공간스케일 변화에 따른 생물다양성 평가 -강원도 백두대간 보호구역을 대상으로-

심우담 · 박진우 · 이정수*
강원대학교 산림환경과학대학 산림경영학과

Evaluation of Biodiversity Based on Changes of Spatial Scale -A Case Study of Baekdudaegan Area in Kangwondo-

Woodam Sim, Jinwoo Park and Jungsoo Lee*

Department of Forest Management, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Republic of Korea

Abstract

This research was conducted on the conservation area of Baekdudaegan, Kangwondo under the purpose of evaluating bio-diversity according to the changes of spatial scale, using GIS data and spatial filtering method. The diversity index was calculated based on the information of species of The 5th forest type map using Shannon-weaver index (H'), evenness index (E_i) and richness index (R_i). The diversity index was analyzed and compared according to the changes of 12 spatial scales from Kernel size 3x3 to 73x73 and basin unit. As for H' and R_i , spatial scale increased as diversity index decreased, while E_i decreases gradually. H' and R_i was highest; each 1.1 and 0.6, when the Kernel size was 73x73, while E_i was 0.2, the lowest. When you look at according to the basin unit, for large basin unit, 'YeongDong' region shows higher diversity index than 'YeongSeo' region. For middle basin unit, 'Gangneung Namdaecheon' region, and for small basin unit, 'Gangneung Namdaecheon' and 'Gangneung Ohbongdaem' region shows high diversity index. When you look at the relationship between diversity index and Geographic factors, H' shows positive relation to curvature and sunshine factor while shows negative to elevation, slope, hillshade, and wetness index. Also E_i was similar to the relationship between H' and Geographic factor. Meanwhile, R_i shows positive relationship to curvature and sunshine factor, while negative to elevation, slope, hillshade, and wetness index. macro unit diversity index evaluation was possible through the GIS data and spatial filtering, and it can be a good source for local biosphere conservation policy making.

Key Words: baekdudaegan, biodiversity, Shannon-weaver index, evenness index, richness index

서론

생물다양성은 지구상의 모든 생물종 및 생태계의 다양성을 말하며, 1992년 리우환경회의에서 생물다양성

의 보존을 위한 정책과 목표를 제시하는 생물다양성 협약(CBD)과 함께 2010년 제 10차 당사국 총회(CDP10)에서 국제법상 구속력을 가지는 나고야 의정서를 채택함에 따라서 생물다양성은 국제적으로 해결해야할 중요

Received: February 5, 2014. Revised: February 8, 2014. Accepted: February 9, 2014.

Corresponding author: Jungsoo Lee

Department of Forest Management, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Republic of Korea
Tel: 82-33-250-8334, Fax: 82-33-250-5617, E-mail: jslee72@kangwon.ac.kr

한 과제로 대두되었다(Lee 1999; Kim 2013).

산림청은 이러한 국제적 변화에 대응하기 위하여 산림생태계의 생물다양성 보호를 위하여 '07년 국가산림 생물다양성 기본계획'을 수립하였으며, 기후변화에 따른 생물다양성 보전대책을 추진하고 있다. 특히, 백두대간은 생태계보전지역 및 천연기념물 보호지역 등으로 다양하게 구분되어 있으며, 특산식물과 희귀 및 멸종위기 동·식물들이 많이 생육하고 있어 생태적·학술적 보전 가치가 높은 지역으로, 백두대간 보호에 관한 법률과 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률에 의하여 관리하고 있다(Korea Forest Service 2008; Kim and Choo 2003). 또한, 산림청은 2006년부터 2009년 까지 백두대간 보호구역에 대한 자원실태조사와 2012년 백두대간의 국제보호지역 등재 추진에 관한 연구를 통하여 백두대간의 보호에 힘쓰고 있으며(Korea Forest Service 2013), 국립산림과학원과 국립수목원은 백두대간을 대상으로 한 산림생물의 조사 및 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

생물다양성의 평가를 위한 연구로는 회귀분석을 이용한 생물다양성 평가와 원격탐사자료를 이용한 회귀분석의 분포 지도작성 및 공간모델링 연구가 많이 이루어지고 있다(Joshi et al. 2004; Waser et al. 2004). 또한, 국내에

서는 환경영향평가를 위한 생물다양성 분석의 표준화 연구 및 생물종 분포모형 구축 등이 주로 이루어지고 있다(Kwon et al. 2012). 백두대간 보호구역 내 생물다양성의 유지 및 보존을 위하여 과학적이고 객관적인 평가방법을 통한 지속적인 관리가 요구되고 있으나, 공간정보 활용을 통한 매크로단위의 생물다양성 평가에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 GIS정보와 공간필터링 기법을 이용하여 공간스케일의 변화에 따른 생물다양성의 평가를 목적으로 수행하였다.

재료 및 방법

연구대상지

연구대상지는 강원도의 백두대간 보호구역을 대상으로 하였으며, 총 산림면적은 약 13만 ha로 백두대간 총면적의 51%를 차지하고 있다. 임상분포는 활엽수림이 약 71%로 가장 많이 분포하고 있으며, 침엽수림과 혼효림이 각각 14%, 11%를 차지한다. 영급분포는 IV영급이 약 37%로 가장 많이 분포하고 있으며, V영급과 VI영급이 각각 32%, 24%로 IV-VI영급이 집중적으로 분포하고 있다. 표고는 평균 약 814 m로 800-1,000 m구간이 전체

Fig. 1. Study area.

의 약 31%로 가장 높게 분포하였다. 또한, 경사는 평균 약 22°이며, 20-30°구간이 전체의 약 44%로 가장 높게 분포하였다(Fig. 1).

사용자료

GIS 정보는 산림청으로부터 제공받은 행정경계도와, 백두대간 보호구역도, 1:5,000축척의 5차임상도를 사용하였다. 5차 임상도는 2006년부터 2010년까지 조사된 제 5차 전국산림자원조사의 자료를 기반으로 제작되었으며, 임종, 임상, 수종, 경급, 영급의 속성정보를 제공하고 있다. 한편, 유역정보는 수자원공사에서 제공받은 유역 구분도를 이용하였으며, 대유역, 중유역, 소유역으로 구분되어 있다. 지형인자는 수치지형도의 등고선을 추출하여 DEM (Digital Elevation Model)정보를 구축하였으며, 일조량은 기상청의 2013기상연보를 이용하여 산출하였다. 또한, 사용한 소프트웨어는 다양성 지수를 계산하기 위해 MicroImages사의 TNTmips2007와 ESRI사의 Arcgis10.1을 사용하였다. 다양성 지수와 지형인자의 상관관계는 IBM사의 SPSSstatistics21을 통하여 분석하였다(Table 1).

연구방법

5차임상도와 행정구역도, 백두대간 보호구역도를 이용하여 연구대상지에 산림정보와 행정정보를 중첩하고, 다양성 평가를 위하여 임상정보를 30 m x 30 m의 래스터로 변환하여 분석하였다. 생물다양성 평가를 위한 다양성 지수는 종풍부도, 균등도, 우점도 등이 있으며, 본 연구에서는 가장 널리 이용되고 있는 Shannon-Weaver Index (H')와 Evenness Index (E_i), Richness Index (R_i)를 사용하였다.

$$H' = - \sum (P_i \times \log P_i) \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

$$E_i = \frac{H'}{\log S} \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

$$R_i = \frac{S-1}{\log s} \dots\dots\dots \text{식(3)}$$

H' : Shannon-Wiener의 최대 종 다양성지수

P_i : 표본점에서 종 i의 개체 수 / 표본점에서 모든 종의 총 개체 수

S : 종 종수

s : 종 개체 수

구축된 래스터 정보의 임상정보는 TNTmips의 SMLscript 기능을 이용하여 공간스케일에 따른 다양성 지수를 산출하였다. 공간스케일은 30x30 m의 격자 셀로, 3x3 스케일부터 73x73까지 총 12개의 스케일로 설정하였다. 구축된 프로그램에 의해 산출된 다양성지수는 공간적 특성을 대표하기 위해 유역단위로 다양성 지수를 평가하였다. 유역은 크게 대유역, 중유역, 소유역의 3개의 유역단위로 구분되며, 3개의 유역단위를 기초로 하여 공간스케일의 변화에 따라 다양성지수의 변화를 비교·분석하였다.

마지막으로 생물다양성지수와 지형인자와의 상관관계 분석을 실시하였다. 지형인자는 Kwon et al. (2012)의 선행연구를 참고하여 6개의 지형인자(표고, 경사, 음영기복, 굴곡도, 습윤지수, 일조량)를 선정하였으며, 일조량을 제외한 6개의 지형인자는 DEM을 기반으로 산출하였다. 산출방법은 Table 2와 같다(Table 2).

Table 1. Data used for this study

Classification	Data	Organization
GIS data	Digital terrain map	Korea Forest Service
	The 5th forest type map	
	Administrative District map	
	Baekdu mountain protective area map	Korea Water Resources Corporation
	Basin area map	
	Sunshine factor	Korea Meteorological Administration

Table 2. Calculation method of Geographic factor

Geographic Factor	Calculation method	Note
Elevation	Elevation information use of DEM	Cell size 30 m x 30 m
Slope	Slope extract from DEM	Unit: °
Aspect	$2 * (1 - \text{Aspect} / 180)$	
Hillshade	Hillshade extract from DEM	
Curvature	Curvature extract from DEM	±4 steep, ±0.5 flat
Wetness index	$\ln \{ (\text{Flow accumulation} + 1) / (\text{Slope} + 1) \}$

Fig. 2. The Framework of study.

Fig. 3. The distribution of basin in the Baekdu Mountains.

지형인자 중 일조량은 Kriging 기법을 활용하여 대상지의 일조량 정보를 산출하였다. Kriging 기법이란, 미관측 지점의 값을 이미 알고 있는 주위의 값들의 가중선형 조합으로 예측하는 기법으로, 공간통계자료가 필요할 때 유용한 방법이다(Krige 1951).

$$\check{Z}(S_o)^2 = \sum_{i=1}^{N^4} \lambda_i^3 Z(S_i)^1 \dots\dots\dots \text{식(4)}$$

$Z(S_i)$ =I 번째 위치에서 측정된 값

$Z(S_o)$ =예측하는 위치의 값
 λ_i =i번째 위치에서 추정을 위한 가중치
 N =측정하는 값의 개수

구축된 7개의 지형인자를 바탕으로, 유역의 가장 작은 단위인 소유역 단위에서 다양성지수와 지형인자의 상관관계를 분석하였다(Fig. 2, 3).

결과 및 고찰

백두대간의 다양성지수 분포

강원도 백두대간의 H' 는 공간스케일이 증가할수록 지수의 값이 점차 증가하였으며, 공간스케일 73x73에서 지수의 값이 1.4로 가장 높았다. 지역별 분포 현황으로는, 강릉시와 평창군의 경계인 대관령에서 가장 높았으며, 고성군 진부령과 평창군 신선골에서 가장 낮았다. Hwang et al. (2012)의 연구 자료에 따르면 H' 의 값은 덕항산이 1.8-2.4, 두타산은 1.9-3.3, 석병산은 2.2-2.9이며, 오대산은 2.6-3.4, 함백산은 2.4-3.4, 향로봉은 2.2-2.9로 5차임상도에 의한 H' 의 값 보다 약 2-3배 높았다. 반면, Lee et al. (2012)의 백두대간 뗏재에서 백봉령 마루금까지의 H' 의 값은 0.8-1.1로 나타났으며, Cho et al. (2005)의 태백산 당골계곡의 현장조사는 0.8-1.2로 5차임상도에 의한 값과 유사하였다.

한편, E_i 는 공간스케일이 증가할수록 지수의 값이 점차 감소하였으며, 공간스케일 3x3에서 지수의 값이 약 0.2로 가장 높아 H' 의 값과는 반대의 경향을 보였다. 지역별 분포 현황으로는, 대관령과 태백시 삼수령 부근에서 가장 높게 나타났으며, 고성군 진부령과 평창군 신선골에서 가장 낮았다. 백두대간의 기존연구에서는 Oh and Park (2002)의 피재-도래기재 구간의 현장조사가 0.7-0.8, Kim et al. (2004)의 노고단-고리봉 구간은 0.6-0.8, Choi and Oh (2003)의 정령치-고기리 구간은 0.7-0.8로, 5차임상도의 E_i 값 3-4배 높았다. 본 연구의 E_i 값이 과소 추정된 것은 기존의 역구가 소규모 단위의 지역별 현장조사에 국한된 반면, 강원도 백두대간 전체를

고려하여 대단위로 평가한 것이 원인으로 판단된다.

R_i 값은 공간스케일이 증가함에 따라 지수의 값이 증가하였으며, 공간스케일 73x73에서 지수의 값이 0.8로 가장 높아 H' 의 값과 경향이 유사하였다. 지역별 분포 현황은 대관령과 강릉시 왕기골 부근에서 가장 높게 나타났으며, 인제군 곰배령과 매봉산 부근에서 가장 낮게 나타났다. 기존 백두대간의 연구에서는 지수를 거의 사용하지 않았으며, Cho and Lee (2011)의 전국 소나무림을 대상으로 한 연구에서 목본식물의 R_i 값을 10-20으로 추정하여 본 연구의 R_i 값보다 약 17-33배 높게 추정되었다.

유역단위 다양성지수 분포

강원도 백두대간의 대유역은 한강유역과 한강동해유역으로 나뉘며, 백두대간의 능선을 중심으로 한강유역은 동쪽, 한강동해유역은 서쪽에 위치하여 영동과 영서로 구분된다. 대유역 단위에서 다양성평가 결과, H' 와 R_i 는 공간스케일이 증가할수록 높아졌고, E_i 는 점차 감소하였으며, 전체대상지 분포와 비슷한 경향이 나타났다. 또한, 한강유역의 다양성지수는 공간스케일 73x73에서 H' 는 1.32, E_i 는 0.16, R_i 는 0.76으로 가장 높았으며, 한강유역도 공간스케일 73x73에서 H' 는 1.31, E_i 는 0.16, R_i 는 0.74로 높았다. 모든 다양성 지수에서 한강동해유역은 한강유역보다 높아, 영동지방이 영서지방보다 생물다양성이 높았다. 유역 단위의 다양성지수 변화량은 공간스케일이 증가할수록 점차 감소하며, 특히 E_i 는 9x9스케일부터 한강유역과 한강동해유역의 값은 유사하였다 (Fig. 4).

중유역은 강릉남대천 등 7개의 유역으로 나뉘며, 한

Fig. 4. Large basin unit diversity index evaluation.

Fig. 5. Middle basin unit diversity index evaluation.

강 대유역에 4개, 한강동해 대유역에 3개로 구분된다. 중유역 단위에서 다양성 평가 결과, H' 와 R_i 는 73x73에서 각각 1.3과 0.7로 가장 높았으며, 공간스케일이 증가할수록 값이 증가하였다. 반면, E_i 의 경우 스케일이 증가할수록 지수의 값은 감소하여 공간스케일 3x3에서 지수의 값이 0.4로 가장 높았다. 대유역과 다양성지수의 분포 경향이 유사하였다. 유역 별 비교 결과 연구대상지의 남단인 삼척오십천과 중심부에 위치한 강릉남대천유역에서 다양성지수가 높았으며, 대상지의 북단인 인북천과 양양남대천의 값이 상대적으로 낮았다(Fig. 5).

소유역은 강릉오봉댐 등 29개의 유역으로 나뉘며, 한강 대유역에 16개, 한강동해 대유역에 13개의 소유역이 포함된다. 소유역 단위에서 다양성 평가 결과, H' 와 R_i 는 73x73에서 각각 1.3과 0.8로 가장 높았으며, 공간스케일이 증가할수록 값이 증가하였다. 반면, E_i 는 스케일이 증가할수록 점차 감소하여 공간스케일 3x3에서 지수의 값이 0.2로 가장 높았다. 유역 별 비교 결과, 대상지 중심부인 강릉남대천, 강릉오봉댐, 송천 유역에서 가장 높았으며, 대상지의 중심에서 멀어질수록 다양성지수의 값이 상대적으로 낮았다. 다양성 지수들의 값이 가장 낮은 유

역은 백두대간의 최북단인 남강유역으로, 대상지의 북쪽에서 다양성지수가 전체적으로 낮았다. 또한, H' 와 R_i 는 송천유역과 강릉오봉댐유역에서 가장 높았으며, R_i 는 강릉남대천유역과 강릉오봉댐유역에서 가장 높았다(Fig. 6).

다양성지수와 지형인자와의 상관관계

다양성지수와 지형인자와의 상관관계는 6가지의 인자로 분석하였다. 지형인자와의 상관분석 결과, H' 와 E_i 에서는 곡률, 일조량에서 양의 상관관계가 나타났으며, 표고, 경사, 음영기복, 습윤 지수는 음의 상관관계로 나타났다. R_i 경우, 곡률, 일조량에서 양의 상관관계가 나타났으며, 표고, 경사, 음영기복, 습윤 지수는 음의 상관관계로 나타났다. H' 는 일조량, 곡률의 순서로 상관관계가 높았으며, E_i 와 R_i 의 경우 표고, 일조량, 곡률의 순서로 상관관계가 높았다. 한편, H' 의 경우 표고인자에서 가장 낮게 추정되었으며, E_i 와 R_i 는 음영기복에서 가장 낮았다. 표고와 생물 다양성과의 관계는 일반적으로 표고가 증가함에 따라 다양성 역시 감소하는 일차선형 형태와, 표고가 높아짐에 따라 다양성도 증가하나, 중간 고도에서 다양성지

Fig. 6. Small basin unit diversity index evaluation.

수가 감소하는 이차함수 형태의 두 가지 유형으로 구분된다(Wang et al. 2007). 본 연구에서는 표고와 경사가 증가함에 따라 다양성지수가 감소하는 일차적 형태를 보였으며, 해발고도에 따른 신갈나무군락 특성연구, 백두대간의 정령치-고기리 구간의 해발고도에 따른 식생구조 등 기존연구의 결과와 유사하였다(Choi and Lee 2003; Jeong and Oh 2013) (Fig. 7-9).

결론

본 연구에서는 GIS정보와 공간필터링 기법을 이용하여 12가지의 공간스케일 변화에 따른 생물다양성을 유

역단위로 평가하였다. 기존 연구자료와 비교 결과, H' 의 값은 유사한 경향을 나타내었으나, E 와 R 는 과소 추정되었다. 이는 기존연구가 소면적 단위의 현장조사를 기반으로 다양성 지수를 산출한 반면, 본 연구는 강원도 백두대간 전체의 대면적을 대상으로 다양성 지수를 산출한 것이 원인으로 판단된다.

5차임상도를 이용한 다양성 지수산출은 공간정보의 활용을 통하여 자연자원에 대한 객관적·정량적 평가가 가능하게 하였다. 공간정보의 활용은 현장조사 데이터와는 달리 광범위한 백두대간 지역의 공간적 분포특성을 알 수 있었으며, 지역단위 이상의 대면적 면적 평가에서 효과적이었다. 본 연구를 통하여 나고야 의정서에 대

Evaluation of Biodiversity Based on Changes of Spatial Scale

Fig. 7. The correlation between Shannon index and Geographic factor.

Fig. 8. The correlation between Evenness index and Geographic factor.

Fig. 9. The correlation between Richness index and Geographic factor.

응하기 위한 공간정보를 활용한 생물다양성 지표선정 및 기초자료를 제공할 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 : S211013L020130)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Cho HJ, Lee CB. 2011. Vegetation types and diversity patterns of pinus densiflora forests in South Korea. *J Korean For Soc* 100: 118-123. (in Korean with English Abstracts)
- Cho HS, Kim GT, Choo GC. 2005. Studies on the structure of forest community at the Danggol valley in Taebaeksan area, the Baekdudaegan. *Kor J Env Eco* 19: 55-62. (in Korean with English Abstracts)
- Choi SH, Oh KK. 2003. Vegetation structure of mountain ridge from Jeongryeongchi to Bokseongjae in the Baekdudaegan. *Kor J Env Eco* 16: 421-432. (in Korean with English Abstracts)
- Hwang KM, Lee JM, Kim JH. 2012. Community classification and successional trends in the natural forest of Baekdudaegan in Gangwon province -focused on Hyangrobong, Odaesan, Seokbyeongsan, Dutasan, Deokhangsan and Hambaeksan-. *J*

- Agric Life Sci* 46: 41-55. (in Korean with English Abstracts)
- Jeong BK, Oh CH. 2013. Analysis on the Community Structure of *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. in the Baekdudaegan Mountains by Elevation. *Korean J Environ Ecol* 27: 449-461. (in Korean with English Abstracts)
- Joshi P, Singh S, Agarwal S, Roy PS, Joshi PC. 2004. Aerospace Technology for Forest Vegetation Characterization and Mapping in Central India. *Asian J Geo Inf Mati* 4: 19-26.
- Kim GT, Choo GC. 2003. Vegetation structure of mountain ridge from Nogodan to Goribong in Baekdudaegan, Korea. *Kor J Env Eco* 16: 441-448. (in Korean with English Abstracts)
- Kim GT, Choo GC, Baek GJ. 2004. Structure of forest community at Daedeoksan-Geumdaebong nature ecosystem preservation Area in Baekdudaegan. *Kor J Env Eco* 17: 9-17. (in Korean with English Abstracts)
- Kim SK. 2013. Legal and policy responses and challenges for the Korean government with regard to the conservation of biological diversity and the Nagoya protocol. *Public Land Law Review* 60: 449-473. (in Korean with English Abstracts)
- Korea Forest Service. 2013. http://www.forest.go.kr/newkfsweb/kfs/idx/SubMain.do?mn=KFS_04. Accessed 15 Jan 2014
- Korea Forest Service. 2013. <http://www.forest.go.kr> Accessed 22 Jan 2014
- Krige DG. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *J Chem Metall Min Soc S Af* 52: 119-139.
- Kwon HS, Seo CW, Park CH. 2012. Development of species dis-

- tribution models and evaluation of species richness in Jirisan region. *J Korean Soc Geosp Inf Syst* 20: 11-18. (in Korean with English Abstracts)
- Lee JH. 1999. A Study on the Policy of Wildlife Habitat Restoration and Creation - on the basis of Land use-. *Industr Sci Res* 8: 0-13. (in Korean with English Abstracts)
- Lee SD, Hong SH, Kim JS. 2012. Plant community structure of Daetjae (hill)~Baekbongryung (ridge), the Baekdudaegan Mountain. *Kor J Env Eco* 26: 719-729. (in Korean with English Abstracts)
- Oh KK, Park SG. 2002. Vegetation structure of mountain ridge from Pijae to Doraegijae in the Baekdudaegan, Korea. *Kor J Env Eco* 15: 330-343. (in Korean with English Abstracts)
- Wang Z, Tang Z, Fang J. 2007. Altitudinal patterns of seed plant richness in the Gaoligong Mountains, south-east Tibet, China. *Diversity Distrib* 13: 845-854.