

소나무 공간분포와 지형인자간의 상관성 분석

김 태 민* · 이 우 균** · 정 성 은* · 곽 한 빈*

Analysis of relationship between spatial distribution of *Pinus densiflora* and topographical factors

Tae-Min Kim* · Woo-Kyun Lee** · Sung-Eun Jung* · Han-Bin Kwak*

요 약

본 연구에서는 우리나라 소나무의 공간분포를 추정하고, 소나무 공간분포와 출현패턴을 효과적으로 설명할 수 있는 최적의 격자크기를 제안하였다. 다음으로 최적 격자크기에서 지형인자에 따른 소나무의 출현빈도를 분석하고, 지형인자가 소나무 분포에 미치는 영향력을 비교함으로써 소나무 공간분포를 지형학적으로 분석하고자 하였다.

그 결과 1m 격자크기의 DEM은 방위를 동, 서, 남, 북으로 세밀하게 구분하고 소나무도 모든 방위에 분포한 한 반면, 격자크기가 증가함에 따라 주능선에 의해 방위를 동, 서, 남 또는 동, 남과 같이 단순화시켜서 구분할 수 있었으며 소나무 또한 특정 방위에 주로 분포하는 특징을 보였다.

소나무 출현빈도 분석결과 격자크기가 100m일 때 소나무 공간분포 특징을 설명할 수 있었으며, 방위, 경사, TWI가 소나무 공간분포에 미치는 영향력 비교를 통해서 방위의 영향력이 경사의 영향력보다 크고 경사와 TWI 사이의 영향력 차이는 크지 않은 것을 확인하였다.

주요어 : 소나무, 공간분포, 지형인자, 방위, 경사, TWI

ABSTRACT : This research estimated *Pinus densiflora* distribution and suggested an optimal grid size of DEM for ecologically better explaining spatial distribution and appearance pattern of *Pinus densiflora* and analyze appearance frequency of *Pinus densiflora* by topographical factors. And this work ultimately aimed at topographically analyzing spatial distribution of *Pinus densiflora* by comparing impact of topographical factors.

The aspect was analyzed in detail, east, west, south, north, from DEM with 1m grid size, and simply, east, west, south or east, south from DEM with bigger grid size. As a result of

*고려대학교 환경생태공학과 석사과정

**고려대학교 환경생태공학과 교수(leewk@korea.ac.kr), 교신저자

distribution of *Pinus densiflora* by aspect, *Pinus densiflora* appeared in all aspect with smaller grid size, while distribution in specific aspect decreased with bigger grid size.

The analysis of appearance frequency with 100m grid size represented spatial distribution characteristics of *Pinus densiflora* as visual interpretation showed. The results of comparing impact of aspect, slope, TWI proved that aspect have more impact on distribution of *Pinus densiflora* than slope and there was not enough a difference between impact of slope and TWI.

Keywords : *Pinus densiflora*, spatial distribution, topographical factors, aspect, slope, TWI

1. 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 차지 하며 경제, 문화적 관점에서 주요 수종으로 인식되어 온 소나무와 참나무에 대한 공간 분포를 들 수 있다. 소나무와 참나무는 같은 생태적 지위를 이용하며 서로 경쟁하는데, 이런 관점에서 소나무(윤정호 등, 2006) 또는 두 종 모두(이중수 등, 2006)에 대한 공간분 포패턴 연구가 수행되었다. 그런 연구들을 통해, 방위, 경사, 고도와 같은 지형인자를 고려한 출현가능성모델이 성립되었다.

또한, 이런 연구들로부터 수종의 출현패턴 및 공간분포를 지형인자와 연계하여 설명하 는데 DEM의 격자크기가 중요한 역할을 한 다는 것이 밝혀졌다. 지형은 환경요소들의 공 간분포와(Rodhe와 Seibert, 1999; Sorensen과 Seibert, 2007) 경관에서 유효한 수문, 지형, 생 물학적 과정에(Moore 등, 1991; Gallant 등, 1996, 2007) 주요한 영향을 미치는데, 너무 작거나 큰 격자크기의 DEM으로부터 생성된 지형인자들은 실제 지형을 효과적으로 설명하

는데 한계를 지닐 수 있다(Lassueur 등, 2006). 이에 따라 최적의 격자크기를 찾기 위해 여러 격자크기를 갖는 DEM의 비교연구가 이루어 져왔다(Saulnier 등, 1997; Vieux, 1993; Wilson 등, 2000; Wolock와 Price, 1994; Wu 등, 2007; Zhang과 Montgomery, 1994, 구자용, 2000).

생태현상을 효과적으로 설명하기 위해 지형 인자와 기후인자 같이 생태현상에 영향을 줄 수 있는 다양한 환경인자에 대한 연구(Gottfried 등, 1998; Gottfried와 Pauli, 1999; Guisan과 Zimmermann, 2000; Dirnböck 등, 2003; Jelaska 등, 2003; Kubota 등, 2004) 또한 수행되고 있는 데, 특히 식생의 분포와 다양성, 구성 등 식생분 포특성이 경사, 방위, 지형습윤지수(Topographic Wetness Index, TWI) 등의 지형인자와 갖고 있는 관계에 대한 연구가 최근 진행되어왔다 (Marco 등, 2005; Xian 등, 2008).

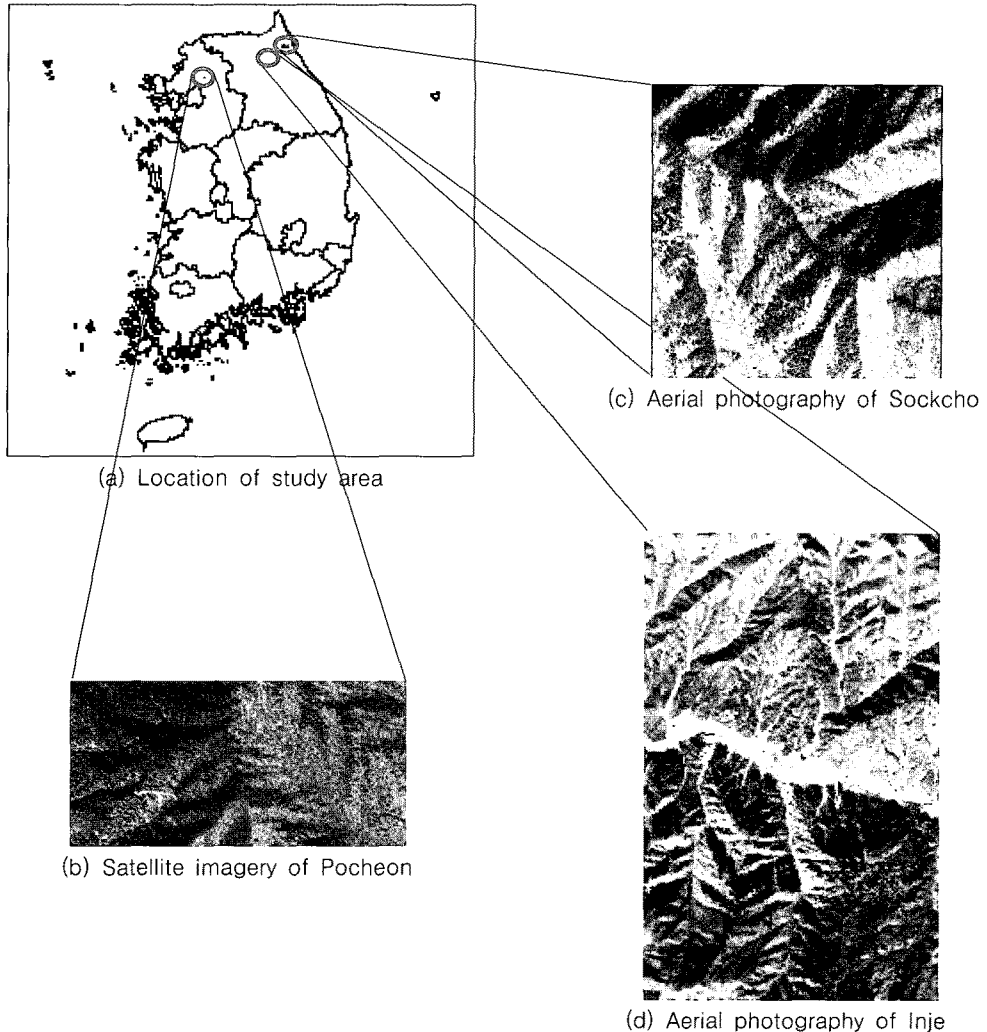
본 연구에서는 원격탐사자료를 이용하여 지역적 범위에서 소나무 분포를 파악하고, 소 나무의 공간분포를 생태학적으로 잘 설명할 수 있는 수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM)의 최적 격자크기를 제안하고자 한다. 또한 지형인자들이 소나무 공간분포에 미치 는 영향력을 비교함으로써 궁극적으로는 소 나무 공간분포를 지형학적으로 해석해보고 자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구대상지

그림 1과 같이 3지역에 대해 연구를 수행하였다. 첫 번째 대상지는 경기도 포천시 소흘읍과 내촌면에 걸친 72ha의 지역으로, 94%가 15°~45°의 경사를 갖고 72%가 500m이하

의 고도에 위치한다. 두 번째 대상지는 강원도 속초시 대포동과 노학동, 토성면 일대의 144ha에 달하는 지역으로 97%가 45°이하의 경사에, 79%가 고도 400m~600m에 위치하고 있다. 세 번째 대상지는 강원도 인제군으로 면적은 973ha이며, 그 중 86%는 15°~45°이하의 경사에, 79%가 400m~800m의 고도에 분포한다.



[Fig. 1] Location of study Area with remote-sensed data

2.2 이용자료 및 프로그램

소나무 분포특성을 파악하기 위해 위성영상은 포천지역의 분석을 위해 2005년 4월에 취득된 0.6m 해상도의 Quickbird 영상(그림 2(b))을, 항공사진은 속초지역에서 2006년 11월 17일 촬영된 항공사진(그림 2(c))과 인제지역에서 2007년 12월에 촬영된 항공사진(그림 2(d))을 이용하였다.

위성영상과 항공사진을 분류하기 위한 프로그램으로는 ‘ERDAS IMAGINE 9.1’을 이용하였으며, 지형분석을 위해 이용한 자료는 국토지리정보원에서 제작한 수치지도로, ‘ArcMAP 9.1’에서 수치표고모델(DEM; Digital Elevation Models)을 구축하고 방위를 분석하였다(유승근 등, 2002).

2.3 연구방법

위성영상과 항공사진 분류로 추정한 소나무의 공간분포와 다양한 격자크기에서의 방위분석결과를 이용하여 소나무 공간분포를 효과적으로 설명하는 적절한 격자크기를 제

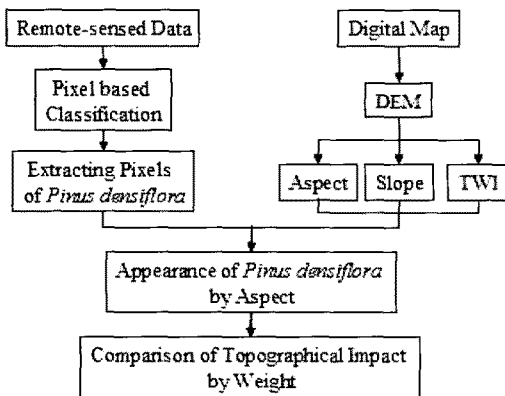
안하였다. 또한 적절한 격자크기로 경사와 TWI를 분석하여 그에 따른 소나무 출현빈도를 산출하고, 지형인자들에 서로 다른 가중치를 부여하여 지형인자들이 소나무 공간분포에 미치는 영향력을 비교하였다(그림 2).

2.3.1 소나무의 공간분포 추정

위성영상과 항공사진에서 소나무 분포를 추정하기 위해 먼저, ERDAS Imagine 9.1에서 위성영상과 항공사진을 소나무/ 기타 침엽수/ 활엽수/ 기타 지역으로 감독분류하였다. 이때, 분류방법으로는 최대우도법(maximum likelihood)에 의한 pixel based classification을 이용하였다(Jensen, 1996; Lillesand와 Kiefer, 2000). 다음으로, 분류된 결과 중 소나무만 추출하기 위해 ArcGIS 9.1의 reclassify 기능에서 소나무의 값만 ‘1’을 부여하고 나머지 부분의 값은 ‘0’을 부여하여 연구대상지의 소나무분포도를 각각 생성하였다.

2.3.2 격자크기별 방위분석 및 소나무 출현빈도 산출

격자크기가 5m인 DEM을 구축한 뒤 10m, 20m, 40m, 80m, 100m, 200m 크기까지 단계별로 단순화하여 격자크기별 DEM을 생성하였다. 각각의 DEM을 기반으로 방위를 분석하고, 소나무분포도와 각 격자크기에서의 방위분석결과를 중첩하여 raster calculator에서 곱셈연산을 수행하였다. 소나무 출현빈도는 각각의 방위에서 소나무가 차지하는 pixel수를 4방위 전체에서 소나무가 차지하는 pixel수로 나눠서 산출하였다.



[Fig. 2] Topographical analyzing spatial distribution characteristic of *Pinus densiflora*

2.3.3 경사 및 TWI에 따른 소나무 출현빈도 분석

격자크기별 방위에 따른 소나무 출현빈도 산출결과를 통해 찾은 각 연구대상지의 최적격자크기를 갖도록 하여 경사와 TWI를 분석하였다. 경사는 도(°) 단위로 분석되며 소나무 출현빈도를 산출하기 위한 계급 구분은 15° 간격으로 하였다. TWI는 경사도와 관계하여 $w = \ln(As / \tan(\beta))$ 를 따른다. TWI가 높게 나타날수록 습윤한 지역으로, 배수가 잘 되지 않는다는 것을 의미한다(이준학과 이우균, 2000). 소나무 출현빈도를 산출한 TWI 계급은 0부터 3씩 구분하였다.

2.3.4 가중치를 이용한 지형인자의 영향력 비교

지형인자 중 먼저 방위와 경사의 영향력을 비교하였다. 이때, 경사보다 방위에 큰 가중치를 부여하는 경우와 경사에 더 큰 가중치를 부여하는 경우로 나누어 수행하였다.

방위의 가중치가 더 큰 경우, 연구대상지마다 4방위를 소나무 출현빈도에 따라 정렬하고 출현빈도가 낮은 방위부터 높은 방위까지 1부터 1, 5, 25와 같이 5계급수로 가중치를 부여하여 재분류하였다. 경사는 15°간격으로 구분한 계급을 각 계급의 소나무 출현빈도에 따라 정렬하고 출현빈도가 낮은 경사 계급부터 높은 계급까지 1부터 1, 2, 3으로 1씩 증가하는 가중치를 부여하였다. 이와 반대로, 방위보다 경사에 큰 가중치를 부여하는 경우에는 경사의 정렬된 계급에 1부터 5계급씩 증가하는 가중치를 부여하고, 방위에 1부터 1씩 증가하는 가중치를 부여하였다. 경사와 TWI의 영향력 비교 역시 경사

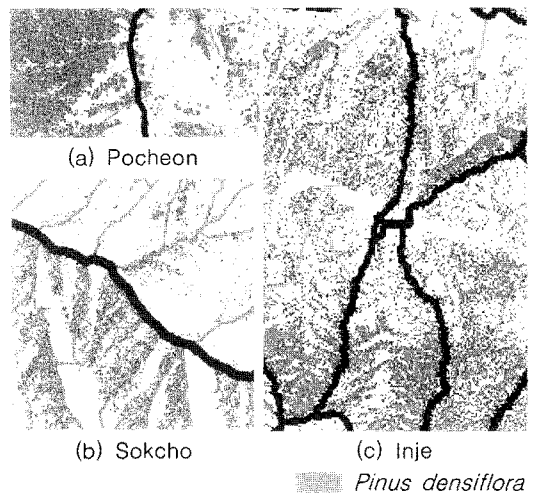
보다 방위에 가중치를 부여한 경우와 같은 방법으로 경사와 TWI에 대해 가중치를 부여하고 재분류하였다.

다음으로, 두 지형인자에 서로 다른 가중치를 부여해서 재분류한 결과를 곱하고 영향력이 클수록 큰 계급이 되도록 두 지형인자의 영향력을 조합한 새로운 계급을 생성하였다. 새로운 계급에서의 소나무 출현빈도는 해당 계급 내의 소나무 pixel수를 전체 계급 내의 소나무 pixel수로 나누어 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소나무 공간분포

위성영상과 항공사진의 분류 및 소나무 추출결과, 포천지역은 전체 수종의 32%가 소나무로, 주능선을 중심으로 서쪽 사면에 가장 많이 분포하는 것으로 확인되었다(그림 3(a)). 속초지역의 경우, 소나무림이 전체 면



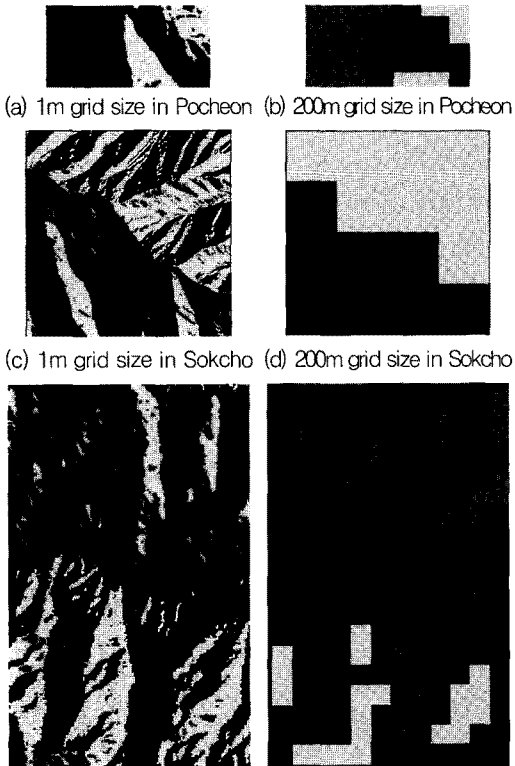
[Fig. 3] Spatial distribution of *Pinus densiflora* in study area

적의 13%로 남쪽 사면에 가장 많이 분포하였다(그림 3(b)). 인제지역 산림은 36%가 소나무림으로, 북쪽과 서쪽 사면에 비교적 많이 분포하였으나 다른 지역에 비해 방위별 분포 차이가 크지 않은 것으로 확인되었다(그림 3(c)).

3.2 격자크기별 방위 및 소나무 출현빈도 패턴

3.2.1 격자크기별 방위

방위분석결과, 포천지역과 속초지역은 1m



(a) 1m grid size in Pocheon (b) 200m grid size in Pocheon
 (c) 1m grid size in Sokcho (d) 200m grid size in Sokcho
 (e) 1m grid size in Inje (f) 200m grid size in Inje
 East South West North
 [Fig. 4] Aspect with 1m and 200m grid size

격자크기에서 동, 서, 남, 북이 모두 나타난 반면(그림 4(a), (c)), 200m 격자크기에서는 포천지역의 경우 북쪽을 제외한 3방위만(그림 4(b)), 속초지역은 동, 남 2방위만 분석되었다(그림 4(d)). 인제지역은 1m, 200m 격자크기에서 4방위가 모두 나타났지만, 200m 격자크기에서 분포의 경향이 뚜렷했다(그림 4(e), (f)).

3.2.2 격자크기별 소나무 출현빈도 패턴

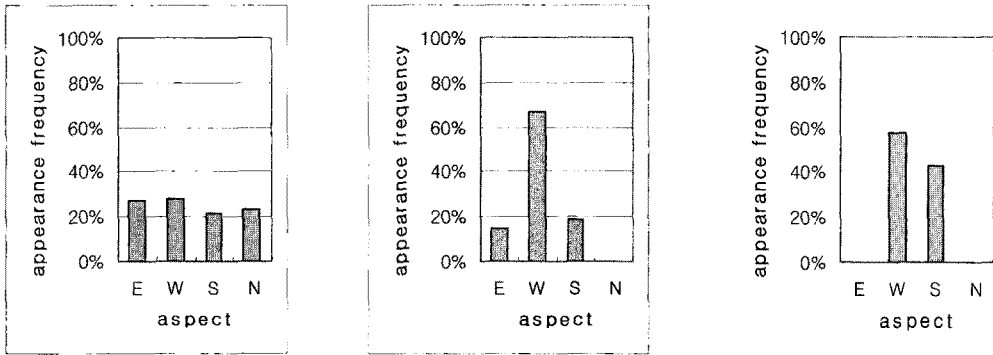
포천지역 소나무 출현빈도는 모든 격자크기에서 서쪽 사면이 가장 높은 비율로 나타났지만, 격자크기 5m에서는 방위별로 유사하게 분석되었으며 격자크기가 증가할수록 차이가 커져, 격자크기 100m 일 때 서쪽 사면의 출현빈도가 확연히 높게 분석되었다. 200m 격자크기에서는 소나무 출현빈도가 서쪽과 남쪽 사면에서 비슷하게 나타났다(그림 5).

속초지역은 1m~100m 격자크기에서는 남쪽 사면의 소나무 출현빈도가 월등히 높게 나타났으며, 방위별 차이가 100m 격자크기에서 가장 컸지만 격자크기에 따른 차이가 크지 않았다. 하지만, 200m 격자크기에서는 남쪽 사면에만 소나무가 분포하는 것으로 분석되어 방위에 따른 소나무 출현빈도를 설명하기에는 극단적인 결과를 보였다(그림 6).

인제지역은 포천, 속초지역에 비해 방위에 따른 소나무 출현빈도 차이가 적고 고르게 분포하는 것으로 분석되었다. 100m 격자크기까지는 격자크기에 의한 출현빈도 차이도 크지 않았지만 200m 격자크기에서만 출현빈도가 다른 패턴으로 나타났다.

이상의 세 지역에 대한 결과를 기초로 소나무의 방위별 분포를 설명하기에 큰 무리

소나무 공간분포와 지형인자간의 상관성 분석

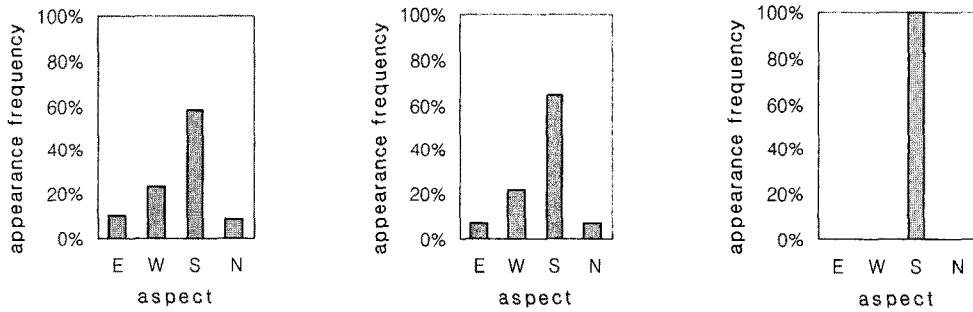


5m grid size

100m grid size

200m grid size

[Fig. 5] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by aspect with different grid size in Pocheon

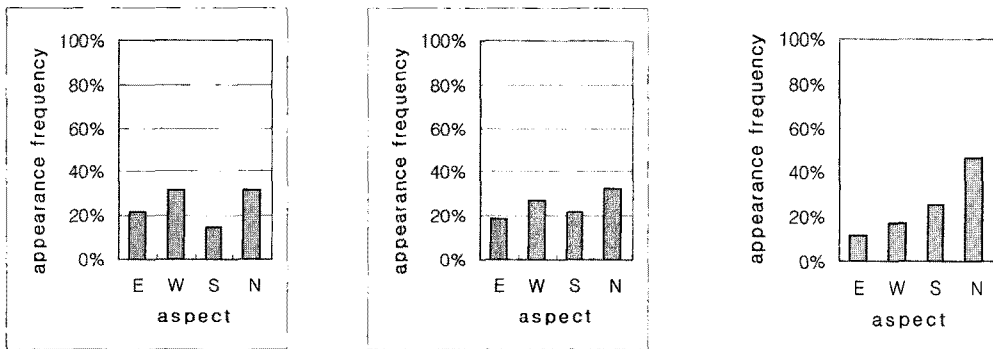


5m grid size

100m grid size

200m grid size

[Fig. 6] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by aspect with different grid size in Sokcho



5m grid size

100m grid size

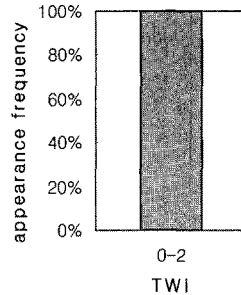
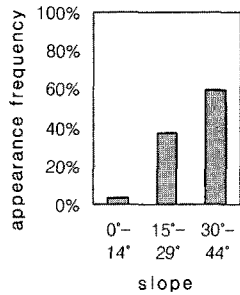
200m grid size

[Fig. 7] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by aspect with different grid size in Inje

가 없다고 판단되는 100m 격자크기를 본 연구에 대한 최적 격자크기로 결정하였다.

3.3 경사 및 TWI에 따른 소나무 출현빈도 분석

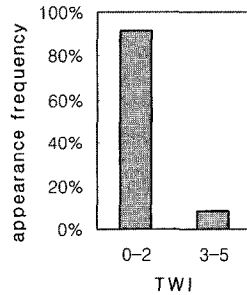
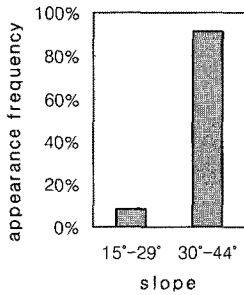
이전 단계에서 결정한 연구대상지별 최적 격자크기인 100m에서 경사와 TWI에 따른 소나무 출현빈도를 산출한 결과, 포천지역은



(a) appearance frequency by slope

(b) appearance frequency by TWI

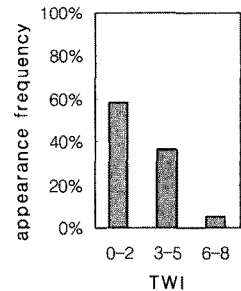
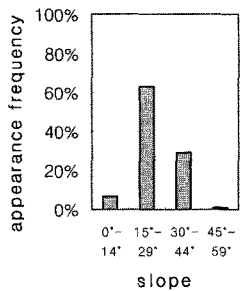
[Fig. 8] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by slope and TWI with 100m grid size in Pocheon



(a) appearance frequency by slope

(b) appearance frequency by TWI

[Fig. 9] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by slope and TWI with 100m grid size in Sokcho



(a) appearance frequency by slope

(b) appearance frequency by TWI

[Fig. 10] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by slope and TWI with 100m grid size in Inje

30°~45° 경사에서 출현빈도가 가장 높았으며, 0°~15°에서는 매우 작게 나타났다. TWI에 의한 출현빈도는 TWI 0~2범위에서 100%에 가까운 값을 보여이 지역에서 TWI가 소나무 분포에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 분석되었다.

속초지역은 포천과 마찬가지로 30°~45° 경사에서 소나무 출현빈도가 가장 높았으며 다른 경사지역과 비교하였을 때 차이도 월등하였다. TWI에 따른 출현빈도 역시 TWI 0~2 범위에서 가장 높았지만, 포천과 달리 3~5 범위에도 소나무가 출현하는 것으로 분석되었다.

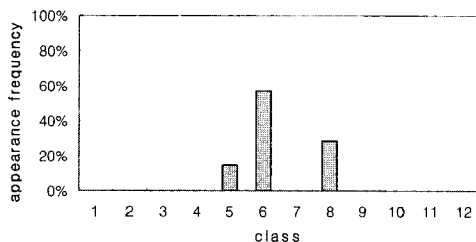
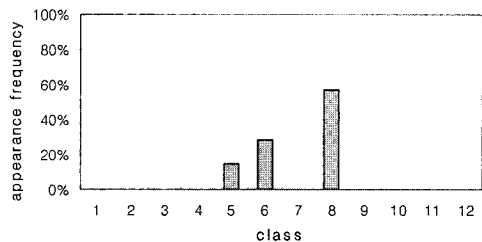
인제지역의 경사에 따른 소나무 출현빈도는 다른 두 연구대상지와 달리 15°~30°의 경사에서 가장 높게 분석되었으며, 다음으로 30°~45°경사에서 높게 나타났다. TWI에 의한 출현빈도는 포천, 속초지역에서처럼 TWI 0~2 범위에서 가장 높았으며, 다음으로 TWI 3~5 범위와 6~8 범위에서 높은 출현빈도를 보였다.

3.4 지형인자의 영향력 비교

3.4.1 방위와 경사의 가중치 차이에 따른 출현빈도 비교

포천지역에서 방위와 경사가 소나무 공간 분포에 미치는 영향력을 비교하기 위해 소나무 출현빈도에 따른 방위와 경사 계급에 각각 다른 가중치를 부여하고 곱하여 생성된 각 계급에서의 소나무 출현빈도를 산출한 결과, 경사보다 방위에 큰 가중치를 부여한 경우(그림 11(a))에서 계급의 증가에 따른 소나무 출현빈도 증가경향이 경사에 더 큰 가중치를 부여한 경우(그림 11(b))에서보다 일정하게 나타났다. 이런 결과를 통해 포천 지역에서 방위가 소나무 공간분포에 미치는 영향이 경사의 영향보다 크다는 것을 설명할 수 있다.

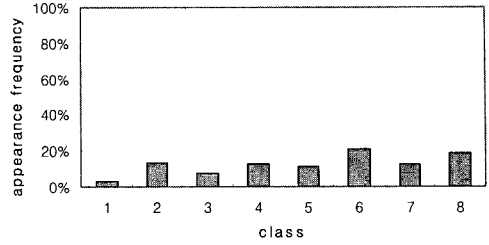
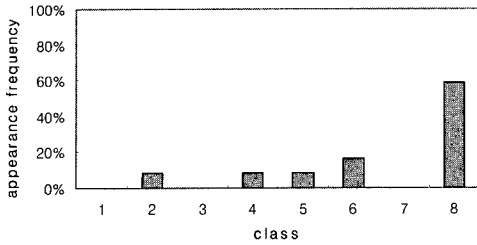
속초지역의 경우 역시 방위에 큰 가중치를 부여한 경우(그림 12(a))가 경사에 큰 가중치를 부여한 경우(그림 12(b))보다 계급의 증가에 따른 소나무 출현빈도 증가경향이 일정하게 나타났다. 이를 통해 속초지역에서도 포천지역처럼 방위가 소나무 공간분포에 미치는 영향이 경사의 영향보다 크다는 것



(a) weight of aspect > weight of slope

(b) weight of slope > weight of aspect

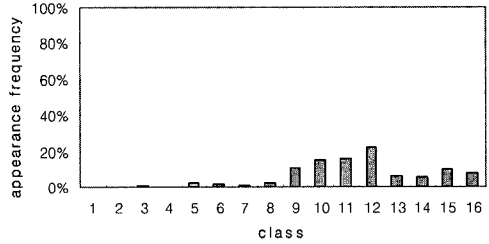
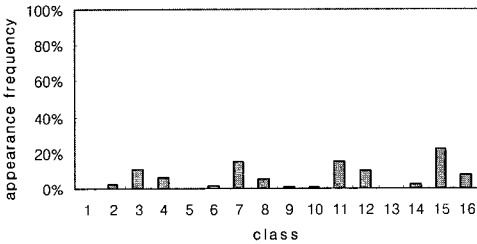
[Fig. 11] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by classification of weight calculation for aspect and slope in Pocheon



(a) weight of aspect > weight of slope

(b) weight of slope > weight of aspect

[Fig. 12] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by classification of weight calculation for aspect and slope in Sokcho



(a) weight of aspect > weight of slope

(b) weight of slope > weight of aspect

[Fig. 13] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by classification of weight calculation for aspect and slope in Inje

을 확인할 수 있었다.

인제지역에서 가중치 부여에 의한 방위와 경사의 영향력 비교결과는 포천, 속초지역과 달리 방위보다 경사에 큰 가중치를 부여한 경우(그림 13(b))에서 계급의 증가에 따른 소나무 출현빈도 증가경향이 방위에 큰 가중치를 둔 경우(그림 13(a))보다 일정하게 나타났다. 이것으로 인제지역 또한 소나무 공간 분포에 미치는 경사의 영향력이 방위보다 크다는 것을 확인할 수 있었다.

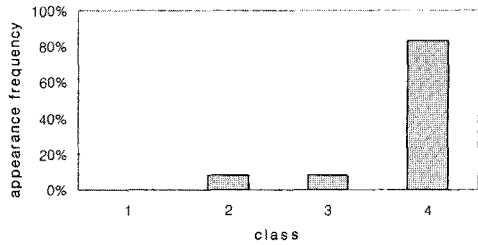
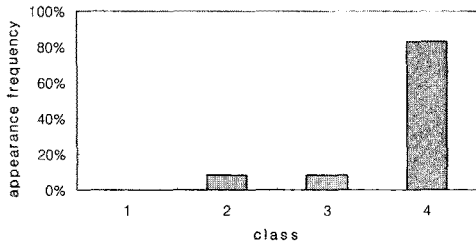
3.4.2 경사와 TWI의 가중치 차이에 따른 출현빈도 비교

연구대상지의 TWI 분석결과에서 포천시

역은 연구대상지 내의 TWI값이 모두 하나의 계급에 속하는 것으로 분석되었으므로 TWI에 의한 소나무 공간분포 변화는 없거나 미약할 것으로 가정하고 속초와 인제지역에 대해서만 경사와 TWI가 소나무 공간분포에 미치는 영향력을 비교하였다.

속초지역에서 경사와 TWI 계급을 소나무 출현빈도에 따라 정렬하고 각각 다른 가중치를 부여한 뒤 곱하여 생성된 각 계급에서의 소나무 출현빈도 산출결과, TWI보다 경사에 큰 가중치를 부여한 경우(그림 14(a))와 그 반대의 경우(그림 14(b))에서 계급의 증가에 따른 소나무 출현빈도 증가경향이 유사하게 분석되었다. 이런 결과는 속초지역에서 경사와 TWI가 소나무 공간분포에 미치는 영향이 유

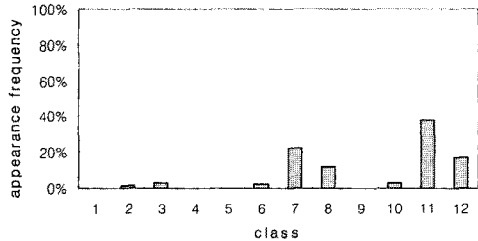
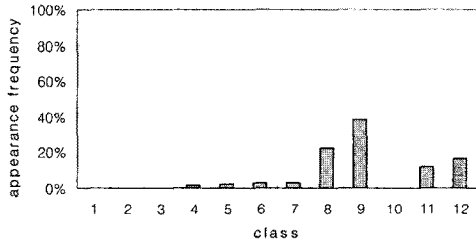
소나무 공간분포와 지형인자간의 상관성 분석



(a) weight of slope > weight of TWI

(b) weight of TWI > weight of slope

[Fig. 14] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by classification of weight calculation for slope and TWI in Sokcho



(a) weight of slope > weight of TWI

(b) weight of TWI > weight of slope

[Fig. 15] Appearance frequency of *Pinus densiflora* by classification of weight calculation for slope and TWI in Inje

사하다는 것을 나타낸다고 할 수 있다.

인제지역은 속초지역과 달리 TWI보다 경사에 큰 가중치를 부여한 경우(그림 15(a))와 그 반대의 경우(그림 15(b))에서의 계급의 증가에 따른 소나무 출현빈도 증가경향이 유사하지는 않았지만, 특정 경우에 더 일정하게 나타나지는 않았다. 이런 결과는 인제지역 또한 소나무 공간분포에 있어 경사와 TWI의 영향력 차이가 유사하다는 것을 보여준다.

포천과 속초지역의 경우 방위의 영향력이 경사의 영향력보다 컸지만 그와 반대로 인제지역은 경사의 영향력이 방위의 영향력보다 큰 것으로 나타났다. 경사와 TWI의 영향

력은, 포천지역에서는 TWI의 영향력이 거의 미치지 않았으며 속초지역과 인제지역은 두 지역 모두 경사와 TWI의 영향력이 비슷하였는데 이러한 분석결과가 우리나라 소나무 분포의 일반적 특성이라고 할 수는 없다. 따라서 향후, 소나무 분포와 지형인자 간의 상관성을 밝히고 일반화시킬 수 있는 연구가 추가로 수행되어야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 생태현상을 설명할 수 있는 지형을 분석하는데 있어 적합한 격자규

모를 먼저 선정하고, 그것을 토대로 지형인자를 분석하고자 하였다. 특히, 지형인자 중에서도 식생의 분포에 영향이 클 것으로 예상되는 방위와 경사, TWI를 분석하고 그에 따라 식생분포특성이 영향을 받는 정도에 대해 분석하기 위해 수행되었다.

연구대상은 우리나라 대표 수종이라고 할 수 있는 소나무로 하였으며, 분석에 이용될 격자크기를 최적화하기 위해 다양한 격자크기에서 방위에 따른 소나무 출현빈도를 분석하고 격자 크기에 따른 결과를 비교하였다. 그 결과, 격자크기가 작을수록 방위가 지나치게 자세히 구분되어 소나무 분포특성을 효과적으로 설명하지 못하였으며, 일정 규모 이상의 격자크기에서도 적절한 분석결과를 도출할 수 없었다. 100m의 격자크기가 소나무의 분포특성을 가장 효과적으로 설명할 수 있는 것으로 판단되었고, 이렇게 결정된 연구대상지별 최적의 격자크기는 다음 연구 단계에서 이용되었다.

연구대상지별 최적의 격자크기를 갖도록 분석된 방위, 경사, TWI에 따른 소나무 출현빈도 결과를 통해 소나무가 주로 분포하는 방위는 지역에 따라 차이가 있지만 경사는 15°~45°, 그중에서도 30°~45° 범위에 소나무가 주로 분포하며, TWI는 0~2 범위일 때 소나무의 출현빈도가 높은 것으로 분석되었다.

소나무 분포에 미치는 영향력을 비교한 결과에서는, 경사보다 방위가 소나무 공간분포에 미치는 영향력이 큰 것으로 분석되었으며 TWI는 경사와 비슷한 영향력을 갖는 것으로 밝혀졌다.

본 연구결과를 토대로 향후 다른 식생의 분포특성을 파악하기 위한 지형인자 분석을 수행할 수 있으며, 본 연구에서 수행된 방위,

경사, TWI 외의 지형인자의 영향력 비교분석도 추가함으로써 보다 정확한 식생분포특성 분석이 이루어져야 할 것이다.

사사(謝辭)

본 연구는 산림청의 연구지원(“소나무림 종합적 육성 및 보호방안에 관한 연구”)과 한국과학재단의 연구지원(R01-2006-000-10863-0)으로 수행된 연구결과의 일부임.

참고문헌

- 구자용, 2000. 해상도 변화에 따른 공간 데이터의 구조특성 분석, 한국GIS학회지, 2, 243-255.
- 유승근, 최성규, 문상원, 2002. GIS를 이용한 밀양강 유역의 지형학적 특성 분석, 한국GIS학회지, 1, 107-122.
- 윤정호, 이우균, 이종수, 김유승, 최창은, 2006. 기상, 지형, 토양인자에 따른 소나무림의 공간분포특성, 한국산림측정학회지, 9, 58-71.
- 이종수, 이우균, 손요환, 조용성, 송철철, 2006. 산림부문에서의 기후변화 취약성평가모형 비교, 한국산림측정학회지, 9, 87-100.
- 이종수, 이우균, 윤정호, 송철철, 2006. 공간통계와 GIS를 이용한 소나무림과 참나무림의 분포패턴, 한국임학회지, 95(6), 663-671.
- 이준학, 이우균, 2000. GIS를 이용한 지형지수 계산용 전산프로그램의 개발, 한국산림측정학회지, 3(1), 35-41.
- Albani, M., Andison, D. W., Kimmins, J. P. (H.), 2005. Boreal mixedwood species composition in relationship to topography and white spruce

- seed dispersal constraint, *Forest Ecology and Management*, 209, 167-180.
- Dirnböck, T., Dullinger, S., Gottfried, M., Ginzler, C., Grabherr, G., 2003. Mapping alpine vegetation based on image analysis, topographic variables and canonical correspondence analysis, *Appl. Veg. Sci.*, 6, 85-96.
- Gallent, J. C., Wilson, J. P., 1996. TAPES-G: Grid based Terrain Analysis Program for the Environmental science, *Computer & Geosciences*, 22(7), 713-722.
- Gallent, J. C., Wilson, J. P., 2007. TAPES: Terrain Analysis Programs for the Environmental science, <http://uscgislab.net/incEngine/?art=software>.
- Gottfried, M., Pauli, H., Grabherr, G., 1998. Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpine-nival ecotone, *Arct. Alp. Res.*, 30, 207-221.
- Gottfried, M., Pauli, H., Reiter, K., Grabherr, G., 1999. A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming, *Divers. Distributions*, 5, 241-251.
- Guisan, A., Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology, *Ecol. Model.*, 135, 147-186.
- Jensen, J. R., 1996. *Introductory digital image processing - a remote sensing perspective*. Prentice Hall. Upper Saddle River, p.318.
- Jelaska, S.D., Antonic, O., Nikolic, T., et al., 2003. Estimating plant species occurrence in MTB/64 quadrants as a function of DEM-based variables — a case study for Medvednica Nature, Park Croatia. *Ecol. Model.*, 170, 333-343.
- Kubota, Y., Murata, H., Kikuzawa, K., 2004. Effects of topographic heterogeneity on tree species richness and stand dynamics in a subtropical forest in Okinawa Island, southern Japan. *J. Ecol.*, 92, 230-240.
- 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.
- Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 2000. *Remote sensing and Image Interpretation* (4th ed.), John Wiley and Sons, Inc, 724p.
- Moore, I. D., Grayson, R. B., Ladson, A. R., 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications, *Hydrologic Processes*, 5(1), 3-30.
- Rodhe, A., Seibert, J., 1999. Wetland occurrence in relation to topography: a test of topographic indices as moisture indicators, *Agricultural and Forest Meteorology*, 98(9), 325-340.
- Saulnier, G. M., Beven, K. J., Oble, C. H., 1997. Digital elevation analysis for distributed hydrological modelling: reducing scale dependence in effective hydraulic conductivity values, *Water Resources Research*, 33, 2097-2101.
- Simon, W., Jonathan, L., 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.
- Sorensen, R., Seibert, J., 2007. Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components, *Journal of Hydrology*, 347, 79-89.
- Vieux, B. E., 1993. DEM aggregation and smoothing effects on surface runoff modeling, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 7, 310-338.
- Wilson, J. P., Repetto, P. L., 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.

- Wolock, D. M., & 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.
- Wu, S., Li, J., 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.
- Zhang, W., Montgomery, D. R., 1994. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations, *Water Resources Research*, 30, 1019-1028.
- Xu, X. L., Ma, K. M., Fu, B. J., Song, C. J., Liu, W., 2008. Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China, *Catena*, 75, 138-145.
-
- 접수일 (2008년 9월 18일)
최종수정일 (2008년 11월 13일)
게재확정일 (2008년 11월 18일)