

## 식생 분포 확률 추정을 통한 북한산 국립공원의 잠재자연식생 추정

신진호<sup>1)</sup> · 연명훈<sup>2)</sup> · 양금철<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 공주대학교 건설환경공학부 · <sup>2)</sup> 중앙대학교 생명과학과

## Estimation of Potential Natural Vegetation using the Estimate to Probability Distribution of Vegetation in Bukhansan National Park

Shin, Jin-Ho<sup>1)</sup> · Yeon, Myung-Hun<sup>2)</sup> and Yang Keum-Chul<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University,

<sup>2)</sup> Dept. of Life Science, Chung-ang University.

### ABSTRACT

The study for the estimation potential natural vegetation was estimated the occurrence probability distribution using geographic information system(GIS) in Bukhansan National Park. Correlation and factor analysis were analyzed to estimate probability distribution. Coefficients were calculated by logistic regression analysis.

Correlation coefficients were significantly at the 0.01 level. Commonality of elevation, annual mean temperature, warmth index and potential evapotranspiration were high value, but topographic index was low value. Communities of over the 0.3 points distribution probability, *Quercus mongolica* communities were the largest area, 76,940,900 m<sup>2</sup>, *Pinus densiflora* communities area was 860,800 m<sup>2</sup>, *Quercus acutissima* communities area was 500,100 m<sup>2</sup> and *Quercus variabilis* communities area was 1,000 m<sup>2</sup>, but *Q. aliena*, *Q. serrata*, *Carpinus laxiflora* and *Zelcova serrata* communities was not appeared. Therefore, potential national vegetation of Bukhansan national park was likely to be *Q. mongolica* community, *P. densiflora* community, *Q. acutissima* community and *Q. variabilis* community.

Key Words : Commonality, Geographic information system(GIS), Occurrence probability distribution.

**First author** : Shin, Jin-Ho, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University,

Tel : +82-41-521-9311, E-mail : sjho77@kongju.ac.kr

**Corresponding author** : Yang, Keum-Chul, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University,

Tel : +82-41-521-9311, E-mail : yangkc@kongju.ac.kr

**Received** : 28 February, 2013. **Revised** : 29 April, 2013. **Accepted** : 10 May, 2013.

## I. 서론

어떤 지역의 잠재자연식생은 일체의 인위적인 영향이 배제되었을 때 도달할 수 있는 식생을 의미하며(Tüxen, 1956; Westhoff and van der Maarel, 1978), 해당 지역에서 작용하는 자연 조건을 대변하는 중요한 표현이다(Elenbeg, 1988). 잠재자연식생에 대한 연구나 잠재자연식생도는 지역 식생의 관리, 토지 이용, 경관 계획, 복원 등에 유익한 정보를 제공해 주는(Brzeziecki *et al.*, 1993) 만큼 많은 지역, 나아가서는 국가적인 차원에서 지속적인 연구가 있어야 할 것이며, 일반적으로 식물 사회학적 조사 자료를 토대로 한 대부분의 군락 유형은 종 조성, 군락 구조, 다양성 및 입지 조건에 의하여 기재되고(Brzeziecki *et al.*, 1993), 식생천이와 잠재 자연식생도 함께 연구될 수 있을 것으로 기대된다(Choung *et al.*, 2000). 그 동안 국내에서도 삼림의 식생 천이와 잠재자연식생에 관련된 많은 연구들이 축적되어 왔다(Kim and Yim, 1987; 1988; Lee, 1997; Lee *et al.*, 1990; Byun *et al.*, 1998; Choung *et al.*, 2006).

한반도의 잠재 자연식생에 대해서 Kim and Yim (1988)은 내장산의 식생 연구에서 신갈나무, 서나무, 개서나무, 느티나무 등이 잠재자연식생의 주종을 이룰 것으로 예측하였으며, Kim (1992)은 북동아시아의 식생 연구에서 한반도의 잠재자연식생은 북부/고산지형(신갈나무-잣나무군단), 중부/산지형(신갈나무-생강나무아군단), 남부/저산지형(졸참나무-작살나무아군단)의 3가지 유형이 있음을 밝힌 바 있다. Pavel *et al.* (2006)은 한국의 온대 낙엽활엽수림은 겨울보다 여름의 강수량이 훨씬 높고, 일시적으로 수분 부족기간을 갖는 몬순 해양성 기후의 신갈나무군장으로 규정하고 있다.

한편 북한산국립공원은 서울의 근교에 위치하고 있어 사람들에게 항상 관심의 대상이 되었으며, 그에 따른 연구도 활발히 진행되었다. 북

한산국립공원에 관한 연구로는 Lee (1997)는 북한산국립공원의 잠재자연식생을 연구하였으며, Choi and Lee (1993)는 북한산 국립공원의 삼림 군집구조의 5년간 변화에 대해 연구하였으며, Lee *et al.* (1995)은 북한산 국립공원 주요 5개 계곡의 식물군집구조에 대해 연구하였고, 최근에는 Lim *et al.* (2008)이 북한산국립공원의 특정식물과 그 보전 대책에 대해 연구하였다.

그러나 지금까지 연구된 내용 중 잠재자연식생 추정에 관한 연구는 많지 않으며, 진행된 연구는 식물사회학적인 방법으로 추정되었다. 따라서 본 연구에서는 북한산국립공원의 현존식생에 대해 분석된 분포 요인들을 통해 북한산국립공원에서 식생의 출현분포 확률을 추정함으로써 북한산국립공원의 잠재자연식생을 추정하여 제시하였다. 이는 삼림식생의 관리와 개발에 있어 장기적인 관리와 보전 방안의 수립에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 전국적 혹은 지역적으로 식생분포에 영향을 미치는 인자들을 이용하여 분포확률을 추정하는데 이용할 수 있을 것으로 기대하며 산림관리를 위한 자료로 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구지역은 북한산 국립공원을 대상으로 하며, 지리적 위치는 126° 56' 05" E ~ 127° 03' 04" E, 37° 35' 53" N ~ 37° 43' 54" N이며, 행정구역상 서울특별시 도봉구, 강북구, 성북구, 종로구, 서대문구, 은평구와 경기도 의정부시, 고양시, 양주시에 걸쳐 있으며, 총면적은 약 76,922 km<sup>2</sup>이며, 우이령을 중심으로 남쪽의 북한산 지역과 북쪽의 도봉산 지역으로 구분된다(Figure 1). 식물구계학적으로는 남부아구에 속하며(Lee and Yim, 1978), 식물군계로는 냉온대중부에 속한다(Yim and Kira, 1976). 북한산 국립공원 주변에서 가장 가까운 서울기상

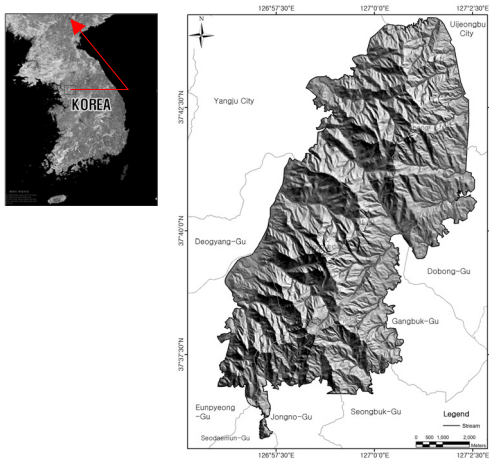


Figure 1. Study area and shaded relief image.

대의 1981~2010년 자료에 의하면, 이 지역의 연평균 기온은 12.5°C, 강수량은 1450.5mm, 강수량의 대부분은 6월~9월에 집중되는 하계다우형의 전형을 보이고 있다.

## 2. 조사 분석

### 1) 현존식생도 제작

현존식생도는 국립환경과학원에서 실시한 정밀현존식생도제작 사업결과를 수정·보완하여 본 연구에 맞게 재분류 작업을 통해 작성하였으며, 식생군락에 대한 조사는 방형구 법(quadrat method)으로 실시하였으며, 군락의 명명은 교목층의 우점종을 기준으로 군락을 명명하는 방법을 사용하였다. 군락의 명명을 위한 종의 동정은 Lee (2003)에 따라 동정하였다.

### 2) 분포요인 추출

수치표고모델(Digital elevation model, DEM)의 제작은 국립지리원에서 제작한 수치지도에서 등고선(7111 주곡선, 7114 계곡선) 및 표고점(7217 표고)을 추출하여 10×10m의 크기를 갖는 DEM을 구축하였다. 고도의 경우 DEM자체가 고도값을 가지므로 따로 고도를 추출할 필요가 없고, 경사 및 사면방위는 DEM을 이용하여

Arcmap 9.2 프로그램의 slope 함수와 aspect 함수를 이용하여 추출하였으며, 이를 정수화하여 분석에 사용하였다.

연평균기온과 온량지수를 구하기 위해 국립공원 주변의 서울 기상대 및 자동측정망(Automatic Weathering Systems, AWS)의 14개 지점(Shin, 2012)의 자료를 이용하였다. 연평균 기온은 먼저 14개 지점의 월평균 기온을 기준으로 내삽법(interpolation) 중 거리역가중방법(Inverse Distance Weighted, IDW)으로 14개 지점 내부의 모든 격자(10×10m)의 월평균 기온을 구하였다. 내삽을 실시한 후 고도에 따른 기온감율을 고려하여 기온을 보정하여 온량지수(Warmth Index, WI)를 구하는데 이용하였다. 온량지수는 1년 중 월평균 기온 5°C 이상인 달에 대해 월평균기온과 5°C와의 차를 합산하여 나타낸다.

$$WI = \sum_{1}^n (t - 5), t > 5^{\circ}\text{C}, t :$$

월평균기온(°C),  $n = 12$  (식 1)

잠재증발산량(Potential evapotranspiration, PET)은 가능한 증발산량을 의미하는 것으로 한반도에서는 잠재증발산량과 온량지수 사이에서 직선의 일차 회귀식이 성립함이 밝혀졌다(Yim and Kira, 1975).

$$PET = 4.30 \times WI + 299,$$

PET : mm/yr, WI : °C · month (식 2)

### 3) 현존식생과 분포요인의 중첩분석

현존식생 분포와 지형인자를 중첩분석하기 위해 vector 형태의 자료를 grid (10×10m) 격자 형태로 전환한 후 중첩분석을 위해 각 군락을 서열화 하였다. 또한 고도는 10m 단위로, 경사는 1°, 사면방위는 45° 단위로 정수화하여 중첩분석을 하였다. 현존식생분포의 경우 vector data 이며, 분포요인들은 raster data 이므로 현존식생

분포를 point data로 변환한 후 중첩분석하였다. 이 때 사용한 프로그램은 Arcmap 9.3 version을 사용하였다.

#### 4) 식생의 분포확률 추정

##### (1) 요인분석

요인분석(factor analysis)은 인자분석이라고도 하며, 이는 여러 변수들의 공통적인 요인이 있다고 가정하고 이 요인을 찾아내어 각 변수가 어느 정도 영향을 받고 있는지를 알아내거나 해당 집단의 특징이 무엇인지를 알아내고자 할 때 사용하는 분석이다.

일반적으로 요인분석을 위해서는 먼저 요인분석이 적용 가능한지에 대한 가능성을 점검해야 하는데, 이는 표본의 크기(일반적으로 50개 이상의 변수), 변수의 특징(등간척도 이상의 연속형 변수여야 하며, 정규분포곡선을 이루고, 각 변수의 값은 상호 독립적이며, 각 변수의 분산이 같아야 함)을 살펴보아야 한다. 본 연구에서 사용할 요인들은 고도, 경사, 사면방위, 지형지수, 연평균기온, 온량지수, 잠재증발산량으로 모두 위의 조건들을 만족함으로 요인분석에 사용할 수 있다.

##### (2) 로지스틱회귀분석

단순로지스틱모형은 입력변수의 개수가  $p$  개인 경우에도 자연스럽게 확장되어 사용될 수 있다. 즉 입력변수  $x_1, x_2, \dots, x_p$ 에 대해서도 다중로지스틱 회귀모형은

$$\ln \frac{p(y=1 | x_1, \dots, x_p)}{1 - p(y=1 | x_1, \dots, x_p)} = a + b_1x_1 + \dots + b_px_p \quad (\text{식 3})$$

으로 정의된다. 로지스틱 회귀분석의 목적은 흔히 추정된 로짓모형을 이용하여 자료를 분류하기 위한 것이기 때문에 일반적인 판별분석과 비교하여 로지스틱 판별분석(logistic discrimination)

이라고 불린다.

위의 모형식으로부터 추정된 회귀계수  $a, b_1, \dots, b_p$ 를 이용하여 다음과 같이 사후확률에 대한 추정식을 얻을 수 있다. 즉,

$$p(y=1 | x_1, \dots, x_p) = \frac{\exp(a + b_1x_1 + \dots + b_px_p)}{1 + \exp(a + b_1x_1 + \dots + b_px_p)} \quad (\text{식 4})$$

이렇게 얻어진 각 개체에 대한 사후확률은 그 개체를 분류하기 위해 사용될 수 있다( $p(y=1 | x_1, \dots, x_p) = 1 - p(y=1 | x_1, \dots, x_p)$ ). 즉 추정된 사후확률은 0과 1사이의 값을 가지게 되므로, 적절한 절단값(cutoff value)을 정하여 이 값을 기준으로 각 개체를 분류하는 것이다. 본 연구에서 절단값은 0.5로 하였다.

각각의 군락에 대해 그 군락이 출현한 픽셀은 1, 출현하지 않은 픽셀은 0의 값이 되도록 DATA를 처리한 후 각 요인에 대해 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 로지스틱 회귀분석은 SPSS 12.0 ver. Korean을 사용하였다.

##### (3) 군락별 분포확률

군락의 공간적 분포가 다른 것은 개개의 수종이 저마다 고유한 생육환경을 가지고 있고, 군락의 분포에 영향을 주는 지형인자, 기후인자 등의 생육환경이 공간적으로 차이가 나기 때문이다. 각종 지형 및 기후 인자와 현존식생과의 관계를 이용하여 인자별로 특정 군락의 분포확률을 추정할 수 있다.

본 연구의 분석대상은 10×10m로 구분된 Grid이다. 따라서 지형인자(고도, 경사, 사면방위, 지형지수)와 기후인자(연평균기온, 온량지수, 잠재증발산량)를 독립변수로 하여 수종별 출현유무(1, 0)를 종속변수로 한 로지스틱 회귀분석을 통해 인자에 따른 분포확률 추정식을 작성하였다.

$$p_i = f(Ele, Slo, Asp, TI, AMT, WI, PET)$$

$$p_i(y=1 | Ele, Slo, Asp, TI, AMT, WI, PET) = \frac{\exp(a1+b1Ele+c1Slo+d1Asp+e1TI+f1AMT+g1WI+h1PET)}{1+\exp(a1+b1Ele+c1Slo+d1Asp+e1TI+f1AMT+g1WI+h1PET)}$$

(식 5)

*Ele*, elevation; *Slo*, slope; *Asp*, aspect; *TI*, topographic index; *AMT*, annual mean temperature; *WI*, warmth index; *PET*, potential evapotranspiration.

이와 같이 DEM의 각 grid마다 군락별 점유 확률이 추정되면 점유확률이 가장 큰 수종이 해당 grid에 출현할 가능성이 높은 것으로 판단하여 공간분포(spatial distribution) 및 출현확률(occurrence probability)을 예측할 수 있다.

### 5) 통계분석

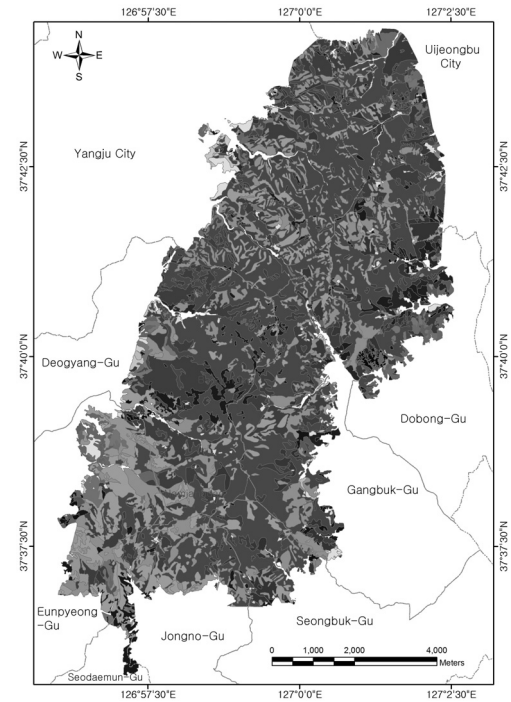
유의성 검증을 위해 일원배치 분산분석(ANOVA : Analysis of variance)을 실시하였으며, 유의성 분석은 유의수준 0.1%, 1%, 5%에서 실시하였고, 사후 분석은 Tukey's 다중비교를 실시하였다. 요인분석은 프로그램내의 요인분석 알고리즘을 사용하였고, 로지스틱회귀분석은 다중로지스틱 회귀분석을 사용하였다. 사용된 통계 프로그램은 SPSS ver. 12.0 (SPSS Inc.)을 이용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 현존식생 분포

북한산국립공원의 현존식생조사 결과 약 105개의 군락이 분포하는 것으로 조사되었으며 (Figure 2), 대부분류 결과 활엽수림, 침엽수림, 산지습성림, 하반림, 암벽식생, 관목림, 식재림 및 기타식생과 비식생 등이 나타난 것으로 조사되었다. 북한산 국립공원내 활엽수림은 전체 면적의 약 63%를 차지하고 있으며, 활엽수림 중에서는 신갈나무림이 약 92.3%로 대부분을 차지하고 있었다. 침엽수림은 소나무가 우점하는 2

차림으로 조사되었으며, 소나무군락의 분포 패턴을 살펴보면 대부분 능선을 중심으로 분포하는 것으로 나타났으며, 소나무-신갈나무군락이 능선주변의 사면에 나타났다. 식재림으로는 아까시나무식재림, 리기다소나무식재림, 일본잎갈나무식재림, 잣나무식재림, 밤나무식재림 등이 민가와 인접한 산의 하단부에 주로 분포하고 있으며, 일부 식재림의 경우 높은 고도의 계곡부와 능선에도 분포하는 것으로 조사되었다. 식재림 중에서는 리기다소나무식재림이 가장 많이



AlhPot	Fcl	Pik	QaCac	QmAlh	QsPik	Rop
Cac	Frr	PikCac	QsPd	QmCac	QsQal	RopCac
CacLI	Ga	PikQs	QaPik	QmCl	QsQm	RopPd
CacPd	Lit	PikRop	QaPr	QmLI	QsRop	RopPot
CacPik	LI	Pot	QaQal	QmPd	Qv	RopPr
CacPr	LIQm	PotQa	QaQm	QmPik	QvCac	RopPas
CacPss	Pd	PotRop	QaQv	QmPot	QvPd	RopQa
CacQa	PdCac	Pr	QaRop	QmPr	QvPik	RopQal
CacQal	PdPr	PrCac	Qal	QmQa	QvPot	RopQm
CacOm	PdQa	PrPd	QalBda	QmQs	QvPr	Sa
CacQs	PdQal	PrQa	QalCac	QmQv	QvQm	Seg
CacQv	PdQm	PrQm	QalPrs	QmRop	QvQs	Sk
CacRop	PdQs	PrQs	QalQa	Qs	QvRop	ZesPr
Cl	PdQv	PrRop	QalQs	QsCac	R	Zs
ClQs	PdRop	Qa	Qm	QsPd	Rc	CvaRea

Figure 2. Actual vegetation map of Bukhansan National Park. Legend see table 32 of Shin (2012).

분포하고 있었으며, 아까시나무식재림이 다음으로 많이 분포하는 것으로 조사되었다.

## 2. 식생의 분포확률 추정

### 1) 요인분석

전체 7개 요인 즉, 고도, 경사, 방위, 지형지수, 연평균기온, 온량지수, 잠재증발산량을 요인으로 하여 상관행렬을 구하고 베리맥스 방법으로 회전된 성분행렬을 이용하여 요인분석을 실시하였다.

상관분석결과 상관계수는 0.01 수준에서 유의한 것으로 나타났다(Table 1). 요인분석에서 공통성의 항목은 추출된 값이 요인을 설명할 수 있는 정도를 나타내는데 고도, 연평균기온, 온량지수, 잠재증발산량 등이 높은 값을 나타내었으며, 사면방위와 경사가 다음으로 나타났으며, 지형지수는 낮은 값으로 나타났다(Table

2). 추출 값은 각 변수에 대해 나머지 변수들로 회귀분석을 수행했을 때 결정계수( $R^2$ )를 계산한 값이다. 따라서 1에 가까울수록 다중공선성이 존재하고, 0에 가까울수록 다중공선성의 정도가 없다는 것을 의미한다. 다중공선성(multicollinearity)은 종속변인에 대한 예측 모델 간에 강한 상관관계가 있는 것을 의미하는 것으로 완전공선성은 하나의 예측 모델이 다른 예측모델과 완전히 일치하는 경우로 회귀선을 그리면 두 선이 일치한다고 볼 수 있다. 다중공선성이 지나치게 높은 경우 특정 회귀계수나 표준오차 등이 제대로 추정되지 않기 때문에 다중회귀분석시 거치는 과정중의 하나이다. Table 2에서 보는 것처럼 고도, 연평균기온, 온량지수, 잠재증발산량은 다중공선성이 크게 존재하는 것을 알 수 있다.

**Table 1.** Correlation between seven factors.

	Elevation	Slope	Aspect	TI	AMT	WI	PET
Elevation	1.000						
Slope	0.038**	1.000					
Aspect	0.013**	0.043**	1.000				
TI	-0.382**	-0.030**	-0.014**	1.000			
AMT	-0.896**	-0.053**	-0.033**	0.372**	1.000		
WI	-0.928**	-0.052**	-0.025**	0.389**	0.961**	1.000	
PET	-0.926**	-0.052**	-0.026**	0.387**	0.959**	0.996**	1.000

\*\* $p < 0.01$

**Table 2.** Commonality of 7 factors. Those mean description degree of factor.

	First	Derived
Elevation	1	0.91
Slope	1	0.51
Aspect	1	0.54
Topo	1	0.24
AMT	1	0.94
WI	1	0.97
PET	1	0.97

2) 주요 군락의 분포확률 추정  
다중로지스틱 회귀분석을 이용하여 주요군락의 출현확률 추정식을 유도하기 위해 계수 추정을 하였다(Table 3). 분포확률 추정식에 사용되는 계수는 (+) 값인 경우 그 요인의 증가에 따

라, (-) 값인 경우 그 요인의 감소에 따라 분포 확률이 증가한다는 의미이다. 즉, 신갈나무의 경우 사면방위가 북으로 갈수록 출현확률이 높았으며, 온량지수, 연평균온도, 잠재증발산량이 높을수록 출현확률이 높은 것으로 나타났으며,

**Table 3.** The estimated parameters of occurrence provability equation by eight plant communities.

Community	Data set	$\beta_h$	S.E.	Wald	d.f.	sig.	Exp(B)	95%Confidence interval of Exp.(B)	
								Min	Max
Qm	Elevation	0.101	0.00	42,469.6	1	0.0000	1.1066	1.11	1.11
	Slope	-0.012	0.00	2,968.2	1	0.0000	0.9881	0.99	0.99
	Aspect	0.083	0.00	8,753.5	1	0.0000	1.0865	1.08	1.09
	TI	-0.119	0.01	421.9	1	0.0000	0.8877	0.88	0.90
	AMT	0.328	0.01	1,740.2	1	0.0000	1.3882	1.37	1.41
	WI	0.064	0.00	322.2	1	0.0000	1.0657	1.06	1.07
	PET	0.024	0.01	9.7	1	0.0019	1.0248	1.01	1.04
	$\epsilon$	-6.625	0.04	27,273.0	1	0.0000	0.0013		
Pd	Elevation	-0.057	0.00	8,541.3	1	0.0000	0.9450	0.94	0.95
	Slope	0.009	0.00	896.2	1	0.0000	1.0094	1.01	1.01
	Aspect	-0.124	0.00	8,246.1	1	0.0000	0.8835	0.88	0.89
	TI	-0.333	0.01	1,148.8	1	0.0000	0.7170	0.70	0.73
	AMT	-0.082	0.01	48.2	1	0.0000	0.9212	0.90	0.94
	WI	-0.103	0.01	372.8	1	0.0000	0.9018	0.89	0.91
	PET	-0.045	0.01	13.9	1	0.0002	0.9564	0.93	0.98
	$\epsilon$	4.287	0.05	6,952.4	1	0.0000	72.7153		
Qa	Elevation	-0.319	0	10,996.40	1	0.0000	0.727	0.72	0.73
	Slope	-0.005	0	22.1	1	0.0000	0.9952	0.99	1
	Aspect	-0.173	0	1,784.10	1	0.0000	0.8411	0.83	0.85
	TI	0.280	0.01	401.8	1	0.0000	1.3227	1.29	1.36
	AMT	0.602	0.03	395.4	1	0.0000	1.8266	1.72	1.94
	WI	-0.253	0.01	285.6	1	0.0000	0.7761	0.75	0.8
	PET	-0.015	0.03	0.2	1	0.6556	0.9854	0.92	1.05
	$\epsilon$	5.996	0.15	1,502.80	1	0.0000	401.7638		
Qal	Elevation	-0.107	0.01	77.1	1	0.0000	0.8981	0.88	0.92
	Slope	0.035	0.00	84.0	1	0.0000	1.0356	1.03	1.04
	Aspect	-0.090	0.02	25.6	1	0.0000	0.9136	0.88	0.95
	TI	0.139	0.07	3.6	1	0.0574	1.1492	1.00	1.33
	AMT	0.228	0.15	2.5	1	0.1173	1.2565	0.94	1.67
	WI	-0.522	0.07	55.7	1	0.0000	0.5931	0.52	0.68
	PET	1.166	0.16	54.4	1	0.0000	3.2089	2.35	4.37
	$\epsilon$	-7.816	0.80	94.5	1	0.0000	0.0004		

Table 3. Continued.

Community	Data set	$\beta$	S.E.	Wald	d.f.	sig.	Exp(B)	95% Confidence interval of Exp.(B)	
								Min	Max
Qs	Elevation	-0.049	0.01	74.0	1	0.000	0.952	0.9412	0.9626
	Slope	0.009	0.00	14.2	1	0.000	1.009	1.0041	1.0132
	Aspect	-0.185	0.01	326.2	1	0.000	0.831	0.8146	0.8480
	TI	-0.338	0.06	34.6	1	0.000	0.713	0.6375	0.7984
	AMT	1.473	0.08	301.6	1	0.000	4.362	3.6941	5.1511
	WI	-0.330	0.04	78.5	1	0.000	0.719	0.6681	0.7732
	PET	0.345	0.08	17.5	1	0.000	1.412	1.2010	1.6597
	$\epsilon$	-5.891	0.43	187.8	1	0.000	0.003		
Qv	Elevation	-0.135	0.00	773.2	1	0.0000	0.8736	0.87	0.88
	Slope	0.013	0.00	103.6	1	0.0000	1.0128	1.01	1.02
	Aspect	-0.221	0.01	1,494.1	1	0.0000	0.8017	0.79	0.81
	TI	-0.095	0.02	19.6	1	0.0000	0.9095	0.87	0.95
	AMT	-1.463	0.04	1,065.5	1	0.0000	0.2315	0.21	0.25
	WI	0.156	0.02	64.3	1	0.0000	1.1685	1.12	1.21
	PET	0.388	0.05	72.6	1	0.0000	1.4747	1.35	1.61
	$\epsilon$	-5.732	0.27	435.8	1	0.0000	0.0032		
Cl	Elevation	-0.025	0.02	1.2	1	0.2711	0.9757	0.93	1.02
	Slope	0.022	0.01	12.4	1	0.0004	1.0224	1.01	1.04
	Aspect	0.327	0.03	89.0	1	0.0000	1.3869	1.30	1.48
	TI	-0.243	0.15	2.7	1	0.1002	0.7841	0.59	1.05
	AMT	1.206	0.25	23.3	1	0.0000	3.3408	2.05	5.45
	WI	0.693	0.12	33.1	1	0.0000	1.9999	1.58	2.53
	PET	-1.583	0.26	36.2	1	0.0000	0.2053	0.12	0.34
	$\epsilon$	-15.442	1.57	97.0	1	0.0000	0.0000		
Zs	Elevation	0.518	0.05	90.8	1	0.0000	1.6795	1.51	1.87
	Slope	-0.029	0.01	4.6	1	0.0323	0.9718	0.95	1.00
	Aspect	-0.051	0.05	1.1	1	0.3001	0.9504	0.86	1.05
	TI	-0.592	0.34	3.1	1	0.0805	0.5535	0.29	1.07
	AMT	5.866	0.82	51.5	1	0.0000	352.6988	71.05	1,750.91
	WI	0.843	0.21	16.2	1	0.0001	2.3228	1.54	3.50
	PET	-1.644	0.44	13.9	1	0.0002	0.1932	0.08	0.46
	$\epsilon$	-53.309	5.02	112.9	1	0.0000	0.0000		

Qm, *Quercus mongolica* community; Pd, *Pinus densiflora* community; Qa, *Q. acutissima* community; Qal, *Q. aliena* community; Qs, *Q. serrata* community; Qv, *Q. variabilis* community; Cl, *Carex laxiflora* community; Zs, *Zelcova serrata* community.

고도, 경사, 지형지수가 낮을수록 출현확률이 높아지는 것으로 나타났다. Yang (2002)에 의하면 남한에 분포하는 신갈나무군락의 경우 평균고

도 783.9m, 평균 경사도 25.6°에서 많이 분포하며, 방위는 북사면에서 가장 많이 분포하며, 북서사면, 북동사면에서 그 다음으로 많이 분포한



다고 하였다. 이외에도 신갈나무군락에 대한 연구로는 식생구조와 생태적 복원모델에 관한 연구(Lee and Song, 2011), 비룡산 신갈나무림의 식물다양성에 관한 연구(Kim *et al.*, 2011), 평창과 제천지역의 신갈나무림의 바이오매스와 연간 순생산량에 관한 연구(Lee and Kwon,

2006) 등이 있으나, 이들의 연구에서는 신갈나무군락의 분포특성에 대해 단편적인 정보를 제공하고 있어 본 연구와는 차이가 있는 것으로 판단된다.

따라서 각 군락의 로지스틱 회귀모형식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}$$

$$= \beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET$$

$$p_{Qm}(y=1 | Ele, Slo, Asp, TI, AMT, WI, PET) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}$$

$$= \frac{\exp(-6.625 + 0.101Ele - 0.012Slo + 0.411Asp - 0.125TI + 0.329AMT + 0.064WI + 0.024PET)}{1 + \exp(-6.625 + 0.101Ele - 0.012Slo + 0.411Asp - 0.125TI + 0.329AMT + 0.064WI + 0.024PET)}$$

(식 6)

$$p_{Pd}(y=1 | Ele, Slo, Asp, TI, AMT, WI, PET)$$

$$= \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}$$

$$= \frac{\exp(4.287 - 0.057Ele + 0.009Slo - 0.124Asp - 0.333TI - 0.082AMT - 0.103WI - 0.045PET)}{1 + \exp(4.287 - 0.057Ele + 0.009Slo - 0.124Asp - 0.333TI - 0.082AMT - 0.103WI - 0.045PET)}$$

(식 7)

$$p_{Qa}(y=1 | Ele, Slo, Asp, TI, AMT, WI)$$

$$= \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI)}$$

$$= \frac{\exp(5.996 - 0.319Ele - 0.005Slo - 0.173Asp + 0.280TI + 0.602AMT - 0.253WI)}{1 + \exp(5.996 - 0.319Ele - 0.005Slo - 0.173Asp + 0.280TI + 0.602AMT - 0.253WI)}$$

(식 8)

$$p_{Qal}(y=1 | Ele, Slo, Asp, WI, PET)$$

$$= \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}$$

$$= \frac{\exp(-7.816 - 0.107Ele + 0.035Slo - 0.090Asp - 0.522WI + 1.166PET)}{1 + \exp(-7.816 - 0.107Ele + 0.035Slo - 0.090Asp - 0.522WI + 1.166PET)}$$

(식 9)

$$p_{Qs}(y=1 | Ele, Slo, Asp, TI, AMT, WI, PET)$$

$$= \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 Ele + \beta_2 Slo + \beta_3 Asp + \beta_4 TI + \beta_5 AMT + \beta_6 WI + \beta_7 PET)}$$

$$= \frac{\exp(-5.891 - 0.049Ele + 0.009Slo - 0.185Asp - 0.338TI + 1.473AMT - 0.330WI + 0.345PET)}{1 + \exp(-5.891 - 0.049Ele + 0.009Slo - 0.185Asp - 0.338TI + 1.473AMT - 0.330WI + 0.345PET)} \quad (\text{식10})$$

$$\begin{aligned} p_{Ov}(y=1 | Ele, Slo, Asp, TI, AMT, WI, PET) &= \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1Ele + \beta_2Slo + \beta_3Asp + \beta_4TI + \beta_5AMT + \beta_6WI + \beta_7PET)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1Ele + \beta_2Slo + \beta_3Asp + \beta_4TI + \beta_5AMT + \beta_6WI + \beta_7PET)} \\ &= \frac{\exp(-5.732 - 0.135Ele + 0.013Slo - 0.221Asp - 0.095TI - 1.463AMT + 0.156WI + 0.388PET)}{1 + \exp(-5.732 - 0.135Ele + 0.013Slo - 0.221Asp - 0.095TI - 1.463AMT + 0.156WI + 0.388PET)} \end{aligned} \quad (\text{식11})$$

$$\begin{aligned} p_{Cl}(y=1 | Slo, Asp, AMT, WI, PET) &= \frac{\exp(\beta_0 + \beta_2Slo + \beta_3Asp + \beta_5AMT + \beta_6WI + \beta_7PET)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_2Slo + \beta_3Asp + \beta_5AMT + \beta_6WI + \beta_7PET)} \\ &= \frac{\exp(-15.442 + 0.022Slo + 0.327Asp + 1.206AMT + 0.693WI - 1.583PET)}{1 + \exp(-15.442 + 0.022Slo + 0.327Asp + 1.206AMT + 0.693WI - 1.583PET)} \end{aligned} \quad (\text{식 12})$$

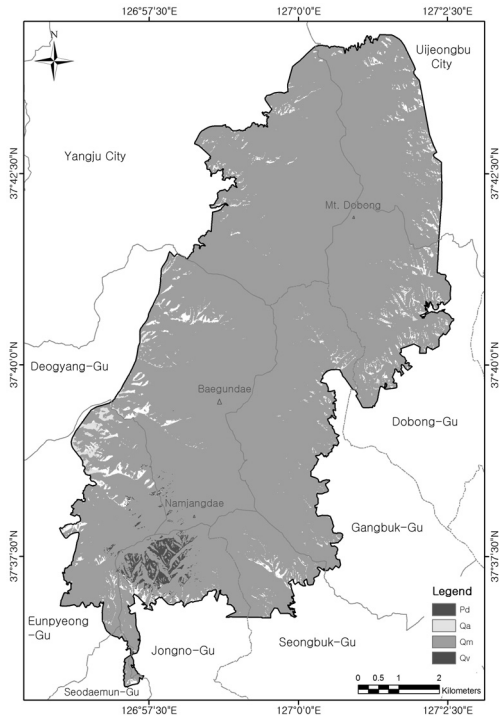
$$\begin{aligned} p_{Zs}(y=1 | Ele, Slo, AMT, WI, PET) &= \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1Ele + \beta_2Slo + \beta_5AMT + \beta_6WI + \beta_7PET)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1Ele + \beta_2Slo + \beta_5AMT + \beta_6WI + \beta_7PET)} \\ &= \frac{\exp(-53.309 + 0.518Ele - 0.029Slo + 5.866AMT + 0.843WI - 1.644PET)}{1 + \exp(-53.309 + 0.518Ele - 0.029Slo + 5.866AMT + 0.843WI - 1.644PET)} \end{aligned} \quad (\text{식 13})$$

분포확률이 0.3이상인 격자를 대상으로 격자 별로 가장 큰 분포확률을 갖는 군락을 나타내 보았다. 분포확률이 0.3이상인 격자는 전체 792,820개 중 769,409개 이었으며, 이들 중 분

포확률의 크기가 신갈나무군락이 가장 큰 격자는 755,790개였으며, 소나무군락의 분포확률이 가장 큰 격자는 8,608이었으며, 상수리나무와 굴참나무가 각각 5,001, 10개로 나타났고, 갈참

**Table 4.** The estimated probability distribution over 0.3 points of plant communities in Bukhansan national park.

Community	Counts (ea)	Ratio	Ratio (Total)
<i>Q. mongolica</i>	755,790	98.38	95.33
<i>P. densiflora</i>	8,608	1.12	1.09
<i>Q. acutissima</i>	5,001	0.47	0.63
<i>Q. aliena</i>	0	0.00	0.00
<i>Q. serrata</i>	0	0.00	0.00
<i>Q. variabilis</i>	10	0.03	0.00
<i>C. laxiflora</i>	0	0.00	0.00
<i>Z. serrata</i>	0	0.00	0.00
Total	769,409	100	97.05
Total pixels in Bukhansan national park	792,820		



**Figure 3.** The estimated potential natural vegetation map from estimating equation of Bukhansan national park. Pd, *Pinus densiflora* community; Qa, *Quercus acutissima* community; Qm, *Q. mongolica* community; Qv, *Q. variabilis* community.

나무, 졸참나무, 서나무, 느티나무의 경우 분포 확률이 0.3이상인 격자는 없는 것으로 나타났다 (Table 4).

즉 북한산국립공원의 잠재자연식생은 갈참나무군락, 졸참나무군락, 서나무군락, 느티나무군락의 자연림은 사라지고, 대부분 신갈나무군락이 차지할 것이며, 일부 소나무군락, 상수리나무군락, 굴참나무군락이 분포할 것으로 예측할 수 있다(Figure 3).

본 연구지역인 북한산국립공원의 경우 한반도 중부아구의 냉온대 중부에 속하며, 기존의 많은 연구에서 냉온대림의 잠재자연식생을 신갈나무군락과 서나무군락으로 추정하였다. 본 연구에서의 추정결과 신갈나무군락이 잠재자연

식생의 대부분을 차지하는 것으로 나타났으나, 상수리나무군락과 굴참나무군락, 침엽수림으로 소나무군락이 일부 잠재자연식생으로 나타났다. 이러한 결과는 북한산국립공원에서 연구한 Lee (1997)의 결과와도 다소 차이가 있는데, 신갈나무군락이 잠재자연식생이라고 한 부분은 같은 결과이나, 서나무군락이 잠재자연식생이라고 한 것과는 다른 결과가 나타났다. 이러한 결과들이 나타난 원인으로 가장 큰 이유는 잠재자연식생 추정의 방법에서 찾을 수 있다. 즉 기존의 연구는 식생조사표를 이용하여 군락의 분석 및 서열법에 의해 잠재자연식생을 추정하고 환경요인들에 대한 표현은 대부분 식물군락의 분포에 영향을 미칠 것이라고 하였으나, 구체적으로 정량화한 수치로 표현한 연구나 잠재자연식생도로 표현한 연구는 거의 없었다. 따라서 이러한 연구방법의 차이에 따라 본 연구와 차이가 난 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 북한산국립공원의 현존식생에 대해 분석된 분포 요인들을 통해 북한산 국립공원에서 식생의 출현분포 확률을 추정하여 북한산국립공원의 잠재자연식생을 추정하기 위해 연구하였다. 이는 삼림식생의 관리와 개발에 있어 장기적인 관리와 보전 방안의 수립에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 전국적 혹은 지역적으로 식생분포에 영향을 미치는 인자들을 이용하여 분포확률을 추정하여 산림관리를 위한 기초자료로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

연구 결과 상관계수는 0.01 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 추정된 계수를 이용하여 분포 확률을 추정한 결과 분포확률이 0.3이상인 격자를 대상으로 격자별로 가장 큰 분포확률을 갖는 군락을 나타내 보았다. 분포확률이 0.3이상인 격자는 전체 792,820개 중 769,409개 이었으며,

이들 중 분포확률의 크기가 신갈나무군락이 가장 큰 격자는 755,790개 이었으며, 소나무군락의 분포확률이 가장 큰 격자는 8,608개 이었으며, 상수리나무군락과 굴참나무군락이 각각 5,001, 10개로 나타났고, 갈참나무, 졸참나무, 서나무, 느티나무의 경우 분포확률이 0.3이상인 격자는 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구 결과 북한산국립공원의 잠재자연식생은 신갈나무군락, 소나무군락, 상수리나무군락, 굴참나무군락으로 될 확률이 높다. 그러나 식생에 미치는 영향은 이러한 요인 이외에도 일사량, 토성 등 다양하기 때문에 향후 식생 분포의 변화를 예측하기 위해서는 이러한 인자들에 의한 영향을 추가한 연구 및 기존의 연구방법과 본 연구에서의 연구방법을 함께 이용한 잠재자연식생 추정에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 인용문헌

- Brzeziecki B. · F. Kienast and O. Wildi. 1993. A simulated map of the potential natural forest vegetation of Switzerland. *J Veg Sci* 4 : 499-508.
- Byun, D. W. · Lee, H. J. and Kim, C. H. 1998. Vegetation pattern and successional sere in the forest of Mt. Odae. *Korean J Ecol* 21(3) : 283-290. (in Korean with English summary)
- Choi, S. H. and Lee, K. J. 1993. A study on the change of the plant community structure for five years in Puk'ansan National Park. *A Eco Res* 7(1) : 35-48. (in Korean with English summary)
- Choung, H. L. · Lee, H. J. and Lee, J. S. 2000. Syntaxonomy of the forest vegetation in and surrounding Taegu, Korea. *Jour of Korean Ecol* 23(5) : 407-421. (in Korean with English summary)
- Choung, H. L. · Chun, Y. M. and Lee, H. J. 2006. Progressive succession and potential natural vegetation on the forest vegetation in and surrounding Daegu, Korea *J Ecol Field Biol* 29(3) : 265-275. (in Korean with English summary)
- Ellenberg, H. 1988. *Vegetation ecology of Central Europe*. University Press, Cambridge.
- Kim, J. S. · Hong, J. K. · Kim, K. S. · Cho, Y. C. and Bae, K. H. 2011. Plant diversity of *Quercus mongolica* forest in Mt. Biryong. *Journal of Agriculture & Life Science* 45(3) : 9-18. (in Korean with English summary)
- Kim, J. U. and Yim, Y. J. 1987. Actural vegetation and potential natural vegetation of Seonunsan area, Southwestern Korea. *Korean J Ecol* 10(4) : 159-164.
- Kim, J. U. and Yim, Y. J. 1988. Actural vegetation and potential natural vegetation of Naejangsan national park, Southwestern Korea. *Korean J Ecol* 11(3) : 145-152.
- Kim, J. W. 1992. *Vegetation of Northeast Asia -On the syntaxonomy and syngelography of the oak and beech forest-*. Ph. D. Thesis. Wein Univ Wein.
- Lee, D. K. and Kwon, K. C. 2006. Biomass and annual net production of *Quercus mongolica* stands in Pyungchang and Jecheon areas. *J Korean Fo. Soc* 95(3) : 309-315. (in Korean with English summary)
- Lee, E. B. 1997. Actual vegetation and potential natural vegetation of Pukhansan national park, Mid-western Korea. *Korean J Ecol* 20(6) : 439-450.
- Lee, K. J. · Jo, J. C. and Ryu, C. H. 1990. Analysis on the structure of plant community in Mt. Yongmun by classification and ordination techniques. *Journal of Plant Biology*. 33(3) : 173-182. (in Korean with

- English summary)
- Lee, K. J. · Cho, W. and Hwang, S. H. 1995. Plant community structure for five major valleys in Bukhansan National Park. *A Ecol Res* 9(1) : 15-29. (in Korean with English summary)
- Lee, M. J. and Song, H. K. 2011. Vegetation structure and ecological restoration model of *Quercus mongolica* community. *J Korean Env Res Tech* 14(1) : 57-65. (in Korean with English summary)
- Lee, T. B. 2003. Coloured Flora of Korea. Hyangmun Press.
- Lee, W. T. and Yim, Y. J. (1978). Studies on the distribution of vascular plants in the Korean Peninsula. *Korean J Pl Taxon* 8, Supplement : 1-33.
- Lim, D. O. · Kim, Y. S. and Lee, H. C. 2008. The specific plant species and conservation of the Bukhansan National Park. *Kor J Env Eco* 22(2) : 138-144. (in Korean with English summary)
- Pavel V. K. · Song, J. S. · Y. Nakamura and V. P. Verkholat. 2006. A phytosociological survey of the deciduous temperate forests of mainland Northeast Asia. *Phytocoenologia* 36 : 77-150.
- Shin, J. H. 2012. Simulation map of potential natural vegetation and actual vegetation distribution using high-resolution images and geographic information system - Focused on the Bukhansan National Park -. Ph. D. Thesis. Kongju National Univ. (in Korean with English summary)
- Tüxen, R. 1956. Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angew Pflanzensoziologie* 13 : 5-42.
- Westhoff, V. and van der Maarel, E. 1978. The Braun-Blanquet approach. In : Whittaker, R.H.(ed.) *Classification of plant communities*, p.287-374. Junk, The Hague.
- Yang, K. C. 2002. Classification of major habitats based on the climatic conditions and topographic features in Korea. Ph. D. Thesis. Chung-ang Univ. (in Korean with English summary)
- Yim, Y. J. and T. Kira. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. I. Distribution of some indices of thermal climate. *Jap J Ecol* 25 : 77-88.
- Yim, Y. J. and Kira, T. 1976. Distribution of forest vegetation and climate in Korean peninsula. II. Distribution of climatic humidity/aridity. *Jap J Ecol* 26 : 157-164.