

ลักษณะเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในป่าเต็งรังผสมสน โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่

Characterization of Fuel and Fire Behavior in Pine-Dipterocarp Forest at Ban Watchan Royal Project, Chiang Mai Province.

ธนา โชคพระสมบัติ¹ กอบศักดิ์ วันธงไชย¹ และดอกรัก มารอด²

¹ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ: การศึกษาลักษณะเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในป่าเต็งรังผสมสน ในพื้นที่โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยวางแปลง จำนวน 12 แปลง (ขนาด 14 × 14 เมตร) แบ่งเป็นพื้นที่ราบ และพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ละ 6 แปลง ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงก่อนเผาในทุกแปลงตัวอย่างโดยวางแปลงขนาด 1 × 1 เมตร จำนวน 4 แปลงที่ขอบแปลง ทำการสุ่มเผาแปลงตัวอย่างพื้นที่ละ 3 แปลงในช่วงต้นเดือนมีนาคม 2555 เพื่อศึกษาพฤติกรรมไฟ ได้แก่ อัตราการลุกลาม ความสูงและความยาวของเปลวไฟ ความรุนแรง ของไฟ อุณหภูมิของไฟ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ รวมทั้งสภาพภูมิอากาศระหว่างการเผา ภายหลังการเผาได้ สุ่มเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงทุกแปลงตัวอย่าง เพื่อ ติดตาม การเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเชื้อเพลิงทุก 2 เดือน เป็นระยะเวลา 1 ปี ผลการศึกษาพบว่าปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผาเฉลี่ยในพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดชัน เท่ากับ 6.46 และ 5.30 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ปริมาณเชื้อเพลิงเหลือหลังเผาเฉลี่ยเท่ากับ 2.83 และ 1.62 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ เเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้เฉลี่ยเท่ากับ 55.93 และ 69.27 เเปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อัตราการลุกลามของไฟในพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดชันมีค่าเท่ากับ 4.40 และ 2.44 เมตรต่อนาที ตามลำดับ ความรุนแรงของไฟในพื้นที่ราบมีแนวโน้มสูงกว่าพื้นที่ลาดชัน เท่ากับ 542.84 และ 291.50 กิโลวัตต์ต่อเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพฤติกรรมไฟระหว่างทั้งสองพื้นที่นี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอุณหภูมิไฟที่ระดับความสูงของไฟ 20 และ 50 เซนติเมตร พบว่า อุณหภูมิของไฟที่ระดับความสูงของไฟ 20 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าที่ความสูง 50 เซนติเมตร ทั้งในพื้นที่ราบ (537.27 และ 355.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) และในพื้นที่ลาดชัน (525.07 และ 348.84 องศาเซลเซียสตามลำดับ) ปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังการเผาในพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดชันที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านไป 2 เดือน และเริ่มคงที่เมื่อผ่านไป 4 – 6 เดือน

คำสำคัญ: ลักษณะเชื้อเพลิง พฤติกรรมไฟ ป่าเต็งรังผสมสน โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์

Abstract: Characterization of fuel and fire behavior was carried out in Pine-Dipterocarp Forest at Ban Watchan Royal Project, Chiang Mai province. Six 14 × 14 m. plots were setup in flat terrain and another six 14 × 14 m. plots were located in slope terrain. Pre-burn fuel loads was determined in four 1 × 1 m subplots located at the corner of each plot. Randomly, six plots (3 for slope and 3 for flat terrain) were

selected to prescribe burning. Burning took place in early of March 2011. During burning experiment, rate of fire spread, flame height, fire temperature as well as weather conditions were continuously recorded. Fuel consumption, fireline intensity and flame length were calculated. Post-burn fuel recovery was monitored every two months for 1 year.

The results showed that the pre-burn fuel loads in flats and slopes terrain plots were 6.46 and 5.30 tons per hectare, respectively. The residues left after burning for the slope and the flat terrain were 2.83 and 1.62 tons per hectare, respectively, these equivalent to 55.93 and 69.27 % of fuel consumption, respectively. Rate of fire spread and fireline intensity for the flat terrain (4.40 m/min. and 542.84 kW/m.) were higher than those in the slope terrain (2.44 m/min. and 291.50 kW/m.) , though there were no significant difference in fire behavior between this two areas. Obviously, the fire temperatures at 20 cm. aboveground (537.27 and 525.07 °C for the flat and slope terrain, respectively) were significantly higher than that of the 50 cm aboveground (355.50 and 348.84 °C for the flat and slope terrain, respectively). The recovery of the fuel loads for two months after burning experiment, both slope and flat terrain, tended to decrease. Thereafter, the recovery rate stabilized for 4-6 months.

Keywords: Fuel Characteristic, Fire Behavior, Pine-Dipterocarp Forest, Ban Watchan Royal Project

บทนำ

ไฟป่าเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมกับทรัพยากรป่าไม้ ไฟจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบ 3 อย่าง ได้แก่ ความร้อน เชื้อเพลิง และอากาศ มารวมกันเป็นปริมาณและสัดส่วนที่พอเหมาะที่จะก่อให้เกิดกระบวนการสันดาป ซึ่งเรียกองค์ประกอบนี้ว่า สามเหลี่ยมไฟ (Fire Triangle) ในองค์ประกอบของสามเหลี่ยมไฟดังกล่าว เชื้อเพลิงนับว่ามีลักษณะพิเศษกว่าองค์ประกอบอื่นๆ คือ นอกจากจะเป็นองค์ประกอบหลักในสามเหลี่ยมไฟแล้วยังมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมไฟโดยตรงอีกด้วย นอกจากนี้ เชื้อเพลิงยังสามารถจัดการได้ง่ายกว่าความร้อน และอากาศ ดังนั้น การควบคุมและดับไฟป่าจึงมุ่งเน้นไปที่ การจัดการเชื้อเพลิงเป็นหลัก เพื่อให้ การควบคุมและดับไฟป่าได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะเชื้อเพลิงเพื่อที่จะนำผลจากการศึกษาไปใช้ในการจัดการเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสม และ พฤติกรรมของไฟป่า คือ

ลักษณะที่ไฟแสดงออกมาเมื่อมีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น ความเร็วในการลุกลาม ความยาวของเปลวไฟ และลักษณะอื่นๆที่เห็นได้ ความแตกต่างของพฤติกรรมไฟ ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ ที่เรียกว่า สามเหลี่ยมพฤติกรรมไฟ (fire - behavior triangle) ได้แก่ เชื้อเพลิง อากาศ และสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นไฟที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ ที่มีความแตกต่างกันในปัจจุบัน ดังกล่าว จึงมักมีพฤติกรรมไฟที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อแนวทางการจัดการไฟที่ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติอื่น ๆ และรวมถึงด้านเศรษฐกิจและสังคมของชุมชนในพื้นที่นั้น ๆ ด้วย

โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ สภาพพื้นที่เป็นป่าสนสองใบและสนสามใบซึ่งใหญ่ที่สุดของประเทศไทย พร้อมทั้งยังมีระบบนิเวศที่สมบูรณ์ แต่การเกิดไฟป่าขึ้นทุกปีในหน้าแล้ง ทำให้เกิดปัญหาหมอกควัน ทำให้ทำให้ทัศนียภาพที่สวยงามสูญเสียไป ดังนั้นการศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบเชื้อเพลิงในบริเวณของป่าเต็งรังผสมสนใน

โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์นั้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนควบคุมไฟป่าในพื้นที่ป่าเต็งรังผสมสน โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่

สถานที่ทำการศึกษา

โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 18 องศา 59 ลิปดา – 19 องศา 19 ลิปดา เหนือ และเส้นแวงที่ 98 องศา 16 ลิปดา – 98 องศา 40 ลิปดา ตะวันออก ตั้งอยู่ในเขตอำเภอภักดีชุมพล (แยกออกมาจาก อำเภอแม่แจ่ม) จังหวัดเชียงใหม่ ครอบคลุมพื้นที่ทั้งสิ้น 242 ตารางกิโลเมตรหรือเนื้อที่ 151,250 ไร่ ตั้งอยู่ในพื้นที่ป่าสนวัดจันทร์ ซึ่งได้ชื่อว่าเป็นป่าสนที่มีพื้นที่กว้างใหญ่ที่สุดของประเทศ เป็นผืนป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์เป็นอย่างมาก

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การเลือกพื้นที่และวางแปลงตัวอย่าง

คัดเลือกพื้นที่ตัวอย่างมีความลาดชันแตกต่างกัน สองลักษณะคือ 1) พื้นที่ค่อนข้างราบ มีความลาดชันระหว่าง 0-20 % และ 2) พื้นที่ลาดชันสูง มีความลาดชันประมาณ 20-45 % จากนั้นวางแปลงตัวอย่างขนาด ขนาด 14 × 14 เมตร พื้นที่ละ 6 แปลง

2. การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลในภาคสนาม ได้แบ่งการปฏิบัติงาน 2 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาข้อมูลลักษณะเชื้อเพลิงก่อนเผาและหลังเผา และ 2) ศึกษาพฤติกรรมไฟระหว่างการเผา ทั้งสองพื้นที่ โดยดำเนินการดังนี้

ก่อนเผา

เก็บเชื้อเพลิงทั้งหมดก่อนเผาโดยแบ่งประเภท เชื้อเพลิงออกเป็น เศษซากพืช (litter) และไม้พื้นล่าง (undergrowth) เก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงโดยสุ่มวางแปลงขนาด

1 × 1 เมตร บริเวณมุมของขอบแปลงขนาด 14 × 14 เมตร จำนวน 4 จุด พร้อมทั้งประเมินเปอร์เซ็นต์ เชื้อเพลิงปกคลุมของเชื้อเพลิงและไม้พื้นล่าง และใช้กรรไกรตัดพืชทุกชนิดให้ชิดผิวดิน นำใส่ถุงและชั่งน้ำหนักสด และสุ่มเก็บเชื้อเพลิงตัวอย่างละประมาณ 100 กรัม บรรจุใส่ถุงพลาสติกปิดปากถุงให้แน่น เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้นของเชื้อเพลิง

พฤติกรรมไฟ

ทำการสุ่มแปลงเผา โดยแปลงที่เผาในแปลงที่ค่อนข้างราบจำนวน 3 แปลง ในวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2555 และแปลงที่ลาดชันสูงอีก 3 แปลง ในวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2555 ก่อนเผาติดตั้งเครื่องสภาพภูมิอากาศภาคสนาม pocket weather meter: Kestrel-4500 โดยวัดความเร็วลม, ทิศทางลม และอุณหภูมิระหว่างเผา โดยวัดซ้ำทุก 10 วินาที และทำแนวกันไฟขนาดกว้างประมาณ 3 เมตร รอบแปลงขนาด 14 × 14 เมตร และนำแท่งเหล็กความยาว 1 เมตร ปักไว้ทุก 2 เมตร จำนวน 7 แท่ง จากขอบแปลงด้านหนึ่งถึงขอบแปลงอีกด้านหนึ่ง เพื่อสามารถประมาณความสูงของไฟ และอัตราการลุกลามทุก 2 เมตร

เผาแปลงทดลองขนาด 14 × 14 เมตร โดยในแปลงลาดชัน สูงจะเผาจากขอบแปลงด้านล่างขึ้นตามระดับความลาดชัน ส่วนในแปลงที่ราบได้เผาจากบริเวณขอบแปลงด้านเหนือลม พร้อมทั้งวัดอัตราการลุกลาม โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่ไฟลุกไหม้จากขอบแปลงด้านหนึ่งและบันทึกเวลาเมื่อไหม้ทุกๆ ระยะ 2 เมตร จนไปถึงขอบแปลงอีกด้านหนึ่ง พร้อมทั้งประมาณความสูงของเปลวไฟและวัดอุณหภูมิของไฟระหว่างเผาด้วยเครื่อง digital infrared camera: Minolta TA-510 โดยวัดอุณหภูมิของเปลวไฟที่ระดับ 20 และ 50 เซนติเมตร ระดับละ 10 ครั้ง ทัวแปลงตัวอย่างที่กำลังถูกเผา

ภายหลังเผา

ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงที่เหลือหลังจากเผาโดยแบ่ง ประเภทเชื้อเพลิงออกเป็นเถ้า (ash) ถ่าน (charred

material) และส่วนที่ไม่ติดไฟ (unburned material) โดยวางแปลงขนาด 50 × 50 เซนติเมตร บริเวณมุมแปลงขนาด 14 × 14 เมตร จำนวน 4 แปลง และชั่งน้ำหนักสด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้นของเชื้อเพลิง

การติดตามข้อมูล

หลังจากเผา 2, 4 และ 6 เดือน เก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงโดยสุ่มวางแปลงขนาด 1 × 1 เมตร บริเวณมุมของขอบแปลงขนาด 14 × 14 เมตร จำนวน 4 จุด เพื่อเก็บเชื้อเพลิงทั้งในแปลงที่ถูก เผา และควบคุมไฟ โดยแบ่งประเภทเชื้อเพลิงออกเป็น เศษซากพืช (litter) และไม้พื้นล่าง (undergrowth) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิง

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

หาความชื้นของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่เก็บมาจากแปลงทดลองนำมาชั่งน้ำหนักสด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักแห้งคงที่ และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเชื้อเพลิง โดยใช้สูตรสำเร็จดังนี้

$$\% \text{ MC} = \frac{\text{G.W.} - \text{O.W.}}{\text{O.W.}} \times 100$$

O.W.

เมื่อ MC = ปริมาณความชื้น (%)

G.W. = น้ำหนักสด (กรัม),

O.W. = น้ำหนักแห้ง (กรัม)

พฤติกรรมไฟ

พฤติกรรมไฟสามารถคำนวณตามสูตรของ Byram (1959) ได้ดังนี้

$$I = 0.007 \text{ HWaR}$$

เมื่อ I = fireline intensity (kW/m)

H = heat yield (cal/g)

Wa = loading of available fuel (ton/ha)

R = rate of fire spread (m/min)

ในการคำนวณครั้งนี้ใช้ค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิง (H) = 4,457.23 แคลอรี/กรัม ซึ่งเป็นค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง (บุญส่ง, 2541)

หลังจากทราบความรุนแรงของไฟ สามารถนำมาคำนวณความยาวของไฟโดยใช้สูตรของ Byram (1959) ดังนี้

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

เมื่อ L = flame length (m)

I = fireline intensity (kW/m)

ผลและวิจารณ์

5. เชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผา

ผลการศึกษา พบว่า บริเวณพื้นที่ ค่อนข้างราบ มีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 6.46±1.40 ตันต่อเฮกแตร์ จำแนกเป็น เศษ ซากพืช และไม้พื้นล่างเฉลี่ย เท่ากับ 6.00±1.45 และ 0.46±0.24 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ส่วนในพื้นที่ลาดชันสูง มีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 5.30±0.29 ตันต่อเฮกแตร์ จำแนกเป็นเศษ ซากพืช และไม้พื้นล่างเฉลี่ยเท่ากับ 4.63±0.12 และ 0.67±0.20 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงในพื้นที่ราบ จะมีปริมาณมากกว่าเชื้อเพลิงในพื้นที่ลาดชันสูง ซึ่งอาจเกิดจากบริเวณพื้นที่ลาดชัน สูงนั้นเกิดการสูญเสียเศษซากพืชได้ง่าย เนื่องจากอิทธิพลของลมหรือน้ำไหลบ่าช่วงฤดูฝน และเศษซากพืชดังกล่าวนั้นลงมาสะสมบริเวณพื้นที่ราบ ส่วนพื้นที่ราบนั้น อาจลดลงเนื่องจากการพัดพาได้บ้างแต่เป็นจำนวนที่น้อย ซึ่งปริมาณเศษเชื้อเพลิงบริเวณที่ราบจากการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับ รายงานของ ศิริ และ สานิตย์ (2535) ที่พบว่าปริมาณเชื้อเพลิง บริเวณพื้นที่ป่าเต็งรังที่ราบ ในจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเท่ากับ 5.2 ตันต่อเฮกแตร์ แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติ หาค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ

ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผา ระหว่างพื้นที่ราบกับพื้นที่ลาดชัน พบว่า ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผาในพื้นที่ราบมีมากกว่าในพื้นที่ลาดชัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สิ่งที่เหลือจากการเผา

เมื่อพิจารณาสิ่งที่เหลือจากการเผาโดยจำแนกเป็น ชี้เถา ถ่าน และส่วนที่ไม่ติดไฟ พบว่าพื้นที่ค่อนข้างราบ มีปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผาเฉลี่ย เท่ากับ 2.83 ± 0.74 ตันต่อเฮกแตร์ โดยแบ่งเป็น ชี้เถา ถ่าน และส่วนที่ไม่ติดไฟ เฉลี่ยเท่ากับ 0.51 ± 0.17 , 0.28 ± 0.04 และ 2.04 ± 0.55 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ ส่วนในพื้นที่ลาดชัน สูง มีปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผาเฉลี่ย เท่ากับ 1.62 ± 0.33 ตันต่อเฮกแตร์ โดยแบ่งเป็น ชี้เถา ถ่าน และส่วนที่ไม่ติดไฟ เฉลี่ยเท่ากับ 0.47 ± 0.16 , 0.09 ± 0.04 และ 1.06 ± 0.32 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่าปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผาในพื้นที่ราบมากกว่าปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผาในพื้นที่ลาดชัน เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงในพื้นที่ราบมากกว่าปริมาณเชื้อเพลิงในพื้นที่ลาดชัน อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติ หาค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยของปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ ระหว่างพื้นที่ราบกับพื้นที่ลาดชัน พบว่าสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ ในพื้นที่ราบมีมากกว่าสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ ในพื้นที่ลาดชัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้

ผลการศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ พบว่า ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ไปในพื้นที่ ค่อนข้างราบ และพื้นที่ลาดชันสูง มีปริมาณใกล้เคียงกัน (3.63 ± 1.10 และ 3.68 ± 0.59 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามบริเวณพื้นที่ลาดชันสูง อาจมีผลจากการแผ่รังสีความร้อนจากเปลวไฟไปยังเชื้อเพลิงด้านหน้าซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงแห้งเร็วและติดไฟได้ดี ส่งผลให้ มีโอกาสที่เชื้อเพลิงจะเผาไหม้ได้ดีกว่าพื้นที่ราบ (ศิริ, 2532)

เปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ ของเชื้อเพลิง พบว่า พื้นที่ลาดชันมีเปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ได้ดีกว่าพื้นที่ราบอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเท่ากับ 69.27 ± 7.76 และ 55.93 ± 8.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) อาจเนื่องมาจาก ปัจจัยความ ลาดชัน สูงที่ช่วยส่งเสริมการส่งผ่านความร้อนของเปลวไฟไปยังเชื้อเพลิงได้ดี ดังจะเห็นได้จากปริมาณการเกิดชี้เถาบริเวณที่ลาดชันสูงพบมากกว่าที่ราบ (ภาพที่ 1 และ 2)

จะเห็นได้ว่าปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ในพื้นที่ค่อนข้างราบโดยแบ่งเป็น ชี้เถา ถ่าน ส่วนที่ไม่ติดไฟ มีค่าเท่ากับ 18, 10 และ 72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 1) ส่วนในพื้นที่ลาดชันสูงปริมาณสิ่งที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ โดยแบ่งเป็น ชี้เถา ถ่าน ส่วนที่ไม่ติดไฟ มีค่าเท่ากับ 29, 6 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 2)

สภาพอากาศขณะเผาแปลง

จากการติดตั้งเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่เก็บข้อมูล ทำให้ทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศในเวลา ที่ทำการเผาในพื้นที่ทดลอง คือ ความเร็วลม และอุณหภูมิของอากาศ โดยในพื้นที่ ค่อนข้างราบมีค่า ความเร็วลม เท่ากับ 1.75 ± 0.68 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของอากาศ เท่ากับ 28.70 ± 0.28 องศาเซลเซียส ในพื้นที่ลาดชัน สูงมีค่า ความเร็วลม เท่ากับ 1.10 ± 0.12 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของอากาศ เท่ากับ 28.44 ± 0.63 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติ หาค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ ระหว่างพื้นที่ราบกับพื้นที่ลาดชัน พบว่าความเร็วลม อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ราบมากกว่าในพื้นที่ลาดชัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในพื้นที่ราบต่ำกว่าในพื้นที่ลาดชันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

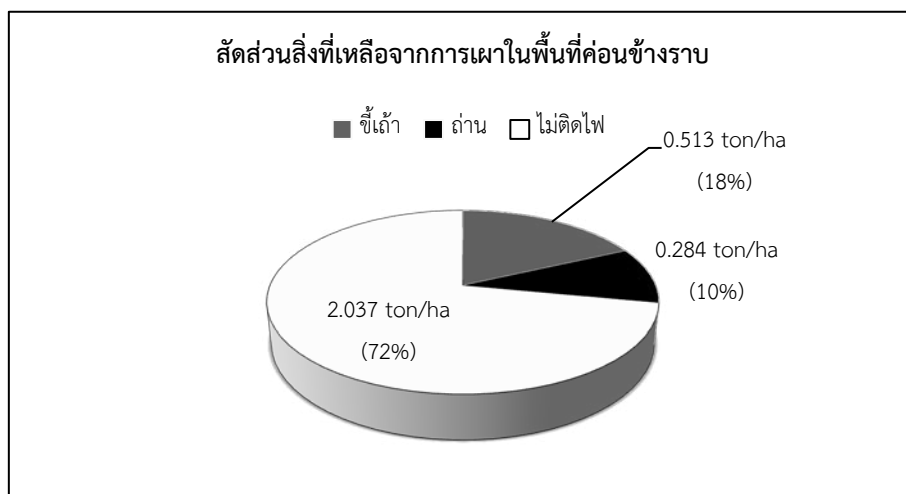
ตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผา ปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผา ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ และเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงที่ถูกเผา ในพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดชันของป่าเต็งรังผสมสน โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่

ประเภทแปลง	แปลง	ปริมาณเชื้อเพลิงในพื้นที่ (ton/ha)			เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงถูกเผา
		ก่อนเผา	หลังเผา*	ถูกเผาไหม้	
ที่ค่อนข้างราบ	1	6.81	3.60	3.21	47.14
	2	7.65	2.78	4.88	63.70
	3	4.93	2.12	2.81	56.94
	ค่าเฉลี่ย	6.46 ^a (1.40)	2.83 ^a (0.74)	3.63 ^a (1.10)	55.93 ^a (8.30)
ที่ลาดชันสูง	1	5.62	1.36	4.27	75.88
	2	5.07	1.99	3.08	60.73
	3	5.21	1.50	3.71	71.18
	ค่าเฉลี่ย	5.30 ^a (0.29)	1.62 ^a (0.33)	3.68 ^a (0.59)	69.27 ^a (7.76)

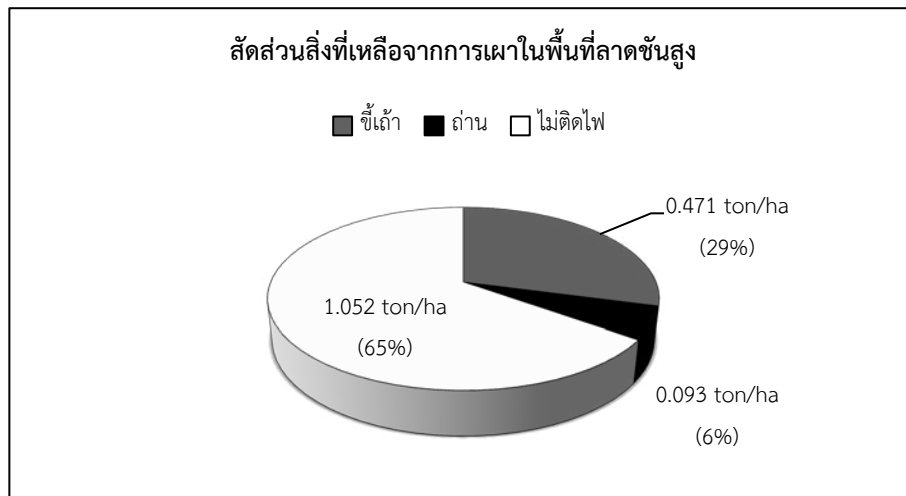
หมายเหตุ : อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ^a แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของลักษณะเชื้อเพลิงระหว่างการเผาในพื้นที่ราบกับพื้นที่ลาดชัน

ตัวเลขใน () แสดงค่า Standard Deviation (SD)

* สิ่งที่เหลือจากการเผา ประกอบด้วย ชี้เถ่า ถ่าน และส่วนไม่ติดไฟ



ภาพที่ 1 สัดส่วนของสิ่งที่เหลือภายหลังกการเผา (ชี้เถ่า, ถ่าน, ส่วนไม่ติดไฟ) ในพื้นที่ค่อนข้างราบ



ภาพที่ 2 สัดส่วนของสิ่งที่เหลือทิ้งเหลือภายหลังการเผา (ชี้เถ้า, ถ่าน, ส่วนไม้ติดไฟ) ในพื้นที่ลาดชันสูง

ตารางที่ 2 ข้อมูลความเร็วลม และอุณหภูมิของอากาศ ขณะเผาแปลงทดลอง ในป่าเต็งรังผสมสน โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่

ประเภทแปลง	แปลง	WS	TP
		(m/s)	(°C)
ที่ค่อนข้างราบ	1	1.69	28.38
	2	2.46	28.86
	3	1.09	28.88
	เฉลี่ย	1.75 ^a (0.68)	28.70 ^a (0.28)
ที่ลาดชันสูง	1	1.24	28.70
	2	1.04	27.72
	3	1.04	28.90
	เฉลี่ย	1.10 ^a (0.12)	28.44 ^a (0.63)

หมายเหตุ : WS = ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที), TP = อุณหภูมิของอากาศ (องศาเซลเซียส)
 อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน^a แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของสภาพอากาศ
 ระหว่างการเผาในพื้นที่ราบกับพื้นที่ลาดชัน
 ตัวเลขใน () แสดงค่า Standard Deviation (SD)

6. พฤติกรรมไฟในป่าเต็งรังผสมสน

อัตราการลุกลามของไฟ

ผลการศึกษา พบว่า ที่ ค่อนข้าง ราบมีอัตราการลุกลามเฉลี่ยของไฟ เท่ากับ 4.40 ± 3.08 เมตรต่อนาที ซึ่งมากกว่าในพื้นที่ลาดชัน สูง มีอัตราการลุกลามเฉลี่ยของไฟ เท่ากับ 2.44 ± 1.08 เมตรต่อนาที (ตารางที่ 3) เนื่องจาก

ความเร็วลมในพื้นที่ราบ เท่ากับ 1.75 ± 0.68 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีความเร็วสูงกว่าในพื้นที่ลาดชัน เท่ากับ 1.10 ± 0.12 เมตรต่อวินาที จึงทำให้ไฟสามารถลุกลามได้เร็ว (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงในพื้นที่ราบดีกว่าพื้นที่ลาดชัน เพราะในพื้นที่ลาดชันเชื้อเพลิงอาจร่วงหล่นลงไปอยู่บริเวณด้านล่างของพื้นที่ ทำให้เชื้อเพลิงอาจเกิดความไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้อัตราการลุกลามในพื้นที่ลาดชันสูงน้อยกว่าในพื้นที่ราบ การศึกษาของ สุรเด่น (2532) อัตราการลุกลามของไฟในป่าเต็งรัง เท่ากับ 2.0 เมตรต่ออนาที ซึ่งมีอัตราการลุกลามที่น้อยกว่าพื้นที่ศึกษา เนื่องจากพื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่สูงมีความเร็วลมที่สูงกว่า และในซากพืชที่เป็นใบสนมีลักษณะเชื้อเพลิงที่เล็กกว่าและมีน้ำมันสน จึงทำให้เกิดการลุกลามที่เร็วกว่า อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติ ค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการลุกลามเฉลี่ย ระหว่างพื้นที่ราบกับพื้นที่ลาดชัน พบว่าอัตราการลุกลามเฉลี่ยในพื้นที่ราบสูงกว่าอัตราการลุกลามเฉลี่ยในพื้นที่ลาดชันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอัตราการลุกลามของแต่ละแปลงย่อยมีความผันแปรค่อนข้างสูง ($p > 0.05$)

ความรุนแรงของไฟ

เมื่อนำอัตราการลุกลามของไฟมาคำนวณหาค่าความรุนแรงไฟ พบว่า ค่าความรุนแรงไฟเฉลี่ยในพื้นที่ราบมีค่าแนวโน้มสูงกว่าพื้นที่ลาดชัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (542.84 ± 432.05 และ 291.50 ± 172.38 กิโลวัตต์ต่อเมตร ตามลำดับ) (ตารางที่ 3) โดยความรุนแรงของไฟในที่ค่อนข้างราบจัดเป็นไฟรุนแรงปานกลาง ส่วนไฟในที่ลาดชันสูงจัดเป็นไฟที่มีความรุนแรงน้อย โดยเปรียบเทียบ จากการศึกษาของ Andrew (1980) ที่ได้กำหนดว่าไฟป่าที่มีความรุนแรงน้อย จะมีค่าความรุนแรงของไฟไม่เกิน 345 กิโลวัตต์ต่อเมตร

(หรือไม่เกิน 100 ปีที่อยู่ต่อพื้นที่) และมีความยาวของเปลวไฟน้อยกว่า 1.50 เมตร ไฟนี้สามารถกระทำการดับโดยตรงที่หัวไฟ โดยใช้เครื่องมือธรรมดา ส่วนไฟรุนแรงปานกลาง จะมีค่าความรุนแรงของไฟอยู่ในช่วง 346 ถึง 1,729 กิโลวัตต์ต่อเมตร (หรือ 100 ถึง 500 ปีที่อยู่ต่อพื้นที่) ไม่สามารถสกัดกั้นที่หัวไฟได้โดยใช้เครื่องมือธรรมดา ต้องใช้เครื่องฉีดน้ำ ใช้รถแทรกเตอร์ในการทำแนวควบคุมไฟ และต้องใช้สารเคมีโปรยจากเครื่องบิน

ความยาวของเปลวไฟ

ผลการศึกษาคความยาวของเปลวไฟระหว่างพื้นที่พบว่า พื้นที่ค่อนข้างราบมีค่าความยาวของเปลวไฟสูงกว่าพื้นที่ลาดชันสูง อย่างไม่มีนัยสำคัญ ทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.33 ± 0.66 และ 1.06 ± 0.28 เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับความรุนแรงไฟ ประกอบกับความเร็วลมที่สูงทำให้ความยาวเปลวไฟในที่ราบเพิ่มขึ้นด้วย (ตารางที่ 2) ความยาวของไฟที่ได้ในสองพื้นที่นี้มีค่าอยู่ในระดับต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการรายงานการศึกษาคความยาวของเปลวไฟในป่าเต็งรัง ที่พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 8 เมตร (สันต์, 2543)

ความสูงของเปลวไฟ

ผลการศึกษา พบว่า ความสูงของเปลวไฟเฉลี่ยในพื้นที่ราบมีค่าต่ำกว่าพื้นที่ลาดชัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.55 ± 0.05 และ 0.59 ± 0.49 เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3) อาจเป็นผลมาจาก ในพื้นที่ราบมีความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่าพื้นที่ลาดชัน (ตารางที่ 2) ซึ่งจะพัดให้เปลวไฟราบเอนลงต่ำใกล้ผิวดินมากกว่าในพื้นที่ลาดชัน

ตารางที่ 3 พฤติกรรมไฟในป่าเต็งรังผสมสน โครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่

ประเภทแปลง	ชื่อแปลง	Wa (ton/ha)	R (m/min)	I (kW/m)	L (m)	H (m)
------------	----------	----------------	--------------	-------------	----------	----------

ที่ค่อนข้างราบ	1	3.21	6.27	627.97	1.55	0.59
	2	4.88	6.09	926.00	1.85	0.59
	3	2.81	0.85	74.56	0.58	0.49
	เฉลี่ย	3.63 ^a (1.10)	4.40 ^a (3.08)	542.84 ^a (432.05)	1.33 ^a (0.66)	0.55 ^a (0.05)
ที่ลาดชันสูง	1	4.27	3.68	490.49	1.38	1.16
	2	3.08	1.95	187.77	0.89	0.29
	3	3.71	1.70	196.25	0.91	0.33
	เฉลี่ย	3.68 ^a (0.59)	2.44 ^a (1.08)	291.50 ^a (172.38)	1.06 ^a (0.28)	0.59 ^a (0.49)

หมายเหตุ : Wa = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ (ตันต่อเฮกตาร์),
 R = อัตราการลุกลามของไฟ (เมตรต่อนาที), I = ความรุนแรงของไฟ (กิโลวัตต์ต่อเมตร),
 L = ความยาวเปลวไฟ (เมตร), H = ความสูงเปลวไฟ (เมตร)
 อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน^a แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ของพฤติกรรมไฟ
 ระหว่างการเผาในพื้นที่ราบกับพื้นที่ลาดชัน
 ตัวเลขใน () แสดงค่า Standard Deviation (SD)

อุณหภูมิของไฟขณะเผา

อุณหภูมิไฟที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร พบว่า
 อุณหภูมิไฟเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ราบมีค่าสูงกว่าพื้นที่ลาดชัน
 อย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยมีค่าเท่ากับ 537.27 ± 47.55 และ
 525.07 ± 31.19 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 4) ส่วน
 อุณหภูมิไฟที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร พบว่า อุณหภูมิ
 ไฟเฉลี่ยในพื้นที่ราบมีค่า สูงกว่าพื้นที่ลาดชัน อย่างไม่มี
 นัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 355.50 ± 13.78 และ
 348.84 ± 39.88 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 4) จะ
 เห็นได้ว่าอุณหภูมิไฟที่วัดได้ที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร
 จะมีค่าสูงกว่าที่ระดับ 50 เซนติเมตร ทั้งสองพื้นที่ เนื่องจาก
 ที่ระดับใกล้เชื้อเพลิงจะมีอัตราการเผาไหม้ที่สูงกว่า

7. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงภายหลัง เผา

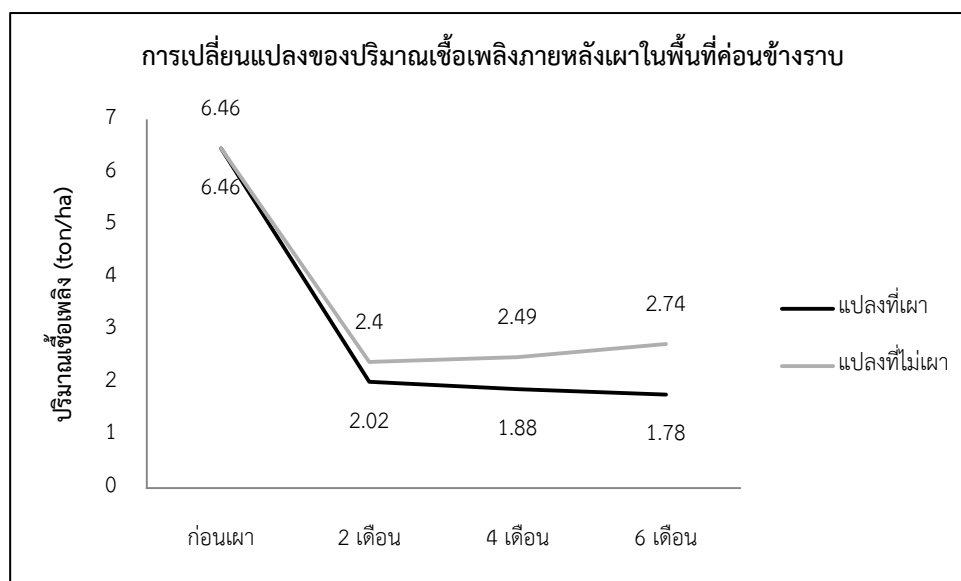
การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังการ
 เผาบริเวณพื้นที่ ค่อนข้าง ราบ พบว่า ปริมาณของเชื้อเพลิงมี
 แนวโน้มลดลง ภายหลังจากการเผา 2 เดือน และคงที่เมื่อ
 ผ่านไป 4 - 6 เดือน โดยมีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยทั้งหมด
 เท่ากับ 2.02 ± 0.49 , 1.88 ± 0.51 และ 1.78 ± 0.59 ตันต่อเฮก
 ตาร์ ตามลำดับ และส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงที่เป็นเศษซากพืช
 มากกว่าไม้พื้นล่าง ในขณะที่ปริมาณเชื้อเพลิงในแปลง
 ควบคุมไฟ พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 2 เดือน
 และคงที่เมื่อผ่านไป 4 - 6 เดือน เท่ากับ 2.40 ± 0.48 ,
 2.49 ± 0.61 และ 2.74 ± 1.22 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และ
 ส่วนใหญ่เป็นซากพืชมากกว่าไม้พื้นล่าง (ภาพที่ 4)

ตารางที่ 4 อุณหภูมิของไฟที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร และ 50 เซนติเมตร ในป่าเต็งรังผสมสน โครงการหลวงบ้านวัด
 จันท์ จังหวัดเชียงใหม่

ประเภทแปลง	ชื่อแปลง	อุณหภูมิไฟ (°C)
------------	----------	-----------------

		ความสูง 20 cm	ความสูง 50 cm
ที่ค่อนข้างราบ	1	485.11	339.60
	2	548.52	363.94
	3	578.19	362.97
	เฉลี่ย	537.27 ^a (57.55)	355.50 ^a (13.78)
ที่ลาดชันสูง	1	543.02	319.43
	2	489.06	332.86
	3	543.13	394.24
	เฉลี่ย	525.07 ^a (31.19)	348.84 ^a (39.88)

หมายเหตุ : อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน^a แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ของอุณหภูมิไพรระหว่าง การเผาในพื้นที่ราบกับพื้นที่ลาดชัน
ตัวเลขใน () แสดงค่า Standard Deviation (SD)

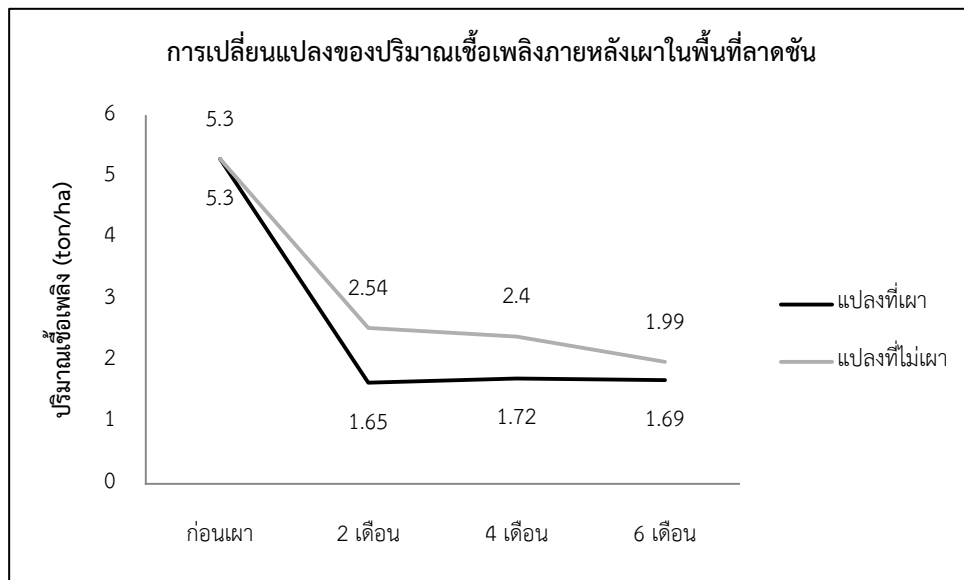


ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังเผาในพื้นที่ค่อนข้างราบ

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังการเผาบริเวณพื้นที่ลาดชันสูง พบว่า ปริมาณของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง ภายหลังจากการเผา 2 เดือน และคงที่เมื่อผ่านไป 4 - 6 เดือน โดยมีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 1.65 ± 0.38 , 1.72 ± 0.49 และ 1.69 ± 0.49 ตันต่อเฮก

แตร์ ตามลำดับ และส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงที่เป็นเศษซากพืชมากกว่าไม้พื้นล่าง ในขณะที่ปริมาณเชื้อเพลิงในแปลงควบคุม พบว่า มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 2 เดือน และคงที่เมื่อผ่านไป 4 - 6 เดือน เท่ากับ 2.54 ± 0.79 , 2.40 ± 0.46

และ 1.99 ± 0.47 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ และส่วนใหญ่ ญ
เป็นซากพืชมากกว่าไม้พืชล่าง (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังเผาในพื้นที่ลาดชันสูง

การเปลี่ยนแปลงลักษณะของเชื้อเพลิงทั้งในแปลงที่
ค่อนข้างราบและแปลงที่ลาดชันสูง ที่เกิดจากการเผาและ
แปลงควบคุมไฟ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึง
กัน คือ ภายหลัง 2 เดือน ปริมาณเชื้อเพลิงจะลดลงอย่าง
มาก เนื่องจากเข้าสู่ฤดูฝนทำให้เกิดการย่อยสลายตาม
ธรรมชาติอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นช่วงระหว่าง 4 - 6
เดือน ปริมาณเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจาก
ต้นไม้ใหญ่ยังไม่ถึงช่วงของการทิ้งใบ อย่างไรก็ตามปริมาณ
เชื้อเพลิงในพื้นที่ควบคุมไฟจะสูงกว่าพื้นที่ผ่านการเผาทั้งสองพื้นที่

สรุป

บริเวณพื้นที่ราบ มีปริมาณเชื้อเพลิง ก่อนเผา
เฉลี่ยเท่ากับ 6.46 ตันต่อเฮกแตร์ ซึ่งมีค่ามากกว่าพื้นที่
ลาดชันสูง ที่มีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 5.30 ตันต่อ

เฮกแตร์ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ พบว่า ปริมาณ
เชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ไปในพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดชันสูง มี
ปริมาณใกล้เคียงกัน (3.63 และ 3.68 ตันต่อเฮกแตร์
ตามลำดับ) เปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ ในพื้นที่ลาดชันสูงมี
เปอร์เซ็นต์การเผาไหม้ได้ดีกว่าพื้นที่ราบ โดยมีค่า
เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเท่ากับ 69.27 และ 55.93 เปอร์เซ็นต์
ตามลำดับ

อัตราการลุกลามเฉลี่ยในพื้นที่ราบ เท่ากับ 4.40
เมตรต่อนาที ส่วนในพื้นที่ลาดชัน สูงมีอัตราการลุกลาม
เฉลี่ยเท่ากับ 2.44 เมตรต่อนาที ความรุนแรงของไฟเฉลี่ย
ในพื้นที่ราบ เท่ากับ 542.84 กิโลวัตต์ต่อเมตร ในพื้นที่
ลาดชันมีความรุนแรงไฟเฉลี่ย เท่ากับ 291.50 กิโลวัตต์ต่อ
เมตร ความยาวเปลวไฟเฉลี่ยในพื้นที่ราบ เท่ากับ 1.33
เมตร ในพื้นที่ลาดชันมีความยาวเปลวไฟเฉลี่ย เท่ากับ
1.06 เมตร อุณหภูมิไฟเฉลี่ยที่ ระดับ 20 และ 50

เซนติเมตร ในพื้นที่ราบเท่ากับ 537.27 และ 355.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในพื้นที่ลาดชันมีค่าอุณหภูมิไฟเฉลี่ย เท่ากับ 525.07 และ 348.84 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งปริมาณเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในที่ค่อนข้างราบและที่ลาดชันสูง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความรุนแรงของไฟในที่ค่อนข้างราบจัดเป็นไฟรุนแรงปานกลาง ไม่สามารถสกัดกั้นที่หัวไฟได้โดยใช้เครื่องมือธรรมดา ต้องใช้เครื่องฉีดน้ำ ใช้รถแทรกเตอร์ในการทำแนวควบคุมไฟ ส่วนไฟในที่ลาดชันสูงจัดเป็นไฟที่มีความรุนแรงน้อย ไฟนี้สามารถกระทำการดับโดยตรงที่หัวไฟ โดยใช้เครื่องมือธรรมดา

แนวโน้ม ปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังจากการเผา 2, 4 และ 6 เดือน ทั้งในพื้นที่ค่อนข้างราบและที่ลาดชันสูงมีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน โดยมีปริมาณเชื้อเพลิงลดลงในเวลา 2 เดือน และมีอัตราการที่เมื่อผ่านไป 4 – 6 เดือน

เอกสารอ้างอิง

บุญสูง สมเพาะ. 2541. แหล่งเชื้อเพลิงในป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ ณ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริ อัครฉัตร. 2532. การศึกษารูปแบบและอัตราการลุกลามของไฟในป่าเต็งรัง จังหวัดเชียงใหม่. รายงานการวิจัยโครงการควบคุมไฟป่าภูฝิงค์ ลำดับที่ 1 ฝ่ายควบคุมไฟป่า, กองจัดการป่าไม้, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ศิริ อัครฉัตร และ สานิตย์ กิตติศัพท์. 2535. ลักษณะของเชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง จังหวัดเชียงใหม่. รายงานการวิจัยสำนักงานช่วยเหลือผู้ประสบภัยธรรมชาติ. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

สันต์ เกตุปราณีต. 2543. ไฟป่าและสิ่งแวดล้อม. วนสาร กรมป่าไม้ 58 (1): 104-122.

สันต์ เกตุปราณีต, ปรีชา ธรรมานนท์ และ นริศ ภูมิภาคพันธ์. 2538. ผลกระทบของไฟป่าต่อทรัพยากรป่าไม้และ สัตว์ป่า อุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานอนุรักษ์ ทรัพยากรธรรมชาติ. ศูนย์วิจัยป่าไม้, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรเด่น สัญญาอาจ. 2532. ผลกระทบของไฟต่อพืชพรรณและดินในป่าเต็งรัง สะแกราช นครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Andrews, P.L. 1980. Testing the fire behavior model, pp. 70-77 In Proceeding Sixthconference One fire and forest meteorology. April 22-24, 1980. Society of American Foresters, Seattle, Washington.

Byram, G.M. 1959. Combustion of forest fuel. Chapter 3, pp. 61-69. In K.P. Davis. Forest Rice : Control and Use. McGraw-Hill, New York. p. 584