

## 정준상관분석을 통한 내장산국립공원 산림식생구조의 입지환경 평가

김태근 · 조영환<sup>1</sup> · 오장근\*

국립공원관리공단, <sup>1</sup>목포대학교 조경학과

**Assessment of Site Environmental Factors on the Structure of Forest Vegetation in Naejang-san National Park Using Canonical Correlation Analysis. Kim, Tae-Geun, Young-Hwan Cho<sup>1</sup> and Jang-Geun Oh\* (Korea National Park Services, Gondeok-dong, Mapo-gu, Seoul 121-717, Korea; <sup>1</sup>Mokpo National University, Mokpo 534-729, Korea)**

**Abstract** This study examines locational environment factors that may affect the vegetation structure in the forests of Naejang National Park. To that end, we selected LAI (Leaf Area Index), diameter at breast height, and tree height as structural variables as well as altitude above sea level, gradient, slope direction, soil moisture, topographic location, and amount of solar radiation as locational environment factors, using the method of canonical correlation analysis in order to find out correlation between them. As to the simple correlation between the locational environment factors and structural variables, the correlation coefficient was relatively low (0.6). The values of LAI, measured along the ridge with higher altitudes, decreased as the soil moisture and solar radiation increased. However, LAI increased as the gradient increased and the slope direction faced the north (farther from the east). In respect of the diameter at breast height, the diameter decreased as the altitude and gradient increased. But the diameter increased as the moisture and solar radiation increased. The tree height decreased as the moisture increased and the site was closer to the ridge. These various correlations show a variety of locational environment factors in the national park, implying that the structural variables are affected by complex locational environment factors. This study conducted a canonical correlation analysis on locational environment factors which may affect the vegetation structure, and the result showed that LAI increased and tree height & diameter at breast height decreased as the solar radiation & moisture decreased and altitude increased. Although more factors that may affect vegetation structure (e.g. climate) should be taken into account, this study is significant in that the vegetation structure, which can adapt to more unfavorable conditions in terms of solar radiation, moisture, and higher altitudes, could be inferred in a statistical way. The results of this study, especially the locational environment factors based on DEM, can be used for assessing diversity of vegetation structure in a forest and for monitoring the structure in a national park on a regular basis so as to establish more effective maintenance plans of a park.

**Key words:** vegetation structure, LAI, environment factor, DEM, canonical correlation

Manuscript received 14 December 2013, revised 19 December 2013,  
revision accepted 21 December 2013

\* Corresponding author: Tel: +82-2-3279-2871, Fax: +82-2-3279-2804,  
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.

## 서 론

지난 세기에 비해 급격한 기온상승에 따른 생태계 변화 현상은 인문·사회·환경의 전반적 분야에서 다양한 형태로 확인되고 있다. 국립공원에서 수행한 기후변화 연구사업의 결과에 따르면 아고산지대의 구상나무군락지 쇠퇴, 남한지역의 대표적인 활엽수종인 신갈나무의 이른 개엽시기 등 산림 식생의 물리적 구조와 분포변화는 기후변화에 커다란 영향을 받고 있다. 이는 결국 서식처 변화나 감소로 이어져 국립공원 생물다양성에도 커다란 영향을 미칠 것으로 판단된다(National Park Research Institute, 2012).

다양한 야생 동·식물에게 중요한 서식처를 제공하는 국립공원 내 분포하고 있는 산림식생의 구조 변화를 주기적으로 관찰하고 이러한 변화에 원인이 될 수 있는 입지환경 요인을 밝혀내는 것은 생물다양성 보전 및 증진에 있어서 매우 중요한 요소이다. 그러나 전국에 산재되어 있는 국립공원 특성상 광범위한 산림지역에서 식생 구조에 영향을 주는 다양한 요인을 직접적으로 관찰하는 것은 인력 및 시간적 비용이 많이 소요된다. 이에 GIS와 원격탐사를 이용한 수치고도자료(Digital Elevation Model, DEM)에서 유도한 입지환경 요인에 따른 식생 구조의 분포 변화를 예측하고 평가하는 방법이 효율적인 방법이 될 수 있다(Spadavecchia *et al.*, 2008; Jon and Douglas, 2010)

산림 식생구조 요소 중 엽면적 지수(Leaf Area Index, LAI)를 비롯한 흉고직경 및 수고는 지표면과 대기, 기후의 상호작용인 에너지균형, 수분 및 탄소의 순환과 매우 밀접하게 관련이 있다. 특히 단위 지표면적당 잎면적의 비율로 정의된 LAI는 산림환경에서 일어나는 광합성, 증발산, 그리고 산림생산성 등과 같은 생·물리학적 과정을 정량적으로 분석하는 데 있어서 중요한 기초변수 중 하나이고(Bonan, 1993), 흉고직경 및 수고 또한 식물군락에 대한 군락동태적 해석에 유효한 정보를 제공하여 식생조사 시 반드시 측정하는 필수 항목 중 하나이다.

이러한 중요성에 근거하여 식생의 구조 및 입지환경의 개개 요소들을 원격탐사 기법을 통하여 예측하고 평가하는 연구는 활발히 진행되고 있다(Ram and Haruo, 2013). 이와 달리 다양한 입지 환경요소에 따른 다양한 식생구조의 특성을 평가하는 연구는 다소 미흡하고 현실적으로 현장에서 직접 측정하기가 매우 어렵다. 특히 지형 기복이 심한 산악지역에 위치한 국립공원이 이에

해당될 수 있다. 광역적인 규모의 국립공원 산림지역에서 보다 효율적이고 정확한 식생구조 변화에 대한 이해와 입지환경에 대한 영향을 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 산림지역의 입지환경이 내장산 국립공원 산림식생구조에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 분석하고자 한다. 이를 위해서 산림식생구조를 정량화하는 지수로 널리 이용되고 있는 LAI(Leaf area Index)를 비롯한 흉고직경(Diameter at Breast Height, DBH)과 수고(Tree height)에 대한 해발고도, 지형경사, 사면방향, 지형위치, 토양수분조건, 그리고 일사량의 영향을 정준상관분석 방법을 이용하여 평가하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구지역 및 방법

내장산국립공원은 총 면적은 80.708 km<sup>2</sup>에 달하며 행정구역상 전북 정읍시, 순창군 그리고 전남 장성군에 걸쳐 백두대간에서 갈라진 호남정맥에 위치하고 있다. 내장산국립공원 산림지역의 공간적 분포 형태나 면적을 살펴보기 위해 환경부에서 제공하는 중분류 체계의 토지피복도에서 토지유형별 분포현황을 추출한 결과, 산림지역은 총면적 77.0km<sup>2</sup>로 내장산국립공원의 전체 면적 중 약 95%를 차지하고 있다. 산림유형별 활엽수림은 산림 총면적 중 72.6%, 침엽수림은 13.9%, 혼효림은 13.5%의 비율로 분포하는 것으로 산출되었다. 토지피복도는 지구표면의 형태를 일정한 과학적 기준에 따라 동질의 특성을 지닌 구역을 지도의 형태로 표현한 자료로서 중

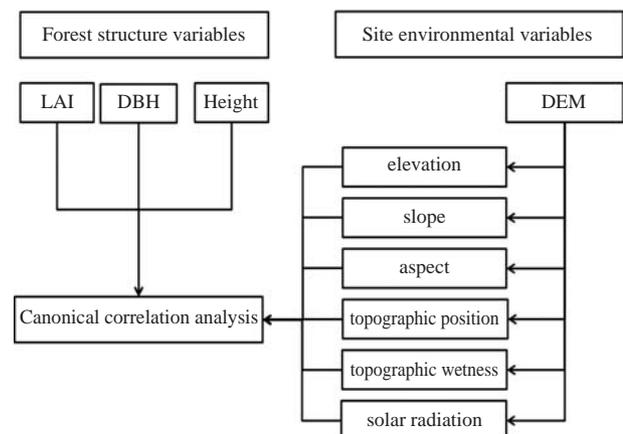


Fig. 1. Processing scheme to analysis the relationship between forest structure and site environmental properties derived digital elevation model.

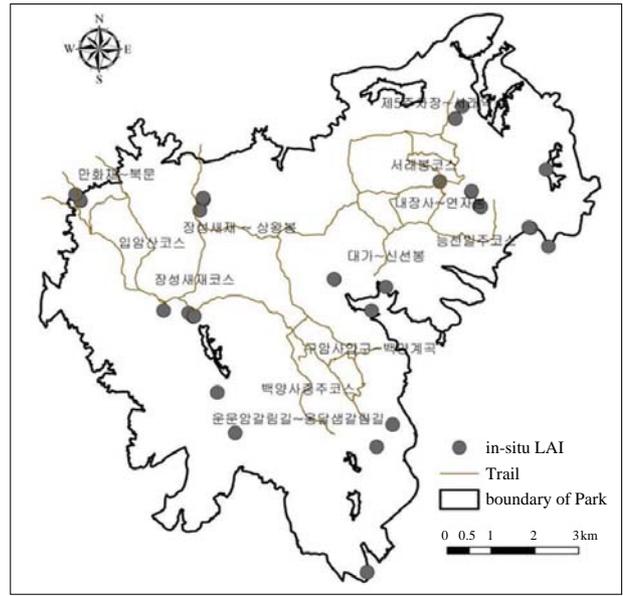
양정부 및 지방정부의 환경정책 수립의 과학적 근거 및 다양한 연구자료로 활용되고 있다(Korea Environment Institute, 1996).

내장산국립공원의 산림 입지환경에 따른 식생구조의 분포를 해석하기 위해서 SPSS 14와 R tool을 이용하여 현지에서 측정한 LAI, 흉고직경, 수고값과 고도·경사·사면방향·지형위치·토양수분조건·일사량의 관계를 통계분석기법 중 하나인 정준상관분석을 통해 평가하였다(Ahn, 2011). Fig. 1은 전체적인 연구 수행 과정을 보여주고 있다.

**2. 식생구조변수의 현지 측정**

식생구조변수는 LAI를 비롯한 흉고직경, 수고를 내장산국립공원의 산림지역에 대한 접근성과 최소한 통계적 유의성을 고려하여 26개 지점에서 측정하였다. 식물군락에 대한 군락동태적 해석에 유효한 정보를 제공하는 흉고직경은 측정지점 내에서 우점하는 교목층을 대상으로 가슴높이(약 1.3m 내외)에서의 수간의 직경 또는 둘레를 직경줄자를 이용하여 측정하였다. 수고는 측정하는 사람과 수목의 거리와 각도를 이용하는 수고계를 이용하여 측정하였다(Kim and Lee, 2006).

LAI를 현장에서 측정하는 방법은 크게 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 구분될 수 있다(Chen *et al.*, 1997). 직접적인 방법은 단위 지표면적 안에 포함되는 모든 잎을 채집하여 측정하는 방법과 수목의 높이와 흉고직경의 관계를 이용한 생장식을 적용 방법이 있다. 전자의 방법은 주로 적은 면적의 농경지 혹은 초지에서 주로 사용되는 방법으로 보전을 우선 고려하는 국립공원의 산림지역에 적용하기에는 어렵고 또한 많은 시간과 인력이 소요된다. 후자의 경우는 수목의 나이, 밀도, 생장조건 등의 지역적인 산림특성에 의해 한정되어 이용되는 방법이다. 최근 태양 빛의 투과율을 원리를 이용하여 LAI를 측정하는 간접적인 방법이 널리 활용되고 있다(Li-Cor, 1992; Stenberg *et al.*, 2003). 본 연구에서 내장산국립공원 산림지역의 LAI 현지측정은 Lee (2006) 등이 제시한 방법을 참조하여 이루어졌다. 산림지역에서 태양 빛의 투과율을 이용하는 광학측정 장치인 Li-Cor LAI PCA 2000 측정기 1대를 이용하여 현장 측정은 2013년 8월 7일에서 9일까지 그리고 9월 5일에서 7일까지 총 6일에 걸쳐 이루어졌다. 각 측정지점의 면적을 5 × 5m<sup>2</sup> 크기로 이 영역 내에서 5지점을 3번 측정하여 각 지점에 대해서 총 15개 측정값을 획득한 후 평균한 값을 이용해 각 해당지점의 LAI 값을 산출하였다. 측정지



**Fig. 2.** Distribution of 24 ground plots for the field LAI measurements within the boundary of Naejang-san National Park.

점의 정확한 위치는 GPS (global positioning system) 수신기를 이용하여 측정하였다. Fig. 2는 내장산국립공원 산림지역에서 LAI를 현지 측정한 24개 지점을 보여주고 있다.

**3. 지형적 요소 추출**

수치고도자료(Digital Elevation Model, DEM)는 실제 지형기복의 형태를 표현하고자 3차원으로 표현한 수치자료이다. DEM은 대상 지역을 일정한 면적을 정방형으로 격자를 나눈 뒤 각 격자마다 해당지점의 해발고도가 입력된다. 본 연구에서 사용된 DEM자료는 국립공원에서 제작하고 배포하는 1:5,000 축척의 수치지형도에서 지형의 고도 값을 나타내는 등고선 자료를 이용하였다. 고도값이 입력된 등고선의 각 지점을 연속적인 삼각형으로 연결하는 불규칙 삼각망(TIN, Triangulated Irregular Network) 보간법을 적용하여 DEM자료를 제작하였다. 격자크기는 수치지형도의 정확도를 고려한 10m로 하였다(Burrough and McDonnell, 1998).

이 자료로부터 내장산국립공원의 해발고도자료를 LAI 현지 측정한 지점에서 추출하였다. 그리고 이 지점에서 경사 및 사면방향은 간단한 공간분석 기법을 응용하여 산출하였다. 고도 자료로부터 경사, 방위, 그리고 기타 지형인자를 산출한 과정은 Fig. 3에 나타난 것 같이 주변 격자 값을 이용한 간단한 산술식에 의하여 계산되어질

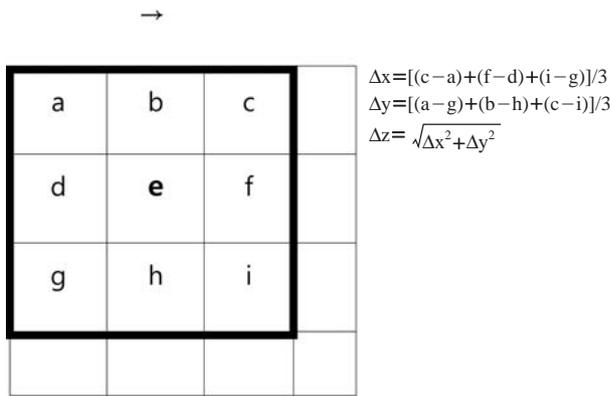


Fig. 3. Moving window operation for calculating slope and aspect from digital elevation model data.

수 있다(Lee *et al.*, 1996).

$$\text{Slope} = \tan^{-1}(\Delta z / 2S), \text{Aspect} = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y}\right)$$

여기서 S는 격자와 격자간의 거리이고 Fig. 3의 격자점 e에서 Δx, Δy, Δz는 격자간 오른쪽으로 동일한 계산을 반복하면서 다음 식에 의해 내장산국립공원 전 지역에 대해서 경사와 사면방향을 구할 수 있다.

토양수분조건으로 오목한 형태와 경사가 완만한 특성을 갖는 지형에서 분포한 토양에서는 수분이 모이고 경사가 가파르고 볼록한 형태의 지형에서는 물이 흐르는 특성을 지형습윤지수(Topographic Wetness Index, TWI)를 이용하여 정량화하여 사용하였다. 이 지수는 경사에 따라 물이 흐르는 방향에 직각을 만나는 단위 면적에 대한 물의 면적의 비율로 산출된다 이 값이 높을수록 토양수분 상태가 높은 값의 지역에 상대적으로 많다는 것을 의미함(Gessler *et al.*, 2000).

$$\text{TWI} = \ln(A_s / \tan\beta)$$

여기서, A는 집수면적이고 tanβ는 라디안 단위로 표현되는 경사를 나타냈다.

지형적위치는 특정지역의 해발고도와 주변의 평균고도의 차이를 이용하여 능선과 계곡을 구분하고 이 사이의 위치를 완경사 및 급경사 지역으로 세분할 수 있다. 본 연구에서는 ArcGIS 10.1 버전의 Topographic Position Index (TPI) 방법을 적용하여 지형적 위치를 결정하였다. 지수값이 양수일수록 능선위치에 가깝고 음수일수록 계곡에 가까운 위치로 판단하고 0은 평지로 구분할 수 있다(Tagil and Jenness, 2008).

$$\text{TPI} = \text{Int}((\text{dem} - \text{focalmean}(\text{dem}, \text{window}))/0.5)$$

여기서, Int는 최종산출값이 정수임을 나타내고, dem은 수치고도자료, focalmean은 특정지역 주변의 평균 해발고도를 나타냈다.

일사량은 Rich (1994) 등이 반구형 가시권 알고리즘(hemispherical viewshed algorithm)기반으로 개발하고 이를 적용한 ArcGIS Area Solar Radiation Tool을 이용하여 산출하였다.

Fig. 4는 지리정보시스템 (Geographic Information System, GIS)의 공간분석 기법을 적용하여 제작된 내장산국립공원의 지형적 특성을 보여주고 있다. 지도에서 색상의 변화가 검은색상에서 흰색으로 갈수록 고도가 높고, 경사가 급하고 지형적 수분 상태가 높은 것을 의미한다. 지형적위치는 흰색일수록 능선에 가까운 위치를 나타내고 일사량은 높은 지역을 의미한다. 사면방향은 평지를 나타내는 -1과 0°에서 360°까지 각도로서 보여주고 있다.

#### 4. 산림식생구조와 입지환경 간의 상관관계

내장산국립공원의 산림식생구조와 입지환경 간의 상관관계를 규명하기 위해 SPSS 14를 이용하여 정준상관분석을 수행하였다. 정준상관분석은 종속변수가 2개 이상이며 각 변수 집단내에서 어느 정도의 상관관계가 있다고 가정했을 때 두 변수집단 사이의 상관구조를 가장 잘 설명할 수 있는 변수들의 선형결합을 찾는 것을 목적으로 하는 통계기법이다. 이러한 정준상관분석은 변수 집단 사이의 상관관계는 물론, 변수집단내에서 특정변수가 차지하는 중용성을 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Kim, 2010).

본 연구에서는 산림식생구조를 나타내는 LAI, 흉고직경, 수고를 준거변수로 하고 입지환경 특성에 관한 변수로는 고도, 사면방향, 경사, 토양습윤지수, 일사량을 예측변수로 하여 상호관계를 분석하였다.

#### 결과 및 고찰

현지에서 측정한 LAI 값은 평균 4.5이고 표준편차는 1.00로 비교적 좁은 범위의 LAI 값이 측정되었다. 흉고 직경은 최대 38.5 cm에서 최소 12.5 cm의 범위에서 평균 23.7 cm으로 조사되었다. 수목의 높이는 평균 13 m로 최소 8.3 m에서 16.5 m로 나타났다. 측정한 지점의 입지환경특성을 보면 해발고도는 최소 336 m에서 최대 1116 m 범위에서 평균 679.3 m으로 나타났다. 산지경사는 평균 15.7° 이고 최소 2.4°에서 최대 35.7°의 범위에

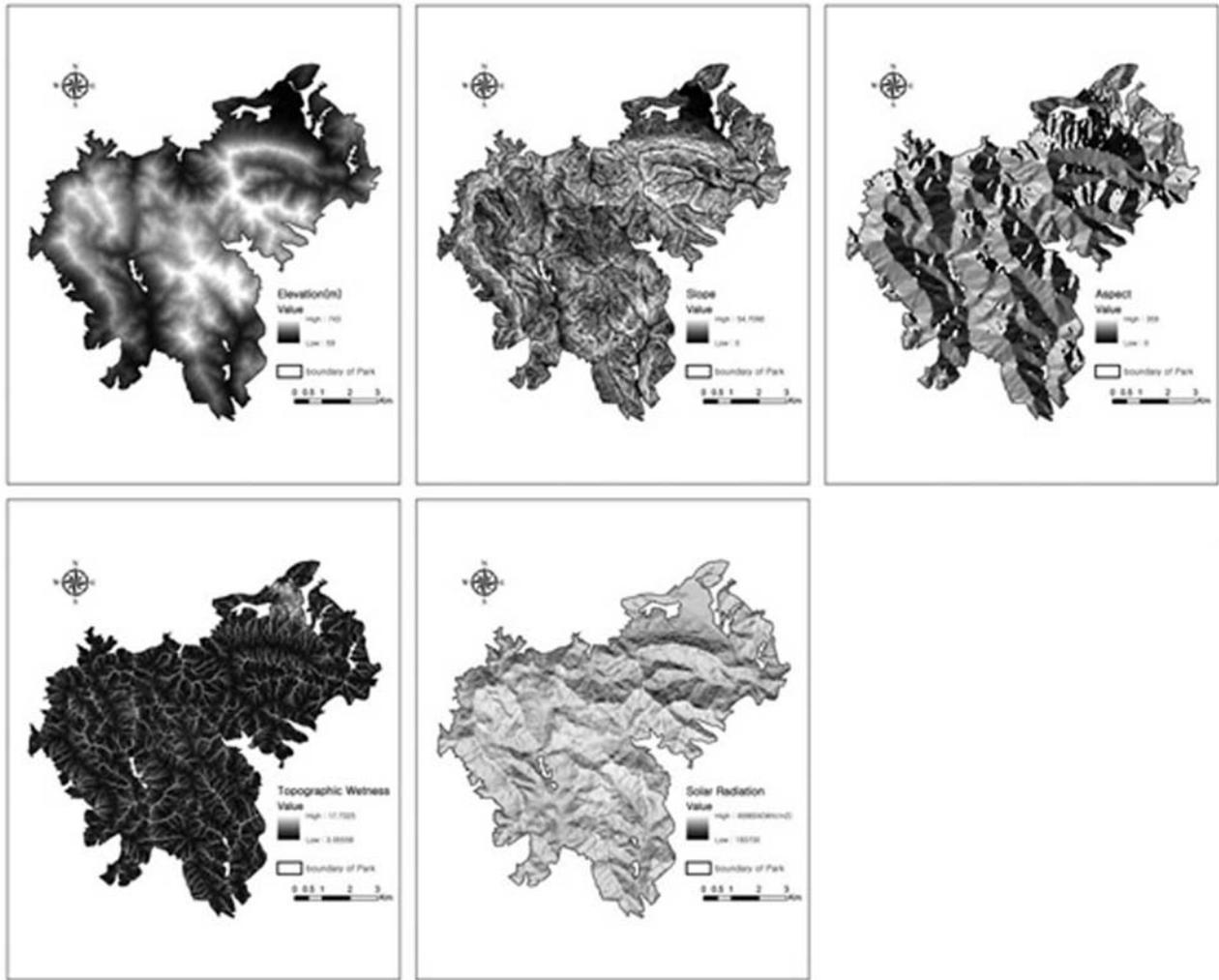


Fig. 4. Site property of NaeJang-san National Park generated using GIS spatial analysis.

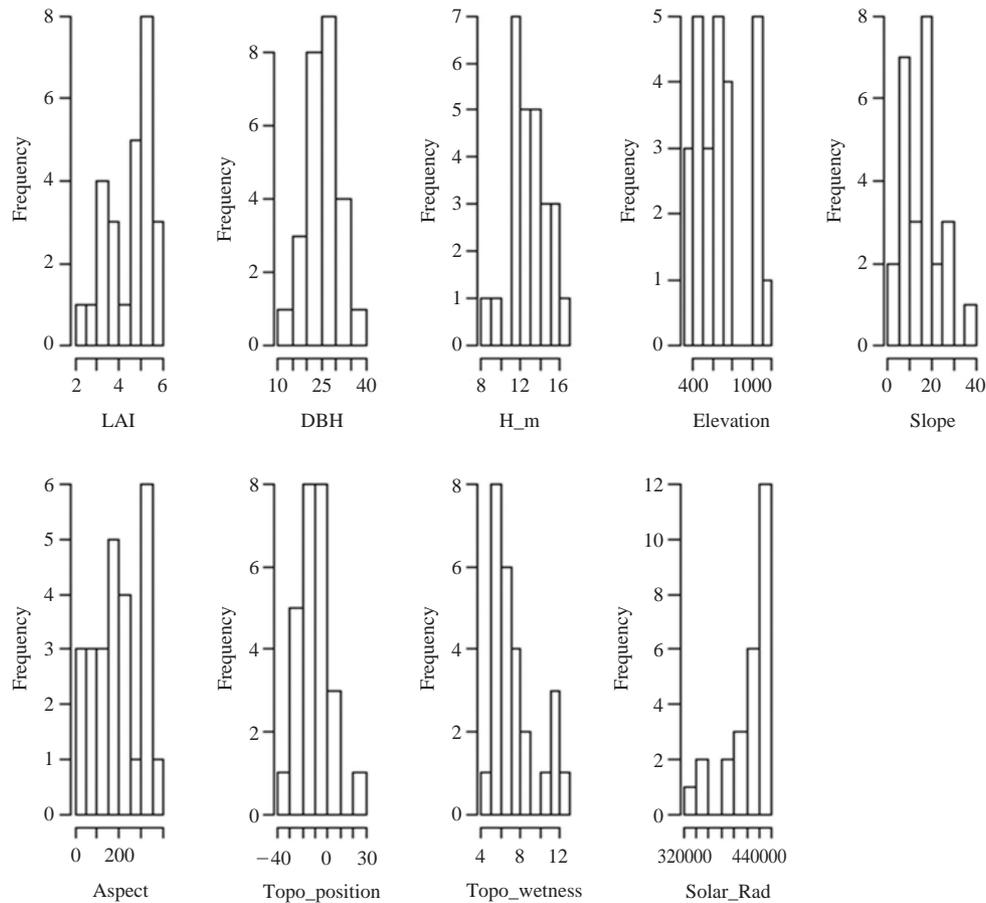
분포하고 있다. 북쪽사면에 27%, 동쪽사면에 23%, 남쪽사면에 31%, 서쪽사면에 19%의 비율로 LAI가 분포하는 것으로 나타났다. 토양의 수분상태를 설명하는 지형습윤지수(TWI)는 전반적으로 4.4 이상으로 평균 7.2와 최대 12.7로 나타났다. 일사량은 단위면적에 시간당 평균적으로 425 kw이고 최소 334 kw에서 459 kw의 복사에너지가 도달하는 것으로 산출되었다. 조사지점의 지형적 위치는 계곡에 44%, 완만한 경사지에 4%, 급 경사지에 49%, 그리고 능선에 4%로 분포하는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 식생구조변수와 입지환경 요인에 대한 히스토그램을 보여주고 있다.

입지환경 특성에 따른 식생구조 분포의 영향을 분석하기 전에 모든 변수들 간 상관분석을 통해 평가한 결과, LAI는 일사량과 낮은 음의 상관성을 보여주고 흉고

직경은 고도, 사면방향과 음의 상관관계를 보여주고 지형습윤지수와의 양의 상관성이 통계적으로 유의한 결과가 나타났다. 수고는 지형위치와 지형습윤지수에서 음과 양의 상관관계가 각각 나타났다. Table 1은 식생구조변수와 입지환경 요인간의 상관관계를 보여주고 있다.

비록 상관성은 전체적으로 상관계수가 0.6 미만으로 낮지만 상관성 방향을 보면 주로 고도가 높은 능선지역에 수분이 많고 태양복사량이 많을수록 LAI 값이 낮아지는 것으로 나타났고 이와 달리 경사가 급하고 동쪽사면에서 북쪽사면으로 갈수록 LAI값은 높아지는 경향을 보였다. 흉고직경은 고도가 높고 경사가 급할수록 작아지는 경향이 나타나고 수분함유량과 태양복사에너지량 많을수록 흉고직경은 커지는 것으로 나타났다. 수고는 수분이 많고 능선지역에 가까울수록 낮아지는 것으로 나타났다(Fig. 6). 이러한 다양한 상관성은 국립공원의 다



**Fig. 5.** Histogram of DEM derived site factor and Leaf Area Index. Elevation are in metres, slope and aspect are in degree. Topographic Wetness Index (TWI) and Lear Area Index (LAI) are unitless, Solar radiation are in Watt\*h/m<sup>2</sup>.

**Table 1.** Correlation between site factors and forest structure variables.

		R	t-value	p-value
LAI	Elevation	-0.0559	-0.274	0.786
	Slope	0.154	0.764	0.452
	Aspect	0.233	1.171	0.253
	Topographic position	-0.110	-0.542	0.592
	Topographic wetness	-0.236	-1.190	0.245
	Solar radiation	-0.382	-2.024	0.049*
DBH	Elevation	-0.493	-2.777	0.0104*
	Slope	-0.541	-3.151	0.0043**
	Aspect	0.054	0.265	0.7933
	Topographic position	-0.098	-0.483	0.6335
	Topographic wetness	0.450	2.4691	0.0211*
	Solar radiation	0.599	3.6617	0.001**
Height	Elevation	-0.323	-1.6772	0.1065
	Slope	-0.119	-0.5893	0.5612
	Aspect	0.010	0.0514	0.9590
	Topographic position	-0.459	-2.536	0.0181*
	Topographic wetness	0.455	2.4691	0.0195*
	Solar radiation	0.277	1.4148	0.1700

양한 입지환경 특성이 반영된 결과로 판단되고 식생구조 변수는 단일요소가 아닌 복합적인 입지환경 요소에 영향을 받는다는 것을 간접적으로 알 수 있다.

식생구조에 입지환경요소의 복합적인 영향을 평가하기 위해 앞서 제시된 GIS 공간분석 기법을 통해 유도된 입지환경요소를 독립변수군로 하고 식생구조 변수를 반응변수군로 하여 정준상관분석을 수행하였다(Kim, 2010).

내장산국립공원 입지환경 특성을 나타내는 독립변수와 식생구조 특성을 나타내는 종속변수간의 첫 번째 정준상관함수의 정준상관관계가 Table 2에 제시되고 있다. 정수상관함수 1에서 정준상관계수는 0.87 (wilk's  $\lambda = 0.157, x^2 = 36.071, df = 18, p < 0.01$ )으로 입지환경 요인에 따라 식생구조는 통계적으로 유의미한 상관관계가 나타났다.

입지환경의 요소와 식생구조의 상관성을 알아보기 위한 정준적재량(Cross-Loading)은 입지환경의 어느 요소가 식생구조의 어느 특성에 높은 상관성을 가지고 영향

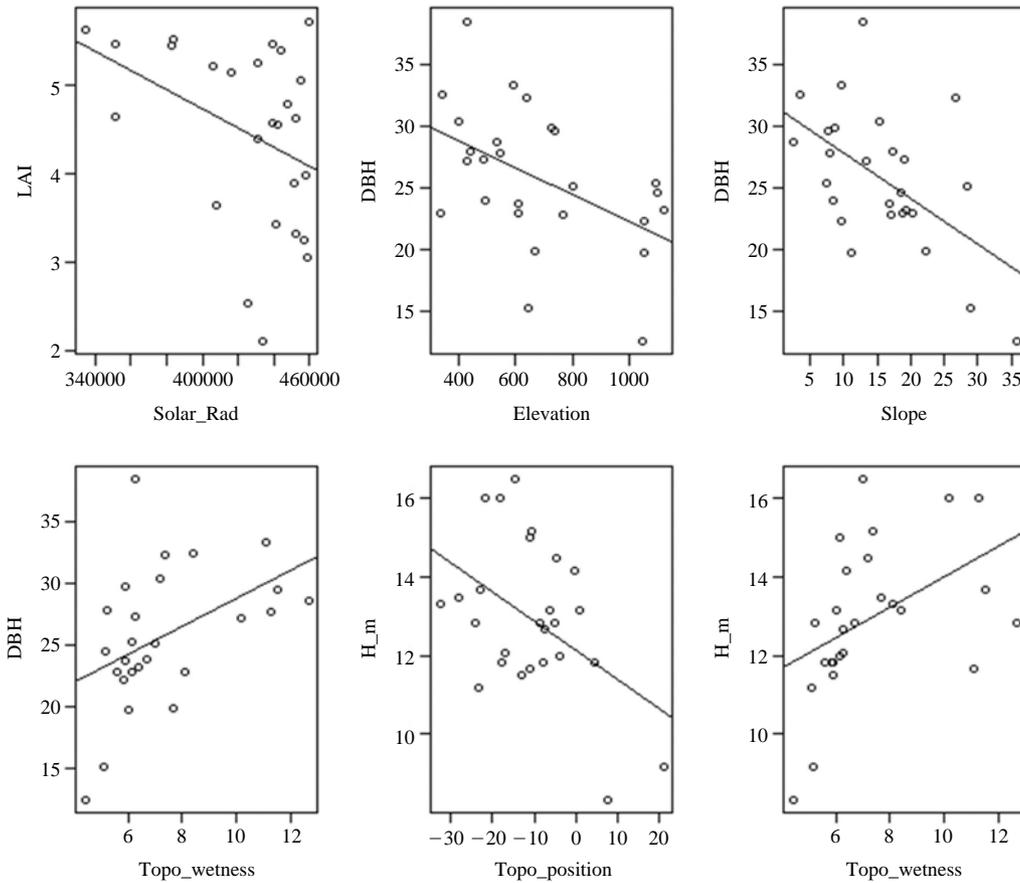


Fig. 6. Relationship between Leaf Area Index and terrain indices from DEM.

Table 2. Results of canonical correlation analysis showing the relationships between dependent (site factor) and independent (forest structure) variables.

	Canonical weights	Canonical loadings	Canonical cross-loadings
Forest structure			
LAI	0.010	0.285	0.240
DBH	-0.843	-0.950	-0.801
Height	-0.328	-0.596	-0.502
Site factor			
Elevation	0.445	0.619	0.522
Slope	0.014	0.590	0.497
Aspect	-0.289	-0.055	-0.047
Topographic Position	0.070	0.276	0.233
Topographic Wetness	-0.266	-0.630	-0.531
Solar Radiation	-0.720	-0.712	-0.600
Redundancy Index	0.317		
Canonical correlation coefficient	0.843 (0.005)		

을 미치는지는 예측할 수 있는 값으로 입지환경요소 중 일사량이 식생구조와 가장 높은 부적 상관을 보여준다. 그 다음으로 지형습윤지수(-0.531), 고도(0.552)의 순으로 각각 부적 및 양적 상관관계를 보여주고 있다. 일

사량, 지형습윤지수, 그리고 고도의 순으로 식생구조에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 식생구조 요소 중 흉고 직경(-0.801) 그리고 수고(-0.502)의 순으로 입지환경과 부적 관계로 영향을 받는다 것을 알 수 있다. 입지

환경요소에 의해 산림 식생구조의 변화를 31.7% 설명되고 있다. 종합적으로 식생구조에 미치는 입지환경의 영향은 일사량이 적고 수분이 적으며 고도가 높을수록 흉고직경 및 수고는 작아지고 LAI 커지는 관계성이 나타났다. 이는 산림지역에서 일사량 및 수분조건이 열악한 고지대의 환경에서 적응할 수 있는 식생구조 특성을 통계적으로 유추해 보는데 의미가 있다고 판단된다. Table 2는 입지환경요소에 따른 식생구조 변화에 대한 정준상관분석 결과를 보여주고 있다.

## 적 요

본 연구에서는 내장산국립공원의 산림지역을 대상으로 하여 식생의 구조에 영향을 미치는 입지환경 요소를 평가하고자 한다. 이를 위해서 식생의 구조변수로 엽면적지수(Leaf Area Index, LAI), 흉고직경, 수고로 하고 이에 영향을 주는 입지환경요소로 해발고도, 지형경사, 사면방향, 토양 수분조건, 지형적 위치, 그리고 일사량으로 하여 상호 관계성을 분석하기 위해 정준상관분석 방법을 적용하였다.

입지환경 특성과 식생구조 특성의 단순 상관관계를 살펴보면 전체적으로 상관계수가 0.6 미만으로 낮게 나타나고 상관성 방향을 보면 주로 고도가 높은 능선지역에 수분이 많고 태양복사량이 많을수록 LAI값이 낮아지는 것으로 나타났고 이와 달리 경사가 급하고 동쪽사면에서 북쪽사면으로 갈수록 LAI값은 높아지는 경향을 보였다. 흉고직경은 고도가 높고 경사가 급할수록 작아지는 경향이 나타나고 수분함유량과 태양복사에너지량이 많을수록 흉고직경은 커지는 것으로 나타났다. 수고는 수분이 많고 능선지역에 가까울수록 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 다양한 상관성은 국립공원의 다양한 입지환경 특성이 반영된 결과로 판단되고 식생구조 변수는 단일요소가 아닌 복합적인 입지환경 요소에 영향을 받는다는 것을 간접적으로 판단할 수 있는 기준이 될 수 있다. 식생구조에 입지환경요소의 복합적인 영향을 정준상관분석 방법을 수행한 결과 식생구조에 미치는 입지환경의 영향은 일사량이 적고 수분이 적은 고도가 높을수록 흉고직경 및 수고는 작아지고 LAI 커지는 관계성이 나타났다. 비록 산림 식생구조에 미치는 기후를 포함한 다양한 요인에 대한 고려가 필요하지만 산림 지역에서 일사량 및 수분조건이 열악한 고지대의 환경에서 적응할 수 있는 식생구조 특성을 통계적으로 유추해 보는데 의미가 있다고 판단된다.

본 연구에서 유도된 결과는 DEM기반의 입지환경 요소는 산림 식생 구조의 다양성을 평가하는 데 유용한 방법으로 적용될 수 있고, 국립공원에서 산림식생구조를 주기적으로 관찰하고 효과적인 공원관리대책을 수립하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구 논문은 국립공원관리공단 국립공원연구원에서 수행한 자연자원조사사업(2013)의 일부 결과를 반영하여 작성되었습니다.

## REFERENCES

- Ahn, C.H. 2011. Data Analysis for Beginners. Hannarae Publishing Co., Korea.
- Kim, J.W. and Y.K. Lee. 2006. Classification and assessment of plant communities. Worldscience publishing co., Korea.
- Kim, S.W. 2010. Statistical Package for the Social Sciences Analysis of Moment Structures. Hakjisa Publishing Co., Korea.
- Bonan, G. 1993. Importance of leaf area index and forest type when estimating photosynthesis in boreal forests. *Remote Sensing of Environment* **43**: 303-313.
- Burrough, P.A. and R. McDonnell. 1998. Principles of Geographic Information Systems. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Chen, J.M., P.M. Rich, S.T. Gower, J.M. Norman and S. Plummer. 1997. Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research* **55**(24): 29429-29443.
- 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.
- Jon, P. and J.K. Douglas. 2010. Multivariate forest structure modelling and mapping using high resolution airborne imagery and topographic information. *Remote Sensing of Environment* **114**: 1718-1732.
- Korea Environment Institute. 1996. Classification of Land Cover using Remote sensed data.
- Lee, K.S., B.C. Lee and J.H. Shin. 1996. Classification of forest vegetation zone over Southern Part of Korean peninsula using geographic information systems. *Korean Journal Ecology* **19**(5): 465-476.
- Lee, K.S., S.H. Kim, J.H. Park, T.G. Km, Y.I. Park and C.S. Woo. 2006. Estimation of forest LAI in close canopy situation using optical remote sensing data. *Korean Journal of*

- Remote Sensing* **22**(5): 305-311.
- LI-COR Inc. 1992. Instruction Manual LAI 2000 Plant Canopy Analyzer. LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, USA.
- National Park Research Institute. 2012. Establishing monitoring system for the impact of climate change on ecosystem. Korea National Park Service.
- Ram, A.A. and A.S. Haruo. 2013. Use of DEM data to monitor height changes due to deforestation. *J Arabian Journal of Geosciences* **6**(12): 1866-7511.
- Rich, P.M., R. Dubayah, W.A. Hetrick and S.C. Saving. 1994. Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, 524-529.
- Tagil, S. and J.S. Jenness. 2008. GIS-Based automated landform classification and topographic, landcover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey. *Journal of Applied Sciences* **8**: 910-921.
- Spadavecchia, L., M. Williams, R. Bell, P.C. Stoy, B. Huntley and M.T. VanWijk. 2008. Topographic controls on the leaf area index and plant functional type of a tundra ecosystem. *Journal of Ecology* **96**: 1238-1251.
- Stenberg, P., T. Nilson, H. Smolander and P. Voipio. 2003. Gap fraction based estimation of LAI in Scots pine stands subjected to experimental removal of branches and stems. *Canadian Journal of Remote Sensing* **29**(3): 363-370.