

# 경관지수를 활용한 설악산국립공원 아고산대 분비나무개체군의 서식지 특성<sup>1a</sup>

이호영<sup>2</sup> · 박홍철<sup>3\*</sup> · 이나연<sup>4</sup> · 이호<sup>5</sup>

## A Habitat Characteristic of Population of Khingan Fir(*Abies Nephrolepis*) in Seoraksan National Park Using Landscape Indices<sup>1a</sup>

Ho-young Lee<sup>2</sup>, Hong-chul Park<sup>3\*</sup>, Na-yeon Lee<sup>4</sup>, Ho Lee<sup>5</sup>

### 요약

분비나무 등 국내 아고산대 서식지에 대한 경관생태학적 분석 사례는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 설악산국립공원 아고산대에 자생하고 있는 분비나무개체군을 대상으로 식피율 차이에 따른 15가지 경관지수 분석을 통해 서식지 특성을 정량적으로 해석·평가하고자 하였다. 설악산국립공원 내 자생하고 있는 모든 분비나무 서식지를 대상으로 설정하였다. 설악산국립공원 내 분비나무군락의 식피율 증·감에 따른 경관생태학적 경향성을 확인하기 어려웠다. 다만, 식피율 50% 미만의 분비나무 서식지가 전체의 85% 이상을 차지하고 있을 만큼 설악산국립공원의 분비나무 서식지는 전반적으로 낮은 피도와 개체밀도로 서식하고 있는 것으로 나타났다. 또한 식피율 10~50% 구간의 분비나무 서식지는 총 286개의 패치로 파편화되어 있어 서식지 연결성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 물리적 형태에 따른 주연부 효과를 판단할 수 있는 총 가장자리 길이와 가장자리 밀도는 식피율 26~50% 서식지에서 가장 높게 나타나, 다른 식피율의 서식지에 비해 외부로부터 받는 영향이 상대적으로 많은 것으로 나타났다. 동일한 크기의 패치일지라도 식피율 10~50%의 분비나무 서식지가 더욱 복잡한 형태를 나타내고 있으며, 이러한 특성이 서식지 파편화 및 외적 교란에 더욱 취약하게 만들 것으로 판단된다. 향후 본 연구결과를 활용하여 설악산국립공원 분비나무 서식지의 확대 혹은 축소에 대한 시계열 분석이 가능하며, 각 서식지를 구성하는 패치의 형태변화와 연결성, 파편화 등에 관한 후속연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주요어: 공간정보, 지리정보, 패치, 파편화

### ABSTRACT

There are few landscape ecological analyses of Khingan fir (*Abies nephrolepis*) and other habitats of the sub-alpine zone in South Korea. In this study, we tried to quantitatively interpret and assess the habitat characteristics by analyzing 15 landscape indices according to the differences in tree layer coverage, in the Khingan fir habitat growing naturally in the sub-alpine zone of Seoraksan National Park. It was difficult to identify the tendency of landscape ecology to increase and decrease the tree layer coverage in the study site, which was the entire

1 접수 2019년 2월 1일, 수정 (1차: 2019년 6월 19일), 게재확정 2020년 2월 20일

Received 1 February 2019; Revised (1st: 19 June 2019); Accepted 20 February 2020

2 한길숲연구소 소장 64-3, Hangil Institute of Forest Ecology, Seonsuchon-ro, Gangneung-si, Gangwon-do, Korea (hoyleec@hanmail.net)

3 국립공원연구원 계장 Korea National Park Research institute, Dangu-ro 171, Wonju-si, Gangwon-do, Korea (parkhc@knps.or.kr)

4 국립공원연구원 연구위원 Korea National Park Research institute, Dangu-ro 171, Wonju-si, Gangwon-do, Korea (nayeon3@knps.or.kr)

5 국립공원연구원 과장 Korea National Park Research Institute, Dangu-ro 171, Wonju-si, Gangwon-do, Korea (bio2how@knps.or.kr)

\* 현재소속 : 오대산국립공원사무소 팀장 Odaesan National Park Office, Odaesan-ro 2, Jinbu-myeon, Pyeongchang-gun, Gangwon-do, Korea

a 이 논문은 국립공원공단 국립공원연구원의 「국립공원 기후변화 생태계 모니터링」 사업비에 의하여 수행되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: parkhc@knps.or.kr

Khingan fir habitat in Seoraksan National Park. However, the Khingan fir habitat was found to be generally low in coverage, and population density as the tree layer coverage of less than 50 percent accounts for 85 percent of the total habitat. Moreover, the Khingan fir habitat in the 10 to 50 percent range was fragmented into a total of 286 patches, making it relatively less connected to the habitat. The total edge length and edge density, which could determine the edge effect of the main part according to the physical form, were the highest in the habitat of 26 to 50 percent coverage, indicating a relatively high impact from outside than habitats of other coverages. The shape with the tree layer coverage of between 10 and 50 percent was more complex even with patches of the same size, and it is believed that these characteristics make it more susceptible to habitat fragmentation and external confounding. We expect that the results of this study can be useful for time series analysis of spatial expansion or reduction of the Khingan fir habitat in Seoraksan National Park and provide the reference data for the morphological change and movement of patches and the connectivity and break-off between forests.

**KEY WORDS: SPATIAL, GIS, PATCH, FRAGMENTATION**

## 서론

산림경관(Forest Landscape)의 특성은 양적인 측면과 서식지의 질 및 종 다양성 등 생태적 과정 또는 기능과 밀접한 관계가 있으며(Sohn *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2005), 이러한 경관의 공간-구조적 특성을 분석하는 것은 해당 산림생태계의 서식지 특성을 이해하는데 중요한 요소이다. 서식지를 구성하는 임분의 형태나 크기, 수종, 영급의 다양성 등에 의해 입체적인 경관구조(Davis *et al.*, 2001; Han *et al.*, 2011)를 이해할 수 있지만, 이를 객관화-계량화하는 것은 쉽지 않은 일로 여겨졌다(Daniel, 2001; Tres *et al.*, 2001; Dramstad *et al.*, 2006). 그러나 최근 GIS 및 RS 기법의 기술적 향상으로 광역적 범위에서의 서식지의 경관구조를 해석하는 것이 가능해졌다(O'Neill *et al.*, 1991; Tinker *et al.*, 1998; Herzog *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2005). 산림생태계의 서식지 형태 및 구조를 정량적으로 평가하기 위한 다양한 '경관지수(Landscape Indices)'가 경관생태학적 기법으로 개발되면서, 서식지의 경관생태학적 해석 및 평가의 계량화에 객관성을 부여할 수 있는 효과적인 지표로 활용되고 있다(Mcgarigal and Marks, 1995; Park *et al.*, 2005; Jung *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2011). 경관지수란 경관생태계의 모양, 크기, 연결성, 배치, 구조 등을 수치화하여 계량적으로 표현하기 위해 만든 개념(Yoon, 2006; Heo *et al.*, 2007; Han *et al.*, 2011)으로, 특정 지역 내 경관을 구성하는 요소에 대한 구조적 특성 및 패턴을 구명하는데 매우 유용하다(Tischendorf, 2001; KFS, 2009a).

Kim and Park(2001)은 인공위성영상의 식생지수 값을 이용해 북한 도시지역의 산림파편화를 주제로 시계열 변화분석을 수행한 바 있으며, 약 20여 년간 산림의 파편화된 서식지의 개수가 늘어나고 각 조각의 평균면적과 서식지 다양성이 감소했다는 결과를 도출하였다. Hong and Kim(2008)은 해안지역

마을숲에 대한 경관지수 분석을 통해 미래 토지이용 변화 가능성과 개발압력을 추정하는 등 마을숲과 인간의 상호작용에 대한 연구를 수행한 바 있다. Park *et al.*(2005)는 낙동강 유역 산림자원을 경관지수 분석을 통해 광역규모의 토지이용 변화가 산림의 파편화 및 구조적 패턴에 미치는 영향을 분석한 바 있으며, 도시확장과 개간행위가 산림 파편화와 구조변화에 큰 영향을 미친다는 결과를 토대로 생태적 관리방안을 제시하였다. 이 밖에 Sohn *et al.*(2000), Jung *et al.*(2005), Choi *et al.*(2005)의 연구에서도 특정 산림 및 녹지경관을 대상으로 파편화 정도에 따른 경관생태학적 분석을 위해 경관지수를 활용하는 등 다수의 선행연구가 존재한다. 국외의 경우 산림경관 요소들의 공간적 변화와 생태학적 특성을 분석하기 위해 경관지수를 사용(Hargis *et al.*, 1998) 하거나, 하천유역 내에 분포하는 토지이용 패턴과 수질과의 관련성을 분석하기 위해 분야에서도 경관지수를 활용(Griffith, 2002)한 바 있다.

최근 기후변화에 따른 지구온난화는 지구북반구의 산림식생대를 남쪽에서 북쪽으로, 저지대에서 고지대로 이동시키는 요인이 되고 있으며(KFS, 2009b; Park *et al.*, 2019), 특히 해발고도별 기온분포변화에 따른 생물 서식환경의 변화는 다양한 연구를 통해 입증되고 있다(Stokes and Smiley, 1968; Root *et al.*, 2003; Beckage *et al.*, 2008; Kelly and Goulden 2008; Lenoir *et al.* 2008; 윤중학 등 2010; Wolkovich *et al.* 2012; Park *et al.*, 2019). 특히 소나무과 전나무속(*Abies*) 수종들은 최근 20세기 후반 들어 전 세계적으로 서식분포가 축소되고 있는 것으로 알려져 있으며(Crawford, 1989; Lee, 2013; NIE, 2014; KNPRI, 2017, Park *et al.*, 2019), 고산-아고산지대에 서식하는 식물의 분포 범위가 줄어들거나 소멸될 가능성이 특히 높은 것으로 예측된다(Horikawa *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2019).

우리나라도 예외는 아니며 백두대간을 중심으로 분포하고

있는 아고산대 상록침엽수(분비나무, 구상나무)의 분포범위가 줄어들거나 소멸될 위험성이 높아지고 있다(Kong, 1998, 2005, 2006; Lee, 2013; Park *et al.*, 2019). 특히 분비나무는 우리나라 백두대간 최북단에 위치한 아고산식생대를 구성하는 수종으로 깊은 산 중 공중습도가 높고 토심이 깊으며 한랭한 곳에서 잘 자라는 교목성 상록침엽수로 한반도 백두대간의 주 산계를 따라 지리산부터 북한의 차유산까지 분포한다(Chung and Lee, 1965; Kong, 2004; NIE, 2014).

우리나라 분비나무군락의 최대 자생지는 설악산국립공원으로 서북능선과 백두대간능선을 중심으로 가장 넓게 분포하며, 약 19.8km<sup>2</sup>의 면적(식피율 10% 이상 자생지 면적)에 자생하고 있다(Park *et al.*, 2019). 이에 대한 서식지 중심의 보전 및 관리를 위해 해당 서식지의 공간적 분포, 형태, 연결성, 파편화 수준 등 경관생태학적 특성의 시·공간적 변화양상을 파악할 필요가 있지만, 식물분류학적 연구나 식물사회학적 군집구조 및 개체군동태 연구에 머물고 있는 실정이다. 특히 설악산국립공원 내 분비나무 서식지에 대한 경관생태학적 접근(경관지수 활용 등)을 통한 서식지 특성을 분석한 사례는 전무하다. 이에 본 연구에서는 설악산국립공원 아고산대에 자생하고 있는 분비나무 서식지를 대상으로 식피율 차이에 따른 경관지수 분석을 통해 각 서식지 유형별 경관생태학적 특성을 정량적으로 해석·평가하고자 하였으며, 서식지 중심의 보전·관리 전략 및 계획수립을 위한 근거자료로 활용될 수 있도록 하였다.

## 연구방법

### 1. 대상지 및 자료

대상지는 설악산국립공원 내 자생하고 있는 모든 분비나무 서식지로 설정하였다. 단, 분비나무는 근연종인 구상나무와 동일속으로 형태적 식별이 불분명(Chang *et al.*, 1997; Song *et al.*, 2007)하여 지리적 자생범위에 대한 분류학적 이견이 있다. 이에 본 연구에서는 Yim and Baik(1985), Yim and Kim(1992), Kong(2002), Kim(2012), NIE(2014)에 근거하여, 설악산국립

공원은 분비나무 자생지라는 전제 하에 수행되었다.

경관지수 분석에 사용한 공간자료는 국립공원공단에서 2016~2017년 조사 작성한 「국립공원 아고산생태계 상록침엽수 분포지도」이며, 이중 설악산국립공원 분비나무에 대한 공간 자료를 추출하여 사용하였다. 해당 자료는 2010년부터 2015년까지 촬영된 항공영상과 현장조사 및 검증 과정을 거쳐 작성되었으며, 식피율 기준 5가지 유형(10% 미만, 10% 이상 25% 미만, 25% 이상 50% 미만, 50% 이상 70% 미만, 70% 이상)으로 구분되어 있다.

### 2. 경관지수 분석

경관지수는 공간자료의 기하학적, 공간적 특성을 측정하는 것으로 패치(patch), 클래스(class), 경관(landscape) 3단계 위계로 구분하여 분석이 이뤄진다. 여기서 패치 단위는 하나의 단일패곡선으로 이뤄진 개별 폴리곤으로 서식지 내 단절되어 있는 각각의 서식지로 이해할 수 있다. 따라서 식피율은 같을 수 있어도 폴리곤의 형태나 크기는 모두 다르다고 할 수 있다. 클래스 단위는 동일한 유형의 독립적 패치들의 집합을 의미하는 것으로, 본 연구에서는 식피율이 동일한 각 패치들의 집합을 클래스로 구분할 수 있다. 예를 들면, 10% 미만의 모든 패치의 집합을 클래스로 구분할 수 있다. 경관 단위는 모든 클래스의 집합이자 모든 패치들의 집합이다. 즉, 경관 단위는 식피율 구분 없이 설악산국립공원 내 분포하는 모든 분비나무 서식지가 된다. Figure 1을 통해 각 단위별 개념을 표현하였다.

본 연구에서 산출한 경관지수는 크게 면적(size), 가장자리 길이(edge), 형태(shape), 다양도(diversity) 관련 지수로 구분할 수 있다. 면적 관련 지수로는 평균 패치면적(MPS, Mean Patch Size), 중앙값 패치면적(MedPS, Median Patch Size), 패치 총 면적(CA, Class Area), 패치면적 표준편차(PSSD, Patch Size Standard Deviation), 패치면적 변동계수(PSCV, Patch Size Coefficient of Variance)를 산출하였으며, 가장자리 길이 관련 지수로는 총 가장자리 길이(TE, Total Edge), 가장자리 밀도(ED, Edge Density), 평균 가장자리 길이(MPE, Mean Patch Edge), 평균 가장자리-면적 비율(MPAR, Mean

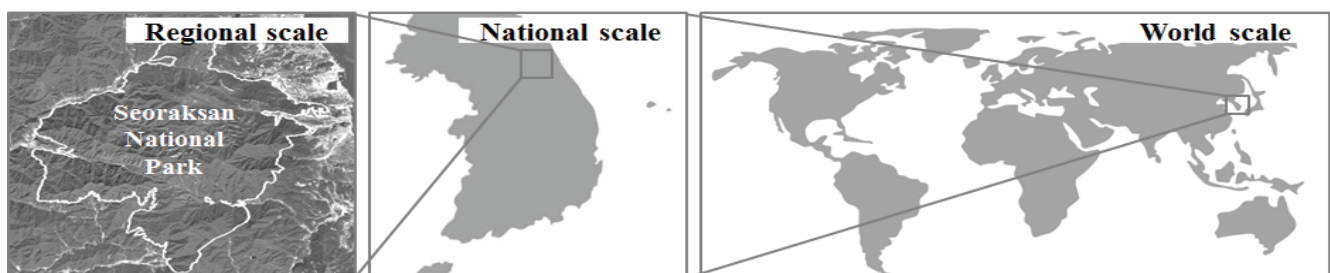


Figure 1. Study Site.

Perimeter Area Ratio)을 산출하였다. 형태 관련 지수로는 평균 형태지수(MSI, Mean Shape Index), 면적가중치 평균 형태 지수(AWMSI, Area Weighted Mean Shape Index)를 산출하였으며, 다양성 관련 지수로는 다양도지수(SHDI, Shannon's Diversity Index)와 균등도지수(SHEI, Shannon's Evenness

Index)를 산출하였다. 각 경관지수는 ArcGIS Patch Analyst 5.0 프로그램 사용하여 자동 산출하였으며, 각 지수별 개요 및 산식은 Table 1과 같다.

평균 패치면적(MPS)과 중앙값 패치면적(MedPS)은 유형별 모든 패치들의 평균 면적과 중앙값 면적을 의미하며, 클래스

Table 1. Description of each landscape indices

Indices	Abbreviation	Description	Equation
Mean Patch Size	MPS	Average patch size	$\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}$
Median Patch Size	MedPS	The middle patch size, or 50th percentile	-
Class Area	CA	Sum of areas of all patches belonging to a given class	$\sum_{j=1}^n a_j$
Patch Size Standard Deviation	PSSD	Standard Deviation of patch areas	$\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n [a_{ij} - (\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i})]^2}{n_i}}$
Patch Size Coefficient of Variance	PSCV	Coefficient of variation of patches	$\frac{PSSD}{MedPS}$
Total Edge	TE	Perimeter of patches	$\sum_{j=1}^n p_j$
Edge Density	ED	Amount of edge relative to the landscape area	$\frac{\sum_{j=1}^n p_i}{A}$
Mean Patch Edge	MPE	Average amount of edge per patch	$\frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{n_i}$
Mean Perimeter Area Ratio	MPAR	Sum of each patches perimeter/area ratio divided by number of patches	$\frac{\sum_{j=1}^n \frac{p_{ij}}{a_{ij}}}{n_i}$
Mean Shape Index	MSI	Sum of each patch's perimeter divided by the square root of patch area for each class, and adjusted for circular standard, divided by the number of patches	$\frac{\sum_{j=1}^n (\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \cdot a_{ij}}})}{n_i}$
Area Weighted Mean Shape Index	AWMSI	AWMSI equals the sum of each patch's perimeter, divided by the square root of patch area (in hectares) for each class, and adjusted for circular standard, divided by the number of patches	$\frac{\sum_{j=1}^n [(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi \cdot a_{ij}}}) (\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}})]}{n_i}$
Shannon's Diversity Index	SHDI	The index will equal zero when there is only one patch in the landscape and increases as the number of patch types or proportional distribution of patch types increases.	$-\sum_{i=1}^m (p_i \cdot \ln p_i)$
Shannon's Evenness Index	SHEI	Shannon's evenness index is equal to zero when the observed patch distribution is low and approaches one when the distribution of patch types becomes more even	$\frac{-\sum_{i=1}^m (p_i \cdot \ln p_i)}{\ln m}$

$a$  = area of patch,  $p$  = perimeter of patch

단위별 총 면적(CA)은 동일 유형에 해당하는 패치면적의 합계를 의미한다. 패치면적 표준편차(PSSD)는 유형별 모든 패치면적에 대한 표준편차, 패치면적 변동계수(PSCV)는 표준편차를 평균값으로 나눈 값으로 평균값이 클수록 표준편차가 높아지므로 이를 보정하기 위한 지수이다. 총 가장자리 길이(TE)는 유형별 모든 패치둘레의 합계, 가장자리 밀도(ED)는 총 패치면적에 대한 총 가장자리 길이의 비율, 평균 가장자리-면적 비율(MPAR)은 패치 총 개수에 대한 각 패치별 단위면적당 가장자리길이의 총 합계를 의미한다. 평균 형태지수(MSI)는 패치형태의 복잡성을 판단할 수 있는 값으로, 형태가 불규칙하고 복잡할수록 값이 높아지며 1에 가까울수록 패치의 형태가 원형에 가까움을 의미한다. 면적가중치 평균 형태지수(AWMSI)는 평균형태지수와 유사한 개념이지만, 패치의 크기가 클수록 형태가 복잡해지는 경향을 보정하기 위한 지수이다. 다양도지수(SHDI)는 각 패치의 유형별 다양성을 보는 지수로, 패치 개수가 많을수록, 각 유형별 패치 개수의 비율이 유사할수록 값이 높아진다. 균등도지수(SHEI)는 다양도지수와 유사한 개념으로 1에 가까워질수록 다양도지수 값이 최대치에 도달했다고 평가할 수 있다. 다양도지수는 유형의 개수가 많을수록 높아지는 경향이 있어, 균등도지수를 통해 다른 연구결과와의 비교가 가능하다.

## 결과 및 고찰

경관 단위 총 면적(Total Area) 즉, 설악산국립공원 분비나무 서식지의 총 면적은 1,978.0ha로 확인되었다. 각 식피율 구간별 패치의 집합 즉, 클래스 총 면적(CA, Class Area)은

10~25% 구간의 분비나무 패치가 897.61ha로 가장 높은 값을 나타냈으며, 26~50% 구간(790.14ha), 51~70%(228.11ha) 구간 순으로 높게 나타났다. 식피율 50% 미만의 패치 총 면적(CA, Class Area)이 전체의 88.3%를 차지하여, 설악산국립공원 내 분비나무가 50% 이상 수관층을 피복하고 있는 패치의 비율은 12% 미만으로 확인되었다. 특히 순 군락이라고 할 수 있는 식피율 70% 이상의 분비나무 패치 총 면적(CA, Class Area)은 2.71ha로 나타나 공원면적 대비 차지하는 비율은 극히 적은 것으로 판단된다.

각 패치 평균 면적(MPS, Mean Patch Size)은 식피율 10% 미만이 59.43ha로 가장 높게 나타났으며, 패치 총 면적(CA, Class Area) 값이 비교적 높게 나타난 10~24%, 25~49% 구간의 패치는 각각 7.87ha, 4.59ha로 나타났다. 식피율 10% 미만 패치 평균 면적(MPS, Mean Patch Size) 값이 패치 총 면적(CA, Class Area) 값과 동일하게 나타나 하나의 패치로 이뤄져 있음을 알 수 있으며, 실제로 해당 식피율의 패치 수(Number of Patch)는 1개인 것으로 확인되었다. 10~24%, 25~50% 구간의 패치 총 면적(CA, Class Area) 값이 크게 나타남에도 불구하고 패치 평균 면적(MPS, Mean Patch Size) 값이 비교적 작게 나타났는데, 이는 해당 구간의 패치 수가 많다는 것을 의미한다. 실제로 패치 수(Number of Patch)가 각각 114개, 172개로 나타나 다른 식피율 구간(50~69%: 56개, 70% 이상: 2개)보다 파편화 정도가 심한 것으로 판단된다.

패치면적 표준편차(PSSD, Patch Size Standard Deviation)는 식피율 10~24% 구간의 패치가 18.66로 가장 높게 나타났으며, 25~49% 구간(8.68), 50~69% 구간(4.52), 70% 이상 구간(0.44) 순으로 나타났다. 패치면적 표준편차(PSSD, Patch Size Standard Deviation)는 각 패치의 크기가 평균 크기로부터

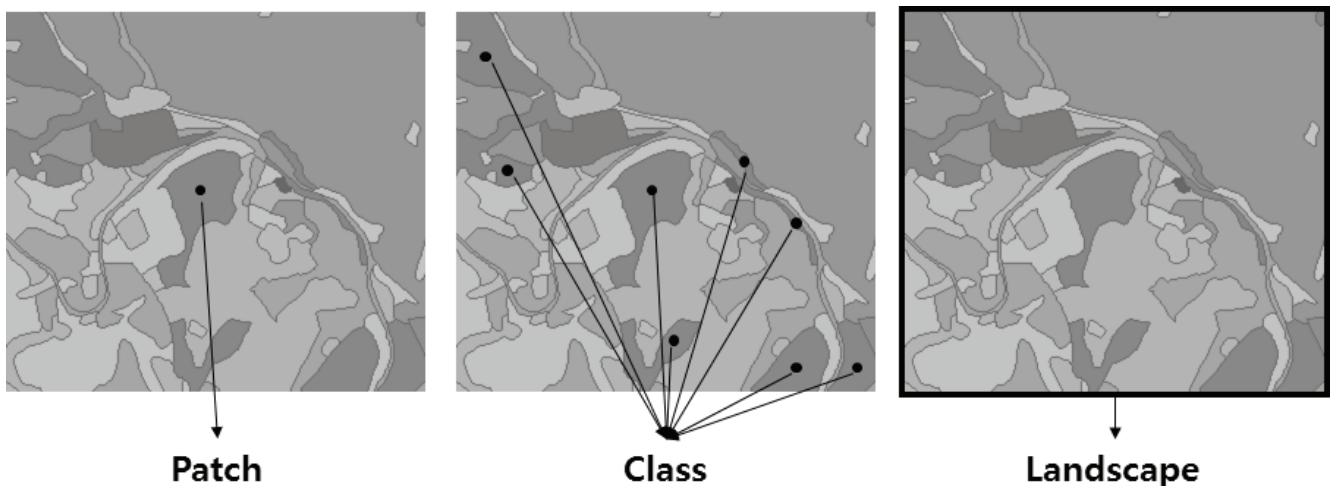


Figure 2. Concept of each level of landscape indices.

터 얼마나 퍼져 있는지를 알 수 있는 값으로, 패치 수(Number of Patch)와 패치 평균 면적(MPS, Mean Patch Size)이 높을수록 높게 나타나는 경향을 볼 수 있었다. 평균 값과 표준편차는 비례하기 때문에 이를 보정하기 위해 만든 패치면적 분산계수(PSCV, Patch Size Coefficient of Variance; McGarigal, 1994) 역시 패치면적 표준편차(PSSD, Patch Size Standard Deviation)와 동일한 경향을 나타냈다. 즉, 식피율 10~24% 구간의 패치는 패치 수(Number of Patch)와 패치의 평균 면적(MPS, Mean Patch Size)이 높으면서 다양한 값의 크기 분포를 나타내고 있는 것으로 판단된다.

총 가장자리 길이(TE, Total Edge)는 식피율 25~49% 구간의 패치가 243,030.0m로 가장 높게 나타났으며, 10~24% 구간(211,547.0m), 50~59% 구간(71,344.8m), 10% 미만 구간(10,161.9m), 70% 이상 구간(1,474.7m) 순으로 나타났다. 가장자리 밀도(ED, Edge Density) 역시 총 가장자리 길이(TE, Total Edge)와 동일한 경향을 나타냈다. 패치 총 면적(CA, Class Area)은 식피율 10~24% 구간의 패치가 가장 높게 나타난 반면, 총 가장자리 길이(TE, Total Edge)와 가장자리 밀도(ED, Edge Density)는 식피율 25~49% 구간의 패치에서 높게

나타났다. 이는 25~49% 구간의 패치 수(Number of Patch)가 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다. 반면, 평균 가장자리 지수(MPE, Mean Patch Edge)는 식피율 25~49% 구간의 패치가 아닌 10~24% 구간의 패치에서 가장 높게 나타났는데, 이는 식피율 10~24% 구간의 패치 1개당 가장자리 길이가 상대적으로 길다는 것을 의미한다. 평균 가장자리-면적 비율(MPAR, Mean Perimeter Area Ratio)은 식피율 71% 이상의 패치가 가장 높게 나타났는데, 이는 해당 구간의 단위면적당, 패치 1개당 가장자리 길이가 가장 긴 것을 의미한다.

각 패치의 형태적 특성을 파악하기 위해 평균 형태지수(MSI, Mean Shape Index)를 분석한 결과, 10% 미만의 패치가 3.72로 가장 높게 나타났다. 1에 가까울수록 원형에 가까운 형태임을 의미하며(McGarigal, 1994), 10% 미만의 패치를 제외한 나머지 패치들은 1 이상 2 미만의 값을 나타내 비교적 원형에 가까운 물리적 형태를 나타내는 것으로 판단된다. 다만, 패치의 형태는 면적이 클수록 복잡해지는 경향을 나타내기 때문에(McGarigal, 1994), 이를 고려한 면적가중치 평균 형태지수(AWMSI, Area Weighted Mean Shape Index) 값을 추가 검토해야 한다. 면적가중치 평균 형태지수(AWMSI, Area

Table 2. Result of each landscape indices of class level

Indices	Class Level					Landscape Level
	Less than 10%	Over 10%, less than 25%	Over 25%, less than 50%	Over 50%, less than 70%	Over 70%	
Number of Patch	1.00 (0.3%)	114.00 (33.0%)	172.00 (49.9%)	56.00 (16.2%)	2.00 (0.6%)	345.00 (100%)
Total Area <sup>1)</sup>	1,978.00	1,978.00	1,978.00	1,978.00	1,978.00	1,978.00
Class Area <sup>1)</sup>	59.43 (3.0%)	897.61 (45.4%)	790.14 (39.9%)	228.11 (11.5%)	2.71 (0.2%)	1,978.00 (100%)
Mean Patch Size <sup>1)</sup>	59.43	7.87	4.59	4.07	1.36	5.73
Median Patch Size <sup>1)</sup>	59.43	2.79	1.84	2.07	1.36	2.14
Patch Size Standard Deviation <sup>1)</sup>	-	18.66	8.68	4.52	0.44	12.92
Patch Size Coefficient of Variance <sup>1)</sup>	-	236.97	189.03	110.90	32.62	225.41
Total Edge <sup>2)</sup>	10,161.90 (1.9%)	211,547.00 (39.4%)	243,030.00 (45.2%)	71,344.80 (13.3%)	1,474.70 (0.2%)	537,558.00 (100%)
Edge Density <sup>3)</sup>	5.14	106.95	122.87	36.07	0.75	271.77
Mean Patch Edge <sup>2)</sup>	10,161.90	1,855.67	1,412.97	1,274.01	737.35	1,558.14
Mean Perimeter Area Ratio <sup>3)</sup>	170.99	438.35	503.00	475.83	555.62	476.57
Mean Shape Index	3.72	1.93	1.94	1.86	1.78	1.93
Area Weighted Mean Shape Index	3.72	3.33	2.78	2.22	1.84	2.99
Shannon's Diversity Index	-	-	-	-	-	1.09
Shannon's Evenness Index	-	-	-	-	-	0.68

Unit: <sup>1)</sup>ha, <sup>2)</sup>m, <sup>3)</sup>m/m<sup>2</sup>

Weighted Mean Shape Index) 산출결과 10% 미만의 패치를 제외한 모든 패치에서 평균 형태지수(MSI, Mean Shape Index) 값 대비 소폭 상승하였지만, 이 역시 10% 미만의 패치가 가장 높은 값을 나타내 해당 구간의 형태가 가장 복잡하고 불규칙한 형태를 나타내는 것으로 판단된다.

전체 패치에 대한 식피율 유형별 다양성과 균질성을 분석하기 위해 다양도지수(SHDI, Shannon's Diversity Index)와 균재도지수(SHEI, Shannon's Evenness Index)를 산출하였다. 그 결과 다양도지수(SHDI, Shannon's Diversity Index) 값은 1.09(최대값 1.61), 균재도지수(SHEI, Shannon's Evenness Index) 값은 0.68(최대값 1.0)로 나타나 패치의 다양성과 균질성이 높은 것으로 판단된다. 그러나 이러한 값은 패치의 수가 많고 패치의 유형별 개수가 유사할수록 높게 나타나는데 (McGarigal, 1994), 서식지 파편화가 많이 이뤄질수록 높아지는 값이기도 하다.

상기의 결과에 따르면, 식피율 50% 미만이 전체의 85% 이상을 차지하고 있을 만큼 설악산국립공원의 분비나무군락은 전반적으로 낮은 피도와 개체밀도로 서식하고 있는 것으로 판단된다. 또한 식피율 10~50% 구간의 분비나무군락은 총 286개의 패치로 파편화되어 있어 서식지 연결성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이중 식피율 10~25% 구간의 분비나무군락이 파편화 정도가 심하였으며, 다른 식피율의 군락에 비해 다양한 크기의 패치로 구성되어 있다. 물리적 형태에 따른 주변부 효과를 판단할 수 있는 총 가장자리 길이와 가장자리 밀도는 식피율 26~50% 구간에서 가장 높게 나타났다. 즉, 식피율 26~50%의 분비나무 패치는 다른 패치에 비해 서식지 외부로부터 받는 영향의 총량이 상대적으로 많을 수 있다. 또한 패치의 형태적 특성을 알 수 있는 평균형태지수의 경우, 식피율 10% 미만의 분비나무 패치가 가장 높게 나타났다. 그러나 식피율 10% 미만의 분비나무 패치는 단 1개이므로 이를 제외하면, 10~25%, 26~50% 구간의 분비나무 패치가 근소한 차이로 비교적 높게 나타났다. 동일한 크기의 패치일지라도 식피율 10~50%의 분비나무 패치가 더욱 복잡한 형태를 나타내고 있으며, 이러한 특성이 서식지 파편화 및 외적 교란에 더욱 취약하게 만들 것으로 판단된다.

설악산국립공원 분비나무 서식지 파편화는 현재 잔존해 있는 서식지를 여러 개의 작은 서식지로 해체시키며, 다양한 크기와 형태의 서식지 간 연결성을 저해하는 원인이 될 것으로 판단된다. 특히 분비나무는 경사와 바람의 영향이 불규칙한 아고산대에 제한적으로 자생·분포하기 때문에, 바람에 의한 산포 특성(풍산포)을 갖는다 할지라도 서식지 파편화에 따른 개체군 영향은 일반적인 풍산포 종의 영향보다 클 것으로 판단된다. 이러한 현상이 종의 분포도와 대립되어 개체군을 더욱 고립시키고 종의 멸종 위험을 높이는 요소(Hong *et al.*, 2007)가 될 수 있다. 비록 서식지 파괴가 파편화에 비해 생물 개체군에 더 큰

영향을 미치지만(Fahrig, 1997; Hong *et al.*, 2007), 서식지 파편화는 서식지 소실을 더 악화시키거나 빠르게 진행(Hong *et al.*, 2007)시킬 수 있기 때문이다.

본 연구의 결과를 기준으로 향후 설악산국립공원 분비나무 서식지에 대한 공간적 확대 및 축소, 서식지를 구성하는 각 임분의 형태적 변화 및 이동, 각 임분 간 연결성 및 단절 등에 대한 시계열 분석이 수행될 수 있을 것으로 기대한다. 나아가 이를 정량적으로 분석할 수 있는 공간정보의 지속적인 축적과 갱신이 후속되어야 할 것이다.

## REFERENCES

- Beckage, B., B. Osborne, D.G. Gavin, C. Pucko, T. Siccama, T. Perkins(2008) A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the green mountains of Vermont. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 4197-4202.
- Chang, J.S., J.I. Jeon and J.O. Hyun(1997) An analysis of morphological variation in *abies koreana* Wilson and *A. nephrolepis*(Traut.) Maxim. of Korea(Pinaceae) and their phylogenetic problems. *Journal of Korean Forestry Society* 86(3): 378-390. (in Korean with English abstract)
- Choi, W.Y., S.G. Jung, J.H. Oh and J.H. You(2005) The structural and functional analysis of landscape changes in Daegu metropolitan sphere using landscape indices & ecosystem service value. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 8(4): 102-113. (in Korean with English abstract)
- Chung, T.H. and W.C. Lee(1965) A study of the Korean woody plant zone and favorable region for the growth and proper species. *Journal of Sungkyunkwan University Press* 10: 329-435. (in Korean with English abstract)
- Crawford, R.M.(1989) *Studies in plant survival: Ecological case stories of plant adaptation adversity*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Daniel, T.C.(2001) Whither scenic beauty? Visual landscape quality assesment in the 21st century. *Landscape and Urban Planing* 54(4): 267-281.
- Davis, L.S., K.N. Johnson, P.S. Bettinger, T.E. Howard(2001) *Forest management: To sustain ecological, economic, and social values* (4th ed.). McGraw-Hil, New York, 804pp.
- Dramstad, W.E., M.S. Tveit, W.J. Ejelstad and G.L.A. Fry(2006) Relationships between visual landscape preferences and map-based indicators of landscape structure. *Landscape and Urban Planing* 78(4): 465-474.
- Fahrig, L.(1997) Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. *Journal of Wildlife Management* 61:

- 603-610.
- Griffith, J.A.(2002) Geographic techniques and recent application of remote sensing to landscape-water quality studies. *Water, Air, and Soil Pollution* 138: 181-197.
- Hargis, C.D., J.A. Bissonette, J.L. David(1998) The behavior of landscape metrics commonly used in the study habitat fragmentation. *Landscape Ecology* 13(3): 167-186.
- Han, H., J.E. Song, A.R. Seol, J.H. Park and J.S. Chung(2011) A comparative analysis of forest landscape structures between famous and general Korean forests using landscape indices. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14(1): 1-11. (in Korean with English abstract)
- Heo, S.G., K.S. Kim, J.H. Ahn, J.S. Yoon, K.J. Lim, J.D. Choi, Y.C. Shin, C.W. Lyoo(2007) Landscape analysis of the forest fragmentations at Doam-Dam watershed using the FRAGSTATS model. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(1): 10-21. (in Korean with English abstract)
- Herzog, F., A. Lausch, E. Müller, H. Thulke, U. Steinhardt and S. Lehmann(2001) Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation. *Environment Management* 27(1): 91-107.
- Hong, S.G., S.G. Kang, J.E. Kim, B.H. Noh, T.H. Noh, S.W. Lee(2007) Learning landscape ecology: A practical guide to concepts and techniques(Translation from the English language edition by Gergel, S.E. and M.G. Turner). Lifescience, Seoul, 328pp. (in Korean)
- Hong, S.K. and J.E. Kim(2008) Applying geographical information system and landscape indices to landscape ecological analysis of maritime villages in Korea-case studies on fishery villages in Tae-An peninsula, Chungnam-. *Journal of the Island Culture* 31: 281-299. (in Korean with English abstract)
- Horikawa, M., I. Tsuyama, T. Mstsui, Y. Kominami, N. Tanaka(2009) Assessing the potential impacts of climate change on the alpine habitat suitability of Japanese stone pine(*Pinus pumila*). *Landscape Ecology* 24: 115-128.
- Jung, S.G., J.H. Oh, K.H. Park(2005) A temporal structure analysis of forest landscape patterns using landscape indices in the Nakdong river Basin. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 8(2): 145-156. (in Korean with English abstract)
- Kelly, A.E. and M.L. Goulden(2008) Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(33): 11823-11826.
- Kim, S.W. and C.H. Park(2001) Spatio-temporal change detection of forest patches due to the recent land development in North Korea. *Journal of Environmental Impact Assessment* 10(1): 39-47. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.Y.(2012) Syntaxonomy of subalpine vegetation in Korea. Ph. D. Dissertation, Univ. of Keimyung, Daegu, 145pp. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(1998) Perspectives in landscape ecology: The alpine and subalpine geoecology of the Korean peninsula. *Journal of Ecology and Environment* 21(4): 383-387. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2002) Species composition and distribution of Korean alpine plants. *Journal of the Korean Geographical Society* 37(4): 357-370. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2004) Species composition and distribution of native Korean conifers. *Journal of the Korean Geographical Society* 39(4): 528-543. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2005) Selection of vulnerable indicator plants by global warming. *Journal of the Korean Meteorological Society* 41(2-1): 263-273. (in Korean with English abstract)
- Kong, W.S.(2006) Biogeography of native Korean pinaceae. *Journal of the Korean Geographical Society* 41(1): 73-93. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Service(KFS)(2009a) Development of a forest management evaluation model at stand and landscape levels. Korea Forest Service, Daejeon, 141pp. (in Korean)
- Korea Forest Service(KFS)(2009b) Climate change and forest. Korea Forest Service, Daejeon, 242pp. (in Korean)
- Korea National Park Research Institute(KNPRI)(2017) Monitoring of ecosystems related to climate change in national park, Korea. 213pp. (in Korean)
- Lee, H.Y.(2013) The phytosociological characteristics of abies nephrolepis community and population dynamics as climate condition changes in Mt. Seorak, Korea. Ph. D. Dissertation, Univ. of Dongguk, Seoul, 184pp. (in Korean with English abstract)
- Lenoir, J., J.C. Getout, P.A. Marquet, P. Ruffray, H. Brisse(2008) A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320: 1768-1771.
- McGarigal, K. and B.J. Marks(1994) Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, Version 2. Univ. of Oregon State, Corvallis, 134pp.
- National Institute of Ecology(NIE)(2014) Subalpine conifer forest communities. National Institute of Ecology, 134pp. (in Korean)
- O'Neill, R.V., R.H. Gardner, G.M. Turner(1992) A hierarchical neutral model for landscape analysis. *Landscape Ecology* 7: 55-61.
- Park, K.H., S.G. Jung, J.O. Kwon, J.H. Oh(2005) Patterns of forest landscape structure due to landcover change in the Nakdong river basin. *Journal of Korean Society of Rural Planning* 11(4): 47-57. (in Korean with English abstract)
- Park, H.C., H.Y. Lee, N.Y. Lee, H. Lee, J.Y. Song(2019) Survey on



- the distribution of evergreen conifers in the major national park a case study on Seoraksan, Odaesan, Taebaeksan, Sobaeksan, Deogyusan, Jirisan national park. *Journal of National Park Research* 10(2): 1-8. (in Korean with English abstract)
- Root, T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig, J.A. Pounds(2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60
- Sohn, H.G., W.J. Kim, C.H. Park(2000) Landscape scale ecosystem assessment modelling using spatial pattern analysis of GIS: A case study of Yongin, Korea. *Journal of Korea Spatial Information Society* 8(2): 233-241. (in Korean with English abstract)
- Song, J.H., J.J. Lee, K.Y. Lee, J.C. Lee, Y.Y. Kim(2007) Variation in needle morphology of natural populations of *Abies nephrolepis* Maxim. and *A. Koreana* Wilson in Korea. *Journal of Korean Forestry Society* 96(4): 387-392. (in Korean with English abstract)
- Stokes, M.A. and T.L. Smiley(1968) An introduction to tree ring dating. University of Chicago Press, Chicago.
- Tinker, D.B., C.A.C. Resor, G.P. Beauvais, K.F. Kimfueller, C.I. Fernandes, W.L. Baker(1998) Watershed analysis of forest fragmentation by clearcuts and roads in a Wyoming forest. *Landscape Ecology* 13(3): 149-165.
- Tischendorf, L.(2001) Can landscape indices predict ecological processes consistently. *Landscape Ecology* 16(3): 235-254.
- Tres, B., G. Tres, H. Décamps, A.M. D'Hauteresere(2001) Bridging human and natural science in landscape research. *Landscape and Urban Planning* 57(3): 137-141.
- Wolkovich, E.M., B.I. Cook, J.M. Allen, T.M. Crimmins, J.L. Betancourt, S.E. Travers, S. Pau, J. Regetz, T.J. Davies, N.J.B. Kraft, T.R. Ault, K. Bolmgren, S.J. Mazer, G.J. McCabe, B.J. McGill, C. Parmesan, N. Salamin, M.D. Schwartz, E.E. Cleland(2012) Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature* 485: 494-497.
- Yim, Y.J. and S.D. Baik(1985) The vegetation of Mt. Seolag. The Chungang University Press, Seoul, 200pp. (in Korean)
- Yim, Y.J. and J.U. Kim(1992) The vegetation of Mt. Chiri National Park. The Chungang University Press, Seoul, 466pp. (in Korean)
- Yoon, E.J.(2006) Analysis of scale sensitivity and spatial discrimination of the landscape indices for the assessment of urban green in Seoul. Ph. D. Dissertation, Univ. of Seoul, Seoul, 178pp. (in Korean with English abstract)
- Yun, J.H., J.H. Kim, K.H. Oh, B.Y. Lee(2010) Vertical distribution of vascular plants in Jungsanri, Mt. Jiri by temperature gradient. *Korean J. Environ. Ecol.* 24(6): 680-707. (in Korean with English abstract)