환경영향평가 Vol. 34, No. 6(2025), pp.609-623 J. Environ. Impact Assess. 34(6): 609-623(2025) ISSN 1225-7184
https://doi.org/10.14249/eia.2025.34.6.609

Study Note

위성영상을 이용한 산불피해 강도와 산림 유형과의 관계 분석

– 의성산불을 중심으로 –

정성운* · 안향식* · 이관준** · 김선집** · 이율경*** · 김근배*

국립환경과학원*, 한세대학교**, 참생태연구소***

Analysis of the Relationship between Forest Fire Damage Intensity and Forest Types Using Satellite Imagery

– Focusing on the Uiseong Wildfire –

SungWoon Jung* · HyangSig An* · KwanJun Lee · SeonJib Kim** · YoulKyong Lee*** · GeunBae Kim***

National Institute of Environmental Research*
Hansei University**
Institute of Chamecology***

요약: 본 연구에서는 2025년 3월에 발생한 의성산불지역의 Sentinel-2A/B 위성영상으로부터 정규산불피해비율(NBR, Normalized Burn Ratio)을 산정하고, 산불피해심각도(dNBR, Differenced Normalized Burn Ratio)와 식생유형, 수종, 영급과의 연관성을 분석하였다. 산불피해심각도 등급은 dNBR 값에 따라 피해 없음(<0.10), 낮음(0.10–0.27), 보통(0.27–0.44), 강함(>0.44)의 네 구간으로 구분하였다. 식생 유형별 산불피해심각도 평균값은 침엽수림(0.287), 혼효림(0.197) 순이었고, 활엽수림(0.134)이 가장 낮았다. 침엽수림이 산불에 가장 취약하였고 활엽수림이 산불 저항성이 가장 높았다. 영급별 산불피해심각도 평균값은 1~3영급이 낮았고 4~6영급에 해당하는 숲에서 피해가 크게 발생하였으며 그 이후로는 감소하는 경향을 보였다. 수종별로는 소나무, 곰솔, 잣나무 등 침엽수종의 피해가 컸고, 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무 등 활엽수의 피해가 적은 것으로 나타났다. 이러한 연구결과를 종합하면 우리나라 숲을 소나무 등 침엽수종으로 구성된 삼림보다는 산불에 저항성이 높은 신갈나무 등 활엽수림으로 복원하고 천이를 유도하는 것이 국가 산불관리 측면에서 매우 합당하다는 것을 알 수 있었다.

주요어: 정규산불피해비율, 산불피해심각도, 식생유형, 영급, 산림수종

Abstract: This study analyzed the relationship between wildfire burn severity and vegetation types, stand age, and tree species in the Uiseong wildfire area that occurred in March 2025, using Sentinel-2

First Author: SungWoon Jung, Tel: +82-32-560-7543, E-mail: actual77@korea.kr, ORCD: 0000-0003-4512-3357
Corresponding Author: GeunBae Kim, Tel: +82-32-560-7542, E-mail: nierkgb@naver.com, ORCD: 0000-0002-3182-2598
Co-Authors: HyangSig An, Tel: +82-32-560-7699, E-mail: hsahn0609@korea.kr, ORCD: 0000-0003-0651-6587
KwanJun Lee, Tel: +82-31-360-2135, E-mail: leekj2515@naver.com, ORCD: 0009-0003-6910-6663
SeonJib Kim, Tel: +82-31-450-9884, E-mail: kimsj@hansei.ac.kr, ORCD: 0009-0001-1856-0415
YoulKyong Lee, Tel: +82-31-360-2135, E-mail: ecorism@gmail.com, ORCD: 0009-0008-6890-529X

Received: 3 December, 2025. Revised: 8 December, 2025. Accepted: 10 December, 2025.

www.kci.go.kr

satellite imagery. Sentinel-2A/B MSI Level-2A surface reflectance data were used to calculate the Normalized Burn Ratio (NBR) and burn severity (differenced Normalized Burn Ratio; dNBR) from pre- and post-fire images. Wildfire burn severity was classified into four categories based on dNBR thresholds: unburned (<0.10), low (0.10–0.27), moderate (0.27–0.44), and high (>0.44). The average burn severity value by vegetation type was highest in coniferous forests (0.287), followed by mixed forests (0.197), and lowest in broad-leaved forests (0.134). Damage was greater in coniferous forests, while less in broad-leaved forests. By stand age class, the average burn severity was higher in 4th~6th age classes, with a decreasing trend thereafter. By tree species, coniferous species such as Pinus densiflora, P. thunbergii, and P. koraiensis suffered the most damage, while broadleaf trees such as Quercus mongolica, Q. variabilis, and Q. acutissima suffered less. The results of these studies showed that restoring Korea's forests to broad-leaved trees with higher fire resistance and inducing their succession is more appropriate for forest fire management than coniferous forests.

Keywords: NBR(Normalized Burn Ratio), wildfire burn severity, vegetation type, stand age, forest species

I. 서론

최근 한반도는 기온과 강수량이 증가하는 반면 상대습도가 감소하는 기후적 불안정성이 확대되고 있다(Kim et al. 2018; Lee 2018; Choi & Chae 2025). 이러한 기후 패턴의 변화는 산불 발생 빈도의 증가로 이어지고 있으며 특히 겨울과 봄철 평균습도의 감소 추세는 봄철 산불의 발생 가능성을 더욱 높이는 요인으로 작용하고 있다(Sung et al. 2010; Jo et al. 2023). 기후변화는 산불의 규모와 심각성을 더욱 증가시키는 것으로 보고하고 있어(Wasserman & Mueller 2023) 식생에 관련된 산불의 발생 특성을 이해하는 것은 중요하다.

우리나라에서 발생한 산불의 주요 원인은 입산자의 실화, 성묘객의 부주의, 쓰레기 소각, 담뱃불 등의 인위적 요인인 것으로 알려져 있고, 2000년대 이후에는 농경지 인근의 불법 소각 및 생활 부주의로 인한 산불 발생 비율이 증가하고 있다(Lee et al. 2012). 최근에는 기후변화로 인한 건조한 대기 조건과 맞물려 대형산불로 확산하는 사례가 빈번하게 나타나고 있다(Kim et al. 2013).

2025년 3월 22일 발생한 의성산불은 이러한 복합적 요인 등 기후변화에 따른 건조 기후와 인재가 결합된 초대형 산불의 대표적 사례이며, 의성산불 등 영남지역에서 2025년 봄철 발생한 산불의 피해는 삼림 약 994 km²(여의도 면적의 약 343배), 피해액은 약 1조 818억 원에 달한다(Government of the Republic of Korea 2025). 의성산불은 의성군에서 발화해 주변의 안동시, 청송군, 영양군, 영덕군 지역까지 전방위로 확대된 대형산불이다(Figure 1). 즉, 국지적으로 발생한 산불이 단기간에 광역적 피해로 확산할 수 있음을 보여주는 사례로서 산불 위험 예측과 대응 전략 수립의 중요성을 부각시켰다. 산불은 연료(Fuel), 산소(Oxygen), 열(Heat, 발화원)의 3요소가 충족되어야 하며, 연료 유형, 기상 및 지형적인 요인 등에도 강한 영향을 받는다(Jeon & Chae 2017). 삼림의 구성 식물종들은 연료에 해당되며, 이들의 특성은 산불의 발생 양상에 큰 영향을 미친다. 한편, 산림청에서 국회에 제출한 '영남권 산불 복구 비용 및 기간'에서 긴급벌채, 산사태 예방, 조림복원 및 관리 등의 비용을 2조원으로 추산하였고 복구기간도 2030년까지 5년 정도로 추정하여 인위적인 복구가 상당히 어렵다는 것을 알 수 있었다.

전국적으로 운영 또는 건설 중인 공공주택과 산업단지 등 대규모 개발사업 중 일부는 내부에 공원 및 완충녹지를 포함하고 있거나 삼림에 인접하고 있으며, 태양광발전단지와 풍력발전단지들은 상당 부분 삼림 내부에 위치하고 있어 대형산불과 각종 화재에 취약할 수 있다. 따라서 각종 개발사업의 입지선정 및 환경영향평가 과정에서도 산불 영향권 내의 삼림 구성요소 및 특성을 이해하는 것은 필요하다.

산불의 발생 원인과 피해 규모에 대한 연구는 지속적

www.kci.go.kr

으로 이루어지고 있으나(Kim et al. 2013), 산불의 확산 양상에 큰 영향을 미치는 삼림에 대한 정량적 분석 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. Yi & Lee(2025)는 의성산불과 임상도의 정보 및 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)와의 관계를 분석한 바 있지만, 수종 등에 대한 구체적 분석은 이루어지지 않았다. 따라서, 본 연구는 산불 피해 강도와 삼림의 식생 유형과 영급, 우점 식물종 간의 상관관계를 분석하여 온실가스 배출 저감 등 기후변화 대응 차원의 삼림 조성 및 관리뿐만 아니라 산지 주변에서 진행되는 풍력 및 태양광 발전, 공공주택지구, 산업단지 등의 개발사업 추진 시 산불로 인한 시설물 화재 예방과 인명 및 재산 피해 저감을 위한 효율적인 삼림생태계 관리 전략 수립에 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

본 연구의 대상지는 의성산불로 인한 피해지역이다. 의성산불은 2025년 3월 22일에 경북 의성군 안평면 일대에서 발화하여 주변 의성군, 안동시, 청송군, 영양군, 영덕군에 걸쳐 광역적으로 피해가 발생한 대형산불이며(Figure 1), 2025년 3월 30일에 완전히 진화되었다. 피해 규모는 역대 3번째에 해당한다.

의성산불 영향권에 포함되는 의성군·안동시·청송군·영양군·영덕군은 모두 낙동강 중류권에 위치한 내륙성 기후의 특성을 보이며, 기상청 1991~2020 평년값 기준으로 연평균 기온은 대체로 12°C 내외, 연평균 강수량은 약 1,100mm 내외이다. 봄철(3~4월)에는 지역 평균 상대습도가 연중 최저 수준(중앙값 기준 약 55–60%)으로 낮고 강수일수도 적어 건조특보가 빈발하는 시기로 알려져 있다(KMA 2023). 이러한 저습·저강수의 봄철 조건은 산불 위험 증가 요인으로 작용한다.

2. 데이터 수집 및 분석

본 연구에서 위성영상은 Sentinel-2A/B MSI(Multi Spectral Instrument) Level-2A 제품(지표반사율 보정 완료 영상, cell size 20m × 20m)을 이용하였다. 관련 데

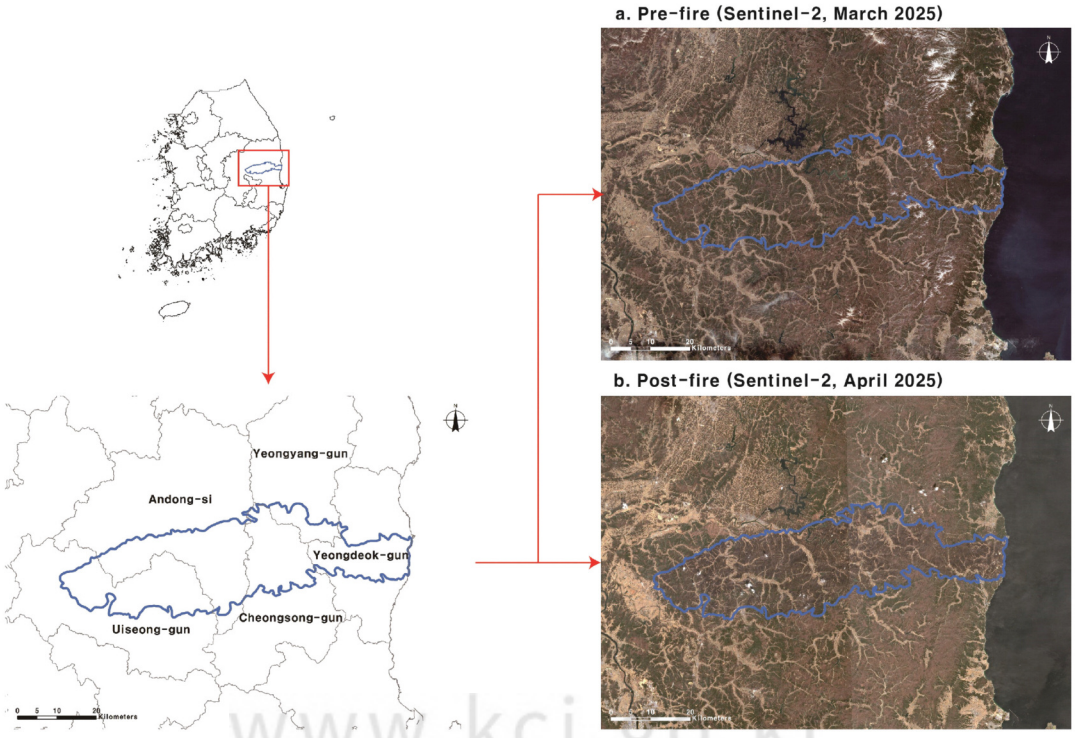


Figure 1. Study site and satellite images pre-fire (a) and post-fire (b)

www.kci.go.kr

이터는 Copernicus Open Access Hub(https://scihub.copernicus.eu)에서 확보하였다. 산불 이전 자료는 2025년 3월 14일(Figure 1-a), 산불 이후 자료는 2025년 4월 8일(Figure 1-b)의 위성영상을 이용하였다.

삼림과 관련된 식생구조 데이터는 산림청에서 제공하는 대축척 임상도(1:5000, shp 포맷, 2025.4.30)를 이용하였다. 임상도는 산림공간정보서비스(https://www.forest.go.kr)에서 확보하였다. 임상도 자료에서 식생유형, 우점 수종, 영급 자료를 추출하여 분석에 이용하였다.

산불 발생 지역의 최외곽 경계를 설정하는 것은 모호하기 때문에 수치지형도에서 온전하게 산불이 발생한 것으로 확인되는 도엽(1:5,000)을 대상으로 정량적 분석을 수행하여 관련 특성을 이해하였다. 산불 이후의 위성사진에서 육안으로 확인된 산불 발생 지역은 295개 도엽으로 추정되었다. 이 가운데 본 연구에서는 산불 경계 내부에 완전히 포함된 171개 도엽을 중점 분석하였다. 수집된 위성영상 데이터로 정규산불피해비율(NBR, Normalized Burn Ratio)을 산출하였고, 임상도 데이터와 동일한 단위격자(픽셀)로 중첩하여 통계적 분석을 수행하였다. 분석에 사용된 프로그램은 ArcGIS, Ms-Excel, SPSS 등이다. 분석을 위한 단위격자는 Sentinel-2A 위성영상의 공간 해상도를 고려하여 20m×20m로 하였다.

3. 정규산불피해비율(NBR)과 산불피해심각도(dNBR) 산정

정규산불피해비율(NBR, Normalized Burn Ratio)은 산불피해의 심각도를 잘 반영한다(Chen et al. 2011; Giddey et al. 2022; USGS 2025). 특히, 산불 발생 전후의 식생 상태 변화 및 회복 분석에 많이 사용되며(Schepers et al. 2014; Youn & Jeong 2019), 정규산불피해비율(NBR)은 근적외선(NIR)과 단파장 적외선(SWIR) 밴드로 계산된다(Key & Benson 2006). 근적외선은 Sentinel-2A 위성영상의 Band_8(중심파장 842nm)을, 단파장 적외선은 Band_12(중심파장 2,190nm)를 사용하였다.

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

$$dNBR = NBR_{pre\text{-}fire} - NBR_{post\text{-}fire}$$

산불피해심각도(Burn severity; dNBR, Difference Normalized Burn Ratio)는 산불발생 이전의 $NBR(NBR_{pre\text{-}fire})$값과 이후의 $NBR(NBR^{post\text{-}fire})$ 값 차이를 통해 산출한다. dNBR의 값이 클수록 산불로 인한 피해가 큰 것으로 해석된다.

4. 산불피해심각도(dNBR) 등급 구분

산불피해심각도에 대한 등급화는 추출된 dNBR 값을 기반으로 4개 구간으로 구분하였다(Table 1)(Bilgiç et al. 2023; Yi & Lee 2025; USGS 2025). 산불피해가 거의 없는 경우(“피해없음”, dNBR 0.100 미만), 지표화(地表火, Surface Fire) 정도의 약한 피해를 받은 경우(“약함”, dNBR 0.100~0.270), 수간화(樹幹火, Stem Fire) 정도의 중간 피해를 받은 경우(”보통”, dNBR 0.270~0.440), 수관화(樹冠火, Crown Fire) 정도의 가장 강한 피해를 받은 경우(“강함”, dNBR 0.440 초과)로 구분한다. 통상적으로 약한 피해를 받은 경우는 식생이 빠르게 복원되지만 강한 피해를 받은 경우 대부분의 식생이 소실되었기 때문에 식생 복원이 매우 느리게 진행된다(Table 1).

Table 1. Classification of burn severity

dNBR range	Burn severity level	Description
< 0.100	Unburned	No visible vegetation change or negligible damage
0.100~0.270	Low severity	Minor leaf loss; partial damage, vegetation expected to recover naturally
0.270~0.440	Moderate severity	Considerable vegetation loss; partial canopy damage and soil exposure
> 0.440	High severity	Complete vegetation loss; soil surface fully exposed, indicating severe burning

www.kci.go.kr

III. 결과 및 고찰

1. 산불피해심각도를 이용한 산불피해 현황

Sentinel-2A 위성영상을 활용하여 의성산불 발생지역의 피해 정도와 발생 현황을 분석하였다(Table 2, Figure 3-b). 산불 발생 경계를 위성영상 분석 결과인 dNBR 값 0.100 이상을 적용하여 산정된 산불 피해 면적은 약 1,402.1km²로 추정되었다. 특히, 산불 발생 지역 중에 일부분만 포함된 도엽은 제외하고 경계 내부에서 온전하게 산불이 발생한 도엽(1:5,000, 171개)만을 중점 분석하였을 경우 산불 발생지역은 약 823.7km² (2,059,340개 픽셀)였다. 이 공간에 대한 dNBR 분석에서 피해가 없는 지역의 면적은 197.59km²(24.0%)인 것으로 나타났다. 산불피해심각도가 "약함(지표화)" 등급에 해당하는 면적은 356.50km²(43.3%)로 가장 많았고, "보통(수간화)" 등급의 면적은 144.33km²(17.5%)였으며, "강함(수관화)" 등급의 면적은 125.32km²(15.2%)인 것으로 분석되었다.

산불 피해가 발생하지 않은 지역에는 거주지, 경작지, 수역, 도로와 나지 등도 8.56km²가 포함되어 있으나 실제 대부분은 삼림 지역인 것으로 나타나 지역별 식생유형, 수종, 삼림 구조 등 생태적 특성뿐만 아니라 다양한 요인에 의해 산불 피해도에 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다.

산불피해심각도가 "약함"으로 분석된 삼림의 면적이 가장 넓었는데, 이는 산불로 인한 피해지역 상당 부분이 지표화이거나 부분적 연소 및 식생 손실이 비교적 적은 형태로 나타났음을 의미한다. 여름철 산불피해심각도 "약함" 지역의 현장 조사에서 산불이 발생한 당해연도에 임상이 지피 식생으로 피복되었고 수목도 정상적으로 생존하는 것으로 나타나 자연적으로 식생이 복원되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 피해가 큰 "보통"과 "강함" 역시 약 32.7%를 차지하기 때문에 그 피해는 큰 것으로 이해된다. 특히, 산불피해심각도가 "강함"으로 판정되어 수관화가 이루어진 곳은 대부분의 수목이 고사하였기 때문에 빠른 복원이 필요할 것으로 판단되었다. 이번 의성산불처럼 매우 광범위하게 발생한 산불은 사후관리나 복원이 매우 어렵고 인적·물적 피해도 매우 크다. 최근 기후변화로 인해 발생빈도가 급증하고 대형화되고 있으므로 산불의 사전예방 및 피해 저감을 위해서는 산불의 연료인 수목의 식생유형, 우점 수종, 수령, 밀도 등과 산불피해심각도와의 관계를 파악하고 이를 토대로 산불에 효율적인 삼림 관리방안을 수립해야만 할 것이다.

2. 식생유형별 피해 특성

산불피해심각도와 삼림 구성의 식생 유형 및 우점 식물종과의 상관성을 분석하였다. 일반적으로 임상도에서 삼림의 식생 유형은 크게 활엽수림, 침활혼효림, 침엽수림, 기타(비삼림, 죽림)로 대구분된다. 본 연구대상 피해지역 내 중점 분석 지역의 식생 유형은 침염수림이 438.04km²(53.1%)로 가장 넓게 분포하고, 다음으로 활엽수림이 245.26km²(29.7%), 침활혼효림이 119.07 km²(14.5%)이며, 비산림 21.23km²(2.6%), 죽림 0.13km² (0.1%) 순인 것으로 나타났다(Table 3). 동일한 의성산불 피해지역을 대상으로 연구한 Yi & Lee(2025)의 결과와 비교하였을 때, 식생유형의 구성 비율은 침엽수림 51.3%, 활엽수림 32.1%, 침활혼효림 13.9%로 분석되어 본 연구와 유사하였으나 피해면적은 침엽수림 594.95 km², 활엽수림 371.61km², 침활혼효림 161.48km²로 나타나 본 연구보다 약간 넓었다. 이는 Yi & Lee(2025)의 경우, 산불 발생 지역 전체 삼림을 분석한 반면, 본 연구에서는 경계선 내부에 완전하게 포함된 도엽의 임상도 자료만을 사용하였기 때문에 산불 피해 면적에서 차이를 보인 것으로 추정된다.

산불 피해지역 내 넓은 공간을 피복하는 활엽수림, 침활혼효림, 침엽수림과 산불피해심각도와의 관계를 살펴보았다(Table 3, Figure 2, 3). 활엽수림과 침활혼효림, 침엽수림 모두 산불피해심각도 등급은 "약함"이 가장 우세하였다. 각각 57.3%, 48.3%, 33.7%로 나타났

Table 2. Status of burn severity classification (unit: km²)

Burn severity level	Unburned	Low	Moderate	High	Total
Wildfire area (Ratio)	197.59 (24.0%)	356.50 (43.3%)	144.33 (17.5%)	125.32 (15.2%)	823.74 (100.00%)

www.kci.go.kr

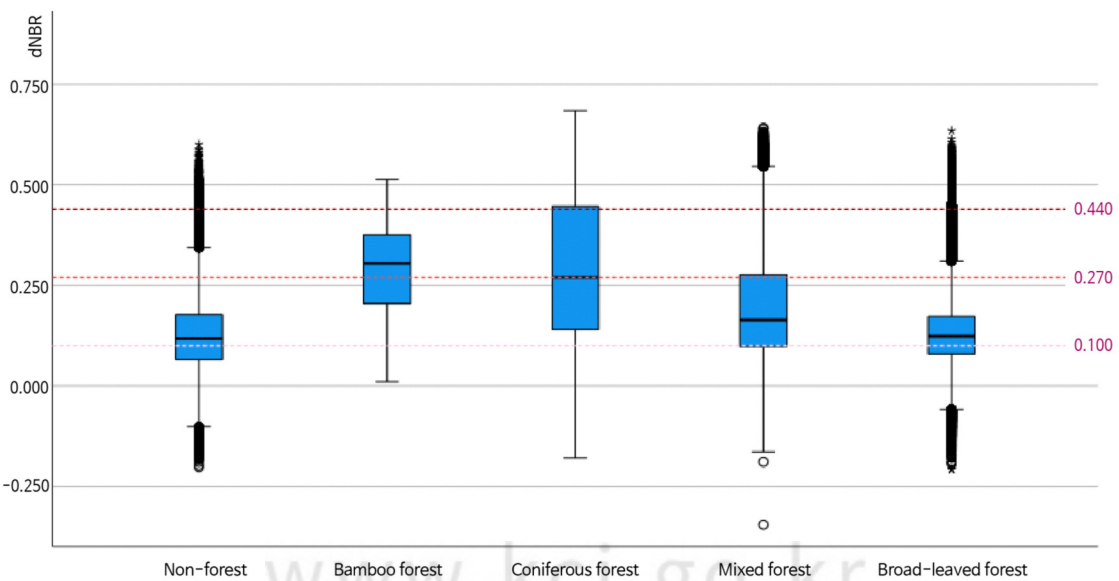
으며, 활엽수림의 비율이 가장 높았고 침엽수림의 비율이 가장 낮았다. 산불피해심각도에서 “강함” 등급의 구성 비율은 침엽수림이 26.3%로 가장 높았고, 침활혼효림이 6.9%로 중간이고, 활엽수림이 0.6%로 매우 낮은 비율을 차지하였다. 반대로 산불 피해가 없거나 산불피해심각도가 “낮음” 등급으로 평가된 경우는 활엽수림의 비율이 가장 높았고(각각 35.7%, 57.3%), 침활혼효림(각각 25.7%, 48.3%), 침엽수림(각각 16.2%, 33.7%) 순으로 낮았다. 즉, 침엽수림은 산불에 대한 민감성이 높고 활엽수림은 산불 저항성이 높았으며, 침활혼효림은 그 중간 정도인 것으로 분석되었다.

산불피해심각도의 평균값도 이와 유사하게 산출되었다. 산불피해심각도 평균값은 죽림이 0.293±0.110으로 가장 높았고 다음으로 침엽수림이 0.287±0.169이었고, 혼효림이 0.197±0.133, 활엽수가 0.134±0.086로 가장 낮게 나타났다(Figure 2, Table 3). Yi & Lee(2025)가 수행한 식생 유형별 산불피해심각도의 평균값은 각각 0.335(죽림), 0.294(침엽수림), 0.268(혼효림), 0.204(활

Table 3. Characteristics of burn severity by vegetation types (unit: km²)

Vegetation types	dNBR		Burn severity class				
	Average	S.D.	Unburned	Low	Moderate	High	Total
Non-forest	0.132	0.105	8.56 (40.3%)	10.60 (49.9%)	1.76 (8.3%)	0.32 (1.5%)	21.23 (2.6%)
Bamboo forest	0.293	0.110	0.01 (3.7%)	0.05 (37.3%)	0.06 (49.2%)	0.01 (9.8%)	0.13 (0.02%)
Coniferous forest	0.287	0.169	70.97 (16.2%)	147.80 (33.7%)	104.06 (23.8%)	115.21 (26.3%)	438.04 (53.2%)
Mixed forest	0.197	0.133	30.64 (25.7%)	57.47 (48.3%)	22.71 (19.1%)	8.26 (6.9%)	119.07 (14.5%)
Broad-leaved forest	0.134	0.086	87.42 (35.7%)	140.59 (57.3%)	15.74 (6.4%)	1.51 (0.6%)	245.26 (29.8%)
Total	0.224	0.159	197.59 (24%)	356.50 (43.3%)	144.33 (17.5%)	125.31 (15.2%)	823.74 (100.0%)

* Non-forest: includes cultivated land, orchard, water body, bare land, residential area, shrub, and grassland



www.kci.go.kr

Figure 2. Characteristics of dNBR(burn severity) by vegetation types.

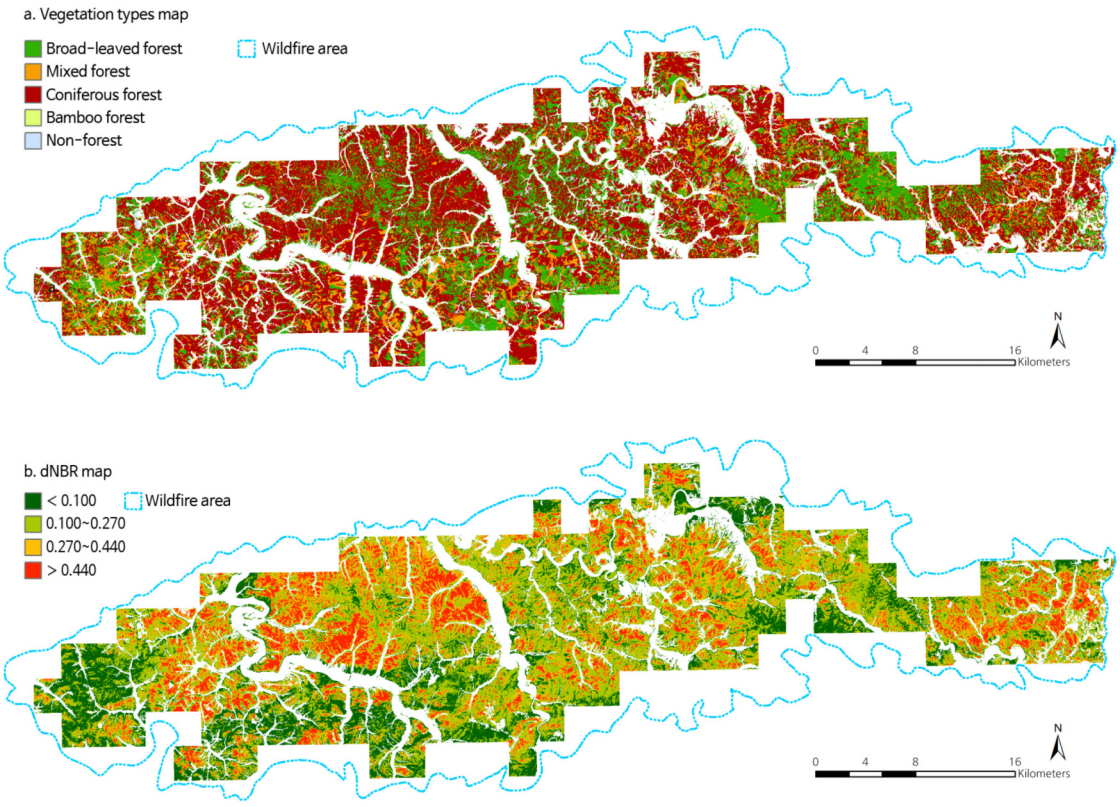


Figure 3. Vegetation types map (a) and dNBR (burn severity) map (b) in the Uiseong wildfire area.

엽수림)로 조사되어 본 연구와 유사하였다. 두 연구 결과 모두 죽림과 침엽수림의 산불피해가 심각하였고 활엽수림의 피해는 상대적으로 약한 것을 확인할 수 있었다.

특히, 침엽수림에서 산불 피해가 상대적으로 큰 "보통"과 "강함"이 50.1%로 절반 이상을 차지하는 것으로 분석되어 침엽수림은 상대적으로 산불 저항성이 낮아 피해가 크게 발생하였으며, 다른 연구 결과와도 유사하였다(Yi & Lee 2025).

식물은 수종에 따라 가연성이 다르기 때문에(Popović et al. 2021) 우점하는 수종은 산불의 강도와 확산에 큰 영향을 미친다. 흔히 높은 수지 함량, 고밀도 수관 등이 원인으로 침엽수가 활엽수에 비해 산불 발생 가능성이 높다(Park et al. 2024). 이러한 특성들로 활엽수림이 침엽수림에 비해 화재 확산을 늦추는데 더욱 유리하다(Johnson 1996). 본 연구에서도 이러한 특성에 따라 침엽수림이 활엽수림에 비해 산불 피해 정도가 컸으며, 침활혼효림은 중간 형태를 나타내었다. 이러한 특성은 산불 피해 강도와 식생 유형별 공간분포에서도 잘 나타난다(Figure 3). 공간적으로 침엽수림에 해당되는 지역에서 산불피해심각도 "강함"이 많이 분포하는 것을 알 수 있다. 따라서 의성산불처럼 광범위하고 대규모로 산불이 발생한 피해지역의 복구시 산불에 취약한 침엽수종 위주의 조림보다는 산불 저항성이 큰 활엽수종을 식재하거나 침엽수를 벌채하여 혼효림이나 활엽수림으로 인공 갱신하는 방법을 적용하거나 인위적으로 복원하지 않고 방치하여 자연적으로 활엽수림으로 천이를 유도하는 정책 도입을 검토할 필요성이 있다.

3. 영급별 피해 특성

산불피해지역 내 중점 분석 지역에서 삼림의 영급별 분포 면적은 4영급이 385.76km²(48.0%)로 가장 넓었고 다음으로 5영급이 277.37km²(34.6%)를 차지하여 산불 지역 삼림의 주요 구성 영급은 82.6%가 4~5영급인 것

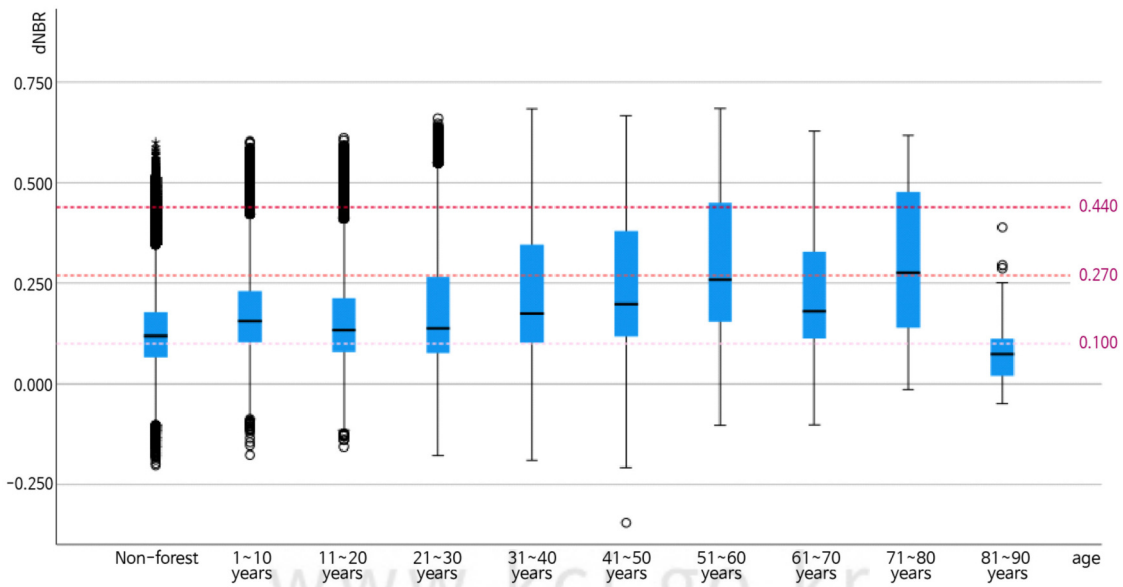
www.kci.go.kr

으로 조사되었다. 그 외 3영급 90.23km²(11.1%), 2영급 19.38km²(2.4%), 6영급 16.58km²(2.1%), 1영급 12.54km²(2.1%) 순이었고, 일부 7~9영급의 수목이 제한된 지역에 좁은 면적으로 분포하고 있었다(Table 4).

영급별 산불피해심각도 평균값은 8영급(0.301±0.180)이 가장 높았고 9영급(0.076±0.079)이 가장 낮았으나 이 두 영급의 분포 면적이 매우 협소하여 통계적 대표성과 신뢰성에 제한이 있을 것으로 추정되었다. 다만, 광범위하게 분포하는 영급에서는 전반적으로 1영급(dNBR 0.178±0.115)에서 6영급(dNBR 0.294±

Table 4. Characteristics of burn severity by stand age class (unit: km²)

Stand age classes	dNBR		Burn severity level				
	Average	S.D.	Unburned	Low	Moderate	High	Total
1st class (1~10years)	0.178	0.115	2.93 (23.4%)	7.33 (58.5%)	1.82 (14.5%)	0.46 (3.6%)	12.54 (1.6%)
2nd class (11~20years)	0.162	0.122	6.66 (34.3%)	9.43 (48.7%)	2.46 (12.7%)	0.83 (4.3%)	19.38 (2.4%)
3th class (21~30years)	0.188	0.155	31.06 (34.4%)	36.94 (40.9%)	11.69 (13.0%)	10.55 (11.7%)	90.23 (11.2%)
4th class (31~40years)	0.225	0.159	93.39 (24.2%)	165.46 (42.9%)	67.34 (17.5%)	59.57 (15.4%)	385.76 (48.1%)
5th class (41~50years)	0.245	0.159	53.10 (19.1%)	119.69 (43.2%)	55.50 (20.0%)	49.08 (17.7%)	277.37 (34.6%)
6th class (51~60years)	0.294	0.166	1.77 (10.7%)	6.78 (40.9%)	3.62 (21.8%)	4.40 (26.6%)	16.58 (2.1%)
7th class (61~70years)	0.223	0.165	0.06 (19.5%)	0.15 (49.4%)	0.05 (16.0%)	0.05 (15.1%)	0.31 (0.04%)
8th class (71~80years)	0.301	0.180	0.02 (15.5%)	0.05 (34.2%)	0.03 (20.2%)	0.04 (30.1%)	0.14 (0.02%)
9th class (81~90years)	0.076	0.079	0.03 (68.7%)	0.01 (28.8%)	0.01 (2.5%)	-	0.05 (0.01%)



www.kci.go.kr

Figure 4. Characteristics of dNBR(burn severity) by stand age class.

0.166)으로 영급이 증가할수록 산불피해심각도 평균값도 증가하는 경향을 보였고, 7영급(dNBR 0.223±0.165)부터는 다시 감소하는 추세를 보였다. 특히, 6영급 임목의 산불피해심각도 등급은 다른 영급들에 비해 산불 "피해없음"(10.7%)과 산불피해심각도 "약함" 등급(40.9%)의 비율이 상대적으로 낮았고, "보통" 등급(21.8%)과 "강함" 등급(26.6%)의 비율이 높게 나타났다. 이러한 결과는 삼림 발달의 중기~후기 단계인 4~6영급의 임목이 산불에 취약하여 피해가 큰 것으로 판단되었다(Table 4, Figure 4).

Yi & Lee(2025)는 침엽수림의 경우 산불피해심각도가 1영급(0.277)에서 5영급(0.307)까지 증가한 후 6영급(0.276)부터 감소하여 9영급(0.176)에서 최소가 되는 경향으로 분석하였다. 본 연구에서는 6영급까지 증가하다 감소하는 것으로 나타나 약간의 차이가 있으나 경향은 유사하였다. 이러한 특성은 수목의 연령이 증가하면서 비교적 양호한 숲으로 발달해 가는 삼림이 산불의 연료가 되는 낙엽, 가지 등 바이오매스를 많이 축적하고 연료의 연속성이 증가하기 때문에 피해가 큰 것으로 추정되었다(Yi & Lee 2025). 우리나라의 경우 1973년부터 추진된 제1차 산림녹화사업으로 4~5영급의 임목이 대부분을 차지하므로 산불피해 방지와 저감을 위한 삼림 관리 시 수목의 영급도 고려되어야 할 하나의 요인으로 인정된다.

4. 우점 수종별 피해 특성

의성산불 피해지역에서 산불 피해 강도와 수목의 특성간 관련성을 판단하고자 수종별 분포 현황과 수종별로 산불피해심각도 등급 비율 및 평균값을 산출하였다(Table 5, Figure 5). 산불발생 이전 대상지역에서 생육하고 있었던 우점 수종은 소나무가 394.61km²(47.8%)로 전체 면적의 약 절반 정도인 가장 넓은 면적을 차지하고 있었고, 다음으로 굴참나무 36.8km²(4.4%), 신갈나무 24.12km²(2.8%), 일본잎갈나무 18.06km²(2.1%), 리기다소나무 13.51km²(1.5%) 등의 순이었다. 1% 이하의 한정된 지역에서 소규모로 분포하는 우점 수종은 아까시나무, 잣나무, 곰솔, 상수리나무, 사시나무속, 자작나무, 밤나무 등이었다. 그 외 수종 명칭이 특정되지 않은 혼효림(14.4%)과 기타 참나무류(10.1%), 기타 활엽수(10.0%)도 상당한 면적을 차지하고 있었다. 특이한 점은 소나무와 참나무류를 제외하면 기재된 수종 대부분이 일본잎갈나무, 리기다소나무, 아까시나무, 자작나무, 밤나무, 백합나무, 오리나무 등 조림수종이었다. 이는 피해지역이 녹화사업을 실시한 구릉성 산지가 많았기 때문인 것으로 추정된다.

분포 면적이 0.2km²(500개 격자) 이상인 수종의 평균 산불피해심각도 값을 분석한 결과(Table 5, Figure 5), 침엽수림에 해당하는 소나무속(*Pinus*) 식물인 소나무(*P. desiflora*, 0.297±0.169), 곰솔(*P. thunbergii*, 0.274±0.151), 잣나무(*P. koraiensis*, 0.243±0.150), 리기다소나무(*P. rigida*, 0.231±0.167)와 편백(*Chamaecyparis obtusa*, 0.219±0.087)의 피해가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 그에 반해 우리나라 산지 활엽수림을 대표하는 참나무림(*Quercus*속)의 주요종인 신갈나무(*Q. mongolica*, 0.144±0.091), 굴참나무(*Q. variabilis*, 0.144±0.075), 기타 참나무류(Other oak species, 0.142±0.085), 상수리나무(*Q. acutissima*, 0.121±0.091)의 피해가 상대적으로 적었다. 또한, 사시나무속(*Populus species*, 0.130±0.088), 기타 활엽수(Other broad-leaved species, 0.121±0.086), 밤나무(*Castanea crenata*, 0.119±0.091), 고로쇠나무(*Acer pictum* var. *mono*, 0.091±0.068) 등 낙엽활엽수가 산불 저항성이 높은 수종인 것으로 평가되었다. 전반적으로 침엽수에서 피해가 크고 활엽수의 피해가 적은 것으로 나타났다. 다만, 특이한 점은 낙엽침엽수인 일본잎갈나무의 평균 산불피해심각도 값이 0.134로 산정되어 활엽수인 참나무류와 유사한 수치를 보였다는 것이다. 이는 일본잎갈나무가 산불발생 시기에 쉽게 불이 붙을 수 있는 잎이 탈락하였고 가지가 높은 지점에 위치하여 지표화가 수간화 또는 수관화로 확산될 인화성 연료와 연료 사다리인 가지와 잎이 없었기 때문인 것으로 추정되었다(Yi & Lee 2025). 결국, 산불피해심각도는 침엽수종이냐 활엽수종이냐라는 식생유형도 중요하지만 산불발생 시기에 인화성이 높은 연료(잎)가 수관 상층부에 존재 여부와 지표화가 수관화로 확산될 수 있는 사다리 연료(가지와 잎)가 수간에 분포하는지 등 수종의 생태적 특성도 중요한 요인일 것으로 판단되었다.

산불피해심각도 등급에서 소나무의 구성 비율은

www.kci.go.kr

Table 5. Characteristics of burn severity by dominant tree types (unit: km²)

Dominant tree types	dNBR		Burn severity class				
	Average	S.D.	Unburned	Low	Moderate	High	Total
Pinus densiflora	0.297	0.169	58.65 (14.9%)	128.32 (32.5%)	96.63 (24.5%)	111.01 (28.1%)	394.61 (47.9%)
Mixed tree species	0.197	0.133	30.64 (25.7%)	57.47 (48.3%)	22.71 (19.1%)	8.26 (6.9%)	119.07 (14.5%)
Other oak species	0.142	0.085	26.21 (31.2%)	51.09 (60.8%)	6.17 (7.4%)	0.48 (0.6%)	83.96 (10.2%)
Other broad-leaved trees	0.121	0.086	35.98 (43.2%)	42.38 (50.9%)	4.49 (5.4%)	0.43 (0.5%)	83.27 (10.1%)
Quercus variabilis	0.144	0.075	9.84 (26.8%)	24.73 (67.2%)	2.06 (5.6%)	0.16 (0.4%)	36.80 (4.5%)
Quercus mongolica	0.144	0.091	7.92 (32.8%)	13.94 (57.8%)	2.00 (8.3%)	0.27 (1.1%)	24.12 (2.9%)
Larix kaempferi	0.134	0.097	6.69 (37.1%)	9.66 (53.4%)	1.56 (8.7%)	0.15 (0.8%)	18.06 (2.2%)
Pinus rigida	0.231	0.167	3.75 (27.7%)	4.67 (34.6%)	2.79 (20.7%)	2.30 (17.0%)	13.51 (1.6%)
Robinia pseudoacacia	0.106	0.087	3.95 (53.2%)	3.11 (41.8%)	0.31 (4.2%)	0.06 (0.8%)	7.43 (0.9%)
Pinus koraiensis	0.243	0.150	1.27 (18.1%)	3.04 (43.4%)	1.75 (25.0%)	0.94 (13.5%)	7.00 (0.8%)
Pinus thunbergii	0.274	0.151	0.53 (12.4%)	1.72 (40.3%)	1.21 (28.4%)	0.81 (18.9%)	4.27 (0.5%)
Quercus acutissima	0.121	0.091	1.63 (44.5%)	1.78 (48.7%)	0.22 (6.0%)	0.03 (0.8%)	3.66 (0.4%)
Populus spp.	0.130	0.088	0.76 (38.6%)	1.08 (54.4%)	0.12 (6.0%)	0.02 (1.0%)	1.98 (0.2%)
Shrub	0.124	0.075	0.52 (35.8%)	0.87 (59.9%)	0.06 (3.8%)	0.01 (0.5%)	1.46 (0.2%)
Betula platyphylla	0.184	0.112	0.32 (22.7%)	0.82 (58.1%)	0.23 (16.5%)	0.04 (2.7%)	1.41 (0.2%)
Juglans regia	0.162	0.074	0.10 (13.5%)	0.58 (79.4%)	0.05 (6.4%)	0.01 (0.7%)	0.73 (0.1%)
Castanea crenata	0.119	0.091	0.27 (43.0%)	0.32 (50.7%)	0.03 (5.1%)	0.01 (1.2%)	0.62 (0.1%)
Acer pictum subsp. mono	0.091	0.068	0.32 (55.3%)	0.25 (43.0%)	0.01 (1.7%)	-	0.57 (0.1%)
Chamaecyparis obtusa	0.219	0.087	0.01 (4.2%)	0.20 (70.6%)	0.07 (23.6%)	0.01 (1.6%)	0.28 (0.03%)
Liriodendron tulipifera	0.183	0.110	0.04 (16.0%)	0.18 (68.1%)	0.03 (10.5%)	0.01 (5.4%)	0.26 (0.03%)
Ginkgo biloba	0.164	0.089	0.05 (22.9%)	0.13 (65.2%)	0.02 (10.1%)	0.01 (1.8%)	0.20 (0.03%)
Zelkova serrata	0.142	0.070	0.05 (26.3%)	0.14 (72.2%)	0.01 (1.5%)	-	0.19 (0.02%)
Alnus japonica	0.170	0.076	0.02 (9.7%)	0.13 (80.2%)	0.02 (9.4%)	0.01 (0.7%)	0.16 (0.02%)
Prunus serrulata	0.156	0.062	0.02 (16.9%)	0.08 (77.2%)	0.01 (5.9%)	-	0.11 (0.01%)
Abies holophylla	0.211	0.153	0.01 (28.1%)	0.02 (33.8%)	0.02 (33.1%)	0.01 (5.0%)	0.05 (0.01%)
Cryptomeria japonica	0.103	0.027	0.01 (43.1%)	0.01 (56.9%)	-	-	0.02 (0.00%)
Other coniferous species	0.235	0.065	-	0.01 (75.6%)	0.01 (24.4%)	-	0.02 (0.00%)
Picea jezoensis	-0.019	0.027	0.01 (100%)	-	-	-	0.01 (0.00%)
Non-forest*	-	-	8.04 (40.4%)	9.78 (49.1%)	1.77 (8.9%)	0.32 (1.6%)	19.91 (2.4%)

* Non-forest: includes cultivated land, orchard, water body, bare land, residential area, bamboo forest, and grassland

www.kci.go.kr

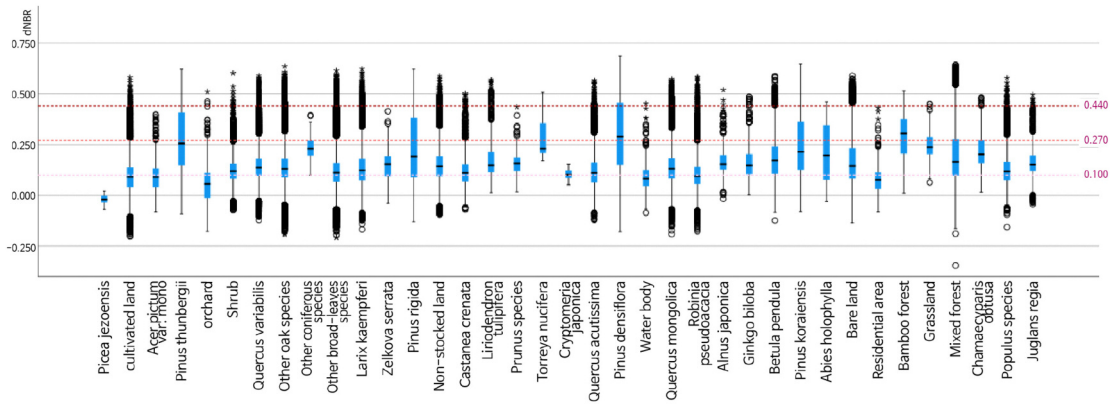


Figure 5. Characteristics of dNBR(burn severity) by dominant tree types.

"강함" 28.1%, "보통" 24.5%, "낮음" 32.5%, "피해없음" 14.9%로 분석되어 "강함"과 "보통" 등급이 52.6%로 매우 높은 반면, 신갈나무의 경우 "강함" 1.1%, "보통" 8.3%, "낮음" 57.8%, "피해없음" 32.8%로 나타나 "강함"과 "보통" 등급의 비율이 9.4%로 매우 낮게 평가되었다. 즉, 침엽수인 소나무는 산불에 취약하고 활엽수종이 산불에 대한 저항성이 높다는 것으로 인식할 수 있는 결과이며, 다른 연구 결과와 유사하다(González et al. 2007; Lee et al. 2009; Seo & Choung 2014; Park 2024).

2012년 현존식생도 분석에서 우리나라 삼림은 소나무군락(26.6%)이 가장 넓고, 신갈나무군락(18.9%), 소나무-굴참나무군락(6.3%) 등의 순이다(NGII 2020). 중부지역에서도 소나무군락이 17.17%로 가장 넓고, 신갈나무군락 9.2%, 소나무-굴참나무군락 6.2% 등의 순이다(Cho et al. 2021). 침엽수림이 우점하는 이러한 우리나라의 삼림 구조는 점차 활엽수림으로의 자연적인 천이가 지속되고 있다(Kim 1992; Choung et al. 2020; Kim et al. 2022). 이는 우리나라가 속한 냉온대 삼림을 신갈나무아군강(Quercenea mongolicae Kim 1992)의 신갈나무-철쭉꽃군목(Rhododendro-Quercetalia mongolicae Kim 1990)으로 구분하는 것에서 알 수 있다(Lee 2025). 소나무속의 식물로 구성되는 침엽수림은 산불에 취약하고 생존 가능성이 낮지만 참나무류로 구성된 활엽수림은 생존 가능성이 높고 재생능력도 뛰어나다(Choung et al. 2004; Seo et al. 2013). 이 때문에 산지를 참나무류와 같은 활엽수림으로 유지·관리하는 것은 산불발생 빈도 및 강도를 줄일 수 있는 효과적인 방법이다. 하지만 송이 생산 등의 여러 목적으로 삼림을 소나무림으로 조성 및 유지·관리하는 경우가 빈번하다는 점에서 산불로 인한 피해를 줄일 수 있는 맞춤식 방화적 삼림관리의 도입이 필요하다.

IV. 결론

본 연구에서는 위성영상 자료를 활용하여 2025년 3월에 발생한 의성산불의 피해 현황을 조사하였고, 식생유형과 수종, 영급과 산불피해심각도 간의 연관성을 분석하였다.

1. 분석된 산불 피해 면적은 823.7km²이었고 산불피해심각도 등급 비율은 "약함(지표화)"이 43.3%, "보통(수간화)" 17.5%, "강함(수관화)" 15.2%였으며, 피해가 없는 지역이 24.0%로 나타났다. 즉, 많은 지역에서 자연복원이 가능한 지표화 형태로 산불이 진행되었으나 인위적 피해 복구가 필요한 수간화나 수관화가 진행된 지역도 약 32.7%를 차지하는 것으로 분석되었다.

2. 식생유형별 산불피해심각도 평균값은 죽림(0.293)이 가장 높았고, 다음으로 침엽수림(0.287), 혼효림(0.197) 순이었고, 활엽수림(0.134)이 가장 낮았다. 또한, 산불피해심각도 "강함" 등급의 비율이 침엽수림(26.3%)에서 가장 높았고, 활엽수림(0.6%)이 가장 낮은 반면 "약함" 등급에서 활엽수림(57.3%)에서 가장 높았고, 침엽수림(33.7%) 가장 낮았다. 즉, 산불 저항성은 침엽수림보다 활엽수림에서 높다는 것을 알 수 있었다.

3. 영급별 산불피해심각도 평균값은 1~3영급이 낮았

www.kci.go.kr

고 4~6영급에 해당하는 천이 중기~후기에 해당되는 숲에서 피해가 크게 발생하였으며 그 이후로는 감소하는 경향을 보였다.

4. 우점 수종별 산불피해심각도는 소나무속(Pinus) 식물인 소나무, 곰솔, 잣나무, 리기다소나무 순으로 피해가 컸고, 우리나라 산지 활엽수림을 대표하는 참나무림(Quercus속)의 주요종인 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무 등은 피해가 적었다. 낙엽침엽수인 일본잎갈나무는 참나무림과 유사한 값을 보였다.

현재 우리나라의 숲은 활엽수림으로의 자연적인 천이가 지속되고 있으나 여전히 침엽수림이 우점하고 있는 상황이고 기후변화로 인해 산불이 빈번하게 발생하며 대형화되는 추세이다. 그럼에도 불구하고 화재에 대한 가연성과 확산성이 높고 산불에 취약하며 생존 및 재생능력이 낮은 침엽수림으로 조성 및 유지·관리하는 경우가 빈번하여 산불로 인한 피해가 증가될 것으로 예상된다. 최근 산림 내부 및 인접한 지역에 재생에너지 발전시설이나 산업단지 및 주거시설 등이 조성되어 이들 지역에는 화재예방적인 삼림 관리방안의 도입이 시급하다. 따라서 상기 결과를 토대로 산불 발생빈도와 강도를 줄일 수 있도록 주요 시설물 주변에서의 산불 완충공간을 확보, 내화성 수종 식재 및 활엽수림으로 수종 갱신 등의 방안을 환경보전방안에 포함하는 환경영향평가 검토 지침을 마련하여 시행하고 산불 예방에 효율적인 산림생태계 유지·관리방안을 마련하도록 제한한다.

사사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2025-01-01-036).

References

Bilgiç, E., Tuygun, G. T. & Gündüz, O. (2023). Development of an emission estimation method with satellite observations for significant forest fires and comparison with global fire emission inventories: Application to catastrophic fires of summer 2021 over the Eastern Mediterranean. *Atmos. Environ., 308*, 119871.

Chen, X., Vogelmann, J. E., Rollins, M., Ohlen, D., Key, C. H., Yang, L., Huang, C. Q., & Shi, H. (2011). Detecting post-fire burn severity and vegetation recovery using multitemporal remote sensing spectral indices and field-collected composite burn index data in a ponderosa pine forest. *International Journal of Remote Sensing, 32*(23), 7905-7927. https://doi.org/10.1080/01431161.2010.524678.

조은숙, 김미진, 문다휘, 조종훈, 지용주, 조동길. (2021). 온대중부 산림복원을 위한 식생군락구조 연구. 한국환경생태학회 학술대회논문집, 2121(2), 9-10.

Cho E. S., Kim M. J., Moon D. H., Cho J. H., Ji Y. J., & Cho D. G. (2021). A study on vegetation community structure for forest restoration in the temperate central region, Seoul, Korea. *The Journal of Korean Society of Environmental Ecology. Academic Conference Proceedings, 2021*(2), 9-10.

Choi J. & Chae H. (2025). Assessing wildfire risk in South Korea under climate change using the Maximum Entropy Model and shared socioeconomic pathway scenarios. *Atmosphere, 16*(1), 5. https://doi.org/10.3390/atmos16010005.

Choung Y. S., Lee B. C., Cho J. H., LEE K. S., Jang I. S., Kim S. H., Hong S. K., Jung H. C., & Choung H. L. (2004). Forest responses to the large-scale east coast fires in Korea. *Ecological Research, 19*(1), 43-54. https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00607.x.

Giddey, B. L., Baard, J. A., & Kraaij, T. (2022). Verification of the differenced Normalised Burn Ratio (dNBR) as an index of fire severity in Afrotemperate forest. *South African Journal of Botany, 146*, 348-353. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.11.005.

González, J. R., Trasobares, A., Palahí, M., & Pukkala., T. (2007). Predicting stand damage and tree

www.kci.go.kr

survival in burned forests in Catalonia (North-East Spain). *Ann. For. Sci., 64*, 733-742.

대한민국정부. (2025). 산불로 무너진 국민의 삶, 정부가 함께 다시 일으켜 세웁니다. 보도자료(관계부처합동) 2025.5.2.

Government of the Republic of Korea. (2025). The government is working together to rebuild the lives of citizens devastated by wildfires. *Press Release*(joint Ministries) 2025.5.2.

전보람, 채희문. (2017). 한국의 산불 발생과 기상인자와의 관계 분석에 관한 연구. 한국방재학회논문집 , 17(5), 197-206. https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2017.17.5.197.

Jeon B. R., & Chae H. M. (2017). A study of analysis on relationship between Korea forest fire occurrence and weather factor. *J. of the Korean Society of Hazard Mitigation, 17*(5), 197-206. https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2017.17.5.197.

Jo H. W., Krasovskiy, A., Hong M., Corning, S., Kim W., Kraxner, F., & Lee W. K. (2023). Modeling historical and future forest fires in South Korea: The FLAM Optimization Approach. *Remote Sens., 15*, 1446. https://doi.org/10.3390/rs15051446.

Johnson, E. A. (1996). *Fire and vegetation dynamics: Studies from the North American boreal forest*. Cambridge University Press.

Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA) - FIREMON: Fire effects monitoring and inventory protocol. *USDA Forest Service*, RMRS-GTR-164-CD.

김은숙, 정병헌, 배재수, 임종환. (2022). 시계열 국가산림자원조사 자료를 이용한 전국 산림의 임상 변화 특성 분석과 미래 전망. 한국산림과학회지, 111(4), 461-472. https://doi.org/10.14578/JKFS.2022.111.4.461.

Kim E. S., Jung B. H., Bae J. S., & Lim J. H. (2022). Future prospects of forest type change determined from national forest inventory time-series data. *J. of Korean Society of Forest Science, 111*(4), 461-472. https://doi.org/10.14578/JKFS.2022.111.4.461.

Kim J. W. (1990). A syntaxonomic scheme for the deciduous oak forests of South Korea. *Abstract Botanica, 14*, 51-81.

Kim J. W. (1992). *Vegetation of Northeast Asia, on the syntaxonomy and syngeography of the oak and beech forests*. Ph.D. Dissertation of the University of Vienna, 314p.

김진욱, 부경온, 최준태. 변영화. (2018). 한반도 100년의 기후변화. 국립기상과학원, 제주. 31p.

Kim J. W., Bu K. O., Chio J. T., & Byeon Y. W. (2018). *Climate change on the Korean Peninsula over the past 100 years*. National Institute of Meteorological Sciences, Jeju, Korea, 31p.

김승수, 이종호, 이명욱. (2013). 50년간 통계분석을 통한 국내 산불과 기상과의 관계. 한국방재학회논문집, 13(5), 225-232. http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.5.225.

Kim S. S., Lee J. H., & Lee M. W. (2013). Characteristics of forest fires and weathers in domestic over the past 50 years through the statistics. *Journal of KOSHAM, 13*(5): 225-232. http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.5.225.

기상청. (2023). 경상북도 지역 기후 특성(1991-2020 관측자료). 지상청 지역 관측소, 대구. 검색: https://www.weather.go.kr/w/climate/statistics/korea-char.do.

KMA(Korea Meteorological Administration). (2023). Regional Climate Characteristics of Gyeongsangbuk-do (Based on 1991-2020 Normals). *KMA Regional Office*, Daegu. Available online: https://www.weather.go.kr/w/climate/statistics/korea-char.do.

이명욱, 이시영, 이종호. (2012). 산불통계로 본 우리나라의 산불특성 연구. 한국방재학회논문집, 12(5), 185-192.

Lee M. W., Lee S. Y., & Lee J. H. (2012). Study of the Characteristics of Forest Fire Based on Statistics of Forest Fire in Korea. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, 12*(5), 185-192.

www.kci.go.kr

이세림. (2018). 기후변화에 따른 국내 산불발생 빈도 분석 및 산불위험성 추정. 고려대학교 석사학위논문. 10.23186/korea.000000080008.11009.0000832.

Lee, S. R. (2018). *An analysis of forest fire occurrence by climate change and projection of forest fire risk*. Korea University Master's thesis. 10.23186/korea.000000080008.11009.0000832.

이율경. (2025). 식물자원 보전을 위한 생태조사와 분석: 자연생태조사 및 환경영향평가 실무서. 참생태연구소. 안양. 439p.

Lee Y. K. (2025). *Ecological Survey and Analysis for Plant Resource Conservation : Practice Manual for Natural Ecosystem Survey and Ecosystem Impact Assessment*. Institute of Chamecology. Anyang. 439p.

Lee S. W., Lee M. B., Lee Y. G., Won M. S., Kim J. J., & Hong S. K. (2009). Relationship between landscape structure and burn severity at the landscape and class levels in Samchuck, South Korea. *Forest Ecology and Management, 258*. 10.1016/j.foreco.2009.07.017.

국립지리정보원. (2020). 대한민국 국가지도집 II. 국립지리정보원. 수원.

NGII(National Geographic Information Institute). (2020). *National Atlas of the Republic of Korea II*. National Geographic Information Institute, Suwon, Korea.

Park J. H., Moon M. K., Green, T., Kang M. S., Cho S. S., Lim J. B., & Kim S. .J. (2024). Impact of tree species composition on fire resistance in temperate forest stands. *Forest Ecology and Management, 572*, 122279, ISSN 0378-1127. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122279.

Popović, Z., Bojović, S., Marković, M., & Cerdà, A. (2021). Tree species flammability based on plant traits: A synthesis. *Sci. Total Environ., 800*, 149625.

Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Borre, J. V., & Goossens, R. (2014). Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in Belgium using airborne imaging spectroscopy (APEX). *Remote Sensing, 6*(3), 1803-1826.

Seo H. S., & Choung Y. S. (2014). Enhanced vulnerability to fire by Pinus densiflora forests due to tree morphology and stand structure in Korea. *J. Plant Biol., 57*, 48-54.

서연옥, 정성철, 권진오, 김장수, 이영근, 이영진. (2013). 산불피해지 참나무류의 맹아발생 및 생장 특성. 산림과학 공동학술발표논문집, 2013-04-11, 171-172.

Seo Y. O., Choung S. C., Kwon J. O., Kim J. S., Lee Y. G., & Lee Y. J. (2013). Study on the growth of Quercus sprouts in the burned forest area of Yesan, South Korea. *Journal of Korean Society of Forest Recreation, Academic conference Proceedings*. 2013-04-11, Seoul, Korea. 171-172.

성미경, 임규호, 최은호, 이윤영, 원명수, 구교상. (2010). 기후 변화에 따른 한반도 산불 발생의 시공간적 변화 경향. 한국기상학회지, 20(1), 27-35.

Sung M. K., Lim G. H., Choi E. H., Lee Y. Y., Won M. S., & Koo K. S. (2010). Climate change over Korea and its relation to the forest fire occurrence. *Atmosphere, 20*(1), 27-35.

USGS(United States Geological Survey). (2025). Sentinel-2 MSI: Band designations and NBR index description. https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-burn-ratio.

Wasserman, T. N., Mueller, S. E. (2023). Climate influences on future fire severity: a synthesis of climate-fire interactions and impacts on fire regimes, high-severity fire, and forests in the western United States. *Fire Ecol., 19*, 43. https://doi.org/10.1186/s42408-023-00200-8.

Yi T. W. & Lee J. S. (2025). Evaluating and Predicting Wildfire Burn Severity Through Stand Structure and Seasonal NDVI: A Case Study of the March 2025 Uiseong Wildfire. *Fire. 8*(9), 363. https://doi.org/10.3390/fire8090363.

www.kci.go.kr

윤형진, 정종철. (2019). 다시기 Sentinel-2A 영상을 활용한 산불피해 변화탐지 및 NBR 오분류 픽셀 탐지. 대한원격탐사학회지, 35(6), 1107-1115. https://doi.org/10.7780/kjrs.2019.35.6.2.7.

Youn H. J. & Jeong J. C. (2019). Detection of forest fire and NBR mis-classified pixel using multi-temporal Sentinel-2A images. *Korean Journal of Remote Sensing, 35*(6), 1107-1115. https://doi.org/10.7780/kjrs.2019.35.6.2.7.

www.kci.go.kr