

울진지역 산불피해지의 산림피복형별 식생구조의 초기 변화 특성*

김태운¹⁾ · 한영섭²⁾ · 이성호¹⁾ · 임채영³⁾ · 허태철⁴⁾ · 임창균⁵⁾ · 길민경⁵⁾ · 박준형²⁾

- 1)한국산지보전협회 산림생태복원센터 주임 · 2)한국산지보전협회 산림생태복원센터 대리 ·
3)한국산지보전협회 산림생태복원센터 센터장 · 4)한국산지보전협회 산림생태복원센터 차장 ·
5)한국산지보전협회 산림생태복원센터 사원

The Characteristics of Early Changes in Vegetation Structure by Forest Cover Type after Forest Fire Damage in Uljin region*

Kim, Tae-Woon¹⁾ · Han, Young-Sub²⁾ · Lee, Sung-Ho¹⁾ · Lim, Chae-young³⁾ · Hur, Tae-chul⁴⁾
Im, Chang-Kyun⁵⁾ · Gil, Min-Kyung⁵⁾ and Park, Joon-hyung⁵⁾

¹⁾Forest Ecology & Restoration Center, Korea Forest Conservation Association, Staff,

²⁾Forest Ecology & Restoration Center, Korea Forest Conservation Association, Chief,

³⁾Forest Ecology & Restoration Center, Korea Forest Conservation Association, Deputy head of department,

⁴⁾Forest Ecology & Restoration Center, Korea Forest Conservation Association, Assistant manager,

⁵⁾Forest Ecology & Restoration Center, Korea Forest Conservation Association, Head of department.

ABSTRACT

The study aims to establish a direction for forest ecological restoration by classifying forest types and understanding the ecological characteristics of the Uljin forest area damaged by a large fire in 2022. Hierarchical cluster analysis and indicator species analysis were conducted on 78 survey plots located in the forest fire-affected area, and four forest cover types were derived: *P. densiflora* pure forests, *P. densiflora* dominant forests, mixed broad-leaved forests, and *Q. variabilis* dominant forests. As a result of visually comparing changes in forest types before and after forest fire damage, by classifying data according to whether or not upper dead trees are included, it was confirmed that pine forests, which have a high proportion of pine trees, spread widely due to forest fire damage. However,

* 본 논문은 산림청(한국임업진흥원) “사회문제해결 실증기술 개발사업(과제번호: 2022426B10-2224801)”의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

First author : Kim, Tae-Woon, Forest Ecology & Restoration Center, Korea Forest Conservation Association, Chief,
Tel : +82-042-910-9103, E-mail : twkim@kfca.re.kr

Corresponding author : Park, Joon-hyung, Forest Ecology & Restoration Center, Korea Forest Conservation Association,
Assistant manager,
Tel : +82-042-910-9044, E-mail: parkjh1004@kfca.re.kr

Received : 29 February, 2024. **Revised** : 17 June, 2024. **Accepted** : 6 May, 2024

broad-leaved mixed forests and oyster oak dominant forests showed characteristics of maintaining concentration, indicating that pine forests were severely damaged. As a result of the important value analysis, during the process of natural recovery after a forest fire, the species that appear early in the lower layer are the sprouts of existing species such as *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb., *Quercus variabilis* Blume, *Fraxinus sieboldiana* Blume, *Rhododendron mucronulatum* Turcz. The distribution of diameter at breast height by forest cover type showed that among areas with extreme forest fire damage, the proportion of dead trees was relatively high and structural changes were large in *P. densiflora* pure forests and *P. densiflora* dominant forests where pine trees had a high distribution ratio. However, if continuous monitoring is carried out in the future with reference to the results of this study and plant data is collected and analyzed from a mid- to long-term perspective, it is believed that it will be used as useful data to promote forest ecological restoration projects in forest fire-affected areas.

Key Words: *Forest fire, Forest restoration, Vegetation structure, Forest type, Vegetation recovery*

I. 서론

2022년 3월 4일부터 13일까지 9일간 경상북도 울진군 일대에 대형산불이 발생하였고, 산림의 피해면적은 16,774ha로 보고되었다(Cha et al., 2022). 산불재난 국가위기경보 ‘심각’이 발령될 정도로 기록적인 규모의 산불피해로 인해 다양한 이슈가 발생하였고, 그중 하나가 산불로 훼손된 산림에 대한 생태적 복원에 관한 것이다. 생태복원은 훼손된 생태계나 경관을 훼손되지 않은 온전한 상태로 되돌리는 것을 넘어 훼손된 생태계의 회복을 도와주는 과정과 훼손된 생태계의 구조와 기능을 회복시키는 것을 포함하는 의미를 지니고 있다(Bradshaw, 1997; SER, 2004). 이러한 맥락에서 산불피해지에서의 생태복원은 자연적인 회복 양상 및 특성에 따라 이를 도울 수 있는 행위를 하는 것으로 풀이할 수 있다. 산불발생 이전에 침엽수림이 존재하였을지라도 생육환경 조건에 따라 새롭게 자라난 활엽수림이 산불 이전의 식생과 다르다고 해서 복원되지 않은 것으로 규정하지 않고, 활엽수 중심의 새로운 산림생태계가 조성된 것으로 볼 수 있으므로 미래지향적 관점에서 회복된 건전한 생태

계로 복원된 것으로 볼 수 있다(Lee et al., 2023).

생태적으로 산림을 복원하기 위해서는 서식지 환경과 식생에 대한 정보 파악이 선행되고 식생의 유형별 특성에 따라 적합한 복원방법이 적용되어야 한다. 이를 위해서는 복잡한 구조의 산림을 단순화하여 효율적인 형태로 구축할 수 있도록 산림의 유형분류가 필요하다. 산림피복형(Forest Type) 분류는 생육지의 식물종이 선호하는 환경에 군집형태로 존재하는데, 비교적 동질성을 지니는 산림의 군집을 다른 식생단위와 구별되면서 반복적으로 나타나는 식생을 동일 집단으로 묶어 유형화하는 방법이다(Lee et al., 1996, Chung and Kim, 2012). 이를 통해 효율적인 산림 보전과 관리를 위한 기본 생태 단위로 설정하고(Lee et al., 1999) 수준 높은 식생 정보를 획득하는 데 활용된다(Hwang et al., 2016). 이러한 산림식생 분류기법 중 우리나라 산림에 적용할 수 있는 분류방법은 산림우점형 분류, 산림피복형 분류, 산림서식지형 분류 등이 있으며, 산림피복형 분류는 상층수목의 종에 의해 유형을 분류하고 명명하기 때문에 산림의 발달과정보다는 현재의 상태에 초점을 둔 분류방법이므로(Hwang et al., 2015), 산불피해지의 피해 전과

후의 생태적 특성과 상태에 따라 복원방향성을 결정하는 데 효율적으로 활용될 수 있다.

산림피복형 분류에는 다양한 방법이 존재하지만 주로 다변량 통계기법 중 하나인 군집분석을 이용하는데, 그중 클러스터 단계가 계층화되어 있는 계층적 군집분석법의 활용사례가 많다 (Chung and Kim, 2013). 산림피복형 분류기법은 기존 연구에서 교목층과 아교목층의 식생 정보를 활용하여 피복형을 분류하고, 이를 기반으로 식생 층위구조 및 종다양도 등 각 유형이 지니는 생태적 속성을 해석하여 산림의 생태적 관리를 위한 공간적 단위 설정과 보전 관리의 방향성을 제시하는 데 주로 활용되었다(Chung et al., 2015; Hwang et al., 2015, Hwang et al., 2016). 이러한 방법을 응용하여 산불발생에 따라 피해 전과 후의 피복유형의 변화에 따른 생태속성의 변화 양상을 파악하여 산불피해지 산림복원의 방향설정에 적용한다면 복원의 공간단위와 복원기법을 결정하는 데 활용성이 높을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 2022년에 발생한 울진 대형 산불피해지 중 산림생태복원사업 대상지인 울진 북면 일대의 피해지를 대상으로 산림피복형 분

류기법을 활용하여 산불 발생 전의 산림피복형을 분류하고 산불 발생 후 분류된 산림피복형의 변화 양상을 분석하였다. 또한, 산불발생 후 1년이 경과한 시점에 산림피복형별 식생구조의 특성의 차이를 비교하여 산불피해지의 산림생태복원사업의 추진을 위한 방향설정 시 산불발생 전 산림피복유형에 따른 산불발생 이후 식생의 회복과 변화양상을 가늠할 수 있는 기초자료로 활용하기 위해 수행하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

연구대상지는 경상북도 울진군 북면의 상당리, 두천리 일대의 산림으로 응봉산의 자락에 위치해 있다(Figure 1). 조사대상 면적은 총 144.6ha이며, 전체적으로 동쪽 방향을 향하고 있다. 조사대상지 내 해발고는 150~700m까지 분포하며, 평균경사 28°로 비교적 경사가 급한 25° 이상의 비율이 전체 면적의 71%에 달한다. 2022년 3월 울진과 영월 일대에서 발생한 대형 산불 이후 산림생태복원사업 대상지로 지정된 4,789ha 중 2,264ha(전체

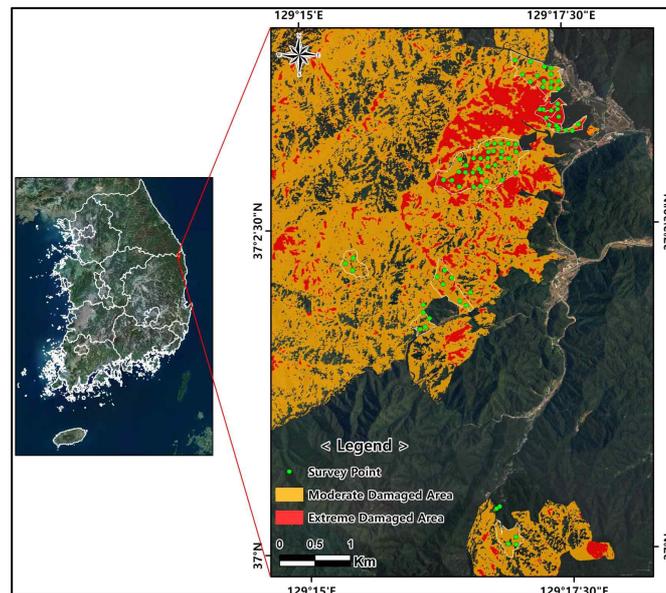


Figure 1. The map of survey plots by forest fire damaged class in study sites.

Table 1. The descriptive statistics of survey data for study sites

Dataset	Variables	Unit	Mean	Max.	Min.	S.D.
Survey plots (N=78)	DBH	cm	16.0	31.9	8.9	4.6
	Height	m	10.6	21.0	5.5	2.4
	Basal area	m ² ·ha ⁻¹	36.4	92.0	6.6	16.9
	Stand density	trees·ha ⁻¹	1,485	3,300	300	574

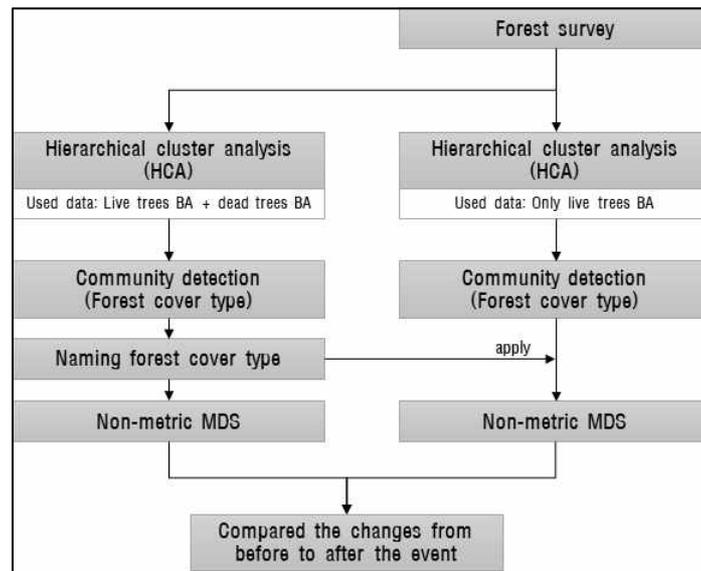
47.3%)가 분포한 곳이 상당리 및 두천리 일대이다 (Forest service, 2023; Forest service, 2022).

산불피해등급은 조사대상지에 대해 위성영상을 기반으로 분석한 「2022년 동해안 보호구역 대형산불피해지 산림복원 기본계획」의 산불피해등급도를 활용하였다(Forest service, 2022). 위성영상(Sentinel-2A)을 활용하여 분석한 정규탄화지수(Normalized Burn Ration, NBR)를 기반으로 분류한 5개의 피해등급 중 식생변화의 관점에서 상층입목의 수관 전소 및 수관 열해 피해지는 극심(Extrame)으로, 지표화를 중심으로 피해가 발생한 곳은 보통(Moderate)으로 구분하였다. 현장조사를 통해 해당 조사구의 상태를 확인하여 사전에 분류한 산불피해등급과 차이가 있을 경우 수정하는 방식으로 산불피해등급을 확정하였고, 산불피해가 발생하지 않은 미피해지는 조

사대상에서 제외하였다.

2. 현장조사

조사구의 배치는 넓은 면적을 대상으로 100m 간격의 포인트를 배치하여 산불피해강도와 입상, 접근 가능 여부를 고려하여 현장조사를 진행하였다. 산불피해지 내에서 조사된 표준지는 총 78개소이며, 1개소당 100m² 크기의 원형조사구를 설치하여 조사하였다. 입목에 대한 조사는 교목층과 아교목층에 출현한 개체는 모두 흉고직경과 수고 측정하였고, 전체 층위에 출현한 종은 고사목과 생존목 여부를 확인하였다. 층위별 식생조사는 교목층과 아교목층, 관목층, 초본층 4개 층위에 대해 층위별 식생 피도조사와 개체수 조사를 실시하였다(Table 1).

**Figure 2.** The analysis flow for forest cover type.

3. 분석방법

1) 산림피복형 분류

산불피해지에 대한 산림생태복원사업은 산불피해 이전의 산림유형 파악이 선행되어야 하고 이후 어떻게 변화하였는지를 파악하였을 때 생태복원사업의 합리적인 추진방향을 결정할 수 있다. 또한, 산불의 강도에 따라 전소, 열해, 지표화피해 등 식생의 피해 정도와 식생구조의 변화양상이 다를 수밖에 없다. 그러므로 산불발생 이전의 산림피복형을 분류하는 것이 필요한데, 산불피해지 조사의 특성 상 산불 발생 이후 현장조사가 이루어지는 것이 일반적이다.

산림피복형 분류를 위한 분석 절차(Figure 2)는 먼저 산불발생 이전의 산림피복형을 분류하기 위해 현장조사를 통해 획득된 흉고직경 6cm 이상의 개체의 흉고단면적 합산 값을 산출하여 계층적 군집분석(Hierarchical Clustering Analysis: HCL)을 실시하였다. 일반적으로 산림피복형 분류 분석에는 피도 혹은 중요치를 활용하여 군집분석을 진행하는 사례가 많으나(Chung and Kim, 2013; Lee and Yun, 2021; Kang et al., 2022), 본 연구는 산불 발생 후 현장조사를 통해 획득된 자료를 활용하기 때문에 피해목의 피도 조사가 불가하여 고사개체의 흉고단면적 측정값을 포함하여 산불발생 이전의 산림피복형을 분류하는 방식을 택하였다. 또한, 산불 발생 이후의 산림피복형은 생존개체의 흉고단면적 합산 값을 통해 분석을 진행하였고, 두 가지 계층적 군집분석 결과를 다차원척도법(Multi-dimensional scaling: MDS)을 통해 시각화하여 산불 발생 이전의 산림피복형이 산불 발생 이후 어떠한 방향으로 변화하였는지 비교분석 하였다. 또한 현장조사를 통해 획득된 계곡, 산록, 산복, 능선을 구분한 데이터를 통해 각 피복형이 위치한 지형적 특성을 비교하였다.

2) 적정 군집수 결정

계층적 군집분석은 Ward법을 활용하여 각 군집분석 단계에서 분산을 최소화하여 군집에 따

른 정보의 손실을 최소화하였다(Chung and Kim, 2013). 계층적 군집분석이 지닌 가장 큰 단점으로 적정 군집수를 통계적으로 결정하는 기준이 부재하여 연구자의 주관이 개입된다는 점이며, 이를 해결하기 위해 지표종 분석을 통해 적정 군집수를 결정하였다(Chung and Kim, 2013). 지표종 분석은 Dufrene and Legendre(1997)가 고안한 방법을 사용하여 지표점수를 산출 후 적절한 산림피복형의 수를 결정하였다. 적정 산림피복형 수는 지표종 수가 가장 많고, 평균 P-value값이 가장 낮은 군집 분류 개수를 채택하며, 이와 같은 방법으로 분석된 적정 군집 수를 계층적 군집분석 결과에 반영하여 최종 산림피복형을 도출하였다.

3) 층위별 중요치 및 종다양도

산불발생 이후 각 산림피복형에 따른 식생분포특성을 비교하기 위해 조사지내 고사목을 제외한 출현종에 대하여 층위별 중요치 및 종다양도를 분석하였으며 조사구역 내 피해를 받지 않은 곳에 참조생태계를 설치하여 비교하였다. 중요치(Importance Value; I.V.)는 상대빈도(Relative frequency : RF), 상대피도(Relative coverage : RC)를 이용한 Curtis and McIntosh (1951)의 방법을 이용하였으며 종다양도는 각 조사구 출현종의 수 및 개체수를 이용하는 Shannon(1948)을 이용하였다. 도출된 중요치 및 종다양도지수를 통해 각 산림피복형별 식생구조적 특성 및 산불피해 이후 식생 회복양상을 파악하는데 활용하였다.

4) 유형별 흉고직경급 분포

분류된 산림피복형에 따른 식생구조적 특성과 변화양상을 파악하기 위해 흉고직경급별 분포를 비교하였다. 명확한 변화양상의 파악을 위해 분류된 산림피복형별로 흉고직경급별 분포를 나타내고 피해양상에 따른 변화는 산불피해에 의한 고사목을 포함한 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하여 비교분석 하였다. 흉고직경급별 분포는

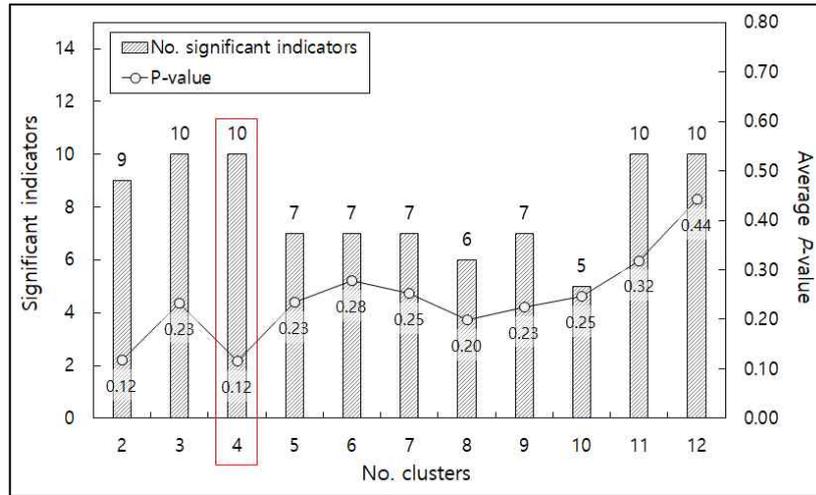


Figure 3. The result of indicator species analysis from step 2 to 12 during the clustering process. The left axis is number of species with $P < 0.05$. And right axis is the average P -value of All indicator species.

흉고직경 4cm 이상의 개체목을 ha당 본수로 환산하여 도식화하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 계층적 군집분석을 통한 산림피복형 분류

울진 산불피해지의 산림피복형을 구분하기 위해 현장조사 자료에서 각 조사구의 흉고단면적비를 산출하여 계층적 군집분석을 실시하였으며, 정보의 손실을 최대한 줄여 분석하는 방법으로 알려진 Ward의 방법을 사용하였다(Chung and Kim, 2013). 71개의 산불피해지 내 표준지와 7개의 참조생태계 표준지를 포함하여 총 78개의 표준지에 대해 산불피해목을 모두 포함하여 계층적 군집분석을 진행한 결과, 2~12개의 계층별 군집이 분류되었다.

생태학적으로 가장 의미 있는 적정 군집수를 결정하기 위해 지표종 분석을 실시하였다. 군집별 유의수준($P < 0.05$)을 만족시키는 수종의 개수는 4개의 군집으로 분류할 때 10개로 가장 많은 지표종이 포함되었고, 이때 평균 유의확률은 0.115로 2~12개의 군집분류 중 가장 낮은 유의

수준으로 나타났다(Figure 3). 따라서 적정 군집수는 4개 군집으로 확정하고 이를 계층적 군집 분석 결과에 반영하여 A~D 군집으로 분류하였다(Figure 4). 각 군집별 소속 표준지 수는 군집 A는 20개 표준지, 군집 B는 36개 표준지, 군집 C는 12개 표준지, 군집 D는 10개 표준지가 소속된 것으로 나타났다.

2. 산림피복형 명명

분류된 산림피복형에 대한 적절한 명칭 부여를 위해 층위별 중요치 산출하였다. 산림피복형은 상층 우세종의 분포를 기준으로 구분되므로 우세한 수종을 파악하는 것이 필요하다(Chung and kim, 2013). 산림피복형의 명명은 우세한 산림종과 생물 지리적 요인으로 결정하나(European environment agency, 2006) 본 연구대상지의 범위가 국한되어 있으므로, 생물 지리적 요인을 제외하고 우세한 산림 종을 기준으로 명명하였다. 따라서 교목층과 아교목층의 수종별 흉고단면적비를 기준으로 80% 이상인 경우 순림으로 정의하고 우점수종의 명칭으로 명명하였다. 또한, 하나의 수종이 50~80% 수준으로 우세할 경우 우세한 수

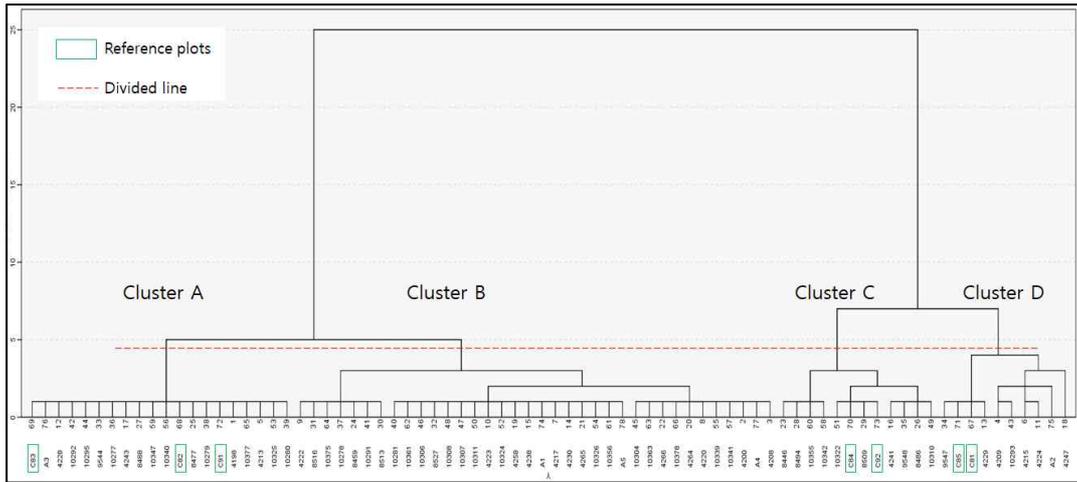


Figure 4. The classification dendrogram of 4 forest types in study sites using the Hierarchical cluster analysis.

종의 우점림으로 정의하였고, 어떠한 수종도 50% 이상의 흉고단면적비 점유를 하지 못할 경우 종 구성에 따라 활엽수혼효림 혹은 침엽수혼효림, 침활혼효림으로 명명하였다.

상기 기준에 따라 Table 2의 흉고단면적비를 참고하여 각 군집의 명칭을 부여한 결과, A군집

은 소나무 흉고단면적비가 98.6%로 나타나 소나무 순림으로 명명하였고, B군집 교목층에서 소나무가 79.9%로 나타나 소나무 우점림으로 유형 명칭을 부여하였다. C군집의 경우 굴참나무가 39.9%로 가장 높은 흉고단면적비를 나타내었고, 침엽수인 소나무의 흉고단면적비가 19.0%로 활

Table 2. The basal area ratio of appeared species by 4 forest types.

Species	Basal area ratio by species			
	Cluster A	Cluster B	Cluster C	Cluster D
<i>Pinus densiflora</i> 소나무	98.6	79.9	19.0	14.6
<i>Quercus variabilis</i> 굴참나무	0.6	6.6	4.2	68.0
<i>Quercus mongolica</i> 신갈나무	0.6	10.6	39.9	12.1
<i>Robinia pseudoacacia</i> 아까시나무		0.7	13.3	0.4
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>pubescens</i> 잔털벚나무		0.4	3.6	1.0
<i>Castanea crenata</i> 밤나무			4.4	
<i>Cornus walteri</i> 말채나무			3.8	
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> 물푸레나무			3.8	
<i>Betula schmidtii</i> 박달나무		0.5	1.9	
<i>Quercus serrata</i> 졸참나무		0.8	1.6	0.1
<i>Quercus acutissima</i> 상수리나무		0.5	0.1	1.5
<i>Styrax japonicus</i> 매죽나무	0.2		0.6	0.9
<i>Quercus dentata</i> 떡갈나무			1.4	
<i>Actinidia arguta</i> 다래			1.3	
<i>Betula davurica</i> 물박달나무			0.9	
<i>Prunus sargentii</i> 산벚나무				0.7
<i>Quercus aliena</i> 갈참나무			0.1	0.3
<i>Acer pseudosieboldianum</i> 당단풍나무			0.1	0.2
<i>Cornus controversa</i> 층층나무				0.2
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

엽수가 81%를 차지하여 활엽수혼효림으로 명명하였다. D군집은 굴참나무의 흉고단면적비가 68%로 나타나 굴참나무 우점림으로 정의하였다.

3. 다차원척도법을 활용한 산불피해에 따른 산림피복형별 동태

분류된 산림피복형을 기준으로 산불피해 후 각 유형별 변화양상을 비교하기 위해 비계량형 다차원척도법을 활용하여 각 유형별 변화를 시각적으로 표현하였다(Figure 5). 다차원척도법 분석결과 도표에서 Dimension 1은 소나무의 비율을 의미하여 양의 값은 소나무의 비율이 높고 음의 값으로 갈수록 그 비율이 감소한다. Dimension 2는 신갈나무와 굴참나무의 비율을 의미하는데, 양의 값으로 갈수록 신갈나무의 비율이 높아지는 반면, 음의 값으로 갈수록 굴참나무의 비중이 높아지는 특성을 보인다.

각 차원의 의미를 고려하여 결과를 해석해볼 때, 산불피해 전을 기준으로 분류된 4가지 산림피복형은 군집의 집중성이 유지되었으나, 산불피해 후 대부분의 군집은 넓게 퍼져 각 군집의 영역간 중첩현상이 발생한다. 또한, 내화성이 상대적으로 약한 소나무림의 비중이 높은 소나무순림과 소나무 우점림은 산불 후 소나무의 고사 발생 비율이 높아 상대적으로 영역 확장이 눈에 띄게 증가하는 현상이 나타나고 있다. 반면에 활엽수의 비중이 높은 굴참나무 우점림과 활엽수 혼효림의 경우 비교적 영역의 확장 폭이 좁은 특성을 보여 산불에 의한 피해규모가 상대적으로 약소한 것으로 해석할 수 있다.

이러한 점은 Figure 6에 제시된 현장조사에서 확인된 산불피해수준 비교를 통해 확인할 수 있다. 소나무순림과 소나무 우점림은 극심한 수준의 산불피해를 입은 표준지 수의 비율이 64.7%, 63.9%로 각각 나타난 것에 반해 굴참나무 우점림에 속한 표준지 중 산불피해 수준이 극심한 곳은 30.0%, 활엽수혼효림은 12.5%에 불과하였다. 그동안 여러 연구를 통해 확인된 바가 있는 소나

무의 낮은 내화성이 재차 확인된 결과로 볼 수 있으며, 상대적으로 높은 내화성을 지닌 활엽수림의 피해가 적은 것이 분석결과로 도출된 것으로 사료된다(Kim et al, 1999; Lee and An, 2009).

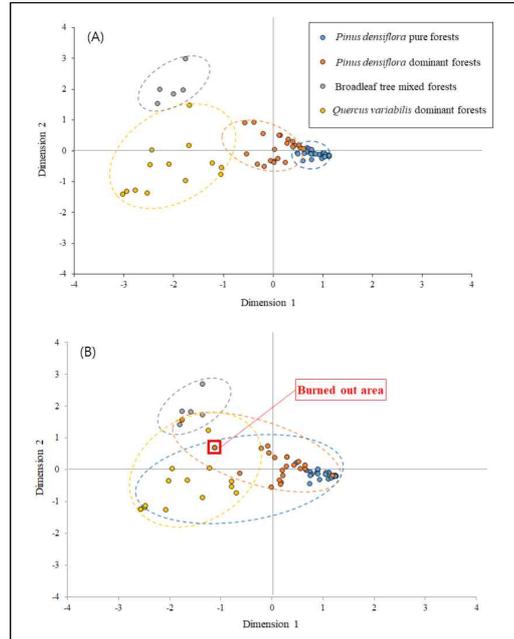


Figure 5. Comparison of position changes before and after forest fire damage by 4 forest types using non-metric multidimensional scaling analysis. (A) is unburned forests and (B) is burned forests.

4. 산림피복형별 지형특성

각 산림피복형이 위치한 입지를 비교한 결과, 피해가 보통인 지역의 소나무 순림은 사면 83.3%, 능선 16.7%로 나타났으며, 소나무 우점림도 사면 84.6%, 능선 15.4%로 유사한 경향을 보였다. 피해가 심한 지역의 소나무 순림은 사면이 36.4%, 능선이 21.7%로 나타났으며, 소나무 우점림은 계곡 8.7%, 사면 36.4%, 능선이 21.7%로 나타났다. 피해가 보통인 지역의 활엽수 혼효림은 계곡이 42.9%, 산기슭이 42.9%, 사면이 14.3%로 나타났고, 굴참나무 우점림은 계곡이 42.9%, 산기슭이 14.3%, 사면이 42.9%로 나타났

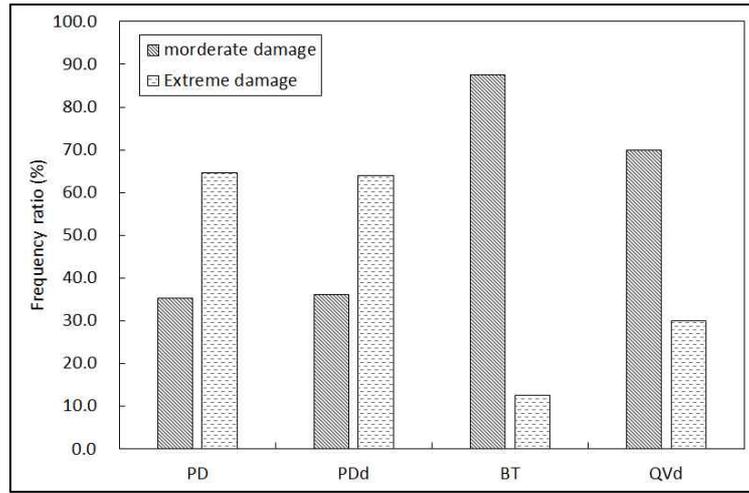


Figure 6. Comparison of forest damage class by 4 forest types. PD is *Pinus densiflora* pur forests. PDd is *Pinus densiflora* dominant pur forests. BT is Broadleaf tree mixed forests. QVd is *Quercus variabilis* dominant forests

Table 3. The frequency ratio of geographical location by damage class and forest types.

Damaged class	Forest type	No. plots	Valley	Piedmont	Hillside	Ridge	Total
Moderate	PD	6	0.0	0.0	83.3	16.7	100.0
	PDd	13	0.0	0.0	84.6	15.4	100.0
	BT	7	42.9	42.9	14.3	0.0	100.0
	QVd	7	42.9	14.3	42.9	0.0	100.0
Extreme	PD	11	0.0	0.0	36.4	63.6	100.0
	PDd	23	8.7	0.0	69.6	21.7	100.0
	BT	1	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	QVd	3	33.3	0.0	66.7	0.0	100.0

다. 피해가 심한지역의 활엽수 혼효림은 계곡이 100%로 나타났고, 굴참나무 우점림은 계곡이 33.3%, 사면이 66.7%로 나타났다. 활엽수혼효림, 굴참나무 우점림은 계곡부에서 주로 생육하는 것으로 나타났다.

산불의 발생은 침엽수림이 혼효림과 활엽수림보다 약 5배 높으며, 산불의 대형화는 능선을 따라 이루어지며, 침엽수림이 연속배열이 그 요인 중 하나라 보고된 바 있다(Lee, 2005; Lee, 2004), 본 연구에서 산불피해가 심한 구역의 경우 활엽수 혼효림(1.4%), 굴참나무 우점림(4.2%)의 비중이 소나무 순림(15.5%)과 소나무 우점림(32.4%)의 비중보다 상당히 낮은 경향을 보였으며 특

히 능선부와 사면에서 소나무 순림(5.6, 9.9%) 및 소나무 우점림(22.5, 7.0%)의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 울진 북면 지역 산불피해는 산불의 대형화가 진행되어 능선부의 침엽수림이 특히 피해를 받았고, 사면, 계곡부와 같이 활엽수가 많은 공간으로 이동할수록 피해 정도가 점차 감소하는 특성이 나타나는 것으로 판단된다.

5. 산림피복형별 중요치

각 산림피복형별 산불 발생 이후 식생분포 변화 특성을 분석하기 위해 산불피해등급 및 층위별 출현종의 중요치를 비교하였다(Table 4). 우선 연

Table 4. The Important value by damage class layer for each forest types. PD is *Pinus densiflora* pur forests. PDd is *Pinus densiflora* dominant pur forests. BT is Broadleaf tree mixed forests. QVd is *Quercus variabilis* dominant forests.

Layer	Species	Extreme				Moderate			
		PD	PDd	BT	QVd	PD	PDd	BT	QVd
Tree layer	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. 소나무	100.0	80.0	9.5	16.7	95.7	84.0	21.3	15.6
	<i>Quercus variabilis</i> Blume 굴참나무		11.5	14.3	70.2	4.3	6.1	11.1	57.4
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb. 신갈나무		6.3	10.5	6.4		3.0	47.0	15.3
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L. 아까시나무		2.2	25.5	6.7				2.9
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance 물푸레나무				15.9				
	<i>Quercus dentata</i> Thunb. 떡갈나무				7.6				
	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>pubescens</i> (Makino) Nakai 잔털벚나무				7.4			4.1	2.1
	<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc. 밤나무								7.0
	<i>Quercus serrata</i> Murray 졸참나무				6.8		2.1	2.5	
	<i>Betula schmidtii</i> Regel 박달나무				2.5		2.2	4.1	
	<i>Quercus acutissima</i> Carruth. 상수리나무						2.6		2.9
	<i>Prunus sargentii</i> Rehder 산벚나무								2.4
	<i>Quercus aliena</i> Blume 갈참나무								2.1
	<i>Cornus controversa</i> Hemsl. 층층나무								2.1
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Sub tree layer	<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc. 뽕나무		2.1		72.2			4.0	13.7
	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. 소나무		46.6	14.2		44.8	63.3	18.6	3.1
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb. 신갈나무		25.2	62.6		19.9	24.1	44.3	57.6
	<i>Quercus variabilis</i> Blume 굴참나무		26.1	17.2		25.3	12.7	20.5	28.1
	<i>Betula davurica</i> Pall. 물박달나무						10.1		3.3
	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>pubescens</i> (Makino) Nakai 잔털벚나무		0.7	5.6	9.9		5.0		3.3
	<i>Cornus walteri</i> Wangerin 말채나무					9.3			10.1
	<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq. 다래		7.1		5.6				4.1
	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom. 당단풍나무		5.6					4.1	4.0
	<i>Quercus dentata</i> Thunb. 떡갈나무		5.6						4.0
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance 물푸레나무		5.6				4.0		9.3
	<i>Quercus serrata</i> Murray 졸참나무		1.4	5.6			2.1		3.1
	<i>Quercus acutissima</i> Carruth. 상수리나무					5.5	4.0	3.9	
	<i>Quercus aliena</i> Blume 갈참나무						4.0		
<i>Betula schmidtii</i> Regel 박달나무		2.0				3.9			
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. 아까시나무		1.4							
<i>Fraxinus sieboldiana</i> Blume 쇠물푸레나무		0.7							
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Shrub layer	<i>Robinia pseudoacacia</i> L. 아까시나무	1.9	9.9	39.3	30.5		2.6	2.1	
	<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz. 진달래	13.5	12.4		24.3	33.4	12.8	12.6	20.3
	<i>Fraxinus sieboldiana</i> Blume 쇠물푸레나무	21.7	27.9		24.3	14.0	20.9	28.8	13.0
	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb. 신갈나무	25.6	17.5			17.9	22.6	17.9	15.2
	<i>Quercus variabilis</i> Blume 굴참나무	21.6	6.8			5.3	2.1		10.1
	<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc. 뽕나무	4.0	1.9	9.2		2.4	2.3	6.8	16.0
	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume 쌍강나무		6.8	9.2	10.5	2.9	11.2	6.8	10.1
	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz. 싸리	5.9	2.9		10.5	5.3	2.1	4.7	
<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom. 당단풍나무				10.0					

Table 4. continue

Layer	Species	Extreme				Moderate			
		PD	PDd	BT	QVd	PD	PDd	BT	QVd
Shrub layer	<i>Lindera glauca</i> (Siebold & Zucc.) Blume 감태나무			9.2					
	<i>Rhododendron micranthum</i> Turcz. 꼬리진달래	4.0	2.8			7.7	3.1		2.2
	<i>Quercus serrata</i> Murray 졸참나무		2.4	5.8			7.2	2.7	
	<i>Styrax obassia</i> Siebold & Zucc. 쪽동백나무			1.4	6.7				
	<i>Cornus controversa</i> Hemsl. 층층나무								5.9
	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. 소나무	2.0				5.8	3.6		2.8
	<i>Quercus dentata</i> Thunb. 떡갈나무				5.3				
	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>pubescens</i> (Makino) Nakai 잔털벚나무				5.3	2.4			4.1
	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance 물푸레나무								4.7
	<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (Miq.) Kuntze 개웃나무		0.9						4.1
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miq. 참싸리		3.9				1.0		
	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim. 철쭉		0.9			2.9	3.6		
	<i>Quercus acutissima</i> Carruth. 상수리나무								2.7
	<i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc. 노간주나무						2.5		
	<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel 국수나무								2.2
	<i>Lonicera praeflorens</i> Batalin 울피불나무								2.2
	<i>Betula schmidtii</i> Regel 박달나무		0.9						2.1
	<i>Betula davurica</i> Pall. 물박달나무						1.3		
	<i>Rhododendron yedoense</i> f. <i>poukhanense</i> (H.Lév.) Sugim. ex T.Yamaz. 산철쭉						1.0		
	<i>Smilax china</i> L. 청미래덩굴		0.7						
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Herb layer	<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i> (H.Lév. & Vaniot) Ohwi 가늬잎그늘사초	4.1	8.3		23.8	21.4	8.0	6.5	10.0
	<i>Viola orientalis</i> (Maxim.) W.Becker 노랑제비꽃	8.1	3.3	2.5	6.5	21.4		2.2	6.7
	<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz. 진달래	12.2	8.8			21.4	12.9		3.3
	<i>Potentilla freyniana</i> Bornm. 세잎양지꽃	8.1	7.5	2.1	18.9	7.1	9.7	8.7	10.0
	<i>Carex breviculmis</i> R.Br. 청사초				12.8				2.2
	<i>Carex lanceolata</i> Boott 그늘사초		6.9	4.6		7.1	9.7	6.5	10.0
	<i>Atractylodes ovata</i> (Thunb.) DC. 삼주	8.1	3.7				3.2		10.0
	<i>Viola alba</i> var. <i>chaerophylloides</i> (Regel) F.Maek. ex H.Hara 남산제비꽃				9.8				6.5
	<i>Artemisia keiskeana</i> Miq. 맑은대쭉		1.2		9.4		4.8	4.3	6.7
	<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) P.Beauv. 주름조개풀		1.1	4.6	9.4				
	<i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin. 큰기름새				9.4				3.3
	<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Tanaka 털새	8.1	3.4		9.4	7.1	3.2		
	<i>Youngia japonica</i> (L.) DC. 뿌리땀이	8.1	5.5	4.6			6.5	4.3	
	<i>Alnus firma</i> Siebold & Zucc. 사방오리	8.1							
	<i>Fraxinus sieboldiana</i> Blume 쇠물푸레나무	8.1							
	<i>Dryopteris sacrosancta</i> Koidz. 애기족제비고사리			7.4					2.2
	<i>Rhododendron micranthum</i> Turcz. 꼬리진달래					7.1	1.6		
	<i>Aria alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) Decne. 팔배나무					7.1			
	<i>Rubus phoenicolasius</i> Maxim. 곰딸기		1.8	6.8					2.2
	<i>Artemisia indica</i> Willd. 쭉								6.5
<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel 국수나무			2.1					6.5	
<i>Taraxacum officinale</i> F.H.Wigg. 서양민들레	4.1	5.4		6.5		1.6			
<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc. 소나무		4.2	2.0	6.5				2.2	

Table 4. continue

Layer	Species	Extreme				Moderate			
		PD	PDd	BT	QVd	PD	PDd	BT	QVd
Herb layer	<i>Peridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (Desv.) Underw. ex A. Heller 고사리			3.7			4.8	2.2	
	<i>Dryopteris varia</i> (L.) Kuntze 족제비고사리	4.1					4.8		
	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist 망초			4.8			3.2		
	<i>Dryopteris chinensis</i> (Baker) Koidz. 가는잎족제비고사리				4.6			4.3	
	<i>Sagina japonica</i> (Sw.) Ohwi 개미자리			4.6					
	<i>Asplenium incisum</i> Thunb. 꼬리고사리			4.6				2.2	
	<i>Chelidonium majus</i> subsp. <i>asiaticum</i> H.Hara 애기똥풀			4.6					
	<i>Aster scaber</i> Thunb. 참취		0.7	4.6					
	<i>Cardamine impatiens</i> L. 싸리냉이							4.3	
	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. 개망초	4.1	0.6				1.6		3.3
	<i>Peucedanum terebinthaceum</i> (Fisch. ex Trevir.) Fisch. ex Turcz. 기름나물	4.1	2.4				1.6		
	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge 산딸기	4.1	0.6	2.0				2.2	
	Others(39)	6.5	26.1	15.2	0.0	0.0	22.6	23.9	23.3
		Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

구대상지 내 전체 출현종은 33과 60속 82종 2이중 6변종 1품종으로 나타났다. 산불피해가 극심했던 곳의 4가지 산림피복형의 교목층 중요치를 살펴 보면, 소나무 순림은 소나무가 100%로 나타났고, 소나무 우점림은 소나무가 80%, 굴참나무 11.5%, 신갈나무 6.3%, 아까시나무 2.2% 순으로 나타났다. 굴참나무 우점림은 굴참나무 70.2%, 소나무 16.7%, 아까시나무 6.7%, 신갈나무 6.4% 순이었 고, 활엽수혼효림은 아까시나무 25.5%, 물푸레나 나무 15.9%, 굴참나무 14.3%, 신갈나무 10.5%, 떡갈 나무 7.6%, 잔털벗나무 7.4%, 졸참나무 6.8% 순으 로 분석되었다.

산불피해가 극심한 곳에서 아교목층의 소나무 순림은 소나무가 46.6%, 굴참나무 26.1%, 신갈나 나무 25.2%, 때죽나무 2.1% 순으로 나타났고, 소나 나무 우점림은 신갈나무 62.6%, 굴참나무 17.2%, 소나무 14.2%, 박달나무 2.0% 등으로 분석되었 다. 굴참나무 우점림의 아교목층은 소나무 44.8%, 굴참나무 17.2%, 신갈나무 19.9%, 잔털벗 나무 9.9% 순이었으며, 활엽수혼효림은 때죽나 나무 72.2%, 잔털벗나무, 당단풍나무, 떡갈나무, 물 푸레나무, 졸참나무가 각각 5.6%로 나타났다.

산불피해 극심 구역의 관목층은 소나무 순림

에서 신갈나무가 2.56%로 가장 높았고, 굴참나무 21.6%, 쇠물푸레나무 21.7%, 굴참나무 21.6%, 진 달래 13.5%, 싸리 5.9% 등의 순으로 나타났고, 소나무 우점림은 쇠물푸레나무 27.9%, 신갈나무 17.5%, 진달래 12.4%, 아까시나무 9.9%, 생강나 나무 6.8%, 참싸리 3.9% 순으로 분석되었다. 굴참 나무 우점림의 관목층은 아까시나무 30.5%, 쇠물 푸레나무와 진달래가 각각 24.3%, 생강나무와 싸리 가 각각 10.5% 순으로 조사되었고, 활엽수혼효림 아까시나무 39.3%, 당단풍나무 10.0%, 때죽나무, 생강나무, 당단풍나무가 각각 9.2%, 쪽동백나무 6.7% 등으로 나타났다.

산불피해가 극심한 곳의 초본층은 소나무 순 림 진달래 12.2%, 노랑제비꽃, 세잎양지꽃, 삼주, 털새, 뿌리냉이, 사방오리, 쇠물푸레나무가 각각 8.1% 등으로 나타났고, 소나무 우점림 진달래 8.8%, 가는잎그늘사초 8.3%, 세잎양지꽃 7.3%, 그늘사초 6.9%, 뿌리냉이 5.5%, 서양민들레 5.4%, 망초 4.8% 등이 조사되었다. 굴참나무 우 점림의 초본층은 가는잎그늘사초 23.8%, 세잎양 지꽃 18.9%, 맑은대썩 주름조개풀, 큰기름새, 털 새 등이 각각 9.4%, 서양민들레, 소나무 치수가 각각 6.5% 등이 나타났고, 활엽수혼효림은 청사

초 12.8%, 남산제비꽃 9.8%, 애기죽제비고사리 7.4%, 곰딸기 6.8%, 그늘사초, 주름조개풀, 뿌리뱅이, 가는잎죽제비고사리, 개미자리, 꼬리고사리, 애기똥풀, 참취 등이 각각 4.6% 등으로 확인되었다.

산불피해가 보통인 곳의 교목층은 소나무 순림에서 소나무가 95.7%, 굴참나무 4.3%로 나타났고, 소나무우점림은 소나무 84.0%, 굴참나무 6.1%, 신갈나무 3.0%로 조사되었다. 굴참나무 우점림은 굴참나무 57.4%로 가장 높았고, 소나무 15.6%, 신갈나무 15.3%, 상수리나무 2.9%, 산벚나무 2.4% 등으로 나타났으며, 활엽수혼효림은 신갈나무 57.0%, 소나무 21.3%, 굴참나무 11.1%, 졸참나무 7.0%, 박달나무 4.1% 등으로 나타났다.

산불피해가 보통인 곳의 아교목층은 소나무 순림에서 소나무가 63.3%, 신갈나무 24.1%, 굴참나무 12.7%순으로 나타났고, 소나무 우점림은 신갈나무 44.3%, 굴참나무 20.5%, 소나무 18.6%, 상수리나무 5.5%, 잔털벚나무 5.0% 등으로 확인되었다. 굴참나무 우점림은 신갈나무 44.5%, 굴참나무 28.1%, 때죽나무 13.7%, 당단풍나무 4.1% 등으로 나타났고, 활엽수혼효림은 신갈나무 57.6%, 물박달나무 10.1%, 말채나무 9.3%, 다래 7.1% 등이 나타났다.

보통수준의 산불피해지 관목층은 소나무 순림의 진달래가 33.4%로 가장 높고 신갈나무 17.9%, 쇠물푸레나무 14.0%, 소나무치수 5.8% 등으로 나타났고, 소나무 우점림은 신갈나무 22.6%, 쇠물푸레나무 20.9%, 진달래 12.8%, 생강나무 11.2%, 졸참나무 7.2% 등으로 확인되었다. 굴참나무 우점림은 진달래 20.3%, 때죽나무 16.0%, 신갈나무 15.2%, 쇠물푸레나무 13.0%, 생강나무 10.1%, 층층나무 5.9% 등의 순으로 확인되었고, 활엽수혼효림은 쇠물푸레나무 28.8%, 신갈나무 17.9%, 진달래 12.6%, 때죽나무와 생강나무 6.8% 등이 나타났다.

산불피해가 보통인 곳의 초본층은 소나무 순림이 가는잎그늘사초와 노랑제비꽃, 진달래가

21.4%로 각각 나타났고, 세잎양지꽃, 그늘사초, 털새, 꼬리진달래, 팔배나무가 각각 7.1%로 나타났고, 소나무 우점림은 진달래 12.9%, 그늘사초와 세잎양지꽃 9.7%, 가는잎그늘사초 8.0%, 뿌리뱅이 6.5% 등이 확인되었다. 굴참나무 우점림의 초본층은 가는잎그늘사초, 세잎양지꽃, 그늘사초, 삼주가 각각 10.0%, 노랑제비꽃, 남산제비꽃, 맑은대쭉, 쭉이 각각 6.7%로 나타났고, 활엽수혼효림은 세잎양지꽃이 8.7%, 가는잎그늘사초, 그늘사초, 남산제비꽃, 쭉, 국수나무가 각각 6.5% 등으로 조사되었다.

중요치 분석을 통해 동일한 산림피복형일 경우 산불피해등급의 차이가 있더라도 전반적으로 우점종은 유사한 것으로 나타났고, 산림피복형 간 차이는 확연하게 나타났는데, 이는 산림피복형이 식생기반의 자료로 분류된 까닭으로 수종별로 선호하는 입지 및 토양환경 조건의 차이가 반영된 것으로 추측되며, 동시에 산림생태복원의 방향 설정에 있어서 산불이전의 식생유형에 대한 중요성이 높음을 의미한다.

산불 발생 이후 초기식생으로 역새가 우점한다는 연구 결과가 보고된 바 있고(Cho and Kim, 1991), Kim et al.(1999), Cho and Kim(1991)은 참싸리 등 싸리류가 산불발생이후 복원 초기에 우점하는 종임을 밝힌 바 있다. 하지만 본 연구 대상지의 관목층은 진달래, 쇠물푸레나무, 신갈나무, 등 관목 및 교목성 수종의 맹아가 우세하였고 싸리 및 참싸리는 상대적으로 중요치가 낮은 것으로 분석되었다. 싸리류의 경우 많은 조사구에서 확인되었으나 매토종자가 발아하여 세력이 형성되는 까닭으로 맹아에 의한 회복양상을 보이는 수종에 비해 그 세력이 약한 것으로 판단된다. 오히려 연구대상지 인근 동일한 주능선을 공유하는 곳인 울진군 소광리의 사면능선부의 주요 목본식물로 보고된 소나무, 신갈나무, 굴참나무, 진달래 등이 우점한다는 보고(Kim and Cho, 2017)와 유사한 경향을 보이고 있다. 이러한 점을 고려해볼 때, 산불발생 이후 자연적인

회복이 진행되는 과정 중 하층의 초기 출현종은 산불피해지에서 일괄적으로 특정종이 우점하는 것이 아닌 지역적, 환경적 특성에 따라 산불 이전의 서식 종이 상대적으로 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

소나무 치수의 경우 초본층에서 소나무 우점림, 굴참나무 우점림, 활엽수혼효림에서 발아한 것이 확인되었고, 소나무 순림의 경우 모든 조사구에서 치수가 나타나지 않았는데, 이는 소나무 개체목의 집단고사 피해가 두드러지게 많이 나타나고, 임분이 위치한 지형적 특성 등 복합적인 요인이 작용한 것으로 추론된다. 기존 소나무 치수의 자연복원 패턴 모니터링 연구(Lim *et al.*, 2012)에서 피해가 극심한 전소화 피해지의 경우 능선 주변에 소나무 잔존목이 존재하지 않아 종자의 유입이 어려워 소나무 치수의 이입이 더디고, 상대적으로 약소한 지표화 지역은 피해 이후 생존한 개체에서 지속적인 종자 유입을 통해 치수의 개체수가 지속적으로 증가한 것으로 보고된 바 있으며 완전하게 동일한 상황은 아니지만, 대부분의 소나무 순림 피해지는 능선부에 위치해 있어 소나무 생존개체와 거리가 있을 뿐만 아니라 위치적으로도 생존개체보다 상대적인 고도가 높은 곳에 있어서 종자 산포에 불리할 수밖에 없을 것으로 판단된다. 또한, 산불발생 이후 1년 이상 지난 시점에도 지표의 피복상태가 불량하고 우수에 의한 토양 표면 침식이 발생한 흔적이 현장조사를 통해 확인되었으므로, 이는 유입된 소나무 종자 또한 정착에 어려움이 발생한 것으로 추정된다. 따라서 해당 피해지의 경우 조기에 복원하기 위해서는 인위적인 식생 도입이나 및 토양 침식을 방지할 수 있는 사면안정화 공법 도입 등을 적극적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

6. 산림피복형별 흉고직경급별 본수

중요치 분석은 수종별 우점도를 나타내는 비율로 결과값이 도출되기 때문에 식생의 양적 변화가 도드라지게 나타나지 않는 관계로 구조적

변화를 면밀하게 살피기 위해 흉고직경급별 본수 분포도를 작성하여 산불 발생에 따른 산림피복형별 변화양상을 비교하였다(Figure 7). 산불 피해가 극심한 곳의 소나무 순림에 대한 흉고직경급별 본수는 고사목+생존목으로 산출한 경우 역J자 형태의 구조를 보이고 있었으나, 산불피해에 따라 고사목이 발생하여 식생의 구조적인 붕괴가 심한 것으로 나타났다. 하여 역J자 형태가 무너진 것으로 나타났다. 소나무 우점림의 흉고직경급별 본수도 하위 직경급에서 피해가 현저하게 나타났으나, 역J자 형태를 유지하고 있었으며, 활엽수 혼효림은 10cm 이하의 직경급의 피해가 크고 그 이상의 직경급의 고사목 발생은 비교적 낮아서 정규분포에 가까운 형태로 변형되었다. 굴참나무 우점림은 고사목의 비중이 상대적으로 낮아 흉고직경급별 본수 분포의 형태적인 변화는 적었다. 반면, 산불피해가 보통인 곳의 소나무 순림과 소나무 우점림, 활엽수 혼효림, 굴참나무 우점림은 산불피해 극심한 곳에 비해 상대적으로 고사목의 비중이 낮고 비교적 낮은 직경급에서 고사목이 나타나는 특성을 보였다.

산불피해등급이 극심에 해당하는 곳 중 소나무의 분포비율이 높은 소나무 순림과 우점림에서 고사목의 비중이 높고 구조적 변화가 큰 것으로 나타났고, 활엽수의 비중이 높은 활엽수 혼효림과 굴참나무 우점림은 상대적으로 구조적 변화가 적었는데, 이는 소나무가 산불피해에 취약하다는 기존 연구 결과(Kwon *et al.*, 2008)와 일맥상통한 결과로 풀이된다. 하지만 각 조사구에서 확인된 사항으로 활엽수 혼효림과 굴참나무 우점림에 분포하는 활엽수는 피해를 받지 않은 것은 아니며, 산불에 의한 피해를 받았으나 완전하게 고사하지 않고 개엽이 전반적으로 늦어지는 특성이 나타났다. 또한, 산불피해 보통인 곳에서 낮은 직경급의 피해가 주로 확인되는 것은 지표화에 의한 피해로 지표에 가깝고 크기가 작은 나무가 큰 나무에 비해 산불피해에 취약한 특성을 보이는 것으로 판단된다.

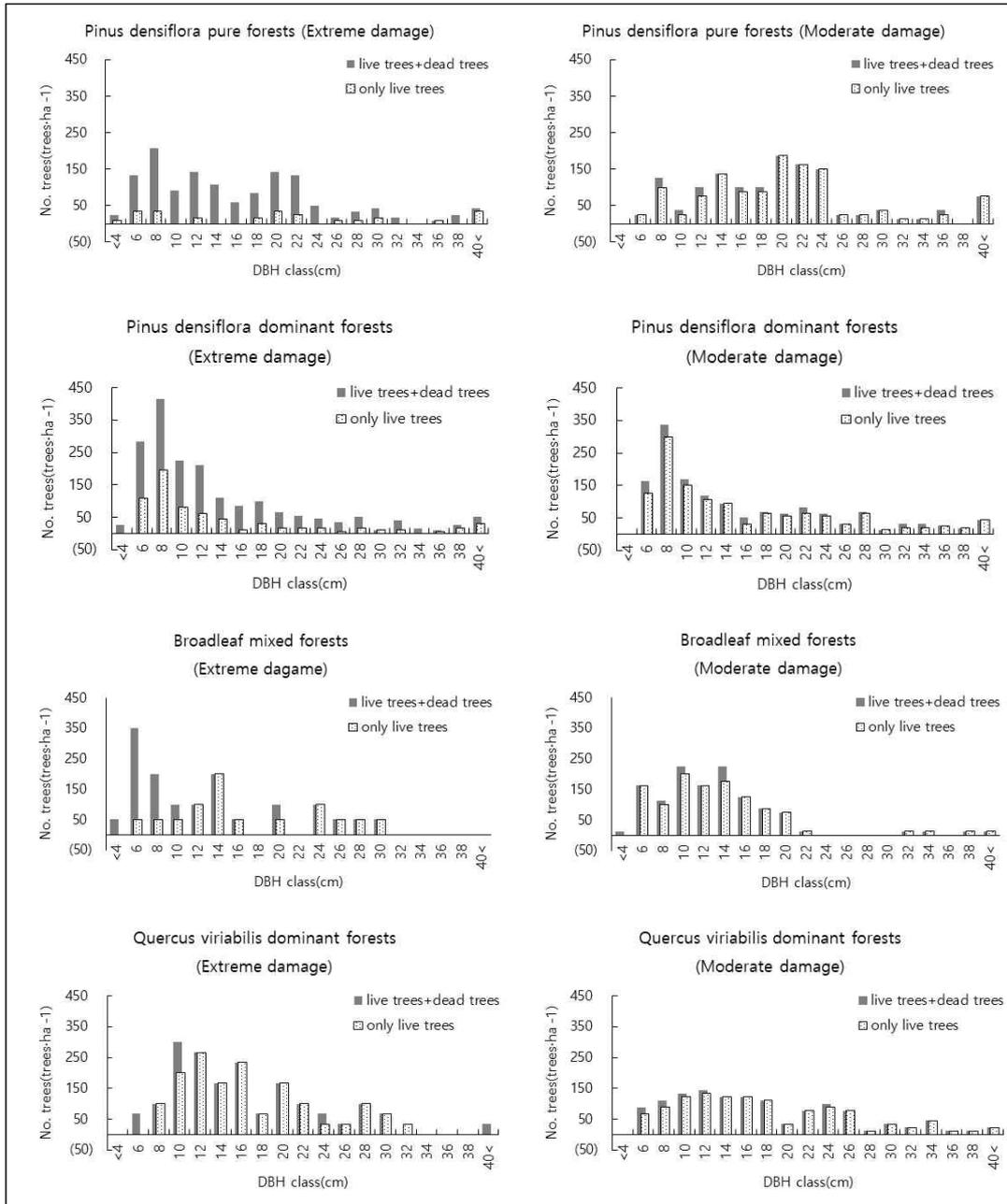


Figure 7. DBH distribution of damage class for each community.

IV. 결론

이 연구는 2022년에 발생한 울진대형 산불피해지의 산불피해 후 식생회복 양상에 따른 효과

적인 산림생태복원사업 추진방향 설정을 위해 산불피복형 분류 및 생태적 특성을 도출하였다. 우선 산불피해 전 산림피복형을 파악하기 위해 총 78개 조사구에 대해 교목층과 아교목층의 수

중별 흉고단면적 비율을 활용하여 계층적 군집 분석 및 지표종 분석을 실시하였고, 이를 통해 총 4가지의 산림피복형(소나무순림, 소나무우점림, 활엽수혼효림, 굴참나무 우점림)을 도출하였다.

산림피복형별 산불피해 후 변화양상을 파악하기 위해 고사목을 제외한 수종별 흉고단면적 비율 자료를 활용하여 군집분석을 재차 진행하여 다차원척도법을 통한 시각화분석을 진행한 결과, 활엽수종이 우점하는 활엽수혼효림과 굴참나무 우점림은 산불피해 전에 비해 큰 흐트러짐 없이 비교적 집중적인 분포를 보인 반면 소나무의 비율이 높은 소나무순림과 소나무우점림의 경우 넓게 퍼져 기존 유형의 특성을 유지하지 못하는 것으로 분석되어 산불피해에 취약한 소나무의 수종 특성이 잘 나타난 결과로 판단된다. 또한, 생육환경 특성에 따른 산불피해 정도는 능선부에서 계곡부로 이동할수록 소나무림의 피해 “심”에 해당하는 표준지의 비율이 감소하는 경향을 보여 소나무의 산불피해 취약성을 재차 확인하였다.

중요치 분석을 통해서 기존 연구 결과에서 산불피해 이후 우점하는 것으로 알려진 종에 비해 기존에 분포하는 식생의 맹아에 의해 회복한 수종의 세력이 두드러진 것을 확인되었고, 이에 따라 산불발생 이후 자연적인 회복이 진행되는 과정 중 하층의 초기 출현종은 산불피해지에서 일괄적으로 특정종이 우점하는 것이 아닌 지역적, 환경적 특성에 따라 산불이전 서식 종이 상대적으로 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 소나무 치수의 발생의 경우 소나무 순림보다는 소나무 우점림, 굴참나무 우점림, 활엽수혼효림에서 주로 확인되었고, 이는 소나무 순림 피해지의 위치(능선)와 소나무 생존개체와 거리(전소피해에 의한 집단고사)가 치수 발생에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 산림복원을 추진할 때 인위적인 식생 도입이나 및 토양 침식을 방지할 수 있는 사면안정화 공법 도입 등

을 병행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

흉고직경급별 분수 분석 결과, 산불피해등급이 극심에 해당하는 곳 중 소나무의 분포비율이 높은 소나무 순림과 우점림에서 고사목의 비중이 높고 구조적 변화가 큰 것으로 나타났고, 활엽수의 비중이 높은 활엽수 혼효림과 굴참나무 우점림은 상대적으로 구조적 변화가 적은 것으로 분석되었다. 중요치 분석에서는 산불피해등급에 따라 수종 구성 및 수종별 중요치의 차이가 크지 않은 것과 다소 차이가 있었고, 소나무림이 산불피해 취약한 특성을 지니는 것을 재차 확인하였다. 활엽수의 경우 산불피해를 입었음에도 개엽 시점이 다소 늦어질뿐 대체로 고사하지 않고 서서히 회복하는 것으로 조사되었다.

본 연구대상지의 산불 발생 이후 약 1년이 지난 시점에 모니터링하여 산불피해 이후 초기에 식생의 회복양상을 밝히고자 하였다. 산불피해 이후 초기의 변화양상인 만큼 보다 장기간에 걸친 모니터링을 통해 중장기적 관점에서 관찰하고 식생 데이터의 수집이 이루어질 경우 현재보다 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 최근 이슈가 되고 있는 자연복원과 인공복원의 이분법적 접근보다는 산불피해지 내 식생의 변화양상을 고려하여 자연복원 구역과 인공복원이 필요한 구역을 분류하고 적절하게 배합한 복원계획 및 설계가 이루어진다면 보다 발전적인 산림생태복원 사업이 추진될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- Bradshaw A. 1997. Restoration of mined lands using natural processes. *Ecological engineering* 8(4) : 255-268.
- Cha S E, Won M S, Jang K C, Kim K M, Kim W K, Baek S I and Lim J B. 2002. Depp learning-based forest fire classification evaluation for application of CAS500-4. *Korean Journal of Remote Sensing* 38(6-1), 1273-1283

- Cho Y H and Kim W. 1991. Early vegetational recovery and species diversity of pine forest after fire in Mt. Todok. *Journal of ecology and environment*. 14(1): 15-23.
- Chung S H and Kim J H. 2012. The classification of forest types by factor analysis in natural forests of Dutasan. *Journal of Agriculture & Life Sciences* 46(4): 21-30.
- Chung S H and Kim J H. 2013. The classification of forest cover type by consecutive application of multivariate statistical analysis in the natural forest of werten mt. Jiri. *Journal of Korean Forest Society* 102(3): 407-414.
- Chung S H, Hwang K M, Sung J H and Kim J H. 2015. Forest type classification and ecological characteristics for areas of Cheonwangbong, Songnisan. *Journal of Korean Forest Society* 104(3): 375-382.
- Dufrene M and Legendre P. 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 667(3): 345-366.
- European Environment Agency. 2006. European forest types: Categories and types for sustainable forest management reporting and policy. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg. pp. 111.
- Forest service. 2022. The master plan for forest ecological restoration in 2022 for the forest fire area in the eastern coast of Korea. pp. 389.
- Forest service. 2023. <https://www.nocutnews.co.kr/news/5912080>.
- Hill M O. 1973. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*. 54: 427-432
- Hungerford R D, Harrington M G, Frandsen W H, Ryan K C and Niehoff G J. 1991. Influence of fire on factors that affect site productivity. USDA Forest Service General Technology Report. 280: 32-50.
- Hwang K M, Chung S H and Kim J H. 2015. The classification and species diversity of forest cover type in the natural forest of the middle part of Baekdudaegan. *Journal of Korean Forest Society* 104(1): 14-25.
- Hwang K M, Chung S H and Kim J H. 2016. Forest type classification and successional trends in the natural forest of mt. Deogyu. *Journal of Korean Forest Society* 105(2): 157-166.
- Jeong J H, Koo S K, Lee C H and Kim C S. 2002. Physio-chemical properties of Korean forest soils by regions. *Journal of Korean Society of Forest Science*. 91(6): 694-700.
- Kang H M, Kang J W, Sung C Y and Park S G. 2022. Characteristics and restoration strategies of warm-temperate forests vegetation type in island area on the Korean peninsula. *Korean Journal of Environment Ecology* 36(5): 507-524.
- Kim D H, Ko J S, Choi S W and Kim K I. 1999. A study on fire investigation & calorie analysis of main trees in Gosung wildfire land. *Korean Institute of Fire Science & Engineering* 13(1): 31-36.
- Kim H Y and Cho H J. 2017. Vegetation composition and structure of Sogwang-ri forest genetic resources reserve in Uljin-gun, Korea. *Korean Journal of Environmental and Ecology*. 31(2): 188-201
- Kwon S M, Chun K W and Kim N H. 2008. Anatomical and physical characteristics of *Pinus densiflora* wood damaged by forest fire – Difference by madame level-. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 36(4): 84-92.
- Lee C B, Kang W S, Kwon C G, Kim S Y, Kim E S, Noh N J, Ryu J Y, Park B B, Park J W, Seo K W, Ahn Y S, Woo S Y, Lee S J, L

- Y E, Lim J H, Jang M Nm Chae H M, Han S H, Lee H I, Han S H. 2023. The scientific basis of fores fire management. Jieul Books. Seoul. pp 279.
- Lee J E and Yun C W. 2021. Vegetation structure and distribution characteristics of forest community along elevation on mt. Hallasan. *Journal of Korean Society of Forest Science* 110(2): 141-154.
- Lee S W, Lee K Y and Song H K. 1997. The analysis of vegetation-environment relationships of the coniferous forests in subalpine districts of mt. Chiri by TWINSpan and CCA. *Journal of Korean Forest Society* 86(3): 279-287.
- Lee S Y and An S H. 2009. Comparative analysis of mortality in species of trees after surface forest fire. *Korean Society of Hazard Mitigation* 9(2): 39-43.
- Lee S Y, Won M S, Han S Y. 2005. Developing of forest fire occurrence danger index using fuel and topographical characteristics on the condition of ignition point in Korea. *Fire science and engineering*. 19(4): 75-79
- Lee W K, Kim C S, Cha S H, Kim Y G, Byun J K, Koo K S and Park J W. 1997. Fire effects on soil physical and chemical properties following the forest fire in Kosung. *Korean Journal of Ecology*. 20(3): 157-162.
- Lim J H, Kim J J and Bae S W. Natural regeneration pattern of pine seedlings on the burned forest site in Gosung, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forerst Meteology*. 14(4): 222-228.
- National institute of forest science. 2004. Forest science information. National institute of forest science. 32pp
- National institute of forest science. 2021. National forest soil acidification status in 2021. National institute of forest science. pp 129.
- Pielou E C. 1975. *Ecological Diversity*. John Wiley & Sons. 168pp
- Rural development administration. 2010. Methods of soil chemical analysis. Rural development administration & National academy of agriculture science. 313pp.
- SER(Society for ecological restoration international). 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration_www.ser.org&tucson. pp 13.
- Shin M Y, Won H K, Lee S W and Lee Y Y. 2007. Site index equation and estimation of productive areas for major pine species climatic zones using environmental factors. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 9(3): 179-187.