

# 강원도 삼척 검봉산 일대 산불 피해복원지 식생 구조 특성

## Characteristics of Vegetation Structure of Burned Area in Mt. Geombong, Samcheok-si, Kangwon-do

**성정원<sup>1</sup>**

Jung Won Sung  
 국립한국농수산대학  
 조경학과<sup>1</sup>

**심윤진<sup>1\*</sup>**

Yun Jin Shim  
 국립한국농수산대학  
 조경학과<sup>1</sup>

**이경철<sup>2</sup>**

Kyeong Cheol Lee  
 국립한국농수산대학  
 산림학과<sup>2</sup>

**권형근<sup>2</sup>**

Hyeong keun Kweon  
 국립한국농수산대학  
 산림학과<sup>2</sup>

**강원석<sup>3</sup>**

Won Seok Kang  
 국립산림과학원  
 산림생태연구과<sup>3</sup>

**정유경<sup>3</sup>**

You Kyung Chung  
 국립산림과학원  
 산림생태연구과<sup>3</sup>

**이채림<sup>4</sup>**

Chae Rim Lee  
 국립한국농수산대학  
 산학협력단

**변세민<sup>4</sup>**

Se Min Byun  
 국립한국농수산대학  
 산학협력단

<sup>1</sup> Department of Landscape Architecture, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

<sup>2</sup> Department of Forestry, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

<sup>3</sup> Division of Forest Restoration, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

<sup>4</sup> Department of Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

### ABSTRACT

In 2000, a total of 23,794ha of forest was lost due to the East Coast forest fire, and about 70% of the damaged area was concentrated in Samcheok. In 2001, artificial restoration and natural restoration were implemented in the damaged area. This study was conducted to understand the current vegetation structure 21 years after the restoration of forest fire damage in the Samcheok, Gumbong Mountain area. As a result of classifying the vegetation community, it was divided into three communities: *Quercus variabilis*-*Pinus densiflora* community, *Pinus densiflora*-*Quercus mongolica* community, and *Pinus thunbergii* community. *Quercus variabilis*, *Pinus densiflora*, and *Pinus thunbergii* planted in the artificial restoration site were found to continue to grow as dominant species in the local vegetation after restoration. As for the species diversity index of the community, the *Quercus variabilis*-*Pinus densiflora* community dominated by deciduous broad-leaf trees showed the highest, and the coniferous forest *Pinus thunbergii* community showed the lowest. Vegetation in areas affected by forest fires is greatly affected by reforestation tree species, and 21 years later, it has shown a tendency to recover to the forest type before forest fire. In order to establish DataBase for effective restoration and to prepare monitoring data, it is necessary to construct data through continuous vegetation survey on the areas affected by forest fires.

**Key Words :** Forest, Restoration, Twinspan species diversity

Received Aug. 30, 2022  
 Revised Oct. 06, 2022  
 Accept Oct. 11, 2022

\*Correspondence  
 Yun Jin Shim  
 yjsimla@korea.kr



## 서론

대형 산불은 생태계의 주요 교란 요인 중 하나로써 토양 유출과 산사태 피해, 수자원 부족, 산림 생산량과 서식종의 감소 등 구조적 변화뿐만 아니라 경관 파괴에 따른 관광 수요 감소 등 다양한 경로로 사회적·경제적 가치의 피해를 가져다준다(Park et al., 2009). 또한, 산불 강도와 지속기간, 발생 시기 및 강우의 강도 등에 따라 식물군집과 토양의 이화학적 성질에 직·간접적인 영향을 미친다(Chandler et al., 1983). 이와 함께 산불 규모는 산림 내에 다양한 규모의 공간을 형성하면서 지상부의 생물체와 유기물질을 제거해 비생물 환경 요인의 변화를 유발시킨다(Mun and Choung, 1996).

우리나라의 국토는 63.5%가 산지이며, 이 중 96%가 잠재적인 산불피해에 노출된 임목지로 38%가 산불에 취약한 침엽수림이다. 2022년 3월 경북 울진과 강원 동해 등지에서 발생한 산불은 피해면적이 약 20,523ha로, 2000년 발생한 대규모 동해안 산불피해 면적인 23,794ha와 비슷한 수준의 산림면적이 소실되었다. 동해안 일대의 대형 산불은 건조한 봄철 날씨, 기후변화로 인한 봄철 평균 기온 상승, 바람, 지형 등의 환경요인과 침엽수 단순림이 산림지역 내에 주요 복원 수종으로 식재되어 복합적 원인으로 인한 대형 산불이 빈번하게 발생한다. 소나무와 같은 침엽수 단순림은 산림 연료의 수분함량이 낮고 송진과 같은 정유 성분이 풍부해 산불에 취약하다. 특히, 동해안 일대는 입지적 조건이 침엽수가 생육 환경에 순응하며 자라는 수종으로 선택되어 복원되었으나 산불 발생 시 위험이 노출되는 단점이 있다(Ministry of the Interior and Safety, 2019).

산불피해 지역의 복원은 기후변화와 같은 환경적 변화를 고려하면서 도입식물의 적응력 등 생태학적 지식에 대한 이해도를 기반으로 복원방안을 마련해야 한다(Kim and Lee, 2007; Morrison, 1996). 이와 함께 성공적 산불피해지의 복구를 위해서는 입지조건에 따라 참조생태계와 적지적수 개념을 기준으로 수종선택, 식재 및 천연갱신을 구분하여 복원 사업이 추진되어야 한다. 또한 조림목 등의 피압 발생으로 하예작업의 조기 실시와 양분공급을 통한 건전한 임분 유도 등 사후 관리방안을 제시해야 한다(Lee et al., 2008; Korea Forest Research Institute, 2004). 특히, 산불 이후 인공복원 또는 자연 복원지에 대한 지속적인 기초자료 수집 및 연구가 수반되어야 한다. 산불 발생이 빈번한 미국에서는 1900년대 초반부터 산불 발생에 따른 생태계 변화와 회복과정을 지속적으로 모니터링하고 있다(Brown and Smith, 2000). 이처럼 우리나라도 산불 발생에 따른 서식지 환경 회복 추이, 토양 미생물 및 식생, 양서·파충류 조사 등 다양한 연구가 수행 중이다(National institute of Forest Science, 2016; Park,

2012; Jung et al., 2005). Lee et al.(2008)은 강원도 양양군 파일리 산불 발생 지역을 대상으로 식생 회복력 등 복원실태를 파악하고, 식생발달 모형을 개발하였다. Lim et al. (2012)는 강원도 삼척지역에 발생한 산불 지역의 산불 유형과 산불 후 식생의 재생 정도에 따른 현존생물량과 순생산량을 비교·분석하였다. 또한, 산불로 교란된 지역에서 자연 복원지와 인공 복원지 간 영양염류 수치 비교(Lee and Choung, 1999)와 소나무림 토양의 영양염류에 미치는 영향(Mun and Choung, 1996) 등 토양의 화학적 특성이 산림 식생의 구조에 미치는 영향에 관해 지속적인 연구가 수행되고 있다.

산불 발생 이후 시간 변화에 따른 식생 구조(Lee et al., 2004)와 같은 데이터는 산불 발생에 따른 복원모형 개발에 적용 가능하며, 복원사업의 시행착오를 줄이는 데 효과적으로 활용될 수 있다. 이에 본 연구는 산불 발생지 복원 이후 20년간 변화된 산림 식생을 조사하고 변화된 특성을 분석하여 향후 산불 발생 지역의 복원사업에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 연구방법

### 연구대상지 선정

본 연구대상지는 2000년 동해안 산불피해지 중 하나인 삼척시 원덕읍 검봉산(684m) 일대이다(Fig. 1). 검봉산 일대는 2000년 4월 7일에 산불이 발생하였고 순간최대풍속 23.7m/sec의 강풍으로 인해 산불이 울진지역까지 급속도로 확산하여 9일 동안 약 17,097ha의 산림이 피해를 입었다. 검봉산은 지리적으로 강원도 최남단에 위치하여 동쪽으로는 동해안이 있으며(N37°23'74.38"E129°29'69.98"), 북쪽으로 동해시, 서쪽으로 정선군, 태백시, 남쪽으로는 울진군과 경계를 이루고 있다. 인접한 원덕 기상대에서 관측한 자료를 이용하여 과거 20년간(2002~2021년)의 기후를 살펴보면, 연평균기온은 약 12.9℃, 평균최고기온 약 17.9℃, 평균최저기온 약 8.1℃이었으며, 연평균강우량은 약 1,326.2mm로 나타났다. 지질은 퇴적암 지역이 많았으며, 일부 화성암과 변성암이 분포하고 있다.

## 조사 및 분석 방법

### 식생 및 환경요인 조사

식생조사는 삼척 검봉산 인근 산불피해복원지를 대상으로

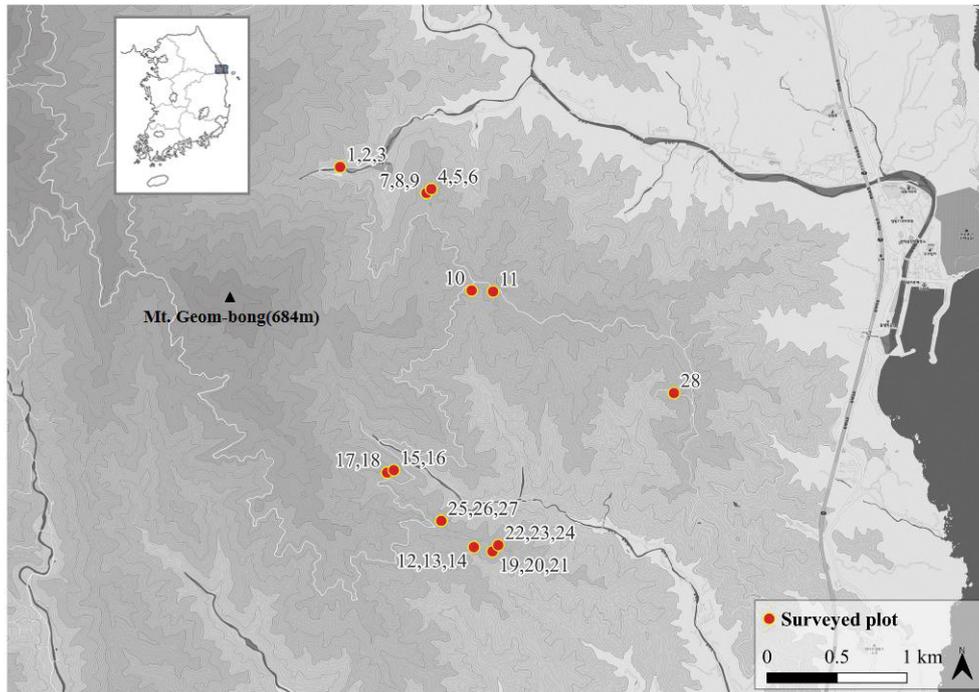


Fig. 1. Surveyed plots in burned area

시행하였으며, 2021년 6월 두 차례 시행되었다. 본 연구를 위해 산불피해지 입지여건 및 식생의 상관적 특성이 균일한 곳을 대상으로 10m×10m 크기의 조사구를 설정하였다. 조사기간 동안 총 28개소의 조사구를 설치 및 조사하였으며, 입지환경과 조사구 내에 출현하는 각 식물종의 피도(cover)는 Braun-Blanquet(1964)의 피도계급으로 판정하였으며, 군락 내 식물개체의 집합형태인 군도(Sociability)와 빈도(frequency)를 조사하였다. 출현식물의 분류 및 동정은 Lee(1980; 2003a; 2003b), Lee(1996a; 1996b), Lee(1996; 2006a; 2006b), Park(2009)등의 식물도감을 활용하였으며, 학명과 국명은 국립수목원 국가표준식물 목록을 따라 정리하였다. 각 조사지의 환경요인으로 해발고, 사면방향, 수관층 높이, 지형조건 등을 조사했다(Oh et al., 2014; Park and Kang, 2016).

### 식생 구조 분석

각 조사구 내 출현한 식물종의 식피율을 Braun-Blanquet cover scale로 환산하고(Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974), 환산한 데이터 값을 기반으로 식생 구조를 분석하였다. Classification은 Two-way indicator species analysis(TWINSPAN)에 의한 분석방법(Hill,

1979b)을 사용하였고, Ordination은 Hill(1979a)의 Detrended correspondence analysis(DCA) 분석방법을 사용하였다. 분류된 각 군락 내 지표종 분석을 위해 Dufrene and Legendre(1997)의 분석을 참고하여 지표값(Indicator Value)에 따른 주요 지표종을 분석하였다. 지표값은 특정 군락 내에서 종 발생의 충실도를 나타내며(McCune and Mefford 1999), 종의 지표값이  $p < 0.05$  범위 내에서 높을 때 군락의 지표종으로 간주된다(Didita et al., 2010). 군락 내 식생 구조 분석을 위한 상대우점치(Importance Percentage; I.P.)는  $(\text{상대빈도} + \text{상대피도}) / 2$ 로 계산하였고, 평균상대우점치(Mean Importance Percentage; M.I.P.)는 개체 간 크기를 고려해, 수관층위별로 가중치(교목층 I.P.×3+야교목층 I.P.×2+관목층 I.P.×1+초본층 I.P.×0.5)를 부여하여 산출하였다(Kim et al., 2017). 또한, 각 방형구 내의 종 구성 상태의 다양도를 피도(coverage)를 기반으로 한 단위면적당(100m<sup>2</sup>) 종다양도지수(Species Diversity, H')와 균재도(Evenness, J'), 최대종 다양도(H'max)를 분석하였고, 같은 군락별로 각 방형구의 종다양도지수와 균재도를 평균하여 정리하였다. 현장조사자료의 분석은 MS Excel 2016과 PC-ORD 5 software(McCune and Mefford, 2006)를 활용하였다.

## 결과 및 고찰

### 복원유형별 대상지 개요

조사대상지별 피해방법, 기존임상, 임령, 향, 복원방법, 조림수종, 상층수관높이 등 개요를 분석하였다(Table 1). 검봉산 일대는 산불 발생 전 소나무림이 우점하였으나, 대부

분의 지역이 지표화 및 수관화의 피해를 입었고, 2001년 산불피해지 복원을 위해 소나무, 곰솔, 굴참나무 등을 조림하였다. 기존 임상은 대부분이 소나무림으로 일부 지역은 참나무림과 곰솔림이며 임령은 대부분 치수림과 유령림이다. 대상지별 상층수 관높이(Canopy height)는 최저 4m에서 14m까지 형성되어 있으며, 지표화의 피해를 입은 지역이 비교적 높은 상층수관높이를 나타내는 경향을 보였다.

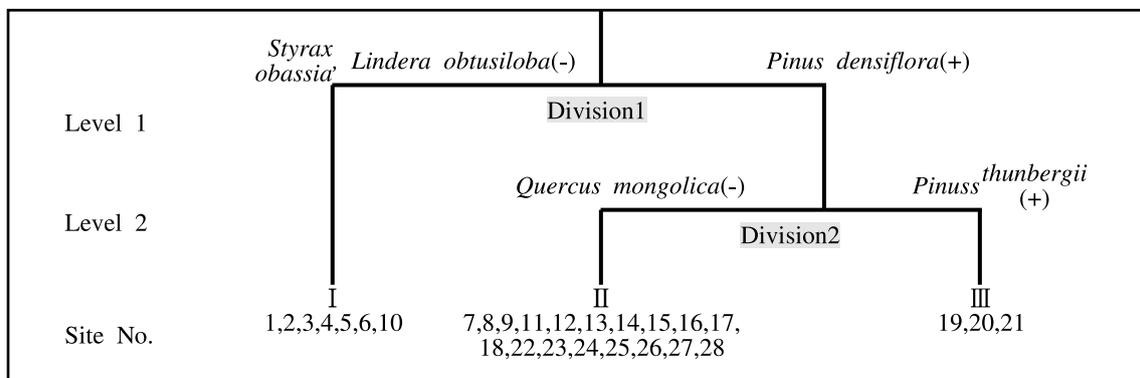
Table 1. General description of sites

Site number	Fire type	Forest type	Stand age	Aspect	Restoration method	Afforestation	Canopy height
1,2,3	crown fire	Oak stands	young forest	South	Natural	-	7~11m
4	crown fire	Oak stands	young forest	East	Artificial	<i>Quercus variabilis</i>	5~10m
5,6	crown fire	Oak stands	young forest	East	Natural		
7,8,9	surface fire	<i>Pinus densiflora</i> stands	matured stand	West	Natural	-	8~14m
10	surface fire	<i>Pinus densiflora</i> stands	Seedling	South	Natural	-	6~8m
11	surface fire	Oak stands	matured stand	South	Artificial	<i>Quercus variabilis</i>	8~10m
12,13,14	crown fire	mixed forest	Seedling	South	Natural	-	5~9m
15,16	crown fire	<i>Pinus densiflora</i> stands	Seedling	North	Artificial	<i>Pinus densiflora</i>	4~6m
17,18	crown fire	<i>Pinus densiflora</i> stands	Seedling	South	Artificial	<i>Pinus densiflora</i>	4~8m
19,20,21	crown fire	<i>Pinus thunbergii</i> stands	young forest	South	Artificial	<i>Pinus thunbergii</i>	4~10m
22,23,24	crown fire	mixed forest	Seedling	North	Natural	-	4~8m
25,26,27	crown fire	<i>Pinus densiflora</i> stands	Seedling	North	Artificial	<i>Pinus densiflora</i>	8~9m
28	surface fire	<i>Pinus densiflora</i> stands	matured stand	South	Natural	-	7~10m

### 군락분류

TWINSpan을 통해 28개 조사구에 대해 군락을 분류하였다(Fig. 2). TWINSpan은 CA 또는 DCA의 단일 ordination axis를 기반으로 한 군락의 계층적 분류방법

으로, 각 Division에서 각 군락의 특성을 간접적으로 반영하는 하나 혹은 다수의 지표종(Indicator species)을 중심으로 군락이 분류된다. Division1에서는 쪽동백나무와 생강나무(-)에 의해 두 개의 군락으로, Division2에서는 신갈나무(-)와 곰솔(+에 의해 군락이 분류되었다.



<sup>1</sup> I: *Quercus variabilis*-*Pinus densiflora* community, II: *Pinus densiflora*-*Quercus mongolica* community, III: *Pinus thunbergii* community

Fig. 2. The dendrogram of classification by TWINSpan

지표종 분석(Indicator species analysis)을 통해 각 군락에 대한 지표종과 지표값을 분석하였다 Table 2 지표종은 다른 군락과 구분되는 군락을 대표하는 종으로 볼 수 있으며, 지표값(Indicator Value: IV)은 다양한 환경요인에 따른 각 종의 예측 가능한 풍부도를 지정하는 변수로(Dufrene and Legendre, 1997), 지표값이 높은 종일수록 해당 군락 내에서 높은 점유율을 나타

낸다. 군락 I은 쪽동백나무와 생강나무, 참싸리, 굴참나무가 군락의 주요 지표종으로 분석되었다. 군락 II는 신갈나무와 가는잎그늘사초, 소나무, 쇠물푸레나무가 주요 지표종으로 분석되었으며, 군락 III은 곰솔, 싸리, 붉나무 등이 주요 지표종으로 분석되었다. 분석된 지표종 모두 60% 이상의 높은 IV값은 나타내고 있어 분류된 군락 간 뚜렷한 우점종의 차이가 있을 것으로 판단된다.

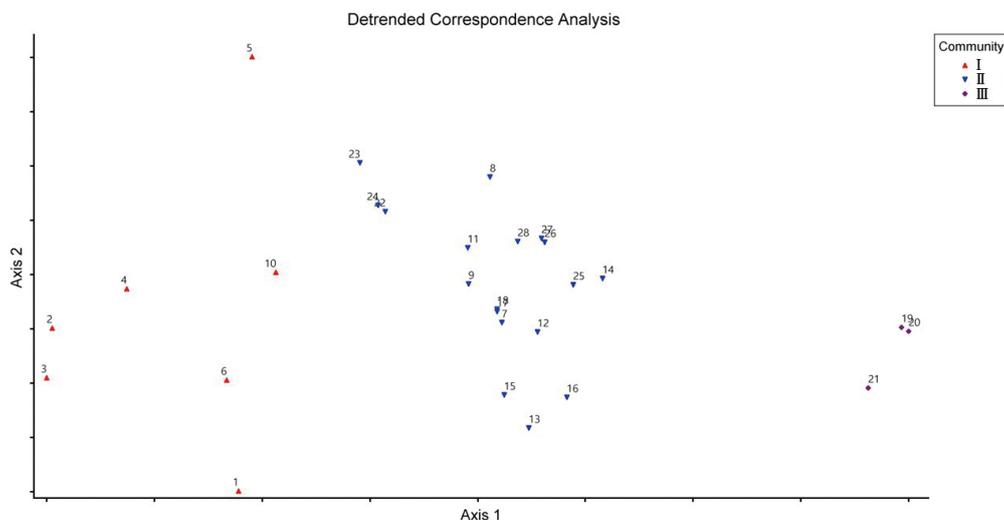
**Table 2.** Major Indicator species and Indicator values of each communities

Community	Species	Value(IV)	Mean	S.Dev	p*
I <sup>1</sup>	<i>Styrax obassia</i>	83.7	25.6	11.7	0.002
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>	82.5	27.5	11.4	0.001
	<i>Lindera obtusiloba</i>	75.1	28.0	12.1	0.007
	<i>Quercus variabilis</i>	71.9	34.1	12.6	0.016
II	<i>Quercus mongolica</i>	64.1	38.8	8.5	0.003
	<i>Carex humilis var. nana</i>	57.9	38.8	9.3	0.038
	<i>Pinus densiflora</i>	57.2	41.8	6.8	0.019
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	55.9	37.8	8.6	0.027
III	<i>Pinus thunbergii</i>	100.0	18.0	9.6	0.001
	<i>Hierochloe odorata</i>	70.6	32.0	10.2	0.003
	<i>Lespedeza bicolor</i>	69.8	40.3	8.4	0.001
	<i>Rhus javanica</i>	58.3	17.5	9.7	0.016

<sup>1</sup> I : *Quercus variabilis*-*Pinus densiflora* community, II : *Pinus densiflora*-*Quercus mongolica* community, III : *Pinus thunbergii* community  
\*p : proportion of randomized trials with indicator value equal to or exceeding the observed indicator value.

분류된 군락의 분포를 알아보기 위해 DCA ordination을 그래프로 표현하였다(Fig. 3). DCA ordination은 조사구를 2개의 차원에 배치하여 표현한 것으로 각 군락 간의 유사도를 이해하는데 용이하다. Total variance에 대한 1, 2축의 eigenvalue의 집중률이 높을수록 ordination 결과의 이용에

용이하며(Austin and Greig-Smith, 1968; Lee et al., 1992), 분석 결과 제 1, 2축의 eigenvalue는 각각 0.575, 0.162로 total variance인 0.819에 대해 약 90.0%의 집중률을 나타냈다. DCA분석을 통해서 Axis 1을 기준으로 대상지 각 특성에 따른 분포가 잘 이루어졌음을 확인하였다.



**Fig. 3.** The result of DCA ordination of twenty eight plots

Axis 1 (Eigen.=0.575), Axis 2 (Eigen.=0.162),  $\triangle$ : *Quercus variabilis*-*Pinus densiflora* (I),  $\nabla$ : *Pinus densiflora*-*Quercus mongolica*(II),  $\diamond$ : *Pinus thunbergii* community(III)

## 식생 구조분석

3개 군락으로 분류된 산불 발생지역의 식생 구조를 파악

하기 위해 층위별 상대우점치(I.P.) 및 평균상대우점치(M.I.P.)를 분석하였다(Table 3). 식생 구조는 군락 내 높은 상대 중요치를 나타내는 주요 우점종을 중심으로 분석하였다.

**Table 3.** Importance percentage of major species by the stratum in each communities

Community	Species	Layer	C <sup>2</sup>	U	S	H	M
I <sup>1</sup> (7plots)	<i>Pinus densiflora</i>		20.4	58.6	1.7	2.4	27.9
	<i>Quercus variabilis</i>		40.2	7.8	-	-	21.0
	<i>Quercus mongolica</i>		5.6	29.1	2.2	-	11.9
	<i>Prunus sargentii</i>		13.0	3.0	-	-	6.9
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>		-	-	24.3	-	3.7
	<i>Styrax obassia</i>		4.8	-	4.1	-	2.8
	<i>Lindera obtusiloba</i>		-	-	17.8	-	2.7
	<i>Quercus aliena</i>		4.8	-	-	-	2.2
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>		3.0	-	1.7	-	1.7
	<i>Acer pseudosieboldianum</i>		2.6	-	1.7	-	1.5
	<i>Quercus dentata</i>		3.0	-	-	-	1.4
	<i>Lespedeza maximowiczii</i>		-	-	8.4	-	1.3
	<i>Acer komarovii</i>		2.6	-	-	1.2	1.3
	<i>Callicarpa dichotoma</i>		-	-	7.1	-	1.1
	<i>Lespedeza bicolor</i>		-	-	7.0	-	1.1
	<i>Rhus verniciflua</i>		-	-	6.1	-	0.9
	<i>Athyrium niponicum</i>		-	-	-	7.8	0.6
<i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>		-	-	-	7.5	0.6	
Others		-	1.5	17.8	81.0	8.3	
II (18plots)	<i>Pinus densiflora</i>		58.6	8.6	1.3	0.6	31.3
	<i>Fraxinus sieboldiana</i>		-	59.6	-	0.6	18.4
	<i>Quercus mongolica</i>		29.1	15.2	-	0.6	18.1
	<i>Quercus variabilis</i>		7.8	9.3	-	-	6.5
	<i>Lespedeza bicolor</i>		-	-	33.7	0.6	5.2
	<i>Rhododendron mucronulatum</i>		-	-	19.4	0.6	3.0
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>		-	-	14.7	-	2.3
	<i>Styrax obassia</i>		-	5.2	-	-	1.6
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i>		-	-	9.4	-	1.5
	<i>Prunus sargentii</i>		3.0	-	-	-	1.4
	<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i>		-	-	-	17.8	1.4
	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>		-	-	6.6	-	1.0
	<i>Atractylodes ovata</i>		-	-	-	9.6	0.7
	<i>Pinus rigida</i>		1.5	-	-	-	0.7
	<i>Quercus serrata</i>		-	2.1	-	-	0.6
<i>Spodipogon cotulifer</i>		-	-	-	8.0	0.6	
<i>Potentilla freyniana</i>		-	-	-	7.3	0.6	
Others		-	-	14.7	54.6	6.5	
III (3plots)	<i>Pinus thunbergii</i>		57.6	62.5	-	-	45.8
	<i>Lespedeza bicolor</i>		-	-	75.0	-	11.5
	<i>Pinus densiflora</i>		22.1	-	-	-	10.2
	<i>Quercus mongolica</i>		6.5	18.8	-	-	8.8
	<i>Quercus serrata</i>		-	18.8	-	-	5.8
	<i>Spodipogon cotulifer</i>		-	-	-	65.5	5.0
	<i>Quercus variabilis</i>		7.4	-	-	-	3.4
	<i>Prunus sargentii</i>		6.5	-	-	-	3.0
	<i>Artemisia keiskeana</i>		-	-	-	34.5	2.7
Others		-	-	25.0	-	3.8	

<sup>1</sup> I : *Quercus variabilis*-*Pinus densiflora* community, II : *Pinus densiflora*-*Quercus mongolica* community, III : *Pinus thunbergii* community

<sup>2</sup>C : Importance percentage in canopy layer, U: Importance percentage in understory layer, S: Importance percentage in shrub layer, H: Importance percentage in herb layer, M: Mean importance percentage

## 군락 I (굴참나무-소나무군락)

군락 I은 3개의 복원지가 포함되어 있으며 기존 임상은 참나무림 2개소, 소나무림 1개소이다. 복원유형은 자연복원이 2개소로 1개의 인공 복원지는 굴참나무를 식재하였다. 식재된 굴참나무가 아교목층을 형성하지 못하고 신갈나무와 소나무가 아교목층에 높은 우점치를 나타내는 특징을 보였다. 교목층에서는 굴참나무가 40.2%로 높은 상대우점치를 나타내고 있으며, 소나무(I.P. 20.4%), 산벚나무(I.P. 13.0%)순으로 우점하고 있다. 아교목층에서는 소나무가 I.P. 58.6%로 우점하고 있으며, 교목층에 우점하는 굴참나무 대신 신갈나무가 29.1%로 두 번째로 높은 상대우점치를 나타냈으며, 굴참나무(I.P. 7.8%), 산벚나무(I.P. 3.0%)순으로 나타났다. 관목층에서는 참싸리가 24.3%로 가장 높은 상대우점치를 나타냈으며, 생강나무, 싸리, 작살나무 등이 주요 우점종으로 분석되었다. 초본층은 개고사리, 가는잎그늘사초, 삼주, 참나물 등 다양한 식물이 자생하고 있으며, 어느 특정한 종에 의한 우점보다는 다양한 종이 자생하는 천이초기의 형태를 나타내고 있다.

## 군락 II (소나무-신갈나무군락)

8개소의 복원지가 포함된 소나무-신갈나무군락의 기존 임상은 소나무림 6개소, 혼효림 2개소이며, 3개소는 소나무로 복원되었으며, 나머지 5개소는 자연복원이 이루어졌다. 소나무-신갈나무군락은 가장 많은 조사구가 포함된 군락으로 소나무가 교목층에서 58.6%의 높은 상대우점치를 나타내고 있으며, 신갈나무가 29.1%로 두 번째로 높은 상대우점치를 나타내고 있다. 아교목층의 상대우점치는 쇠물푸레나무(I.P. 59.6%), 신갈나무(I.P. 15.2%), 굴참나무(I.P. 9.3%), 소나무(I.P. 8.6%) 순으로 분석되었으며, 관목층은 싸리(I.P. 33.7%), 진달래(I.P. 19.4%), 철쭉(I.P. 14.7%) 순으로 분석되었다. 초본층은 가는잎그늘사초가 17.8%로 가장 높은 상대우점치를 나타냈으며 삼주, 기름새, 세잎양지꽃 등이 주요 우점종으로 나타났다. 강원 산불 지역의 자연회복지 내 식생회복 초기에 하층은 신갈나무, 상층은 신갈나무와 쇠물푸레나무가 우점하는 경향을 나타내는 Lee et al.(2008)의 연구결과와 유사하지만, 삼척 검봉산 일대의 경우 상층은 시간이 지나며 소나무 우점하는 경향을 보이고있다. 이는 산불 이후 참나무 종이 절대적으로 우점하고, 소나무는 복원성이 떨어진다는 Jung(2002)의 기존 연구결과와는 다른 특이점을 나타냈다. 한편, 관목층은 산불피해 이후 숲틈 발생 등에 따른 2차림 천이 초기 단계에 주로 정착하는 참싸리 싸리 등 콩과식물과 같은 선구수종의

유입이 이루어지며(Song and Kim, 1992; Kim and Lee, 2007; Lee et al., 2008), 소나무-신갈나무군락은 이러한 선구수종의 우점이 지속되고 있는 것으로 판단된다.

## 군락 III(곰솔 소나무군락)

곰솔 소나무군락은 1개소의 복원지만 포함되어 있으며, 기존 곰솔 소나무림이 있던 지역에 곰솔을 식재하여 복원하였다. 곰솔 소나무군락의 경우 교목층과 아교목층에서 곰솔이 각각 57.6%, 62.5%로 가장 높은 상대우점치를 나타내고 있다. 교목층에서는 곰솔 뒤로 소나무(I.P. 22.1%), 졸참나무(I.P. 7.4%), 신갈나무(I.P. 6.5%) 순으로 상대우점치가 높게 나타났으며, 아교목층에서는 신갈나무와 졸참나무가 각각 18.8%의 상대우점치를 나타냈다. 교목층에서는 싸리가 75.0%로 강하게 우점하는 경향을 나타내고 있다. 초본층은 기름새와 맑은대쑥이 각각 65.5%, 34.5%로 다른 군락과 달리 2종만 출현하였다.

## 출현 종수 및 종다양도 분석

분류된 군락에 따른 층위별 출현 종수 및 평균 출현 종수, 균재도(J'), 우점도(D), Shannon 종다양도 지수(H'), 최대 종다양도 지수(H' max)를 분석하였다(Table 4). 각 군락별 출현 종수를 제외한 분석값은 단위면적(100m<sup>2</sup>)을 기준으로 군락 내 포함된 조사구의 평균값을 산출하였다. 군락별 평균 출현 종수 분석 결과, 굴참나무-소나무군락이 아교목층을 제외한 모든 층위에서 가장 높은 평균 출현 종수를 나타냈다. 낙엽활엽수가 우점하는 굴참나무-소나무군락이 상록침엽수인 소나무나 곰솔로 이루어진 군락에 비해 침엽수에 의한 타감작용의 영향이 적고 광투과성이 높아 종수가 많은 것으로 판단된다. 곰솔-소나무군락은 다른 군락에 비해 조사지수가 적은 이유도 있지만, 곰솔이나 싸리 같은 특정 종에 의해 우점되는 특징을 가지고 있다.

균재도는 그 값이 1에 가까울수록 종별 개체수가 균일한 상태를 나타내는데(Brower and Zar, 1977), 목본층의 경우 굴참나무-소나무군락이 앞선 출현 종수와 같이 가장 높았으며 특정 종에 층위가 우점되는 곰솔 소나무군락이 가장 낮게 나타났다. 초본층도 목본층과 동일한 결과로 분석되었다. 목본층과 초본층의 종다양도지수 분석 결과, 앞선 결과와 같이 굴참나무-소나무군락이 가장 높은 종다양도 지수를 나타냈으며, 곰솔 소나무군락이 가장 낮게 나타났다. 곰솔 소나무군락은 출현 종수가 다른 군락에 비해 적고, 균재도가 낮기 때문에 종다양도지수 또한 낮게 분석된 것으로 판단된다.

**Table 4.** Description of number of species, evenness(J'), dominance(D), species diversity indices(H'), maximum diversity(H' max) in each communities

(Unit: 100m<sup>2</sup>)

Community	Name of community	No. of species					woody layer			herb layer		
		T	U	S	H	Total	J'	H'	H' max	J'	H'	H' max
I	<i>Quercus variabilis</i> - <i>Pinus densiflora</i>	3.3±1.3	1.3±1.4	5.7±1.4	11.0±7.0	19.9±1.9	0.859	2.015	2.302	0.931	1.963	2.617
II	<i>Pinus densiflora</i> - <i>Quercus mongolica</i>	1.9±0.9	1.4±1.0	2.8±1.1	8.1±3.4	13.9±1.9	0.788	1.418	1.808	0.904	1.705	2.352
III	<i>Pinus thunbergii</i>	3.0±1.0	1.3±1.5	2.0±1.0	2.0±0.0	7.3±0.6	0.693	1.155	1.187	0.599	0.415	0.637

<sup>1</sup>C: Canopy layer, U: Understory layer, S: Shrub layer, H: Herb layer

## 적 요

동해안 지역에서 발생하는 대형 산불의 원인은 건조주의보, 영동지역에서 불어오는 강한 바람, 소나무의 단순림, 임도 유무와 상태 등을 들고 있다. 이러한 이유로 2000년 동해안 산불로 삼척시는 전체 피해면적의 약 70%인 17,000ha 이상의 산림이 소실되었다. 이후 삼척의 산불 피해지역은 인공 복원과 자연복원을 구분하여 식생 분석을 통해 산림복원(회복) 정도를 파악하는 데 연구의 목적이 있다.

조사 대상지인 삼척 검봉산 일대는 기존 소나무가 우점하는 곳으로 2001년 복원을 위해 소나무, 곰솔, 굴참나무 등을 조림하였고, 일부는 자연복원을 하였다. 복원 이후 21년 지난 현재 삼척 검봉산 일대 산불피해 복원지역의 식생은 크게 굴참나무-소나무군락, 소나무-신갈나무군락, 곰솔-소나무군락으로 나누어지는 것으로 나타났다. 산불피해지 식생 회복은 굴참나무, 소나무, 곰솔 등 조림으로 현재 식생은 산불 발생 이전의 임상으로 회복되고 있다. 특히, 산불의 유형 중 지표화 피해지역은 하층 식생의 피해가 크다. 기존의 소나무는 결실된 종자를 비산하여 치수를 발생시켜 자연복원의 속도를 높이고 굴참나무를 활용한 인공복원은 맹아를 발달시켜 본인의 영역을 확장하는 전략을 지니고 있다. 단, 입지적 환경이 동일하다는 전제 조건에서 숲에서 재생 기작이 진행되는 자연 복원보다는 인공복원이 회복시간과 종다양성이 높은 측면에서는 효과적인 것으로 결론을 지을 수 있다.

한편, 산불 발생 초기 굴참나무 조림은 4년 이후 아교목층(4m 이상)까지 부피 성장을 하고 종자 발아에 따른 개체수도 늘어난 모습을 보였다. 현재 소나무와 굴참나무, 신갈나무군락지 간 수관 경쟁으로 소나무가 도태되는 천이 촉진 현상을 보일 것으로 예상된다. 굴참나무-소나무군락은 교목층에서는 조림 수종인 굴참나무가 높은 상대우점치를 나타내고

있지만, 아교목층은 자연 이입종인 신갈나무와 산불 이전 우점종인 소나무가 높은 우점치를 나타내는 특징을 보였다. 소나무나 곰솔이 우점하는 군락에 비해 복원 후 자연 이입종인 신갈나무에 의한 우점도가 높아 향후 혼효림으로 발달할 것으로 보이며, 이후 신갈나무와 굴참나무가 우점할 것으로 예측된다. 소나무-신갈나무군락은 조림 수종인 소나무와 자연 이입종인 신갈나무가 경쟁하고 있는 군락이다. 기존 연구에 따르면 산불 지역의 자연 회복지는 초기에 신갈나무와 쇠물푸레나무가 우점하는 경향을 나타낸다고 하였으나, 본 군락은 교목층과 아교목층 모두 소나무가 우점하는 특징을 나타내었다. 이를 통해 산불 이전 식생이었던 소나무군락을 형성할 것으로 판단된다. 이처럼 동해안은 과거 헐벗은 상태로 장기간 노출된 곳으로 유기물층이 없는 곳이 많다. 또한, 이곳에 광물질 토양이 노출된 나지에 소나무종자가 비산하여 발아되고 숲을 형성하게 되지만 토양 비옥도가 개선되지 못한다면 자연 천이가 아닌 소나무림으로 장기간 지속될 수 있을 것으로 보인다.

곰솔-소나무군락은 곰솔이 교목층과 아교목층 모두 우점하고 있다. 곰솔-소나무군락은 단순림으로 다른 조사지역과 비교할 때 종다양도가 낮은 특징을 나타내며, 경쟁 수종이 없어 곰솔-소나무림의 형태를 유지할 것으로 판단된다. 이는 산불이 수목의 전소된 상태에서 소나무림 하층에 쓰러진 등 단일종으로 우점되는 경향이 있어 종다양도가 낮으며, 토양면 노출이 심각하다. 특히, 여름철 집중 강우에 따른 표토 유실이 진행되어 매토종자와 같은 자연복원 보다는 인공복원으로 접근하는 것이 효과적이다. 이와 함께 급경사 지역이나 동해안 해안에 가까운 구릉성 지대에는 토양이 척박하기 때문에 향후 복원을 위한 식물종 선정 시 참나무류 보다는 소나무로 접근하는 것이 효과적이다.

본 연구는 산불 피해지역 복원지에 대한 식생 구조 특성을

분석하기 위해 수행되었다. 전체적인 식생 구조 특성을 파악함에 있어 피해지와 참조생태계가 대변될 수 있는 비피해지(대조구) 식생 구조의 비교·분석과 같은 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이를 통해 산불피해지의 지표화, 전소화 피해지 등 유형별 효과적인 복원사업과 시행착오를 줄이는 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. Austin MP and Greig-Smith P. 1968. The application of quantitative methods to vegetation survey II. Some methodological problems of data from rain forest. *Journal of Ecology* 56: 827-844.
2. Braun-Blanquet J. 1964. *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*. 3rd Edition. Springer-Verlag, Berlin, 631 pp.
3. Brower JE and Zar JH. 1977. *Field and laboratory methods for general ecology*. Wm. C. Brown Company, 194pp.
4. Brown JK and Smith JK. 2000. *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 257pp.
5. Chandler C, Cheney P, Thomas P, Trabaud L and Williams D. 1983. *Fire in forestry*. Vol. I. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons, New York, 450pp.
6. Didita M, Nemomissa S and Gole TW. 2010. Floristic and structural analysis of the woodland vegetation around Dello Menna, Southeast Ethiopia. *Journal of Forestry Research* (2010) 21(4): 395-408.
7. Dufrene M and Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Mono*, 67: 345-366.
8. Hill MO. 1979a. DECORANA-A FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. *Ecology and Systematics*, Cornell Univ., Ithaca, New York, 520pp.
9. Hill MO. 1979b. TWINSPAN-A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. *Ecology and Systematics*, Cornell Univ., Ithaca, New York, 990pp.
10. Jung YS. 2002. *Ecosystem Change and Restoration Techniques in East Coast Wildfire Damaged Areas*. Kangwon National University. 235pp(in Korean)
11. Jung RJ, Song IG, Kim JY, Lee SG and Kim YJ. 2005. Microbial Diversity in the Soil Damaged by a Forest Fire. *J.of KORRA*(13):2 85-90. (in Korean with English abstract)
12. Kim HJ, Shin JK, Lee CH and Yun CW. 2017. Community Structure of Forest Vegetation in Mt. Geumsusan belong to Woraksan National Park. *Korean J. Environ. Ecol.* 31(2): 202-219. (in Korean with English abstract)
13. Kim JH and Lee SD. 2007. Development of Ecological Restoration Model Consider Analysis on the Vegetation Structure of Burned Area. *Korean J. Eco.* 21(5): 400-414. (in Korean with English abstract)
14. Korea Forest Research Institute. 2004. *Restoration of forest trees and forest land in major forest fire-damaged areas*. 368pp. (in Korean)
15. Lee KJ, Choi SH and Jo JC. 1992. The structure of plant community in Kwangnung Forest(II). *Journal of Korean Forest Society* 81(3): 214-223. (in Korean with English abstract)
16. Lee KS and Choung YS. 1999. Comparison of nutrient budget on the planting revegetation site with natural revegetation site in Kosung area disturbed by fire. *Journal of east coastal research* 1: 137-153. (in Korean with English abstract)
17. Lee KS, Choung YS, Kim SC, Shin SS, Ro CH and Park SD. 2004. Development of vegetation structure after forest fire in the east coastal region, Korea. *Korean J. Ecol* 27(2): 99-106. (in Korean with English abstract)
18. Lee SY, Jun KW, Lee MW and Chun KW. 2008. Mortality in Pine Stand and Vegetation REcovery after Forest Fire. *J Korean Soc Hazard Mitig* 8(1) : 71-79. (in Korean with English abstract)
19. Lee TB. 1980. *Illustrated Flora of Korea*.

- Hyangmunsa Publishing Co., Seoul, Korea. 914pp. (in Korean)
20. Lee TB. 2003a. Coloured Flora of Korea. Vol. I. Hyangmunsa Publishing Co., Seoul, Korea. 914pp. (in Korean)
  21. Lee TB. 2003b. Coloured Flora of Korea. Vol. II. Hyangmunsa Publishing Co., Seoul, Korea. 910pp. (in Korean)
  22. Lee WT. 1996a. Florae Koreae. Academy Press, Seoul, Korea. 1567pp. (in Korean)
  23. Lee, W.T.(1996b) Standard Illustrations of Korean Plants. Acamdemy Press, Seoul, Korea. 1688pp. (in Korean)
  24. Lee YN. 1996. Flora of Korea. Gyohaksa, Seoul, Korea. 1247pp. (in Korean)
  25. Lee YN. 2006a. New Flora of Korea(I). Gyohaksa, Seoul, Korea. 975pp. (in Korean)
  26. Lee YN. .2006b. New Flora of Korea(II). Gyohaksa, Seoul, Korea. 885pp. (in Korean)
  27. McCune B and Mefford MJ. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 4.20. MjM software, Gleneden Beach, Oregon, USA.
  28. McCune B and Mefford MJ. 2006. PC-ORD v5.0 Multivariate analysis of ecological data. Gleneden Beach (OR): MJM Software Design. Oregon, USA.
  29. Ministry of the Interior and Safety .2019. The East coast sea Wildfires in Gangwon-do White Paper. 32-51pp. (in Korean)
  30. Morrison DG. 1996. Design, restoration and management. Dept. of Landscape Architecture, Univ. of Georgia, Athens.
  31. Mueller-Dombois D and Ellenberg H. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons, New York. 547p.
  32. Mun HT and Choung YS. 1996. Effects of forest fire on soil nutrientsin pine forests in Kosong, Kangwon Province. Korean J. Eco. 19(5): 375-383. (in Korean with English abstract)
  33. National institute of Forest Science. 2016. Ecosystem change monitoring and recovery management technology development in areas affected by forest fires. 191pp. (in Korean)
  34. Oh KK, Kang HM and Park SG. 2014. Characteristics of Vegetation Structure on the Ridge of the Naknam-Jeongmaek. Korean J. Environ. Ecol. 28(6): 725-740. (in Korean with English abstract)
  35. Park CD. 2012. Differences in Characteristics of Amphibian and Reptile Communities due to Different Forest Environment at Forest Area in Samcheok, Gangwon Province. Seoul National University. 66pp
  36. Park SG and Kang HM. 2016. Characteristics of vegetation structure in the ridge line area of the Nakdong-Jeongmaek. Korean J. Environ. Ecol. 30(3): 386-398. (in Korean with English abstract)
  37. Park HS, Lee SY, Chae HM and Lee WK. 2009. A Study on the Development of Forest Fire Occurrence Probability Model using Canadian Forest Fire Weather Index -Occurrence of Forest Fire in Kangwon Province-. J Korean Soc Hazard Mitig 9(3): 95-100. (in Korean with English abstract)
  38. Park SH. 2009. New Illustrations and Photographs of Naturalized. Ilcholkak, Seoul. 575pp. (in Korean)
  39. Song SD and Kim BI. 1992. Changes of nitrogen-fixationactivity and environmental factors of growth in Lespedezabicolor Turcz. Korean J. Bot. 35(4):317-322. (in Korean).

## 감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 연구과제 “산불피해지 복원 프로세스 및 내화 숲 기능증진 연구(FE0100-2022-02-2022)”의 지원을 받아 수행하였습니다.