

นิพนธ์ต้นฉบับ

สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของไฟในป่าสน
อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

**Fuel Bed Properties and Fire Behavior in Pine Forest,
Nam Nao National Park, Phetchabun Province**

วรเดช ตระสุระดำรงเดช

กอบศักดิ์ วันธงไชย

สันต์ เกตุปราณีต

Worradech Tarusadamrongdech

Kobsak Wanthongchai

San Kaitpraneet

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatucak, Bangkok 10900, Thailand

E-mail: t.worradech6369@gmail.com

รับต้นฉบับ 8 ตุลาคม 2555

รับลงพิมพ์ 4 ธันวาคม 2555

ABSTRACT

Fuel bed properties and fire behavior in a degraded pine forest and pine-oak subcommunity were carried out in the Nam Nao National Park, Phetchabun province. The investigation aimed to study and compare the fuel properties and fire behavior between subcommunities in 3 plots each 50x50 m in size. Fuel bed properties (fuel load, fuel moisture content, fuel height, fuel coverage, post-burn residue and fuel consumption) were recorded before and after burning. Fire behavior parameters (rate of fire spread, flame height, and flame temperature) and weather conditions (wind velocity, air temperature and relative humidity) were recorded during burning. The fire line intensity and flame length were determined by Byram's formula. Fire danger ratings were determined using the method of Andrew (1980).

The results revealed that all fuel bed properties of the degraded pine forest except the post-burn residue were more than those of pine-oak forest. Average values of fuel load, fuel consumption, fuel moisture content and fuel height in the degraded pine forest were 13.32 t/ha, 9.65 t/ha, 87.05% and 0.40 m, respectively. The average values of those in the pine-oak subcommunity were 8.30 t/ha, 2.33 t/ha, 83.28% and 0.31 m, respectively. The average value of the post-burn residue in the degraded pine forest was 3.67 t/ha, while in the pine-oak subcommunity was 5.97 t/ha. The major and minor fuel types in the degraded pine forest were grass and litter. The fuel coverage of grass was 74.85%. The major and minor fuel types in the pine-oak subcommunity were litter and grass and the fuel coverage of litter was 60.82%. All fire behavior parameters and weather conditions except relative humidity in the degraded pine forest were more than those in the pine-oak forest. The average values of wind velocity, air temperature, rate of fire spread,

flame height, fire line intensity, flame length, flame temperature at 20 and 50 cm above ground in the degraded pine forest were 3.37 km/hr, 28.70 °C, 1.89 m/min, 1.29 m, 362.62 kW/m, 1.20 m, 449.95 °C, 604.93 °C, respectively, while the same values in the pine-oak subcommunity were 1.26 km/hr, 27.17 °C, 0.55 m/min, 0.39 m, 26.28 kW/m, 0.34 m, 301.22 °C, 471.65 °C, respectively. The average value of the relative humidity in the degraded pine forest was 47.39% and in the pine-oak subcommunity was 53.72%. The fire danger ratings using the Andrew (1980) method in the degraded pine forest and the pine-oak subcommunity were moderate and low intensities, respectively.

Keywords: forest fire, fire behavior, fuel properties, degraded pine forest, pine-oak subcommunity

บทคัดย่อ

สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟ ในป่าสนที่เสื่อมโทรม และในสังคมย่อยป่าสนผสมก่อก่อน ได้ทำการศึกษาในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบ สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในสังคมพืชทั้งสองชนิด โดยวางแปลงขนาด 50×50 เมตร จำนวนสังคมพืชละ 3 แปลง สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณเชื้อเพลิง, ความชื้นของเชื้อเพลิง, ความสูงของเชื้อเพลิง, การปกคลุมของเชื้อเพลิง, สิ่งที่หลงเหลือหลังการเผาและเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ ทำการบันทึกข้อมูลก่อนและหลังเผา พฤติกรรมของไฟและสภาพอากาศที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราไฟลาม, ความสูงเปลวไฟ, อุณหภูมิของเปลวไฟ, ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ ทำการบันทึกข้อมูลขณะทำการเผา ความรุนแรงของไฟและความยาวเปลวไฟ คำนวณโดยใช้สมการของ Byram (1959) ทำการประเมินถึงระดับอันตรายของไฟเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมไฟป่าตามวิธีการของ Andrew (1980)

ผลการศึกษา พบว่าสมบัติของแหล่งเชื้อเพลิงทั้งหมด ยกเว้นค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผาของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่ามากกว่าในป่าสนผสมก่อก่อน โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อเพลิง, ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้, ความชื้นเชื้อเพลิง และความสูงเชื้อเพลิง เท่ากับ 13.32 ต้นต่อเฮกแตร์ 9.65 ต้นต่อเฮกแตร์, ร้อยละ 87.05 และ 0.40 เมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยดังกล่าวของป่าสนผสมก่อก่อน เท่ากับ 8.30 ต้นต่อเฮกแตร์ 2.33 ต้นต่อเฮกแตร์ ร้อยละ 60.82 และ 0.31 เมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผาของป่าสนเสื่อมโทรม เท่ากับ 3.67 ต้นต่อเฮกแตร์ ค่าเฉลี่ยดังกล่าวของป่าสนผสมก่อก่อน เท่ากับ 5.97 ต้นต่อเฮกแตร์ ประเภทเชื้อเพลิงหลักและเชื้อเพลิงรอง ของป่าสนเสื่อมโทรม คือ หญ้าและซากพืช มีร้อยละการปกคลุมของหญ้า เท่ากับ 74.85 สำหรับป่าสนผสมก่อก่อน คือ ซากพืชและหญ้า มีร้อยละการปกคลุมของซากพืช เท่ากับ 60.82 พฤติกรรมของไฟและสภาพอากาศทั้งหมด ยกเว้นความชื้นสัมพัทธ์ของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่ามากกว่าป่าสนผสมก่อก่อน โดยค่าเฉลี่ยของความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ อัตราไฟลาม ความสูงเปลวไฟ ความรุนแรงของไฟ ความยาวเปลวไฟ อุณหภูมิเปลวไฟที่ ความสูง 20 และ 50 เซนติเมตรเหนือพื้นดินของป่าสนเสื่อมโทรม เท่ากับ 3.37 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 28.70 องศาเซลเซียส 1.89 เมตรต่อนาที 1.29 เมตร 362.62 กิโลวัตต์ต่อเมตร และ 1.20 เมตร 449.95 และ 604.93 องศาเซลเซียสตามลำดับ ค่าเฉลี่ยดังกล่าวของป่าสนผสมก่อก่อน เท่ากับ 1.26 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 27.17 องศาเซลเซียส 0.55 เมตรต่อนาที 0.39 เมตร 26.28 กิโลวัตต์ต่อเมตร 0.34 เมตร 301.22 และ 471.65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของป่าสนเสื่อมโทรม เท่ากับ ร้อยละ 47.39 ค่าเฉลี่ยดังกล่าวของป่าสนผสมก่อก่อน เท่ากับร้อยละ 53.72 ระดับอันตรายของไฟตามวิธีการควบคุมไฟป่าของ Andrew (1980) พบว่าความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงปานกลาง ความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมก่อก่อนมีความรุนแรงต่ำ

คำสำคัญ: ไฟป่า พฤติกรรมไฟ สมบัติของเชื้อเพลิง ป่าสนเสื่อมโทรม ป่าสนผสมก่อก่อน

คำนำ

ป่าไม้ให้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม แก่มนุษย์มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตามการพัฒนาความเจริญในด้านต่างๆ ของมนุษย์ส่งผลให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงไปอย่างมาก ไฟป่าเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ป่าเกิดความเสื่อมโทรมในด้านต่างๆ ถึงแม้ว่าป่าไม้ในประเทศไทยจะมีป่าที่จัดอยู่ในระบบนิเวศพึ่งไฟ (fire-dependent ecosystem) ได้แก่ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าสน (สันต์, 2530) ก็ตาม แต่ความถี่ของการเกิดไฟจะต้องมีความเหมาะสม (ศิริ, 2543) ในปัจจุบันจะพบว่าไฟป่าเกิดขึ้นแทบทุกปี การศึกษาลักษณะพฤติกรรมของไฟป่าจึงมีความสำคัญ เพราะจะทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างของเชื้อเพลิงความรุนแรงของไฟ อัตราไฟลาม ความยาวเปลวไฟ ซึ่งส่งผลต่อวิธีการจัดการและควบคุมไฟป่า อีกทั้งผลกระทบต่อองค์ประกอบของระบบนิเวศ เช่น ผลกระทบต่อพืชพรรณหรือต่อโครงสร้างของป่าและความเหมาะสมของความถี่ของการเกิดไฟต่อการรักษาสภาพของป่าที่เป็นระบบนิเวศพึ่งไฟ เป็นต้น

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาด้านพฤติกรรมไฟ ในสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและสังคมพืชย่อยป่าสนผสมกึ่ง ซึ่งมีปัญหาในเรื่องของไฟป่า บริเวณกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ทำให้ไม้สนสามใบซึ่งเป็นไม้เด่นในพื้นที่ล้มตายเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การเจริญทดแทนตามธรรมชาติของไม้สนได้รับผลกระทบโดยที่ผลจากไฟทำให้มีกล้าไม้สนที่ขาดแทนมีน้อย อีกทั้งส่งผลให้หญ้าเข้ายึดครองพื้นที่ ซึ่งหากปล่อยไว้จะทำให้สังคมพืชนี้สูญหายไปจากพื้นที่ได้ ไฟที่เกิดจากกระทำของมนุษย์บ่อยๆ จะทำให้กระบวนการทดแทนตามธรรมชาติถูกขัดขวางและนำไปสู่รูปแบบหมู่ไม้สนที่คล้ายป่าทุ่ง (Zoneneveld *et al.*, 2009) จากความจำเป็นดังกล่าวจึงต้องมีการศึกษาไฟป่าในพื้นที่ โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในสังคมพืชป่าสนที่เสื่อมโทรม และป่าสนผสมกึ่ง และเพื่อประเมินระดับอันตรายของไฟป่าสำหรับการจัดการและควบคุมไฟป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ทำการศึกษาในสังคมพืชป่าสน ซึ่งได้แก่สังคมย่อยป่าสนซึ่งเป็นป่าที่เสื่อมโทรมซึ่งลักษณะของไม้สนสามใบขึ้นกระจายอยู่ห่างๆ กัน โดยมีหญ้าเป็นไม้พื้นล่างที่ปกคลุมทั่วพื้นที่ ทำให้มีกล้าไม้และไม้รุ่นของไม้สนสามใบน้อยมาก และสังคมย่อยป่าสนผสมกึ่ง บริเวณกลุ่มข้าว ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ (Figure 1) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาวตั้งอยู่ในเขตเทือกเขาเพชรบูรณ์ฝั่งตะวันออก ซึ่งวางตัวในแนวเหนือใต้ อยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 16 องศา 30 ลิปดาถึง 16 องศา 57 ลิปดาเหนือ และเส้นลองจิจูดที่ 101 องศา 23 ลิปดาถึง 101 องศา 45 ลิปดา ตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่ อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ อำเภอหล่มสัก และอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ และพื้นที่อำเภอคอนสาร จังหวัดชัยภูมิ ตั้งอยู่ในแนวเขตแบ่งระหว่างภาคเหนือกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 603,750 ไร่ หรือ 966 ตารางกิโลเมตร (กรมป่าไม้, 2534) และจากข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาของจังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดชัยภูมิ ที่อยู่รอบพื้นที่ในช่วง พ.ศ. 2542-2552 พบว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 27.55 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิสูงสุด ในช่วงเดือนเมษายน 33.19 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด อยู่ในเดือนมกราคม 22.39 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 72.33 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 1159.72 มิลลิเมตร

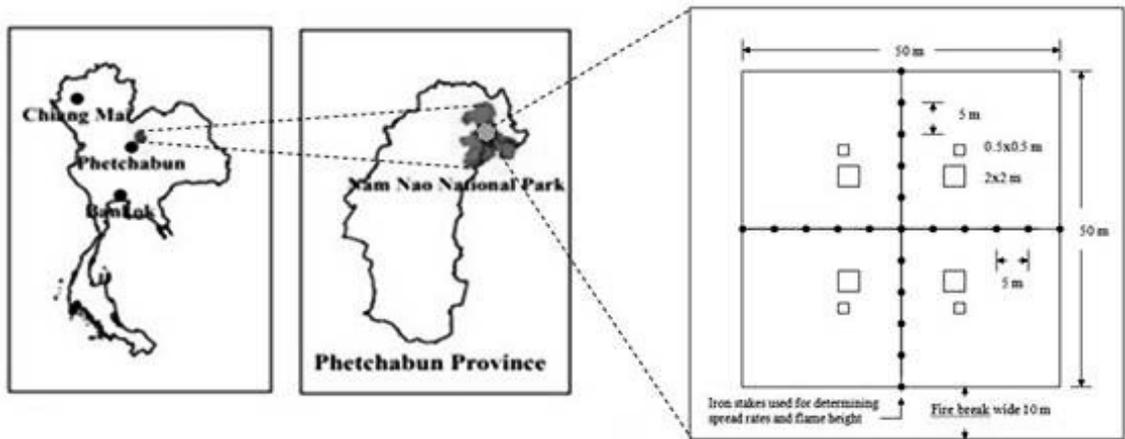


Figure 1 Study areas and plot layout for fuel and residue determination, burning patterns and the positions of fire.

การเก็บข้อมูล

การวางแผนทดลอง

วางแผนศึกษาขนาด 50×50 เมตร และทำแนวกันไฟกว้างประมาณ 10 เมตร รอบแปลง ชนิดป่าละ 3 แปลง กระจายทั่วพื้นที่ โดยภายในแต่ละแปลงจะแบ่งออกเป็น 4 แปลงย่อย ขนาด 25×25 เมตร ในแต่ละแปลงย่อยทำการวางแผนขนาด 2×2 เมตร เพื่อศึกษาลักษณะของเชื้อเพลิงก่อนเผา และแปลงขนาด 50×50 เซนติเมตร เพื่อศึกษาลักษณะของสิ่งที่หลงเหลือจากการเผา (Figure 1)

การเก็บข้อมูลก่อนเผา

เก็บข้อมูลลักษณะเชื้อเพลิงในแปลงทดลองขนาด 2×2 เมตร ทำการจำแนก เชื้อเพลิงเป็นประเภทต่างๆ ได้แก่ ชากพืช (litter) กิ่งก้าน (twig) ซึ่งมีขนาดไม่เกิน 7.60 เซนติเมตร หญ้า (grass) ไม้พุ่ม (shrub) ไม้ล้มลุก (herb) และกล้าไม้ยืนต้น (seedling) โดยเก็บข้อมูลดังนี้

1. การปกคลุมของเชื้อเพลิง ทำการประเมินร้อยละการปกคลุมพื้นที่ของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทของเชื้อเพลิง โดยใช้ผู้ประเมิน 5 คน
2. ความสูงของเชื้อเพลิงวัดความสูงของแต่ละประเภทเชื้อเพลิงโดยเชื้อเพลิงประเภทชากพืชและหญ้า

ซึ่งมีความสูงค่อนข้างสม่ำเสมอ ทำการสุ่มวัด บริเวณที่เชื้อเพลิงมีความสูงที่สุด ความสูงปานกลาง และความสูงต่ำสุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย สำหรับพืชล้มลุก ไม้พุ่ม และกล้าไม้ซึ่งมีความสูงไม่สม่ำเสมอ ทำการวัดความสูงของเชื้อเพลิงทุกต้น แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ค่าเฉลี่ยความสูงที่ได้นำมาคูณด้วย 2/3 ได้ค่าความสูงของเชื้อเพลิง (Albini and Brown, 1978)

3. ปริมาณของเชื้อเพลิง ทำการตัดชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงทั้งหมดแบ่งตามประเภทของเชื้อเพลิง แล้วสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้น น้ำหนักแห้ง ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมดและปริมาณความร้อน

การเก็บข้อมูลในขณะเผา

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมของไฟ ปักหลักด้วยแท่งเหล็กที่มีความสูง 3 เมตร เป็นแนวกากบาทครอบคลุมทั่วแปลง ห่างกันแท่งละ 5 เมตร จำนวนด้านละ 5 แท่ง เพื่อใช้ศึกษาความยาวเปลวไฟ และอัตราไฟลาม (Figure 1)

2. ติดตั้งเครื่องตรวจวัดภูมิอากาศแบบเคลื่อนที่ (Kestrel 4500 pocket weather tracker) เพื่อตรวจสอบสภาพภูมิอากาศตลอดช่วงการเผา ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางลม และอุณหภูมิของอากาศ ทุก 10 วินาที

3. ทำการจุดไฟเผาที่จุดกึ่งกลางของแปลง เก็บข้อมูลอัตราไฟลาม ความสูงของเปลวไฟ และจับเวลาเมื่อไฟเคลื่อนที่ผ่านแท่งเหล็ก แล้วทำการถ่ายรูปเปลวไฟเพื่อเปรียบเทียบความสูงเปลวไฟกับชนิดวัดระดับความสูงของแท่งเหล็ก

4. วัดอุณหภูมิของเปลวไฟโดยเครื่องมือ spot infrared (MINOLTA TA 510) โดยทำการวัดสุ่มกระจายทั่วทั้งพื้นที่ จำนวน 20 จุด ที่ระดับความสูง 20 และ 50 เซนติเมตร เหนือพื้นดิน

การเก็บข้อมูลหลังเผา

เก็บตัวอย่างส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ ในแปลงขนาด 50×50 เซนติเมตร แยกระหว่างส่วนที่เป็นชี้เถ่า ส่วนที่เป็นก้อนถ่าน และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟใช้ที่ดูดฝุ่นเคลื่อนที่ บันทึกน้ำหนักสดของส่วนต่างๆ นำไปอบแห้งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

1. คำนวณปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่ ทำการหาค่าร้อยละความชื้นของเชื้อเพลิงสดก่อนเผา ชี้เถ่า ก้อนถ่าน และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟจากนั้นนำไปประมาณน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ นำค่าปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผาไปหักออกจากส่วนที่เป็นปริมาณชี้เถ่า ก้อนถ่าน และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ จึงได้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้จริงในพื้นที่ นำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณตามสูตรหาค่าความร้อนของไฟ และความยาวเปลวไฟของ Byram (1959)

$$I = 0.007 H W_a R$$

โดย I = ความรุนแรงของไฟ
(กิโลวัตต์ต่อเมตร)

$$H = \text{ปริมาณความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง}$$

(แคลอรีต่อกรัม)

$$= \text{heat content} - \text{heat loss}$$

$$= \text{heat content} - [\text{radiation loss}$$

$$(666.7 \text{ แคลอรีต่อกรัม}) +$$

$$\text{evaporation loss (แคลอรีต่อกรัม)}]$$

W_a = ปริมาณเชื้อเพลิงที่เผาไหม้
(ตันต่อเฮกแตร์)

R = อัตราไฟลาม
(เมตรต่อนาที)

$$L = 0.08 I_B^{0.46}$$

โดย L = ความยาวของเปลวไฟ
(เมตร)

I_B = ความรุนแรงของไฟ
(กิโลวัตต์ต่อเมตร)

2. ค่าปริมาณความร้อน (heat content) นำตัวอย่างแยกตามประเภทของเชื้อเพลิงมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วบดอย่างละเอียด นำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณความร้อนโดยใช้เครื่อง Adiabatic bomb calorimeter

3. นำข้อมูลลักษณะเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟไปวิเคราะห์ทางสถิติ (t-test) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การประเมินระดับอันตรายของไฟ

นำผลการศึกษา ค่าความร้อนของไฟ และความยาวเปลวไฟ ที่ได้จากการคำนวณ นำไปประเมินระดับอันตรายตามวิธีการของ Andrew (1980)

ผลและวิจารณ์

สมบัติแหล่งเชื้อเพลิง

สมบัติแหล่งเชื้อเพลิง ได้แก่ ปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยเนื้อที่ ความชื้นของเชื้อเพลิง ความสูงของเชื้อเพลิง การปกคลุมของเชื้อเพลิง ปริมาณสิ่งที่เหลือภายหลังการเผาและปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้

Table 1 Fuel bed properties of degraded pine forest and pine-oak forest.

Fuel property	Forest type	Fuel types						average
		grass	shrub	herb	seedling	litter	twig	
Fuel load (t/ha)	Degraded pine	6.00 ^a (2.57)	0.05 ^a (0.07)	0.18 ^a (0.06)	0.93 ^a (0.18)	5.71 ^a (0.90)	0.45 ^a (0.70)	13.32 ^a (2.69)
	Pine-oak	1.60 ^b (0.83)	0.44 ^a (0.48)	0.14 ^a (0.10)	0.61 ^a (0.73)	4.14 ^b (1.60)	1.37 ^b (1.34)	8.30 ^b (2.67)
Fuel moisture content (%)	Degraded	44.90 ^a	147.77 ^a	143.59 ^a	119.30 ^a	22.59 ^a	19.85 ^a	87.05 ^a
	Pine	(25.99)	(24.66)	(21.72)	(14.94)	(10.50)	(2.04)	(7.78)
	Pine-oak	67.75 ^a (6.86)	100.57 ^a (36.31)	164.69 ^a (32.09)	122.24 ^a (10.27)	25.21 ^a (3.64)	19.25 ^a (6.39)	83.28 ^a (3.68)
Fuel height (m)	Degraded	1.06 ^a	0.26 ^a	0.34 ^a	0.53 ^a	0.16 ^a	0.04 ^a	0.40 ^a
	Pine	(0.14)	(0.25)	(0.14)	(0.21)	(0.16)	(0.08)	(0.05)
	Pine-oak	0.71 ^b (0.28)	0.50 ^a (0.46)	0.19 ^b (0.09)	0.41 ^a (0.23)	0.06 ^b (0.03)	0.03 ^a (0.01)	0.31 ^a (0.12)
Fuel coverage (%)	Degraded	74.85 ^a	2.53 ^a	11.29 ^a	21.46 ^a	62.71 ^a	1.01 ^a	-
	Pine	(12.43)	(3.49)	(9.05)	(14.7)	(12.79)	(1.09)	-
	Pine-oak	50.50 ^b (19.92)	11.55 ^b (11.83)	7.38 ^a (5.20)	19.94 ^a (16.5)	60.82 ^a (22.56)	1.57 ^a (0.57)	-

Remark: Standard errors are given in parentheses

^{a, b} indicate significant differences (paired *t*-test) between fuel properties in degraded pine forest and pine-oak forest at the 95% confidence level.

ปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่

ปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่ของป่าสนในภาพรวมอยู่ในช่วง 6.76-13.92 ตันต่อเฮกแตร์ มีเชื้อเพลิงหลักคือ หญ้า และซากพืช ส่วนในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย 13.32 ตันต่อเฮกแตร์ เชื้อเพลิงประเภทหญ้า มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 6.00 ตันต่อเฮกแตร์ และเชื้อเพลิงประเภทไม้พุ่ม มีปริมาณเชื้อเพลิงน้อยที่สุด เท่ากับ 0.05 ตันต่อเฮกแตร์ สำหรับป่าสนผสมก่อกอมีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย 8.30 ตันต่อเฮกแตร์ เชื้อเพลิงประเภทซากพืช มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 4.14 ตันต่อเฮกแตร์ เชื้อเพลิงประเภทไม้ล้มลุก มีปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ 0.14 ตันต่อเฮกแตร์ พบว่าในป่าสนเสื่อมโทรม มีปริมาณเชื้อเพลิงรวมมากกว่าในป่าสนผสมก่อกอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังใน Table 1 เนื่องจากป่าสนเสื่อมโทรมมีสภาพพื้นที่

เปิดโล่งทำให้มีหญ้าขึ้นหนาแน่น และเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงของป่าชนิดเดียวกันหรือป่าชนิดอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน พบว่าการศึกษารังนี้มีปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าการศึกษาในป่าสนและป่าดิบเขาในทุ่งหญ้าและป่าทุ่ง จากการศึกษาคณิงนิจ (2539) สมศักดิ์ (2550) และ Trollop and Trollop (2002) ตามลำดับ แต่มีปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่าผลการศึกษาในทุ่งหญ้าของศิริ (2534)

ความชื้นของเชื้อเพลิง

ความชื้นของเชื้อเพลิงของป่าสนในภาพรวมอยู่ในช่วง ร้อยละ 11.91-197.38 ในป่าสนเสื่อมโทรมมีความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ยร้อยละ 83.00 ไม้พุ่มมีความชื้นเฉลี่ยมากที่สุด (ร้อยละ 147.77) กิ่งไม้ มีความชื้นเฉลี่ยน้อยที่สุด (ร้อยละ 19.8) สำหรับป่าสนผสมก่อกอมีความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ย ร้อยละ 83.28 ไม้ล้มลุกมีความชื้นเฉลี่ย

มากที่สุด (ร้อยละ 164.69) กิ่งไม้ มีความชื้นน้อยเฉลี่ยที่สุด (ร้อยละ 19.25) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติปรากฏว่า ความชื้นของเชื้อเพลิงในป่าทั้งสองชนิด มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาโดยคณิงนิจ (2539) ในป่าสนและป่าดิบเขาพบว่า ความชื้นของเชื้อเพลิงในการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่ามาก การที่เชื้อเพลิงที่ทำการศึกษา มีความชื้นสูง เนื่องจาก ความแปรปรวนของภูมิอากาศซึ่งมีฝนตกในพื้นที่ ในช่วงต้นฤดูไฟป่า ทำให้เชื้อเพลิงยังคงมีความชื้นสูงอยู่โดยเฉพาะไม้ล้มลุก ไม้พุ่มและกล้าไม้

ความสูงของเชื้อเพลิง

ความสูงของเชื้อเพลิงของป่าสนในภาพรวมอยู่ในช่วง 0.24-0.44 เมตร แต่ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความสูงของเชื้อเพลิง เฉลี่ย 0.42 เมตร ป่าสนผสมก่อกมีความสูงของเชื้อเพลิง เฉลี่ย 0.44 เมตร (Table 1) ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเชื้อเพลิงในป่าทั้งสองชนิด มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อแยกตามประเภทเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงประเภทหญ้า ไม้ล้มลุก และซากพืช ในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าเฉลี่ยความสูงของเชื้อเพลิง มากกว่าป่าสนผสมก่อก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเชื้อเพลิงประเภทหญ้ามี่ความสูงที่สุดในป่าทั้งสองชนิด เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาในป่าเต็งรังของศิริ (2543) และ รัตน์ และคณะ (2545) พบว่าหญ้าเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสูงที่สุดเช่นเดียวกัน

การปกคลุมของเชื้อเพลิง

การปกคลุมของเชื้อเพลิงของป่าสนในภาพรวมอยู่ในช่วง ร้อยละ 1.01-74.85 ในป่าสนเสื่อมโทรมพบว่าหญ้า มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 74.85 ในป่าสนผสมก่อก ซากพืช มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 60.82 (Table 1) จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าหญ้าและไม้พุ่มในป่าสนเสื่อมโทรมมีการปกคลุมมากกว่าป่าสนผสมก่อกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณสิ่งที่เหลือภายหลังจากการเผาและปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้

ปริมาณสิ่งที่เหลือหลังการเผา (เถ่า ถ่าน และ ส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ) ในภาพรวมของป่าสนอยู่ในช่วง

3.24-6.18 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้อยู่ในช่วง 1.26-10.61 ต้นต่อเฮกแตร์ ส่วนในป่าสนเสื่อมโทรม มีปริมาณสิ่งที่เหลือหลังการเผา 3.67 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ 9.65 ต้นต่อเฮกแตร์ (ร้อยละ 72.26 ของเชื้อเพลิงก่อนเผา) สำหรับป่าสนผสมก่อก มีเชื้อเพลิงที่เหลือหลังการเผาไหม้ 5.97 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ 2.33 ต้นต่อเฮกแตร์ (ร้อยละ 25.92 ของเชื้อเพลิงก่อนเผา) ซึ่งในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้มากกว่าป่าสนผสมก่อกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณหญ้ามากกว่า มีสภาพอากาศขณะเผาที่ส่งผลต่อพฤติกรรมไฟมากกว่าจึงทำให้มีสิ่งที่เหลือจากการเผามีน้อยกว่าป่าสนผสมก่อก

สภาพอากาศขณะเผา

ในระหว่างที่ทำการศึกษา ลักษณะสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาส่งผลต่อพฤติกรรมของไฟป่าสภาพอากาศของป่าสนในภาพรวม มีค่าความเร็วลมอยู่ในช่วง 1.87-4.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 27.06-30.87 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงร้อยละ 35.24-54.10 ป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าดังกล่าวเท่ากับ 3.37 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 28.70 องศาเซลเซียส และร้อยละ 47.39 ตามลำดับ และในป่าสนผสมก่อกมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 1.26 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 27.17 องศาเซลเซียส และร้อยละ 53.72 ตามลำดับ ป่าสนเสื่อมโทรมมีสภาพอากาศแตกต่างจากป่าสนผสมก่อกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทิศทางลมในป่าสนเสื่อมโทรมพัดไปทางทิศ ตะวันตก ตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้ ในขณะที่ทิศทางลมในป่าสนผสมก่อกพัดไปทางทิศตะวันตก ทิศใต้ ตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของป่าสนเสื่อมโทรมที่โปร่งกว่าทำให้ลมพัดได้เร็วกว่าและแสงแดดส่องลงมาได้มากกว่าจึงส่งผลต่อพฤติกรรมของไฟป่าอย่างมาก ทำให้พฤติกรรมของไฟป่าในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงมากกว่าและทำให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้มากกว่าในป่าสนผสมก่อก

พฤติกรรมไฟ

อัตราไฟลาม

อัตราไฟลามเฉลี่ยในภาพรวม อยู่ในช่วง 0.36-2.12 เมตรต่อนาที อัตราไฟลามด้านหัวไฟในภาพรวม อยู่ในช่วง 0.53-6.28 เมตรต่อนาที ในป่าสนเสื่อมโทรม มีอัตราไฟลามด้านหัวไฟเฉลี่ย 4.46 เมตรต่อนาที อัตราไฟลามด้านหางไฟเฉลี่ย 0.80 เมตรต่อนาที และอัตราไฟลามด้านปีกไฟเฉลี่ย 1.15 เมตรต่อนาที และอัตราไฟลามภาพรวมเฉลี่ยรวม 1.89 เมตรต่อนาที ในป่าสนผสมก้อมีอัตราไฟลามด้านหัวไฟเฉลี่ย 0.88 เมตรต่อนาที อัตราไฟลามด้านหางไฟเฉลี่ย 0.33 เมตรต่อนาที และอัตราไฟลามด้านปีกไฟเฉลี่ย 0.49 เมตรต่อนาที และอัตราไฟลามภาพรวมเฉลี่ยรวม 0.55 เมตรต่อนาที (Table 2) จากผลการศึกษาที่ได้พบว่าอัตราไฟลามของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่ามากกว่าอัตราไฟลามในป่าสนผสมก้อมในทุกด้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องมาจากปัจจัยด้านเชื้อเพลิง โดยในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าป่าสนผสมก้อม และเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาพฤติกรรมไฟป่าในป่าสนและป่าดิบเขาศึกษาโดยคณิงนิจ (2539) พบว่าอัตราไฟลามของไฟต่ำกว่าในการศึกษาครั้งนี้ การเปรียบเทียบในทุ่งหญ้าจากผลงานของสมศักดิ์ (2550) และศิริ (2534) พบว่าความอัตราไฟลามมีค่าสูงกว่าในการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้สภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศก็ส่งผลให้พฤติกรรมไฟมีความแตกต่างกันได้

ความรุนแรงของไฟ

ความรุนแรงของไฟของป่าสนเฉลี่ยในภาพรวม 10.21-422.51 กิโลวัตต์ต่อเมตร ความรุนแรงของไฟของป่าสนด้านหัวไฟในภาพรวม 14.92-1,024.15 กิโลวัตต์ต่อเมตร ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย 861.95 กิโลวัตต์ต่อเมตร และความรุนแรงของไฟเฉลี่ยรวม 365.54 กิโลวัตต์ต่อเมตร ส่วนในป่าสนผสมก้อมมีความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย 42.18 กิโลวัตต์ต่อเมตร และความรุนแรงของไฟเฉลี่ยรวม 26.07 กิโลวัตต์ต่อเมตร (Table 2) ความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าสูงกว่าค่าความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมก้อม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับปริมาณและสัดส่วนของประเภท

เชื้อเพลิงที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมไฟ ในป่าสนเสื่อมโทรมมีเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นประเภทหญ้า และมีปริมาณเชื้อเพลิงรวมมาก ขณะที่ป่าสนผสมก้อมมีเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นประเภทซากพืชและมีปริมาณเชื้อเพลิงรวมต่ำ ความรุนแรงของไฟในการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่า ผลการศึกษาของคณิงนิจ (2539), สมศักดิ์ (2550) และ ศิริ (2534)

ความสูงเปลวไฟ และความยาวเปลวไฟ

ความสูงเปลวไฟของป่าสนเฉลี่ยในภาพรวม 0.36-1.39 เมตร ความสูงเปลวไฟของป่าสนด้านหัวไฟในภาพรวม 0.26-2.84 เมตร ในป่าสนเสื่อมโทรมมีความสูงเปลวไฟความสูงเปลวไฟเฉลี่ยรวม 1.29 เมตร และด้านหัวไฟเฉลี่ย 2.31 เมตร สำหรับในป่าสนผสมก้อมความสูงเปลวไฟเฉลี่ยรวม 0.39 เมตร และมีความสูงเปลวไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย 0.40 เมตร และ ค่าเฉลี่ยความสูงเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่ามากกว่าค่าความสูงเปลวไฟในป่าสนผสมก้อม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2)

ความยาวเปลวไฟของป่าสนเฉลี่ยในภาพรวม 0.23-1.29 เมตร ความยาวเปลวไฟของป่าสน ด้านหัวไฟในภาพรวม 0.28-1.94 เมตร ในป่าสนเสื่อมโทรมมีความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 1.79 เมตร ความยาวเปลวไฟเฉลี่ยรวม 1.21 เมตร สำหรับในป่าสนผสมก้อมมีความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย 0.45 เมตร ความยาวเปลวไฟเฉลี่ยรวม 0.36 เมตร ค่าความยาวเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าสูงกว่าป่าสนผสมก้อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 2) ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความสูงเปลวไฟและความยาวเปลวไฟระหว่างป่าทั้งสองชนิดมีค่าแตกต่างกันเพราะความแตกต่างของปริมาณเชื้อเพลิง ความสูงเชื้อเพลิง และสภาพอากาศขณะเผาซึ่งในป่าสนเสื่อมโทรมมีปัจจัยดังกล่าวมากกว่าป่าสนผสมก้อม

อุณหภูมิของเปลวไฟ

อุณหภูมิของเปลวไฟ เป็นตัวชี้วัดที่จำเป็นสำหรับความปลอดภัยของพนักงานดับไฟป่า อุณหภูมิไฟที่มีค่าสูงมีผลต่อการเข้าถึงไฟ และยังสร้างความเสียหาย ต่อดินและพืช ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น (Himapan *et al.*, 2006) ผลการศึกษารูมูมิของ

เปลวไฟของป่าสนในภาพรวม 174.91-661.15 องศาเซลเซียส ในป่าสนเสื่อมโทรม มีอุณหภูมิของเปลวไฟที่ความสูง 20 เซนติเมตรจากพื้นดิน มีค่าเฉลี่ย 604.93 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของเปลวไฟ ความสูง 50 เซนติเมตรจากพื้นดิน มีค่าเฉลี่ย 471.65 องศาเซลเซียส สำหรับในป่าสนผสมก่อก่อนมีอุณหภูมิของเปลวไฟที่ความสูง 20 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย 449.95 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิของเปลวไฟ ที่ความสูง 50 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 301.22 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาที่ได้

พบว่าอุณหภูมิของเปลวไฟ ในป่าสนเสื่อมโทรมในทุกระดับความสูงจากพื้น มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของเปลวไฟ ในป่าสนผสมก่อก่อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และอุณหภูมิที่ความสูง 20 เซนติเมตรมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ความสูง 50 เซนติเมตร ทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน สอดคล้องกับการศึกษาในไร่มุมนเวียนและไร่ร้างที่ดำเนินการโดยกอบศักดิ์และคณะ (2552) และในป่าเต็งรังโดย Wanthongchai (2008)

Table 2 Quantitative fire behavior characteristics recorded for experimental fires applied to sites with different forest types and fire danger ratings.

Fire behavior and fire danger rating		Degraded pine forest	Pine-oak forest
Fire behavior			
Fire spread (m/min)	Average burning strip	1.89 ^a (1.97)	0.55 ^b (0.50)
	Head fire strip	4.46 ^a (2.49)	0.88 ^b (1.05)
Flame height (m)	Average burning strip	1.29 ^a (1.06)	0.39 ^b (0.35)
	Head fire strip	2.31 ^a (0.57)	0.40 ^b (0.19)
Fire intensity (kW/m)	Average burning strip	362.62 ^a (82.22)	26.28 ^b (21.97)
	Head fire strip	836.40 ^a (241.05)	40.16 ^b (28.69)
Flame length (m)	Average burning strip	1.20 ^a (0.08)	0.34 ^b (0.13)
	Head fire strip	1.75 ^a (0.25)	0.42 ^b (0.15)
Fire temperature (°C)	20 cm above ground	604.93 ^a (120.49)	471.65 ^b (130.95)
	50 cm above ground	449.95 ^a (148.02)	301.22 ^b (146.08)
Fire danger rating	Andrew (1980)	moderate	low

Remark: Standard errors are given in parentheses

^{a, b} indicate significant differences (paired *t*-test) between forest types at the 95% confidence level

ระดับอันตรายของไฟ

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของพฤติกรรมไฟต่อวิธีการควบคุมไฟป่าของ Andrew (1980) จะพบว่า ความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงปานกลาง พนักงานดับไฟไม่สามารถสกัดกั้นที่หัวไฟ โดยใช้เครื่องมือและแนวกันไฟธรรมดา การควบคุมสามารถกระทำได้โดยใช้รถแทรกเตอร์ เครื่องฉีดน้ำและสารเคมีโปรยจากเครื่องบิน สำหรับความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมก่อกมีความรุนแรงต่ำ พนักงานดับไฟสามารถดับไฟที่หัวไฟได้โดยใช้เครื่องมือและแนวกันไฟธรรมดา

สรุป

1. สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิง ปริมาณของเชื้อเพลิงและปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าสูงกว่าปริมาณเชื้อเพลิงรวมในป่าสนผสมก่อก ป่าสนเสื่อมโทรมมีเชื้อเพลิงประเภทหญ้ามากที่สุด รองลงมาคือ ซากพืช ขณะที่ในป่าสนผสมก่อกมีเชื้อเพลิงประเภท ซากพืชมากที่สุด รองลงมาคือ หญ้า สำหรับค่าความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ย ความสูงของเชื้อเพลิงเฉลี่ย การปกคลุมของเชื้อเพลิงเฉลี่ย ในป่าทั้งสองชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติและปริมาณสิ่งที่หลงเหลืออยู่หลังจากการเผาในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าต่ำกว่าป่าสนผสมก่อก

2. สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิงของป่าสนในภาพรวม ปริมาณของเชื้อเพลิง 6.76-13.92 ต้นต่อเฮกแตร์ ปริมาณสิ่งที่หลงเหลืออยู่หลังจากการเผา 3.24-6.18 ต้นต่อเฮกแตร์ และมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ในช่วง 1.26-10.61 ต้นต่อเฮกแตร์ ความชื้นของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงร้อยละ 11.91-197.38 ความสูงของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.24-0.44 เมตร การปกคลุมของเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง ร้อยละ 1.01-74.85

3. พฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรม ค่าพฤติกรรมไฟทั้งหมดที่มีค่าสูงกว่าป่าสนผสมก่อกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งความรุนแรงของไฟ ความยาวเปลวไฟ ความสูงเปลวไฟ และอุณหภูมิเปลวไฟ

4. พฤติกรรมไฟของป่าสนในภาพรวม อัตราไฟลามเฉลี่ย อยู่ในช่วง 0.36-2.12 เมตรต่อนาที อัตราไฟลามด้านหัวไฟ อยู่ในช่วง 0.53-6.28 เมตรต่อนาที ความรุนแรงของไฟเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10.21-422.51 กิโลวัตต์ต่อเมตร ความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟอยู่ในช่วง 14.92-1,024.15 กิโลวัตต์ต่อเมตร ความสูงเปลวไฟเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.36-1.39 เมตร ความสูงเปลวไฟด้านหัวไฟอยู่ในช่วง 0.26-2.84 เมตร ความยาวเปลวไฟเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.23-1.29 เมตร ความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟอยู่ในช่วง 0.28-1.94 เมตร อุณหภูมิของเปลวไฟอยู่ในช่วง 174.91-661.15 องศาเซลเซียส

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมป่าไม้. 2534. แผนแม่บทอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จ.เพชรบูรณ์ จ.ชัยภูมิ. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กอบศักดิ์ วันธงไชย, วรพรรณ หิมพานต์ และ พูลสถิต วงศ์สวัสดิ์. 2552. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ผลกระทบของการเผาไร่หมุ่นเวียนบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย ต่อการเก็บกักและปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- คณินิจ สุทธิชาติ. 2539. ผลกระทบของไฟป่าต่อดินและพืช ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมศักดิ์ ภูเพ็ชร. 2550. การศึกษาพฤติกรรมของไฟป่าที่เกิดขึ้นในทุ่งหญ้าในท้องที่อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง ตำบลหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จ.เพชรบูรณ์. กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- สันต์ เกตุปราณีต. 2530. นิเวศวิทยาไฟป่า. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ศิริ อัคระอัคร. 2534. พฤติกรรมของไฟป่าในทุ่งหญ้าจังหวัดสระบุรี. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- _____. 2543. การควบคุมไฟป่าสำหรับประเทศไทย. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

- ศุภรัตน์ สำราญ, สุรัตน์ หอมสุต และธนวัฒน์ ทองตัน. 2545. ลักษณะเชื้อเพลิงในป่าเต็งรังเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- Andrew, P. L. 1980. Testing the fire behavior model. p. 70-77. *In Proceeding Sixth Conference on Fire and Forest Meteorology*. April 22-24, 1980. Society of American Foresters. Seattle, WA.
- Albini, F. A. and J. K. Brown. 1978. Predicting slash depth for fire modeling. **USDA For. Serv. Res. Paper INT-206**, Intermountain For. and Range Exp. Sta., Ogden, Utah.
- Byram G. M. 1959. Combustion of forest fuel. Chapter 3, pp. 61-69. *In* K.P. Davis, ed. **Forest Fire Control and Use**. McGraw-Hill book company, Inc., New York.
- Himapan W., S. Boonyawat, and S. Kaitpraneet. 2006. Behavior of burning fire in dry deciduous dipterocarp forest at Huay Kha Khaeng wildlife sanctuary, Uthai Thani Province, **Thai Journal Forestry** 25: 112-124.
- Trollope, W. S. W., and L.A. Trollope, 2002. Fire behavior a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas. *In* Viegan, ed. **Forest Fire Research & Wildland Fire Safety**, Millpress, Rotterdam.
- Wanthongchai K. 2008. **Effect of Different Burning Frequency on Fire Behavior, Nutrient Dynamics, Soil Properties and Regeneration Structure and Composition in Dry Dipterocarp Forest, Huay Kha Khang Wildlife Sancetury Thailand**. Ph.D. Thesis, Freiburg University
- Zonneveld, M. V., J. Koskela, B. Vinceti and A. Jarvis. 2009. Impact of climate change on the distribution of tropical pines in Southeast Asia. **Unasyva** 231/232, 60: 25-29
-