

## 산불 지역 인공 · 자연복원에 따른 Landsat영상 기반 식생지수 비교\*

노지선<sup>1)</sup> · 최재용<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 한국산지보전협회 산지정보화센터 연구원 · <sup>2)</sup> 충남대학교 농업생명과학대학 산림환경자원학과 교수

### Normalized Difference Vegetation Index based on Landsat Images Variations between Artificial and Natural Restoration Areas after Forest Fire\*

Noh, Jiseon<sup>1)</sup> and Choi, Jaeyong<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Forestland Information Center, Korea Forest Conservation Association, Researcher,

<sup>2)</sup> Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Professor.

#### ABSTRACT

This study aims to classify forest fire-affected areas, identify forest types by the intensity of forest fire damage using multi-time Landsat-satellite images before and after forest fires and to analyze the effects of artificial restoration sites and natural restoration sites. The difference in the values of the Normalized Burned Ratio(NBR) before and after forest fire damage not only maximized the identification of forest fire affected and unaffected areas, but also quantified the intensity of forest fire damage. The index was also used to confirm that the higher the intensity of forest fire damage in all forest fire-affected areas, the higher the proportion of coniferous forests, relatively. Monitoring was conducted after forest fires through Normalized Difference Vegetation Index(NDVI), an index suitable for the analysis of effects by restoration type and the NDVI values for artificial restoration sites were found to no longer be higher after recovering the average NDVI prior to the forest fire. On the other hand, the natural restoration site witnessed that the average NDVI value gradually became higher than before the forest fires. The study result confirms the natural resilience of forests and these results can serve as a basis for decision-making for future restoration plans for the forest fire affected areas.

\*본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2022462A00-2224-0201)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다

**First author** : Noh, Jiseon, Forestland Information Center, Korea Forest Conservation Association, Researcher.

Tel: +82-42-610-9077, E-mail: mysun@kfca.re.kr

**Corresponding author** : Choi, Jaeyong, Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Professor.

Tel: +82-42-821-5750, E-mail: jaychoi@cnu.ac.kr

**Received** : 15 September, 2022. **Revised** : 24 October, 2022. **Accepted** : 19 October, 2022.

Further analysis with various conditions is required to improve accuracy and utilization for the policies, in particular, spatial analysis through forest maps as well as review through site checks before and immediately after forest fires. More precise analysis on the effects of restoration will be available based on a long term monitoring.

**Key Words:** *Forest fire severity, Normalized burn ratio, Near-infrared, Short wave-infrared, Monitoring*

## I. 서 론

산불통계연보에 따르면 최근 10년 평균(2012~2021) 481건의 산불이 발생하여 약 1,087ha의 산림이 소실되는 피해를 입었으며, 그중 대형 산불은 강원도와 경상북도에 집중되었다. 산불 지역에 대한 직접피해액(임목 피해)은 약 82억2백만 원, 복구비로는 약 57억3천만 원이 산정되었다(Korea Forest Service, 2021).

2000년 강원도 삼척시 등 동해안 지역에서 우리나라 역사상 가장 큰 규모의 대형 산불이 발생하였고, 이후, 산불 지역 생태계 변화 및 복원정책 방향 제시를 위한 다양한 연구가 진행되었다. 산불피해지의 복원 방법은 인공복원과 자연복원 두 가지로 구분할 수 있는데, 인공복원의 경우 목재생산림과 같이 목재 생산을 통한 경제성 추구가 목적인 지역, 산지재해방지림과 같이 산사태 및 토사유출 등의 재해발생을 예방하기 위해 산림조성이 시급한 지역 또는 대면적의 산림이 황폐화 되어 강우 등에 의해 토양이 유실되거나 토성이 크게 나빠질 가능성이 높은 지역에서 주로 실시한다. 자연복원은 수관층이 살아있거나, 자연력을 이용하여 후계림 조성이 가능한 지역 및 국립공원 등 숲의 생태적 관리와 자연천이를 우선시 하는 지역을 대상으로 한다(National Institute of Forest Science, 2006). 복원의 효율성을 평가하는 과정에서 고려되는 사항 중의 하나는 생태계 내의 물질(순환)의 안전성이며, 산불 후 식생의 재생에는 산불전의 식물량이 가장 주요한 요인으로 작용하며 산불전의 식물량이 산불 후의 식생 재생에 영향을

미칠 수 있는 것은 구성 종의 재생전략이 불탄 그루터기와 토양 속의 영양기관에 의한 움푹재생전략을 통해서 가능하다. 산불 후 시간의 경과에 따른 층구조의 경우, 산불 후 자연복원에서 13년이 되었을 때 높이 8m이상의 교목층이 형성되기 시작하여 23년 되었을 때 완전히 회복된 식생 구조를 나타냈다(Ministry for Environment, 2002).

산불의 강도, 빈도, 그리고 지속시간과 같은 산불의 다양한 특성은 지표면의 식생감소, 토양의 수분량 변화, 유기물의 양, 토양색의 변화 등에 영향을 준다고 알려져 있다. 이러한 변화는 산불에 의한 토양과 지표위의 복합적 영향을 나타내는 산불피해 강도로 정의될 수 있으며(White et al, 1996; Wang, 2002; Brewer et al, 2005; Doerr et al, 2006), 여러 연구자들에 의해 산불피해 강도는 식생의 고사와 피해 그리고 재발아(resprouting)하는 종의 회복속도에 영향을 준다(Morgan and Neuenschwander, 1998; DeBano et al, 1998)는 것을 입증하였다. 산불피해 지역의 탐지 및 식생의 변화 분석에 유용한 방법으로는 산불피해 전·후 영상정보를 이용한 정규탄화지수(NBR, Normalized Burn Ratio) 분석방법과 정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) 분석방법을 포함한 다양한 분광벤드들의 조합에 의한 지수의 형태로 활용할 수 있다. 특히, 정규탄화지수(NBR)와 dNBR(differenced NBR)은 원격탐사 자료로부터 산불피해강도를 추정하는데 폭넓게 활용 되었다(Key and Benson, 2002, 2006; van Wagtenonk et al, 2004; Cocke et al, 2005; Roy et al, 2006). 정규식생지수(NDVI)는

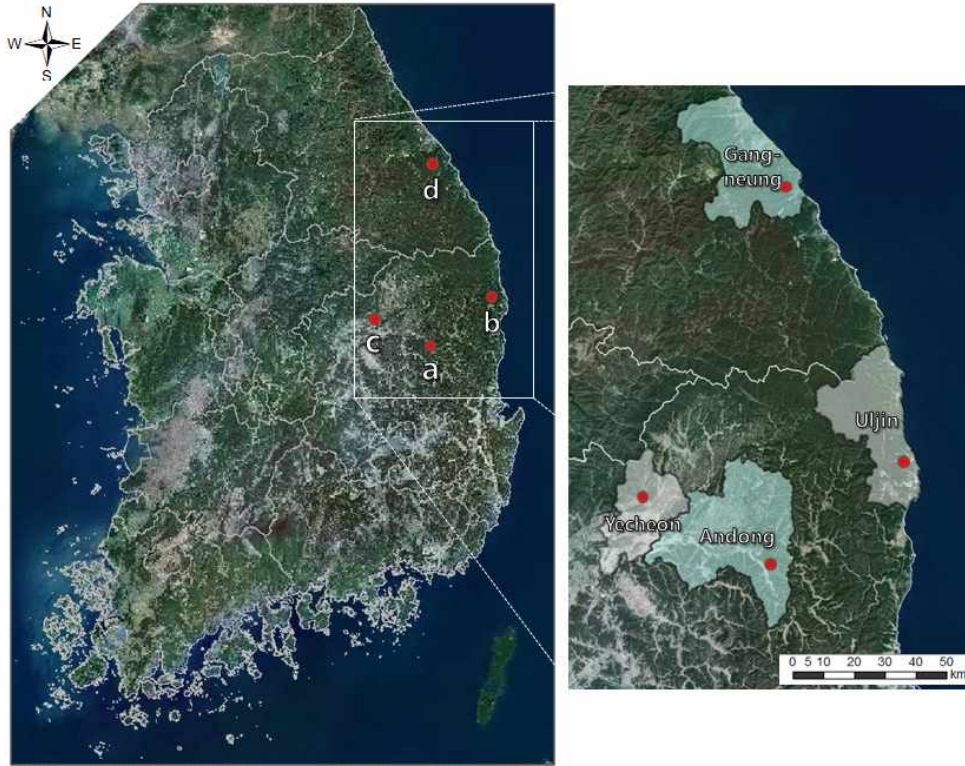


Figure 1. Location of forest fires

식생이 적외(REDF) 파장대는 강하게 흡수하는 반면 근적외(NIR, Near-Infrared) 파장대는 반사하는 특성을 이용하여 식생 상태를 파악할 수 있는 지수(National Geographic Information Institute, 2021)이며, 산림 식생 변화 모니터링, 산불피해 변화탐지 등 다양한 연구에 활용되고 있다. 원격탐사를 이용한 식생 분석은 대규모 지역의 신속하고 객관적인 분석결과를 얻을 수 있다는 점에서 효용성이 있어(Jeon et al, 1997) 산불피해 지역의 피해유형별 복원속도를 비교·분석하는데 많은 장점이 있다.

본 연구에서는 산불피해 전후에 대한 영상을 이용하여 산불피해에 따른 식생별 산불피해 정도를 파악하고, 복원 구분에 따른 식생 변화 분석을 통해 복원유형별 효과성을 확인하는데 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구는 임상별 산불 피해 정도를 파악하고, 복원 유형에 따른 효과분석을 위한 연구이다. 따라서 연구대상지는 유사한 시기에 산불이 발생하였고, 인공복원과 자연복원의 시행 시점의 차이가 적어 현재 시점에서 비교 가능한 지역을 선정하였다(Figure 1). 산불 발생 이후 산림복원은 조림을 통한 인공복원과 인간의 간섭을 받지 않은 자연 회복을 이용한 자연복원 두 가지 유형으로 구분하였다. 인공복원지는 경상북도 울진군, 예천군을 자연복원지는 경상북도 안동시, 강원도 강릉시를 분석 대상으로 선정하였다(Table 1).

연구대상지 선정 기초자료로, 임상도의 임종코드와 각 지자체에서 보유하고 있는 조림 대장

**Table 1.** Overview of subject forest fire areas (unit: Area=ha)

Categories (Forest fire year)	a. Andong (2009)	b. Uljin (2011)	c. Yecheon (2016)	d. Gangneung (2017)
Forest fire date	6th April 14:30 ~ 7th April 7:15	30th March 15:05 ~ 2th April 10:00	2th April 19:42 ~ 3th April 7:20	9th March 10:28 ~ 10th March 22:30
Damaged area (ha)	66	168	66.5	160.4
restoration method	natural restoration	artificial restoration (2012 reforestation)	artificial restoration (2018~2019 reforestation)	natural restoration

**Table 2.** Landsat scenes used to map in the study area

Study area	Image type	Imaging date
a. Andong	Landsat 5, 30m resolution	2008.5.6
		2009.5.18
		2011.5.8
	Landsat 8, 30m resolution	2013.5.13
		2015.5.10
		2017.5.15
b. Uljin	Landsat 5, 30m resolution	2009.5.18
		2011.5.8
	Landsat 8, 30m resolution	2014.5.16
		2016.5.5
		2018.4.25
		2020.4.30
c. Yecheon	Landsat 8, 30m resolution	2015.5.10
		2016.5.12
		2020.4.30
		2021.5.3
d. Gangneung	Landsat 8, 30m resolution	2016.5.12
		2017.4.29
		2019.5.21

을 활용하였다. 임상도의 임종 코드는 산림의 형성 기준인 인공림, 천연림 및 비 산림 등에 대한 구분을 나타내며, 조림이나 파종 등에 의해 인위적으로 형성된 인공림과 인간의 간섭을 받지 않고 자연적으로 형성된 천연림 등을 구분할 수 있다.

## 2. 분석자료

산불 발생지역의 임상별 피해 강도 분석을 위해 USGS(United States Geological Survey)에서 운영하는 Landsat 위성영상을 이용하였다. Landsat 8

영상의 경우, 2013년 영상부터 제공하고 있어 2013년 이전 시기에 대해서는 Landsat 5 영상을 활용하였으며, 산불피해 전후 변화 모니터링을 위해 유사한 시기의 영상자료를 취득하였다. 구름이 많거나 촬영 시기가 비교적 일치하지 않은 영상은 분석에서 제외하였으며, 분석에 사용한 위성영상 자료의 목록은 Table 2와 같다.

## 3. 정규탄화지수(NBR, Normalized Burn Ratio)를 활용한 피해 강도별 임상 분석

NBR은 식생에 민감한 NIR(Near-Infrared) 파장대

**Table 3.** Burn severity levels obtained calculating dNBR, proposed by USGS(Youn and Jeong, 2019)

Severity Level	dNBR Range (scaled by)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101
Unburned	-100 to +99
Low Severity	+100 to +269
Moderate-low Severity	+270 to +439
Moderate-high Severity	+440 to +659
High Severity	+660 to +1,300

와 토양수분에 민감한 SWIR(Short Wave- Infrared) 파장대를 이용하여 산불피해지의 구획 및 피해 강도를 분석하는데 적합하다(Won et al, 2007).

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

$$dNBR = prefireNBR - postfireNBR$$

산불 발생 전후 영상에서 각 NBR 값을 산출하고, NBR의 차이(dNBR, Difference Normalized Burn Ratio)를 이용한 계산식을 통해 산불피해지를 구분하여 산불피해 강도를 분석하였다. 산불피해 강도는 USGS(United States Geological Survey)의 dNBR 피해 등급표를 기준으로 구분하였다(Table 3).

USGS에서 제공하는 dNBR 수치에 따른 산불 피해 기준은 High Severity, Moderate-high Severity, Moderate-low Severity, Low Severity, Unburned로 나뉜다. 5개의 등급으로 구분된 산불피해 강도를 기준으로 산림 식생을 분류하기 위해 산불피해 당시의 임상도를 활용하였으며, 피해 강도별 임상을 구분하여 분석하였다.

#### 4. 복원유형별 산림변화 분석

정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)는 식생이 적외선(RED) 파장대는 강하게 흡수하는 반면 근적외선(NIR) 파장

대는 반사하는 특성을 이용하여 식생 상태를 파악할 수 있는 지수(National Geographic Information Institute, 2021)이며, 식생의 피복 정도에 따라  $-1 < NDVI \leq 1$ 의 값을 갖는다.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

복원유형별 효과분석을 위해 산불 발생 이후 인공복원을 실시한 지역과 자연복원을 실시한 지역을 구분하여 NDVI값을 통한 산림변화 모니터링을 수행하였으며, 인공복원지는 해당 지역별 조립 대장을 통해 지적을 기준으로 구분하였다. 인공복원지의 산림변화 모니터링을 수행하기 위해 2021년을 기준으로 조립 이후 최소 2년이 지나지 않은 지역은 분석 대상지에서 제외하였으며, 산불 발생 이후 원활한 식생 성장 상태 확인을 위해 복원유형별 현장조사를 함께 진행하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 산불피해 강도별 임상 분석

산불 발생지역을 대상으로 촬영한 Landsat 위성 영상을 활용하여 산불 발생 전후 비교를 통해 산불 피해 강도를 분석하고 산불피해 강도 별 임상 비율을 산출하였다. 산불피해 강도는 USGS의 dNBR

값을 기준으로 하여 총 5단계 등급 피해상 ‘High Severity(HS)’, 피해중상 ‘Moderate-high Severity(MHS)’, 피해중하 ‘Moderate-low Severity(MLS)’, 피해경 ‘Low Severity(LS)’, 피해무 ‘Unburned(U)’로 구분하였다(Lee and Jeong, 2019).

### 1) 안동시 산불

2009년 4월 6일 14시 30분에 발생한 경상북도 안동시 산불의 경우 산불피해 등급별로 피해경(LS) 지역 55.47ha(84.05%), 피해중하(MLS) 지역 10.53ha(15.95%)로 피해경(LS) 지역이 가장 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 안동시 산불 피해지역은 침엽수림이 전체의 약 79%를 차지하는 것으로 나타났으며, 다음으로 혼효림이 20%, 제지가 1%인 것으로 확인되었다. 산불피해 강도별 임상 비율을 확인해본 결과 피해경(LS) 지역 내 침엽수림 75%, 혼효림 23%, 제지 2%를 차지하였으며, 피해중하(MLS) 지역 내 침엽수림 97%, 혼효림 3%를 차지하는 것으로 나타났다.

### 2) 울진군 산불

2011년 3월 30일 15시 5분에 발생한 경상북도 울진군 산불의 경우 산불피해 등급별로 피해경(LS) 지역 94.38ha(56.17%), 피해중하(MLS) 지역 72.09ha(42.91%), 피해중상(MHS) 지역 1.53ha(0.91%)로 피해경(LS) 과 피해중하(MLS) 지역이 가장 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 울진군 산불 피해지역은 침엽수림이 전체의 약 13%를 차지하는 것으로 나타났으며, 다음으로 혼효림 85%, 제지 2%인 것으로 확인되었다. 산불피해 강도별 임상 비율을 확인해본 결과 피해경(LS) 지역 내 침엽수림 9%, 혼효림 90%, 제지 1%를 차지하였으며, 피해중하(MLS) 지역 내 침엽수림 18%, 혼효림 79%, 제지 3%를 차지하였으며, 피해중상(MHS) 지역 내 침엽수림 29%, 혼효림 71%를 차지하는 것으로 나타났다.

### 3) 예천군 산불

2016년 4월 2일 19시 42분에 발생한 경상북도 예천군 산불의 경우 산불피해 등급별로 피해경(LS) 지역 28.52ha(42.88%), 피해중하(MLS) 지역 36.99ha(55.62%), 피해중상(MHS) 지역 0.99ha(1.48%)로 피해경(LS) 과 피해중하(MLS) 지역이 가장 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 예천군 산불 피해지역은 침엽수림이 전체의 약 52%를 차지하는 것으로 나타났으며, 다음으로 활엽수림 40%, 혼효림 7%, 미림목지 등 1%인 것으로 확인되었다. 산불피해 강도별 임상 비율을 확인해본 결과 피해경(LS) 지역 내 침엽수림 52%, 활엽수림 44%, 혼효림 3%, 미림목지 등 1%를 차지하였으며, 피해중하(MLS) 지역 내 침엽수림 53%, 활엽수림 38%, 혼효림 9%를 차지하였으며, 피해중상(MHS) 지역 내 침엽수림 33%, 활엽수림 47%, 혼효림 20%를 차지하는 것으로 나타났다.

### 4) 강릉시 산불

2017년 3월 9일 10시 28분에 발생한 강원도 강릉시 산불의 경우 산불피해 등급별로 피해경(LS) 지역 57.06ha(35.57%), 피해중하(MLS) 지역 101.16ha(63.06%), 피해중상(MHS) 지역 2.16ha(1.34%)로 피해중하(MLS) 지역이 가장 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 강릉시 산불 피해지역은 침엽수림이 전체의 약 73%를 차지하는 것으로 나타났으며, 다음으로 활엽수림 23%, 혼효림 1%, 미림목지 3%인 것으로 확인되었다. 산불피해 강도별 임상 비율을 확인해본 결과 피해경(LS) 지역 내 침엽수림 72%, 활엽수림 22%, 혼효림 1%, 미림목지 5%를 차지하였으며, 피해중하(MLS) 지역 내 침엽수림 74%, 활엽수림 23%, 미림목지 3%를 차지하였으며, 피해중상(MHS) 지역 내 침엽수림 77%, 활엽수림 23%를 차지하는 것으로 나타났다.

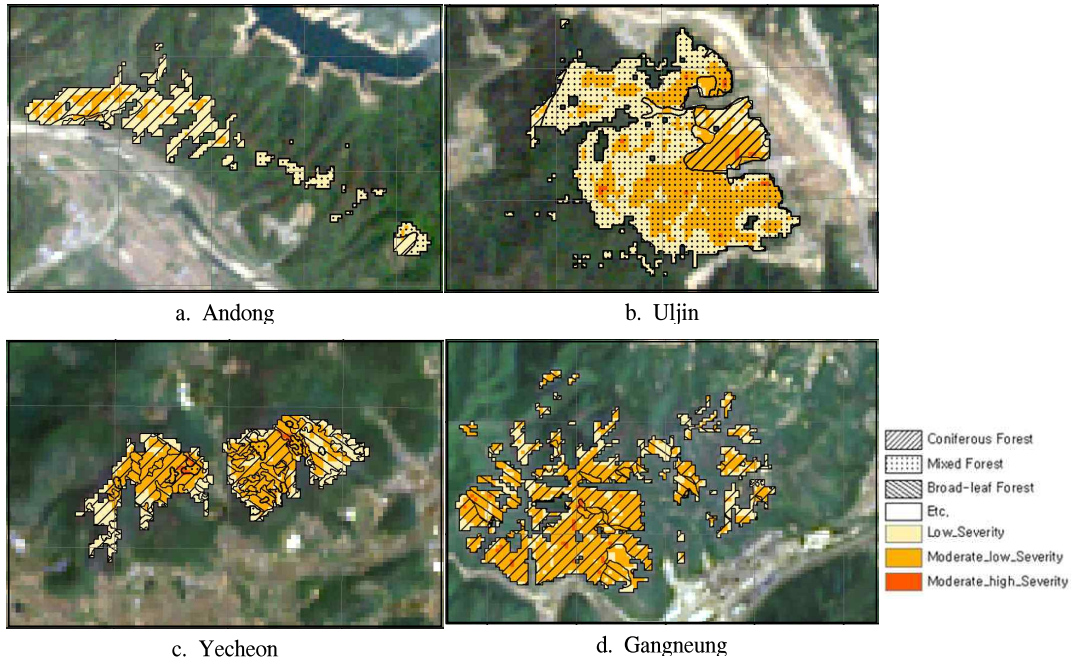


Figure 2. Forest type by Forest Fire Severity Level

산불 발생지역의 산불피해 강도별 임상 확인 결과, 산불피해 지역 중 산불피해 강도가 높은 등급의 지역일수록 침엽수림의 비율이 높아지며(Lee et al, 2002), 산불피해 강도가 낮은 지역일수록 침엽수림의 비율은 상대적으로 낮아지는 경향이 있음을 확인할 수 있다. 이는 피해지역의 임상이 침엽수림이고 점유면적이 넓을수록 피해 강도가 커지는 경향이 있어 임상과 피해 강도와의 상관관계에 영향을 주는 것으로 판단된다(Figure 2).

## 2. 인공·자연복원에 따른 효과 비교 분석

산불 발생 이후 복원 유형에 따른 효과를 확인하기 위해 정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)를 활용하였으며, 자연복원지의 경우, 산불피해를 입은 산림의 피해 강도별 복원 효과를 구분하기 위해 피해강도 구분에 따른 NDVI 분석을 추가적으로 실시하였다. 분석대상지는 산불 발생 시기가 비교적 유사하며 인공복원과 자연복원 시점의 차이

가 적은 지역을 대상으로 안동시(2009년 4월 산불 발생)와 울진군(2011년 3월 산불 발생, 2012년부터 복원개시), 예천군(2016년 4월 산불 발생, 2018년부터 복원개시)과 강릉시(2017년 3월 산불 발생)로 구분하였다.

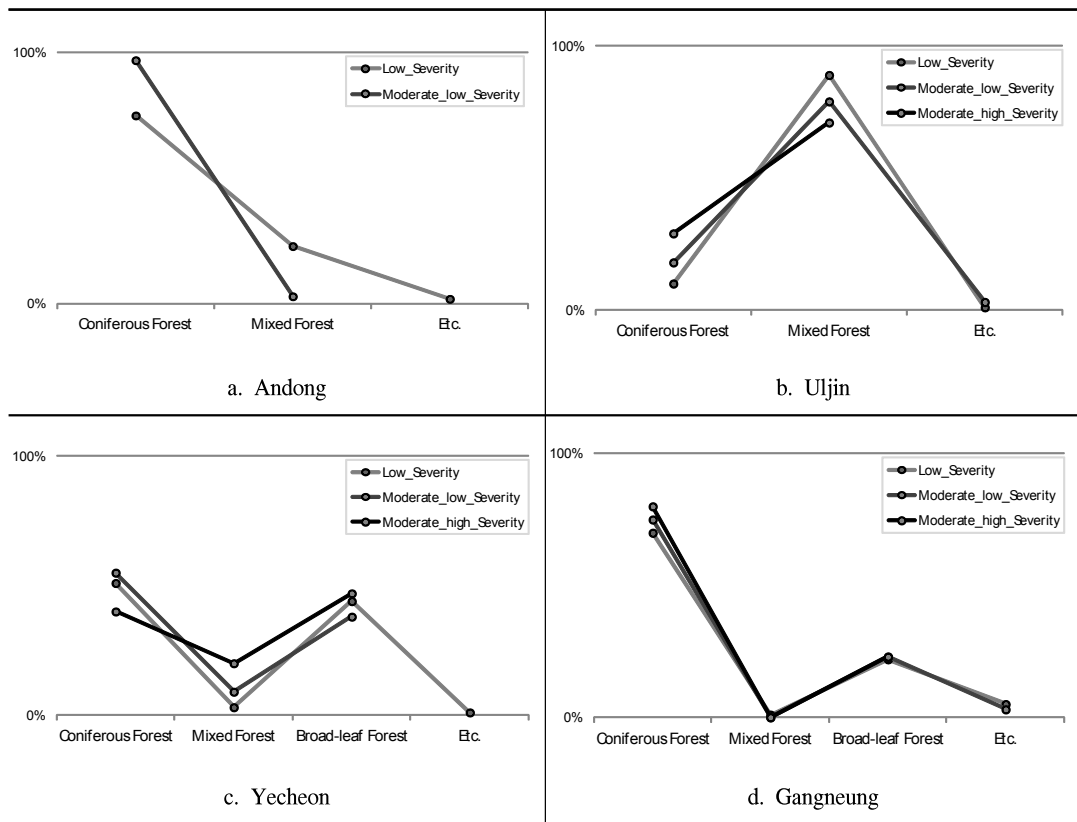
### 1) 안동시·울진군 NDVI값 비교

2008년 66ha의 산불 피해를 입은 안동시의 경우 전 면적에 대해 자연적 회복을 통한 자연복원을 진행하였으며, 2011년 168ha의 산불 피해를 입은 울진군의 경우 2012년 소나무, 잣나무, 백합나무 등 84.15ha에 대해 조림을 통한 복원을 진행하였다. 안동시와 울진군에 대한 연도별 복원 시점을 기준으로 산불 발생 이전, 산불 직후, 복원 이후 2년 단위의 NDVI 통계 값을 산출하였다(Table 4).

안동시의 산불피해 강도별 NDVI값 변화를 확인한 결과, 피해경(LS) 지역의 경우 산불 발생 4년 후부터 산불피해 전 평균값 0.31보다 높은 값을 가지기 시작하였으며, 시간이 경과 할

**Table 4.** NDVI Statistics for restoration of Andong and Uljin areas

Study area	Forest fire years	restoration method	Severity level	Statistical values	NDVI					
					Before forest fire	At the forest fire	2years after	4years after	6years after	8years after
Andong	2009	natural restoration	Low Severity	Average value (Standard deviation)	0.31 (0.05)	0.21 (0.07)	0.26 (0.04)	0.34 (0.04)	0.37 (0.04)	0.40 (0.04)
			Moderate - low Severity	Average value (Standard deviation)	0.33 (0.05)	0.12 (0.03)	0.26 (0.04)	0.36 (0.04)	0.40 (0.030)	0.44 (0.03)
Uljin	2011	artificial restoration (2012)	-	Average value (Standard deviation)	0.35 (0.05)	0.16 (0.07)	0.38 (0.06)	0.36 (0.05)	0.33 (0.04)	0.34 (0.04)



**Figure 3.** Forest type Analysis by Forest Fire Severity Level

수록 점차 높아져 산불피해 전 평균값보다 0.09 더 높은 0.40까지 형성되는 것을 확인할 수 있

었다. 피해중하(MLS) 지역은 산불 발생 후 4년 까지 피해경(LS) 지역과 동일한 차이 값을 가졌



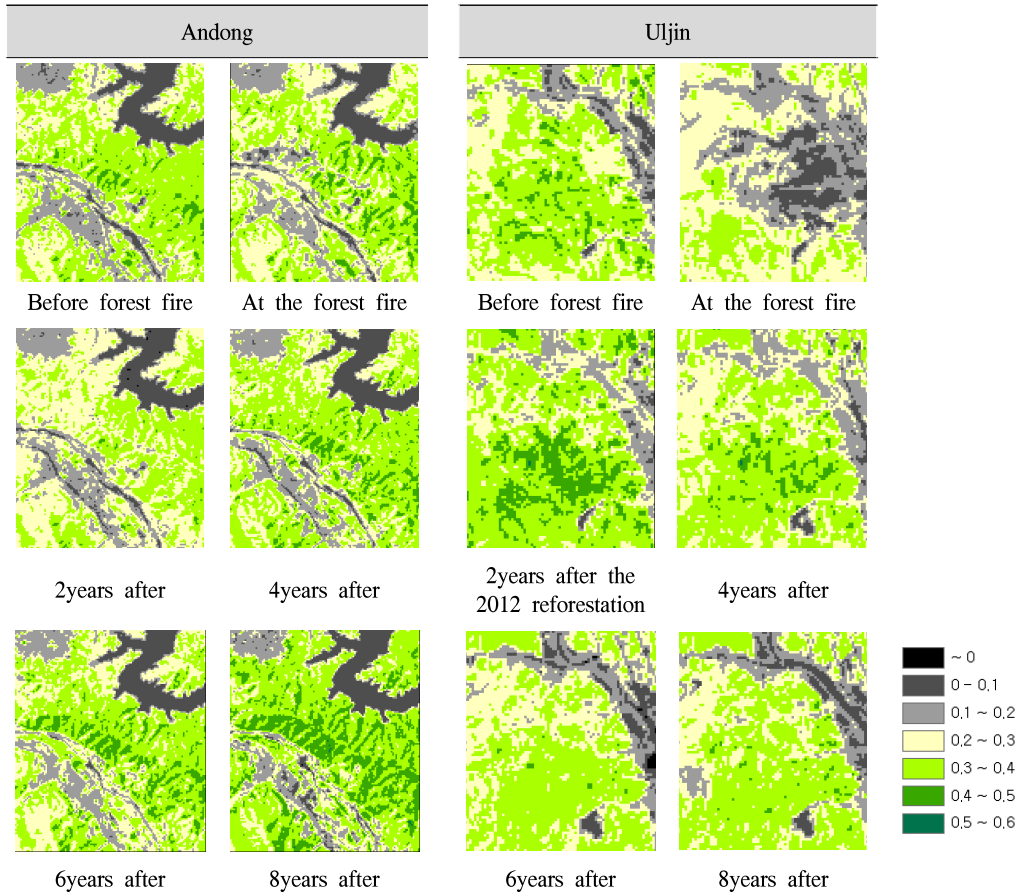


Figure 4. NDVI in Andong and Uljin restoration areas

지만, 8년 후 산불피해 전 평균값보다 0.11더 높은 0.44를 나타냈으며 이를 통해, 피해경(LS) 지역보다 피해 강도가 높은 피해중하(MLS) 지역에서 더 높은 평균 NDVI값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이와 달리, 조림을 통한 인공복원을 진행한 울진군의 경우 조림 2년 후 산불 발생 전 NDVI값보다 최대 0.03더 높은 값이 나타났으나, 시간이 경과할수록 평균 NDVI값은 0.33수준으로 낮아지고 그 값은 더 이상 높아지지 않은 상태에서 유사한 값으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다.

산불 지역 복원 이후 식생 성장 상태를 확인하기 위해 산불피해 강도 지점별 현장조사를 실시하였다. 자연복원지인 안동시의 경우 산불 발

생 이전, 침엽수림인 소나무와 잣나무가 대부분을 점유하고 있었으나, 현장조사 결과 굴참나무, 고욤나무, 갈참나무, 신갈나무, 졸참나무가 우점하며 대부분 관목 수준의 나무들로 2층 구조를 이루고 있었으며, 일부 아교목 수준의 3층 구조도 확인할 수 있었다. 산불피해 강도가 낮은 피해경(LS) 지역에서는 1영급 수준의 소나무도 생육하고 있었지만, 주를 이루지 못하였으며 피해중하(MLS) 지역에서는 기존 우점종 대신 고사한 참나무류의 맹아가 자라나고 있는 것을 확인할 수 있었다. 울진군 또한 대부분 관목 수준의 나무들로 2층 구조를 이루고 있었으며, 일부 아교목 수준의 3층 구조도 확인할 수 있었다. 조림을 진행한 침엽수림보다 참오동나무, 아까시나



Figure 5. Andong and Uljin restoration areas (picture taken at 2022.06.04.)

Table 5. NDVI Statistics for restoration of Yecheon and Gangneung areas

Study area	Forest fire years	restoration method	Severity level	Statistical values	NDVI		
					Before forest fire	At the forest fire	2years after
Yecheon	2016	artificial restoration (2018)	-	Average value (Standard deviation)	0.37 (0.04)	0.12 (0.04)	0.24 (0.03)
		artificial restoration (2019)		Average value (Standard deviation)	0.39 (0.03)	0.12 (0.04)	0.31 (0.04)
Gangneung	2017	natural restoration	Low Severity	Average value (Standard deviation)	0.37 (0.04)	0.18 (0.04)	0.38 (0.07)
			Moderate - low Severity	Average value (Standard deviation)	0.39 (0.04)	0.14 (0.04)	0.42 (0.06)
			Moderate - high Severity	Average value (Standard deviation)	0.45 (0.01)	0.11 (0.01)	0.47 (0.02)

무 등 활엽수림의 생장이 활발하여 상대적으로 더 높은 수고를 형성하고 있었으며, 다른 지역에 반해 상대적으로 낮은 NDVI값이 산출되는 지역은 대부분 조림한 나무가 활착하지 못하여 식생의 원활한 생육이 이루어지지 못한 지역임을 확인할 수 있었다(Figure 5).

## 2) 예천군·강릉시 NDVI값 비교

2016년 66.5ha의 산불 피해를 입은 예천군의 경우, 2018년부터 2019년까지 총 2년에 걸쳐 소

나무, 편백나무, 화백나무, 느티나무, 상수리나무 등 26.07ha를 조림하였으며, 자연복원지인 강릉시의 경우, 현장조사를 통해 2017년 산불 피해를 입은 160.4ha 중 약 10.44ha 지역에 대해 조림을 진행한 것을 확인하여 통계분석 영역에서 제외하였다.

안동시·울진군 지역과 동일하게 산불 발생 이전, 산불 직후, 산불 발생 이후 2년 단위로 구분하여 정규식생지수(NDVI) 통계 값을 산출하였다(Table 5).

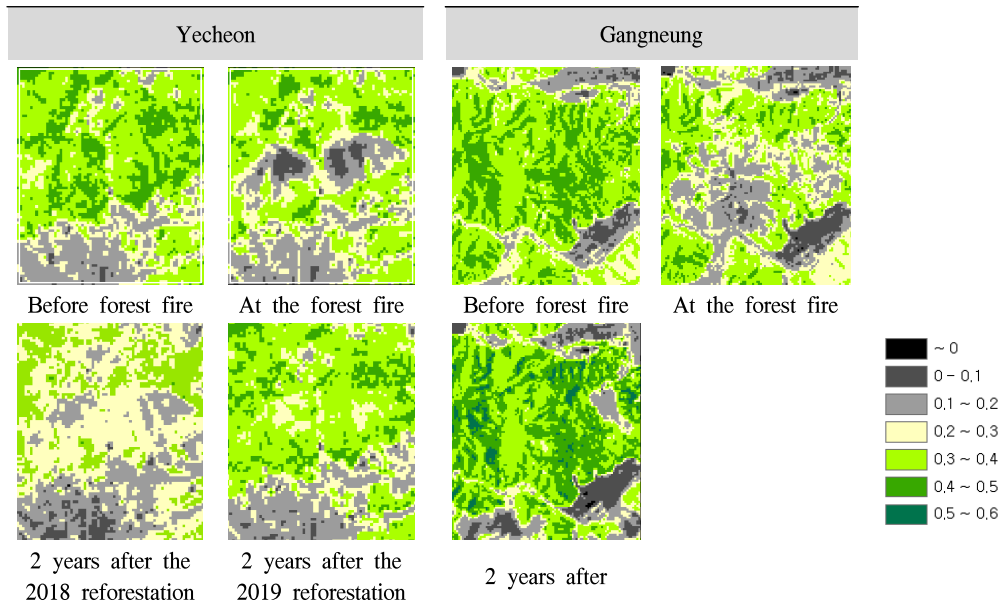


Figure 6. NDVI in Yecheon and Gangneung restoration areas

예천군의 경우 2018년에 조림을 실시한 지역과, 2019년에 조림을 실시한 지역 모두 조림 후 2년까지 각각 0.24, 0.31로 산불 발생 이전의 평균 NDVI값인 0.37, 0.39보다 모두 낮은 값으로 나타났다. 강릉시 산불피해 강도별 NDVI값의 경우, 피해경(LS) 지역은 산불 발생 2년 후부터 산불 이전 평균 NDVI값보다 0.01더 높은 값을 형성하기 시작하였으며, 피해중하(MLS) 지역의 경우 0.03더 높은 값을 나타냈다. 피해중하(MLS) 지역의 평균 NDVI값의 차이는 피해중상(MHS) 지역과 유사하였으며, 산불피해 등급 피해경(LS) 지역보다 피해 강도가 높은 피해중하(MLS) 지역에서 더 높은 평균 NDVI값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 피해중하(MLS) 지역과 피해중상(MHS) 지역 평균 NDVI값의 명확한 차이는 확인할 수 없었으며, 명확한 구분과 비교를 위해 피해중상(MHS) 지역에 대한 2년 이상의 장기적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

복원유형별 NDVI값 비교결과, 조림을 실시한 예천군과 달리 강릉시의 경우 산불 발생 2년 후 평균값이 산불 발생 이전보다 높은 값을 나

타내는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 안동시·울진군 비교 시 확인할 수 있었던 자연복원지 NDVI값 비교 결과와 동일한 형태를 나타내고 있으며, 산불 발생 이후 식생이 회복되면서 재생하는 나무들 간의 경쟁압이 줄어들고 토양 내 영양소, 유기물량 등이 조림을 실시한 지역보다 상대적으로 월등하기 때문에 자연복원지의 높은 NDVI값 형성에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

산불피해 강도 지점별 현장조사 실시결과, 예천군의 경우, 조림 후 오랜 시간이 지나지 않아 대부분 초본층 수준의 1층 구조를 이루고 있었으며, 자연복원지인 강릉시의 경우, 산불 발생 이전 침엽수림인 소나무와 잣나무가 대부분을 점유하고 있었으나, 현장조사 결과 떡갈나무, 싸리나무, 굴참나무가 우점하며 대부분 관목 수준의 나무들로 2층 구조를 이루고 있었다.

산불피해 강도가 낮은 피해경(LS) 지역에서는 일부 1영급 수준의 소나무도 생육하고 있었지만, 주를 이루지 못하였으며, 피해중하(MLS) 지역과 피해중상(MHS) 지역에서는 기존 우점



c. Yecheon (artificial restoration)



d. Gangneung (natural restoration)

**Figure 7.** Yecheon and Gangneung restoration areas (picture taken at 2022.06.05.)

종 대신, 고사한 참나무류의 맹아가 자라나고 있는 것을 확인할 수 있어 안동시 분석결과와 동일하게 나타났다.

이러한 결과는 산불피해지에서 참나무류는 맹아 갱신을 통해 임지 회복이 빠르게 진행되지만, 소나무는 종자 산포를 통하여 서식지를 점유하므로 지표 상태에 따라 침입 위치나 속도가 달라지기 때문에(Korea Forest Research Institute, 1996), 기존 우점종인 침엽수림은 점유 경쟁에서 밀려 사라지고, 활엽수림이 대부분 우점하게 된 것으로 판단된다(Figure 7).

#### IV. 결 론

본 연구에서는 과거 산불피해 지역에 대해 산불 전후에 관측된 Landsat 위성영상을 활용하여 산불피해지 구분은 물론 근적외선 대역과 중적외선 대역을 조합하여 정규탄화지수(NBR)를 산출하여 산불피해 강도를 정량적으로 분석하였으며, 적외선 대역과 근적외선 대역을 조합해 산림 식생 변화 모니터링 등에 흔히 활용되는 정규식생지수(NDVI)를 산출하여 산불피해 복원유형별 효과분석 연구를 수행하였다.

산불피해 전후의 NBR 값의 차이(dNBR)는 산불 지역 내에서 가장 큰 범위의 변화를 보였으며, 산불피해지와 미 피해지의 식별을 최대화할

수 있을 뿐 아니라 산불피해 강도를 정량화할 수 있었다(Won et al, 2007). dNBR분석 결과, 안동시는 산불피해 강도 피해중하(MLS) 이상인 지역이 전체의 15.95%를 차지하였으며, 울진군 43.82%, 예천군 57.1%, 강릉시 64.4%로 나타나 4개 지역 중 강릉시가 피해 강도 측면에서 가장 큰 산불 피해를 입은 것으로 분석되었다.

산불피해 강도별 임상의 경우, 안동시는 침엽수림이 전체의 79%, 울진군 13%, 예천군 52%, 강릉시 73%를 차지하였으며, 4개 지역 모두 산불피해 강도 피해경(LS) 지역보다 피해중하(MLS) 지역의 침엽수림 비율이 상대적으로 더 높았으며, 예천군을 제외한 울진군, 강릉시 지역에서 피해중상(MHS) 지역의 침엽수림 비율이 가장 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

인공복원과 자연복원 시점의 차이가 적은 지역을 대상으로 안동시와 울진군, 예천군과 강릉시를 비교·분석한 결과, 인공복원지인 울진군의 경우 산불 발생 이전의 NDVI값 회복 후 더 이상 높아지지 않았으며, 예천군은 조림 후 2년까지 산불 발생 이전의 평균 NDVI값이 회복되지 않았음을 확인할 수 있었다. 상대적으로 낮은 NDVI값이 산출되는 지역은 대부분 조림한 나무가 활착하지 못하여 식생의 원활한 생육이 이루어지지 못한 지역임을 현장조사를 통해 확인할 수 있었다. 이에 반해, 자연복원을 실시한 지

역의 경우 각각 산불 발생 이후 평균 NDVI값이 회복되었고, 산불 발생 이전보다 점차 높아지는 형태를 나타냈다. 안동시 지역을 산불 전 NDVI 평균값과 비교한 결과, 8년을 기준으로 피해경(LS) 지역 최대 0.09까지 높아졌으며, 피해중하(MLS) 지역의 경우 최대 0.11까지 값의 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 강릉시 지역은 2년 후 피해경(LS) 지역에서 0.01, 피해중하(MLS) 지역에서 0.03으로 안동시와 강릉시 모두 산불 전 평균 값 보다 높은 수치를 나타냈으며, 피해경(LS) 지역보다 피해 강도가 높은 피해중하(MLS) 지역에서 더 높은 평균 NDVI값을 형성하는 것으로 분석되었다.

산불 발생 이전 평균 NDVI값 회복 후 더 이상 높아지지 않은 인공복원지역에 반해, 자연복원지역에서는 산불 발생 이전보다 평균 NDVI값이 점차 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 산불 발생 이후 식생이 회복되면서 재생하는 나무 간의 경쟁압이 줄고 토양 내 영양소, 유기물량 등이 조림을 실시한 지역보다 상대적으로 월등하여 원활한 식생 회복에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

본 연구결과는 향후 산불 지역 복원계획 수립을 위한 의사결정의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 정책적 활용도를 향상시키기 위해서는 다양한 조건의 추가적인 분석을 통해 정확도를 확보할 필요가 있다. 특히, 산불 발생 전과 직후의 현장 확인을 통한 임상 검토가 요구되며, 복원을 실시한 지역의 토양, 지형 및 조림 기법, 매토종자의 활력도 등 다양한 환경 및 세부적인 복원현황 파악과 함께 장기적 모니터링 자료가 구축된다면 더욱 정밀한 복원 효과분석이 가능할 것으로 사료된다.

## References

- Brewer, C.K., Winne, J.C., Redmond, R.L., Opitz, D.W. and Mangrich, M.V. 2005. Classifying and mapping wildfire severity: A comparison of methods. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 71: 1311-1320.
- Choi SP and Park JS. 2004. Comparative Analysis between Normalized Burn Ratio and Normalized Difference Vegetation Index in Forest Damage Area. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 22(3): 261-268. (in Korean with English summary)
- Cocke, A.E., P.Z. Fule, and J.E. Crouse. 2005. Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data, *International Journal of Wildland Fire*, 14(2): 189-198.
- DeBano. L.F., Neary, D.G. and Ffolliott, P.F. 1998. *Fire's effects on ecosystems*, John Wiley and Sons:New York, NY.
- Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Blake, W.H., Chafer, C.J., Humphreys, G.S. and Wallbrink, P.J. 2006. Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology* 319: 298-311
- Jeon SW and Park JH. 1997. *Uses of Remote Sensing Techniques in Managing Ecosystem*. Korea Environment Institute: 1-2. (in Korean)
- Key, C.H. and N.C. Benson. 2002. Measuring and remote sensing of burn severity, *Proc. of 2000 US Geological Survey(USGS) Wildland Fire Workshop*, Los Alamos, NM, Oct. 31-Nov. 3, pp. 2-11.
- Key, C.H. and N.C. Benson. 2006. *Landscape assessment: sampling and analysis methods*, Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-164-CD, USDA Forest Service, Ogden, UT, USA.
- Korea Forest Research Institute. 1996. *Report on the research the ecological environment at Forest*

- fire area in Gosung. Korea Forest Service. 169. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2021. Forest Fire Statistics. 74-128. (in Korean)
- Lee SM and Jeong JC. 2019. Forest Fire Severity Classification Using Probability Density Function and KOMPSAT-3A. Korean Journal of Remote Sensing, 35(6-4): 1341-1350. (in Korean with English summary)
- Lee SY · Jun KW · Lee MW and Chun KW. 2008. Mortality in Pine Stand and Vegetation Recovery after Forest Fire. Korean Society of Hazard Mitigation 8(1): 71-79. (in Korean with English summary)
- Lee SY · Won MS and Han SY. 2005. Developing of Forest Fire Occurrence Danger Index Using Fuel and Topographic Characteristics on the Condition of Ignition Point in Kore. Korea Institute of Fire Science & Engineering 19(4): 75-79. (in Korean with English summary)
- Lee SY · Kang YS · An SH and Oh JS. 2002. Characteristic Analysis of Forest Fire Burned Area using GIS. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 5(1): 20-26. (in Korean with English summary)
- Lee JM · Won MS · Lim JH and Lee SW. 2012. Effects of Edge Area and Burn Severity on Early Vegetation Regeneration in Damaged Area. Journal of Korean Forest Society, 101(1): 121-129 (in Korean with English summary)
- Lim JH · Kim JH and Bae SW. 2012. Natural Regeneration Pattern of Pine Seedlings on the Burned Forest Site in Gosung, Korea. Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 14(4): 222-228 (in Korean with English summary)
- Ministry of Environment. 2002. Studies on the Ecosystem Restoration and the Policies in the East Coast Fire Regions. 158-172. (in Korean)
- Morgan, P. and Neuenschwander, L.F. 1988. Shrub response to high and low severity burns. Western Journal of Applied Forestry 3(1): 5-9
- National Geographic Information Institute. 2021. National Land Satellite Center Research Report. 124-125. (in Korean)
- National Institute of Forest Science. 2006. Post-Fire Restoration - To Establish a Healthy and Sustainable Forest Ecosystem. Korea Forest Service. 7-60.
- Roy, D. P., L. Boschetti, and S. N. Trigg. 2006. Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 3(1): 112-116.
- Sohn HJ · Kim DH · Kim NY · Hong JP and Song YK. 2019. Evaluation indicators for the restoration of degraded urban ecosystems and the analysis of restoration performance. Journal of Korean Society of Environmental Restoration Technology, 22(6): 97-114 (in Korean with English summary)
- Van Wagtenonk, J.W., R.R. Root, and C.H. Key. 2004. Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity, Remote Sensing of Environment, 92(3): 397-408
- Won MS · Koo KS and Lee MB. 2007. A Quantitative Analysis of Severity Classification and Burn Severity for the Large Forest Fire Areas using Normalized Burn Ratio of Landsat Imagery. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 10(3): 80-97 (in Korean with English summary)
- Won MS · Jang KC · Yoon SH and Lee HT. 2019. Change Detection of Damaged Area and Burn Severity due to Heat Damage from Gangwon Large Fire Area in 2019. Korea Journal of

- Remote Sensing, 35(6-2): 1083-1093 (in Korean with English summary)
- Wang, G.G. 2002. Fire severity in relation to canopy composition within burned boreal mixewood stands. *Forest Ecology and Management* 163: 85-92
- White, J.D., Ryan, K.C., Key, C.C. and Running, S.W. 1996. Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire* 6: 125-136
- Youn HJ and Jeong JC. 2019. Detection of Forest Fire and NBR Mis-classified Pixel Using Multi-temporal Sentinel-2A Images. *Korean Journal of Remote Sensing* 35(6-2): 1107-1115. (in Korean with English summary)