE โดยการเปรียบเทียบการประเมินผลของจำนวนครั้ง และจำนวนสะสมรวมของจุดความร้อนกับเหตุการณ์ไฟป่าที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งได้เลือกพื้นที่อำเภอป่าสัก จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นกรณีศึกษา อันเนื่องมาจากเกิดเหตุการณ์ไฟป่าบ่อยครั้ง และเป็นอำเภอหนึ่งเป็นที่ยอมรับมากของการท่องเที่ยวในประเทศไทย [16],[17]

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การกำหนดและแสดงผลตำแหน่งจุดความร้อน

ข้อมูลจุดความร้อนของไฟป่า (Wildfire hotspot data) ที่ได้นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ MODIS ได้จากดาวเทียมด้วยกันสองดวงคือ Terra และ Aqua ซึ่งได้ทำการปล่อยเข้าสู่อวกาศเมื่อปี ค.ศ.1999 และ 2002 ตามลำดับ เพื่อทำการสำรวจโลกและเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมและภัยพิบัติ โดยได้ติดตั้งเซนเซอร์ระบบ MODIS ไปกับดาวเทียมทั้งสอง [18] โดยการกำหนดและแสดงผลตำแหน่งจุดความร้อนนั้นจะเป็นการวิเคราะห์จากค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ซึ่งเป็นค่าความเป็นไปได้ของการเกิดจุดความร้อนในรูปแบบพิกเซล (Pixel)

ของภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ MODIS โดยได้จากการคำนวณค่าความเชื่อมั่น (Confidence value) ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตของพารามิเตอร์ย่อย (Geometric mean of sub-confidence parameters) จำนวน 5 พารามิเตอร์ย่อย แบ่งออกเป็น C_1 ถึง C_5 [19],[20]

พารามิเตอร์ย่อย C_1 ถึง C_5 ดังกล่าวจะถูกคำนวณจากค่าต่าง ๆ ประกอบไปด้วย T_4 คือ ช่วงค่าความส่องสว่างของอุณหภูมิ (Brightness temperature) ที่ 360 K หรือช่วงความยาวคลื่นที่ 4 ไมโครเมตร (μm), N_{aw} คือ จำนวนพิกเซลของน้ำ (Number of adjacent water pixels), N_{ac} คือ จำนวนพิกเซลของเมฆ (Number of adjacent cloud pixels), Z_4 และ $Z_{\Delta T}$ คือ ค่าตัวแปรมาตรฐาน (Standardized variables) โดย $Z_4 = (T_4 - \bar{T}_4)/\delta_4$ และ $Z_{\Delta T} = (\Delta T - \bar{\Delta T})/\delta_{\Delta T}$ ซึ่งค่า δ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และ $S(x; \alpha, \beta)$ คือ ฟังก์ชันลาดเอียง (The ramp function) ดังแสดงในสมการที่ 1 - 3:[20]

$$\text{if } x \leq \alpha; \text{ then } S(x; \alpha, \beta) \quad (1)$$

$$\text{if } \alpha < x < \beta; \text{ then } S(x; \alpha, \beta) = \frac{(x - \alpha)}{(\beta - \alpha)} \quad (2)$$

$$\text{if } x \geq \beta; \text{ then } S(x; \alpha, \beta) = 1 \quad (3)$$

โดย x คือ ค่าฟังก์ชันที่นำมาพิจารณาสำหรับหาค่าความเชื่อมั่นพารามิเตอร์ย่อย C_1 ถึง C_5 ได้แก่ ค่า T_4 , Z_4 , $Z_{\Delta T}$, N_{ac} และ N_{aw} , α คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อการพิจารณาสำหรับหาค่าความเชื่อมั่นพารามิเตอร์ย่อย C_1 ถึง C_5 ได้แก่ ค่า T_4 , 3.0, 3.5, 0 และ β คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อการพิจารณาสำหรับหาค่าความเชื่อมั่นพารามิเตอร์ย่อย C_1 ถึง C_5 ได้แก่ ค่า 360, 6, 6 และ 4 ดังแสดงในสมการที่ 4 - 8

ดังนั้นพารามิเตอร์ย่อย C_1 ถึง C_5 สามารถคำนวณได้จากการพิจารณาในสมการที่ 1 - 3 โดยใช้ค่าฟังก์ชันลาดเอียงที่ได้กำหนดไว้ในสมการที่ 4 - 8: [20]

$$C_1 = S(T_4; T_4, 360K) \quad (4)$$

$$C_2 = S(Z_4; 3.0, 6) \quad (5)$$

$$C_3 = S(Z_{\Delta T}; 3.5, 6) \quad (6)$$

$$C_4 = 1 - S(N_{ac}; 0, 4) \quad (7)$$

$$C_5 = 1 - S(N_{aw}; 0, 4) \quad (8)$$

โดย C_1 ถึง C_5 คือ ค่าความเชื่อมั่นพารามิเตอร์ย่อยที่ 1 ถึง 5 ตามลำดับ ช่วงค่าความเชื่อมั่น (Confidence range; C) คำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยของค่าความเชื่อมั่นพารามิเตอร์ย่อย C_1 ถึง C_5 แล้วนำค่าเฉลี่ยมาพิจารณาตามช่วงค่าร้อยละที่คำนวณได้ ดังนี้ ความเชื่อมั่นต่ำ (Low) $0\% \leq C < 30\%$ ความเชื่อมั่นปกติ (Nominal) $30\% \leq C < 80\%$ และความเชื่อมั่นสูง (High) $80\% \leq C \leq 100\%$ [20]

3.2 การประมวลผลความถูกต้อง

ภายหลังจากการเตรียมการ และตรวจสอบช่วงเวลาของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ MODIS จากฐานข้อมูล FIRMS เรียบร้อย ขั้นตอนต่อไปคือ การเขียนคำสั่งภาษา JavaScript ในแพลตฟอร์มการทำงานโค้ดของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (GEE CODE editor) เพื่อบันทึกข้อมูล และสร้างหน้าต่างแสดงผล โดยสามารถให้ผู้ใช้งานกำหนดพื้นที่ที่สนใจวิเคราะห์ และเลือกช่วงเวลาที่จะประมวลผลได้ ดังแสดงตัวอย่างโค้ดภาษา JavaScript ที่ได้เขียนขึ้น เพื่อการศึกษานี้ ดังแสดงในรูปที่ 1 (https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Fjuntakut37%2FFIREWATCH%3AUI_FIRMS_TH.js) สำหรับการนำผลการวิเคราะห์และประมวลผลมานำเสนอและแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ออนไลน์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจใช้งานสามารถใช้งานแพลตฟอร์มได้นั้น จะใช้เครื่องมือ GEE APP ซึ่งเป็นฟังก์ชันหนึ่งอยู่ใน โปรแกรมกูเกิลเอิร์ธเอนจินแพลตฟอร์ม โดยสามารถนำเบราว์เซอร์ที่ได้ออกแบบ และสร้างไว้โฮสต์ขึ้นในเซิร์ฟเวอร์ (Server) ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน และจะได้รับโดเมนจาก โปรแกรมกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของผลการศึกษา การศึกษานี้ได้ใช้การเปรียบเทียบผลการศึกษากับข้อมูล ในรายงานสถิติจำนวนตำแหน่งที่เกิดไฟป่าของจุดความร้อน จากรายงานข้อมูลของส่วนควบคุมไฟป่า สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [21],[22] และจากข้อมูลสถานการณ์ไฟป่าของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency: GISTDA) [23] โดยจะมุ่งเน้นการตรวจสอบผลการศึกษากับข้อมูลอ้างอิงในพื้นที่ศึกษา อำเภอป่าซาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 105 จุด [22] และดังแสดงในตารางที่ 3

```
// *****
// =====
// ----- Instructions for FIRMS Explorer -----
// =====
// *****
/*
// @author Juntakut P.
// Last updated: March 18, 2021
// Purpose: plot timeseries of MODIS/FIRMS active fire counts
// by region and day of year, across years
*/
// =====
// ***** -- Code -- *****
// =====

// Note: The drawing tools and app codes are based on the tutorial by Justin Braaten & Tianjia Liu:
// https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/community/drawing-tools-region-reduction
// https://github.com/tianjialiu/FIRECAM

// Hide the drawing tools widget; we want a really simple interface.
// We'll add our own buttons or geometry selection.
//var baseMap = require('users/juntakut37/packages:baseMap.js');
Map.drawingTools().setShown(false);
//Map.setOptions('Dark', {'Dark': baseMap.darkTheme});
//Map.setOptions('Terrain');
//Map.setOptions('Satellite');
Map.setOptions('Hybrid');
Map.setCenter(20,10,4);
Map.setControlVisibility({layerList: true, zoomControl: false});

// Define symbols for the labels.
var symbol = {
  rectangle: '■',
  polygon: '▲',
  pan: '👉'
};

// Set up a ui.Panel to hold instructions and the geometry drawing buttons.
var startYearSlider = ui.Slider({min:2001,max:2021,value:2015,step:1,
  style:{stretch:'horizontal', 'background-color':'#333333', color: 'white', fontSize:'18px'}});
var endYearSlider = ui.Slider({min:2001,max:2021,value:2021,step:1,
  style:{stretch:'horizontal', 'background-color':'#333333', color: 'white', fontSize:'18px'}});
var doyText = ui.Textbox({placeholder:'1-365',value:'1-365',
  style:{stretch:'horizontal', 'background-color':'#333333', color:'black', fontSize:'18px'}});

var changeSliderYr = function() {
  var startYr = startYearSlider.getValue();
  var endYr = endYearSlider.getValue();
  if (endYr < startYr) {endYearSlider.setValue(startYr)}
```

รูปที่ 1 ตัวอย่างโค้ดภาษา JavaScript ที่ใช้ในการศึกษานี้

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮน (Cohen's Kappa) [24] ได้ถูกนำมาหาค่าความสอดคล้องระหว่างผลการศึกษาและเหตุการณ์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงตามจำนวนอ้างอิงในพื้นที่ศึกษาในโปรแกรม R Studio โดยค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮน ($\hat{k}$) ได้จากสมการที่ 9 [24]

$$\hat{k} = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e} \quad (9)$$

โดย p_0 คือ ความน่าจะเป็นความสอดคล้องของค่าสังเกต (Observe probability of agreement), p_e คือ ความน่าจะเป็นความสอดคล้องของค่าคาดหวัง (Hypothetical expected probability of agreement) ในสมการที่ 10 และ 11 แสดงการคำนวณหาค่า p_0 และ p_e ตามลำดับ และดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนี้

$$p_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_{ii} \quad (10)$$

$$p_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i} \quad (11)$$

			Commission Errors →			
			Reference Data (Ex. Class form field)			
			Class 1	Class 2	Class k	Sum
← Omission Errors	Classified Data	Class 1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
		Class 2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
		.	.	.	.	.
		.	.	.	.	.
		.	.	.	.	.
		Class k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
Sum	n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n		

รูปที่ 2 รูปแบบของ Cohen's Kappa [24]

การแปลความหมายของค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮน พิจารณาดังแสดงในตารางที่ 1 [24]

ตารางที่ 1 ความหมายของค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮน (Cohen's Kappa) [24]

ค่าสัมประสิทธิ์ (Kappa)	ขนาดความสอดคล้อง (Strange of Agreement)
< 0.00	แย่ (Poor)
0.00 - 0.20	น้อย (Slight)
0.21 - 0.40	พอใช้ (Fair)
0.41 - 0.60	ปานกลาง (Moderate)
0.61 - 0.80	ดี (Substantial)
0.81 - 1.00	ดีมาก (Almost perfect)

สำหรับการประเมินค่าความถูกต้องเป็นการพิจารณาข้อมูลผลการจำแนกชั้นข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ตั้งหน่วยตัวอย่าง (จุดสำรวจ) เปรียบเทียบความสอดคล้องกันกับความเป็นจริงที่พบในภาคสนามที่ถือว่าเป็นข้อมูลอ้างอิง แล้วทำการแจกแจงให้อยู่ในรูปของตารางข้อมูลที่เรียกว่า Error Matrix หรือเรียกว่า Confusion Matrix หรือ Contingency Table โดยสามารถใช้วิเคราะห์หาค่าแสดงความถูกต้องได้หลายลักษณะด้วยกัน ดังนี้ 1) ความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's Accuracy: PA) เป็นการสะท้อนให้เห็นประสิทธิภาพของการขึ้นข้อมูลของตัวจำแนก (Classifier), 2) ความถูกต้องของผู้ใช้ (User's Accuracy: UA) เป็นการสะท้อนประสิทธิภาพของการจำแนกสามารถบอกความน่าเชื่อถือในการนำข้อมูลในแต่ละชั้นข้อมูลไปใช้ และ 3) ความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy: OA) เป็นการแสดงความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลที่มีความสอดคล้องตรงกันระหว่างจุดตรวจสอบกับข้อมูลอ้างอิงคิดเป็นร้อยละของจุดตรวจสอบทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงลักษณะของความผิดพลาด ซึ่งจะเป็นการพิจารณาโดยรวมของทุกชั้นข้อมูลที่จำแนกได้แสดงเป็นค่าความถูกต้องเดียว โดยสมการที่ 12-16 แสดงการคำนวณค่าต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมา ดังนี้ [24]

ค่าผลรวมตามแนวนอน:

$$n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{ij} \quad (12)$$

ค่าผลรวมตามแนวตั้ง:

$$n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij} \quad (13)$$

ความถูกต้องของผู้ผลิต (PA):

$$PA = \frac{n_{ii}}{n_{+j}} \quad (14)$$

ความถูกต้องของผู้ใช้ (UA):

$$UA = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (15)$$

ความถูกต้องโดยรวม (OA):

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad (16)$$

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 พื้นที่ศึกษา

อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีที่ตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนบน มีพิกัดทางภูมิศาสตร์บริเวณละติจูดที่ 19.27 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 97.93 องศาตะวันออก มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ ~2,245 ตารางกิโลเมตร ภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบแอ่งกระทะ มีป่าและล้อมรอบด้วยภูเขาสูง มีความสูง 313-1,993 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีแม่น้ำหลายสาย ได้แก่ แม่น้ำปาย แม่น้ำของ และแม่น้ำแม่ปิงน้อย ได้แบ่งพื้นที่การปกครองออกเป็น 7 ตำบล ได้แก่ ตำบลเมืองแปง ตำบลทุ่งยาว ตำบลเวียงเหนือ ตำบลโป่งสา ตำบลแม่ฮี้ ตำบลแม่นาเติง และตำบลเวียงใต้ สภาพภูมิอากาศในพื้นที่ช่วงฤดูหนาว อากาศหนาวจัดต่ำสุดที่ 2 องศาเซลเซียส ช่วงฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายนของทุกปี ช่วงฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนของทุกปี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 800-900 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยทั้งปีที่ 33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยทั้งปีที่ 20.1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 74 ในพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางเชื้อชาติ ร้อยละ 53 ของประชากรเป็นชาวล้านนา และชาวไทยใหญ่ และร้อยละ 47 เป็นชาวเขา เช่น กะเหรี่ยง ม้ง ลีซอ และมูเซอ มีจำนวนประชากร 38,540 คน ในปี พ.ศ.2563 [15] รูปที่ 3 แสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาอำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน



รูปที่ 3 พื้นที่ศึกษา (อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน)

4.2 วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำโปรแกรมกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (GEE) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อการเฝ้าติดตาม และวิเคราะห์พื้นที่ไฟป่าในแบบใกล้เวลาจริงและอัตโนมัติ โดยในรูปที่ 4 ได้แสดงขั้นตอนของการศึกษาในโปรแกรมกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ผ่านการเขียนโค้ดคำสั่งด้วยภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra และ Aqua ในระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) จากฐานข้อมูล Fire Information for Resource Management System (FIRMS) ขององค์กร National Aeronautics and Space Administration (NASA) นำมาวิเคราะห์และประมวลผล



รูปที่ 4 แผนผังของวิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้แบ่งวิธีการศึกษาออกเป็นขั้นตอนหลักด้วยกัน 3 ขั้นตอน คือ 1) เตรียมการและตรวจสอบช่วงเวลาของข้อมูล เพื่อการดาวน์โหลดแบบใกล้เวลาจริงและอัตโนมัติในทุก ๆ 5 นาที จากฐานข้อมูล FIRMS ขององค์กร NASA 2) เขียนโปรแกรมภาษา JavaScript ในแพลตฟอร์ม Google Earth Engine CODE เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra และ Aqua ในระบบ MODIS จากฐานข้อมูล FIRMS และนำข้อมูลมาวิเคราะห์และประมวลผลแบบอัตโนมัติตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา และ 3) นำผลการวิเคราะห์และประมวลผลจำนวนครั้งและจำนวนสะสมรวมของจุดความร้อน (Hotspot)

ในพื้นที่ที่สนใจที่ได้กำหนด แสดงผลในแดชบอร์ด (Dashboard) และออนไลน์ผ่านเครื่องมือ GEE APP ในรูปของเว็บไซต์ เพื่อการใช้งานในแบบใกล้เวลาจริงและอัตโนมัติ

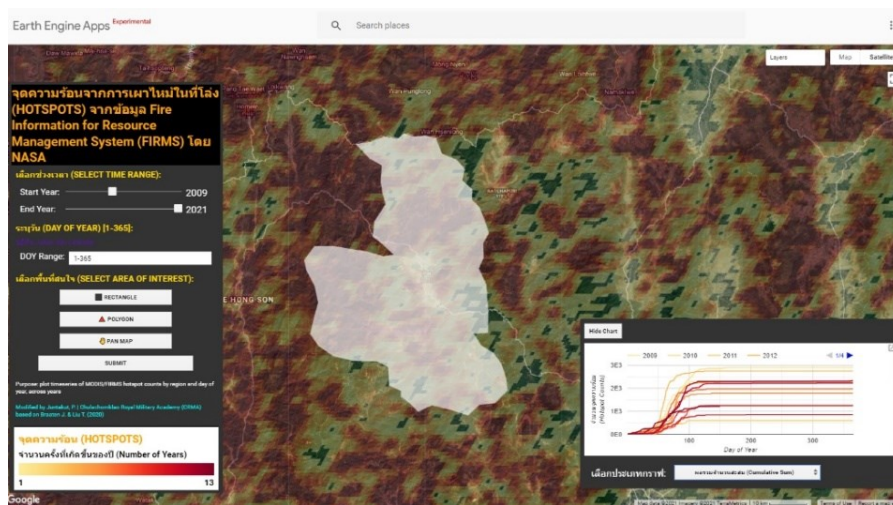
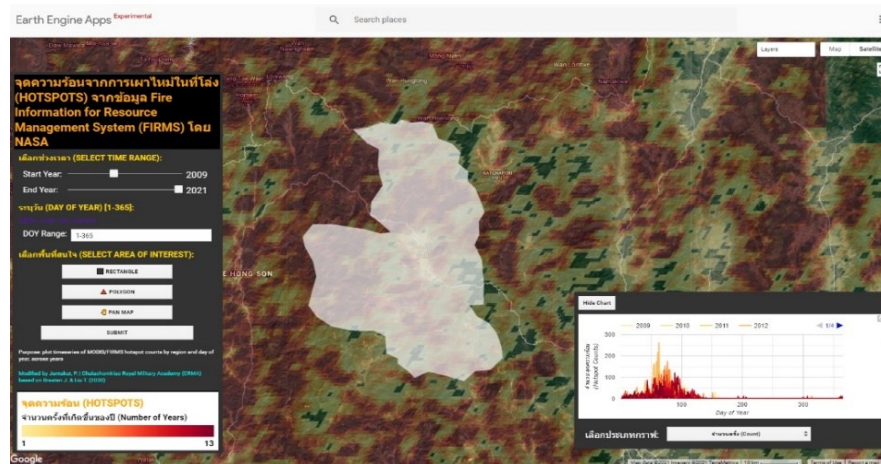
5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์จุดความร้อนของการเกิดไฟป่า

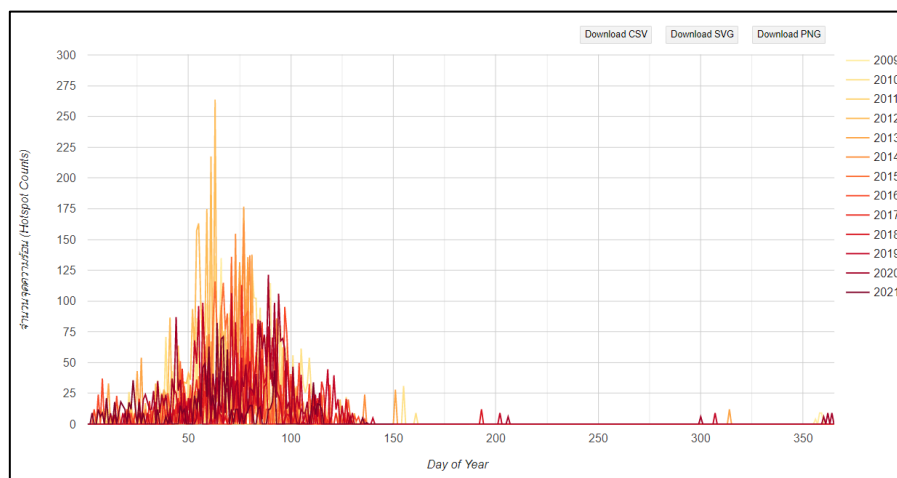
จากผลการศึกษาได้ประมวลผลจำนวนและผลรวมสะสมของจุดความร้อนที่ทำให้เกิดไฟป่า (Hotspot count) และวิเคราะห์ระบุถึงเดือนที่มีจำนวนจุดความร้อนสูงสุดในรอบปี บนฐานข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในระบบ MODIS ระหว่างปี พ.ศ.2552 ถึง 2564 ในพื้นที่อำเภอป่า จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยในปี พ.ศ.2553 จำนวนจุดความร้อนมากที่สุดที่ 2,902 จุด ในปี พ.ศ.2555(2,748 จุด) ในปี พ.ศ.2563 (2,331 จุด) รองลงมาตามลำดับ โดยเดือนที่ควรเฝ้าระวังคือเดือนมีนาคมของทุกปี อันเนื่องมาจากจำนวนจุดความร้อนที่เกิดขึ้นมีมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2 และได้แสดงในแดชบอร์ดแบบเชิงพื้นที่ และแผนภูมิแสดงจำนวนและผลรวมสะสมของจุดความร้อนในแต่ละปีในแบบใกล้เวลาจริงและอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 5 -7

ตารางที่ 2 จำนวนจุดความร้อน (Hotspot count) และเดือนที่มีจำนวนจุดความร้อนสูงสุดในรอบปี จากระบบ MODIS (พ.ศ.2552-2564) ในพื้นที่อำเภอป่า จังหวัดแม่ฮ่องสอน

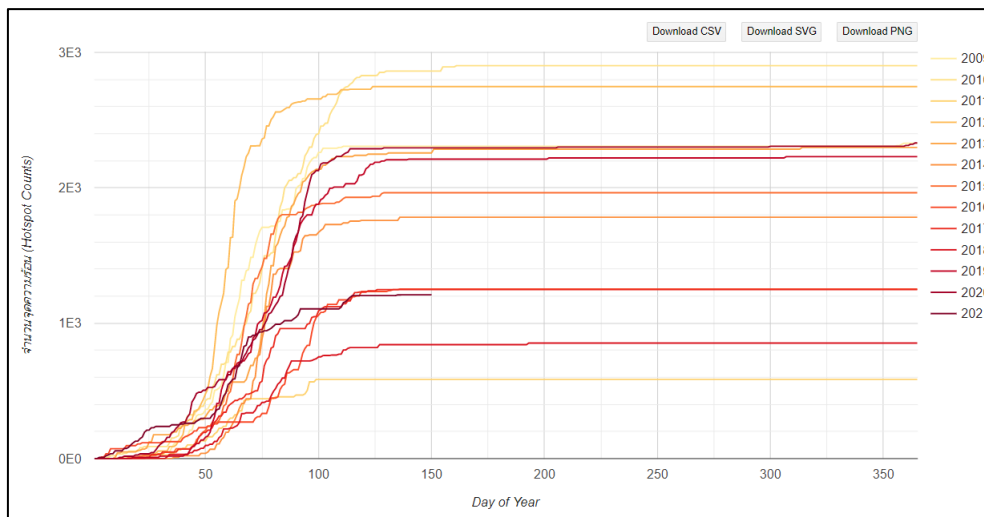
ปี พ.ศ. (Year)	จำนวนจุดความร้อน (Hotspot count)	เดือนที่มีจำนวนจุดความร้อนสูงสุด (Month / จุด)
2552	2,329	มีนาคม / 172
2553	2,902	มีนาคม / 132
2554	585	มีนาคม / 76
2555	2,748	มีนาคม / 264
2556	2,298	มีนาคม / 177
2557	1,783	มีนาคม / 164
2558	1,964	มีนาคม / 137
2559	1,252	เมษายน / 96
2560	1,248	มีนาคม / 113
2561	853	มีนาคม / 65
2562	2,230	มีนาคม / 107
2563	2,331	มีนาคม / 122
2564 (ม.ค.-พ.ค.)	1,210	มีนาคม / 83



รูปที่ 5 กูเกิลเอิร์ธเอนจินแพลตฟอร์ม (GEE platform) แสดงข้อมูลจุดความร้อน (Hotspot) ในอำเภอบาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน



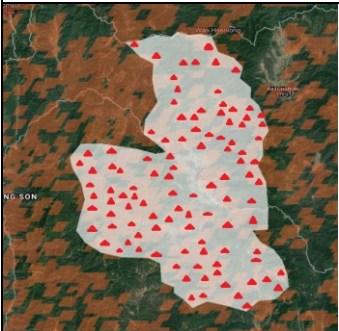
รูปที่ 6 การแสดงจำนวนจุดความร้อน (Hotspot count) รายวันในแต่ละปี (พ.ศ.2552-2564) ในอำเภอบาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน



รูปที่ 7 การแสดงจำนวนผลรวมสะสมของจุดความร้อน (Hotspot cumulative sum) รายวันในแต่ละปี (พ.ศ.2552-2564) ในพื้นที่อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

5.2 ผลการประเมินความถูกต้อง

การเปรียบเทียบผลการศึกษากับข้อมูลในรายงานสถิติจำนวนตำแหน่งอ้างอิงที่เกิดไฟฟ้าของจุดความร้อน จากรายงานข้อมูลของส่วนควบคุมไฟฟ้า สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟฟ้า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช [21] และรายงานวิทยานิพนธ์ของ นวพล ลินดำ ในปี พ.ศ.2563 [22] ของพื้นที่ศึกษา อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน (เกิดไฟฟ้าขึ้นจริงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2563) แสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกันระหว่างผลการศึกษาและเหตุการณ์ การเกิดไฟฟ้าขึ้นจริงดังแสดงในรูปที่ 8 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮนที่ $\kappa = 0.78$ แสดงถึงมีขนาดความสอดคล้องในระดับดี และมีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 76.19 ในพื้นที่อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ดังแสดงในตารางที่ 3

อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน	
ผลการศึกษา)2563 (	ภาพถ่าย (63.พ.ก)
	จ.แม่ฮ่องสอน ยังคงมีไฟฟ้าเกิดขึ้นต่อเนื่อง ในหลายพื้นที่ 18 ก.พ. 63  “ไฟป่ายังเกิดต่อเนื่อง” www.chiangmainews.co.th @chiangmainews https://www.chiangmainews.co.th/page/archives/1267098/

รูปที่ 8 จุดความร้อนกับจุดอ้างอิงที่เกิดไฟฟ้าใน อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ปี พ.ศ.2563 [22]

ตารางที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของจุดทดสอบอ้างอิง ในพื้นที่อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Class	จุดถูกเผาไหม้	จุดที่ไม่ใช่พื้นที่เผาไหม้	รวม	ความถูกต้องของผู้ใช้ (%)
จุดถูกเผาไหม้	73	2	75	97.33
จุดที่ไม่ใช่พื้นที่เผาไหม้	7	23	30	76.67
รวม	80	25	105	-
ความถูกต้องของผู้ผลิต (%)	91.25	92.00	-	-
ความถูกต้องรวม (%)	76.19	-	-	-
ค่า Cohen's Kappa	0.78	-	-	-

6. สรุป

การศึกษานี้ได้เสนอและชี้ให้เห็นแนวทางการประยุกต์ใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) เพื่อการเฝ้าติดตามและวิเคราะห์พื้นที่ไฟป่าโดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra และ Aqua ในระบบ MODIS จากฐานข้อมูล Fire Information for Resource Management System (FIRMS) ขององค์กร National Aeronautics and Space Administration (NASA) ซึ่งมุ่งเน้นการนำเสนอการใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินแพลตฟอร์ม เพื่อการประเมินและแสดงผลจำนวนครั้ง และจำนวนผลรวมสะสมของจุดความร้อน (Hotspot) ในแบบใกล้เวลาจริงและอัตโนมัติได้อย่างรวดเร็วกว่างานวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้โปรแกรม ArcGIS และการใช้งานแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินยังสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่สนใจได้ และกำหนดช่วงระยะเวลาที่ต้องการได้นอกจากนั้น การศึกษานี้ยังสามารถแสดงผลเชิงพื้นที่ที่เกิดจุดความร้อนบ่อยครั้งได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการเฝ้าระวัง และการวางแผนเพื่อป้องกันการเกิดไฟป่าในพื้นที่ดังกล่าว

การศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของการใช้งานแพลตฟอร์ม โดยการเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงของเหตุการณ์ไฟป่าที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ในปี พ.ศ.2563 พบว่า มีความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 76.19 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาของความสอดคล้องเท่ากับ 0.78 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความสอดคล้องระดับดี ดังนั้นผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์ม GEE ด้วยภาษา JavaScript สามารถนำมาใช้เพื่อการเฝ้าติดตามและประเมินผลความเสียหายจากภัยธรรมชาติ ได้เป็นอย่างดี และสามารถทันถ่วงทีในแบบใกล้เคียงกับเวลาจริง (Near real-time) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ไฟป่า เพื่อลดเวลาการสำรวจและประมวลผลของเจ้าหน้าที่ รวมถึงเพื่อเป็นลดความเสี่ยง และความเสียหายอันเนื่องมาจากเหตุการณ์ไฟป่าในพื้นที่ได้

7. ข้อเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้แพลตฟอร์ม GEE ด้วยภาษา JavaScript สามารถนำมาใช้เพื่อการเฝ้าติดตาม และประเมินผลความเสียหายจากภัยธรรมชาติ ซึ่งจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการจัดการภัยธรรมชาติเชิงพื้นที่ได้อย่างทันถ่วงที ในแบบใกล้เคียงกับเวลาจริง (Near real-time) ในด้านต่าง ๆ เช่น การป้องกัน การระงับเหตุ การสื่อสารข่าวสารของเหตุการณ์ การบรรเทาสาธารณภัยระหว่างเกิดเหตุภัยธรรมชาติ และการช่วยเหลือผู้ประสบภัยหลังจากการเกิดภัยธรรมชาติ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามจากตำแหน่งข้อมูลจุดความร้อนขององค์กร NASA ที่ได้นำมาใช้ในการศึกษานี้ยังมีบางข้อมูลที่คลาดเคลื่อนของความถูกต้อง

ดังนั้นจึงควรมีการสำรวจและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลกับพื้นที่จริงในภาคสนามควบคู่อย่างละเอียดและต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้องของการจัดการภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย ซึ่งได้รับทุนวิจัยจากกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก พร้อมทั้งได้รับคำแนะนำจากศูนย์ศึกษาบูรณาการเกษตรกรรม หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา ดังนั้นคณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณการสนับสนุนด้านงบประมาณ และคำปรึกษาด้านต่าง ๆ สำหรับการศึกษาและวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] DDPM. (2015). National Disaster Risk Management Plan. Department of Disaster Prevention and Mitigation, Ministry of Interior, Thailand. 1-12. Retrieved on July 10, 2021, from https://www.disaster.go.th/upload/download/file_attach/584115d64fcee.pdf
- [2] Pollution Control Department. (2015). Smog and weather problems. (Type 1). Pollution Control Department.
- [3] Flannigan, M. D., Stocks, B. J., & Wotton, B. M. (2000). Climate change and forest fires. *The Science of the Total Environment*. 262: 221-229.
- [4] Nitschke, C. R., & Innes, J. L. (2006). Interactions between fire, climate change and forest biodiversity, *CABI Publishing*.
- [5] Abatzoglou, J. T., & Williams, A. P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests, *PNAS*. 113(42): 11770-11775.
- [6] Juntakut, P. (2020). Assessment of Drought Impacts on Urban Green Areas With the Climatic Drought Index in Nakhonratchasima City, Thailand. *วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า*. 18(1): 15-22.
- [7] Simon, P., Eva-Maria, F., & Corinne, F. (2017). A Fully Automatic Instantaneous Fire Hotspot Detection Processor Based on AVHRR Imagery-A Timeline Thematic Processo. *Remote Sens*. 9(1).
- [8] Nion, S., Sarawut, P., & Vivarad, P. (2017). Near Real Time Wildfire Monitoring in Chiang Rai Province using Mobile Phone Application. *Information Technology Journal*. 13(2).
- [9] ดาวิณี กาลาเอส และคณะ. (2019). การวิเคราะห์พื้นที่เสียหายจากไฟป่าด้วยข้อมูลจากดาวเทียมในพื้นที่ป่าอนุรักษ์และป่าสงวนแห่งชาติ จังหวัดแม่ฮ่องสอน. *วารสารวิจัยและพัฒนาวิทยาลัยอาชีวศึกษาในพระบรมราชูปถัมภ์*. 14(1): 72-81.
- [10] Nigro, J., Slayback, D., Policelli, F., & Brakenridge, G. R. (2014). NASA/DFO MODIS Near Real-Time (NRT) Global Flood Mapping Product Evaluation of Flood and Permanent Water Detection. Eval. *Greenbelt MD*. Retrieved on July 10, 2021, from https://floodmap.modaps.eosdis.nasa.gov/documents/NASAGlobalNRTEvaluationSummary_v4.pdf
- [11] Wang, Y., Colby, J. D., & Mulcahy, K. A. (2002). An efficient method for mapping flood extent in a coastal floodplain using Landsat TM and DEM data. *Int. J. Remote Sens*. 23: 3681-3696.
- [12] พงศ์พันธุ์ จันทะศักดิ์ และคณะ. (2021). แนวทางการประยุกต์ใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อการเฝ้าติดตามและประเมินผล ความเสียหายจากภัยธรรมชาติ. The 26th National Convention on Civil Engineering. Golden City Hotel. Rayong. Thailand.
- [13] Google Earth Engine. (2020). Retrieved on July 15, 2021, from official website: <https://earthengine.google.com>

- [14] สุภาสพงษ์ ฐู๋ทำนอง. (2562). การสกัดและประเมินพื้นที่ถูกเผาไหม้โดยใช้ค่าความแตกต่างของดัชนีเชิงคลื่นหลายช่วงเวลา จากข้อมูลแลนด์แซท 8 : กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้า คลองลานและแม่วงก์. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (สทมส.)*. 25(2).
- [15] พิจิตรา พะยั้ม. (2562). การเปรียบเทียบการกระจายตัวของจุดความร้อนที่ตรวจวัดได้ระหว่าง MODIS C6 กับ VIIRS ในพื้นที่อำเภอแล่นสัก จังหวัดอุทัยธานี. (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก).
- [16] สำนักงานจังหวัดแม่ฮ่องสอน. (2564). รายงานบรรยายสรุปจังหวัดแม่ฮ่องสอน ประจำปี 2564. สืบค้น 21 มีนาคม 2564, จาก <http://www.maehongson.go.th/th/province-info/provincial-offices/administrative-region/pai.html>
- [17] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2013). เอกสารวิชาการอุตุนิยมวิทยานำรู้เพื่อการเกษตรจังหวัดแม่ฮ่องสอน. สืบค้น 21 มีนาคม 2564, จาก www.arcims.tmd.go.th/DailyDATA/Agromettoknow/NN/อุตุนิยมวิทยานำรู้เพื่อการเกษตรจังหวัดแม่ฮ่องสอน.pdf
- [18] Vadrevu, K., Csiszar, I., Ellicott, E., Giglio, L., Badarinath, K., Vermote, E., & Justice, C. (2013). Hotspot Analysis of Vegetation Fires and Intensity in the Indian Region. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 6: 224-238.
- [19] Giglio, L. (2010). MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide. Science Systems and Applications, Inc. University of Maryland. Department of Geography. Retrieved on July 8, 2021, from https://gis-lab.info/docs/mod14_users_guide_2.4.pdf
- [20] Giglio, L., Schroeder, W., & Justice, C. O. (2016). The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*. 178(2016): 31-41.
- [21] ส่วนควบคุมไฟฟ้า สำนักป้องกันปราบปราม และควบคุมไฟฟ้า. (2021). สืบค้น 8 มิถุนายน 2565, จาก http://forestinfo.forest.go.th/fWilde_firedetail.aspx?wf=-1&year=-1&year=-1&month=-1&emonth=-1&prov=58
- [22] นวพล ลินดำ. (2563). การหาพื้นที่เผาไหม้จากไฟป่าด้วยภาพดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา อำเภอป่า จังหวัดแม่ฮ่องสอน. (วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก).
- [23] Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. (2021). GISTDA. Retrieved on June 9, 2021, from <http://fire.gistda.or.th/download-v1.html>
- [24] Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33(1): 159-174.