

## 소나무 공간분포의 지형학적 분석

김태민 · 이우균\* · 손요환 · 유성진 · 김소라  
고려대학교 환경생태공학과

### Topographical Analysis for Spatial Distribution of *Pinus densiflora*

Tae-Min Kim, Woo-Kyun Lee\*, Yowhan Son, Seongjin Yoo and So-Ra Kim

Department of Environmental Science and Ecological Engineering,  
Korea University, Seoul 136-713, Korea

**요 약:** 본 연구에서는 설악산과 치악산 국립공원에서 소나무 공간분포와 경사, 방위, 고도 등의 지형학적 인자간의 연관성을 분석 하였다. 다양한 격자크기에서 방위에 따른 소나무의 공간분포 분석결과, 100m 격자크기가 소나무의 공간분포 특성을 설명하기에 적합한 것으로 나타났다. 100m 격자크기에서 지형인자에 따른 소나무 출현빈도는 고도 400~800m, 경사 15°~30°, TWI 0~2에서 각각 가장 높게 분석되었으며, 방위에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 고도의 계급별로 지형인자에 따른 소나무 출현빈도 차이는 고도가 400m 이하 일 때 지형인자에 따른 소나무 분포특성이 뚜렷하게 나타났다.

**Abstract:** This research aimed at analyzing relationship between spatial distribution of *Pinus densiflora*, and topographical factors in Seorak and Chiak national park. 100 m grid size was proven to be suitable for analyzing spatial distribution characteristics of *Pinus densiflora*. *Pinus densiflora* appeared mainly on 400 m~800 m of elevation, 15°~30° of slope and 0~2 of TWI. There were no big differences in appearance frequency of *Pinus densiflora* area by aspect. There were differences in distribution characteristics of *Pinus densiflora* between below and above 400 m of elevation. There were no big differences in appearance frequency of *Pinus densiflora* area above 400 m of elevation but a big differences by topographical factors below 400 m of elevation.

**Key words :** *Pinus densiflora*, spatial distribution, topographical factors

## 서 론

어느 한 수종의 공간분포와 출현패턴에 대한 분석은 그 수종의 생태적 특성분석에 중요한 수단이 되어 왔다. 그 예로, 우리나라 산림의 총면적에서 각각 27%와 26%를 차지하며 경제, 문화적 관점에서 주요 수종으로 인식되어 온 소나무와 참나무류에 대한 공간분포를 들 수 있다. 소나무와 참나무류는 같은 생태적 지위를 이용하며 서로 경쟁하는데, 이런 관점에서 소나무(윤정호 등, 2006) 또는 두 종 모두(이종수 등, 2006b)에 대한 공간분포패턴 연구가 수행되었다.

이러한 연구들로부터 수종의 출현패턴 및 공간분포를 지형인자와 연계하여 설명하는데 DEM의 공간해상도가

중요한 역할을 한다는 것이 밝혀졌다. 너무 작거나 큰 격자크기를 갖는 DEM으로부터 생성된 지형인자들은 생태적으로 중요한 실제 지형인자들을 효과적으로 설명하는데 한계를 지닐 수 있다(Lassueur 등, 2006). 이에 따라 최적의 격자크기를 찾기 위해 여러 격자크기를 갖는 DEM의 비교연구가 이루어져 왔다(Saulnier 등, 1997; Vieux, 1993; Wilson 등, 2000; Wolock와 Price, 1994; Wu 등, 2007, 2008; Zhang과 Montgomery, 1994).

최근에는 식생의 분포와 다양성, 구성 등 식생분포특성이 경사, 방위, TWI 등의 지형인자와 갖고 있는 관계에 대한 연구가 진행되어왔다.

본 연구에서는 원격탐사자료를 이용하여 관측된 소나무 공간 분포의 특징을 수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM)로부터 추출된 고도, 방위, 경사, 지형습윤지수(Topographic Wetness Index, TWI)등의 지형인

\*Corresponding author  
E-mail: leewk@korea.ac.kr

자와 관련하여 분석하였다. 또한, 고도에 따라 구분한 영역에서 각 지형인자별 소나무 분포특성을 분석함으로써 소나무 공간분포를 지형학적으로 해석해보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

본 연구에서는 소나무가 다양한 위치에 분포하며 소나무 분포분석에 이용할 자료가 갖추어진 곳을 대상으로 하였다.

첫 번째 연구대상지는 52,400 ha에 달하는 설악산 국립공원 지역으로, 강원도 인제군과 고성군, 속초시, 양양군에 걸쳐 위치하고 있으며 전체면적의 54%가 500 m~1,000 m의 고도를 보이며 높은 지대에 자리 잡고 있다(Figure 1(a)). 두 번째 대상지는 치악산 국립공원 일대로, 강원도 원주시와 횡성군, 영월군에 걸쳐있으며 전체 면적 25,900 ha의 75%가 300 m~800 m 고도에 위치한다.

설악산지역의 경우, 연구대상지 내에서 사면 별 소나무 분포차이가 두드러지는 일부지역에 대해 공간해상도 즉, 격자크기별 방위 분석 및 소나무 출현빈도 연구를 추가

로 수행하였다.

### 2. 연구자료

설악산지역의 소나무 분포를 파악하기 위해서는 2008년 4~6월에 촬영된 항공사진(Figure 1(b))을, 치악산지역은 2008년 6~8월에 촬영된 항공사진(Figure 1(c))을 이용하였다. 설악산에서 소나무 분포의 사면 차이가 뚜렷한 일부지역은 2006년 11월에 촬영된 항공사진을 이용하여 추가로 분석하였다.

지형분석을 위해 기본이 되는 자료로 1:25,000 축척의 수치지도를 이용하였다.

### 3. 연구방법

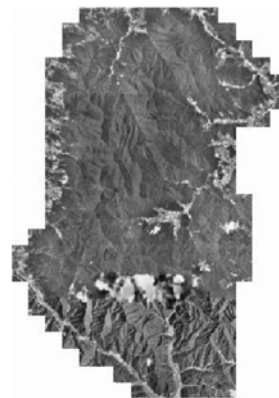
본 연구에서는 ArcGIS 9.1과 ERDAS Imagine 9.1을 이용하여 위성영상과 항공사진을 분류하고 소나무의 공간분포를 추정하였다. 그 결과와 다양한 격자크기를 갖는 방위분석 결과를 이용하여 소나무 공간분포를 효과적으로 설명할 수 있는 최적 격자크기를 제안하였으며, 최적 격자크기를 갖도록 고도와 경사, TWI를 분석하고 각 지형인자에 따른 소나무 출현빈도를 산출하였다. 다음으로, 고도 영역에 따라 방위, 경사, TWI 별 소나무 공간분



(a) Location of study area



(b) Aerial photograph of Seoraksan



(c) Aerial photograph of Chiaksan

□ 최적 공간해상도 연구지역

Figure 1. Location of study areas with remote-sensed data.

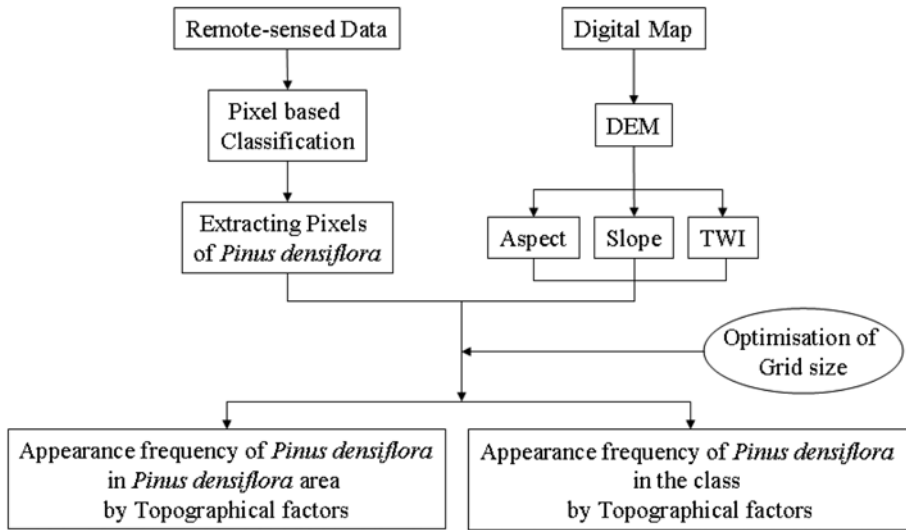


Figure 2. Topographical analysis for spatial distribution of *Pinus densiflora*.

포 특성을 분석하였다(Figure 2).

#### 1) 소나무의 공간분포 추정

항공사진에서 소나무 분포를 추정하기 위해 먼저, 항공사진을 소나무/기타 침엽수/활엽수/기타 지역으로 감독분류하였다.

이때, 분류방법으로는 최대우도법(maximum likelihood)에 의한 화소기반분류(Pixel Based Classification: PBC)를 이용하였다(Jensen, 1996; Lillesand와 Kiefer, 2000). 다음으로, 분류된 결과 중 소나무를 추출하기 위해 ArcGIS 9.1의 reclassify 기능에서 소나무의 값만 '1'을 부여하고 나머지 부분의 값은 '0'을 부여하여 각 연구대상지의 소나무분포도를 생성하였다.

#### 2) 소나무 출현빈도 분석을 위한 최적 공간해상도

소나무 분포특성을 효과적으로 설명할 수 있는 최적의 공간해상도를 찾기 위해 설악산지역 내에서 사면별 소나무 분포차이가 두드러지는 일부지역을 대상으로 여러 격자크기에서 방위분석을 수행하고, 소나무 출현빈도를 산출하여 격자크기별 패턴을 비교하였다.

##### (1) 격자크기별 방위분석

다양한 격자크기에서 방위분석을 하기 위해 먼저 5 m의 격자크기를 갖는 수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM)을 이용하여 방위를 분석하고, 그 결과를 재정렬하여 30 m 격자크기의 방위분석결과를 도출하였다. 같은 방법을 반복적으로 수행하여 100 m와 200 m 격자크기의 방위분석결과를 도출하였다. 이때 재정렬하는 방법으로는 인접한 4개 화소의 가중 평균치를 적용하는 bilinear 방법을 이용하였다(Simon 등, 2008).

##### (2) 격자크기별 방위에 따른 소나무 출현빈도 산출

소나무분포도와 각 격자크기에서의 방위분석결과를 중첩하여 raster calculator에서 곱셈연산을 수행하였다. 소나무분포도는 이전 단계에서 재분류되어 소나무만 '1' 값을 갖고 나머지부분은 '0' 값을 가지므로, 방위분석결과와 곱한 결과에서는 소나무부분의 방위만 남고 나머지부분은 '0' 값으로 처리된다. 소나무 출현빈도는 방위를 동, 서, 남, 북의 4방위로 구분하였을 때 각 방위에서 소나무가 차지하는 화소수를 4방위 전체에서 소나무가 차지하는 화소수로 나누어 산출하였다.

##### 3) 고도, 경사, TWI에 따른 소나무 출현빈도 분석

격자크기별 방위에 따른 소나무 출현빈도 산출결과를 통해 찾은 최적 격자크기를 갖도록 하여 고도와 경사, 지형습윤지수(Topographic Wetness Index, TWI)를 분석하였다. 고도는 400 m 간격으로 계급을 구분하였고, 소나무 출현빈도를 산출하기 위한 경사 계급 구분은 15° 간격으로 하였다. TWI는 경사도와 관계하여  $w = \ln(\text{Aspect} / \tan(\beta))$ 를 따른다. TWI가 높게 나타날수록 습윤한 지역으로, 배수가 잘 되지 않는다는 것을 의미한다(이준학과 이우균, 2000). 소나무 출현빈도를 산출한 TWI 계급은 0부터 3씩 구분하였다.

소나무 출현공간 내에서의 출현빈도는 격자크기별 방위에 따른 소나무 출현빈도 산출과 같은 방법으로 계산하였다.

##### 4) 고도 영역에 따른 지형인자 별 소나무 출현빈도 분석

설악산과 치악산지역의 경우 고도의 분포범위가 넓기 때문에, 고도별로 소나무 분포특성을 분석하였다. 같은 고도 상에서 고도외의 지형인자에 따른 소나무 분포특성을 파악하기 위해, 400 m 간격으로 구분한 각 고도 영역에서 방위, 경사, TWI에 따른 소나무 출현빈도를 소나무

출현공간 내에서 산출하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 소나무의 공간분포

항공사진의 분류 및 소나무 추출결과, 설악산지역은 소나무림이 전체 면적의 15%, 치악산지역은 11%가 소나무

림이었으며, 두 지역 모두 방위별 분포 차이가 크지 않은 것으로 확인되었다(Figure 3).

#### 2. 지형인자별 소나무 출현빈도 분석을 위한 최적 공간 해상도

##### 1) 격자크기별 방위분석

격자크기에 변화를 주며 방위를 분석한 결과, 격자크기

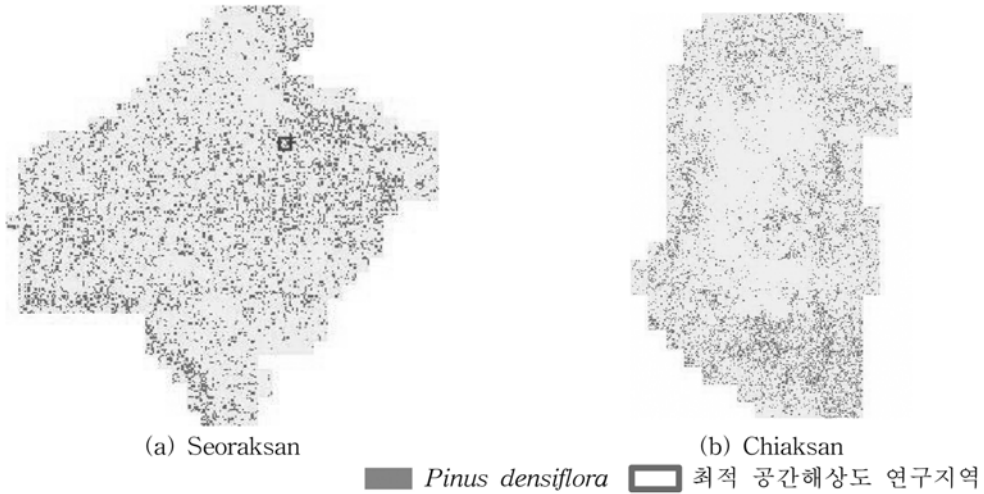


Figure 3. Spatial distribution of *Pinus densiflora* in study areas.

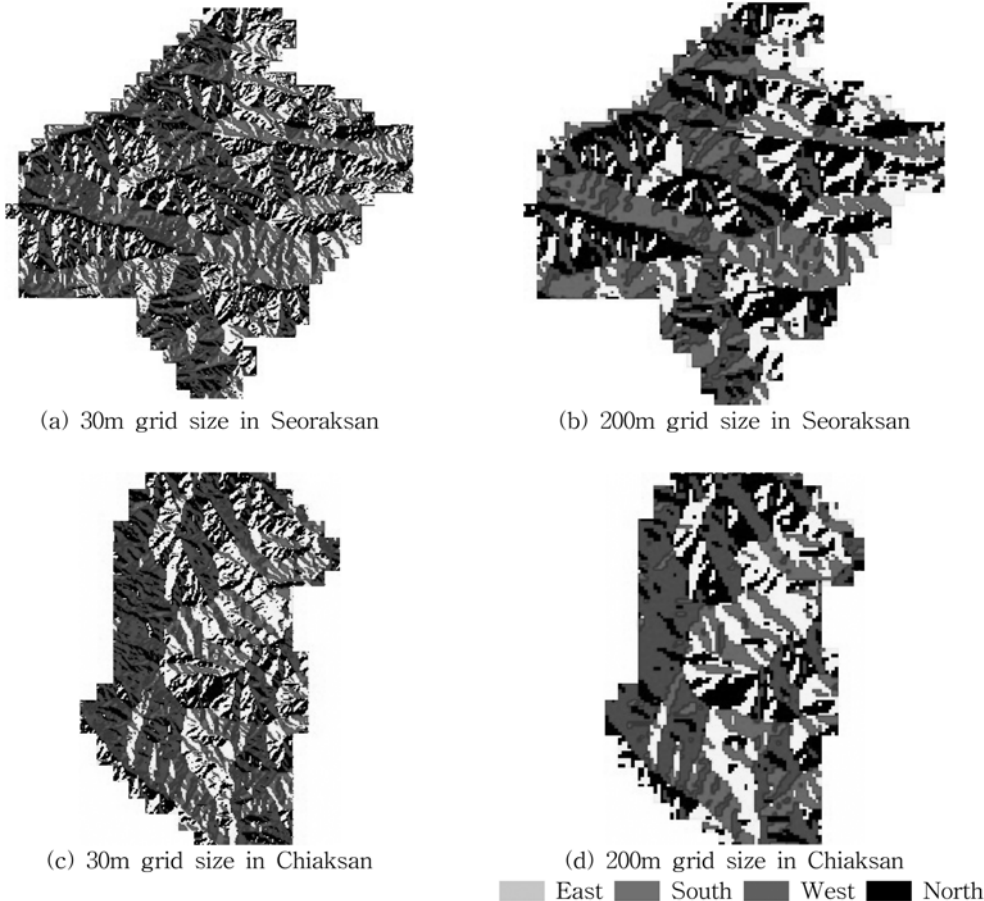


Figure 4. Aspect with different grid size.

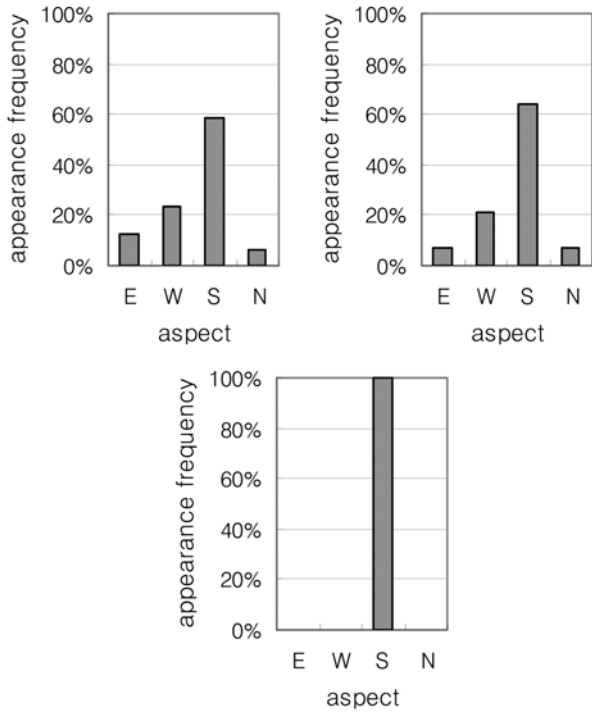


Figure 5. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by aspect with different grid size in Seoraksan.

에서 상관없이 동, 서, 남, 북이 모두 나타났지만 격자크기가 작을수록 방위가 지나치게 세밀하게 구분되었으며, 격자크기가 증가할수록 방위의 분포가 뚜렷하게 나타났다.

2) 격자크기별 방위에 따른 소나무 출현빈도 패턴

설악산지역 내에서 사면별 소나무 분포차이가 뚜렷한 일부지역에 대해 격자크기를 달리하며 방위에 따른 소나무 출현빈도를 분석하였다. 그 결과, 1 m~100 m 격자크기의 경우, 모두 남쪽 사면에서 소나무 출현빈도가 월등히 높게 나타났으며 방위별 차이는 100 m 격자크기에서 가장 큰 것으로 나타났다. 하지만, 200 m 격자크기에서는 남쪽 사면에만 소나무가 분포하는 것으로 분석되어 방위에 따른 소나무 출현빈도를 설명하기에는 한계가 있는 것으로 나타났다(Figure 4, 5).

격자크기별로 방위에 따른 소나무 출현빈도 패턴을 비교한 위의 결과로부터 소나무의 방위별 분포특성을 설명하기에 큰 무리가 없다고 판단되는 100 m 격자크기를 본 연구를 위한 최적 격자크기로 결정하였다.

3) 지형인자에 따른 소나무 출현빈도

설악산지역은 고도가 400 m~800 m인 영역에서 소나무 출현빈도가 가장 높았으며 방위에 따른 출현빈도 차이는 크지 않았다. 경사에 따라서는 15°~30° 경사 지역에서 소나무 출현빈도가 가장 높게 나타났으며, TWI 또한 낮을수록 소나무 출현빈도가 높아 TWI 0~2 범위에서 가장 높게 나타났다(Figure 6).

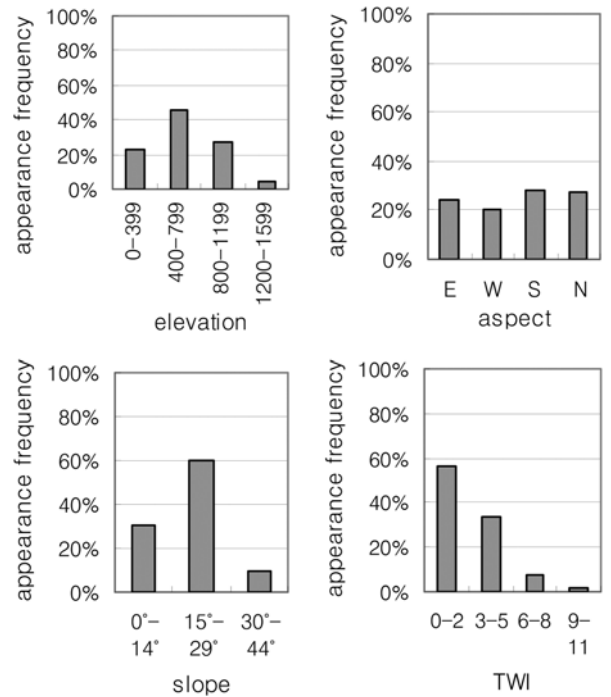


Figure 6. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors with 100 m grid size in Seoraksan.

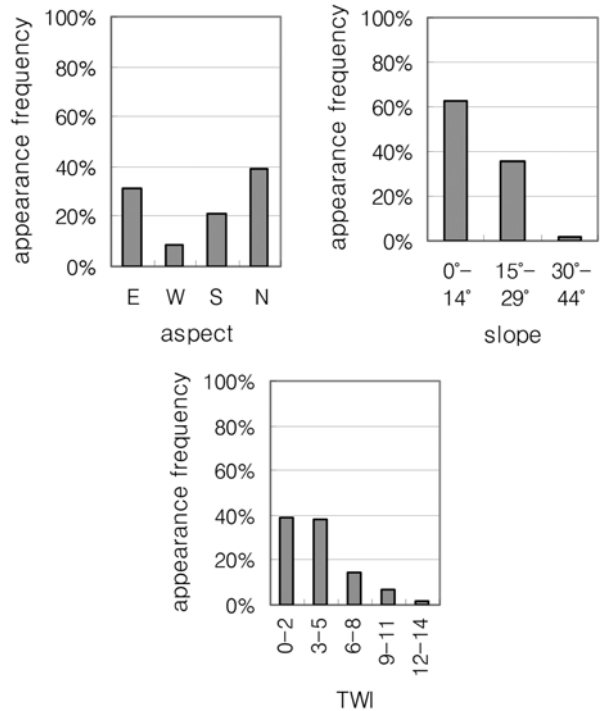


Figure 7. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors below 400 m of elevation in Seoraksan.

치악산지역에서 지형인자에 따른 소나무 출현빈도는 설악산지역과 유사한 결과를 보였다. 400 m~800 m 고도 영역에서 소나무 출현빈도가 가장 높았으며 모든 방위에서 소나무가 고르게 출현하였다. 또한, 경사에 따른 소나무

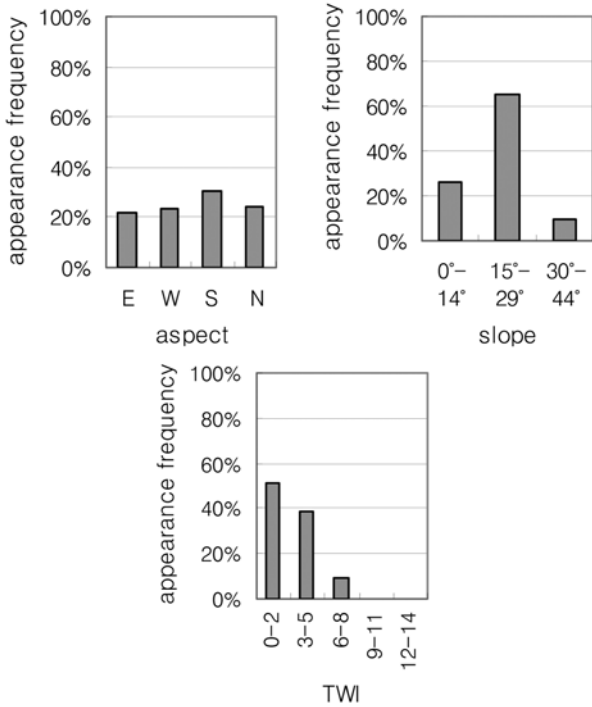


Figure 8. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors in 400 m~800 m of elevation in Seoraksan.

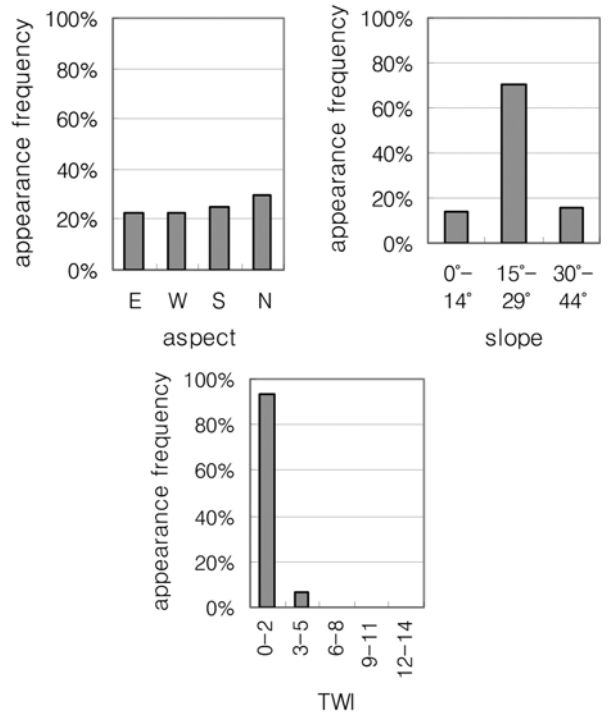


Figure 10. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors above 1200 m of elevation in Seoraksan.

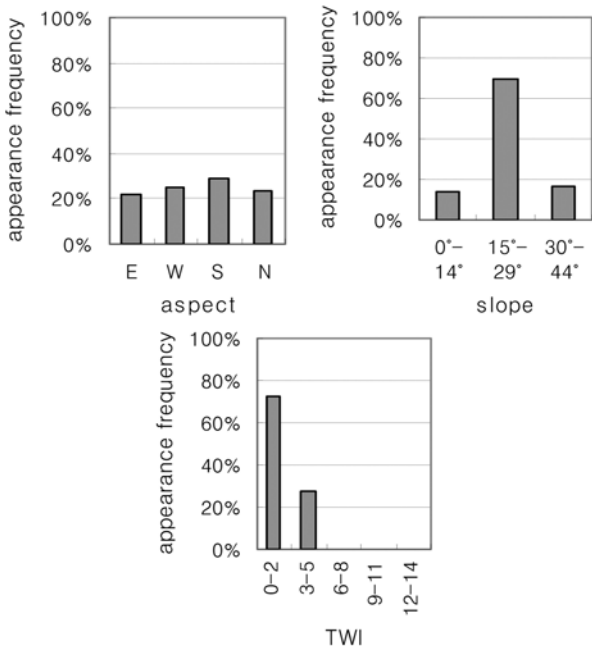


Figure 9. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors in 800 m~1200 m of elevation in Seoraksan.

무 출현빈도 역시 설악산지역과 마찬가지로 15°~30° 경사에서 가장 높게 분석되었다. TWI에 의한 출현빈도도 TWI가 낮을수록 높아 TWI 0~2 범위에서 가장 높았다.

4) 고도 영역에 따른 지형인자 별 소나무 출현빈도  
설악산지역을 고도에 따라 400 m 간격으로 구분한 영역에서 각각 소나무 출현공간 내의 방위, 경사, TWI에 따

른 소나무 출현빈도를 산출한 결과, 방위에 따른 소나무 출현빈도는 고도 400 m 이하인 영역에서만 다른 패턴으로 분석되었다(Figure 7-10). 고도가 400 m 이상인 영역에서는 모든 방위에서 소나무 출현빈도가 유사하게 나타났으며 경사 15°~30° 영역에서 출현빈도가 가장 높았던 반면, 고도가 400 m 이하인 영역에서는 방위에 따른 출현빈도 차이가 뚜렷했으며 북쪽 사면에서 가장 높은 출현빈도를 보였다. 경사에 따른 출현빈도 또한 고도 400 m 이하 영역에서는 다른 고도 영역과 달리 경사가 낮을수록 출현빈도가 높았다. TWI에 의한 출현빈도는 모든 고도 영역에서 TWI가 낮을수록 높은 것으로 분석되었으며, 고도가 높을수록 낮은 TWI에서의 출현빈도가 높게 나타났다.

치악산지역의 고도 영역 별로 소나무 출현공간 내의 방위, 경사, TWI에 따른 소나무 출현빈도를 산출한 결과, 각 고도 영역에 따라 다른 패턴을 보였으며 특히 고도가 400 m 이하인 영역에서 다른 고도 영역과 뚜렷한 차이가 있는 것으로 확인되었다(Figure 11-13). 방위에 따른 소나무 출현빈도는 400 m~800 m 고도 영역의 경우 모든 방위에서 소나무 출현빈도가 유사하게 나타났고, 800 m 이상인 영역에서는 가장 출현빈도가 높은 동쪽 사면을 제외한 방위에서 출현빈도가 모두 유사한 반면, 고도 400 m 이하 영역에서는 서쪽 사면의 출현빈도가 가장 높고 방위에 따른 출현빈도 차이가 비교적 뚜렷하였다. 경사에 따른 출현빈도는 고도 400 m 이상에서 15°~30° 경사

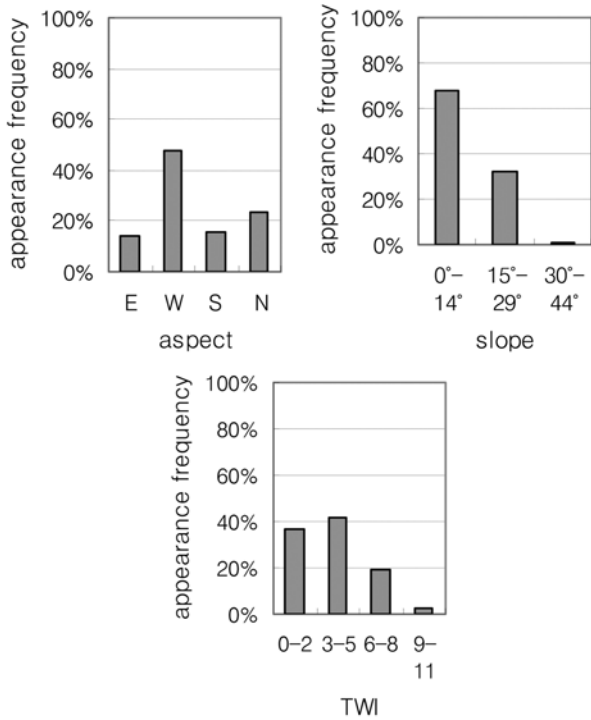


Figure 11. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors below 400 m of elevation in Chiaksan.

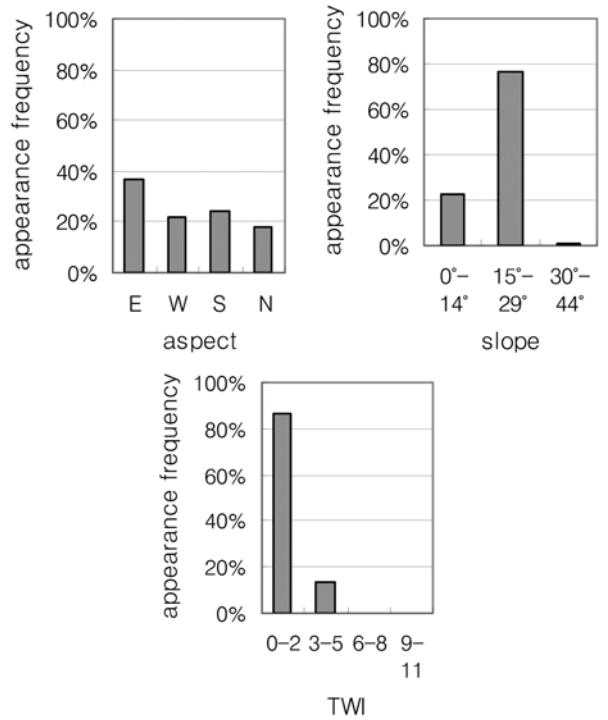


Figure 13. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors above 800 m of elevation in Chiaksan.

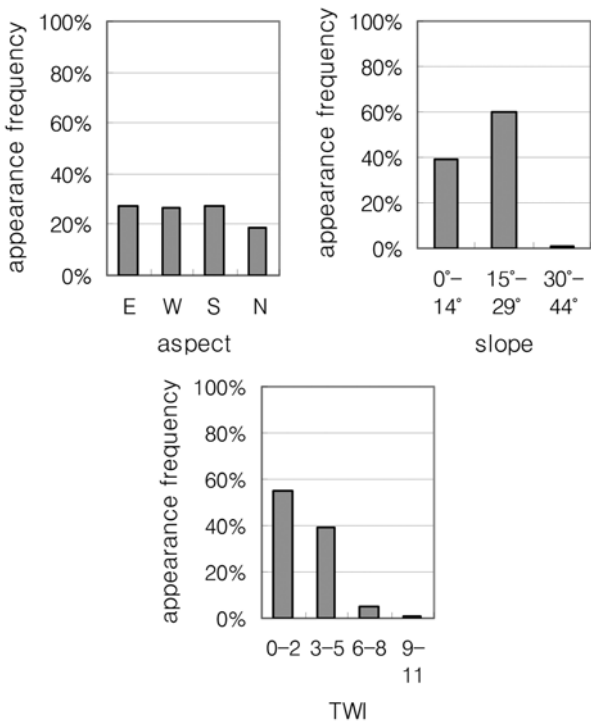


Figure 12. Appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors in 400 m~800 m of elevation in Chiaksan.

의 출현빈도가 가장 높았지만, 400 m 이하 고도에서는 경사가 낮을수록 출현빈도는 높게 나타났다. TWI에 따른 출현빈도도 모든 고도 영역에서 전체적으로 TWI가 낮을

수록 출현빈도가 높았지만 400 m 이하의 고도에서는 TWI 3~5 영역이 가장 높은 출현빈도를 보인 반면, 고도가 높을수록 낮은 TWI에서의 출현빈도가 높게 나타났다.

### 결론

본 연구에서는 생태현상을 설명할 수 있는 지형을 분석하는데 있어 적합한 격자규모를 선정하고, 그것을 토대로 지형인자와 식생분포의 상관성을 분석하고자 하였다. 특히, 지형인자 중에서도 식생의 분포에 영향이 클 것으로 예상되는 고도와 방위, 경사, TWI를 분석하고 그에 따른 식생분포특성을 비교하기 위해 수행되었다. 연구대상은 우리나라 대표 수종이라고 할 수 있는 소나무로 하였으며, 먼저 분석에 이용될 공간해상도를 최적화하기 위해 다양한 격자크기에서 방위에 따른 소나무 출현빈도를 분석하고 격자 크기에 따른 결과를 비교하였다. 연구대상지 내에서도 사면별 소나무분포 차이가 뚜렷할 것으로 생각되는 지역을 별도로 선정하여 격자크기에 따른 분석 결과의 비교가 용이하도록 하였다. 그 결과, 격자크기가 작을수록 방위가 지나치게 자세히 구분되어 소나무 분포 특성을 효과적으로 설명하지 못하였으며, 일정 규모 이상의 격자크기에서도 적절한 분석결과를 도출할 수 없었다. 설악산 일부지역의 경우를 토대로 소나무의 공간분포 특성을 설명하기에 큰 무리가 없는 격자크기인 100 m

를 본 연구에 적용하였다.

100 m 격자크기를 갖도록 분석된 고도와 방위, 경사, TWI에 따른 소나무 공간 내에서의 빈도 분석 결과를 통해 소나무가 주로 분포하는 고도는 400 m~800 m인 것을 확인할 수 있었다.

방위에 따른 출현빈도 차이는 400 m 이하에서는 뚜렷하였으나 그 이상의 고도에서는 크지 않아 모든 방위에서 유사한 출현빈도를 나타냈다. 경사는 15°~30° 일 때 소나무가 주로 분포하였으며, TWI는 작을수록 소나무의 출현빈도가 높아 TWI 0~2 범위일 때 소나무가 가장 많이 분포하는 것으로 분석되었다.

본 연구결과를 토대로 향후 다른 식생의 분포특성을 파악하기 위한 지형인자 분석을 수행할 수 있으며, 본 연구에서 수행된 고도, 방위, 경사, TWI 이외의 지형인자가 식생분포에 미치는 영향을 비교분석함으로써 보다 정확한 식생분포특성 분석이 이루어져야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 연구지원(R01-2006-000-10863-0)으로 수행된 연구결과의 일부임.

## 인용문헌

1. 윤정호, 이우균, 이종수, 김유승, 최창은, 2006. 기상, 지형, 토양인자에 따른 소나무림의 공간분포특성, 한국산림측정학회지, 9: 58-71.
2. 이종수, 이우균, 손요환, 조용성, 송철철, 2006a. 산림부문에서의 기후변화 취약성평가모형 비교, 한국산림측정학회지, 9: 87-100.
3. 이종수, 이우균, 윤정호, 송철철, 2006b. 공간통계와 GIS를 이용한 소나무림과 참나무림의 분포패턴, 한국임학회지, 95(6): 663-671.
4. 이준학, 이우균, 2000. GIS를 이용한 지형지수계산용 전산프로그램의 개발, 한국산림측정학회지, 3(1): 35-41.
5. Jensen, J.R. 1996. Introductory digital image processing - a

remote sensing perspective. Prentice Hall. Upper Saddle River, p.318.

6. Lassueur, T., Joost, S., Randin, C.F. 2006. Very high resolution digital elevation models: Do they improve models of plant species distribution?, Ecological modelling, 198: 139-153.
7. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. 2000. Remote sensing and Image Interpretation (4th ed.), John Wiley and Sons, Inc, 724p.
8. Saulnier, G.M., Beven, K.J. and Obled, C.H. 1997. Digital elevation analysis for distributed hydrological modelling: reducing scale dependence in effective hydraulic conductivity values, Water Resources Research, 33: 2097-2101.
9. Simon, W., Jonathan, L. and Huang, G.H. 2008. A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: Sensitivity to elevation data resolution, Applied Geography, 28(2008): 210-223.
10. Vieux, B.E. 1993. DEM aggregation and smoothing effects on surface runoff modeling, Journal of Computing in Civil Engineering, 7: 310-338.
11. Wilson, J.P., Repetto, P.L. and Snyder, R.D. 2000. Effect of Data Source, Grid Resolution, and Flow-Routing Method on Computed Topographic Attributes, TERRAIN ANALYSIS: Principles and Applications, John Wiley & Sons, Inc., 133-161.
12. Wolock, D.M. and Price, C.V. 1994. Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model, Water Resources Research, 30: 3041-3052.
13. Wu, S., Li, J. and Huang, G.H. 2007. Modeling the effects of elevation data resolution on the performance of topography-based watershed runoff simulation, Environmental Modelling & Software, 22: 1250-1260.
14. Wu, S., Li, J. and Huang, G.H. 2008. A study on DEM-derived primary topographic attributes for hydrologic applications: Sensitivity to elevation data resolution, Applied Geography, 28: 210-223.

---

(2009년 10월 19일 접수; 2009년 11월 6일 채택)