



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีวนวัฒน)

ปริญญา

เทคโนโลยีวนวัฒน

วนวัฒนวิทยา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง สมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของไฟในป่าสนเสื่อมโทรม และสังคมย่อยป่าสน
ผสมก่อ ณ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

Fuel Properties and Fire Behaviors of Degraded Pine Forest and Pine - Oak
Subcommunity at Nam Nao National Park, Phetchabun Province

นามผู้วิจัย นายวรเดช ตะรุสะดำรงเดช

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กอบศักดิ์ วันธงไชย, Dr.rer.nat.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สันต์ เกตุปราณีต, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์จรงค์ วัชรินทร์รัตน์, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, Dr.Arg)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสถิตี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรม และสังคมย่อยป่าสนผสมก่อ
ณ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

Fuel Properties and Fire Behaviors of Degraded Pine Forest and Pine - Oak Subcommunity
at Nam Nao National Park, Phetchabun Province

โดย

นายวรเดช ตะรุสะคำรงค์เดช

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีวนวัฒน)

พ.ศ. 2556

วเรช ตระสุระดำรงเดช 2556: สมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรม และสังคม
ย่อยป่าสนผสมก่อก่อน อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(เทคโนโลยีวนวัฒน) สาขาเทคโนโลยีวนวัฒน ภาควิชาวนวัฒนวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์กอบศักดิ์ วันธงไชย, Dr.rer.nat. 156 หน้า

สมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟ ในสังคมพืชป่าสนที่เสื่อมโทรม และในสังคมย่อยป่าสนผสมก่อก่อน
ได้ทำการศึกษาในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบ
สมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในสังคมพืชทั้งสองชนิด โดยวางแผนขนาด 50x50 เมตร จำนวนสังคมพืช
ละ 3 แปลง ทำการศึกษาในช่วงวันที่ 1 – 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 สมบัติของเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษา ได้แก่
ปริมาณเชื้อเพลิง, ความชื้นของเชื้อเพลิง, ความสูงของเชื้อเพลิง, การปกคลุมของเชื้อเพลิง, สิ่งกีดขวางเชื้อเพลิง
การเผาและเชื้อเพลิงที่ถูกเผา โดยเก็บข้อมูลก่อนและหลังเผา พฤติกรรมไฟและสภาพอากาศที่ทำการศึกษา ได้แก่
อัตราไฟลาม, อุณหภูมิของเปลวไฟ, ความเร็วลม, อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ โดยเก็บข้อมูลขณะทำ
การเผา, ความรุนแรงของไฟ และความยาวเปลวไฟ คำนวณโดยใช้สมการของ Byram (1959) ทำการประเมินถึง
ระดับอันตรายไฟป่าเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมไฟป่าตามวิธีการของ Andrew (1980) สร้างแบบจำลองอัตราไฟ
ลามโดยประยุกต์จากวิธีของ Rothermel (1972) เพื่อคาดการณ์พฤติกรรมไฟและเปรียบเทียบพฤติกรรมไฟที่ได้
จากการเผาจริง

ผลการศึกษา พบว่าสมบัติของเชื้อเพลิงทั้งหมด ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมไฟของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่า
มากกว่าในป่าสนผสมก่อก่อน โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อเพลิง, ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้, ความชื้นเชื้อเพลิง และ
ความสูงเชื้อเพลิง เท่ากับ 13.32 ตันต่อเฮกเตอร์, 9.65 ตันต่อเฮกเตอร์, ร้อยละ 87.05 และ 0.42 เมตร ตามลำดับ
ค่าเฉลี่ยดังกล่าวของป่าสนผสมก่อก่อน เท่ากับ 8.30 ตันต่อเฮกเตอร์, 2.33 ตันต่อเฮกเตอร์, ร้อยละ 83.28 และ 0.32 เมตร
ตามลำดับ พฤติกรรมไฟของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่ามากกว่าป่าสนผสมก่อก่อน โดยค่าเฉลี่ยของ อัตราไฟลาม, ความ
รุนแรงของไฟและความยาวเปลวไฟ ของป่าสนเสื่อมโทรม เท่ากับ 1.89 เมตรต่อนาที, 362.62 กิโลวัตต์ต่อเมตร
และ 1.20 เมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยดังกล่าวของป่าสนผสมก่อก่อน เท่ากับ 0.55 เมตรต่อนาที, 26.28 กิโลวัตต์ต่อเมตร
และ 0.34 เมตร ตามลำดับ ระดับอันตรายของไฟตามวิธีการควบคุมไฟป่าของ Andrew (1980) ป่าสนเสื่อมโทรม
มีความรุนแรงปานกลาง ป่าสนผสมก่อก่อนมีความรุนแรงต่ำ การคาดการณ์พฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรม มีอัตรา
ไฟลาม, ความรุนแรงของไฟและความยาวเปลวไฟ อยู่ระหว่าง 0.74 -21.55 เมตรต่อนาที 198.66 – 5,751.55
กิโลวัตต์ต่อเมตร และ 0.91 – 4.29 เมตรตามลำดับ สำหรับในป่าสนผสมก่อก่อน อยู่ระหว่าง 0.09 - 0.92 เมตรต่อ
นาที 15.06 – 156.04 กิโลวัตต์ต่อเมตร และ 0.28 - 0.82 เมตร ตามลำดับ ค่าพฤติกรรมไฟที่ได้จากการคาดการณ์
อยู่ในช่วงค่าพฤติกรรมไฟที่ได้จากการเผาจริง

Worradech Tarusadamrongdech 2013: Fuel Properties and Fire Behaviors of Degraded Pine Forest and Pine - Oak Subcommunity at Nam Nao National Park, Phetchabun Province. Master of Science (Silviculture Technology), Major Field: Silviculture Technology, Department of Silviculture. Thesis Advisor: Assistant Professor Kobsak Wanthongchai, Dr.rer.nat. 156 pages.

Fuel properties and fire behaviors of degraded pine forest and pine - oak subcommunity were carried out at Nam Nao national park, Phetchabun province. The investigation aimed to study and compare fuel properties and fire behaviors between subcommunities in 3 plots of 50x50 m size. Burning experiments were set up during the period from 1 to 20 February 2009. Fuel properties, i.e. fuel load, fuel moisture content, fuel bed depth, fuel coverage, post – burn residue and fuel consumption were recorded before and after burning. Fire behaviors parameters and weather condition, i.e. rate of fire spread, flame temperature, wind velocity, air temperature and relative humidity were recorded during burning experiment. Fireline intensity and flame length were determined using Byram’s formula (1959). Fire danger rating was evaluated using method of Andrew (1980). Rothermel’s fire spread model (1972) was applied to predict fire behavior parameters and compare to fire behavior of actual burning.

The result revealed that all fuel properties affecting fire behavior in degraded pine forest were greater than those of pine - oak forest. The average fuel load, fuel consumption, fuel moisture content and fuel height of degraded pine forest were 13.32 ton/ha, 9.65 ton/ha, 87.05 %, 0.42 m, respectively. The average values of those pine - oak subcommunity were 8.30 ton/ha, 2.33 ton/ha, 83.28 %, 0.32 m, respectively. All fire behaviors descriptors of degraded pine forest were greater than those of pine - oak forest. The average values of rate of fire spread, fireline intensity and flame length of degraded pine forest were 1.89 m/min, 362.62 kW/m and 1.20 m, respectively. The average values of those fire behaviors descriptors for pine - oak subcommunity were 0.55 m/min, 26.28 kW/m and 0.34 m, respectively. Fire danger rating index after Andrew (1980) method revealed that burning characteristic of degraded pine forest and pine - oak subcommunity were moderate and low intensities, respectively. The rate of fire spread, fireline intensity and flame length calculated from Rothermel’s fire spread model in degraded pine forest ranges from 0.74 -21.55 m/min, 198.66 – 5,751.55 kW/m and 0.91 – 4.29 m, respectively. The range values of those of pine - oak subcommunity were 0.09 - 0.92 m/min, 15.06 – 156.04 kW/m and 0.28 - 0.82 m, respectively. These observed fire behavior descriptors from burning experiment were within in the range of the predicted values calculated from the Rothermel’ s spread model.

Student’s signature

Thesis Advisor’s signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.กอบศักดิ์ วันธงไชย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.ดร.สันต์ เกตุปราณีต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ ประธานกรรมการสอบ และ ดร.วรพรรณ หิมพานต์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากร ภาควิชาวนวัฒนวิทยาที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณหัวหน้าอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว (คุณสิงขร รักษ์มณี) ผู้ช่วยหัวหน้าอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว (คุณเกษมสุข สุขสวัสดิ์) หัวหน้าสถานีควบคุมไฟป่าเพชรบูรณ์ (คุณพันธุ์พงษ์ คงเดชอดิศักดิ์) และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลงานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.รุ่งเรือง พูลศิริ ในการใช้ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาป่าไม้ ดร.ไกรสร วิริยะ ที่ได้ให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ คุณวิชนี บุญญะปฎิภาค ในการใช้ห้องปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ฝ่ายวิชาการ สำนักป้องกันปราบปรามและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ที่เอื้อเพื่อข้อมูลสถิติไฟป่า และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณนิสิตปริญญาโท และพี่ น้อง เพื่อน วนศาสตร์ที่ได้ให้การช่วยเหลือข้าพเจ้า อย่างดีตลอดมา คุณรัชну เกิดเชิดชู คุณสุขสวัสดิ์ สงนารถ คุณละอองดาว เถาว์พิมาย คุณนิติกร กวนคอนสาร คุณพิธิกร สุภาวงศ์ คุณศุภศิษย์ ศรีอักษรินทร์ คุณพิชิต ลำไย คุณกนกวรรณ พุสุวรรณ คุณศิริวัฒน์ สืบสาย คุณไพบรณัฐ น้อยทับทิม คุณอดิสร สายตรง คุณประกาศิต เกตุคำ คุณอภิสิทธิ์ กาลจักร คุณขวัญชัย ชินวงษ์ คุณพุดพิงษ์ พุ่มวิเศษ คุณชัยวัฒน์ หาดแก้ว รวมถึงท่านอื่นๆ ที่มิได้กล่าวนามไว้ในที่นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้สนับสนุนทุนในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา

วรเดช ตะรุสะดำรงเดช

เมษายน 2556

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	53
อุปกรณ์	53
วิธีการ	53
ผลและวิจารณ์	61
สรุปและข้อเสนอแนะ	117
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	120
ภาคผนวก	132
ภาคผนวก ก รายชื่อพรรณไม้ในพื้นที่ศึกษา	133
ภาคผนวก ข สูตรคณิตศาสตร์ของ Rothermel (1972)	143
ภาคผนวก ค ภาพการเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษา	152
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	156

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าของพฤติกรรมไฟต่อวิธีการควบคุมไฟฟ้า	19
2	ดัชนีไฟแสดงค่าความชื้นของเชื้อเพลิงในแต่ละระดับอันตรายจากไฟฟ้า ของป่าเต็งรัง บริเวณอุทยานแห่งชาติคอยสุเทพ-ปุย	20
3	มาตรการควบคุมไฟฟ้าจากดัชนีไฟฟ้า ของป่าเต็งรัง บริเวณอุทยานแห่งชาติ คอยสุเทพ- ปุย	20
4	การศึกษาลักษณะเชื้อเพลิงของไฟฟ้าในประเทศไทย	28
5	การศึกษาพฤติกรรมของไฟฟ้าในประเทศไทย	31
6	สรุปการศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของไฟฟ้าในประเทศไทย	36
7	สัดส่วนความถี่ของการเกิดไฟฟ้า และสัดส่วนพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้จากแต่ละ สาเหตุ (พ.ศ. 2541-2552)	37
8	ข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจากพื้นที่รอบอุทยานแห่งชาติ น้ำหนาว พ.ศ. 2542-2552	47
9	ปริมาณเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	65
10	ความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	69
11	ความสูงของเชื้อเพลิง ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อ อุทยาน แห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	70
12	ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ และปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัด เพชรบูรณ์	74
13	สภาพอากาศขณะเผาในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติ น้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	76
14	สภาพภูมิประเทศ และช่วงเวลาทำการเผาในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสน ผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	อัตราไฟลามในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติ น้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	79
16	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและค่าปริมาณความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงในป่า สนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	85
17	ค่าความรุนแรงไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติ น้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	88
18	ความยาวเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติ น้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	89
19	อุณหภูมิไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติ น้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	91
20	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังการเผาในพื้นที่ อูทยานแห่งชาติ น้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	95
21	พฤติกรรมไฟและระดับอันตรายไฟของป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสน ผสมก่อก อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	98
22	แบบจำลองเชื้อเพลิงของป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยาน แห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	109
23	การคาดการณ์อัตราการลามไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสนเสื่อมโทรม อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	110
24	การคาดการณ์ความรุนแรงไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสนเสื่อมโทรม อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	111
25	การคาดการณ์ความยาวเปลวไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสนเสื่อมโทรม อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	111
26	การคาดการณ์ระดับอันตรายของไฟในป่าสนเสื่อมโทรม ตามวิธีการของ Andrew (1980)	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
27	การคาดการณ์อัตราไฟลามที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสนผสมก้ออุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	113
28	การคาดการณ์ความรุนแรงไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสนผสมก้ออุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	113
29	การคาดการณ์ความยาวเปลวไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสนผสมก้อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	114
30	การคาดคะเนระดับอันตรายของไฟในป่าสนผสมก้อ ตามวิธีการของ Andrew (1980)	114
31	เปรียบเทียบพฤติกรรมไฟจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเผาจริง และจาก การคาดการณ์จากแบบจำลองเชื้อเพลิงของป่าสนเสื่อมโทรม อุทยาน แห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	115
32	เปรียบเทียบพฤติกรรมไฟจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเผาจริง และ จากการคาดการณ์จากแบบจำลองเชื้อเพลิงของป่าสนผสมก้อ อุทยาน แห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	116
ตารางผนวกที่		
ก1	รายชื่อพรรณไม้ ประเภทต้นไม้ (tree) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก้อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	134
ก2	รายชื่อพรรณไม้ ประเภทไม้รุ่น (sapling) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก้อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	138
ก3	รายชื่อพรรณไม้ ประเภทลูกไม้ (seedling) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสน เสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	140
ข1	เปรียบเทียบตัวแปรของสูตร Rothermel (1972) และตัวแปรที่ Wiriya (2008) นำไปประยุกต์	151

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สามเหลี่ยมไฟ	3
2 สามเหลี่ยมพฤติกรรมไฟ	8
3 พื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดชัยภูมิ	41
4 ระดับความสูงของพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	42
5 ชุดดินบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	45
6 ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	46
7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ข้อมูลเฉลี่ยในช่วง พ.ศ. 2542 - 2552	48
8 แสดงสังคมพืชบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	52
9 แผนผังการวางแผนศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงและลักษณะพฤติกรรมไฟ	54
10 สัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม	66
11 สัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงในป่าสนผสมก่อ	66
12 ลักษณะเชื้อเพลิงก่อนทำการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติ น้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	67
13 ลักษณะเชื้อเพลิงก่อนทำการเผาในป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	68
14 การปกคลุมของเชื้อเพลิง ประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสน ผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	71
15 สัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ ในป่าสนเสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	75
16 สัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ ใหม้ ในป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	75
17 อัตราไฟลามในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	ลักษณะการลามไฟของในป่าสนเสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัด เพชรบูรณ์	83
19	ลักษณะการลามของไฟในป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	83
20	รูปแบบการเผาไหม้ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	84
21	เปรียบเทียบอุณหภูมิไฟ ที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร และ 50 เซนติเมตร จาก พื้นดินในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	92
22	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิง ก่อนเผาและหลังเผาในระยะเวลาต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	96
23	สัดส่วนของปริมาณเชื้อเพลิง ก่อนเผาและหลังเผาในระยะเวลาต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	97
ภาพผนวกที่		
ค1	การวางแผนและเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงในพื้นที่ศึกษา	153
ค2	การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อศึกษาพฤติกรรมไฟและสภาพอากาศขณะทำการเผา	153
ค3	การจุดไฟและเก็บข้อมูลพฤติกรรมของไฟ	154
ค4	สภาพพื้นที่ภายหลังการเผาและการเก็บสิ่งที่หลงเหลือจากการเผา	154
ค5	การติดไฟของเรือนยอดในไม้สนขนาดเล็กและการติดไฟบริเวณลำต้นของไม้สน	155

สมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรม และสังคมย่อย

ป่าสนผสมก่อ ณ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

Fuel Properties and Fire Behaviors of Degraded Pine Forest and Pine - Oak Subcommunity at Nam Nao National Park, Phetchabun Province

คำนำ

ป่าไม้ให้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมแก่มนุษย์มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การพัฒนาความเจริญในด้านต่างๆ ของมนุษย์ได้ส่งผลให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงไปอย่างมาก โดยไฟป่าเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ป่าเกิดความเสื่อมโทรมในด้านต่างๆ ถึงแม้ว่าป่าไม้ในประเทศไทยจะมีป่าที่จัดอยู่ในระบบนิเวศพึ่งไฟ (fire-dependent ecosystem) ได้แก่ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าสน (สันต์, 2530) ก็ตาม แต่ความถี่ของการเกิดไฟจะต้องมีความเหมาะสม (ศิริ, 2543ก) ซึ่งในปัจจุบันจะพบว่าไฟป่าเกิดขึ้นแทบทุกปี การศึกษาลักษณะพฤติกรรมของไฟป่าจึงมีความสำคัญ เพราะทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างของเชื้อเพลิงความรุนแรงของไฟ อัตราไฟลาม ความยาวเปลวไฟ ซึ่งส่งผลต่อวิธีการจัดการและควบคุมไฟป่า อีกทั้งส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของระบบนิเวศ เช่น ผลกระทบต่อพืชพรรณหรือต่อโครงสร้างของป่าและความเหมาะสมของความถี่ไฟต่อการรักษาสภาพของป่าที่เป็นระบบนิเวศพึ่งไฟ เป็นต้น

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาด้านพฤติกรรมไฟ ในสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและสังคมพืชย่อยป่าสนผสมก่อ ซึ่งมีปัญหาในเรื่องของไฟป่า บริเวณภู่ม่าน อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งไฟป่าได้ทำให้ไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) ซึ่งเป็นไม้เด่นในพื้นที่ล้มตายเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การเจริญทดแทนตามธรรมชาติของไม้สนได้รับผลกระทบโดยที่ผลจากไฟทำให้มีกล้าไม้สนที่มาทดแทนมีน้อย อีกทั้งส่งผลให้หญ้าเข้ายึดครองพื้นที่ ซึ่งหากปล่อยไว้จะทำให้สังคมพืชนี้สูญหายไปจากพื้นที่ได้ ไฟที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งอันเกิดจากกระทำของมนุษย์ จะทำให้กระบวนการทดแทนตามธรรมชาติถูกขัดขวาง และนำไปสู่รูปแบบหญ้าไม้สนที่คล้ายป่าทุ่ง (savanna) (Zoneneveld *et al.*, 2009) จากความจำเป็นอย่างยิ่งดังกล่าว จึงต้องมีการศึกษา ด้านไฟป่าในพื้นที่ โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในสังคมพืชป่าสนที่เสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อ และเพื่อประมาณอันตรายไฟป่าสำหรับการจัดการและควบคุมไฟป่าในพื้นที่ที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงในสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อก่อน อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของไฟในสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพฤติกรรมของไฟจากการเผาจริง และพฤติกรรมของไฟที่ได้จากการคำนวณจากสูตรทางคณิตศาสตร์
3. เพื่อประมาณอันตรายไฟป่า สำหรับใช้ในการจัดการและควบคุมไฟป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

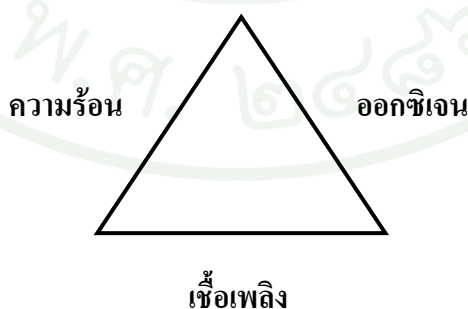
การตรวจเอกสาร

1. ไฟป่า

1.1 ความหมายของไฟป่า และปัจจัยของการเกิดไฟ

ไฟป่า หมายถึง ไฟที่ไหม้เชื้อเพลิงตามธรรมชาติ โดยมิได้มีการควบคุม แล้วลุกลามไปอย่างเสรี เชื้อเพลิงธรรมชาติที่ถูกเผาผลาญได้แก่ อินทรียวัตถุที่กำลังสลายตัว (duff) เศษไม้ ปลายไม้ ลูกไม้ หญ้า ไม้ท่อน เศษซากพืช ตอไม้ ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้นบางส่วน (USDA Forest Service, 1956)

Davis (1959) กล่าวว่าไฟป่าเป็นผลมาจากการเผาไหม้ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางเคมี ที่มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ ความร้อน อากาศ (ออกซิเจน) และเชื้อเพลิง รวมเรียกว่า สามเหลี่ยมไฟ (fire triangle) ดังภาพที่ 1 ไฟที่เกิดขึ้นแต่ละท้องที่ และเวลาย่อมแตกต่างกันไปตามขนาด และชนิดของเชื้อเพลิง รวมทั้งขึ้นอยู่กับความชื้นของเชื้อเพลิง (fuel moisture) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ขนาดและการจัดเรียงตัวของเชื้อเพลิง รวมถึงทิศทางด้านรับแสงด้วย ความร้อนที่จะทำให้เชื้อเพลิงจุดติดไฟ อยู่ระหว่าง 200 – 500 องศาเซลเซียส ธรรมชาติของไฟป่าเป็นกระบวนการทางเคมี ซึ่งมีปฏิกิริยากลับกับกระบวนการสังเคราะห์แสง (สันต์ และคณะ, 2534) ดังสมการต่อไปนี้



ภาพที่ 1 สามเหลี่ยมไฟ (fire triangle)

ที่มา: สันต์ (2550)

ปัจจัยไฟ (pyric factor) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเติบโตของต้นไม้ในระบบนิเวศป่าไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบนิเวศพึ่งไฟ (fire-dependent ecosystem) ซึ่งในระบบนิเวศดังกล่าว จำเป็นต้องมีไฟ เกิดขึ้นเป็นระยะๆ อย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาสภาพป่าชนิดสุดท้าย (climax forest) ด้วยไฟ เรียกว่า (fire climax forest) เช่น ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และป่าสน เป็นต้น ไฟที่เกิดขึ้นในป่าดังกล่าวเป็นระยะๆ เรียกว่า periodic fire เช่น ทุก 5 ปี หรือ 7 ปี จะเกิดไฟขึ้นครั้งหนึ่ง บางครั้งเรียกว่า วัฏจักรไฟ (fire cycle) ไฟที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ จะมีประโยชน์ในการรักษาสภาพป่าชนิดที่ต้องมีไฟ และต้นไม้ในป่าก็จะเติบโตไปตามธรรมชาติ แต่ไฟที่เกิดขึ้นที่เดิมทุกๆปี (annual fire) นั้น จะเกิดโทษ ทำให้สภาพแวดล้อมในป่าแห้งแล้ง และทำให้กล้าไม้ (seedling) ตาย ส่วนไม้รุ่น (sapling) และไม้ใหญ่ (tree) จะมีอัตราการเติบโตลดลง ดังนั้นไฟจึงมีทั้งคุณและโทษต่อสภาพป่าไม้ (สันต์, 2550)

1.2 ชนิดของไฟป่า

Brown and Davis (1973) ได้จำแนกไฟป่าออกเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ที่ทำให้เกิดไฟป่าตั้งแต่ผิวดินจนถึงเรือนยอดของต้นไม้ได้แก่

1.2.1 ไฟใต้ดิน (ground fire) คือ ไฟป่าที่ไหม้อินทรีย์วัตถุที่อยู่ใต้ชั้นผิวของพื้นป่า เกิดขึ้นในป่าบางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในป่าเขตอบอุ่นที่อยู่บนพื้นที่ที่มีระดับความสูงมาก ซึ่งอากาศหนาวเย็นทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุต่ำ จึงมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสะสมอยู่บนหน้าดินแร่ (mineral soil) ในปริมาณมากและเป็นชั้นหนา โดยอินทรีย์วัตถุดังกล่าวอาจอยู่ในรูปของอินทรีย์วัตถุกำลังสลายตัว (duff) อินทรีย์วัตถุที่สลายตัวแล้ว (muck) หรืออินทรีย์วัตถุที่กำลังสลายตัวในพื้นที่ชื้นแฉะ (peat) ในบริเวณที่ชั้นอินทรีย์วัตถุหนามาก ไฟชนิดนี้อาจไหม้แทรกลงไปใต้ซากพืชผิวดิน (surface litter) ได้หลายฟุตและลุกลามไปเรื่อย ๆ ได้ซากพืชผิวดิน ในลักษณะครุกรุ่นและลามอย่างช้า ๆ ไม่มีเปลวไฟ และมีควันน้อยมาก จึงเป็นไฟที่สร้างความเสียหายให้แก่พื้นที่ป่ามากที่สุด เพราะไฟไหม้ทำลายรากไม้ ทำให้ต้นไม้ใหญ่ค่อยๆ ตายในเวลาต่อมา ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นไฟป่าที่ควบคุมได้ยากที่สุดอีกด้วย ไฟใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อย (ศิริ, 2543ก) คือ

(1) ไฟใต้ดินสมบูรณ์แบบ (true ground fire) คือ ไฟที่เผาไหม้อินทรีย์วัตถุอยู่ใต้ผิวดินจริงๆ ดังนั้นเมื่อยืนอยู่บนพื้นป่าจึงไม่สามารถตรวจพบไฟได้ ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ เช่น เครื่องตรวจจับความร้อน เพื่อตรวจหาไฟชนิดนี้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนของไฟใต้ดินสมบูรณ์แบบ

คือ ไฟไหม้ชั้นถ่านหินใต้ดิน (coal seam fire) บนเกาะกาลิมันตันของประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงการเกิดปรากฏการณ์ เอล นีโญ ในปี ค.ศ. 1982 ไฟถ่านหินดังกล่าวครุกรุ่นกินพื้นที่ขยายกว้างออกไปเรื่อย ๆ สร้างความยากลำบากในการตรวจหาขอบเขตของไฟ ในบางพื้นที่กว่าจะทราบว่าไฟดังกล่าวไหม้ผ่านก็ต่อเมื่อไฟไหม้ผ่านไปแล้วเกือบสองปี และต้นไม้ที่ถูกไฟไหม้ทำลายระบบราก เริ่มยืนแห้งตายพร้อมกันทั้งป่า สำหรับประเทศไทยยังไม่เคยพบไฟใต้ดินสมบูรณ์แบบนี้มาก่อน

(2) ไฟกึ่งใต้ดิน (semi-ground fire) ได้แก่ ไฟที่ไหม้ในสองมิติ คือ ส่วนหนึ่งไหม้ไปในแนวระนาบไปตามผิวพื้นป่าเช่นเดียวกับไฟผิวดิน ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะไหม้ในแนวดิ่งลึกลงไปชั้นอินทรีวัตถุใต้ผิวดิน ซึ่งอาจไหม้ลึกลงไปได้หลายฟุต ไฟดังกล่าวสามารถตรวจพบได้โดยง่ายเช่นเดียวกับไฟผิวดินทั่ว ๆ ไป แต่การดับไฟจะต้องใช้เทคนิคการดับไฟผิวดินผสมผสานกับเทคนิคการดับไฟใต้ดิน จึงจะสามารถควบคุมไฟได้ ตัวอย่างของไฟชนิดนี้ได้แก่ ไฟที่ไหม้ป่าพรุในเกาะสุมาตรา เกาะกาลิมันตัน ของประเทศอินโดนีเซีย และป่าพรุโต๊ะแดง พรุบาเจาะ ในจังหวัดนราธิวาส ของประเทศไทย

1.2.2 ไฟผิวดิน (surface fire) คือ ไฟที่ไหม้ลุกลามไปตามผิวดิน โดยเผาไหม้เชื้อเพลิงบนพื้นป่า อันได้แก่ ใบไม้ กิ่งก้านไม้แห้งที่ตกสะสมอยู่บนพื้นป่า หญ้า ลูกไม้เล็ก ๆ ไม้พื้นล่าง กอไผ่ ไม้พุ่ม ไฟชนิดนี้เป็นไฟที่พบมากที่สุดและพบโดยทั่วไปในแทบทุกภูมิภาคของโลก ความรุนแรงของไฟจะขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของเชื้อเพลิง โดยทั่วไปไฟชนิดนี้จะไม่ทำอันตรายต้นไม้ใหญ่ถึงตาย แต่จะทำให้เกิดแผลไฟไหม้ (fire scar) ซึ่งมีผลให้อัตราการเติบโตของต้นไม้ลดลง คุณภาพของเนื้อไม้ลดลง ไม่มีรอยคำหนิ และทำให้ต้นไม้อ่อนแอจนโรคและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย สำหรับประเทศไทย ไฟป่าส่วนใหญ่จะเป็นไฟชนิดนี้ โดยจะมีความสูงเปลวไฟ ตั้งแต่ 0.5 – 8 เมตร ในป่าเต็งรัง จนถึงความสูงเปลวไฟ 5 – 6 เมตร ในป่าเบญจพรรณที่มีกอไผ่หนาแน่น

1.2.3 ไฟเรือนยอด (crown fire) คือ ไฟที่ลุกลามจากยอดของต้นไม้หรือไม้พุ่มต้นหนึ่งไปยังยอดของต้นไม้หรือไม้พุ่มอีกต้นหนึ่ง ส่วนใหญ่เกิดในป่าสนในเขตอบอุ่น ไฟชนิดนี้มีอัตราการลุกลามที่รวดเร็วมาก และเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อพนักงานดับไฟป่า ทั้งนี้เนื่องจากไฟมีความรุนแรงมากและมีความสูงเปลวไฟประมาณ 10 – 30 เมตร แต่ในบางกรณี ไฟอาจมีความสูงถึง 40 – 50 เมตร ไฟเรือนยอดโดยทั่วไปอาจต้องอาศัยไฟผิวดินเป็นสื่อ จึงสามารถแบ่งไฟเรือนยอดออกเป็น 2 ชนิดย่อย ดังนี้ (ศิริ, 2543ก)

(1) ไฟเรือนยอดที่ต้องอาศัยผิวดินเป็นสื่อ (dependent crown fire) คือ ไฟเรือนยอดที่ต้องอาศัยไฟที่ลุกลามไปตามผิวดินเป็นตัวนำเปลวไฟขึ้นไปสู่เรือนยอดของต้นไม้อื่นที่อยู่ใกล้เคียง ไฟชนิดนี้มักเกิดในป่าที่ต้นไม้หนาแน่น เรือนยอดของต้นไม้จึงอยู่ห่างกัน แต่บนพื้นป่ามีเชื้อเพลิงอยู่หนาแน่นและต่อเนื่อง การลุกลามของไฟจากเรือนยอดไม้ต้นหนึ่งไปยังอีกต้นหนึ่งต้องอาศัยไฟที่ลุกลามไปตามผิวดินเป็นตัวนำเปลวไฟไปยังต้นไม้ จนต้นไม้ที่ไฟผิวดินลุกลามไปถึง แห้งและร้อนจนถึงจุดติดไฟ ลักษณะของไฟชนิดนี้ จะเห็นไฟผิวดินลุกลามไปก่อนแล้วตามด้วยไฟเรือนยอด

(2) ไฟเรือนยอดที่ไม่ต้องอาศัยไฟผิวดิน (running crown fire) เกิดในป่าที่มีต้นไม้ที่ติดไฟง่ายและมีเรือนยอดแน่นที่ติดต่อกัน เช่น ในป่าสนเขตอบอุ่น การลุกลามจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและรุนแรงจากเรือนยอดหนึ่งไปสู่อีกเรือนยอดหนึ่งที่อยู่ข้างเคียงได้โดยตรง จึงเกิดการลุกลามไปตามเรือนยอดอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกัน ลูกไฟจากเรือนยอดจะตกลงบนพื้นป่าก่อให้เกิดไฟผิวดินไปพร้อมๆ กันด้วย

2. พฤติกรรมของไฟ

2.1 ความหมายของพฤติกรรมของไฟ

พฤติกรรมของไฟป่า (forest fire behavior) มีความหมายอย่างกว้างๆ ว่าเป็นคำพรรณนาทั่วไปที่ใช้ระบุถึงสิ่งที่เป็นการของไฟ โดยเป็นผลผลิตที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมภายในไฟที่กำลังเผาไหม้ ได้รับอิทธิพลจากเชื้อเพลิง อากาศ และภูมิประเทศ ลักษณะของพฤติกรรม คือ เมื่อไฟที่เกิดขึ้นแล้วมีอัตราไฟลามเร็วขนาดไหน พลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกปลดปล่อยออกมาเท่าไร อัตราเร็วของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเป็นอย่างไร ความยาวเปลวไฟเท่าใดและถ้ามีปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ความเร็วลม ความลาดชันของพื้นที่ช่วยเสริมด้วย พฤติกรรมไฟจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร (สันต์, 2526; Byram, 1959; Pyne *et al.*, 1996; Joseph, 2001) ลักษณะที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมไฟประกอบด้วยอัตราไฟลาม (rate of fire spread, ROS) ความรุนแรงของไฟ (fire intensity) และความยาวของเปลวไฟ (flame length)

อัตราไฟลาม หมายถึง ความเร็วของไฟที่ลุกลาม ด้านหัว ด้านข้าง และด้านหลังของไฟที่มีอัตราการลุกลามที่ต่างกัน ดังนั้น ในการคาดคะเนอัตราไฟลามจะต้องระบุไว้เป็น อัตราไฟลาม

ส่วนไหนด้วย อัตราการไฟลามอาจวัดได้หลายอย่าง ได้แก่ อัตราไฟลามในลักษณะรูปเส้นรอบวง (rate of perimeter growth of fire) ซึ่งวัดเป็นระยะทางต่อหน่วยเวลา อัตราการไฟลามเป็นพื้นที่ต่อหน่วยเวลา (rate of area growth) และอัตราการไฟลามเป็นระยะทางต่อหน่วยเวลา (rate of linear advance) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมวัดกันมากที่สุด มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีหรือฟุตต่อวินาที

ความรุนแรงของไฟ เป็นการวัดอัตราพลังงานที่ถูกปลดปล่อยของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ในไฟหนึ่งๆ ที่นิยมวัดกันในปัจจุบันได้แก่ fireline intensity (Byram, 1959) และ fire reaction intensity (Rothermel, 1972) fireline intensity หมายถึง อัตราพลังงานที่ถูกปลดปล่อยต่อระยะทางต่อหน่วยระยะเวลาของการลุกลามของหัวไฟ (บีที่ยูต่อฟุตต่อวินาที หรือกิโลวัตต์ต่อเมตร) ส่วน fire reaction intensity หมายถึง อัตราพลังงานที่ถูกปลดปล่อยต่อหน่วยเนื้อที่ที่ถูกไฟไหม้ต่อหน่วยเวลา (บีที่ยูต่อตารางฟุตต่อวินาที หรือกิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

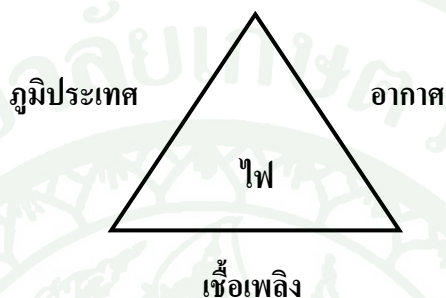
ความยาวเปลวไฟ คือ ระยะจากยอดของเปลวไฟถึงฐานของเปลวไฟซึ่งติดกับผิวของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นฟุตหรือเมตร ความยาวเปลวของเปลวไฟสามารถใช้เป็นดัชนีอย่างหายาๆ ในการที่จะประมาณความกว้างของแนวกันไฟที่จะสกัดกั้นไฟที่มีความรุนแรงระดับหนึ่งระดับใดได้ (สันต์ และคณะ, 2534)

2.2 สิ่งแวดล้อมของไฟ (fire environment) และสามเหลี่ยมพฤติกรรมไฟ

สิ่งแวดล้อมของไฟ หมายถึง สภาพการณ์รอบๆ บริเวณที่เกิดไฟ ซึ่งมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟ การคาดคะเนพฤติกรรมของไฟ เพื่อความปลอดภัย เพื่อการป้องกันไฟ และการใช้ประโยชน์จากไฟ จำเป็นจะต้องเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกริยาร่วมกันของไฟกับสิ่งแวดล้อม (Countryman, 1966)

ความแตกต่างของพฤติกรรมไฟป่า ขึ้นอยู่กับไฟ และสิ่งแวดล้อมไฟ โดยสิ่งแวดล้อมของไฟประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ เชื้อเพลิง (fuel) ภูมิประเทศ (topography) และอากาศ (weather) ปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการติดไฟ (ignition) และการขยายการลุกลามของไฟ (growth) และพฤติกรรมของไฟ (fire behavior) (สันต์, 2526) ซึ่งเขียนสัญลักษณ์เป็นสามเหลี่ยมพฤติกรรมของไฟ (fire behavior triangle or fire environment triangle) ดังภาพที่ 2

ในเรื่องของไฟฟ้า สภาพภูมิประเทศจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามเวลาแต่จะเปลี่ยนไปตามท้องที่ ส่วนปริมาณเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและท้องที่ แต่อย่างไรก็ตามสมบัติของเชื้อเพลิงจะไม่เปลี่ยนแปลงมากสำหรับไฟหนึ่งๆ สำหรับอากาศ นั้นจะแปรผันมากที่สุด และเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งเวลาและสถานที่



ภาพที่ 2 สามเหลี่ยมพฤติกรรมของไฟ

ที่มา: สันต์ (2550)

ความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ระหว่างปัจจัยดังกล่าว รวมทั้งปัจจัยของไฟเองเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมและลักษณะของไฟในแต่ละท้องที่และเวลา และเนื่องจากสิ่งแวดล้อมของไฟเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและท้องที่ ดังนั้นพฤติกรรมของไฟจึงเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามทั้งพฤติกรรมของไฟและสิ่งแวดล้อมของไฟ เป็นปรากฏการณ์เฉพาะและคล้ายคลึงกันในสภาพการณ์ที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้น นักวิชาการไฟฟ้าจึงสามารถคาดการณ์ล่วงหน้าเกี่ยวกับพฤติกรรมของไฟได้ ถ้าหากมีทักษะและประสบการณ์เพียงพอ ความรู้เกี่ยวกับการคาดคะเนพฤติกรรมไฟนั้นสำคัญ และมีประโยชน์มาก ซึ่งจะช่วยในการวางแผนการจัดการไฟฟ้า (สันต์, 2526)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของไฟ

2.3.1 ปัจจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

สมบัติของเชื้อเพลิงต่างกัน มีผลทำให้พฤติกรรมของไฟต่างกัน สมบัติเชื้อเพลิงที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของไฟประกอบด้วย สมบัติอนุภาคของเชื้อเพลิง สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิง และความชื้นของเชื้อเพลิง

(1) สมบัติของอนุภาคเชื้อเพลิง

อนุภาคเชื้อเพลิงต่างๆ เมื่อรวมกันแล้วเรียกว่า แหล่งเชื้อเพลิง (fuel bed) อนุภาคของเชื้อเพลิงสามารถบอกได้ใน 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรกอาจเป็นส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ใบ กิ่ง ลำต้น ตอไม้ ท่อนไม้ ฯลฯ และลักษณะที่สองอาจบอกโดยใช้สมบัติทางฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิง ความหนาแน่นของอนุภาคเชื้อเพลิง ปริมาณความร้อนส่วนประกอบทางเคมี และส่วนประกอบสารสกัดพวกน้ำมัน เป็นต้น (มณูญศักดิ์, 2530)

(1.1) ขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิง (fuel particle size)

ขนาดอนุภาคเชื้อเพลิง แบ่งเป็น 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก (fine fuels: เส้นผ่าศูนย์กลาง 0-1/4 นิ้ว) ขนาดกลาง (medium fuels: เส้นผ่าศูนย์กลาง 1/4-1 นิ้ว) และขนาดใหญ่ (coarse fuels: เส้นผ่าศูนย์กลาง 1-3 นิ้วหรือใหญ่กว่า 3 นิ้ว) แต่ในทางปฏิบัติ เชื้อเพลิงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0-3 นิ้ว มักเรียกรวมกันว่า เชื้อเพลิงขนาดเล็ก (fine fuels) และเชื้อเพลิงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 3 นิ้ว ว่า เชื้อเพลิงขนาดใหญ่ (large fuels) และในบรรดาสมบัติของอนุภาคเชื้อเพลิงทั้งหมด ขนาดของอนุภาคมีความสำคัญอันดับแรกที่จะต้องพิจารณา (สันต์, 2526) เนื่องจากขนาดอนุภาคมีความสำคัญต่อการรับ และถ่ายเทความร้อน ระยะเวลาในการเผาไหม้ การติดไฟ ความช้าเร็วของการดูดซับและการระเหยความชื้นด้วย เชื้อเพลิงขนาดเล็กและแห้งจะติดไฟง่าย และลุกไหม้เร็วกว่าเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ (สันต์, 2543) การวัดขนาดของอนุภาคจะทำการวัดโดยใช้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอนุภาค โดยพื้นที่ผิวของอนุภาคจะเป็นตัวกำหนดปริมาณความร้อนที่อนุภาคจะได้รับ อัตราการสูญเสียก๊าซและความร้อนจากการเผาไหม้ และอัตราการดูด

ชั้นและสูญเสียความชื้นของเชื้อเพลิง สำหรับปริมาตรของอนุภาคจะเป็นตัว กำหนดความช้าเร็วของการถ่ายเทความร้อน แก๊ส และไอน้ำภายในอนุภาค (สันต์, 2526)

(1.2) ความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิง (fuel particle density)

ความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิง คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อปริมาตรของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นมากจะต้องการความร้อนเพื่อให้ถึงจุดติดไฟมากกว่าเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นน้อย ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ สมบัติส่วนมากที่เกี่ยวกับพฤติกรรมของไฟมักขึ้นกับน้ำหนักของเชื้อเพลิงมากกว่าปริมาตร (สันต์ และคณะ, 2534) Fons *et al.* (1960) ได้ศึกษาแหล่งเชื้อเพลิงของใบและกิ่งไม้ของสนพอนเดอโรซา (*Pine ponderosa* Douglas ex C.Lawson) และรายงานว่า ระยะเวลาถึงจุดติดไฟของอนุภาคเชื้อเพลิงที่ปริมาตรหนึ่ง จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นอนุภาค ส่วนอัตราไฟลาม จะแปรผกผันกับความหนาแน่นอนุภาค

(1.3) ปริมาณความร้อน (heat content)

ปริมาณความร้อน คือ พลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่เผาไหม้ มีหน่วยวัดเป็นแคลอรีต่อกรัม ค่าปริมาณความร้อนเป็นตัวกำหนดทั้งความรุนแรงไฟและอัตราไฟลาม ค่าปริมาณความร้อนมาก ไฟจะรุนแรงมากและไฟลามเร็ว (สันต์, 2543) ปริมาณความร้อนวัดเป็นแคลอรี/กรัม (cal/g) หรือกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) หรือ บีทียู/ปอนด์ (Btu/lb) ส่วนมากแล้วเชื้อเพลิงในป่าจะมีปริมาณความร้อนอยู่ในช่วง 4,167-5,556 แคลอรี/กรัม หรือ 7,500-10,000 บีทียู/ปอนด์ (สันต์ และคณะ, 2534)

โดยทั่วไป ส่วนต่างๆ ของไม้สน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง เปลือก และใบ จะมีค่าปริมาณความร้อนสูงกว่าไม้ใบกว้าง (hardwood species) Kelsey *et al.* (1979) รายงานว่า ในไม้เนื้อแข็งต่างชนิดกันจะมีค่าปริมาณความร้อนไม่แตกต่างกัน แต่ไม้สนต่างชนิดกัน และแม้ในส่วนต่างๆ ของไม้สนชนิดเดียวกันก็ตาม จะมีค่าความร้อนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนสำคัญที่ทำให้ค่าความร้อนแปรผันก็คือ ส่วนประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิง (Countryman and Philpot, 1970)

(1.4) ส่วนประกอบทางเคมี : แร่ธาตุต่างๆ (chemical composition: mineral)

สารในพืชส่วนมากประกอบด้วยอนินทรีย์วัตถุ หรือเรียกธาตุอาหารพืช (nutrient) หรือ จีเถ้า (ash) โดยจีเถ้ามีผลต่อการเผาไหม้ 2 ประการ คือ ประการแรก จีเถ้าจะลดปริมาณของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เพราะตัวจีเถ้าเองไม่ถูกเผา ประการที่สอง จีเถ้าเป็นตัวแทรกแซงในกระบวนการเผาไหม้แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของแร่ธาตุ (สันต์, 2526) ในเชื้อเพลิงธรรมชาติแบ่งจีเถ้าได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ พวกที่มีซิลิกา และพวกที่ไม่มีซิลิกา (silica free mineral) ในกระบวนการเผาไหม้จีเถ้าจะไม่ถูกเผา ปริมาณจีเถ้าที่เหลือจะถูกนำไปหักจากค่าปริมาณความร้อน ทำให้ปริมาณความร้อนสุทธิ (heat yield) ลดลง แร่ธาตุที่เป็นซิลิกา เรียก passive mineral content กล่าวคือ จะไม่แทรกแซงกระบวนการเผาไหม้ ส่วนแร่ธาตุอื่นๆ เช่น เหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม และฟอสฟอรัส เป็น active mineral content คือนอกจากจะเหลือเป็นจีเถ้ายังแทรกแซงกระบวนการเผาไหม้ โดยทำให้ปริมาณความร้อนสุทธิลดลง อีกประมาณร้อยละ 2 - 2.5 (สันต์ และคณะ, 2534) พรรณไม้พวก salt bush บางชนิดถูกปลูกขึ้นเพื่อเป็นแนวกันไฟ (fuel break) เนื่องจากมีปริมาณแร่ธาตุมาก และเป็นพวก active mineral มากทำให้ไม่ค่อยติดไฟในทุกๆ สถานการณ์ (สันต์, 2526)

(1.5) ส่วนประกอบที่เป็นสารสกัดพวกน้ำมัน (composition-extractives)

เชื้อเพลิงบางชนิดประกอบด้วยสารสกัดอีเทอร์ (ether) ได้แก่ ที่ให้พลังงานมากซึ่งได้แก่ จีผึ้ง (waxes) น้ำยาง (resin) เทอร์พีน (terpene) ไขมัน (fat) และน้ำมันต่างๆ (oil) ที่มีผลต่อกระบวนการกลั่นทำลาย (pyrolysis) ของเชื้อเพลิงที่เป็นเนื้อไม้ พวกสารสกัดจะมีผลทั้งต่อเวลาที่ใช้ในการติดไฟและอัตราการเผาไหม้ (มณูญศักดิ์, 2530) พวกสารสกัดจะมีความสำคัญต่อพฤติกรรมไฟ 2 ประการ คือ สารเหล่านี้มีค่าปริมาณความร้อน (heat content) สูง ระเหยง่าย เวลาเผาไหม้คล้ายน้ำมันก๊าดโซลิน (สันต์, 2526) และ Rothermel (1976) รายงานว่าในการเผาไหม้พวกเชื้อเพลิงที่มีจีผึ้ง เทอร์พีน และน้ำมัน ไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกลั่นทำลาย เพียงแต่เกิดการระเหยของสารก็เพียงพอที่จะติดไฟได้แล้ว สารเหล่านี้จะสะสมอยู่มากใกล้ผิวของเชื้อเพลิง เช่น ท่อน้ำยางใหญ่ใกล้ผิวดินของใบสน และรูน้ำมันในใบยูคาลิปตัส เป็นต้น สนหลายชนิดและไม้พุ่มที่มีจีผึ้ง และใบหนาส่วนมากเป็นพวกที่มีสารน้ำมันมากมายเกิดการร่วงของใบ ส่วนพวกไม้ผลัดใบ

จะมีสารน้ำมันน้อย สารน้ำมันเหล่านี้จะแปรผันไปตามฤดูกาล และจะมีมากที่สุดในหน้าแล้ง (สันต์ และคณะ, 2534)

(2) สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิง (fuel bed properties)

แหล่งเชื้อเพลิง (fuel bed) หมายถึง วัสดุต่างๆ ทั้งหมดที่ถูกเผาไหม้ได้ในเนื้อที่หนึ่งๆ (สันต์, 2526) โดยประกอบด้วยอนุภาคเชื้อเพลิง (fuel particle) หลายชนิดซึ่งลักษณะของแต่ละอนุภาคเชื้อเพลิงนี้จะเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดพฤติกรรมของไฟที่เกิดขึ้น ในแหล่งเชื้อเพลิงนั้นๆ สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญต่อพฤติกรรมไฟ ได้แก่ น้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหน่วยเนื้อที่ ความสูงของแหล่งเชื้อเพลิง ความอัดแน่นของแหล่งเชื้อเพลิง ความต่อเนื่องและการเรียงตัวของเชื้อเพลิง (สันต์และคณะ, 2534)

(2.1) น้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหน่วยเนื้อที่ (fuel loading)

น้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหน่วยเนื้อที่ มีผลต่อความรุนแรงของไฟและอัตราไฟลาม กล่าวคือ เมื่ออัตราไฟลามและปริมาณความร้อนคงที่ ความรุนแรงของไฟจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ถ้าปริมาณเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นสองเท่า อัตราไฟลามจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และความรุนแรงของไฟจะเพิ่มขึ้นสี่เท่า ทั้งนี้ต้องเป็นปริมาณของเชื้อเพลิงขนาดเล็กเท่านั้น (สันต์, 2543) เมื่อกล่าวถึงปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด สิ่งที่สำคัญก็คือ ต้องการทราบว่าแหล่งเชื้อเพลิงนั้นประกอบด้วยอนุภาคเชื้อเพลิงขนาดใดบ้าง เพราะเชื้อเพลิงขนาดเล็กมีผลต่อพฤติกรรมไฟมากกว่าเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ แต่เชื้อเพลิงขนาดใหญ่เมื่อถูกเผาไหม้ไฟจะรุนแรง และใช้เวลานานในการเผา นอกจากนี้ปริมาณเชื้อเพลิงส่วนที่ตาย (dead fuel) ก็มีความสำคัญต่อพฤติกรรมไฟมากเช่นกัน เพราะเชื้อเพลิงเหล่านี้มีความชื้นน้อยกว่าส่วนที่มีชีวิต (live fuel) จึงติดไฟได้ง่ายกว่า (สันต์ และคณะ, 2534)

(2.2) ความสูงของเชื้อเพลิง (fuel height)

ความสูงของเชื้อเพลิง คือ ความสูงของพรรณพืช ถ้าหากแหล่งเชื้อเพลิงมีความสม่ำเสมอ เช่น ทุ่งหญ้า ความสูงของหญ้าจะเป็นความสูงของแหล่งเชื้อเพลิง (สันต์, 2543) แต่ถ้าแหล่งเชื้อเพลิงมีความสูงไม่สม่ำเสมอ จะใช้ค่า equivalent fuel bed depth ซึ่งก็คือ

ค่า $2/3$ ของค่าเฉลี่ยความสูงพีชพรรณ (สันต์, 2526) ความสูงของแหล่งเชื้อเพลิงนี้มีผลต่อพฤติกรรมไฟเพียงเล็กน้อย แต่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิง แหล่งเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นปานกลางไฟจะลุกลามได้เร็ว (สันต์, 2543)

(2.3) ความอัดแน่นของแหล่งเชื้อเพลิง (fuel bed compactness)

ความอัดแน่นของแหล่งเชื้อเพลิง คือ การเรียงตัวชิดห่างของอนุภาคเชื้อเพลิงใช้บ่งบอกถึงความพรุนของเชื้อเพลิง หรือความอัดแน่นของเชื้อเพลิง ถ้าอนุภาคเชื้อเพลิงเรียงชิดติดกันมาก แหล่งเชื้อเพลิงจะมีความอัดแน่นมาก ถ้าอนุภาคเชื้อเพลิงเรียงอยู่ห่างกัน แหล่งเชื้อเพลิงจะมีความอัดแน่นน้อย เปลวไฟจะยาวที่สุด และอัตราการเผาไหม้จะมากที่สุด เมื่อแหล่งเชื้อเพลิงมีความอัดแน่นปานกลาง (สันต์, 2543) เนื่องจากความอัดแน่นของเชื้อเพลิงจะมีผลต่อออกซิเจนที่เคลื่อนย้ายภายในและรอบๆ เชื้อเพลิง (Joseph, 2001)

ความหนาแน่นรวม ความพรุนของแหล่งเชื้อเพลิง และ อัตราส่วนความอัดแน่น (packing ratio) ใช้บอกความอัดแน่นได้ ความหนาแน่นรวมคือน้ำหนักเชื้อเพลิงต่อหน่วยปริมาตรของแหล่งเชื้อเพลิง ความหนาแน่นรวมสามารถใช้วัดปริมาณออกซิเจนที่จะถูกใช้และวัฏระยะระหว่างอนุภาคเชื้อเพลิงที่ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปสู่เชื้อเพลิงให้ติดไฟได้ สำหรับความพรุนของแหล่งเชื้อเพลิง หาได้โดยการวัดปริมาณช่องว่างทั้งหมดต่อหน่วยปริมาตรของเชื้อเพลิง ส่วนอัตราส่วนความอัดแน่น คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเชื้อเพลิงและปริมาตรของแหล่งเชื้อเพลิง แหล่งเชื้อเพลิงที่มีความพรุนน้อยจะเผาไหม้ช้า เนื่องจากอากาศที่พัดเข้าไปสู่เชื้อเพลิง ถูกจำกัดและขาดออกซิเจน อัตราการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความพรุนมากขึ้น จนถึงจุดหนึ่งซึ่งระยะห่างระหว่างอนุภาคพอเหมาะ กล่าวคือ เมื่ออนุภาคมีระยะห่างเกินความเหมาะสมแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนระหว่างเชื้อเพลิงลดลง เปลวไฟจะยาวที่สุด และอัตราการเผาไหม้จะมากที่สุดเมื่อแหล่งเชื้อเพลิงมีความพรุนเหมาะสม (optimum porosity) (สันต์และคณะ, 2534)

(2.4) ความต่อเนื่องและการเรียงตัวของแหล่งเชื้อเพลิง (fuel continuity and arrangement)

ความต่อเนื่องและการเรียงตัวของแหล่งเชื้อเพลิง หมายถึง การกระจายของเชื้อเพลิง ทั้งในแนวดิ่งและแนวนอนของแหล่งเชื้อเพลิง ความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงราบ

ในแนวนอน คือ การที่เชื้อเพลิงมีการกระจายทั่วพื้นที่เป็นผืนใหญ่ (สันต์และคณะ, 2534) เชื้อเพลิงเรียงรายต่อเนื่องกัน ไฟจะลามเร็ว แต่ถ้าเชื้อเพลิงอยู่กระจายไม่ต่อเนื่องกัน ไฟจะลามช้าหรือดับไป ส่วนความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงในแนวตั้งประกอบด้วย เชื้อเพลิงสื่อบันได (ladder fuel) ซึ่งได้แก่ พวกไม้พุ่มหรือไม้พื้นล่างเรียงต่อกับส่วนล่างของเรือนยอดหรือบางที่มีส่วนเชื่อมต่อระหว่างไม้พุ่มและไม้ชั้นบน ได้แก่ พวกเถาวัลย์ ไม้ตายล้มพาดระหว่างต้นไม้และเชื้อเพลิงบนดิน และเชื้อเพลิงผิวดิน (surface fuel) ซึ่งได้แก่ พวกซากพืชที่ร่วงหล่นจนถึงส่วนล่างของเรือนยอด

การเรียงตัวของเชื้อเพลิงก็เป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ หากรวมกองกันอาจจะทำให้ถูกไฟไหม้หมด แต่ไม้ตายที่ยืนต้นอยู่ ไฟอาจจะเผาเพียงภายนอกเท่านั้น เพราะอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ อนุภาคเชื้อเพลิงขนาดใหญ่จะคลายความร้อนเร็วกว่าที่จะสะสมความร้อน ดังนั้นหากเชื้อเพลิงขนาดใหญ่อยู่ห่างกัน และไม่สามารถรับความร้อนจากอนุภาคข้างเคียง เชื้อเพลิงก็จะดับในเวลาอันสั้นหลังจากที่ติดไฟ (สันต์ และคณะ, 2534)

(3) ความชื้นเชื้อเพลิง (fuel moisture)

ความชื้นเชื้อเพลิง คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิง ความชื้นของเชื้อเพลิงสด หรือพืชที่ยังมีชีวิตอยู่ (live fuel) จะมีค่าในช่วงร้อยละ 35 – 300 ซึ่งมากกว่า เชื้อเพลิงแห้ง หรือพืชที่เหี่ยวแห้งตายแล้ว (dead fuel) ซึ่งจะมีค่าในช่วงร้อยละ 1.5 – 30 ความชื้นของเชื้อเพลิงมีผลต่อการติดไฟและการลุกลามของไฟ (สันต์ และคณะ, 2534) ความชื้น ทำให้การเผาไหม้เป็นไปได้ช้าเพราะจะต้องใช้ความร้อนในการทำให้เชื้อเพลิงแห้งเสียก่อน เชื้อเพลิงจึงถูกเผาไหม้ได้ (Fuller, 2001) เชื้อเพลิงแห้งและขนาดเล็กจะติดไฟง่าย ลุกไหม้เร็ว จะถูกเผาไหม้หมด ส่วนเชื้อเพลิงสดและขนาดใหญ่ จะติดไฟยาก และอาจถูกเผาไหม้เพียงผิวนอก เนื่องจากน้ำมีความจุความร้อนสูง เชื้อเพลิงจะมีความชื้นต่ำในฤดูแล้ง และจะมีความชื้นมากที่สุดในช่วงฤดูการเติบโตหรือฤดูฝน เชื้อเพลิงขนาดเล็กที่ตายแล้วจะติดไฟเมื่อความชื้นประมาณร้อยละ 15-20 ส่วนเชื้อเพลิงขนาดใหญ่จะติดไฟได้เมื่อความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 20 อย่างไรก็ตาม ต้นไม้ที่มีชีวิตอยู่จะมีน้ำภายในเนื้อเยื่อมาก อาจมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 150 – 300 พรรณไม้เหล่านั้นก็ยังคงติดไฟได้ภายใต้สภาวะอากาศที่เหมาะสม และใบไม้บางชนิดจะติดไฟได้ถึงแม้ว่าความชื้นจะเกินร้อยละ 100 (สันต์ และคณะ, 2534) การศึกษาความชื้นของพืชชนิดต่างๆ ในบริเวณป่าแถบตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นไม้พุ่มส่วนใหญ่ โดยทำการศึกษา

ตลอดปี พบว่า ความชื้นในใบไม้ต่ำสุด จะน้อยกว่าร้อยละ 100 ในระหว่างช่วงที่อันตรายมากที่สุดของฤดูไฟป่า (Comyam, 2005)

สันต์ และคณะ (2534) กล่าวว่า ตามกฎของพฤติกรรมไฟเกี่ยวกับความชื้นเชื้อเพลิงได้ระบุไว้ว่า ถ้าความชื้นของเชื้อเพลิงน้อยกว่าร้อยละ 5 การลุกลามของไฟในเชื้อเพลิงขนาดเล็กและขนาดใหญ่จะมีอัตราไฟลามเท่ากัน ถ้าความชื้นของเชื้อเพลิงอยู่ระหว่างร้อยละ 5 - 10 อัตราไฟลามในเชื้อเพลิงขนาดเล็กจะเร็วกว่าในเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ ส่วนความชื้นของเชื้อเพลิงระหว่างร้อยละ 10 - 15 ไฟในเชื้อเพลิงขนาดเล็กและขนาดใหญ่จะมีอัตราไฟลามเท่ากัน ถ้าความชื้นของเชื้อเพลิงเกินร้อยละ 15 เชื้อเพลิงขนาดเล็กจะถูกเผาไหม้หมดก่อน

2.3.2 ปัจจัยเกี่ยวกับอากาศ (weather)

อากาศเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และมีผลต่อพฤติกรรมของไฟ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

(1) อุณหภูมิอากาศ

อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อพฤติกรรมของไฟ กล่าวคือ ทำให้เชื้อเพลิงติดไฟง่าย และเพิ่มอัตราการเผาไหม้ นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราไฟลามจะเร็วขึ้นด้วย แสงอาทิตย์มีผลต่ออุณหภูมิของเชื้อเพลิง แหล่งเชื้อเพลิงที่ได้รับแสงร้อนแรงจากดวงอาทิตย์เชื้อเพลิงจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศข้างเคียง ในช่วงสายจนถึงบ่ายของวัน ความร้อนที่ผิวดินจะสูง ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าว เชื้อเพลิงขนาดเล็กจะติดไฟได้ดีที่สุด ภายหลังต่อมาเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นมากขึ้นในตอนเย็นและในเวลากลางคืน จะทำให้อัตราไฟลามและความรุนแรงของไฟลดลง (สันต์, 2543) ช่วงเวลากลางวันระหว่าง 10.00 น. – 18.00 น.จะเป็นช่วงที่อันตรายที่สุดของวัน อุณหภูมิเชื้อเพลิงจะสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ความเร็วลมสูง และช่วงที่อันตรายน้อยที่สุดของวันคือระหว่าง 02.00 น. – 06.00 น. จะมีอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์สูง ความเร็วลมต่ำ (ศิริ, 2534) เชื้อเพลิงที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงจะติดไฟและเผาไหม้ได้ดีกว่าเชื้อเพลิงที่อยู่ในพื้นที่ที่มีร่มเงาซึ่งอุณหภูมิเย็นกว่า (Carl and Adam, 1998)

(2) ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง ปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริง ต่อปริมาณไอน้ำในอากาศที่อิ่มตัว ณ อุณหภูมิและความดันขณะนั้น มีหน่วยเป็นร้อยละ นั่นก็คือ ความชื้นในอากาศนั่นเอง ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง เมื่ออุณหภูมิลดลง ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์ยังมีความสัมพันธ์กับความชื้นในเชื้อเพลิงขนาดเล็ก กล่าวคือ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพิ่มขึ้น ความชื้นในเชื้อเพลิงขนาดเล็กก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ไฟติดยากและลุกไหม้ช้า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง ความชื้นของเชื้อเพลิงขนาดเล็กก็ลดลงด้วย ทำให้เชื้อเพลิงติดไฟง่ายและไฟจะลุกไหม้อย่างรวดเร็ว เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 100 ฝนก็จะตก ทำให้เชื้อเพลิงทุกขนาดมีความชื้นเพิ่มขึ้นซึ่งยากแก่การติดไฟ (สันต์, 2543) ความชื้นสัมพัทธ์เป็นปฏิภาคผกผันกับอุณหภูมิอากาศ ถ้าอุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำ เชื้อเพลิงแห้งติดไฟง่าย (ศิริ, 2543ก) Brown and Davis (1973) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทุก 11 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มหรือลดเป็น 2 เท่า

(3) ลม

ลม คือ อากาศที่เคลื่อนที่ ผลของลมที่มีต่อพฤติกรรมไฟขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทาง เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น อัตราไฟลามด้านหัวไฟก็เพิ่มขึ้น ความรุนแรงของไฟ เพิ่มขึ้นเมื่อไฟลามตามลม ความรุนแรงของไฟลดลง เมื่อไฟลามทวนลม ลมมีความสำคัญสองประการ คือ ประการแรกเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่เชื้อเพลิงที่กำลังเผาไหม้โดยตรง และประการที่สอง ลมที่พัดแรงจะทำให้อัตราการไฟลามเพิ่มขึ้น เนื่องจากเปลวไฟจะถูกพัดเข้าไปใกล้เชื้อเพลิงใหม่มากขึ้น นอกจากนี้ ลมยังสามารถเปลี่ยนทิศทางการลุกลามของไฟ ทำให้ไฟมีพฤติกรรมที่ไม่แน่นอน โดยเฉพาะลมหมุน (eddies) และลมปั่นป่วนที่พัดแปรปรวน (turbulence) ในหุบเขาและใกล้สันเขา ถ้าลมเกิดจากการเคลื่อนที่ของลิ้มอากาศ (การที่มวลอากาศต่างชนิดกันมาปะทะกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดฝนหรือหิมะ) จะทำให้ทิศทางไฟลามเปลี่ยนไป 120 องศา

ตามกฎหมายพฤติกรรมไฟเกี่ยวกับลม ระบุว่าถ้าไฟไหม้ในแหล่งเชื้อเพลิงที่เป็นซากพืชที่ร่วงหล่นจัดเรียงตัวอย่างไม่อัดแน่น อัตราการไฟลามจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า ทุกความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น 4 เมตรต่อวินาที แต่อัตราการไฟลามจะเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ ถ้าแหล่งเชื้อเพลิงนั้นเป็นพืชรากและลมพัดแรง (สันต์ และคณะ, 2534)

2.3.3 สภาพภูมิประเทศ (topography)

สภาพภูมิประเทศ เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการกำหนดพฤติกรรมของไฟ โดยเฉพาะทิศทางและอัตราไฟลาม ปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศที่สำคัญและมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมของไฟ ได้แก่ ความลาดชันและทิศด้านลาด

(1) ความลาดชัน (slope)

ความลาดชันของภูเขามีผลต่ออัตราไฟลาม นิยมวัดเป็นร้อยละ ในเวลากลางวันไฟจะลามขึ้นเขาเสมอ เปลวไฟจะพุ่งขึ้นไปก่อน ทำให้เชื้อเพลิงด้านบนแห้งและลุกลามอย่างรวดเร็ว ในทิศทางลงเขาไฟจะลามลงด้านล่างอย่างช้าๆ (สันต์, 2526) ในที่ลาดชันไฟจะลามเร็วกว่าในที่ราบ ส่วนในเวลากลางคืนไฟจะลามลงเขาเนื่องจากอิทธิพลของระบบลมหุบเขากล่าวคือ ลมจะพัดลงหุบเขาในเวลากลางคืน และลมพัดขึ้นหุบเขาในเวลากลางวัน พื้นที่ยิ่งลาดชันไฟยิ่งลามเร็ว (สันต์, 2543)

ตามกฎหมายพฤติกรรมไฟเกี่ยวกับความลาดชันระบุว่า อัตราไฟลามจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ทุกๆ ความลาดชันที่เพิ่มขึ้น 10 องศา (McArthur, 1962) อัตราไฟลามจะเพิ่มขึ้น 2 เท่าทุกๆ ความลาดชันที่เพิ่มขึ้น 15 องศา จนถึงความลาดชัน 30 องศา ส่วนในที่ความลาดชันเกิน 30 องศา อัตราไฟลามจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า ทุกความลาดชันที่เพิ่มขึ้น 10 องศาและอัตราไฟลามจะเพิ่มขึ้น 10 เท่า เมื่อความลาดชันเกิน 35 องศา (Chandler et al., 1963, 1983)

(2) ทิศด้านลาด (aspect)

ทิศด้านลาด คือ ทิศทางของความลาดชัน มีความสำคัญเพราะหันเข้าสู่ทิศทางของลมพัดประจำ พายุ และดวงอาทิตย์ ทิศด้านลาดมีอิทธิพลต่อชนิดเชื้อเพลิง ปริมาณเชื้อเพลิง และสภาพแห้งแล้ง เชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่จะสะสมมากทางทิศด้านลาดทางทิศเหนือและทิศตะวันออก จะมีความชื้นมากกว่าและการเติบโตดีกว่า ทิศด้านลาดทิศใต้และทิศตะวันตกจะได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาบ่าย เชื้อเพลิงจะแห้งกว่าและไฟจะลามเร็วกว่าไฟที่เกิดทางทิศด้านลาดทิศเหนือและทิศตะวันออก ซึ่งได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาเช้า (สันต์, 2526, 2543)

3. การประมาณอันตรายไฟป่า (fire danger rating)

อันตรายไฟ (fire danger) หมายถึง อันตรายไฟที่เกิดจากปัจจัยที่คงที่ และปัจจัยที่แปรผัน ซึ่งมีผลกระทบต่อการเกิดไฟ การลามของไฟ และความยากง่ายในการควบคุมไฟ ตลอดจนความเสียหายที่เกิดจากไฟด้วย

การประมาณอันตรายไฟ เป็นการรวมอิทธิพลต่างๆ ของปัจจัยต่างๆ ที่ได้เลือกไว้แล้วเข้าด้วยกันเป็นดัชนี เพื่อบอกระดับอันตรายไฟ เพื่อใช้ประโยชน์ในการป้องกันไฟ เช่น ในการวางแผนการเตรียมกำลังคน และการเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น (สันต์ และคณะ, 2534)

การทำดัชนีเพื่อบอกระดับอันตรายไฟ สามารถกระทำได้ 2 แบบ คือ แบบเชิงคุณภาพ และแบบเชิงปริมาณ

3.1 แบบเชิงคุณภาพหรือแบบบรรยาย หมายถึง การประมาณอันตรายไฟโดยการใช้มาตรวัดอันตรายไฟ (fire danger meter) เช่นของ H.T. Gisborne ซึ่งเป็น slide rule โดยใช้ความสัมพันธ์ของตัวแปร 5 อย่าง และแบ่งระดับอันตรายไฟออกเป็น 7 ระดับ ตัวแปร 5 อย่างได้แก่ ความชื้นของเชื้อเพลิง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ วันที่ในฤดูไฟป่า กิจกรรมที่ทำให้เกิดไฟ และระยะทางของทัศนวิสัย แต่ละระดับอันตรายไฟได้บรรยายถึงพฤติกรรมของไฟและเสนอแนวทางการควบคุมไฟ เช่นที่ ระดับที่ 1 ไฟรุนแรงน้อยที่สุด ระดับที่ 7 ไฟจะรุนแรงมากที่สุด ต่อมาได้มีการปรับปรุงและกำหนดสเกลตั้งแต่ 0 – 100 และแบ่งระดับอันตรายเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (สเกล 0-1) ระดับปานกลาง (สเกล 2-5) ระดับสูง (สเกล 16-17) ระดับสูงมาก (สเกล 18-49) และระดับสูงสุด (สเกล 50-100) (Brown and Davis, 1973) สำหรับการประมาณอันตรายไฟของ Andrew (1980) จะกำหนดวิธีการควบคุมไฟ ตามค่าความรุนแรงของไฟและความยาวเปลวไฟ ดังแสดงในตารางที่ 1

สำหรับในประเทศไทย สิริ (2539) ได้ทำการจัดระดับชั้นอันตรายของไฟป่า ในอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย โดยอาศัยตารางจัดระดับอันตรายจากไฟป่าและการแปลความหมายของ Andrew (1980) และสันต์ (2526) และประสบการณ์ในด้านการปฏิบัติการไฟป่า เป็นเกณฑ์ดังตารางดัชนีไฟป่า ในตารางที่ 2 และมาตรการควบคุมไฟป่าจากดัชนีไฟ ในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าของพฤติกรรมไฟกับวิธีการควบคุมไฟป่า

ความยาวเปลวไฟ		ความรุนแรงไฟ		การควบคุมไฟ
(ฟุต)	(เมตร)	(บีทียู/ฟุต/วินาที)	(กิโลวัตต์/เมตร)	
<4	<1.22	<100	<345.86	-ไฟด้านหัวและด้านข้างสามารถควบคุมได้โดยใช้เครื่องมือธรรมดา -แนวกันไฟธรรมดาสามารถสกัดไฟนี้ได้
4-8	1.22-2.44	100 - 500	345.86 - 1,729.3	-พนักงานไม่สามารถสกัดกั้นที่หัวไฟได้โดยใช้เครื่องมือธรรมดา -แนวกันไฟธรรมดาไม่สามารถสกัดไฟนี้ได้ -ไฟนี้ควบคุมโดยใช้รถแทรกเตอร์ เครื่องฉีดน้ำ และใช้สารเคมีโปรยจากเครื่องบิน
8-11	2.44-3.35	500 - 1,000	1,729.3 - 3,458.6	-ไฟเป็นแบบ torching out, crowning และ spotting ขากแก่การควบคุม -วิธีการควบคุมไฟชนิดนี้ควรใช้วิธีทางอ้อม -การควบคุมไฟชนิดนี้โดยวิธีทางตรงมีน้อยมาก
>11	>3.35	>1,000	>3,458.6	-ไฟเป็นแบบ crowning, spotting และ running fire -ไม่สามารถควบคุมไฟโดยวิธีทางตรงอย่างเด็ดขาด แม้ใช้วิธีทางอ้อมก็ลำบากและใช้เวลานาน

ที่มา: Andrew (1980); สันต์ (2526)

ตารางที่ 2 ดัชนีไฟแสดงค่าความชื้นของเชื้อเพลิงในแต่ละระดับอันตรายจากไฟฟ้า ของป่าเต็งรัง
บริเวณอุทยานแห่งชาติคอกยสุเทพ-ปุย

ความชื้นเชื้อเพลิง (ร้อยละ)	ระดับอันตรายจากไฟฟ้า
น้อยกว่า 15	สูงมาก (Extreme)
15-26	สูง (High)
26-37	ปานกลาง (Moderate)
มากกว่า 37	ต่ำ (Low)

ที่มา: ศิริ (2539)

ตารางที่ 3 มาตรการควบคุมไฟฟ้าจากดัชนีไฟฟ้า ของป่าเต็งรัง บริเวณอุทยานแห่งชาติคอกยสุเทพ-ปุย

ระดับ อันตราย	ความรุนแรงไฟ (kW/m)	ลักษณะการลุกลามของไฟ	การควบคุมไฟ
ต่ำ	น้อยกว่า 83.45	ไฟลุกลามช้ามากและ ไม่ต่อเนื่อง บางจุดอาจดับ ไปเองได้ เพราะเชื้อเพลิงมี ความชื้นสูง	-ใช้วิธีดับทางตรงแบบดับทันที -โดยใช้ที่ตบไฟและถังฉีดน้ำ
ปานกลาง	83.45 - 192.24	ไฟลุกลามช้าแต่ต่อเนื่อง	-ใช้วิธีดับทางตรงแบบดับทันที -โดยใช้ที่ตบไฟและถังฉีดน้ำ แต่ใช้กำลังคนมาก -ใช้วิธีดับทางตรงแบบดับทันที
สูง	192.24 - 301.03	ไฟลุกลามรวดเร็วและ ต่อเนื่อง	-ใช้วิธีดับทางตรงโดยมุ่งสกัด ที่แนวหัวไฟก่อน -โดยใช้ที่ตบไฟ ถังฉีดน้ำ ติครถยนต์ (slip on tank)

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ระดับ อันตราย	ความรุนแรงไฟ (kW/m)	ลักษณะการลุกลามของไฟ	การควบคุมไฟ
สูงมาก	มากกว่า 301.03	ไฟลุกลามรวดเร็วมากและ ต่อเนื่อง แนวหัวไฟมีความ ร้อนมาก และอาจโปรย ลูกไฟ (spot fire) ได้	-ใช้วิธีดับทางตรงโดยมุ่งสกัด แนวหัวไฟก่อนโดยเครื่อง ดับเพลิงติดรถยนต์ -หรือใช้การดับทางอ้อมโดย ทำแนวกันไฟ ดักแนวหัวไฟ แม้ใช้วิธีทางอ้อมก็ลำบาก และใช้เวลามาก -โดยใช้เครื่องมือทุกอย่างที่มี อยู่

ที่มา: ศิริ (2539)

3.2 แบบเชิงปริมาณ หมายถึง การประมาณอันตรายไฟโดยใช้สูตรคณิตศาสตร์มาคำนวณค่าพฤติกรรมของไฟซึ่ง ได้แก่ อัตราไฟลาม ความรุนแรงของไฟ ความยาวของเปลวไฟ แบบเชิงปริมาณนี้ในสหรัฐอเมริกาและแคนาดาได้ใช้กัน 3 รูปแบบ ได้แก่ สูตรคณิตศาสตร์ของ Byram (1959) สูตรคณิตศาสตร์ของ Rothermel (1972) และ Nomograph ของ Albini (1976)

3.2.1 สูตรคณิตศาสตร์ของ Byram (1959)

สูตรนี้เป็นสูตรที่ใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความรุนแรงของไฟ ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิง น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ และอัตราการไฟลามเพื่อคำนวณหาความรุนแรงของไฟ ดังนี้

$$I = 0.007 HW_a R \quad (1)$$

โดย I = ความรุนแรงของไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)

$$\begin{aligned}
 H &= \text{ปริมาณความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)} \\
 &= \text{heat content} - \text{heat loss} \\
 &= \text{heat content} - [\text{radiation loss (666.7 แคลอรี/กรัม)} + \\
 &\quad \text{evaporation loss (แคลอรี/กรัม)}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_a &= \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ (ตัน/เฮกแตร์)} \\
 &= \text{ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผา} - \text{สิ่งที่หลงเหลือจากการเผา} \\
 &\quad (\text{ขี้เถ้า, ถ่าน และส่วนที่ไม่ติดไฟ})
 \end{aligned}$$

$$L = 0.08 I_B^{0.46} \quad (2)$$

โดย L = ความยาวของเปลวไฟ (เมตร)

I_B = ความรุนแรงของไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)

3.2.2 สูตรคณิตศาสตร์ของ Rothermel (1972)

สูตรนี้เป็นสูตรที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้กันแพร่หลายในสหรัฐอเมริกา และแคนาดาจนถึงปัจจุบัน โดยประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ตั้งแต่ใช้หาดัชนีอันตรายไฟจนถึงใช้คาดการณ์พฤติกรรมของไฟ ในขณะที่เกิดขึ้นในป่าจริงๆ สูตรนี้มีหลักการในการประมาณการลุกลามของไฟเป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนระหว่างแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งสะสมความร้อน มีสูตรดังนี้

$$R = \frac{I_R \zeta (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (3)$$

โดย R = อัตราไฟลามด้านหัวไฟ (เมตรต่อวินาที)

I_R = ความรุนแรงของไฟ (กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที)

ζ = the propagation heat flux ratio

Q_{ig} = ความร้อนที่ทำให้เชื้อเพลิงหน่วยหนึ่งถึงจุดติดไฟ (แคลอรีต่อกรัม)

ρ_b = ความหนาแน่นรวมของแหล่งเชื้อเพลิง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

ε = สัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ต้องถูกเผาไหม้เพื่อคงกระบวนกลั่นทำลาย

ϕ_w = ปัจจัยด้านลม

ϕ_s = ปัจจัยด้านความลาดชัน

(1) ความรุนแรงของไฟ (I_R) คือ อัตราการปลดปล่อยพลังงานต่อพื้นที่ บริเวณหัวไฟ ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วลมและความลาดชัน มีสูตรดังนี้ (Rothermel, 1982)

$$I_R = \Gamma' W_n H \eta_m \eta_s \quad (4)$$

โดย I_R = ความรุนแรงของไฟ (กิโลวัตต์/ตารางเมตร)

Γ' = Optimum reaction velocity (ต่อวินาที)

W_n = ปริมาณเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

H = ความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูล/กิโลกรัม)

η_m = Moisture damping coefficient

η_s = Mineral damping coefficient

(2) Propagating Flux ratio (ξ) คือ สัดส่วนของผลรวมพลังงาน ในรูปความรุนแรงของไฟที่แผ่เข้าไปใกล้เชื้อเพลิงทำให้เชื้อเพลิงเกิดความร้อน มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 มีสูตรดังนี้

$$\xi = \frac{\exp[(0.792+0.37597\sigma)(\beta+0.01)]}{(192+0.791\xi\sigma)} \quad (5)$$

โดย ξ = Propagating flux ratio

σ = อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร)

β = อัตราส่วนความอัดแน่น

(3) ปัจจัยด้านลม (ϕ_w) และปัจจัยด้านความลาดชัน (ϕ_s) ทำให้เปลวไฟมีมุมเอียงกับเชื้อเพลิงมากขึ้น ส่งผลให้พลังงานที่ทำให้เชื้อเพลิงมีความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ปัจจัยด้านลมและปัจจัยด้านความลาดชัน มีสูตรดังนี้

$$\phi_w = CU^B(\beta/\beta_{op})^{-E} \quad (6)$$

$$\phi_s = 5.275\beta^{-0.3}(\tan\phi)^2 \quad (7)$$

โดย ϕ_w = Wind coefficient

ϕ_s = Slope coefficient

$$C = 7.47 \exp(-0.133(0.3048\sigma)^{0.55})$$

U = ความเร็วลม

$$B = 0.02526(0.3048\sigma)^{0.54}$$

$$E = 0.715 \exp(-0.000359(0.3048\sigma))$$

β = อัตราส่วนความอัดแน่น

β_{op} = อัตราส่วนความอัดแน่นสูงสุด

$\tan\phi$ = ความชัน หรือระยะทางแนวตั้ง/แนวราบ

(4) ความหนาแน่นรวมของแหล่งเชื้อเพลิง (ρ_b) เป็นค่าปริมาณเชื้อเพลิงต่อความลึกเชื้อเพลิง มีสูตรดังนี้

$$\rho_b = \frac{W_o}{\delta} \quad (8)$$

โดย ρ_b = ความหนาแน่นรวมของแหล่งเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

W_o = น้ำหนักแห้งของปริมาณเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ตารางเมตร)

δ = ความลึกหรือความสูงของเชื้อเพลิง (เมตร)

(5) สัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ต้องถูกเผาไหม้เพื่อคงกระบวนกลั่นทำลาย (ε) คือ สัดส่วนของอนุภาคเชื้อเพลิงในแหล่งเชื้อเพลิงที่ได้รับความร้อนจากเปลวไฟจนถึงอุณหภูมิติดไฟ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 มีสูตรดังนี้

$$\varepsilon = \exp(-452.75/\sigma) \quad (9)$$

โดย ε = สัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ต้องถูกเผาไหม้เพื่อคงกระบวนกลั่นทำลาย

σ = อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร)

(6) ความร้อนที่ทำให้เชื้อเพลิงหน่วยหนึ่งถึงจุดติดไฟ (Q_{ig}) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ยับยั้งความชื้นในเชื้อเพลิง หรือทำให้น้ำในเซลล์ของพีระเหยออก และทำให้อุณหภูมิเชื้อเพลิงสูงขึ้นจนถึงจุดติดไฟ มีสูตรดังนี้

$$Q_{ig} = 581.5 + 25.957Mf \quad (10)$$

โดย Q_{ig} = ความร้อนที่ทำให้เชื้อเพลิงหน่วยหนึ่งถึงจุดติดไฟ
 Mf = ความชื้นเชื้อเพลิง (ร้อยละ)

(7) อัตราส่วนความอัดแน่น (β) คือ ความหนาแน่นรวมของแหล่งเชื้อเพลิงต่อความหนาแน่นของอนุภาคเชื้อเพลิงแห้ง มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 มีสูตรดังนี้

$$\beta = \frac{\rho_b}{\rho_p} \quad (11)$$

โดย β = อัตราส่วนความอัดแน่น
 ρ_b = ความหนาแน่นรวมของแหล่งเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
 ρ_p = ความหนาแน่นอนุภาคของเชื้อเพลิงแห้ง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

(8) อัตราส่วนความอัดแน่นสูงสุด (β_{op}) คือ อัตราส่วนความอัดแน่นของเชื้อเพลิงเมื่อค่า reaction velocity มีค่าสูงสุด มีสูตรดังนี้

$$\beta_{op} = 8.8578\sigma^{-0.8189} \quad (12)$$

โดย β = อัตราส่วนความอัดแน่น
 σ = อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร)

สำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตามสูตรของ Rothermel (1972) เรียกว่า แบบจำลองเชื้อเพลิง (fuel model) ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ 11 ชนิด ได้แก่ ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิง ความหนาแน่นอนุภาค ปริมาณแร่ธาตุอาหารทั้งหมด ปริมาณแร่ธาตุอาหารไม่รวมซิลิกา อัตราส่วน

พื้นที่ผิวต่อปริมาตรเชื้อเพลิง ปริมาณความชื้นเชื้อเพลิง ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงที่ติดไฟแต่ไม่ลาม ปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยเนื้อที่ ความสูงของเชื้อเพลิง ความลาดชันของพื้นที่ และความเร็วลม

3.2.3 Nomograph ของ Albini

Nomograph เป็นกราฟพฤติกรรมไฟจัดทำขึ้นสำหรับประมาณค่าอัตราไฟลาม ความรุนแรงของไฟ และความยาวเปลวไฟ ของ stylized fuel model ต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา วิธีใช้ โดยเพียงแต่วัดค่าความชื้นของเชื้อเพลิงขนาดเล็ก ความเร็วลม และความลาดชัน ในพื้นที่แต่ละแห่ง เท่านั้น และมีทั้งหมด 13 โมเดลด้วยกัน (Albini, 1976)

4. การศึกษาด้านพฤติกรรมของไฟในป่าชนิดต่างๆ ในประเทศไทย

ไฟป่าในประเทศไทยมักเกิดขึ้นทุกปีในหน้าแล้ง ตั้งแต่เดือนธันวาคม ถึงเดือนพฤษภาคม ไฟป่าเกิดมากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ และช่วงเวลาที่เกิดไฟมากที่สุดคือ 10.00-16.00 น. ไฟป่ามักเกิดในป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าสน หุบเขาในไร่ร้างและสวนป่าต่างๆ ไฟป่าในประเทศไทยมักเผาไหม้เป็นหย่อมๆ ไม่เผาไหม้ติดต่อกันเป็นผืนใหญ่เหมือนในต่างประเทศ ไฟป่าในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดไฟผิวดิน ไม่ค่อยรุนแรงมาก เพราะอยู่ในเขตร้อน มีลมมรสุมพัดผ่าน มีความชื้นสัมพัทธ์สูงและเชื้อเพลิงส่วนใหญ่มีสารสกัดพวกน้ำมันน้อย แต่อย่างไรก็ตามไฟป่าที่เผาไหม้ในป่าธรรมชาติ และสวนป่าก็ทำความเสียหายแก่ต้นไม้ในป่าธรรมชาติ และทำให้กล้าไม้ที่ปลูกใหม่ตาย นอกจากนี้บริเวณที่ถูกไฟไหม้บ่อยๆ ก็มีผลกระทบต่อสมบัติของดินทั้งทางเคมีและทางกายภาพ (สันต์, 2543)

การศึกษาด้านไฟป่า มีการศึกษาทั้งในด้านนิเวศวิทยาของไฟป่า การจัดการไฟป่า และพฤติกรรมของไฟป่า สำหรับการศึกษาด้านพฤติกรรมไฟในประเทศไทยนั้น มีการศึกษาทั้งในด้านลักษณะของเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อพฤติกรรมไฟ และการศึกษารูปแบบของพฤติกรรมของไฟป่า โดยในประเทศไทย การศึกษาส่วนใหญ่จะทำการศึกษาในสังคมพืชป่าเต็งรัง รองลงมาคือป่าเบญจพรรณ สำหรับในสังคมพืชอื่นๆ จะยังมีการศึกษาไม่มากนัก และการศึกษาส่วนใหญ่จะทำการศึกษาในท้องที่ห้วยขาแข้ง รูปแบบของการศึกษาในพื้นที่ต่างๆ ก็มีลักษณะแตกต่างกันไป เช่น การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟตามแต่ละสังคมพืช การศึกษาเพื่อทราบถึงลักษณะเชื้อเพลิงในท้องที่ในช่วงระยะเวลาต่างๆ การศึกษาเพื่อนำไปทำการสร้างดัชนี

ระดับอันตรายไฟฟ้า การศึกษารูปแบบและอัตราไฟลาม การศึกษาในพื้นที่ที่มีความถี่ไฟที่แตกต่างกัน การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแวดล้อมต่างๆกับลักษณะของเชื้อเพลิง การศึกษาพฤติกรรมไฟที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกล การศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองเพื่อคาดคะเนพฤติกรรมไฟ เป็นต้น การศึกษาลักษณะเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของไฟที่มีในประเทศไทย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 และ 5 และสรุปรายงานการศึกษาเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของไฟฟ้าในประเทศไทย ในตารางที่ 6

สำหรับการศึกษาในสังคมพืชป่าสน มีการศึกษาอยู่น้อย และสำหรับสังคมย่อยป่าสนผสมก่อ และป่าสนผสมเต็งรังไม่มีรายงานการศึกษาเลย ทั้งที่เป็นสังคมพืชที่มีไฟฟ้าเป็นประจำ อีกทั้งการศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองเพื่อคาดคะเนพฤติกรรมไฟ ก็ยังมีการศึกษาที่ยังไม่ครอบคลุมสังคมพืชต่างๆ จึงควรมีการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนต่อไป

5. สาเหตุของการเกิดไฟฟ้าในประเทศไทย

ไฟฟ้าในประเทศไทย มาจากการกระทำของมนุษย์ โดยมีสาเหตุหลัก มาจากการหาของป่า การล่าสัตว์และการเผาไร่ จากผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้ป่าหรือมีพื้นที่เกษตรกรรมอยู่ติดกับป่า (ศิริ, 2546) ดังแสดงในตารางที่ 7

6. สังคมพืชป่าสนเขา (coniferous forest)

อุทิศ (2541) กล่าวว่าโครงสร้างของสังคมป่าสนเขา มีองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้ในสังคม และไม้เด่น (dominant species) ในชั้นเรือนยอดบนสุดของป่า ประกอบด้วยไม้สนเป็นไม้เด่น อาจเป็นสนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh.& de Vriese) หรือสนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง ลักษณะโครงสร้างแปรผันไปตามพื้นที่ อาจประกอบด้วยไม้สนเกือบทั้งหมด หรืออาจผสมกับไม้ชนิดอื่น แต่มีไม้สนเป็นชั้นเรือนยอดบนสุดที่ต่อเนื่องหรือขึ้นกระจัดกระจายเหนือชั้นเรือนยอดชั้นรองที่เป็นไม้ชนิดอื่น

ตารางที่ 4 การศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงของแหล่งเชื้อเพลิงบางชนิดในประเทศไทย

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ตัน/เฮกเตอร์)	ผู้ทำการศึกษา
ไร่ร้าง	คอยอ่างขาง	21.97	สิริรัตน์ (2528)
ไร่ร้าง	คอยอ่างขาง	22.73	Kaitpraneet and Thaiutsa (1987)
ไร่ร้าง	คอยภูคา	51.10	กอบศักดิ์ และคณะ (2552)
ไร่หมุนเวียนรอบยาว	คอยภูคา	30.84	กอบศักดิ์ และคณะ (2552)
ไร่หมุนเวียนรอบสั้น	คอยภูคา	19.54	กอบศักดิ์ และคณะ (2552)
ดิบเขา	ภูกระดึง	1.94	คณิงนิจ (2539)
สน	ภูกระดึง	4.87	คณิงนิจ (2539)
เต็งรังผสมสน	บ้านวัดจันทร์	6.46	ทศพล (2555)
เต็งรังผสมสน	บ้านวัดจันทร์	5.30	ทศพล (2555)
เต็งรัง	สะแกราช	7.30	สมศักดิ์ (2520)
เต็งรัง	สะแกราช	11.02	มณูญศักดิ์ (2530)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	6.86	Himmapan (2005)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	5.00	Himmapan (2005)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	11.88	Bhumpakphan (1997)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	5.43	Bhumpakphan (1997)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	4.30	Wanthongchai (2008)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	5.80	Wanthongchai (2008)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	8.10	Wanthongchai (2008)
เต็งรัง	ภูกระดึง	4.69	คณิงนิจ (2539)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	11.21	บุญส่ง (2541)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	5.44	ศิริ และคณะ (2546)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	3.74	สุภรัตน์ และคณะ (2545)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	9.67	สุนทร (2546)

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ตัน/เฮกเตอร์)	ผู้ทำการศึกษา
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	3.74	ศุภรัตน์ และคณะ (2545)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	9.67	สุนทร (2546)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	11.51	สุนทร (2546)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	3.12	ยุทธนา (2549)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	3.08	ศุทธิณี(2553)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	3.56	ศุทธิณี(2553)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	4.30	ศุทธิณี(2553)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	3.86	Wiriya (2009)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	3.61	Wiriya (2009)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	1.93	Wiriya (2009)
เต็งรัง	สลักพระ	5.01	ศิริ (2543ข)
เต็งรัง	กาญจนบุรี	4.41	วีระพล (2546)
เต็งรัง	ดอยสุเทพ-ปุย	5.19	ศิริ และสานิตย์ (2535)
เต็งรัง	ดอยสุเทพ-ปุย	8.30	ชัยรัตน์ (2546)
เต็งรัง	ภูพาน	4.13	ศุภรัตน์ (2535)
เต็งรัง	เพชรบุรี	4.31	ศิริ (2546)
เต็งรัง	รวม 5 พื้นที่*	4.79	ศิริและคณะ (2548)
เบญจพรรณ	ภูกระดึง	4.88	คณินิจ (2539)
เบญจพรรณ	เขาใหญ่	5.49	ศิริ (2537)
เบญจพรรณ	ดอยสุเทพ-ปุย	8.60	ชัยรัตน์ (2546)
เบญจพรรณ	เขียงใหม่	3.92	ศักดิ์ชัย (2553)
เบญจพรรณ	ป่าสาธิตแม่หวด	7.90	ชาญชัยและคณะ (2519)
เบญจพรรณ	ห้วยขาแข้ง	3.54	ยุทธนา (2549)
เบญจพรรณ	ห้วยขาแข้ง	6.85	ศิริ และคณะ (2548)

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ตัน/เฮกเตอร์)	ผู้ทำการศึกษา
เบญจพรรณ	ห้วยขาแข้งและสลักพระ	3.94	ประยูรวงศ์ (2551ข)
เบญจพรรณ	ห้วยขาแข้งและสลักพระ	3.34	ประยูรวงศ์ (2551ก)
ดิบแล้ง	ภูกระดึง	4.55	คณินิจ (2539)
ดิบแล้ง	เขาอ่างฤๅไน	7.19	อรรถพล (2548)
ดิบแล้ง	ดอยสุเทพ-ปุย	9.90	ชัยรัตน์ (2546)
ดิบแล้ง	ผาแต้ม	8.51	ธานนท์ (2553)
ทุ่งหญ้า	มวกเหล็ก	11.17	ศิริ (2534)
แปลงปลูกป่าFPT	พบนพระ-อุ้มผาง	5.53	พงษ์ศักดิ์ (2549)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าคลองตะเกรา	17.66	ชัชวาล (2548)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าคลองตะเกรา	20.14	ชัชวาล (2548)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าคลองตะเกรา	23.63	ชัชวาล (2548)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าลาดกระทิง	15.25	ฟองแก้ว (2549)
สวนป่ากระถินเทพา	สวนป่าลาดกระทิง	15.55	ฟองแก้ว (2549)
สวนป่าสัก	สวนป่าแม่ลี้	8.60	พลากร (2554)
สวนป่าสัก- วนเกษตร	สวนป่าแม่ลี้	4.84	พลากร (2554)
พรุ	พรุบาเจาะ	9.80	ศิริ (2546)

หมายเหตุ *ทำการศึกษา รวม 5 พื้นที่ ได้แก่ ถ้ำน้ำกอก (เขียงราย) ดอยสุเทพ-ปุย (เชียงใหม่)
ห้วยขาแข้ง (อุทัยธานี) แก่งตะนะ (อุบลราชธานี)

ตารางที่ 5 การศึกษาพฤติกรรมของไฟฟ้าในประเทศไทย

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	อัตราไฟลาม (เมตร/นาทีก)	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	ความยาวเปลวไฟ (เมตร)	ผู้ทำการศึกษา
ไร่ร้าง	คอยอ่างขาง	400.20	38,627.83	10.00	สิริรัตน์ (2528)
ไร่ร้าง	คอยอ่างขาง	7.80	38,753.61	9.89	Kaitpraneet and Thaiutsa (1987)
ไร่ร้าง	คอยภูคา	1.14-1.86	120.35 - 2,118.37	0.5-10	กอบศักดิ์และคณะ (2552)
ไร่หมุนเวียนรอบยาว	คอยภูคา	0.73	724.09	0.5-10	กอบศักดิ์และคณะ (2552)
ดิบเขา	ภูกระดึง	0.3-1.0	35.59	0.3-0.5	คณิงนิจ (2539)
สน	ภูกระดึง	1.5-1.8	3,940.00	2.42	คณิงนิจ (2539)
เต็งรังผสมสน	บ้านวัดจันทร์	4.40	542.84	1.33	ทศพล (2555)
เต็งรังผสมสน	บ้านวัดจันทร์	2.44	291.50	1.06	ทศพล (2555)
เต็งรัง	สระแกราช	4.46	194.13	2.47	มณูญศักดิ์ (2530)
เต็งรัง	สระแกราช	1.0-35.1	79 - 3,154	0.5-3.1	มณูญศักดิ์ (2530)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	-	98.11	-	Bhumpakphan (1997)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	-	134.95	-	Bhumpakphan (1997)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.47	66.17	0.45	Himmapan (2006)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	อัตรา ไฟลาม(เมตร/นาท)	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	ความยาว เปลวไฟ(เมตร)	ผู้ทำการศึกษา
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.44	44.33	1.51	Himmapan (2006)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	2.70	361.10	1.53	Wanthongchai (2008)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	2.60	466.80	1.27	Wanthongchai (2008)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	1.30	291.20	5.50	Wanthongchai (2008)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.67	110.71	0.70	บุญส่ง (2541)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	2.74	543.54	1.61	ศิริ และคณะ (2546)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.82	167.98	0.95	สุนทร (2546)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	1.07	286.98	1.35	สุนทร (2546)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	1.34	184.71	0.86	Wiriya (2009)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	2.75	414.76	1.27	Wiriya (2009)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	2.39	408.61	1.24	Wiriya (2009)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.79-6.25	109 - 861	0.69 - 1.79	Wiriya (2009)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.86-10.72	129 - 1,611	0.75 - 2.39	Wiriya (2009)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	อัตรา ไฟลาม(เมตร/นาท)	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	ความยาว เปลวไฟ(เมตร)	ผู้ทำการศึกษา
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.88 - 12.41	149.00 - 2,115.00	0.80 - 2.71	Wiriya (2009)
เต็งรัง	ภูกระดึง	0.3-1.0	57.77	0.20 - 0.70	คณินิจ (2539)
เต็งรัง	สลักพระ	2.81	-	-	ศิริ (2543ข)
เต็งรัง	กาญจนบุรี	0.45	-	0.20 - 0.40	วีระพล (2546)
เต็งรัง	คอยสุเทพ-ปุย	1.72	249.26	-	ศิริ (2539)
เต็งรัง	คอยสุเทพ-ปุย	-	243.22	1.00	ชัยรัตน์ (2546)
เต็งรัง	รวม 5 พื้นที่*	0.95	109.04	0.65	ศิริและคณะ (2548)
เบญจพรรณ	ห้วยขาแข้ง	0.60	91.37	0.64	บุญส่ง (2541)
เบญจพรรณ	ห้วยขาแข้ง	-	107.82	0.62	Bhumpakphan (1997)
เบญจพรรณ	ห้วยขาแข้ง	-	62.06	0.57	Bhumpakphan (1997)
เบญจพรรณ	ภูกระดึง	0.60 - 1.00	102.09	0.30 – 1.00	คณินิจ (2539)
เบญจพรรณ	คอยสุเทพ-ปุย	3.41	-	-	กรีธา (2540)
เบญจพรรณ	คอยสุเทพ-ปุย	-	227.19	0.97	ชัยรัตน์ (2546)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	อัตรา ไฟลาม(เมตร/นาทีก)	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	ความยาว เปลวไฟ(เมตร)	ผู้ทำการศึกษา
เบญจพรรณ	ป่าสาธิตแม่หวด	0.73	179.00	0.84	ชาญชัยและคณะ
ดิบแล้ง	ภูกระดึง	0.30 -1.00	35.59	0.30 - 0.50	คณินิจ (2539)
ดิบแล้ง	เขาอ่างฤๅไน	0.31	32.57	0.39	อรรถพล (2548)
ดิบแล้ง	ดอยสุเทพ-ปุย	-	25.85	0.28	ชัยรัตน์ (2546)
ทุ่งหญ้า	ทุ่งแสลงหลวง	2.24	3,965.85	2.44	สมศักดิ์ (2550)
ทุ่งหญ้า	มวกเหล็ก	8.29	2,165.80	5.70	ศิริ (2534)
แปลงปลูกป่า FPT	พบพระ-อุ้มผาง	0.92	108.35	0.78	พงษ์ศักดิ์ (2549)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าคลองตะเกรา	2.60	1,341.31	3.00	ชัชวาลย์ (2548)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าคลองตะเกรา	1.65	7,614.70	9.89	ชัชวาลย์ (2548)
สวนป่ากระถินเทพา	สวนป่าลาดกระทิง	0.68	189.49	1.30	ฟองแก้ว (2549)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าลาดกระทิง	0.28	87.44	1.50	ฟองแก้ว (2549)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	อัตรา ไฟลาม(เมตร/นาท)	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	ความยาว เปลวไฟ(เมตร)	ผู้ทำการศึกษา
สวนป่าสัก	สวนป่าแม่เมะ	2.70	564.71	1.57	กอบศักดิ์ (2554)
สวนป่าสัก	สวนป่าแม่เมะ	4.73	568.61	1.45	กอบศักดิ์ (2554)

หมายเหตุ *ทำการศึกษารวม 5 พื้นที่ ได้แก่ ลำน้ำกก (เชียงราย) ดอยสุเทพ-ปุย (เชียงใหม่)
ห้วยขาแข้ง (อุทัยธานี) แก่งตะนะ (อุบลราชธานี)

ตารางที่ 6 สรุปการศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของไฟฟ้าในประเทศไทย

แหล่งเชื้อเพลิง	ปริมาณ เชื้อเพลิง (ตัน/เฮกแตร์)	อัตรา ไฟลาม (เมตร/นาทีก)	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	ความยาว เปลวไฟ (เมตร)
ไร่ร้าง	21.97 - 51.10	1.14-400.2	120.35 - 38,753.61	0.5 – 10.00
ไร่หมุนเวียน	19.54 - 30.84	0.73	724.09	0.50 – 10.00
ดิบเขา	1.94	0.3-1	35.59	0.30 - 0.50
สน	4.87	1.5-1.8	3,940.00	2.42
เต็งรังผสมสน	5.30 - 6.46	2.44 - 4.44	291.5 - 542.84	1.06 - 1.33
เต็งรัง	3.08 - 11.88	0.3 - 4.46	57.77 - 466.8	0.2 - 5.5
เบญจพรรณ	3.34 - 8.60	0.60 - 3.41	62.06 - 227.19	0.3 - 1
ดิบแล้ง	4.55 - 9.90	0.30 - 1.00	32.57 - 35.59	0.3 - 0.5
ทุ่งหญ้า	11.70	2.24-8.29	2,165.80 - 3,965.85	2.44 - 5.7
แปลงปลูกป่าFPT	5.53	0.92	108.35	0.78
สวนป่ายูคาลิปตัส	15.25 - 23.63	0.28-2.6	87.44 - 1,341.31	1.5 - 9.89
สวนป่ากระถินเทพา	15.55	0.68	189.49	1.3
สวนป่าสัก	8.60	2.70-4.73	564.71 - 568.61	1.45 - 1.57
สวนป่าสัก-วนเกษตร	4.84	-	-	-
พรุ	9.80	-	-	-

ตารางที่ 7 สัดส่วนความถี่ของการเกิดไฟฟ้า และสัดส่วนพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้จากแต่ละสาเหตุ
ของประเทศไทย (พ.ศ. 2541-2552)

สาเหตุของไฟฟ้า	ความถี่ของไฟ (ร้อยละ)	พื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ (ร้อยละ)
หาของป่า	37.4	28.9
ล่าสัตว์	19.6	22.9
เผาไร่	16.4	15.2
ความขัดแย้ง	4.5	6.1
ลักลอบทำไม้	2.3	1.5
เลี้ยงสัตว์	4.0	4.2
อุบัติเหตุ, ประมาทเลนเล่อ	1.1	1.6
นักท่องเที่ยวนักท่องเที่ยว	0.5	0.4
ไม่ทราบสาเหตุ	11.1	16.5
อื่น ๆ	3.0	2.7
รวม	100.0	100.0

ที่มา: สำนักป้องกัน ปรามปรามและควบคุมไฟฟ้า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช,
(2556ก)

6.1 การกระจาย

ป่าสนเขามีสุนัขกลางกระจายอยู่ทางตอนเหนือของพม่า ติดต่อกับจีน โดยเฉพาะเขต
สิบสองปันนาของจีน ในประเทศไทยจัดได้ว่าเป็นขอบของการกระจายของสังคมพืชชนิดนี้ ฉะนั้น
จึงพบเห็นป่าสนเขาเป็นหย่อมเล็ก ๆ เฉพาะในส่วนที่มีปัจจัยแวดล้อมเหมาะสมเท่านั้น ป่าสนเขาที่
ปรากฏตามธรรมชาติ มีการกระจายอยู่ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในจังหวัดที่มี
สภาพภูมิอากาศแบบใต้เขตร้อน (sub-tropic climate) เนื่องจากไม้สนขึ้นได้ดีในสภาพภูมิสังคมที่
ค่อนข้างเป็นสนล้วนปรากฏอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับสูง แต่ที่ปรากฏตามธรรมชาตินั้นไม้ทั้งสองชนิดนี้
อาจพบได้ตั้งแต่ความสูงประมาณ 50 เมตร จากระดับน้ำทะเลขึ้นไปจนถึง 1,800 เมตร แหล่งใหญ่
ของป่าสนเขามีกการกระจายตั้งแต่จังหวัดเชียงรายลงมาถึงจังหวัดตากและที่พบลงมาได้สุดคือ
จังหวัดเพชรบุรี ส่วนทางภาคตะวันออกพบในเทือกเขาเพชรบูรณ์ลงมาถึงจังหวัดชัยภูมิ ป่าสน
แหล่งสำคัญที่เป็นที่รู้จัก ได้แก่ ป่าสนวัดจันทร์ ป่าสนบนยอดดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

ป่าสนในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ป่าสนบนภูกระดึง และป่าสนในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว เป็นต้น (อุทิศ, 2541)

6.2 ปัจจัยกำหนดที่ก่อให้เกิดป่าสนเขา

ปัจจัยกำหนดที่สำคัญที่ก่อให้เกิดป่าสนเขา คือ สภาพภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ เป็นระยะเวลายาวนาน สภาพดินที่ค่อนข้างเป็นกรดจัด และความแห้งแล้งในช่วงฤดูแล้งที่ไม่ป่าดิบปรับตัวได้ยาก โดยสภาพแล้วเป็นปัจจัยแวดล้อมที่เป็นรอยเชื่อมต่อกันระหว่างป่าผลัดใบกับป่าดิบเขาหรือป่าดิบแล้งกับป่าดิบเขาตนเอง ลักษณะทางนิเวศวิทยาของไม้สนสามารถขึ้นได้ดีในพื้นที่ที่ค่อนข้างแห้งแล้งพอควรแต่จะเจริญทดแทนตามธรรมชาติได้ดีหากมีอากาศค่อนข้างเย็นยาวนาน (อุทิศ, 2541)

6.3 พันธุ์ไม้และลักษณะโครงสร้างของป่าสน

เนื่องจากป่าสนเขาต้องการปัจจัยแวดล้อมที่เฉพาะ ฉะนั้นในสภาพสังคมที่แท้จริงของป่านี้จึงมีพันธุ์ไม้ปรากฏอยู่น้อย ยกเว้นในสังคมที่เป็นสังคมย่อย ในสังคมป่าสนเขาโดยแท้มีชั้นเรือนยอดด้านตั้งแยกได้เป็น 3 ชั้นเรือนยอด ชั้นบนสุดมีความสูงประมาณ 40 เมตร ประกอบด้วยไม้สนสองใบ หรือสนสามใบ ไม้ชั้นรองเป็นไม้ในป่าดิบเขาระดับต่ำ มีความหนาแน่นแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม พืชคลุมดินขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของป่าที่แปรผันไปตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่และลักษณะความหนาแน่นของเรือนยอดชั้นบน ในป่าสนที่มีไม้สนขึ้นหนาแน่นและปรากฏอยู่ห่างๆ เนื่องจากใบสนที่สลายตัวตกลงมาปกคลุมพื้นดินค่อนข้างหนาเป็น การยากต่อการเจริญทดแทนของพืชอื่นๆ ปริมาณแสงที่น้อยเนื่องจากการปกคลุมของเรือนยอดชั้นบนก็มีส่วนอยู่ไม่น้อย อย่างไรก็ตามถ้าหากมีไฟป่าเกิดขึ้นบ่อยและทำลายใบสนให้หมดไปพร้อมทั้งเปิดผิวดินให้แก่พืชชั้นล่าง ก็อาจพบพื้นที่ป่าที่แน่นทึบด้วยหญ้าและพืชล้มลุกอื่นๆ

ป่าสนเขาในประเทศไทยอาจแบ่งย่อยออกได้เป็นสองสังคมย่อย คือ สังคมย่อยป่าสนผสม ก่อ (pine-oak subcommunity) พบกระจายอยู่ในพื้นที่ที่ค่อนข้างสูง มีช่วงความหนาวเย็นนาน และสังคมย่อยป่าสนผสมเต็งรัง (pine-dipterocarp subcommunity หรือ pine deciduous dipterocarp forest) พบกระจายอยู่ในระดับต่ำกว่าสังคมย่อยแรก คือ อยู่ในช่วงความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1,000 เมตร

ลักษณะโครงสร้างของสังคมย่อยป่าสนผสมก่อ โดยทั่วไปประกอบด้วยสามชั้นเรือนยอด ชั้นบนสุดมักประกอบด้วยไม้สนล้วน อาจเป็นสนสองใบหรือสนสามใบหรือผสมกันระหว่างสองชนิดนี้ในบางพื้นที่เรือนยอดค่อนข้างแน่นทึบ แต่บางพื้นที่ปรากฏเป็นกลุ่มๆ มีช่วงที่ขาดตอนหรือบางแห่งมีเรือนยอดกระจัดกระจายห่างๆ กัน ความสูงของเรือนยอดชั้นนี้อยู่ในช่วง 30 ถึง 40 เมตร ในกรณีที่ เรือนยอดโผล่กระจัดกระจายไม่ต่อเนื่องกัน อาจเรียกชั้นเรือนยอดโผล่เหนือไม้อื่น ขึ้นไปว่า emergent layer ส่วนเรือนยอดชั้นรองประกอบด้วยไม้ก่อเป็นส่วนใหญ่ผสมกับไม้อื่นๆ ที่ปรากฏในป่าดิบเขาในระดับต่ำ ในชั้นนี้มีความสูงอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 เมตร แยกจากเรือนยอดชั้นบนค่อนข้างชัดเจน ส่วนใหญ่มักมีเรือนยอดสอดแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างชั้นบน

สังคมย่อยสนผสมเต็งรัง มีการกระจายค่อนข้างกว้างขวางกว่าสังคมย่อยสนผสมก่อ และมีลักษณะโครงสร้างที่แปรผันไปตามความอุดมสมบูรณ์ของสภาพพื้นที่ได้มาก ในสภาพที่สมบูรณ์สุดมีชั้นเรือนยอดถึง 4 ชั้น คือ เรือนยอดชั้นบนประกอบด้วยไม้สนล้วน ส่วนใหญ่เป็นสนสองใบเป็นชั้นเรือนยอดที่โผล่เหนือชั้นรองเป็นจุดๆ ไม้ในชั้นนี้มีความสูงประมาณ 30 ถึง 40 เมตร แต่ละต้นมีเรือนยอดกว้างขวาง ส่วนชั้นรองประกอบด้วยไม้ดัชนีของป่าเต็งรัง (อุทิศ, 2541) จงรัก (2550) กล่าวว่า ในพื้นที่ภูเขาทางภาคเหนือของประเทศไทย อาจพบป่าดิบเขาในระดับต่ำ สังคมสนเขาผสมก่อ (lower montane pine-oak forest) ซ้อนทับกับป่าเต็งรัง สภาพภูมิประเทศและปัจจัยดินเป็นปัจจัยจำกัดการกระจายของสนสามใบ ในป่าสนผสมเต็งรัง ความถี่และความรุนแรงของไฟเป็นปัจจัยที่เอื้ออำนวยแก่ สนสองใบ ที่มีคุณลักษณะในการทนทานต่อไฟได้ดีกว่าสนสามใบ นอกจากนี้สภาพของพื้นที่มักมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง และมีสายลมเย็นอยู่อย่างสม่ำเสมอ ทำให้กิ่งบนของต้นไม้มีไกลเคนเกาะอาศัยอยู่ รวมทั้งมอสส์และกล้วยไม้

แม้ว่าป่าสนได้จัดไว้ในกลุ่มของป่าไม่ผลัดใบแต่ไม้ในป่านี้ที่นอกเหนือจากไม้สนมักมีการผลัดใบในฤดูแล้ง โดยเฉพาะสังคมย่อยสนผสมเต็งรัง ในช่วงฤดูแล้งพื้นป่ามักทับถมด้วยใบและซากพืชชั้นล่างเป็นเชื้อเพลิงให้แก่ไฟป่าเป็นประจำ อย่างไรก็ตามไม้ในป่าได้มีการปรับตัวในด้านสรีระและนิเวศวิทยา เช่น มีเปลือกหนาเพื่อป้องกันความร้อนเข้าไปทำลายเนื้อเยื่อเจริญ หลายชนิดที่เป็นพืชชั้นล่างมักฝังตาเจริญไว้ใต้ดินเพื่อให้รอดพ้นจากการทำลายของไฟป่า ไม้ใหญ่บางชนิดโปรยเมล็ดหลังไฟป่า (อุทิศ, 2541)

7. พื้นที่ศึกษา

7.1 สถานที่ตั้งและลักษณะทั่วไป

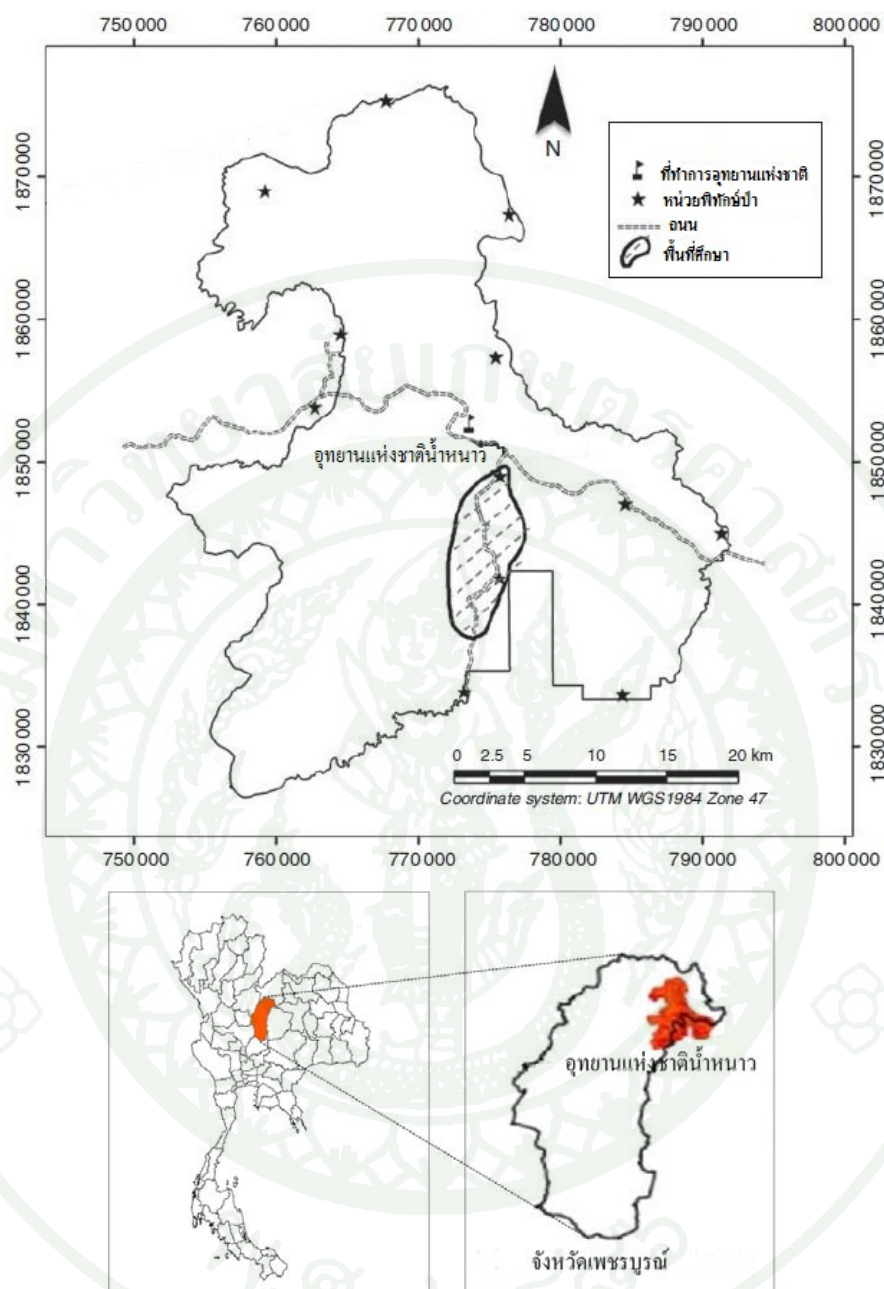
อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ตั้งอยู่ในเขตเทือกเขาเพชรบูรณ์ฝั่งตะวันออก ซึ่งวางตัวในแนวเหนือใต้ อยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 16 องศา 30 ลิปดา ถึง 16 องศา 57 ลิปดา เหนือ และเส้นลองจิจูดที่ 101 องศา 23 ลิปดา ถึง 101 องศา 45 ลิปดา ตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่ 3 อำเภอของจังหวัดเพชรบูรณ์ คืออำเภอเมืองเพชรบูรณ์ อำเภอหล่มสัก อำเภอน้ำหนาว และ 1 อำเภอของจังหวัดชัยภูมิ คืออำเภอกอนสาร ตั้งอยู่ในแนวเขตแบ่งระหว่างภาคเหนือกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 603,750 ไร่ หรือ 966 ตารางกิโลเมตร (กรมป่าไม้, 2534) มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ป่าอื่นๆ ดังนี้

ทิศเหนือ	จดอำเภอภูหลวง จังหวัดเลย
ทิศใต้	จดอุทยานแห่งชาติภูเขียว อุทยานแห่งชาติตาหมอก
ทิศตะวันออก	จดอุทยานแห่งชาติภูกระดึง และอุทยานแห่งชาติภูผาม่าน
ทิศตะวันตก	จดเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูผาแดง (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2553)

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ เลือกทำการศึกษาบริเวณสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและสังคมย่อยป่าสนผสมก่อ บริเวณที่เรียกว่าสวนสนกลุ่มข้าว ดังปรากฏในภาพที่ 3

7.2 ลักษณะภูมิประเทศ

เนื่องจากภูเขาในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภูเขาที่เกิดจากการยกตัวในอดีต ทำให้มีลักษณะเป็นภูเขาขูดราบ หรือมีที่ราบอยู่บนยอดเขา แต่บริเวณเชิงเขาจะเป็นหน้าผาชัน อันเนื่องมาจากการกัดเซาะ เพราะบริเวณขอบนั้น เป็นหินทรายที่ยังจับตัวกันไม่แน่น ทำให้ง่ายต่อการกัดเซาะ ก่อให้เกิดเป็นหน้าผาชัน ซึ่งมีลักษณะเป็นโต๊ะ หรือ Meza มีความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 800 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง จุดสูงสุดในบริเวณอุทยานแห่งชาติอยู่ที่ภูด่านอีป้อง ซึ่งสูงประมาณ 1,271 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ระดับความสูงของพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาวเป็นไปดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 แผนที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

จากที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงชันสลับซับซ้อน และเป็นเทือกเขาที่ต่อเนื่อง ได้มีพรรณไม้ธรรมชาติหลากหลาย โดยเฉพาะสนเขาที่ปกคลุมอย่างหนาแน่น จึงทำให้เป็นแหล่งต้นน้ำของแม่น้ำชี ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกของอุทยานแห่งชาติ โดยผ่านลำน้ำที่อยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติได้แก่ ลำน้ำพรม ลำน้ำเชิญ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งต้นน้ำของแม่น้ำป่าสักซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของอุทยานแห่งชาติ โดยผ่านห้วยน้ำคูก และห้วยขอนแก่น

ส่วนความลาดชันของพื้นที่ในเขตอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 10 ร้อยละ 10 – 30 และมากกว่าร้อยละ 30 ซึ่งพื้นที่ทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 213 ตารางกิโลเมตร 584 ตารางกิโลเมตร และ 169 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ (กรมป่าไม้, 2534)

7.3 ลักษณะทางปฐพีวิทยา

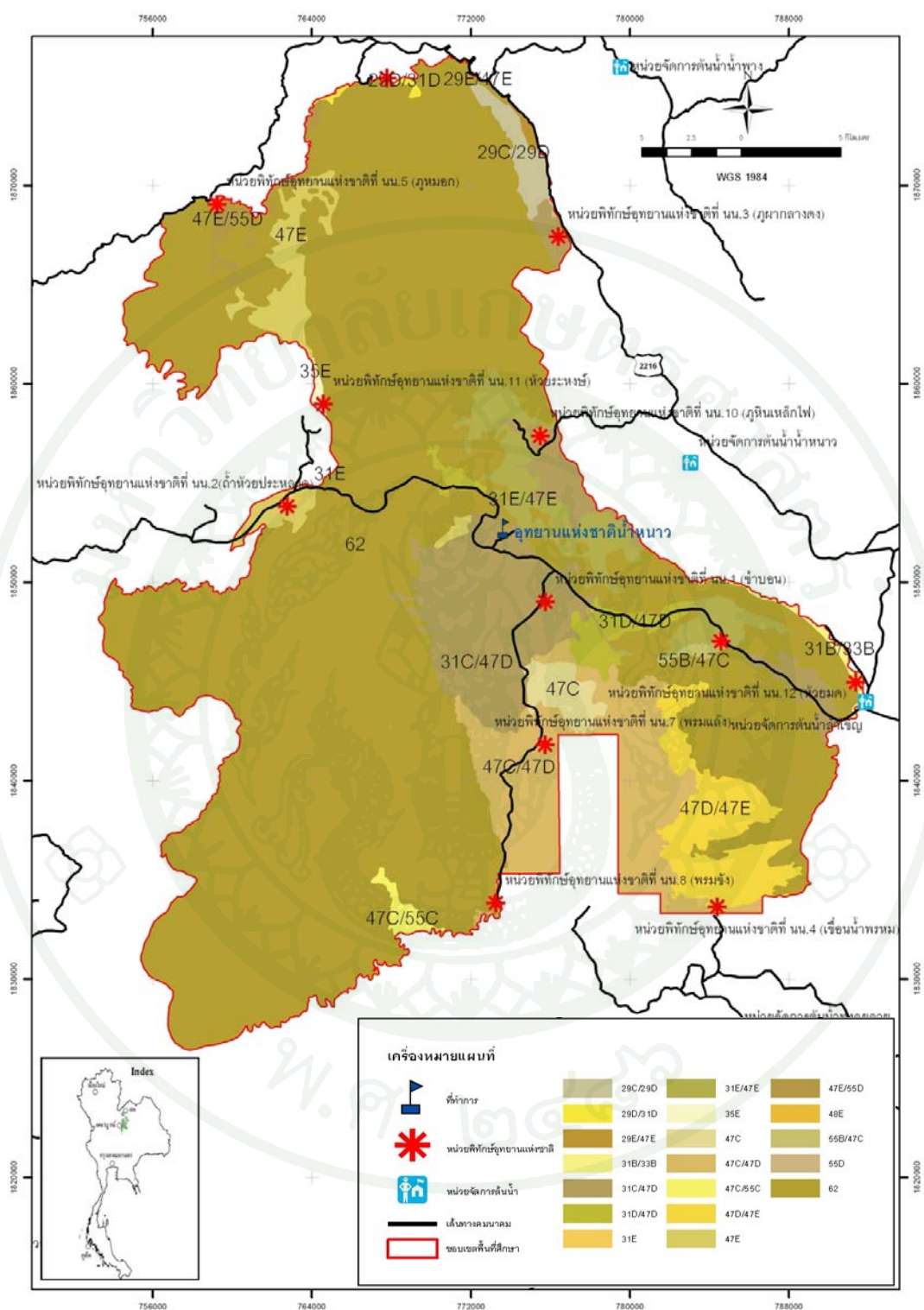
พื้นที่ทั้งหมดของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จัดอยู่ในประเภทหน่วยดินที่ลาดเชิงซ้อน (slop complex, sc) ซึ่งยังไม่ได้มีการจำแนกอย่างชัดเจน ลักษณะของหน่วยดินนี้เกิดจากการสลายตัวของหินหลายชนิด จึงทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกันไปทั้งเนื้อดิน สีดิน และปฏิกิริยาของดินตามแต่วัตถุดิบกำเนิด เช่น ดินที่เกิดจากหินทราย จะมีเนื้อดินเป็นดินเนื้อหยาบ ปฏิกิริยาเป็นกรด ดินที่เกิดจากหินดินดานหรือหินปูนจะมีเนื้อดินละเอียด ปฏิกิริยาของดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง หินดินกำเนิดดินในบริเวณนี้ส่วนใหญ่เป็นหินทราย หินดินดาน หินปูน หินทรายแป้งและหินกรวดมนปนอยู่บ้าง ลักษณะของดินส่วนใหญ่เป็นดินต้น มีหินโผล่อยู่ทั่วไป ส่วนที่เป็นดินลึก มีทั้งที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายและดินเหนียว และปฏิกิริยาของดินมีทั้งที่เป็นกรดและเป็นด่างเกิดอยู่ปะปนกัน ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ จึงได้รวมเป็นหน่วยเดียวกัน (กรมป่าไม้, 2534) ลักษณะชุดดินของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว เป็นไปดังภาพที่ 5

7.4 ลักษณะทางธรณีวิทยา

สภาพทางธรณีวิทยา (geological features) ในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว มีธรณีสัณฐานเป็นเทือกเขาสูงชันที่มีที่ราบเล็กน้อย หินที่พบในพื้นที่นี้แบ่งออกเป็น 2 ชุดใหญ่ คือ หินชุดราชบุรี (Ratchaburi group) มีอายุในราวยุคเพอร์เมียน (permain period) ในมหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic era) ตอนปลาย คือประมาณ 280 ล้านปีมาแล้ว หินชุดนี้ที่พบในบริเวณนี้เป็นหินปูน (limestone) มีสีเทาถึง

เทาดำ เรียงตัวเป็นชั้นหนาๆ มีรอยแตกมาก เป็นลักษณะหินที่อำนวยให้เกิดถ้ำได้ดี พบถ้ำขนาดใหญ่ในบริเวณอุทยานแห่งชาติหลายแห่ง ในบางชั้นพบหินเชิร์ต (chert) สีดำแทรกสลับอยู่บ้าง การกระจายตัวของหินชุดนี้พบได้ในบริเวณด้านทิศเหนือและทิศใต้ ของอุทยานแห่งชาตินี้ หินชุดโคราช (Khorat group) กำเนิดขึ้นในมหายุคมีโซโซอิก (mesozoic era) ประมาณ 230 ล้านปีมาแล้ว หินชุดโคราชที่ปรากฏในพื้นที่ เป็นหินตะกอน (sedimentary rock) พบว่ามีอยู่ 6 หน่วยหินด้วยกัน โดยมีชั้นหินอายุน้อยวางตัวอยู่บนชั้นหินที่มีอายุแก่กว่า หินที่มีอายุน้อยที่สุดที่พบคือ หน่วยหินภูพาน (Phu Phan formation) ซึ่งเป็นหินทรายปนกรวด (conglomeratic sandstone) สีขาวปนน้ำตาล เหลือง เม็ดตะกอนขนาดปานกลาง ถึงขนาดหยาบ มีกรวดปน มีความคงทนต่อการกร่อนได้ดี หน่วยหิน ถัดมา คือ หน่วยหินเสาขัว (Sao Khua formation) ลักษณะหน่วยหินนี้เป็นหินทราย (sand stone) สีแดงอ่อน เม็ดตะกอนขนาดเล็ก บางบริเวณเป็นหินทรายแป้ง (silt stone) มีกรวดปนบ้าง ในบริเวณที่เป็นหินทรายแป้งปรากฏว่ารูปทรงของภูเขาจะเอียงลาด บริเวณใดเป็นหินทราย ภูเขาจะมีลักษณะเป็นผาชัน ถัดต่ำลงมาเป็นหน่วยหินพระวิหาร (Phra Wiharn formation) หินหน่วยนี้เป็นหินที่คงทนต่อการกร่อนสูงมาก เป็นหินทรายสีขาวถึงสีชมพู ขนาดตะกอนปานกลางถึงหยาบ ถัดต่อมา เป็นหน่วยหินภูกระดึง (Phu Kra Dung formation) ลักษณะหินส่วนใหญ่เป็นหินดินดาน (shale) สีน้ำตาลแดงและสีน้ำตาลเทา มีแร่ไมกา (mica) ปะปน และหินทรายแป้งสีน้ำตาลแดง และสีน้ำตาลเทา มีแร่ไมก้าปนอยู่เช่นกัน ลำดับถัดลงมาเป็นหน่วยหินน้ำพอง (Nam Phong formation) ลักษณะเป็นหินทรายสีแดงถึงสีน้ำตาล พบหินกรวดมน (conglomerate) บ้างเล็กน้อย หน่วยหินที่อยู่ชั้นล่างสุดของชุดหินโคราชคือ หน่วยหินห้วยลาด (Huai Hin Lat formation) ลักษณะของหน่วยหินนี้เป็นหินกรวดมนและมีหินทรายปนบ้างเล็กน้อย การกระจายตัวของหินชุดโคราชนี้ส่วนใหญ่พบในบริเวณทิศตะวันออก – ทิศตะวันตกของพื้นที่อุทยานแห่งชาติ

ลักษณะธรณีสัณฐานในภูมิประเทศที่เป็นเขตอุทยานแห่งชาติ เป็นเทือกเขาที่มีการวางตัวแบบกระหวะหงาย (syncline) การวางตัวของชั้นหินต่างๆ จะอยู่ในแนวทิศเหนือ- ทิศใต้ สำหรับลำดับการวางตัวของหินนั้น หินที่มีอายุน้อยจะอยู่ข้างบน ซึ่งเป็นการวางตัวแบบปกติวิสัย พบรอยเลื่อน (fault) ขนาดใหญ่อยู่ 2 แห่ง คือ บริเวณเขาห้วยไฮ และเขาขุนพาย การวางตัวของรอยเลื่อนทั้งสองกล่าวโดยคร่าวๆ อยู่ในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ (กรมป่าไม้, 2534) ลักษณะทางธรณีวิทยาของอุทยานชาติน้ำหนาว เป็นไปดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ขุดดินบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

ที่มา: ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2553)

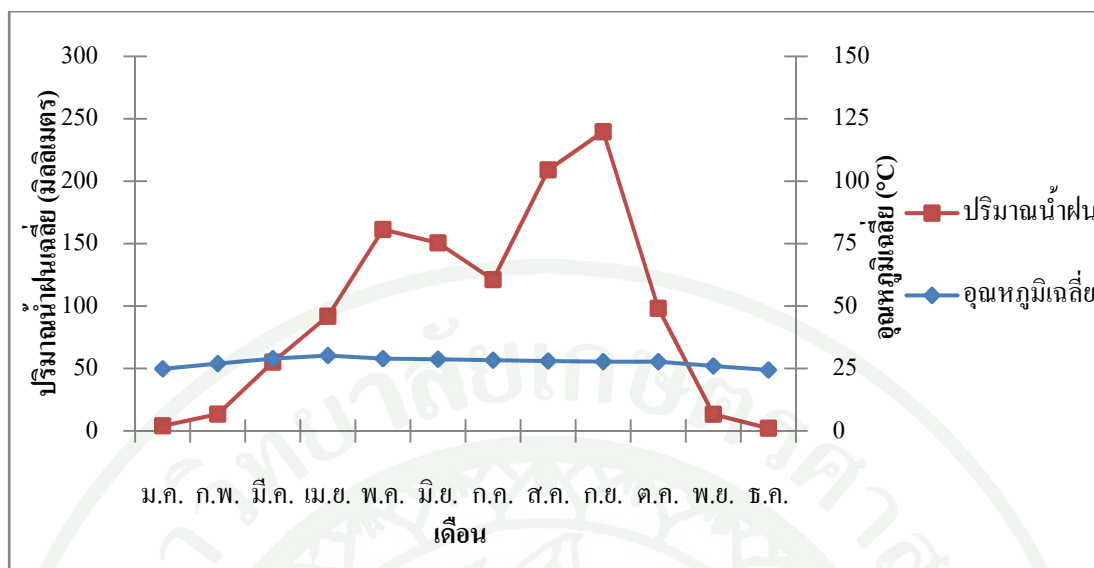
7.5 ลักษณะภูมิอากาศ

เนื่องจากในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ไม่มีสถานีตรวจวัดอากาศเป็นของตนเอง จึงนำข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ใกล้เคียง ได้แก่ ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาหล่มสัก และสถานีอุตุนิยมวิทยาชัยภูมิ มาใช้ในการอธิบายลักษณะภูมิอากาศในพื้นที่ ซึ่งมีข้อมูลดัง ตารางที่ 8 และภาพที่ 7

ตารางที่ 8 ข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจากพื้นที่รอบอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
พ.ศ. 2542-2552

เดือน	ปริมาณ น้ำฝน (มิลลิเมตร)	ความชื้น สัมพัทธ์ (ร้อยละ)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)
มกราคม	4.04	62.91	24.85	32.07	17.98
กุมภาพันธ์	13.42	61.52	26.95	34.12	20.18
มีนาคม	55.08	63.27	28.95	35.87	22.52
เมษายน	91.80	68.67	30.17	36.52	24.44
พฤษภาคม	161.36	77.48	28.95	34.06	24.56
มิถุนายน	150.60	79.09	28.68	33.31	24.55
กรกฎาคม	121.13	79.58	28.29	32.63	24.32
สิงหาคม	209.10	81.45	27.98	32.20	24.17
กันยายน	239.67	82.94	27.72	32.06	23.97
ตุลาคม	98.14	77.00	27.69	32.55	23.24
พฤศจิกายน	13.30	69.15	26.00	31.93	20.54
ธันวาคม	2.08	64.88	24.40	30.98	18.25
รวม	1159.72				
เฉลี่ย		72.33	27.55	33.19	22.39

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2553)



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ข้อมูลเฉลี่ยในช่วง พ.ศ. 2542-2552 ในพื้นที่รอบอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2553)

7.6 ลักษณะพืชพรรณ

อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว มีพื้นที่ป่าไม้ ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 95.3 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งสามารถจำแนกสังคมพืชได้เป็นลักษณะต่างๆ ดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 8)

7.6.1 ป่าดิบ (tropical evergreen forest) มีพื้นที่ร้อยละ 62.2 ประกอบด้วยสภาพป่า 3 ลักษณะ คือ

(1) ป่าดิบชื้น (moist evergreen forest) จะพบตามหุบเขาและริมลำห้วยบริเวณที่มีความชื้นสูง ชนิดไม้ที่สำคัญ ได้แก่ ยาง (*Dipterocarpus spp.*) สมพง (*Tetrameles nudiflora* R.Br.) ตะเคียนทอง (*Hopea odorata* Roxb.) กระต่อน (*Sandolicum koetjape* (Burm.f.) Merr.) มะหาด (*Artocarpus lacucha* Roxb.) ยมหอม (*Toona ciliata* M.Roem.) (กองอุทยานแห่งชาติ กรมป่าไม้, 2529)

(2) ป่าดิบเขา (hill evergreen forest) พบเป็นหย่อมๆ และขึ้นปะปนกับป่าสนเขาในพื้นที่ที่มีความลาดชัน และมีระดับ ความสูงประมาณ 800 เมตรขึ้นไป โครงสร้างของป่าสามารถแบ่งโครงสร้างชั้นเรือนยอดได้ 3 ชั้น การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ดี มีจำนวนกล้าไม้และไม้รุ่นค่อนข้างมาก ชนิดไม้ที่สำคัญได้แก่ ทะโล้ (*Schima wallichii* Choisy) ยางปาย (*Dipterocarpus costatus* C.F.Gaertn.) ก่อขน (*Lithocarpus tubulosus* A.Camus) แดงดง (*Aglaia rufinervis* (Blume) Benth) ก่อจี๋หนู (*Lithocarpus vestitus* Chun) ก่อแหลม (*Castanopsis ferox* (Roxb.) Spach) ส้าน (*Dillenia ovata* (Blume) Hoogland) กระบก (*Irvingia malayana* Oliv. Ex a. Benn.) และเสม็ดชัน (*Syzygium gratum* (Wight) S.N. Mitra var. *gratum*) เป็นต้น

(3) ป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest) ขึ้นอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 500 เมตรขึ้นไป และมีลักษณะพื้นที่เป็นดินดาน ลักษณะโครงสร้างชั้นเรือนยอดแบ่งออกเป็น 3 ชั้น การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ดี มีจำนวนลูกไม้และไม้รุ่นค่อนข้างสูง ชนิดไม้ที่สำคัญได้แก่ ก่อเดือย (*Castanopsis Acuminatissima* (Blume) A.DC.) ก่อจี๋หนู (*Lithocarpus Vestitus* Chun) ยางปาย (*Dipterocarpus costatus* Gaertn.f.) ยมหิน (*Chukrasia velutina* Wight & Arn.) แดงสะแง (*Schoutenia ovata* Korth.) หว้า (*Syzygium Cumini* (L.) Skeels) และมะกอกค้อน (*Schrebera swietenoides* Roxb.) เป็นต้น

7.6.2 ป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest) มีพื้นที่ร้อยละ 22.4 เป็นชนิดป่าเบญจพรรณที่ไม่มีไม้สัก ลักษณะโครงสร้างชั้นเรือนยอดแบ่งออกเป็น 3 ชั้น การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ไม้ที่สำคัญได้แก่ ตะแบกแดง (*Lagerstroemia calyculata* Kurz) กระพ่อน (*Sandoricum koetjape* Merr.) มะค่าโมง (*Azelia xylocarpa* (Kurz) Craib) ส้มกบ (*Hymenodictyon excelsum* Wall.) แสนคำ (*Terminalia nigrovenulosa* Pierre ex Laness.) ไทร (*Ficus concinna* Miq.) กระโดน (*Careya sphaerica* Roxb.) แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) Taub. Var. *kerrii* (Craib & Hutch.) I.C.Nielsen) เพกา (*Oroxylum indicum* (L.) Kurz) และปอแดง (*Sterculia guttata* Roxb.) เป็นต้น

7.6.3 ป่าเต็งรัง (dry dipterocarp forest) มีพื้นที่ร้อยละ 5.4 ขึ้นอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 400 – 600 เมตร ลักษณะโครงสร้างชั้นเรือนยอดแบ่งออกเป็น 2 ชั้น แต่บริเวณที่ขึ้นปะปนกับป่าสนเขาจะมี 3 ชั้นเรือนยอด การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ดี ชนิดไม้ที่พบ ได้แก่ เต็ง (*Shorea btusa* Wall.ex Blume) รัง (*Shorea siamensis* Miq. Var. *siamensis*) มะม่วงหาวแมงวัน

(*Buchanania lanzan* Spreng.) ตั้ว (*Gratoxylum formosum* (Jack) Dyer) ขอบป่า (*Morinda coreia* Ham.) หนามแท่ง (*Catunaregam tomentosum* (Kurz) Bakh.f.) เชียด (*Cinnamomum bejolghota* (Buch.-Ham.) Sweet) สมอ (*Terminalia chebula* Retz.) ก่อจี๋หมู (*Lithocarpus. Vestitus* Chun) และ ก่อแหลม (*Castanopsis ferox* (Roxb.) Spach) เป็นต้น

7.6.4 ป่าสนเขา (pine forest) มีพื้นที่ร้อยละ 3.9 ประกอบด้วยป่าสนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh.& de Vriese) และสนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) แต่ส่วนใหญ่จะเป็น ป่าสนสามใบ นอกจากนี้จะพบป่าสนขึ้นปะปนกับป่าดิบเขา หรือป่าเต็งรังด้วย

(1) ป่าสนสามใบ ลักษณะโครงสร้างของป่าแบ่งออกเป็น 2 ชั้นเรือนยอด การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ชนิดไม้ที่สำคัญ ได้แก่ สนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) เหมือดโลด (*Aporosa villosa* (Wall. Ex Lindl.) Baill.) ปอแก่นเทา (*Grewia eriocarpa* Juss.) กระทุ่มบก (*Anthocephalus chinensis* (Lamk.) A. Rich. Ex Walp.) กระโดน (*Careya sphaerica* Roxb.) และหว้า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) เป็นต้น

(2) ป่าสนสองใบ ลักษณะโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ชั้นเรือนยอด การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ชนิดไม้ที่สำคัญ เช่น สนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh.& de Vriese) หนามแท่ง *Catunaregam longispina* (Roxb. ex Link) Tirveng. เหมือดโลด (*Aporosa villosa* (Wall. Ex Lindl.) Baill.) เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm.ex Miq) มะกอกค้อน (*Schrebera swietenoides* Roxb.) ตั้ว (*Gratoxylum formosum* (Jack) Dyer) และจันทน์ (*Diospyros curtisii* King et Gamble) เป็นต้น

7.6.5 อื่นๆ ได้แก่ ป่าไผ่ มีพื้นที่ ร้อยละ 0.9 หุบหญ้า มีพื้นที่ ร้อยละ 0.5 และไร่ร้าง มีพื้นที่ร้อยละ 4.7 (กรมป่าไม้, 2534)

ตามข้อมูลของแผนแม่บท อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ของกรมป่าไม้ (2534) และการสำรวจของชมภูณูช และชนิษฐา (2547) และรายงานข้อมูลพื้นฐานของศูนย์วิจัยป่าไม้ (2553) ไม่ได้ทำการจัดแบ่งสังคมย่อยของป่าสนไว้ อย่างไรก็ตาม ธวัชชัย (2550) ได้กล่าวถึง สังคมพืชป่าเต็งรัง-ไม้สนที่พบในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวไว้ นอกจากนี้ อุทิศ (2541) ได้กล่าวถึงผลการศึกษา สังคมพืชป่าสนผสมก่อในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว ซึ่งมีอาณาเขตเชื่อมต่อกับอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวไว้

โดยพบว่าในสังคมพืชป่าสนผสมกึ่ง มีไม้เหียง ซึ่งเป็นไม้ป่าเต็งรัง ที่ขึ้นได้ดีในที่สูงและชื้น ขึ้นอยู่ สอดคล้องกับรายงานของจงรัก (2550) ที่กล่าวถึงการซ้อนทับระหว่างสังคมพืชป่าเต็งรังผสมสนกับ ป่าดิบเขาในระดับต่ำสังคมสนเขา-กึ่ง ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะที่พบในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

นอกจากนี้จากการสำรวจของชมภูณูช และชนิษฐา (2547) พบว่า มีไม้ก่อในสกุลต่างๆ เป็น ไม้ที่มีปริมาณมากที่สุด และมีปริมาณอยู่ในอันดับต้น ของทุกชนิดป่า แม้ในทุ่งหญ้า ในป่าสนเขา พบว่ามีทั้งไม้เหียงและไม้ก่อ มีปริมาณอยู่ในอันดับต้น และพบว่ามีไม้เหียงขึ้นในป่าดิบเขาด้วย

8. ป่าเสื่อมโทรม (forest degradation)

Food and Agriculture Organization [FAO] (2007) ได้รวบรวมความหมายของคำว่า ป่า เสื่อมโทรม จากองค์กรต่างๆ และสรุปความหมายของป่าเสื่อมโทรมว่า เป็นป่าที่ได้รับผลจากการ กระทำของมนุษย์ เป็นระยะเวลายาวนาน มีการเปลี่ยนแปลงในทางลบต่อโครงสร้าง หน้าที่ และ ความสามารถโดยทั่วไปในการให้สินค้าและบริการของป่า อย่างไรก็ตาม จากการรวบรวมดังกล่าว ได้มีการให้ความหมายที่กล่าวถึงการลดลงของการปกคลุมของเรือนยอด และสาเหตุของป่า เสื่อมโทรม ที่ได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติไว้ด้วย เช่น พายุ โรคและแมลง เป็นต้น

จากความหมายดังกล่าวข้างต้น เมื่อนำมาพิจารณากับสังคมพืชป่าสน ในบริเวณภูมู่่มข้าว อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้รับผลกระทบจากไฟป่า โดยจากสถิติการเกิดไฟ ป่า ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2545 – 2552 พบว่า มีไฟป่าเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2545 พ.ศ. 2546 และพ.ศ. 2548 (สำนักป้องกัน ปราบปรามและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2556ข) รวมถึงการเกิดพายุ และฟ้าผ่าทำให้ไม้สนในพื้นที่ล้มตายเป็นจำนวนมาก การปกคลุมของเรือนยอด ไม้สนลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของหญ้าคา ทำให้องค์ประกอบของเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลง นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไฟ และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ (Wanthongchai *et al.*, 2013) จากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและหน้าที่ ของสังคมพืชป่าสน ดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้จึงเรียกสังคมป่าสนในพื้นที่ศึกษาว่า ป่าสนเสื่อมโทรม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กล้องอินฟราเรดวัดอุณหภูมิไฟ (MINOLTA TA-510)
2. เครื่องตรวจวัดสภาพภูมิอากาศแบบพกพา (Kestrel pocket weather tracker)
3. กล้องถ่ายรูป
4. แท่งเหล็กขนาดความยาว 3 เมตร
5. ตาข่ายขนาดต่างๆ
6. Abney's level
7. เทปวัดระยะทาง
8. นาฬิกาจับเวลา
9. เครื่องมือกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (global positioning system: GPS)
10. เข็มทิศ
11. เวอร์เนีย คาลิเปอร์ (vernier caliper)
12. ชุดเครื่องดูดฝุ่นในรถยนต์พร้อมแบตเตอรี่
13. ตู้อบ
14. แผ่น Dot grid
15. เครื่อง Adiabatic bomb calorimeter
16. เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

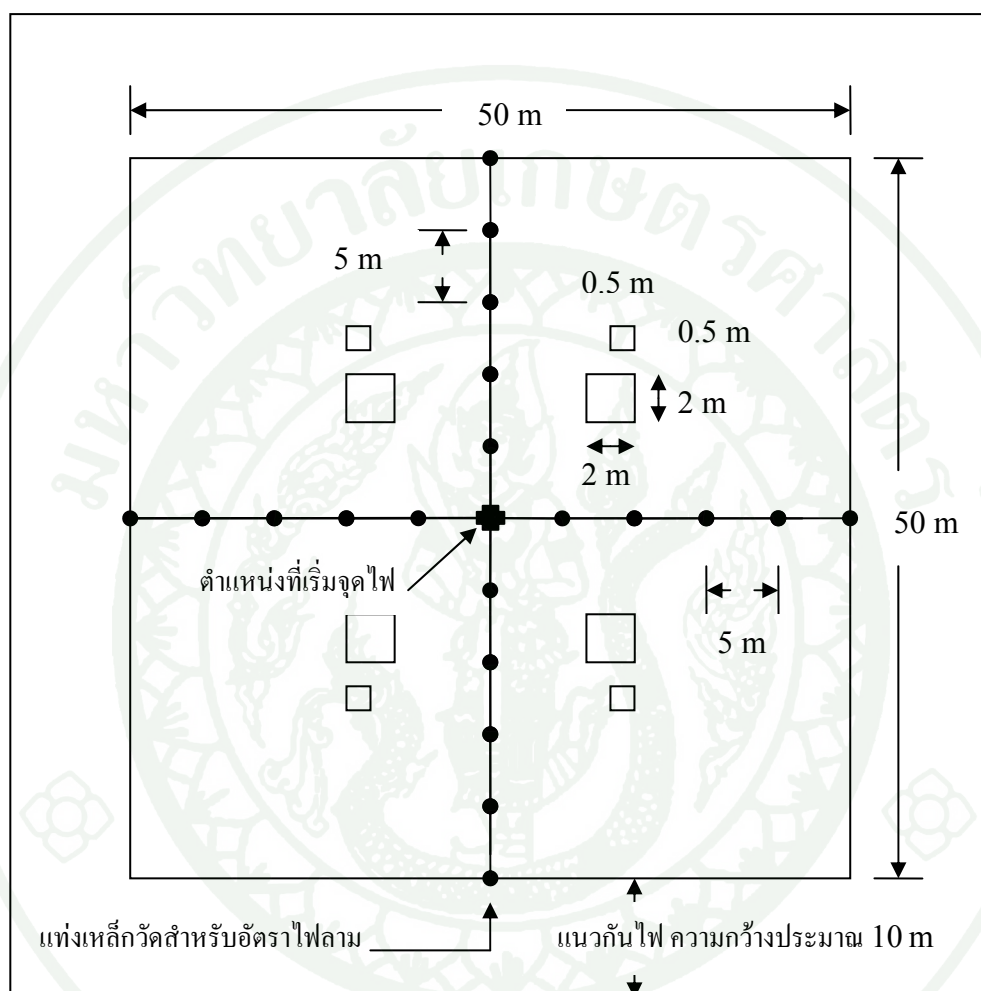
วิธีการ

1. การวางแผนทดลอง

1.1 คัดเลือกพื้นที่ศึกษาที่เป็นสังคมพืชป่าสน ได้แก่สังคมย่อยป่าสนซึ่งเป็นป่าที่เสื่อมโทรม และสังคมย่อยป่าสนผสมกึ่ง บริเวณภูกลุ่มข้าว ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

1.2 วางแผนศึกษาขนาด 50×50 เมตร ชนิดป่าละ 3 แปลง และวางแผนขนาด 2 × 2 เมตร ที่บริเวณมุมทั้งสี่ห่างจากขอบแปลงทดลอง 15 เมตร จำนวน 4 แปลง เพื่อศึกษาลักษณะของ

เชื้อเพลิงก่อนเผาและแปลงขนาด 50 x 50 เซนติเมตร จำนวน 4 แปลง บริเวณใกล้กับแปลงศึกษาเชื้อเพลิงก่อนเผา เพื่อศึกษาลักษณะของเชื้อเพลิงหลังเผา ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนผังการวางแปลงศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงและลักษณะพฤติกรรมไฟ

2. การเก็บข้อมูล

2.1 การเก็บข้อมูลก่อนเผา

2.1.1 ศึกษาสมบัติเชื้อเพลิงในแต่ละแปลงทดลองขนาด 2 x 2 เมตร โดยสำรวจก่อนทำการเผาแปลงทดลองประมาณ 10 วันในช่วงฤดูไฟป่า โดยมีสมมติฐานว่าสมบัติเชื้อเพลิงในช่วงเวลาที่

ทำการสำรวจก่อนเผา และในวันที่ทำการเผาไม่แตกต่างกัน ทำการประมาณความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงโดย ประมาณการร้อยละการปกคลุมพื้นที่แยกไปตามแต่ละประเภทของเชื้อเพลิง โดยทำการแยกเชื้อเพลิงเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

- (1) ซากพืช (litter) คือ ใบ ดอก ผล เปลือก เมล็ด และส่วนอื่นๆ ของพืชที่ร่วงหล่นสู่พื้น ยกเว้นส่วนที่เป็นกิ่งก้านซึ่งจะทำการแยกเก็บเป็นอีกประเภท
- (2) กิ่งก้าน (twig) คือ ส่วนของกิ่งก้านของต้นไม้ที่ร่วงหล่นสู่พื้นโดยจะเก็บที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 7.6 เซนติเมตร
- (3) หญ้า (grass) คือ พืชจำพวกหญ้าทั้งหมด
- (4) ไม้พุ่ม (shrub) คือ พืชจำพวกไม้พุ่มซึ่งมีลำต้นหลายลำต้น
- (5) ไม้ล้มลุก (herb) คือ พืชจำพวกไม้เถาว์ พืชมีหัว เฟิร์น ต่างๆ
- (6) กล้าไม้ (seedling) คือ ต้นกล้าของไม้ต้น ที่มีความสูงไม่เกิน 1.30 เมตร

โดยให้ผู้ทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 4 คนทำการประมาณร้อยละการปกคลุมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย ทั้งนี้ ลักษณะชีพลักษณะของพืชพรรณ ใช้เกณฑ์การจำแนกของเต้ม (2544) ในการจำแนก

2.1.2 ความสูงของเชื้อเพลิง วัดความสูงของแต่ละประเภทเชื้อเพลิงโดยเชื้อเพลิงประเภทเศษซากพืช และหญ้า ซึ่งมีความสูงค่อนข้างสม่ำเสมอ จะทำการสุ่มวัดในแปลงย่อย 2×2 เมตร แปลงละ 3 จุด บริเวณที่เชื้อเพลิงมีความสูงที่สุด ความสูงปานกลาง และความสูงต่ำสุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย สำหรับพืชล้มลุก ไม้พุ่ม และกล้าไม้ ซึ่งมีความสูงไม่สม่ำเสมอจะทำการวัดความสูงของเชื้อเพลิงทุกต้น แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ค่าเฉลี่ยความสูงที่ได้นำมาคูณด้วย $\frac{2}{3}$ จะได้ค่าความสูงของเชื้อเพลิง (Albini and Brown, 1978)

2.1.3 ศึกษาสมบัติและปริมาณของเชื้อเพลิง ทำการตัดชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงทั้งหมดที่อยู่ในแปลงขนาด 2×2 ม. ซึ่งแยกประเภทเชื้อเพลิงเป็น เศษซากพืช หญ้า พืชล้มลุก ไม้พุ่ม และกล้าไม้ แล้วทำการสุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงในแต่ละประเภทๆละ 400 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้นและวิเคราะห์หาไนโตรเจน ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด ปริมาณความร้อน ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดและ ปริมาณซิลิกา

2.2 การเก็บข้อมูลในขณะเผา

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมของไฟ ซึ่งมีดังนี้

2.2.1 ปีกหลักด้วยแท่งเหล็กที่มีความสูง 3 เมตร ปีกเป็นแนวกากบาทครอบคลุมทั่วแปลง ห่างกันแท่งละ 5 เมตร จำนวนด้านละ 5 แท่ง เพื่อใช้ศึกษาความยาวเปลวไฟและอัตราไฟลาม ดังภาพที่ 9

2.2.2 ติดตั้งเครื่องตรวจวัดภูมิอากาศแบบพกพา (Kestrel pocket weather tracker) เพื่อตรวจสอบสภาพอากาศตลอดช่วงการเผา โดยทำการบันทึกความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางลม และอุณหภูมิของอากาศ ทุก 10 วินาที

2.2.3 ทำการเก็บข้อมูลในขณะเผาจริงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูไฟป่า โดยมีรายละเอียดในการเก็บข้อมูลมีดังนี้

(1) ทำการจุดไฟเผาที่จุดกึ่งกลางของแปลง เก็บข้อมูลอัตราไฟลามในแต่ละทิศทาง ได้แก่ อัตราไฟลามด้านหัวไฟ (head fire), หางไฟ (back fire) และอัตราไฟลามด้านข้าง (flank fire) ด้วยการประมาณระยะทางที่ไฟเคลื่อนที่ไป ตามแนวที่ปักแท่งเหล็กไว้ทุกๆ 1 นาที และจับเวลาเมื่อไฟเคลื่อนที่ผ่านแท่งเหล็ก และทำการถ่ายภาพลักษณะการลามของไฟ

(2) วัดอุณหภูมิของไฟโดยเครื่องมือ spot infrared (MINOLTA TA 510) โดยทำการวัดให้กระจายทั่วทั้งพื้นที่ ที่ระดับความสูง 20 และ 50 เซนติเมตร เหนือพื้นดิน จำนวน 20 จุด

2.3 การเก็บข้อมูลหลังเผา

2.3.1 ทำการเก็บตัวอย่างชี้เถา ในแปลงขนาด 50 x 50 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องดูดฝุ่นเก็บสิ่งที่เหลืออยู่ทั้งหมดด้วยความระมัดระวัง แปลงละ 4 จุด (ภาพที่ 9) ทำการแยกระหว่างส่วนที่เป็นชี้เถา ก้อนถ่าน และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ แล้วบันทึกค่าของน้ำหนักสดของส่วนต่างๆ แล้วนำไปอบแห้งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และหาน้ำหนักแห้งต่อไป

2.3.3 ทำการวัดความลาดชันของพื้นที่ โดยใช้ Abney's level ทัวทั้งแปลง บริเวณ 5 จุด ตั้งแต่บริเวณที่มีความลาดชันน้อยที่สุด ไปจนถึงบริเวณที่มีความลาดชันมากที่สุดในแปลง

2.3.4 ทำการตรวจสอบติดตามการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิง ในรอบปี โดยการวางแปลงขนาด 2 x 2 เมตร ในแปลงทดลองเดิมที่ได้ทำการเผาไปแล้ว แปลงละ 4 จุด ทำการเก็บเชื้อเพลิงที่งอกขึ้นมาใหม่ แยกประเภทเชื้อเพลิงเป็น เศษซากพืช หญ้า พืชล้มลุก ไม้พุ่ม และกล้าไม้ แล้วทำการสุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงในแต่ละประเภทๆละ 400 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้น,วิเคราะห์หา น้ำหนักแห้ง และปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด โดยเก็บเชื้อเพลิงเมื่อเวลาผ่านไป 2 เดือน 4 เดือน 8 เดือน และ 12 เดือน (ครบ 1 ปี)

3. การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

3.1 ความชื้นของเชื้อเพลิง นำตัวอย่างเชื้อเพลิงและสิ่งที่เหลือเหลือภายหลังการเผาตามแต่ละประเภทของแต่ละแปลง ที่สุ่มตัวอย่างมาได้ ทำการชั่งหาน้ำหนักสดไว้แล้ว แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ชั่งหาน้ำหนักแห้งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเชื้อเพลิงโดยใช้สูตร

$$Mf = \frac{(Fw - Dw)}{Dw} \times 100 \quad (13)$$

โดยที่ Mf = ความชื้นเชื้อเพลิง (ร้อยละ)
 Fw = น้ำหนักสดของเชื้อเพลิง (กรัม)
 Dw = น้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิง (กรัม)

3.2 ปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่ โดยการหาค่าร้อยละความชื้นของปริมาณเชื้อเพลิงสด, จี๊เถ่า, ก้อนถ่าน และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟในแปลง 50 x 50 เซนติเมตร ไปประมาณน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ จากนั้นค่าความปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่ไปหักออกจากส่วนที่เป็นปริมาณจี๊เถ่า ก้อนถ่าน และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งจะได้อปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้จริงในพื้นที่

$$W_o = \frac{Fw_{total} \times 100 \times 10000}{(100 + Mf) \times a} \quad (14)$$

โดยที่ W_o = ปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่ (กิโลกรัม/เฮกแตร์)
 Fw_{total} = ผลรวมน้ำหนักสดของเชื้อเพลิง (กิโลกรัม)
 Mf = ความชื้นเชื้อเพลิง (ร้อยละ)
 a = ผลรวมของพื้นที่แปลงตัวอย่างทั้งหมด (ตารางเมตร)

นำค่าที่ได้ไปแปลงหน่วยให้เป็นตัน/เฮกแตร์ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณตามสูตรของ Byram (1959)

3.3 ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด สุ่มเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงจากแปลงทดลอง นำมาอบที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักไว้ นำตัวอย่างบดละเอียด นำไป วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด โดยห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งประเทศไทย

3.4 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร สุ่มเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงแต่ละประเภทในแปลงทดลอง ประเภทละ 30 ตัวอย่าง นำมาหาพื้นที่ผิวโดยใช้ dot grid และหาปริมาตรโดยวัดความหนาของ เชื้อเพลิงโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ นำค่าความหนาคูณกับพื้นที่ผิวเป็นปริมาตรของเชื้อเพลิง แล้ว คำนวณหาอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร

3.5 ความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิง นำตัวอย่างที่พืชที่ได้จากการหาอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อ ปริมาตรไปอบที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักแห้ง นำมา คำนวณหาความหนาแน่นอนุภาค โดยใช้สูตร

$$\rho_p = m/v \quad (15)$$

ρ_p = ความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
 m = น้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิง (กิโลกรัม)
 v = ปริมาตรเชื้อเพลิง (ลูกบาศก์เมตร)

3.6 ปริมาณซิลิกา นำไปใช้เพื่อหักออกจากค่าปริมาณธาตุอาหาร เนื่องจากซิลิกาเป็นส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ และเป็นส่วนที่ไม่มีผลต่อ heat yield เก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงในแปลงทดลอง แล้วนำมาอบแห้ง บดให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกา ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer โดยห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.7 ค่าปริมาณความร้อน นำตัวอย่างแยกตามประเภทของเชื้อเพลิงมาอบให้แห้งอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วบดโดยละเอียด นำไปวิเคราะห์หาปริมาณความร้อน โดยใช้เครื่อง Adiabatic bomb calorimeter โดยห้องปฏิบัติการสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

3.8 ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงที่ไฟติดแต่ไม่ลาม เนื่องจากเป็นข้อมูลสมบัติเชื้อเพลิงที่มีค่าไม่แตกต่างกัน หรือแตกต่างเพียงเล็กน้อยในพันธุ์พืชชนิดเดียวกัน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อเพลิงที่ได้มีผู้ทำการศึกษาไว้แล้ว ซึ่งค่านี้จะแปรผันอยู่ที่ร้อยละ 12 ถึงร้อยละ 40 (Andrew, 1986) Rothermel (1972) ใช้ค่าร้อยละ 30 สำหรับเชื้อเพลิงแห้ง สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่าร้อยละ 30 เช่นเดียวกับมณูญศักดิ์ (2530) และ Wiriya (2009) ที่เคยทำการศึกษาไว้ในป่าเต็งรัง ในประเทศไทย

4. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษา

4.1 นำข้อมูลสมบัติของเชื้อเพลิงที่ศึกษา ข้อมูลพฤติกรรมที่ได้จากการเผาจริง คำนวณตามสูตรของ Byram (1959) มาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสม ก่อโดยวิธีการทางสถิติ (Independent t – tested statistics)

4.2 จากข้อมูลพฤติกรรมไฟของ Byram (1959) ซึ่งได้จากการทดลองเผาจริง นำมาประมาณระดับอันตรายไฟป่าโดยการทำดัชนีเพื่อบอกระดับอันตรายไฟแบบเชิงคุณภาพตามวิธีการของ Andrew (1980) และศิริ (2539) เพื่อเป็นข้อมูลที่นำมาใช้ในการควบคุมไฟป่าในพื้นที่ต่อไป

4.1 สร้างแบบจำลองเชื้อเพลิงและคำนวณหาอัตราไฟลามตามสูตรของ Rothermel (1972) โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้การคำนวณที่ประยุกต์โดย Wiriya (2009) โดยนำข้อมูลประเภทเชื้อเพลิงจากข้อ 2.1.1 มาจัดกลุ่มใหม่ ทำการแบ่งเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษาออกเป็นเป็น 2 รายการ คือ เชื้อเพลิงแห้ง (dead fuel) และเชื้อเพลิงสด (live fuel) ซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าวแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

เชื้อเพลิงแห้ง ได้แก่

- (1) ซากพืช (litter)
- (2) กิ่งไม้ (twig)
- (3) ไม้ล้มลุกแห้ง (dead herb) คือ หญ้า

เชื้อเพลิงสด ได้แก่

- (4) ไม้ล้มลุกสด (live herb) คือ ไม้ล้มลุก
- (5) ไม้พื้นล่าง (undergrowth) คือ ไม้พุ่ม และกล้าไม้

นำค่าของสมบัติของเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษาจากเชื้อเพลิงแต่ละประเภท ได้แก่ ปริมาณของเชื้อเพลิง ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ความหนาแน่น เชื้อเพลิง ค่าความร้อน ปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด ปริมาณซิลิกา และปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงที่ติดไฟแต่ไม่ลาม มาจัดชุดเข้าในแบบจำลองเชื้อเพลิง แล้วนำไปคำนวณหาอัตราไฟลามตามสูตรของ Rothermel (1972) ภายใต้อุณหภูมิและความลาดชันต่างๆ จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าความร้อนแรงของไฟ และความยาวของเปลวไฟ ภายใต้อุณหภูมิและความลาดชันต่างๆ ตามสูตรของ Byram (1959) นำผลการคาดการณ์มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณพฤติกรรมไฟที่ได้จากการทดลองเผาจริงในพื้นที่ศึกษา ซึ่งได้จากการคำนวณพฤติกรรมไฟตามสมการของ Byram (1959) และนำไปประมาณอันตรายไฟป่าแบบเชิงคุณภาพตามวิธีการของ Andrew (1980)

ผลและวิจารณ์

การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของไฟฟ้า ในป่าสนเสื่อมโทรมและสังคมย่อย ป่าสนผสมก่อก่อน อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. สมบัติของเชื้อเพลิง

1.1 ปริมาณเชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิง หรือน้ำหนักเชื้อเพลิงต่อหน่วยเนื้อที่ หมายถึง น้ำหนักแห้งหรือมวลชีวภาพของเชื้อเพลิงต่อหน่วยเนื้อที่ ซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงมีอิทธิพลต่อความรุนแรงของไฟและอัตราไฟลาม โดยในการศึกษาปริมาณเชื้อเพลิง พบว่า ในป่าสนเสื่อมโทรม มีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย 13.32 ตัน/เฮกเตอร์ โดยเชื้อเพลิงประเภทหญ้า มีปริมาณมากที่สุด 6.00 ตัน/เฮกเตอร์ รองลงมาคือ ซากพืช 5.71 ตัน/เฮกเตอร์ สำหรับเชื้อเพลิงประเภทกล้าไม้ กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกและไม้พุ่ม มีปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ 0.93 ตัน/เฮกเตอร์ 0.45 ตัน/เฮกเตอร์ 0.18 ตัน/เฮกเตอร์ และ 0.05 ตัน/เฮกเตอร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) โดยมีสัดส่วนของปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ ร้อยละ 45.01 ร้อยละ 42.89 ร้อยละ 6.96 ร้อยละ 3.34 ร้อยละ 1.39 และ ร้อยละ 0.41 ตามลำดับ (ภาพที่ 10) สำหรับป่าสนผสมก่อก่อนมีปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย 8.30 ตัน/เฮกเตอร์ โดยเชื้อเพลิงประเภทซากพืช มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 4.14 ตัน/เฮกเตอร์ รองลงมาคือ หญ้า เท่ากับ 1.60 ตัน/เฮกเตอร์ สำหรับเชื้อเพลิงประเภทกิ่งไม้ กล้าไม้ ไม้พุ่ม และ ไม้ล้มลุก มีปริมาณเชื้อเพลิง 1.37 ตัน/เฮกเตอร์ 0.61 ตัน/เฮกเตอร์ 0.44 ตัน/เฮกเตอร์ และ 0.14 ตัน/เฮกเตอร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) โดยมีสัดส่วนของปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ ร้อยละ 49.83 ร้อยละ 16.49 ร้อยละ 19.30 ร้อยละ 7.37 ร้อยละ 5.36 และ ร้อยละ 1.65 ตามลำดับ (ภาพที่ 11) เมื่อพิจารณาปริมาณเชื้อเพลิงแล้วจะพบว่า ในป่าสนเสื่อมโทรม จะมีค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าป่าสนผสมก่อก่อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยป่าสนเสื่อมโทรมมีเชื้อเพลิงหลัก คือ หญ้า รองลงมาคือ ซากพืช ที่มีปริมาณต่ำกว่าเล็กน้อย ป่าสนผสมก่อก่อนมีเชื้อเพลิงหลัก คือ ซากพืช ซึ่งมีปริมาณเกือบครึ่งหนึ่งของเชื้อเพลิงทั้งหมด รองลงมา คือ หญ้า จากการที่ปริมาณของเชื้อเพลิงและประเภทของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันส่งผลให้พฤติกรรมไฟมีความแตกต่างกัน ลักษณะของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนในพื้นที่ศึกษา ปรากฏดังภาพที่ 12 และภาพที่ 13

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาปริมาณเชื้อเพลิง ของป่าชนิดเดียวกันหรือป่าชนิดอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน พบว่าการศึกษาครั้งนี้มีปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าการศึกษาของคณิงนิจ (2539) ที่ภูกระดึง โดยในป่าสน มีปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ 4.87 ตัน/เฮกเตอร์ ป่าดิบเขา มีปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ 1.94 ตัน/เฮกเตอร์ ป่าเต็งรัง มีปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ 4.69 ตัน/เฮกเตอร์ การศึกษาของทศพล (2555) ในป่าเต็งรังผสมสน บ้านวัดจันทร์ มีปริมาณเชื้อเพลิง เท่ากับ 6.46 และ 5.30 ตัน/เฮกเตอร์ การรวบรวมของ Trollop *et al.* (2002) ในทุ่งหญ้าและป่าทุ่ง ที่แอฟริกาใต้ มีปริมาณเชื้อเพลิง 1.5 – 7.5 ตัน/เฮกเตอร์ แต่มีปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่าในทุ่งหญ้า ที่มวกเหล็ก ของศิริ (2534) ซึ่งมีปริมาณเชื้อเพลิง 11.17 ตัน/เฮกเตอร์ การนำสังคมพืชป่าสนไปเปรียบเทียบกับป่าดิบเขา ป่าเต็งรังและทุ่งหญ้า เนื่องจากสังคมพืชป่าสนมีพรรณไม้จำพวกก่อกิ่งขึ้นอยู่มากในพื้นที่ ในป่าสนผสมก่อกิ่ง มีไม้เหียงขึ้นอยู่ในพื้นที่และมีโครงสร้างเชื้อเพลิงคล้ายป่าเต็งรัง ในป่าสนเสื่อมโทรมมีโครงสร้างของเรือนยอดที่ห่างกัน ทำให้พื้นที่เปิดโล่งมากกว่าปกติ ไม้พื้นล่างมีพืชพรรณประเภทหญ้าเป็นหลัก มีสภาพคล้ายทุ่งหญ้า ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น ป่าสน-ป่าทุ่ง (Werner, 1997) อย่างไรก็ตามสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมยังคงมีต้นไม้ขึ้นอยู่ แม้จะอยู่ห่างกัน ซึ่งแตกต่างจากสังคมทุ่งหญ้าล้วนๆ ซึ่งจะมีเพียงหญ้าขึ้นอยู่เท่านั้น

1.2 ความชื้นของเชื้อเพลิง

ผลการศึกษาความชื้นของเชื้อเพลิง ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ยร้อยละ 87.05 โดยเชื้อเพลิงประเภทไม้พุ่ม มีความชื้นมากที่สุด ร้อยละ 147.77 รองลงมาคือ ไม้ล้มลุก กล้า ไม้ หญ้า ซากพืช และกิ่งไม้ มีความชื้น ร้อยละ 143.59 ร้อยละ 119.30 ร้อยละ 44.90 ร้อยละ 22.59 และ ร้อยละ 19.85 ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อกิ่งมีความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ยร้อยละ 83.28 โดยเชื้อเพลิงประเภทไม้ล้มลุก มีความชื้นมากที่สุดร้อยละ 164.69 รองลงมาคือ กล้า ไม้ ไม้พุ่ม หญ้า ซากพืช และกิ่งไม้ มีความชื้นร้อยละ 122.24 ร้อยละ 100.57 ร้อยละ 67.75 ร้อยละ 25.21 และร้อยละ 19.25 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความชื้นของเชื้อเพลิงแล้วจะพบว่า ความชื้นของเชื้อเพลิงในป่าทั้งสองชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูง คือ ไม้ล้มลุก ไม้พุ่ม และกล้าไม้ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงส่วนที่มีชีวิต จึงยังคงมีน้ำในส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ในขณะที่หญ้า ซากพืช และกิ่งไม้มีความชื้นที่ต่ำกว่า เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงส่วนที่ตาย ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงสูญเสียความชื้นออกไป (ตารางที่ 10) ทั้งนี้ เมื่อความชื้นของเชื้อเพลิง ต่ำกว่าร้อยละ 30 โอกาสที่เชื้อเพลิงติดไฟจะมีสูง ประกอบกับเชื้อเพลิงในกลุ่มที่มีความชื้นต่ำ เป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณของเชื้อเพลิงมากที่สุดหรือเป็นเชื้อเพลิงหลักในพื้นที่ จึงทำให้

โอกาสเสี่ยงต่อการติดไฟ และการเกิดไฟป่ามีสูงขึ้น รวมถึงมีผลต่ออัตราไฟตาม (Tomas and McAlpine, 2010) และปริมาณความร้อนสุทธิ ซึ่งส่งผลต่อความรุนแรงของไฟ (Byram, 1959) โดยเมื่อความชื้นลดลง ค่าพฤติกรรมไฟดังกล่าวจะเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบความชื้นของเชื้อเพลิง ของป่าชนิดเดียวกันหรือป่าชนิดอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน พบว่าการศึกษาครั้งนี้มีความชื้นของเชื้อเพลิงมากกว่าการศึกษาของคณิงนิจ (2539) ในป่าสน ป่าดิบเขา ป่าเต็งรังที่ถูกระดิง โดยในป่าสนมีความชื้นร้อยละ 44 และในป่าดิบเขามีความชื้นร้อยละ 57 ป่าเต็งรังมีความชื้นร้อยละ 7 การศึกษาของศิริ (2534) ในทุ่งหญ้า ที่มวกเหล็ก มีความชื้นร้อยละ 55

1.4 ความสูงของเชื้อเพลิง

ผลการศึกษาความสูงของเชื้อเพลิง ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความสูงของเชื้อเพลิง เฉลี่ย 0.42 เมตร โดยเชื้อเพลิงประเภทหญ้า มีความสูงของเชื้อเพลิง มากที่สุด 1.06 เมตร รองลงมาคือ กล้าไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พุ่ม ชากพืช และกิ่งไม้ มีความสูงของเชื้อเพลิง 0.53 เมตร 0.34 เมตร 0.26 เมตร 0.16 เมตรและ 0.04 เมตร ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อกมีความสูงของเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.44 เมตร โดยเชื้อเพลิงประเภทไม้ล้มลุก มีความสูงของเชื้อเพลิง มากที่สุด 0.93 เมตร รองลงมาคือ หญ้า, ไม้พุ่ม, กล้าไม้, ชากพืช และกิ่งไม้ มีความสูงของเชื้อเพลิง 0.71 เมตร 0.50 เมตร 0.41 เมตร 0.06 เมตร และ 0.03 เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสูงของเชื้อเพลิง แล้วจะพบว่า ความสูงเฉลี่ยของเชื้อเพลิงในป่าทั้งสองชนิด มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อแยกตามประเภทเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงประเภทหญ้า ไม้ล้มลุก และชากพืช ในป่าสนเสื่อมโทรมจะมีค่าความสูงของเชื้อเพลิงมากกว่าป่าสนผสมก่อก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 11) จากการที่ความสูงเชื้อเพลิงประเภทหญ้า และชากพืช ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณมากหรือเป็นเชื้อเพลิงหลักในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน จึงส่งผลให้พฤติกรรมไฟมีความแตกต่างกัน โดยความสูงของเชื้อเพลิง มีผลต่อความหนาของเชื้อเพลิง ซึ่งส่งผลต่อความยาวเปลวไฟ (ศิริ, 2543ก)

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาในพื้นที่ที่มีหญ้าเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสูงที่สุดเช่นเดียวกัน พบว่าความสูงของหญ้า ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก มีความสูงต่ำกว่าในไร่ร้าง ที่ค้อยอ่างขวางของ สิริรัตน (2528) ซึ่งมีความสูงของหญ้า เท่ากับ 1.34 เมตร แต่สูงกว่าในป่าเต็งรัง ที่สลักพระของ

ศิริ (2543ข) ซึ่งมีความสูงของหญ้า เท่ากับ 0.27 เมตร และที่ห้วยขาแข้ง ของสุภรัตน์ และคณะ (2545) ซึ่งมีความสูงของหญ้า เท่ากับ 0.51 เมตร

1.5 การปกคลุมของเชื้อเพลิง

ผลการศึกษาการปกคลุมของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม เชื้อเพลิงประเภทหญ้า มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 74.85 รองลงมาคือ ชากพืช, ก้านไม้, ไม้ล้มลุก, ไม้พุ่ม, และกิ่งไม้ มีการปกคลุมของเชื้อเพลิง เท่ากับร้อยละ 62.71 ร้อยละ 21.46 ร้อยละ 11.29 ร้อยละ 2.53 และร้อยละ 1.97 ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อกอ มีเชื้อเพลิงประเภทชากพืช มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 60.82 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ หญ้า ก้านไม้ ไม้พุ่ม ไม้ล้มลุก และกิ่งไม้

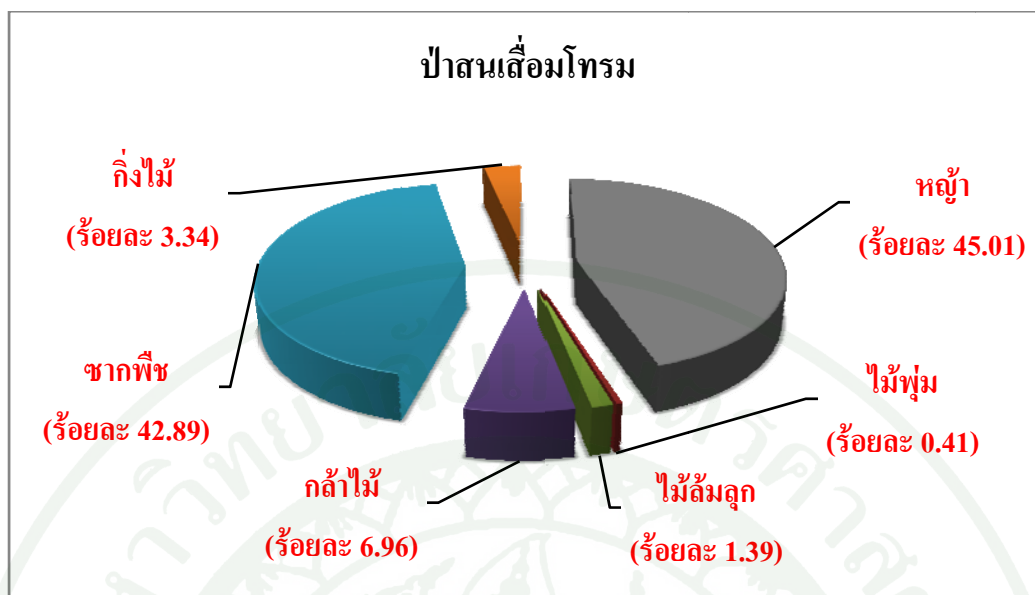
การปกคลุมของเชื้อเพลิงเท่ากับร้อยละ 50.50 ร้อยละ 19.94 ร้อยละ 11.55 ร้อยละ 7.38 และร้อยละ 1.57 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการปกคลุมของเชื้อเพลิงแล้วจะพบว่า ในป่า สนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อกอ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 14) แต่เมื่อแยกตามประเภทเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงประเภทหญ้าและไม้พุ่มในป่าสนเสื่อมโทรมมีการปกคลุมมากกว่าป่าสนผสมก่อกออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าการปกคลุมของเชื้อเพลิงประเภทหญ้าและชากพืช จะมีการปกคลุมพื้นที่มากที่สุด เป็นลักษณะที่สอดคล้องกับปริมาณของเชื้อเพลิง

การปกคลุมของเชื้อเพลิง เป็นการแสดงถึงการกระจายตัวและความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงในพื้นที่ ถ้าพื้นที่ที่มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงสูง ก็จะส่งผลให้ไฟสามารถลุกลามได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว การที่เชื้อเพลิงประเภทหญ้า ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลัก และไม้พุ่ม มีการปกคลุมแตกต่างกัน ส่งผลให้อัตราการลามของไฟมีความแตกต่างกันได้

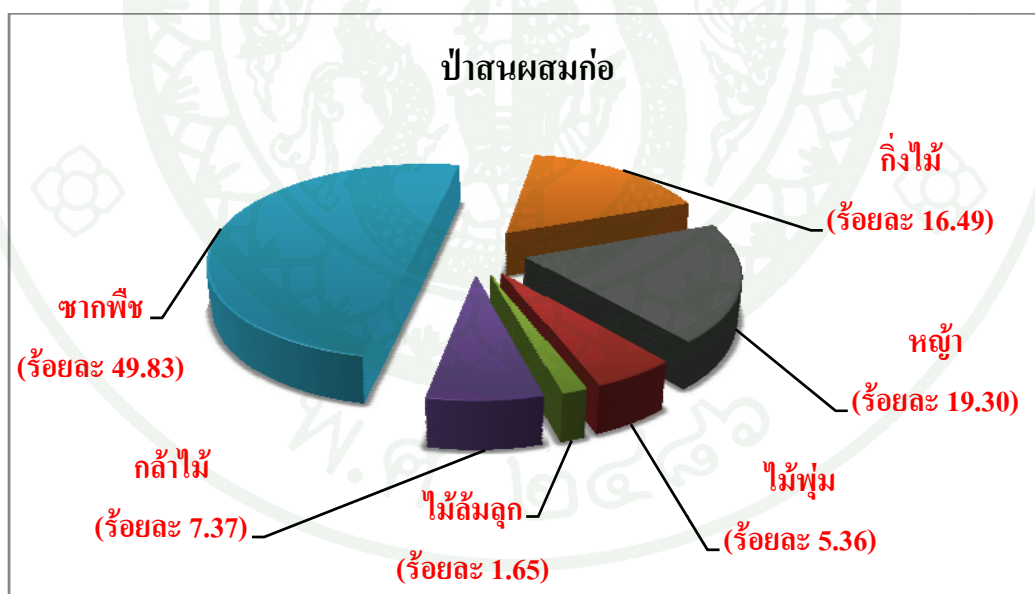
ตารางที่ 9 ปริมาณเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	ปริมาณเชื้อเพลิง (ตัน/เฮกเตอร์)					
		หญ้า (grass)	ไม้พุ่ม (shrub)	ไม้ล้มลุก (herb)	กล้าไม้ (seedling)	ซากพืช (litter)	กิ่งไม้ (twig)
ป่าสนเสื่อมโทรม	1	5.30	0.01	0.27	1.62	6.09	0.16
	2	5.06	0.09	0.23	0.69	5.35	1.17
	3	7.63	0.06	0.06	0.48	5.70	0.00
	เฉลี่ย	6.00 ^a	0.05 ^a	0.18 ^a	0.93 ^a	5.71 ^a	0.45 ^a
		(1.42)	(0.04)	(0.11)	(0.61)	(0.37)	(0.63)
ป่าสนผสมก่อก	1	1.73	0.75	0.21	0.71	5.08	2.21
	2	2.11	0.44	0.09	0.85	2.26	1.00
	3	0.96	0.14	0.11	0.28	5.06	0.89
	เฉลี่ย	1.60 ^b	0.44 ^a	0.14 ^a	0.61 ^a	4.14 ^b	1.37 ^b
		(0.59)	(0.31)	(0.06)	(0.30)	(1.62)	(0.73)

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของปริมาณเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ระหว่างชนิดป่า
ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)



ภาพที่ 10 สัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์



ภาพที่ 11 สัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงในป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์



ภาพที่ 12 ลักษณะเชื้อเพลิงก่อนทำการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
จังหวัดเพชรบูรณ์



ภาพที่ 13 ลักษณะเชื้อเพลิงก่อนทำการเผาในป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
จังหวัดเพชรบูรณ์

ตารางที่ 10 ความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

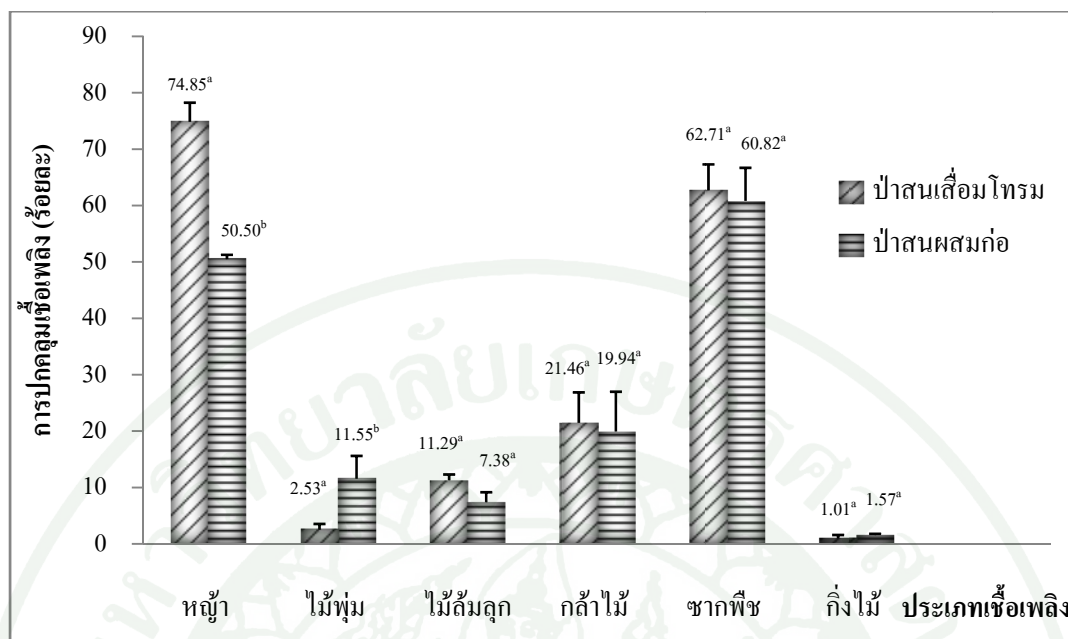
ชนิดป่า	แปลงที่	ความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ (ร้อยละ)						
		หญ้า (grass)	ไม้พุ่ม (shrub)	ไม้ล้มลุก (herb)	กล้าไม้ (seedling)	ซากพืช (litter)	กิ่งไม้ (twig)	เฉลี่ย (average)
ป่าสนเสื่อมโทรม	1	71.07	169.62	152.59	103.65	22.93	21.29	90.19
	2	44.54	121.03	118.80	133.41	32.92	18.41	78.19
	3	19.08	152.65	159.38	120.84	11.91	-	92.77
	เฉลี่ย	44.90 ^a	147.77 ^a	143.59 ^a	119.30 ^a	22.59 ^a	19.85 ^a	87.05 ^a
		(26.00)	(24.66)	(21.74)	(14.94)	(10.51)	(2.04)	(7.78)
ป่าสนผสมก่อก	1	67.87	127.27	163.44	110.39	29.07	26.30	87.39
	2	60.82	59.22	197.38	128.61	21.82	13.85	80.28
	3	74.54	115.21	133.24	127.71	24.73	17.60	82.17
	เฉลี่ย	67.75 ^a	100.57 ^a	164.69 ^a	122.24 ^a	25.21 ^a	19.25 ^a	83.28 ^a
		(6.86)	(36.31)	(32.09)	(10.27)	(3.64)	(6.39)	(3.68)

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของความชื้นเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ระหว่างชนิดป่า
ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ตารางที่ 11 ความสูงของเชื้อเพลิง ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อุตยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	ความสูงของเชื้อเพลิง (เมตร)						
		หญ้า (grass)	ไม้พุ่ม (shrub)	ไม้ล้มลุก (herb)	กล้าไม้ (seeding)	ซากพืช (litter)	กิ่งไม้ (twig)	เฉลี่ย (average)
ป่าสนเสื่อมโทรม	1	1.10	0.28	0.37	0.67	0.17	0.05	0.44
	2	1.10	0.38	0.38	0.44	0.23	0.03	0.42
	3	0.99	0.12	0.28	0.48	0.07	-	0.39
	เฉลี่ย	1.06 ^a	0.26 ^a	0.34 ^a	0.53 ^a	0.16 ^a	0.04 ^a	0.42 ^a
		(0.06)	(0.13)	(0.05)	(0.13)	(0.08)	(0.02)	(0.03)
ป่าสนผสมก่อก	1	0.69	0.84	0.27	0.63	0.06	0.02	0.42
	2	0.80	0.43	0.15	0.26	0.04	0.04	0.29
	3	0.64	0.23	0.15	0.33	0.08	0.03	0.24
	เฉลี่ย	0.71 ^b	0.50 ^a	0.19 ^b	0.41 ^a	0.06 ^b	0.03 ^a	0.32 ^a
		(0.08)	(0.31)	(0.07)	(0.20)	(0.02)	(0.01)	(0.09)

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของความสูงเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ระหว่างชนิดป่า
ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)



ภาพที่ 14 การปกคลุมของเชื้อเพลิง ประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมกึ่ง อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของความสูงเชื้อเพลิง ประเภทต่างๆ ระหว่างชนิดป่า

1.6 ปริมาณสิ่งที่เหลืออยู่หลังจากการเผา และปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้

ในการศึกษาพฤติกรรมของไฟป่า จำเป็นต้องทราบปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ไปจริง เพื่อนำไปคำนวณกับสูตรคณิตศาสตร์ของ Byram (1959) ซึ่งจะนำปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผามาหักลบกับปริมาณสิ่งที่เหลืออยู่หลังจากการเผา ซึ่งได้แก่ จี๊เถ่า ถ่าน (รวมถึงผงถ่าน) และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ โดยในป่าสนเสื่อมโทรมมีสิ่งที่เหลืออยู่หลังจากการเผา เท่ากับ 3.67 ตัน/เฮกเตอร์ โดยมีปริมาณจี๊เถ่า, ปริมาณถ่าน และปริมาณส่วนที่ไม่ไหม้ เท่ากับ 1.67, 0.99 และ 1.01 ตัน/เฮกเตอร์ ตามลำดับ มีปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้เท่ากับ 9.65 ตัน/เฮกเตอร์ (ร้อยละ 72.26) สำหรับป่าสนผสมกึ่ง มีสิ่งที่เหลืออยู่หลังจากการเผา เท่ากับ 5.97 ตัน/เฮกเตอร์ โดยมีปริมาณจี๊เถ่า, ปริมาณถ่าน และปริมาณส่วนที่ไม่ไหม้ เท่ากับ 1.16, 1.57 และ 3.23 ตัน/เฮกเตอร์ ตามลำดับ และมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้เท่ากับ 2.33 ตัน/เฮกเตอร์ (ร้อยละ 25.92) ซึ่งในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้มากกว่าป่าสนผสมกึ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่

12 เนื่องจากในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณของเชื้อเพลิงประเภทหญ้าและซากพืชมากกว่า ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก มีความชื้นต่ำกว่า และมีการปกคลุมของเชื้อเพลิงสูงทำให้เกิดความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงในพื้นที่ รวมถึงมีสภาพอากาศขณะทำการเผา ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมไฟมากกว่า คือ มีความเร็วลม และอุณหภูมิของอากาศสูงกว่า มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า จึงทำให้มีสิ่งที่เหลือจากการเผาน้อยกว่าป่าสนผสมก่อ

เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณสิ่งที่เหลือภายหลังการเผา ในป่าสนเสื่อมโทรม มีสัดส่วนปริมาณเชื้อ ปรมาณถ่าน และปริมาณส่วนที่ไม่ไหม้ เท่ากับร้อยละ 45.55 ร้อยละ 27.00 และร้อยละ 27.45 ตามลำดับ (ภาพที่ 16) ในป่าสนผสมก่อมีสัดส่วน ดังกล่าว เท่ากับร้อยละ 26.35 ร้อยละ 19.49 และร้อยละ 54.16 ตามลำดับ (ภาพที่ 17) ในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณสิ่งที่เหลือภายหลังการเผา ต่ำกว่าป่าสนผสมก่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อแยกตามประเภทของปริมาณสิ่งที่เหลือภายหลังการเผา พบว่า ป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณเชื้อสูงกว่าป่าสนผสมก่อ โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สำหรับปริมาณถ่าน และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ ในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณต่ำกว่าป่าสนผสมก่อ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 12) โดยมีสาเหตุเช่นเดียวกับผลของปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ กล่าวคือ ในป่าสนเสื่อมโทรมมีสมบัติของเชื้อเพลิง และสภาพอากาศขณะเผา ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมไฟรุนแรงกว่า และทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงสมบูรณ์กว่าป่าสนผสมก่อ จึงมีปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผาต่ำกว่า

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของทศพล (2555) ในป่าเต็งรังผสมสน บ้านวัดจันทร์ ทั้งในที่ราบและที่ลาดชัน มีค่าร้อยละปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ เท่ากับ ร้อยละ 55.93 และร้อยละ 69.27 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าป่าสนเสื่อมโทรมแต่สูงกว่าป่าสนผสมก่อ และมีปริมาณส่วนที่ไม่ไหม้ไฟหลงเหลืออยู่มากที่สุด

2. สภาพอากาศขณะเผา

ลักษณะสภาพอากาศขณะเผา ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และทิศทางลม ซึ่งในระหว่างที่ทำการเผา ลักษณะสภาพอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและส่งผลต่อพฤติกรรมของไฟป่า โดยในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าความเร็วลมเฉลี่ย เท่ากับ 3.37 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 28.70 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 47.39 และทิศทางลมไปทางทิศตะวันตก ตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้

สำหรับป่าสนผสมก่อนมีค่าความเร็วลมเฉลี่ย เท่ากับ 1.26 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 27.17 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 53.72 โดยป่าสนเสื่อมโทรมมี สภาพอากาศแตกต่างจากป่าสนผสมก่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13 ทิศทางลมในป่าสนเสื่อมโทรมพัดไปทางทิศตะวันตก ตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้ ในขณะที่ทิศทางลมในป่าสนผสมก่อนพัดไปทางทิศตะวันตก ทิศใต้ ตะวันตกเฉียงเหนือ และ ตะวันตกเฉียงใต้ จากการที่ลักษณะโครงสร้างของป่าสนเสื่อมโทรมที่โปร่งกว่าทำให้ลมพัดได้เร็ว กว่า และผันผวนได้มากกว่า รวมถึงแสงแดดที่ส่องลงมาได้มากกว่า ส่งผลต่อทั้งอุณหภูมิและ ความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่เป็นอย่างมากทำให้บริเวณป่าสนเสื่อมโทรมแห้งกว่าป่าสนผสมก่อนอย่าง ชัดเจน ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมของไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ทำให้พฤติกรรมของไฟฟ้าในป่าสนเสื่อม โทรมมีความรุนแรงมากกว่า และทำให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้มากกว่าในป่าสนผสมก่อน

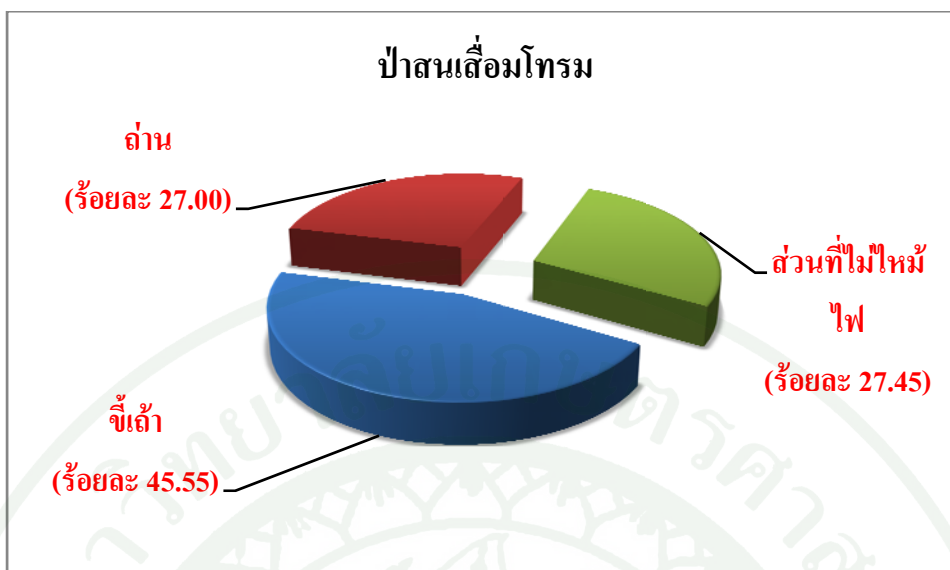
3. สภาพภูมิประเทศ และช่วงเวลาทำการเผา

สภาพภูมิประเทศ ของพื้นที่ศึกษาในป่าสนเสื่อมโทรมมีความสูงจากระดับน้ำทะเล อยู่ใน ช่วง 865 – 890 เมตร ทิศด้านลาดของพื้นที่ศึกษา อยู่ในทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันตกเฉียง เหนือ ทิศใต้ พื้นที่ศึกษาในป่าสนผสมก่อนมีความสูงอยู่ในช่วง 885 – 900 เมตรจากระดับน้ำ ทะเล ทิศด้านลาดของพื้นที่ศึกษา อยู่ในทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียง เหนือ ช่วงเวลาในการเผา ส่วนใหญ่ดำเนินการเผาอยู่ในช่วงต้นเดือนกุมภาพันธ์ ยกเว้นแปลงป่าสน ผสมก่อน แปลงที่ 2 ดำเนินการในช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ สำหรับระยะเวลาในการเผาแปลง ทดลอง ป่าสนเสื่อมโทรมใช้เวลาในการเผา อยู่ในช่วง 35 – 49 นาที ป่าสนผสมก่อน อยู่ในช่วง 70 – 108 นาที ดังปรากฏในตารางที่ 14

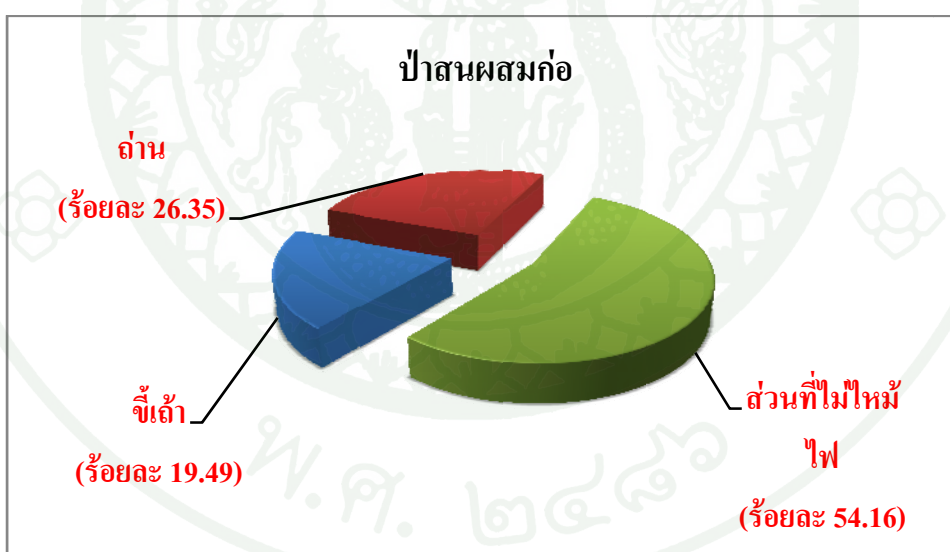
ตารางที่ 12 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ และที่ถูกเผาไหม้ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกอ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัด เพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผา (ตัน/เฮกเตอร์)	สิ่งที่เหลือภายหลังจากการเผา (ตัน/เฮกเตอร์)				เชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้	
			ชี้เถ่า	ถ่าน	ส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ	รวม	(ตัน/เฮกเตอร์)	(ร้อยละ)
ป่าสนเสื่อมโทรม	1	13.45	1.68	0.87	0.69	3.24	10.21	75.91
	2	12.59	1.61	0.94	1.90	4.45	8.14	64.65
	3	13.92	1.72	1.16	0.43	3.31	10.61	76.22
	เฉลี่ย	13.32 ^a	1.67 ^a	0.99 ^a	1.01 ^a	3.67 ^a	9.65 ^a	72.26 ^a
		(0.67)	(0.06)	(0.15)	(0.78)	(0.68)	(1.33)	(6.59)
ป่าสนผสมก่อกอ	1	10.69	1.73	1.42	3.19	6.34	4.35	40.68
	2	6.76	0.85	1.51	3.03	5.39	1.37	20.30
	3	7.44	0.91	1.79	3.48	6.18	1.26	16.97
	เฉลี่ย	8.30 ^b	1.16 ^a	1.57 ^b	3.23 ^b	5.97 ^b	2.33 ^b	25.98 ^b
		(2.10)	(0.49)	(0.19)	(0.23)	(0.51)	(1.75)	(12.84)

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้และที่ถูกเผาไหม้ระหว่างชนิดป่า
ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)



ภาพที่ 15 สัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ ไม้ ในป่าสนเสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์



ภาพที่ 16 สัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ ไม้ ในป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ตารางที่ 13 สภาพอากาศขณะเผาในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	ความเร็วลม (กิโลเมตร/ ชั่วโมง)	อุณหภูมิอากาศ (องศา เซลเซียส)	ความชื้น สัมพัทธ์ (ร้อยละ)	ทิศทางลม
ป่าสน เสื่อมโทรม	1	1.87 (0 – 10.8)	30.9 (27.2 – 37.4)	35.24 (25.6 – 41.5)	N/A
	2	4.75 (0 – 15.2)	28.2 (26.0 – 48.2)	52.83 (51.5 – 58.9)	SW
	3	3.48 (0 – 6.84)	27.1 (25.9 – 32.1)	54.10 (42.4 – 59.2)	W, NW
	เฉลี่ย	3.37 ^a	28.70 ^a	47.39 ^a	-
	1	1.93 (0 – 6.84)	28.9 (25.9 – 32.1)	48.97 (42.4 – 59.5)	SW, W, NW
	2	0.67 (0 – 6.84)	25.2 (23.4 – 28.8)	57.88 (50.3 – 61.8)	SW, W
ป่าสน ผสมก่อก่อน	3	1.19 (0 – 7.2)	27.5 (26.0 – 37.9)	54.29 (41.8 – 62.9)	S, SW
	เฉลี่ย	1.26 ^b	27.17 ^b	53.72 ^b	-

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของสภาพอากาศขณะระหว่างชนิดป่า

ตัวเลขใน () แสดงค่าพิสัย

คำอธิบายทิศทางลม S คือ ทิศใต้ W คือ ทิศตะวันตก SW คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้
NW คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

N/A ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 14 สภาพภูมิประเทศ และช่วงเวลาที่ทำการเผาในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกอ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลง	ความสูงจาก ระดับน้ำทะเล (เมตร)	ความลาดชัน (ร้อยละ)	ทิศด้านลาด	การเผา			
					วันที่เผา	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เวลา (นาท)
ป่าสนเสื่อมโทรม	1	870	13.4	NE-80°	1 กุมภาพันธ์ 2552	11.55 น.	12.30 น.	35
	2	865	17.2	NW-310°	2 กุมภาพันธ์ 2552	12.44 น.	13.33 น.	49
	3	890	15.4	S-180°	3 กุมภาพันธ์ 2552	10.24 น.	11.01 น.	37
ป่าสนผสมก่อกอ	1	890	7.3	SE-170°	5 กุมภาพันธ์ 2552	12.31 น.	13.41 น.	70
	2	900	6.2	NW-315°	20 กุมภาพันธ์ 2552	12.12 น.	14.00 น.	108
	3	885	3.8	NE-45°	4 กุมภาพันธ์ 2552	12.54 น.	14.14 น.	80

หมายเหตุ คำอธิบายทิศด้านลาด S คือ ทิศใต้ NE คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ NW คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ SE คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้

4. พฤติกรรมไฟ

4.1 อัตราไฟลามและรูปแบบการเผาไหม้ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกอ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ผลการศึกษาอัตราไฟลามของไฟป่าในป่าสนเสื่อมโทรม อัตราไฟลามเฉลี่ยรวม เท่ากับ 1.89 เมตร/นาทีก มีอัตราไฟลามด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 4.46 เมตร/นาทีก อัตราไฟลามด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.80 เมตร/นาทีก และอัตราไฟลามด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 1.15 เมตร/นาทีก ในป่าสนผสมก่อกอมีอัตราไฟลามเฉลี่ยรวม เท่ากับ 0.55 เมตร/นาทีก อัตราไฟลามด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.88 เมตร/นาทีก อัตราไฟลามด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.33 เมตร/นาทีก และอัตราไฟลามด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.49 เมตร/นาทีก ดังแสดงในตารางที่ 15 และภาพที่ 17 และลักษณะการลามของไฟของป่าสนเสื่อมโทรม ในภาพที่ 18 และของป่าสนผสมก่อกอในภาพที่ 19 จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่าอัตราไฟลามของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่ามากกว่าอัตราไฟลามในป่าสนผสมก่อกอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกด้าน ยกเว้นด้านหางไฟ โดยมีปัจจัยด้านเชื้อเพลิง ที่มีความแตกต่างของปริมาณเชื้อเพลิงในภาพรวม ประเภทของเชื้อเพลิงหลัก (หญ้าและซากพืช) ที่มีความแตกต่างกันในด้านปริมาณ ความสูงของเชื้อเพลิงและการปกคลุมของเชื้อเพลิง ปัจจัยด้านสภาพอากาศขณะทำการเผา ที่มีความแตกต่างของความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ และปัจจัยด้านภูมิประเทศ ที่มีความแตกต่างความลาดชันของพื้นที่ ซึ่งป่าสนเสื่อมโทรมมีปัจจัยดังกล่าวที่ส่งผลต่ออัตราไฟลามมากกว่าป่าสนผสมก่อกอ

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาพฤติกรรมไฟป่าของคณิงนิจ (2539) ในป่าชนิดต่างๆ ที่ภูกระดึง จังหวัดเลย พบว่าอัตราไฟลามในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าสูงกว่าช่วงอัตราไฟลามในป่าสนเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในช่วง 1.5 - 1.8 เมตร/นาทีก ในขณะที่อัตราไฟลามในป่าสนผสมก่อกออยู่ในช่วงเดียวกับป่าดิบเขาและป่าเต็งรัง คืออยู่ในช่วง 0.3 - 1.0 เมตร/นาทีก เปรียบเทียบการศึกษาของ ทศพล (2555) ในป่าเต็งรังผสมสน ที่บ้านวัดจันทร์ พบว่ามีอัตราไฟลามด้านหัวไฟต่ำกว่าป่าสนเสื่อมโทรมเล็กน้อย และสูงกว่าป่าสนผสมก่อกอ โดยอัตราไฟลามในที่ราบและที่ลาดชัน เท่ากับ 4.4 เมตร/นาทีก และ 2.44 เมตร/นาทีก ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบในทุ่งหญ้า ที่ทุ่งแสลงหลวง (สมศักดิ์, 2550) ซึ่งมีอัตราไฟลาม เท่ากับ 2.24 เมตร/นาทีก และที่มวกเหล็ก (ศิริ, 2534) ซึ่งมีอัตราไฟลาม เท่ากับ 8.29 เมตร/นาทีก พบว่าความอัตราไฟลามในทุ่งหญ้ามักมีค่าสูงกว่าทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกอ

ตารางที่ 15 อัตราไฟลามในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่ อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัด เพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	อัตราไฟลาม (เมตร/นาทึ)					
		หัวไฟ	หางไฟ	ปีกไฟ 1	ปีกไฟ 2	เฉลี่ยปีกไฟ	เฉลี่ยรวม
ป่าสน เสื่อมโทรม	1	2.76	0.81	1.67	1.01	1.34	1.56
	2	6.28	0.65	0.74	0.81	0.78	2.12
	3	4.33	0.95	1.23	1.44	1.34	1.99
	เฉลี่ย	4.46 ^a	0.80 ^a	1.21 ^a	1.09 ^a	1.15 ^a	1.89 ^a
		(1.02)	(0.09)	(0.27)	(0.19)	(0.19)	(0.17)
ป่าสน ผสมก่	1	0.80	0.33	0.48	0.64	0.56	0.56
	2	0.53	0.21	0.34	0.37	0.36	0.36
	3	1.32	0.44	0.50	0.59	0.55	0.71
	เฉลี่ย	0.88 ^b	0.33 ^a	0.44 ^b	0.53 ^b	0.49 ^b	0.55 ^b
		(0.23)	(0.07)	(0.05)	(0.08)	(0.07)	(0.10)

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของอัตราไฟลาม
ระหว่างชนิดป่า
ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

รูปแบบการเผาไหม้ เป็นการแสดงลักษณะและทิศทางของไฟลามในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีปัจจัยหลักที่ส่งผลให้รูปแบบการเผาไหม้แตกต่างกันคือ คือ ลมและภูมิประเทศ รวมถึงปริมาณเชื้อเพลิง และการปกคลุมของเชื้อเพลิง แต่จะมีผลน้อยกว่า ลม และภูมิประเทศ (Himmapan, 2005) รูปแบบการเผาไหม้ในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่ แสดงไฟลามในทิศทางต่าง ๆ 4 ทิศทางของแปลงทดลอง ซึ่งได้วางแผนแปลงไปตามความลาดชันของพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 20 โดยในแปลงป่าสนเสื่อมโทรม จะใช้เส้นแสดงการลามไฟ ทุก ๆ 1 นาที ตามการจับเวลาที่ได้ดำเนินการบันทึกข้อมูลในสนาม แต่ป่าสนผสมก่ จะใช้เส้นแสดงการลามไฟ ทุก ๆ 5 นาที เนื่องจาก ป่าสนผสมก่ มีอัตราการลามไฟต่ำ ทำให้ใช้เวลาในการบันทึกข้อมูลเป็นเวลานาน (ตารางที่ 14) ความถี่ของ

เส้นกราฟแสดงถึงอัตราไหล ถ้าเส้นกราฟมีความถี่ในทิศทางใดมากจะแสดงถึงอัตราไหลของทิศทางนั้นที่เป็นไปอย่างช้า ๆ แต่ถ้าเส้นกราฟมีความถี่ในทิศทางใดน้อย หรือเส้นกราฟมีความห่างกันจะแสดงถึงอัตราไหลของทิศทางนั้นที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ในป่าสนเสื่อมโทรมมีรูปแบบการแผ่ขยายของไฟลาม เป็นไปอย่างรวดเร็วในพื้นที่ลาดชันทำให้มีทิศทางไฟลามแผ่ออกเป็นรูปวงรีในช่วงแรก ในขณะที่ป่าสนผสมก่อก มีรูปแบบการแผ่ขยายของไฟลามที่ช้าๆ ในพื้นที่ราบทำให้ทิศทางไฟลามแผ่ออกเป็นรูปวงกลม เป็นลักษณะเดียวกับการศึกษารูปแบบการเผาไหม้ของ กริธา (2540) ในป่าเบญจพรรณ ที่ดอยสุเทพ-ปุย สำหรับแปลงป่าสนผสมก่อก แปลงที่ 1 และ 2 ที่มีเส้นกราฟลากไปไม่ถึงขอบของแกน ในบางทิศทางนั้น แสดงถึงการที่ไฟไม่สามารถลามต่อไปได้อีกหรือไฟได้ดับลงเอง เนื่องสภาพของเชื้อเพลิงที่ขาดความต่อเนื่อง มีความชื้นสูง และสภาพอากาศขณะเผาไหม้เอื้ออำนวย พุทธิกรรมไฟจึงมีค่าต่ำไปด้วย

4.2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

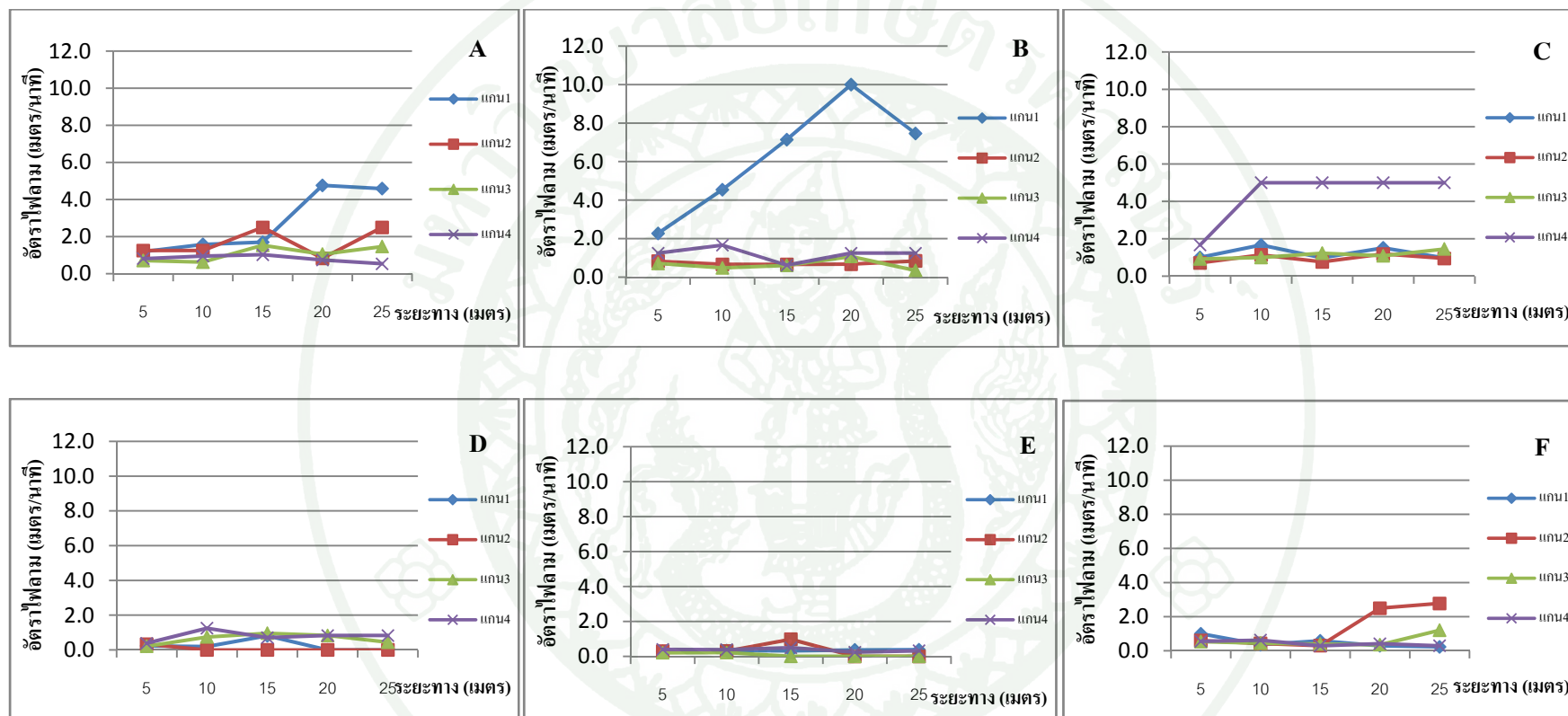
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เป็นค่าของพลังงานที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ติดต่อกัน (heat of combustion หรือ heat value) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งวัดโดย bomb calorimeter แต่ในธรรมชาติการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีความร้อนบางส่วนที่สูญเสียไป เช่น การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี การระเหยของความชื้น เป็นต้น ดังนั้นค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์เมื่อหักออกจากราคาความร้อนที่สูญเสียไป จะได้ปริมาณความร้อนสุทธิ (heat yield) ในการศึกษาครั้งนี้ เชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ 4,218.98 แคลอรี/กรัม ปริมาณความร้อนสุทธิ เท่ากับ 2862.11 แคลอรี/กรัม และเชื้อเพลิงในป่าสนผสมก่อกมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ 4,287.60 แคลอรี/กรัม ปริมาณความร้อนสุทธิ เท่ากับ 2930.73 แคลอรี/กรัม โดยมีเชื้อเพลิงประเภทกิ่งไม้ ที่มีค่าปริมาณความร้อนและค่าปริมาณสุทธิ สูงที่สุด เนื่องมาจาก กิ่งไม้ที่เก็บตัวอย่างได้ มีกิ่งไม้สนรวมอยู่ด้วย ซึ่งไม้สนมีสารประกอบน้ำมัน หรือยางสน (resin) สูง ทำให้ค่าปริมาณความร้อนและค่าปริมาณความร้อนสุทธิมีค่าสูงไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 16

จากการศึกษาของมณูศักดิ์ (2530) เชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง ที่สระแกราช มีปริมาณความร้อน 3,865.57 แคลอรี/กรัม การศึกษาของบุญส่ง (2541) ที่ห้วยขาแข้ง เชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง มีปริมาณ

ความร้อน 4,457.23 แคลอรี/กรัม ป่าเบญจพรรณ 4,220.98 แคลอรี/กรัม การศึกษาของฟองแก้ว (2549) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงในสวนป่ายูคาลิปตัส โดยศึกษาซากพืชที่เป็นใบยูคาลิปตัส คามาล คูเลนซิส และหญ้าเท่ากับ 4,235 แคลอรี/กรัม และมีปริมาณความร้อนสุทธิ เท่ากับ 2,806.93 แคลอรี/กรัม ในสวนป่ากระถินเทพา ศึกษาซากพืช ที่เป็นใบและกิ่งกระถินเทพา และหญ้า มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เท่ากับ 4,480 แคลอรี/กรัม ปริมาณความร้อนสุทธิ เท่ากับ 3,092.73 แคลอรี/กรัม การศึกษาของ Wiriya (2009) ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วยขาแข้งโดยทำการศึกษาค่าความร้อนแยกตามชนิดพืช ที่เป็นเชื้อเพลิงเด่น 11 ชนิด ได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เฉลี่ย เท่ากับ 4,505.85 แคลอรี/กรัม เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้นี้กับผลการศึกษาในเชื้อเพลิงอื่นๆ จะพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและปริมาณความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงในชนิดป่าและเชื้อเพลิงต่างๆ มีค่าที่ได้เป็นไปในลักษณะเดียวกัน

4.3 ความรุนแรงของไฟ

ผลการศึกษาความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรม มีความรุนแรงของไฟเฉลี่ยรวม 365.54 กิโลวัตต์/เมตร ความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย 861.95 กิโลวัตต์/เมตร ความรุนแรงของไฟด้านหางไฟเฉลี่ย 155.37 กิโลวัตต์/เมตร และความรุนแรงของไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย 222.42 กิโลวัตต์/เมตร สำหรับในป่าสนผสมก่อกมีความรุนแรงของไฟเฉลี่ยรวม 26.07 กิโลวัตต์/เมตร ความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย 42.18 กิโลวัตต์/เมตร ความรุนแรงของไฟด้านหางไฟเฉลี่ย 15.60 กิโลวัตต์/เมตร และความรุนแรงของไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย 23.24 กิโลวัตต์/เมตร ดังแสดงในตารางที่ 17 จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่าค่าความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมจะมีค่าสูงกว่าค่าความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมก่อก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับความแตกต่างของปริมาณเชื้อเพลิง และความแตกต่างของอัตราไฟลาม อันเป็นผลสืบเนื่องจากที่มีความแตกต่างกันในด้านปริมาณ ความสูงของเชื้อเพลิงและการปกคลุมของเชื้อเพลิงหลัก (หญ้าและซากพืช) ปัจจัยด้านสภาพอากาศขณะทำการเผา ที่มีความแตกต่างของความเร็วลม อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ และปัจจัยด้านภูมิประเทศ ที่มีความแตกต่างความลาดชันของพื้นที่ ซึ่งป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าดังกล่าวสูงกว่าป่าสนผสมก่อก ทำให้มีความรุนแรงของไฟสูงกว่า



ภาพที่ 17 อัตราไฟลามในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

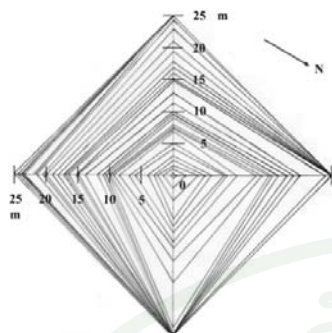
หมายเหตุ แแกน 1 – แแกน 4 คือ ทิศทางของไฟลาม 4 ทิศทาง (A, B, C) คือ ป่าสนเสื่อมโทรมแปลงที่ 1 – 3 (D, E, F) คือ ป่าสนผสมก่อกแปลงที่ 1 – 3



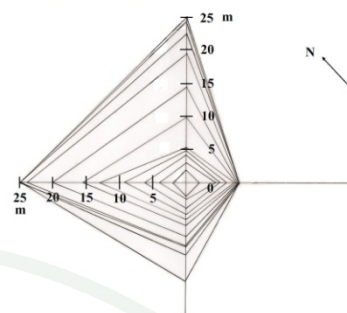
ภาพที่ 18 ลักษณะการลามไฟของในป่าสนเสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์



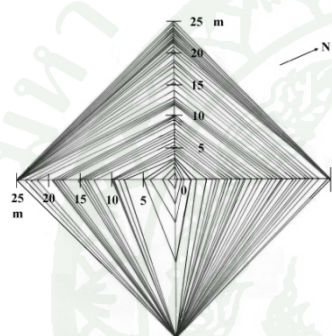
ภาพที่ 19 ลักษณะการลามของไฟในป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์



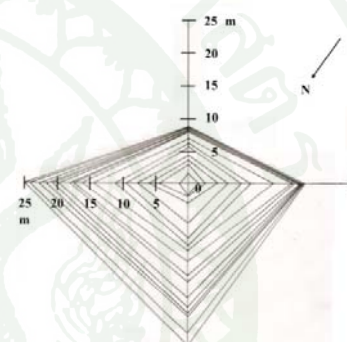
ป่าสนเสื่อมโทรม แปลงที่ 1



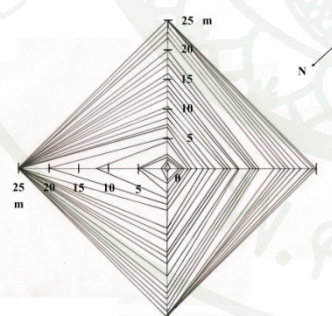
ป่าสนผสมก่อก แปลงที่ 1



ป่าสนเสื่อมโทรม แปลงที่ 2

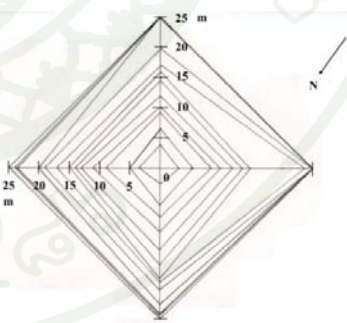


ป่าสนผสมก่อก แปลงที่ 2



ป่าสนเสื่อมโทรม แปลงที่ 3

(เส้นแสดงการลามของไฟทุก ๆ 1 นาที)



ป่าสนผสมก่อก แปลงที่ 3

(เส้นแสดงการลามของไฟทุก ๆ 5 นาที)

ภาพที่ 20 รูปแบบการเผาไหม้ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ตารางที่ 16 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและค่าปริมาณความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัด เพชรบูรณ์

ชนิดป่า	ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน ของเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)	ความร้อนที่สูญเสียจาก การแผ่รังสีความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ความร้อนที่สูญเสียจาก การใช้ระเหยความชื้น* (แคลอรี/กรัม)	ปริมาณความร้อนสุทธิ ของเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)
ป่าสนเสื่อมโทรม	หญ้า (grass)	4,128.61	666.7	599.94	2,861.44
	ไม้พุ่ม (shrub)	4,240.48	666.7	870.17	2,703.09
	ไม้ล้มลุก (herb)	4,216.84	666.7	870.17	2,679.45
	กล้าไม้ (seedling)	4,222.21	666.7	870.17	2,684.81
	ซากพืช (litter)	4,075.17	666.7	463.72	2,944.23
	กิ่งไม้ (twig)	4,430.60	666.7	463.72	3,299.66
	เฉลี่ย	4,218.98 (121.74)	-	-	2,862.11 (240.12)

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ชนิดป่า	ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน ของเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)	ความร้อนที่สูญเสียจาก การแผ่รังสีความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ความร้อนที่สูญเสียจาก การใช้ระเหยความชื้น* (แคลอรี/กรัม)	ปริมาณความร้อนสุทธิ ของเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)
ป่าสนผสมก่อ	หญ้า (grass)	4,085.39	666.7	599.94	2,818.23
	ไม้พุ่ม (shrub)	4,228.35	666.7	870.17	2,690.96
	ไม้ล้มลุก (herb)	4,165.58	666.7	870.17	2,628.19
	กล้าไม้ (seedling)	4,319.33	666.7	870.17	2,781.94
	ซากพืช (litter)	4,038.17	666.7	463.72	2,907.23
	กิ่งไม้ (twig)	4,888.80	666.7	463.72	3,757.86
	เฉลี่ย	4,287.60 (311.11)	-	-	2,930.73 (416.78)

หมายเหตุ *ความร้อนที่สูญเสียจากการใช้ระเหยความชื้น กำหนดตามปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง ตามวิธีการของ Byram (1959)

ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาพฤติกรรมไฟฟ้าของคิ่งนิจ (2539) ในป่าชนิดต่างๆ ที่ภูกระดึง จังหวัดเลย พบว่า ความรุนแรงของไฟที่ทำการศึกษาได้ มีความรุนแรงของไฟในป่าสนสูงกว่าในป่าสนเสื่อมโทรม คือสูงถึง 3,940 กิโลวัตต์/เมตร ในขณะที่ความรุนแรงของไฟในป่าดิบเขา เท่ากับ 35.59 กิโลวัตต์/เมตร และความรุนแรงของไฟในป่าเต็งรัง เท่ากับ 57.77 กิโลวัตต์/เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าในป่าสนผสมก่อก่อนหน้านัก สำหรับการศึกษาของทศพล (2555) ในป่าเต็งรังผสมสน บ้านวัดจันทร์ เปรียบเทียบความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟ พบว่า มีความรุนแรงของไฟต่ำกว่าป่าสนเสื่อมโทรม และสูงกว่าป่าสนผสมก่อก่อน โดยความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟในที่ราบและที่ลาดชัน เท่ากับ 542.84 กิโลวัตต์/เมตร และ 291.50 กิโลวัตต์/เมตร ตามลำดับสำหรับการเปรียบเทียบในทุ่งหญ้า ที่ทุ่งแสลงหลวง (สมศักดิ์, 2550) ซึ่งมีความรุนแรงของไฟ เท่ากับ 3,965.85 กิโลวัตต์/เมตร และที่มวกเหล็ก (ศิริ, 2534) ซึ่งมีความรุนแรงของไฟ เท่ากับ 2,165.8 กิโลวัตต์/เมตร พบว่า ความรุนแรงของไฟในทุ่งหญ้ามียุคสูงมาก และสูงกว่าในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน

4.4 ความยาวเปลวไฟ

ผลการศึกษาความยาวเปลวไฟ โดยการคำนวณจากสูตรคณิตศาสตร์ของ Byram (1959) ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 1.79 เมตร ความยาวเปลวไฟด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.81 เมตร และความยาวเปลวไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.34 เมตร และความยาวเปลวไฟเฉลี่ยรวม เท่ากับ 1.21 เมตร สำหรับในป่าสนผสมก่อก่อนมีความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.45 เมตร ความยาวเปลวไฟด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.28 เมตร และความยาวเปลวไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.34 เมตร และความยาวเปลวไฟเฉลี่ยรวม เท่ากับ 0.36 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 18 จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่าค่าความยาวเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าสูงกว่าป่าสนผสมก่อก่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกทิศทางการลามของไฟ โดยปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความยาวเปลวไฟระหว่างป่าทั้งสองชนิดมีค่าแตกต่างกันเพราะความแตกต่างของความปริมาณเชื้อเพลิง ความสูงเชื้อเพลิงหลัก และสภาพอากาศขณะเผา ซึ่งในป่าสนเสื่อมโทรมมีปัจจัยดังกล่าวมากกว่าป่าสนผสมก่อก่อน

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาพฤติกรรมไฟฟ้าของคิ่งนิจ (2539) ในป่าชนิดต่างๆ ที่ภูกระดึง จังหวัดเลย พบว่า ความยาวเปลวไฟที่ทำการศึกษาได้อยู่ในช่วงเดียวกันกับการศึกษารุ่นนี้ คือ ความยาวเปลวไฟในป่าสน เท่ากับ 1.0 – 6.0 เมตร ความยาวเปลวไฟในป่าดิบเขา เท่ากับ 0.3 – 0.5 เมตร ความยาวเปลวไฟในป่าเต็งรัง เท่ากับ 0.3 – 0.7 เมตร สำหรับการศึกษาของทศพล (2555) ในป่า

ตั้งรังผสมสน บ้านวัดจันทร์ เปรียบเทียบความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟ พบว่า มีความยาวเปลวไฟต่ำกว่าป่าสนเสื่อมโทรม และสูงกว่าป่าสนผสมก่อก โดยความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟในที่ราบและที่ลาดชัน เท่ากับ 1.33 เมตร และ 1.06 เมตร ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบในทุ่งหญ้า ที่ทุ่งแสลงหลวง (สมศักดิ์, 2550) ซึ่งมีความยาวเปลวไฟเท่ากับ 2.44 เมตร และที่มวกเหล็ก (ศิริ, 2534) ซึ่งมีความยาวเปลวไฟเท่ากับ 5.7 เมตร พบว่าความยาวเปลวไฟในทุ่งหญ้ามียาวสูงกว่าในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก

ตารางที่ 17 ค่าความรุนแรงไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)					
		หัวไฟ	หางไฟ	ปีกไฟ 1	ปีกไฟ 2	เฉลี่ยปีกไฟ	เฉลี่ยรวม
ป่าสนเสื่อมโทรม	1	564.58	165.69	341.61	206.60	274.11	319.62
	2	1024.15	106.00	120.68	132.10	126.39	345.73
	3	920.48	201.95	261.48	306.12	283.80	422.51
	เฉลี่ย	836.40 ^a (139.17)	157.88 ^a (27.97)	241.26 ^a (64.57)	214.94 ^a (50.41)	228.10 ^a (50.93)	362.62 ^a (30.87)
ป่าสนผสมก่อก	1	71.36	29.44	42.81	57.09	49.95	50.18
	2	14.92	5.91	9.57	10.42	10.00	10.21
	3	34.21	11.40	12.96	15.29	14.12	18.47
	เฉลี่ย	40.16 ^b (16.56)	15.58 ^b (7.11)	21.78 ^b (10.56)	27.60 ^b (14.81)	24.69 ^b (12.69)	26.28 ^b (12.18)

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของความรุนแรงของไฟ ระหว่างชนิดป่า
ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ตารางที่ 18 ความยาวเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลง ที่	ความยาวเปลวไฟ (เมตร)					
		หัวไฟ	หางไฟ	ปีกไฟ 1	ปีกไฟ 2	เฉลี่ยปีกไฟ	เฉลี่ยรวม
ป่าสน เสื่อมโทรม	1	1.48	0.84	1.17	0.93	1.05	1.14
	2	1.94	0.68	0.73	0.76	0.74	1.18
	3	1.85	0.92	1.04	1.11	1.07	1.29
	เฉลี่ย	1.75 ^a (0.14)	0.81 ^a (0.07)	0.98 ^a (0.13)	0.93 ^a (0.10)	0.96 ^a (0.11)	1.20 ^a (0.04)
ป่าสน ผสมก่อก่อน	1	0.57	0.38	0.45	0.51	0.48	0.48
	2	0.28	0.18	0.23	0.24	0.23	0.23
	3	0.41	0.25	0.26	0.28	0.27	0.31
	เฉลี่ย	0.42 ^b (0.08)	0.27 ^b (0.06)	0.31 ^b (0.07)	0.34 ^b (0.08)	0.33 ^b (0.08)	0.34 ^b (0.07)

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของความยาวเปลวไฟระหว่างชนิดป่า
ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)

4.5 อุณหภูมิไฟ

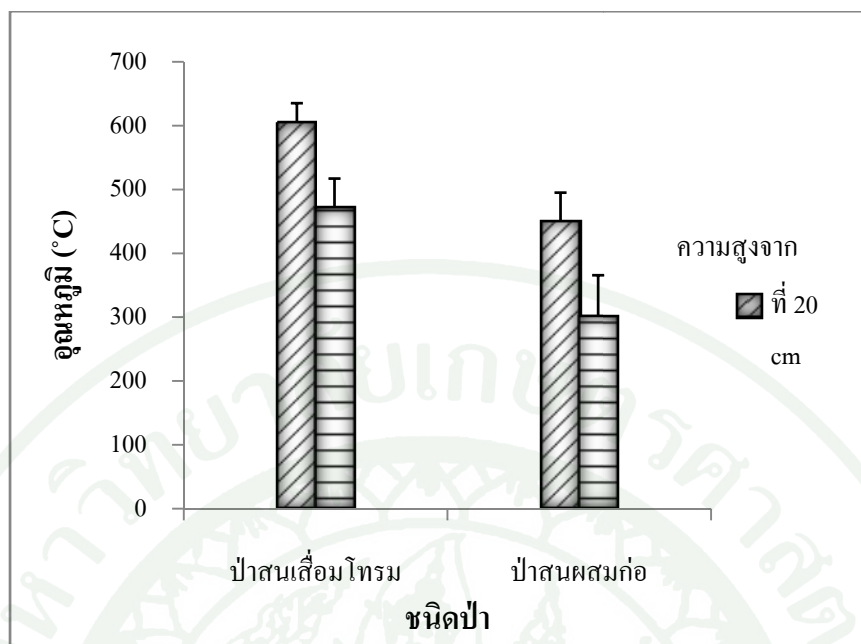
ผลการศึกษาอุณหภูมิไฟในป่าสนเสื่อมโทรม มีอุณหภูมิไฟที่ความสูง 20 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 605 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไฟที่ความสูง 20 เซนติเมตร มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 381 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไฟที่ความสูง 20 เซนติเมตร มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 805 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิไฟที่ความสูง 50 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 472 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไฟที่ความสูง 50 เซนติเมตร มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 280 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไฟที่ความสูง 50 เซนติเมตร มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 797 องศาเซลเซียส สำหรับในป่าสนผสมก่อก่อนมีอุณหภูมิไฟที่ความสูง 20 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 450 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไฟที่ความสูง 20 เซนติเมตร มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 219

องศาเซลเซียส อุณหภูมิไฟที่ความสูง 20 เซนติเมตร มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 667 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิไฟที่ความสูง 50 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 301 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไฟที่ความสูง 50 เซนติเมตร มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 131 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไฟที่ความสูง 50 เซนติเมตร มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 522 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 19 และภาพที่ 21 จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่า ค่าความอุณหภูมิของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของไฟในป่าสนผสมก่อก่อนในทุกระดับความสูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อันเป็นผลสืบเนื่องจากที่มีความแตกต่างกันในด้านปริมาณเชื้อเพลิง ความสูงของเชื้อเพลิงความชื้นของเชื้อเพลิงและการปกคลุมของเชื้อเพลิงหลัก (หญ้าและซากพืช) ปัจจัยด้านพฤติกรรมไฟซึ่งมีความรุนแรงไฟและอัตราไฟลาม รวมถึงค่าความร้อนซึ่งป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าดังกล่าวสูงกว่าป่าสนผสมก่อก่อน ทำให้มีความรุนแรงของไฟสูงกว่า จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่า อุณหภูมิของไฟในป่าสนเสื่อมโทรม ในทุกระดับความสูงจากพื้น มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของไฟในป่าสนผสมก่อก่อน และอุณหภูมิที่ความสูง 20 เซนติเมตร มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ความสูง 50 เซนติเมตร ทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการศึกษาของกอบศักดิ์และคณะ (2552) ที่ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิไฟในไร่มุหนเวียนและไร่ร้าง ที่คอยูกา และ Wanthongchai (2008) ที่ได้ศึกษาอุณหภูมิไฟ ในป่าเต็งรัง ที่ห้วยขาแข้ง รวมถึงการศึกษาของทศพล (2555) ในป่าเต็งรังผสมสนที่บ้านวัดจันทร์ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิไฟ พบว่า อุณหภูมิไฟที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร ในที่ราบและที่ลาดชันมีค่า เท่ากับ 537.27 และ 525.07 องศาเซลเซียสตามลำดับ อุณหภูมิที่ความสูง 50 เซนติเมตร ในที่ราบและที่ลาดชันมีค่า เท่ากับ 355.50 และ 348.84 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิไฟในป่าเต็งรังผสมสนของทศพล (2555) พบว่า มีอุณหภูมิไฟต่ำกว่าป่าสนเสื่อมโทรม และสูงกว่าป่าสนผสมก่อก่อน

ตารางที่ 19 อุณหภูมิไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
จังหวัดเพชรบูรณ์

		อุณหภูมิไฟ (องศาเซลเซียส)					
ชนิดป่า	แปลงที่	ความสูงจากพื้น 20 ซม.			ความสูงจากพื้น 50 ซม.		
		เฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ป่าสน เสื่อมโทรม	1	557	240	764	387	221	902
	2	597	414	756	484	256	657
	3	661	488	895	544	364	832
	เฉลี่ย	605 ^a	381	805	472 ^a	280	797
		(52.70)	(127.32)	(78.04)	(79.08)	(74.54)	(126.19)
ป่าสน ผสมก่อก่อน	1	498	274	679	388	155	625
	2	360	122	684	175	86	394
	3	493	260	637	342	152	546
	เฉลี่ย	450 ^b	219	666	301 ^b	131	522
		(78.35)	(84.01)	(25.91)	(111.80)	(39.00)	(117.41)

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของอุณหภูมิไฟ
ระหว่างชนิดป่า
ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบอุณหภูมิไฟเฉลี่ย ที่ระดับความสูง 20 เซนติเมตร และ 50 เซนติเมตร จากพื้นดินในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก้อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

5. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังการเผา

ภายหลังจากการเผาพื้นที่เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมไฟแล้ว เชื้อเพลิงต่างๆ ได้เริ่มอกกลับเข้ามาในพื้นที่ ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 เดือน ในป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณเชื้อเพลิง 8.55 ตัน/เฮกเตอร์ โดยเชื้อเพลิงที่มีปริมาณมากที่สุด คือ หญ้า รองลงมาคือ ชากพีช และในป่าสนผสมก้อมีปริมาณเชื้อเพลิง 6.56 ตัน/เฮกเตอร์ โดยเชื้อเพลิงที่มีปริมาณมากที่สุด คือ ชากพีช รองลงมาคือ หญ้า ซึ่งจะพบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 เดือน ปริมาณเชื้อเพลิงที่ปรากฏยังมีปริมาณต่ำกว่าปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผา ดังแสดงในตารางที่ 20 สอดคล้องกับการศึกษาของ Himmapan and Kaitpraneet (2008) ที่ได้ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วยขาแข้ง โดยพบว่าปริมาณเชื้อเพลิงหลังเผา เมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 เดือน มีปริมาณต่ำกว่าเชื้อเพลิงก่อนเผา สำหรับสัดส่วนปริมาณของประเภทเชื้อเพลิง มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาหลังการเผา จนกระทั่งที่ระยะเวลา 12 เดือน (ภาพที่ 22) ลำดับสัดส่วนปริมาณของประเภทเชื้อเพลิงจะเป็นลักษณะเดียวกับช่วงก่อนเผา จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างสมการการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงได้ (ภาพที่ 23) ดังนี้

สมการการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม

$$y = 3.2875\ln(x) + 2.7462 \quad R^2 = 0.9959 \quad (15)$$

สมการการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงในป่าสนผสมก่อ

$$y = 1.5193\ln(x) + 3.7691 \quad R^2 = 0.9466 \quad (16)$$

เมื่อ y = ปริมาณของเชื้อเพลิง (ตัน/เฮกเตอร์)

x = ระยะเวลาภายหลังจากการเผา (เดือน)

จากการนำสมการดังกล่าวมาประมาณระยะเวลาในการสะสมของเชื้อเพลิง พบว่า ป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 2 ปี จึงจะมีปริมาณเชื้อเพลิงสะสมใกล้เคียงกับปริมาณเชื้อเพลิงในช่วงก่อนเผา ในการพิจารณาจัดการพื้นที่ จึงควรคำนึงถึงความถี่ของไฟที่เหมาะสม และอัตราการเติบโตของไม้สำคัญในป่าสน ดังนั้น การจัดการเชื้อเพลิงโดยวิธีการชิงเผาเพื่อลดปริมาณเชื้อเพลิงจึงไม่จำเป็นต้องดำเนินการทุกปี เนื่องจากมีปริมาณเชื้อเพลิงสะสมต่ำ และควรปล่อยให้กล้าไม้และไม้รุ่นโดยเฉพาะไม้สนสามใบซึ่งเป็นไม้สำคัญในพื้นที่ ได้เติบโตพ้นสูงจากแนวเปลวไฟ ซึ่งจากการศึกษาของกอบศักดิ์ (2554ก) ในพื้นที่แห่งเดียวกันนี้ พบว่าควรป้องกันไฟป่าในป่าสนเสื่อมโทรมอย่างน้อยประมาณ 3 ปี และควรมีมาตรการในการควบคุมวัชพืช โดยเฉพาะหญ้าในพื้นที่ เพื่อให้เมล็ดไม้สนได้สัมผัสพื้นดินและสามารถงอกและเจริญเติบโตได้ รวมถึงเป็นการลดความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าด้วย

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนปริมาณเชื้อเพลิง ตามภาพที่ 23 พบว่าในป่าสนเสื่อมโทรม มีสัดส่วนเชื้อเพลิงประเภทหญ้ามากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีสัดส่วนสูงกว่าในช่วงก่อนเผา ตั้งแต่เดือนที่ 4 เป็นต้นไป ในขณะที่ปริมาณซากพืชกลับมีสัดส่วนลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงถึงพฤติกรรมไฟที่รุนแรงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเชื้อเพลิง โดยทำให้หญ้ามีความหนาแน่นในพื้นที่มากขึ้น เนื่องจากหญ้าสามารถกลับงอกในพื้นที่ได้เร็วกว่าและทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดีกว่าเชื้อเพลิงประเภทอื่น ทำให้เชื้อเพลิงประเภทอื่นลดลง ส่งผลต่อซากพืชที่ลดลงไปด้วย ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ป่าสนเสื่อมโทรมมีเชื้อเพลิงประเภทหญ้ามากขึ้นในพื้นที่ และทำให้พฤติกรรมไฟในครั้งต่อไปมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น และเชื้อเพลิงประเภทอื่น ก็จะหายไปจากพื้นที่

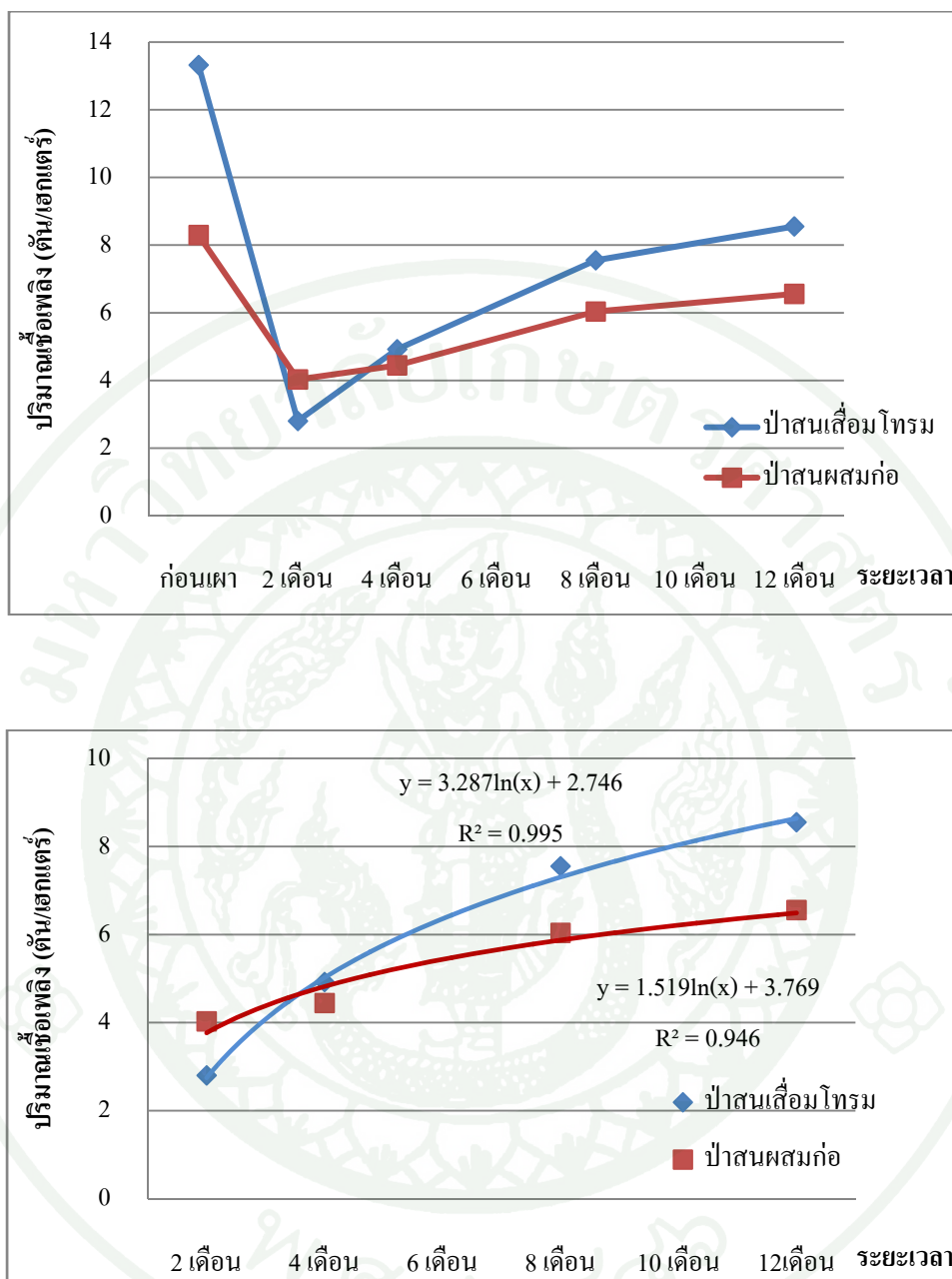
ทำให้ระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไปในทางเสื่อมโทรมไปสู่สังคมทุ่งหญ้าได้ ลักษณะการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนเชื้อเพลิงประเภทหญ้านี้ สอดคล้องกับลักษณะของการรุกรานของหญ้าต่างถิ่นซึ่งทนทานต่อความแห้งแล้งที่เข้ามาในพื้นที่หลังเกิดไฟป่า ทำให้พืชพรรณดั้งเดิมลดลงและหายไปจากพื้นที่ ส่งผลทำให้ไฟมีพฤติกรรมที่รุนแรงขึ้น เรียกลักษณะของปรากฏการณ์นี้ว่า grass/fire cycle (D'Antonio and Vitousek, 1992; USDA Forest Service - FEIS, 2013) โดยมีการพบลักษณะการรุกรานเช่นนี้ในหลายพื้นที่ เช่น Northern Territory ออสเตรเลีย (Rossiter *et al.*, 2003; Rossiter – Rachor *et al.*, 2008) Great Basin, Nevada สหรัฐอเมริกา (Haubensak *et al.*, 2009) Arizona สหรัฐอเมริกา (McDonald and McPherson, 2011) เป็นต้น ในขณะที่ป่าสนผสมกึ่ง แม้จะมีสัดส่วนของเชื้อเพลิงประเภทหญ้าที่เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณซากพืชและกิ่งไม้ ก็มีสัดส่วนที่สูงในแต่ละเดือนเช่นกัน เป็นผลจากพฤติกรรมไฟซึ่งมีความรุนแรงของไฟและความยาวเปลวไฟที่ต่ำ ผลกระทบต่อกล้าไม้ ไม้รุ่นและต้นไม้น้อยกว่าป่าสนเสื่อมโทรม สภาพป่าจึงยังเปิดโล่งน้อยกว่าป่าสนเสื่อมโทรม ทำให้หญ้าเข้ารุกรานพื้นที่ได้น้อยกว่าจึงเห็นว่าพฤติกรรมไฟที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศในระยะยาวได้

6. ระดับอันตรายไฟ

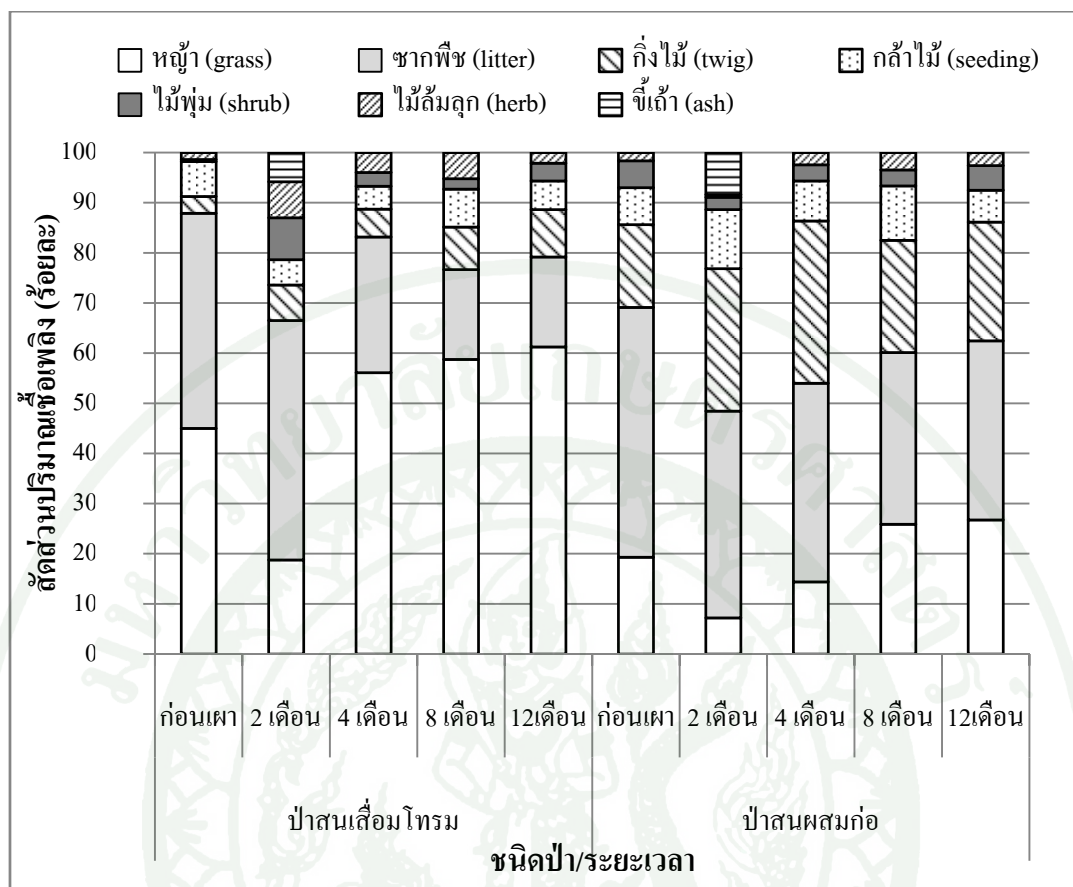
เมื่อนำผลการศึกษาความรุนแรงของไฟ และความยาวเปลวไฟที่คำนวณได้จากสูตรคณิตศาสตร์ของ Byram (1959) นำมาเปรียบเทียบกับค่าของพฤติกรรมไฟต่อวิธีการควบคุมไฟป่าของ Andrew (1980) ดังแสดงในตารางที่ 21 จะพบว่าความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงปานกลาง โดยพนักงานดับไฟไม่สามารถสกัดกั้นที่หัวไฟโดยใช้เครื่องมือและแนวกันไฟธรรมดาได้ แต่ต้องอาศัยการควบคุมโดยใช้รถแทรกเตอร์ เครื่องฉีดน้ำ และสารเคมีโปรยจากเครื่องบิน สำหรับความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมกึ่งมีความรุนแรงต่ำ พนักงานดับไฟสามารถดับไฟที่หัวไฟโดยใช้เครื่องมือและแนวกันไฟธรรมดาได้ ในขณะที่การเปรียบเทียบกับการจัดระดับชั้นอันตรายของไฟป่าในอุทยานแห่งชาติคอยสูเทพ-ปุย ของ สิริ (2539) จะพบว่า ในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงของไฟ ในระดับอันตราย สูงมาก ใช้วิธีดับทางตรงโดยมุ่งสกัดที่แนวหัวไฟก่อนโดยใช้ slip on tank หรือรถฉีดน้ำหรือใช้การดับทางอ้อม โดยทำแนวกันไฟดับแนวหัวไฟซึ่งแม้จะใช้วิธีทางอ้อมก็ลำบากและใช้เวลานาน สำหรับป่าสนผสมกึ่งมีความรุนแรงของไฟ ในระดับอันตรายต่ำ ใช้วิธีดับทางตรงแบบดับทันทีด้วยการใช้ที่ดับไฟและถังฉีดน้ำ

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อเพลิงภายหลังการเผาในพื้นที่ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	ประเภทเชื้อเพลิง	ปริมาณเชื้อเพลิง (ตัน/เฮกเตอร์)				
		ก่อนเผา	2 เดือน	4 เดือน	8 เดือน	12 เดือน
ป่าสนเสื่อมโทรม	หญ้า (grass)	6.00	0.53	2.76	3.77	5.24
	ไม้พุ่ม (shrub)	0.05	0.23	0.14	0.16	0.30
	ไม้ล้มลุก (herb)	0.18	0.20	0.20	0.39	0.18
	กล้าไม้ (seedling)	0.93	0.14	0.22	0.57	0.49
	ซากพืช (litter)	5.71	1.34	1.33	1.35	1.53
	กิ่งไม้ (twig)	0.45	0.20	0.27	0.64	0.81
	ขี้เถ้า (ash)	-	0.16	-	-	-
	รวมทั้งหมด (total)	13.32	2.80	4.92	7.55	8.55
ป่าสนผสมก่อ	หญ้า (grass)	1.60	0.29	0.64	1.56	1.75
	ไม้พุ่ม (shrub)	0.44	0.10	0.14	0.19	0.32
	ไม้ล้มลุก (herb)	0.14	0.02	0.11	0.21	0.17
	กล้าไม้ (seedling)	0.61	0.47	0.35	0.66	0.42
	ซากพืช (litter)	4.14	1.60	1.76	2.07	2.34
	กิ่งไม้ (twig)	1.37	1.15	1.44	1.35	1.55
	ขี้เถ้า (ash)	-	0.34	-	-	-
	รวมทั้งหมด (total)	8.30	4.03	4.45	6.04	6.56



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิง ก่อนเผาและหลังเผาในระยะเวลาต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก้อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์



ภาพที่ 23 สัดส่วนของปริมาณเชื้อเพลิง ก่อนเผาและหลังเผาในระยะเวลาต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ตารางที่ 21 พฤติกรรมไฟและระดับอันตรายไฟของป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกอ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

พฤติกรรมไฟและระดับอันตรายไฟ		ป่าสนเสื่อมโทรม	ป่าสนผสมก่อกอ
พฤติกรรมไฟ			
อัตราไฟลาม (เมตร/นาทีก)	อัตราไฟลามเฉลี่ย	1.89 ^a (1.97)	0.55 ^b (0.50)
	อัตราไฟลามที่หัวไฟ	4.46 ^a (2.49)	0.88 ^b (1.05)
ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	ความรุนแรงไฟเฉลี่ย	362.62 ^a (82.22)	26.28 ^b (21.97)
	ความรุนแรงไฟที่หัวไฟ	836.40 ^a (241.05)	40.16 ^b (28.69)
ความยาวเปลวไฟ (เมตร)	ความยาวเปลวไฟเฉลี่ย	1.20 ^a (0.08)	0.34 ^b (0.13)
	ความยาวเปลวไฟที่หัวไฟ	1.75 ^a (0.25)	0.42 ^b (0.15)
อุณหภูมิไฟ (องศาเซลเซียส)	ที่ความสูง 20 ซม.เหนือพื้นดิน	604.93 ^a (120.49)	471.65 ^b (130.95)
	ที่ความสูง 50 ซม.เหนือพื้นดิน	449.95 ^a (148.02)	301.22 ^b (146.08)
ระดับอันตรายไฟ	ระดับอันตรายไฟของ Andrew (1980)	ปานกลาง	ต่ำ
	ระดับอันตรายไฟของ สิริ (2539)	สูงมาก	ต่ำ

หมายเหตุ อักษร a,b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของพฤติกรรมไฟป่า ตัวเลขใน () แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

7. แบบจำลองเชื้อเพลิง (Fuel model)

แบบจำลองเชื้อเพลิง คือ ค่าที่ใช้ในการคำนวณค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นตัวแทนของแต่ละสมบัติของเชื้อเพลิงในธรรมชาติ ซึ่งถูกนำไปใช้ในการคาดการณ์พฤติกรรมไฟหรือระบบอันตรายไฟโดยเฉพาะแบบจำลองที่นำค่าจากพืชพรรณมาใช้ในแบบจำลองการลามไฟของ Rothermel หรือชุดข้อมูลซึ่งจะนำไปใช้ในการคาดคะเนพฤติกรรมไฟโดยวิธีการของ Rothermel (มโนญศักดิ์, 2530) ผลการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงหรือชุดข้อมูล มีดังนี้ ดังปรากฏในตารางที่ 22

7.1 สมบัติของเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ทำการศึกษแบ่งเป็น 2 รายการ คือ เชื้อเพลิงแห้ง และเชื้อเพลิงสด ซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าวแบ่งได้เป็น 5 ประเภท โดยเชื้อเพลิงแห้งได้แก่ ชากพืช กิ่งไม้ และไม้ล้มลุกแห้ง สำหรับเชื้อเพลิงสด ได้แก่ ไม้ล้มลุกสด และไม้พุ่มต่ำ ทั้งนี้สมบัติของเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษได้แก่ ปริมาณของเชื้อเพลิง ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ความหนาแน่นเชื้อเพลิง ค่าความร้อน ปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด ปริมาณซิลิกา และปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงที่ติดไฟแต่ไม่ลาม

7.1.1 ปริมาณเชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิงเพื่อคำนวณโดยสูตรของ Rothermel (1972) เป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำผลการศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงในข้อ 1.1 มาจัดกลุ่มของเชื้อเพลิงใหม่จาก 6 ประเภท (หญ้า ชากพืช ไม้พุ่ม ไม้ล้มลุก กิ่งไม้ และกิ่งไม้) เป็น 5 ประเภท (ชากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด และไม้พุ่มต่ำ) โดยเชื้อเพลิงประเภท ชากพืช และกิ่งไม้ ยังคงใช้ผลการศึกษาที่ได้จากข้อ 1.1 ตามเดิม สำหรับเชื้อเพลิงประเภท ไม้ล้มลุก ประกอบด้วย หญ้า และไม้ล้มลุก ทั้งนี้จากการเก็บข้อมูลก่อนทำการเผา พบว่า หญ้าเป็นเชื้อเพลิงแห้ง ขณะที่ไม้ล้มลุกเป็นเชื้อเพลิงที่ยังคงสดอยู่ จึงทำการแยกประเภทเชื้อเพลิงได้เป็นเชื้อเพลิงประเภท ไม้ล้มลุกแห้ง ประกอบด้วย หญ้า เชื้อเพลิงประเภท ไม้ล้มลุกสด ประกอบด้วย ไม้ล้มลุก สำหรับเชื้อเพลิงประเภท ไม้พุ่มต่ำ ประกอบด้วย กิ่งไม้ และไม้พุ่ม ผลการศึกษาเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ มีดังนี้

ในป่าสนเสื่อมโทรม มีปริมาณซากพืช, กิ่งไม้, ไม้ล้มลุกแห้ง, ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และปริมาณเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 5,712.66 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 445.55 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 5,995.22 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 184.92 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 981.87 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ และ 13,320.22 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อกอ มีปริมาณซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และปริมาณเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 4,135.12 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 1,368.16 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 1,601.61 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 136.95 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 1,056.02 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ และ 8,297.85 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาศักยภาพเชื้อเพลิงเพื่อสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิงสำหรับการคำนวณตาม Rothermel (1972) ในประเทศไทย การศึกษาของ Wiriyā (2009) ที่ได้ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานีโดยทำการแบ่งลักษณะเชื้อเพลิงเป็น 3 กลุ่มคือ แบบจำลองเชื้อเพลิงประเภทซากพืช ซากพืชกับหญ้าสั้น และหญ้าสูง ในแบบจำลองเชื้อเพลิงซากพืช มีปริมาณซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และปริมาณเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 3,858.27 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 1,275.18 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 138.77 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 178.43 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 338.58 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ และ 5,789.23 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ ตามลำดับ แบบจำลองซากพืชกับหญ้าสั้น มีปริมาณซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และปริมาณเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 3,605.25 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 1,293.46 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 434.04 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 642.33 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 378.64 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ และ 6,253.72 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ ตามลำดับ แบบจำลองหญ้าสูง มีปริมาณซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และปริมาณเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 1,926.90 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 1,195.98 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 2,625.30 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 985.41 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ 451.00 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ และ 7,184.59 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ ตามลำดับ การศึกษาของมณูศักดิ์ (2530) ในป่าเต็งรัง ที่สระแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 1,680.35 กิโลกรัม/เฮกเตอร์ ส่วนการศึกษาของ Kaitpraneet and Thaiutsa (1987) แหล่งเชื้อเพลิงพืชล้มลุก ที่คอกอย่างาง จังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 2,2016.56 กิโลกรัม/เฮกเตอร์

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ปริมาณเชื้อเพลิงในสังคมพืชป่าสนมีปริมาณเชื้อเพลิงสูงกว่าป่าเต็งรัง

7.1.2 ความชื้นของเชื้อเพลิง

ในป่าสนเลื่อมโทรม มีความชื้นของเชื้อเพลิง ของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และความชื้นของเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 22.59 ร้อยละ 19.85 ร้อยละ 44.90 ร้อยละ 143.59 ร้อยละ 133.53 และร้อยละ 87.05 ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อก มีความชื้นของเชื้อเพลิงของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และความชื้นของเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 25.21 ร้อยละ 19.25 ร้อยละ 67.75 ร้อยละ 164.69 ร้อยละ 111.40 และร้อยละ 83.28 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาศักยภาพเชื้อเพลิงเพื่อสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิงโดยใช้สูตรของ Rothermel (1972) ในประเทศไทย การศึกษาของ Wiriya (2009) ที่ได้ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วย ขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี โดยทำการแบ่งสมบัติของเชื้อเพลิงเป็น 3 กลุ่ม คือ แบบจำลองเชื้อเพลิงประเภทซากพืช ซากพืชกับหญ้าสั้น และหญ้าสูง ในแบบจำลองเชื้อเพลิงซากพืช มีความชื้นของเชื้อเพลิงของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 8.92 ร้อยละ 9.50 ร้อยละ 25.23 ร้อยละ 137.99 ร้อยละ 145.82 และร้อยละ 21.39 ตามลำดับ แบบจำลองซากพืชกับหญ้าสั้น มีความชื้นของเชื้อเพลิงของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และความชื้นของเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 8.45 ร้อยละ 9.39 ร้อยละ 20.92 ร้อยละ 99.87 ร้อยละ 128.06 และร้อยละ 25.04 ตามลำดับ แบบจำลองหญ้าสูงมีปริมาณซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุกแห้ง ไม้ล้มลุกสด ไม้พื้นล่าง และความชื้นของเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 8.75 ร้อยละ 9.10 ร้อยละ 15.34 ร้อยละ 52.01 ร้อยละ 118.99 และร้อยละ 23.15 ตามลำดับ การศึกษาของ มนูญศักดิ์ (2530) ในป่าเต็งรัง ที่สระแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีค่าความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 15 และกำหนดความชื้นเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง เป็นร้อยละ 9 ร้อยละ 12 ร้อยละ 15 และร้อยละ 18 เพื่อให้ครอบคลุมค่าความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ย ส่วนการศึกษาของ Kaitpraneet and Thaitutsa (1987) แหล่งเชื้อเพลิงพืชล้มลุก ที่ดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าความชื้นเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง ร้อยละ 6 – 20 และกำหนดความชื้นเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง เป็นร้อยละ 6 ร้อยละ 9 ร้อยละ 14 และร้อยละ 20

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ความชื้นเชื้อเพลิงในสังคมพืชป่าสนมีความชื้นเชื้อเพลิงสูงกว่าป่าเต็งรัง

7.1.3 ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร

ในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก (ใช้ค่าอัตราส่วนเดียวกันใน ไม้ล้มลุกแห้งและ ไม้ล้มลุกสด) ไม้พื้นล่าง และอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเฉลี่ยของเชื้อเพลิง เท่ากับ 12,777.94 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 392.48 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 9,213.03 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 12,173.51 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร และ 8,754.00 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อก มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พื้นล่าง และอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเฉลี่ยของเชื้อเพลิง เท่ากับ 11,381.80 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 368.84 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 9,571.91 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 12,850.94 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร และ 8,749.08 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาสัมบัติของเชื้อเพลิงเพื่อสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิง สำหรับใช้ในการคำนวณตามสูตรของ Rothermel (1972) ในประเทศไทย การศึกษาของ Wiriya (2009) ที่ได้ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี โดยทำการแบ่งสมบัติของเชื้อเพลิงเป็น 3 กลุ่ม คือ แบบจำลองเชื้อเพลิงประเภทซากพืช ซากพืชกับหญ้าสั้น และหญ้าสูง ในแบบจำลองเชื้อเพลิงซากพืช มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พื้นล่าง และค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรรวมเท่ากับ 8,446.84 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 1,275.64 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 6,421.55 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 1,469.01 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร และ 7,937.95 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แบบจำลองซากพืชกับหญ้าสั้น มีปริมาณซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พื้นล่าง และค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรรวม เท่ากับ 8,559.85 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 1,160.61 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 6,367.10 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 1,357.55 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร และ 7,853.29 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แบบจำลองหญ้าสูง มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พื้นล่าง และค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรรวม เท่ากับ 7,311.59 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 1,282.73 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 5,394.73 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร 1,562.88 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร และ 5,998.82 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ การศึกษาของ มนูญศักดิ์ (2530) ในป่าเต็งรัง ที่สระเกษ จังหวัดนครราชสีมา มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร เท่ากับ 11,761.80 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร การศึกษาของ Kaitpraneet and Thaitutsa (1987) ในแหล่งเชื้อเพลิงพืชล้มลุก ที่ค้อย่างขวาง จังหวัดเชียงใหม่ ใช้ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ตามวิธีการของ Albini (1976) ในการสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิง โดยมีค่าเท่ากับ 16,129.03 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร

การศึกษาของ Hernando (2004) รายงานผลอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ของ ไม้ใบกว้าง มีค่าอยู่ในช่วง 4,550 – 13,000 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร และไม้ใบแคบสกุล *Pinus spp.* มีค่าอยู่ในช่วง 3,007 – 6,167 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร สำหรับในกิ่งไม้ของไม้ใบกว้าง ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0 – 2 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 2,450 – 2,780 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 6 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 1,865 – 4,500 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร และที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 – 25 มิลลิเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 959 – 9,600 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร Fischer (1982) รายงานอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของ ไม้ล้มลุกสดในแบบจำลองเชื้อเพลิง Northern Forest Fire Laboratory (NFFL) มีค่าเท่ากับ 4,920 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร ในโปรแกรม BehavePlus (USDA Forest Service, 2000) ใช้ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ในระหว่าง 358 – 13,123 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร Brose and Wade (2002) รายงานอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของ Long Leaf pine (*Pinus palustris* Mill.) และ/หรือ Slash pine (*Pinus elliotii var elliotii* Engelm.) ในระหว่าง 1,816 -2,328 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร สันต์ (2526) ได้แบ่งเชื้อเพลิง เป็น 3 ชั้น เชื้อเพลิงขนาดเล็ก 6,310 -13,000 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร เชื้อเพลิงขนาดกลาง 1,570 – 6,300 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร เชื้อเพลิงขนาดใหญ่ 520 – 1,560 ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรในสังคมพืชป่าสนมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผลการศึกษาในป่าชนิดต่างๆ

7.1.4 ความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิง

ความหนาแน่นของอนุภาคเชื้อเพลิง หรือ อัตราส่วนมวลต่อปริมาตร ส่งผลต่อระยะเวลาการจุดติดไฟ ซึ่ง Fons (1946) พบว่าระยะเวลาการจุดติดไฟของอนุภาคเชื้อเพลิง เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นเชื้อเพลิง

ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก (ใช้ค่าความหนาแน่นเดียวกันในไม้ล้มลุกแห้งและไม้ล้มลุกสด) ไม้พื้นล่าง และ ความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ 739.05 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 422.41 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 479.88 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 758.61 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 589.726 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมกึ่ง มีความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พื้นล่าง และความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 753.45

กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 491.20 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 352.57 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 746.28 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 525.458 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาศัมบัติของเชื้อเพลิงเพื่อสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิง สำหรับใช้ในการคำนวณตามสูตรของ Rothermel (1972) ในประเทศไทย การศึกษาของ Wiriya (2009) ที่ได้ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานีโดยทำการแบ่งลักษณะเชื้อเพลิง เป็น 3 กลุ่ม คือ แบบจำลองเชื้อเพลิงประเภทซากพืช ซากพืชกับหญ้าสั้นและหญ้าสูง ในแบบจำลอง เชื้อเพลิงซากพืช ความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิง ของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พื้น ล่าง และความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 392.03 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 646.30 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 368.26 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 789.53 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 471.10 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แบบจำลองซากพืชกับหญ้าสั้นมีความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิง ของซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พื้นล่าง และความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ 407.69 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 623.50 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร, 378.27 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 763.34 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 467.37 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ แบบจำลองหญ้าสูง มี ปริมาณซากพืช กิ่งไม้ ไม้ล้มลุก ไม้พื้นล่าง และความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงรวม เท่ากับ ร้อยละ 343.09 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 598.52 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 350.26 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร 862.96 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 411.56 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ การศึกษาของ Hernando (2004) รายงานผลการศึกษาความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิง ของไม้ใบกว้าง ในช่วง 571 – 810 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และไม้ใบแคบ ในสกุล *Pinus spp.* มีค่าอยู่ในช่วง 490 – 847 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร สำหรับ ในกิ่งไม้ของไม้ใบกว้าง ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0 – 2 มิลลิเมตร ในช่วง 680 – 935 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 6 มิลลิเมตร ในช่วง 227 – 970 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 – 25 มิลลิเมตรในช่วง 924 – 962 กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตรสำหรับสด คือ 442 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรการศึกษาของ มนูญศักดิ์ (2530) ในป่าเต็ง รัง ที่สระแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีค่าความหนาแน่นของอนุภาคเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ 437.62 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาของ Kaitpraneet and Thaiutsa (1987) ในแหล่งเชื้อเพลิงพืช ล้มลุก ที่ค้อย่างาง จังหวัดเชียงใหม่ ใช้ค่าความหนาแน่นอนุภาคของเชื้อเพลิงตามวิธีการของ Albini (1976) ในการสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิง โดยมีค่าเท่ากับ 156.22 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ความหนาแน่นอนุภาคเชื้อเพลิงในสังคมพืชป่าสน มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผลการศึกษาในป่าชนิดต่างๆ

7.1.5 ความสูงของเชื้อเพลิง

ค่าความสูงของเชื้อเพลิง นำค่าเฉลี่ยตามข้อ 1.4 มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิง คือในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าความสูงเชื้อเพลิง เท่ากับ 0.42 เมตร และในป่าสนผสมก่อก่อน เท่ากับ 0.32 เมตร เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาลักษณะเชื้อเพลิงเพื่อสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิงสำหรับการคำนวณตาม Rothermel (1972) ในประเทศไทย การศึกษาของ Wiriya (2009) ที่ได้ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วย ขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี โดยทำการแบ่งลักษณะเชื้อเพลิงเป็น 3 กลุ่ม คือ แบบจำลองเชื้อเพลิงประเภทซากพืช, ซากพืชกับหญ้าสั้น และหญ้าสูง ค่าเฉลี่ยความสูงของเชื้อเพลิงในแบบจำลองซากพืช 0.1 เมตร พืชกับหญ้าสั้น 0.3 เมตร หญ้าสูง 0.6 เมตร การศึกษาของ มนูญศักดิ์ (2530) ในป่าเต็งรัง ที่สระแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีค่าความสูงของเชื้อเพลิง 0.56 เมตร การศึกษาของ Kaitpraneet and Thaitutsa (1987) ในแหล่งเชื้อเพลิงพืชล้มลุก ที่ดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ มีความสูงของเชื้อเพลิง 1.32 เมตร

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ความสูงของเชื้อเพลิงในสังคมพืชป่าสนมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผลการศึกษาในป่าเต็งรัง แต่ต่ำกว่าในเชื้อเพลิงล้มลุก

7.1.6 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง นำค่าเฉลี่ยตามข้อ 4.2 มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิง คือในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เท่ากับ 17,630 กิโลจูลต่อกิโลกรัม (4,218.98 แคลอรีต่อกิโลกรัม) และในป่าสนผสมก่อก่อน เท่ากับ 17,920 กิโลจูลต่อกิโลกรัม (4,287.60 แคลอรีต่อกิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาลักษณะเชื้อเพลิงเพื่อสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิงสำหรับการคำนวณตาม Rothermel (1972) ในประเทศไทย การศึกษาของ Wiriya (2009) ที่ได้ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วย ขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี เชื้อเพลิงมีค่าความร้อน 18,880 กิโลจูลต่อกิโลกรัม (4,505.85 แคลอรีต่อกิโลกรัม) การศึกษาของ มนูญศักดิ์ (2530) ในป่าเต็งรัง ที่สระแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิง 3,865.57 แคลอรีต่อกิโลกรัม การศึกษาของ Kaitpraneet and Thaitutsa (1987) ในแหล่งเชื้อเพลิงพืชล้มลุก ที่ดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ ใช้ค่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ตามวิธีการของ Albin (1976) ในการสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิง โดยมีค่าเท่ากับ 4,444.46 แคลอรีต่อกิโลกรัม สำหรับการศึกษาในต่างประเทศ การศึกษาของ Andrew (1986) ใน 13 แบบจำลองเชื้อเพลิง มีค่าความร้อน เท่ากับ 8,000 บีทียูต่อฟุต (4,444.46 แคลอรีต่อกิโลกรัม)

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่าความร้อนเชื้อเพลิงในสังคมพืชป่าสนมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับผลการศึกษาในป่าชนิดต่าง ๆ

7.1.7 ปริมาณแร่ธาตุและปริมาณแร่ธาตุที่มีประสิทธิผล

การศึกษาปริมาณแร่ธาตุ หรือขี้เถ้า (mineral content, ash) และปริมาณแร่ธาตุที่มีประสิทธิผล หรือปริมาณแร่ธาตุที่ไม่มีsilica (effective mineral, silica free ash) ในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 5.63 และ 2.78 ตามลำดับ สำหรับในป่าสนผสมกุ่ม มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 5.25 และ 2.40 ตามลำดับ เปรียบเทียบผลการศึกษาศมบัติของเชื้อเพลิงเพื่อสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิงของ Rothermel (1972) ในประเทศไทย การศึกษาของ Wiriya (2009) ที่ได้ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี มีปริมาณแร่ธาตุ เท่ากับร้อยละ 8.09 และปริมาณแร่ธาตุ ที่มีประสิทธิผล ร้อยละ 5.92 การศึกษาของ มนูญศักดิ์ (2530) ในป่าเต็งรัง ที่สระแกราช จังหวัดนครราชสีมา มีปริมาณแร่ธาตุ เท่ากับร้อยละ 12 และปริมาณแร่ธาตุที่มีประสิทธิผล ร้อยละ 4 การศึกษาของ Kaitpraneet and Thaiutsa (1987) ในแหล่งเชื้อเพลิงพืชล้มลุก ที่ดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ ใช้ค่าปริมาณแร่ธาตุและปริมาณแร่ธาตุที่มีประสิทธิผลตามวิธีการของ Albin (1976) ในการสร้างแบบจำลองเชื้อเพลิงโดยมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ สำหรับการศึกษาในต่างประเทศ Andrew (1986) มีปริมาณแร่ธาตุ เท่ากับร้อยละ 5.5 และปริมาณแร่ธาตุ ที่มีประสิทธิผล ร้อยละ 1

จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแร่ธาตุ และปริมาณแร่ธาตุที่มีประสิทธิผล ในป่าชนิดต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน

7.1.8 ความชื้นของเชื้อเพลิงที่ติดไฟแต่ไม่ลาม

ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงในการติดไฟแต่ไม่ลาม เป็นค่าที่มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ (มนูญศักดิ์, 2530) แบบจำลองอัตราไฟลามของ Rothermel (1972) ใช้ค่าร้อยละ 30 สำหรับเชื้อเพลิงผิวดิน เพราะค่านี้เป็นค่าคงที่ของจุดอิมตัวของไฟเบอร์ในเชื้อเพลิงแห้งต่างๆ Andrew (1986) ใช้ค่าในช่วงร้อยละ 12 – 40 ใน 13 แบบจำลองเชื้อเพลิง Haevey *et al*, (1997) ใช้ค่าในช่วงร้อยละ 16 – 44 เพื่อใช้ในแบบจำลองเชื้อเพลิงใน Swiss National Park สำหรับการศึกษาแบบจำลองเชื้อเพลิงของประเทศไทย มนูญศักดิ์ (2530) และ Wiriya (2009) รวมถึงการศึกษาค้นคว้า

ใช้ค่าร้อยละ 30 ตามวิธีการของ Rothermel (1972) ในขณะที่ Kaitpraneet and Thaiutsa (1987) ใช้ค่าร้อยละ 25 ตามวิธีการของ Albini (1976)

7.2 การคาดการณ์พฤติกรรมไฟจากแบบจำลองเชื้อเพลิง

จากแบบจำลองเชื้อเพลิงที่ได้ในตารางที่ 22 นำมาคำนวณตามแบบสูตรของ Rothermel (1972) โดยกำหนดความแตกต่างของความลาดชันของพื้นที่ ที่ร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 ร้อยละ 30 และร้อยละ 40 และความแตกต่างของความเร็วลม ที่ 0 กิโลเมตร/ชั่วโมง 3 กิโลเมตร/ชั่วโมง 6 กิโลเมตร/ชั่วโมง 9 กิโลเมตร/ชั่วโมง และ 12 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามวิธีการของ Wiriya (2009) ได้ผลการคำนวณค่าอัตราไฟลาม ดังตารางที่ 23 ของป่าสนเสื่อมโทรม และตารางที่ 27 ของป่าสนผสมก่อก จากนั้นจึงคำนวณเพื่อหาค่าความรุนแรงไฟ และความยาวเปลวไฟ ด้วยสมการของ Byram (1959) ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 24 และตารางที่ 28 ของป่าสนเสื่อมโทรม และตารางที่ 25 และตารางที่ 29 ของป่าสนผสมก่อก

7.3 การประมาณอันตรายไฟป่า

จากผลการคาดการณ์พฤติกรรมไฟ เพื่อนำไปประมาณอันตรายไฟป่า ได้เลือกใช้วิธีการของ Andrew (1980) เนื่องจากมีระดับของช่วงความรุนแรงไฟที่กว้างกว่าวิธีการของศิริ (2539) โดยพบว่า ในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงตั้งแต่ระดับต่ำ ไปจนถึงระดับสูงมาก ในขณะที่ป่าสนผสมก่อกมีระดับความรุนแรงอยู่ในระดับต่ำและระดับปานกลาง จากผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้ในการประเมินการเตรียมความพร้อมในการควบคุมไฟป่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้ ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิประเทศ และสภาพอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 26 ในป่าสนเสื่อมโทรมและตารางที่ 30 ในป่าสนผสมก่อก

ผลการศึกษาพบว่าการคาดการณ์อัตราไฟลาม, ความรุนแรงของไฟ และความยาวเปลวไฟ ในป่าสนเสื่อมโทรม ภายใต้อิทธิพลของความแตกต่างของความลาดชันของพื้นที่ และความเร็วลม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.59 – 23.82 เมตรต่อวินาที 158.25 – 6,357.70 กิโลวัตต์ต่อเมตร 0.82 – 4.49 เมตร ตามลำดับ สำหรับในป่าสนผสมก่อกมีค่าดังกล่าว เท่ากับ 0.09 – 3.34 เมตรต่อวินาที 15.06 – 568.30 กิโลวัตต์ต่อเมตร 0.28 – 1.48 เมตร ตามลำดับ

7.4 เปรียบเทียบผลจากการทดลองเผาจริงและการคาดการณ์จากแบบจำลองเชื้อเพลิง

จากผลการศึกษาที่ได้ นำผลการศึกษาจากการทดลองเผาจริงและการคาดการณ์จากแบบจำลองเชื้อเพลิง มาเปรียบเทียบกับกันภายใต้สภาพภูมิประเทศ (ความลาดชัน) และความเร็วลมของพื้นที่ศึกษา โดยป่าสนเสื่อมโทรมมีความลาดชันอยู่ในช่วง ร้อยละ 13.4 – 17.2 และมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0 – 15.2 กิโลเมตร/ชั่วโมง และป่าสนผสมก่มีความลาดชันอยู่ในช่วง ร้อยละ 3.8 – 7.3 และมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0 – 7.2 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ตารางที่ 13 และตารางที่ 14) ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของลักษณะพฤติกรรมไฟต่าง ๆ จากการทดลองเผาจริงของป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าอยู่ในช่วงของการคาดการณ์ตามแบบจำลองเชื้อเพลิง ยกเว้น พฤติกรรมไฟของปีกไฟและหางไฟ ที่มีค่าต่ำกว่าช่วงของการคาดการณ์อยู่ไม่มากนัก สำหรับป่าสนผสมก่ มีค่าอยู่ในช่วงของการคาดการณ์ตามแบบจำลองเชื้อเพลิง ยกเว้น ค่าความรุนแรงของไฟในแปลงที่ 2 เนื่องจากในแปลงที่ 2 มีความรุนแรงของไฟต่ำกว่าแปลงอื่นๆ ผลการศึกษาปรากฏดังตารางที่ 31 และตารางที่ 32 จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาพฤติกรรมของไฟป่าที่ได้ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการคาดการณ์พฤติกรรมไฟในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากพฤติกรรมไฟสามารถผันแปรได้ตามปัจจัยสภาพแวดล้อม และค่าคาดการณ์พฤติกรรมไฟที่ได้ มีช่วงค่าที่กว้าง การนำไปใช้จึงควรคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ด้วย

ตารางที่ 22 แบบจำลองเชื้อเพลิงของป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
จังหวัดเพชรบูรณ์

ข้อมูลเชื้อเพลิง	หน่วย	ประเภท เชื้อเพลิง	แบบจำลองเชื้อเพลิง	
			ป่าสนเสื่อมโทรม	ป่าสนผสมก่อก
ปริมาณเชื้อเพลิง	กิโลกรัม /เฮกแตร์	ซากพืช	5,712.66	4,135.12
		กิ่งไม้	445.55	1,368.16
		ล้มลุกแห้ง	5,995.22	1,601.61
		ล้มลุกสด	184.92	136.95
		ไม้พื้นล่าง	981.87	1,056.02
ปริมาณความชื้น ของเชื้อเพลิง	ร้อยละ	ซากพืช	22.59	25.21
		กิ่งไม้	19.85	19.25
		ล้มลุกแห้ง	44.90	67.75
		ล้มลุกสด	143.59	164.69
		ไม้พื้นล่าง	133.53	111.40
อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อ ปริมาตร	ตารางเมตร/ ลูกบาศก์ เมตร	ซากพืช	12,777.94	11,381.80
		กิ่งไม้	392.48	368.84
		ล้มลุก	9,213.03	9,571.91
		ไม้พื้นล่าง	12,173.51	12,850.94
ความหนาแน่นอนุภาค	กิโลกรัม/ ลูกบาศก์ เมตร	ซากพืช	739.05	753.45
		กิ่งไม้	422.41	491.20
		ล้มลุก	479.88	352.57
		ไม้พื้นล่าง	758.61	746.28
ความสูงเชื้อเพลิง	เมตร		0.42	0.32
ปริมาณความร้อน ของเชื้อเพลิง	กิโลจูล/ กิโลกรัม		17,630.00	17,920.00
ปริมาณแร่ธาตุทั้งหมด	ร้อยละ		5.63	5.25

ตารางที่ 22 (ต่อ)

ข้อมูลเชื้อเพลิง	หน่วย	ประเภท เชื้อเพลิง	แบบจำลองเชื้อเพลิง	
			ป่าสนเสื่อมโทรม	ป่าสนผสมก่อก
ปริมาณแร่ธาตุที่มี ประสิทธิภาพ	ร้อยละ		2.78	2.40
ปริมาณความชื้นของ เชื้อเพลิงที่ติดไฟแต่ไม่ ลาม	ร้อยละ		30.00	30.00

ตารางที่ 23 การคาดการณ์อัตราการลามไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสน
เสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

อัตราไฟลาม (เมตร/นาทีก)					
ความลาดชัน (ร้อยละ)	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)				
	0	3	6	9	12
0	0.59	1.80	5.61	12.12	21.40
10	0.74	1.95	5.76	12.28	21.55
20	1.20	2.41	6.22	12.73	22.01
30	1.96	3.17	6.97	13.49	22.76
40	3.02	4.23	8.03	14.55	23.82

ตารางที่ 24 การคาดการณ์ความรุนแรงไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสน
เสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ความลาดชัน (ร้อยละ)	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)				
	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)				
	0	3	6	9	12
0	158.25	481.31	1,497.62	3,235.65	5,711.14
10	198.66	521.72	1,538.03	3,276.06	5,751.55
20	319.92	642.98	1,659.28	3,397.31	5,872.80
30	522.03	845.09	1,861.39	3,599.43	6,074.92
40	804.81	1,127.87	2,144.18	3,882.21	6,357.70

ตารางที่ 25 การคาดการณ์ความยาวเปลวไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสน
เสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ความลาดชัน (ร้อยละ)	ความยาวของเปลวไฟ (เมตร)				
	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)				
	0	3	6	9	12
0	0.82	1.37	2.31	3.29	4.28
10	0.91	1.42	2.34	3.31	4.29
20	1.14	1.57	2.42	3.37	4.33
30	1.42	1.78	2.55	3.46	4.40
40	1.74	2.03	2.73	3.58	4.49

ตารางที่ 26 การคาดการณ์ระดับอันตรายของไฟในป่าสนเสื่อมโทรม ตามวิธีการของ Andrew (1980)

ความลาดชัน (ร้อยละ)	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)				
	0	3	6	9	12
0	Low	Medium	High	Very High	Very High
10					
20		Medium	High	Very High	Very High
30	Medium				
40	High	Very High	Very High	Very High	

หมายเหตุ สัญลักษณ์ของสี

Low	ความรุนแรงต่ำ
Medium	ความรุนแรงปานกลาง
High	ความรุนแรงสูง
Very High	ความรุนแรงสูงมาก

ตารางที่ 27 การคาดการณ์อัตราการลามไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสน
ผสมก่ออุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ความลาดชัน (ร้อยละ)	อัตราไฟลาม (เมตร/นาที่)				
	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)				
	0	3	6	9	12
0	0.09	0.33	0.92	1.80	2.96
10	0.11	0.35	0.94	1.82	2.98
20	0.18	0.42	1.01	1.90	3.05
30	0.30	0.54	1.13	2.02	3.17
40	0.47	0.71	1.30	2.18	3.34

ตารางที่ 28 การคาดการณ์ความรุนแรงไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสน
ผสมก่ออุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ความลาดชัน (ร้อยละ)	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)				
	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)				
	0	3	6	9	12
0	15.06	55.79	156.04	306.54	503.06
10	19.13	59.87	160.12	310.62	507.14
20	31.37	72.10	172.35	322.85	519.38
30	51.76	92.49	192.75	343.25	539.77
40	80.29	121.02	221.28	371.78	568.30

ตารางที่ 29 การคาดการณ์ความยาวเปลวไฟที่ระดับความชันและความเร็วลมต่างๆ กัน ในป่าสน
ผสมก้อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ความลาดชัน (ร้อยละ)	ความยาวของเปลวไฟ (เมตร)				
	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)				
	0	3	6	9	12
0	0.28	0.51	0.82	1.11	1.40
10	0.31	0.53	0.83	1.12	1.40
20	0.39	0.57	0.85	1.14	1.42
30	0.49	0.64	0.90	1.17	1.45
40	0.60	0.73	0.96	1.22	1.48

ตารางที่ 30 การคาดการณ์ระดับอันตรายของไฟในป่าสนผสมก้อ ตามวิธีการของ Andrew (1980)

ความลาดชัน (ร้อยละ)	ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)				
	0	3	6	9	12
0	ความเสี่ยงต่ำ	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงสูง	ความเสี่ยงสูงมาก	ความเสี่ยงสูงมาก
10					
20					
30					
40	ความเสี่ยงต่ำ	ความเสี่ยงปานกลาง	ความเสี่ยงสูง	ความเสี่ยงสูงมาก	ความเสี่ยงสูงมาก
10					
20					
30					

หมายเหตุ สัญลักษณ์ของสี

	ความรุนแรงต่ำ
	ความรุนแรงปานกลาง
	ความรุนแรงสูง
	ความรุนแรงสูงมาก

ตารางที่ 31 เปรียบเทียบพฤติกรรมไฟจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเผาจริง และจากการคาดการณ์จากแบบจำลองเชื้อเพลิงของป่าสนเสื่อมโทรม อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

พฤติกรรมไฟ	แปลงที่	ค่าที่ได้จากการเผาจริง				ค่าคาดการณ์จากแบบจำลอง
		ค่าเฉลี่ย	หัวไฟ	ปีกไฟ	หางไฟ	
อัตราไฟลาม (เมตร/นาทีก)	แปลงที่ 1	1.56	2.76	1.34	0.81	0.74 -21.55
	แปลงที่ 2	2.12	6.28	0.78	0.65	
	แปลงที่ 3	1.99	4.33	1.34	0.95	
ความร้อนแรง ของไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	แปลงที่ 1	319.62	564.58	274.11	165.69	198.66 –
	แปลงที่ 2	345.73	1,024.15	126.39	106.00	5,751.55
	แปลงที่ 3	422.51	920.48	283.80	201.95	
ความยาวเปลวไฟ (เมตร)	แปลงที่ 1	1.136	1.475	1.050	0.839	0.91 – 4.29
	แปลงที่ 2	1.177	1.940	0.741	0.683	
	แปลงที่ 3	1.291	1.847	1.074	0.919	

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบพฤติกรรมไฟจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเผาจริง และจากการคาดการณ์จากแบบจำลองเชื้อเพลิงของป่าสนผสมก่อ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

พฤติกรรมไฟ		ค่าที่ได้จากการเผาจริง				ค่าคาดการณ์ จากแบบจำลอง
		ค่าเฉลี่ย	หัวไฟ	ปีกไฟ	หางไฟ	
อัตราไฟลาม (เมตร/นาทีก)	แปลงที่ 1	0.56	0.80	0.56	0.33	0.09 - 0.92
	แปลงที่ 2	0.36	0.53	0.36	0.21	
	แปลงที่ 3	0.71	1.32	0.55	0.44	
ความรุนแรง ของไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)	แปลงที่ 1	50.17	71.36	49.95	29.44	15.06 – 156.04
	แปลงที่ 2	10.21	14.92	10.00	5.91	
	แปลงที่ 3	18.46	34.21	14.12	11.40	
ความยาวเปลวไฟ (เมตร)	แปลงที่ 1	0.48	0.57	0.48	0.38	0.28 - 0.82
	แปลงที่ 2	0.23	0.28	0.23	0.18	
	แปลงที่ 3	0.31	0.41	0.27	0.25	

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. สมบัติของเชื้อเพลิง ป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณของเชื้อเพลิงเฉลี่ย 13.32 ตัน/เฮกเตอร์ มีเชื้อเพลิงประเภทหญ้ามากที่สุด รองลงมาคือ ชากพืช ปริมาณสิ่งที่เหลืออยู่หลังจากการเผาเฉลี่ย 3.67 ตัน/เฮกเตอร์ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้เฉลี่ย 9.65 ตัน/เฮกเตอร์ (ร้อยละ 72.26) มีความชื้นของเชื้อเพลิงเฉลี่ย ร้อยละ 92.77 มีความสูงของเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.42 เมตร มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงประเภทหญ้ามากที่สุด ร้อยละ 74.85 สำหรับป่าสนผสมก้อ มีปริมาณของเชื้อเพลิงเฉลี่ย 8.30 ตัน/เฮกเตอร์ มีเชื้อเพลิงประเภทชากพืชมากที่สุด รองลงมาคือ หญ้า ปริมาณสิ่งที่เหลืออยู่หลังจากการเผาเฉลี่ย 5.97 ตัน/เฮกเตอร์ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้เฉลี่ย 2.33 ตัน/เฮกเตอร์ (ร้อยละ 25.98) มีความชื้นของเชื้อเพลิงเฉลี่ย ร้อยละ 83.28 มีความสูงของเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.32 เมตร มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงประเภทชากพืชมากที่สุด ร้อยละ 60.82 โดยค่าความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ย ความสูงของเชื้อเพลิงเฉลี่ย การปกคลุมของเชื้อเพลิงเฉลี่ย ในป่าทั้งสองชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ปัจจัยด้านปริมาณเชื้อเพลิงที่ป่าสนเสื่อมโทรมมีค่ามากกว่าป่าสนผสมก้อ ส่งผลต่อพฤติกรรมไฟที่แตกต่างกัน

2. พฤติกรรมของไฟที่ได้จากการเผาจริงในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงกว่าในป่าสนผสมก้อ โดยป่าสนเสื่อมโทรมมีอัตราไฟลามเฉลี่ย 1.89 เมตรต่อนาที ความรุนแรงไฟเฉลี่ย 362.62 กิโลวัตต์/เมตร ความยาวเปลวไฟเฉลี่ย 1.20 เมตร มีอัตราไฟลามหัวไฟ 4.46 เมตรต่อนาที ความรุนแรงไฟหัวไฟ 836.40 กิโลวัตต์/เมตร ความยาวเปลวไฟหัวไฟ 1.75 เมตร มีค่าความร้อน 4,218.98 แคลอรี/กรัม ปริมาณความร้อนสุทธิ 2,862.11 แคลอรี/กรัม อุณหภูมิของไฟเฉลี่ย ที่ความสูงเหนือพื้นดิน 20 เซนติเมตร 605 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของไฟเฉลี่ย ที่ความสูงเหนือพื้นดิน 50 เซนติเมตร 472 องศาเซลเซียส ในป่าสนผสมก้อ มีอัตราไฟลามเฉลี่ย 0.55 เมตรต่อนาที ความรุนแรงไฟเฉลี่ย 26.28 กิโลวัตต์/เมตร ความยาวเปลวไฟเฉลี่ย 0.34 เมตร มีอัตราไฟลามหัวไฟ 0.88 เมตรต่อนาที ความรุนแรงไฟหัวไฟ 40.16 กิโลวัตต์/เมตร ความยาวเปลวไฟหัวไฟ 0.42 เมตรมีค่าความร้อน 4,287.60 แคลอรี/กรัม ปริมาณความร้อนสุทธิ 2,930.73 แคลอรี/กรัม อุณหภูมิของไฟเฉลี่ย ที่ความสูงเหนือพื้นดิน 20 เซนติเมตร 450 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของไฟเฉลี่ย ที่ความสูงเหนือพื้นดิน 50 เซนติเมตร 301 องศาเซลเซียส

การคาดการณ์พฤติกรรมไฟที่ได้จากการคำนวณจากสูตรคณิตศาสตร์ ในป่าสนเสื่อมโทรม มีอัตราไฟลาม อยู่ระหว่าง 0.74 -21.55 เมตรต่อนาที ความรุนแรงของไฟ อยู่ระหว่าง 198.66

– 5,751.55 กิโลวัตต์ต่อเมตร ความยาวเปลวไฟ อยู่ระหว่าง 0.28 – 0.82 เมตร สำหรับในป่าสนผสม ก่อมีอัตราไฟลาม อยู่ระหว่าง 0.09 - 0.92 เมตรต่อนาที ความรุนแรงของไฟ อยู่ระหว่าง 15.06 – 156.04 กิโลวัตต์ต่อเมตร ความยาวเปลวไฟ อยู่ระหว่าง 0.13 – 0.68 เมตร โดยค่าคาดการณ์ดังกล่าว ยังอยู่ในช่วงเดียวกับค่าพฤติกรรมไฟที่ได้จากการเผาจริง

3. การประมาณอันตรายไฟจากพฤติกรรมไฟที่ได้จากการเผาจริง ตามวิธีการของ Andrew (1980) ป่าสนเสื่อมโทรมมีระดับอันตราย อยู่ในระดับปานกลาง ป่าสนผสมก่อกอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่การประมาณอันตรายไฟ ตามวิธีการของ สิริ (2539) ป่าสนเสื่อมโทรมมีระดับอันตราย อยู่ในระดับสูงมาก ป่าสนผสมก่อกอยู่ในระดับต่ำ แต่รูปแบบการควบคุมไฟป่าจากทั้งสองวิธี มีรูปแบบใกล้เคียงกัน คือ การดับไฟในป่าสนเสื่อมโทรมโดยวิธีดับที่หัวไฟได้จะต้องใช้อุปกรณ์ ช่วย เช่น รถฉีดน้ำ ในขณะที่การดับไฟป่าในป่าสนผสมก่อก สามารถใช้วิธีดับทางตรงด้วยการใช้ ที่ดับไฟและถังฉีดน้ำ และใช้แนวกันไฟธรรมชาติในการสกัดไฟได้

การประมาณอันตรายไฟจากพฤติกรรมไฟที่ได้จากการคำนวณจากสูตรคณิตศาสตร์ ตาม วิธีการของ Andrew (1980) ป่าสนเสื่อมโทรมมีระดับอันตรายไฟ ตั้งแต่ระดับต่ำจนถึงระดับสูงมาก ในขณะที่ป่าสนผสมก่อกมีระดับอันตรายไฟ ในระดับต่ำและระดับปานกลาง

4. ค่าพฤติกรรมไฟที่ได้จากการคาดการณ์จากแบบจำลองเชื้อเพลิง สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการและควบคุมไฟป่าในสังคมพืชป่าสนได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำการเผาในพื้นที่เพื่อ ทดลองหรือศึกษาพฤติกรรมไฟอีก เนื่องจากในการเผาแต่ละครั้งมีความเสี่ยง และมีค่าใช้จ่ายในการ ดำเนินงาน อย่างไรก็ตามเนื่องจากพฤติกรรมไฟนั้น มีความผันแปรไปตามสภาพเชื้อเพลิง สภาพ ภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศ การนำค่าพฤติกรรมไฟที่ได้จากการคาดการณ์ไปใช้จึงควร คำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวด้วย

5. การที่ป่าสนผสมก่อกมีพฤติกรรมไฟที่มีความรุนแรงต่ำ เนื่องจากปัจจัยด้านสภาพของ พื้นที่และภูมิอากาศในวันที่ทำการเผา ไม่อาจส่งผลให้มีพฤติกรรมไฟที่รุนแรงได้ อีกทั้งเมื่อ พิจารณาถึงปริมาณเชื้อเพลิงในป่าสนผสมก่อก พบว่า มีปริมาณที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับป่า ชนิดอื่นในประเทศไทย รวมถึงลักษณะของเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยหญ้า ซากพืช กิ่งไม้ ที่มีใบสน และกิ่งไม้สนรวมอยู่ด้วย ซึ่งติดไฟได้ดี หากมีปัจจัยด้านสภาพของพื้นที่และภูมิอากาศที่แห้งแล้งก็

มีความเป็นไปได้ที่พฤติกรรมไฟจะมีความรุนแรงสูง ดังนั้นเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานควบคุมไฟฟ้าจึงควรมีความระมัดระวังในการปฏิบัติงาน

6. เนื่องจากป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกอ มีอัตราการสะสมของเชื้อเพลิงจนมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณเชื้อเพลิงในช่วงก่อนเผา จะใช้เวลาประมาณ 2 ปี ดังนั้นจึงควรกำหนดมาตรการของความถี่ในการเผา ให้สอดคล้องกับอัตราการสะสมของเชื้อเพลิง และอัตราการเติบโตของไม้สนสามใบซึ่งต้องใช้เวลาในการเติบโตเพื่อฟื้นจากความสูงเปลวไฟ ประมาณ 3 ปี เพื่อให้ไม้สนสามใบได้มีกระบวนการสืบทอดพันธุ์ตามธรรมชาติได้ จึงควรป้องกันไฟในพื้นที่ อย่างน้อย 3 ปี โดยไม่จำเป็นต้องทำการชิงเผาเพื่อลดปริมาณเชื้อเพลิง หรืออาจทำการชิงเผาโดยร่วมกับการกำจัดวัชพืชในบริเวณที่ไม้กล้าไม้สน ควรมีการทำแนวกันไฟ ในป่าสนเสื่อมโทรมเพื่อลดความต่อเนื่องของหญ้า ซึ่งขึ้นต่อเนื่องกันเป็นผืนใหญ่ นอกจากนี้ควรมีการปลูกไม้สนสามใบเพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศโดยเฉพาะในป่าสนเสื่อมโทรม เพราะนอกจากกล้าไม้และไม้รุ่นจะได้รับผลกระทบจากไฟป่าแล้ว การที่พื้นที่เปิดโล่ง ทำให้ไม้สนสามใบขนาดใหญ่มีความเสี่ยงต่อการถูกฟ้าผ่าอย่างต่อเนื่อง จึงมีแนวโน้มที่หมู่ไม้สนสามใบจะหายไปจากพื้นที่และกลายเป็นทุ่งหญ้าได้ หากไม่มีมาตรการในช่วยให้มีกระบวนการสืบทอดพันธุ์ตามธรรมชาติได้

7. ในการศึกษาพฤติกรรมของไฟป่าในโอกาสต่อไป สามารถนำค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจากการศึกษาครั้งนี้ หรือจากงานวิจัยอื่น มาใช้ในการคำนวณหาพฤติกรรมของไฟป่า โดยไม่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอีก เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่มีการศึกษาในประเทศไทย มีค่าที่แตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งทำให้ประหยัคงบประมาณและเวลาในการศึกษา โดยเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดป่าในพื้นที่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2534. แผนแม่บทอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช. 2553. ข้อมูลอุทยานแห่งชาติ. กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ. (อัครา).

กริธา คล้ายประสิทธิ์พร. 2540. รูปแบบและอัตราการลุกลามของไฟป่าในป่าเบญจพรรณ. สำนักป้องกันและปราบปราม กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

กองอุทยานแห่งชาติ กรมป่าไม้. 2529. แผนการเบื้องต้น อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ - ชัยภูมิ (พ.ศ. 2530 - 2534). กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

กอบศักดิ์ วันธงไชย, วรพรรณ หิมพานต์ และ พุสสิดิต พูนสวัสดิ์. 2552. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ผลกระทบของการเผาไร่หมุนเวียนบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทยต่อการเก็บกักและปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กอบศักดิ์ วันธงไชย. 2554ก. นิเวศวิทยาของไฟป่าที่มีไม้สนและผลกระทบของไฟต่อสังคมพืชและพลวัตรของธาตุอาหารบริเวณภู่ม้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กอบศักดิ์ วันธงไชย. 2554ข. ผลของการชิงเผาสวนป่าไม้สักต่อการปลดปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิงที่อยู่เหนือพื้นดินออกสู่บรรยากาศ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

คณินิจ สุทธิชาติ. 2539. ผลกระทบของไฟป่าต่อดินและพืช ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จรงค์ วัชรินทร์รัตน์. 2550. ประเภทของป่าไม้. น. 16-49. ใน ถดวาลัย พวงจิตร, ผู้รวบรวม.

วนวัฒนวิทยา พื้นฐานการปลูกป่า. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชมภูณัฐ โสดาจันทร์ และ ขนิษฐา มีเดช. 2547. การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในอุทยานแห่งชาติ
น้ำหนาว. สำนักจัดการและฟื้นฟูพื้นที่ป่าอนุรักษ์ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ชาญชัย ขาวดี, บุญวงศ์ ไทยอุดคำ, มานพ กำจรเจ็ด และสมศักดิ์ สุขวงศ์. 2519. การศึกษาเกี่ยวกับ
อิทธิพลของไฟในป่าสักธรรมชาติ, น 521-536 ใน รายงานการประชุมป่าไม้ประจำปี 2519.
กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ชัชวาลย์ คำเยี่ยม. 2548. สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิง พดุกรมไฟ และผลกระทบไฟต่อการเติบโตใน
สวนป่ายูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยรัตน์ จุจันทร์. 2546. ผลกระทบของไฟป่าต่อดินและพืชในป่าธรรมชาติ ณ อุทยานแห่งชาติ ดอย
สุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่. สำนักป้องกัน และควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า
และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

เต็ม สมิตินันท์. 2544. หนังสือชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย. ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2544 สำนัก
วิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ

ทศพล แพทย์ชัยโย. 2555. โครงการวนวัฒนวิทยา พดุกรมไฟในป่าเต็งรังผสมสน ณ โครงการ
หลวงบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ธวัชชัย สันติสุข. 2550. ป่าของประเทศไทย. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ธานนท์ ไสภิตา, 2553. ลักษณะของเชื้อเพลิงในป่าดิบแล้ง พื้นที่อุทยานแห่งชาติผาแต้ม. ส่วน
ควบคุมและปฏิบัติการไฟป่า สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 9 (อุบลราชธานี) กรมอุทยาน
แห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

บุญส่ง สมเพาะ. 2541. แหล่งเชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ ณ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จ.อุทัยธานี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประยูรยงค์ หนูไชยา. 2551ก. ลักษณะเชื้อเพลิงในป่าเบญจพรรณ ท้องที่ภาคกลาง ปี พ.ศ.2547. สำนักป้องกันปราบปรามและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ประยูรยงค์ หนูไชยา. 2551ข. ลักษณะเชื้อเพลิงในป่าเบญจพรรณ ท้องที่ภาคกลาง ปี พ.ศ.2548. สำนักป้องกันปราบปรามและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

พงษ์ศักดิ์ ดั่งโยธา. 2549. การศึกษาพฤติกรรมของไฟในพื้นที่เป้าหมายแปลงปลูกป่า (FPT) โครงการปลูกป่าถาวรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในโอกาสทรงครองราชย์ปีที่ 50 ท้องที่อำเภอพบพระ และอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก. สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 14 (ตาก) กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

พลากร คูหา. 2554. โครงการงานวิจัยพัฒนาวิทยา สมบัติของเชื้อเพลิงในสวนป่าสักอายุ 8 ปี และในสวนป่าสักที่ปลูกโดยใช้ระบบวนเกษตร ณ สวนป่าแม่ลี อำเภอสี จังหวัดลำพูน. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฟองแก้ว บัวละพา. 2549. พฤติกรรมไฟและการควบคุมไฟป่าในสวนป่าลาดกระทิง อำเภอสนามชัย เขต จังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มณูศักดิ์ สติรศิลป์. 2530. พฤติกรรมไฟในป่าเต็งรังสะแกราช อำเภอปักธงชัย จ.นครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุทธนา แสงทอง. 2549. การประเมินการสูญเสียมวลชีวภาพจากการเกิดไฟป่าในป่าผลัดใบ บริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง โดยเทคนิคการสำรวจระยะไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีระพล กุลมาศย์, 2546. อิทธิพลของไฟป่าต่อการแตกยอดของผักหวานป่า (*Champereia manillana* (Blume) Merr.) ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ศิริ อัคระอักษร, 2534. พฤติกรรมของไฟป่าในทุ่งหญ้า จังหวัดสระบุรี. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____ 2537. ลักษณะของเชื้อเพลิงในป่าเบญจพรรณ อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่. สำนักป้องกันและปราบปราม กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____ 2539. การจัดระดับชั้นอันตรายจากไฟป่าในป่าเต็งรัง อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____ 2543ก. การควบคุมไฟป่าสำหรับประเทศไทย. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____ 2543ข. ลักษณะของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมของไฟในป่าเต็งรัง จังหวัดกาญจนบุรี. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____ 2546. สถานการณ์และการจัดการไฟป่าโลก. สำนักป้องกันและควบคุมไฟป่ากรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

_____ และสาคินต์ กิตติศัพท์ 2535. ลักษณะของเชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____ ไกรสร วิริยะ และ ธนวัฒน์ ทองตัน. 2546. พฤติกรรมไฟในป่าเต็งรังเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

_____ ไกรสร วิริยะ และ ประยูรยงค์ หนูไชยา, 2548. ลักษณะของเชื้อเพลิงในป่าเบญจพรรณ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง. รายงานการศึกษา ศูนย์วิจัยไฟป่าห้วยขาแข้ง จ.อุทัยธานี. สำนักป้องกัน ปราบปรามและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ศิริ อัครฉัตร, ไกรสร วิริยะ, ประยูรยงค์ หนูไชยา, สมศักดิ์ ปริดาภิรัตน์, สุธชาข วิสิทธิ์พานิช,
ศักดิ์ชัย จงกิจวิวัฒน์ และ นเรศ วรรณาลัย. 2548. พฤติกรรมไฟในป่าเต็งรัง. สำนักป้องกัน
ปราบปราม และควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

สุภรัตน์ สำราญ. 2535. ความสัมพันธ์ของความชื้นในเชื้อเพลิงกับสภาพอากาศในท้องถิ่นบริเวณป่า
เต็งรัง อุทยานแห่งชาติภูพาน จังหวัดสกลนคร. สำนักงานช่วยเหลือผู้ประสบภัย
กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____ สุรัตน์ หอมสุต และ ธนวัฒน์ ทองตัน. 2545. ลักษณะเชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง เขต
รักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ศุทธิณี วราภรณ์. 2553. ปริมาณการสะสมของเชื้อเพลิงในพื้นที่สังคมพืชป่าเต็งรัง ที่มีความถี่ของ
การเกิดไฟต่างกัน. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2553. รายงานข้อมูลพื้นฐาน โครงการจัดทำแผนแม่บทการจัดการพื้นที่กลุ่มป่า
ภูเขียว-น้ำหนาว. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศักดิ์ชัย จงกิจวิวัฒน์. 2553. ลักษณะเชื้อเพลิงในป่าเบญจพรรณ จังหวัดเชียงใหม่. สำนักป้องกัน
ปราบปรามและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

สิริรัตน์ บุญเปลี่ยน. 2528. ผลกระทบของไฟป่าต่อดินและพืช ณ ท้องที่ดอยอ่างขาง: ผลในปีแรก.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนทร ฉายวัฒนะ. 2546. ผลของไฟป่าต่อกล้าไม้ไม้รุ่น และการใช้ประโยชน์ของสัตว์กินพืช
บางชนิดในป่าเต็งรัง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สันต์ เกตุปราณีต. 2526. ไฟป่าและการควบคุม, คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
กรุงเทพฯ.

สันต์ เกตุปราณีต. 2530. นิเวศวิทยาไฟป่า. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

_____ 2543. ไฟป่ากับสิ่งแวดล้อม. วนสาร, กรมป่าไม้, 58 (1): 104-122

_____ 2550. ปัจจัยแวดล้อมเกี่ยวกับไฟ, น. 186-215. ใน ลดาวัลย์ พวงจิตร, ผู้รวบรวม. วนวัฒนวิทยา พื้นฐานการปลูกป่า. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____ นิพนธ์ ตั้งธรรม, สุวิทย์ แสงทองพราว, ปรีชา ธรรมานนท์, นริศ ภูมิภาคพันธ์ และ ศิริ อัคระอักษร. 2534. ไฟป่าและผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าไม้ในประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. ศูนย์วิจัยป่าไม้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ ภู่อึ้ง. 2550. การศึกษาพฤติกรรมของไฟป่าที่เกิดขึ้นในทุ่งหญ้าในท้องที่อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง ตำบลหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จ.เพชรบูรณ์. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ สุขวงศ์. 2520. การศึกษานิเวศวิทยาของไฟป่าในป่าเต็งรัง. น. 13-20. ใน รายงานการประชุมป่าไม้ประจำปี 2520. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

สำนักป้องกันปราบปรามและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2556ก. สถิติไฟไหม้ป่า ย้อนหลัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2541-55 (จากการรายงานจากสถานีควบคุมไฟป่า). แหล่งที่มา: <http://www.dnp.go.th/forestfire/2546/firestatistic%20Th.htm>, 23 เมษายน 2556.

สำนักป้องกันปราบปรามและควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2556ข. สถิติไฟไหม้ป่า อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว พ.ศ. 2544 – 2553. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ. (อัคราเนนา)

อรรถพล เจริญชันษา. 2548. ลักษณะเชื้อเพลิงของไฟป่าในป่าดิบแล้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤๅไน. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

อุทิศ ฤทธิอินทร์. 2541. นิเวศวิทยา พื้นฐานเพื่อการป่าไม้. คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Albini, F.A. 1976. **Computer – Based Model of Wildland Fire Behavior: a Users' Manual.** USDA For. Serv., Ogden, Utah.

_____ and J.K. Brown. 1978. Predicting slash depth for fire modeling. **USDA For. Ser. Res. Paper INT-206**, Intermountain For. and Range Exp. Sta., Ogden, Utah.

Andrew, P.L. 1980. Testing the fire behavior model. p. 70-77. *In: Proceedings Sixth Conference on Fire and Forest Meteorology.* 22-24 April 1980, Society of American Foresters. Seattle, WA.

Andrew, P.L. 1986. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system: Burn subsystem, Part 1. **USDA For. Serv. Gen. Tech. Rept. INT-194.** Intermountain For. and Range Exp. Sta., Ogden Utah

Brose, P. and D. Wade. 2002. Potential fire behavior in pine flatwood forests follow three different fuel reduction techniques. **For. Ecol. and Manage.** 163: 71-84.

Bhumpakphan, N. 1997. **Ecological Characteristic and Habitat Utilization of Gaur in Different Climate Site .** Ph.D. Thesis, Kasetsart University.

Brown, A.A. and K.P. Davis. 1973. **Forest Fire : Control and Use.** Mc Graw-Hill Book Co., New York.

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.

Chandler, C.C. T.G. Storey, and C.D. Tangren. 1963. Prediction of Fire Spread Following nuclear explosions. **U.S. For. Serv. Res. Paper PSW-5**. Exp. Sta. - Berkeley, California

_____, P. Cheny, P. Thomas, L. Trabaud, and D. Williams. 1983. **Fire in Forestry, volume 1 : Forest Fire Behavior and Effects**. John Willey and Sons, Inc., New York.

Comyam, C., 2005. **Fuel Bed Properties, Fire Behavior and Effect of Fire on Growth in *Eucalyptus Camaldulensis* Denhn Plantation**. M.S.Thesis, Kasetsart University, (in Thai) Cited G.W., Wendel, and T.G. Storey. 1962. Seasonal Moisture Fluctuations in Four Species of Pocosin Vegetation. **USDA For. Serv. Sta. Paper#147**. SE For. Sta., Asheville, N.C.

Carl, G. and B. Adams. 1998. **Fundamentals of Wildland Fire Fighting**. 3rd ed. Fire Protections Publication, Oklahoma State University, Oklahoma

Countryman, C.M. 1966. The Concept of Fire Environment. **Fire Control Note**. 27(4): 8-10.

Countryman, C.M. and C.W. Philpot. 1970. Physical characteristics of chamise as a wildland fuel. **USDA. For. Ser. Rept. PSW-66**. Pacific SW For. and Range Exp. Sta. - Berkeley, California.

Davis, W.S. 1959. The rate of fire spread and fuel density relationship. **Fire Control Notes** 10(2):8-9.

D'Antonio, C. M., P.M. Vitousek. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. **Ann. Rev. of Ecol. and Syst.** 23: 63-87.

Food and Agriculture Organization. 2007. **Definitional Issues Related to Reducing Emissions from Deforestation in developing Countries**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Fons, W.L. 1946. Analysis of fire spread in light forest fuels. **Jour. Agr. Res.** 72(3): 92-121.

_____. H.D. Bruce, W.Y. Pong and S.S. Richards. 1960. Project fire model, summary progress rep, USDA, Pacific Southwest Forest and Range. **U.S. For. Serv. Res. Paper PNW-234**, Exp. Sta. - Berkeley, California.

Fuller, M. 2001. **Forest Fire : An Introduction to Wildland fire Behavior, Manangement, Firefighting, and Prevention.** John Wiley and Sons. Inc., New York.

Harvey, S., M. Rueggsegger and B. Alloway. 1997. **Fuel Models for Switzerland (Swiss National Park).** Department of Geography, Division of Spatial Data Handling, Zurich, Switzerland.

Haubensak, K., C. D'Antonio and D. Wixon. 2009. Effects of fire and environmental variables on plant structure and composition in grazed salt desert shrublands of the Great Basin (USA). **Jour. of Arid Environments** 73: 643–650.

Hernando, C. 2004. **Physical, chemical and thermal characteristics of the wildland fuel particles. EUFIRELAB: Deliverable D-02-02_A.** Available Source: <http://www.eufirelab.org>, April 12, 2009.

Himmapan, W., 2005. **Behavior, Effect and Smoke Composition of Burning Fire in Dry Deciduous Dipterocarp Forest at Huay Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani Province.** Ph.D. Thesis, Kasetsart University

Himmapan, W., and S. Kaitpraneet. 2008. Effect of burning fire on properties in dry deciduous dipterocarp forest at Huai Kha Khaeng wildlife sanctuary, Uthai Thani Province. **Thai Jour. For.** 27: 107 – 119.

Himmapan, W., and S. Kaitpraneet and Boonyawat., 2006. Behavior of burning fire in dry deciduous dipterocarp forest at Huay Kha Khaeng wildlife sanctuary, Uthai Thani province, **Thai Jour. For.** 25: 112-124.

Joseph, D. L. 2001. **Wildland Firefighting Practices**. Delmar Thomson Learning, Stamford.

Kelsey, R.G., F.Shafizadeh and D.P. Lowery. 1979. Heat content of bark, twig and foliage of nine species of Western Conifers. p. 7 *In* **USDA For. Serv. Res. Note INT- 261**. Intermountain For. and Range Exp. Sta., Ogden, Utah.

McArthur, A.G. 1962. Control burning in eucalypt forests. **Aust. For. and Timber Bur. Leaflet No.80**.

McDonald, C.J., G.R. McPherson. **2011**. Fire behavior characteristics of buffelgrass-fueled fires and native plant community composition in invaded patches. **Jour. of Arid Environments** 75 (2011): 1147 – 1154.

Pyne, S.J., P.L. Andrews and R.D. Laven. 1996. **Introduction to wildland fire**. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York.

Rossiter - Rachor, N.A., S.A. Setterfield, M. M. Douglas, L. B. Hutley, and G. D. Cook. 2008. *Andropogon gayanus* (Gamba Grass) invasion increases fire-mediated nitrogen losses in the tropical savannas of northern Australia. **Ecosystems**. 11: 77–88.

Rossiter, N.A., S. A. Setterfield, L. B. Hutley, M. M. Douglas, and L. B. Hutley. 2003. Testing the grass-fire cycle: alien grass invasion in the tropical savannas of northern Australia. **Diversity and Distributions**. 9 (2003): 169–176.

Rothermel, R.C. 1972. A mathematic model for producing fire spread in wildland fuels.

USDA For. Serv. Res. Paper. INT-115. Intermountain. For. and Range Exp. Sta.,
Ogden, Utah

_____. 1976. Forest Fire and the Chemistry of Forest Fuels, pp.245-259. *In* USDA For.
Serv. **Reprint from: Thermal Uses and Properties of Carbohydrates and Lignins.**
Academic Press, Inc., New York

_____. 1982. Modelling the development of fire in a forest environment, pp.77-84. *In* T.V. Nao,
ed. **Forest Fire Prevention and Control.** The Timber Committee of the United Nations
Economic Commission for Europe, Netherland.

Thomas, P.A. and R. McAlpine, 2010. **Fire in the Forest.** Cambridge University Press,
Cambridge.

Trollope, W.S.W., L.A. Trollope and D.C. Harnett. 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.

Kaitpraneet, S. and B. Thaiutsa. 1987. Predicting Fire Behavior in Herbaceous Fuel Complex at
Doi Angkhang, Chiangmai Province, **Thai Jour. For.:** 89-107

USDA Forest Service. 1956. Glossary of Terms Used in Forest Fire Control. **USDA For. Ser.
Handbook 104.** New York.

_____. 2000. **Users, Guide to BehavePlus.** USDA For. Serv. Rocky Mountain Res. Sta.,
Missoula Fire Sciences Laboratory.

USDA Forest Service - FEIS. 2013. **Fire Effects Information System Glossary.** Available
Source: <http://www.fs.fed.us/database/feis/glossary.html>, April 23, 2013.

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 Sanctuary Thailand.** Ph.D. Thesis, Freiburg University.

Werner, W.L. 1997. Pine and other conifers in Thailand – a quaternary relic?. **Journal of Quaternary science** 12 (5): 451-454.

Wiriya , K. 2009. **Fuel Model and Fire Behavior Prediction in Dry Deciduous Dipterocarp Forest at Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani Province.** Ph.D. Thesis , Kasetsart 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. **Unasylva** 231/232, (60): 25-29





ภาคผนวก ก
รายชื่อพรรณไม้ในพื้นที่ศึกษา

ตารางผนวกที่ ก1 รายชื่อพรรณไม้ ประเภทต้นไม้ (tree) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก่อกุ		
				1	2	3	1	2	3
1	ไคร้ร่ม	<i>Glochidion eriocarpum</i>	Euphorbiaceae	✓					
2	นางแย้มป่า	<i>Clerodendrum viscosum</i> Vent.	Labiatae		✓				
3	ก่อดง	<i>Quercus kingiana</i> Craib.	Fagaceae	✓	✓				
4	แข่งกวาดง	<i>Wendlandia paniculata</i> A. Dc.	Rubiaceae	✓					
5	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. chebula	Combretaceae						✓
6	อบเชย	<i>Cinnamomum verum</i>	Lauraceae	✓					
7	กางจี่มอด	<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.	Leguminosae	✓					
8	กระโดน	<i>Careya sphaerica</i> Roxb.	Lecythydaceae	✓	✓	✓	✓		
9	กระพี้จั่น	<i>Millettia brandisiana</i> Kurz	Leguminosae						✓
10	ก่อดง	<i>Quercus auricoma</i> A. Camus	Fagaceae			✓	✓		
11	ก่อดง	<i>Lithocarpus polystachyus</i> (A.DC.) Rehder	Fagaceae		✓		✓	✓	✓
12	ก่อดง	<i>Castanopsis echidnocarpa</i> A.DC.	Fagaceae				✓		
13	ก่อดง	<i>Quercus kerrii</i> Craib var. kerrii	Fagaceae						✓

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก้อ		
				1	2	3	1	2	3
14	ก้อหม่น	<i>Lithocarpus grandifolius</i> (D.Don) Bigwood	Fagaceae	✓	✓		✓	✓	✓
15	ก้อหิน	<i>Castanopsis piriformis</i> Hickel & A. Carmus	Fagaceae						✓
16	กำยาน	<i>Styrax apricus</i> Fletcher	Styracaceae				✓		
17	แข่งกวาว	<i>Wendlandia tinctoria</i> (Roxb.) DC.	Rubiaceae			✓		✓	
18	คำมอกหลวง	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	Rubiaceae					✓	
19	แคทราย	<i>Stereospermum neuranthum</i> Kurz	Bignoniaceae	✓	✓	✓			
20	แคหางค่าง	<i>Fernandoa adenophylla</i> (Wall. Ex. G. Don) Steenis	Bignoniaceae	✓	✓				
21	ด๊ับเต้าตัน	<i>Diospyros ehretiodes</i> Wall. Ex. G. Don.	Ebenaceae			✓			
22	ดาฉี่เคย	<i>Craibiodendron stellatum</i> (Pierre) W.W.Sm.	Ericaceae	✓	✓	✓			✓
23	ด๊ัวเกลี้ยง	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	Guttiferae				✓		
24	ทะโล้	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth.	Theaceae		✓		✓		
25	ประคู้	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	Leguminosae	✓	✓	✓			
26	ปอแก่นเทา	<i>Grewia eriocarpa</i> Juss.	Tiliaceae	✓	✓	✓			

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก้อ		
				1	2	3	1	2	3
27	ปอเลียงฝ้าย	<i>Eriolaena candollei</i> Wall.	Sterculiaceae	✓	✓	✓			
28	มะกอกเกลื้อน	<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	Burseraceae				✓		
29	มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Euphorbiaceae	✓	✓	✓	✓	✓	
30	มะแฟน	<i>Protium serratum</i> Engl.	Burseraceae			✓			
31	สนสามใบ	<i>Pinus kesiya</i> Royle ex. Gordon	Pinnaceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓
32	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	Combretaceae	✓	✓	✓			
33	ส้านหึ่ง	<i>Dillenia parviflora</i> Griff.	Dilleniaceae	✓					
34	ส้านใหญ่	<i>Dillenia obovata</i> (Blume) Hoogland	Dilleniaceae						✓
35	หมีเหม็น	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.) C.B. Rob. var. <i>glutinosa</i>	Lauraceae	✓					✓
36	หว่า	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Myrtaceae						✓
37	หั่น	<i>Knema</i> sp.	Myristicaceae	✓					
38	เหมือดโคด	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. Ex Lindl.) Baill.	Euphorbiaceae	✓			✓	✓	✓
39	เหมือดแอ	<i>Memecylon scutellatum</i> Naudin	Melastomataceae						✓

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก้อ		
				1	2	3	1	2	3
40	เหียง	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. Ex Miq.	Dipterocarpaceae				✓	✓	✓
41	แห่น	<i>Terminalia bellirica</i> (Gaertn.) Roxb.	Combretaceae		✓				
42	unknown 1							✓	
43	unknown 2				✓				
44	unknown 3				✓				

ตารางผนวกที่ ก2 รายชื่อพรรณไม้ ประเภทไม้รุ่น (sapling) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก่อก		
				1	2	3	1	2	3
1	ไคร้มด	<i>Glochidion eriocarpum</i>	Euphorbiaceae	✓	✓	✓			
2	กล้วยงา	<i>Diospyros villosa</i> (Lindl.) Baill.	Ebenaceae		✓				
3	ก่อแดง	<i>Quercus auricoma</i> A. Camus	Fagaceae				✓		
4	ก่อนก	<i>Lithocarpus polystachyus</i> (A.DC.) Rehder	Fagaceae					✓	✓
5	ก่อหม่น	<i>Lithocarpus grandifolius</i> (D.Don) Bigwood	Fagaceae		✓			✓	
6	กางจี่มอด	<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.	Leguminosae		✓				
7	แข่งกวาง	<i>Wendlandia tinctoria</i> (Roxb.) DC.	Rubiaceae					✓	
8	คำมอกหลวง	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	Rubiaceae				✓	✓	
9	แคทราย	<i>Stereospermum neuranthum</i> Kurz	Bignoniaceae	✓					
10	ชำแป้น	<i>Callicarpa arborea</i> Roxb.	Labiatae				✓		
11	ดาจีเคย	<i>Craibiodendron stellatum</i> (Pierre) W.W.Sm.	Ericaceae	✓					
12	ตัวเกลี้ยง	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	Guttiferae		✓	✓			

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก่อกำเนิด		
				1	2	3	1	2	3
13	ติ้วขน	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack) Dyer spp. <i>runiflorum</i> (Kurz) Gogel. (Lour.) Blume	Guttiferae		✓				
14	ทะโล้	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth.	Theaceae						✓
15	มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Euphorbiaceae	✓	✓	✓			
16	ส้มแปะ	<i>Vaccinium sprengelii</i> (G.Don)	Ericaceae						✓
17	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	Combretaceae	✓					
18	เสลา	<i>Lagerstroemia tomentosa</i> C. Presl	Lythraceae				✓		
19	หนามแท่ง	<i>Catunaregam longispina</i> (Roxb. Ex Link)	Rubiaceae			✓			
20	เหมือดโสด	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. Ex Lindl.) Baill.	Euphorbiaceae				✓		
21	เหียง	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. Ex Miq.	Dipterocarpaceae				✓		
22	unknown 4						✓		

ตารางผนวกที่ ก3 รายชื่อพรรณไม้ ประเภทลูกไม้ (seedling) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัด เพชรบูรณ์

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก่อก		
				1	2	3	1	2	3
1	ไคร้มด	<i>Glochidion eriocarpum</i>	Euphorbiaceae	✓	✓	✓			
2	อบเชย	<i>Cinnamomum verum</i>	Lauraceae		✓				
3	มะเฒ่าไข่ปลา	<i>Antidesma ghaesembilla</i>	Stilacaceae		✓				
4	ปอเลียงฝ้าย	<i>Eriolaena candollei</i> Wall.	Sterculiaceae	✓					
5	เหมือดคนตัวผู้	<i>Helicia nilagirica</i> Bedd.	Proteaceae	✓					
6	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	Combretaceae						✓
7	ส้มพลด	<i>Rhus javanica</i> L. var. <i>javanica</i>	Anacardiaceae		✓				
8	กระพี้เขาควาย	<i>Dalbergia cultrata</i> Graham ex Benth.				✓			
9	ก่อแดง	<i>Quercus auricoma</i> A. Camus	Fagaceae						
10	ก่อนก	<i>Lithocarpus polystachyus</i> (A.DC.) Rehder	Fagaceae				✓	✓	✓
11	ก่อหม่น	<i>Lithocarpus grandifolius</i> (D.Don) Bigwood	Fagaceae		✓		✓	✓	
12	กางจี่มอด	<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.	Leguminosae		✓				

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก้อ		
				1	2	3	1	2	3
13	กำยาน	<i>Styrax apricus</i> Fletcher	Styracaceae				✓		
14	แข่งกวาง	<i>Wendlandia tinctoria</i> (Roxb.) DC.	Rubiaceae					✓	
15	ค้ำมอกหลวง	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	Rubiaceae				✓	✓	✓
16	แคทราย	<i>Stereospermum neuranthum</i> Kurz	Bignoniaceae		✓				
17	เลหางค่าง	<i>Fernandoa adenophylla</i> (Wall, Ex. G. Don) Steenis	Bignoniaceae		✓				
18	ช้าเป็น	<i>Callicarpa arborea</i> Roxb.	Labiatae				✓		✓
19	ดาจีเคย	<i>Craibiodendron stellatum</i> (Pierre) W.W.Sm.	Ericaceae			✓			✓
20	ดิวเกลี้ยง	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	Guttiferae			✓	✓		
21	ดิวขน	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack) Dyer spp. <i>pruniflorum</i> (Kurz) Gogel. (Lour.) Blume	Guttiferae		✓				
22	ทะโล้	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth.	Theaceae						✓
23	ประคู้	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	Leguminosae		✓	✓			
24	มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Euphorbiaceae	✓	✓	✓			

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ที่	ชนิด	ชื่อพฤกษศาสตร์	วงศ์	แปลงป่าสนเสื่อมโทรม			แปลงป่าสนผสมก่อ		
				1	2	3	1	2	3
25	มะเฒ่าสร้อย					✓			
26	สนสามใบ	<i>Pinus kesiya</i> Royle ex. Gordon	Pinnaceae		✓	✓		✓	
27	ส้านใหญ่	<i>Dillenia obovata</i> (Blume) Hoogland	Dilleniaceae					✓	✓
28	หนามแท่ง	<i>Catunaregam longispina</i> (Roxb. Ex Link)	Rubiaceae			✓			
29	หว่าเล็ก	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Myrtaceae			✓			
30	เหมือดโสด	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. Ex Lindl.) Baill.	Euphorbiaceae	✓			✓		✓
31	เหียง	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. Ex Miq.	Dipterocarpaceae				✓	✓	
32	unknown 5						✓		
33	unknown 6						✓		
34	unknown 7						✓		
35	unknown 8								✓
36	unknown 9				✓				
37	unknown 10						✓		✓



1. List of Symbols

$w0_{li}$	Fuel loading of litter fuel (kg m^{-2})
$w0_{tw}$	Fuel loading of twig fuel (kg m^{-2})
$w0_{dh}$	Fuel loading of dead herb fuel (kg m^{-2})
$w0_{lh}$	Fuel loading of live herb fuel (kg m^{-2})
$w0_{un}$	Fuel loading of undergrowth fuel (kg m^{-2})
sv_{li}	Surface area to volume ratio of litter fuel (m^{-1})
sv_{tw}	Surface area to volume ratio of twig fuel (m^{-1})
sv_{dh}	Surface area to volume ratio of dead herb (m^{-1})
sv_{lh}	Surface area to volume ratio of live herb fuel (m^{-1})
sv_{un}	Surface area to volume ratio of undergrowth fuel (m^{-1})
m_{li}	Fuel moisture content of litter fuel (%)
m_{tw}	Fuel moisture content of twig fuel (%)
m_{dh}	Fuel moisture content of dead herb fuel (%)
m_{lh}	Fuel moisture content of live herb fuel (%)
m_{un}	Fuel moisture content of undergrowth (%)
d	Fuel bed depth (m)
ρ_p	Particle density (kg m^{-3})
heat	Particle low heat content (kJ kg^{-1})
s_t	Total mineral content (%)
s_e	Effective mineral content (%)
mx	Moisture content of extinction, dead fuel (%)
wsp	Wind velocity (m s^{-1})
wdr	Wind direction ($^{\circ}$)
slp	Slope (rad)
asp	Aspect ($^{\circ}$)
V	Split angle between upslope direction and direction where the wind is blowing to (rad)
ρ_b	Bulk density (kg m^{-3})

β	Packing ratio
β_{opt}	Optimal packing ratio
β_{ratio}	Ratio mean/optimal packing ratio
W_n	Net fuel loading
η_s	Mineral damping coefficient
η_M	Moisture damping coefficient
ξ	Propagating flux ratio
A	Auxiliary function
Γ	Potential reaction velocity (s^{-1})
Γ_{max}	Maximum reaction velocity (s^{-1})
I_R	Reaction intensity (kWm^{-2})
ϕ_s	Slope factor
B, C, E	Auxiliary functions
ϕ_w	Wind factor
U_x, v_y	Vector components
vl	Amount of the sum of the wind and slope factor, i.e.

2. Rothermel's Model

Auxiliary Functions

$$\begin{aligned}
 sw_{li} &= sv_{li} w0_{li} \\
 sw_{tw} &= sv_{tw} w0_{tw} \\
 sw_{dh} &= sv_{dh} w0_{dh} \\
 sw_{lh} &= sv_{lh} w0_{lh} \\
 sw_{un} &= sv_{un} w0_{un} \\
 sw_d &= sv_{li} + sw_{tw} + sw_{dh} \\
 sw_l &= sv_{lh} + w0_{lw} \\
 sw_t &= sw_d + sw_l
 \end{aligned}$$

$$s2w_t = su_{li}^2 \cdot w0_{li} + su_{tw}^2 \cdot w0_{tw} + sv_{dh}^2 \cdot w0_{dh} + sv_{lh}^2 \cdot w0_{lh} + sv_{un}^2 \cdot w0_{un} \quad (1)$$

$$sw2_d = sv_{li} \cdot w0_{li}^2 + sv_{tw} \cdot w0_{tw}^2 + sv_{dh} \cdot w0_{dh}^2 \quad (2)$$

$$sw2_l = sv_{lh} \cdot w0_{lh}^2 + sv_{un} \cdot w0_{un}^2 \quad (3)$$

$$sw2_t = sv2_d + sw2_l \quad (4)$$

$$swm_d = sw_{li} \cdot m_{li} + sw_{tw} \cdot m_{tw} + sw_{dh} \cdot m_{dh} \quad (5)$$

$$swm_l = sw_{lh} \cdot m_{lh} + sw_{un} \cdot m_{un} \quad (6)$$

Characteristic surface-to-volume ratio [R (71,72)]

$$= \frac{s2w_l}{s2w_t}$$

$$= \frac{sv_{li}^2 \cdot w0_{li} + sv_{tw}^2 \cdot w0_{tw} + sv_{dh}^2 \cdot w0_{dh} + sv_{lh}^2 \cdot w0_{lh} + sv_{un}^2 \cdot w0_{un}}{sv_{li} \cdot w0_{li} + sv_{tw} \cdot w0_{tw} + sv_{dh} \cdot w0_{dh} + sv_{lh} \cdot w0_{lh} + sv_{un} \cdot w0_{un}}$$

Mean Bulk Density [R (74)]

$$\frac{w0_{li} + w0_{tw} + w0_{dh} + w0_{lh} + w0_{un}}{d} \quad (7)$$

Packing Ratios

Mean Packing Ratios [R (31,73)]

$$\beta = \rho/\rho_p \quad (8)$$

Optimal Packing Ratios [R (37)]

$$\beta_{opt} = 8.8578 \cdot \sigma^{-0.8189} \quad (9)$$

Net Fuel Loading [R (60), adjusted by Albini (1976) . (p.88)]

$$Wn_{d1} = w0_{li} \cdot [1 - (s_l/100)] \quad (10)$$

$$Wn_{d2} = w0_{tw} \cdot [1 - (s_l/100)] \quad (11)$$

$$Wn_{d3} = w0_{dh} \cdot [1 - (s_l/100)] \quad (12)$$

$$Wn_{lh} = w0_{lh} \cdot [1 - (s_l/100)] \quad (13)$$

$$Wn_{lw} = w0_{un} \cdot [1 - (s_l/100)] \quad (14)$$

[R(59)]

$$Wn_d = [1 - (s_l/100)] \cdot (sw2_d/sw_d) \quad (15)$$

$$Wn_d = [1 - (s_l/100)] \cdot (sw2_l/sw_l) \quad (16)$$

Mineral Damping Coefficient [R(62)]

$$\eta_s = 0.174 \cdot (s_c/100)^{-0.19} \quad (17)$$

Moisture Damping Coefficient

Ratio of “Fine” Fuel Loadings, Dead/Living [Albini, p.89]

$$hn_{li} = 0.20482 \cdot w0_{li} \cdot \exp(-452.76/sv_{li}) \quad (18)$$

$$hn_{tw} = 0.20482 \cdot w0_{tw} \cdot \exp(-452.76/sv_{tw}) \quad (19)$$

$$hn_{dh} = 0.20482 \cdot w0_{dh} \cdot \exp(-452.76/sv_{dh}) \quad (20)$$

$$hn_{lh} = 0.20482 \cdot w0_{lh} \cdot \exp(-452.76/sv_{lh}) \quad (21)$$

$$hn_{un} = 0.20482 \cdot w0_{un} \cdot \exp(-452.76/sv_{un}) \quad (22)$$

$$hn_d = hn_{li} + hn_{tw} + hn_{dh} \quad (23)$$

$$hn_l = hn_{lh} + hn_{un} \quad (24)$$

$$W = h_{n_d}/h_{n_l} \quad (25)$$

Moisture Content of “Fine” Dead Fuel [Albini, p.89]

$$hnm_d = h_{n_{li}} \cdot m_{li} + h_{n_{tw}} \cdot m_{tw} + h_{n_{dh}} \cdot m_{dh} \quad (26)$$

$$Mf_{dead} = hnm_d/h_{n_d} \quad (27)$$

Moisture of Extinction of Living Fuel [R(88), Albini, p.89]

$$Mx_{live} = (2.9 \cdot W (1-(Mf_{dead}/mx))-0.226) \cdot 100 \quad (28)$$

Moisture Ratios [R(65,66)]

$$rm_l = swm_l/(sw_l mx_{live}) \quad (29)$$

$$rm_d = swm_d/(sw_d \cdot mx) \quad (30)$$

Moisture Damping Coefficients [R(64)]

$$M_d = 1 - 2.59 \cdot rm_d + 5.11 \cdot rm_d^2 - 3.52 \cdot rm_d^3 \quad (31)$$

$$M_l = 1 - 2.59 \cdot rm_l + 5.11 \cdot rm_l^2 - 3.52 \cdot rm_l^3 \quad (32)$$

$$M = wn_d \cdot M_d + wn_l \cdot M_l \quad (33)$$

Reaction Velocity

Maximum Reaction Velocity [R(36,68)]

$$\Gamma_{max} = \frac{0.16828 \cdot \sigma^{1.5}}{29,700 + 0.5997 \cdot \sigma^{1.5}} \quad (34)$$

A [R(70), Albini, p.88]

$$A = 340.53 \cdot \sigma^{-0.7913} \quad (35)$$

Potential Reaction Velocity [R(38)]

$$= \Gamma_{max} \cdot (\beta/\beta_{opt})^A \cdot \exp(A \cdot (1 - (\beta/\beta_{opt}))) \quad (36)$$

Reaction Intensity [R(27,58), Albini, p.89]

$$I_r = \Gamma \cdot \text{heat} \cdot \eta_{s_s} \cdot \eta_s M \quad (37)$$

Propagating Flux Ratio [R(42)]

$$= \frac{\exp[(0.792+0.37597 \cdot \sqrt{\sigma}) \cdot (\beta+0.1)]}{192+0.0791 \cdot \sigma} \quad (38)$$

Heat Sink

Effective heating number [R(14,77)]

$$\varepsilon_{d1} = \exp(-452.76/sv_{li}) \quad (39)$$

$$\varepsilon_{d2} = \exp(-452.76/sv_{tw}) \quad (40)$$

$$\varepsilon_{d3} = \exp(-452.76/sv_{dh}) \quad (41)$$

$$\varepsilon_{lh} = \exp(-452.76/sv_{lh}) \quad (42)$$

$$\varepsilon_{lw} = \exp(-452.76/sv_{un}) \quad (43)$$

Heat of Preignition [R(12,78)]

$$Q_{d1} = 581.5+25.957 \cdot m_{li} \quad (44)$$

$$Q_{d2} = 581.5+25.957 \cdot m_{tw} \quad (45)$$

$$Q_{d3} = 581.5+25.957 \cdot m_{dh} \quad (46)$$

$$Q_{lh} = 581.5+25.957 \cdot m_{lh} \quad (47)$$

$$Q_{lw} = 581.5+25.957 \cdot m_{un} \quad (48)$$

Heat Sink [R(77)]

$$\begin{aligned} hskz = & sv_{li} \cdot w0_{li} \cdot \varepsilon_{li} \cdot Q_{li} + sv_{tw} \cdot w0_{tw} \cdot \varepsilon_{tw} \cdot Q_{tw} + sv_{dh} \cdot \varepsilon_{dh} \cdot Q_{dh} \\ & + sv_{lh} \cdot w0_{lh} \cdot \varepsilon_{lh} \cdot Q_{lh} + sv_{un} \cdot w0_{un} \cdot \varepsilon_{un} \cdot Q_{un} \end{aligned} \quad (49)$$

$$hsk = \rho_b(hskz/sw_t) \quad (50)$$

Slope and Wind

Slope Factor [R(80)]

$$\varnothing_s = 5.275 - b^{-0.3} \cdot \tan(\text{slp})^2 \quad (51)$$

Wind Factor [R(79,82,83,84)]

$$B = 0.02526 \cdot (\sigma \cdot 0.3048)^{0.54} \quad (52)$$

$$C = 7.47 \cdot \exp(-0.133 \cdot (\sigma \cdot 0.3048)^{0.55}) \quad (53)$$

$$E = 0.715 \cdot \exp(-0.000359 \cdot 0.3048 \cdot \sigma) \quad (54)$$

$$\varnothing_w = C \cdot (3.281 \cdot 60 \cdot \text{wsp})^B \cdot (\beta/\beta_{\text{opt}})^{-E} \quad (55)$$

Combined Slope and Wind Factor

$$v_x = \varnothing_s + \varnothing_w \cdot \cos \theta \quad (56)$$

$$v_y = \varnothing_w \cdot \sin(\theta) \quad (57)$$

$$v_l = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (58)$$

Spread Direction

$$\text{sdr} = \arcsin(v_y/v_l) \quad (59)$$

Effective Wind Speed

[R(79)]

$$\text{efw} = \frac{(v_l / (C \cdot (\beta/\beta_{\text{opt}})^{-E}))^{1/B}}{196.85} \quad (60)$$

Rate of Spread

[R(52)]

$$\text{ros} = \frac{I_r \cdot \xi \cdot (I + v_l)}{\text{hsk}} \quad (61)$$

ตารางผนวกที่ ข 1 เปรียบเทียบตัวแปรของสูตร Rothermel (1972) และตัวแปรที่ประยุกต์โดย Wiriya (2008)

Rothermel (1972)		Wiriya (2008)	
symbol		symbol	
w_{d1}	Fuel loading, dead fuel 0-0.6 cm	w_{li}	Fuel loading of litter fuel
w_{d2}	Fuel loading, dead fuel 0.6-2.5 cm	w_{tw}	Fuel loading of twig fuel
w_{d3}	Fuel loading, dead fuel 2.5-7.5 cm	w_{dh}	Fuel loading of dead herb fuel
w_{lh}	Fuel loading, live herbaceous fuel	w_{lh}	Fuel loading live herb fuel
w_{lw}	Fuel loading, live woody fuel	w_{un}	Fuel loading of undergrowth fuel
sv_{d1}	Suerface to volume ratio, dead fuel 0-0.6 cm	sv_{li}	Surface area to volume ratio of litter fuel
sv_{d2}	Suerface to volume ratio, dead fuel 0.6-2.5 cm	sv_{tw}	Surface area to volume ratio of twig fuel
sv_{d3}	Suerface to volume ratio, dead fuel 2.5-7.5 cm	sv_{dh}	Surface area to volume ratio of dead herb
sv_{lh}	Suerface to volume ratio, live herbaceous fuel	sv_{lh}	Surface area to volume ratio of live herb fuel
sv_{lw}	Suerface to volume ratio, live woody fuel	sv_{un}	Surface area to volume ratio of undergrowth fuel
m_{d1}	Fuel moisture content, dead fuel 0-0.6 cm	m_{li}	Fuel moisture content of litter fuel
m_{d2}	Fuel moisture content, dead fuel 0.6-2.5 cm	m_{tw}	Fuel moisture content of twig fuel
m_{d3}	Fuel moisture content, dead fuel 2.5-7.5 cm	m_{dh}	Fuel moisture content of dead herb fuel
m_{lh}	Fuel moisture content, live herbaceous fuel	m_{lh}	Fuel moisture content of live herb fuel
m_{lw}	Fuel moisture content, live woody fuel	m_{un}	Fuel moisture content of undergrowth fuel





ภาพผนวกที่ ค1 การวางแผนและเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงในพื้นที่ศึกษา



ภาพผนวกที่ ค2 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อศึกษาพฤติกรรมไฟและสภาพอากาศขณะทำการเผา



ภาพผนวกที่ ค3 การจุดไฟและเก็บข้อมูลพฤติกรรมของไฟ



ภาพผนวกที่ ค4 สภาพพื้นที่ภายหลังการเผาและการเก็บสิ่งที่หลงเหลือจากการเผา



ภาพผนวกที่ ค5 การติดไฟของเรือนยอดในไม้สนขนาดเล็กและการติดไฟบริเวณลำต้นของไม้สน

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายวรเดช ตะรุสะดำรงเดช
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 2 กรกฎาคม 2528
สถานที่เกิด	เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการป่าไม้ปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 1 (ปราจีนบุรี) กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-