



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

นิเวศวิทยาของไฟในป่าที่มีไม้สนและผลกระทบของไฟต่อสังคมพืช
และพลวัตรของธาตุอาหาร บริเวณภูกลุ่มข้าว
อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

โดย

นายกอบศักดิ์ วันธงไชย

สิงหาคม 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

นิเวศวิทยาของไฟในป่าที่มีไม้สนและผลกระทบของไฟต่อสังคมพืช
และพลวัตรของธาตุอาหาร บริเวณภู่มะเขว
อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

นายกอบศักดิ์ วันธงไชย
ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาที่ได้ให้การสนับสนุนการศึกษาวิจัยเรื่อง “นิเวศวิทยาของไฟในป่าที่มีไม้สนและผลกระทบของไฟต่อสังคมพืชและพลวัตรของธาตุอาหารบริเวณภูมกมข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว” ประจำปีงบประมาณ 2552-2554 ขอขอบพระคุณคณะที่ปรึกษาอันประกอบด้วย รศ. ดร. สันต์ เกตุปราณีต และ รศ. ดร. ดอกร์ก มารอด ที่ได้เสนอแนะข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษาวิจัย ขอขอบพระคุณกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืชที่อนุญาตให้คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิจัยในพื้นที่ ขอขอบพระคุณ คุณสิงขร รัชมณี หัวหน้าอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว คุณเกษมสุข สุขสวัสดิ์ ผู้ช่วยหัวหน้าอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว และเจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาวทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดการเก็บข้อมูลในพื้นที่ ขอขอบพระคุณคุณ พันธุ์พงษ์ คงเดชอดิศักดิ์ หัวหน้าสถานีควบคุมไฟป่าเพชรบูรณ์ และเจ้าหน้าที่สถานีควบคุมไฟป่าจังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยทำแนวกันไฟ เผาแปลงทดลอง และดำเนินการควบคุมการเผาแปลงทดลองให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ยานพาหนะและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ตลอดการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณนิสิตและบุคลากรคณะวนศาสตร์ทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการดำเนินการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงลงได้

คณะผู้วิจัย

สิงหาคม 2554

รหัสโครงการ: MRG5280208

ชื่อโครงการ: นิเวศวิทยาของไฟในป่าที่มีไม้สนและผลกระทบของไฟต่อสังคมพืชและพลวัตของธาตุอาหาร บริเวณภูมุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

นักวิจัยและสถาบัน: นายกอบศักดิ์ วันธงไชย ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail Address: fforksw@ku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี (16 มีนาคม 2552 – 15 มีนาคม 2554)

บทคัดย่อ:

ไฟป่าที่เกิดขึ้นจากมนุษย์เป็นสิ่งที่ปรากฏให้เห็นได้ทั่วไปในป่าของประเทศไทยรวมทั้งในป่าสนซึ่งแม้ว่าป่าสนนั้นจะเป็นระบบนิเวศที่พึ่งไฟแต่การที่ป่าสนนั้นถูกไฟไหม้บ่อยครั้งย่อมส่งผลกระทบต่อสังคมพืช การหมุนเวียนธาตุอาหารอันนำไปสู่ความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืช พลวัตการหมุนเวียนธาตุอาหารและลักษณะฤทธิกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่ บริเวณภูมุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยการวางแผนศึกษาขนาด 50×50 เมตร จำนวนป่าละ 3 แปลง เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของเชื้อเพลิง โครงสร้างและองค์ประกอบสังคมพืช คุณสมบัติของดิน และปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงและในดินในระดับความลึก 15 ซม. ลักษณะพฤติกรรมไฟระหว่างการทดลองเผา และศึกษาผลกระทบของการเผาลักษณะต่างๆ ข้างต้นในป่าแต่ละประเภท

ผลการศึกษาพบว่า พฤติกรรมของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมซึ่งมีหญ้าเป็นเชื้อเพลิงหลักนั้นมีไฟที่มีความรุนแรงสูง (626.7 kW/m) กว่าป่าสนผสมก่ (47.9 kW/m) ที่มีเชื้อเพลิงที่หลากหลายประเภทมากกว่า และนอกจากนี้ความชื้นของเชื้อเพลิงและความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงนั้นมีผลต่อลักษณะพฤติกรรมไฟเช่นกัน โดยป่าสนเสื่อมโทรมต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 2 ปี ในการที่เชื้อเพลิงจะสะสมกลับมาเท่ากับระดับเดิมก่อนที่จะมีการเผา ในขณะที่ป่าสนผสมก่ต้องการระยะเวลาการสะสมเชื้อเพลิงให้กลับมาสู่ระดับเดิมในเวลาประมาณ 2-3 ปี ผลกระทบของการเผาล่อการสูญเสียคาร์บอนสู่บรรยากาศพบว่าไฟส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศโดยที่คาร์บอนที่สูญเสียออกไปนั้นมาจากเชื้อเพลิงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเป็นส่วนใหญ่ โดยที่คาร์บอนในดินไม่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญเมื่อประมาณการสะสมคาร์บอนในเชื้อเพลิงภายหลังการเผาพบว่าป่าสนเสื่อมโทรมต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 2 ปี ในการสะสมคาร์บอนให้เท่ากับก่อนที่จะมีการเผา ในขณะที่ป่าสนผสมก่ต้องการระยะเวลาประมาณ 3 ปี พลวัตการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงก็พบว่าภายหลังการเผาไปแล้ว 1 ปี ปริมาณธาตุอาหารในเชื้อเพลิงยังคงมีปริมาณน้อยกว่าก่อนการเผา เช่นกัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดินนั้นพบว่าไม่มีเพียงไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การเผาทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อนนั้นไม่ได้ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ โดยเฉพาะความหนาแน่นรวมของดินและลักษณะเนื้อดิน อีกทั้งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินโดยภาพรวมอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอุณหภูมิในดินระหว่างการเผาไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะ

ระยะเวลาที่อุณหภูมิในดินสูงเกินค่าอุณหภูมิวิกฤติมีค่าต่ำจนไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีในดิน โดยเฉพาะกับธาตุอาหารที่มีอุณหภูมิจุดเดือดสูง สำหรับผลกระทบของไฟต่อลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืชนั้นพบว่าโครงสร้างของลูกไม้และไม้หนุ่มทั้งความหนาแน่น ความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้รับผลกระทบจากการเผาในขณะที่ไม้ใหญ่ไม่ได้รับผลกระทบมากนัก ดังนั้นในระยะยาวหากไม่มีมาตรการในการจัดการไฟที่มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะในป่าสนเสื่อมโทรม กระบวนการสืบพันธุ์และการทดแทนของสังคมพืชอาจได้รับผลกระทบจนทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นป่าทุ่งหญ้าไปได้ในที่สุด

คำหลัก: นิเวศวิทยาของไฟ, ป่าสนเสื่อมโทรม, ป่าสนผสมก่อก, พฤติกรรมไฟ, ผลกระทบของไฟ, สมบัติของดิน, พลวัตรธาตุอาหาร, การสูญเสียคาร์บอน, อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

Project Code: MRG5280208

Project Title: Fire ecology in pine-related forests and its effects on vegetation and nutrient dynamics at Phu Koom Khaw, Nam Nao national park

Investigator: Kobsak Wanthongchai, Department of silviculture, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, Thailand

E-mail Address: forksw@ku.ac.th

Project Period: 2 years (16 March 2009 – 15 March 2011)

Abstract:

Anthropogenic burning has become a common phenomenon throughout Thailand's forest including pine-related forest ecosystem. Although this ecosystem is fire-dependent ecosystem, too frequent fires may affect plant species composition and nutrient dynamics, thereby resulting in ecosystem degradation. This study aimed to determine fire effects on vegetation structure and composition, and nutrient dynamics and investigate fire behaviour characteristics in degraded pine forest, and pine-oak forest, at Phu Kum Khao, Nam Nao National park. Three 50 × 50 m replicate plots were setup for each forest community, where the experimental burning has been conducted. Pre- and post-burn ecosystem characteristics (i.e. fuel properties, fire behaviour, vegetation structure and composition, soil properties and carbon storage at 15 cm soil depths) were compared to determine fire effects on ecosystem properties in these forests.

The result showed that fire intensity in degraded pine forest (626.7 kW/m), which grasses was the main fuel loads, were greater than that of pine-oak forest (47.9 kW/m) where fuel loads was more diverse. In addition, the different in fuel structure and composition, in particular fuel moisture content, and fuel continuity, also resulted in different fire behaviour. Recovery period of fuel loads to pre-burn level in degraded pine forest was about 2 years, while the pine-oak forest required 2-3 years to reach pre-burn fuel loads level. The results indicated that carbon losses through the atmosphere were mainly from burning of aboveground fuel loads, while fire did not affect to belowground carbon significantly. Recovery period of carbon to the pre-burn level for degraded pine forest and pine-oak forest were 2 and 3 years, respectively. Aboveground nutrient pool dynamics as a result of fire revealed that post burn aboveground nutrient pool at 1 year after fire was still lower than pre-burn pool. Belowground nutrient pool dynamics for 1 year after the fire was significantly increased for total N, while available P was significantly decreased. Experimental burning did not result in soil properties changes significantly, neither soil physical properties, in particular soil bulk density and soil texture, nor soil chemical properties. This is because heat did not penetrate deep into the soil

layer, and hence the residence time of heating for any given critical temperatures was relatively short. The overstory structure and composition for both degraded pine forest and pine-oak forest were not affected by fire significantly, while saplings and seedlings structures (i.e. density, height, and diameter) were affected by burning obviously. Unless there are the effectively fire management program, especially for the degraded pine forest, the natural regeneration and succession may be affected seriously, and hence lead to ecosystem degradation. Finally this forest may be absolutely disappeared and replaced by degraded grassland ecosystem.

Keywords: Fire ecology, Degraded pine forest, Pine-oak forest, Fire behaviour, Fire effects, Soil properties, Nutrient dynamics, Carbon loss, Nam Nao national park

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญเรื่อง	VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	X
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
สถานที่ศึกษา	10
วิธีการศึกษาวิจัย	20
ผลการศึกษา	
- พลวัตรของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก	27
- ผลกระทบของการเผาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกต่อลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืช	56
- ผลกระทบของการเผาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกต่อการเก็บกักและปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ	81
- ผลกระทบของการเผาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกต่อคุณสมบัติของดินและพลวัตรของธาตุอาหาร	92
วิจารณ์ผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
- ผลกระทบของไฟต่อโครงสร้างและองค์ประกอบสังคมพืชป่าสน	110
- ผลกระทบของไฟในป่าสนกับปัญหาการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ	114
- ความหนักเบาของไฟ (Fire severity) ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ	116
- แนวทางการจัดการไฟจากผลของลักษณะความรุนแรงของไฟ	120
- ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยและแนวทางการบริหารจัดการไฟป่าในพื้นที่	121
เอกสารอ้างอิง	125
ตารางภาคผนวก	133
ภาพกิจกรรมการดำเนินงานวิจัย	154
Output จากโครงการวิจัย	168

สารบัญตาราง

Table		หน้า
1	ข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจากพื้นที่รอบอุทยานแห่งชาติ น้ำหนาว พ.ศ. 2542-2552	16
2	น้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทก่อนเผาในแปลงตัวอย่างของป่าสน เสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ค่า standard error of the mean แสดงในวงเล็บ	28
3	ความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสน ผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	29
4	ความสูงของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	30
5	การปกคลุมของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O- PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	31
6	สภาพพื้นที่ทางกายภาพ และช่วงเวลาของการเผาแปลงทดลองป่าสนเสื่อม โทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	32
7	ลักษณะภูมิอากาศเฉลี่ยระหว่างการเผาแปลงทดลอง โดยเครื่องมือตรวจวัด สภาพภูมิอากาศเคลื่อนที่ (Kestrel 4500)	33
8	อุณหภูมิของไฟที่ระดับความสูง 20 และ 50 ซม. เหนือพื้นดินในป่าสนเสื่อม โทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ค่า standard error of the mean แสดงในวงเล็บ	35
9	ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผาทั้งหมด ปริมาณสิ่งที่หลงเหลือจากการเผา ปริมาณเชื้อเพลิงที่หายไป และ เปอร์เซนต์เชื้อเพลิงที่หายไปแปลงตัวอย่างของป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ค่า standard error of the mean แสดงใน วงเล็บ	38
10	ค่าเฉลี่ยลักษณะพฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ค่า standard error of the mean แสดงในวงเล็บ	40
11	อัตราการลามในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยาน แห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	45
12	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและค่าปริมาณความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงในป่า สนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	46

13	ค่าความรุนแรงไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	48
14	ความสูงเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	49
15	ความยาวเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์	50
16	การศึกษาพฤติกรรมของไฟป่าในประเทศไทย	51
17	ประมาณระยะเวลาและปริมาณการสะสมเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับปริมาณเชื้อเพลิง	55
18	ลักษณะโครงสร้างของไม้ยืนต้น (tree) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) บริเวณภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	58
19	ลักษณะโครงสร้างของไม้รุ่น (Sapling) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกบริเวณภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	62
20	ลักษณะโครงสร้างของลูกไม้ (Seedling) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกบริเวณภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	62
21	ความหลากหลายชนิดของไม้ยืนต้น (tree) ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก บริเวณสวนสนภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	64
22	ความหลากหลายชนิดของไม้หนุม (sapling) และลูกไม้ (seedling) ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) บริเวณสวนสนภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	65
23	Bray-Curtis cluster analysis สำหรับไม้ยืนต้นในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก บริเวณสวนสนภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	66
24	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (dbh > 4.5 ซม.) ภายหลังการเผา 1 ปี	69
25	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกและพื้นที่หน้าตัดของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (dbh > 4.5 ซม.) ที่สำคัญบางชนิด ภายหลังการเผา 1 ปี	70
26	ลักษณะโครงสร้างของไม้รุ่น (Sapling) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกบริเวณภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ภายหลังการเผา 1 ปี	71
27	ลักษณะโครงสร้างของลูกไม้ (Seedling) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกบริเวณภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ภายหลังการเผา 1 ปี	75
28	ความเข้มข้นของคาร์บอน (%) ในพืชกลุ่มต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	82
29	ความเข้มข้นของคาร์บอนในสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผา (ขี้เถ้า ถ่าน และ ส่วนที่ไหม้ไฟบางส่วน) ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	83

30	ความเข้มข้นของคาร์บอนในดินและรากพืชขนาดเล็กที่ระดับความลึก 0-15 ซม. ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	84
31	ปริมาณคาร์บอน (Carbon pool) ของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินในเชื้อเพลิงแต่ ละกลุ่มก่อนการเผาแปลงทดลองในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสม ก้อ (O-PF)	85
32	ปริมาณคาร์บอน (Carbon pool) ของส่วนที่อยู่ใต้ดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. ก่อนการเผาแปลงทดลอง ปริมาณที่พบหลังการเผาพื้นที่ และการ สูญเสียคาร์บอนจากการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	86
33	ปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลือในส่วนต่างๆ เหนือพื้นดินภายหลังการเผาและ ปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไปจากการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่า สนผสมก้อ (O-PF)	88
34	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงเหนือพื้นดิน ส่วนที่อยู่ใต้ ดินและปริมาณคาร์บอนรวมทั้งในส่วนเหนือพื้นดินและใต้ดิน (ดินและราก พืชขนาดเล็กที่ระดับความลึก 15 cm) ในระยะเวลา 1 ปีภายหลังการเผา ใน ป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	89
35	ประมาณระยะเวลาและปริมาณการสะสมคาร์บอนในเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อม โทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลา กับปริมาณคาร์บอน	90
36	การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางเคมีของดินภายหลังการเผาป่าสนเสื่อม โทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ที่ระดับความลึก 0-15 ซม	101
37	ปริมาณธาตุอาหารในส่วนของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ก่อนการเผา ภายหลังการเผา 1 ปี และการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร ในป่าสนผสม เสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	106
38	ปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระดับ 0-15 ซม. ใต้ดิน ก่อนการเผาแปลงทดลอง ภายหลังการเผาแปลงทดลองเป็นระยะเวลา 1 ปี และการเปลี่ยนแปลงของ ธาตุอาหาร ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	109
39	ปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไประหว่างการเกิดไฟในป่าบางประเภท	115
40	อุณหภูมิวิกฤตสำหรับธาตุอาหารและสิ่งมีชีวิตในดิน	117

สารบัญภาพ

Figure		หน้า
1	ตำแหน่งที่ตั้งของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	10
2	ขอบเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดชัยภูมิ และบริเวณพื้นที่ศึกษาบริเวณภู่มะขาม	11
3	ระดับความสูงของพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	12
4	ชุดดินบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	13
5	ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	15
6	แสดงสังคมพืชบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	19
7	แผนผังการวางแผนทดลองเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงในป่าสนและป่าสนผสมก่อ (C= ตำแหน่งจุดไฟ, B = แปลงย่อยเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงก่อนเผา, A= แปลงย่อยเก็บสิ่งที่หลงเหลือทันทีจากการเผาหลัง และ 2,4,6,12 = แปลงย่อยเก็บข้อมูลหลังเผา 2,4,6, และ 12 เดือน ตามลำดับ)	22
8	ลักษณะโครงสร้างของเชื้อเพลิงจำแนกตามกลุ่มของพืช ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อ (O-PF)	27
9	การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในระหว่างการเผาแปลงทดลอง	34
10	ลักษณะอุณหภูมิของไฟที่ระดับความสูง 20 และ 50 ซม. เหนือพื้นดิน	35
11	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณผิวดิน , 2, 5, และ 10 ได้ดินระหว่างการเผา (a, b, c: ป่าสนเสื่อมโทรม, d, e,f: ป่าสนผสมก่อ)	37
12	สัดส่วนของส่วนที่หลงเหลือภายหลังการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อ (O-PF)	39
13	อัตราการลุกลามของไฟในแต่ละแนวการเผาไหม้ทั้ง 4 แนว ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อ (O-PF) ป่าสนเสื่อมโทรม (A, B, C) ป่าสนผสมก่อ (D, E, F)	41
14	ความสูงของเปลวไฟในแต่ละแนวการเผาไหม้ทั้ง 4 แนว ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อ (O-PF) ป่าสนเสื่อมโทรม (A, B, C) ป่าสนผสมก่อ (D, E, F)	42
15	แบบจำลองการลุกลามของไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (A, B, C) และป่าสนผสมก่อ (D, E, F) เส้นชั้นระยะเวลาของป่าสนเสื่อมโทรมเท่ากับ 1 นาที เส้นชั้นระยะเวลาของป่าสนผสมก่อเท่ากับ 5 นาที	43

16	ลักษณะพฤติกรรมไฟด้านหัวไฟ (head-fire burning direction) ของป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent <i>t</i> -test, $P < 0.05$) ของลักษณะพฤติกรรมไฟด้านหัวไฟ ระหว่างพื้นที่	44
17	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อเพลิงในแต่ละประเภทและปริมาณเชื้อเพลิงรวมในช่วงระยะเวลา 1 ปีภายหลังการเผา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	54
18	สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับระยะเวลาเพื่อใช้ในการประมาณระยะเวลาการสะสมของเชื้อเพลิงที่จะสะสมกลับสู่ในระดับก่อนการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	55
19	การกระจายของของไม้ใหญ่ตามขนาดชั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง ในป่าสนเสื่อมโทรม	58
20	การกระจายของของไม้ใหญ่ตามขนาดชั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง ในป่าสนผสมก่อก	59
21	ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (A) และเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดของไม้ชั้นบน (B) ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF-1, PF-2, PF-3) และป่าสนผสมก่อก (O-PF-1, O-PF-2, O-PF-3)	59
22	ตัวอย่างภาพถ่ายเรือนยอดของป่าสนผสมก่อก (บน) และป่าสนเสื่อมโทรม (ล่าง)	60
23	การกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้นของไม้รุ่นในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก ก่อนการเผาแปลงทดลอง	63
24	ความหลากหลายชนิด (Shannon-Wiener Index) ของไม้ยืนต้น (tree) ไม้หนุ่ม (sapling) และลูกไม้ (seedling) ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ก่อนการเผาแปลงทดลอง	64
25	Bray-Curtis cluster analysis สำหรับไม้ยืนต้น (tree) ในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อก บริเวณสวนสนภู่มะขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	66
26	Bray-Curtis cluster analysis สำหรับไม้หนุ่ม (sapling) ในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อก บริเวณสวนสนภู่มะขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	67
27	Bray-Curtis cluster analysis สำหรับลูกไม้ (seedling) ในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อก บริเวณสวนสนภู่มะขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว	67
28	อัตราการตายของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (dbh > 4.5 ซม.) ภายหลังการเผา 1 ปี	68
29	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (dbh > 4.5 ซม.) ภายหลังการเผา 1 ปี	70

30	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	72
31	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่โคนต้น (D_0) และเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (DBH) ของไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	72
32	การเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	73
33	การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	73
34	การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่เรือนยอด (a) และเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ (b) ของไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	74
35	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของลูกไม้ ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	75
36	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่โคนต้น (D_0) ของลูกไม้ ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	76
37	การเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของลูกไม้ ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	76
38	การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่เรือนยอด (a) และเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ (b) ของลูกไม้ ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	77
39	การกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่โคนต้น (D_0) ของไม้หนุ่มก่อนการเผา และ 1 ปี ภายหลังการเผา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF: a) และป่าสนผสมก้อ (O-PF: b)	78
40	การกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่โคนต้น (D_0) ของลูกไม้ก่อนการเผา และ 1 ปี ภายหลังการเผา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF: a) และป่าสนผสมก้อ (O-PF: b)	79
41	อัตราส่วนระหว่างจำนวนหน่อทั้งหมดต่อจำนวนต้นกล้าของลูกไม้ (Seedling ratio) ก่อนการเผาแปลงทดลอง และภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	80
42	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาร์บอนในพืชกลุ่มต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ตัวอักษร a, b ในวงเล็บแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของความเข้มข้นคาร์บอนในระหว่างกลุ่มพืชในป่าแต่ละประเภท	82

43	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินภายในระยะเวลา 12 เดือน ภายหลังการเผา	90
44	สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงเหนือพื้นดินกับระยะเวลาเพื่อใช้ในการประมาณระยะเวลาการสะสมของคาร์บอนในเชื้อเพลิงที่จะสะสมกลับสู่ในระดับก่อนการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	91
45	การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density) จากผลของการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	92
46	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ในแปลงต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.	93
47	ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ในแปลงต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.	94
48	การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ในแปลงต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.	95
49	ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ในแปลงต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.	96
50	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ก่อนการเผาและภายหลังการเผาในระยะเวลา 12 เดือน ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	97
51	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในดิน ก่อนการเผาภายหลังการเผาทันที และภายหลังการเผา 12 เดือน ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	98
52	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแคดไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Cations: K, Ca, Mg, Na) ในดิน ก่อนการเผาภายหลังการเผาทันที และภายหลังการเผา 12 เดือน ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	99
53	ร้อยละของธาตุอาหาร (total C, N, P, K, Ca, Mg) ในส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) เปรียบเทียบระหว่างก่อนการเผาและภายหลังการเผาผ่านไป 1 ปี	104
54	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหาร (N, P, K, Ca, Mg) ของเชื้อเพลิงเหนือพื้นดินในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)	107

55	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)	108
56	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมด (total N) และไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) ภายหลังการเผา	119
57	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่จากการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน	119
58	สามเหลี่ยมองค์ประกอบของการบูรณาการจัดการไฟป่าที่ประกอบด้วย การจัดการไฟป่า ลักษณะทางนิเวศวิทยาไฟป่าและลักษณะทางเศรษฐกิจสังคม วัฒนธรรมที่เกี่ยวข้องกับไฟป่า	123

คำนำ

ระบบนิเวศของสังคมพืชป่าสน (pine forest) เป็นสังคมพืชที่มีไม้สนเป็นองค์ประกอบ (pine-related forest ecosystem) ซึ่งจากสถิติของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืชรายงานว่า ป่าสนเขา สวนป่า ไม้สนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทยนั้นมีพื้นที่รวมกันทั้งสิ้นประมาณ 1.8% ของพื้นที่ป่าไม้ทั้งประเทศ แม้จะมีพื้นที่ไม่กว้างขวางมากนัก แต่ก็เป็ระบบนิเวศที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าสังคมพืชป่าไม้ประเภทอื่นๆ โดยที่สังคมพืชป่าสน นั้นส่วนมากจะอยู่บนภูเขาสูงที่เป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธาร ที่ช่วยให้ป่าบริเวณนั้นสามารถอำนวยประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อชุมชนโดยรอบและชุมชนที่อยู่ตอนล่าง นอกจากนี้ป่าประเภทดังกล่าวมีความโดดเด่นอยู่ในบริเวณที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สวยงามสามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวให้มาเยี่ยมชมเป็นจำนวนมากในแต่ละปี นอกจากนี้สวนป่าไม้สนชนิดต่างๆ ทั้งไม้สนพื้นเมืองได้แก่สนสองใบ (*Pinus merkusii*) สนสามใบ (*P. kesiya*) และไม้สนต่างถิ่น เช่นสนคาริเบีย (*P. caribea*) สนโอโอคาร์ปา (*P. oocarpa*) มีการปลูกเพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศป่าไม้บริเวณพื้นที่ต้นน้ำที่สูงชันเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตามสังคมพืชป่าสนเขา และสวนป่าไม้สนนั้นประสบปัญหาเรื่องไฟป่าที่เผาไหม้พื้นที่เป็นประจำทุกปี ซึ่งไฟที่เกิดขึ้นนั้นล้วนแต่มีสาเหตุมาจากการกระทำของมนุษย์ทั้งสิ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากบริเวณพื้นป่าของสังคมพืชเหล่านี้ประกอบด้วยเชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ง่ายโดยมีหญ้าและใบสนที่ร่วงหล่นเป็นเชื้อเพลิงหลัก ประกอบกับมีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับไฟของชาวบ้านที่เข้มข้นโดยรอบพื้นที่ป่า เช่นการเผาวัชพืชเศษเหลือทางการเกษตร จึงทำให้ป่าสน และสวนป่าไม้สนถูกไฟเผาไหม้อยู่เป็นประจำเกือบทุกปี จากลักษณะที่สังเกตพบในเบื้องต้นนั้นพบว่าสังคมพืชเหล่านี้มักจะมีแต่เฉพาะไม้สนขนาดใหญ่ที่เป็นไม้ชั้นเรือนยอดบนขึ้นกระจายอยู่อย่างห่างๆ โดยจะขาดไม้ชั้นเรือนยอดรองๆ ลงมา และโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะไม้ค่อยพบลูกไม้หรือไม้หนุ่มของไม้สนภายในชั้นเรือนยอดของโครงสร้างป่า อีกทั้งพื้นป่านั้นมักจะมีหญ้าชนิดต่างๆ ปกคลุมอย่างหนาแน่นอันเป็นผลมาจากไฟป่าที่เผาไหม้ทุกปี จากลักษณะดังกล่าวสามารถคาดการณ์ได้ว่า ขบวนการสืบพันธุ์และการทดแทนตามธรรมชาติของระบบนิเวศเหล่านี้กำลังอยู่ในสภาวะที่มีปัญหา เนื่องจากการขาดลูกไม้ กล้าไม้ที่จะขึ้นมาทดแทนไม้ใหญ่ที่ค่อยๆ ตายลงไป ซึ่งมีการสำรวจพบว่าไม้สนขนาดใหญ่หลายต้นนั้นถูกฟ้าผ่าตายเนื่องจากมีลำต้นที่สูงตระหง่านอยู่ในพื้นที่โล่งแจ้ง นอกจากนี้การเก็บชิ้นสนของชาวบ้านนั้นก็มีส่วนทำให้ไม้สนนั้นเสื่อมโทรมลงอย่างมากด้วยเช่นกัน ดังนั้นสังคมพืชเหล่านี้จึงประสบกับปัญหาความเสื่อมโทรมลงจากปัญหาไฟป่าที่เกิดขึ้นอยู่เป็นประจำทุกปีและการเก็บยางสนมาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานซึ่งอาจจะส่งผลให้ลักษณะโครงสร้าง ขบวนการทดแทนตามธรรมชาติ ตลอดทั้งมีผลกระทบการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป

โดยทั่วไปไม้สนนั้นสามารถทนทานต่อไฟได้ (อุทิศ, 2008) เนื่องจากมีลักษณะต่างๆ เช่น เปลือกที่ค่อนข้างหนา ตาได้รับการปกป้องจากกลุ่มใบที่กระจุกอยู่ที่ปลายยอด สามารถแตกหน่อออกมาได้ภายหลังจากไฟทำลายยอดเดิมๆ แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการทนไฟของไม้ชนิดใดๆ และของสังคมพืชนั้น

จะต้องอยู่ในระบบการเผา (burning regime) ที่เหมาะสม กล่าวคือต้องมีความถี่ของการเผา ความรุนแรงของไฟ และขนาดพื้นที่ที่ถูกเผาที่สอดคล้องกับขบวนการต่าง ๆ ภายในระบบนิเวศของสังคมพืชนั้นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความถี่ของการเกิดไฟนั้นจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่น่าจะมีผลต่อการคงอยู่ของไม้สนในระบบนิเวศที่มีไม้สนเป็นองค์ประกอบ จากการศึกษาพบว่า ไม้สนสามใบนั้นไม่มีระยะของลูกไม้ที่เรียกว่า “grass-like stage” ซึ่งเป็นสิ่งที่ยังคงต้องการอยู่รอดภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีไฟเป็นปัจจัยรบกวน ดังนั้นถ้าไม้สนสามใบจึงต้องการช่วงเวลาที่กำลังไฟจะสามารถพัฒนาตัวให้มีความสูงเกินความสูงของเปลวไฟ ซึ่งจะทำให้สามารถรอดพ้นอันตรายจากไฟได้

เนื่องจากในปัจจุบันจะพบว่าไม้สนนั้นขึ้นกระจายอยู่อย่างห่างๆ มาก จากการที่ไฟเผาทำลายลูกไม้กล้าไม้ ส่งผลให้หญ้าซึ่งเป็นพืชที่ชอบแสงมากนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ดี ประกอบกับการตายของไม้ใหญ่ยิ่งทำให้พื้นป่าโล่งมากยิ่งขึ้น หญ้าจึงเข้ายึดครองพื้นที่มากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งหากลักษณะดังกล่าวยังคงดำเนินต่อไปโดยไม่มีการจัดการที่เหมาะสม อาจจะทำให้สังคมพืชป่าสนนั้นเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เสื่อมโทรมลงกลายเป็นสังคมทุ่งหญ้า (savanna) ได้ในที่สุด นอกจากนี้สังคมย่อยป่าเต็งรังผสมสนและสังคมย่อยป่าสนผสมไม้ก่อเป็นป่าที่มีลักษณะเฉพาะของการขึ้นอยู่ร่วมกันตามปัจจัยสิ่งแวดล้อม ที่ยังไม่มีการศึกษาทางด้านของนิเวศวิทยาไฟป่าและอิทธิพลของไฟต่อการคงอยู่ของสังคมพืชย่อยเหล่านี้ในประเทศไทย และด้วยสาเหตุที่มีการขึ้นอยู่ของพันธุ์พืชในป่าเต็งรังและไม้สนผสมปะปนกันซึ่งต่างก็มีปริมาณของเชื้อเพลิงสูงมากในฤดูแล้ง ประกอบกับส่วนต่างๆ ของไม้สนมียางหรือน้ำมันที่ติดไฟได้ง่าย ร่วงหล่นทับถมอยู่เป็นชั้นหนาบนพื้นป่าและผุสลายช้ามาก จึงเป็นแหล่งเชื้อเพลิงอย่างดีในช่วงฤดูแล้งซึ่งจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อพฤติกรรมไฟที่เกิดขึ้นตลอดทั้งผลกระทบต่อนิเวศและธาตุอาหาร

ดังนั้นการศึกษาทำความเข้าใจในระบบการเผา โดยการศึกษาผ่านทางด้านนิเวศวิทยาของไฟในพื้นที่ พฤติกรรมของไฟที่เกิดขึ้น ตลอดจนทั้งอิทธิพลและผลกระทบของไฟต่อลักษณะโครงสร้างของป่า และผลกระทบต่อดินและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในสังคมพืชป่าสน และสวนป่าไม้สนจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในอันที่จะทำให้ทราบถึงลักษณะของระบบการเผาที่เหมาะสมที่อยู่ภายในช่วงของความผันแปรตามธรรมชาติ (natural variation) ของระบบนิเวศสำหรับสังคมพืชนี้ เพื่อปรับปรุงและรักษาสภาพป่าเหล่านี้ไว้ให้มีผลผลิตหรืออำนวยประโยชน์อย่างยั่งยืนทั้งทางด้านนิเวศวิทยา ด้านเศรษฐกิจ ด้านการท่องเที่ยว ด้านการศึกษาวิจัย และการรักษาไว้ซึ่งความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศ นอกจากนี้ความเข้าใจอย่างถ่องแท้ในเรื่องนิเวศวิทยาของไฟจะช่วยให้การดำเนินการควบคุมหรือจัดการไฟในพื้นที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยที่สามารถลดปัญหาหมอกควันและลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาป่าที่มากเกินไปจนเป็นภาระกับระบบนิเวศนั้นๆ ต้องการ แต่เป็นที่น่าเสียดายว่าข้อมูลทางด้านนิเวศวิทยาป่าไม้ นิเวศวิทยาของไฟ พฤติกรรมไฟ และผลกระทบของไฟต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ในสังคมพืชป่าสน ยังมีการศึกษาที่น้อยมาก จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการศึกษาในครั้งนี้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างของป่า การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติและคุณสมบัติของดินทางกายภาพและเคมี และปริมาณคาร์บอนที่สะสมในเชื้อเพลิง ในสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน บริเวณภู่ม่วงขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
2. เพื่อศึกษานิเวศวิทยาของไฟและพฤติกรรมของไฟในสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน บริเวณภู่ม่วงขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
3. เพื่อศึกษาผลกระทบของไฟต่อลักษณะโครงสร้างป่า การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติคุณสมบัติของดิน พลวัตการหมุนเวียนของธาตุอาหาร และการสูญเสียคาร์บอน รวมทั้งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภายหลังไฟไหม้ในระยะเวลา 1 ปี ในสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน บริเวณภู่ม่วงขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สังคมพืชป่าสน

สังคมพืชป่าสน (pine forest) เป็นสังคมพืชที่มีไม้สนเป็นองค์ประกอบ (pine-related forest ecosystem) ซึ่งประกอบด้วย 3 สังคมย่อย (association) ได้แก่ สังคมย่อยป่าสน (pine forest) สังคมย่อยป่าสนผสมไม้ก่อ (pine-oak forest) และสังคมย่อยป่าเต็งรังผสมสน (pine-dipterocarp forest) ซึ่งเป็นสังคมพืชที่ปกคลุมพบอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความสูงน้อยกว่า 1400 เมตร จากระดับน้ำทะเล ดินลึกพอสมควร ดินมีสภาพเป็นกรด มีช่วงความแห้งแล้งยาวนาน มีไฟป่าค่อนข้างบ่อย สังคมพืชป่าสนเขานั้นจำแนกโดยอาศัยพันธุ์ไม้หลักเพียงอย่างเดียว คือป่าที่มีไม้สนสองใบ (*Pinus merkusii*) และสนสามใบ (*P. kesiya*) เป็นไม้เด่น ส่วนป่าเต็งรังผสมสนและป่าสนผสมไม้ก่อเป็นสังคมที่มีไม้สนขึ้นอยู่เป็นไม้เรือนยอดเด่น เช่นกัน (อุทิศ, 2008)

การศึกษาทางด้านนิเวศวิทยาของไฟป่าในแต่ละระบบนิเวศนั้นเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะทราบถึงลักษณะโดยธรรมชาติของระบบนิเวศแต่ละแห่งที่มีไฟเป็นปัจจัยรบกวนว่ามีขนาดความรุนแรง ความถี่ และผลกระทบมากน้อยเพียงใด ดังนั้นการศึกษาทางด้านนิเวศวิทยาไฟป่าจึงมีการดำเนินการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่องยาวนาน โดยเฉพาะในระบบนิเวศแถบทวีปอเมริกาเหนือ ออสเตรเลีย และยุโรป ที่ซึ่งป่าหลายประเภทมีไฟเป็นปัจจัยรบกวนในระบบนิเวศที่ยังคงดำเนินต่อเนื่องมาจากอดีตสู่ปัจจุบัน (Agee, 1993; Pyne, 2001) อย่างไรก็ตามแม้ว่าไฟจะเป็นปัจจัยที่รบกวนระบบนิเวศป่าไม้ก็ตามแต่การปรากฏอยู่ของไฟนั้นหากอยู่ในช่วงของความผันแปรตามธรรมชาติ (natural variation of disturbance) แล้วระบบนิเวศนั้นๆ ก็ยังคงอยู่และให้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมอย่างเหมาะสม แต่หากเมื่อใดก็ตามที่ปัจจัยรบกวนดังกล่าวมีมากเกินไปเกินช่วงของความผันแปรตามธรรมชาติ ก็จะทำให้ระบบนิเวศขาดความสมดุล ไม่สามารถให้ประโยชน์ได้อย่างครบถ้วนและเสื่อมโทรมลงไปในที่สุด (Swanson *et al.*, 1994)

2. นิเวศวิทยาของไฟป่า

นิเวศวิทยาไฟป่านั้นเป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างไฟ และปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งศึกษาถึงลักษณะพฤติกรรมไฟ อิทธิพลของไฟที่เกิดขึ้นต่อพืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ดิน น้ำ การหมุนเวียนธาตุอาหาร โดยมีเป้าหมายหลักในการนำความรู้ไปใช้ในการดำเนินการจัดการไฟป่าในพื้นที่เพื่อให้ตอบสนองต่อเป้าหมายการจัดการไฟป่าในพื้นที่นั้นๆ (สันต์, 2530) ดังนั้นการศึกษาด้านนิเวศวิทยาของไฟนั้นมีขอบเขตการศึกษาที่กว้างขวางมาก และสามารถศึกษาในเชิงลึกได้อย่างหลากหลายแนวทาง เนื่องจากเป็นการศึกษาถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ และผลกระทบที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามก็ตามสิ่งสำคัญอันดับแรกของการศึกษาด้านนิเวศวิทยาไฟป่านั้นคือการเข้าใจถึงลักษณะพฤติกรรมไฟที่เกิดขึ้นผลกระทบในเบื้องต้นต่อพืชพรรณ ดินและการหมุนเวียนของธาตุอาหาร

การศึกษาด้านนิเวศวิทยาของไฟในป่าที่มีไม้สนเป็นองค์ประกอบนั้นมีการศึกษาอย่างมากในทวีปอเมริกาเหนือ ในประเทศสหรัฐอเมริกา คานาดา และประเทศในทวีปยุโรป โดยเฉพาะประเทศสเปน โปรตุเกส สวีเดนและเดนมาร์ก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการศึกษานิเวศวิทยาไฟป่าในป่าสนสำหรับ

ประเทศไทยยังมีความขาดแคลนข้อมูลการวิจัยอย่างมาก ซึ่งพบว่ามีการศึกษาอยู่เพียงบางด้านเท่านั้น (คณิงนิจ, 2539; อาภรณ์, 2539) จึงยังไม่สามารถที่จะสรุปถึงลักษณะของนิเวศวิทยาของไฟและระบบการเผา (fire regime) ของป่าสนในประเทศไทยได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงต้องอาศัยข้อมูลจากการศึกษาเทียบเคียงของระบบนิเวศในป่าสนของประเทศอเมริกา สเปนและโปรตุเกสมาใช้ โดยที่ระบบการเผาที่เกิดขึ้นในสังคมพืชป่าสนนั้นสามารถจำแนกได้เป็น understory fire regime, mixed fire regime, stand replacement fire regime (Arno and Fiedler, 2005) ซึ่งจะพบว่า understory fire regime ของสังคมพืชป่าสนในประเทศต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น มีความใกล้เคียงกับสังคมพืชที่มีไม้สนเป็นองค์ประกอบสำหรับประเทศไทย โดยที่ระบบการเผาแบบดังกล่าวนั้นไฟจะมีความรุนแรงไม่สูงมาก มีความถี่ของการเกิดไฟที่สูงอยู่ระหว่าง 1-30 ปี จากการศึกษาส่วนมากพบว่าต้นไม้มีการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติเป็นหย่อมๆ ที่มีชั้นอายุเดียว (Arno *et al.*, 1995; Bonnicksen, 2000) ซึ่งกลุ่มของลูกไม้เหล่านี้จะมีการพัฒนาต่อทดแทนต้นไม้ใหญ่ที่ค่อยๆ ตายลงไปจากการทำลายของลม แผลง ไฟผ่าหรือจากไฟ ซึ่งต่อมาไฟก็จะเผาทำลายเศษซากเหล่านี้ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญของกลุ่มลูกไม้กล้าไม้ที่เกิดขึ้นมาทดแทน หลังจากนั้นไฟที่เกิดขึ้นต่อมาซึ่งมีความรุนแรงไม่มากนักก็จะทำลายลูกไม้กล้าไม้ออกไปบางส่วนแต่ยังคงมีกล้าไม้บางส่วนที่สามารถทนทานและเจริญเติบโตพัฒนาการต่อไปเป็นไม้ใหญ่ได้ในที่สุด (Arno and Fiedler, 2005) การที่มีไฟเกิดขึ้นถี่นั้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับป่าสนเช่น ponderosa pine ในการที่จะรักษาสภาพป่าที่โปร่งซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาให้ต้นไม้มีขนาดใหญ่และมีอายุยืนยาวนาน อย่างไรก็ตามการความถี่และความรุนแรงของการเผานั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งในการรักษาสภาพป่าให้คงอยู่ในช่วงศตวรรษที่ 20 นั้น ป่าสนชนิดต่างๆ ในทวีปอเมริกาเหนือได้รับการป้องกันไฟป่าเป็นอย่างดีแม้แต่ในบางระบบนิเวศที่ไฟเป็นปัจจัยในการดำรงอยู่ เช่นป่าสน ponderosa pine ส่งผลให้พื้นที่ป่าแน่นทึบขึ้น มีการเจริญเติบโตของลูกไม้กล้าไม้ได้พื้นที่ป่าอย่างมาส่งผลให้การเจริญเติบโตของหมู่ไม้ลดลงเนื่องจากการแก่งแย่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ ส่งผลให้ป่ามีความเสี่ยงต่อการถูกทำลายของโรคแมลงและการเกิดไฟที่มีความรุนแรงที่อาจเป็น stand replacement fire ได้ (Pyne, 2001) ซึ่งสามารถทำลายหรือสร้างความเสียหายอย่างมากต่อระบบนิเวศได้ เช่นเดียวกับที่ Williams (1998) ได้รายงานว่าหมู่ไม้ table mountain pine นั้นตกอยู่ในสภาพของการถดถอยเสื่อมโทรม (decline stage) อันมีสาเหตุมาจากการป้องกันไฟที่มากเกินไปและการขาดความเข้าใจในด้านนิเวศวิทยาของไม้ชนิดนี้ อย่างไรก็ตามการที่ไฟเกิดถี่เกินไปก็อาจจะเป็นสาเหตุให้ป่านั้นเกิดการเสื่อมโทรมลงได้เช่นกัน โดยที่ไฟนั้นจะไฟรบกวนขบวนการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติ เปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของป่าในระยะยาวได้ (Goldammer, 2002) จากความเข้าใจในเรื่องนิเวศวิทยาของไฟในป่าสนประเภทต่างๆ ที่มีไฟเป็นปัจจัยรบกวนที่มีการศึกษามาเป็นเวลาหลายทศวรรษทำให้ปัจจุบันมีการศึกษาการจัดการไฟโดยมีการนำไฟไปใช้ในการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าสนหรือรักษาสภาพป่าให้คงอยู่ในหลายพื้นที่ (White, 1986; Waldrop *et al.*, 1987; Fulé and Covington, 1994; Biswell, 1999; Arno and Allison-Bunnell, 2002; Bailey and Covington, 2002; Arocena and Opio, 2003; Fulé *et al.*, 2004; Arno and Fiedler, 2005)

สำหรับพฤติกรรมของไฟ ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาตลอดทั้งช่วงระยะเวลาที่ความร้อนปรากฏอยู่ในพื้นที่ (resident time of heating) นั้นก็เป็นสิ่งที่จำเป็นในการศึกษาทางด้านนิเวศวิทยาของไฟเช่นกัน เนื่องจากสิ่งเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถของการอยู่รอดของต้นไม้ และความรุนแรงของไฟที่เกิดขึ้นก็ยังส่งผลต่อรูปแบบของการหมุนเวียนของธาตุอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป (DeBano *et al.*, 1998; Neary *et al.*, 1999) พฤติกรรมไฟนั้นผันแปรไปตามสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศและลักษณะของเชื้อเพลิงในแต่ละท้องถิ่น (Chandler *et al.*, 1983; Pyne *et al.*, 1996) ดังนั้นจึงไม่เป็นการสมควรที่จะนำผลการศึกษาจากพื้นที่หนึ่งมาประยุกต์ใช้ในอีกพื้นที่หนึ่ง แม้ว่าจะเป็นระบบนิเวศเดียวกันก็ตาม (Goldammer, 1993) แม้ว่าไฟป่าในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นไฟประเภทไฟผิวดิน (surface fire) แต่ความรุนแรงของไฟนั้นแตกต่างกันไปตามระบบนิเวศและพื้นที่ เช่นไฟป่าในป่าเต็งรังมีความรุนแรงของไฟ (fire intensity) ระหว่าง ตั้งแต่ 51-1000 kW/m เป็นต้น (Akaakara *et al.*, 2003; Visithipanit and Viriya, 2005; Wanthongchai, 2008; คณิงนิจ, 2539)

3. ผลกระทบของไฟป่าต่อระบบนิเวศที่มีไม้สนเป็นองค์ประกอบ

3.1 ผลกระทบต่อพืชพรรณ

โดยทั่วไปการที่ไม้จะสามารถทนทานหรือพัฒนาให้สามารถดำรงอยู่ได้ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีไฟนั้น พืชต้องมีการปรับตัวในเรื่องของสรีรวิทยาเช่น มีเปลือกหนา สามารถแตกหน่อได้ดี มีตาที่ได้รับ การปกป้องจากความร้อน มีลักษณะของเมล็ดและการแพร่กระจายของเมล็ดที่สอดคล้องกับไฟหรือ ช่วงเวลาการเกิดไฟ (Whelan, 1995) โดยเฉพาะความหนาของเปลือกนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะช่วยป้องกันความเสียหายของลำต้นจากไฟ ซึ่งความชื้นในเปลือกหรือความหนาแน่นของเปลือกนั้นมีความสำคัญน้อยกว่าความหนาของเปลือกอย่างมาก (Agee, 1993) ซึ่งหากเนื้อเยื่อพืชได้รับความร้อน 60 °C ต่อเนื่องเป็นเวลานาน 1 นาที จะทำให้เนื้อเยื่อนั้นได้รับความเสียหาย (Hare, 1961) โดยที่ความหนาของเปลือกอย่างน้อย 1-1.3 ซม. นั้นจะช่วยป้องกันความเสียหายจากไฟได้ (Wright and Bailey, 1982) นอกจากนี้ยังอาจจะสามารถจำแนกพันธุ์ไม้ตามลักษณะของไม้ชนิดนั้นได้เป็น ชนิดพันธุ์ที่ไม่มีการปรับตัวต่อไฟ (avoiders) ชนิดพันธุ์ที่อาจจะถูกทำลายได้จากไฟแต่สามารถแตกหน่อหรือยอด ออกมาได้ภายหลัง (endurers) ชนิดที่แม้จะถูกทำลายโดยไฟแต่ก็มีเมล็ดอยู่ในพื้นที่ในดินที่สามารถจะ งอกขึ้นมาใหม่ได้ (evaders) ชนิดพันธุ์ไม้เบิกนำที่มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมาก (Invaders) และชนิดพันธุ์ที่สามารถทนทานอยู่ในสภาพที่มีไฟได้เช่นมีเปลือกหนา (Resisters) (Edmonds *et al.*, 2000) แต่ แม้ว่าไม้ชนิดนั้นๆ จะสามารถทนทานต่อไฟได้ก็ตาม กล้าไม้ของไม้ชนิดนั้นๆ ก็ยังคงต้องการช่วง ระยะเวลาที่ไม่มีไฟในการที่จะสามารถเจริญเติบโตรอดพ้นจากอันตรายของไฟ ซึ่งหลักการนี้เป็นสิ่งที่ นำไปสู่การใช้เทคนิคการเผาตามกำหนด (prescribed burning) ในการควบคุมความรุนแรงและกำหนด ความถี่ของการเผาเพื่อส่งเสริมขบวนการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติ

ไฟนั้นมีผลกระทบต่อพืชพรรณทั้งในระดับต้น (individual scale) และระดับหมู่ไม้ (community scale) และทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งโดยทั่วไปพืชพรรณที่ระดับล่างมักจะได้รับผลกระทบมากและ ความเสียหายจะค่อยๆ ลดลงตามระดับความสูงของชั้นเรือนยอดที่เพิ่มมากขึ้น เช่น ไฟทำให้ลูกไม้ในป่า

เต็งรังนั้นจะมีอัตราการตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ไม้หนุ่มมีอัตราการตายเพียง 58 เปอร์เซ็นต์ (สุรเด่น, 2532) สันต์ และคณะ (2534) กล่าวว่าป่าสนเขามีไฟเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี ซึ่งทำให้สภาพป่ามีแต่ต้นไม้ขนาดใหญ่ ต้นไม้ชั้นสองไม่มี พื้นป่ามีลูกไม้สนและพืชล้มลุกต่าง ๆ ซึ่งจะถูกไฟเผาไหม้ตายไปทุก ๆ ปี ซึ่งไฟนั้นไม่ค่อยมีผลกระทบต่อนไม้ใหญ่มากนัก เพราะการตายของไม้สนนั้นจะสัมพันธ์กับรอยไหม้เกรียมของเรือนยอดหรือโคนต้นถูกไฟเผาอย่างรุนแรง กล่าวคือถ้าเรือนยอดไหม้เกรียมเกิน 90 เปอร์เซ็นต์ ต้นไม้จะตายภายในเวลา 2 ปี แต่ถ้าเรือนยอดไหม้เกรียมน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โอกาสที่ต้นไม้จะรอดก็มีมาก อีกทั้งยางสนช่วยป้องกันการเข้าทำลายของโรคและแมลง และเปลือกที่หนาช่วยป้องกันไฟได้ดี แต่การเกิดไฟทุกปีทำให้พื้นดินปราศจากสิ่งปกคลุม น้ำจะระเหยออกจากดินทำให้พื้นที่แห้งแล้ง ต้นไม้ใหญ่เจริญเติบโตช้าลง ส่วนไม้วัยรุ่นที่ถูกไฟทุกปีจะมีการเจริญเติบโตทั้งทางความโตและความสูงลดลง 25 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่และเรือนยอดที่สูงนั้นมักจะได้รับอันตรายน้อยกว่าจากอาการยอดไหม้เกรียม เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ขนาดเล็ก ต้นไม้ที่มีตาขนาดใหญ่หรือมีตาที่ถูกเผาภายหลังจากการทำให้ตามีความแข็งแรง จะมีความเสียหายจากไฟที่น้อย เช่นกัน สัตว์ส่วนของเรือนยอดที่ไหม้เกรียมนั้นก็สามารถใช้เป็นตัวยุทธการตายของต้นไม้ได้โดยเฉพาะไม้สน (Peterson and Ryan, 1986) คณิงิจ (2539) พบว่า ภายหลังเกิดไฟไหม้ไม้วัยรุ่นจะมีความหนาแน่นลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ลูกไม้นั้นตายหมด อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวนั้นเป็นการศึกษาในแปลงที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก กล่าวคือมีการทดลองเผาแปลงขนาดเพียง 5×10 เมตร เท่านั้น ซึ่งการเผาในแปลงขนาดเล็กนี้อาจจะยังไม่เห็นผลกระทบที่ชัดเจนเนื่องจากความร้อนที่สะสมหรือการเผาไหม้สะสมยังมีน้อยอาจจะทำให้พฤติกรรมของไฟ ความรุนแรงของไฟ ตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะน้อยกว่าการเผาแปลงขนาดใหญ่ ซึ่งจะส่งผลกระทบที่รุนแรงกว่าและส่งผลกระทบที่เป็นบริเวณกว้างกว่า

3.2 ผลกระทบต่อการหมุนเวียนธาตุอาหาร

ภายใต้สภาวะที่ระบบนิเวศมีความสมดุล อินทรีย์วัตถุในดินจะค่อย ๆ ถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางกายภาพ (physical process) และชีวภาพ (biological process) และปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชลงสู่ดิน ซึ่งพืชจะสามารถดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้และมีส่วนที่เหลือเกินกว่าที่พืชจะนำไปใช้ได้บางส่วน ในขณะเดียวกันพืชก็ปลดปล่อยธาตุอาหารกลับคืนสู่ดินจากการร่วงหล่นและตายของส่วนต่างๆ ของพืช ซึ่งเป็นกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารของพืชในระบบนิเวศ (Jordan, 1985) อย่างไรก็ตามไฟเป็นกระบวนการทางกายภาพที่กระตุ้นการปลดปล่อยธาตุอาหารจากอินทรีย์วัตถุลงสู่ดินอย่างรวดเร็ว ธาตุอาหารหลายชนิด เช่นไนโตรเจนในรูปของ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available P) ตลอดจนธาตุอาหารอื่นๆ จะเพิ่มขึ้นอย่างมากในดินชั้นบนภายหลังการเผาไฟ (Raison *et al.*, 1985; Kauffman *et al.*, 1993; Khanna *et al.*, 1994; Khanna and Raison, 2006) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ไฟไปเร่งกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและเกิดการชะล้างของธาตุอาหารจากชั้นล่างสู่ดิน อย่างไรก็ตามธาตุอาหารเหล่านี้แม้จะมีปริมาณเพิ่มสูงมากภายหลังการเผาแต่ธาตุอาหารส่วนใหญ่จะลดลงสู่ระดับปกติหรือต่ำกว่าเดิมภายในระยะเวลาอันสั้น หากพืชไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด ธาตุอาหารส่วนที่เหลือก็就会被ชะล้างลงสู่ชั้นใต้ดินและสูญหายออกไปจากระบบ (DeBano *et al.*, 1998)

ไฟนั้นมีผลกระทบต่อดินที่หลากหลาย ซึ่งความหนักเบาของผลกระทบนั้นส่วนมากขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการเผา ขบวนการเผาและการถ่ายเทความร้อนลงสู่ดิน ระดับความลึกที่ความร้อนลงไปถึง คุณสมบัติของดิน และความแตกต่างของระดับอุณหภูมิระหว่างดินที่เปลี่ยนแปลงไป (DeBano and Neary, 2005) โดยทั่วไปแล้ว ไฟจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินจาก 1) ขบวนการถ่ายเทความร้อนลงสู่ดิน 2) ขี้เถ้าที่อยู่ในพื้นที่ภายหลังการเผาและ 3) อิทธิพลของความร้อนและขี้เถ้าร่วมกัน (Khanna and Raison, 2006) โดยมีงานวิจัยอยู่มากมายที่ศึกษาผลกระทบของไฟต่อคุณสมบัติของดิน (Certini, 2005; DeBano and Neary, 2005) ซึ่งโดยที่สามารถสรุปได้ว่าผลกระทบนั้นมีความหลากหลายและแตกต่างกันไปตามปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ระยะเวลาของการศึกษา ตลอดจนทั้งวิธีการในการศึกษาและกระบวนการในการวิเคราะห์ ซึ่ง Certini (2005) กล่าวว่าผลกระทบที่เห็นชัดจากไฟคือการสูญเสียอินทรีย์วัตถุ ในขณะที่ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นและการเพิ่มขึ้นของขบวนการ mineralization จากไฟนั้นทำให้ธาตุอาหารหลายชนิดอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที (Bauhus *et al.*, 1993) แต่ธาตุอาหารส่วนมากจะถูกชะล้างลงสู่ดินชั้นล่างโดยที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (Fisher and Binkley, 2000) เป็นที่แน่ชัดว่าไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) นั้นมีแนวโน้มที่ลดลงจากผลของไฟเนื่องจากธาตุชนิดนี้มีจุดเดือดต่ำ จึงระเหยออกไปจากพื้นที่ได้มาก เช่น Wanthongchai *et al.* (2008) พบว่าไนโตรเจนนั้นสูญหายไประหว่าง 63-88 เปอร์เซ็นต์ จากการเผาป่าเต็งรัง ทั้งนี้การสูญเสียธาตุอาหารดังกล่าวมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผา (Raison *et al.*, 1985; Kauffman *et al.*, 1993; Khanna *et al.*, 1994; Wanthongchai *et al.*, 2008)

ในระหว่างขบวนการเผา ธาตุอาหารที่อยู่ในดินและพืชจะสูญหายไปจากพื้นที่โดย 1) การระเหย (volatilization) เช่น ธาตุไนโตรเจน 2) ขี้เถ้าที่ถูกพัดพาไประหว่างเผาและหลังเผาโดยลม เช่น ฟอสฟอรัส และ ธาตุอาหารอื่นๆ 3) กษัยการดิน (soil erosion) โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าดิน เนื่องจากการเปิดโล่งของพื้นที่ภายหลังการเผา และ 4) ชะล้าง (leaching) ลงสู่ชั้นใต้ดิน (Raison *et al.*, 1985; Kauffman *et al.*, 1993; Giardina *et al.*, 2000) ธาตุอาหารในปริมาณมากที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการขบวนการเผานั้นจะอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่อย่างไรก็ตามพืชนั้นสามารถดูดธาตุอาหารได้ในปริมาณที่จำกัด ดังนั้นธาตุอาหารจำนวนมากจะเหลือจากการดูดนำไปใช้ของพืช ซึ่งส่วนที่เหลือนี้จะถูกชะล้างลงสู่ชั้นใต้ดินและสูญหายไปจากระบบอย่างถาวร นอกจากนี้ธาตุอาหารที่สำคัญบางชนิด เช่น ฟอสฟอรัส แคลเซียม โพแทสเซียม นั้นมีปริมาณความเข้มข้นที่สูงมากในขี้เถ้าและเถาเถาน โดยเฉพาะในขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (ขี้เถ้าสีเทาขาว) (Khanna *et al.*, 1994) ซึ่งขี้เถ้าเหล่านี้มีน้ำหนักที่เบามากและมีความเสี่ยงอย่างยิ่งต่อการที่จะถูกพัดพาออกไปจากพื้นที่โดยลมหรือน้ำไหลบ่าหน้าดิน ส่งผลให้ธาตุอาหารสูญหายไปจากพื้นที่ (Raison *et al.*, 1985; Khanna *et al.*, 1994) จากกลไกการสูญเสียของธาตุอาหารของระบบนิเวศจากการเผานั้น การสูญเสียธาตุอาหารสู่บรรยากาศ (atmospheric loss) คิดเป็นสัดส่วนที่สูงที่สุด ในขณะที่การสูญเสียธาตุอาหารจากกษัยการดิน ลม หรือน้ำ อาจเคลื่อนย้ายไปสะสมอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงได้และธาตุอาหารบางส่วนอาจคงเหลืออยู่ในพื้นที่จากส่วนที่ไม่ได้ถูกเผา ทั้งนี้ปัจจัยสำคัญที่จะบ่งบอกถึงความหนัก-เบา (magnitude) ของการสูญหายของธาตุอาหารจากการเผาได้แก่ ความรุนแรงของการเผา (burning intensity) ความหนักเบาของ

การเผา (burning severity) ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผา (fuel consumption) องค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ถูกเผา (vegetation structure and composition) ตลอดทั้งความถี่ในการเผา (burning frequency) (Raison, 1979; Macadam, 1989; Kauffman *et al.*, 1994; Neary *et al.*, 1999) ดังนั้นปัจจัยต่างๆ ข้างต้น ซึ่งอาจจะกล่าวโดยรวมว่าคือลักษณะพฤติกรรมของไฟและนิเวศวิทยาไฟระหว่างการเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำการประเมินเพื่อใช้อธิบายถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการไฟ

การศึกษาทางด้านพลวัตรของธาตุอาหารจากไฟป่าในระบบนิเวศป่าสนในเขตอบอุ่นนั้นมีการดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องและยาวนานในต่างประเทศ ซึ่ง Carter *et al.* (2004) Certini (2005) และ Neary *et al.* (1999) ได้มีการสรุปรวบรวมเอาไว้ สำหรับประเทศไทยนั้นมีเพียง Wanthongchai *et al.* (2008) และ Toda *et al.* (2007) ที่ได้ศึกษาผลของการเผาป่าเต็งรังต่อพลวัตรของธาตุอาหาร ซึ่งพบว่าการเผาที่มีความถี่ของการเผาที่เหมาะสมนั้นได้ช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารจากการเผาได้ ในขณะที่การเผาที่ถี่เกินไปนั้นส่งผลให้สภาพพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ลดลง (Wanthongchai *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวถึงผลกระทบของไฟต่อพลวัตรของธาตุอาหารในระบบนิเวศที่มีไม้สนเป็นองค์ประกอบหรือในป่าประเภทอื่นๆ ในประเทศไทยนั้น ยังไม่เคยมีการดำเนินการศึกษามาก่อน

สถานที่ศึกษา

1. สถานที่ตั้งและลักษณะทั่วไป

อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว (Figure 1) 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 อุทยานแห่งชาติตาดหมอก
ทิศตะวันออก	จดอุทยานแห่งชาติภูกระดึง และอุทยานแห่งชาติภูผาม่าน
ทิศตะวันตก	จดเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูผาแดง (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2553)

สำหรับการศึกษาคครั้งนี้ เลือกทำการศึกษาบริเวณสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและสังคมย่อยป่าสนผสมก่อบริเวณที่เรียกว่าสวนสนภู่มั่วขาว ดังปรากฏใน (Figure 2)

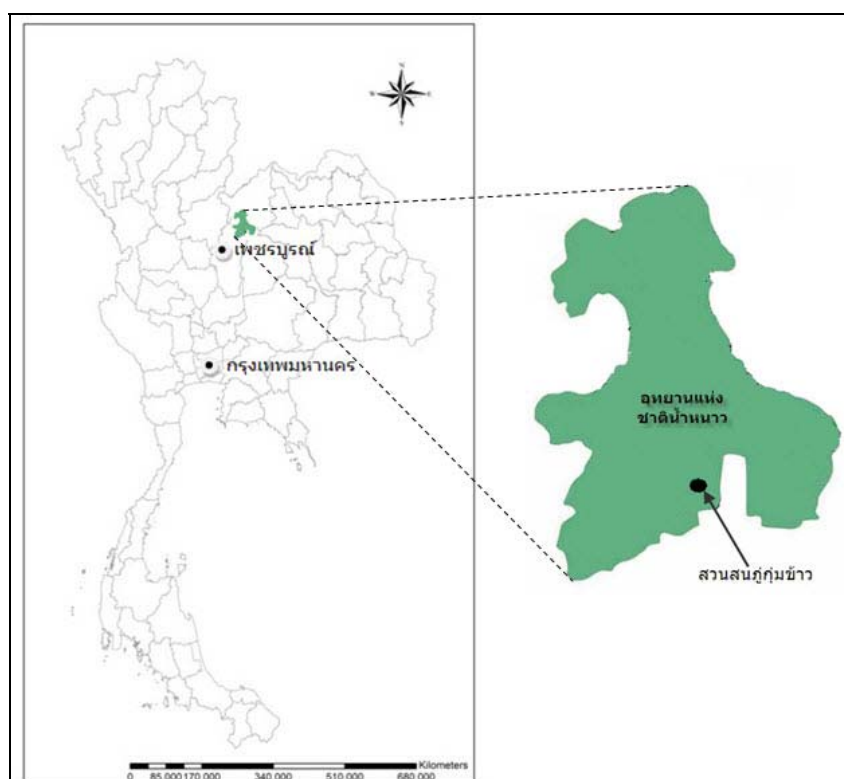
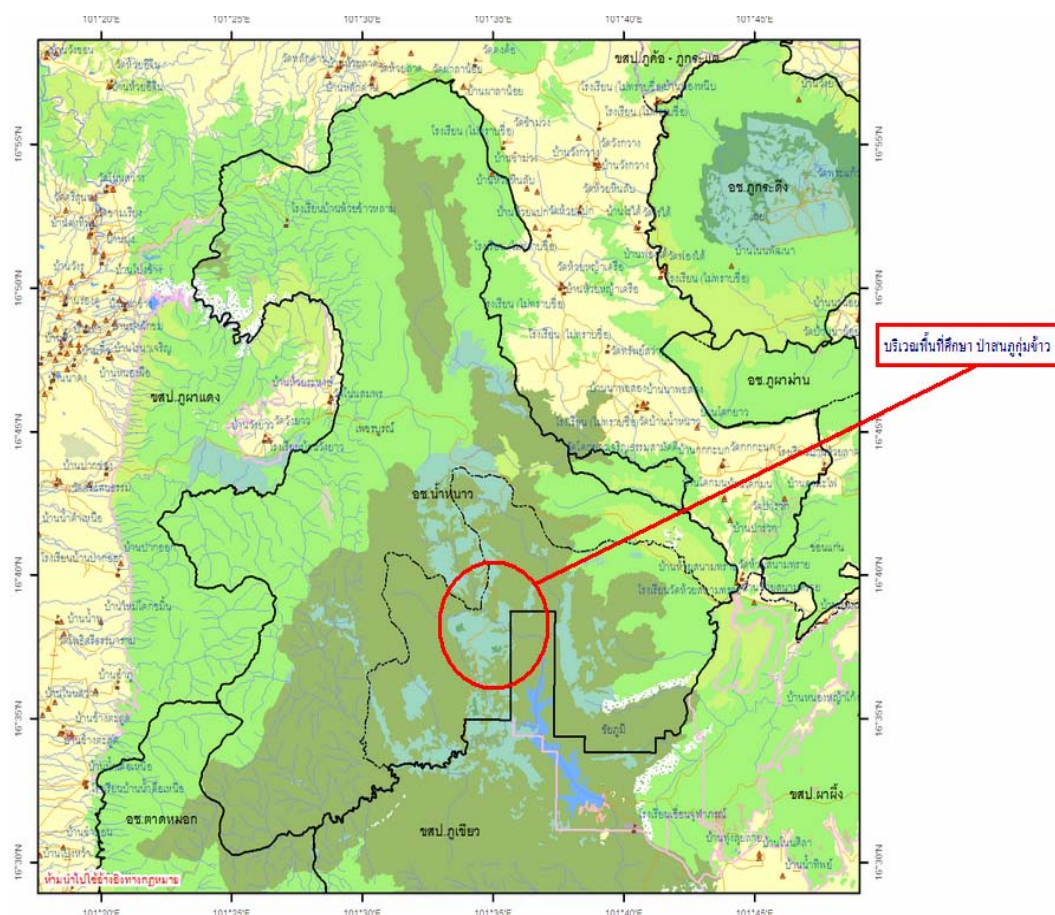


Figure 1 ตำแหน่งที่ตั้งของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว



ที่มา: กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช (2553)

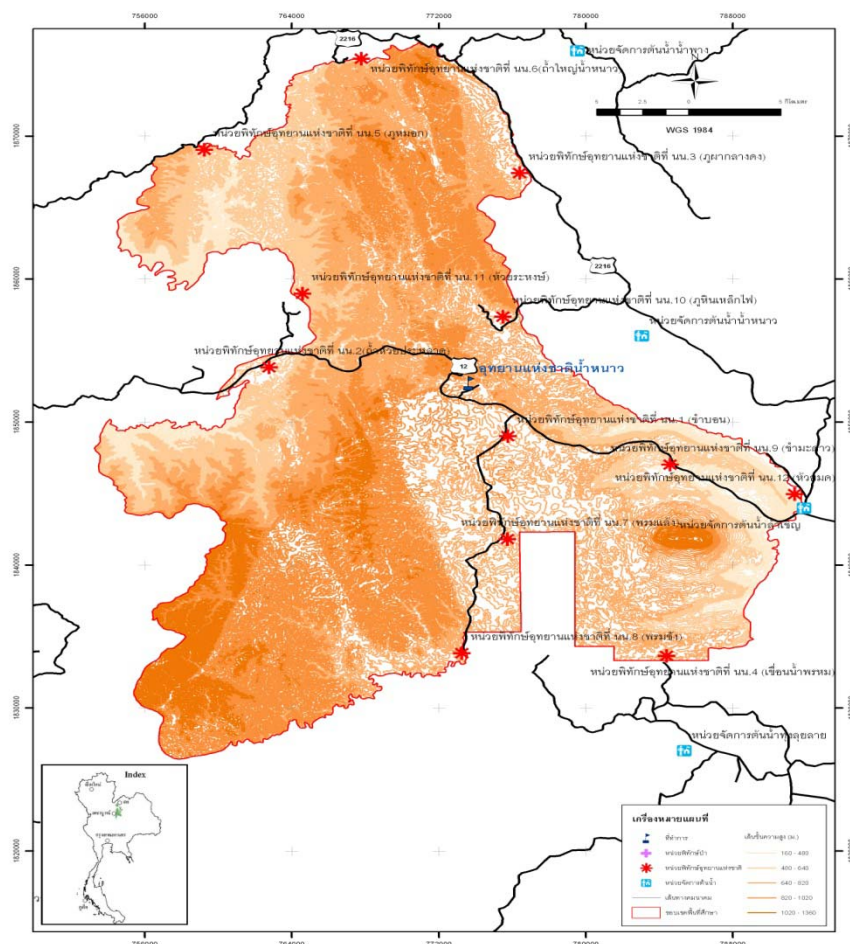
Figure 2 ขอบเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดชัยภูมิ และบริเวณพื้นที่ศึกษาบริเวณภูมู่ข้าว

2. ลักษณะภูมิประเทศ

เนื่องจากภูเขาในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภูเขาที่เกิดจากการยกตัวในอดีต ทำให้มีลักษณะเป็นภูเขายอดราบ หรือมีที่ราบอยู่บนยอดเขา แต่บริเวณเชิงเขาจะเป็นหน้าผาชัน อันเนื่องมาจากการกัดเซาะ เพราะบริเวณขอบนั้น เป็นหินทรายที่ยังจับตัวกันไม่แน่น ทำให้ง่ายต่อการกัดเซาะ ก่อให้เกิดเป็นหน้าผาชัน ซึ่งมีลักษณะเป็นโต๊ะ หรือ Meza มีความความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 800 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง จุดสูงสุดในบริเวณอุทยานแห่งชาติอยู่ที่ภูด่านอีป้อง ซึ่งสูงประมาณ 1,271 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (**Figure 3**)

จากที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงชันสลับซับซ้อน และเป็นเทือกเขาที่ต่อเนื่อง ได้มีพันธุ์ไม้ธรรมชาติหลากหลาย โดยเฉพาะสนเขาที่ปกคลุมอย่างหนาแน่น จึงทำให้เป็นแหล่งต้นน้ำของแม่น้ำชี ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกของอุทยานแห่งชาติ โดยผ่านลำน้ำที่อยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติได้แก่ ลำน้ำพรม ลำน้ำเชิญ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งต้นน้ำของแม่น้ำป่าสักซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของอุทยานแห่งชาติ โดยผ่านห้วยน้ำดุก และห้วยขอนแก่น

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

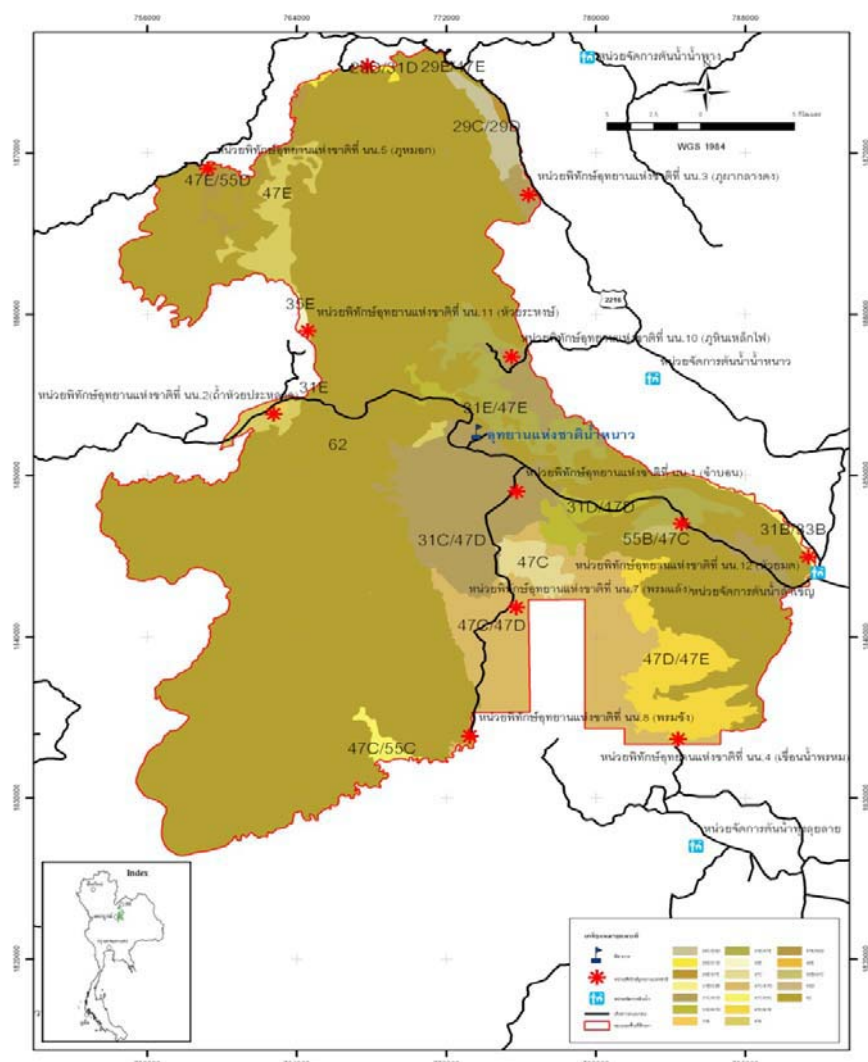


ที่มา: ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2553)

Figure 3 ระดับความสูงของพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

3. ลักษณะทางปฐพีวิทยา

พื้นที่ทั้งหมดของอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จัดอยู่ในประเภทหน่วยดินที่ลาดเชิงชัน (slop complex, sc) ลักษณะของหน่วยดินนี้เกิดจากการสลายตัวของหินหลายชนิด จึงทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกันไปทั้งเนื้อดิน สีดิน และปฏิกิริยาของดินตามแต่วัตถุดิบกำเนิด เช่น ดินที่เกิดจากหินทราย จะมีเนื้อดินเป็นดินเนื้อหยาบ ปฏิกิริยาเป็นกรด ดินที่เกิดจากหินดินดานหรือหินปูนจะมีเนื้อดินละเอียด ปฏิกิริยาของดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง หินต้นกำเนิดดินในบริเวณนี้ส่วนใหญ่เป็นหินทราย หินดินดาน หินปูน หินทรายแป้งและหินกรวดมนปนอยู่บ้าง ลักษณะของดินส่วนใหญ่เป็นดินต้น มีหินโผล่อยู่ทั่วไป ส่วนที่เป็นดินลึก มีทั้งที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายและดินเหนียว และปฏิกิริยาของดินมีทั้งที่เป็นกรดและเป็นด่างเกิดอยู่ปะปนกัน ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ จึงได้รวมเป็นหน่วยเดียวกัน (Figure 4) (กรมป่าไม้, 2534)



ที่มา: ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2553)

Figure 4 ชุดดินบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

4. ลักษณะทางธรณีวิทยา

สภาพทางธรณีวิทยา (geological features) ในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว (Figure 5) มีธรณีสัณฐานเป็นเทือกเขาสูงชันที่มีที่ราบเล็กน้อย หินที่พบในพื้นที่นี้แบ่งออกเป็น 2 ชุดใหญ่ คือ หินชุดราชบุรี (Ratchaburi group) มีอายุในราวยุคเพอร์เมียน (permian period) ในมหายุคพาลีโอโซอิก (paleozoic era) ตอนปลาย คือประมาณ 280 ล้านปีมาแล้ว หินชุดนี้ที่พบในบริเวณนี้เป็นหินปูน (limestone) มีสีเทาถึงเทาดำ เรียงตัวเป็นชั้นหนาๆ มีรอยแตกมาก เป็นลักษณะหินที่อำนวยการให้เกิดถ้ำได้ดี พบถ้ำขนาดใหญ่ในบริเวณอุทยานแห่งชาติหลายแห่ง ในบางชั้นหินเชิร์ต (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) สีขาวปนน้ำตาลเหลือง เม็ดตะกอนขนาดปานกลาง ถึงขนาดหยาบ มีกรวดปน มีความคงทนต่อการกร่อนได้ดี หน่วยหินถัดมา คือ หน่วยหินเสาขัว (Sao Khua formation) ลักษณะหน่วยหินนี้เป็นหินทราย (sand stone) สีแดงอ่อน เม็ดตะกอนขนาดเล็ก บางบริเวณเป็นหินทรายแป้ง (silt stone) มีกรวดปนบ้าง ในบริเวณที่เป็นหินทรายแป้ง ปรากฏว่ารูปทรงของภูเขาจะเอียงลาด บริเวณใดเป็นหินทราย ภูเขาจะมีลักษณะเป็นผาชัน ถัดต่ำลงมาเป็นหน่วยหินพระวิหาร (Phra Wiharn formation) หินหน่วยนี้เป็นหินที่คงทนต่อการกร่อนสูงมาก เป็นหินทรายสีขาวถึงสีชมพู ขนาดตะกอนปานกลางถึงหยาบ ถัดต่อมาเป็นหน่วยหินภูกระดึง (Phu Kra Dung formation) ลักษณะหินส่วนใหญ่เป็นหินดินดาน (shale) สีน้ำตาลแดงและสีน้ำตาลเทา มีแร่ไมก้า (mica) ปะปน และหินทรายแป้งสีน้ำตาลแดง และสีน้ำตาลเทา มีแร่ไมก้าปนอยู่เช่นกัน ลำดับถัดลงมาเป็นหน่วยหินน้ำพอง (Nam Phong formation) ลักษณะเป็นหินทรายสีแดงถึงสีน้ำตาล พบหินกรวดมน (conglomerate) บ้างเล็กน้อย หน่วยหินที่อยู่ชั้นล่างสุดของชุดหินโคราชคือ หน่วยหินห้วยลาด (Huai Hin Lat formation) ลักษณะของหน่วยหินนี้เป็นหินกรวดมนและมีหินทรายปนบ้างเล็กน้อย การกระจายตัวของหินชุดโคราชนี้ส่วนใหญ่พบในบริเวณทิศตะวันออก - ทิศตะวันตกของพื้นที่อุทยานแห่งชาติ

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

5. ลักษณะภูมิอากาศ

เนื่องจากในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ไม่มีสถานีตรวจวัดอากาศเป็นของตนเอง จึงนำข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ใกล้เคียง ได้แก่ ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ สถานีอุตุนิยมวิทยาหล่มสัก และสถานีอุตุนิยมวิทยาชัยภูมิ มาใช้ในการอธิบายลักษณะภูมิอากาศในพื้นที่ ซึ่งมีข้อมูลดัง **Table 1**

Table 1 ข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจากพื้นที่รอบอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว
พ.ศ. 2542-2552

เดือน	ปริมาณ น้ำฝน (mm.)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)
ม.ค.	4.04	62.91	24.85	32.07	17.98
ก.พ.	13.42	61.52	26.95	34.12	20.18
มี.ค.	55.08	63.27	28.95	35.87	22.52
เม.ย.	91.80	68.67	30.17	36.52	24.44
พ.ค.	161.36	77.48	28.95	34.06	24.56
มิ.ย.	150.60	79.09	28.68	33.31	24.55
ก.ค.	121.13	79.58	28.29	32.63	24.32
ส.ค.	209.10	81.45	27.98	32.20	24.17
ก.ย.	239.67	82.94	27.72	32.06	23.97
ต.ค.	98.14	77.00	27.69	32.55	23.24
พ.ย.	13.30	69.15	26.00	31.93	20.54
ธ.ค.	2.08	64.88	24.40	30.98	18.25
รวม	1159.72				
เฉลี่ย	96.64	72.33	27.55	33.19	22.39

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2553)

6. ลักษณะพืชพรรณ

กรมป่าไม้ (2534) ได้ทำการจำแนกพื้นที่ป่าไม้ในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ซึ่งพื้นที่ป่าครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 95.3 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งสามารถจำแนกสังคมพืชได้เป็นลักษณะต่างๆ ดังนี้

ป่าดิบ (tropical evergreen forest) มีพื้นที่ 62.2 % ประกอบด้วยสภาพป่า 3 ลักษณะ คือ

(1) ป่าดิบชื้น (moist evergreen forest) จะพบตามหุบเขาและริมห้วยที่มีความชื้นสูง

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

(3) ป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest) ขึ้นอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 500 เมตรขึ้นไป และมีลักษณะพื้นที่เป็นดินดาน ลักษณะโครงสร้างชั้นเรือนยอดแบ่งออกเป็น 3 ชั้น การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ดี มีจำนวนลูกไม้และไม้รุ่นค่อนข้างสูง ชนิดไม้ที่สำคัญ ได้แก่ ก่อเดือย (*Castanopsis acuminatissima* (Blume) A.DC.), ก่อขี้หนู (*Lithocarpus vestitus* Chun), ยางปาย (*Dipterocarpus costatus* C.F.Gaertn.), ยมหิน (*Chukrasia velutina* Wight & Arn.), แดงสะแง (*Schoutenia ovata* Korth.), หว้า (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) และมะกอกด่อน (*Schrebera swietenoides* Roxb.) เป็นต้น

ป่าเบญจพรรณ (mix deciduous forest) มีพื้นที่ 22.4 % เป็นชนิดป่าเบญจพรรณที่ไม่มีไม้สัก ลักษณะโครงสร้างชั้นเรือนยอดแบ่งออกเป็น 3 ชั้น การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ไม้ที่สำคัญได้แก่ ตะแบกแดง (*Lagerstroemia calyculata* Kurz), กระท้อน (*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

ป่าเต็งรัง (dry dipterocarp forest) มีพื้นที่ 5.4 % ขึ้นอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 400 -600 เมตร ลักษณะโครงสร้างชั้นเรือนยอดแบ่งออกเป็น 2 ชั้น แต่บริเวณที่ขึ้นปะปนกับป่าสนเขาจะมี 3 ชั้น เรือนยอด การเจริญทดแทนตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ดี ชนิดไม้ที่พบ ได้แก่ เต็ง (*Shorea obtusa* Wall.ex Blume), รัง (*Shorea siamensis* Miq. var. *siamensis*), มะม่วงหาวแมงวัน (*Buchanania lanzan* Spreng.), ดีว (*Gratoxylum formosum* (Jack) Dyer), ยอป่า (*Morinda coreia* Ham.), หนามแท่ง (*Catunaregam tomentosum* (Kurz) Bakh.f.), เขียด (*Cinnamomum bejolghota* (Buch.-Ham.)

Sweet), สมอ (*Terminalia chebula* Retz.), ก่อขี้หมู (*Lithocarpus vestitus* Chun) และก่อแหลม (*Castanopsis ferox* (Roxb.) Spach) เป็นต้น

ป่าสนเขา (Pine Forest) มีพื้นที่ 3.9 % ประกอบด้วยป่าสนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) และสนสามใบ (*P. kesiya* Royle ex Gordon) แต่ส่วนใหญ่จะเป็นป่าสนสามใบ นอกจากนี้จะพบป่าสนขึ้นปะปนกับป่าดิบเขา หรือป่าเต็งรังด้วย

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

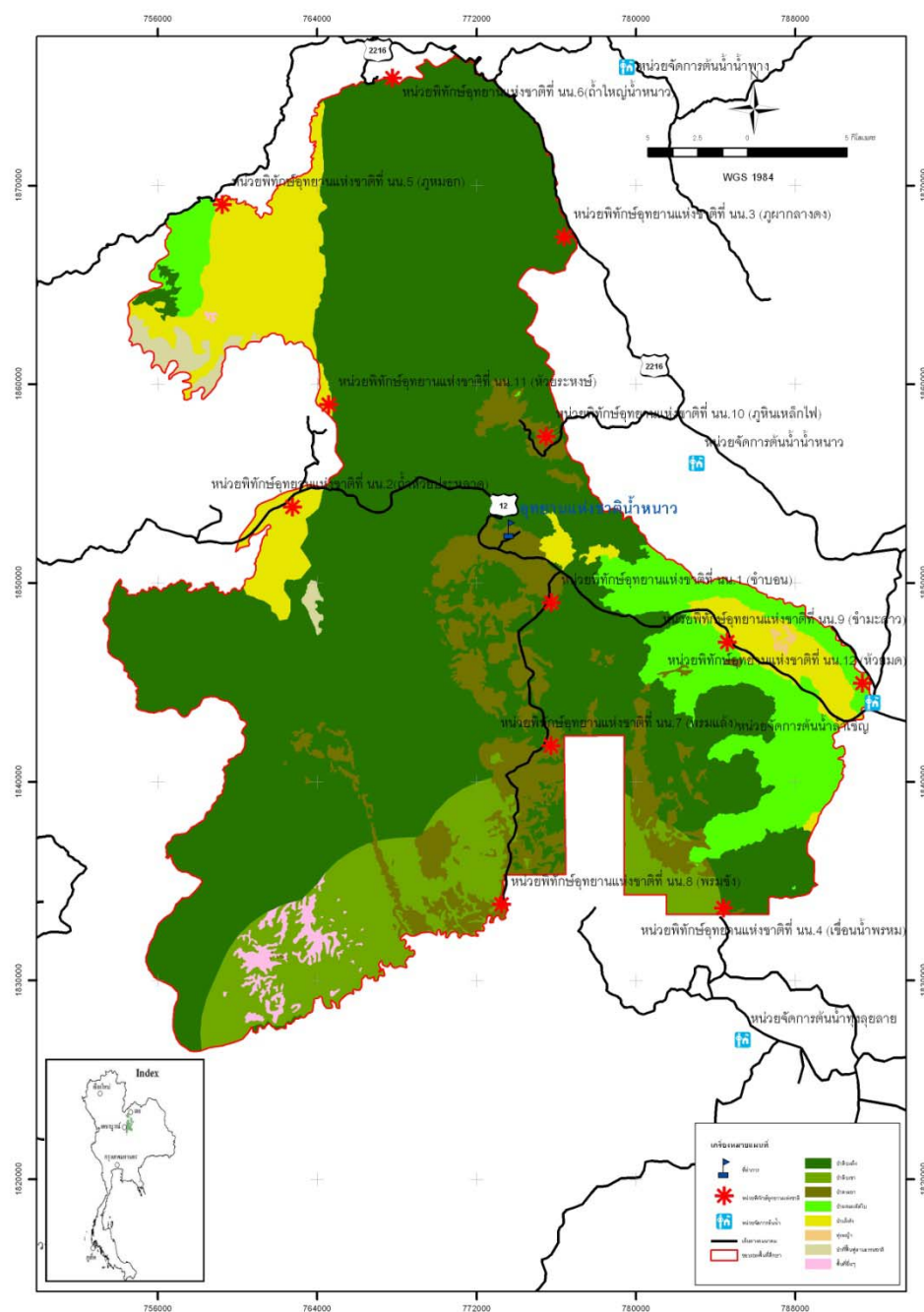
เป็นต้น

(2) ป่าสนสองใบ ลักษณะโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ชั้นเรือนยอด การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ชนิดไม้ที่สำคัญ เช่น สนสองใบ (*P. merkusii* Jungh. & de Vriese), เหมือดโลด (*Aporosa villosa* (Wall. ex Lindl.), เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq), หนามแท่ง (*Catunaregam tomentosum* (Kurz) Bakh.f.), มะกอกด่อน (*Schrebera swietenoides* Roxb.), ดีหว้า (*Gratoxylum formosum* (Jack) Dyer) และจันทน์ *Diospyros curtisii* King et Gamble เป็นต้น

พื้นที่อื่นๆ ได้แก่ ป่าไผ่ ร้อยละ 0.9 ทุ่งหญ้า 0.5 % และไร่ร้าง มีพื้นที่ 4.7 %

ตามข้อมูลของแผนแม่บท อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ของกรมป่าไม้ (2534) และการสำรวจของชมพูนุช และชนิษฐา (2547) และรายงานข้อมูลพื้นฐานของศูนย์วิจัยป่าไม้ (2553) ไม่ได้ทำการจัดแบ่งสังคมย่อยของป่าสนไว้ อย่างไรก็ตาม ธวัชชัย (2550) ได้กล่าวถึง สังคมพืชป่าเต็งรัง-ไม้สน ที่พบในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวไว้ นอกจากนี้ อุทิศ (2541) ได้กล่าวถึงผลการศึกษา สังคมพืชป่าสนผสมก่อในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว ซึ่งมีอาณาเขตเชื่อมต่อกับอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวไว้ โดยพบว่าในสังคมพืชป่าสนผสมก่อ มีไม้เหียง ซึ่งเป็นไม้ป่าเต็งรัง ที่ขึ้นได้ดีในที่สูงและชื้น ขึ้นอยู่ สอดคล้องกับรายงานของจงรัก (2550) ที่กล่าวถึงการซ้อนทับระหว่างสังคมพืชป่าเต็งรังผสมสนกับป่าดิบเขาระดับต่ำสังคมสนเขา-ก่อ ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะที่พบในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

นอกจากนี้จากการสำรวจของชมพูนุช และชนิษฐา (2547) พบว่า มีไม้ก่อในสกุลต่างๆ เป็นไม้ที่มีปริมาณมากที่สุด และมีปริมาณอยู่ในอันดับต้น ของทุกชนิดป่า แม้ในทุ่งหญ้า ในป่าสนเขา พบว่ามีทั้งไม้เหียงและไม้ก่อ มีปริมาณอยู่ในอันดับต้น และพบว่ามีไม้เหียงขึ้นในป่าดิบเขาด้วย สำหรับแผนที่แสดงการกระจายของสังคมพืชในบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวดังแสดงใน **Figure 6.**



ที่มา: ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2553)

วิธีการศึกษาวิจัย

1. การวางแผนทดลอง

1.1 คัดเลือกพื้นที่ศึกษาที่สังคมป่าสนซึ่งเป็นป่าที่เสื่อมโทรม (degraded pine forest; PF) และสังคมย่อยป่าสนผสมก่อ (pine-oak sub community forest; O-PF) บริเวณภู่มะเขว้า ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

1.2 วางแปลงศึกษาขนาด 50×50 เมตร ชนิดป่าละ 3 แปลง ภายในแปลงได้แบ่งแปลงออกเป็น 4 แปลงย่อย ขนาด 25×25 เมตร บั๊กหลักขอบแปลง เพื่อสะดวกในการค้นหาภายหลังโดยใช้ท่อ พีวีซี จากนั้นทำแนวกันไฟรอบแปลง โดยมีความกว้างประมาณ 10 เมตร ซึ่งดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่สถานีควบคุมไฟป่าเพชรบูรณ์ และเจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว (Figure 7)

2. การเก็บข้อมูล

2.1 การเก็บข้อมูลก่อนเผา

2.1.1 วางแปลงขนาด 2×2 เมตร ภายในแปลงย่อยขนาด 25×25 เมตร ที่วางแปลงไว้แล้ว ที่บริเวณมุมทั้งสี่ห่างจากขอบแปลงทดลอง 10 เมตร จำนวน 4 แปลง (จุด B ใน Figure 7) เพื่อศึกษาลักษณะของเชื้อเพลิงก่อนเผา และวางแปลงขนาด 50×50 เซนติเมตร จำนวน 4 แปลง (จุด A ใน Figure 7) บริเวณใกล้กับแปลงศึกษาเชื้อเพลิงก่อนเผาแปลงทดลองเพื่อศึกษาลักษณะของสิ่งหลงเหลือทันทีภายหลังเผา นอกจากนี้ได้วางแปลงขนาด 2×2 เมตร เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงและปริมาณคาร์บอนภายในเวลา 1 ปี (จุด 2, 4, 6, และ 12 ใน Figure 7)

2.1.2 สักรวจชนิด จำนวน ประมาณและเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ของไม้พื้นล่าง (เชื้อเพลิง) กลุ่มต่างๆ ได้แก่ ไม้พุ่ม (shrub) ไม้ล้มลุก (herb) และหญ้า (grass) อีกทั้งไม้หนุม (sapling) และลูกไม้ (seedling) ศึกษาสมบัติเชื้อเพลิงในแต่ละแปลงทดลองขนาด 2×2 เมตร โดยสำรวจก่อนทำการเผาแปลงทดลองประมาณ 10 วัน ในช่วงฤดูไฟป่า ซึ่งสมบัติเชื้อเพลิงก่อนเผาและขณะเผาไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ทำการประมาณความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงโดย ประมาณการเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่แยกไปตามแต่ละประเภทของเชื้อเพลิง ซึ่งได้แก่ ชากพืช, กิ่งที่ร่วงหล่น, หญ้า, ไม้พุ่ม, ไม้ล้มลุกและกล้าไม้ยืนต้น โดยให้ผู้ที่ทำการเก็บตัวอย่าง จำนวน 4 คนทำการประมาณเปอร์เซ็นต์การปกคลุมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.1.3 ความสูงของเชื้อเพลิง วัดความสูงของแต่ละประเภทเชื้อเพลิงโดยเชื้อเพลิงประเภทเศษซากพืช และหญ้า ซึ่งมีความสูงค่อนข้างสม่ำเสมอ จะทำการสุ่มวัดในแปลงย่อย 2×2 เมตร แปลงละ 3 จุด บริเวณที่เชื้อเพลิงมีความสูงที่สุด ความสูงปานกลาง และความสูงต่ำสุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย สำหรับพืชล้มลุก ไม้พุ่ม และลูกไม้ของไม้ยืนต้น ซึ่งมีความสูงไม่สม่ำเสมอจะทำการวัดความสูงของเชื้อเพลิงทุกต้น แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ค่าเฉลี่ยความสูงที่ได้นำมาคูณด้วย $2/3$ จะได้ค่าความสูงของเชื้อเพลิง

2.1.4 ศึกษาสมบัติและปริมาณของเชื้อเพลิง ทำการตัดซังน้ำหนัเชื้อเพลิงทั้งหมดที่อยู่ภายในแปลงขนาด 2×2 ม. ซึ่งแยกประเภทเชื้อเพลิงเป็น เศษซากพืช หญ้า พืชล้มลุก ไม้พุ่ม และลูกไม้ของไม้ยืนต้น แล้วทำการสุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงในแต่ละประเภทๆละ 400 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้นและวิเคราะห์หาหน้าหนักแห้งของเชื้อเพลิงทั้งหมด และปริมาณธาตุอาหารในพืช

2.1.5 เก็บตัวอย่างดินในแปลงย่อย 2×2 เมตร ภายหลังจากเก็บเชื้อเพลิงแล้ว โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน Split tube sampler (eijkelkamp agri search equipment, Netherlands) โดยทำการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้างของดิน (undisturbed soil sample) และเก็บตัวอย่างดินแบบทำลายโครงสร้าง (disturbed soil sample) ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.

2.1.6 การศึกษาลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืช สำหรับไม้ยืนต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกิน 4.5 ซม. (tree) ได้ติดหมายเลขต้นไม้ทุกต้นในแปลง บันทึกชนิด จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก ประมาณความสูง และบันทึกความสูงของรอยไหม้เกรียมที่พบบริเวณลำต้น สำหรับลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของไม้หนุ่มและลูกไม้ ได้สำรวจโดยวางแปลงขนาด 4×4 เมตร (จุด D ใน Figure 7) สำหรับศึกษาไม้หนุ่ม และวางแปลงขนาด 2×2 เมตร ภายในแปลงขนาด 4×4 เมตรสำหรับลูกไม้ ตามลำดับ โดยติดหมายเลขที่ต้นไม้ทุกต้น บันทึกชนิด จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนต้น เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก ความสูงทั้งหมด ขนาดพื้นที่เรือนยอดและความสูงของรอยไหม้เกรียมที่พบบริเวณลำต้น

2.1.7 ถ่ายภาพเรือนยอดที่บริเวณกึ่งกลางของแปลงย่อย ขนาด 25×25 เมตรโดยใช้เลนส์ตาปลา (Fish eye lenses ขนาด 18 มม.) ติดกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ทำการถ่ายที่ความสูงจากพื้นดิน 1 เมตร โดยถ่ายภาพในขณะที่ท้องฟ้าไม่มีการรบกวนจากแสงอาทิตย์ (ก่อนพระอาทิตย์ขึ้น, หลังพระอาทิตย์ตก, หรือในช่วงเวลาที่เมฆบดบังดวงอาทิตย์)

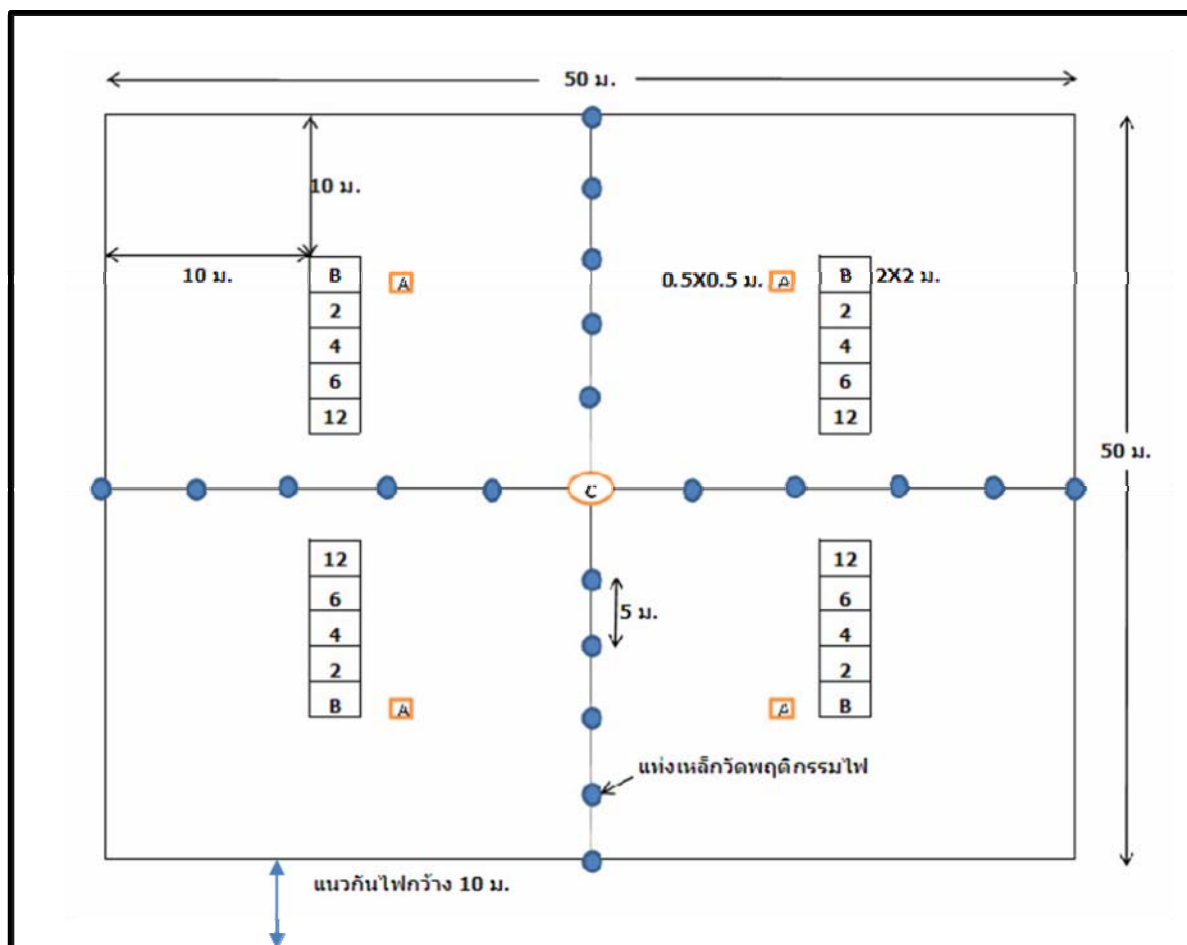


Figure 7 แผนผังการวางแปลงทดลองเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงในป่าสนและป่าสนผสมก่อ (C= ตำแหน่งจุดไฟ, B = แปลงย่อยเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงก่อนเผา, A= แปลงย่อยเก็บสิ่งที่หลงเหลือทันทีจากการเผาหลัง และ 2,4,6,12 = แปลงย่อยเก็บข้อมูลหลังเผา 2,4,6, และ 12 เดือน ตามลำดับ)

2.2 การเก็บข้อมูลในขณะเผา

2.2.1 การเตรียมการก่อนทำการเผา

2.2.1.1 ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมของไฟ โดยปักหลักด้วยแท่งเหล็กที่มีความสูง 3 เมตร ปักเป็นแนวกากบาทครอบคลุมทั่วแปลง ห่างกันแท่งละ 5 เมตร จำนวนด้านละ 5 แท่ง เพื่อใช้ศึกษาความสูงเปลวไฟและอัตราไฟลาม (**Figure 7**)

2.2.1.2 ติดตั้งเครื่องตรวจวัดภูมิอากาศแบบเคลื่อนที่ (Kestrel pocket weather tracker) เพื่อตรวจสอบสภาพภูมิอากาศตลอดช่วงการเผา โดยทำการบันทึกความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศ

2.2.2 การเก็บข้อมูลขณะเผา

ทำการเก็บข้อมูลในขณะเผาในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูไฟป่า โดยมีรายละเอียดในการเก็บข้อมูลมีดังนี้

2.2.2.1 ทำการจุดไฟเผาที่จุดกึ่งกลางของแปลง เก็บข้อมูลอัตราการลุกลามของไฟ ความสูงของเปลวไฟ ด้วยการประมาณระยะทางที่ไฟเคลื่อนที่ไป ตามแนวที่ปักแท่งเหล็กไว้ ทุกๆ 1 นาที และจับเวลาเมื่อไฟเคลื่อนที่ผ่านแท่งเหล็ก แล้วทำการถ่ายรูปเปลวไฟเพื่อเปรียบเทียบความสูงกับขีดวัดระดับความสูงของแท่งเหล็ก

2.2.2.2 วัดอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึก 0, 2, 5 และ 10 เซนติเมตร โดยใช้เครื่อง Thermocouple รุ่น Testo-171 (TESTO Company, Lenzkich) ติดตั้งในดินและวัดอุณหภูมิต่อเนื่องทุก 2 วินาที พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิในอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศแบบเคลื่อนที่ รุ่น Kestrel-4500 (Nielsen-Kellerman Company, Boothwyn, PA) และวัดอุณหภูมิของไฟด้วยเครื่อง Spot infrared รุ่น MINOLTA TA 510 ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 20 และ 50 เซนติเมตร

2.2.3 การเก็บข้อมูลหลังเผา

2.2.3.1 ภายหลังการเผาทั่วทั้งพื้นที่ในแต่ละแปลงเสร็จทันที วางแปลงย่อยขนาด 0.5 X 0.5 เมตร จำนวน 4 แปลง (**Figure 7, จุด A**) โดยใช้เครื่องดูดฝุ่น ทำการเก็บสิ่งที่เหลือจากการเผา (residues) ได้แก่ ขี้เถ้า (ash) ถ่าน (charred material) และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ (unburned material) โดยเก็บสิ่งต่างๆ ให้หมดภายในแปลงที่วางไว้ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดินเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลก่อนเผานำตัวอย่างกลับไปห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณที่หลงเหลือ และธาตุอาหารต่างๆ

2.2.3.2 ทำการเก็บข้อมูลสมบัติของแหล่งเชื้อเพลิง และเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิง ภายหลังการเผา 2, 4, 6 และ 12 เดือนโดยวางแปลงขนาด 2 x 2 เมตร (**Figure 7, จุด 2, 4, 6 และ 12**) ในแปลงที่ทำการเผาทดลอง จำนวนแปลงละ 4 จุด หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยใช้วิธีการสุ่ม และเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงและดิน เช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลก่อนเผาและหลังเผา

2.2.3.3 สำนวณชนิดและปริมาณของไม้หนุ่ม ลูกไม้ และไม้พื้นล่างอื่นๆ ภายหลังการเผาที่ระยะเวลา 6 และ 12 เดือน ในแปลงตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

3.1 นำตัวอย่างเชื้อเพลิงแต่ละประเภทและสิ่งที่หลงเหลือจากการเผาทั้งหมด (ขี้เถ้า ถ่าน และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ) ที่เก็บมาจากภาคสนามที่บันทึกน้ำหนักสดไว้ มาทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ชั่งน้ำหนักที่อบแห้งได้เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ดังสมการ

$$Fm = [(Fw - Dw)/Dw] \times 100$$

เมื่อ Fm = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

Fw = น้ำหนักสดตัวอย่าง (กรัม)

Dw = น้ำหนักแห้งตัวอย่าง (กรัม)

จากนั้นนำความชื้นที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทต่อไป

3.2 ค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิง นำตัวอย่างแยกตามประเภทของเชื้อเพลิงมาอบให้แห้งอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้ววัดโดยละเอียด นำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณความร้อนโดยใช้เครื่อง adiabatic bomb calorimeter

3.3 ตัวอย่างดินที่เก็บแบบทำลายโครงสร้างที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 เซนติเมตร ทำการผึ่งตัวอย่างดินให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นดินและราก นำดินที่แยกได้ไปบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหาร สำหรับส่วนที่เป็นราก นำตัวอย่างไปอบแห้งเพื่อหาปริมาณมวลชีวภาพของราก และหาปริมาณธาตุอาหาร

3.4 ตัวอย่างดินที่เก็บแบบไม่รบกวนโครงสร้างของดินที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 เซนติเมตร ทำการผึ่งตัวอย่างดินให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจากนั้นทำการแยกส่วนที่เป็นดินและราก นำดินที่แยกได้ไปบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำดินขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร และราก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำรากที่ได้ไปคำนวณหาน้ำหนักแห้งของราก สำหรับดินที่ได้ชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาความหนาแน่นรวม (bulk density) ของดินในแต่ละชั้นดิน ดังสมการ

$$BD = Wsr / Vs$$

เมื่อ BD = ความหนาแน่นรวมของดินที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร

Wsr = น้ำหนักแห้งของดิน (กรัม)

Vs = ปริมาตรรวมของดิน (เซนติเมตร)

3.5 ตัวอย่างดินรบกวนโครงสร้างนำมาร่อน โดยตัวอย่างดินที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 2 มม. และตัวอย่างพืชที่บดละเอียดแล้ว นำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ ดังนี้

3.5.1 ตัวอย่างดิน วิเคราะห์ total C, total N, pH, organic matter, available P, exchangeable K, Ca, Mg, Na

3.5.2 ตัวอย่างพืชและส่วนที่หลงเหลือภายหลังไหม้ วิเคราะห์ total C, total N, total P, total K, total Ca, total Mg

3.6 คำนวณปริมาณธาตุอาหารต่อพื้นที่จากปริมาณมวลชีวภาพของพืช ความหนาแน่นของดิน และปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากการวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 คำนวณอัตราการลุกลามของไฟต่อระยะทางและอัตราการลุกลามต่อหน่วยพื้นที่ คำนวณความรุนแรงของไฟ (fireline intensity) จากสมการของ Byram (1959)

$$I_B = 0.007hwr$$

เมื่อ I_B = ความรุนแรงของไฟ (kW/m)
 h = ความร้อนของการเผาไหม้ (cal/g)
 w = เชื้อเพลิงที่ถูกเผา (ton/ha)
 r = อัตราการลุกลามของไฟ (m/min)

4.2 วิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายของไม้นยืนต้น (diversity index) ต่างๆ ได้แก่

4.2.1 Shannon-Weiner diversity index;

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

เมื่อ H' = Shannon-Weiner diversity index
 S = จำนวนชนิดพันธุ์ทั้งหมด
 P_i = ความถี่ที่พบในแต่ละชนิดพันธุ์

4.2.2 ดัชนีความคล้ายคลึงของสังคมพืช โดย Bray-Curtis cluster analysis;

$$B = 2C / (A+B)$$

เมื่อ B = Bray Curtis similarity index
 A, B = จำนวนชนิดที่พบเฉพาะในแปลง A และแปลง B เท่านั้น
 C = จำนวนชนิดพันธุ์ที่พบทั้งในแปลง A และ B

4.3 คำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ เปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอด และขนาดพื้นที่เรือนยอดจากภาพถ่ายเรือนยอดโดยใช้โปรแกรม Hemiview version 2.1

4.4 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืชอื่นๆ ได้แก่ ความหนาแน่นของต้นไม้ ขนาดพื้นที่หน้าตัด การกระจายของต้นไม้ตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางฯ

4.5 วิเคราะห์ค่าความสำคัญต่างๆ ของสังคมพืช โดยนำข้อมูลชนิดพันธุ์ไม้ จำนวนต้น และขนาดความโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างมาคำนวณเพื่อหาลักษณะเชิงปริมาณและค่าความสำคัญต่างๆ ดังนี้

4.5.1 ความหนาแน่น (Density, D) ของต้นไม้ที่ปรากฏในพื้นที่

$$D = \frac{\text{จำนวนต้นของพันธุ์ไม้นชนิดนั้น}}{\text{ขนาดพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการสำรวจ}}$$

4.5.2 ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด (Dominance, D_o) ของต้นไม้ต่อพื้นที่

$$D_o = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ชนิดนั้น}}{\text{ขนาดพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการสำรวจ}}$$

4.5.3 ความถี่ (Frequency, F) ของจำนวนแปลงตัวอย่างที่ปรากฏพันธุ์ไม้ชนิดนั้น

$$F = \frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่ชนิดไม้นั้นปรากฏ}}{\text{ขนาดพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการสำรวจ}}$$

4.5.4 ค่าความสัมพันธ์ด้านความหนาแน่นของชนิดไม้ (Relative Density; RD) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของชนิดไม้ที่ศึกษาต่อความหนาแน่นทั้งหมดของพันธุ์ไม้ทุกชนิด

$$RD = \frac{\text{ความหนาแน่นของไม้ชนิดนั้น (D)}}{\text{ผลรวมความหนาแน่นของไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

4.5.6 ค่าความสัมพันธ์ด้านความเด่นของชนิดไม้ (Relative Dominance; RD_o) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเด่นของชนิดไม้ที่ศึกษาต่อความเด่นทั้งหมดของพันธุ์ไม้ทุกชนิด

$$RD_o = \frac{\text{ความเด่นของไม้ชนิดนั้น (D_o)}}{\text{ผลรวมความเด่นของไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

4.5.7 ค่าความสัมพันธ์ด้านความถี่ของชนิดไม้ (Relative Frequency; RF) ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของชนิดพันธุ์ไม้ที่ศึกษาต่อความถี่ทั้งหมดของพันธุ์ไม้ทุกชนิด

$$RF = \frac{\text{ความถี่ของไม้ชนิดนั้น (F)}}{\text{ผลรวมของความถี่ของไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

4.5.8 ค่าดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้ (Importance Value Index; IVI) โดยเป็นค่าผลรวมของค่าความสัมพันธ์ต่างๆ ของพันธุ์ไม้ชนิดนั้นในสังคม

$$IVI = RD + RD_o + RF$$

4.6 เปรียบเทียบอิทธิพลของการเผดต่อลักษณะต่างๆ ของระบบนิเวศโดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความผันแปรทางสถิติโดยใช้ Independent *t-test* statistics เปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิง คุณสมบัติของดิน ธาตุอาหารในเชื้อเพลิง พฤติกรรมไฟระหว่างการเผา ลักษณะโครงสร้างของสังคมพืชต่างๆ ระหว่างป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน และการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงและธาตุอาหารระหว่างก่อนและหลังการเผา ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั้งหมดดำเนินการโดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป

ผลการศึกษา

พลวัตของเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก

1. ลักษณะโครงสร้างของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก

1.1 โครงสร้างและปริมาณเชื้อเพลิง

ลักษณะโครงสร้างของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก ดังแสดงใน **Figure 8** โดยพบว่าโครงสร้างของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรมประกอบด้วยหญ้าเป็นส่วนสำคัญที่สุด (45%) รองลงมาคือส่วนของเศษซากพืชที่ร่วงหล่นซึ่งได้แก่ส่วนของหญ้าที่แห้งตาย (44%) โดยมีสัดส่วนของหญ้าประมาณครึ่งหนึ่งของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่พบ โดยหญ้าที่พบขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ในทุกปี นอกจากนี้ยังเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติตลอดทั้งขบวนการทดแทนของสังคมพืช โดยเฉพาะไม้สนสามใบ เนื่องจากเมล็ดพืชไม่สามารถตกกระทบถึงพื้นดินได้โดยตรงและไม่สามารถแก่งแย่งแข่งขันในเรื่องของแสงสว่างและปัจจัยสิ่งแวดล้อมเพื่อการเจริญเติบโตได้ ทำให้สังคมพืชในบริเวณดังกล่าวเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับป่าสนผสมก่อก พบว่าส่วนของเศษซากพืชจากการร่วงหล่นของใบไม้มีสัดส่วนมากที่สุด (55%) รองลงมาคือส่วนของกิ่งขนาดเล็กที่ร่วงหล่นและหญ้าตามลำดับ ซึ่งใบไม้ที่ร่วงหล่นเป็นแหล่งเชื้อเพลิงสำหรับป่าสนผสมก่อกและป่าผลัดใบอื่นๆ ที่พบในประเทศทั่วไป เช่นป่าเต็งรังและป่าผสมผลัดใบ

จากการศึกษาเชื้อเพลิงในป่าเชิงปริมาณ พบว่าโดยทั่วไปป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณเชื้อเพลิงต่อพื้นที่สูงกว่าป่าสนผสมก่อก โดยมีค่าเฉลี่ยของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก เท่ากับ 12.9 และ 8.7 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ในป่าสนเสื่อมโทรมคือหญ้า ในขณะที่เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ในป่าสนผสมก่อกคือเศษใบไม้ที่ร่วงหล่น (**Table 2**)

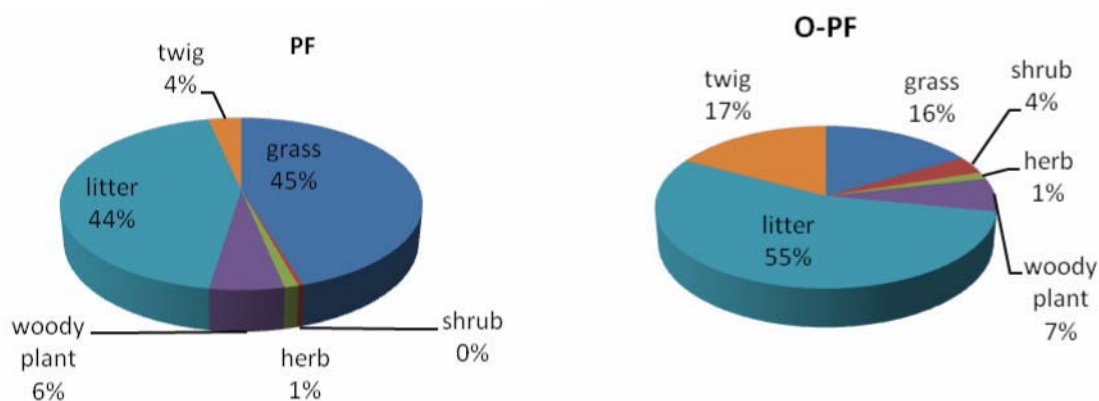


Figure 8 ลักษณะโครงสร้างของเชื้อเพลิงจำแนกตามกลุ่มของพืช ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

Table 2 น้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทก่อนเผาในแปลงตัวอย่างของป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ค่า standard error of the mean แสดงในวงเล็บ

แปลง ตัวอย่าง	น้ำหนักแห้งของเชื้อเพลิงแต่ละประเภทก่อนเผา (ton/ha)						รวมทั้งหมด
	หญ้า (grass)	ไม้พุ่ม (shrub)	ไม้ล้มลุก (herb)	กล้าไม้ (seeding)	ซากพืช (litter)	กิ่งไม้ (twig)	
PF1	6.00	0.02	0.19	1.25	6.14	0.16	13.76
PF2	6.09	0.08	0.17	0.62	5.58	1.15	13.69
PF3	5.43	0.05	0.06	0.35	5.38	0.00	11.29
เฉลี่ย	5.84^a (0.21)	0.05^a (0.02)	0.14^a (0.04)	0.74^a (0.27)	5.70^a (0.23)	0.44^a (0.36)	12.92^a (0.81)
O-PF1	1.57	0.60	0.17	0.69	6.00	2.63	11.66
O-PF2	1.95	0.22	0.10	0.78	2.48	0.97	6.51
O-PF3	0.78	0.10	0.09	0.26	5.86	0.89	7.98
เฉลี่ย	1.44^b (0.34)	0.31^a (0.15)	0.12^a (0.02)	0.58^a (0.16)	4.78^a (1.15)	1.50^a (0.57)	8.72^a (1.53)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ ในเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

1.2 ความชื้นของเชื้อเพลิง

ผลการศึกษาความชื้นของเชื้อเพลิง ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ย 83.00 % โดยเชื้อเพลิงประเภทไม้พุ่ม มีความชื้นมากที่สุด เท่ากับ 147.77% รองลงมาคือ ไม้ล้มลุก, กล้าไม้, หญ้า, ซากพืช และกิ่งไม้ มีความชื้น เท่ากับ 143.59 %, 119.30 %, 44.90 %, 22.59 % และ 19.85 % ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อกมีความชื้นเชื้อเพลิงเฉลี่ย 83.28 % โดยเชื้อเพลิงประเภทไม้ล้มลุก มีความชื้นมากที่สุด เท่ากับ 64.69 % รองลงมาคือ กล้าไม้, ไม้พุ่ม, หญ้า, ซากพืช และกิ่งไม้ มีความชื้น เท่ากับ 122.24%, 100.57 %, 67.75 %, 25.21% และ 19.25 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความชื้นของเชื้อเพลิงแล้วจะพบว่า ในป่าสนผสมก่อก จะมีค่าเฉลี่ยของความชื้นของเชื้อเพลิงมากกว่าป่าสนเสื่อมโทรม โดยในป่าทั้ง 2 ชนิด จะมีเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูง คือ ไม้ล้มลุก, ไม้พุ่ม และกล้าไม้ ในขณะที่หญ้า ซากพืช และกิ่งไม้ จะมีความชื้นที่ต่ำกว่า ดังแสดงใน **Table 3** และเชื้อเพลิงที่มีความชื้นต่ำดังกล่าว เป็นเชื้อเพลิงที่มีอยู่ปริมาณมาก และเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาพฤติกรรมไฟป่าของคณิงนิจ (2539) ในป่าชนิดต่าง ๆ ที่ภูกระดึง จ.เลย โดยนำผลการศึกษาในป่าสนและป่าดิบเขา มาเปรียบเทียบกับป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกในการศึกษานี้พบว่า ความชื้นของเชื้อเพลิงในการศึกษานี้มีค่าสูงกว่ามาก โดยในป่าสนมีความชื้นเชื้อเพลิง 44 % และในป่าดิบเขามีความชื้นเชื้อเพลิง 57 %

Table 3 ความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อกอ (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลง ที่	ความชื้นของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ (%)						เฉลี่ย รวม
		หญ้า (grass)	ไม้พุ่ม (shrub)	ไม้ล้มลุก (herb)	กล้าไม้ (seeding)	ซากพืช (litter)	กิ่งไม้ (twig)	
PF	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	0.00	92.77
		44.90^a	147.77^a	143.59^a	119.30^a	22.59^a	19.85^a	83.00^a
	เฉลี่ย	(15.00)	(14.23)	(12.55)	(8.63)	(6.07)	(6.67)	(4.49)
O-PF	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
		67.75^a	100.57^a	164.69^a	122.24^a	25.21^a	19.25^a	83.28^a
	เฉลี่ย	(3.96)	(20.96)	(18.53)	(5.93)	(2.11)	(3.69)	(2.13)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ในความชื้นของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

1.3 ความสูงของเชื้อเพลิง

ผลการศึกษาความสูงของเชื้อเพลิง ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความสูงของเชื้อเพลิง เฉลี่ย 0.42 เมตร โดยเชื้อเพลิงประเภทหญ้า มีความสูงของเชื้อเพลิง มากที่สุด เท่ากับ 06 เมตร รองลงมาคือ กล้าไม้, ไม้ล้มลุก, ไม้พุ่ม, ซากพืช และกิ่งไม้ มีความสูงของเชื้อเพลิง เท่ากับ 0.53 เมตร 0.34 เมตร, 0.26 เมตร, 0.16 เมตร และ 0.04 เมตร ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อกอมีความสูงของเชื้อเพลิง เฉลี่ย 0.44 เมตร โดยเชื้อเพลิงประเภทไม้ล้มลุก มีความสูงของเชื้อเพลิง มากที่สุด เท่ากับ 0.93 เมตร รองลงมาคือ หญ้า, ไม้พุ่ม, กล้าไม้, ซากพืช และกิ่งไม้ มีความสูงของเชื้อเพลิง เท่ากับ 0.71 เมตร, 0.50 เมตร, 0.41 เมตร, 0.06 เมตร และ 0.03 เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสูงของเชื้อเพลิง แล้วจะพบว่า ในป่าสนผสมก่อกอ จะมีค่าเฉลี่ยความสูงของเชื้อเพลิง มากกว่าป่าสนเสื่อมโทรม ดังแสดงใน **Table 4**

Table 4 ความสูงของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	ความสูงของเชื้อเพลิง (เมตร)						เฉลี่ยรวม
		หญ้า (grass)	ไม้พุ่ม (shrub)	ไม้ล้มลุก (herb)	กล้าไม้ (seeding)	ซากพืช (litter)	กิ่งไม้ (twig)	
PF	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
		1.06^a	0.26^a	0.34^a	0.53^a	0.16^a	0.04^a	0.42^a
	เฉลี่ย	(0.04)	(0.08)	(0.03)	(0.07)	(0.05)	(0.01)	(0.01)
O-PF	1	0.69	0.84	0.27	0.63	0.06	0.02	0.42
	2	0.80	0.43	2.38	0.26	0.04	0.04	0.66
	3	0.64	0.23	0.15	0.33	0.08	0.03	0.24
		0.71^b	0.50^a	0.93^a	0.41^a	0.06^a	0.03^a	0.44^a
	เฉลี่ย	(0.05)	(0.18)	(0.72)	(0.11)	(0.01)	(0.01)	(0.12)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ในความสูงของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

1.4 การปกคลุมและความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง

ผลการศึกษการปกคลุมของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงเฉลี่ย 30.97 เปอร์เซ็นต์ โดยเชื้อเพลิงประเภทหญ้า มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงมากที่สุด เท่ากับ 74.85 % รองลงมาคือ ซากพืช, กล้าไม้, ไม้ล้มลุก, ไม้พุ่ม, และกิ่งไม้ มีการปกคลุมของเชื้อเพลิงเท่ากับ 62.71% 21.46 %, 11.29 %, 2.53 % และ 1.97 % ตามลำดับ สำหรับป่าสนผสมก่อกมีการปกคลุมของเชื้อเพลิงเฉลี่ย 25.29 % โดยเชื้อเพลิงประเภทซากพืช มีความการปกคลุมของเชื้อเพลิงมากที่สุด เท่ากับ 60.82 % รองลงมาคือ หญ้า, กล้าไม้, ไม้พุ่ม, ไม้ล้มลุก, และกิ่งไม้ การปกคลุมของเชื้อเพลิงเท่ากับ 50.50 %, 19.94%, 11.55 %, 7.38 % และ 1.57% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการปกคลุมของเชื้อเพลิงแล้วจะพบว่า ในป่าสนเสื่อมโทรมจะมีการปกคลุมของเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงมากกว่าป่าสนผสมก่อก (Table 5)

สำหรับความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม มีความต่อเนื่องเฉลี่ย เท่ากับ 100 % เนื่องจากทุกแปลงมีความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงเต็มพื้นที่ ในขณะที่ป่าสนผสมก่อก มีความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง เท่ากับ 97.67 % เนื่องจากมีบางส่วนของพื้นที่แปลง ไม่มีเชื้อเพลิงปกคลุมอยู่ (Table 5)

Table 5 การปกคลุมของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติ น้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิด ป่า	แปลง ที่	การปกคลุมของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ (%)							ความ ต่อเนื่องของ เชื้อเพลิง (%)
		หญ้า (grass)	ไม้พุ่ม (shrub)	ไม้ล้มลุก (herb)	กล้าไม้ (seeding)	ซากพืช (litter)	กิ่งไม้ (twig)	เฉลี่ย รวม	
PF	1	69.06	0.67	13.31	29.69	64.38	1.82	29.82	100.00
	2	74.69	4.13	10.50	23.44	54.06	2.11	28.15	100.00
	3	80.81	2.81	10.06	11.25	69.69	-	34.93	100.00
		74.85^a	2.53^a	11.29^a	21.46^a	62.71^a	1.97^a	30.97^a	
	เฉลี่ย	(3.39)	(1.01)	(1.02)	(5.41)	(4.59)	(0.15)	(2.04)	100.00
O-PF	1	49.50	18.35	8.15	15.50	65.50	1.23	26.37	98.00
	2	52.00	4.30	4.00	33.75	49.15	1.45	24.11	97.00
	3	50.00	12.00	10.00	10.56	67.81	2.02	25.40	98.00
		50.50^b	11.55^a	7.38^a	19.94^a	60.82^a	1.57^a	25.29^a	
	เฉลี่ย	(0.76)	(4.06)	(1.77)	(7.05)	(5.87)	(0.24)	(0.65)	97.67

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ ในการปกคลุมของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

2. ลักษณะสิ่งแวดล้อมไฟระหว่างการเผา

2.1 ลักษณะการเผา

ได้ทำการเผาแปลงทดลองในช่วงระหว่างวันที่ 1-5 กพ. 2553 แต่เนื่องจากเกิดฝนตกขึ้นในวันสุดท้ายของการเผาทำให้ไม่สามารถเผาแปลงป่าสนผสมก่อกแปลงที่ 2 (-PF-2) ได้ จึงต้องทำการเผาในวันที่ 20 กพ. 2553 (ดู Table 6) ในระหว่างการเผาได้ประสานความร่วมมือในการทำแนวกันไฟและการเผาแปลงทดลองกับเจ้าหน้าที่สถานีควบคุมไฟป่าเพชรบูรณ์ การเผากะทำในช่วงเวลากลางวันเพื่อให้ได้ผลใกล้เคียงกับลักษณะการเกิดไฟป่าโดยส่วนใหญ่ ระยะเวลาการเผาแปลงทดลองในป่าสนเสื่อมโทรมซึ่งเชื้อเพลิงเกือบทั้งหมดประกอบด้วยหญ้าที่มีความแห้งและติดไฟได้ง่าย ใช้เวลาประมาณ 35-49 นาที ต่อการเผาแปลงขนาด 50 × 50 เมตร ในขณะที่แปลงป่าสนผสมก่อก ซึ่งมีองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่หลากหลายและในบางพื้นที่เชื้อเพลิงขาดความต่อเนื่อง เนื่องจากมีร่องรอยของซางหากินอยู่ในพื้นที่ มีหญ้าล้ม เกิดช่องว่างของเชื้อเพลิง ทำให้เชื้อเพลิงไม่มีความต่อเนื่อง ประกอบกับไม้พื้นล่างที่หลากหลาย มีความชื้นอยู่สูง จึงทำให้การเผาในแปลงป่าสนผสมก่อกใช้เวลานาน ตั้งแต่ 70 นาที โดยเฉพาะแปลงป่าสนผสมก่อกแปลงที่ 2 (O-PF-2) ซึ่งมีปัญหาจากซางป่าทำลายแปลงอย่างมาก ทำให้

ใช้เวลาการเผาไหม้ถึง 108 นาที แต่พื้นที่ในแปลงก็ไม่ได้ถูกเผาทั่วทั้งแปลงยังคงเหลือจุดที่ไม่ติดไฟหรือไหม้เพียงเล็กน้อยอยู่หลายจุด เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงอื่นๆ ที่ถูกเผาซึ่งทั่วทั้งพื้นที่จะถูกเผาทั้งหมด

Table 6 สภาพพื้นที่ทางกายภาพ และช่วงเวลาของการเผาแปลงทดลองป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อ (O-PF)

แปลง	ระดับความสูงของพื้นที่ (m)	ความลาดชัน (%)	ทิศทางด้านลาด	วัน เวลา ที่ทำการเผาแปลงทดลอง			
				วันที่	เวลาเริ่ม	เวลาเสร็จ	รวม (นาที)
PF-1	870	13.4	NE-80	1 กพ. 53	11.55 น.	12.30 น.	35.5
PF-2	865	17.2	NW-310	2 กพ. 53	12.44 น.	13.33 น.	48.48
PF-3	890	15.4	S-180	3 กพ. 53	10.24 น.	11.01 น.	37
O-PF-1	890	7.3	SE-170	5 กพ. 53	12.31 น.	13.41 น.	70
O-PF-2	900	6.2	NW-315	20 กพ. 53	14.12 น.	16.00 น.	108
O-PF-3	885	3.8	NE-45	4 กพ. 53	12.54 น.	14.14 น.	80

2.2 สภาพภูมิอากาศระหว่างการเผา

จากการติดตั้งเครื่องตรวจวัดสภาพภูมิอากาศเคลื่อนที่ในบริเวณที่ทำการเผาแปลงทดลอง พบว่าลักษณะของสภาพภูมิอากาศที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมไฟ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความเร็วและทิศทางลม มีความผันแปรแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ตลอดช่วงเวลาการเผา ดังแสดงใน **Figure 9** อุณหภูมิอากาศมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 25.2-30.9 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 35.2-37.9 % **Table 7** สำหรับความเร็วและทิศทางลมนั้นมีความผันแปรค่อนข้างมากระหว่างก่อนการเผา ระหว่างการเผาและภายหลังการเผา ความเร็วเฉลี่ยของลมมีค่าระหว่าง 0.2-1.3 เมตรต่อวินาที ทิศทางลมโดยส่วนใหญ่จะพัดไปทางทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากเกิดความผิดพลาดของเครื่องมือตรวจวัดอากาศ ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดทิศทางของกระแสลมระหว่างการเผาแปลงทดลองป่าสนเสื่อมโทรมแปลงที่ 1 (PF-1) ได้

Table 7 ลักษณะภูมิอากาศเฉลี่ยระหว่างการเผาแปลงทดลอง โดยเครื่องมือตรวจวัดสภาพภูมิอากาศเคลื่อนที่ (Kestrel 4500)

	plot	ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิอากาศ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศ (%)	ทิศทางลม
ป่าสนเสื่อม โทรม	PF-1	0.52	30.87	35.24	Na
	PF-2	1.32	28.17	52.83	SW
	PF-3	0.97	27.06	54.10	W, NW
ป่าสนผสมก่อ	O-PF-1	0.54	28.87	48.97	SW, W, NW
	O-PF-2	0.19	25.15	57.88	SW, W
	O-PF-3	0.33	27.50	54.29	S, SW

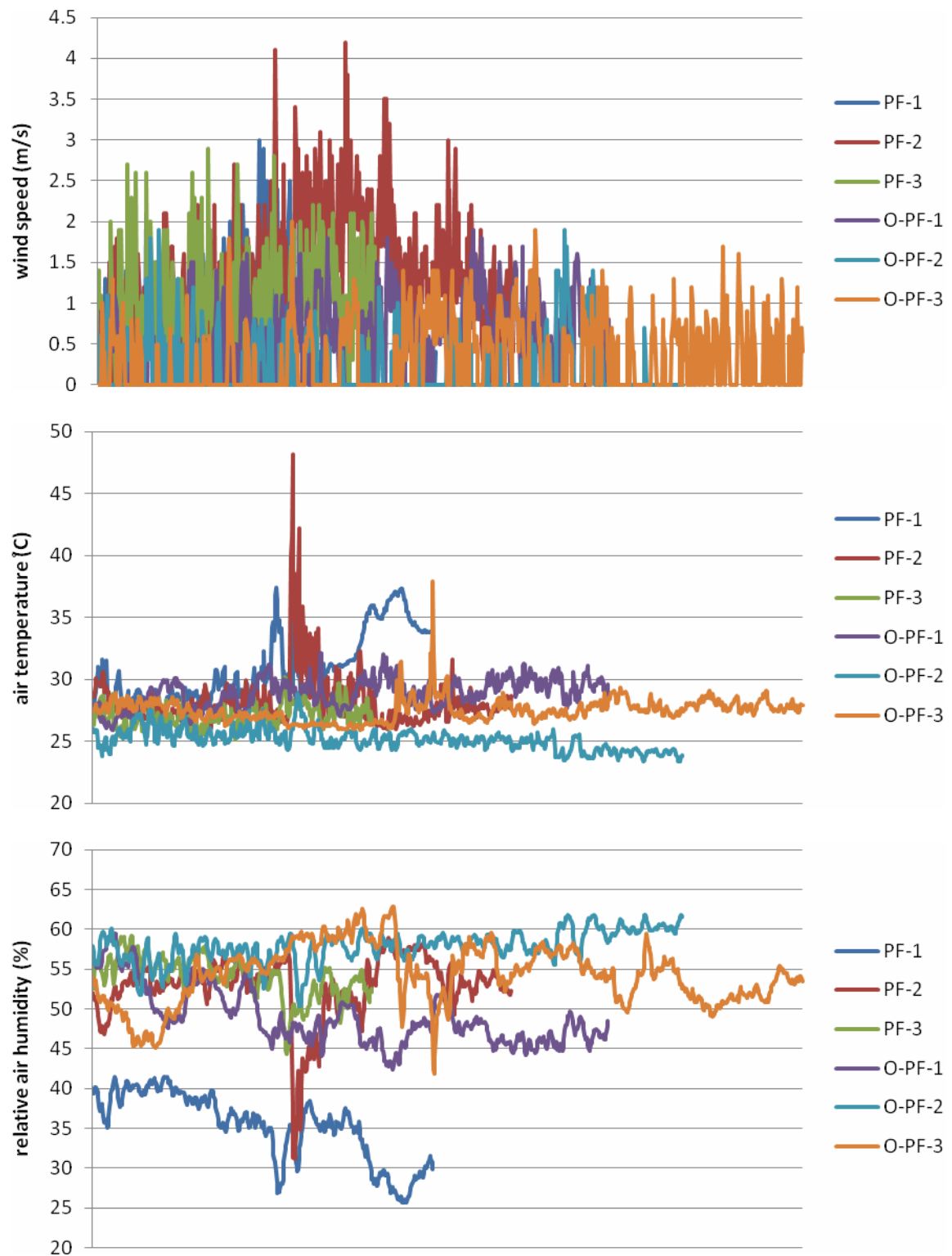


Figure 9 การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในระหว่างการเผาแปลงทดลอง

2.3 อุณหภูมิของไฟ

จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของไฟโดยเฉลี่ยที่ระดับ 20 ซม. จากพื้นดินโดยทั่วไปมีค่าสูงกว่าที่ระดับ 50 ซม. จากพื้นดินในทุกพื้นที่ โดยอุณหภูมิของไฟเฉลี่ยในป่าสนเสื่อมโทรมที่ระดับความสูงของไฟ 20 ซม. มีค่าเท่ากับ 586.5°C โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ตรวจวัดได้จากกล้อง digital infrared เท่ากับ 895 และ 240°C ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยในป่าสนผสมกึ่งที่ระดับความสูงของไฟ 20 ซม. มีค่าเท่ากับ 389.7°C โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ 679 และ 86°C ตามลำดับ (Table 8 และ Figure 10)

Table 8. อุณหภูมิของไฟที่ระดับความสูง 20 และ 50 ซม. เหนือพื้นดินในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมกึ่ง (O-PF) ค่า standard error of the mean แสดงในวงเล็บ

plot	ความสูงของจุดที่วัด (cm)	
	20 cm	50 cm
PF1	556.65	387.23
PF2	558.00	483.73
PF3	644.71	544.00
เฉลี่ย	586.46^a (29.13)	471.65^a (45.65)
ต่ำสุด-สูงสุด	240-895	43-802
O-PF1	463.79	387.48
O-PF2	280.35	174.91
O-PF3	424.93	341.27
เฉลี่ย	389.69^b (55.81)	301.22^a (64.55)
ต่ำสุด-สูงสุด	86-679	99-684

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^a, ^b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ของอุณหภูมิไฟ ระหว่างพื้นที่

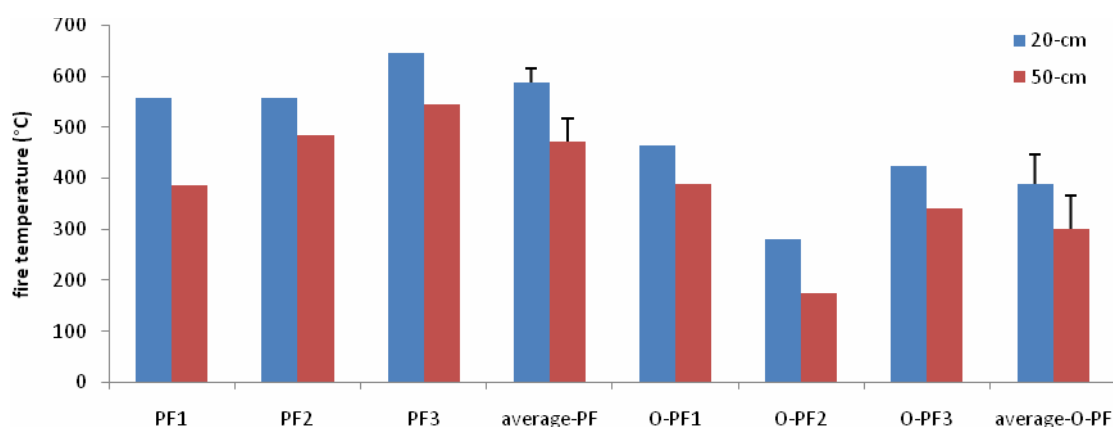


Figure 10 ลักษณะอุณหภูมิของไฟที่ระดับความสูง 20 และ 50 ซม. เหนือพื้นดิน

2.4 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ

โดยปกติอุณหภูมิของดินทั่วไปจะสูงในบริเวณที่อยู่ใกล้ผิวดินและมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดินที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการเผาพื้นที่พบว่าอุณหภูมิของดินมีการเปลี่ยนแปลงโดยที่อุณหภูมิของดินที่อยู่ใกล้ผิวดินจะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าในดินที่อยู่ลึกลงไป และพบว่าที่ระดับความลึกของดินตั้งแต่ 5 ซม. ลงไปนั้นอุณหภูมิของดินมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (**Figure 11**) โดยที่อุณหภูมิดินที่ระดับผิวดิน เพิ่มขึ้นเกิน 100°C ในทุกแปลง ซึ่งอุณหภูมิบริเวณผิวดินที่สูงเกิน $48-54^{\circ}\text{C}$ นี้มีผลกระทบต่อรากพืชในบริเวณนั้น (Hare, 1961) ในขณะที่อุณหภูมิที่สูงเกิน $49-63^{\circ}\text{C}$ ก็มีผลกระทบต่อสัตว์ขนาดเล็กเช่นไส้เดือนดิน แมลงขนาดเล็กในดิน (Lyon *et al.*, 1978) และนอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงเกิน 60°C ก็มีผลต่อเชื้อราในดิน (Dunn *et al.*, 1985) ซึ่งการตายของรากพืช สัตว์ขนาดเล็กในดินและเชื้อราต่างๆ นั้น ส่งผลกระทบต่อกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินและกระบวนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในดินในระยะยาวได้ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ระดับความลึก 2, 5 และ 10 ซม. นั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก และพบว่าดินที่ระดับความลึกต่างๆ นั้น ไม่มีอุณหภูมิสูงเกิน 30°C ในทุกแปลง แต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในดินที่สูงขึ้นและความยาวนานของอุณหภูมิที่สูงขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดินได้บ้าง ซึ่งอาจจะไปมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดินได้ แต่เนื่องจากข้อจำกัดในด้านของเวลาการบันทึกอุณหภูมิดิน ทำให้ไม่สามารถบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินตั้งแต่เริ่มเผาจนกระทั่งอุณหภูมิภายในดินกลับสู่ระดับเดิมก่อนเผาได้

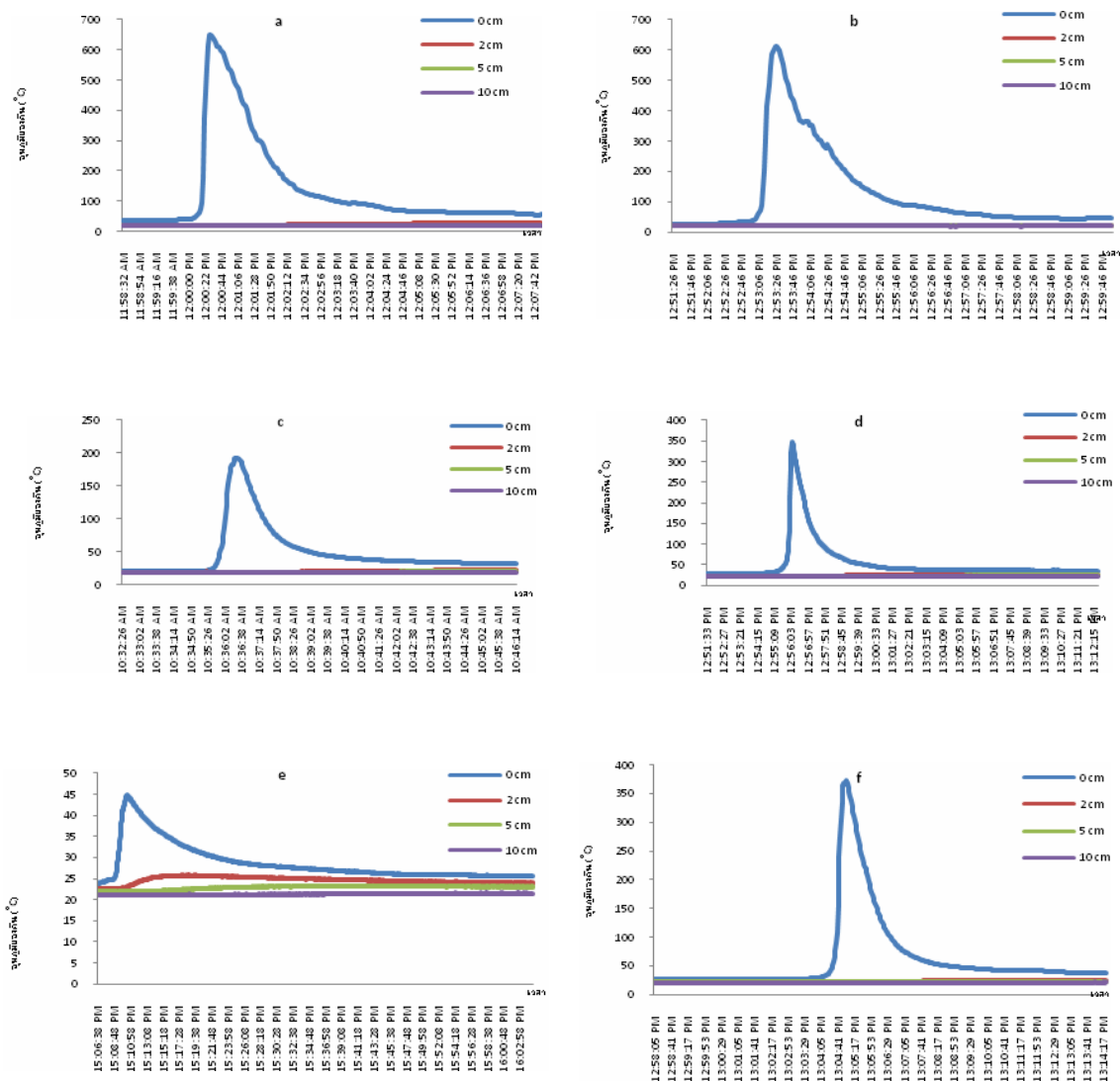


Figure 11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณผิวดิน , 2, 5, และ 10 ได้ดินระหว่างการเผา (a, b, c: ป่าสนเสื่อมโทรม, d, e, f: ป่าสนผสมก่อก)

3. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาและสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผา

เมื่อทำการทดลองเผา เชื้อเพลิงที่มีอยู่ในพื้นที่จะถูกเผาทำลายไปและเกิดสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผา ได้แก่ เถ้า (ash) ถ่านและผงถ่าน (charcoal) และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ (unburned material) โดยสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผาเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการเผาว่ามีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใด เมื่อนำปริมาณเชื้อเพลิงก่อนการเผาเปรียบด้วยปริมาณสิ่งที่หลงเหลือจากการเผา จะทำให้ทราบปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ไปจริง จากการศึกษาพบว่า การเผาในป่าสนเสื่อมโทรมทำให้เชื้อเพลิงในพื้นที่ถูกเผาไปทั้งสิ้นโดยเฉลี่ย 71.5 % (9 ต้นต่อเฮกเตอร์) ในขณะที่เชื้อเพลิงในป่าสนผสมก่อกได้สูญหายไปจากการเผาเพียง 28.5 % (3 ต้นต่อเฮกเตอร์) เท่านั้น (Table 9) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผาป่าสนเสื่อมโทรมพบว่าชี้ไถ่มีสัดส่วนที่สูงที่สุด (45%)

ในขณะที่ส่วนที่ไม่ไหม้ไฟมีสัดส่วนมากที่สุด (54%) เมื่อมีการเผาป่าสนผสมก่อก (Figure 12) สาเหตุสำคัญที่ทำให้เชื้อเพลิงในป่าสนผสมก่อกยังคงเหลือในพื้นที่อยู่มากภายหลังการเผาได้แก่ลักษณะโครงสร้างของเชื้อเพลิงที่นอกจากจะประกอบด้วยเศษใบไม้ที่ร่วงหล่นแล้ว ยังประกอบด้วยไม้พื้นล่างจำนวนมากที่มีความชื้นในเชื้อเพลิงที่สูงกว่าหญ้า ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีส่วนที่ไม่ไหม้ไฟจำนวนมาก และนอกจากนี้ความไม่ต่อเนื่องของเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลต่อการลุกลามของไฟ ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเผาในพื้นที่มีส่วนที่ไม่ไหม้ไฟหลงเหลืออยู่มาก

Table 9 ปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเผาทั้งหมด ปริมาณสิ่งที่หลงเหลือจากการเผา ปริมาณเชื้อเพลิงที่หายไป และ เปอร์เซนต์เชื้อเพลิงที่หายไปในการแปลงตัวอย่างของป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ค่า standard error of the mean แสดงในวงเล็บ

แปลง ตัวอย่าง	ปริมาณ เชื้อเพลิงก่อน เผา (ตัน/แฮกแตร์)	สิ่งที่หลงเหลือจากการเผา (ตัน/แฮกแตร์)			ปริมาณ เชื้อเพลิงที่ถูก เผา (ตัน/แฮกแตร์)	เปอร์เซนต์ เชื้อเพลิงที่ หายไป
		ซี้เถ้า	ถ่าน	ส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ		
PF-1	13.76	1.68	0.87	0.69	10.52	76.44
PF-2	13.69	1.61	0.94	1.90	9.25	67.52
PF-3	11.29	1.72	1.16	0.43	7.98	70.68
เฉลี่ย PF	12.92	1.67 ^a (0.03)	0.99 ^a (0.09)	1.01 ^a (0.45)	9.25 ^a (0.73)	71.54 ^a (2.61)
O-PF-1	11.66	1.73	1.42	3.19	5.33	45.72
O-PF-2	6.51	0.85	1.51	3.03	1.12	17.25
O-PF-3	7.98	0.91	1.79	3.48	1.80	22.62
เฉลี่ย O-PF	8.72	1.16 ^a (0.28)	1.57 ^b (0.11)	3.23 ^b (0.13)	2.75 ^b (1.30)	28.53 ^b (8.73)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ปริมาณสิ่งที่หลงเหลือจากการเผาระหว่างพื้นที่



Figure 12 สัดส่วนของส่วนที่หลงเหลืออยู่ภายหลังการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

4. ลักษณะพฤติกรรมไฟ

ลักษณะของพฤติกรรมไฟในแต่ละทิศทางของการไหม้นั้นมีความแตกต่างกันไป (**Table appendix 1**) โดยไฟจะมีอัตราการลุกลาม ความสูงเปลวไฟและอัตราการลุกลามที่สูงในทิศทางที่ตามกระแสลม (head-fire direction) ในขณะที่พฤติกรรมของไฟจะต่ำในทิศทางที่ไฟไหม้สวนทางกับทิศทางลม (back-fire direction) นอกจากนี้ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของเชื้อเพลิงก็มีอิทธิพลสำคัญต่อลักษณะพฤติกรรมไฟด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะประเภทเชื้อเพลิง ปริมาณเชื้อเพลิง และความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง นอกจากนี้ลักษณะของพฤติกรรมของไฟในแต่ละทิศทางนั้นๆ ก็ยังมีความผันแปรแตกต่างกันไปตามระยะทางที่เผาไหม้ด้วยเช่นกัน โดยที่ลักษณะพฤติกรรมของไฟในบางแกนของการเผาไหม้ในช่วงแรกจะมีลักษณะที่ไม่สูงและจะค่อยๆ พัฒนาอัตราการลุกลาม ความสูงของเปลวไฟและความรุนแรงมากขึ้น ในขณะที่บางแกนไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน แต่จะมีความผันแปรขึ้น-ลงตลอดช่วงเวลาของการเผา ดังแสดงใน **Figure 13 และ 14** ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะพฤติกรรมของไฟนั้นมีความผันแปรอยู่ตลอดเวลาในระหว่างช่วงการเผา

Figure 15 แสดงแบบจำลองลักษณะการลุกลามของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก โดยมีการประยุกต์มาจากการทำเส้นชั้นระดับความสูง (contour line) ในการทำแผนที่ ซึ่งแบบจำลองการลุกลามของไฟในป่าสนมีการแบ่งเส้นชั้นระยะเวลาการลุกลามในทุก 1 นาที ในขณะที่แบบจำลองการลุกลามของไฟในป่าสนผสมก่อกมีการแบ่งเส้นชั้นระยะเวลาการลุกลามในทุก 5 นาที เนื่องจากอัตราเร็วของการลุกลามของป่าทั้ง 2 ประเภทนั้นมีอัตราเร็วที่ต่างกันมาก จากแบบจำลองที่ได้จะพบว่ายิ่งความห่างระหว่างเส้นชั้นระยะเวลามีมากหมายความว่าบริเวณดังกล่าวเป็นจุดที่ไฟมีอัตราการลุกลามที่สูง ในขณะที่บริเวณที่เส้นชั้นระยะเวลาที่แคบหมายถึงบริเวณที่ไฟมีอัตราการลุกลามที่ต่ำมากหรือเป็นบริเวณที่ไฟได้ดับลงไปแล้ว ความแตกต่างของอัตราการลุกลามในแต่ละแกนการเผามีสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ 1) ลักษณะของลมโดยเฉพาะทิศทางของลม และ 2) ลักษณะของเชื้อเพลิงโดยเฉพาะประเภทและความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง ดังนั้นผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ในแต่ละบริเวณนั้นก็จะมีความผันแปรไปได้อย่างมาก เช่นกัน เนื่องจากอัตราการลุกลามที่ต่างกันไปในนั้นมีนัยต่อผลกระทบในระบบนิเวศหลายด้าน เช่นปริมาณความร้อนที่แผ่รังสีสู่ดิน ความยาวนานของความร้อนที่แผ่รังสีสู่ดิน

(resident time of heating) การตายของลูกไม้กล้าไม้ ปริมาณอินทรีย์วัตถุบริเวณหน้าดินและในดินชั้นบนที่ได้รับผลกระทบฯ เป็นต้น (DeBano *et al.*, 1998; Carter and Foster, 2004; Certini, 2005; Khanna and Raison, 2006; Wanthongchai *et al.*, 2008)

จากลักษณะพฤติกรรมไฟที่มีความผันแปรนั้น การอธิบายลักษณะพฤติกรรมของไฟในภาพรวมแต่ละพื้นที่จึงต้องอาศัยค่าเฉลี่ยของลักษณะพฤติกรรมไฟในแต่ละแปลงที่ทำการเผา จากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมไฟโดยเฉลี่ยในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อดโดยภาพรวมมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน (**Table 10**) โดยอัตราการลุกลามของไฟในป่าสนโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.89 เมตร/นาที่ ในขณะที่อัตราการลุกลามในป่าสนผสมก่อดนั้นมีค่าเพียง 0.55 เมตร/นาที่ เท่านั้น ความรุนแรงของไฟซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากไฟของการเผาไหม้เชื้อเพลิงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินก็พบว่าไฟที่เกิดขึ้นในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อดมีความรุนแรงเฉลี่ยเท่ากับ 362.62 และ 26.28 kW/m เมื่อพิจารณาเฉพาะลักษณะพฤติกรรมไฟด้านหัวไฟ (Head fire behavior) ซึ่งเป็นด้านที่มีอัตราการลุกลามและความรุนแรงของไฟสูงที่สุด (**Figure 16**) พบว่าทั้งอัตราการลุกลาม ความสูงเปลวไฟ ความยาวเปลวไฟและความรุนแรงของไฟ บริเวณด้านหัวไฟของการเผาป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าสูงกว่าการเผาในป่าสนผสมก่อดอย่างมีนัยสำคัญ

Table 10. ค่าเฉลี่ยลักษณะพฤติกรรมไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อด (O-PF) ค่า standard error of the mean แสดงในวงเล็บ

พฤติกรรมไฟป่า	ประเภทป่า	
	PF	O-PF
Rate of spread (m/min)	1.89 ^a (0.45)	0.55 ^b (0.10)
Flame height (m)	1.29 ^a (0.27)	0.39 ^b (0.22)
Flame length (m)	1.21 ^a (0.11)	0.36 ^b (0.10)
Fireline intensity (kW/m)	362.62 ^a (30.87)	26.28 ^b (12.18)
Heat release per unit area (kJ/m)	288.6 ^a (22.88)	85.80 ^b (40.71)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^a, ^b แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ของลักษณะพฤติกรรมไฟ

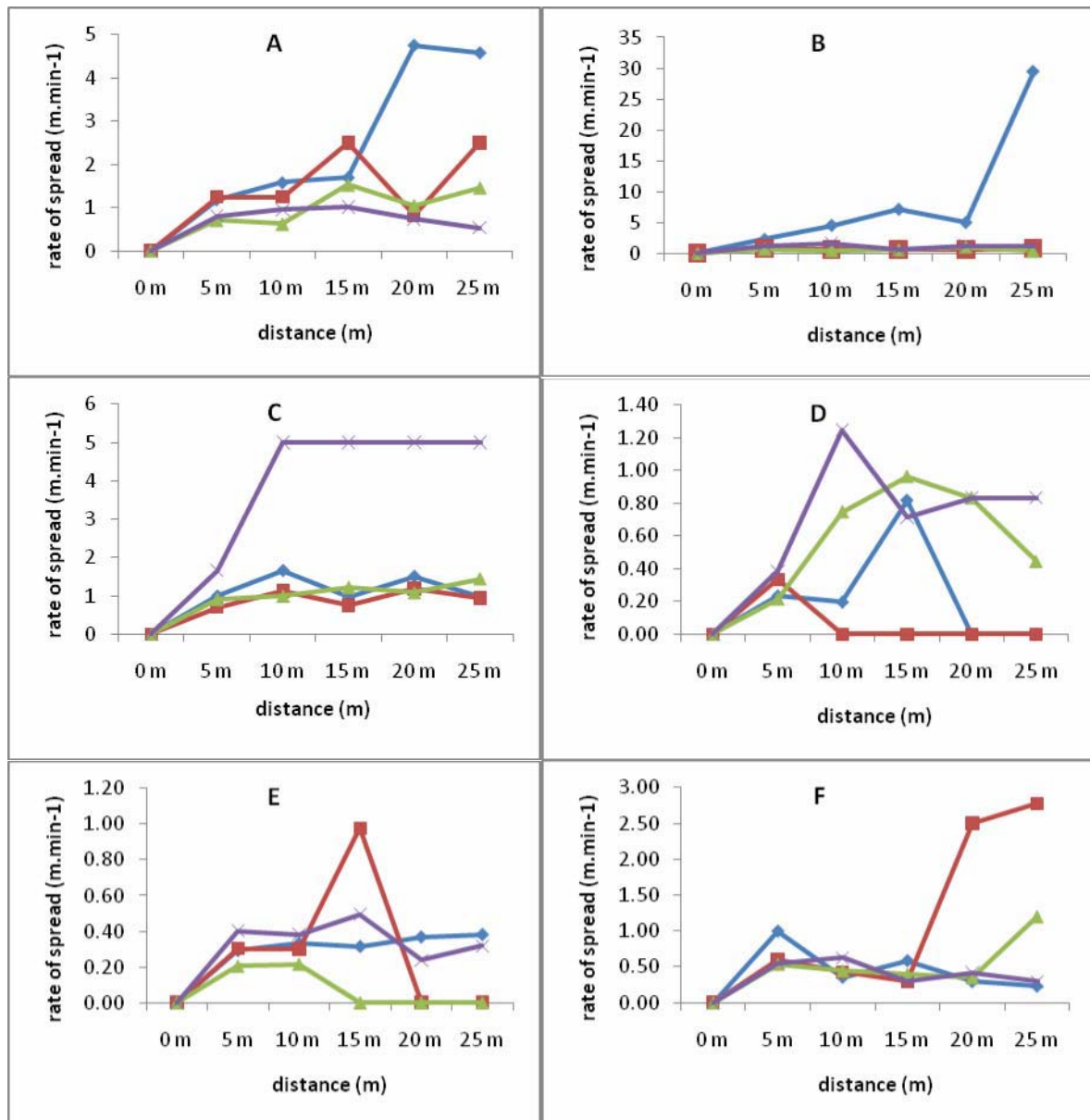


Figure 13 อัตราการลุกลามของไฟในแต่ละแนวการเผาไหม้ทั้ง 4 แนว ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ป่าสนเสื่อมโทรม (A, B, C) ป่าสนผสมก่อก (D, E, F)

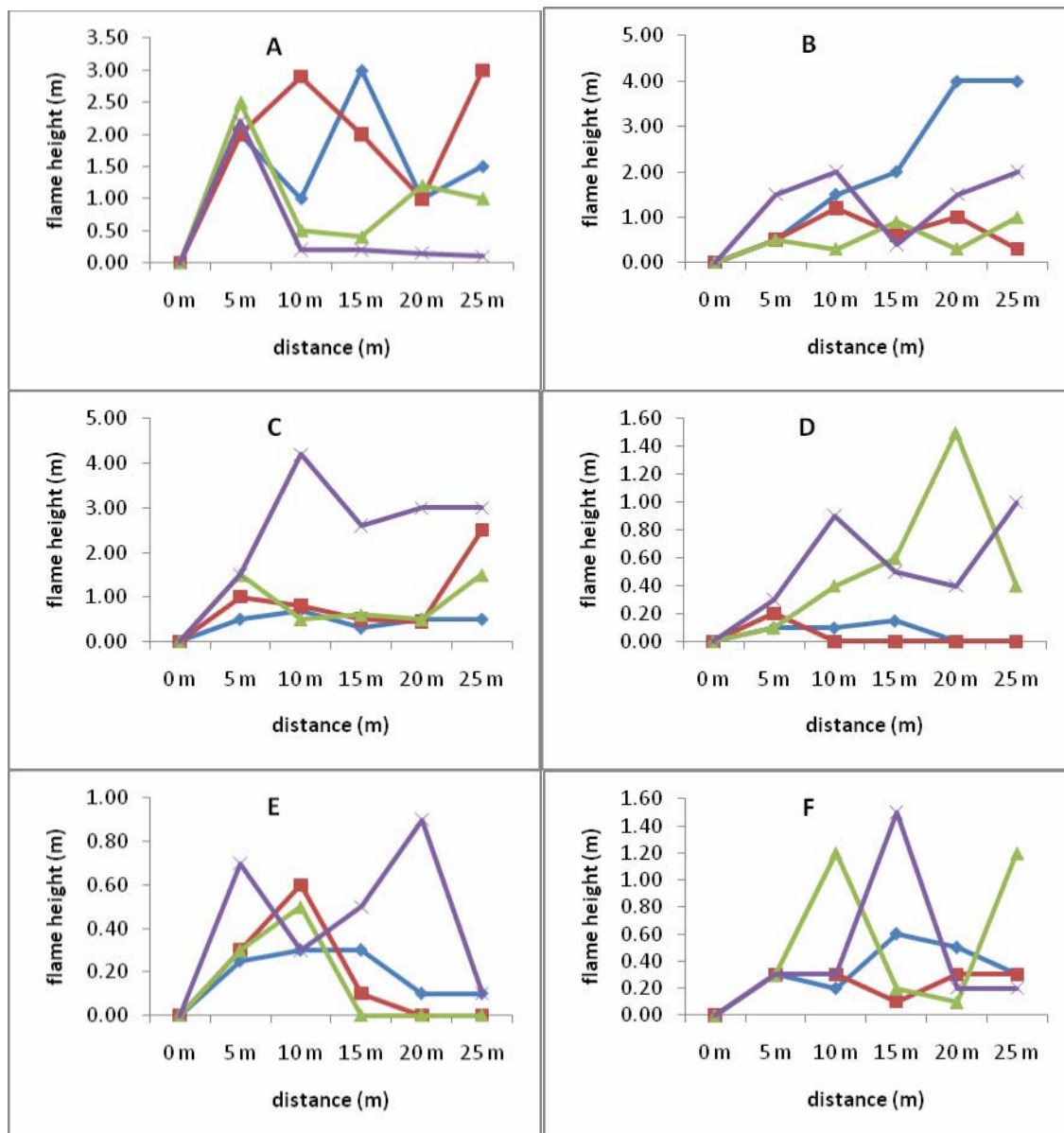


Figure 14 ความสูงของเปลวไฟในแต่ละแนวการเผาไหม้ทั้ง 4 แนว ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ป่าสนเสื่อมโทรม (A, B, C) ป่าสนผสมก้อ (D, E, F)

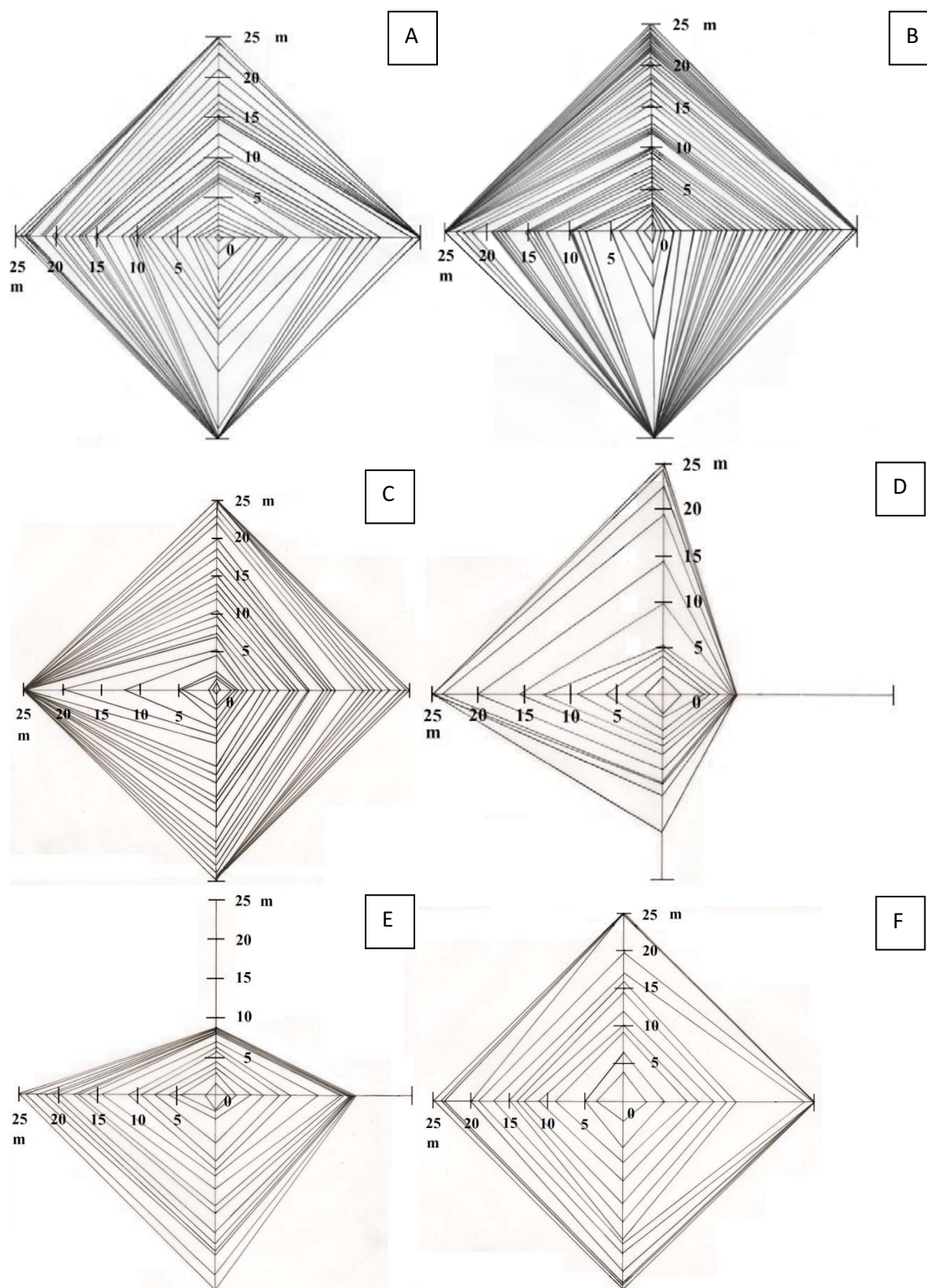


Figure 15 แบบจำลองการลุกลามของไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (A, B, C) และป่าสนผสมก่อก (D, E, F) เส้นชั้นระยะเวลาของป่าสนเสื่อมโทรมเท่ากับ 1 นาที เส้นชั้นระยะเวลาของป่าสนผสมก่อกเท่ากับ 5 นาที

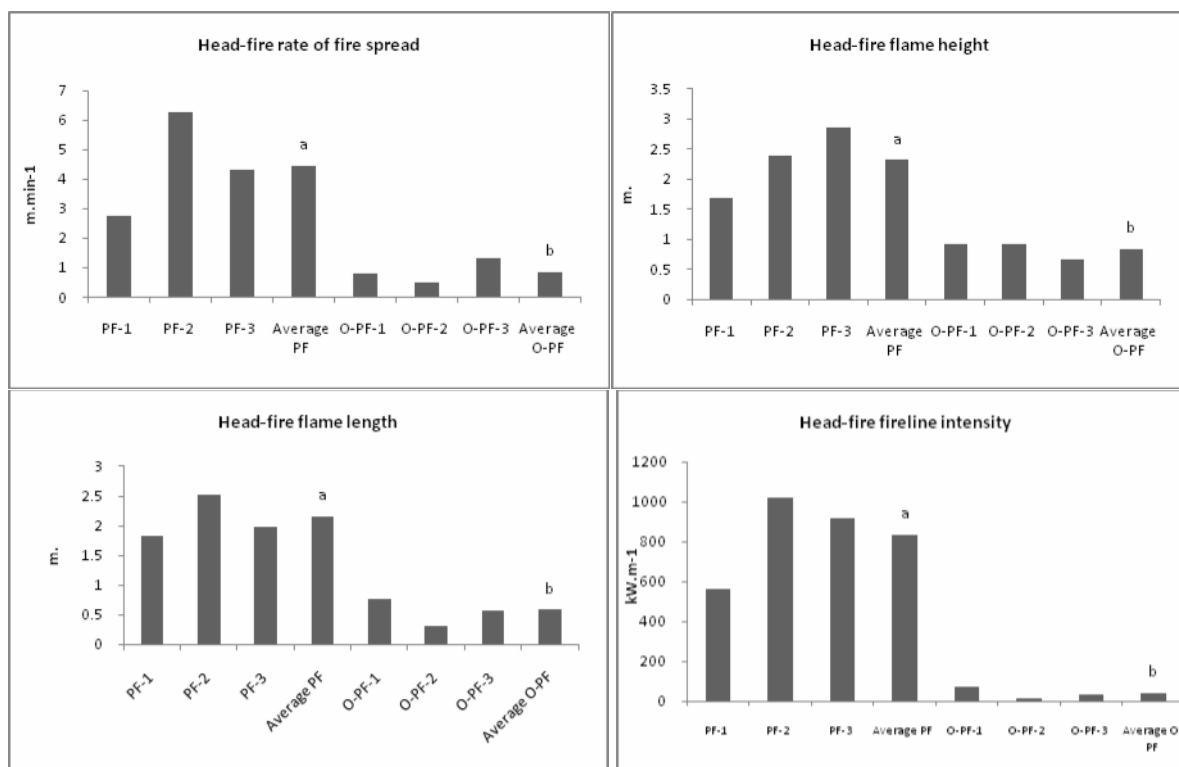


Figure 16. ลักษณะพฤติกรรมไฟด้านหัวไฟ (head-fire burning direction) ของป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ของลักษณะพฤติกรรมไฟด้านหัวไฟ ระหว่างพื้นที่

4.1 อัตราการลามและรูปแบบการเผาไหม้ในแต่ละทิศทาง

ผลการศึกษาอัตราการลามของไฟป่าในป่าสนเสื่อมโทรม มีอัตราการลามด้านหัวไฟเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 เมตร/นาที อัตราการลามด้านหางไฟเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 เมตร/นาที และอัตราการลามด้านปีกไฟเฉลี่ย 1.15 เท่ากับ เมตร/นาที และอัตราการลามเฉลี่ยรวม เท่ากับ 1.89 เมตร/นาที สำหรับในป่าสนผสมก่อกมีอัตราการลามด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.88 เมตร/นาที อัตราการลามด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.33 เมตร/นาที และอัตราการลามด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.49 เมตร/นาที และอัตราการลามเฉลี่ยรวม เท่ากับ 0.55 เมตร/นาที ดังแสดงใน **Table 11** จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่าอัตราการลามของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่ามากกว่าอัตราการลามในป่าสนผสมก่อก ในทุกด้าน เนื่องมาจากปัจจัยด้านปริมาณเชื้อเพลิง ซึ่งในพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมมีปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่า และปัจจัยด้านภูมิประเทศ ซึ่งก็คือ ความลาดชันของพื้นที่ โดยพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมมีความลาดชันมากกว่าพื้นที่ป่าสนผสมก่อกซึ่งมีความลาดชันน้อย หรือค่อนข้างราบในบางพื้นที่ และเมื่อเปรียบเทียบการศึกษาพฤติกรรมไฟป่าของคณิง (2539) ในป่าชนิดต่างๆ ที่ภูกระดึง จ.เลย โดยนำผลการศึกษาในป่าสนและป่าดิบเขามาเปรียบเทียบกับป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกในการศึกษานี้พบว่า อัตราการลามของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าสูงกว่าช่วงอัตราการลามของไฟในป่าสนเล็กน้อย คือ มีค่า 1.5 -1.8 เมตร/นาที ในขณะที่อัตราการลามของไฟในป่าสนผสมก่อกอยู่ในช่วงเดียวกับป่าดิบเขา คือ มีค่า 0.3 – 1.0 เมตร/นาที

Table 11 อัตราการลามในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	อัตราการลาม (เมตร/นาที)					
		หัวไฟ	หางไฟ	ปีกไฟ 1	ปีกไฟ 2	เฉลี่ยปีกไฟ	เฉลี่ยรวม
PF	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
		4.46^a	0.80^a	1.21^a	1.09^a	1.15^a	1.89^a
	เฉลี่ย	(1.02)	(0.09)	(0.27)	(0.19)	(0.19)	(0.17)
O-PF	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
		0.88^b	0.33^b	0.44^b	0.53^a	0.49^b	0.55^b
	เฉลี่ย	(0.23)	(0.07)	(0.05)	(0.08)	(0.07)	(0.10)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ ในอัตราการลามแต่ละด้าน

4.2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เป็นค่าของพลังงานที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ติดต่อกัน (heat of combustion หรือ heat value) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งวัดโดย bomb calorimeter แต่ในธรรมชาติการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีความร้อนบางอย่างที่สูญเสียไป เช่น การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี การระเหยของความชื้น เป็นต้น ดังนั้น ค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์เมื่อหักออกจากราคาความร้อนที่สูญเสียไป จะได้ปริมาณความร้อนสุทธิ (heat yield) ในการศึกษาครั้งนี้ เชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ 4,218.98 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณความร้อนสุทธิ เท่ากับ 2862.11 แคลอรี/กรัม และเชื้อเพลิงในป่าสนผสมก่อกมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเฉลี่ย เท่ากับ 4,287.60 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณความร้อนสุทธิ เท่ากับ 2930.73 แคลอรี/กรัม โดยมีเชื้อเพลิงประเภทกิ่งไม้ ที่มีค่าปริมาณความร้อนและค่าปริมาณสุทธิ สูงที่สุด เนื่องมาจากกิ่งไม้ที่เก็บตัวอย่างได้ มีกิ่งไม้สนรวมอยู่ด้วย ซึ่งไม้สนมีสารประกอบน้ำมัน หรือ resin สูง ทำให้ค่าปริมาณความร้อนและค่าปริมาณความร้อนสุทธิมีค่าสูงไปด้วย ดังแสดงใน **Table 12**

จากการศึกษาของมณูศักดิ์ (2530) เชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง ที่สระแกราช มีปริมาณความร้อน 3,865.57 แคลอรี/กรัม การศึกษาของบุญส่ง (2541) ที่ห้วยขาแข้ง เชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง มีปริมาณความร้อน 4,457.23 แคลอรี/กรัม ป่าเบญจพรรณ 4,220.98 แคลอรีต่อกรัม การศึกษาของฟองแก้ว (2549) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงในสวนป่ายูคาลิปตัส โดยศึกษาซากพืชที่เป็นใบยูคาลิปตัส คามาลดูละติน และหญ้าเท่ากับ 4,235 แคลอรีต่อกรัม และมีปริมาณความร้อนสุทธิ เท่ากับ 2,806.93 แคลอรีต่อกรัม ในสวนป่ากระถิ่นเทพา ศึกษาซากพืช ที่เป็นใบและกิ่งกระถิ่นเทพา และหญ้า มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เท่ากับ 4,480 แคลอรี/กรัม ปริมาณความร้อนสุทธิ เท่ากับ 3,092.73 แคลอรี/กรัม การศึกษาของ Wiriya (2009) ทำการศึกษาในป่าเต็งรัง ที่ห้วยขาแข้ง โดยทำการศึกษาค่าความร้อนแยกตามชนิดพืช ที่เป็นเชื้อเพลิงเด่น 11 ชนิด ได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เฉลี่ย เท่ากับ 4,505.85 แคลอรี/กรัม เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้นี้กับผลการศึกษาในเชื้อเพลิงอื่นๆ จะพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และปริมาณความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงในชนิดป่าและเชื้อเพลิงต่างๆ มีค่าที่ได้เป็นไปในลักษณะเดียวกัน

Table 12 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและค่าปริมาณความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อ (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	ชนิดเชื้อเพลิง	ค่าความร้อนของ เชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)	ปริมาณความร้อนสุทธิ ของเชื้อเพลิง (แคลอรี/กรัม)
PF	หญ้า	4,128.61	2861.44
	ไม้พุ่ม	4,240.48	2703.09
	ไม้ล้มลุก	4,216.84	2679.45
	กล้าไม้	4,222.21	2684.81
	ซากพืช	4,075.17	2944.23
	กิ่งไม้	4,430.60	3299.66
	เฉลี่ย	4,218.98	2862.11
O-PF	หญ้า	4,085.39	2818.23
	ไม้พุ่ม	4,228.35	2690.96
	ไม้ล้มลุก	4,165.58	2628.19
	กล้าไม้	4,319.33	2781.94
	ซากพืช	4,038.17	2907.23
	กิ่งไม้	4,888.80	3757.86
	เฉลี่ย	4,287.60	2930.73

4.3 ความรุนแรงของไฟ

ผลการศึกษาความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรม มีความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟเฉลี่ยเท่ากับ 836.40 กิโลวัตต์/เมตร ความรุนแรงของไฟด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 157.88 กิโลวัตต์/เมตร และความรุนแรงของไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 228.10 กิโลวัตต์/เมตร และความรุนแรงของไฟเฉลี่ยรวม เท่ากับ 362.62 กิโลวัตต์/เมตร สำหรับในป่าสนผสมก่อกมีความรุนแรงของไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 40.16 กิโลวัตต์/เมตร ความรุนแรงของไฟด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 15.58 กิโลวัตต์/เมตร และความรุนแรงของไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 24.69 กิโลวัตต์/เมตรและความรุนแรงของไฟเฉลี่ยรวม เท่ากับ 26.28 กิโลวัตต์/เมตร ดังแสดงใน **Table 13** จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่าค่าความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมจะมีค่าสูงกว่าค่าความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมก่อก สอดคล้องกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้ทำการศึกษาซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมไฟซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงที่สูง จะทำให้ไฟป่ามีความรุนแรงมาก และ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของพฤติกรรมไฟต่อวิธีการควบคุมไฟป่าของ Andrew (1980) จะพบว่าความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงปานกลาง โดยพนักงานดับไฟไม่สามารถสกัดกั้นที่หัวไฟโดยใช้เครื่องมือและแนวกันไฟธรรมดาได้ การควบคุมโดยใช้รถแทรกเตอร์ เครื่องฉีดน้ำ และสารเคมีโปรยจากเครื่องบิน สำหรับความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมก่อกมีความรุนแรงต่ำ โดยพนักงานดับไฟสามารถดับไฟที่หัวไฟโดยใช้เครื่องมือและแนวกันไฟธรรมดาได้ ในขณะที่การศึกษากการจัดระดับชั้นอันตรายของไฟป่า ในอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย ของ ศิริ (2539) จะพบว่า ในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงของไฟในระดับอันตราย สูงมากโดยใช้วิธีดับทางตรงโดยมุ่งสกัดที่แนวหัวไฟก่อนโดยใช้ slip on tank หรือรถดับเพลิงหรือใช้การดับทางอ้อม โดยทำแนวกันไฟดักแนวหัวไฟซึ่งแม้ใช้วิธีทางอ้อมก็ลำบากและใช้เวลามาก สำหรับป่าสนผสมก่อกมีความรุนแรงของไฟ ในระดับอันตรายต่ำ โดยใช้วิธีดับทางตรงแบบดับทันทีด้วยการใช้ที่ดับไฟและถังฉีดน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบการศึกษพฤติกรรมไฟป่าของคณิงนิจ (2539) ในป่าชนิดต่าง ๆ ที่ภูกระดึง จ.เลย โดยนำผลการศึกษาในป่าสนและป่าดิบเขามาเปรียบเทียบกับป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกในการศึกษานี้พบว่า ความรุนแรงของไฟที่ทำการศึกษาได้ มีความรุนแรงของไฟในป่าสนสูงกว่าในป่าสนเสื่อมโทรม คือสูงถึง 3,940 กิโลวัตต์/เมตร ในขณะที่ความรุนแรงของไฟในป่าดิบเขา มีค่า 35.59 กิโลวัตต์/เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าในป่าสนผสมก่อกไม่มากนัก

Table 13 ค่าความรุนแรงไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	ความรุนแรงไฟ (กิโลวัตต์/เมตร)					
		หัวไฟ	หางไฟ	ปีกไฟ 1	ปีกไฟ 2	เฉลี่ยปีกไฟ	เฉลี่ยรวม
PF	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
		836.40^a	157.88^a	241.26^a	214.94^a	228.10^a	362.62^a
	เฉลี่ย	(139.17)	(27.97)	(64.57)	(50.41)	(50.93)	(30.87)
O-PF	1	71.36	29.44	42.81	57.09	49.95	50.17
	2	14.92	5.91	9.57	10.42	10.00	10.21
	3	34.21	11.40	12.96	15.29	14.12	18.46
		40.16^b	15.58^b	21.78^b	27.60^b	24.69^b	26.28^b
	เฉลี่ย	(16.56)	(7.11)	(10.56)	(14.81)	(12.69)	(12.18)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ในความรุนแรงของไฟแต่ละด้าน

4.4 ความสูงเปลวไฟ และความยาวเปลวไฟ

ผลการศึกษาความสูงเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรม มีความสูงเปลวไฟ เมตร ด้านหัวไฟเฉลี่ยเท่ากับ 2.31 เมตร ความสูงเปลวไฟด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.82 เมตร และความสูงเปลวไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 1.01 เมตร และความสูงเปลวไฟเฉลี่ยรวม เท่ากับ 1.29 เมตร ความสูงเปลวไฟค่าต่ำที่สุดเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.23 เมตร ความสูงเปลวไฟค่าสูงสุดที่เฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 3.73 เมตร สำหรับในป่าสนผสมก่อกมีความสูงเปลวไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.40 เมตร ความสูงเปลวไฟด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.37 เมตร และความสูงเปลวไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.40 เมตร และความสูงเปลวไฟเฉลี่ยรวม เท่ากับ 0.39 เมตร ความสูงเปลวไฟค่าต่ำที่สุดเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.10 เมตร ความสูงเปลวไฟค่าสูงที่สุดเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 1.30 เมตร ดังแสดงใน **Table 14** จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรม มีค่ามากกว่าค่าความสูงไฟในป่าสนผสมก่อก ในทุกๆ ด้านของการลุกลามในการลุกลามของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีความสูงไฟที่แตกต่างกันมาก คือตั้งแต่ 0.1 – 4.2 เมตร และในป่าสนผสมก่อกตั้งแต่ 0.1 – 1.50 เมตร เป็นผลมาจากความสูงของเชื้อเพลิงที่กระจายอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วพื้นที่ รวมไปถึงการเข้าไปเก็บข้อมูลหรือติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูล และการใช้ประโยชน์พื้นที่ของสัตว์ป่า เช่น ช้าง และหมูป่า เป็นต้น ทำให้เชื้อเพลิงถูกเหยียบย่ำไป นอกจากนี้ความเร็วของลมในขณะทำการเผา ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่มีผลทำให้ความสูงของเปลวไฟและอัตราการลามแตกต่างกันไปด้วย

Table 14 ความสูงเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

ชนิด ป่า	แปลง ที่	ความสูงเปลวไฟ (เมตร)							
		ทาง หัวไฟ	ไฟ	ปีกไฟ 1	ปีกไฟ 2	เฉลี่ยปีกไฟ	เฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
PF	1	1.70	0.57	2.18	1.12	1.65	1.39	0.10	3.00
	2	2.40	0.83	0.72	0.60	0.66	1.14	0.30	4.00
	3	2.84	1.05	0.50	0.92	0.71	1.33	0.30	4.20
		2.31^a	0.82^a	1.13^a	0.88^a	1.01^a	1.29^a	0.23^a	3.73^a
	เฉลี่ย	(0.33)	(0.14)	(0.53)	(0.15)	(0.32)	(0.08)	(0.07)	(0.37)
O-PF	1	0.62	0.20	0.13	0.60	0.37	0.39	0.10	1.50
	2	0.33	0.40	0.21	0.50	0.36	0.36	0.10	0.90
	3	0.26	0.50	0.38	0.60	0.49	0.44	0.10	1.50
		0.40^b	0.37^a	0.24^a	0.57^a	0.40^a	0.39^b	0.10^a	1.30^b
	เฉลี่ย	(0.11)	(0.09)	(0.07)	(0.03)	(0.04)	(0.02)	(0.00)	(0.20)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ในความสูงของเปลวไฟแต่ละด้าน

ผลการศึกษาความยาวเปลวไฟ โดยการคำนวณจากสูตรคณิตศาสตร์ของ Byram (1959) ในป่าสนเสื่อมโทรม มีความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย เมตร เท่ากับ 1.79 เมตร ความยาวเปลวไฟด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.81 เมตร และความยาวเปลวไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.34 เมตร และความยาวเปลวไฟเฉลี่ยรวม เท่ากับ 1.21 เมตร สำหรับในป่าสนผสมก่อกมีความยาวเปลวไฟด้านหัวไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.45 เมตร ความยาวเปลวไฟด้านหางไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.28 เมตร และความยาวเปลวไฟด้านปีกไฟเฉลี่ย เท่ากับ 0.34 เมตร และความยาวเปลวไฟเฉลี่ยรวม เท่ากับ 0.36 เมตร ดังแสดงใน **Table 15** จากผลการศึกษาที่ได้ จะพบว่าในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าความยาวเปลวไฟมากกว่าป่าสนผสมก่อกในทุกทิศทางการลามของไฟ โดย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของพฤติกรรมไฟต่อวิธีการควบคุมไฟป่าของ Andrew (1980) จะพบว่าความยาวเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรม จัดอยู่ในระดับความรุนแรงปานกลาง และความยาวเปลวไฟในป่าสนผสมก่อกจัดอยู่ในระดับความรุนแรงต่ำ สอดคล้องกับค่าความรุนแรงของไฟที่ทำการศึกษได้ และเมื่อเปรียบเทียบการศึกษากฎพฤติกรรมไฟป่าของคีนิงนิจ (2539) ในป่าชนิดต่าง ๆ ที่ภูกระดึง จ.เลย โดยนำผลการศึกษาในป่าสนและป่าดิบเขามาเปรียบเทียบกับป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกในการศึกษานี้พบว่า ความยาวเปลวไฟที่ทำการศึกษได้อยู่ในช่วงเดียวกัน คือ ความยาวเปลวไฟในป่าสน เท่ากับ 1.0 – 6.0 เมตร ความยาวเปลวไฟในป่าดิบเขา เท่ากับ 0.3 – 0.5 เมตร

Table 15 ความยาวเปลวไฟในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์

ชนิดป่า	แปลงที่	ความยาวเปลวไฟ (เมตร)					
		หัวไฟ	หางไฟ	ปีกไฟ 1	ปีกไฟ 2	เฉลี่ยปีกไฟ	เฉลี่ยรวม
PF	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
		1.79^a	0.81^a	0.99^a	0.94^a	0.96^a	1.21^a
	เฉลี่ย	(0.14)	(0.07)	(0.13)	(0.10)	(0.11)	(0.04)
O-PF	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
		0.45^b	0.28^b	0.32^b	0.35^b	0.34^b	0.36^b
	เฉลี่ย	(0.08)	(0.06)	(0.07)	(0.08)	(0.08)	(0.07)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ ในความยาวของเปลวไฟแต่ละด้าน

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาทางด้านพฤติกรรมของไฟในป่าธรรมชาติและสวนป่าในประเทศไทยที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว (Table 16) จะพบว่าลักษณะพฤติกรรมไฟทั้งในด้านของอัตราการลุกลาม ความสูงของเปลวไฟและความรุนแรงของไฟในแต่ละพื้นที่ที่มีความผันแปรแตกต่างกันไปแม้แต่ในพื้นที่เดียวกันก็ตาม ซึ่งความรุนแรงของไฟในป่าสนจัดเป็นไฟที่มีความรุนแรงปานกลางในขณะที่ความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมก่อกนั้นมีความรุนแรงต่ำตามลักษณะการจำแนกความรุนแรงของไฟตามเกณฑ์ของ Cheney (1994) สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรมประกอบด้วยหญ้าเป็นส่วนใหญ่ มีความแห้งที่มากกว่า มีความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า จึงส่งผลต่ออัตราการลุกลามที่มากกว่า ความสูงและความยาวเปลวไฟที่สูงกว่าและความรุนแรงของไฟที่มากกว่า (Wanthongchai, 2008) ดังนั้นในการวางแผนการควบคุมไฟในป่าสนเสื่อมโทรมนั้นจึงต้องมีการเตรียมอุปกรณ์การควบคุมไฟป่า และกำลังคนที่มากกว่าการควบคุมไฟในป่าสนผสมก่อก

Table 16 การศึกษาพฤติกรรมของไฟฟ้าในประเทศไทย

แหล่ง เชื้อเพลิง	สถานที่	อัตรา ไหล (m/min)	ความ รุนแรงไฟ (kW/m)	ความยาว เปลวไฟ (m)	ผู้ทำการศึกษา
	ดอยอ่าง				
ไร่ร้าง	ข้าง	400.2	38627.83	10	ศิริรัตน์ (2528)
	ดอยอ่าง				Kaitpraneet and Thaiutsa
ไร่ร้าง	ข้าง	7.8	38753.613	9.89	(1987)
เต็งรัง	ภูกระตัง	0.3-1	57.77	0.2-0.7	คณิงนิจ (2539)
เบญจพรรณ	ภูกระตัง	0.6-1	102.09	0.3-1	คณิงนิจ (2539)
ดิบแล้ง	ภูกระตัง	0.3-1	35.59	0.3-0.5	คณิงนิจ (2539)
ดิบเขา	ภูกระตัง	0.3-1	35.59	0.3-0.5	คณิงนิจ (2539)
ป่าสน	ภูกระตัง	1.5-1.8	3940	2.42	คณิงนิจ (2539)
เต็งรัง	สะแกราช	4.46	194.13	0.7-1.1	มณูศักดิ์ (2530)
เต็งรัง	สะแกราช	1.6-4.3	34-363	0.54	มณูศักดิ์ (2530)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	-	98.11	-	Bhumpakphan (1997)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	-	134.95	-	Bhumpakphan (1997)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.47	66.17	0.45	Himmaphan (2006)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.44	44.33	1.51	Himmaphan (2006)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	2.7	361.1	1.53	Wanthongchai (2011)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	2.6	466.8	1.27	Wanthongchai (2011)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	1.3	291.2	5.5	Wanthongchai (2011)
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	0.67	110.71	0.7	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)

Table 16 (ต่อ)

แหล่งเชื้อเพลิง	สถานที่	อัตรา ไฟลาม (m/min)	ความ รุนแรงไฟ (kW/m)	ความยาว เปลวไฟ (m)	ผู้ทำการศึกษา
เต็งรัง	ห้วยขาแข้ง	2.39	408.61	1.24	Wiriya (2009)
เต็งรัง	สลักพระ	2.81	-	-	ศิริ (2543)
เต็งรัง	กาญจนบุรี	0.45	-	0.2-0.4	วีระพล (2546)
เต็งรัง	ดอยสุเทพ-ปุย	1.72	249.26	-	ศิริ (2539)
เต็งรัง	ดอยสุเทพ-ปุย	-	243.22	1	ชัยรัตน์ (2546)
เบญจพรรณ	ห้วยขาแข้ง	0.595	91.37	0.64	บุญส่ง (2541)
เบญจพรรณ	ดอยสุเทพ-ปุย	3.41	-	-	กรีทา (2540)
เบญจพรรณ	ดอยสุเทพ-ปุย	-	227.19	0.97	ชัยรัตน์ (2546)
เบญจพรรณ	ป่าสาธิตแม่หวด	0.73	179	0.84	ชาญชัยและคณะ (2519)
ดิบแล้ง	เขาค้อภูใน	0.31	32.57	0.39	อรรถพล (2548)
ดิบแล้ง	ดอยสุเทพ-ปุย	-	25.85	0.28	ชัยรัตน์ (2546)
ทุ่งหญ้า	ทุ่งแสงหลวง	2.24	3,965.85	2.44	สมศักดิ์ (2550)
ทุ่งหญ้า แปลงปลูกป่า	มวกเหล็ก	8.29	2,165.80	5.7	ศิริ (2534)
FPT	พบนพระ-อัมผาง	0.92	108.35	0.78	พงษ์ศักดิ์ (2549)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าคลองตะเกรา	2.6	1341.31	3	ชัชวาลย์ (2548)
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าคลองตะเกรา	1.65	7614.7	9.89	ชัชวาลย์ (2548)
สวนป่ากระถิน	สวนป่าลาดกระทิง	0.68	189.49	1.3	ฟองแก้ว (2549)
เทพา					
สวนป่ายูคาลิปตัส	สวนป่าลาดกระทิง	0.28	87.44	1.5	ฟองแก้ว (2549)
	อุทยานแห่งชาติ		120-		กอบศักดิ์ และคณะ
ไร่ร้าง	ดอยภูคา	1.1-1.9	2118	-	(2553)

5. พลวัตรของปริมาณเชื้อเพลิงในระยะเวลา 1 ปีภายหลังการเผา

ภายหลังการเผาผ่านไปในระยะเวลา 1 ปี เชื้อเพลิงต่างๆ ได้แก่ หญ้า ไม้พุ่ม ไม้ล้มลุก ลูกไม้ กล้าไม้ เศษซากพืช กิ่งไม้ขนาดเล็ก มีแนวโน้มการสะสมกลับมาอย่างช้าๆ ดังแสดงใน **Figure 17** โดยที่ภาพรวมของปริมาณเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นกลับมานั้นมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันทั้งในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อก โดยพบว่าเชื้อเพลิงทุกประเภทยกเว้นเศษซากพืชจะมีแนวโน้มที่จะฟื้นกลับมาสู่ระดับเดิมภายในระยะเวลา 1 ปี หลังเผา สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมพบว่าปริมาณหญ้าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากก่อนเผา (5.84 ตันต่อเฮกแตร์) กลับมาสู่ระดับที่ใกล้เคียงก่อนเผา ณ เวลา 1 ปี (5.24 ตันต่อเฮกแตร์) เช่นเดียวกับเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ แต่สำหรับปริมาณเศษซากพืชนั้นกลับพบว่าปริมาณเศษซากพืชที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 1 ปีภายหลังการเผา (1.53 ตันต่อเฮกแตร์) ยังมีปริมาณน้อยกว่าก่อนเผา (5.70 ตันต่อเฮกแตร์) อยู่ค่อนข้างมาก สำหรับป่าสนผสมก่อกนั้น ปริมาณหญ้าที่เพิ่มขึ้นกลับมาจากในระยะเวลา 1 ปี (1.75 ตันต่อเฮกแตร์) มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณหญ้าก่อนที่จะทำการเผา (1.46 ตันต่อเฮกแตร์) ในขณะที่ปริมาณเศษซากพืชที่เพิ่มขึ้นกลับมาจากในระยะเวลา 1 ปี (2.34 ตันต่อเฮกแตร์) ยังมีปริมาณน้อยกว่าก่อนที่จะมีการเผาอย่างมาก 4.78 ตันต่อเฮกแตร์)

เมื่อพิจารณาปริมาณเชื้อเพลิงรวมทั้งหมด (Total fuel loads) จะพบว่าปริมาณเชื้อเพลิงยังไม่สามารถฟื้นคืนกลับมาสู่ระดับเดิมได้ภายในระยะเวลา 1 ปี (**Figure 17**) โดยมีปัจจัยหลักมาจากปริมาณของเศษซากพืชเป็นสำคัญที่ยังมีปริมาณการสะสมกลับมาที่ยังน้อยกว่าปริมาณที่มีอยู่เดิมก่อนเผา ซึ่งอาจคาดการณ์จากปริมาณเชื้อเพลิงได้ว่าพื้นที่ป่าทั้ง 2 ประเภทต้องใช้เวลามากกว่า 1 ปี จึงจะสามารถทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงกลับมาอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่มีอยู่ก่อนเผา ซึ่งเมื่อทำการสร้างสมการเพื่อประมาณหาช่วงเวลาที่ปริมาณเชื้อเพลิงจะกลับมาสู่ระดับก่อนที่จะทำการเผาโดยการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงที่สะสมกลับมาในแต่ละช่วงเวลา (**Figure 18**) ซึ่งพบว่าสมการประมาณหาช่วงเวลาที่เชื้อเพลิงจะฟื้นกลับมาสู่ระดับก่อนการเผาสำหรับป่าสนเสื่อมโทรม ได้แก่ $Y = 3.2875\ln(x) + 2.7462$; $r^2 = 0.9959$ และป่าสนผสมก่อก ได้แก่ $Y = 1.5193\ln(x) + 3.7691$; $r^2 = 0.9466$ เมื่อ Y คือปริมาณเชื้อเพลิงที่ประมาณได้ (ตันต่อเฮกแตร์) และ X คือระยะเวลา (จำนวนเดือน) จากการใช้สมการข้างต้นประมาณระยะเวลาการสะสมเชื้อเพลิงให้กลับมาสู่ระดับใกล้เคียงกับเมื่อก่อนการเผา พบว่าป่าสนเสื่อมโทรมต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 22 เดือนที่ปริมาณเชื้อเพลิงจะสะสมกลับมาสู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่มีอยู่ก่อนเผา ในขณะที่ป่าสนผสมก่อกต้องใช้เวลามากกว่า 2 ปี จึงจะทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงกลับสู่ระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่มีอยู่ก่อนเผา (**Table 17**)

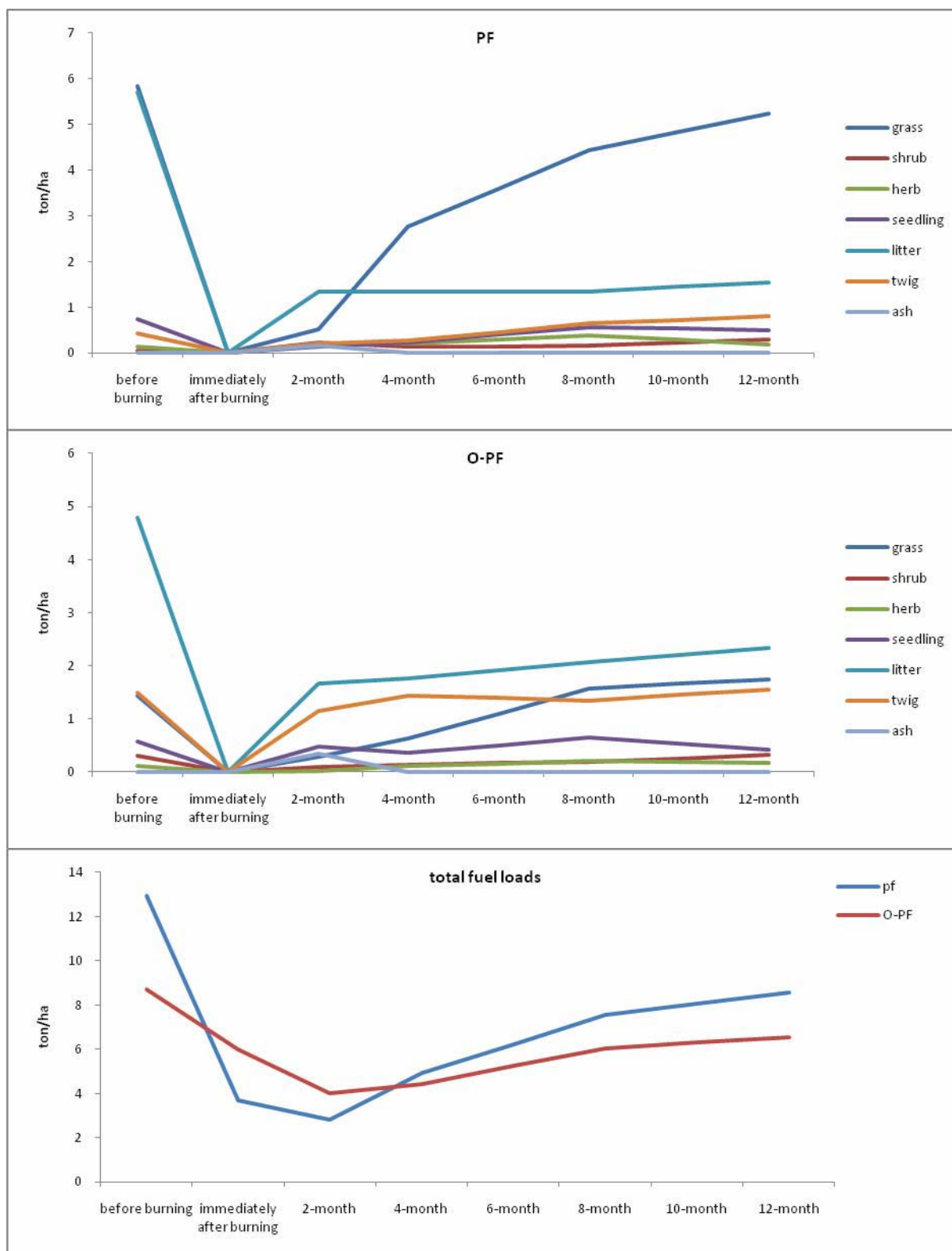


Figure 17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อเพลิงในแต่ละประเภทและปริมาณเชื้อเพลิงรวมในช่วงระยะเวลา 1 ปีภายหลังการเผา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

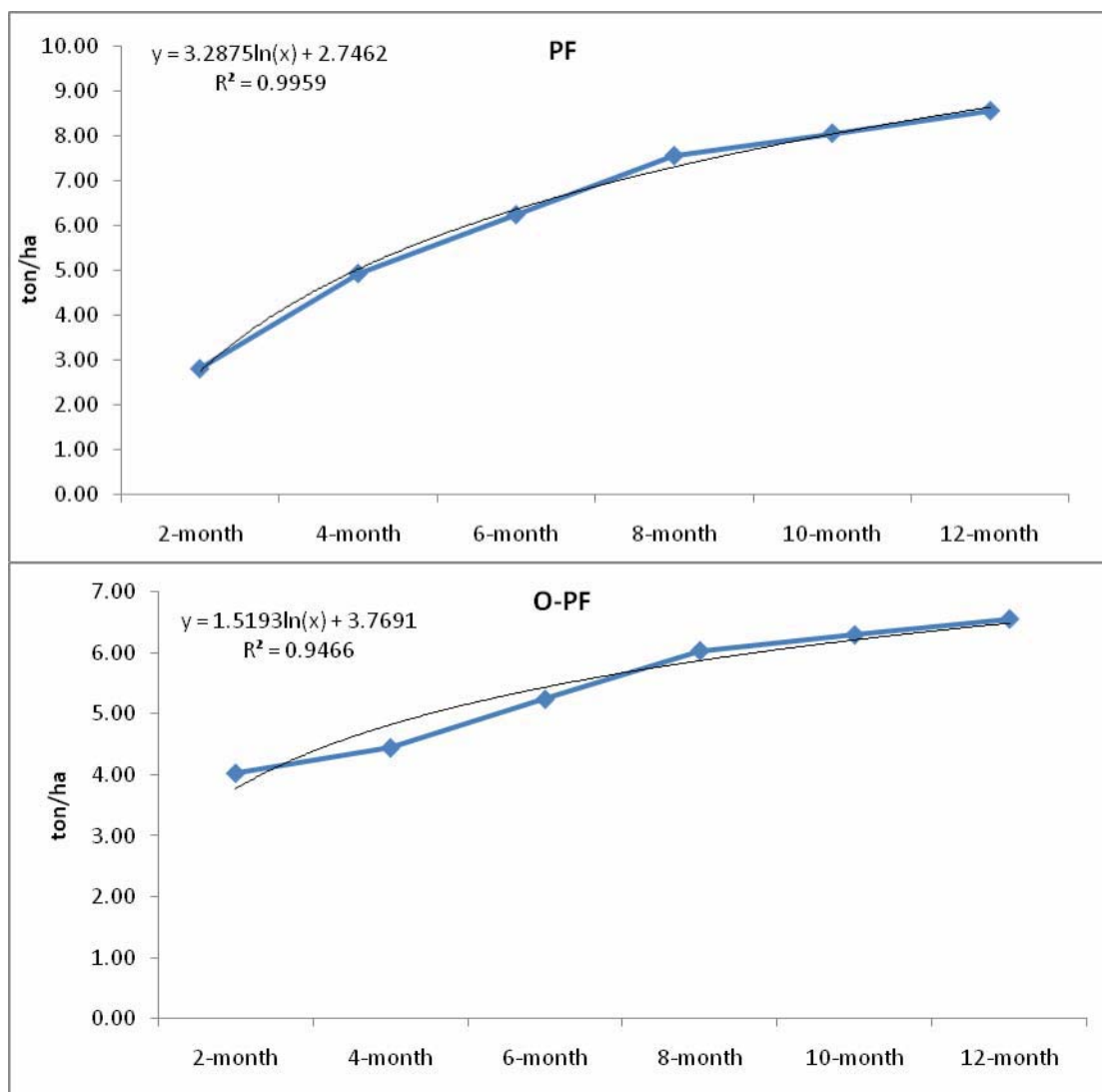


Figure 18 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อเพลิงกับระยะเวลาเพื่อใช้ในการประมาณระยะเวลาการสะสมของเชื้อเพลิงที่จะสะสมกลับสู่ในระดับก่อนการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

Table 17 ประมาณระยะเวลาและปริมาณการสะสมเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับปริมาณเชื้อเพลิง

ประเภท	ปริมาณเชื้อเพลิง (ton/ha)							
	ก่อนเผา	4 เดือน*	8 เดือน*	12 เดือน	18 เดือน	20 เดือน	22 เดือน	24 เดือน
	*			*	**	**	**	**
PF	12.92	4.92	7.55	8.55	12.25	12.59	12.91	13.19
O-PF	8.72	4.45	6.04	6.56	8.16	8.32	8.46	8.60

หมายเหตุ: * ข้อมูลจากการโดยตรงจากการวางแผนสำรวจ, ** การประมาณการจากสมการ $y = 3.2875\ln(x) + 2.7462$; $r^2 = 0.9959$ สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม และ $Y = 1.5193\ln(x) + 3.7691$; $r^2 = 0.9466$ สำหรับป่าสนผสมก่อก

ผลกระทบของการเผาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อดต่อลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืช

ลักษณะโครงสร้างของสังคมพืชก่อนการเผาแปลงทดลอง

1. ลักษณะโครงสร้างของไม้ชั้นบน (Overstory structure)

จากการวางแผนศึกษาลักษณะโครงสร้างของป่าสนเสื่อมโทรมบริเวณภู่มะเขว ออุทยานแห่งชาติน้ำหนาว พบว่าลักษณะโดยทั่วไปเป็นป่าโปร่งมีต้นไม้ขนาดใหญ่ (tree) ระหว่าง 225-375 ต้น/เฮกเตอร์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 304 ต้น/เฮกเตอร์ มีขนาดพื้นที่หน้าตัดอยู่ในช่วง 10.14-12.01 ตร.ม./เฮกเตอร์ เท่านั้น ในขณะที่ความหนาแน่นของไม้ใหญ่ในป่าสนผสมก่อดมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าป่าสนเสื่อมโทรมถึงประมาณ 4 เท่า อีกทั้งมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้ใหญ่ที่สูงกว่าด้วยเช่นกัน (Table 18) จากการศึกษาลักษณะการกระจายของต้นไม้ตามชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (DBH distribution) พบว่าต้นไม้ส่วนใหญ่ในพื้นที่เป็นไม้ขนาดเล็กและมีจำนวนลดลงตามชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามสำหรับป่าสนเสื่อมโทรมพบว่าจำนวนต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 40 ซม. มีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เนื่องมาจากต้นสนสาใบที่เป็นไม้ขนาดใหญ่ในพื้นที่ (Figure 19 และ 20)

ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf area index; LAI) เพอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดและขนาดพื้นที่เรือนยอดของป่าสนผสมก่อดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.824, 30.5%, และ 12,450.6 ตร.ม./เฮกเตอร์ ตามลำดับ ในขณะที่ป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ เพอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดและขนาดพื้นที่เรือนยอดเท่ากับ 1.122, 0.9%, และ 5,943.1ตร.ม./เฮกเตอร์ ตามลำดับ (Table 18 และ Figure 21) โดยที่ค่าของดัชนีพื้นที่ผิวนั้นได้จากการถ่ายภาพเรือนยอด (Figure 22) แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

Hemiview 2.1

Table 18 ลักษณะโครงสร้างของไม้ยืนต้น (tree) สังกมพืชป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) บริเวณภูมุกุ่มข้าว อูทยานแห่งชาติน้ำหนาว

	ป่าสนเสื่อมโทรม				ป่าสนผสมก่อก			
	PF-1	PF-2	PF-3	เฉลี่ย	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3	เฉลี่ย
ความหนาแน่น (ต้น/เฮกแตร์)	375	312.5	225	304.17 ^a (43.50)	1662.5	856.25	1462.5	1327.08 ^b (242.39)
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม./เฮกแตร์)	12.01	10.18	11.13	11.11 ^a (0.53)	21.28	14.98	15.93	17.40 ^b (1.96)
พื้นที่เรือนยอด (ตร.ม./เฮกแตร์)	5064.73	5599.52	7165.01	5943.09 ^a (630.16)	14633.39	12264.71	10453.73	12450.61 ^b (1210.14)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ในลักษณะโครงสร้างของไม้ยืนต้นแต่ละประเภท

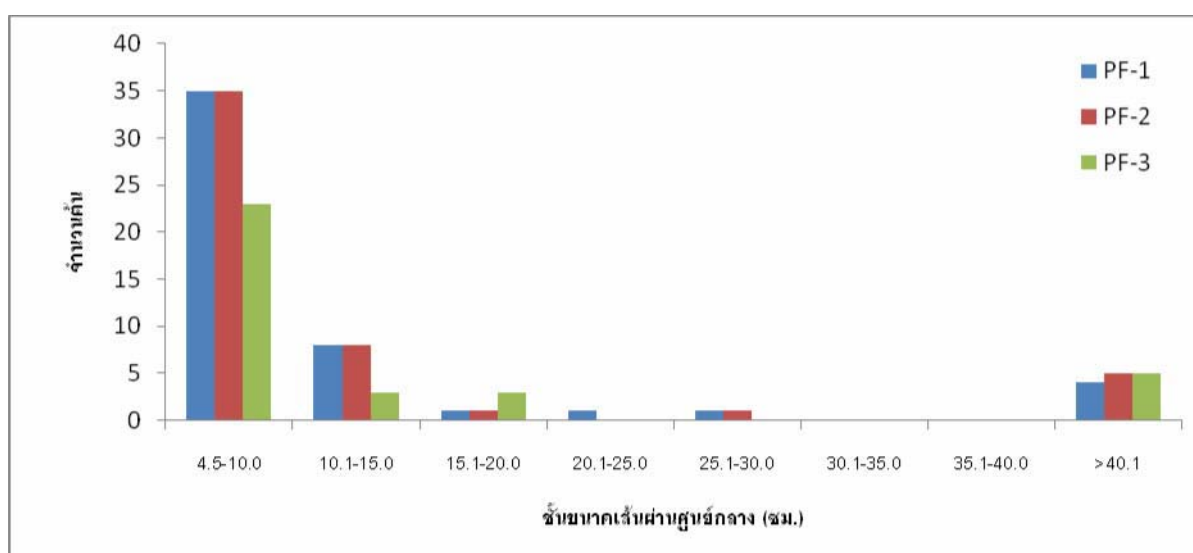


Figure 19. การกระจายของของไม้ใหญ่ตามขนาดชั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง ในป่าสนเสื่อมโทรม

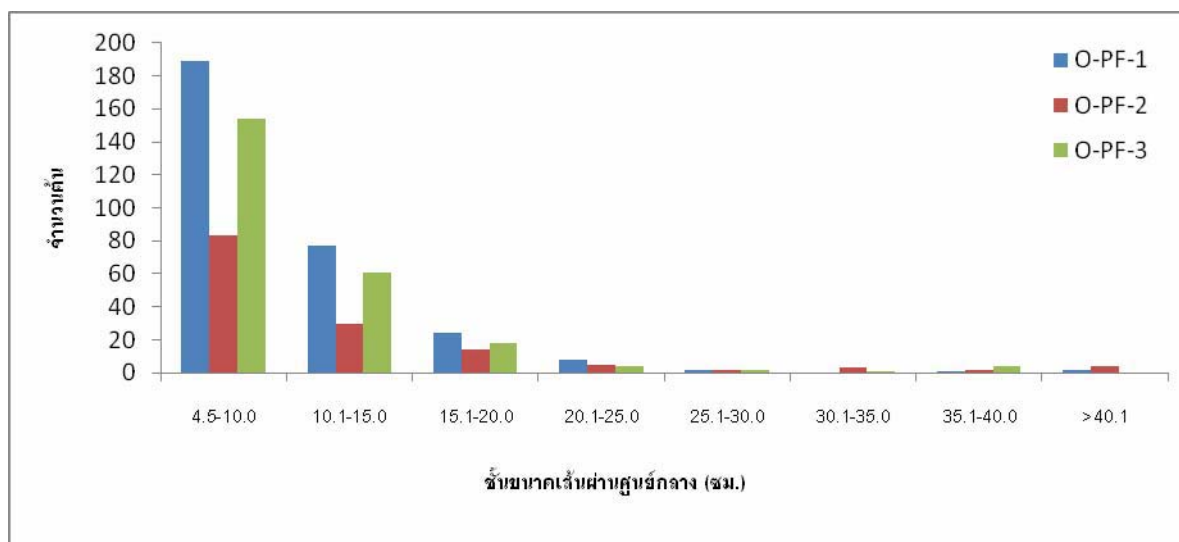


Figure 20. การกระจายของของไม้ใหญ่ตามขนาดชั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง ในป่าสนผสมก่อ

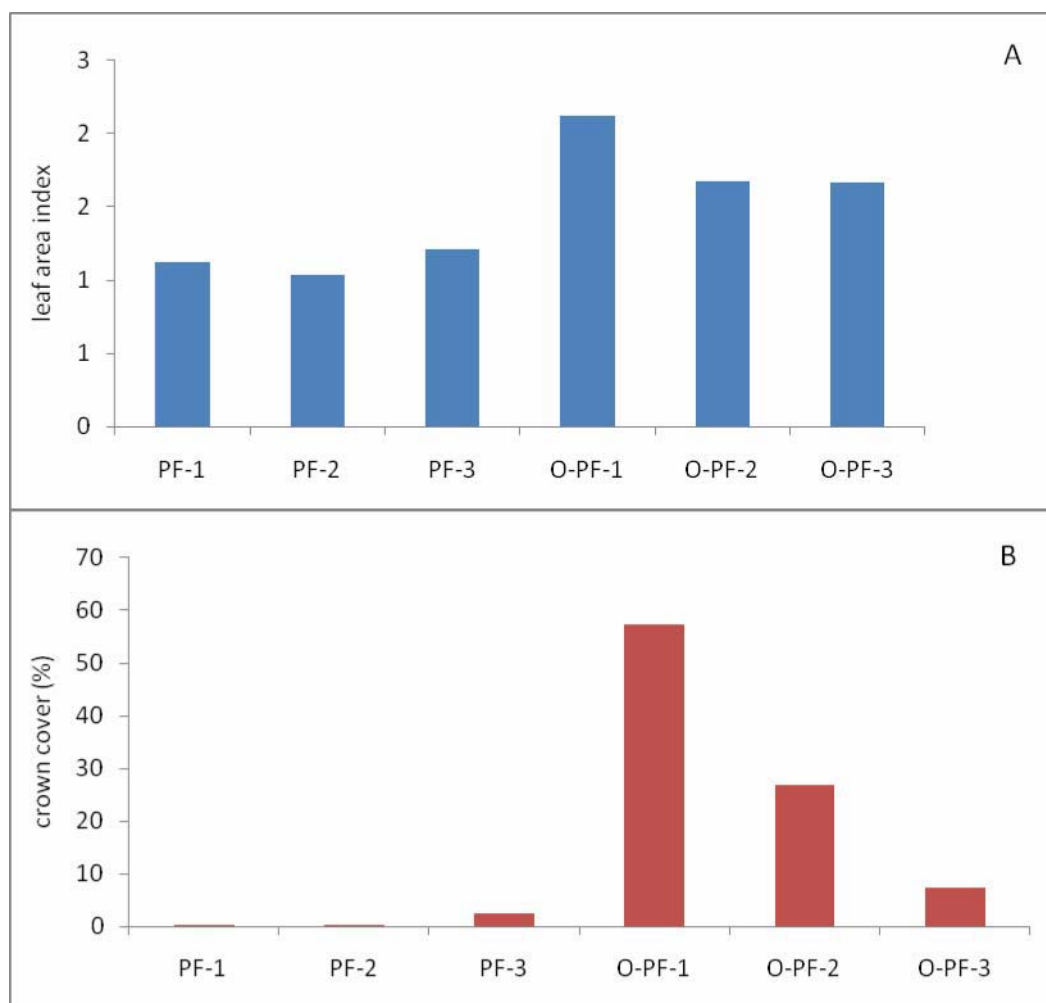


Figure 21. ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (A) และเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดของไม้ชั้นบน (B) ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF-1, PF-2, PF-3) และป่าสนผสมก่อ (O-PF-1, O-PF-2, O-PF-3)



Figure 22. ตัวอย่างภาพถ่ายเรือนยอดของป่าสนผสมก่อ (บน) และป่าสนเสื่อมโทรม (ล่าง)

2. องค์ประกอบของพันธุ์ไม้ชั้นบน

สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมในแต่ละแปลงพบไม้ยืนต้นจำนวน 33 ชนิด ในขณะที่ป่าสนผสมก่อสำรวจพบไม้ยืนต้นจำนวน 25 ชนิด ดังแสดงใน **Table appendix 2**

โครงสร้างด้านตั้งของป่าสนเสื่อมโทรมประกอบด้วย 2 ชั้นเรือนยอดที่ชัดเจนโดยสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมมีเพียงไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya*) เป็นไม้เด่นที่สุดในเรือนยอดชั้นบนในทุกแปลงสำรวจ เนื่องจากเป็นไม้ชั้นเรือนยอดบนที่มีความสูงกว่า 30 เมตร ขึ้นโดดเด่นอยู่ในพื้นที่ โดยที่ไม้สนสามใบพบขึ้นกระจายอยู่ห่างๆ กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ ในขณะที่พรรณไม้ชนิดอื่นๆ ประกอบด้วยพรรณไม้ในป่าดิบเขา แต่ขึ้นอยู่เป็นชั้นเรือนยอดรองลงมาซึ่งมีความสูงไม่เกิน 10 เมตร โดยส่วนใหญ่ เช่น ตาฉี่เคย (*Craibiodendron stellatum*) สมอไทย (*Terminalia chebula*) จากการศึกษาค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ (Importance value index; IVI) พบว่าไม้สนสามใบเป็นพรรณไม้เด่นของพื้นที่ในทุกแปลงศึกษา โดยมีค่า IVI ระหว่าง 113.13-141.85 ในขณะที่ไม้กระโดน (*Careya sphaerica*) ตาฉี่เคย และ ตับเต่าตัน (*Diospyros ehretiodes*) มีค่าดัชนีความสำคัญที่อยู่ในระดับรองลงมา (**Table appendix 3-5**)

สำหรับป่าสนผสมก่อสามารถแบ่งลักษณะโครงสร้างทางด้านตั้งได้เป็น 3 ชั้นเรือนยอด โดยพบไม้สนสามใบขึ้นเป็นไม้เรือนยอดเด่นอยู่ชั้นบนสุดโดยมีความสูงประมาณ 30 เมตร ขึ้นอยู่กระจายอย่าง

ห่างๆ ในพื้นที่ในลักษณะเช่นเดียวกับป่าสนเสื่อมโทรม สำหรับรณไม้เรือนยอดชั้นที่สองประกอบด้วย พรรณไม้ในสังคมป่าดิบเขาโดยเฉพาะไม้ในวงศ์ก่อ (Fagaceae) เช่น ก่อหม่น (*Lithocarpus grandifolius*) ก่อแดง (*Quercus auricoma*) ขึ้นปะปนอยู่ผสมกับไม้ป่าเต็งรังบางชนิดเช่น ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) เหมีดโลด (*Aporosa villosa*) ขึ้นผสมปะปนอยู่เป็นไม้ชั้นรองซึ่งมีความสูงประมาณ 15-20 เมตร ในขณะที่ชั้นเรือนยอดที่สามประกอบด้วยไม้ขนาดเล็กของไม้ชั้นเรือนยอดที่สองและไม้ที่มีขนาดเล็กอื่นๆ เช่น มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) คำมอกหลวง (*Gardenia sootepensis*) เหมีดแอ (*Memecylon scutellatum*) จากการพิจารณาลักษณะองค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้ที่ปรากฏ พบว่าพื้นที่ป่าสนผสมกึ่งที่วางแปลงศึกษาบางแห่งมีลักษณะคล้ายกับป่าเต็งรังผสมสนบางบริเวณมีลักษณะคล้ายป่าสนผสมก่อ ซึ่งยากต่อการจำแนกได้อย่างชัดเจน เช่นเมื่อพิจารณาชนิดพันธุ์ไม้ที่พบและค่าดัชนีความสำคัญในป่าสนผสมก่อแปลงที่ 1 (O-PF-1) และ 2 (O-PF-2) จะมีลักษณะใกล้เคียงกับป่าสนผสมก่อ ในขณะที่แปลงป่าสนผสมก่อแปลงที่ 3 (O-PF-3) มีลักษณะคล้ายป่าเต็งรังผสมสนมากกว่า แม้ว่าพื้นที่ทั้งสามแห่งจะอยู่ในบริเวณเดียวกัน มีระดับความสูงที่ใกล้เคียงกันก็ตาม (Table Appendix 6-8)

3. ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของไม้รุ่น (Sapling) และลูกไม้ (Seedling)

ลักษณะโครงสร้างของไม้ชั้นล่างที่เป็นพืชที่ให้เนื้อไม้ (Woody plant) เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงลักษณะของการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในสังคมพืชว่าจะมีแนวโน้มในลักษณะเช่นใด สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมพบว่ามีค่าความหนาแน่นของไม้รุ่นและลูกไม้ระหว่าง 4375-9375 และ 17500-70000 ต้นต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ ในขณะที่ป่าสนผสมกึ่งมีค่าความหนาแน่นของไม้รุ่นและลูกไม้ระหว่าง 2500-6250 และ 47500-102500 ต้นต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ (Table 19 และ 20) ในขณะที่ขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้รุ่นในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมกึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.63 และ 3.76 ตร.ม./เฮกแตร์ ตามลำดับ สำหรับการกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนต้นในไม้รุ่นพบว่าไม้รุ่นส่วนใหญ่ทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมกึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนต้นระหว่าง 1.1-3.0 ซม. (Figure 23)

เมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์การปกคลุมเรือนยอดของไม้รุ่นพบว่าป่าสนเสื่อมโทรม (37.45%) มีค่าสูงกว่าป่าสนผสมกึ่งเล็กน้อย (31.48%) และมีความหนาแน่นของลูกไม้ที่น้อยกว่าป่าสนผสมกึ่ง ซึ่งเมื่อพิจารณาในด้านของการถูกปัจจัยรบกวนอันได้แก่ไฟนั้น อาจกล่าวได้ว่าพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมซึ่งมีปัญหาไฟไหม้พื้นที่เกือบทุกปีส่งผลให้ไม้รุ่นที่ปรากฏอยู่มีแต่ต้นที่มีขนาดใหญ่เท่านั้นที่จะสามารถทนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีไฟเกิดอยู่เป็นประจำเกือบทุกปี และการเกิดไฟในพื้นที่อยู่เป็นประจำเกือบทุกปี ส่งผลต่อจำนวนลูกไม้ซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากไฟป่า

จากจำนวนชนิดไม้ที่พบในไม้รุ่นทั้งหมด 22 ชนิด พบไม้รุ่นในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมกึ่งจำนวน 11 และ 13 ชนิด ตามลำดับ และจากจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ที่สำรวจพบในลูกไม้ทั้งหมด 39

ชนิด พบลูกไม้ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน จำนวน 24 และ 19 ชนิด ตามลำดับ (Table appendix 9 และ 10)

Table 19. ลักษณะโครงสร้างของไม้รุ่น (Sapling) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อน บริเวณภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

	ป่าสนเสื่อมโทรม			ป่าสนผสมก่อก่อน		
	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
ความหนาแน่น (ต้น/เฮกแตร์)	4375	9375	6250	6250	5000	2500
D ₀ (ซม.)	3.11	1.98	2.25	3.19	0.61	3.34
DBH (ซม.)	1.44	0.54	0.92	1.48	0.43	1.79
Ht (ม.)	2.17	1.58	1.87	2.02	1.48	2.45
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม./เฮกแตร์)	3.83	3.61	3.45	6.08	1.18	4.03
พื้นที่เรือนยอด (ตร.ม./16 ตร.ม.)	4.57	6.55	6.86	8.32	2.08	4.71
การปกคลุมเรือนยอด (%)	28.56	40.95	42.85	52.00	13.01	29.44

Table 20. ลักษณะโครงสร้างของลูกไม้ (Seedling) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนบริเวณภูกลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

	ป่าสนเสื่อมโทรม			ป่าสนผสมก่อก่อน		
	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
ความหนาแน่น (ต้น/เฮกแตร์)	17500	70000	65000	62500	102500	47500
D ₀ (ซม.)	0.56	0.43	0.52	0.66	0.46	0.20
Ht (ม.)	0.60	0.42	0.55	0.44	0.33	0.31
พื้นที่เรือนยอด (ตร.ม./4 ตร.ม.)	0.63	1.68	0.18	1.15	3.07	1.12
การปกคลุมเรือนยอด (%)	15.67	42.12	4.59	28.73	76.81	28.02

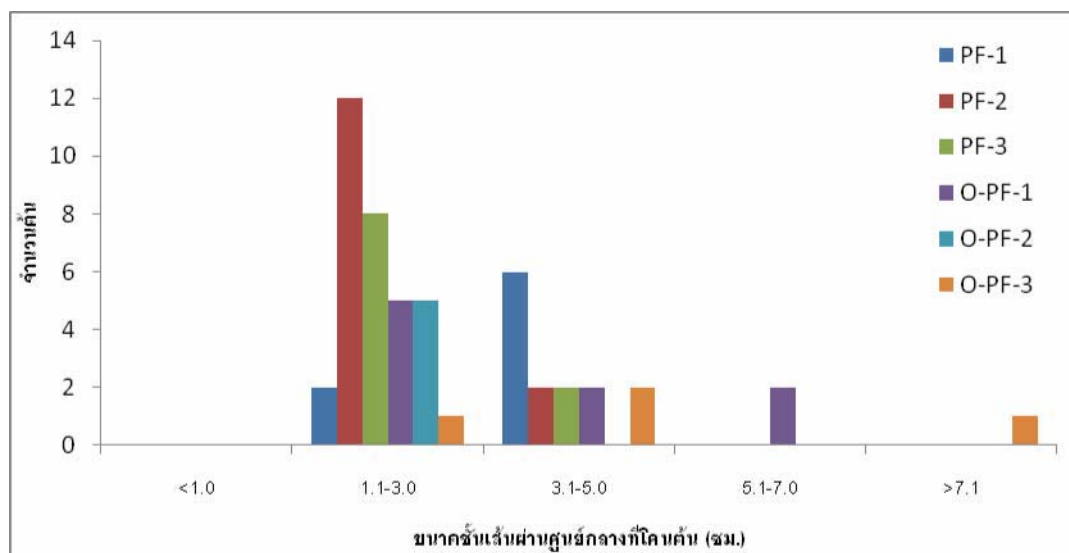


Figure 23 การกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้นของไม้รุ่นในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนการเผาแปลงทดลอง

4. ความหลากหลายของพืชในสังคมป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนการเผาแปลงทดลอง

4.1 ดัชนีความหลากหลายของไม้ยืนต้น

จากการศึกษาพบว่าความหลากหลายทางชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 4.5 ซม.) ในป่าสนเสื่อมโทรมทุกแปลงมีค่าสูงกว่า 2.0 ซึ่งมากกว่าป่าสนผสมก่อก่อนการเผาแปลง (Table 21) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหลากหลายรวมของทุกแปลงในแต่ละประเภทป่าก็พบว่าป่าสนเสื่อมโทรมมีดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 2.808 ในขณะที่ป่าสนผสมก่อก่อนการเผามีค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 2.083 (Figure 24) ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนชนิดที่พบในป่าแต่ละประเภทเช่นกันที่พบว่าจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้นที่พบทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ 47 ชนิด นั้น พบในป่าสนเสื่อมโทรมโดยเฉลี่ยมากกว่าในป่าสนผสมก่อก่อนการเผา (Table 21) แม้ว่าจำนวนต้นต่อหน่วยพื้นที่ของไม้ยืนต้นในป่าสนผสมก่อก่อนการเผาก็ตาม

สำหรับความหลากหลายของไม้หนุ่มและลูกไม้ซึ่งเป็นเสมือนดัชนีบ่งบอกถึงลักษณะของการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติของป่านั้น พบว่าดัชนีความหลากหลายของป่าสนเสื่อมโทรม (2.217) และป่าสนผสมก่อก่อนการเผา (2.390) มีค่าใกล้เคียงกัน (Figure 24) โดยที่ความหลากหลายในแต่ละแปลงสำรวจก็มีค่าผันแปรแตกต่างกันออกไป ส่วนความหลากหลายของลูกไม้นั้นพบว่าป่าสนเสื่อมโทรม (2.829) มีค่าสูงกว่าป่าสนผสมก่อก่อนการเผา (2.436) เล็กน้อย (Figure 24) โดยที่ค่าความหลากหลายของไม้ในแต่ละแปลงมีค่าผันแปรแตกต่างกันไปดังแสดงใน Table 22

Table 21 ความหลากหลายชนิดของไม้ยืนต้น (tree) ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนบริเวณสวนสนภู
กลุ่มข้าว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

Site	Species number	Shannon-wiener index (H')	
		H' index	Variance
PF-1	21	2.684	0.015
PF-2	18	2.508	0.020
PF-3	13	2.111	0.031
O-PF-1	13	1.711	0.003
O-PF-2	9	1.566	0.006
O-PF-3	14	1.708	0.006

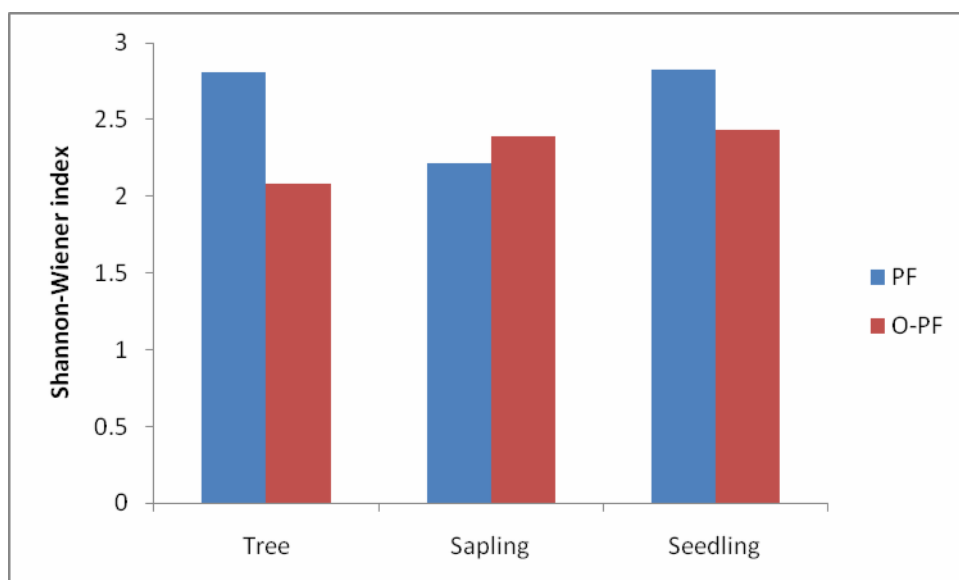


Figure 24 ความหลากหลายชนิด (Shannon-Wiener Index) ของไม้ยืนต้น (tree) ไม้หนุ่ม (sapling) และ
ลูกไม้ (seedling) ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก่อน (O-PF) ก่อนการเผาแปลงทดลอง

Table 22 ความหลากหลายชนิดของไม้หนุ่ม (sapling) และลูกไม้ (seedling) ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) บริเวณสวนสนภูเก้า อำเภอภูพาน จังหวัดน่าน

Stage	Site	Species number	Shannon-wiener index (H')	
			H' index	Variance
Sapling	PF-1	5	1.550	0.058
	PF-2	6	1.675	0.026
	PF-3	6	1.696	0.044
	O-PF-1	8	1.973	0.060
	O-PF-2	3	0.974	0.040
	O-PF-3	3	1.040	0.093
Seedling	PF-1	4	1.330	0.059
	PF-2	15	2.293	0.045
	PF-3	11	2.192	0.022
	O-PF-1	12	2.315	0.023
	O-PF-2	7	1.312	0.026
	O-PF-3	9	1.913	0.040

4.2 ลักษณะความคล้ายคลึงของพันธุ์ไม้

จาก **Figure 25, 26 และ 27** และ **Table 23** ซึ่งเป็นการศึกษาความคล้ายคลึงของสังคมพืช โดยวิธีการของ Bray-Curtis cluster analysis จะพบว่าสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกมีความแตกต่างทางสังคมพืชทั้งในด้านของไม้ยืนต้น ไม้หนุ่มและลูกไม้กล้าไม้ นอกจากนี้แม้แต่ในสังคมพืชเดียวกันก็ยังมีมีความแตกต่างของสังคมพืชอยู่เช่นกัน เช่นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความคล้ายคลึงที่ 50 % ของไม้ใหญ่จะพบว่าแปลงศึกษาในป่าสนผสมก่อกแต่ละแปลงนั้นมีความแตกต่างกัน แต่หากพิจารณาดัชนีความคล้ายคลึงที่เพียงประมาณ 40 % แล้วจะพบว่าป่าสนผสมก่อกมีความคล้ายคลึงกัน สิ่งนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสังคมพืชในแปลงป่าสนผสมก่อกมีความคล้ายคลึงกันประมาณ 40 % เท่านั้น (หรืออีกนัยหนึ่งคือมีความผันแปร) ในขณะที่ป่าสนเสื่อมโทรมในแต่ละแปลงมีความคล้ายคลึงกันประมาณ 60 % (**Table 23**) ในขณะที่ไม้ขนาดเล็กทั้งลูกไม้และไม้หนุ่มของป่าแต่ละประเภทในแต่ละแปลงมีความคล้ายคลึงกันต่ำมาก (ประมาณ 10-40 %) เท่านั้น (**Figure 26 และ 27**) ดังนั้นในภาพรวมของสังคมพืชที่มีการวางแผนก่อนการเผาพื้นที่นั้นมีความหลากหลายและผันแปรทั้งในระหว่างประเภทป่า (external variation) และภายในป่าแต่ละประเภท (internal variation)

Table 23 Bray-Curtis cluster analysis สำหรับไม้ยืนต้นในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนบริเวณสวนสนภู่มะขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
PF-1	*	58.182	54.167	11.656	9.137	14.286
PF-2	*	*	58.140	13.291	9.626	13.380
PF-3	*	*	*	9.934	6.936	12.593
O-PF-1	*	*	*	*	47.643	42.000
O-PF-2	*	*	*	*	*	37.736
O-PF-3	*	*	*	*	*	*

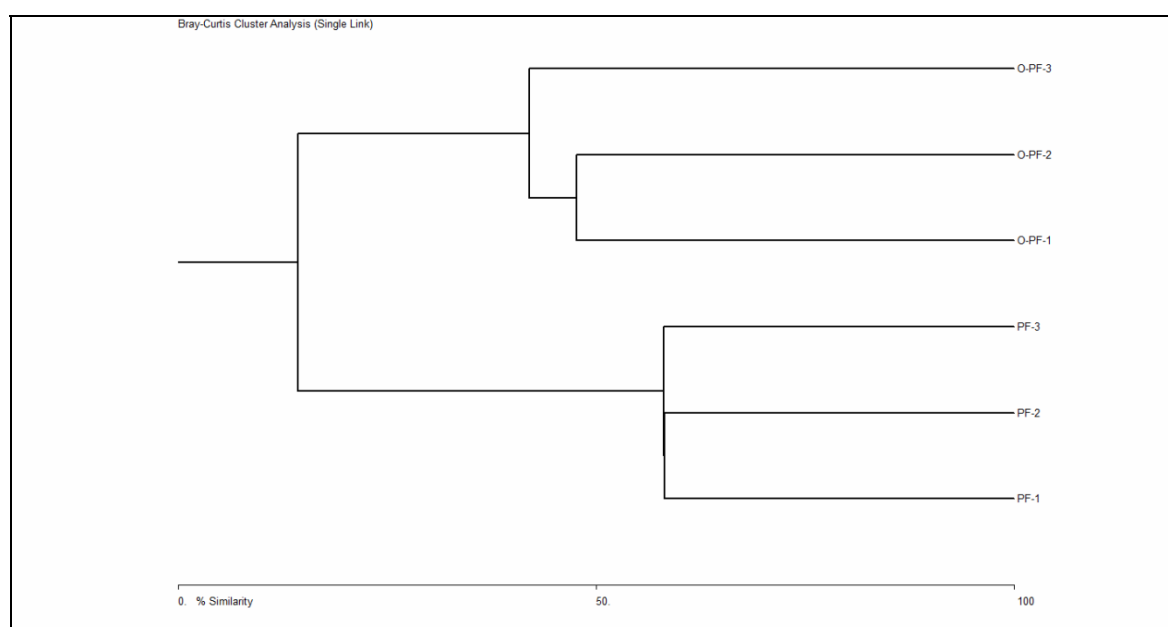


Figure 25 Bray-Curtis cluster analysis สำหรับไม้ยืนต้น (tree) ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนบริเวณสวนสนภู่มะขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

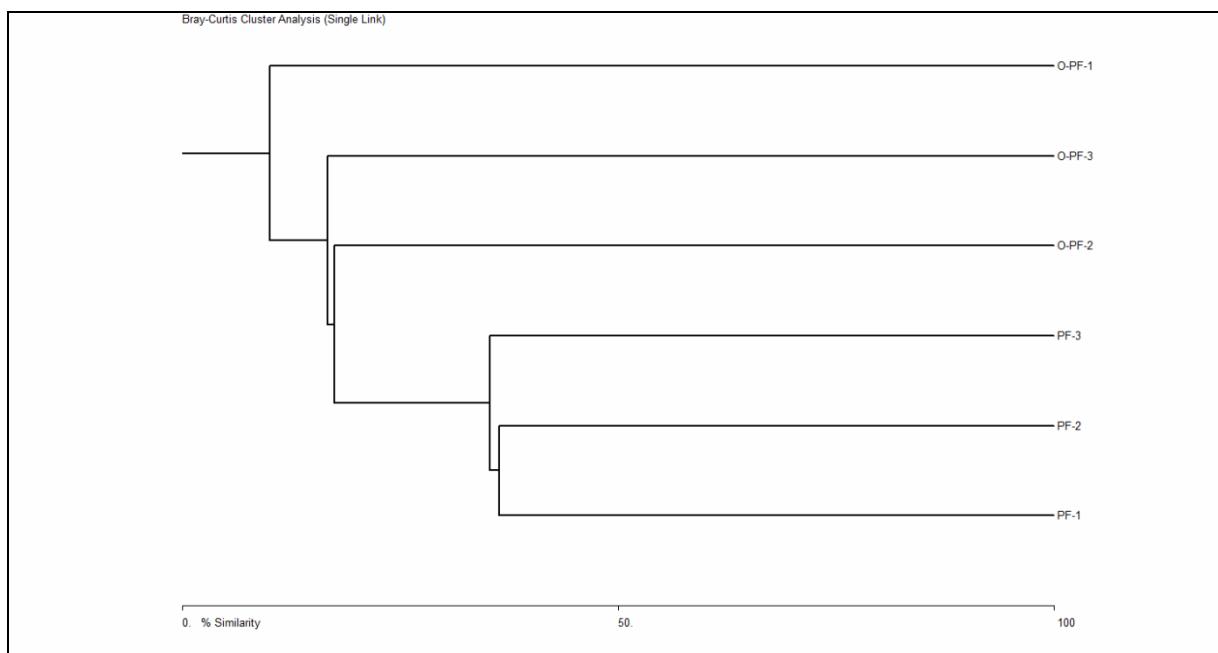


Figure 26 Bray-Curtis cluster analysis สำหรับไม้หนุ่ม (sapling) ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสม ก่อ บริเวณสวนสนภู่มขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

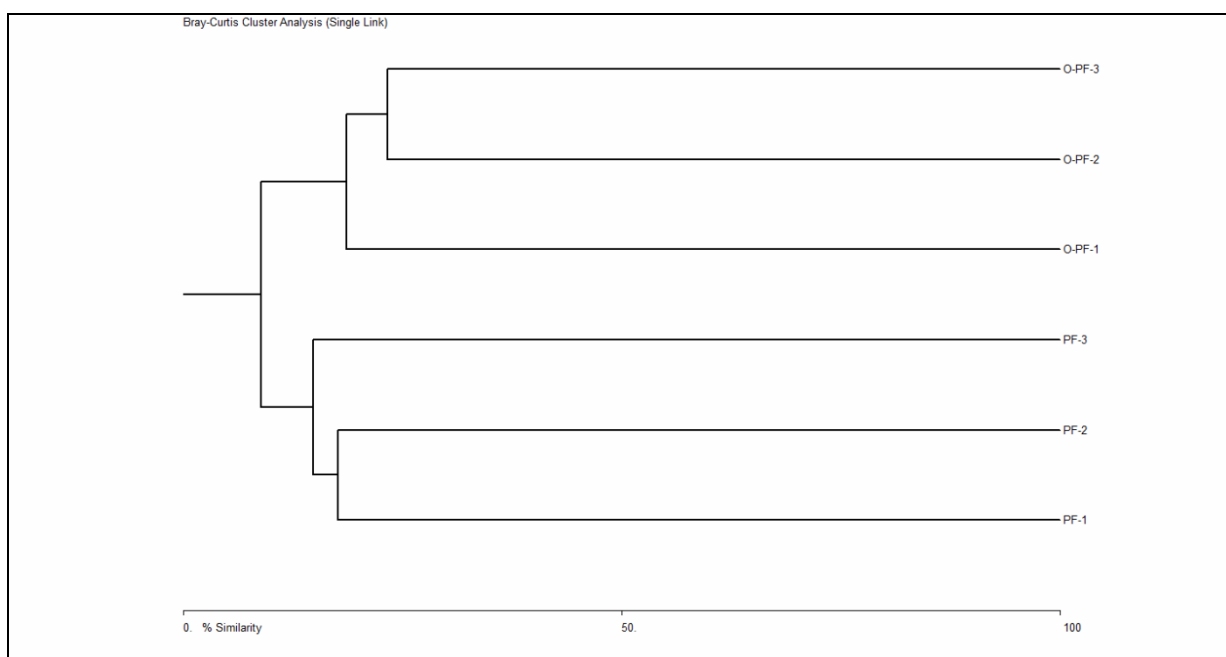


Figure 27 Bray-Curtis cluster analysis สำหรับลูกไม้ (seedling) ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสม ก่อ บริเวณสวนสนภู่มขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว

ผลกระทบของการเผาต่อลักษณะลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืช

1. ผลกระทบของไฟต่อโครงสร้างและองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ชั้นบน

1.1 การตายของต้นไม้

ภายหลังการเผา 1 ปี พบว่าต้นไม้ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกำเนิดที่มีอัตราการตายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.024$) ซึ่งป่าสนเสื่อมโทรมมีอัตราการตาย 4.59% ในขณะที่อัตราการตายของไม้ยืนต้นในป่าสนผสมก่อกำเนิดมีค่าเท่ากับ 1.15% (**Figure 28**) เมื่อพิจารณาถึงชนิดไม้ที่ตายภายหลังการเผาในป่าสนผสมก่อกำเนิด ได้แก่ ก่อแดง ยางเหียง คำมอกหลวง และสนสามใบ ในขณะที่ชนิดไม้ที่ตายในป่าสนเสื่อมโทรม ได้แก่ ตาฉี่เคย ประดู่ป่า กางขี้มอด ทะโล้ กระโดน และมะแฟน ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าต้นไม้ที่ตายบางชนิด เช่น สนสามใบ และยางเหียง จะเป็นต้นที่มีขนาดเล็กกว่าค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไม้ชนิดนั้นๆ ในขณะที่ก่อกำเนิดที่ตายนั้นมีทั้งต้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระดับออกมากกว่าและน้อยกว่าค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของไม้ก่อกำเนิด

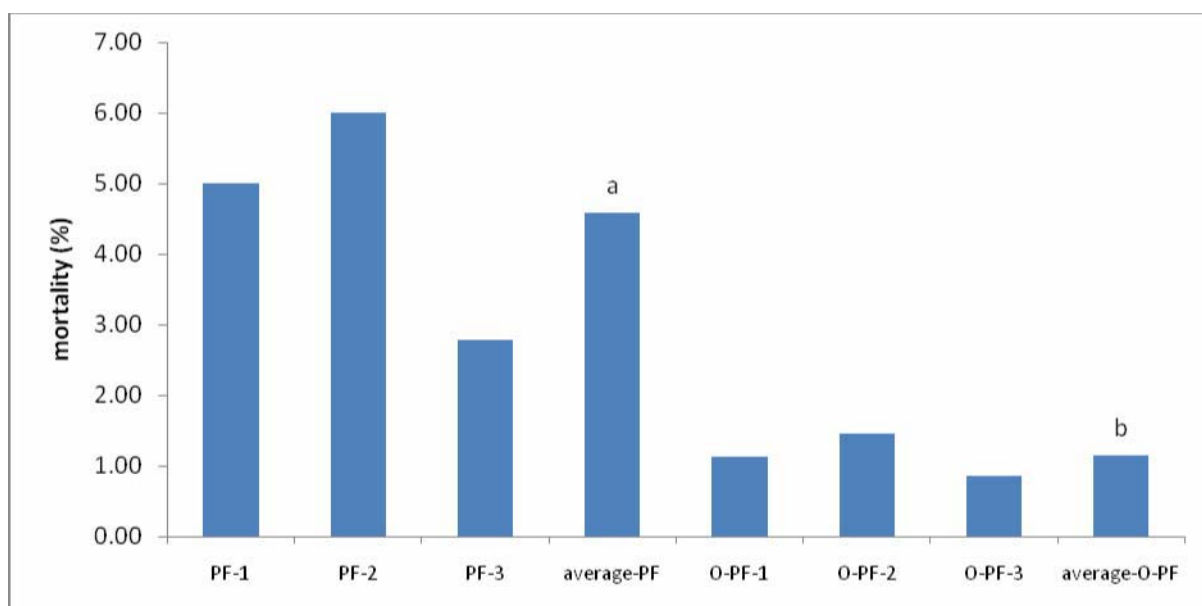


Figure 28. อัตราการตายของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (dbh > 4.5 ซม.) ภายหลังการเผา 1 ปี

1.2 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่หน้าตัด

เนื่องจากการเผาทำให้ต้นไม้บางชนิดตายลงส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของต้นไม้ในพื้นที่ โดยเฉลี่ยพบว่าความหนาแน่นของไม้ยืนต้นในป่าสนเสื่อมโทรมลดลงจาก 48.7 ต้นต่อไร่ (304 ต้นต่อเฮกเตอร์) เป็น 46.3 ต้นต่อไร่ (290 ต้นต่อเฮกเตอร์) ในขณะที่ความหนาแน่นของไม้ยืนต้นในป่าสนผสมก่ลดลงจาก 212.3 ต้นต่อไร่ (1327 ต้นต่อเฮกเตอร์) เป็น 210 ต้นต่อไร่ (1313 ต้นต่อเฮกเตอร์) (Table 24.)

Table 24 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของไม้ยืนต้น (dbh > 4.5 ซม.) ภายหลังการเผา 1 ปี

	จำนวนต้นต่อไร่		จำนวนต้นต่อเฮกเตอร์	
	ก่อนการเผา	ภายหลังการเผา	ก่อนการเผา	ภายหลังการเผา
PF-1	60	57	375	356.25
PF-2	50	47	312.5	293.75
PF-3	36	35	225	218.75
average-PF	48.7	46.3	304.2	289.6
O-PF-1	266	263	1662.5	1643.75
O-PF-2	137	135	856.25	843.75
O-PF-3	234	232	1462.5	1450
average-O-PF	212.3	210.0	1327.1	1312.5

สำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในภาพรวม พบว่าภายหลังการเผา ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกของไม้ใหญ่ที่เพิ่มขึ้นในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่มีค่าเท่ากับ 0.187 และ 0.127 ซม. ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพื้นที่ป่าทั้งสองประเภท (Figure 29) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกเฉพาะชนิดไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด 5 อันดับแรกในแต่ละแปลง ซึ่งรวมแล้วมีทั้งสิ้น 16 ชนิด (Table 25) โดยที่สำหรับแปลงป่าสนผสมก่ก่อนนั้น ก่อแดงมีการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกน้อยที่สุด (0.04 ซม.) ส่วนสนสามใบมีการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกมากที่สุด (0.29 ซม.) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมนั้น ดาจีเคยมีการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกน้อยที่สุด (0.09 ซม.) ส่วนสนสามใบมีการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกมากที่สุด (0.74 ซม.)

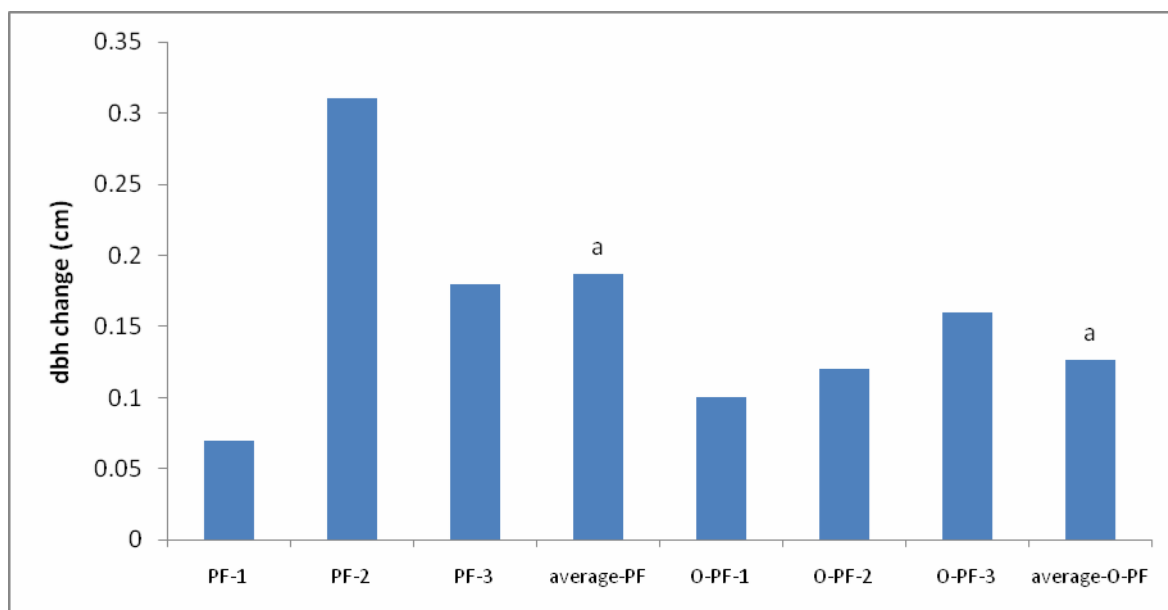


Figure 29. การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (dbh > 4.5 ซม.) ภายหลังการเผา 1 ปี

Table 25 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกและพื้นที่หน้าตัดของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (dbh > 4.5 ซม.) ที่สำคัญบางชนิด ภายหลังการเผา 1 ปี

ชนิดไม้	การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (cm)			
	การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (cm ²)			
	O-PF	PF	O-PF	PF
ก่อแดง	82.73	-	0.04	-
ก่อนก	77.45	-	0.19	-
ก่อแพะ	6.50	-	0.09	-
ก่อหม่น	41.05	-	0.17	-
แคทราย	-	3.91	-	0.13
ดัดเต้าตัน	-	3.39	-	0.12
ตานี้เคย	-	5.33	-	0.09
สนสามใบ	95.34	149.81	0.29	0.74
สมอไทย	4.13	10.48	0.05	0.40
เหมือดโลด	51.64	-	0.23	-
เหียง	92.38	-	0.11	-
แหน	-	0.00	0.11	-

2. ผลกระทบของไฟต่อโครงสร้างและองค์ประกอบของไม้รุ่นและลูกไม้

2.1 การเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้าง (ความหนาแน่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาดเรือนยอดและความสูง) ของไม้หนุ่มและกล้าไม้

ผลกระทบจากการเผาทำให้ไม้หนุ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นโดยที่ไม้หนุ่มมีแนวโน้มที่ลดลง (Figure 30) โดยที่ไม้หนุ่มในป่าสนเสื่อมโทรมมีแนวโน้มการลดลงมากกว่าในป่าสนผสมก่อก่อน สำหรับไม้หนุ่มที่เหลืออยู่ภายหลังการเผานั้นพบว่าภายหลังการเผา 1 ปี นั้นความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีแนวโน้มที่จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งภายหลังการเผา 1 ปี นั้น ไม้หนุ่มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกเฉลี่ยประมาณ 0.6-2.4 ซม. และความสูงเฉลี่ยประมาณ 1.5-2.4 ม. (Table 26) โดยที่มีอัตราการเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.4-0.8 ซม./ปี และมีความสูงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.2-0.4 ม/ปี (Figure 31 และ Figure 32) สำหรับขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้หนุ่มนั้น แม้ว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไม้หนุ่มมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจากก่อนการเผา แต่เนื่องจากความหนาแน่นต่อพื้นที่ของไม้หนุ่มนั้นลดลง ทำให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดในแปลงส่วนใหญ่จึงมีแนวโน้มลดลง (Figure 33) อย่างไรก็ตามขนาดพื้นที่เรือนยอดและการปกคลุมพื้นที่ของไม้หนุ่มนั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจน โดยบางแปลงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นในขณะที่บางแปลงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ลดลง ดังนั้นในภาพรวมการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เรือนยอดและการปกคลุมเรือนยอดจึงมีแนวโน้มไม่ชัดเจน (Figure 34)

Table 26. ลักษณะโครงสร้างของไม้รุ่น (Sapling) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนบริเวณภูมิภาคว่า อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ภายหลังการเผา 1 ปี

	ป่าสนเสื่อมโทรม			ป่าสนผสมก่อก่อน		
	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
ความหนาแน่น (ต้น/เฮกเตอร์)	1875	3125	2500	5625	2500	2500
D ₀ (ซม.)	2.40	1.20	3.10	4.00	1.60	3.40
DBH (ซม.)	1.20	0.50	1.30	2.40	0.60	2.00
Ht (ม.)	2.30	2.00	2.10	2.40	1.50	1.80
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม./เฮกเตอร์)	1.16	0.59	2.25	9.14	0.52	2.86
พื้นที่เรือนยอด (ตร.ม./16 ตร.ม.)	6.79	3.13	3.79	9.37	1.24	4.61
การปกคลุมเรือนยอด (%)	42.47	19.56	23.68	58.57	7.77	28.83

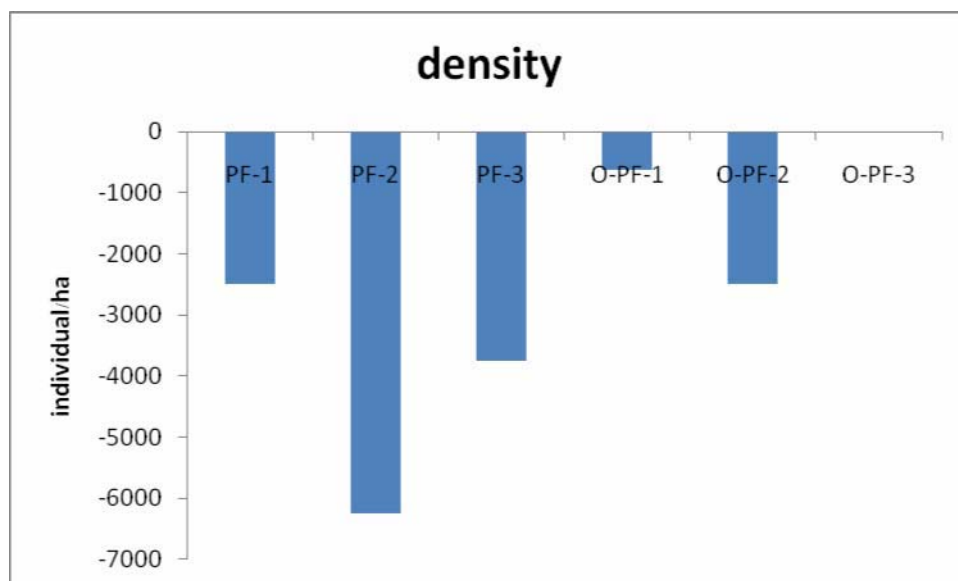


Figure 30. การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

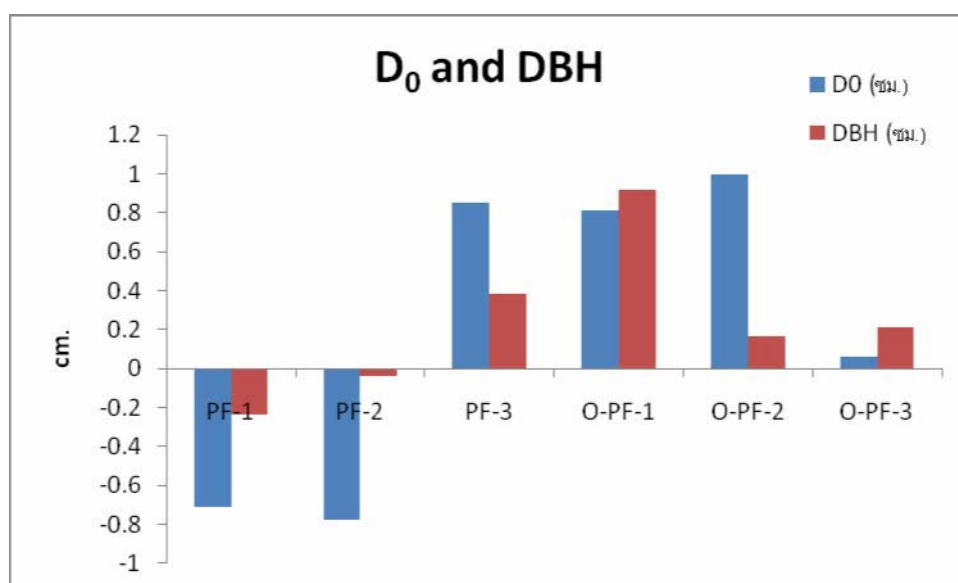


Figure 31. การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนต้น (D_0) และเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (DBH) ของไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

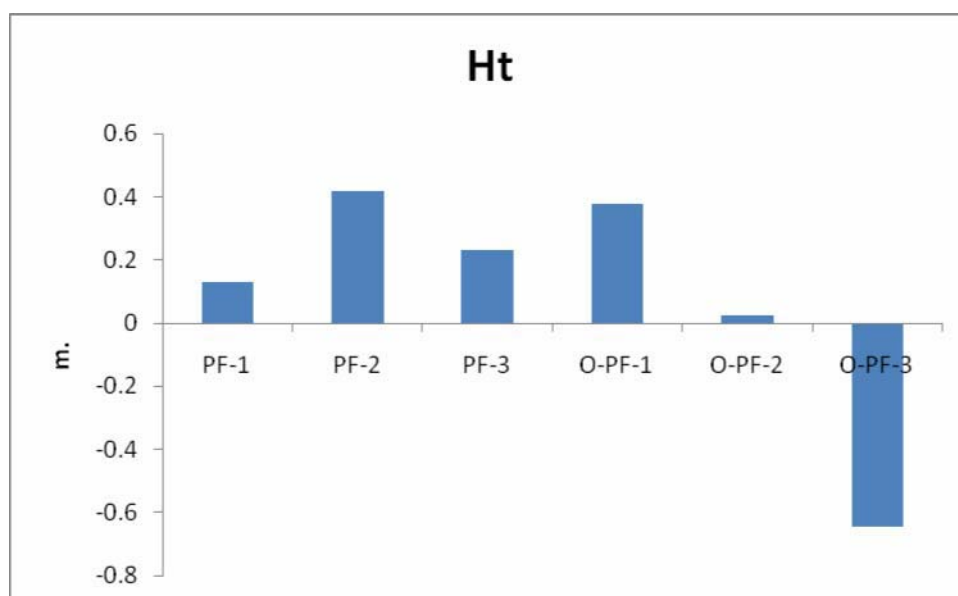


Figure 32. การเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

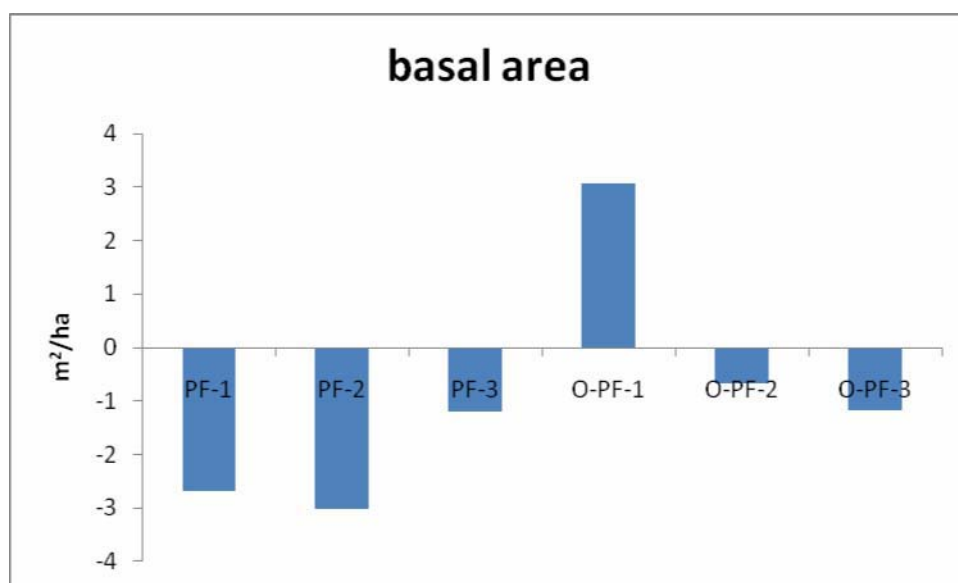


Figure 33. การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้หนุ่มภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

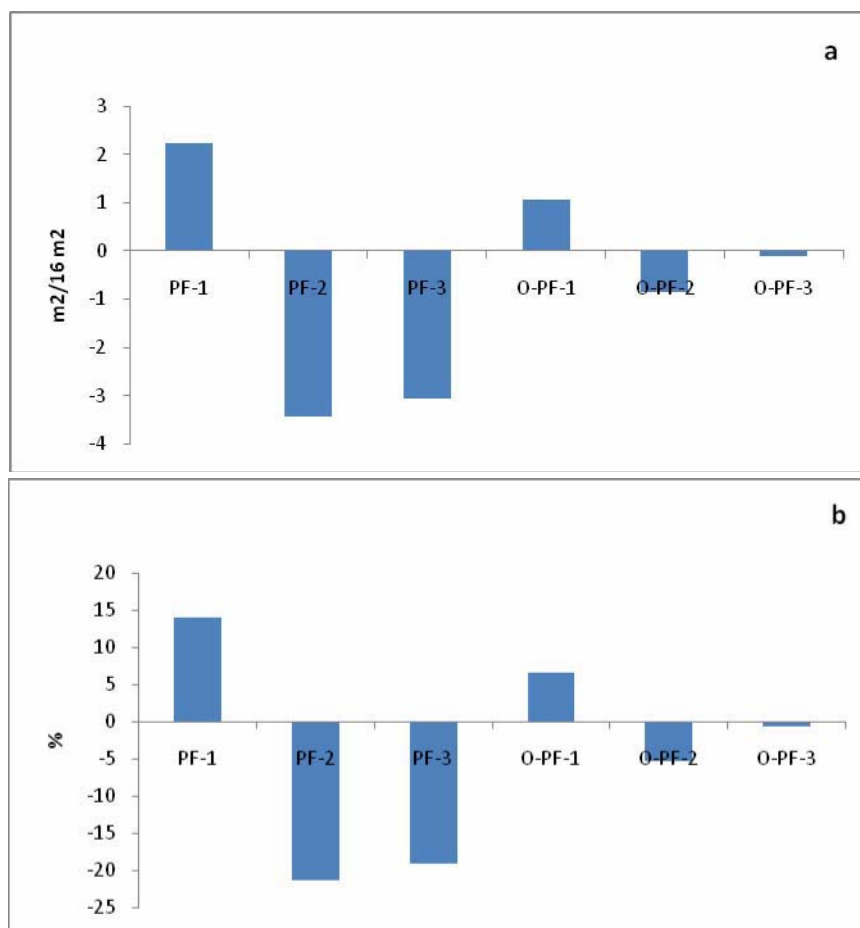


Figure 34. การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่เรือนยอด (a) และเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ (b) ของไม้หนุ่ม ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

ภายหลังการเผา ความหนาแน่นต่อพื้นที่และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนต้นของลูกไม้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในลักษณะที่เพิ่มขึ้น ลดลง และไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากลูกไม้ได้รับผลกระทบโดยตรงจากอิทธิพลของความร้อนของไฟ ซึ่งไฟที่เกิดขึ้นมีความผันแปรทั้งระหว่างแปลงและภายในแต่ละแปลง ดังนั้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นจึงไม่แน่นอน (Table 27, Figure 35 และ Figure 36) สำหรับความสูงของกล้าไม้ที่ชัดเจนว่าการเผาทำให้ความสูงโดยเฉลี่ยของลูกไม้ลดลงเนื่องจากไฟได้ทำลายลำต้นเดิมของลูกไม้ให้ตายไป แต่ภายหลังมีการแตกหน่อเกิดขึ้นมาใหม่ในภายหลัง ซึ่งหน่อที่เกิดขึ้นใหม่ยังมีความสูงน้อยกว่าลำต้นเดิม โดยความสูงของลูกไม้ภายหลังการเผา 1 ปี มีค่าประมาณ 20-39 ซม. ในขณะที่ก่อนการเผานั้น ลูกไม้มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 30 -60 ซม. (Figure 37) ในด้านของการปกคลุมพื้นที่และขนาดเรือนยอดนั้นพบว่าภายหลังการเผาทำให้ขนาดเรือนยอดและการปกคลุมพื้นที่ของลูกไม้มีค่าสูงขึ้น โดยทั้งนี้ น่าจะเนื่องมาจากการแตกหน่อใหม่ภายหลังการเผาได้ส่งผลต่อขนาดของเรือนยอดอย่างชัดเจนโดยเฉพาะในป่าสนเสื่อมโทรมที่ขนาดเรือนยอดและการปกคลุมพื้นที่ของลูกไม้เพิ่มขึ้นสูงมากกว่าก่อนการเผา (Figure 38)

Table 27. ลักษณะโครงสร้างของลูกไม้ (Seedling) สังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อบริเวณ
ภู่ม่วงขาว อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว ภายหลังการเผา 1 ปี

	ป่าสนเสื่อมโทรม			ป่าสนผสมก่อบริเวณ		
	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
ความหนาแน่น (ต้น/เฮกตาร์)	50000	115000	57500	52500	102500	82500
D ₀ (ซม.)	0.39	0.48	0.56	0.35	0.45	0.21
Ht (ม.)	0.36	0.39	0.39	0.36	0.28	0.20
พื้นที่เรือนยอด (ตร.ม./4 ตร.ม.)	1.38	4.15	3.13	1.61	2.84	1.47
การปกคลุมเรือนยอด (%)	34.57	103.69	78.29	40.23	71.02	36.70

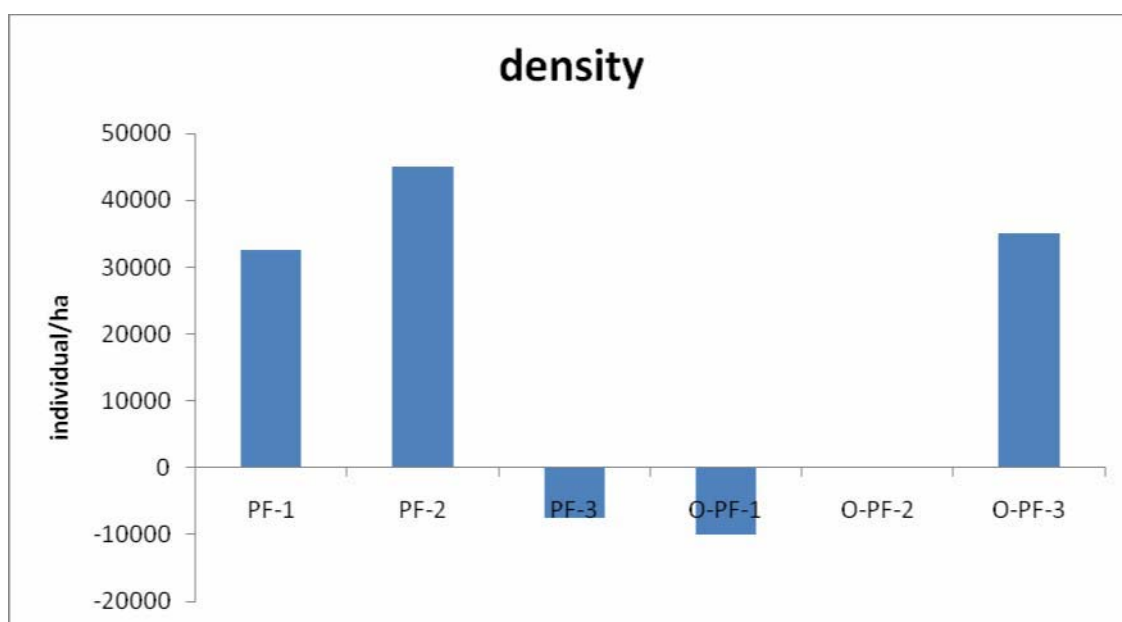


Figure 35. การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของลูกไม้ ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อบริเวณ (O-PF)

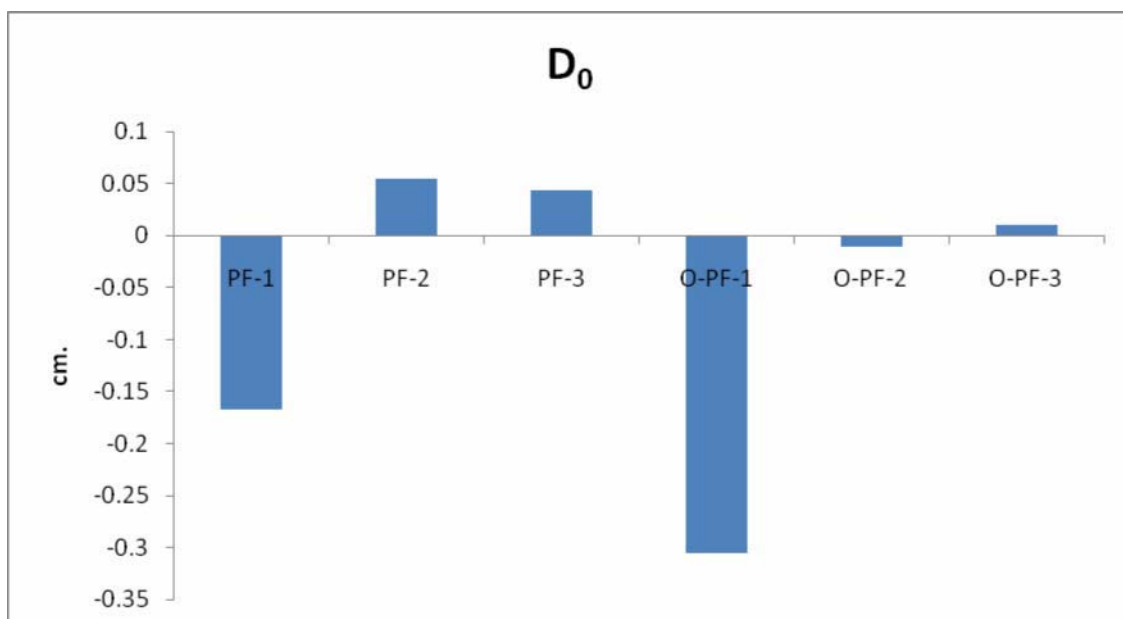


Figure 36. การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนต้น (D_0) ของลูกไม้ ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อกำเนิด (O-PF)

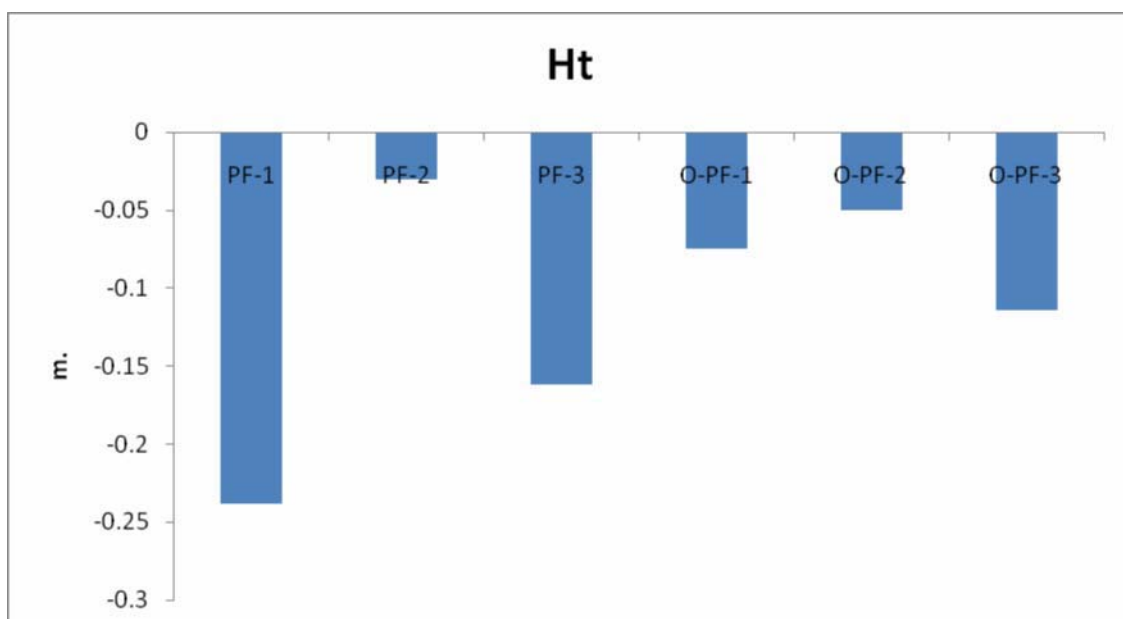


Figure 37. การเปลี่ยนแปลงขนาดความสูงของลูกไม้ ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อกำเนิด (O-PF)

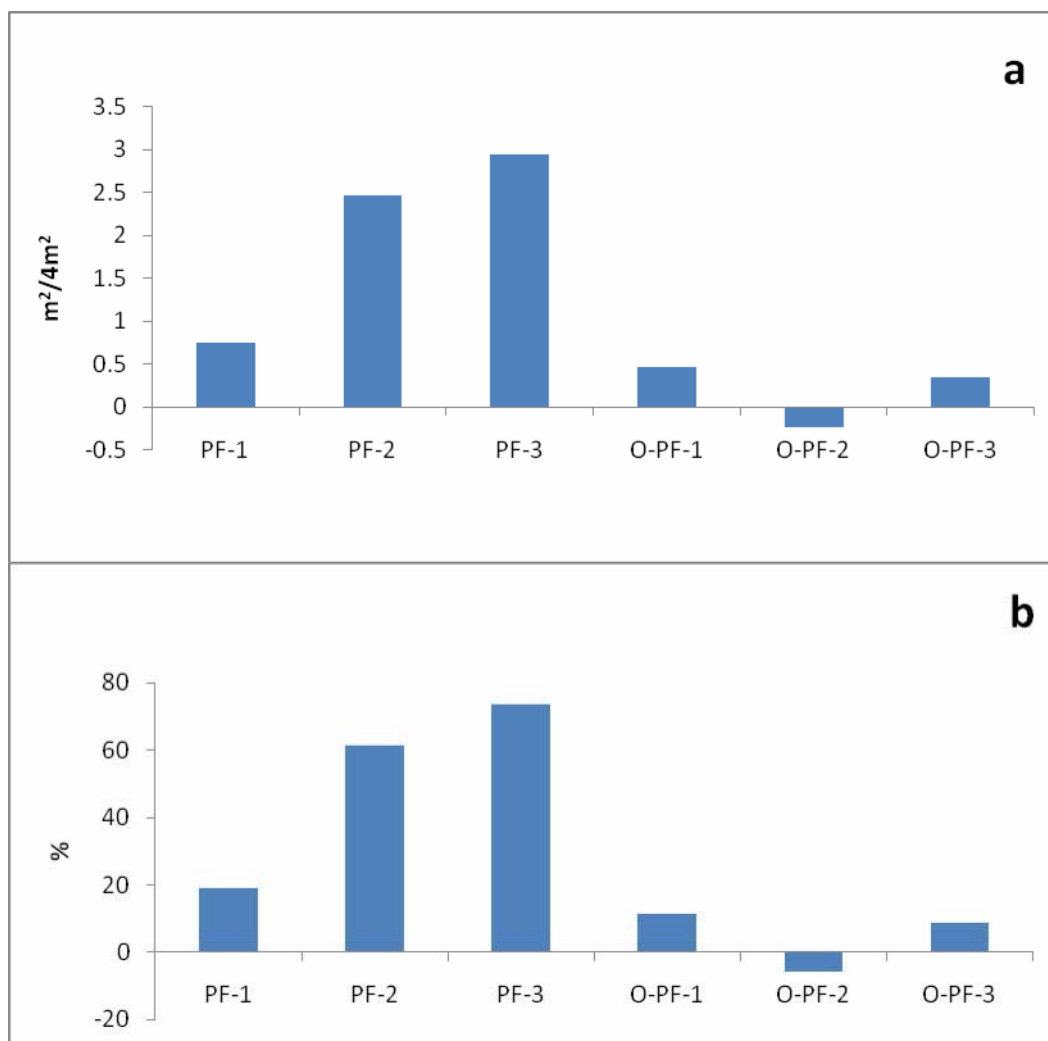


Figure 38. การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่เรือนยอด (a) และเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ (b) ของลูกไม้ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

2.2 การเปลี่ยนแปลงของชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมนั้น พบว่าจำนวนไม้รุ่นในแต่ละชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีจำนวนลดลงจากก่อนเผา และไม่พบว่ามีไม้รุ่นที่มีขนาดใหญ่ปรากฏอยู่ในแปลง (Figure 39, a) แต่สำหรับป่าสนผสมก่อกนั้นพบว่า จำนวนไม้รุ่นในแต่ละชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอน โดยบางชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีจำนวนลดลงภายหลังการเผาโดยเฉพาะในช่วงชั้นขนาดเล็ก (1.1-3.0 ซม.) ในขณะที่บางชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงชั้นขนาดกลาง (3.1-7.0 ซม.) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากไฟที่เกิดขึ้นไม้รุ่นแรก เผลวไฟต่ำ จึงไม่ส่งผลต่อการตายของไม้รุ่น อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในป่าสนเสื่อมโทรม

มีลักษณะเป็นปกติ กล่าวคือไม้รุ่มที่มีขนาดเล็กมีมากและมีจำนวนลดลงตามชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้น (Figure 39, b)

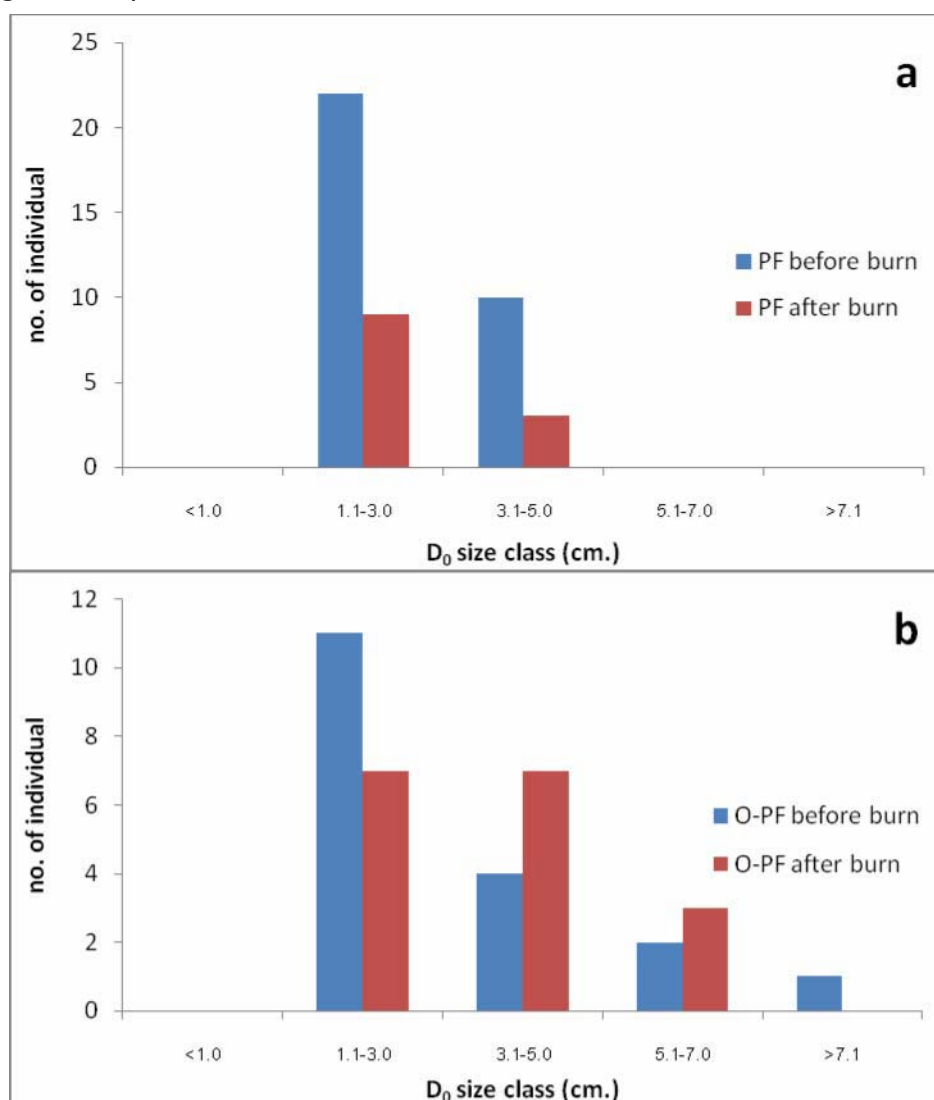


Figure 39. การกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่โคนต้น (D_0) ของไม้รุ่มก่อนการเผา และ 1 ปี ภายหลังการเผา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF: a) และป่าสนผสมก้อ (O-PF: b)

สำหรับการกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกไม้พบว่าลูกไม้มีการกระจายในทุกชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยที่ในป่าสนผสมก้อนั้น ลูกไม้ในช่วงชั้นขนาดเล็กมีจำนวนมากและลดหลั่นลงตามขนาดช่วงชั้นที่เพิ่มขึ้นโดยที่แนวโน้มของจำนวนกล้าไม้ในแต่ละช่วงชั้นนั้นลดลงภายหลังการเผายกเว้นในช่วงชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3-0.6 ซม. (Figure 40, b) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมนั้นแนวโน้มของจำนวนกล้าไม้ในช่วงชั้นขนาดเล็ก-กลาง มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นภายหลังการเผา สาเหตุหลักที่ทำให้จำนวนกล้าไม้ขนาดเล็กเพิ่มขึ้นนั้นน่าจะมาจากการเผาที่ทำลายหญ้าที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ ทำให้พื้นที่เปิดโล่งภายหลังการเผา ดังนั้น เมล็ดไม้จากพื้นที่ต่างๆ จึงสามารถปลิวมาตกสัมผัสผิวดินได้

โดยตรงและเกิดการงอกขึ้นในที่สุด จึงทำให้จำนวนกล้าขนาดเล็กเพิ่มขึ้น 1 ปี หลังไฟไหม้ แต่อย่างไรก็ตามหากไม่สามารถป้องกันไฟในปีต่อมาได้ กล้าไม้ที่งอกขึ้นมาใหม่ก็จะถูกไฟเผาทำลายได้

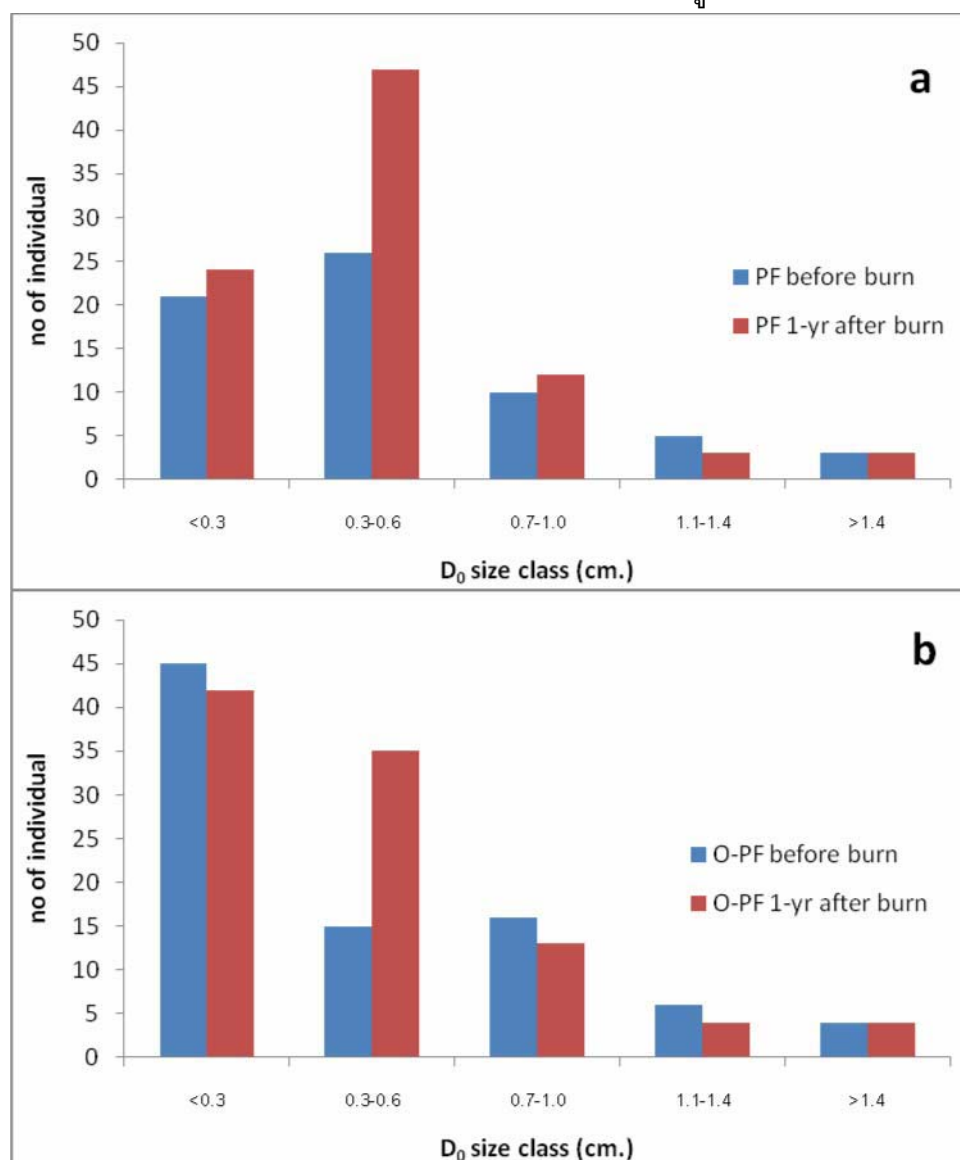


Figure 40. การกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนต้น (D_0) ของลูกไม้ก่อนการเผา และ 1 ปี ภายหลังการเผา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF: a) และป่าสนผสมก้อ (O-PF: b)

2.3 การแตกหน่อภายหลังการเผา

ความสามารถในการแตกหน่อเป็นลักษณะสำคัญประการหนึ่งของพันธุ์ไม้ที่จะสามารถปรับตัวให้อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีไฟได้ จากการวัดความสามารถของการแตกหน่อโดยเปรียบเทียบสัดส่วนของจำนวนหน่อทั้งหมดต่อจำนวนลูกไม้ในแปลง (seedling ratio) ซึ่งค่าที่สูงแสดงให้เห็นถึงความสามารถของต้นไม้ที่มีศักยภาพที่จะสามารถแตกหน่อได้มาก จากการศึกษพบว่าก่อน

การเผาขึ้นอัตราส่วนดังกล่าวสำหรับป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก มีค่าเท่ากับ 1.1 และ 2.5 ตามลำดับ และเมื่อผ่านการเผาไป 1 ปี สัดส่วนของจำนวนหน่อต่อจำนวนลูกไม้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในป่าสนเสื่อมโทรม และมีแนวโน้มลดลงสำหรับป่าสนผสมก่อก (Figure 41.) ซึ่งสามารถอธิบายในเบื้องต้นได้ว่าต้นไม้อในป่าสนผสมก่อกมีความสามารถในการแตกหน่อได้ดีกว่าต้นไม้อในป่าสนเสื่อมโทรม ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องจากป่าสนเสื่อมโทรมนั้นเกิดไฟไหม้อยู่เป็นประจำ ทำให้ลูกไม้แตกหน่อใหม่ทุกปีและถูกทำลายในปีถัดมา ซึ่งในการแตกหน่อต้นไม้อต้องใช้พลังงานที่สะสมอยู่มาใช้ในการแตกหน่อซึ่งในกรณีป่าสนเสื่อมโทรมนั้น อาจจะเป็นไปได้ว่าต้นไม้อได้ใช้พลังงานที่สะสมมาอย่างต่อเนื่องจนทำให้ความสามารถในการแตกหน่อลดลงไปเรื่อยๆ และในท้ายที่สุดอาจจะไม่สามารถแตกหน่อได้และตายไปในที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับป่าสนผสมก่อกซึ่งไฟไหม้ไม่บ่อยเท่ากับป่าสนเสื่อมโทรมและไฟมีความรุนแรงน้อยกว่า ดังนั้นต้นไม้อจึงยังคงมีพลังในการแตกอยู่อยู่มากจึงยังสามารถแตกหน่อได้มาก (Wanthongchai 2008)

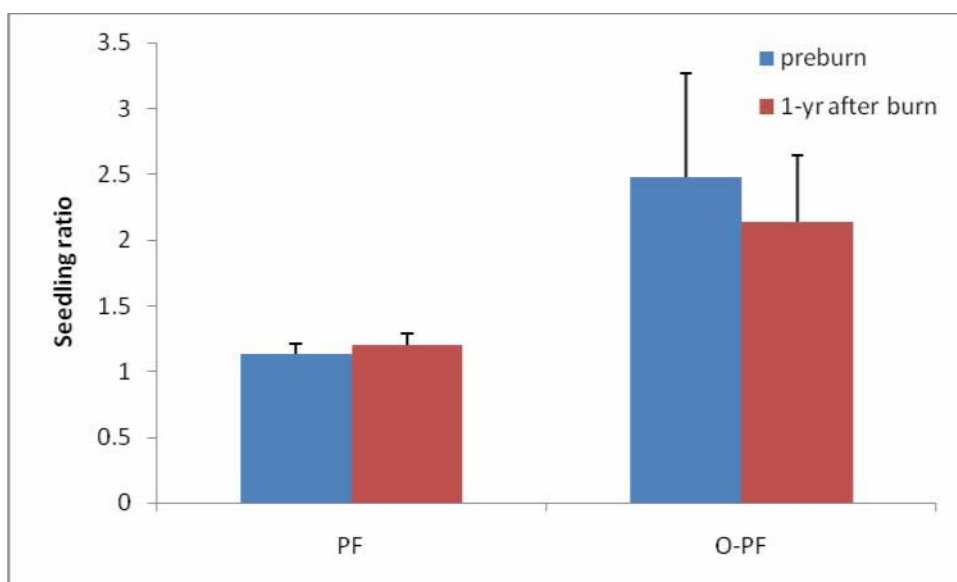


Figure 41. อัตราส่วนระหว่างจำนวนหน่อทั้งหมดต่อจำนวนต้นกล้าของลูกไม้ (Seedling ratio) ก่อนการเผาแปลงทดลอง และภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

ผลกระทบของการเผาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อดต่อการเก็บกักและ ปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ

1. ความเข้มข้นของคาร์บอน (Carbon content)

ความเข้มข้นของคาร์บอนในส่วนของพืชที่อยู่เหนือพื้นดิน (aboveground part) ในพืชแต่ละกลุ่ม ได้แก่ หญ้า ไม้พุ่ม ไม้ล้มลุก ไม้ยืนต้น รวมทั้งเศษซากพืชและกิ่งไม้ขนาดเล็ก ในแต่ละช่วงเวลา (ก่อนเผา, หลังเผาทันที, 2, 4, 8 และ 12 เดือน หลังเผา) พบว่ามีความผันแปรเล็กน้อย ดังแสดงใน **Table 28** โดยที่ความเข้มข้นของคาร์บอนมีความผันแปรระหว่าง 50.16 (กิ่งไม้ขนาดเล็ก) และ 41.56 (เศษซากพืช) โดยพบว่าในภาพรวมนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกิ่งไม้ขนาดเล็กทั้งในป่าสนเสื่อมโทรม (49.11%) และป่าสนผสมก่อ (46.69 %) และความเข้มข้นของคาร์บอนมีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเศษซากพืชทั้งในป่าสนเสื่อมโทรม (43.46%) และป่าสนผสมก่อ (44.19%) เช่นกัน (**Figure 42**)

เมื่อทำการทดลองเผาพื้นที่ส่วนต่างๆ ของพืชจะถูกเผาไหม้ส่งผลให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนส่วนใหญ่ออกไปสู่บรรยากาศ โดยสิ่งที่หลงเหลือภายหลังไฟไหม้ (residues) ได้แก่ ขี้เถ้า (ash) ถ่าน (charcoal) และส่วนที่ไม่ไหม้ไฟหรือไหม้เพียงบางส่วน (partly unburned material) โดยจะพบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนในขี้เถ้าจะมีค่าต่ำที่สุดเพียงประมาณ 8-17% ในขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนในถ่านและส่วนที่ไม่ไหม้ไฟมีค่าระหว่าง 13-29% และ 42-44% ตามลำดับ (**Table 29**)

Table 28 ความเข้มข้นของคาร์บอน (%) ในพืชกลุ่มต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

ประเภทป่า	กลุ่มพืช	ก่อนเผา	หลังการเผา (เดือน)			
			2	4	8	12
PF	หญ้า	45.13	47.24	45.07	45.11	45.28
	ไม้พุ่ม	46.77	46.64	44.11	47.07	47.11
	ไม้ล้มลุก	44.90	45.98	43.95	45.87	44.52
	ไม้ยืนต้น	47.13	44.21	46.21	46.52	45.53
	เศษซากพืช	40.92	50.54	43.90	41.56	45.49
	กิ่งขนาดเล็ก	50.16	48.96	49.17	48.45	46.72
O-PF	หญ้า	44.66	47.52	44.66	44.51	43.93
	ไม้พุ่ม	46.25	46.78	44.84	46.72	45.12
	ไม้ล้มลุก	46.05	46.25	44.05	45.93	46.26
	ไม้ยืนต้น	46.51	44.05	46.90	46.57	48.48
	เศษซากพืช	45.98	42.21	40.09	42.68	46.39
	กิ่งขนาดเล็ก	45.21	49.06	47.41	47.48	47.22

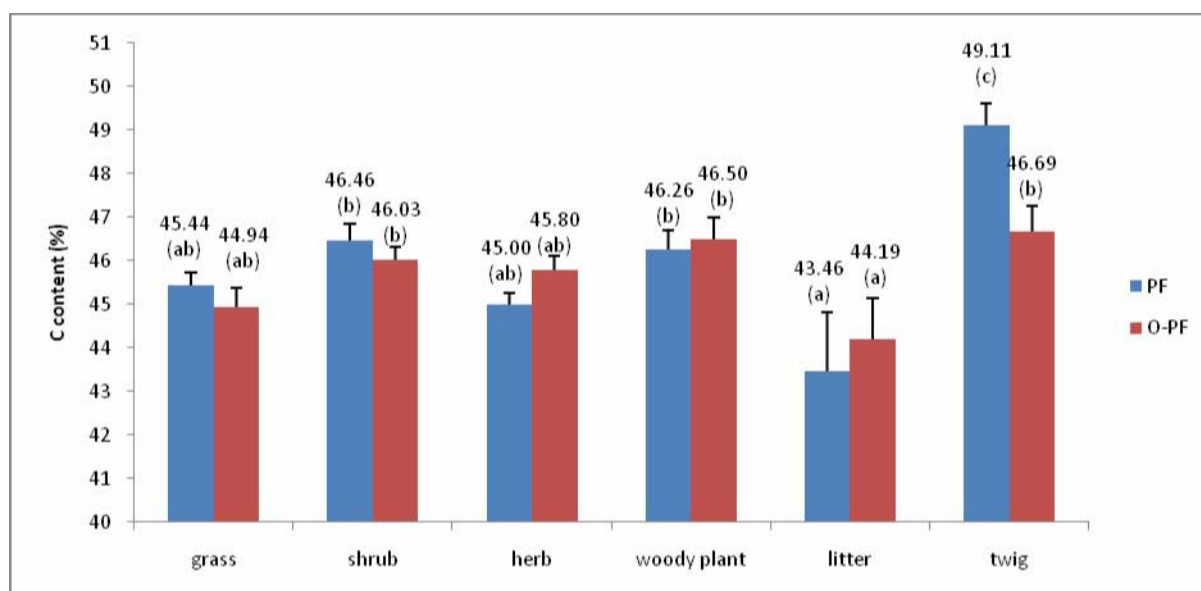


Figure 42 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาร์บอนในพืชกลุ่มต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ตัวอักษร a, b ในวงเล็บแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของความเข้มข้นคาร์บอนในระหว่างกลุ่มพืชในป่าแต่ละประเภท

Table 29 ความเข้มข้นของคาร์บอนในสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผา (ซี้เถ้า ถ่าน และส่วนที่ไหม้ไฟบางส่วน) ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

แปลง	ความเข้มข้นของคาร์บอน (%)		
	ซี้เถ้า	ถ่าน	ส่วนที่ไหม้ไฟบางส่วน
PF-1	10.58	18.44	43.44
PF-2	10.79	26.78	42.36
PF-3	12.75	29.17	44.04
เฉลี่ย	11.37 ^a	24.80 ^a	43.28 ^a
	(0.69)	(3.25)	(0.49)
O-PF-1	12.82	12.87	43.23
O-PF-2	7.95	16.28	44.29
O-PF-3	16.58	23.44	44.06
เฉลี่ย	12.45 ^a	17.53 ^a	43.86 ^a
	(2.49)	(3.11)	(0.32)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ ในด้านความเข้มข้นของคาร์บอนในสิ่งที่หลงเหลือภายหลังการเผาแต่ละประเภท

สำหรับความเข้มข้นของคาร์บอนในส่วนที่อยู่ใต้ดิน (belowground part) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนในดินและในรากพืชขนาดเล็กที่ระดับความลึก 0-15 ซม. โดยความเข้มข้นของคาร์บอนในดินโดยทั่วไปบริเวณผิวดิน (0-5 ซม.) มีค่าสูงกว่าในดินระดับลึก (5-15 ซม.) โดยมีค่าแตกต่างกันเกือบ 2 เท่า ทั้งนี้ความเข้มข้นของคาร์บอนในดินที่ระดับลึกไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนักภายหลังการเผา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความร้อนที่ไม่ได้ส่งผลลงมาสู่ดินในระดับลึก สำหรับที่ระดับผิวดินนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยทันทีภายหลังการเผา ในขณะที่เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของคาร์บอนในดินที่ระดับต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความเข้มข้นของคาร์บอนของดินที่ระดับ 0-5 ซม. สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อมีค่าอยู่ระหว่าง 2.12-3.11% และ 1.76-2.81% ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนของดินที่ระดับ 5-15 ซม. สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อมีค่าที่ผันแปรในช่วงแคบๆ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.14-1.52% และ 1.03-1.47% ตามลำดับ (Table 30)

ความเข้มข้นของคาร์บอนในรากพืชขนาดเล็กที่อยู่ในดินที่ระดับ 0-15 ซม. นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อ โดยมีค่าเฉลี่ยที่มีความแปรผันในช่วงกว้างๆ ระหว่าง 29.5-43.0 % ขึ้นอยู่กับระยะเวลาภายหลังการเผา (Table 30)

Table 30 ความเข้มข้นของคาร์บอนในดินและรากพืชขนาดเล็กที่ระดับความลึก 0-15 ซม ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

ช่วงเวลา	ระดับความลึก (ซม.)	ความเข้มข้นของคาร์บอน (%)			
		ดิน		รากพืชขนาดเล็ก	
		PF	O-PF	PF	O-PF
ก่อนเผา	0-5	2.12	2.16	42.82	40.52
	5-15	1.52	1.30	-	-
หลังเผาทันที	0-5	2.26	2.81	38.41	38.8
	5-15	1.21	1.47	-	-
2 เดือน	0-5	2.26	1.98	40.02	40.32
	5-15	1.16	1.15	-	-
4 เดือน	0-5	2.34	1.76	35.46	35.27
	5-15	1.18	1.03	-	-
8 เดือน	0-5	2.58	2.05	29.46	31.47
	5-15	1.14	1.18	-	-
12 เดือน	0-5	3.11	2.07	39.2	42.78
	5-15	1.32	1.36	-	-

2. ปริมาณคาร์บอน (Carbon pool) ก่อนการเผาพื้นที่

2.1 ปริมาณคาร์บอนของเชื้อเพลิงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน

ปริมาณคาร์บอนในพื้นที่นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงและความเข้มข้นของคาร์บอนในแต่ละประเภทเชื้อเพลิง ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณเชื้อเพลิงโดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณเชื้อเพลิงเนื่องจากความเข้มข้นของคาร์บอนนั้นมีความผันแปรในช่วงแคบๆ ระหว่างเชื้อเพลิงแต่ละประเภท จากการศึกษาพบว่าในป่าสนเสื่อมโทรมนั้นปริมาณคาร์บอนในหญ้ามีค่าสูงที่สุด (2.6 ตัน/เฮกแตร์) รองลงมาได้แก่เศษซากพืช (2.3 ตัน/เฮกแตร์) และปริมาณคาร์บอนมีน้อยที่สุดในไม้พุ่ม (0.02 ตัน/เฮกแตร์) โดยที่ปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดในเชื้อเพลิงของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าเท่ากับ 5.6 ตัน/เฮกแตร์ สำหรับปริมาณคาร์บอนในป่าสนผสมก้อนั้นเนื่องจากหญ้าไม่ได้มีปริมาณสูงที่สุด ดังนั้นปริมาณคาร์บอนในหญ้าจึงไม่ได้มีค่ามากที่สุด (0.6 ตัน/เฮกแตร์) โดยที่พบว่าปริมาณคาร์บอนในเศษซากพืชมีค่าสูงที่สุด (2.2 ตัน/เฮกแตร์) รองลงมาคือกิ่งไม้ (0.7 ตัน/เฮกแตร์) โดยปริมาณคาร์บอนในไม้ล้มลุกมีค่าน้อยที่สุด (0.05 ตัน/เฮกแตร์) (Table 31) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ

คาร์บอนรวมทั้งหมดในเชื้อเพลิงเหนือพื้นดินระหว่างป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก พบว่าปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 31 ปริมาณคาร์บอน (Carbon pool) ของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินในเชื้อเพลิงแต่ละกลุ่มก่อนการเผาแปลงทดลองในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

แปลง	ปริมาณคาร์บอน (ton/ha)						รวมทั้งหมด
	หญ้า	ไม้พุ่ม	ไม้ล้มลุก	ไม้ยืนต้น	ซากพืช	กิ่งไม้	
PF1	2.703	0.007	0.085	0.594	2.491	0.082	5.963
PF2	2.746	0.039	0.078	0.287	2.257	0.584	5.992
PF3	2.458	0.025	0.028	0.169	2.247	0.000	4.926
	2.636^a	0.024^a	0.064^a	0.350^a	2.332^a	0.222^a	5.627^a
เฉลี่ย PF	(0.090)	(0.009)	(0.018)	(0.127)	(0.080)	(0.182)	(0.351)
O-PF1	0.697	0.276	0.076	0.319	2.792	1.185	5.344
O-PF2	0.880	0.104	0.046	0.362	1.152	0.437	2.982
O-PF3	0.347	0.047	0.039	0.122	2.640	0.408	3.603
	0.641^b	0.142^a	0.054^a	0.268^a	2.195^a	0.677^a	3.976^a
เฉลี่ย O-PF	(0.156)	(0.069)	(0.011)	(0.074)	(0.523)	(0.254)	(0.707)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ ของปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงแต่ละประเภท

2.2 ปริมาณคาร์บอนของส่วนที่อยู่ใต้ดิน (0-15 ซม.)

ปริมาณคาร์บอนของส่วนที่อยู่ใต้ดินประกอบด้วยคาร์บอนที่อยู่ในดินและในรากพืช โดยในการศึกษาครั้งนี้กำหนดระดับความลึกของดินที่ 15 ซม. โดยในส่วนของรากได้ศึกษาเฉพาะส่วนของรากขนาดเล็กเท่านั้น สำหรับคาร์บอนในดินพบว่าบริเวณดินชั้นบน (0-5 ซม.) จะมีปริมาณคาร์บอนที่มากกว่าในดินชั้นล่าง แต่เนื่องจากชั้นความลึกของดินจะน้อยกว่าจึงทำให้มีคาร์บอนน้อย จากการศึกษาพบว่าคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 0-5 ซม. ทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกมีค่าประมาณ 10 ตันต่อเฮกเตอร์ ในขณะที่คาร์บอนในดินชั้นล่าง (5-15 ซม.) ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกมีค่าเพียงประมาณ 12 ตันต่อเฮกเตอร์ เท่านั้น แม้ว่าชั้นความลึกจะมากกว่าดินชั้นบนถึง 10 ซม. เมื่อรวมปริมาณคาร์บอนในดินพบว่าคาร์บอนในดินที่ความลึก 0-15 ซม. ของป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกมีค่าเท่ากับ 22.83 และ 22.92 ตันต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ สำหรับปริมาณคาร์บอนในรากขนาดเล็กเมื่อเทียบกับคาร์บอนในดินแล้วพบว่ามีสัดส่วนที่น้อยมาก โดยมีปริมาณเพียงประมาณ 1-2 ตันต่อเฮกเตอร์ เท่านั้น แนวโน้มการกระจายของปริมาณคาร์บอนในรากมีแนวโน้มเช่นเดียวกับคาร์บอนในดินกล่าวคือ

บริเวณดินชั้นบนมีปริมาณมากกว่าดินชั้นล่างเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นความลึกที่เท่ากัน เมื่อรวมปริมาณคาร์บอนในดินและรากพืชที่ระดับความลึก 15 ซม. แล้ว พบว่าปริมาณคาร์บอนของส่วนที่อยู่ใต้ดินสำหรับป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมกุ่มีค่าเท่ากับ 24.77 และ 26.35 ตันต่อเฮกตาร์ โดยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Table 32**)

Table 32 ปริมาณคาร์บอน (Carbon pool) ของส่วนที่อยู่ใต้ดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. ก่อนการเผาแปลงทดลอง ปริมาณที่พบหลังการเผาทันที และการสูญเสียคาร์บอนจากการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมกุ่ม (O-PF)

ช่วงเวลา	ความลึก (ซม.)	ปริมาณคาร์บอน (ตันต่อเฮกตาร์)					
		ป่าสน			ป่าสนผสมกุ่ม		
		ดิน	ราก	รวม	ดิน	ราก	รวม
ก่อนเผา	0-5	10.03	0.98	11.01	10.52	1.50	12.02
	5-15	12.80	0.96	13.76	12.40	1.93	14.32
	รวม	22.83	1.94	24.77^{a,A}	22.92	3.43	26.35^{a,A}
หลังเผาทันที	0-5	9.99	0.88	10.87	12.05	0.91	12.96
	5-15	10.28	1.11	11.38	14.90	1.39	16.29
	รวม	20.27	1.98	22.25^{a,A}	26.95	2.31	29.26^{a,A}
การเปลี่ยนแปลง	0-5	-0.040	-0.102	-0.142	1.529	-0.590	0.939
	5-15	-2.522	0.145	-2.377	2.502	-0.534	1.968
	รวม	-2.562	0.042	-2.520	4.031	-1.124	2.907

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ ของปริมาณคาร์บอนในดินระหว่างป่าแต่ละประเภท

ตัวอักษร ^{A, B} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างช่วงเวลา (ก่อนและหลังเผา) ของปริมาณคาร์บอนในดินของป่าแต่ละประเภท

3 ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไป (Carbon loss) จากการเผา

3.1 ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน

เมื่อพื้นที่ถูกเผา สิ่งที่หลงเหลืออยู่ภายหลังการเผาประกอบด้วย ขี้เถ้า ผงถ่าน และส่วนที่ไหม้ไฟบางส่วน/ไม่ไหม้ไฟ ซึ่งหากส่วนต่างๆ ดังกล่าวเหลืออยู่เป็นปริมาณมากแสดงถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (ดูผลการศึกษาเรื่องพฤติกรรมไฟประกอบ) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม พบว่าเมื่อทำการเผาพื้นที่ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยหญ้าเป็นหลักนั้น คาร์บอนที่หลงเหลือในส่วนต่างๆ มีค่าเท่ากับ 0.872 ตัน/เฮกแตร์ โดยพบคาร์บอนที่หลงเหลืออยู่ในส่วนที่ไหม้ไฟบางส่วนมากที่สุด (0.431 ตัน/เฮกแตร์) ในขณะที่ป่าสนผสมก่อนนั้นก็พบว่าคาร์บอนหลงเหลือในส่วนที่ไหม้ไฟบางส่วนมากที่สุดเช่นกัน (1.848 ตัน/เฮกแตร์) แต่เป็นสัดส่วนที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ และมีคาร์บอนเหลือในขี้เถ้าไม่น้อยที่สุด (0.044 ตัน/เฮกแตร์) ทั้งนี้เนื่องจากการเผาไหม้ในป่าสนผสมก่อนนั้นไม่สมบูรณ์เท่ากับป่าสนเสื่อมโทรม ดังนั้นจึงมีส่วนที่ไหม้ไฟเพียงบางส่วนหลงเหลืออยู่ในพื้นที่มากกว่าในป่าสนเสื่อมโทรม เมื่อคำนวณปริมาณคาร์บอนในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่สูญหายไปจากการเผาพบว่าในป่าสนเสื่อมโทรมสูญเสียคาร์บอนไป 84.5% (4.755 ตัน/เฮกแตร์) ในขณะที่ป่าสนผสมก่อนสูญเสียคาร์บอนไป 53.5% (2.129 ตัน/เฮกแตร์) โดยที่ปริมาณและสัดส่วนของการสูญเสียคาร์บอนจากการเผาระหว่างป่าทั้งสองประเภทนี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 33)

3.2 ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียจากส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน

สำหรับการสูญเสียคาร์บอนจากส่วนที่อยู่ใต้ดิน (Table 32) พบว่าการเผาไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียคาร์บอนทั้งจากส่วนที่เป็นดินและรากขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่การเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณคาร์บอนในดินที่ระดับความลึกมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากความผันแปรของ ความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density) ทำให้คาร์บอนในดินมีความผันแปรไป นอกจากนี้ เนื่องจากดินนั้นมีคุณสมบัติที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ประกอบกับไฟที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงปานกลาง-ต่ำ ดังนั้นความร้อนที่ส่งผ่านลงสู่ดินจึงมีน้อย ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนจึงน้อยลงไป ซึ่งจากการศึกษาของ Wanthongchai et al.(2008) ที่ได้ศึกษาการสูญเสียธาตุอาหารในป่าเต็งรังบริเวณเขต รักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี ได้พบว่าพื้นที่ที่ไฟมีความรุนแรงไม่สูงมากนั้น ปริมาณ คาร์บอนที่อยู่ในดินที่ระดับความลึก 0-5 ซม. นั้นไม่ได้รับผลกระทบใดๆ เลย เช่นกัน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการสูญเสียคาร์บอนจากการเผาในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อนที่ไฟมีความรุนแรงไม่สูง มาก คาร์บอนส่วนใหญ่จะเกิดการสูญเสียไปจากเชื้อเพลิงของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเป็นหลัก โดยมีการ สูญเสียจากส่วนที่อยู่ใต้ดินน้อยมากหรือไม่เกิดการสูญเสียเลย ยกเว้นเพียงบริเวณผิวดินเท่านั้นที่อาจจะ มีการสูญเสียคาร์บอนจากดินไปบ้างเล็กน้อย

Table 33 ปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลือในส่วนต่างๆ เนื้อพื้นดินภายหลังการเผาและปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไปจากการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

แปลง	ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงก่อนเผาทั้งหมด (ตัน/เฮกเตอร์)	ปริมาณคาร์บอนของสิ่งที่หลงเหลือจากการเผา (ตัน/เฮกเตอร์)				ปริมาณคาร์บอนที่สูญเสีย (ตัน/เฮกเตอร์)	คาร์บอนที่หายไป (%)
		ชี้เถ้า	ถ่าน	ส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ	รวม		
PF-1	5.963	0.178	0.160	0.300	0.638	5.325	89.301
PF-2	5.992	0.174	0.252	0.805	1.230	4.762	79.468
PF-3	4.926	0.219	0.338	0.189	0.747	4.179	84.835
	5.627^a	0.190^a	0.250^a	0.431^a	0.872^a	4.755^a	84.508^a
เฉลี่ย PF	(0.351)	(0.014)	(0.051)	(0.189)	(0.182)	(0.331)	(2.842)
O-PF-1	5.344	0.222	0.183	1.379	1.784	3.561	66.627
O-PF-2	2.982	0.068	0.246	1.342	1.655	1.326	44.483
O-PF-3	3.603	0.151	0.420	1.533	2.104	1.499	41.609
	3.976^a	0.147^a	0.283^a	1.418^b	1.848^b	2.129^b	53.536^b
เฉลี่ย O-PF	(0.707)	(0.044)	(0.071)	(0.058)	(0.133)	(0.718)	(7.904)

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Independent *t*-test, $P < 0.05$) ระหว่างพื้นที่ ของปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงทั้งหมดก่อนเผา คาร์บอนในส่วนที่หลงเหลือภายหลังการเผา และปริมาณคาร์บอนที่สูญเสียไป

4 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอน (Carbon recovery) ในระยะเวลา 1 ปี หลังการเผา

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าผลของการเผานั้นมีผลกระทบน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในดิน ดังนั้นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงและการฟื้นคืนกลับมาของคาร์บอนจึงมุ่งในประเด็นของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเป็นหลัก เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนรวมทั้งหมดในเชื้อเพลิงเหนือดิน (Total aboveground C pool) จะพบว่าปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงยังไม่สามารถฟื้นคืนกลับมาสู่ระดับเดิมได้ภายในระยะเวลา 1 ปี (**Figure 43 และ Table 34**) โดยมีปัจจัยหลักมาจากปริมาณของเศษซากพืชเป็นสำคัญที่ยังมีปริมาณการสะสมกลับมาที่ยังน้อยกว่าปริมาณที่มีอยู่เดิมก่อนเผา (ดูหัวข้อเชื้อเพลิงและพฤติกรรมไฟประกอบ) ซึ่งอาจคาดการณ์จากปริมาณเชื้อเพลิงได้ว่าพื้นที่ป่าทั้ง 2 ประเภทต้องใช้เวลามากกว่า 1 ปี จึงจะสามารถทำให้ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงกลับมาอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่มีอยู่ก่อนเผา ซึ่งเมื่อทำการสร้างสมการเพื่อประมาณหาช่วงเวลาปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงจะกลับมาสู่ระดับก่อนที่ทำการเผาโดยการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงที่สะสมกลับมาในแต่ละช่วงเวลา (**Figure 44**) ซึ่งพบว่าสมการประมาณหาช่วงเวลาเชื้อเพลิงจะฟื้นกลับมาสู่ระดับก่อนการเผาสำหรับป่าสนเสื่อมโทรม ได้แก่ $Y = 1.6756 \ln(x) + 0.5476$; $r^2 =$

0.9584 และป่าสนผสมก่อกำ ได้แก่ $Y = 0.6808\ln(x) + 1.5173$; $r^2 = 0.7833$ เมื่อ Y คือปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงที่ประมาณได้ (ตันต่อเฮกแตร์) และ X คือระยะเวลา (จำนวนเดือน) จากการใช้สมการข้างต้นประมาณระยะเวลาการสะสมคาร์บอนในเชื้อเพลิงให้กลับมาสู่ระดับใกล้เคียงกับเมื่อก่อนการเผา พบว่าป่าสนเสื่อมโทรมต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 20-21 เดือนที่ปริมาณเชื้อเพลิงจะสะสมกลับมาสู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่มีอยู่ก่อนเผา ในขณะที่ป่าสนผสมก่อกำต้องใช้เวลาประมาณ 35-36 เดือน (ประมาณ 3 ปี) จึงจะทำให้ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงกลับสู่ระดับที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่มีอยู่ก่อนเผา (**Table 35**) อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการสำหรับป่าสนผสมก่อกำที่ได้รับมีค่าที่ต่ำซึ่งจะมีผลต่อความแม่นยำของการประเมินมากกว่าการประเมินในป่าสนเสื่อมโทรม

Table 34 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงเหนือพื้นดิน ส่วนที่อยู่ใต้ดินและปริมาณคาร์บอนรวมทั้งในส่วนเหนือพื้นดินและใต้ดิน (ดินและรากพืชขนาดเล็กที่ระดับความลึก 15 cm) ในระยะเวลา 1 ปีภายหลังการเผา ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อกำ (O-PF)

พื้นที่		ปริมาณคาร์บอน (ton/ha)							
		ก่อนเผา	0	2	4	6	8	10	12
เชื้อเพลิงเหนือ	PF	5.627	0.872	1.303	2.213	2.803	3.393	3.642	3.892
พื้นดิน	O-PF	3.976	1.848	1.704	1.952	2.331	2.710	2.863	3.016
ใต้ดิน	PF	24.771	22.251	24.583	23.290	25.369	27.449	27.639	27.830
	O-PF	26.348	29.255	24.797	21.457	24.624	27.792	28.618	29.443
Total	PF	30.398	23.123	25.886	25.502	28.172	30.842	31.282	31.721
	O-PF	30.325	31.103	26.501	23.409	26.956	30.503	31.481	32.459

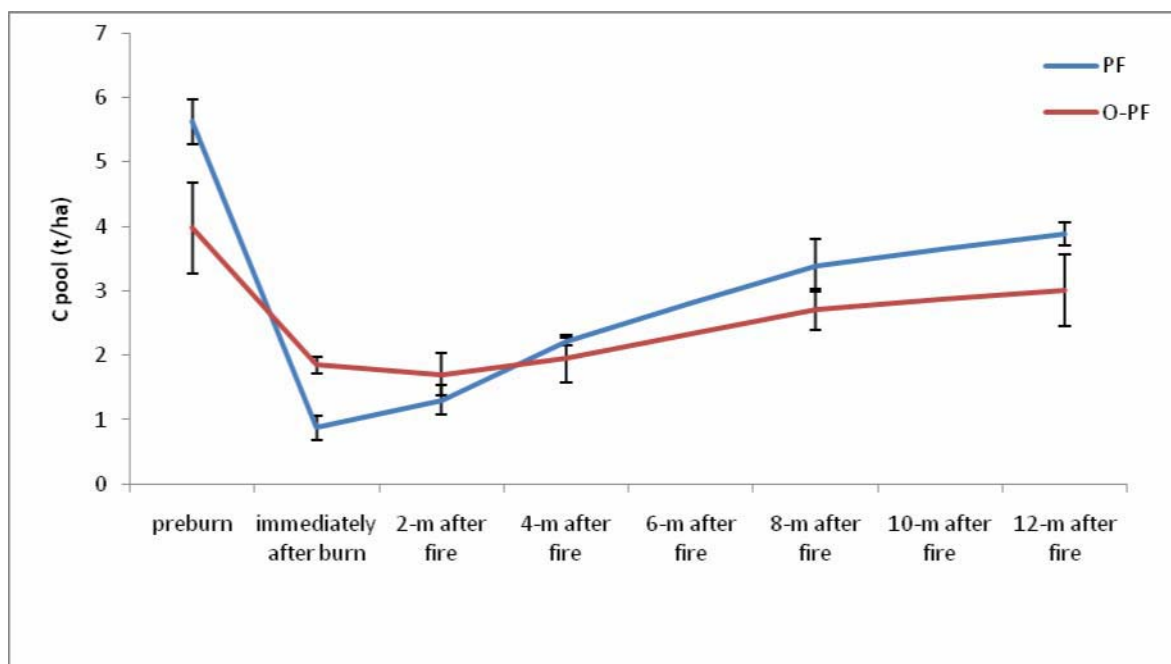


Figure 43. การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินภายในระยะเวลา 12 เดือน ภายหลังการเผา

Table 35 ประมาณระยะเวลาและปริมาณการสะสมคาร์บอนในเชื้อเพลิงในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และ ป่าสนผสมก่อก (O-PF) จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาปริมาณคาร์บอน

ประเภท	ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิง (ton/ha)							
	ก่อนเผา*	4 เดือน*	8 เดือน*	12 เดือน	18 เดือน	20 เดือน	22 เดือน	36 เดือน
				*	**	**	**	**
PF	5.627	2.213	3.393	3.892	5.391	5.567	5.727	-
O-PF	3.976	1.952	2.710	3.016	3.485	3.557	3.622	3.957

หมายเหตุ: * ข้อมูลจากการโดยตรงจากการวางแผนสำรวจ, ** การประมาณการจากสมการ $Y = 1.6756 \ln(x) + 0.5476$; $r^2 = 0.9584$ สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม และ $Y = 0.6808 \ln(x) + 1.5173$; $r^2 = 0.7833$ สำหรับป่าสนผสมก่อก

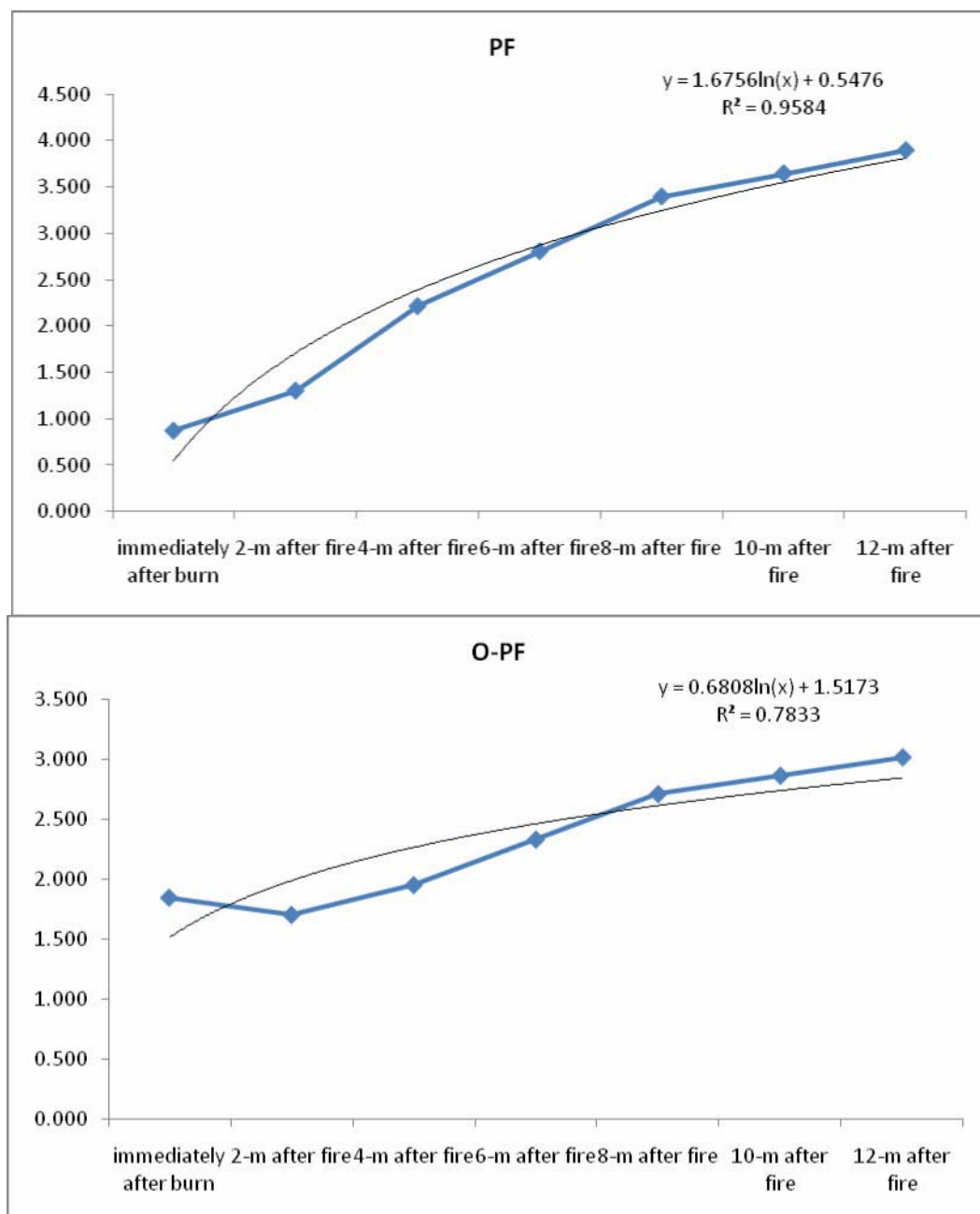


Figure 44. สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงเหนือพื้นดินกับระยะเวลาเพื่อใช้ในการประมาณระยะเวลาการสะสมของคาร์บอนในเชื้อเพลิงที่จะสะสมกลับสู่ในระดับก่อนการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

ผลกระทบของการเผาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อดูคุณสมบัติของดิน และพลวัตรของธาตุอาหาร

1. ผลกระทบต่อคุณสมบัติของดิน

1.1 ความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density)

ผลกระทบของไฟต่อคุณสมบัติของดินในด้านของความหนาแน่นรวมของดินในการศึกษาครั้งนี้พบว่าความหนาแน่นรวมของดินไม่ได้รับผลกระทบจากการเผา โดยพบว่าความหนาแน่นรวมของดินมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยทั้งเพิ่มขึ้น-ลดลง หรือไม่เปลี่ยนแปลง (Figure 45) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะพบว่ามีค่าสูงทั้งก่อนและหลังเผา จึงพอสรุปได้ในเบื้องต้นว่าอิทธิพลของการเผาซึ่งมีความรุนแรงไม่สูงมากไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นรวมของดิน ซึ่งทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุสำคัญมาจากอิทธิพลของไฟที่มีความรุนแรงไม่สูงมาก โดยที่ความรุนแรงของไฟในป่าสนผสมก่อกมีค่าเพียงประมาณ 48 kW/m ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก สำหรับป่าสนมีความรุนแรงของไฟประมาณ 627 kW/m ซึ่งมีความรุนแรงปานกลางระบบการจำแนกของ Cheney (1994) ดังจะพบว่าความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในหลายจุดสำหรับป่าสนเสื่อมโทรม

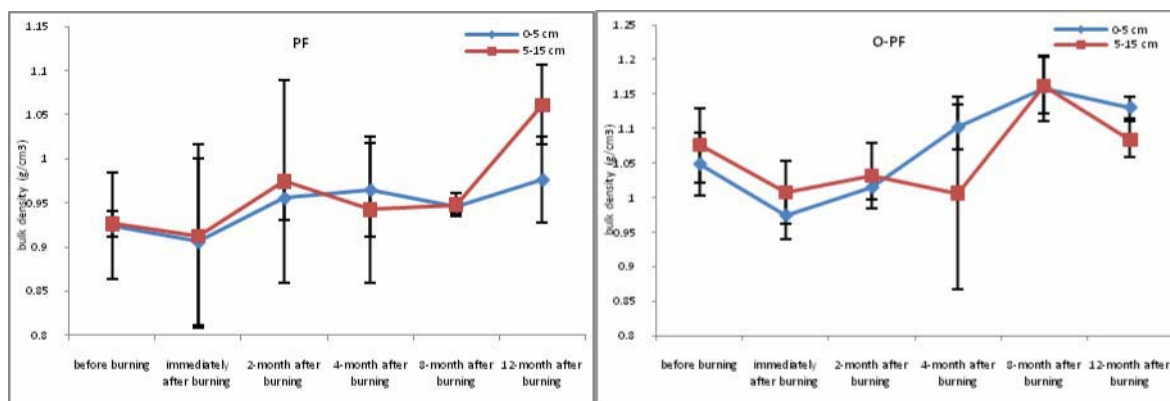


Figure 45 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมของดิน (soil bulk density) จากผลของการเผาในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

1.2 ลักษณะของเนื้อดิน (soil texture)

ผลกระทบของไฟต่อลักษณะของเนื้อดินนั้นมีน้อยมากยกเว้นในกรณีที่เกิดไฟไหม้รุนแรงสูงมาก ซึ่งจะทำให้อนุภาคทรายเปลี่ยนแปลง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อดินไป อย่างไรก็ตามไฟที่เกิดขึ้นในป่าสนผสมก่อกมีความรุนแรงต่ำมาก ส่วนความรุนแรงของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงค่อนข้างต่ำ (ดูหัวข้อพฤติกรรมไฟประกอบ) จากการศึกษาในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกพบว่าลักษณะเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดิน sandy clay loam โดยที่มีบางบริเวณเท่านั้นที่มีเนื้อดินเป็นดิน sandy loam หรือ clay loam

1.3 ความเป็นกรด-ด่างของดิน

ไฟส่งผลกระทบท่อดินโดยทำให้ดินลดความเป็นกรดของดินลงชั่วคราว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของไฟและสภาพความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนการเผา (DeBano *et al.*, 1998) จากการศึกษาผลกระทบของไฟต่อความเป็นกรด-ด่างของดินพบว่าในป่าสนเสื่อมโทรมแปลงที่ 1 และ 2 (PF-1, PF-2) ค่าความเป็นกรด-ด่างบริเวณผิวดิน (0-5 ซม.) ของดินลดลงซึ่งสอดคล้องกับค่าความรุนแรงของไฟที่มีค่าสูงสำหรับ 2 แปลงนี้ (519 kW/m และ 885 kW/m สำหรับ PF-1, PF-2 ตามลำดับ) แต่สำหรับป่าสนผสมก่อกไฟไม่ได้ส่งผลกระทบต่ความเป็นกรด-ด่างของดินเนื่องจากไฟมีความรุนแรงต่ำมาก สำหรับที่ดินในระดับลึกลงไปอิทธิพลของความร่อนจากไฟในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินไม่สามารถส่งผลกระทบลงไปในดินที่ลึกลงไปทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก เนื่องจากดินเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี (Figure 46) นอกจากนี้แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในดินชั้นบนในป่าสนเสื่อมโทรมมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ป่าสนผสมก่อกมีแนวโน้มที่ลดลง (Figure 47) แต่เนื่องจากมีความผันแปรค่อนข้างมากดังนั้นจากการวิเคราะห์ทางสถิติจึงไม่พบว่าอิทธิพลของไฟมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญ (Table 36)

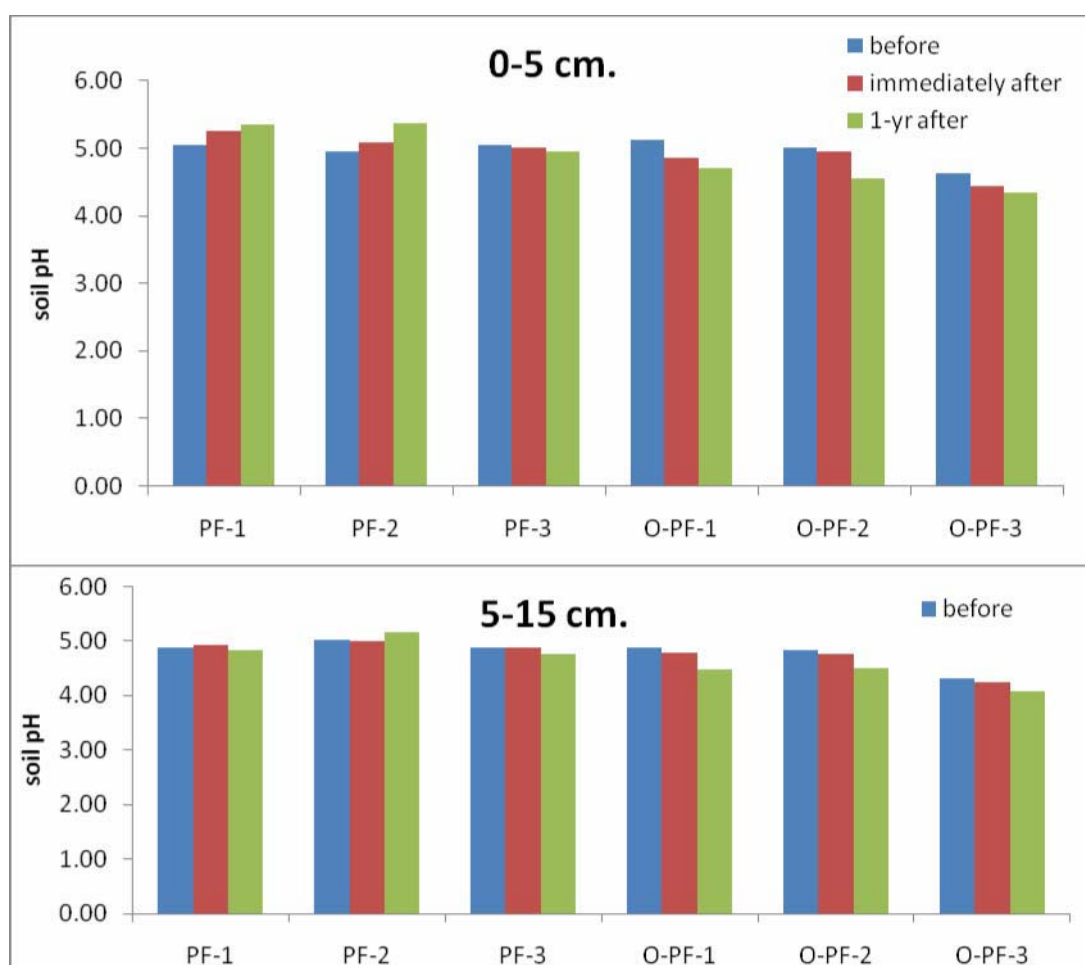


Figure 46 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ในแปลงต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.

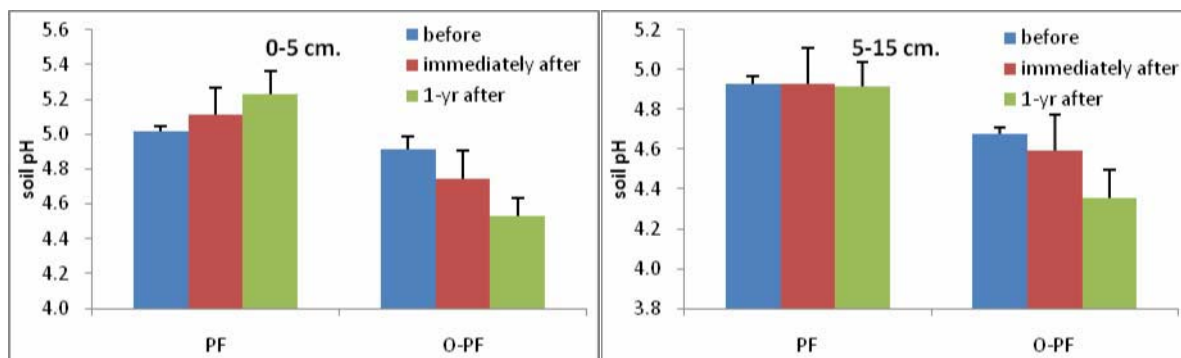


Figure 47. ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ในแปลงต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.

1.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความผันแปรแตกต่างกันไปในแต่ละแปลงและแต่ละพื้นที่ ทั้งก่อนเผา ทันทีหลังการเผาและภายหลังเผา 1 ปี เช่นปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนที่ระดับ 0-5 ซม. ที่พบในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าที่ผันแปรสูงมากโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.05-5.21 % ในขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่พบในป่าสนผสมก้อที่ระดับความลึกเท่ากันนี้มีความผันแปรระหว่างแปลงที่น้อยกว่าโดยมีค่าระหว่าง 3.19-4.12 % (**Figure 48, Table 36**) โดยที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อนเผามีค่าสูงกว่าภายหลังการเผา และมักจะมีค่าสูงบริเวณดินชั้นบน (0-5 ซม.) และมีค่าต่ำกว่าในดินชั้นล่าง (5-15 ซม.) ทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อ โดยก่อนการเผานั้นป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ชั้นผิวดิน 0-5 ซม. 4.42 และ 3.76 % ตามลำดับ ในขณะที่ในดินชั้นล่างลงไปนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพียง 2.60 และ 2.27 % ตามลำดับ เท่านั้น (**ดู Table 36**) สำหรับผลกระทบของการเผาต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสำหรับป่าสนเสื่อมโทรมนั้นพบว่าอิทธิพลของการเผาไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุในดินอย่างมีนัยสำคัญทั้งในดินชั้นบนและชั้นล่าง ในขณะที่ป่าสนผสมก้อมีอิทธิพลของการเผาส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์วัตถุในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในดินชั้นล่าง โดยเฉพาะปริมาณอินทรีย์วัตถุภายหลังการเผาทันทีที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในดินชั้นบนนั้นไม่พบว่ามีเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับในป่าสนเสื่อมโทรม (**Figure 49**)

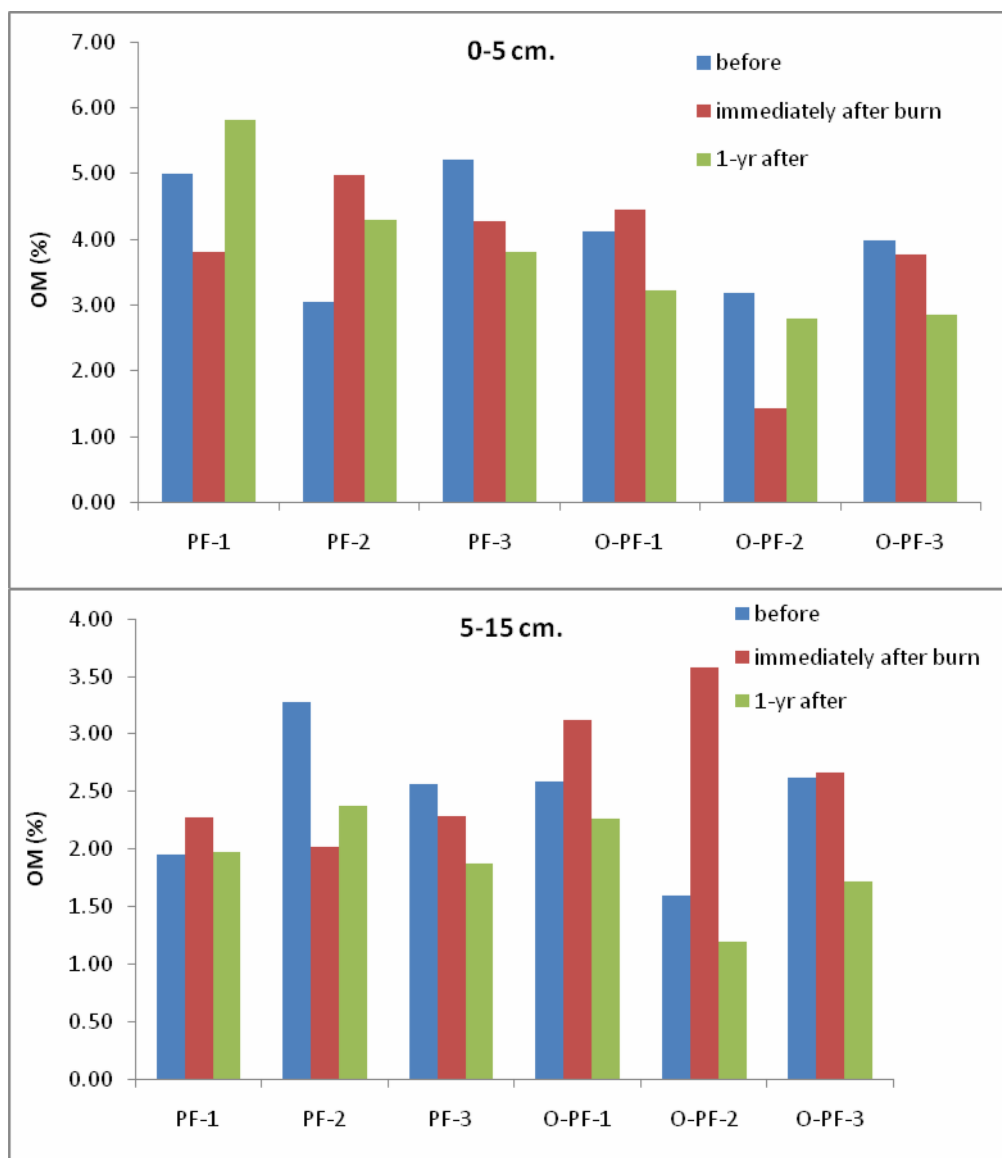


Figure 48 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสม ก่อ (O-PF) ในแปลงต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.

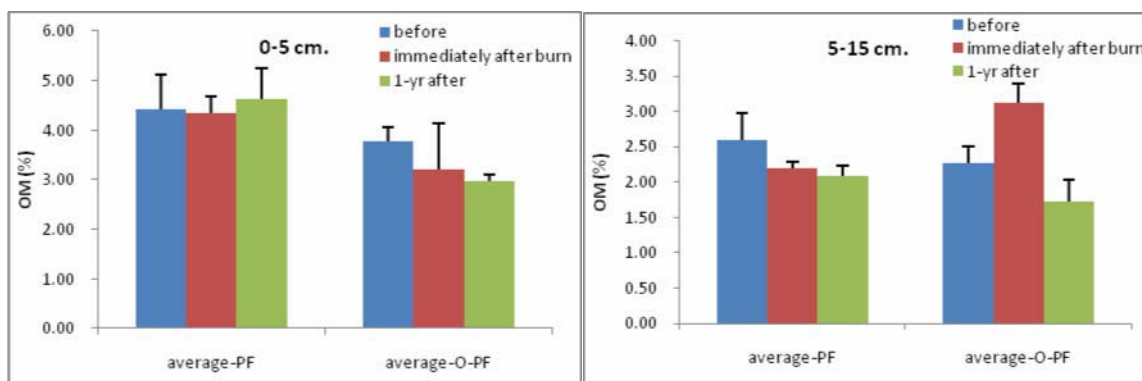


Figure 49 ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF) ในแปลงต่างๆ ที่ระดับความลึก 0-5 และ 5-15 ซม.

1.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ได้ทำการศึกษาดังแต่ก่อนการเผา หลังเผาทันทีและตลอดช่วงเวลาภายในระยะเวลา 1 ปี หลังการเผา โดยที่การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของไฟโดยเฉพาะความรุนแรงของไฟโดยพบว่าในป่าสนเสื่อมโทรมที่ไฟมีความรุนแรงกว่าป่าสนผสมก่อกนั้น จะพบว่าไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นทันทีภายหลังการเผาในขณะที่ป่าสนผสมก่อกนั้นไนโตรเจนทั้งหมดเปลี่ยนแปลงน้อยมากภายหลังการเผาทันที โดยที่ไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบน (0-5 ซม.) ของป่าสนเสื่อมโทรมได้เพิ่มขึ้นจาก 0.10 % เป็น 0.26 % ภายหลังการเผาทันที และในดินชั้นล่าง (5-15 ซม.) เพิ่มขึ้นจาก 0.07 % เป็น 0.20 % ภายหลังการเผา (Table 36) ทั้งนี้จะมีสาเหตุมาจากไฟที่รุนแรงกว่านั้นทำให้ไนโตรเจนบางส่วนระเหยและเปลี่ยนรูปจาก organic N เป็น inorganic N โดยเฉพาะแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วแอมโมเนียมจะเพิ่มขึ้นสูงมากทันทีภายหลังไฟไหม้จากการระเหยและเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน จึงส่งผลให้ไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น (organic N ลดลง แต่ inorganic N เพิ่มขึ้น โดยภาพรวม total N จึงเพิ่มขึ้น) ในขณะที่การเผาในป่าสนผสมก่อกนั้นไฟมีความรุนแรงต่ำมากจึงไม่ส่งผลต่อการระเหยและการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดินมากนัก โดยที่ไนโตรเจนทั้งหมดในดินชั้นบนในป่าสนผสมก่อก ก่อนและทันทีภายหลังการเผายังคงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง (0.16 %) ดังนั้นไนโตรเจนทั้งหมดจึงมีแนวโน้มที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก

เมื่อผ่านการเผาไป 2 เดือน จะพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะในป่าสนเสื่อมโทรมทั้งในดินชั้นบนและดินชั้นล่าง โดยที่ในป่าสนผสมก่อกมีแนวโน้มการลดลงที่ไม่มากนัก ทั้งนี้สาเหตุที่ไนโตรเจนทั้งหมดลดลงอย่างมากอาจจะเกิดจากขบวนการ nitrification ซึ่งเป็นขบวนการที่เปลี่ยนรูปของ แอมโมเนียมเป็น ไนเตรต (NO_3^{2-}) โดยไนเตรตโดยธรรมชาติจะไม่เพิ่มขึ้นทันทีแต่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังผ่านไฟไหม้ไปได้สักระยะหนึ่ง แต่เนื่องจากไนเตรตนั้นส่วนหนึ่งจะถูกพืชดูดไปใช้ แต่ส่วนที่เหลืออีกจำนวนมากจะลอยอยู่ในสารละลายดินในรูปไอออนซึ่งถูกชะล้างลงสู่ดินชั้นลึกและหลุดออกไปจากระบบได้ง่าย ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปจึงพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดนั้นเริ่มลดลง แต่เมื่อพืชเริ่มมีการเจริญเติบโตและฟื้นคืนกลับมาดินก็จะเริ่มมีการสะสมไนโตรเจนอีกครั้งทั้งจากพืชตระกูลถั่วและการพุ่มหญ้าเปื่อย

ของเศษซากพืชและจากขบวนการ precipitation ในรูปของฝน จึงทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มฟื้นคืนกลับสู่ระบบและมีค่าสูงขึ้นมาอีกครั้ง (**Figure 50**) จึงเป็นที่น่าสังเกตว่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินภายหลังการเผาไป 1 ปีนั้นมีค่าสูงกว่าในปีก่อนหน้าก่อนการเผา

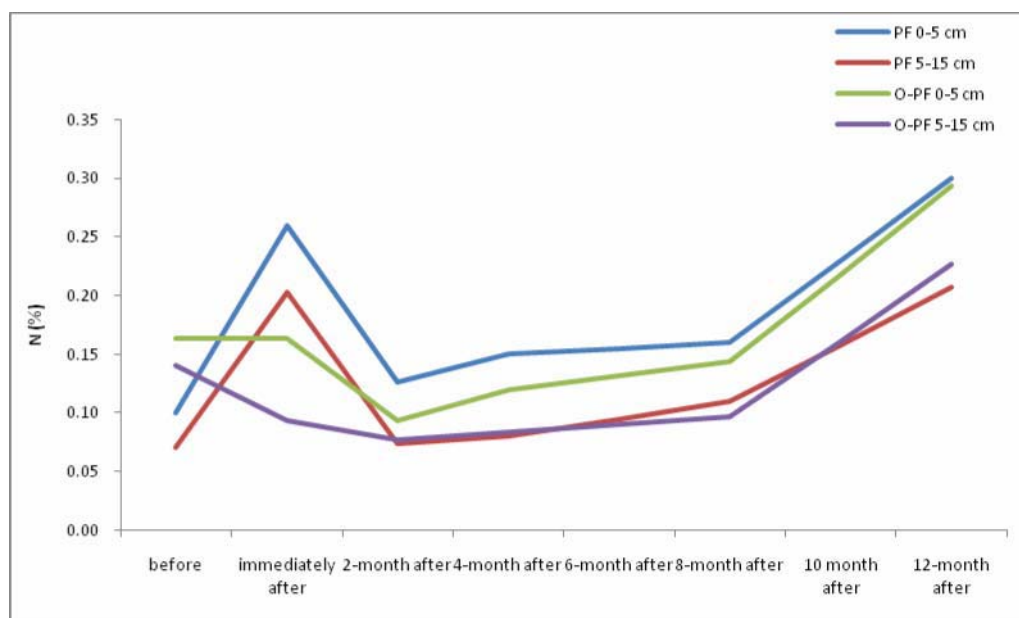


Figure 50. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ก่อนการเผาและภายหลังการเผาในระยะเวลา 12 เดือน ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

1.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus)

โดยทั่วไปปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชบริเวณดินชั้นบนจะมีค่าสูงกว่าในดินชั้นล่าง เมื่อพิจารณาในระดับแปลงย่อยจะพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในป่าสนเสื่อมโทรมในดินชั้นบนและในดินชั้นล่างมีค่าอยู่ระหว่าง 2.63-4.12 mg/kg และ 1.53-2.40 mg/kg ตามลำดับ ในขณะที่ป่าสนผสมก่อกมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินชั้นบนและดินชั้นล่างระหว่าง 5.03-6.35 mg/kg และ 2.14-2.70 mg/kg ตามลำดับ (ดู **Table appendix 19 และ 20 ประกอบ**) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินชั้นบนก่อนเผาในป่าสนผสมก่อก (5.72 mg/kg) มีค่าสูงกว่าป่าสนเสื่อมโทรม (3.43 mg/kg) สำหรับในดินชั้นล่างพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าอิทธิพลของการเผาไม่ได้ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งในดินชั้นบนและชั้นล่างและทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมหรือป่าสนผสมก่อก (**Table 36, figure 51**) โดยแหล่งของฟอสฟอรัสภายหลังการเผานั้นอยู่ที่ส่วนของชี้่ถ่านดิน ซึ่งภายหลังจะมีการชะแร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งฟอสฟอรัสลงสู่ดิน ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ รวมทั้งฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์มีมากขึ้นทั้งนี้โดยธรรมชาติปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะเพิ่มขึ้นภายหลังการเผาพื้นที่แต่ขึ้นอยู่กับความหนัก-เบาของการเผา (fire severity) ซึ่งจะพบว่าในการศึกษาครั้งนี้พบว่า

ตัวบ่งชี้ทางด้านความหนัก-เบาของการเผา อันได้แก่ อุณหภูมิที่ผิวดินนั้นมีค่าสูงที่สุด ประมาณ 649 °C โดยระยะเวลาที่ดินมีอุณหภูมิสูงเกิน 100 °C มีเพียงประมาณ 3 นาที (ดูหัวข้อเรื่องอุณหภูมิดินประกอบ) นอกจากนี้อุณหภูมิดินที่ความลึกตั้งแต่ 2 ซม. ลงไปนั้นแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งในป่าสนเสื่อมโทรม และป่าสนผสมก่อก ซึ่งลักษณะดังกล่าวมานี้ อาจจำแนกได้ว่าการเผาครั้งนี้จัดเป็นการเผาแบบ low-severity burning ตามการจำแนกของ (DeBano and Neary 2005; Khanna and Raison 2006) เป็นที่น่าสังเกตว่าภายหลังการเผาที่ระยะเวลาประมาณ 1 ปี พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์กลับมีค่าที่ต่ำกว่าก่อนที่จะทำการเผาซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการถูกชะลงสู่ดินชั้นลึกลงไปและหลุดออกไปจากระบบในที่สุดประกอบกับอัตราการทดแทนของฟอสฟอรัสในธรรมชาติมีน้อยมาก จึงทำให้การฟื้นคืนกลับมาของฟอสฟอรัสจึงยังคงมีค่าน้อยกว่าก่อนการเผา

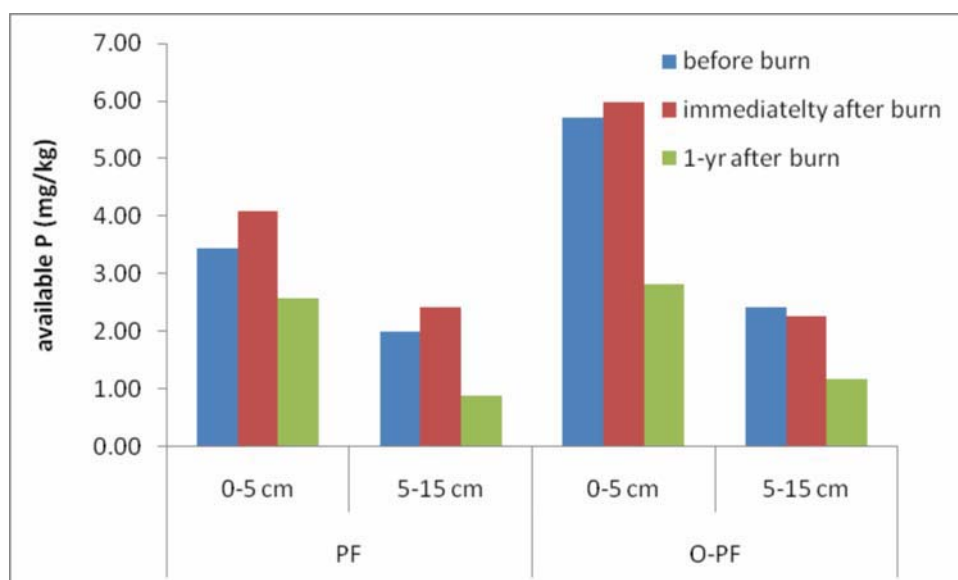


Figure 51. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในดิน ก่อนการเผาภายหลังการเผาทันที และภายหลังการเผา 12 เดือน ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

1.7 แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable cations)

แคตไอออนต่างๆ ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) โดยทั่วไปมีแนวโน้มที่จะมีค่าสูงบริเวณดินชั้นบน (0-5 ซม.) มากกว่าในดินชั้นล่าง (5-15 ซม.) โดยที่ป่าสนเสื่อมโทรมมีแนวโน้มที่พบว่าจะมีแคลเซียมและโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่สูงกว่าในป่าสนผสมก่อก ทั้งในดินชั้นบนและดินที่ลึกลงไป ในทุกช่วงเวลาของการตรวจวัด เช่นที่ระยะเวลา ก่อนการเผาปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินชั้นบนและดินชั้นล่างของป่าสนเสื่อมโทรมมีค่า

เท่ากับ 839.87 และ 529.00 mg/kg ตามลำดับ ในขณะที่ป่าสนผสมกุ่มมีค่าเพียง 574.40 และ 209.05 mg/kg ตามลำดับ เท่านั้น (ดู Table 36 ประกอบ)

จากการทดลองพบว่าอิทธิพลของไฟนั้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของแคดไอออนที่แลกเปลี่ยนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับแคลเซียมนั้นกลับดูเหมือนว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทางที่ลดลงภายหลังการเผาแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นจะไม่มีนัยสำคัญก็ตาม (Figure 52) จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าไฟที่เกิดขึ้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินมากนัก อีกทั้งไฟมีความรุนแรงต่ำ-ปานกลาง เท่านั้น ดังนั้น อิทธิพลของไฟจึงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีในด้านของแคดไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอย่างมีนัยสำคัญ

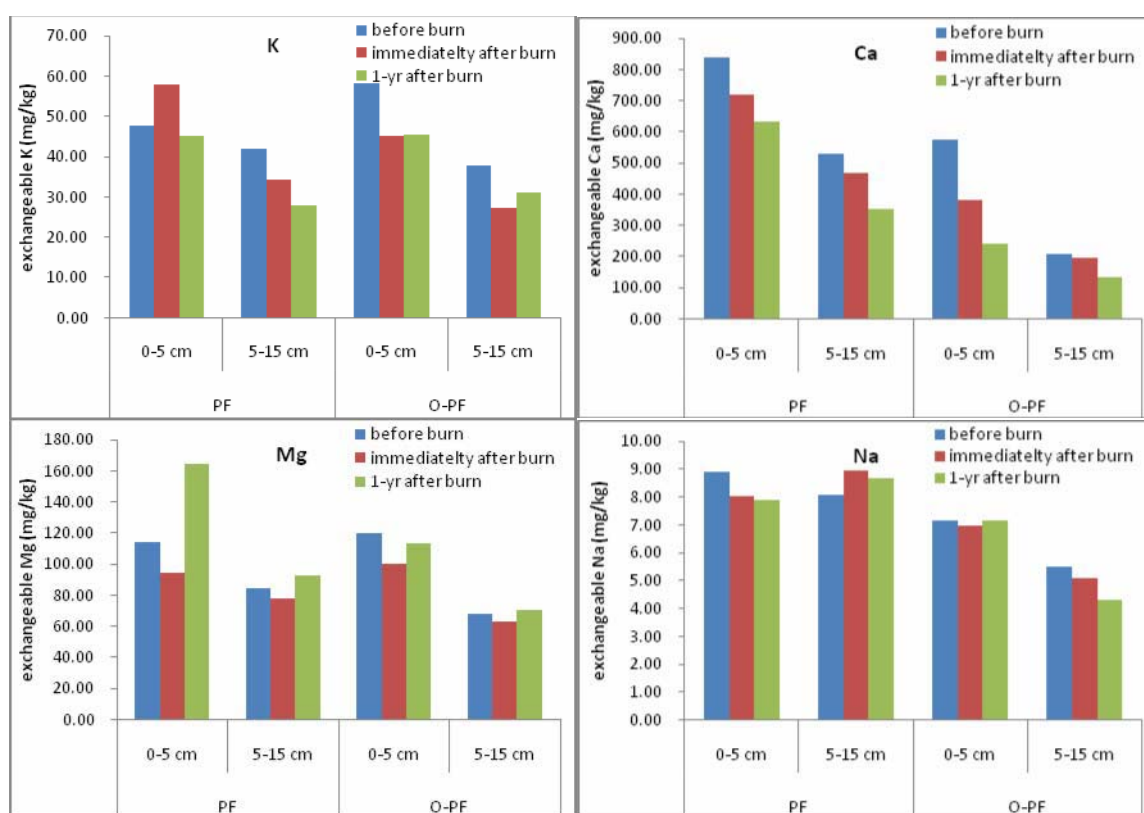


Figure 52 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแคดไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Cations: K, Ca, Mg, Na) ในดิน ก่อนการเผาภายหลังการเผาทันที และภายหลังการเผา 12 เดือน ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมกุ่ม (O-PF)

โดยสรุปในภาพรวมอิทธิพลของไฟต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของดินจากการเผาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกพบว่าไฟที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลกระทบต่อเพียงเล็กน้อยในคุณสมบัติของดินบางประการ อีกทั้งสำหรับดินที่อยู่ลึกลงไปนั้นคุณสมบัติของดินแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงไปโดยสาเหตุสำคัญเนื่องจากลักษณะของไฟที่เกิดขึ้น พฤติกรรมของไฟที่มีความรุนแรงต่ำและโดยเฉพาะอย่างยิ่งและความหนักเบาของการเผาที่ไม่สูงมากจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินให้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

Table 36 การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางเคมีของดินภายใต้การเผาป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ที่ระดับความลึก 0-15 ซม

Period	Soil depth (cm.)	Site	pH	Organic matter (%)	Total C (%)	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable cations (mg/kg)			
								K	Ca	Mg	Na
Before burning	0-5	PF	5.02 ^a (0.03)	4.42 ^a (0.69)	2.12 ^a (0.45)	0.10 ^a (0.02)	3.43 ^a (0.43)	47.77 ^a (7.09)	839.87 ^a (58.83)	114.36 ^a (26.36)	8.91 ^a (0.31)
		O-PF	4.92 ^a (0.15)	3.76 ^a (0.29)	2.16 ^a (0.18)	0.16 ^a (0.06)	5.72 ^b (0.38)	58.06 ^a (2.24)	574.40 ^a (142.53)	119.91 ^a (21.79)	7.15 ^a (0.22)
	5-15	PF	4.93 ^a (0.04)	2.60 ^a (0.38)	1.52 ^a (0.15)	0.07 ^a (0.01)	1.99 ^b (0.25)	41.91 ^a (17.08)	529.00 ^a (100.12)	84.29 ^a (16.67)	8.07 ^a (0.44)
		O-PF	4.68 ^a (0.18)	2.27 ^{ab} (0.34)	1.30 ^a (0.25)	0.14 ^a (0.05)	2.41 ^b (0.16)	37.81 ^a (8.15)	209.05 ^a (70.31)	67.54 ^a (16.97)	5.50 ^a (0.19)
immediately after burning	0-5	PF	5.11 ^a (0.07)	4.35 ^a (0.34)	2.26 ^b (0.25)	0.26 ^a (0.01)	4.09 ^a (0.45)	57.95 ^a (2.54)	720.20 ^a (31.12)	94.46 ^a (26.15)	8.01 ^a (0.35)
		O-PF	4.75 ^a (0.16)	3.21 ^a (0.92)	3.00 ^a (1.24)	0.16 ^a (0.04)	5.98 ^b (1.11)	45.09 ^a (6.80)	380.73 ^a (63.40)	100.33 ^a (13.10)	6.95 ^a (1.34)
	5-15	PF	4.93 ^a (0.03)	2.19 ^a (0.09)	1.21 ^a (0.03)	0.20 ^b (0.01)	2.42 ^b (0.43)	34.26 ^a (7.59)	469.00 ^a (49.76)	77.57 ^a (9.73)	8.94 ^a (1.23)
		O-PF	4.59 ^a (0.18)	3.12 ^b (0.26)	1.47 ^a (0.28)	0.09 ^a (0.02)	2.26 ^b (0.27)	27.30 ^a (1.86)	194.36 ^a (85.91)	62.77 ^a (21.67)	5.09 ^a (0.26)
1-yr- after burning	0-5	PF	5.23 ^a (0.14)	4.63 ^a (0.61)	3.11 ^a (0.37)	0.30 ^b (0.02)	2.58 ^a (0.10)	45.22 ^a (2.62)	632.53 ^a (54.48)	164.37 ^a (12.91)	7.87 ^a (0.35)
		O-PF	4.53 ^a (0.10)	2.96 ^a (0.14)	1.96 ^a (0.42)	0.29 ^a (0.04)	2.82 ^a (0.55)	45.30 ^a (3.51)	239.29 ^a (60.35)	113.09 ^a (22.85)	7.15 ^a (1.51)
	5-15	PF	4.92 ^a (0.12)	2.08 ^a (0.15)	1.32 ^a (0.06)	0.21 ^b (0.01)	0.88 ^a (0.12)	28.01 ^a (3.31)	352.20 ^a (30.06)	92.36 ^a (10.10)	8.66 ^a (0.46)
		O-PF	4.36 ^a (0.14)	1.72 ^a (0.31)	1.47 ^a (0.21)	0.23 ^a (0.02)	1.16 ^a (0.14)	30.91 ^a (1.86)	131.81 ^a (35.96)	70.03 ^a (18.54)	4.28 ^a (1.06)

หมายเหตุ : ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA, $P < 0.05$) โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนเผา หลังเผาทันที และ ภายหลังการเผาไปแล้ว 1 ปี ของคุณสมบัติทางเคมีของดินในแต่ละพื้นที่ของแต่ละระดับความลึก

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง

Figure 53. แสดงการเปลี่ยนแปลงของร้อยละของธาตุอาหาร (C, N, P, K, Ca, Mg) ในเชื้อเพลิงเปรียบเทียบระหว่างก่อนการเผาและภายหลังการเผาไปแล้วเป็นเวลา 1 ปี โดยที่คาร์บอนมีความเข้มข้นโดยทั่วไประหว่าง 40-50 % **(ดูเรื่องการสูญเสียคาร์บอนประกอบ)** สำหรับไนโตรเจนโปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำในเชื้อเพลิงประเภทหญ้าในขณะที่เชื้อเพลิงประเภทไม้ล้มลุก ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้นมีค่าค่อนข้างสูงกว่า สำหรับอิทธิพลของการเผาต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงพบว่าโดยทั่วไปนั้นธาตุอาหารในเชื้อเพลิงต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีแนวโน้มชัดเจน โดยมีความผันแปรไปทั้งเพิ่มขึ้น คงที่ และลดลง แต่เป็นที่น่าสนใจสำหรับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่จะพบว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารทั้งสองนี้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในเชื้อเพลิงทุกประเภทภายหลังการเผา โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัสที่มีการเพิ่มขึ้นสูงกว่าก่อนการเผาประมาณ 2 เท่า ในเชื้อเพลิงหลายประเภท ทั้งนี้อาจเนื่องจากชิ้นส่วนของเชื้อเพลิงที่สุ่มในช่วง 1 ปีหลังการเผานั้นอยู่ในสภาพที่ยังมีความสดมากกว่าการสุ่มตัวอย่างในช่วงเวลาก่อนการเผา ซึ่งโดยทั่วไปชิ้นส่วนของพืชที่มีความสดจะมีปริมาณธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าชิ้นส่วนของพืชที่แห้งกว่า แต่สำหรับธาตุอาหารอื่นๆ จะไม่ค่อยมีความแตกต่างกันมากนักระหว่างชิ้นส่วนที่มีความสดแห้งที่แตกต่างกัน



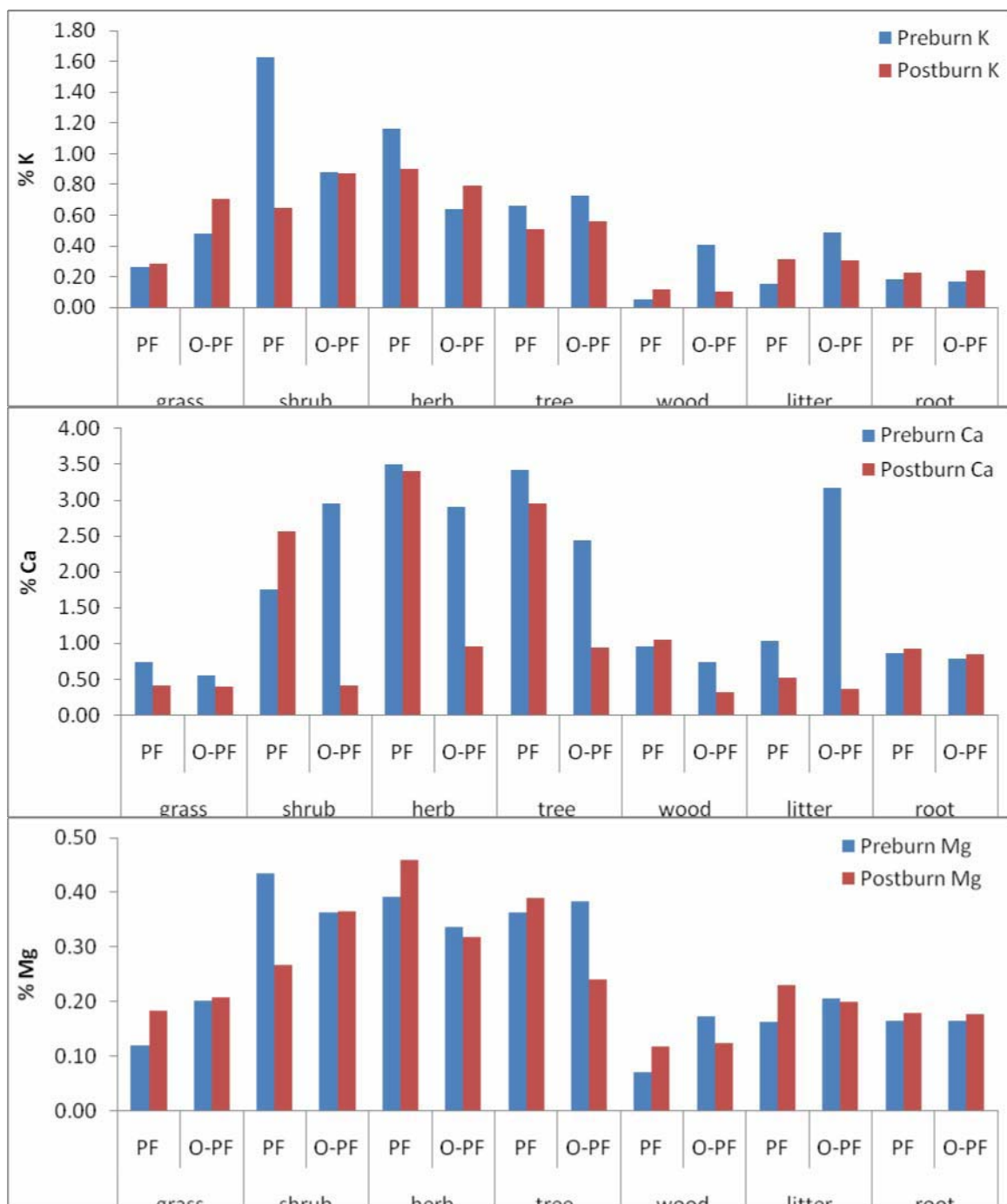


Figure 53 ร้อยละของธาตุอาหาร (total C, N, P, K, Ca, Mg) ในส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อกำเนิด (O-PF) เปรียบเทียบระหว่างก่อนการเผาและภายหลังการเผาผ่านไป 1 ปี

2. พลวัตการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารในระบบนิเวศจากอิทธิพลของการเผา

2.1 พลวัตการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารเหนือพื้นดินของเชื้อเพลิงในป่า

เชื้อเพลิงเหนือพื้นดินอันประกอบด้วยหญ้า ไม้พุ่ม ไม้ล้มลุก ลูกไม้กล้าไม้ เศษซากพืชรวมทั้งกิ่งไม้ขนาดเล็ก ที่อยู่ตามพื้นป่าซึ่งมีธาตุอาหารต่างๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ภายใน เมื่อเชื้อเพลิงเหล่านี้ถูกเผาไหม้ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในเชื้อเพลิงถูกปลดปล่อยออกมา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของไฟ โดยเฉพาะความรุนแรงของไฟและความเสียหายที่พืชได้รับและลักษณะธรรมชาติของธาตุอาหารแต่ละชนิด โดยเฉพาะอุณหภูมิระเหย (volatilization temperature)

จากการศึกษาพบว่าก่อนการทดลองเผาแปลงทดลองเชื้อเพลิงในป่ามีปริมาณแคลเซียมอยู่ค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในเศษซากพืช โดยมีปริมาณอยู่ถึง 59.49 และ 152.03 กก.ต่อเฮกตาร์ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก ตามลำดับ สำหรับปริมาณไนโตรเจนก็มีอยู่ค่อนข้างมากในเศษซากพืชเช่นกัน (ประมาณ 29 กก.ต่อเฮกตาร์ ทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก) ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีอยู่น้อยมากในเชื้อเพลิงซึ่งมีปริมาณรวมกันในเชื้อเพลิงทั้งหมดเพียงประมาณ 2.47 และ 4.16 กก.ต่อเฮกตาร์ในป่าสนผสมก่อกและป่าสนเสื่อมโทรม ตามลำดับ ภายหลังการเผาที่ระยะเวลาประมาณ 1 ปี นั้น ปรากฏว่าแนวโน้มของปริมาณธาตุอาหารก็ยังมีลักษณะเช่นเดียวกับเมื่อก่อนการเผา โดยที่ปริมาณแคลเซียมและไนโตรเจนรวมในเชื้อเพลิงทั้งหมดยังคงมีมากเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารอื่นๆ แต่พบว่าปริมาณแคลเซียมและไนโตรเจนที่มีมากที่สุดนั้นไม่ได้อยู่ในส่วนของเศษซากพืชแต่อยู่ในส่วนของหญ้าและลูกไม้กล้าไม้ (Table 37)

เมื่อเปรียบเทียบพลวัตการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารในเชื้อเพลิงภายหลังการเผาพบว่าอิทธิพลของการเผาแม้จะได้ทำลายพืชพื้นล่างไปแต่เมื่อเวลาผ่านไป พืชพรรณต่างๆ ก็มีการเจริญเติบโตขึ้นกลับมาอีกครั้งทำให้ธาตุอาหารในเชื้อเพลิงมีการสะสมกลับมาอีกครั้ง แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าแม้สังคมพืชพื้นล่างจะมีการเจริญเติบโตกลับมาปกคลุมพื้นที่ได้ภายในเวลา 1 ปี แต่จะพบว่าปริมาณธาตุอาหารภายหลังการเผาโดยส่วนใหญ่ยังมีปริมาณต่ำกว่าก่อนการเผาโดยเฉพาะแคลเซียม แต่สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสกลับพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 ปี ธาตุอาหารดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยประมาณ 2 เท่า ซึ่งแหล่งของการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสมาจากเชื้อเพลิงประเภทหญ้าเป็นหลัก (Table 37, Figure 54.)

Table 37. ปริมาณธาตุอาหารในส่วนของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ก่อนการเผา ภายหลังการเผา 1 ปี และการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร ในป่าสนผสมเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อ (O-PF)

ธาตุอาหาร	พื้นที่	ก่อนเผา (kg/ha)						
		หญ้า	ไม้พุ่ม	ไม้ล้มลุก	ลูกไม้	เศษซากพืช	กิ่งไม้	รวมทั้งหมด
N	PF	15.38	0.39	1.08	7.08	29.84	0.88	54.64
	O-PF	5.60	2.25	0.83	4.22	29.97	5.80	48.66
P	PF	1.00	0.02	0.08	0.38	2.55	0.13	4.16
	O-PF	0.34	0.12	0.03	0.18	1.40	0.40	2.47
K	PF	15.55	0.83	1.65	4.92	8.57	0.22	31.74
	O-PF	6.93	2.71	0.75	4.20	23.24	6.14	43.97
Ca	PF	42.99	0.89	4.95	25.45	59.49	4.21	137.98
	O-PF	7.93	9.09	3.40	14.08	152.03	11.06	197.59
Mg	PF	7.04	0.22	0.56	2.70	9.30	0.31	20.13
	O-PF	2.89	1.12	0.39	2.21	9.84	2.59	19.05
ธาตุอาหาร	พื้นที่	1 ปีหลังการเผา (kg/ha)						
		หญ้า	ไม้พุ่ม	ไม้ล้มลุก	ลูกไม้	เศษซากพืช	กิ่งไม้	รวมทั้งหมด
N	PF	24.62	2.82	1.93	5.00	9.36	5.32	49.03
	O-PF	11.74	3.37	3.48	4.42	21.55	9.63	54.20
P	PF	5.95	0.25	0.22	0.54	0.93	0.63	8.52
	O-PF	1.83	0.51	0.17	0.28	1.87	1.16	5.82
K	PF	14.98	1.96	1.63	2.49	4.81	0.93	26.80
	O-PF	12.38	2.80	1.35	2.35	7.11	1.65	27.63
Ca	PF	21.22	7.77	6.12	14.43	8.00	8.45	65.99
	O-PF	6.93	1.31	1.63	3.96	8.67	4.88	27.38
Mg	PF	9.65	0.81	0.83	1.91	3.52	0.95	17.67
	O-PF	3.65	1.17	0.54	1.00	4.68	1.93	12.98
ธาตุอาหาร	พื้นที่	การเปลี่ยนแปลง (kg/ha)						
		หญ้า	ไม้พุ่ม	ไม้ล้มลุก	ลูกไม้	เศษซากพืช	กิ่งไม้	รวมทั้งหมด
N	PF	9.23	2.44	0.84	-2.08	-20.48	4.44	-5.61
	O-PF	6.15	1.12	2.65	0.20	-8.42	3.84	5.54
P	PF	4.95	0.23	0.14	0.16	-1.62	0.49	4.36
	O-PF	1.49	0.39	0.14	0.10	0.47	0.76	3.36
K	PF	-0.57	1.13	-0.02	-2.43	-3.76	0.72	-4.93
	O-PF	5.45	0.09	0.60	-1.86	-16.13	-4.49	-16.35
Ca	PF	-21.77	6.88	1.17	-11.02	-51.49	4.24	-71.99
	O-PF	-1.00	-7.78	-1.76	-10.12	-143.36	-6.19	-170.22
Mg	PF	2.61	0.59	0.27	-0.79	-5.78	0.64	-2.46
	O-PF	0.75	0.06	0.15	-1.21	-5.16	-0.66	-6.06

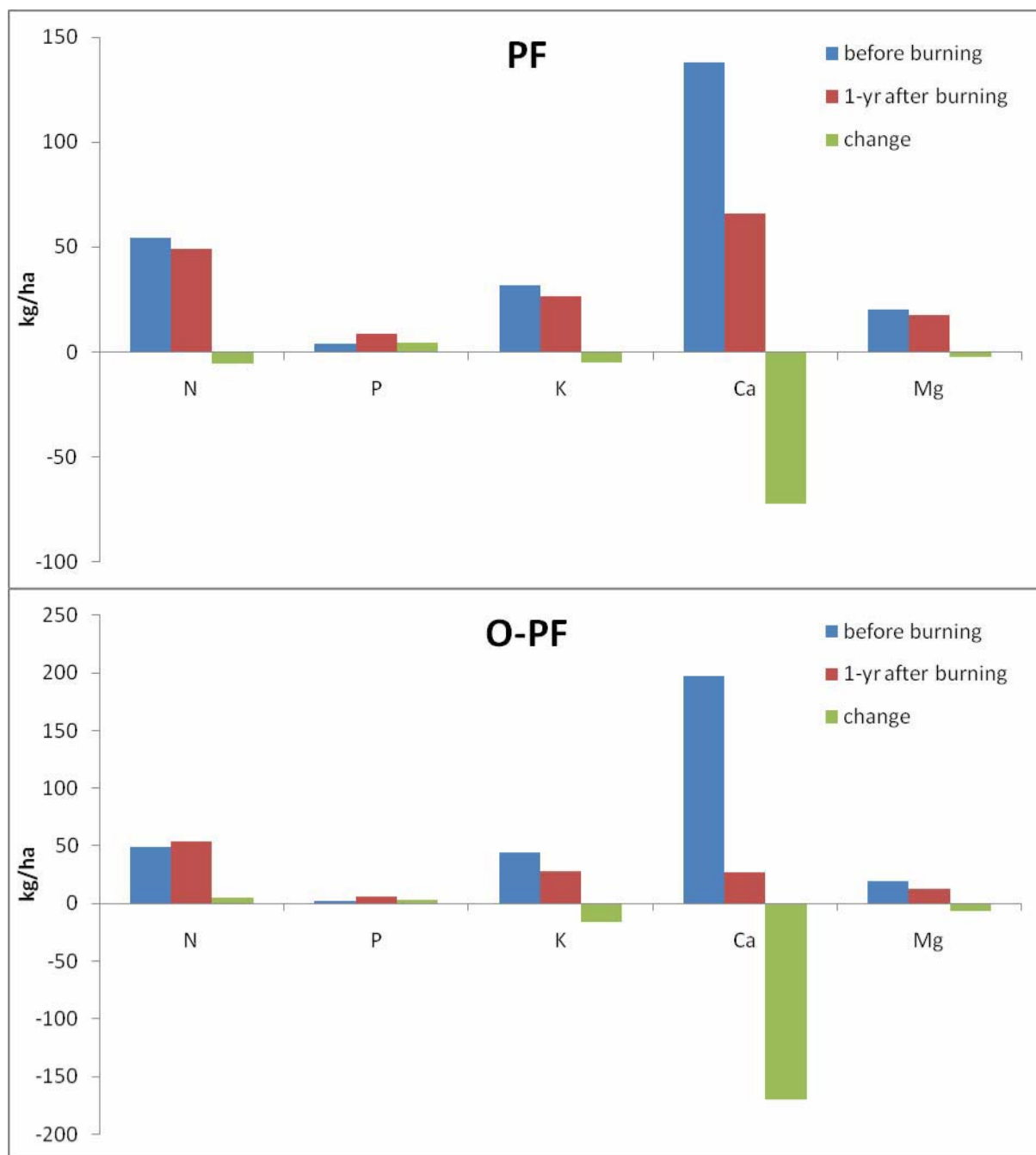


Figure 54. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหาร (N, P, K, Ca, Mg) ของเชื้อเพลิงเหนือพื้นดินในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

2.2 พลวัตการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารใต้พื้นดินที่ระดับความลึก 15 ซม.

ปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระดับความลึก 15 ซม. ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก่อนการเผาแปลงทดลองและภายหลังการเผา 1 ปี ดังแสดงใน **Table 38** และร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหารดังแสดงใน **Figure 55**. จากการศึกษพบว่าปริมาณไนโตรเจนในดินนั้นมีปริมาณมากที่สุด (1119 และ 2351 กก.ต่อเฮกเตอร์ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก ตามลำดับ) รองลงมาได้แก่ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (881 และ 530 กก.ต่อเฮกเตอร์ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก ตามลำดับ) ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์มีปริมาณต่ำที่สุด (3 และ 6 กก.ต่อเฮกเตอร์ ในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก ตามลำดับ) ทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก และเมื่อพื้นที่ป่าผ่านการเผาไปเป็นระยะเวลา 1 ปี นั้นก็พบว่าแนวโน้มปริมาณธาตุอาหารยังคงเป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับก่อนการเผา **Table 38**

สำหรับภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารในดินพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นภายหลังการเผาไปเป็นระยะเวลา 1 ปี (**Figure 55**.) แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอิทธิพลของการเผาในป่าสนเสื่อมโทรมนั้นได้ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินที่ระดับความลึก 15 ซม. เพิ่มขึ้นจาก 1119.37 กก. ต่อเฮกเตอร์ เป็น 3660.38 กก. ต่อเฮกเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญ ($P=0.011$) ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในป่าสนผสมก่อกได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.02$) จาก 5.62 กก. ต่อเฮกเตอร์ เป็น 2.86 กก. ต่อเฮกเตอร์ สำหรับธาตุอาหารอื่นๆ นั้น แม้จะมีแนวโน้มว่าอิทธิพลของไฟได้ทำให้ธาตุอาหารอื่นๆ ในดินลดลงต่ำลงภายหลังการเผา แต่การลดลงนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

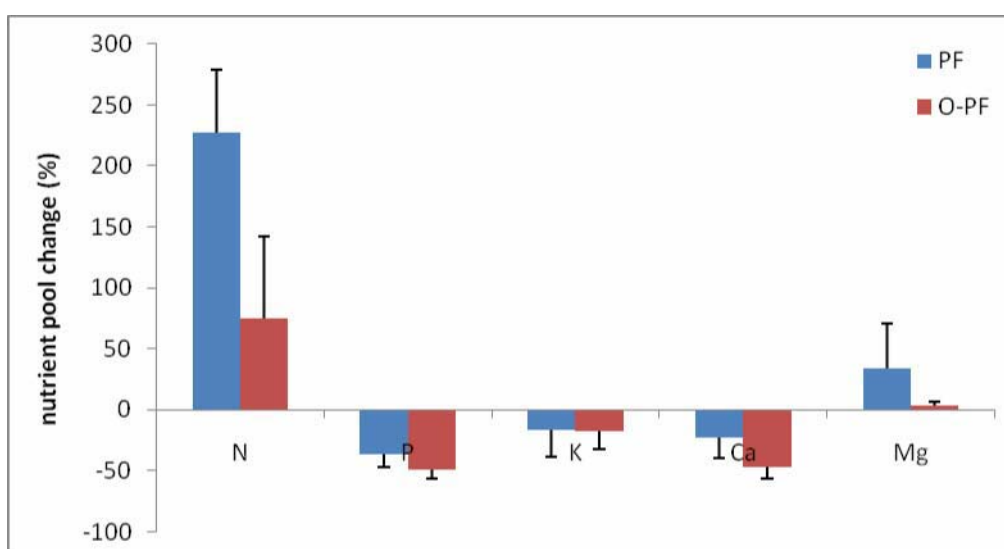


Figure 55. ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. ภายหลังการเผา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก่อก (O-PF)

Table 38. ปริมาณธาตุอาหารในดินที่ระดับ 0-15 ซม.ใต้ดิน ก่อนการเผาแปลงทดลอง ภายหลังการเผาแปลงทดลองเป็นระยะเวลา 1 ปี และการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหาร ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

ธาตุอาหาร	แปลง	ปริมาณธาตุอาหาร (kg/ha) ที่ระดับความลึก 15 cm		
		ก่อนเผา	1 ปีหลังการเผา	การเปลี่ยนแปลง
N	PF	1119.37 ^a	3660.38 ^b	2541.02
	O-PF	2351.23 ^a	4116.44 ^a	1765.21
P	PF	3.46 ^a	2.18 ^a	-1.28
	O-PF	5.62 ^a	2.86 ^b	-2.76
K	PF	61.82 ^a	51.75 ^a	-10.06
	O-PF	71.51 ^a	59.24 ^a	-12.27
Ca	PF	880.77 ^a	682.14 ^a	-198.64
	O-PF	530.15 ^a	280.86 ^a	-249.29
Mg	PF	132.82 ^a	177.86 ^a	45.05
	O-PF	136.28 ^a	141.15 ^a	4.88

หมายเหตุ: ตัวอักษร ^{a, b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ของความแตกต่างระหว่างปริมาณธาตุอาหารก่อนการเผากับปริมาณธาตุอาหารภายหลังการเผา 1 ปี

วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษานิเวศวิทยาของไฟในสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมกึ่งที่บริเวณสวนสนภู่มั่วอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าพฤติกรรมของไฟในป่าสนเสื่อมโทรมซึ่งมีหญ้าเป็นเชื้อเพลิงหลักนั้นมีไฟที่มีความรุนแรงสูงกว่าป่าสนผสมกึ่งที่มีเชื้อเพลิงที่หลากหลายประเภทมากกว่า โดยป่าสนเสื่อมโทรมต้องการระยะเวลาประมาณ 2 ปีในการที่เชื้อเพลิงจะมีการสะสมมาเท่ากับระดับเดิมก่อนที่จะมีการเผา ในขณะที่ป่าสนผสมกึ่งต้องการระยะเวลาที่ยาวนานกว่านั้น ผลกระทบของการเผาสู่การสูญเสียคาร์บอนสู่บรรยากาศพบว่าไฟได้ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศโดยที่คาร์บอนที่สูญเสียออกไปนั้นมาจากเชื้อเพลิงในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเป็นส่วนใหญ่ โดยที่คาร์บอนในดินไม่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อประมาณการสะสมคาร์บอนจากเชื้อเพลิงภายหลังการเผาก็พบว่าป่าสนเสื่อมโทรมต้องการระยะเวลาประมาณ 2 ปีในการสะสมคาร์บอนกลับมาสู่ระบบนิเวศ ในขณะที่ป่าสนผสมกึ่งต้องการระยะเวลาประมาณ 3 ปี สำหรับพลวัตการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงก็พบว่าภายหลังการเผาไปแล้ว 1 ปี ปริมาณธาตุอาหารในเชื้อเพลิงยังมีปริมาณน้อยกว่าก่อนการเผา เช่นกัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดินนั้นพบว่ามีเพียงไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเกิดไฟขึ้นทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมกึ่งนั้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ โดยเฉพาะความหนาแน่นรวมของดินและลักษณะเนื้อดิน อีกทั้งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน เนื่องจากอุณหภูมิใต้ดินไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับผลกระทบต่อลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืชนั้นพบว่าได้รับผลกระทบจากการเผาโดยเฉพาะลูกไม้ และไม่หนุมในกรณีที่ไม้ใหญ่ไม่ได้รับผลกระทบมากนัก

ในการวิจารณ์ผลการศึกษานี้ได้แบ่งหัวข้อในการวิจารณ์ออกเป็น 5 ประเด็นหลัก ได้แก่

1. ผลกระทบของไฟต่อโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืชป่าสน
2. ผลกระทบของไฟในป่าสนกับปัญหาการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ
3. ความหนักเบาของไฟ (Fire severity) ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ
4. แนวทางการจัดการไฟจากผลของลักษณะความรุนแรงของไฟ (Fire intensity implication)

1. ผลกระทบของไฟต่อโครงสร้างและองค์ประกอบสังคมพืชป่าสน

ป่าสนจัดเป็นระบบนิเวศที่สามารถคงอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีไฟได้ โดยปัจจัยทางด้านไฟที่เกี่ยวข้องต่อการคงอยู่หรือการสูญหายของระบบนิเวศในมุมมองทางด้านองค์รวมของสังคมพืชนั้นได้แก่ระบอบการเผา (fire regime) อันประกอบไปด้วยประเภทของไฟ (fire type) ความถี่ของไฟ (fire frequency) ความรุนแรงของไฟ (fire intensity) ฤดูกาลเกิดไฟ (fire season) และขนาดพื้นที่ที่ไฟไหม้ (burned area) (Chandler et al., 1983) ซึ่งปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวนั้นจะมีผลต่อกระบวนการต่างๆ เช่น การเติบโต และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติ (natural regeneration) เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตายของต้นไม้ในระดับต้น (individual tree) นั้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตายของต้นไม้ได้แก่ความรุนแรงของไฟและลักษณะของต้นไม้แต่ละชนิดและช่วงอายุของต้นไม้

ผลจากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของไฟทั้งในระดับระบอบการเผาและระดับความรุนแรงของไฟที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างองค์ประกอบของสังคมพืชบริเวณป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อก การอภิปรายผลจึงขอกำหนดหัวข้อการอภิปรายออกเป็น 2 ประเด็น

1.1 อิทธิพลของไฟที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้ง

ไฟที่เกิดขึ้นในพื้นที่แต่ละครั้งได้สร้างความเสียหายส่วนใหญ่มากกว่าไม้กล้าไม้มากกว่าไม้ขนาดใหญ่เนื่องจากไฟในป่าสนของประเทศไทยเป็นไฟผิวดินจึงมีความรุนแรงไม่มากเท่ากับไฟเรือนยอดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ป่าสนเขตอบอุ่น (สันต์ เกตุปราณีต, 2530) พันธุ์ไม้หลายชนิดในพื้นที่ศึกษานั้นสามารถทนทานต่อการเกิดไฟได้โดยมักจะมีเปลือกหนา สามารถแตกหน่อได้ๆ แต่ลักษณะดังกล่าวนี้ไม่ได้เกิดขึ้นทันทีที่ดังแต่กล้าไม้งอกขึ้นมา ความสามารถในการทนทานต่อไฟนั้นมักจะเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นไม้ที่มากขึ้น (Whelan, 1995) สำหรับความสามารถในการแตกหน่อซึ่งเป็นลักษณะสำคัญประการหนึ่งของพันธุ์ไม้ในระบบนิเวศที่มีไฟเกิดขึ้นเป็นระยะ พบว่าความสามารถในการแตกหน่อของต้นไม้ในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าน้อยกว่าป่าสนผสมก่อก ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากไฟที่เกิดขึ้นบ่อยในป่าสนเสื่อมโทรมทำให้ต้นไม้แตกหน่อบ่อยซึ่งในการแตกหน่อแต่ละครั้งต้นไม้ต้องอาศัยพลังงานที่สะสมไว้มากำเพื่อการแตกหน่อ ดังนั้นหากพลังงานที่สะสมนี้ถูกใช้มากก็จะทำให้พลังในการแตกหน่อค่อยๆ ลดลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับป่าสนผสมก่อกซึ่งไฟไหม้ไม่บ่อย ดังนั้นพลังในการแตกหน่อจึงยังคงมีมาก จำนวนหน่อที่เกิดขึ้นภายหลังการแตกหน่อในภาพรวมจึงมีค่าสูงกว่าป่าสนเสื่อมโทรม และเป็นที่น่าเป็นห่วงว่าหากไฟในป่าสนเสื่อมโทรมยังคงเกิดถี่เช่นนี้ ความสามารถในการแตกหน่อของต้นไม้หลายชนิดจะลดลงไปเรื่อยๆ จนในที่สุดอาจจะไม่สามารถแตกหน่อขึ้นมาได้และตายไปในที่สุด

ไฟที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งในการศึกษาครั้งนี้ทำให้ไม้ยืนต้น (tree, dbh>4.5 ซม.) ตายไปประมาณ 5% ในป่าสนสนเสื่อมโทรมในขณะที่อัตราการตายของไม้ยืนต้นในป่าสนผสมก่อกเท่ากับ 1% เท่านั้น ซึ่งการตายของต้นไม้ย่อมส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของต้นไม้ในแปลง จากการศึกษพบว่ามีสนสามใบและยางเหียงในป่าสนผสมก่อกมีการตายแม้ว่าจะเป็นพันธุ์ไม้ที่ทนทานต่อไฟก็ตาม ดังนั้นอาจจะไฟได้ว่าการตายที่เกิดขึ้นอาจจะมาจากการแก่งแย่งตามธรรมชาติ เนื่องจากความหนาแน่นของต้นไม้ในป่าสนผสมก่อกมีค่าสูงมาก ดังนั้นต้นไม้อาจจะมีการแก่งแย่งปัจจัยเพื่อการเติบโตโดยเฉพาะแสงสว่าง น้ำ ธาตุอาหารและพื้นที่เพื่อการเติบโต จึงทำให้มีการตายเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้วางแผนศึกษาในแปลงควบคุมที่ไม่ได้ทำการเผา ดังนั้นจึงอาจจะยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน สำหรับการเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไม้ยืนต้นภายหลังการเผานั้นเนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้ทำการศึกษาในแปลงควบคุมที่ไม่ได้ทำการเผาจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลของการเผานั้นได้ทำให้ต้นไม้ในแปลงมีอัตราการเติบโตที่มากหรือน้อย

ผลกระทบจากการเผาทำให้จำนวนไม้หนุมมีแนวโน้มที่ลดลง โดยที่ไม้หนุมในป่าสนเสื่อมโทรมมีแนวโน้มการลดลงมากกว่าในป่าสนผสมก่อก สำหรับความสูงของกล้าไม้นั้นเป็นที่ชัดเจนว่าการเผาทำให้ความสูงโดยเฉลี่ยของกล้าไม้ลดลง เนื่องจากไฟได้ทำลายลำต้นเดิมของกล้าไม้ให้ตายไป แต่ภายหลังมีการแตกหน่อเกิดขึ้นมาใหม่ภายหลังจึงอาจจะยังมีความสูงน้อยกว่าหน่อเดิมที่ถูกทำลายไป สำหรับการลดลงของไม้หนุมในป่าสนเสื่อมโทรมน่าจะมีสาเหตุสำคัญจากไฟที่มีความรุนแรงมาก เปลว

ไฟที่สูงจึงทำให้ไม้หนุมลดจำนวนลง นอกจากนี้จากข้อมูลการกระจายของไม้หนุมตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ดู **Figure 39**) ยังได้แสดงให้เห็นว่าจำนวนต้นไม้หนุมในป่าสนเสื่อมโทรมในทุกชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนแต่ในป่าสนผสมก่อกลับพบว่าจำนวนไม้หนุมในแต่ละชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉพาะในชั้นขนาดกลาง-ใหญ่ (3.1-7.0 ซม.) นั้นมีจำนวนมากขึ้นซึ่งน่าจะเนื่องมาจากการที่ไฟในป่าสนผสมก่อกที่มีความรุนแรงน้อยและความสูงของเปลวไฟที่ต่ำจึงไม่ได้ทำให้ไม้หนุมขนาดใหญ่ตายแต่กลับช่วยกระตุ้นให้มีการเติบโตที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม้หนุมที่ลดลงไม่ได้หมายความว่าไม้หนุมนั้นได้ตายลงแต่อาจเป็นการตายของลำต้นเดิมซึ่งภายหลังไฟไหม้อาจมีการแตกหน่อขึ้นมาใหม่แต่หน่อที่เกิดขึ้นมาใหม่ยังไม่ใหญ่เพียงพอที่จะนับเป็นไม้หนุม จึงทำให้ข้อมูลไม้หนุมนั้นลดลงไป

สำหรับการกระจายตามชั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและจำนวนกล้าไม้ที่เพิ่มขึ้นในป่าสนเสื่อมโทรมนั้นแนวโน้มของจำนวนกล้าไม้ในช่วงชั้นขนาดเล็ก-กลาง (< 0.7 ซม.) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นภายหลังการเผา ซึ่งน่าจะมีสาเหตุสำคัญมาจากไฟได้ทำลายหญ้าที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่ทำให้พื้นที่เปิดโล่งภายหลังการเผา จากนั้น เมล็ดไม้จากพื้นที่ต่างๆ ทั้งในพื้นที่และพื้นที่รอบๆ จึงสามารถปลิวมาตกสะสมผิวดินได้โดยตรงและเกิดการงอกขึ้นในที่สุด ดังนั้นจำนวนกล้าไม้ขนาดเล็กจึงเพิ่มขึ้น 1 ปี หลังไฟไหม้ (ดู **Figure 40, a**) แต่อย่างไรก็ตามหากไม่สามารถป้องกันไฟในปีต่อมาได้ กล้าไม้ที่งอกขึ้นมาใหม่ก็จะถูกไฟเผาทำลายได้

1.2 อิทธิพลของระบอบการเผา

อิทธิพลของระบอบการเผาที่สำคัญได้แก่ความถี่ของการเกิดไฟในพื้นที่ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืช ซึ่งจะพบว่าสังคมพืชป่าสนเสื่อมโทรมซึ่งมีประวัติการเกิดไฟที่บ่อยกว่าป่าสนผสมก่อกที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันนั้น มีลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ที่มีความใกล้เคียงกับพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะมีหญ้าขึ้นปกคลุมหนาแน่น มีไม้ใหญ่ขึ้นอยู่กระจัดกระจายอยู่ห่างๆ ความหนาแน่นของลูกไม้กล้าไม้ที่น้อยกว่าและเนื่องจากการมีหญ้าขึ้นปกคลุมสูงมากซึ่งขัดขวางกระบวนการงอกและพัฒนาของกล้าไม้ เมื่อเปรียบเทียบกับป่าสนผสมก่อกที่อยู่ในใกล้เคียงกันจะพบว่าแม้จะมีหญ้าขึ้นปกคลุมแต่ต้นไม้ขนาดใหญ่รวมทั้งลูกไม้ กล้าไม้ยังมีจำนวนมากกว่าอันเป็นผลมาจากการเกิดไฟที่ไม่บ่อยจึงทำให้ลูกไม้ กล้าไม้มีโอกาสนในการพัฒนาขึ้นมาในช่วงที่ไม่มีไฟไหม้ ซึ่งเมื่อพิจารณาหญ้าที่ขึ้นในพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งเรือนยอดไม้เปิดโล่งมาก ทำให้หญ้าแห้งได้รวดเร็ว เมื่อเกิดไฟไหม้ขึ้นไฟจะมีความรุนแรงและส่งผลกระทบอย่างมากต่อความแข็งแรงและการตายของไม้ในพื้นที่และทำให้พื้นที่ภายหลังไฟไหม้มีความแห้งแล้งมากขึ้นดังนั้นหญ้าและวัชพืชรุกรานอื่นๆ ก็จะค่อยๆ ลูกกล้าเข้ามาในพื้นที่อย่างต่อเนื่องมากขึ้นและพืชที่ถูกรานเข้ามามักจะเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้ง (xerophytic species) และพืชที่ไม่ทนแล้งหรือทนไฟก็จะค่อยๆ หายไปจากพื้นที่ ซึ่งเมื่อถึงฤดูไฟป่าก็จะทำให้ไฟรุนแรงขึ้นอีกด้วยเช่นกันอันเป็นผลกระทบจากการมีหญ้าและพืชอื่นๆ (grass-fire cycle) ซึ่งจะยิ่งทำให้พื้นที่ค่อยเปลี่ยนสภาพจากการปกคลุมโดยไม้ยืนต้นไปสู่สังคมทุ่งหญ้า (savanna grassland) ได้ในที่สุด ลักษณะดังกล่าวนี้ได้เกิดขึ้นในป่าสนเสื่อมโทรมบริเวณป่าสนภูมู่ขาว นอกจากระบอบการเผาโดยเฉพาะความถี่

และความรุนแรงของไฟจะส่งผลโดยตรงต่อต้นไม้ในพื้นที่ดังกล่าวแล้ว การที่พื้นที่เปิดโล่งโดยมีไม้ขนาดเล็กใหญ่ที่ทนไฟได้หลงเหลือกระจายอยู่นั้นทำให้ต้นไม้ที่หลงเหลืออยู่มีความเสี่ยงสูงมากต่อการถูกฟ้าผ่า ซึ่งในการศึกษานี้พบต้นสนขนาดใหญ่จำนวนมากที่ถูกฟ้าผ่าที่บริเวณยอดและบางต้นได้ตายลงไป

ผลกระทบของความถี่และความรุนแรงของไฟจากการเสื่อมโทรมของพื้นที่ต่อกระบวนการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติที่สำคัญอีกประการในป่าสนเสื่อมโทรมคือการที่ไม้สนสามใบในพื้นที่ซึ่งเป็นไม้เด่นกำลังอยู่ในความเสี่ยงเนื่องจากการขาดช่วงสืบต่อพันธุ์ที่ต่อเนื่อง โดยไม้วัยรุ่นในพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมมีจำนวนน้อยมาก นอกจากนั้นกล้าไม้สนที่เกิดขึ้นภายหลังพื้นที่ที่ถูกเผาก็ยังถูกทำลายโดยไฟที่เกิดขึ้นในปีถัดมา ประกอบกับต้นไม้ใหญ่ที่ถูกฟ้าผ่าอย่างต่อเนื่อง จึงน่าเป็นห่วงเป็นอย่างยิ่งว่าหากไม้สนขนาดใหญ่ในพื้นที่ตายลงหมดแล้ว พื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมนี้อาจมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนสภาพเป็นทุ่งหญ้าอย่างถาวรหากไม่มีมาตรการในการป้องกันไฟในพื้นที่ช่วยให้กระบวนการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติสามารถดำเนินไปได้ ไม้สนสามใบนั้นเป็นไม้ที่เมื่อโตขึ้นจะสามารถทนทานต่อไฟได้เนื่องจากเปลือกลำต้นที่หนา แต่เมื่อยังมีขนาดเล็กโดยเฉพาะในระยะกล้าไม้และไม้วัยรุ่นขนาดเล็กนั้นยังไม่สามารถทนไฟได้หากไฟเผาทำลายจะไม่สามารถทนทานและไม่สามารถแตกหน่อขึ้นมาใหม่ได้ ดังนั้นหากเปลวไฟที่เกิดขึ้นสูงและเผายอดของไม้วัยรุ่นและกล้าไม้ก็จะทำให้สนสามใบตายได้ ซึ่งแตกต่างจากสนสองใบที่มีความสามารถทนทานต่อไฟได้ดีกว่าเนื่องจากในระยะกล้าไม้ของสนสองใบจะมีระยะ grass stage ซึ่งสามารถทนทานต่อการที่ยอดถูกทำลายและสามารถแตกหน่อขึ้นมาใหม่และมีการสะสมอาหารในรากใต้ดิน โดยระยะ grass stage ของสนสองใบนั้นใช้เวลาประมาณ 10-15 ปี ขึ้นอยู่กับพื้นที่ จากนั้นต้นสนสองใบจะเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วจนรอดพ้นจากเปลวไฟได้ สนสองใบจึงสามารถทนทานในพื้นที่ที่มีไฟเกิดขึ้นอยู่เป็นประจำได้ดีกว่าสนสามใบ ดังนั้นมาตรการในการป้องกันไฟในพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการฟื้นฟูระบบนิเวศโดยการส่งเสริมกระบวนการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามการป้องกันไฟเพียงลำพังอาจจะไม่เพียงพอต่อการส่งเสริมการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติเนื่องจากพื้นที่นั้นถูกปกคลุมไปด้วยหญ้าที่แน่นทึบทำให้เมล็ดไม้ไม่สามารถโปรยลงสัมผัสกับดินได้โดยตรง ทำให้แม้จะป้องกันไฟแล้วแต่กล้าไม้ก็ยังไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นควรต้องมีการจัดการกับวัชพืชโดยเฉพาะหญ้า เช่นทำการเผาพื้นที่เพื่อกำจัดหญ้าในครั้งแรก จากนั้นอาจจะต้องมีการถางวัชพืชในบริเวณที่พบการเกิดใหม่ของกล้าไม้สนโดยดูแลอย่างต่อเนื่องจนกล้าไม้สามารถสูงพ้นหญ้าในพื้นที่และเมื่อกล้าไม้สูงและมีขนาดใหญ่ที่สามารถทนต่อไฟได้แล้วอาจจะพิจารณาทำการเผาพื้นที่อีกครั้งเพื่อส่งเสริมการงอกของกล้าไม้ในรุ่นถัดไป ดังนั้นการกำหนดความถี่ของการเผาในป่าสนเสื่อมโทรมและการควบคุมวัชพืชในช่วงแรกภายหลังการเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการส่งเสริมให้เกิดกระบวนการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในพื้นที่ ซึ่งในประเด็นเรื่องความถี่ห่างของการเผาต่อการส่งเสริมการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติเพื่อการคงอยู่ของป่าสนจะต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไป

2 ผลกระทบของไฟในป่าสนกับปัญหาการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ

ผลกระทบของไฟป่าต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดขึ้นเนื่องจากไฟป่าได้ทำลายแหล่งดูดซับคาร์บอน (carbon sink) และในขณะเดียวกันได้ทำให้แหล่งที่เคยเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนกลายเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน (carbon source) โดยการเผาทำลายสิ่งปกคลุมดินและปลดปล่อยก๊าซต่างๆ ออกมารวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาเป็นสัดส่วนสูงที่สุดในบรรดาก๊าซต่างๆ ปลดปล่อยออกมา โดยคาร์บอนไดออกไซด์อาจมีสัดส่วนมากถึง 90 - 95 % หากการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์มากขึ้น (Sandberg *et al.*, 2002) ซึ่งงานวิจัยจำนวนมากได้ชี้ให้เห็นว่าป่านั้นเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอนในระหว่างการเกิดไฟ (Raison *et al.*, 1985; Kauffman *et al.*, 1993; Kauffman *et al.*, 1994; Neary *et al.*, 1999; Toda *et al.*, 2007; Wanthongchai, 2008) และจะกลายเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอน ภายหลังจากนั้น ทั้งนี้ความเร็วในการกลับมาเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนขึ้นอยู่กับกระบวนการสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ 1. กระบวนการที่คาร์บอนสูญหายจากการเผาไหม้โดยตรงโดยหายไปในรูปแบบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ (แต่ในรูปอื่นๆ เช่น CO, CH₄, hydrocarbon, particulate matter ก็มีเช่นกัน) 2. กระบวนการย่อยสลายเศษซากเชื้อเพลิงที่หลงเหลือจากการเผาไหม้โดยสิ่งมีชีวิตในดินและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา และ 3. พลวัตของสังคมพืชที่ขึ้นทดแทนภายหลังการเกิดไฟ โดยเฉพาะพลวัตของสังคมพืชที่ขึ้นทดแทนภายหลังการเกิดไฟค่อนข้างมีความสำคัญมาก

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ตรวจวัดคาร์บอนที่สูญเสียออกไปจากการเผาโดยการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงก่อนการเผาเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนที่หลงเหลืออยู่ในถ่าน ถ่าน และสิ่งที่ไหม้ไฟหลังเผาจึงทำให้ทราบปริมาณคาร์บอนที่หายไปจากการเผา โดยที่ไฟนั้นเผาทำลายเพียงเชื้อเพลิงในป่าแต่ไม่ได้เผาทำลายไม้ใหญ่ ดังนั้นในการศึกษาจึงไม่ได้คำนวณปริมาณคาร์บอนในไม้ยืนต้นไว้ ซึ่งผลจากการศึกษานั้นอุณหภูมิของดินที่ได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยบริเวณผิวดินเท่านั้นแม้ว่าอุณหภูมิจุดเดือดของคาร์บอนนั้นจะต่ำมากเพียงประมาณ 100 °C ก็สามารถสูญเสียออกไปได้แล้วก็ตาม ดังนั้นจึงพบว่าปริมาณคาร์บอนในดินโดยส่วนใหญ่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเผาเลย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านที่พบว่าไฟไหม้แล้วไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินที่เด่นชัดนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อคาร์บอนในดิน (Wanthongchai, 2008) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนหรือการสูญเสียคาร์บอนจากการเผาในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมกึ่งมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหนือพื้นดินเป็นหลัก โดยที่ปริมาณคาร์บอนในป่าสนเสื่อมโทรมนั้นสูญหายไปถึงประมาณ 84% ในขณะที่การสูญเสียคาร์บอนในป่าสนผสมกึ่งนั้นมีเพียงประมาณ 54% ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะพฤติกรรมของไฟ การเผาไหม้และปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้และหลงเหลืออยู่ภายหลังการเผาของป่าแต่ละประเภท โดยทั่วไปนั้น ปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมานั้นจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของมวลชีวภาพที่ถูกเผาไป (Table 39) เช่นจากการศึกษาของ Wanthongchai (2008) พบว่าคาร์บอนที่สูญหายไปจากการเผาป่าเต็งรังนั้นมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 70-90 ของปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ถูกเผา ซึ่งความมากน้อยของการสูญหายของคาร์บอนขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผา ในขณะที่การสูญเสียคาร์บอนในดินมีเพียงเล็กน้อย แต่ Houghton (1991) รายงานว่าคาร์บอนในดินนั้นอาจจะสูญเสีย

ไปได้ถึงร้อยละ 20-30 จากการทำการเกษตรแบบถางแล้วเผา (slash and burn) ในดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ร้อยละ 1 โดยที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตรนั้นจะมีการสูญเสียคาร์บอนไปถึงประมาณ 6-9 ตันต่อเฮกแตร์ ทั้งนี้เนื่องจากการทำการเกษตรแบบถางแล้วเผานั้นเมื่อทำการเผาจะทำให้ดินมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากจากกองเศษซากพืชที่ถางไว้จนแห้ง จึงส่งผลกระทบต่อธาตุอาหารรวมทั้งคาร์บอนในดินในระดับลึกลงไปได้มาก

สำหรับแนวโน้มนการฟื้นกลับของคาร์บอนนั้นเกิดขึ้นเมื่อต้นพืชเริ่มเจริญเติบโตกลับมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงที่ดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ ซึ่งจากการคาดการณ์โดยการใช้สมการพบว่าป่าสนเสื่อมโทรมต้องใช้เวลา ประมาณ 2 ปี ในขณะที่ป่าสนผสมก่อกต้องใช้เวลาประมาณ 3 ปี จึงจะสะสมคาร์บอนกลับมาสู่ระดับเดิมก่อนที่จะมีการเผา โดยที่การคาดการณ์ในครั้งนี้นิมนำค่าการดูดซับคาร์บอนจากไม้ยืนต้นในพื้นที่มาคิดร่วมด้วย ดังนั้นมาตรการในการป้องกันไฟจึงมีบทบาทสำคัญในอันที่จะช่วยให้ป่านั้นสามารถทำหน้าที่ดูดซับคาร์บอนกลับมาจากส่วนที่ได้ถูกปลดปล่อยออกไปจากการเผา โดยหากพิจารณาเฉพาะการเก็บกักคาร์บอนเฉพาะในเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ปริมาณเท่ากับก่อนที่จะทำการเผา จะต้องป้องกันไฟในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกเป็นเวลา 2 และ 3 ปี ตามลำดับ

Table 39. ปริมาณคาร์บอนที่สูญหายไประหว่างการเกิดไฟในป่าบางประเภท

ประเทศ	ชนิดป่า	เชื้อเพลิง ที่ถูกเผา (ton/ha)	คาร์บอน ที่สูญเสีย (ton/ha)	ที่มา
ไทย	ป่าเต็งรัง	4.3-8.1	2.1-4.1	(Wanthongchai et al., 2008)
ไทย	ป่าเต็งรัง	4.7	2.3	(Toda et al., 2007)
บราซิล	Neotropical dry forest	57.3-69.7	24.6-30.9	(Kauffman et al., 1993)
บราซิล	ทุ่งหญ้าเขตร้อน	7.1	3.3	(Kauffman et al., 1994)
บราซิล	สะวันนา	6.4-7.1	2.6-3.3	(Kauffman et al., 1994)
บราซิล	ป่าดิบแล้ง	8.4	2.7	(Kauffman et al., 1994)
บราซิล	ป่าทุติยภูมิ	70	23-47	(Hughes et al., 2000)
บราซิล	ป่าทุติยภูมิรอบที่ 3	58.1	20-27	(Hughes et al., 2000)

3 ความหนักเบาของไฟ (Fire severity) ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ

ความหนัก-เบา ของการเผา (Fire severity) เป็นตัวชี้วัดสำคัญในการศึกษาผลกระทบของไฟต่อระบบนิเวศ (DeBano *et al.*, 1998) ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้วัดการตอบสนองของระบบนิเวศที่มีต่อไฟ ซึ่งตัวบ่งชี้ที่ใช้ระบุความหนักเบาของการเผามีหลายประการ เช่น ความลึกของการเผา (depth of burn) การตายของต้นไม้ (tree mortality) อุณหภูมิของดิน และความยาวนานของความร้อนที่อยู่ในดิน (duration of heating) ในขณะที่ความรุนแรงของไฟ (fire intensity) นั้นมักจะไม่สามารถอธิบายผลกระทบของไฟต่อระบบนิเวศได้ดีเท่าที่ควร (Neary *et al.*, 2005) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาตัวบ่งชี้ทางด้านความหนักเบาของการเผาในรูปของอุณหภูมิของดิน และอัตราการตายของต้นไม้เพื่อใช้ประกอบการอธิบายผลกระทบของไฟต่อระบบนิเวศป่าไม้ โดยผลสรุปในภาพรวมนั้นไฟที่เกิดขึ้นในป่าสนเสื่อมโทรมมีความหนักเบาของการเผาในระดับต่ำถึงปานกลาง (low to medium-severity fire) ในขณะที่ไฟที่เกิดขึ้นในป่าสนผสมก่อกมีความหนักเบาของการเผาในระดับต่ำ (low-severity fire) ตามการจำแนกของ Khanna and Raison (2006)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของดินทั้งในป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะบริเวณผิวหน้าดินเท่านั้น ในขณะที่ในดินชั้นที่ลึกลงไปนั้นอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้การที่ดินมีช่วงเวลาที่มีความร้อนถึงจุดวิกฤตที่จะทำให้คุณสมบัติด้านต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงนั้นมีระยะเวลาที่เกิดขึ้นเพียงเวลาสั้น ๆ เท่านั้น โดยเฉพาะอุณหภูมิวิกฤตสำหรับสิ่งมีชีวิตในดินที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีในดินเปลี่ยนแปลง (Table 40) ดังนั้นคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากอิทธิพลของไฟ ในขณะที่คุณสมบัติทางด้านชีวภาพอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อยโดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าดินเท่านั้น อีกทั้งเนื่องจากดินมีคุณสมบัติที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ดังนั้นความร้อนจากผิวดินจึงไม่ส่งผลกระทบลงไปในดินชั้นล่าง เมื่อนำผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินทางด้านกายภาพและเคมีที่ได้รับในการศึกษานี้มาพิจารณาก็จะพบว่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินนั้นแทบจะไม่ได้รับผลกระทบจากการเผาโดยตรง แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินทางอ้อมที่อาจเกิดขึ้นได้จากการเผาเช่นการไหลบ่าของน้ำบริเวณผิวดินที่อาจเพิ่มขึ้นซึ่งจะชะล้างธาตุอาหารออกไปจากพื้นที่ได้ การพัดพาของลมที่นำเอาชีถ้าปลิวออกนอกพื้นที่ การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารในดินจากรูปอินทรีย์ (organic form) เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available form) ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไอออนที่อยู่ในสารละลายดิน ซึ่งไอออนเหล่านี้มักจะถูกชะล้างลงสู่ดินชั้นลึกได้ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ในระยะยาวได้

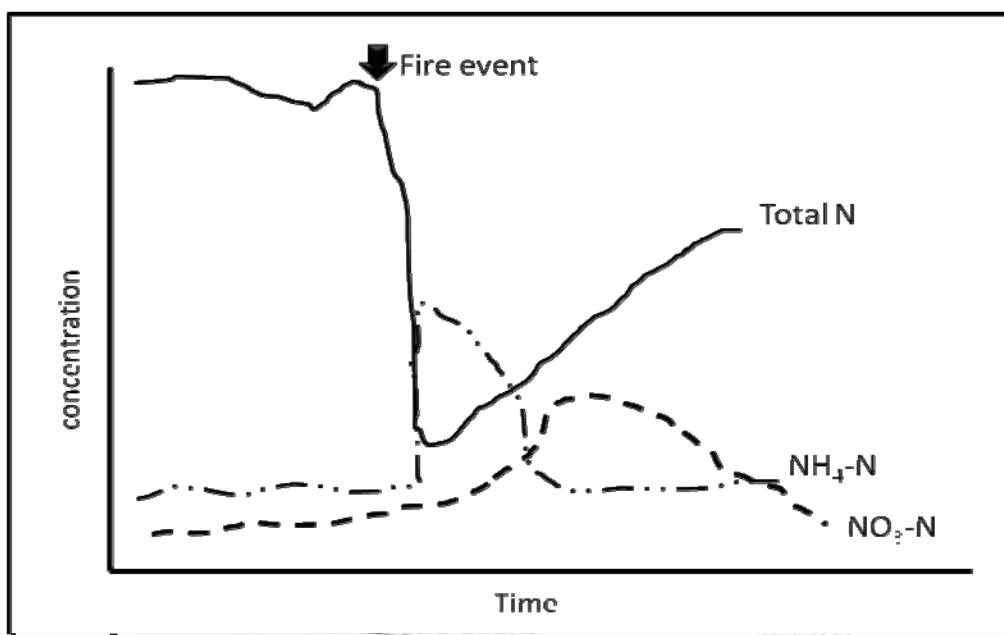
Table 40 อุณหภูมิวิกฤตสำหรับธาตุอาหารและสิ่งมีชีวิตในดิน

คุณสมบัติของดิน	อุณหภูมิวิกฤติ (°C)	ที่มา
<i>Relatively Insensitive</i>		
- Manganese	1962	Raison et al. 1985
- Calcium	1484	Raison et al. 1985
- Magnesium	1107	DeBano 1991
- Clay alteration	460-980	DeBano 1990
- Phosphorus and Potassium	774	Raison et al. 1985
<i>Moderately Sensitive</i>		
- Sulfur	375	Teidemann 1987
- Soil structure	300	DeBano 1990
- Soil wettability	250	DeBano and Krammes 1966
- Nitrogen	200	White et al. 1973
- Organic matter	100	Hosking 1938
<i>Sensitive</i>		
- Protein coagulation	60	Precht et al. 1973
- Bacteria-wet	100	Dunn and DeBano 1977
- Bacteria-dry	120	Dunn and DeBano 1977
- Nitrosomonas bacteria-wet	80	Dunn and DeBano 1977
- Nitrosomonas bacteria-dry	90	Dunn and DeBano 1977
- Fungi-wet	60	Dunn et al. 1985
- Fungi – dry	80	Dunn et al. 1985
- VAM	94	Klopatek et al. 1988
- Plant root	48-54	Hare 1961
- Seeds-wet	70	Martin et al. 1975
- Seeds-dry	90	Martin et al. 1975
- Small mammals	49-63	Lyon et al. 1978

ที่มา: DeBano *et al.* (1998)

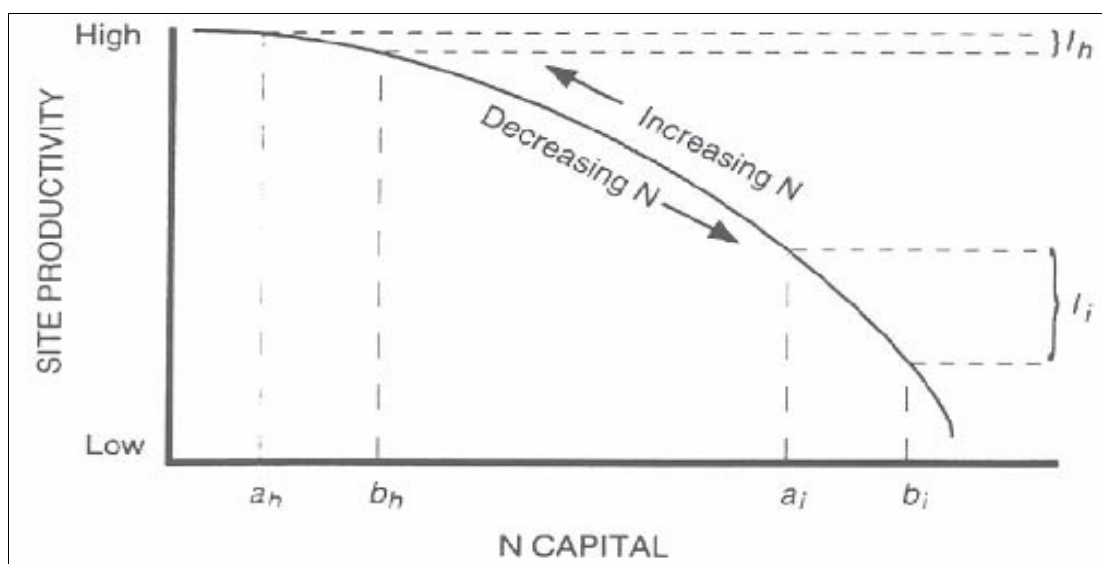
สำหรับการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนในระบบนิเวศโดยเฉพาะในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินซึ่งไนโตรเจนที่อยู่ในส่วนต่างๆ ของพืชถูกเผาไหม้ออกสู่บรรยากาศในขณะที่ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ แอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งต่อมาภายหลังจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นไนเตรท (NO_3^{2-}) โดยกระบวนการ nitrification (Figure 56) โดยที่การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นได้แม้อุณหภูมิของดินไม่สูงขึ้นมาก ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจุดเดือดของไนโตรเจนนั้นต่ำ โดยอุณหภูมิประมาณ 200-300 °C ก็สามารถทำให้ไนโตรเจนเริ่มเกิดการสูญเสียหรือเปลี่ยนรูปไปได้แล้ว ซึ่งไนเตรทที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของไอออนในสารละลายดินที่ง่ายต่อการถูกชะล้างลงสู่ดินชั้นลึกหากพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้หมด ดังนั้นแนวโน้มของไนโตรเจนในระบบนิเวศจึงมีแนวโน้มลดลงภายหลังการเผาไป 2-3 เดือน แต่เมื่อพืชเริ่มมีการเจริญเติบโต แรกหน่อกลับมาในพื้นที่ระบบนิเวศก็จะเริ่มมีการตรึงไนโตรเจนกลับเข้าสู่ระบบอีกครั้งผ่านกระบวนการตรึงไนโตรเจนต่างๆ จึงทำให้แนวโน้มของไนโตรเจนกลับเพิ่มขึ้นกลับมาอีกครั้ง โดยที่อัตราการทดแทนกลับของไนโตรเจนมีค่าค่อนข้างสูงเพียงพอที่จะชดเชยการสูญเสียไปจากการเผาได้ อย่างไรก็ตามการสูญเสียไนโตรเจนจากการเผานั้นอาจมีความสำคัญต่อพื้นที่ซึ่งมีปัญหาการขาดแคลนไนโตรเจน (N-deficient site) ซึ่งแม้การสูญเสียไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยก็อาจส่งผลกระทบต่อผลผลิต (productivity) ของพื้นที่ได้ (Figure 57) แต่สำหรับฟอสฟอรัสนั้นจะพบว่าภายหลังการเผาพื้นที่จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available form) ในรูปของไอออนในสารละลายดิน เช่นกัน ซึ่งหากพืชดูดนำไปใช้ไม่หมดก็就会被ชะล้างลงสู่ดินชั้นลึกและหลุดออกไปจากระบบได้ นอกจากนี้อัตราการทดแทนกลับของฟอสฟอรัสนั้นต่ำมากโดยการทดแทนนั้นมาจากการผุพังของวัตถุต้นกำเนิดดินโดยมีอัตราการทดแทนอยู่ที่ประมาณ < 1 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี ซึ่งถือว่าต่ำมาก ดังนั้นจึงพบว่าฟอสฟอรัสมีแนวโน้มที่จะลดลงภายหลังการเผาไปแล้ว 1 ปี ดังนั้นผลกระทบของการเผาดูเหมือนว่าจะมีความสำคัญที่สูงกว่าไนโตรเจนเนื่องจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นกับการทดแทนกลับในสัดส่วนที่ต่ำ ดังนั้นระบบนิเวศภายหลังไฟไหม้จึงมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนฟอสฟอรัสที่สูง

สำหรับอัตราการตายของไม้ชั้นบนซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ความหนักเบาของการเผาเช่นกันนั้นพบว่าการตายของไม้ในป่าสนเสื่อมโทรมมีค่าสูงกว่าป่าสนผสมกึ่ง ซึ่งการตายของต้นไม้จะส่งผลในระยะยาวต่อลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบของสังคมพืชได้ สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ต้นไม้ในป่าสนเสื่อมโทรมมีการตายมากเนื่องมาจากไฟที่มีความรุนแรงสูงจากเชื้อเพลิงประเภทหญ้าที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่และพบว่าต้นไม้ขนาดเล็กมีแนวโน้มการตายที่มากกว่าไม้ขนาดใหญ่ ดังนั้นหากไฟที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งทำให้ต้นไม้มีการตาย ในระยะยาวพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมนี้อาจจะยังมีความเสื่อมโทรมไปมากกว่านี้จนกลายสภาพเป็นทุ่งหญ้าไปในที่สุด มาตรการการป้องกันไฟในบางช่วงเวลาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการรักษาและฟื้นฟูพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมนี้ โดยมาตรการป้องกันไฟอาจจะต้องดำเนินการจนกระทั่งกระบวนการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติสามารถดำเนินต่อไปได้จนทำให้กระบวนการทดแทนตามธรรมชาติในพื้นที่เป็นไปอย่างสมดุลทั้งในด้านการเกิด การพัฒนา และการตายของสังคมพืช



ที่มา: Neary *et al.* (2005)

Figure 56. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมด (total N) และไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) ภายหลังการเผา



ที่มา: DeBano *et al.* (1998)

Figure 57 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่จากการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน

4 แนวทางการจัดการไฟจากผลของลักษณะความรุนแรงของไฟ (Fire intensity implication)

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าไฟที่เกิดขึ้นในป่าสนเสื่อมโทรมมีความรุนแรงอยู่ในระดับปานกลางในขณะที่ป่าสนผสมก่อกไฟมีความรุนแรงระดับต่ำ โดยที่ความรุนแรงของไฟจะเป็นตัวที่กำหนดมาตรการในการรับมือกับไฟว่าจะต้องใช้กำลังคน เครื่องมือ ตลอดจนทั้งวิธีการในการเข้าควบคุมไฟอย่างไร จากการศึกษาครั้งนี้จะพบว่าเมื่อเกิดไฟไหม้ในป่าสนเสื่อมโทรมซึ่งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ประกอบด้วยหญ้าซึ่งติดไฟได้ง่ายและมีความแห้งมาก ไฟที่เกิดขึ้นมักจะมีมีความรุนแรงมาก ดังนั้นการเตรียมการรับมือกับสถานการณ์ไฟไหม้สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมจึงต้องปฏิบัติอย่างเคร่งครัดและกระทำด้วยความระมัดระวังรอบคอบ ในขณะที่ไฟในป่าสนผสมก่อกนั้นแม้ว่าผลการศึกษาครั้งนี้จะพบว่าไฟมีความรุนแรงน้อย แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ปรากฏอยู่ในพื้นที่ (ประมาณ 9 ตันต่อเฮกแตร์) ถือว่าเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ค่อนข้างมากสำหรับป่าในประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงในป่าบางประเภทในประเทศไทย เช่นป่าเต็งรัง ป่าผสมผลัดใบและป่าสนเขา (ดู Table 16 ประกอบ) อีกทั้งมีเชื้อเพลิงประเภทเศษซากใบสน เศษกิ่งไม้และหญ้า เป็นเชื้อเพลิงหลักซึ่งล้วนแต่มีความสามารถในการติดไฟได้ หากสภาพปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหมาะสมที่จะส่งผลต่อความแห้งของเชื้อเพลิงเหล่านี้ แต่เนื่องจากสภาพปัจจัยแวดล้อมในวันที่ทำการเผาไหม้จะไม่ส่งผลให้ไฟมีความรุนแรงมาก ดังนั้นเมื่อประเมินศักยภาพของพื้นที่ป่าสนผสมก่อก ทั้งปัจจัยด้านเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างมากมาย ปัจจัยด้านสภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ ซึ่งหากปัจจัยทั้งสามประการนี้เหมาะสมก็จะทำให้เกิดพฤติกรรมไฟที่เกิดขึ้นในป่าสนผสมก่อกนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากได้ โดยจะมีปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศเป็นตัวแปรสำคัญ ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางด้านพฤติกรรมไฟป่านั้นจะพบว่าพฤติกรรมไฟป่ามีความผันแปรไปตามพื้นที่และระยะเวลาจนอาจกล่าวได้ว่าพฤติกรรมไฟนั้นมีความเฉพาะเจาะจงในแต่ละครั้งของการเกิดไฟ ดังนั้นในช่วงเวลาที่สภาพอากาศมีความแห้งแล้งเหมาะสมโอกาสของการเกิดไฟในป่าสนผสมก่อกที่จะพัฒนาจนไฟมีความรุนแรงสูงจึงความเป็นไปได้ ซึ่งเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานต้องพึงระวังไว้

สำหรับป่าสนเสื่อมโทรมนั้นเป็นที่ชัดเจนว่าเมื่อเกิดไฟไหม้ขึ้นมักจะมีมีความรุนแรงของไฟที่สูงเนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมต่อการติดไฟ นอกจากนี้ความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงเป็นพื้นที่กว้างใหญ่นั้นมีผลต่ออัตราการลุกลามซึ่งส่งผลถึงลักษณะความรุนแรงของไฟด้วย โดยที่หญ้าที่เกิดขึ้นในป่าสนเสื่อมโทรมมักเกิดเป็นผืนใหญ่ต่อเนื่องดังนั้นเมื่อเกิดไฟไหม้ขึ้นไฟจึงสามารถพัฒนาลุกลามได้อย่างต่อเนื่องรวดเร็วและเกิดเป็นไฟที่มีความรุนแรง มาตรการตัดทอนความต่อเนื่องของเชื้อเพลิง เช่นการทำแนวกันไฟเพื่อแบ่งแยกพื้นที่ออกเป็นตอนๆ การตัดถนน แนวลำห้วยตามธรรมชาติ หรือแม้แต่ด้านทางเดินตามธรรมชาติของสัตว์ป่าขนาดใหญ่ เช่นช้างป่า จะช่วยให้การลุกลามของไฟไม่ต่อเนื่อง พฤติกรรมของไฟก็จะไม่รุนแรงและมีอันตรายมากนัก อย่างไรก็ตามหากจะพิจารณาสร้างแนวตัดทอนความต่อเนื่องของเชื้อเพลิงเพื่อยับยั้งการลุกลามของไฟนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความยาวและความสูงของเปลวไฟในพื้นที่ด้วย ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าความยาวของเปลวไฟสูงที่สุดที่พบนั้นมีค่าประมาณ 2 เมตร ดังนั้นแนวกันไฟที่จะสร้างขึ้นโดยทั่วไปควรมีความกว้างมากกว่าความยาวเปลวไฟอย่างน้อย 3-5 เท่า (ศิริ อัครจักร, 2543) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศด้วยซึ่งหากเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชัน พื้นที่เปิดโล่ง มีลมพัดรุนแรง เชื้อเพลิงมีความสูงมากและเชื้อเพลิงปลิวได้ง่ายแนวกันไฟก็

จะต้องกว้างกว่าปกติ ดังนั้น แนวกันไฟในป่าสนเสื่อมโทรมควรมีความกว้างตั้งแต่ 6-10 เมตร เพื่อให้สามารถสกัดการลุกลามของไฟได้ในระดับหนึ่ง

หากพิจารณาอัตราการสะสมเชื้อเพลิงซึ่งพบว่าทั้งป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกวนต้องใช้เวลามากกว่า 2 ปี ในการที่เชื้อเพลิงจะสะสมกลับมาเท่ากับระดับก่อนการเผาอีกครั้ง ดังนั้นมาตรการกำหนดความถี่-ห่างของการเผา (fire frequency หรือ fire-free interval) ควรจะต้องสอดคล้องกับปริมาณการสะสมของเชื้อเพลิง นอกจากนี้สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไปด้วยคือการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติโดยเฉพาะอัตราการเติบโตของลูกไม้ชนิดสำคัญในป่าสน ซึ่งจากการศึกษาของธีระ (2534) พบว่าอัตราการเติบโตทางด้านความสูงของไม้สนสามใบที่อายุ 1 และ 3 ปี ที่สวนสนโครงการพัฒนาป่าไม้ที่สูง หน่วยที่ 1 (แม่ตะมาน) จังหวัดเชียงใหม่มีค่าประมาณ 0.43 และ 3.20 เมตร จึงอาจอนุมานได้ว่าอัตราการเติบโตทางความสูงของไม้สนอยู่ที่ประมาณ ปีละ 0.9 เมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับความสูงของเปลวไฟในพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมซึ่งแม้ว่าจะมีความสูงเปลวไฟเฉลี่ยเพียงประมาณ 1.3 เมตร แต่อย่างไรก็ตามความสูงของเปลวไฟในด้านหัวไฟนั้นสูงถึงประมาณ 2.3 เมตร ดังนั้นหากพิจารณาจากความสูงของเปลวไฟจากการลุกลามด้านหัวไฟเป็นหลักแล้วไม้สนสามใบในป่าสนเสื่อมโทรมอาจจะต้องใช้เวลาประมาณอย่างน้อย 3 ปี จึงจะสูงพ้นแนวเปลวไฟที่สูงที่สุดจากด้านหัวไฟซึ่งจะทำให้ต้นไม้นั้นไม่ตายจากการถูกไฟเผาทำลายส่วนยอด ดังนั้นจึงสมควรที่จะต้องป้องกันไฟประมาณ 3 ปี เป็นอย่างน้อยในพื้นที่ป่าสนเสื่อมโทรมจนกว่ากล้าไม้สนสามใบจะสูงพ้นเปลวไฟ อย่างไรก็ตามมาตรการป้องกันเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอที่จะทำให้กระบวนการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติของไม้สนประสบความสำเร็จได้ แต่ต้องมีการดำเนินการกำจัดวัชพืชโดยเฉพาะการควบคุมหญ้าในพื้นที่เพื่อให้เมล็ดไม้สนสามารถสัมผัสพื้นดินและสามารถงอกและเจริญเติบโตได้ในที่สุด ซึ่งการจัดการวัชพืชก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งหน่วงไปกว่าการป้องกันไฟ เนื่องจากการจัดการวัชพืชย่อมส่งผลต่อการเกิด/ไม่เกิดไฟในพื้นที่ได้ เนื่องจากการปรากฏของวัชพืชย่อมทำให้พื้นที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟได้มาก

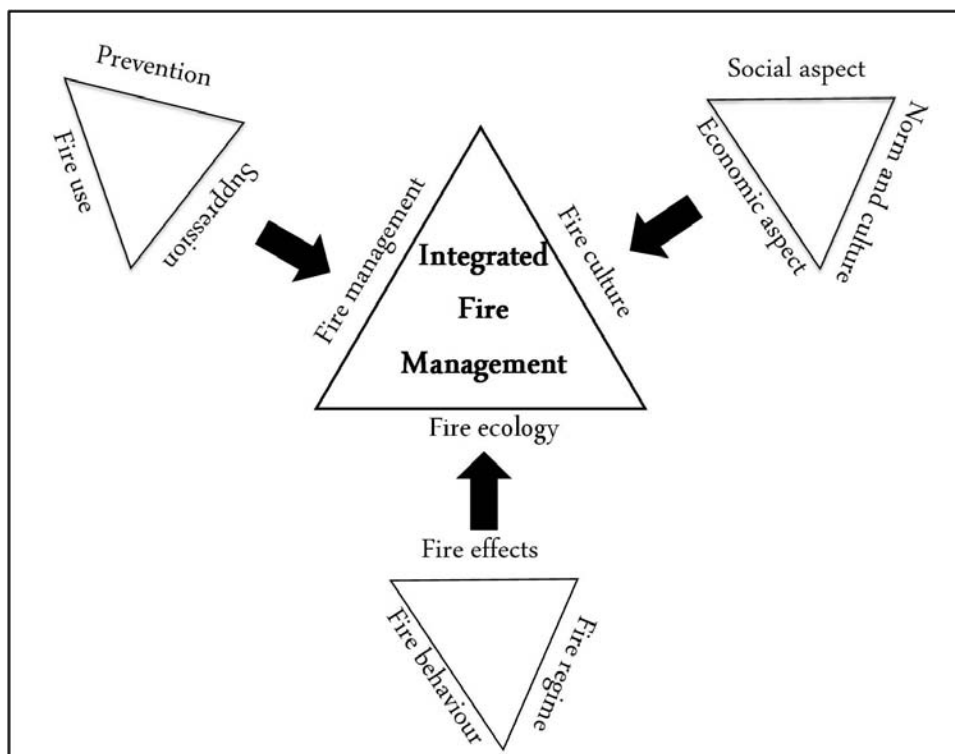
5. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยและแนวทางการบริหารจัดการไฟป่าในพื้นที่

ในอดีตที่ผ่านมาแนวนโยบายในการจัดการไฟป่าของประเทศไทยและในหลายประเทศ ได้มุ่งเน้นที่การป้องกันและการดับไฟป่า (Fire prevention and suppression) โดยที่เป็นการดำเนินการจากหน่วยงานภาครัฐแต่เพียงฝ่ายเดียว โดยมีได้คำนึงถึงลักษณะทางนิเวศวิทยาของระบบนิเวศนั้นๆ อีกทั้งมิได้คำนึงถึงลักษณะทางสังคม วัฒนธรรมของราษฎรที่อยู่โดยรอบ/ในพื้นที่ป่าที่ดำรงชีพอยู่โดยมีวัฒนธรรมการใช้ไฟเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นราษฎรในอดีตจึงถูกมองว่าเป็นผู้สร้างปัญหาไฟไหม้ป่ามาโดยตลอด การจัดการไฟป่าในอดีตจึงพยายามแยกคนเหล่านี้ออกไปจากกระบวนการควบคุมไฟป่า โดยที่ไม่ได้คำนึงถึงสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น นโยบายการป้องกันไฟป่า การดับไฟป่าที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่านโยบายข้างต้นยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ยังคงมีปัญหาไฟป่าเกิดขึ้นทุกปีและราษฎรเองก็ยังมีความจำเป็นในการใช้ไฟเพื่อการดำรงชีพอยู่เช่นเดิม พื้นที่ป่าหลายแห่งยังคงประสบปัญหาไฟป่าที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์จำนวนมาก

การจัดการไฟป่าให้ประสบผลสำเร็จได้ต้องยึดหลักของการบูรณาการจัดการไฟป่า (Integrated fire management) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่พื้นที่บริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวควรจะได้พิจารณาดำเนินการต่อยอดจากงานวิจัยในครั้งนี้ โดยที่การบูรณาการจัดการไฟป่าต้องอาศัยความรู้เทคโนโลยีในการจัดการไฟป่าที่ต้องคำนึงถึงธรรมชาติของระบบนิเวศ ผลกระทบทั้งด้านนิเวศวิทยาและด้านสังคม วัฒนธรรมของชุมชนควบคู่ไปด้วย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของการจัดการระบบนิเวศป่าไม้ การศึกษาการจัดการไฟป่าแบบบูรณาการจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในอนาคตโดยจะต้องมีการศึกษาผลกระทบของไฟป่าให้รอบด้านทั้งทางด้านนิเวศวิทยา ด้านเศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรมและด้านการจัดการไฟป่าเพื่อที่จะได้นำมาบูรณาการการจัดการให้เกิดผลกระทบในทุกด้านน้อยที่สุดในขณะที่ส่งผลกระทบในด้านบวกให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามการดำเนินการต่างๆ จะไม่ประสบความสำเร็จได้ผลอย่างยั่งยืนหากขาดซึ่งการมีส่วนร่วมของชุมชนในพื้นที่นั้นในการที่จะมีส่วนร่วมในการคิด ตัดสินใจและวางแผนการดำเนินการ ร่วมดำเนินการ และร่วมตรวจสอบผลการดำเนินการที่เกิดขึ้นและร่วมกันปรับปรุงแก้ไข ซึ่งหลักของการนำการจัดการไฟป่าแบบบูรณาการมาใช้โดยมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการไฟป่า (Community-Based Fire Management: CBFiM) นั้นได้มีการดำเนินการและประสบผลสำเร็จในหลายประเทศโดยเฉพาะประเทศในแถบทวีปแอฟริกาแต่สำหรับประเทศไทยแนวคิดดังกล่าวยังมีอยู่ค่อนข้างจำกัด

5.1 หลักการบูรณาการจัดการไฟป่า (Integrated fire management)

การจัดการไฟป่าแบบบูรณาการ เป็นการจัดการที่มองถึงผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบของไฟที่เกิดขึ้นต่อระบบนิเวศ สังคม วัฒนธรรมและความเป็นอยู่ของชาวบ้านเพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากไฟป่ากับประโยชน์ที่จะได้รับทั้งทางด้านนิเวศวิทยาและทางเศรษฐกิจ ซึ่งเมื่อเกิดไฟขึ้นการจัดการไฟป่าแบบบูรณาการนี้จะมีกรอบของการดำเนินการในการที่จะประเมินผลกระทบจากไฟนั้นว่าเป็นผลกระทบในด้านบวกหรือด้านลบ จากนั้นจะถ่วงน้ำหนักระหว่างผลประโยชน์กับความเสี่ยง และมีการตอบสนองในการดำเนินการอย่างเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของแต่ละพื้นที่ การจัดการไฟป่าแบบบูรณาการประกอบด้วยกรอบการบูรณาการ 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ 1. การจัดการไฟ (การป้องกันไฟ การควบคุมไฟ และการใช้ประโยชน์จากไฟ) 2. ลักษณะระบอบการเผา (fire regime) ลักษณะทางนิเวศวิทยาของไฟและผลกระทบของไฟ และ 3 ลักษณะทางเศรษฐกิจสังคมและวัฒนธรรมของการใช้ไฟและผลกระทบทางลบที่ไฟมีต่อสังคม (Figure 58) (Myers, 2006) ดังนั้นในการศึกษาการจัดการไฟป่าแบบบูรณาการจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาในองค์ประกอบทั้ง 3 ประเด็นให้ชัดเจน รอบด้าน เพื่อจะได้นำมาใช้ในการวางแผนจัดการไฟป่าในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป



ที่มา: ดัดแปลงจาก Myers (2006)

Figure 58. สามเหลี่ยมองค์ประกอบของการบูรณาการจัดการไฟป่าที่ประกอบด้วย การจัดการไฟป่า ลักษณะทางนิเวศวิทยาไฟป่าและลักษณะทางเศรษฐกิจสังคมวัฒนธรรมที่เกี่ยวข้องกับไฟป่า

5.2 แนวทางการจัดการไฟป่าโดยชุมชนมีส่วนร่วม (Community-based fire management)

ปัญหาไฟป่าโดยภาพรวมของทั่วโลกพบว่ากว่า 90 % ของไฟป่าที่เกิดขึ้นล้วนมีสาเหตุมาจากมนุษย์ทั้งสิ้น สำหรับประเทศไทยก็เช่นเดียวกันโดยที่สาเหตุของการเกิดไฟมาจากสาเหตุสำคัญได้แก่การเก็บหาของป่า ล่าสัตว์ การเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ราษฎรที่อาศัยอยู่รายรอบพื้นที่ป่าจึงมักถูกมองจากเจ้าหน้าที่รัฐว่าเป็นผู้สร้างปัญหาไฟป่าอีกทั้งไม่ให้ความร่วมมือช่วยป้องกันไฟป่า ขาดจิตสำนึกในการป้องกันไฟป่า แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือการที่ราษฎรเหล่านั้นไม่ช่วยดูแลป้องกันไฟป่านั้นมีสาเหตุที่แท้จริงมาจากการที่เขาเหล่านั้นขาดจิตสำนึกจริงหรือไม่หรือเกิดจากการที่พวกเขาขาดแรงจูงใจในการช่วยป้องกันไฟป่า ซึ่งเป็นที่มาของหลักการจัดการไฟป่าแบบมีส่วนร่วม ซึ่งเริ่มต้นครั้งแรกในช่วงปลายทศวรรษที่ 1990 ในประเทศกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การที่ราษฎรได้มีส่วนร่วมในการจัดการไฟป่าทั้งในขั้นตอนของการวางแผน การดำเนินการป้องกันไฟป่าในรูปแบบต่างๆ (ลาดตระเวน การสร้างแนวกันไฟฯ) ควบคุมไฟป่าเมื่อเกิดขึ้น และได้มีโอกาสใช้ไฟเพื่อการดำรงชีวิตอย่างถูกต้องเหมาะสม จะทำให้ราษฎรได้รู้สึกถึงการได้รับประโยชน์จากการจัดการไฟป่าที่แท้จริงและรู้สึกถึงความมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้มากขึ้น แต่หากการจัดการไฟป่าเกิดขึ้นจากเพียง

หน่วยงานภาครัฐเพียงฝ่ายเดียวแล้ว ความรู้สึกร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้จากราษฎรก็จะไม่เกิดขึ้นซึ่งจะทำให้การจัดการไฟป่าไม่ประสบผลสำเร็จ

ดังได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่าหลักการบูรณาการจัดการไฟประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญยิ่ง 3 ประการ ได้แก่ 1.การจัดการไฟ (การควบคุม การป้องกัน การใช้ไฟ) 2.ลักษณะนิเวศวิทยาของป่าและผลกระทบด้านต่างจากไฟป่า และ 3.ลักษณะทางเศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรมของชุมชน (Myers, 2006) ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้จะพบว่าทำให้ได้ข้อมูลทางด้านนิเวศวิทยาของไฟมาพอสมควร ในขณะที่ข้อมูลอีก 2 ด้านหลักยังต้องการการการศึกษาวิจัยในอนาคต จากการวิเคราะห์สถานภาพของพื้นที่พบว่าบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำหนาวนี้เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเริ่มต้นดำเนินโครงการศึกษาจัดการไฟป่าแบบบูรณาการเนื่องจากมีองค์ประกอบที่สำคัญของการจัดการไฟป่าที่ค่อนข้างพร้อมได้แก่ 1. ได้เริ่มมีการศึกษาวิจัยและมีข้อมูลทางด้านนิเวศวิทยาของป่าและไฟป่าอยู่พอสมควร 2. มีหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านไฟป่าในพื้นที่โดยตรงได้แก่สถานีควบคุมไฟป่าเพชรบูรณ์ และ 3. มีชุมชนที่อยู่โดยรอบซึ่งมีลักษณะวิถีชีวิตและวัฒนธรรมการที่เกี่ยวข้องกับใช้ไฟในพื้นที่อย่างเข้มข้น โดยข้อมูลทางด้านนิเวศวิทยาของป่าและนิเวศวิทยาของไฟมีข้อมูลอยู่พอสมควรซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้ระยะเวลาในการดำเนินโครงการวิจัยต่อเนื่องลงได้อย่างมาก โดยที่อาจจะมีการศึกษาวิจัยบางประเด็นเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ ในขณะที่ข้อมูลการจัดการไฟป่าของหน่วยงานและข้อมูลเศรษฐกิจสังคมยังขาดการศึกษาและข้อมูลอีกมากที่ต้องศึกษาวิจัยในอนาคต ซึ่งเมื่อข้อมูลทั้งสามองค์ประกอบมีความสมบูรณ์เพียงพอแล้ว ก็จะสามารถนำมาใช้ในการจัดการไฟป่าแบบบูรณาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กรมป่าไม้, 2534. แผนแม่บทอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จ.เพชรบูรณ์ จ.ชัยภูมิ. กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมอุทยานแห่งชาติ, 2553. ข้อมูลอุทยานแห่งชาติ. (ไฟล์ข้อมูล). กรมอุทยานแห่งชาติ (ผู้เผยแพร่).
- กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2553. โครงการจัดทำฐานข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ ในการบริหารจัดการอุทยานแห่งชาติ In. <http://www.dnp.go.th>, กรมอุทยานแห่งชาติ.
- กรีธา คล้ายประสิทธิ์พร. 2540. รูปแบบและอัตราการลุกลามของไฟป่าในป่าเบญจพรรณ. สำนักป้องกันและปราบปราม กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- กอบศักดิ์ วันธงไชย, วรพรรณ หิมพานต์ และ พูลสวัสดิ์ วงศ์สวัสดิ์, 2553. รายงานฉบับสมบูรณ์: ผลกระทบของการเผาไร่หมุนเวียนบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศต่อการเก็บกักและปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ, กรุงเทพฯ.
- คณินิจ สุทธิชาติ, 2539. ผลกระทบของไฟต่อนดินและพืช ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จรงค์ วัชรินทร์, 2550. ประเภทของป่าไม้. น. 16-49. ใน ลดาวัลย์ พวงจิตร, ผู้รวบรวม. วนวัฒนวิทยา พื้นฐานการปลูกป่า. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ชัยรัตน์ จุรินทร์. 2546. ผลกระทบของไฟป่าต่อนดินและพืชในป่าธรรมชาติ ณ อุทยานแห่งชาติ ดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่. สำนักป้องกัน และควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- ชาญชัย ยาวุฒิ, บุญวงศ์ ไทยอุดสำหรับ, มานพ กำจรเจ็ด และสมศักดิ์ สุขวงศ์. 2519. การศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของไฟในป่าสักธรรมชาติ, น. 521-536 ใน รายงานการประชุมป่าไม้ประจำปี 2519. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- ชัชวาลย์ คำแยม. 2548. สมบัติของแหล่งเชื้อเพลิง พฤติกรรมไฟ และผลกระทบไฟต่อการเติบโตในสวนป่ายุคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชมพูนุช โสดาจันทร์, ขนิษฐา มีเดช, 2547. การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว. สำนักจัดการและฟื้นฟูพื้นที่ป่าอนุรักษ์ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- ธวัชชัย สันติสุข, 2550. ป่าของประเทศไทย. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

- ธีระ แก้วพรัตน์, 2534. การเจริญเติบโตของไม้สนสามใบ อายุต่างๆ กัน โครงการพัฒนาป่าไม้ที่สูง หน่วยที่ 1 (แม่ตะมาน) อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่. ใน, สวนป่าแม่ตะมาน. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ, หน้า 200-225.
- บุญส่ง สมเพาะ. 2541. แหล่งเชื้อเพลิงในป่าเต็งรัง และป่าเบญจพรรณ ณ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จ.อุทัยธานี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- พงษ์ศักดิ์ ดัวโยธา. 2549. การศึกษาพฤติกรรมของไฟในพื้นที่เป้าหมายแปลงปลูกป่า (FPT) โครงการปลูกป่าถาวรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในโอกาสทรงครองราชย์ ปีที่ 50 ท้องที่อำเภอพบพระ และอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก. สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 14 (ตาก) กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- ฟองแก้ว บัวละพา. 2549. พฤติกรรมไฟและการควบคุมไฟป่าในสวนป่าลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มณูศักดิ์ สติรศิลป์. 2530. พฤติกรรมไฟในป่าเต็งรังสะแกราช อำเภอปักธงชัย จ.นครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีระพล กุลมาตย์. 2546. อิทธิพลของไฟป่าต่อการแตกยอดของผักหวานป่า (*Champereia manillana* (Blume) Merr.) ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- ศิริ อัครอักร. 2534. พฤติกรรมของไฟป่าในทุ่งหญ้า จังหวัดสระบุรี. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- ศิริ อัครอักร. 2539. การจัดระดับชั้นอันตรายจากไฟป่าในป่าเต็งรัง อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- ศิริ อัครอักร, 2543. การควบคุมไฟป่าสำหรับประเทศไทย. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- ศิริ อัครอักร, ไกรสร วิริยะ และ ธนวัฒน์ ทองตัน. 2546. พฤติกรรมไฟในป่าเต็งรังเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- ศิริรัตน์ บุญเปลี่ยน. 2528. ผลกระทบของไฟป่าต่อดินและพืช ณ ท้องที่ดอยอ่างขาง: ผลในปีแรก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภชัยชัยป่าไม้, 2553. รายงานข้อมูลพื้นฐาน โครงการจัดทำแผนแม่บทการจัดการพื้นที่กลุ่มป่าภูเขียว-น้ำหนาว. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สันต์ เกตุปราณีต, 2530. นิเวศวิทยาไฟป่า. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สันต์ เกตุปราณีต, นิพนธ์ ตั้งธรรม, สุวิทย์ แสงทองพราว, ปรีชา ธรรมานนท์, นริศ ภูมิภาคพันธ์ และ ศิริ อัครอักร. 2534. ไฟป่าและผลกระทบต่อระบบป่าไม้ในประเทศไทย. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- สุนทร ฉายวัฒน์. 2546. ผลของไฟป่าต่อกล้าไม้ไม้รุ่น และการใช้ประโยชน์ของสัตว์กินพืชบางชนิดในป่าเต็งรัง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรเด่น สัญญาอาจ, 2532. ผลกระทบของไฟต่อพืชพรรณและดินในป่าเต็งรังสะแกราช นครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สมศักดิ์ ภูเพ็ชร. 2550. การศึกษาพฤติกรรมของไฟป่าที่เกิดขึ้นในทุ่งหญ้าในท้องที่อุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง ตำบลหนองแม่นา อำเภอเขาค้อ จ.เพชรบูรณ์. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- อาภรณ์ อุดมศิลป์, 2539. ผลกระทบของไฟป่าต่อสัตว์ที่มีขาเป็นปล้องในดิน บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อุทิศ ภูอินทร์, 2541. นิเวศวิทยา พื้นฐานเพื่อการป่าไม้. คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อุทิศ ภูอินทร์, 2008. ระบบการจำแนกสังคมพืชคลุมดินในประเทศไทย. J. Trop. Plants Res. 1, 1-21.
- อรรพรพล เจริญชันษา. 2548. ลักษณะเชื้อเพลิงของไฟป่าในป่าดิบแล้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤๅไน. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- Agee, J.K., 1993. Fire ecology of Pacific Northwest forests. Island Press, Washington, D.C.
- Akaakara, S., Viriya, K., Tongtan, T., 2003. Fire behaviors in dry dipterocarp forest at Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary. Research Report, Forest Fire Research Center, Uthai Thani. Forest Fire Control Office, National Park, Wildlife and Plant Conservation Department, Bangkok.
- Arno, S.F., Allison-Bunnell, S., 2002. Flames in our forest : disaster or renewal? Island Press, Washington, D.C.
- Arno, S.F., Fiedler, C.E., 2005. Mimicking Nature's fire: Restoring fire-prone forests in the West. Island Press, Washington, D.C.
- Arno, S.F., Scott, J., Hartwell, M., 1995. Age-class structure of old growth ponderosa pine/Douglas-fir stands and its relationship to fire history. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Gen.Tech.Rep. 294, Ogden, Utha.
- Arocena, J.M., Opio, C., 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. Geoderma 113, 1-16.

- Bailey, J.D., Covington, W.W., 2002. Evaluating ponderosa pine regeneration rates following ecological restoration treatments in northern Arizona, USA. *For. Ecol. Manage.* 155, 271-278.
- Bauhus, J., Khanna, P.K., Raison, R.J., 1993. The effect of fire on carbon and nitrogen mineralization and nitrification in an Australian forest soil. *Aust. J. Soil Res.* 31, 621-639.
- Bhumpakphan, N. 1997. Ecological Characteristic and Habitat Utilization of Gaur in Different Climate Site . Ph.D. Thesis, Kasetsart University.
- Biswell, H., 1999. Prescribed Burning in California Wildlands Vegetation Management. University of California Press, Berkeley.
- Bonnicksen, T.M., 2000. America's ancient forests: from the ice age to the age of discovery. John Wiley & Sons, New York.
- Carter, M.C., Foster, C.D., 2004. Prescribed burning and productivity in southern pine forests: a review. *For. Ecol. Manage.* 191, 93-109.
- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143, 1-10.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., Williams, D., 1983. Fire in forestry, volume I. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Cheney, P., 1994. The effectiveness of fuel reduction burning for fire management. In, *Proceedings of fire and biodiversity: The effects and effectiveness of fire management*. Dept. of the Environment, Sport and Territories, Canberra, Footscray, Melbourne, pp. 9-16.
- DeBano, L.F., Neary, D.G., 2005. Effects of fire on soil. In: Neary, D.G., Ryan, K.C., deBano, L.F. (Eds.), *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soil and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, pp. 21-92.
- DeBano, L.F., Neary, D.G., Ffolliott, P.F., 1998. Fire's effects on ecosystems. John Wiley & Sons, New York.
- Edmonds, R.L., Agee, J.K., Gara, R.I., 2000. Forest health and protection. McGraw Hill Companies, Inc., Boston.
- Fisher, R.F., Binkley, D., 2000. Ecology and management of forest soils. John Wiley & Sons, New York.

- Fulé, P.Z., Cocke, A.E., Heinlein, T.A., Covington, W.W., 2004. Effects of an Intense Prescribed Forest Fire: Is It Ecological Restoration? *Restor. Ecol.* 12, 220-230.
- Fulé, P.Z., Covington, W.W., 1994. Fire-regime disruption and pine-oak forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Restor. Ecol.* 2, 261-272.
- Giardina, C.P., Sanford, R.L., Jr., Dockersmith, I.C., Jaramillo, V.J., 2000. The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation. *Plant and Soil* 220, 247-260.
- Goldammer, J.G., 1993. Fire management. In: Pancel, L. (Ed.), *Tropical forestry handbook* vol. 1-2. Springer-Verlag, New York, pp. 1221-1268.
- Goldammer, J.G., 2002. International forest fire news: Asia and Oceania fire special. United Nations Economic Commission for Europe, Geneva.
- Hare, R.C., 1961. Heat effects on living plants. USDA Forest Service, Southern Forest Experimental Station, Occ. Pap. 183, New Orleans, LA.
- Himapan W., S. Boonyawat, S. Kaitpraneet. 2006. Behavior of Burning Fire In Dry Deciduous Dipterocarp Forest at Huay Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani Province, Thai J. For. 25: 112-124.
- Houghton, R.A., 1991. Biomass burning from the perspective of the global carbon cycle. In: Levine, J.S. (Ed.), *Global biomass burning: Atmospheric, climatic, and biospheric implications*. MIT Press, Cambridge, pp. 321-325.
- Hughes, R.F., Kauffman, J.B., Cummings, D.L., 2000. Fire in the Brazilian Amazon 3. Dynamics of biomass, C, and nutrient pools in regenerating forests. *Oecologia* 124, 574-588.
- Jordan, C.F., 1985. *Nutrient cycling in tropical forest ecosystems : principles and their application in management and conservation*. John Wiley & Sons, Chichester, Great Britain.
- Kaitpraneet S. and B. Thaiutsa. 1987. Predicting Fire Behavior in Herbaceous Fuel Complex at Doi Angkhang Chiangmai Province, Thai J. For. 89-107
- Kauffman, J.B., Cummings, D.L., Ward, D.E., 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. *J. Ecol.* 82, 519-531.
- Kauffman, J.B., Sanford, R.L., Jr., Cummings, D.L., Salcedo, I.H., Sampaio, E.V.S.B., 1993. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology* 74, 140-151.

- Khanna, P.K., Raison, R.J., 2006. Fire and soils. In: Lal, R. (Ed.), *Encyclopedia of soil science*. Taylor & Francis, Columbus, pp. 708-710.
- Khanna, P.K., Raison, R.J., Falkiner, R.A., 1994. Chemical properties of ash derived from eucalyptus litter and its effects on forest soils. *For. Ecol. Manage.* 66, 107-125.
- Macadam, A., 1989. Effects of prescribed fire on forest soils. A training manual prepared for the Protection Section, Prince Rupert Forest Region. Ministry of Forests, Smithers, B.C.
- Myers, R.I., 2006. forests and fires: towards an integrated approach to fire management in the Caribbean. In: Weaver, P.L., Gonzales, K.A. (Eds.), *Wildland fire management and restoration*. USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, Puerto Rico
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F., Ffolliott, P.F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *For. Ecol. Manage.* 122, 51-71.
- Neary, D.G., Ryan, K.C., deBano, L.F. (Eds.), 2005. *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soil and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT.
- Peterson, D.L., Ryan, K.C., 1986. Modelling post-fire mortality for long-range planning. *Environ. Manage.* 10, 797-808.
- Pyne, S.J., 2001. *Fire: A brief history*. University of Washington Press, Seattle.
- Pyne, S.J., Andrews, P.L., Laven, R.D., 1996. *Introduction to wildland fire*. John Wiley and Sons, New York.
- Raison, R.J., 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant and Soil* 51, 73-108.
- Raison, R.J., Khanna, P.K., Woods, P.V., 1985a. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. *Can. J. For. Res.* 5, 132-140.
- Raison, R.J., Khanna, P.K., Woods, P.V., 1985b. Transfer of elements to the atmosphere during low-intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forests. *Can. J. For. Res.* 15, 657-664.
- Sandberg, D.V., Ottmar, R., Peterson, J.L., Core, J., 2002. *Wildland fire on ecosystems: effects of fire on air*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.5. U.S.D.A. Forest Service, Rocky mountain Research Station.

- Swanson, F.J., Jones, J.A., Wallin, D.O., Cissel, J.H., 1994. Natural variability-implications for ecosystem management. In: Jensen, M.E., Bourgeron, P.S. (Eds.), *Ecosystem management: principles and applications*, volume II. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-318. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon, pp. 80-94.
- Toda, T., Takeda, H., Tokuchi, N., Wacharinrat, C., Kaitpraneet, S., 2007. Effects of forest fire on the nitrogen cycle in a dry dipterocarp forest, Thailand. *Tropics* 16, 41-45.
- Visithipanit, S., Viriya, K., 2005. Fire behaviors in dry dipterocarp forest at Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary. In: Forest Fire Control Office, National Park, Wildlife and Plant Conservation Department, Bangkok, Thailand.
- Waldrop, T.A., Van Lear, D.H., Lloyd, F.T., Harms, W.R., 1987. Long-term studies of prescribed burning in loblolly pine forests of the southeastern coastal plain USDA Forest Service.
- Wanthongchai, K., 2008. Effects of different burning frequencies on fire behaviour, nutrient dynamics, soil properties, and vegetation structure and composition in dry dipterocarp forest, Huay Kha Khaeng wildlife Sanctuary, Thailand. In, Ph.D. diss. Institute of Silviculture. The University of Freiburg, Freiburg, p. 190.
- Wanthongchai, K., Bauhus, J., Goldammer, J.G., 2008. Nutrient losses through prescribed burning of aboveground litter and understorey in dry dipterocarp forests of different fire history. *Catena* 74, 321-332.
- Wanthongchai, K., Goldammer, J.G., Bauhus, J., 2011. Effects of fire frequency on prescribed fire behaviour and soil temperatures in dry dipterocarp forests. *International Journal of Wildland Fire* 20, 35-45.
- Whelan, R.J., 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, Melbourne.
- White, A.S., 1986. Prescribed burning for oak savannas restoration in central Minnesota. Research Paper, North Central Forest Experiment Station, USDA Forest Service, 12pp.
- Williams, C.E., 1998. History and status of table mountain pine-pitch pine forests of the southern Apalachian mountains (USA). *Nat. Areas J.* 18, 81-90.

- Wiriya , K. 2009. Fuel Model and Fire Behavior Prediction in Dry Deciduous Dipterocarp Forest at Huai Kha Khaeng Wildlife Sancetuary, Uthai Thani Province. Ph.D. Thesis , Kasetsart University.
- Wright, H.A., Bailey, A.W., 1982. Fire ecology: United States and southern Canada. Wiley and Sons, New York.

ตารางภาคผนวก

(Table Appendix)

Table appendix 1. ลักษณะพฤติกรรมไฟป่าในแต่ละแกนที่ทำการสำรวจ

Fire behavior characteristics	Forest type	Plot	Axe number				
			1	2	3	4	Average
Rate of spread (m/min)	PF	1	2.76	1.67	1.08	0.81	1.58
		2	9.67	0.74	0.65	1.21	3.07
		3	1.23	0.95	1.14	4.33	1.91
	O-PF	1	0.42	0.33	0.64	0.80	0.55
		2	0.34	0.53	0.21	0.37	0.36
		3	0.50	1.32	0.59	0.44	0.71
Flame height (m)	PF	1	1.70	1.18	1.12	0.57	1.39
		2	2.40	0.72	0.60	1.18	1.30
		3	0.50	0.98	0.92	1.86	1.33
	O-PF	1	0.12	0.20	0.60	0.62	0.38
		2	0.21	0.31	0.20	0.25	0.26
		3	0.37	0.26	0.40	0.35	0.44
Flame length (m)	PF	1	1.84	1.45	1.19	1.05	1.42
		2	3.08	0.94	0.89	1.18	1.81
		3	1.11	0.99	1.07	1.99	1.36
	O-PF	1	0.56	0.51	0.68	0.76	0.64
		2	0.25	0.31	0.20	0.26	0.26
		3	0.37	0.58	0.40	0.35	0.44
Fireline intensity (kW/m)	PF	1	907.39	547.05	353.47	267.36	518.82
		2	2792.13	212.84	187.03	348.73	885.18
		3	305.50	236.16	283.14	1078.92	475.93
	O-PF	1	69.07	55.43	106.32	133.56	91.09
		2	11.75	18.41	7.36	12.85	12.59
		3	27.82	74.22	33.08	24.55	39.92

Table appendix 2. ชนิดพันธุ์ไม้ที่พบในไม้ใหญ่ (tree) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนแฉ่งชาติบ้านนาหว้า

No.	species	scientific name	family	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
1	ไคร้มด	<i>Glochidion eriocarpum</i>	Euphorbiaceae	✓					
2	นางแย้มป่า	<i>Clerodendrum viscosum</i> Vent.	Labiatae		✓				
3	กอดัง	<i>Quercus kingiana</i> Craib.	Fagaceae	✓	✓				
4	แย้กว้างดง	<i>Wendlandia paniculata</i> A. Dc.	Rubiaceae	✓					
7	unknown40							✓	
8	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	Combretaceae						✓
9	อบเชย	<i>Cinnamomum verum</i>	Lauraceae	✓					
11	ทางซิมอด	<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.	Leguminosae	✓					
12	กระโดน	<i>Careya sphaerica</i> Roxb.	Lecythidaceae	✓	✓	✓	✓		
13	กระพี้จั่น	<i>Millettia brandisiana</i> Kurz	Leguminosae						✓
14	ก้อแดง	<i>Quercus auricoma</i> A. Camus	Fagaceae			✓	✓		
15	ก้อนก	<i>Lithocarpus polystachyus</i> (A.DC.) Rehder	Fagaceae		✓		✓	✓	✓
16	ก้อใบหยัก				✓				
17	ก้อแป้น	<i>Castanopsis echidnocarpa</i> A.DC.	Fagaceae				✓		
18	ก้อแพะ	<i>Quercus kerrii</i> Craib var. <i>kerrii</i>	Fagaceae						✓
19	ก้อหม่น	<i>Lithocarpus grandifolius</i> (D.Don) Bigwood	Fagaceae	✓	✓		✓	✓	✓
20	ก้อหิน	<i>Castanopsis piriiformis</i> Hickel & A. Camus	Fagaceae						✓
21	ก้ายาน	<i>Styrax apricus</i> Fletcher	Styracaceae				✓		
22	แย้กว้าง	<i>Wendlandia tinctoria</i> (Roxb.) DC.	Rubiaceae			✓		✓	
23	คำมอกหลวง	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	Rubiaceae					✓	
24	แคทราย	<i>Stereospermum neuranthum</i> Kurz	Bignoniaceae	✓	✓	✓			

Table appendix 2. (ต่อ)

No.	species	scientific name	family	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
25	แคหางค่าง	<i>Fernandoa adenophylla</i> (Wall. Ex. G. Don) Steenis	Bignoniaceae	✓	✓				
26	ตะโกตง				✓				
27	ตับเต่าตัน	<i>Diospyros ehretiodes</i> Wall. Ex. G. Don.	Ebenaceae			✓			
28	ตานีเคย	<i>Craibiodendron stellatum</i> (Pierre) W.W.Sm.	Ericaceae	✓	✓	✓			✓
29	ตัวเกลี้ยง	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	Guttiferae				✓		
30	ทะโล้	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth.	Theaceae		✓		✓		
31	ประดู่	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	Leguminosae	✓	✓	✓			
32	ปอแก่นเทา	<i>Grewia eriocarpa</i> Juss.	Tiliaceae	✓	✓	✓			
33	ปอเลียงฝ้าย	<i>Eriolaena candollei</i> Wall.	Sterculiaceae	✓	✓	✓			
34	มะกอกเกลื่อน	<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	Burseraceae				✓		
35	มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Euphorbiaceae	✓	✓	✓	✓	✓	
36	มะแฟน	<i>Protium serratum</i> Engl.	Burseraceae			✓			
37	สนสามใบ	<i>Pinus kesiya</i> Royle ex. Gordon	Pinnaceae	✓	✓	✓	✓	✓	✓
38	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	Combretaceae	✓	✓	✓			
39	ส้านหึ่ง	<i>Dillenia parviflora</i> Griff.	Dilleniaceae	✓					
40	ส้านใหญ่	<i>Dillenia obovata</i> (Blume) Hoogland	Dilleniaceae						✓
41	หมีเหม็น	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.) C.B. Rob. var. <i>glutinosa</i>	Lauraceae	✓					✓
42	หว้า	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Myrtaceae						✓
43	หิน	<i>Knema</i> sp.	Myristicaceae	✓					
44	เหมือดโสด	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. Ex Lindl.) Baill.	Euphorbiaceae	✓			✓	✓	✓
45	เหมือดเอ	<i>Memecylon scutellatum</i> Naudin	Melastomataceae						✓
46	เหียง	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. Ex Miq.	Dipterocarpaceae				✓	✓	✓
47	แพน	<i>Terminalia bellirica</i> (Gaertn.) Roxb.	Combretaceae		✓				

Table appendix 3. ค่าดัชนีความสำคัญของไม้ยืนต้นในป่าสนเสื่อมโทรมแปลงที่ 1 (PF-1)

ลำดับที่	species	RD (%)	RDO (%)	RF (%)	IVI
1	สนสามใบ	20.00	86.79	12.90	119.69
2	ตานี้เคย	15.00	1.21	6.45	22.66
3	กระโดน	10.00	0.76	6.45	17.21
4	ประดู่	5.00	2.91	6.45	14.36
5	แคทราย	6.67	1.12	6.45	14.24
6	ไคร้ร่มด	6.67	0.74	9.68	17.08
7	สมอไทย	3.33	0.62	6.45	10.40
8	ก่อหม่น	3.33	0.15	6.45	9.94
9	แข่งกวางดง	5.00	0.98	3.23	9.21
10	เหมือดโลด	5.00	0.93	3.23	9.16
11	อบเชย	1.67	2.03	3.23	6.92
12	ปอแก้วเทา	3.33	0.23	3.23	6.79
13	มะขามป้อม	3.33	0.15	3.23	6.71
14	ปอเลียงฝ้าย	1.67	0.59	3.23	5.48
15	หมีเหม็น	1.67	0.19	3.23	5.08
16	ก่อดง	1.67	0.17	3.23	5.06
17	หั่น	1.67	0.13	3.23	5.02
18	กงขี้มอด	1.67	0.13	3.23	5.02
19	ส้านหึ่ง	1.67	0.12	3.23	5.01
20	แคหางค่าง	1.67	0.06	3.23	4.95
sum		100.00	100.00	100.00	300.00

Table appendix 4. ค่าดัชนีความสำคัญของไม้ยืนต้นในป่าสนเสื่อมโทรมแปลงที่ 2 (PF-2)

ลำดับที่	species	RD (%)	RDO (%)	RF (%)	IVI
1	สนสามใบ	28.00	71.79	13.33	113.13
2	กระโดน	8.00	0.69	13.33	22.03
3	ทะโล้	10.00	1.80	10.00	21.80
4	แห่น	2.00	13.31	3.33	18.64
5	สมอไทย	10.00	0.81	6.67	17.48
6	มะขามป้อม	4.00	4.15	6.67	14.82
7	ปอแก้วเทา	4.00	0.48	6.67	11.14
8	ตานี้เคย	4.00	0.18	6.67	10.85
9	แคทราย	6.00	0.66	3.33	9.99
10	ก่อนก	4.00	2.04	3.33	9.38
11	ก่อหม่น	4.00	0.87	3.33	8.20
12	ก่อดง	4.00	0.72	3.33	8.06
13	ก่อใบหยัก	2.00	0.90	3.33	6.24
14	แคหางค่าง	2.00	0.84	3.33	6.17
15	ตะโกดง	2.00	0.40	3.33	5.73
16	ปอเลียงฝ้าย	2.00	0.20	3.33	5.53
17	ประดู่	2.00	0.08	3.33	5.41
18	นางแย้มป่า	2.00	0.06	3.33	5.40
sum		100.00	100.00	100.00	300.00

Table appendix 5. ค่าดัชนีความสำคัญของไม้ยืนต้นในป่าสนเสื่อมโทรมแปลงที่ 3 (PF-3)

ลำดับที่	species	RD (%)	RDO (%)	RF (%)	IVI
1	สนสามใบ	36.11	86.69	19.05	141.85
2	ตบเต่าตัน	13.89	0.79	14.29	28.97
3	กระโดน	8.33	1.37	14.29	23.99
4	ตานี้เคย	11.11	0.76	9.52	21.39
5	ประดู่	2.78	7.70	4.76	15.23
6	แคทราย	5.56	0.38	4.76	10.69
7	สมอไทย	5.56	0.30	4.76	10.62
8	แข่งกวาง	2.78	1.06	4.76	8.60
9	ปอเลียงฝ้าย	2.78	0.33	4.76	7.87
10	มะแฟน	2.78	0.28	4.76	7.82
11	มะขามป้อม	2.78	0.15	4.76	7.69
12	ปอแก่นเทา	2.78	0.11	4.76	7.65
13	ก่อแดง	2.78	0.08	4.76	7.62
sum		100.00	100.00	100.00	300.00

Table appendix 6. ค่าดัชนีความสำคัญของไม้ยืนต้นในป่าสนผสมก้อแปลงที่ 1 (O-PF-1)

ลำดับที่	species	RD (%)	RDO (%)	RF (%)	IVI
1	ก่อแดง	39.47	25.92	13.79	79.19
2	เหียง	21.05	31.95	13.79	66.79
3	ก่อหม่น	14.29	10.31	13.79	38.39
4	สนสามใบ	4.51	20.63	10.34	35.49
5	เหมือดโลด	11.65	6.03	13.79	31.48
6	ก่อนก	5.26	3.21	10.34	18.82
7	กำยาน	0.75	1.02	3.45	5.22
8	ทะโล้	1.13	0.18	3.45	4.75
9	มะกอกเกลื่อน	0.38	0.42	3.45	4.24
10	กระโดน	0.38	0.18	3.45	4.00
11	ก่อแป้น	0.38	0.06	3.45	3.88
12	มะขามป้อม	0.38	0.05	3.45	3.88
13	ตัวเกลี้ยง	0.38	0.05	3.45	3.87
sum		100	100	100	300

Table appendix 7. ค่าดัชนีความสำคัญของไม้ยืนต้นในป่าสนผสมก้อแปลงที่ 2 (O-PF-2)

ลำดับที่	species	RD (%)	RDO (%)	RF (%)	IVI
1	เหียง	42.34	21.05	16.67	80.05
2	กอนก	25.55	26.03	16.67	68.24
3	ก้อหม่น	13.87	14.22	16.67	44.76
4	สนสามใบ	2.92	26.90	8.33	38.15
5	แข่งกวาง	7.30	7.49	16.67	31.45
6	คำมอกหลวง	5.11	3.30	12.50	20.91
7	เหมือดโลด	1.46	0.25	4.17	5.88
8	มะขามป้อม	0.73	0.66	4.17	5.55
9	unknown40	0.73	0.10	4.17	4.99
sum		100.00	100.00	100.00	300.00

Table appendix 8. ค่าดัชนีความสำคัญของไม้ยืนต้นในป่าสนผสมก้อแปลงที่ 3 (O-PF-3)

ลำดับที่	species	RD (%)	RDO (%)	RF (%)	IVI
1	เหียง	46.58	32.71	12.12	91.41
2	สนสามใบ	13.25	37.94	12.12	63.31
3	เหมือดโลด	17.09	10.95	12.12	40.16
4	สมอไทย	8.55	4.27	12.12	24.94
5	ก้อแพะ	2.99	3.96	9.09	16.04
6	ก้อหิน	3.85	4.32	6.06	14.23
7	กอนก	2.14	0.82	9.09	12.05
8	ตานี้เคย	1.71	0.82	6.06	8.59
9	ส้านใหญ่	0.85	0.21	6.06	7.12
10	ก้อหม่น	0.43	2.05	3.03	5.51
11	เหมือดแอ	1.28	0.50	3.03	4.81
12	หมีเหม็น	0.43	0.80	3.03	4.25
13	กระพี้จั่น	0.43	0.39	3.03	3.85
14	หว่า	0.43	0.26	3.03	3.72
sum		100.00	100.00	100.00	300.00

Table appendix 9. ชนิดพันธุ์ไม้ที่พบในไม้รุ่น (sapling) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก่อกอ อุทยานแห่งชาติไทรทอง

No.	species	scientific name	family	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
1	unknown 37						✓		
2	ไคร้มด	<i>Glochidion eriocarpum</i>	Euphorbiaceae	✓	✓	✓			
3	กล้วยฤๅษี	<i>Diospyros villosa</i> (Lindl.) Baill.	Ebenaceae		✓				
4	ก้อแดง	<i>Quercus auricoma</i> A. Camus	Fagaceae				✓		
5	ก้อนก	<i>Lithocarpus polystachyus</i> (A.DC.) Rehder	Fagaceae					✓	✓
6	ก้อหม่น	<i>Lithocarpus grandifolius</i> (D.Don) Bigwood	Fagaceae		✓			✓	
7	ก้างซี่มอด	<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.	Leguminosae		✓				
8	เข็งกวาง	<i>Wendlandia tinctoria</i> (Roxb.) DC.	Rubiaceae					✓	
9	คำมอกหลวง	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	Rubiaceae				✓	✓	
10	แคพราย	<i>Stereospermum neuranthum</i> Kurz	Bignoniaceae	✓					
11	ข้าแป้น	<i>Callicarpa arborea</i> Roxb.	Labiatae				✓		
12	ดาฉี่เคย	<i>Craibiodendron stellatum</i> (Pierre) W.W.Sm.	Ericaceae	✓					
13	ตัวเกลี้ยง	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	Guttiferae			✓	✓		
14	ตัวขน	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack) Dyer spp. <i>runiflorum</i> (Kurz) Gogel. (Lour.) Blume	Guttiferae		✓				
15	ทะโล้	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth.	Theaceae						✓
16	มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Euphorbiaceae	✓	✓	✓			
17	ส้มแปะ	<i>Vaccinium sprengelii</i> (G.Don)	Ericaceae						✓
18	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	Combretaceae	✓					
19	เสลา	<i>Lagerstroemia tomentosa</i> C. Presl	Lythraceae				✓		
20	หนามแห่ง	<i>Catunaregam longispina</i> (Roxb. Ex Link)	Rubiaceae			✓			
21	เหมือดโสด	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. Ex Lindl.) Baill.	Euphorbiaceae				✓		
22	เหียง	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. Ex Miq.	Dipterocarpaceae				✓		

Table appendix 10. ชนิดพันธุ์ไม้ที่พบในลูกไม้ (seedling) บริเวณพื้นที่ศึกษาป่าสนเสื่อมโทรมและป่าสนผสมก้อ อุทยานแห่งชาติไทรทอง

No.	species	scientific name	family	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
1	ไคร้มด	<i>Glochidion eriocarpum</i>	Euphorbiaceae	✓	✓	✓			
3	อบเชย	<i>Cinnamomum verum</i>	Lauraceae		✓				
4	มะเมี๊ยะใบปลู	<i>Antidesma ghaesembilla</i>	Stilnaceae		✓				
6	ปอเลียงฝ้าย	<i>Eriolaena candollei</i> Wall.	Sterculiaceae	✓					
7	Unknown31						✓		
8	Unknown32						✓		
9	Unknown36						✓		
10	เหมีอดคนตัวผู้	<i>Helicia nilagirica</i> Bedd.	Proteaceae	✓					
11	สมอไทย	<i>Terminalia chebula</i> Retz. var. <i>chebula</i>	Combretaceae						✓
12	unknown48								✓
13	ส้มพัด	<i>Rhus javanica</i> L. var. <i>javanica</i>	Anacardiaceae		✓				
14	กระพี้เขาคาวาย	<i>Dalbergia cultrata</i> Graham ex Benth.				✓			
15	ก้อแดง	<i>Quercus auricoma</i> A. Camus	Fagaceae						
16	ก้อนก	<i>Lithocarpus polystachyus</i> (A.DC.) Rehder	Fagaceae				✓	✓	✓
17	ก้อใบหยัก				✓				
18	ก้อหม่น	<i>Lithocarpus grandifolius</i> (D.Don) Bigwood	Fagaceae		✓		✓	✓	
19	ทางขึ้นมอด	<i>Albizia odoratissima</i> (L.f.) Benth.	Leguminosae		✓				
20	ก้ายาน	<i>Styrax apricus</i> Fletcher	Styracaceae				✓		
21	เข็งกวาง	<i>Wendlandia tinctoria</i> (Roxb.) DC.	Rubiaceae					✓	
22	คำมอกหลวง	<i>Gardenia sootepensis</i> Hutch.	Rubiaceae				✓	✓	✓

Table appendix 10. (ต่อ)

No.	species	scientific name	family	PF-1	PF-2	PF-3	O-PF-1	O-PF-2	O-PF-3
23	แคพราย	<i>Stereospermum neuranthum</i> Kurz	Bignoniaceae		✓				
24	แคหางค่าง	<i>Fernandoa adenophylla</i> (Wall. Ex. G. Don) Steenis	Bignoniaceae		✓				
25	ข้าแป้น	<i>Callicarpa arborea</i> Roxb.	Labiatae				✓		✓
26	ตาฉี่เคย	<i>Craibiodendron stellatum</i> (Pierre) W.W.Sm.	Ericaceae			✓			✓
27	ตาลขั่ว						✓		✓
28	ติ้วเกลี้ยง	<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	Guttiferae			✓	✓		
29	ติ้วขน	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack) Dyer spp. <i>pruniflorum</i> (Kurz) Gogel. (Lour.) Blume	Guttiferae		✓				
30	ทะโล้	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth.	Theaceae						✓
31	ประดู่	<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	Leguminosae		✓	✓			
32	มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Euphorbiaceae	✓	✓	✓			
33	มะเฒ่าสร้อย					✓			
34	สนสามใบ	<i>Pinus kesiya</i> Royle ex. Gordon	Pinnaceae		✓	✓		✓	
35	ส้านใหญ่	<i>Dillenia obovata</i> (Blume) Hoogland	Dilleniaceae					✓	✓
36	หนามแดง	<i>Catunaregam longispina</i> (Roxb. Ex Link)	Rubiaceae			✓			
37	หัวเล็ก	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Myrtaceae			✓			
38	เหมือดโตด	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. Ex Lindl.) Baill.	Euphorbiaceae	✓			✓		✓
39	เหียง	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. Ex Miq.	Dipterocarpaceae				✓	✓	

Table appendix 11 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงประเภทหญ้า (grass) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ก่อนเผาแปลงทดลอง

plot	total C (%)	total N (%)	total P (%)	total K (%)	total Ca (%)	total Mg (%)
PF-1	45.07	0.35	0.02	0.26	0.78	0.12
PF-2	45.09	0.28	0.02	0.27	0.69	0.11
PF-3	45.22	0.16	0.01	0.27	0.74	0.12
O-PF-1	44.36	0.39	0.02	0.48	0.58	0.21
O-PF-2	45.01	0.43	0.02	0.47	0.48	0.19
O-PF-3	44.62	0.35	0.03	0.49	0.60	0.21

Table appendix 12 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงประเภทไม้พุ่ม (shrub) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ก่อนเผาแปลงทดลอง

plot	total C (%)	total N (%)	total P (%)	total K (%)	total Ca (%)	total Mg (%)
PF-1	46.64	0.79	0.03	1.87	1.86	0.47
PF-2	46.68	0.73	0.04	1.53	1.66	0.42
PF-3	47.00	0.76	0.04	1.47	1.73	0.41
O-PF-1	45.99	0.66	0.04	0.93	2.50	0.38
O-PF-2	46.56	0.77	0.05	0.93	3.92	0.35
O-PF-3	46.20	0.76	0.03	0.78	2.43	0.36

Table appendix 13 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงประเภทไม้ล้มลุก (herb) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ก่อนเผาแปลงทดลอง

plot	total C (%)	total N (%)	total P (%)	total K (%)	total Ca (%)	total Mg (%)
PF-1	44.89	0.77	0.06	1.23	2.17	0.38
PF-2	45.04	0.76	0.04	1.13	3.99	0.39
PF-3	44.78	0.76	0.06	1.13	4.32	0.41
O-PF-1	45.74	0.73	0.04	0.73	2.65	0.34
O-PF-2	46.46	0.70	0.03	0.60	2.91	0.34
O-PF-3	45.94	0.70	0.02	0.59	3.16	0.33

Table appendix 14 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงประเภทไม้ยืนต้น (woody plant) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ก่อนเผาแปลงทดลอง

plot	total C (%)	total N (%)	total P (%)	total K (%)	total Ca (%)	total Mg (%)
PF-1	47.35	0.92	0.05	0.68	2.92	0.41
PF-2	46.36	0.89	0.05	0.67	3.55	0.37
PF-3	47.67	1.05	0.05	0.64	3.81	0.31
O-PF-1	46.36	0.65	0.03	0.71	2.19	0.37
O-PF-2	46.52	0.73	0.03	0.74	2.09	0.38
O-PF-3	46.64	0.82	0.03	0.73	3.05	0.40

Table appendix 15 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงประเภทท่อนไม้ (woody debris) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ก่อนเผาแปลงทดลอง

plot	total C (%)	total N (%)	total P (%)	total K (%)	total Ca (%)	total Mg (%)
PF-1	50.09	0.19	0.01	0.04	0.87	0.07
PF-2	50.86	0.20	0.05	0.07	0.83	0.06
PF-3	49.54	0.21	0.03	0.04	1.19	0.08
O-PF-1	45.03	0.39	0.03	0.38	0.59	0.16
O-PF-2	44.92	0.37	0.03	0.43	0.81	0.18
O-PF-3	45.06	0.40	0.03	0.42	0.81	0.18

Table appendix 16 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเชื้อเพลิงประเภทเศษซากพืช (litter) สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF) ก่อนเผาแปลงทดลอง

plot	total C (%)	total N (%)	total P (%)	total K (%)	total Ca (%)	total Mg (%)
PF-1	40.55	0.52	0.05	0.16	1.13	0.16
PF-2	40.47	0.55	0.03	0.16	1.18	0.17
PF-3	41.73	0.50	0.06	0.13	0.82	0.16
O-PF-1	46.51	0.67	0.03	0.46	5.44	0.20
O-PF-2	46.38	0.56	0.03	0.51	1.85	0.21
O-PF-3	45.68	0.65	0.03	0.49	2.24	0.21

Table appendix 17 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในถ่านและผงถ่าน (charcoal) ที่หลงเหลือภายหลังการเผา สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

plot	total C (%)	total N (%)	total P (%)	total K (%)	total Ca (%)	total Mg (%)
PF-1	18.44	0.50	0.04	0.33	2.79	0.52
PF-2	26.78	0.80	0.07	0.33	2.54	0.35
PF-3	29.17	0.85	0.05	0.35	2.28	0.40
O-PF-1	12.87	0.61	0.06	0.24	0.72	0.37
O-PF-2	16.28	0.54	0.06	0.46	2.04	0.37
O-PF-3	23.44	0.83	0.06	0.34	0.95	0.31

Table appendix 18 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนที่ไม่ไหม้ไฟ (unburned material) ที่หลงเหลือภายหลังการเผา สำหรับป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

plot	total C (%)	total N (%)	total P (%)	total K (%)	total ca (%)	total Mg (%)
PF-1	43.44	0.69	0.04	0.36	1.92	0.18
PF-2	42.36	0.71	0.04	0.28	2.07	0.16
PF-3	44.04	1.01	0.02	0.27	1.11	0.15
O-PF-1	43.23	0.71	0.04	0.43	0.99	0.18
O-PF-2	44.29	0.71	0.06	0.47	1.01	0.17
O-PF-3	44.06	0.83	0.04	0.49	0.90	0.17

Table appendix 19. คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนการเผา พื้นที่หลังการเผา 1 ปี ในดินที่ระดับความลึก 0-5 ซม. และ 5-15 ซม. ในป่าสนเสื่อมโทรม

Soil depth (cm)	period	plot	pH	Organic matter (%)	Total C (%)	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable cations (mg/g)			
								K	Ca	Mg	Na
0-5	before	PF-1	5.04	4.99	2.05	0.10	4.12	51.54	952.20	149.20	8.30
		PF-2	4.96	3.05	1.37	0.07	2.63	34.04	814.00	62.68	9.16
		PF-3	5.05	5.21	2.93	0.13	3.55	57.72	753.40	131.20	9.28
	immediately after burn	PF-1	5.25	3.80	2.05	0.24	4.09	62.56	658.00	47.54	7.32
		PF-2	5.08	4.97	2.75	0.27	3.31	57.50	753.40	97.92	8.20
		PF-3	5.01	4.27	1.97	0.27	4.86	53.78	749.20	137.92	8.50
	1-yr	PF-1	5.36	5.81	3.10	0.29	2.39	48.14	566.40	189.92	7.38
		PF-2	5.37	4.29	3.75	0.33	2.73	40.00	740.60	154.80	7.68
		PF-3	4.96	3.80	2.47	0.28	2.60	47.52	590.60	148.40	8.56
	before	PF-1	4.89	1.95	1.80	0.06	2.40	75.60	728.80	111.76	7.24
		PF-2	5.01	3.28	1.46	0.07	2.04	20.16	417.60	54.20	8.22
		PF-3	4.88	2.56	1.30	0.08	1.53	29.98	440.60	86.90	8.74
5-15	immediately after burn	PF-1	4.93	2.27	1.16	0.22	3.06	48.98	567.80	95.16	11.22
		PF-2	4.99	2.02	1.20	0.21	2.61	23.66	430.00	61.56	7.02
		PF-3	4.87	2.29	1.26	0.18	1.59	30.14	409.20	75.98	8.58
	1-yr	PF-1	4.83	1.98	1.29	0.20	0.99	33.34	358.20	112.56	8.00
		PF-2	5.15	2.38	1.44	0.22	0.99	21.94	401.00	82.56	8.44
		PF-3	4.77	1.88	1.23	0.20	0.64	28.74	297.40	81.96	9.54

Table appendix 20. คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนการเผา พื้นที่หลังการเผา และหลังการเผา 1 ปี ในดินที่ระดับความลึก 0-5 ซม. และ 5-15 ซม. ในป่าสนผสมก่อ

Soil depth (cm)	period	plot	pH	Organic matter (%)	Total C (%)	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Exchangeable cations (mg/g)			
								K	Ca	Mg	Na
0-5	before	O-PF-1	5.12	4.12	2.31	0.11	5.79	59.50	780.00	159.54	7.00
		O-PF-2	5.01	3.19	1.80	0.10	6.35	61.02	642.60	115.80	7.58
		O-PF-3	4.62	3.98	2.36	0.28	5.03	53.66	300.60	84.40	6.88
	immediately after burn	O-PF-1	4.85	4.45	5.14	0.24	4.03	32.34	497.40	123.94	4.98
		O-PF-2	4.95	1.42	0.85	0.12	7.88	55.58	365.40	98.36	9.50
		O-PF-3	4.44	3.76	3.02	0.13	6.04	47.36	279.40	78.68	6.38
	1-yr	O-PF-1	4.70	3.23	1.76	0.26	3.85	50.92	359.00	158.62	10.04
		O-PF-2	4.55	2.79	2.76	0.37	2.66	46.12	192.82	93.68	6.42
		O-PF-3	4.34	2.86	1.35	0.25	1.96	38.86	166.04	86.98	4.98
	before	O-PF-1	4.87	2.59	1.45	0.07	2.39	28.06	336.00	100.42	5.14
		O-PF-2	4.84	1.60	0.80	0.12	2.14	31.36	197.92	58.38	5.78
		O-PF-3	4.32	2.62	1.64	0.23	2.70	54.00	93.22	43.82	5.58
5-15	immediately after burn	O-PF-1	4.78	3.12	1.38	0.11	2.77	30.96	362.20	105.36	5.24
		O-PF-2	4.76	3.58	1.99	0.12	1.85	26.02	142.28	48.44	5.46
		O-PF-3	4.24	2.67	1.03	0.05	2.16	24.92	78.60	34.52	4.58
	1-yr	O-PF-1	4.48	2.26	1.66	0.26	1.30	32.90	203.00	105.60	3.70
		O-PF-2	4.51	1.19	1.06	0.19	0.89	32.64	105.14	61.32	2.80
		O-PF-3	4.08	1.72	1.69	0.23	1.29	27.20	87.30	43.18	6.34

Table appendix 21 ความหนาแน่นรวมของดินก่อนการเผาและภายหลังการเผาในช่วงเวลาต่างๆ ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

plot	before burning		immediately after burning		2-month after burning		4-month after burning		8-month after burning		12-month after burning	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
PF1	0.956	0.954	0.974	0.873	0.959	1.073	0.959	1.073	0.943	0.938	0.958	1.030
PF2	0.808	0.903	0.720	0.756	0.911	0.746	1.072	1.078	0.962	0.974	1.068	1.003
PF3	1.008	0.922	1.024	1.109	0.996	1.104	0.912	0.793	0.934	0.931	0.902	1.150
Average PF	0.924 (0.060)	0.926 (0.015)	0.906 (0.094)	0.913 (0.140)	0.955 (0.025)	0.974 (0.115)	0.965 (0.053)	0.942 (0.083)	0.946 (0.008)	0.948 (0.013)	0.976 (0.049)	1.061 (0.045)
O-PF1	1.026	1.134	0.956	0.957	1.050	0.988	1.066	0.938	1.081	1.085	1.163	1.130
O-PF2	1.136	0.968	1.039	1.098	0.992	1.126	1.166	1.276	1.245	1.176	1.108	1.082
O-PF3	0.983	1.126	0.927	0.968	1.001	0.980	1.072	0.806	1.151	1.226	1.119	1.041
Average O-PF	1.048 (0.046)	1.076 (0.054)	0.974 (0.034)	1.008 (0.045)	1.015 (0.018)	1.031 (0.048)	1.101 (0.033)	1.006 (0.140)	1.159 (0.047)	1.162 (0.041)	1.130 (0.017)	1.084 (0.026)

Table appendix 22. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (kg/ha) ที่ระดับความลึกต่างๆ ก่อนการเผาและภายหลังการเผาไปเป็นระยะเวลา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

plot	Total nitrogen pool (kg/ha)			
	before burning		1-yr after burning	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
PF1	478.0	572.4	1389.1	2059.8
PF2	282.8	632.1	1762.2	2206.7
PF3	655.2	737.6	1263.4	2299.9
average PF	472.0	647.4	1471.6	2188.8
O-PF1	564.3	793.8	1511.8	2938.7
O-PF2	568.0	1161.6	2050.3	2055.6
O-PF3	1376.2	2589.8	1399.2	2393.6
average O-PF	836.2	1515.1	1653.8	2462.6

Table appendix 23. ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมดในดิน (kg/ha) ที่ระดับความลึกต่างๆ ก่อนการเผาและภายหลังการเผาไปเป็นระยะเวลา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

plot	Available Phosphorus pool (kg/ha)			
	before burning		1-yr after burning	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
PF1	1.969	2.293	1.145	1.023
PF2	1.063	1.843	1.460	0.997
PF3	1.789	1.412	1.173	0.737
average PF	1.607	1.849	1.259	0.919
O-PF1	2.971	2.707	2.237	1.466
O-PF2	3.605	2.072	1.475	0.960
O-PF3	2.470	3.044	1.097	1.346
average O-PF	3.015	2.608	1.603	1.257

Table appendix 24. ปริมาณโปแตสเซียมในดิน (kg/ha) ที่ระดับความลึกต่างๆ ก่อนการเผาและภายหลังการเผาไปเป็นระยะเวลา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

plot	Potassium pool (kg/ha)			
	before burning		1-yr after burning	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
PF1	24.64	72.12	23.06	34.34
PF2	13.75	18.20	21.36	22.01
PF3	29.09	27.64	21.44	33.05
average PF	22.49	39.32	21.95	29.80
O-PF1	30.52	31.82	29.61	37.19
O-PF2	34.66	30.36	25.56	35.31
O-PF3	26.37	60.80	21.75	28.31
average O-PF	30.52	40.99	25.64	33.60

Table appendix 25. ปริมาณแคลเซียมในดิน (kg/ha) ที่ระดับความลึกต่างๆ ก่อนการเผาและภายหลังการเผาไปเป็นระยะเวลา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

plot	Calcium pool (kg/ha)			
	before burning		1-yr after burning	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
PF1	455.15	695.28	271.31	368.91
PF2	328.86	377.09	395.48	402.22
PF3	379.71	406.23	266.49	342.00
average PF	387.91	492.87	311.09	371.04
O-PF1	400.14	381.02	208.75	229.44
O-PF2	365.00	191.59	106.85	113.75
O-PF3	147.74	104.97	92.93	90.85
average O-PF	304.29	225.86	136.18	144.68

Table appendix 26. ปริมาณแคลเซียมในดิน (kg/ha) ที่ระดับความลึกต่างๆ ก่อนการเผาและภายหลังการเผาไปเป็นระยะเวลา 1 ปี ในป่าสนเสื่อมโทรม (PF) และป่าสนผสมก้อ (O-PF)

plot	Magnesium pool (kg/ha)			
	before burning		1-yr after burning	
	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
PF1	71.32	106.62	90.97	115.93
PF2	25.32	48.94	82.66	82.81
PF3	66.12	80.12	66.96	94.25
average PF	54.26	78.56	80.20	97.66
O-PF1	81.84	113.88	92.23	119.35
O-PF2	65.77	56.51	51.91	66.34
O-PF3	41.48	49.34	48.68	44.94
average O-PF	63.03	73.24	64.28	76.88

Figure appendix

ภาพกิจกรรมการดำเนินงานวิจัย



สภาพพื้นที่โดยทั่วไปของป่าสนผสมก่อก (2 ภาพด้านบน) และป่าสนเสื่อมโทรม (2 ภาพด้านล่าง)



การวางแผนและศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบของไม้ชั้นบนในสังคมพืช



การวางแผนและศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบของไม้หนุ่มและลูกไม้ในสังคมพืช



การสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงก่อนการเผาแปลงทดลอง



การเก็บตัวอย่างดินก่อนการเผาแปลงทดลอง (2 ภาพบน) และทันทีหลังการเผาแปลงทดลอง (2 ภาพล่าง)



การถ่ายภาพเรือนยอดและตัวอย่างภาพถ่ายเรือนยอดที่ได้



ความเสียหายของแปลงทดลองจากการทำลายของช้างป่า

