

## GIS를 활용한 국립공원 아고산대 침엽수림의 입지환경 분석 - 구상나무를 대상으로 -

김태근 · 오장근\*

국립공원관리공단 국립공원연구원

**Analysis of the Location Environment of the Sub-alpine Coniferous Forest in National Parks Using GIS - Focusing on *Abies koreana* -. Kim, Tae-Geun (0000-0001-6211-1134) and Jang-Geun Oh\* (0000-0001-5206-6595) (National Park Research Institute, Korea National Park Services, Wonju 26441, Republic of Korea)**

**Abstract** It was a case study to use as a basic data for efficient the preservation and management of sub-alpine coniferous forest in national parks. It is based on inhabitation condition of 210 individuals of *Abies koreana* Wilson that was found through local investigation in the sub-alpine zone of Jirisan National Park and Songnisan National Park. It analyzed the effect of the geographical location and topographical features, which are the basics of location environment, on the growth of *A. koreana*. The variables related to the growth of *A. koreana* are tree height and diameter at breast height. Topographical features include geographical longitude, altitude above sea level, slope of the mountains, aspect that describes the direction in which a slope faces and topographical wetness index. Topographical features were extracted through GIS spatial analysis. It used canonical correlation analysis to estimate whether the two variables groups have related to each other and how much they are related, if any, and estimated the effect of the geographical and topographical features on the growth structure of *A. koreana* using multiple regression analysis. The tree height and diameter at breast height that represent the growth structure of *A. koreana* show greater relation to geographical latitude distribution than topographical feature and the geographical and topographical factors show greater relation to diameter at breast height than tree height. The growth structure's variable and geographical and topographical variable of *A. koreana* have meaningful relation and the result shows that geographical and topographical variables explain 18.1% of the growth structure. The variables that affect the diameter at breast height of *A. koreana* are geographical latitude, topographical wetness index, aspect and altitude, which are put in order of statistical significance. The higher the latitude is, the smaller the diameter at breast height. Depending on the topographical feature, it becomes bigger. The variable that affects the tree height is topographical wetness index, which was the only meaningful variable. Overall, the tree height and diameter at breast height that are related to the growth structure of *A. koreana* are affected by geographical and topographical feature. It showed that the geographical feature affected it the most. Especially the effect of water among the topographical features is expected to be bigger than the other topographical factors. Based on the result, it is expected that geographical and topographical feature is an important factor for the growth structure of *A. koreana*. Even

Manuscript received 14 September 2016, revised 30 September 2016,  
revision accepted 1 October 2016

\* Corresponding author: Tel: +82-33-769-1602, Fax: +82-33-769-1639,  
E-mail: jgohh@hanmail.net

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

though it considered only the geographical and topographical features and used spatial analysis data produced by GIS, the research results will be useful for investigating and researching the growth environment of coniferous forest inhabiting in sub-alpine zone of national parks and are expected to be used as basic data for establishing measures to efficiently manage and preserve evergreen needleleaf tree such as *A. koreana*.

**Key words:** sub-alpine coniferous forest, *Abies koreana* Wilson, GIS, topographical factors, canonical correlation analysis

## 서 론

지구온난화 등 기후변화를 비롯하여 다양한 환경변화는 이동성이 좋은 동물에 비해 식물의 경우 그 피해가 심각한 상황이며, 국립공원 아고산대 상록침엽수림의 감소가 급속하게 진행되고 있어 적절한 보전대책이 시급한 실정이다. 특히, 구상나무(*Abies koreana* Wilson)는 소나무과 전나무속에 속하는 상록침엽교목으로 한반도에 자생하는 고유종이고, 해발 1,000 m 이상의 일부 고산지역에 서식하며, 우리나라 대표적인 기후변화 민감종으로 분류되어 있다(Kong *et al.*, 2009). 현재 구상나무는 지리산(1,050~1,900 m), 한라산(1,000~1,950 m), 덕유산(1,350~1,590 m) 그리고 가야산(1,350~1,420 m) 등 국립공원의 정상부나 산능선의 암석지대에서 대부분 서식하고 있는 것으로 확인되었다(KNPS, 2014). 최근 아고산대에 자생하는 식물은 극한 기후환경에 노출되고 있어 아고산대 식물들의 쇠퇴현상이 두드러지고 있는데 구상나무와 같은 고산수종은 그 분포특성상 형질교환이 가능한 개체군의 크기가 매우 작기 때문에 진화가 불가능해 멸종 가능성이 매우 높은 식물로 인식되고 있다(Lee and Cho, 1993; Koo *et al.*, 2001).

구상나무와 관련된 연구는 군집구조와 개체군 동태분석(Cho, 1994), 생육현황의 이해증진을 위한 군집조사(Kim *et al.*, 1997) 등 기초연구뿐만 아니라, 성장과 서식환경의 연관성(Lee *et al.*, 1997), 구상나무의 성장조건 비교(Kim and Choo, 2000), 개체군의 식생구조와 생육환경의 연관성(Kim *et al.*, 2012) 및 치수 발생과의 상관관계 등 구상나무림의 식생구조변화와 서식환경 보존을 위한 연구가 보고되고 있다(Song *et al.*, 2014). 또한 지구온난화 등 기후변화에 따른 구상나무의 성장에 영향을 주는 주요 기후인자를 규명하고, 이로 인한 구상나무의 성장변화 및 쇠퇴 현상, 서식지 분포변화에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다(Park and Seo, 1999; Koo *et al.*, 2001; Yun *et al.*, 2010; Kim and Lee, 2013).

국립공원관리공단은 구상나무를 포함하여 아고산대 상록침엽수림을 효과적으로 관리하고 보전하기 위해서 2009년부터 서식실태조사와 함께 모니터링을 수행하고, 국립공

원연구원은 수분스트레스가 미치는 영향에 대해서 연구를 진행하고 있다(KNPS, 2014a, b, 2015).

현재까지 구상나무의 다양한 연구를 통해서 고사의 원인이 명확하게 밝혀지지 않았지만 지구온난화에 따른 겨울기온의 상승은 광합성 조건을 충족하나 수분공급의 불균형으로 구상나무 성장쇠퇴의 주요 요인일 수 있다고 하였다(Koo *et al.*, 2001; Kong *et al.*, 2009). 또한 상대습도, 온도 그리고 해발고도 등 물리적인 서식환경의 변화가 아고산 식물의 성장에 중요한 환경요인으로 작용할 것이라고 보고한 바 있다(Wildi and Lutz, 1996; Kim and Lee, 2013). 따라서 국립공원에서 아고산수종을 효과적으로 관리하고 보존하기 위해 구상나무의 식생구조와 공간분포, 서식환경 등의 생태적인 기본 정보가 절실히 요구된다. 특히 전국에 산재되어 있는 국립공원의 지리적인 특성상 현장조사는 매우 어렵고 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 고지대 산악지역에 주로 분포하고 있는 구상나무 등 상록침엽수림의 생태정보를 주기적으로 수집하기 위해서 GIS 공간분석 방법을 이용하는 것이 매우 유용할 수 있다.

본 논문은 국립공원 아고산대 침엽수림을 효과적으로 보전하고 관리하는 데 기초자료로 활용하고자 진행된 사례연구로서 지리산국립공원과 속리산국립공원의 아고산대에서 현지 조사된 구상나무(*Abies koreana*)의 서식실태 자료를 바탕으로, 입지환경의 기본이 되는 지리적 위치와 지형적 특성이 구상나무의 성장에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해서 구상나무의 성장과 관련된 변수는 수고 및 흉고직경으로 하고, 지리·지형적 특성은 GIS 공간분석으로 추출된 지리적 위도(Longitude), 해발고도, 산지경사, 사면향 그리고 지형습윤지수(TWI, Topographic Wetness Index)로 하여 상호연관성을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구지역 및 방법

국립공원 아고산대에서 서식하고 있는 구상나무의 성장

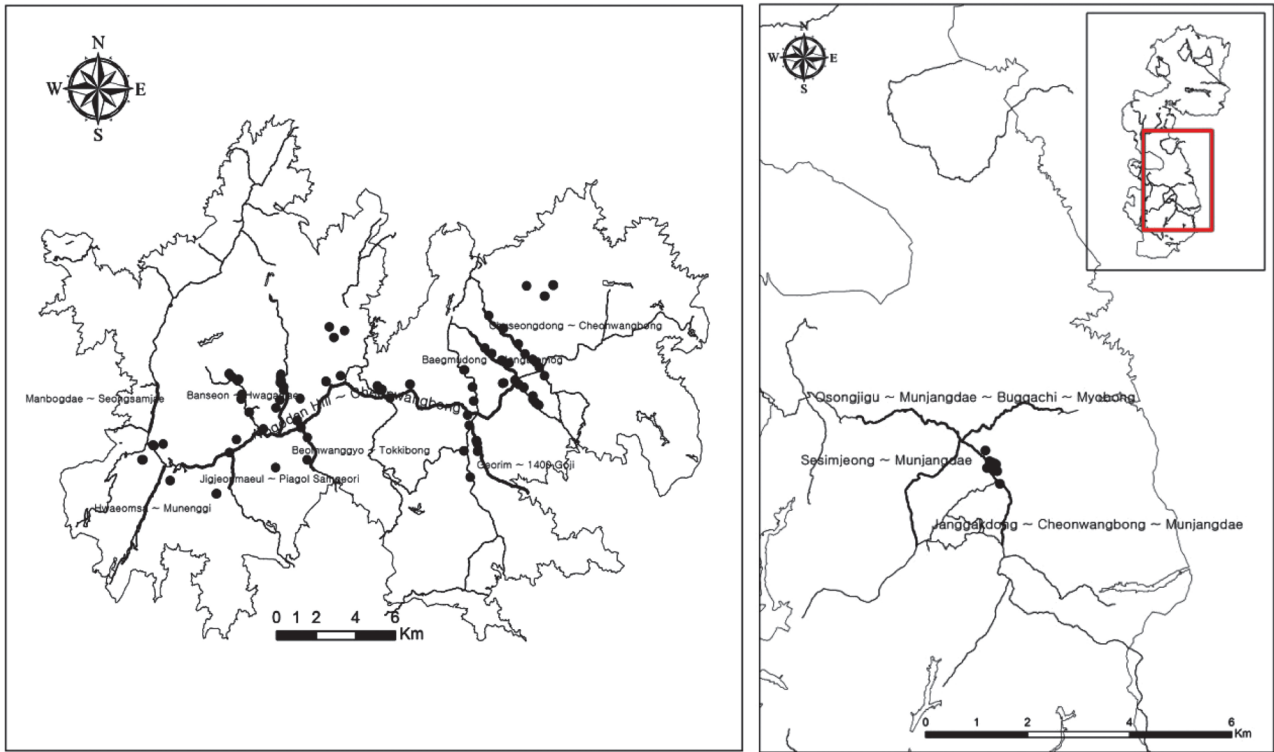


Fig. 1. The distribution of *Abies koreana* in Jirisan (left) and Songnisan (right) national park. The black spots (●) show the sampling site.

에 미치는 지형적 영향을 평가하기 위해서 현지 조사 자료가 이용 가능한 속리산국립공원과 지리산국립공원을 대상으로 하였다. 구상나무의 성장구조 변수는 201개체 구상나무의 수고와 흉고직경으로 하고, 지리·지형변수는 GIS 공간분석으로 도출된 해발고도, 산지경사, 사면향 그리고 지형습윤지수(TWI, Topographic Wetness Index)으로 하였다. 구상나무의 성장구조 변수와 지리·지형변수의 연관성은 정준상관분석 방법을 이용하고, 변수의 상대적 영향은 다중회귀분석 방법을 이용하였다.

## 2. 구상나무 분포자료

지리산국립공원에서 구상나무의 실태조사는 2013년 11월부터 2014년 7월까지 성삼재-천왕봉 주 능선부, 직전-피아골삼거리, 유평리-천왕봉, 추성-천왕봉, 성삼재-큰고리봉 등 조사 가능한 주요 등산로 33개를 중심으로 실시하였다(KNPS, 2015). 속리산국립공원은 2014년에 생존하는 개체와 치수목을 대상으로 범주사지구 신선대 및 입석대 일원을 중심으로 전수 조사하였다(KNPS, 2014b). 조사경로별로 분포 하한선과 주요 지점에 분포하는 구상나무를 선정하여 수고, 흉고직경, 해발고도, 방위, 좌표 등의 내용을 기록하였다. 조사내용에 포함된 좌표는 GPS기기를 사용하여

취득하였다. 구상나무 생육개체는 지리산에서 178개체, 속리산에서 32개체 등 총 210개체가 확인되었다(Fig. 1).

## 3. 지리·지형요소 자료

지리적 위치를 나타내는 위도는 구상나무가 분포하고 있는 지점으로 하고, 지형적 특성을 나타내는 해발고도, 산지경사, 사면향 그리고 지형습윤지수와 관련된 자료는 Kim *et al.* (2013)이 식생구조에 대해서 입지환경의 영향을 평가하기 위해서 이용한 GIS 공간분석 기법을 적용하였다. 수치고도자료(Digital Elevation Model, DEM)는 실제 지형기복의 형태를 표현하고자 3차원으로 표현한 수치자료이다. DEM은 대상지역을 일정한 면적을 정방형으로 격자를 나눈 뒤 각 격자마다 해당지점의 해발고도가 입력된다. 사용된 DEM자료는 국립지리정보원에서 제작하고 배포하는 1:5,000 축척의 수치지형도에서 해발고도를 나타내는 등고선 자료를 이용하고, 등고선에서 고도가 입력된 각 지점을 연속적인 삼각형으로 연결하는 불규칙 삼각망(TIN, Triangulated Irregular Network) 보간법을 적용하여 제작되었다. 격자크기는 수치지형도의 정확도를 고려해서 10m×10m로 하고 구상나무가 위치한 지역의 해발고도를 추출하였다. 그리고 이 지점에서 산지경사와 사

면방향은 간단한 공간분석 기법을 응용하여 산출하였다 (Burrough and McDonnell, 1998). 사면방향은 북쪽을 0°로 시작하여 시계방향으로 동(45°~135°), 남(135°~225°), 서(225°~315°), 북(315°~0°, 0°~45°) 4개의 사면으로 구분하였다. 지형의 수분조건을 정량화하기 위해서 지형습윤지수(Topographic Wetness Index, TWI)는 지형의 형태가 오목하고 경사가 완만한 지역에서는 수분이 모이고 산지경사가 가파르고 볼록한 지역에서는 물이 흐르는 성질을 바탕으로 생성되었다. 이 지수는 산지경사에 따라 물이 흐르는 방향에 직각으로 만나는 지점에서 단위 면적당 물이 모이는 집수면적의 비율로 산출된다. 이 값이 클수록 지형에 수분이 상대적으로 많다는 것을 의미한다(Gessler *et al.*, 2000). TWI를 계산하기 위해서 다음 식을 이용하였다.

$$TWI = \ln(A_s / \tan\beta)$$

여기서, A는 집수면적이고  $\tan\beta$ 는 라디안 단위로 표현되는 산지경사를 나타낸다. Fig. 2는 지리산과 속리산국립공원의 지리·지형변수의 분포를 나타내고 있다.

### 3. 구상나무의 성장과 지리·지형요소의 관계분석

구상나무의 성장과 관련된 변수인 수고 및 흉고직경과 입지환경의 기본이 되는 지리·지형적 특성의 관계를 분석하기 위해서 변수들 사이의 연관성은 정준상관분석을 하였다. 두 변수 사이의 연관성을 분석할 때 일반적으로 사용되는 통계분석은 상관분석이다. 그러나 변수 사이의 관계를 나타내는 상관계수만으로는 몇 개의 변수로 이루어진 집단 사이의 연관성을 해석하는 데 한계가 있다. 상관계수는 개별 변수 간의 연관성을 구하는 통계량이지 집단 사이의 연관성을 구하는 통계량이 아니기 때문이다. 따라서 본 논문에서 수고와 흉고직경으로 구성된 구상나무의 성장구조 변수집단과 성장에 영향을 줄 수 있는 지리적 위치, 해발고도, 경사, 사면향 그리고 지형습윤지수로 구성된 지형변수 집단 사이의 연관성을 구하기 위해서 정준상관분석을 이용하였다. 정준상관분석은 설명변수와 종속변수가 각 2개 이상이며 각 변수집단 내에서 어느 정도의 상관관계가 있다고 가정했을 때 두 변수집단 사이의 상관관계를 가장 잘 설명할 수 있는 변수들의 선형결합을 찾는 것을 목적으로 하는 통계방법이다. 정준상관분석은 먼저 구상나무의 성장구조 변수군과 지리·지형변수군을 선정한 다음, 두 변수군 간의 관계 유무와 그 정도를 분석하기 위해서 두 변수군 간의 상관관계를 극대화시키는 정준함수를 찾아서 통계적 유의성을 검증한다. 그리고 각 변수의 해당 변수군에 대한 기여도는 정준적재량(canonical

loadings)으로 평가하고, 비교 대상의 변수군에 대한 기여도는 교차적재량(cross loadings)으로 평가한다. 정준상관분석은 두 변수집단 사이의 상관관계는 물론, 각 변수집단 내에서 특정변수가 차지하는 중요성을 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Kim, 2010).

또한, 구상나무의 성장에 대해 지리·지형요소의 상대적인 영향을 평가하기 위해서 다중회귀분석을 이용하였고, 회귀모형을 추정하기 위해서 변수 선택은 후진제거방법을 이용하여 평가하였다. 구상나무의 성장과 관련된 수고와 흉고직경을 종속변수 또는 준거변수로 하고 입지환경특성인 경·위도, 해발고도, 사면방향, 경사 그리고 지형습윤지수를 설명변수 또는 예측변수로 하여 분석하였다. 연구에서 적용된 통계분석은 R-3.3.1 통계패키지를 이용하였다(R Core Team, 2016).

## 결과 및 고찰

현지에서 측정된 구상나무의 수고는 최소 2m에서 최대 15m의 범위에서 평균 9.03m로 조사되었다. 지상에서 1.2m 떨어진 지점에서 수목의 둘레를 나타내는 흉고직경은 최소 5cm에서 최대 212.50cm의 범위에서 평균 62.64cm로 조사되었다. 구상나무가 분포하는 지역의 지형적 특성은 해발고도는 최소 804m, 최대 1825m 그리고 평균 1,266m로 나타났다. 산지경사는 평균 19.59°이고 최소 1.51°에서 최대 45.65°의 범위에서 분포하는 것으로 나타났다. 지형의 수분조건을 설명하는 지형습윤지수(TWI)는 전반적으로 3.59 이상으로 평균 6.2와 최대 15.08로 나타났다. 공원별 살펴보면 지리산국립공원에서 구상나무의 평균수고는 9.09m (sd=3.16m)이고, 흉고직경의 평균은 70.7cm (sd=32.13cm)로 조사되었다. 지형적 특성은 지리산국립공원에서 해발고도 1,319.47m, 산지경사 18.40°, 지형습윤지수 6.52 (unitless) 그리고 남동사면(178.19°)인 지역에서 구상나무가 주로 분포하는 것으로 나타났다. 속리산국립공원에서 구상나무의 수고는 평균 8.72m (sd=3.15m)이고, 흉고직경의 평균은 17.7cm (sd=6.75cm)로 조사되었다. 속리산국립공원에서 구상나무가 분포하는 지역의 지형적 특성은 평균 해발고도는 967.69m, 산지경사는 26.23°, 지형습윤지수는 4.73 (unitless) 그리고 동쪽사면(81.18°)으로 나타났다.

구상나무의 성장구조 변수와 지리·지형변수 간의 관계 유무 및 그 정도를 분석하고, 각 변수 간의 표준화된 값(canonical coefficients)을 토대로 지리·지형변수의 각 변수가 소속된 변수군을 설명하는 데 얼마나 기여하는지를



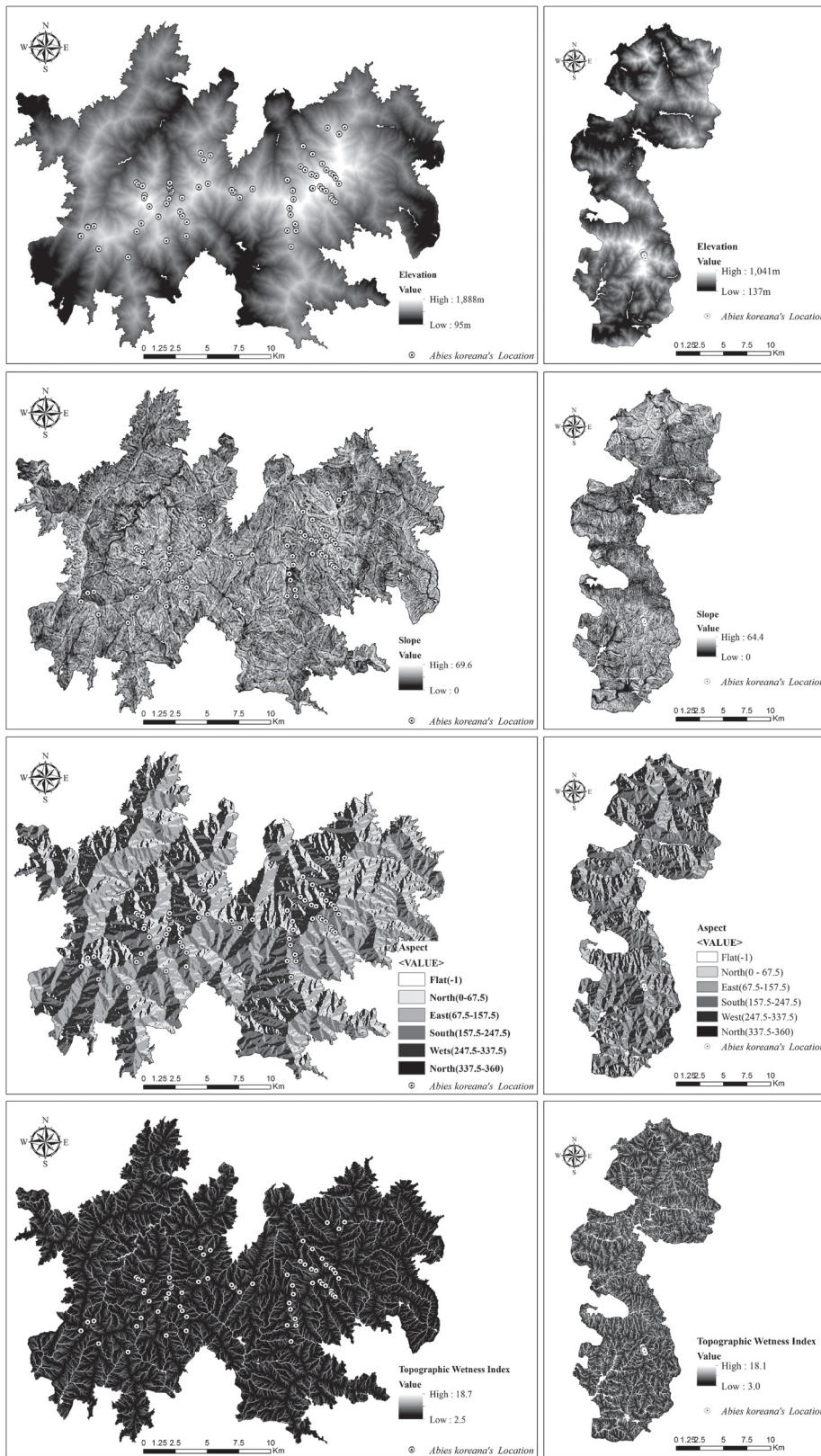


Fig. 2. The distribution of geographic and topographic variables in Jirisan (left) and Songnisan national park (right). The spots (•) show the sampling site.

**Table 1.** Canonical Correlation between physical structure variables of *Abies koreana* and topographical factors.

Factor	Standardized canonical coefficients		Canonical loadings		Cross loadings		
	Canonical function 1	Canonical function 2	Canonical function 1	Canonical function 2	Canonical function 1	Canonical function 2	
Physical structure variables	Height	0.814	-1.064	-0.074	-0.997	<b>-0.054</b>	-0.199
	DBH	-1.335	0.100	-0.794	-0.608	<b>-0.579</b>	-0.121
	Proportion of variance	0.318	0.682				
	Redundancy index	<b>0.169</b>	0.027				
Topographical variables	Latitude	0.713	-0.716	0.941	-0.097	<b>0.686</b>	-0.019
	DEM	-0.332	-0.336	-0.724	0.188	<b>-0.528</b>	0.037
	SLOPE	-0.060	0.075	0.206	0.212	<b>0.150</b>	0.042
	ASPECT	-0.186	-0.557	-0.480	-0.407	<b>-0.356</b>	-0.081
	TWI	-0.092	-1.017	-0.124	-0.744	<b>-0.091</b>	-0.148
	Proportion of variance	0.339	0.162				
	Redundancy index	<b>0.181</b>	0.006				
		Canonical function 1			Canonical function 2		
Canonical correlations		0.729			0.199		
Wilk's lamda		0.450			0.960		
Chi-square		163.884			8.299		
Degree of freedom		10			4		
p-value		0.000			0.081		

나타내는 정준적재량(canonical loadings)과 구상나무 생장 구조 변수군을 설명하는 데 지리·지형변수의 각 변수가 얼마나 기여하는지를 나타내는 교차적재량(cross loadings)은 Table 1과 같다. Table 1에서 보듯이 구상나무의 생장구조 변수와 지리·지형변수의 정준상관분석 결과, 2개의 정준함수가 도출되었으며, 이 중 정준함수 1이 유의적인 결과를 보이는 것으로 나타났다. 첫 번째 정준함수 분석 결과, 정준상관계수는 0.729 (wilk's  $\lambda = 0.450$ ,  $\chi^2 = 163.884$ ,  $df = 10$ ,  $p < 0.001$ )으로 나타나 구상나무의 생장구조 변수인 수고와 흉고직경은 지리·지형변수인 위도, 해발고도, 산지경사, 사면향 그리고 지형습윤지수와 통계적으로 유의미한 상관관계가 있었다. 지리·지형변수들 중 지리적 위도위치와 상관성이 가장 높고 해발고도, 사면향, 산지경사 그리고 지형습윤지수의 순으로 상관성이 높게 나타났다. 해발고도, 사면향, 지형습윤지수와 양적 상관관계이고, 산지경사는 부적 상관관계로 나타났다. 이는 해발고도가 높고 북사면향이며 지형습윤지수가 높을수록 생장구조 변수인 수고와 흉고직경이 커진다는 것이다. 해발고도에 따라서 생육환경의 차이가 나타나고, 산지경사에 따라서 구상나무가 다양하게 분포하는 특성에 기인할 수 있다(Kim and Lee, 2013; Kim *et al.*, 2013). 수직적인 분포보다 위도의 지리적인 분포와 연관성이 더 크고, 수고에 비해서 흉

고직경에 지리·지형적 연관성이 더 큰 것으로 나타났다. 전반적으로 구상나무의 생장구조 변수와 지리·지형변수에는 유의한 상관관계가 있고, 지리·지형변수군이 생장구조 변수군을 18.1% 정도 설명하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 지리·지형적인 특성은 구상나무의 생장구조 변수인 수고와 흉고직경에 중요한 요인이 될 것으로 추측된다.

지리·지형변수의 영향을 상대적으로 평가하기 위해서 다중회귀모형에 후진제거 변수선택 방법을 적용하고, 구상나무의 생장과 관련된 물리적 구조인 수고와 흉고직경을 설명하기 위해서 회귀모형을 추정한 결과 Table 2와 같다. 구상나무의 흉고직경에 영향을 주는 변수는 지리적 위도, 지형습윤지수, 사면향 그리고 고도의 순으로 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 위도가 높아질수록 흉고직경은 작아지고, 지형적 특성에 따라서는 커지는 것으로 나타났다. 수고에 영향을 주는 변수는 지형습윤지수만이 유의미한 것으로 나타났다. 이는 구상나무의 생장구조와 관련된 수고와 흉고직경은 지리적인 특성의 영향이 가장 클 것으로 나타났다. 특히 지형적 특성 중에서 지형수분상태를 나타내는 지형습윤지수의 영향이 다른 지형요소에 비해서 더 클 것으로 예측되었다. 이는 강수량에 의한 수분 스트레스에 민감하고, 봄 가뭄에 의한 수분수지가 구상나

**Table 2.** Multiple Linear model between physical structure variables of *Abies koreana* and topographical factors.

Dependent variables	Independent variables	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t )	R-squared	Adj. R-squared	p-value
DBH	(Intercept)	889.45702	230.81729	3.854	0.000156***	0.3496	0.3369	<2.2e-16
	Lat_y	-25.17236	6.13574	-4.103	5.89E-05***			
	DEM	0.03487	0.01155	3.019	0.002858**			
	ASPECT	0.0522	0.01724	3.028	0.002774**			
	TWI	2.3032	0.9459	2.435	0.01575*			
Height	(Intercept)	7.346333	0.644529	11.398	<2e-16***	0.03641	0.0271	0.02151
	ASPECT	0.00291	0.001773	1.641	0.1023			
	TWI	0.194691	0.08403	2.317	0.0215*			

significant level : \*\*\* $\alpha < .01$ , \*\* $\alpha < 0.05$ , \* $\alpha < 0.1$

무의 연륜생장에 영향을 미친다고 보고한 연구결과와 유사하다(Kim, 1994; Park and Seo, 1999; Koo *et al.*, 2001).

## 적 요

본 논문은 국립공원 아고산대 침엽수림을 효과적으로 보전하고 관리하는 데 기초자료로 활용하고자 진행된 사례연구로서 지리산국립공원과 속리산국립공원의 아고산대에서 현지 조사된 구상나무(*Abies koreana* Wilson) 210개체의 서식실태 자료를 바탕으로, 입지환경의 기본이 되는 지리적 위치와 지형적 특성이 구상나무의 생장에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해서 구상나무의 생장과 관련된 변수는 수고 및 흉고직경으로 하고, 지형적 특성은 GIS 공간분석을 이용하여 추출된 지리적 위도, 해발고도, 산지경사, 사면향 그리고 지형습윤지수로 하였다. 두 변수군의 연관성의 유무와 정도를 평가하기 위해서 정준상관분석을 이용하고, 다중회귀분석을 이용하여 지리·지형적 특성이 구상나무의 생장구조에 미치는 영향을 평가하였다.

구상나무 생장구조를 나타내는 흉고직경 및 수고는 지형의 수직적인 분포보다 지리 위도적인 분포와 연관성이 더 크고, 지리·지형요소는 수고보다 흉고직경과 연관성이 더 큰 것으로 나타났다. 구상나무의 생장구조변수와 지리·지형변수는 유의한 상관관계가 있고, 지리·지형변수가 생장구조변수를 18.1% 정도 설명하는 것으로 나타났다. 구상나무의 흉고직경에 영향을 주는 변수는 지리적 위도, 지형습윤지수, 사면향 그리고 해발고도의 순으로 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났다. 위도가 높아질수록 흉고직경은 작아지고 지형적 요소에 따라서는 커지는 것으로 나타났다. 수고에 영향을 주는 변수는 지형습윤지수만이 유의미한 것으로 나타났다.

전반적으로, 구상나무의 생장구조와 관련된 수고와 흉고직경은 지리적인 특성의 영향이 가장 클 것으로 나타났다. 특히 지형적 특성 중에서 수분상태의 영향이 다른 지형요소에 비해서 더 클 것으로 예측되었다. 이러한 결과로 볼 때, 지리·지형적인 특성은 구상나무의 생장에 중요한 요인이 될 것으로 추측된다.

비록 지리·지형적 특성만을 고려하고 GIS를 이용하여 제작된 공간분석 자료를 사용한 한계가 있다고 해도, 본 연구결과는 향후 국립공원 아고산대에서 서식하고 있는 침엽수림의 생장환경을 조사하고 연구하는 데 유용하고, 구상나무 등 상록침엽교목을 효과적으로 관리하고 보전하기 위해서 대책을 수립하는 데 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- Burrough, P.A. and R. McDonnell. 1998. Principles of Geographic Information Systems. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Cho, D.S. 1994. Community structure, and size and age distribution of conifers in subalpine Korean Fir (*Abies koreana*) forest in Mt. Chiri. *Korean Journal of Ecology* **17**: 415-424.
- Gessler, P.E., O.A. Chadwick, F. Chamran, L. Althouse and K. Holmes. 2000. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes. *Soil Science Society of America Journal* **64**: 2046-2056.
- Kim, C.H., M.G. Jo, J.K. Kim, M.S. Choi, J.M. Chung, J.H. Kim and H.S. Moon. 2012. Vegetation Change and Growing Characteristics of *Abies koreana* Population by Altitude in Georim Valley of Mt. Jiri. *Journal of Agriculture & Life Science* **46**(1): 63-70.
- Kim, E.S. 1994. Decline of Tree Growth and the Changes of Environmental Factors on High Altitude Mountains. Ko-

- rea Science and Engineering Foundation (KOSER) 921-1500-018-2: 89.
- Kim, G.T. and G.C. Choo. 2000. Comparison of growth condition of *Abies koreana* Wilson by districts. *Korean Journal of Environment and Ecology* **14**: 80-87.
- Kim, G.T., G.C. Choo and T.W. Um. 1997. Studies on the structure of forest community at Cheonwangbong-Deokpyungbong area in Chirisan national park -*Abies koreana* forest-. *Journal Korean Forest Society* **86**: 146-157.
- Kim, N.S. and H.C. Lee. 2013. A Study on Changes and Distributions of Korean Fir in Sub-Alpine Zone. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* **16**(5): 49-57.
- Kim, S.W. 2010. Statistical Package for the Social Sciences Analysis of Moment Structures. Hakjisa Publishing Co., Korea.
- Kim, T.G., Y.H. Cho and J.G. Oh. 2013. Assessment of Site Environmental Factors on the Structure of Forest Vegetation in Naejang-san National Park Using Canonical Correlation Analysis. *Journal of Ecology and Environment* **46**(4): 561-569.
- Kong, W.S., S.G. Lee and H.N. Park. 2009. Species distribution which vulnerable to climate change and temperature. *Journal of the Korean Geographical Society*, 15-16. (in Korean)
- Koo, K.A., W.K. Park and W.S. Kong. 2001. Dendrochronological Analysis of *Abies koreana* W. at Mt. Halla, Korea: Effects of Climate Change on the Growths. *Korean Journal of Ecology* **24**(5): 281-288.
- Korea National Park Service (KNPS). 2014a. Developing Monitoring System for Assessing The Impact on Ecosystem according to Climate Change.
- Korea National Park Service (KNPS). 2014b. Annual Report for Songnisan National Park's Natural Resource Monitoring.
- Korea National Park Service (KNPS). 2015. Annual Report for Jirisan National Park's Natural Resource Monitoring.
- Lee, C.S. and H.J. Cho. 1993. Structure and dynamics of *Abies koreana* Wilson community in Mt. Gaya. *Korean Journal of Ecology* **16**: 75-91.
- Lee, S.W., K.Y. Lee and H.K. Song. 1997. The Analysis of Vegetation-Environment Relationships of the Coniferous Forests in Subalpine Districts of Mt. Chiri by TWINSpan and CCA. *Journal of Korean Forest Society* **86**(3): 279-287.
- Park, W.K. and J.W. Seo. 1999. A Dendroclimatic Analysis on *Abies koreana* in Cheonwang-bong Area of Mt. Chiri, Korea. *The Korean Journal of Quaternary Research* **13**(1): 25-33.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Song, K.M., Y.J. Kang and H.J. Hyeon. 2014. Vegetation Structure at the Slope Direction and Characteristic of Seedlings of *Abies koreana* in Hallasan Mountain. *Journal of Environmental Science International* **23**(1): 39-46.
- Wildi, B. and C. Lutz. 1996. Antioxidant composition of selected high alpine plant species from different altitude. *Plant, Cell & Environment* **19**:138-146.
- Yun, J.H., J.H. Kim, K.H. Oh and B.Y. Lee. 2010. Vertical distribution of vascular plants in Jungsanri, Mt. Jiri by temperature gradient. *Korean Journal of Environment and Ecology* **24**(6): 680-707.