



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายเรือนยอดเพื่อใช้แปลผลเป็นปริมาณเชื้อเพลิง สะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง

Development of accumulated surface fuel determination process using canopy image process technology in deciduous dipterocarp forests.

ภูษิต ปภานันท์ภุมย์¹ อำนาจ ตงติบ^{1*} ทศธรรม พิญาพงษ์²

¹ การจัดการวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา แขวงดุสิต เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

^{1*} วิศวกรรมการจัดการพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

² โรงเรียนอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

Phuphas Paphanaphaphum¹ Amnad Tongtib^{1*} Thosatham Pinyaphong²

¹ Engineering Management, Faculty of Industrial Technology, Suansunandha Rajabhat University Dusit Subdistrict Dusit District Bangkok 10300

^{1*} Energy Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University Uttaradit 53000

² Uttaradit School, Uttaradit 53000

* Corresponding author.

E-mail: amnad.ton@uru.ac.th; Telephone: 0 84046 9569

วันที่รับบทความ 2 มิถุนายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 4 ตุลาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 7 มกราคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 28 มกราคม 2566

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้แสดงข้อมูลในการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ค่าปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง บริเวณอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน จังหวัดอุตรดิตถ์ มีพื้นที่ป่าเต็งรังประมาณ 100 ไร่ กำหนดจุดเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 5 จุดโดยอาศัยเกณฑ์การกำหนดข้อมูลพื้นที่ที่มีความสูง 400 - 600 เมตรจากระดับน้ำทะเล ความลาดชัน 8 -10 องศาทำมุมกับแนวระดับ การเก็บข้อมูลภาพจะทำการถ่ายภาพเรือนยอดต้นไม้และทำการเก็บข้อมูลภาพทุกสัปดาห์เป็นประจำ ทำการพัฒนาระบบดึงข้อมูลจากแม่ข่ายเพื่อนำข้อมูลภาพเรือนยอดมาใช้วิเคราะห์ และทำปรับโทนสีขาว/ดำแก่รูปภาพ กรอบข้อมูลภาพที่ใช้จะกำหนดให้มีพฤติกรรมในการปกคลุมของเรือนยอดคิดเป็นร้อยละพื้นที่ประมาณ 85 - 95 ของพื้นที่ ผลการวิเคราะห์พบว่า ในเวลาที่เรือนยอดยังไม่เกิดการผลัดใบอยู่ประมาณร้อยละ 85 - 95 ของพื้นที่ซึ่งเมื่อแปลผลเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนผิวดินด้านล่างเรือนยอดแล้วจะมีค่าประมาณ 0.04 - 0.11 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เมื่อถึงช่วงกลางเดือนมีนาคมซึ่งนับเป็นช่วงต้นของฤดูการเกิดไฟป่าในประเทศไทย ค่าร้อยละของพื้นที่เมตสีดจะอยู่ในช่วง 20 - 30 ของพื้นที่ทั้งหมดในกรอบข้อมูลภาพ เทียบเท่ากับปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนพื้นที่ประมาณ 0.33 - 0.48 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้สร้างแนวโน้มการสะสมเชื้อเพลิงบนผิวดินของป่าเต็งรังเพื่อใช้ขยายผลสู่การคาดการณ์ปริมาณเชื้อเพลิงในป่าเต็งรังจากภาพถ่ายเรือนยอดมีค่าความคลาดเคลื่อน 18% ตามเงื่อนไขตั้งต้นดังกล่าว และสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจจัดการเชื้อเพลิง

คำสำคัญ

ป่าเต็งรัง ปริมาณเชื้อเพลิงสะสม เทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพถ่าย เรือนยอดต้นไม้ ค่าปริมาณเมตสี

Abstract

This research article aims to the data in the development of the accumulated fuel content in the deciduous dipterocarp forest at Lam Nam Nan National Park, Uttaradit province. There is an area of 100 Rai of deciduous dipterocarp forest, with a total of 5 data collection points. That is based on the criteria for the collection point at an altitude of 400 - 600 meters above sea level, with a slope of 8 - 10 degrees at an angle to the horizontal level. The image acquisition takes a picture and collecting time is always taking every week. Then, researcher will develop a system to retrieve data and use the canopy photo for analysis to adjust the white/black tones. The image data frame used to define the canopy cover behavior as a percentage area. Approximately 85 - 95 percentages. The results of the analysis revealed that the time when the canopy did not defoliate, it was about 85 - 95 percentages. When converted to the amount of fuel accumulated on the surface below the canopy was approximately 0.04 - 0.11 kilograms per square meter. Which is the beginning of the forest fire season in Thailand. The percentage of black pigment grain are is in the range of 20 - 30 percentages. Which is equivalent to the amount of fuel accumulated on the area of approximately 0.33 - 0.48 kilograms per square meter. The data was used to generate trends in fuel accumulation on the soil surface of the deciduous dipterocarp forest to extend the results to forecast the fuel accumulate in deciduous dipterocarp forests. The amount of fuel accumulated on the surface of the soil can be predicted from the canopy photograph under the aforementioned conditions. There is a tolerance of 18%. It can also be used for decision support in fuel management.

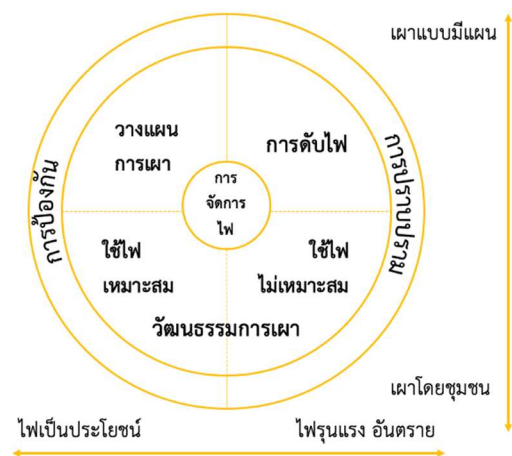
Keywords

deciduous dipterocarp forest; fuel accumulate; image process technology; canopy; color pigment

1. บทนำ

การเกิดปัญหาควันฝุ่น PM2.5 สาเหตุหลักเกิดจากการเผาในที่โล่ง การเกิดไฟป่า และไฟป่ามักเกิดในป่าที่มีลักษณะเป็นป่าเต็งรัง โดยตามธรรมชาติของระบบนิเวศป่าเต็งรังจำเป็นต้องอาศัยไฟในการวิวัฒนาการของระบบนิเวศในป่าไฟที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่กำจัดวัชพืชหน้าดินและกระตุ้นเชื้อราเพื่อให้เห็ดสามารถเติบโต อีกทั้งยังเป็นการกำจัดเชื้อเพลิงผิวดินเพื่อลดการปกคลุมของเชื้อเพลิงผิวดิน ทั้งนี้การเกิดไฟป่าจำเป็นต้องอาศัยไฟที่มีความรุนแรงอย่างเหมาะสม ความรุนแรงไฟในการลุกลามของไฟในป่าเต็งรังขึ้นกับปัจจัยทางลักษณะภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะเชื้อเพลิงในป่าเต็งรังนั้นนับเป็นป่าประเภทป่าผลัดใบ (Deciduous Forest) บางที่เรียกว่าป่ามรสุม (Monsoon Forest) ซึ่งในป่าผลัดใบที่มีภาวะเต็มวัย (Mature) นั้นทนต่อไฟ ไฟป่าไม่ได้เป็นอันตรายกับระบบนิเวศมากดังที่เข้าใจกัน แต่ไฟเป็นส่วนหนึ่งของระบบนิเวศ ในระบบนิเวศที่แห้งแล้ง เช่น ป่าเต็งรัง หรือป่าสัก ไฟป่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่คู่กับระบบนิเวศ ไฟที่ไหม้เป็นประจำ เชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้จริงๆ ต่อหน่วยเนื้อที่ไม้ได้มีมาก เช่น ในป่าเต็งรังที่มีไฟไหม้ประจำทุกปี ประมาณ 730 กรัมต่อตารางเมตร หรือ 7.3 ตันต่อเฮกแตร์ (Nalamphun *et al.*,

1974) ไฟป่าในเมืองร้อนจึงเป็นประเภทไฟผิวดิน (Surface Fire) เปลวไฟสูงเฉลี่ย 84 เซนติเมตร เทียบกับไฟในป่าเมืองหนาว สูงเฉลี่ย 3-5 เมตร (McArthur and Cheyney 1972) ซึ่งเกิดเป็นไฟไหม้เรือนยอดต้นไม้ (Crown Fire) เพราะเมืองหนาวเป็นป่าไม้สน ถูกไฟเผาได้ง่าย มีเชื้อเพลิงเชื่อมโยงจากผิวดินสู่เรือนยอด โดยต้นไม้มีกิ่งก้านจากดินถึงเรือนยอด

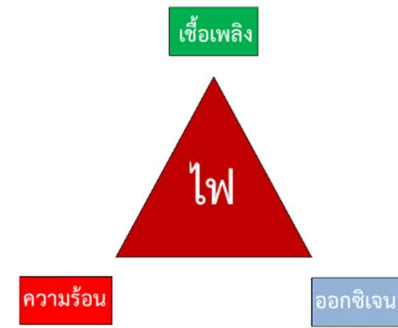


รูปที่ 1 องค์ประกอบของการจัดการไฟป่า

จากปัญหานี้จึงได้มีการนำวิธีลดปริมาณเชื้อเพลิงที่เรียกว่าการชิงเผา และชิงเก็บ เป็นวิธีการกำจัดเชื้อเพลิงอย่าง

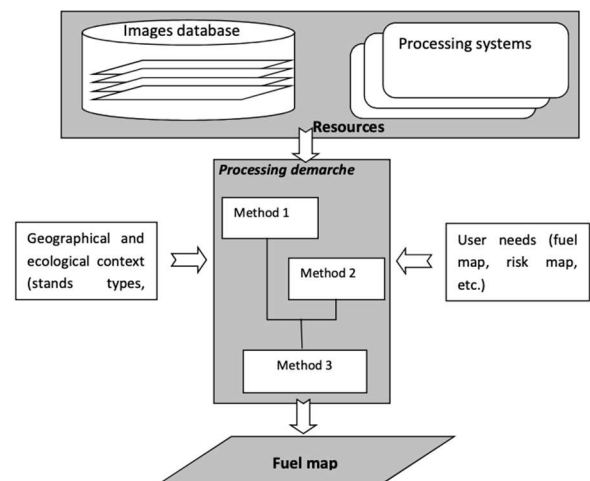
หนึ่ง ซึ่งมีการควบคุมความรุนแรงของไฟ การจัดการเชื้อเพลิงควรทำในเดือนที่ดินมีความชื้นสูง ทำให้รากพืชมีโอกาสรอดตายมากขึ้น หรือทำการชิงเผาในเดือนที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำ เช่น มกราคม หรือก่อนที่ใบพืชร่วงหล่นมากที่สุด ก่อนฤดูไฟป่า ซึ่งมีมากในเดือนกุมภาพันธ์ มีอยู่หลายกรณีที่ทำให้การชิงเผาแล้วคนไม่เข้าใจหลักการที่แท้จริง การให้ความรู้แก่สาธารณะเรื่องไฟป่าที่ถูกต้องจึงเป็นเรื่องจำเป็น การป้องกันไฟป่า การดับไฟเป็นเรื่องที่เสียค่าใช้จ่ายมาก ควรมีการจัดการไฟป่าที่แท้จริงและมีประสิทธิภาพ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ และเป็นประโยชน์สูงสุด (Bhattacharya 1996)

การจัดการไฟป่า (Forest Fire Management) หมายถึง การป้องกัน และแก้ไขปัญหาไฟป่าอย่างครบวงจรในรูปที่ 1 มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การลดอันตรายจากไฟป่า และการดับไฟป่า หน่วยงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่เรื่องของการลดอันตรายจากไฟป่า เพื่อเป็นการเสริมประสิทธิภาพในการป้องกันไฟป่า โดยจะประยุกต์ใช้หลักการของสามเหลี่ยมไฟ (Fire triangle) มาใช้ในการจัดการ คือ กลไกของไฟป่าจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 อย่าง คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน และ ความร้อนเรียกว่า สามเหลี่ยมในรูปที่ 2 โดยเมื่อทำการตัดองค์ประกอบใดก็ตามในสามเหลี่ยมไฟออก ก็จะไม่สามารถเกิดไฟได้ และถ้าทำการลดปริมาณขององค์ประกอบใดก็ตามในสามเหลี่ยมไฟ จะสามารถทำให้ความรุนแรงของไฟนั้นลดลง หรือทำให้ไม่เกิดไฟเลยก็ได้ จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดไฟ และยังเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการจัดการเชื้อเพลิงทางวิชาการจึงเป็นแนวทางที่สามารถใช้แก้ไขปัญหาไฟป่าในปัจจุบันได้ ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการสำรวจ เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงในพื้นที่ป่าอย่างหลากหลายทั้ง การเข้าพื้นที่เพื่อสำรวจและเก็บข้อมูล การใช้สถานีเก็บข้อมูลที่ติดตั้งภายในพื้นที่ป่า รวมไปถึงการใช้เทคโนโลยีการเก็บข้อมูลระยะไกลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของกระบวนการดังกล่าว และข้อมูลที่ได้นี้จะถูกนำไปประมวลผลเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจจัดการเชื้อเพลิงขยายผลสู่การลดสาเหตุการเกิด PM2.5 และควันที่เกิดจากการเผาไหม้ และไฟป่า



รูปที่ 2 สามเหลี่ยมไฟ

การสำรวจระยะไกลเป็นการสำรวจ และการเก็บ วิเคราะห์ ข้อมูลจากระยะไกล โดยเครื่องมือวัดไม่มีการสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการตรวจวัดโดยตรง กระทำการสำรวจโดยให้เครื่องวัดอยู่ห่างจากสิ่งที่ต้องการตรวจวัด โดยอาจติดตั้งเครื่องวัดเช่น กล้องถ่ายภาพ วิทยุที่สูง บนบอลลูน บนเครื่องบิน ยาวอวกาศ หรือดาวเทียม แล้วอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ หรือสะท้อนมาจากสิ่งที่ต้องการสำรวจเป็นสื่อในการวัด การสำรวจโดยใช้วิธีนี้เป็นการเก็บข้อมูลที่ได้ข้อมูลจำนวนมาก ในบริเวณกว้างกว่าการสำรวจภาพสนาม จากการใช้เครื่องมือสำรวจระยะไกล โดยเครื่องมือสำรวจไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับวัตถุตัวอย่าง เช่น เครื่องบินสำรวจเพื่อถ่ายภาพในระยะไกล การใช้ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรทำการเก็บข้อมูลพื้นผิวโลกในระยะไกล ในระบบการจัดการสังคมป่ามีการใช้งานผ่านระบบดาวเทียมเพื่อวิเคราะห์ผลและสร้างเป็นแผนที่เชื้อเพลิง เพื่อการนำไปใช้วิเคราะห์หาข้อมูลอื่น ๆ ต่อไป

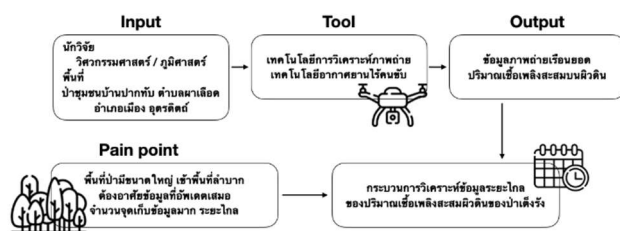


รูปที่ 3 กระบวนการวิเคราะห์ภาพเพื่อสร้างแผนที่เชื้อเพลิง

ในปัจจุบันมีการพัฒนาแผนที่เชื้อเพลิงที่แสดงพฤติกรรมเชื้อเพลิงเช่น ลักษณะเชื้อเพลิง ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง ความชื้นของเชื้อเพลิง และอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์หาข้อผิดพลาดการลุกลามของไฟ และค่าความรุนแรงไฟ แนวทางการจัดการเชิงพื้นที่ โดยระบบในรูปแบบที่ 3 แสดงข้อมูลกระบวนการเก็บภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์ และแสดงผลเป็นแผนที่เชื้อเพลิง โดยกระบวนการจะอาศัยข้อมูลทางวรรณศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ร่วมวิเคราะห์ บทความวิจัยครั้งนี้ได้จัดทำเพื่อแสดงถึงระเบียบวิธีการที่ใช้วิเคราะห์หาตัวแปรปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง โดยอาศัยภาพถ่ายเรณอยอดของต้นไม้พื้นที่จากเสาเก็บข้อมูลที่ทำการติดตั้งในพื้นที่และทำการถ่ายภาพจากกล้องบนเสาเก็บข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลภาพมายังระบบแม่ข่าย และใช้ข้อมูลภาพมาแปลผลเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการพัฒนากระบวนการเก็บข้อมูลระยะไกลโดยอาศัยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเพื่อเคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่ที่ต้องการเก็บข้อมูลโดยมีกรอบงานวิจัย โดยจะดำเนินการถ่ายภาพเรณอยอดของต้นไม้ในป่าเต็งรัง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง



รูปที่ 4 กรอบแนวคิดการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยจะมีขั้นตอนวิธีการวิจัยแสดงในรูปที่ 5 โดยอาศัยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ที่จะใช้ข้อมูลพิกัดทิศทาง และมุมกล้องเพื่อทำการจำกัดในการถ่ายภาพทุกครั้ง เพื่อให้ได้ภาพถ่ายเรณอยอดในพิกัด และมุมเดิมทุกครั้งในการนำมาใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะเรณอยอดจากภาพ

เมื่อได้ข้อมูลภาพที่ส่งไปยังแม่ข่าย จะทำการพัฒนาคำสั่งการดึงข้อมูลจากแม่ข่ายเพื่อนำภาพมาใช้วิเคราะห์ ซึ่งเมื่อดึงข้อมูลภาพมาแล้วนั้น จะมีระบบการเปลี่ยนโทนสีจากภาพเรณอยอดแบบสี เป็นแบบขาว/ดำ เพื่อให้นำไปสู่กระบวนการวิเคราะห์เพื่อแปลผลข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิง โดยข้อสันนิษฐานว่าเมื่อภาพที่ถูกเปลี่ยนเป็นโทนสีขาว/ดำแล้วนั้น บริเวณที่เป็นสีดำจะเป็นใบไม้ที่อยู่ที่เรณอยอด แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปใบไม้ที่งอกขึ้นใหม่เป็นป่าผลัดใบ ใบไม้บนเรณอยอดจะถูกผลัดเพื่อล่องหล่นสู่พื้นดิน เป็นเชื้อเพลิงที่สะสมบนผิวดิน ดังนั้นจะสามารถสรุปได้ว่าค่าปริมาณพื้นที่สีดำในภาพถ่ายเรณอยอดแปลผลผผันกับปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง จากนั้นจะนำข้อมูลร้อยละของพื้นที่ที่มีสีดำต่อพื้นที่ในกรอบที่กำหนดในภาพถ่ายเรณอยอด และทำการเข้าพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิง นำมาหาค่าเทียบเพื่อสร้างเป็นแนวโน้มการสะสมเชื้อเพลิง



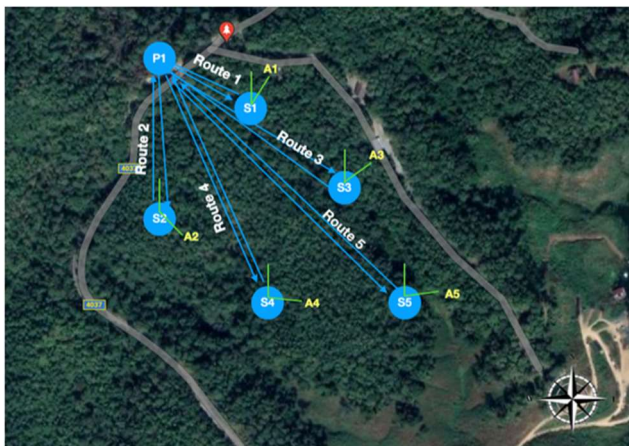
รูปที่ 5 ขั้นตอนวิธีการวิจัย

การดำเนินงานจะกำหนดพื้นที่การเก็บข้อมูลภาพถ่ายทั้งสิ้น 5 จุดภายในพื้นที่ป่าเต็งรังในโครงการ โดยอาศัยเกณฑ์

การกำหนดจุดที่มีระดับความสูงในช่วง 400-600 เมตรจากระดับน้ำทะเล เนื่องจากป่าเต็งรังเป็นป่าที่มีการเจริญเติบโตได้ดีในระดับความสูงดังกล่าว รวมไปถึงค่าความชื้นที่อยู่ในช่วง 8 - 10 องศาจากแนวระดับ เนื่องจากพื้นที่ป่าเต็งรังในประเทศไทยจะมีระดับความชื้นในช่วงดังกล่าวเช่นกัน และใช้ข้อมูลจากทั้ง 5 จุดนี้หาค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในพื้นที่ที่ทำการศึกษาได้

3 ผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอนเพื่อพัฒนาระบบวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง ในรูปที่ 5 นั้นได้ทำการกำหนดจุดเก็บข้อมูลในพื้นที่ 5 จุดโดยอาศัยเกณฑ์ระดับความสูงในช่วง 400 - 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีความชื้นของพื้นที่ 2-4% และมีไม้เด่นคือ ต้นเต็งซึ่งมี 5 จุดเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลของพื้นที่ 100 ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 6 การกำหนดกระบวนการเก็บข้อมูลในพื้นที่ที่จะกำหนดพิกัด 17.76636, 100.485996 (P1) เป็นจุดเริ่มกระบวนการเก็บข้อมูลซึ่งการเก็บข้อมูลภาพ โดรนจะถูกส่งไปเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 12.00. น. ของวันและเริ่มเก็บข้อมูลที่ละจุด จากจุดที่ 1 ถึง 5 ตามลำดับ และแบ่งขั้นตอนการเก็บข้อมูลเป็น 5 เส้นทาง



รูปที่ 6 ตำแหน่ง และเส้นทางเก็บข้อมูล

เส้นทางที่ 1 (Route1) ทำการบินจาก P1 สู่อพิกัด 17.766028, 100.486504 (S1) จากนั้นลดระดับให้อยู่สูงกว่าพื้น 2 เมตร ปรับทิศโดยหันทางทิศทำมุมกับทิศเหนือ 42 องศา

และปรับมุมเงย (60 องศากับแนวระดับ) ทำการถ่ายภาพและปรับมุมกล้องเข้าจุดอ้างอิงเริ่มต้น และทำการบินขึ้นในแนวระดับ จากนั้นให้บินกลับมายัง P1 เป็นอันจบเส้นทางที่ 1

เส้นทางที่ 2 (Route2) ทำการบินจาก P1 สู่อพิกัด 17.764700, 100.485946 (S2) จากนั้นลดระดับให้อยู่สูงกว่าพื้น 2 เมตร ปรับทิศโดยหันทางทิศทำมุมกับทิศเหนือ 134 องศา และปรับมุมเงย (60 องศากับแนวระดับ) ทำการถ่ายภาพและปรับมุมกล้องเข้าจุดอ้างอิงเริ่มต้น และทำการบินขึ้นในแนวระดับ จากนั้นให้บินกลับมายัง P1 เป็นอันจบเส้นทางที่ 2

เส้นทางที่ 3 (Route3) ทำการบินจาก P1 สู่อพิกัด 17.765742, 100.487727 (S3) จากนั้นลดระดับให้อยู่สูงกว่าพื้น 2 เมตร ปรับทิศโดยหันทางทิศทำมุมกับทิศเหนือ 54 องศา และปรับมุมเงย (60 องศากับแนวระดับ) ทำการถ่ายภาพและปรับมุมกล้องเข้าจุดอ้างอิงเริ่มต้น และทำการบินขึ้นในแนวระดับ จากนั้นให้บินกลับมายัง P1 เป็นอันจบเส้นทางที่ 3

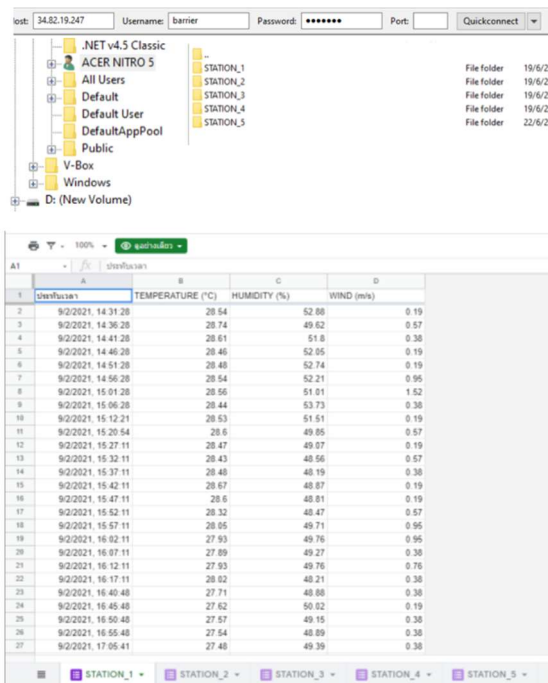
เส้นทางที่ 4 (Route4) ทำการบินจาก P1 สู่อพิกัด 17.764097, 100.487025 (S4) จากนั้นลดระดับให้อยู่สูงกว่าพื้น 2 เมตร ปรับทิศโดยหันทางทิศทำมุมกับทิศเหนือ 96 องศา และปรับมุมเงย (60 องศากับแนวระดับ) ทำการถ่ายภาพและปรับมุมกล้องเข้าจุดอ้างอิงเริ่มต้น และทำการบินขึ้นในแนวระดับ จากนั้นให้บินกลับมายัง P1 เป็นอันจบเส้นทางที่ 4

เส้นทางที่ 5 (Route5) ทำการบินจาก P1 สู่อพิกัด 17.764624, 100.488193 (S5) จากนั้นลดระดับให้อยู่สูงกว่าพื้น 2 เมตร ปรับทิศโดยหันทางทิศทำมุมกับทิศเหนือ 82 องศา และปรับมุมเงย (60 องศากับแนวระดับ) ทำการถ่ายภาพและปรับมุมกล้องเข้าจุดอ้างอิงเริ่มต้น และทำการบินขึ้นในแนวระดับ จากนั้นให้บินกลับมายัง P1 เป็นอันจบเส้นทางที่ 5

3.1 ผลการพัฒนาระบบการดึงข้อมูลภาพถ่ายจากแมชชีน

ภาพถ่ายเร็นบอดที่ถูกเก็บข้อมูลจากโดรนจะถูกอัปโหลดไปยัง server หลัก โดย cv2 เป็น Library ของ OpenCV ซึ่งมีฟังก์ชันในการทำงานเกี่ยวกับการรับภาพเพื่อใช้ในกระบวนการประมวลผลรูปภาพ, Numpy เป็นส่วนในการทำงานของ Math ซึ่งใช้งานการแปลงค่าต่างๆ ที่รับมาจากรูปภาพ และส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ, numpy.lib import type check เป็นฟังก์ชันในการเช็คชนิดของข้อมูล และ ftplib import FTP เป็นฟังก์ชันในการดึงและส่งรูปภาพ ดังแสดงใน

รูปที่ 7 จากนั้นจะทำการดึงข้อมูลภาพจากเซิร์ฟเวอร์ ด้วยคำสั่ง ftpcli import FTP ซึ่งการเก็บข้อมูลภาพจะกำหนดให้ใช้เวลาช่วง 12.00 – 13.00 น. ของวันเพื่อให้ได้ค่าแสงที่มีความใกล้เคียงกัน และหลีกเลี่ยงกรณีการเกิดภาพถ่ายที่ค่าแสงไม่เพียงพอ และหากการเก็บค่าเกิดข้อผิดพลาด ระบบจะทำการใช้ภาพของการถ่ายจากวันก่อนหน้าเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต่อเนื่องทุกวันและสามารถนำมาใช้สร้างแนวโน้มของข้อมูลการสะสมเชื้อเพลิงผิวดินในป่าเต็งรังได้

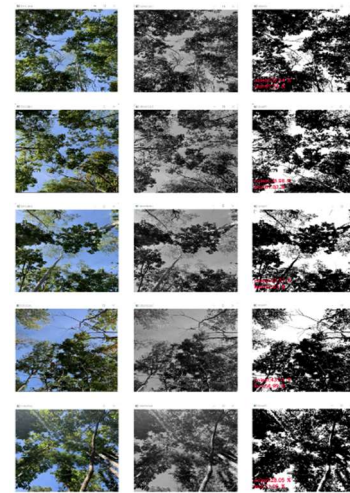


	A	B	C	D
	USER/USER	TEMPERATURE (°C)	HUMIDITY (%)	WIND (m/s)
2	9/2/2021, 14:31:28	28.54	52.88	0.19
3	9/2/2021, 14:36:28	28.74	49.62	0.57
4	9/2/2021, 14:41:28	28.61	51.8	0.38
5	9/2/2021, 14:46:28	28.46	52.05	0.19
6	9/2/2021, 14:51:28	28.48	52.74	0.19
7	9/2/2021, 14:56:28	28.54	52.21	0.95
8	9/2/2021, 15:01:28	28.56	51.81	1.52
9	9/2/2021, 15:06:28	28.44	53.73	0.38
10	9/2/2021, 15:12:21	28.53	51.51	0.19
11	9/2/2021, 15:20:54	28.6	49.85	0.57
12	9/2/2021, 15:27:11	28.47	49.07	0.19
13	9/2/2021, 15:32:11	28.43	48.56	0.57
14	9/2/2021, 15:37:11	28.48	48.19	0.38
15	9/2/2021, 15:42:11	28.67	48.87	0.19
16	9/2/2021, 15:47:11	28.6	48.81	0.19
17	9/2/2021, 15:52:11	28.32	48.47	0.57
18	9/2/2021, 15:57:11	28.05	49.71	0.95
19	9/2/2021, 16:02:11	27.93	49.76	0.95
20	9/2/2021, 16:07:11	27.89	49.27	0.38
21	9/2/2021, 16:12:11	27.93	49.76	0.76
22	9/2/2021, 16:17:11	28.02	48.21	0.38
23	9/2/2021, 16:40:48	27.71	48.88	0.38
24	9/2/2021, 16:45:48	27.62	50.02	0.19
25	9/2/2021, 16:50:48	27.57	49.15	0.38
26	9/2/2021, 16:55:48	27.54	48.89	0.38
27	9/2/2021, 17:05:41	27.48	49.35	0.38

รูปที่ 7 ไฟล์ข้อมูลที่ถูกรวบรวม upload ในแม่ข่าย

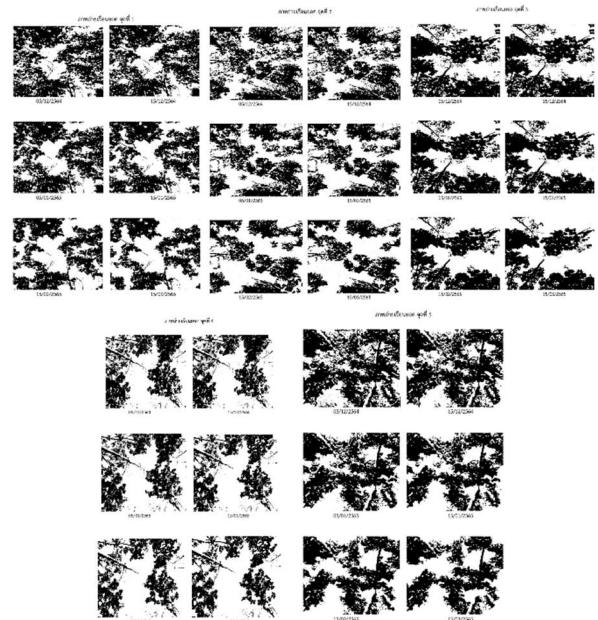
3.2 ผลการพัฒนาระบบการปรับโทนสีภาพเป็นสีขาว/ดำ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนผิวดินในป่าเต็งรังจะใช้ข้อมูลภาพที่ได้จากการเข้าพื้นที่ไปเก็บภาพของโดรนและการดึงข้อมูลในหัวข้อ 3.1 มาใช้ปรับขนาดกรอบภาพที่จะใช้วิเคราะห์ภาพ และปรับโทนสีขาว/ดำ ดังแสดงในรูปที่ 8 เพื่อใช้ในการประมวลค่าร้อยละของเมล็ดสีด้าในกรอบภาพใช้แทนเป็นชีวมวลที่ยังอยู่เรือนยอด โดยจะวัดเทียบกับพื้นที่ในกรอบภาพดังกล่าว โดยเมื่อนำมาวิเคราะห์ในภาพถ่ายมุมเดิมในแต่ละวันจะสามารถใช้เปรียบเทียบหาแนวโน้มการลดลงของพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเมล็ดสีด้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 การปรับโทนสีของข้อมูลภาพ

เมื่อทำการปรับโทนสีขาว/ดำ และปรับขนาดรูปภาพแล้วนั้น ภาพถ่ายเรือนยอดจากทั้ง 5 จุดที่กำหนดจะมีลักษณะเป็นภาพโทนสีขาว/ดำ

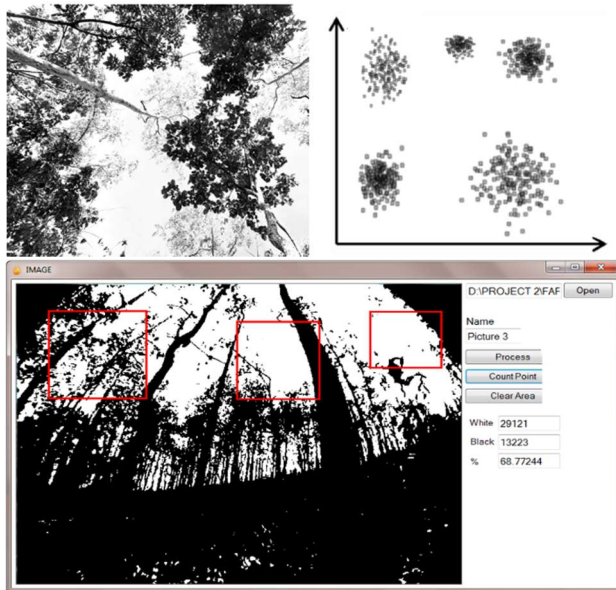


รูปที่ 9 ผลการปรับโทนสีขาว/ดำของเรือนยอดทั้ง 5 จุด

3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณเมล็ดสีด้าจากภาพถ่ายเรือนยอด

จากการแปลผลข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอดที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยอาศัยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับที่เข้าไปในพื้นที่ป่าเต็งรังจากการเก็บภาพทั้ง 5 ตำแหน่งในพื้นที่ ภาพดังกล่าว

เหล่านั้นเมื่อนำมาเปลี่ยนโทนสีขาว/ดำ แล้วนั้น ภาพดังกล่าวจะนำมาเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเม็ดสีที่สามารถใช้อธิบายความหนาของการปกคลุมเรือนยอดซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนผิวดินและเทียบเป็นร้อยละของกรอบข้อมูล ในรูปที่ 10



รูปที่ 10 กระบวนการแปลงผลวิเคราะห์ค่าปริมาณเชื้อเพลิง

ข้อมูลที่ได้จากการแปลงผลและดำเนินการเทียบผลการเก็บข้อมูล รูปที่ 11 โดยนักวิจัยทำการเข้าพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงโดยใช้กรอบข้อมูลขนาด 1×1 เมตร เพื่อเก็บเชื้อเพลิงที่ถูกสะสมบนผิวดิน โดยใช้วิธีการเก็บชีวมวลที่สะสมบนผิวดินใส่ถุงแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อเก็บค่าน้ำหนักรวมของชีวมวลที่จะเป็นเชื้อเพลิงบนผิวดิน



รูปที่ 11 การเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าเทียบในการแปลงผลปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดิน

จากผลการแปลค่าข้อมูลเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง พบว่าทั้ง 5 จุดเก็บข้อมูลจะมีปริมาณเชื้อเพลิงสะสมเริ่มต้น (ช่วงเดือนพฤศจิกายน) อยู่ในช่วง 0.04 - 0.11 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และเมื่อป่าเต็งรังในพื้นที่ศึกษาเกิดการผลัดใบ ปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยเมื่อถึงช่วงปลายเดือนมีนาคมซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของฤดูไฟป่าในประเทศไทย พบว่าเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินทั้ง 5 จุดเก็บข้อมูลนั้นจะมีค่าสูงถึง 0.33 - 0.48 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินที่ได้จากการวิเคราะห์เทียบกับข้อมูลในพื้นที่

ตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง

ช่วงเวลาเก็บข้อมูล	จุดที่ 1 (kg/m ²)		จุดที่ 2 (kg/m ²)		จุดที่ 3 (kg/m ²)		จุดที่ 4 (kg/m ²)		จุดที่ 5 (kg/m ²)	
	พื้นที่	ระบบ	พื้นที่	ระบบ	พื้นที่	ระบบ	พื้นที่	ระบบ	พื้นที่	ระบบ
01/12/2564	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1	8	6	5	4	1	7	5	7	7
08/12/2564	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	4	3	9	8	9	8	0	8	7	7
15/12/2564	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
	2	3	2	0	1	9	0	0	9	8
18/12/2564	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	4	5	5	3	2	1	2	1	3	2
21/12/2564	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	4	7	5	3	2	3	2	3	1	5
28/12/2564	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	4	9	7	5	3	5	2	5	3	3
05/01/2565	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	3	0	6	6	6	5	8	6	5	5
12/01/2565	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
	5	4	2	8	7	9	6	0	7	6
19/01/2565	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	5	7	6	7	7	2	2	2	7	5
26/01/2565	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
	5	8	7	0	8	3	2	4	3	9
02/02/2565	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	5	1	1	3	2	5	3	8	6	1
09/02/2565	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	5	2	1	6	5	6	5	9	9	2
16/02/2565	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
	5	6	5	9	9	6	5	3	0	7
23/02/2565	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2
	5	7	5	0	9	1	8	4	3	4
02/03/2565	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	5	5	4	3	1	3	1	6	4	6
09/03/2565	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	5	7	6	6	5	6	4	5	4	9
16/03/2565	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	5	8	7	9	7	8	6	7	7	3

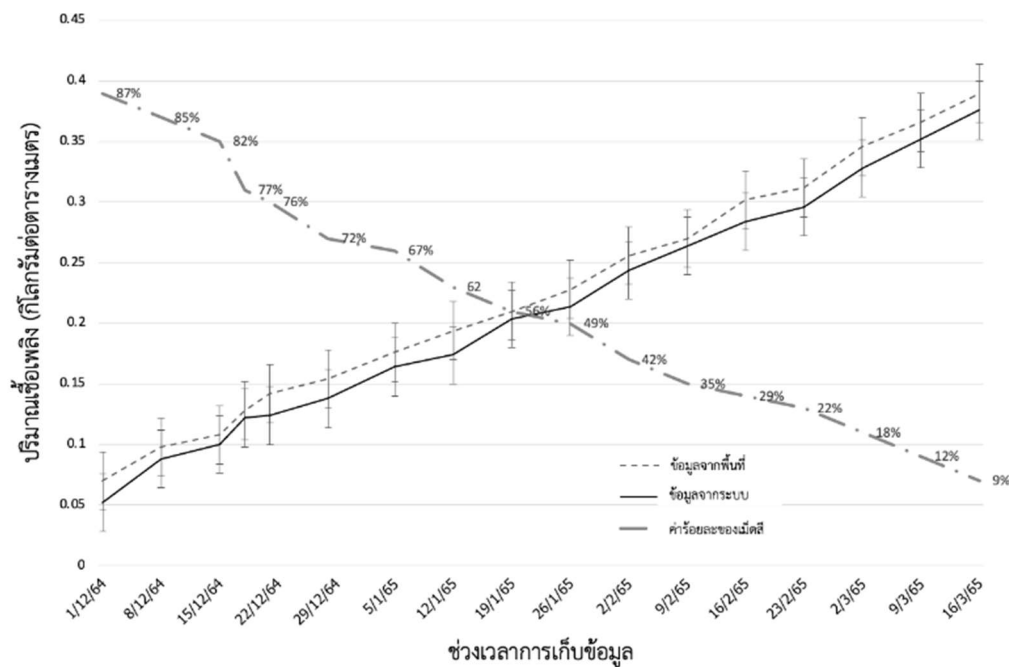
จากการประมวลผลค่าร้อยละของเม็ดสีดำในกรอบข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอด และนำมาพัฒนาเป็นกระบวนการแปลงผลข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงโดยจากสมมติฐานงานวิจัยเมื่อค่าร้อยละของพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเม็ดสีดำน้อยลง จะสามารถใช้อธิบายถึงใบไม้ที่เคยอยู่บริเวณเรือนยอดร่วงหล่นสู่

พื้น และจะส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิง หรือชีวมวลผิวดินมีค่ามากขึ้น จึงอาศัยข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงกรณีต่ำสุดที่ 0 กิโลกรัมต่อตารางเมตร เนื่องจากในทุกปีชีวมวล หรือเชื้อเพลิงที่สะสมผิวดินจะถูกกำจัด หรือย่อยสลายหมดก่อนจะเข้าสู่ฤดูผลิตใบของป่าเต็งรังเสมอ และอาศัยข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงสูงสุดจากการเก็บข้อมูล

4. อภิปรายผลและสรุป

จากการพัฒนาระบบแปลงผลข้อมูลภาพถ่ายเรือนยอดจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเพื่อเข้าถึงจุดเก็บข้อมูลทั้ง 5 จุดในป่าเต็งรัง ภาพที่ได้จากการส่งข้อมูลในระบบแม่ข่ายได้ถูกนำมาเปลี่ยนโทนสีเพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณเมตสีดำเทียบกับปริมาณเมตสีขาวในภาพดังกล่าว จากนั้นจะได้เป็นข้อมูลร้อยละของปริมาณเมตสีดำ ซึ่งในการกำหนดกรอบการเก็บข้อมูลภาพนั้นจะการใช้การตีกรอบข้อมูลที่ส่วนใหญ่ในภาพเป็นเรือนยอดจะได้ค่าร้อยละของเมตสีดำจากภาพในเวลาที่เรา

ยอดยังไม่เกิดการผลัดใบอยู่ประมาณร้อยละ 85 - 95 ของพื้นที่ทั้งหมดในกรอบข้อมูลภาพซึ่งเมื่อแปลงผลเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนผิวดินด้านล่างเรือนยอดแล้วจะมีค่าประมาณ 0.04 - 0.11 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และเมื่อระยะเวลาผ่านไปต้นไม้ในป่าเต็งรังจะเข้าสู่ฤดูกาลผลัดใบ (เดือนกุมภาพันธ์ - เดือนเมษายน) ค่าร้อยละของพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเมตสีดำจะลดลงเนื่องจากบริเวณดังกล่าวเทียบเท่าใบไม้ที่อยู่บนเรือนยอด เมื่อเกิดการผลัดใบขึ้นปริมาณใบไม้บนเรือนยอดจะลดลง ส่งผลให้ค่าร้อยละของพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเมตสีดำลดลง และเมื่อถึงช่วงกลางเดือนมีนาคมซึ่งนับเป็นช่วงต้นของฤดูการเกิดไฟป่าในประเทศไทย ค่าร้อยละของพื้นที่เมตสีดำจะอยู่ในช่วง 20 - 30 ของพื้นที่ทั้งหมดในกรอบข้อมูลภาพ ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมบนพื้นที่ประมาณ 0.33 - 0.48 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โดยข้อมูลจะถูกเก็บเป็นรายสัปดาห์เพื่อให้เห็นแนวโน้มของพฤติกรรมและการสะสมเชื้อเพลิงบนผิวดินของทั้ง 5 จุดเก็บข้อมูล ในรูปที่ 12



รูปที่ 12 แนวโน้มการสะสมเชื้อเพลิงบนผิวดิน

จากผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินจากกระบวนการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเข้าเก็บข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า

กระบวนการดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้เพื่อแปลงผลข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินในป่าที่มีลักษณะเป็นป่าเต็งรังระดับความสูง 400 - 600 เมตรจากระดับน้ำทะเล โดยทำการ

กำหนดจุดเก็บข้อมูลและมุมการถ่ายภาพเรือนยอดที่มีพื้นที่เรือนยอด (พื้นที่เมื่อดำ) ในกรอบรูปภาพช่วงก่อนฤดูผลัดใบอยู่เฉลี่ยร้อยละ 87 ของพื้นที่ทั้งหมดในกรอบข้อมูลภาพและจะมีค่าต่ำสุดเฉลี่ยร้อยละ 9 ของพื้นที่ทั้งหมดในกรอบข้อมูลโดยจะมีแนวโน้มการสะสมเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนที่ประมาณร้อยละ 18 จากผลความรุนแรงไฟในพื้นที่จริง และจากการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ค่าความรุนแรงไฟที่ได้จากระบบการเก็บข้อมูลโดยประยุกต์ใช้โดรนกับการใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมในการแปลผลข้อมูล (นวล ลินต้า, 2563) พบว่ากระบวนการเก็บข้อมูลโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโดรนจะสามารถเก็บข้อมูลได้เป็นข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน แต่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากแม่ข่ายซึ่งจะอัปเดต ณ เวลา 3-5 วันย้อนหลัง และความละเอียดในการถ่ายของภาพถ่ายดาวเทียมจะมีอยู่ที่ 1×1 ตารางกิโลเมตรซึ่งส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง หากการวิเคราะห์สถานการณ์เชื้อเพลิงและความรุนแรงของไฟในพื้นที่จะเป็นต้องอาศัยข้อมูล ณ ช่วงเวลานั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการเก็บข้อมูลที่สามารถเข้าพื้นที่เก็บข้อมูลและส่งข้อมูลได้ปัจจุบันที่สุดเพื่อใช้ในการตัดสินใจดำเนินการจัดการเชื้อเพลิงในพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ ยกตัวอย่างเช่นหากมีการขยายผลการดำเนินการไปสู่การวิเคราะห์ช่วงเวลาปริมาณเชื้อเพลิงในป่าเต็งรังที่เหมาะสมต่อการจัดการเชื้อเพลิงเชิงวิชาการ จะสามารถนำกระบวนการที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเชื้อเพลิงของหน่วยงานทั้งองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กรมป่าไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช รวมไปถึงชุมชนในบริเวณใกล้เคียงป่าเต็งรังที่เกี่ยวข้องเพื่อลดปัญหาหมอกควันและ PM2.5 ของไทยและต่างประเทศได้ โดยกระบวนการดังกล่าวนี้ไม่จำเป็นต้องเข้าพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูล สามารถใช้ข้อมูลจากเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่ายเรือนยอดแปลผลเป็นค่าปริมาณเชื้อเพลิงสะสมบนผิวดินในป่าเต็งรัง

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของผลการดำเนินโครงการที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการ

ส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และความอนุเคราะห์จากเจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน จังหวัดอุตรดิตถ์ในความช่วยเหลือทางข้อมูล และกำลังคนในการดำเนินโครงการครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Curt T, Frejaville T. Wildfire policy in Mediterranean France: How far is it efficient and sustainable. *Risk Analysis*. 2017; 38(3): 472-488.
- [2] Jennifer S, Timothy N, Tara KM, Maria S. Rethinking the maps: A case study of knowledge incorporation in Canadian wildfire risk management and planning. *Journal of Environmental Management*. 2019; 234: 494-502.
- [3] Kraisorn W, San K. Fire behavior in dry deciduous dipterocarp forest at Huai Kha Khaeng wildlife sanctuary, Uthai Thani Province. *Kasetsart Journal (Natural Science)*. 2009; 43(5): 41-47.
- [4] Pedro MP, Paulo F, Miguel GC. A fire behaviour-based fire danger classification for maritime pine stands: comparison of two approaches. *Forest Ecology and Management Journal*. 2006; 234: 1-12.
- [5] David AS, Alan HT, Carl NS. The influence of fuels treatment and landscape arrangement on simulated fire behavior, Southern Cascade Range, California. *Forest Ecology and Management*. 2008; 255(8-9): 3170-3184.
- [6] กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืชกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควันปี 2556.
- [7] Wollstein K, Creutzburg MK, Dunn C, Johnson DD, O'Connor C, Boyd CS, Toward integrated fire management to promote ecosystem resilience. *Rangelands*. 2022; 44(3): 227-234.
- [8] P Palaiologos P, Alan AA, Max NP, Cody RE, Kostas K. Using transboundary wildfire exposure assessments to improve fire management

- programs: a case study in Greece. *International Journal of Wildland Fire*. 2018; 27: 501-513.
- [9] Nalamphun A, Santisuk T, Smitinand T. The defoliation of Teng (*Shorea obtuse* Wall) and Rang (*Pentacme suavis* A.DC.) at ASRCT Sakaerat experiment station. *Journal of Biogeography*. 1986; 13: 345-358.
- [10] Sharon London. Communit- based fire management in Lao people' s democratic republic: past, present and future. *Project Fire Fight Sou East Asia, A Global Initiative of the World Conservation Union (IUCN) and the World Wide Fund for Nature (WWF) International*. Center for International Forestry Research (CIFOR). 2001 October; Jakarta, Indonesia.
- [11] พงษ์ธร วิจิตรกุล. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความรุนแรงไฟในป่าเต็งรัง. ใน: *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26 MENETT*; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2555. 225-236.
- [12] Crowe KA, Rytwinski. A simulation-optimization model for selecting the location of fuel-breaks to minimize expected losses from forest fires. *Forest Ecology and Management*. 2010; 260(1): 1-11.
- [13] พงษ์ธร วิจิตรกุล. การจำลองรูปแบบการจัดเรียงตัวของตอซังข้าวที่มีผลต่อความรุนแรงไฟ. *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*. 2561; 8(2): 155 – 168.
- [14] Somchai P. Forestry in Thailand, forest fire control in Thailand. *Forest Fire Control Division Royal Forest Department*. Chaiyasit Liengsiri, editor. Bangkok; 2009.
- [15] Kazuya K. Sentinel Asia Evolution. In: *1 st JPTM for Sentinel Asia Step 3; 2013 November 27-29*. Japan Aerospace Exploration Agency Satellite Applications and Promotion Center. Tokyo. Japan. ข
- [16] Lara AA., Cristina P, Jose AM. Fire models and methods to map fuel types: The role of remote sensing. *Forest Ecology and Management Journal*. 2008; 256(6): 1239–1252.
- [17] พงษ์ธร วิจิตรกุล. การประเมินค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงเพื่อพัฒนาระบบการช่วยตัดสินใจชิงเผาป่าเต็งรัง กรณีศึกษา: เขตอุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน จังหวัดอุดรดิตถ์ (ประเทศไทย). *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)*; 16(2): 1-12.
- [18] ปัญญากร ดีเรือน, วัชรพงษ์ รัชพงษ์. การวิเคราะห์ค่าความร้อนของใบไม้เพื่อทำนายความรุนแรงของไฟป่าเต็งรัง. ใน: *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33*; มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (มหาสารคาม); 2562. น. 135 – 141.
- [19] นวพล ลินต้า. การหาพื้นที่เผาไหม้จากไฟป่าด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษา อำเภอบางยี่รงค์ จังหวัดแม่ฮ่องสอน [วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี]. ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2563.