

環境因자의 空間分析을 통한 南韓지역의 山林植生帶 구분: 지리정보시스템(GIS)에 의한 접근

이규성 · 이병천* · 신준환*

인하대학교 지리정보공학과, 임업연구원*

Classification of Forest Vegetation Zone over Southern Part of Korean Peninsula Using Geographic Information Systems

Lee, Kyu-Sung, Byong-Chun Lee* and Joon Hwan Shin*

Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

*Forestry Research Institute**

ABSTRACT

There are several environmental variables that may be influential to the spatial distribution of forest vegetation. To create a map of forest vegetation zone over southern part of Korean Peninsula, digital map layers were produced for each of environmental variables that include topography, geographic locations, and climate. In addition, an extensive set of field survey data was collected at relatively undisturbed forests and they were introduced into the GIS database with exact coordinates of survey sites. Preliminary statistical analysis on the survey data showed that the environmental variables were significantly different among the previously defined five forest vegetation zones. Classification of the six layers of digital map representing environmental variables was carried out by a supervised classifier using the training statistics from field survey data and by a clustering algorithm. Although the maps from two classifiers were somewhat different due to the classification procedure applied, they showed overall patterns of vertical and horizontal distribution of forest zones. Considering the spatial contents of many ecological studies, GIS can be used as an important tool to manage and analyze spatial data. This study discusses more about the generation of digital map and the analysis procedure rather than the outcome map of forest vegetation zone.

Key words: Classification, Climate, Forest zone, GIS, Spatial data, Topography

서론

山林植生은 그 지역의 여러 가지 環境因자의 영향에 따른 분포를 보이고 있고, 그러한 分布 특성을 좌우하는 환경인자의 지리적 變異를 空間資料의 형태로 표현할 수 있는 技法에 관한 관심이 날로 증가하고 있다. 최근 컴퓨터 기술의 발달에 힘입어 광범위한 영역에 걸친 활용을 보이고

있는 地理情報시스템(Geographic Information Systems - GIS)은 기존의 文字·數値자료에 추가하여 공간적 위치와 관련된 일련의 지도자료를 수치화 하여 처리·분석할 수 있는 기능을 가지고 있다. 이러한 지리정보시스템의 이용은 물리적 공간을 대상으로 하는 生態 연구 및 資源管理에 중요한 활용 도구가 될 수 있음을 보여주고 있다 (Ripple 1987, Coulson *et al.* 1990, Goodchild *et al.* 1993).

인구에 비하여 비교적 좁은 면적의 국토를 가지고 있고, 더구나 전국토의 2/3를 산림이 차지하고 우리 나라의 상황에서 산림은 한반도 자연환경의 質을 좌우하는 중요 요소로서 나날이 악화되는 환경변화와 함께 그 완충적 역할이 강조되고 있다. 산림의 생산적 기능과 아울러 국민생활의 문화 정서적 공간으로서의 공익적 기능 측면에서 그 역할이 증대되고 있는 실정이다. 산림식생대의 구분은 그러한 생산적·환경적 측면에서 뿐만 아니라 학술적 측면에서도 중요한 관심이 되어 왔다. 한반도에서의 산림식생대 구분은 지난 80여년 동안 여러 학자들에 의해 다양한 방법으로 시도되어 왔고 그에 따른 결과 또한 많은 차이가 있다. 산림식생대를 구분하는 기존의 접근 방법은 주로 지역별 氣候 특성에 기준한 經驗的 방법으로 산림식생대를 地圖위에 표시하였다 (정과 이 1965, Yim and Kira 1975, Yim 1977). 이러한 연구들은 대부분 한반도를 暖帶, 溫帶, 寒帶 등의 기후대로 구분하여 주로 기후와 관련된 식생의 수평적·수직적 분포 특성을 기술하였으나, 실지 분포를 그리는 圖面化 단계에서는 다소 주관적인 입장에서 산림대의 경계를 구획하였기 때문에 학자간의 차이가 있는 형편이다.

식생 분포에 영향을 미치는 환경인자에 대한 언급은 식생 분포의 변이를 보는 空間的規模 (spatial scale)에 따라 매우 다양하게 설명될 수 있지만, 기존의 연구에서는 일반적으로 기후인자에 전적으로 의존하여 산림대가 구분되었다. 이러한 예는 지구 전체를 대상으로한 식생대 구분이나 지역적 규모의 식생대 구분에서 빈번하게 찾아볼 수 있다 (van Groenewoud 1984). 이렇듯 산림식생대는 기후적 특성에 따라 나타날 수 있는 潛在植生으로 현 시점에서의 자연에 대한 인간 간섭을 중지했을 때 형성되는 이론적 식생을 기준으로 구분되는 경향이 있다 (김 1993). 대기후에 따른 지구 규모의 식생대 구분은 이러한 방식으로 하여도 큰 무리가 없을 것이나 지형이 복잡한 한반도의 식생을 구분하는데는 문제가 나타날 수 있다 (신 1996). 극상설로 유명한 Clements의 경우에도 능선을 따라 다른 식생이 출현할 수 있다는 점을 분명히 밝히고 있다 (Clements 1936).

본 연구의 목적은 산림식생대 구분과 관련된 기존의 연구에서 적용되었던 접근 방법을 보완하여 보다 객관적인 방법으로 산림식생대를 구획하고자 하였다. 즉, 산림식생 분포의 한계를 결정할 수 있는 여러 가지 물리적 환경인자를 數値地圖化 하여 공간적으로 분석함으로써 남한 지역의 산림식생 분포를 보다 객관적인 방법으로 구분하고자 한다. 물론 분류 결과에 따른 최종 지도의 제작에도 중요한 의미를 부여할 수 있으나, 본 연구에서는 결과로 나타나는 지도 그 자체보다는, 지리정보시스템을 이용하여 여러 가지 환경인자를 空間資料化하고 이를 바탕으로 공간적인 분석을 통하여 산림식생대를 구분하는 과정에 중점을 두어 기술하고자 한다. 즉, 지리정보시스템을 도구로 하여 생태 연구의 다양한 측면에 활용될 수 있는 가능성을 보이고자 한다.

환경인자의 수치지도화

한반도 산림식생의 분포에 영향을 미치는 환경인자의 결정은 多角的인 측면에서 고려될 수 있으나, 분류하고자 하는 最小單位面積과 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 산림수

종 분포의 局所的 변이를 좌우하는 인자(가령 受光量, 土壤條件 등)는 南韓 全地域을 공간자료의 형태로 제작하기에는 현실적으로 많은 제한이 있기 때문에 제외하였다. 결국 환경인자의 결정은 지리정보시스템(GIS)에서 어느 정도의 신뢰도를 가지고 제작이 가능한 地形, 位置, 氣候 인자로 크게 구분된다. 수치지도자료는 위의 환경 인자들이 가지고 있는 連續的 變異(continuous surface) 특성을 잘 나타낼 수 있는 格子形(raster type)으로 입력되었다.

地形인자

數值高度資料(Digital Elevation Model data - DEM)는 실지 지형과 근접하게 표현하고자 하는 컴퓨터 자료의 형태로서, 대상 지역을 일정한 면적을 가진 格子로 나눈 뒤 각 격자마다 그 지점의 海拔高度가 입력된 자료이다. 물론 각 격자점마다 하나의 고도 값을 갖게 되므로 이 자료가 실제 지형을 얼마만큼 정확하게 묘사하는가는 격자점의 면적에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서 사용된 수치고도자료는 원도의 축척을 고려하여 사방 90 m 크기의 격자로 재배열(resampling)되었다. 이 자료는 제주도과 울릉도를 제외한 남한 전지역이 대략 3,900×5,800개의 격자로 이루어져 있다. 이 수치고도자료로부터 간단한 映像處理 기법을 응용하면 그 지점의 傾斜 및 方位를 쉽게 산출할 수 있고 그 밖에 局地的 지형 특성을 표현할 수 있는 인자들을 산출할 수 있다 (Weibel and Heller 1991). 고도자료로부터 경사, 방위, 그리고 기타 지형 인자를 산출한 과정은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 주변 격자값을 이용한 간단한 산술식에 의하여 계산되어 질 수 있는데,

$$Slope = \tan^{-1} (\Delta z / 2S)$$

$$Aspect = \tan^{-1} \left(-\frac{\Delta x}{\Delta y} \right) \tag{1}$$

여기서 S는 격자와 격자간의 거리이다. 물론 경사와 방위 이외에도 그 지점의 屈曲度, 開放度 등도 일정 크기의 창틀(3×3, 5×5, 7×7 등)내의 격자 값들을 비교함으로써 산출될 수 있다. Fig. 1에서와 같이 격자점 e에서의 경사 및 방위 계산을 마치면, 이 3×3 크기의 창틀을 오른쪽으로 하나의 격자 간격만큼 이동하면서 동일한 계산을 반복하면 전지역의 경사자료와 방위자료를 구할 수 있다.

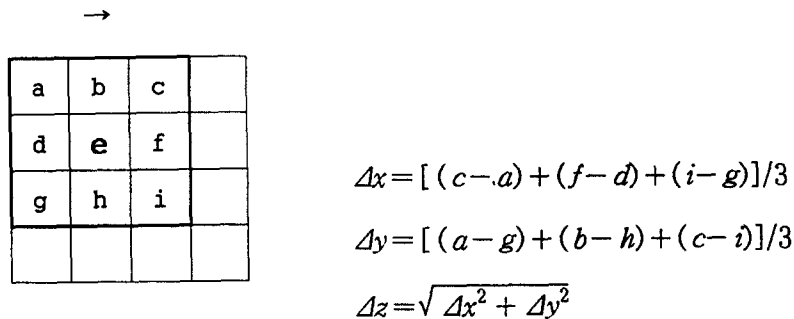


Fig. 1. Moving window operation to calculate slope, aspect, and other geomorphological values from digital elevation model (DEM) data.

位置인자

위치인자는 東西방향과 南北방향으로 구분된 地理的 座標에 의하여 표시될 수 있고, 또한 반도의 특성상 海岸으로부터의 거리 또한 특정한 산림식생의 분포를 제한할 수 있는 중요한 요인이 될 수 있기에 추가되었다. 지리적좌표는 일반적으로 통용되는 經緯度좌표가 아닌 일정한 원점으로부터 거리로 표시되는 平面直角座標(plane rectangular coordinate)로 표시하였다. 해안으로부터의 거리는 위의 수치고도자료로부터 해안선을 추출한 후에 각 격자점마다 해안선으로부터의 직선거리 값을 갖는 距離測定法(distance measurement /buffering)을 적용하여 제작하였다.

氣候인자

현실적으로 대상 지역 전부를 측정할 수 없는 경우에는 한정된 수의 點觀測(point observation) 자료에 의존하여 공간적 분포를 추정한다. 온도 및 강수량 등의 기후인자는 산발적으로 분포되어 있는 기상관측소 자료에 기준 하여 의하여 공간적 변이를 추정하고 있는데, 한반도와 같이 굴곡이 심한 산악지형을 가진 지역에 있어서 제한된 수의 점관측자료에 의한 平面的 推定은 지형에 따른 垂直的 기후의 변이를 제대로 추정하기에는 어려움이 많다. 이러한 단점을 보완하여 비교적 좁은 지역 또는 특정 지점에서의 국소적 기후를 추정하기 위하여 여러 가지 空間推定技法이 도입되고 있다 (신과 윤 1992, Lee 1995). 본 연구에서 시도된 局地的 變異를 나타낼 수 있는 기후인자의 수치지도 제작을 위한 일련의 분석과정은 다음과 같다.

1) 기후자료의 정리 및 표준화

기상청 측후소에서 1961년부터 1990년까지 30년 동안 수집된 日別 기상자료를 이용하여 추정하고자 하는 기후인자를 도출하였다. 주로 低高度 지역에 분포되어 있는 기상청 測候所의 자료를 기본으로 사용하고 산악 기후의 특성을 추가하고자, 軍에서 운영하고 있는 고지대 산악관측소의 기상자료와 기타 관련 기관에서 독자적으로 운영되고 있는 모든 기상 관측자료를 검토하였다. 최종적으로 사용된 기후자료는 관측기간이 최소한 20년 이상인 111개소의 관측소에 수집된 자료가 이용되었다 (Fig. 2). 관측기간이 30년 미만인 測候所의 자료는 未觀測 기간동안의 기후 자료를 근접한 측후소의 자료를 이용하여 補正한 뒤 30년 평균자료로 換算하였다.

산림식생의 분포와 관련하여 여러 가지 기후 인자가 고려될 수 있지만 適用性 측면에서 널리 사용되는 두개의 온도관련 지수(日別溫暖指數, 日別寒冷指數)와 年平均降水量의 세 가지가 선정되었으며, 두개의 日別積算溫度(daily temperature sum)는 다음과 같이 산출되었다.

$$TS_d = \sum_{i=1}^n (T_u - T_b) \quad (2)$$

여기서 TS_d = 日別積算溫度, T_u = 일평균기온, T_b = 基準溫度로 5℃가 사용되었다. 즉 식물의 生育이 가능한 기준온도를 5℃로 잡고, 일평균기온이 5℃보다 높은 날의 온도에서 기준온도보다 높은 온도의 합을 나타내는 일별온난지수(daily warmth index)와 일평균기온이 5℃보다 낮은 날의 온도에서 5℃ 낮은 온도의 합을 나타내는 일별한냉지수(daily cold index)로 구분되어 산출되었다.

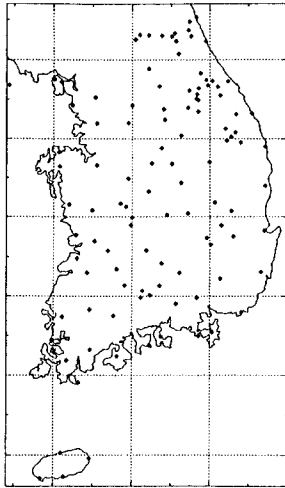


Fig. 2. Location of weather stations having more than 20 years of climate records in southern part of Korean Peninsula.

2) 기후인자의 공간추정

각 측후소마다 30년 평균 日別積算溫度(온난지수, 한냉지수)와 년강수량이 산출된 뒤, 각 측후소의 정확한 地理的座標(X, Y), 海岸으로부터 거리(proximity), 지형인자(고도, 방위, 경사, 굴곡도, 개방도, 고도차) 등이 입력되었다. 측후소의 기후자료를 토대로 추정하고자 하는 기후인자를 從屬變數로 하고, 각 측후소의 地理, 地形인자들을 獨立變數로 하여 重回歸分析을 실시하였다. 중회귀식에 대한 통계검정을 거쳐 최종적으로 선정된 두개 적산 온도지수의 추정모델을 다음과 같다.

$$DWI = 3821 - 0.00150 Y - 1.23838 \text{ elev} \quad (R^2=0.9424^{**}) \quad (3)$$

$$DCI = -230 + 0.00067 X - 0.00112 Y - 1.17886 \text{ elev} - 1.20825 \text{ prox} \quad (R^2=0.9471^{**}) \quad (4)$$

위의 중회귀식에서 볼 수 있듯이 경사, 방위, 굴곡도, 개방도 등 국소적 지형인자는 두개의 온도관련지수를 설명하기 위한 독립변수로 채택되지 못하였고, 해발고도와 위치를 나타내는 변수들이 온도와 관련된 공간적 변이를 설명하는데 중요한 인자임을 보여주고 있다. 두개 온도관련지수의 공간추정은 위에서 이미 구축된 地形, 位置관련 공간데이터베이스內的 해당 수치지도를 추출하여 각각의 격자마다 식 (3)(4)를 적용함으로써 기후인자를 나타내는 새로운 수치지도를 만들 수 있었다 (Fig. 3).

위의 중회귀식에서 볼 수 있듯이 경사, 방위, 굴곡도, 개방도 등 국소적 지형인자는 두개의 온도관련지수를 설명하기 위한 독립변수로 채택되지 못하였고, 해발고도와 위치를 나타내는 변수들이 온도와 관련된 공간적 변이를 설명하는데 중요한 인자임을 보여주고 있다. 두개 온도관련지수의 공간추정은 위에서 이미 구축된 地形, 位置관련 공간데이터베이스內的 해당 수치지도를 추출하여 각각의 격자마다 식 (3)(4)를 적용함으로써 기후인자를 나타내는 새로운 수치지도를 만들 수 있었다 (Fig. 3).

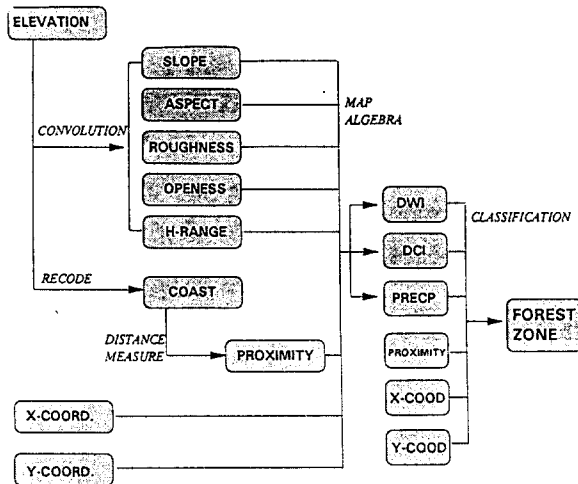


Fig. 3. Processing scheme of spatial analysis to derive the digital maps of six environmental variables as well as the final classification of forest vegetation zone.

두개의 온도관련지수와는 달리 년평균강수량의 경우 관측소의 지리, 지형인자과의 관계가 미약하여 그들을 독립변수로 하는 회귀모델을 定立하기에는 무리가 있는 것으로 판단되었다. 따라서, 년평균강수량을 나타내는 수치지도를 만들기 위해서는 위의 회귀식방법보다는 인접한 관측소의 점관측자료에 의하여 미관측 지점의 강수량을 추정하는 보간법의 하나인 逆距離比例(inverse distance weighting) 추정법을 적용하였다. 역거리비례법은 순수하게 2차원적으로 분포하고 있는 점관측자료에 의존하여 추정하고자 하는 지점의 강수량은 그 지점에서 가깝게 위치한 관측소의 자

료값 들을 가중 평균하는 절차로서 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$Z_{xy} = \sum_{i=1}^n Z_i \left(\frac{d_i^2}{\sum_{i=1}^n d_i^2} \right) \quad (5)$$

여기서 Z_{xy} 는 미지점 (x, y)에서의 강수량 추정치, Z_i 는 미지점 (x, y) 주변에 있는 관측소의 강수량 측정값들이며, d_i 는 미지점에서 주변의 관측소 i 까지의 거리를 나타내고 있다. 이 식에서 결국 추정값은 미지점에서 가까이 위치한 관측소의 강수량에 크게 영향을 받고, 멀리 떨어져 있는 관측지점의 표본값으로부터는 상대적으로 영향을 덜 받게 된다.

공간분석을 통한 산림대 분류

물리적 환경인자와 現存 산림식생대의 관계 분석

환경인자와 산림식생대간의 相關關係를 먼저 究明하여 制限因子를 밝히고, 각 제한인자의 통계치를 이용하여 산림식생대의 공간적 분포를 推定하고자 하였다. 이를 위하여 사용된 자료는 林業研究院에서 1990년부터 실시하고 있는 全國山林生態調查資料를 이용하였다 (이 등 1992, 이와 신 1994). 비교적 인간의 간섭이 덜한 국립공원지역의 산림을 대상으로 조사한 약 325개소의 현지조사자료를 이용하여 각 지점의 정확한 위치와 해발고도, 경사, 방위 등의 지형자료와 함께 그 지점의 주요 樹種 構成 등이 입력되었고, 각 조사지점의 좌표를 이용하여 GIS 공간데이터베이스에 구축된 환경인자의 수치지도에서 각 지점별 일별온난지수, 일별한냉지수, 그리고 년평균 강수량을 추출하였다. 각 조사 지점은 주요 수종의 구성에 따라 임의의 5개 산림식생대로 구분하였는데, 이는 常綠활엽수림, 온대남부림, 온대중부림, 온대북부림, 그리고 아고산대림으로 나누었다. 현지 조사 자료에 따라 5개의 산림대로 구분된, 이들의 주요 수종구성은 다음과 같다 (Table 1).

주요 수종의 구성에 따라 325개소의 조사지점을 5개의 산림식생대로 구분한 뒤 각 지점별로 조사야장에서 입력된 지형자료와 이미 구축된 GIS 자료에서 추출된 지리 및 기후관련자료를 취합하여 산림식생대와의 관계를 多變量 통계법으로 분석하였다 (Johnson and Wichern 1982). 통계 분석을 통하여 먼저 환경인자에 의하여 측정된 5개의 산림식생대간에 뚜렷한 차이점이 있는가를 밝히고자 했으며 또한 5개의 산림식생대간의 통계학적인 거리, 즉 각 산림대간의 차이점을 정량적으로 파악하고자 하였다. 첫 번째 문제를 위하여 각각의 환경인자에 대하여 독립적으로 산림대와의 관계를 분석한 分散分析(analysis of variance)과 모든 환경인자를 취합하여 분석하는 多變量分散分析(multivariate analysis of variance)을 실시하였다. 각각의 산림대별 환경인자간의 통계적거리는 Mahalanobis 방법으로 계산되었다. 위의 Table 1에서 대개 조사지점의 수는 예상되는 각 산림대의 면적과 유사한 비율로 분포되어 있으나, 아고산대림의 경우 예상되는 분포 면적에 비하여 조사지점의 수가 과다하게 사용되었음을 볼 수 있다. 아고산대림의 조사지점은 거의 지리산 산정부에 위치한 관계로 이 그룹내에서 발견되는 환경인자의 변이 폭은 매우 좁고, 따라서 많은 조사 지점에도 불구하고 자료가 나타내는 변이의 폭이 상대적으로 적으므로 전체적 통계분석에 큰 영향을 미치지 않는다.

Table 1. Primary species composition of five forest zones, which were collected from field survey

Forest Zone	Number of Survey Plots	Primary Species
Warm	30	<i>Quercus glauca</i> , <i>Quercus acuta</i> , <i>Cinnamomum camphora</i> , <i>Cinnamomum japonicum</i> , <i>Neolitsea sericea</i> , <i>Ilex rotunda</i> , <i>Ilex integra</i> , <i>Cleyera japonica</i> , <i>Eurya emarginata</i> , <i>Machilus thunbergii</i>
Temperate South	40	<i>Ilex cornuata</i> , <i>Sapium japonicum</i> , <i>Meliosma myriantha</i> , <i>Mallotus japonicus</i> , <i>Daphniphyllum macropodum</i> , <i>Camellia japonica</i> , <i>Vaccinium bracteatum</i> , <i>Acer palmatum</i> , <i>Callicarpa mollis</i>
Temperate Middle	117	<i>Carpinus cordata</i> , <i>Betula schmidtii</i> , <i>Ulmus davidiana</i> , <i>Deutzia glabrata</i> , <i>Fraxinus rhynchophylla</i> , <i>Stephanandra incisa</i> , <i>Tilia amurensis</i> , <i>Kalopanax pictus</i> , <i>Styrax obassia</i> , <i>Euonymus alatus</i> , <i>Acer pseudo-sieboldianum</i> , <i>Syringa wolffi</i>
Temperate North	19	<i>Pinus koraensis</i> , <i>Abies holophylla</i> , <i>Abies nephrolepis</i> , <i>Taxus caespitosa</i> , <i>Abies koreana</i> , <i>Larix gmelini</i> var. <i>principis-ruprechtii</i> , <i>Pinus pumila</i> , <i>Thuja koraiensis</i>
Subalpine	119	<i>Picea jezoensis</i> , <i>Picea koraiensis</i> , <i>Rhododendron aureum</i> , <i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i>
Total	325	

山林植生帶 區分을 위한 空間자료의 분류

6개의 층으로 이루어진 환경인자의 수치지도는 90×90 m²의 격자 지점마다 환경적 특성을 나타내는 값을 가지고 있고 이를 일정 기준에 의한 컴퓨터 분류기법을 이용하여 산림대를 구분하였다 (Fig. 3). 첫번째 시도한 분류기법은 각각의 격자점마다 가지고 있는 환경인자값을 325개 소 조사지점에서 얻어진 5개의 산림식생대별 統計値와 비교하여 가장 유사한 통계치를 보이는 산림대로 분류하는 것이다. 이러한 방법은 이미 遠隔探査 영상처리 기법에서 널리 사용되고 있는 분류기법으로, 여러 개 파장대의 디지털 映像資料에서 나타나는 각 지표물의 反射 특성을 통계학적으로 취합하여 분류해 내는 방법이다 (Lillisand and Kiefer 1995). 영상자료의 컴퓨터 분류기법에는 여러가지가 있지만 본 연구에서는 조사자료에서 얻어진 5개의 산림대와의 통계적 거리를 계산하여 가장 가까운 거리를 나타내는 산림대로 분류하는 最小距離分類法(minimum distance classifier)을 사용하였다.

$$D_i = (X - U_i)^T C_i^{-1} (X - U_i) \quad (6)$$

여기서 D_i = 분류할 격자점으로부터 산림대 i 까지의 통계적 거리, X = 분류할 격자점의 6개 환경인자값 벡터, U_i = 산림대 i 의 평균값 벡터, C_i = 산림대 i 의 공분산행렬(covariance matrix)이다. 즉, 6개의 환경인자값을 가지고 있는 격자점은 위의 식 (6)에 의하여 각각의 산림대와의 D 를 계산하고, 이 중에서 最小의 D 를 보이는 산림대로 그 격자점을 분류하게 된다.

최소거리분류법은 모든 격자의 분류과정이 전적으로 현지조사자료에서 얻어진 5개 산림대별 통계자료에 의존하게 되며, 이 경우 분류 기준이 되는 통계자료가 전체 母集團을 대표하기에 적합한가 하는 기본적 의문을 가질 수 있다. 따라서 두 번째 사용한 컴퓨터 분류기법은 현지조사자료에 근거한 5개 산림대별 기준 통계치를 전혀 사용하지 않고, GIS 공간자료로 구축된 환경인자의 수치지도만으로 분류하는 集團化(clustering) 기법이다. 이는 6개 환경인자의 수치지도자료에서 유사한 값을 가진 격자점들이 스스로 동일한 집단으로 모이게 하는 방법으로, 분류과정에서 분류자의 主觀性이 최소화된 분류기법이라 할 수 있다. 최초 격자점이 가지고 있는 6개의 환경인자값과 그 다음 격자점의 환경인자값을 비교하여 동일한 집단에 속할 수 있는가를 판단하여 합치거나 또는 분리시키고, 그 다음의 격자점을 순차적으로 비교해 나가면서 집단을 이루게 되는데 이 방법에서 분류자는 전체 집단의 수를 지정하여야 한다. 본 연구에서는 전체 집단의 수를 4~5개로 하여 집단화 분류를 적용하였다.

결과 및 고찰

수치지도자료로 표현한 환경인자를 이용하여 산림식생대를 분류하기에 앞서 이를 위하여 도입된 현지 조사자료를 분석한 결과, 우선 각각의 환경인자에 대한 개별적인 분석에서 모든 환경인자는 5개의 산림식생대간에 유의성있는 차이점을 보여주었다 (Table 2). 지리적 위치, 해안으로부터의 거리, 그리고 온도, 강수량 등은 각각 5개의 산림대 별로 뚜렷한 차이점을 보여주고 있다. 6개의 환경인자를 모두 취합하여 산림대별로 차이점이 있는가를 비교검정한 다변량 통계치는 모두 뚜렷한 차이점이 있음을 보여 주고 있다 (Table 3). 그러나 이러한 분산분석법에서는 각각의 산림대별 통계치가 전체와 차이점이 있는가를 밝혀 줄 뿐 어느 두개의 산림대간 차이점이 많고 적음을 보여주지는 않는다. 5개 산림대의 가능한 모든 쌍의 산림대별 차이점을 보여줄 수 있는 통계학적 거리(Mahalanobis distance)를 계산한 결과 산림대간의 차이점과 유사점을 밝힐 수 있었다 (Table 4). Table 4에서의 통계학적 거리로 구분하였을 경우, 가장 유사한 산림대는 常綠활엽수림과 溫帶남부림 그리고 온대남부림과 온대중부림 사이에서 발견된다. 이러한 결과는 5개로 임의 구분한 산림대가 적절인가 하는 문제와 함께 325개소 표본 자료가 남한 전 지역의 환경적 특성을 대표하는가에 대한 검토 또한 필요하다. 현지조사자료가 해발 1 m부터 1,860 m까지의 垂直的 분포를 가지고 있어 남한 전 지역의 지형과 온도 특성을 거의 포함할 수 있는 범위를 가지고 있으나, 조사지점의 水平的 분포는 한정된 수의 自然林에 국한되어 있는 관계로 본

Table 2. Univariate statistics (ANOVA) for testing the means of five forest zones are equal for each environmental variable

Variable	Total STD	Pooled STD	Between STD	R-Squared	F-Value	Prob. > F
X Coord.	55833	49970	28485	0.208878	21.1222	0.0001
Y Coord.	105204	89823	62147	0.280031	31.1159	0.0001
Proximity	51.5243	43.2095	31.7855	0.305395	35.1733	0.0001
DWI*	803.9412	357.2906	805.1709	0.804926	330.1006	0.0001
DCI**	775.6740	347.4109	775.3882	0.801878	323.7911	0.0001
Precipitation	211.1165	103.6661	205.7052	0.761859	255.9352	0.0001

* Daily Warth Index (daily temperature sum for plant growing)

** Daily Cold Index (daily temperature sum for coldness)

Table 3. Four multivariate statistics (MANOVA) for testing the means of five forest zones are equal in the population

Statistic	Value	F-Value	Num, DF	Den, DF	Prob. > F
Wilks' Lambda	0.03796349	71.2331	24	1100.114	0.0001
Pillai's Trace	1.70828126	39.5070	24	1272	0.0001
Hotelling-Lawley Trace	9.32325068	121.7850	24	1254	0.0001
Roy's Greatest Root	7.75107822	410.8071	6	318	0.0001

DF = degree of freedom

Table 4. Mahalanobis squared distance between the means of five forest zones

	Warm	Temp.-South	Temp.-Mid.	Temp.-North	Subalpine
Warm	0	5.518	12.777	35.856	49.107
Temp. S	5.518	0	4.944	22.614	38.923
Temp. -M	12.777	4.944	0	9.987	31.188
Temp. -N	35.856	22.614	9.987	0	17.854
Subalpine	49.107	38.923	31.188	17.854	0

연구에서 사용된 지리적 인자인 해안으로부터의 거리, 동서 및 남북 좌표의 전체를 대표하는데 미흡한 점이 있다.

Fig. 4는 GIS 공간자료를 이용하여 두 가지 컴퓨터분류 기법을 적용하여 분류한 산림대 지도를 보여주고 있다. 우선 현지조사자료의 통계치에 근거한 분류 결과 (Fig. 1-a), 대부분의 지역이 온대중부림으로 분류되었고 특히 온대북부와 아고산대림은 남한內 해발고도 1,500 m 이상의

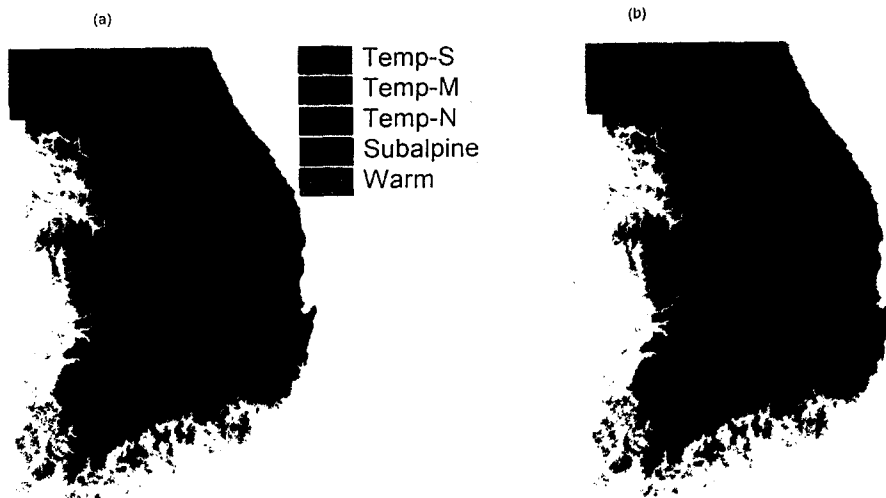


Fig. 4. Computer classified maps of forest vegetation zone from six environmental variables. (a) Supervised classification result using the training statistics from field survey data. (b) Unsupervised clustering result without the field survey data, in which the number of clusters was processed to four groups.

지역에서 산발적으로 분포하는 양상을 보여주고 있다. 또한 남해안 및 남서해안을 따라서 상록활엽수림대가 분류되었고 이에 약간 복잡하여 극히 부분적으로 온대 남부림이 분포하고 있다. 이러한 분류 결과는 우선 분류에 사용된 현지조사자료에 근거한 기준 통계치의 특성을 잘 반영한다고 할 수 있다. 전국적으로 자료가 수집된 온대중부림대를 제외하고 나머지 4개의 산림대는 분류 결과에서 보여주듯이 극히 일부분의 지역에서 조사자료가 수집되었을 뿐이다. 가령 아고산대림으로 분류된 지역은 대부분의 조사자료가 수집된 지리산 고지대와 거의 일치하고, 온대남부림으로 분류된 지역도 현지조사가 수행된 내장산, 조계산, 두륜산 지역과 지리적으로 상당한 유사점을 보이고 있음을 쉽게 볼 수 있다.

이와 관련하여 한반도의 중부와 남부 지방에 진정한 아고산대림과 상록활엽수림이 존재하는가는 재검토되어야 할 것으로 보인다. 우리가 현지 조사를 실시할 수 있는 남한의 경우 진정한 아고산대림의 존재에 대한 평가가 있어야 할 것이다. 지리산과 설악산 정상 부근에 분포하고 있는 수종의 구성 상태는 아고산대림이라 볼 수도 있지만 그 규모가 너무 작고 정상 부근에만 분포하고 있기 때문이다. 또한 상록활엽수림의 경우에도 하층을 제외하면 상층까지 점유하고 숲으로 인정할 수 있는 곳은 島嶼 지방을 제외하면 한반도 내에서는 해남 두륜산 정도이다. 그것도 전반적이 아니라 좁잡나무림에 patch 상으로 분포하고 있기 때문이다.

현지조사자료를 완전히 배제하고 GIS 공간자료가 가진 환경인자값만을 이용하여 스스로 집단화한 결과는 현지조사 통계치를 이용한 분류결과와 상당한 차이점을 보여주고 있다. Fig. 4-b는 4개의 집단으로 분류한 결과를 보여주고 있는데, 우선 각 산림대의 전반적인 분포 특징은 해발 고도에 따른 수직적 분포 양상과 산림대의 변이가 동북방향으로 정렬되는 듯한 수평적 분포 양상을 볼 수 있다. 이 지도에서 각각의 집단은 6개의 환경인자 값이 유사한 격자점들이 스스로 합쳐진 결과이기 때문에 구체적으로 각 집단이 어떤 산림대인가를 직접적으로 연관시키기에는 주관적인 시각이 배제될 수 없을 것이다. 다만 현지 조사자료와 기존의 연구결과에 의존하여 각각의 집단에 해당하는 산림대를 경험적으로 연관시킬 수 있을 것이다. 앞의 분류결과와 비교하여 상록활엽수림과 온대남부림 그리고 온대북부림과 아고산대림과의 구분이 없어지고 그 영역도 보다 넓은 지역을 점유하고 있음을 볼 수 있다. 현지조사 통계치를 이용한 분류에서 남한 대부분의 지역을 점유하고 있던 온대중부림의 경우는 대략 고도에 따라 두 개의 집단으로 구분된 형태를 보이고 있다. 또한 이 지도는 그 동안 여러 연구자들에 의하여 표시되어 왔던 산림대 구분과 많은 유사성을 보여 주고 있고 있다.

결국 Fig. 4는 남한 전 지역을 $90 \times 90 \text{ m}^2$ 크기의 격자로 나누어 각 격자점의 지형·위치특성과 기후조건에 따라 분류된 산림대 지도이다. 이 지도에서 나타나는 각 산림대간의 경계선이나 분포에 대한 절대적 가치에 대한 논의는 다양하게 전개될 수 있으나, 그보다는 지도를 導出하는 과정에 보다 중점을 두어 방법론적인 타당성이 먼저 검토되어야 할 것이다. 즉, 분류 과정에서 밝혔듯이 분류 기준이 되는 통계치의 적합성 여부나 컴퓨터 분류기법의 종류에 따라 그 결과는 다양하게 나타날 수 있다. 다만, 산림대 구분이 학술적인 측면에서 뿐만 아니라 환경 및 자원관리 측면에서 중요한 과제의 하나로 인식된다면, 보다 객관적인 방법으로 이를 구현할 수 있는 도구의 개발도 외면할 수 없을 것이다. 많은 생태연구에 있어서 현지 조사는 예나 지금이나 반드시 필요한 과정이고, 현지조사방법에서 얻어지는 부분적인 자료를 통하여 전체를 유추하고 판단하는 과정에 있어서 지리정보시스템은 중요한 도구로 사용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 현지조사에서 얻어지는 자료일지라도 그 지점의 정확한 위치 자료를 지리정보시스템에 이미 구축되어 있는 각종 환경 인자의 공간데이터베이스와 함께 이용한다면, 그 지점과 유사한 환경 조건을

갖추고 있는 지역에서의 生態的 특성을 추정하는 데 객관성을 부여할 수 있을 것이다. 다양한 형태의 공간자료 入出力, 저장 및 관리, 그리고 분석에 있어서 많은 활용을 보이고 있는 지리정보시스템은 물리적인 공간에서의 활동을 대상으로 하는 생태학에서도 중요한 도구가 될 수 있을 것이다.

적 요

산림식생대의 분포와 밀접한 관계를 가지고 있는 지형, 위치, 기후 등의 물리적 환경인자 각각에 대하여 남한 전 지역을 $90 \times 90 \text{ m}^2$ 의 면적을 가진 격자로 나누어 각각의 격자점마다 지리적좌표와 함께 환경인자 값을 나타내는 수치지도자료가 제작하였다. 이렇게 구축된 환경인자들은 지리정보시스템의 공간데이터베이스 형태로 구축되어 현지조사에서 얻어진 위치 및 속성자료와 함께 산림대 구분을 위하여 사용되었다. 현지조사에서 얻어진 자료를 근거로 5개의 산림대와 환경인자간의 관계를 분석한 결과 산림대간의 뚜렷한 차이점을 발견할 수 있었고, 본 연구에서 GIS 공간자료로 구축한 환경인자들이 산림대 분류를 위한 요소로 사용될 수 있음을 보여주었다. 산림대의 공간적 구분은 공간자료로 입력된 환경인자들을 컴퓨터 분류기법을 이용하였는데, 현지조사에서 얻어진 통계치를 이용한 분류방법과 현지조사자료의 도움 없이 유사한 값들을 갖는 격자점끼리 스스로 뭉치게 하는 集團化 분류법을 적용하여 두 종류의 산림대 분포도를 제작하였다. 생태학 또한 물리적 공간에서의 생명 현상을 대상으로 하는 만큼 제반 공간자료를 효율적으로 구축, 관리, 분석할 수 있는 지리정보시스템은 중요한 도구로서 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구의 수행에 자료제공과 조언을 아끼지 않은 임업연구원 관계자 여러분에게 감사를 드리며, 이 연구는 부분적으로 1995년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

인용문헌

- 김종원. 1993. 우리 나라의 자연 환경 현황 분석 연구. 한국환경기술개발원 기술현황분석 보고서. KETRI /1993 /AR-09 83p.
- 신만용·윤진일. 지형-기후 관계식에 의한 제주도의 월별 기온분포의 추정. 한국임학회지 81:40-52.
- 신준환. 1996. 우리 나라의 생태지역 구분. 월간 임업정보 58:36-38.
- 이병천·이경재·이창석·신준환. 1992. 점봉산 천연림 지역의 식생군락분류 및 임분구조. 임업연보 44:1-24.
- 이병천·신준환. 1994. 덕유산 천연림지역 식생의 군락분류 및 임분구조. 임업연보 49:50-64.
- 정태현·이우철. 1965. 한국산림식물대 및 적지적수론. 성대논문집 제 10권, pp. 329-435.
- Clements, F.E. 1936. Nature and structure of the climax. J. Ecol. 24:252-284.
- Coulson, R.N., C.N. Lovelady, R.O. Flamm, S.L. Spradling and M.C. Saunders. 1990. Intelligent geographic information systems for natural resource management. In M.G. Turner and R.H. Gardner (eds.), Quantitative Methods in Landscape Ecology (Eco-

- logical Studies 82), Springer-Verlag, New York pp. 153-172.
- Goodchild, M.F., B.O. Parks and L.T. Steyaert. 1993. Environmental Modeling with GIS. Oxford Univ. Press, New York, 488p.
- Johnson, R.A. and D.W. Wichern. 1982. Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice Hall, Inc., N.J. USA. 594p.
- Lee, K.S. 1995. Spatial estimation of point observed environmental variables. Jour. of the Korean Society of Remote Sensing 11:33-47.
- Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York. USA. 750p.
- Ripple, W.J. 1987. Geographic Information Systems for Resource Management: A Compendium. ASPRS /ACSM, Falls Church, VA. USA. 287p.
- van Groenewoud, H. 1984. The climate regions of New Brunswick: a multivariate analysis of meteorological data. Can. J. For. Res. 14:389-394.
- Weibel, R. and M. Heller. 1991. Digital terrain modelling. In Maguire *et al.* (eds.) Geographical Information Systems - Principles and Applications. Longman Scientific & Technical, Essex, U.K. pp. 269-297.
- 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. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula - III. distribution of tree species along the thermal gradient. Jap. J. Ecol. 27:177-189.

(1996년 9월 3일 접수)