

임상도와 위성영상자료를 이용한 산림지역의 녹지자연도 추정기법 개발

이규성 · 윤정숙
인하대학교 지리정보공학과

Development of a Methodology to Estimate the Degree of Green Naturality in Forest Area using Remote Sensor Data

Lee, Kyu-Sung · Yoon, Jong-Suk
Inha University, Department of Geoinformatic Engineering

Abstract

The degree of green naturality (DGN) has played a key role for maintaining the environmental quality from inappropriate developments, although the quality and effectiveness of the mapping of DGN has been under debate. In this study, spatial distribution of degree of green naturality was initially estimated from forest stand maps that were produced from the aerial photo interpretation and extensive field survey. Once the boundary of initial classes of DGN were defined, it were overlaid with normalized difference vegetation index (NDVI) data that were derived from the recently obtained Landsat Thematic Mapper data. NDVI was calculated for each pixel from the radiometrically corrected satellite image. There were no significant differences in mean values of vegetation index among the initial DGN classes. However, the satellite derived vegetation index was very effective to delineate the developed and damaged forest lands and to adjust the initial value of DGN according to the distribution of NDVI within each class.

Key words: degree of green naturality, remote sensing, aerial photographs, forest stand map, GIS, vegetation index

I. 서론

녹지자연도(Degree of Green Naturality - DGN)란 일정 토지의 자연성을 나타내는 지표로서, 식

생과 토지이용 현황에 따라 녹지 공간의 상태를 등급화 한 것으로 자연환경의 이용과 보호를 위한 기본방향 설정 및 계획 수립의 기초 자료로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 지난 1980년대부터

채택된 녹지자연도는 나름대로 무분별한 개발을 억제하는 데 효과적인 수단으로서 사용되어 왔으나, 그 중요도에 비하여 조사방법의 객관성 및 자료의 신뢰도 측면에서 그 동안 많은 논란이 되었고 이에 대한 개선 방안이 꾸준히 제기되어 왔다. 녹지자연도 등급 사정은 식생의 종류 및 구성, 생육, 보전상태, 토지이용현황 등에 따라 0에서 10까지의 11등급으로 결정되는 데, 이러한 판정 기준의 상당 부분이 정량화하기 어려운 인자들이기 때문에 등급 판정이 모호한 경우가 있을 수 있다. 그러나 녹지자연도는 결국 학문적인 관점의 분류 체계가 아니라 환경관리와 직접적으로 관련된 실무 단계의 기준이기 때문에, 등급 사정과 도면 제작과정에서 보다 효율적이고 객관적인 도면 제작 방법을 요구하고 있다.

항공사진이나 위성영상자료를 이용한 식생조사 방법은 지난 수 십년 동안 꾸준히 이용되어 왔다. 원격탐사자료는 광범위한 지역을 빠른 시간에 조사할 수 있다는 장점과 함께, 현지 접근이 어려운 지역을 대상으로 식생의 공간적 분포를 파악하고 그 결과를 지도로 표현하는 데 매우 효과적인 방안으로 사용되어 왔다. 우리 나라에서도 이미 지난 1970년대 초반부터 전국적인 산림자원조사사업에서 항공사진을 이용하고 있는 데, 항공사진 판독을 통하여 임목의 수종구성, 수관밀도, 경급 등을 구획하여 임상도를 제작해오고 있다⁵⁾. 또한 우주기술의 개발과 함께 시작된 인공위성 원격탐사는 항공사진이 가지고 있던 자료획득 및 분석의 문제점을 보완하여 보다 광범위한 지역의 식생 분포에 관한 정보를 얻는 데 효율적으로 사용되어 왔다^{1) 2) 3) 8) 10) 13)}. 식생과 관련된 원격탐사 기술은 식생분류, 생육 모니터링, 식생변화 분석, 병충해에 의한 피해분석 등 다양하게 활용되어 왔다. 원격탐사 기법을 이용한 식생 조사는 넓은 지역을 대상으로 비교적 신속하게 필요한 정보를 추출할 수 있고 또한 동일한 자료분석과정을 통하여 결과물에 대한 일관성을 가지고 있기 때문

에, 녹지자연도 추정과 같이 전국적 규모의 조사에 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 그러나, 현재 원격탐사자료를 통하여 얻을 수 있는 식생 관련 정보는 영상자료의 공간해상도와 분광력(spectral resolution) 및 자료처리기법 등에 따라 여러 가지 한계가 있으며, 현지 조사방법을 대체하기까지는 기술적으로 해결하여야 할 제반 과정이 남아있다.

최근 Landsat TM 영상자료로부터 추출된 식생지수(vegetation index)와 녹지자연도를 비교 평가한 연구가 발표되었는데, 위성영상에서 녹색식물의 분광반사특성을 강조한 식생지수를 구한 후 이를 현지조사에 의하여 판정된 녹지자연도와 상관을 분석한 결과 위성영상의 시기와 지역에 따라 상관도가 다양하게 나타났다⁶⁾. 녹지자연도는 위성에서 관측될 수 있는 식물의 물리적 특성뿐만 아니라 보전상태, 자연도, 수종구성 등 인위적인 판단 기준까지 적용되기 때문에 위성영상만으로 접근하기에는 다소의 한계가 있다고 할 수 있다. 따라서 위성자료에서 관찰되는 반사신호가 녹지자연도가 가지고 있는 물리적인 등급판정 기준에 합당한가를 먼저 검토하여야 할 것이며, 아울러 우리 나라와 같은 산악지형의 위성영상에서 나타나는 경사면의 기울기나 방향에 따른 태양의 조도 차이에 의하여 발생하는 지형적 영향을 고려하여야 한다.

본 연구의 목적은 현재의 녹지자연도 등급판정 과정과 녹지자연도 지도가 가지고 있는 한계를 보완하는 측면에서, 항공사진판독을 통하여 제작된 임상도와 위성영상자료를 이용하여 보다 객관적이고 과학적인 녹지자연도 등급판정 기법과 지도제작과정을 개발하고자 하였다. 먼저 현재 1km²의 단위 격자를 세분화하여 보다 실무에 적합한 형태의 지도제작과정을 제시하고, 전국을 동일한 기준의 일관된 작업과정을 적용함으로써 다수의 조사자에 의한 주관적 판단 기준과 대상 지역의 차이에 따른 불규칙적인 기준 적용의 문

제점을 보완하고자 한다.

II. 연구방법 및 내용

녹지자연도 공간추정을 위한 접근은 먼저 항공 사진판독과 현지조사에 의하여 제작된 임상도를 이용하여 1차적인 녹지자연도 등급을 구분한 후, 최근 촬영된 위성영상을 처리하여 1차적으로 판정된 녹지자연도 등급과 구역을 조정하는 과정으로 진행되었다(그림 1). 임상도 제작에 사용된 항공사진이 이미 시기적으로 지난 자료이기 때문에 그 이후에 발생한 산지개발, 산불, 병충해 발생 등으로 인한 피복상태의 변화를 갱신하고 또한 사진판독과 도면제작과정에서의 오류를 위성영상 자료를 통하여 보정하고자 하였다.

1. 연구지역 및 연구자료

연구지역은 우선 다양한 녹지자연도 등급이 분

포하고 있는 지역을 기준으로 하여 현지 조사자료가 풍부한 지역을 대상으로 하였다. 토지이용 현황(도시, 산업기지, 생산녹지, 자연녹지, 국립공원 등) 및 녹지자연도의 다양성 등을 감안하여, 충청남북도 일부와 대전광역시를 포함하는 약 60 × 60km² 지역에 분포하는 약 20만ha의 산림을 연구 지역으로 선정하였다. 연구지역은 행정구역상 충청북도 청주시, 청원군, 음성군, 괴산군, 보은군과 충청남도 천안시, 공주시, 연기군 그리고 대전광역시를 포함하고 있다. 금강을 따라 형성된 평야지역을 제외하면, 대부분의 지역이 해발고도가 600m 이하의 비교적 저고도의 산악 지형으로 이루어져 있다. 계룡산 지역 일부와 속리산을 포함하는 충청북도 괴산군, 청원군의 일부 지역은 예외적으로 고도 600m 이상의 산악 지형으로 비교적 보전이 양호한 식생을 유지하고 있으나, 나머지 대부분의 산림은 저고도의 완만한 경사를 갖는 지형적 특성으로 인간의 접근이 용이하고 또한 주변의 도시 및 취락의 분포를 고려할 때 어

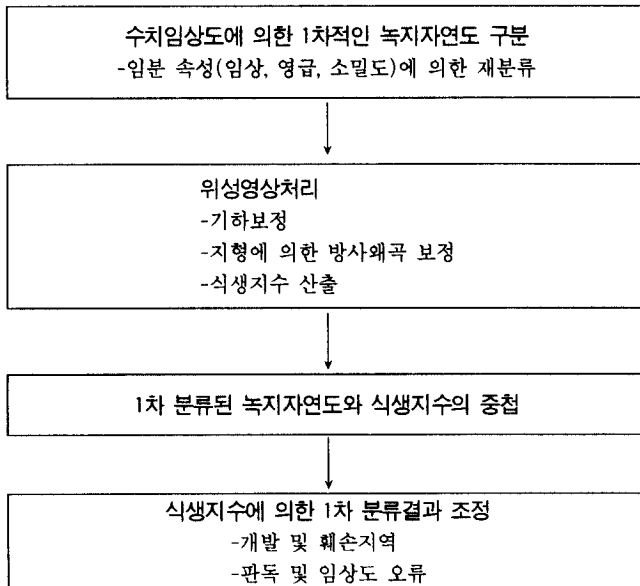


그림 1. 녹지자연도 추정을 위한 자료처리 과정

표 1. 녹지자연도 등급판정 및 지도제작을 위하여 사용된 공간자료

종 류	제작시기	자료제작 및 공급	비 고
수치임상도	1996	임업연구원	- 임상, 영급, 경급, 소밀도의 속성 포함 - 제3차 전국산림조사사업에 의하여 제작(1990, 1991년 항공사진 사용) - 1:25,000 축척 27개 도엽
위성영상자료	1996. 9. 26 촬영	Landsat 5호 TM quater scence (path 115, row 34)	- 7개 파장대역 (가시광선~열적외선)
지형도 수치지도	1997	국립지리원	등고선, 표고점, 도로, 행정구역 등을 발체, DEM 제작용

는 정도의 훼손 가능성이 높다고 할 수 있는 지역이다.

녹지자연도 등급판정을 위한 제반 공간자료의 구축은 가급적 이미 제작 완료된 수치지도자료를 최대한 이용하는 방향으로 추진하였다. 연구지역에 해당하는 공간자료로는 산림청 임업연구원에서 제작된 임상도 수치지도자료와 국립지리원에서 국가지리정보구축사업에 의하여 제작된 국가기본도 수치지도자료를 사용하였다. 그리고 최종적인 녹지자연도 등급 사정을 위한 현황자료로서 원격탐사 인공위성인 Landsat Thematic Mapper (TM) 영상자료를 처리하였다(표 1).

임상도는 우리 나라 전역의 산림에 대한 임목 자원의 분포를 보여주는 귀중한 자료로서 지난 1970년대 초반부터 산림청 임업연구원에서 제작 배포하고 있다. 본 연구에 사용된 임상도는 지난 1986년부터 1992년까지 실시된 제3차 전국산림조사사업에 의하여 제작된 것으로, 연구지역에 해당하는 충북지역은 1990년과 1991년에 촬영된 1:15,000 축척의 흑백사진을 토대로 제작된 것이다⁵⁾. 수치임상도 자료는 1:25,000 축척의 국가기본도 단위로 제작되어 있는데, 모든 임분의 위치를 선형(vector)방식의 도형(polygon)으로 입력하였고 임상, 경급, 영급, 소밀도의 속성이 첨부되어 있다. 임상은 크게 인공림과 천연림으로 나누어져 있으며, 인공림은 다시 식재된 수종에 따라서

구분된다. 천연림의 경우 보통 다양한 수종에 의하여 구성되어 있기 때문에 수종에 의한 구분보다는 침엽수혼효림, 활엽수혼효림, 침활혼효림 등으로 우점하는 비율에 따라 구분되어 있다. 영급은 임분의 평균 수령을 10년 단위로 하여 구분되어 있고, 경급은 임목의 흉고직경에 따라 소경목, 중경목, 대경목으로 나눈다. 또한 수관의 지표점 유 밀도에 따라 소, 중, 밀의 세 가지 등급으로 이루어져 있다. 인공림의 경우 임분 단위당 수목의 식재 시기가 동일한 동령림이므로 쉽게 영급을 판정할 수 있지만, 천연림의 경우 다양한 수령의 임목으로 구성된 이령림이기 때문에 임분의 영급을 판정하는 데 어려움이 있다. 일반적으로 임분의 영급은 임목들의 평균령을 구하여 판정하게 된다. 물론 임분의 평균령의 산출은 임목의 재적기준, 본수기준, 점유면적기준 등 다양한 방식으로 계산될 수 있다⁴⁾.

2. 임상도를 이용한 1차 녹지자연도 분류

현재 녹지자연도의 등급사정기준은 기본적으로 수종 구성, 임목의 평균 수령, 식생의 천이단계 등을 기본으로 하고 있다. 물론 이러한 물리적 기준 이외에도 인간의 간섭정도를 평가하여 녹지의 자연성 여부를 포함하고 있지만, 객관적인 사정기준이 다소 모호한 부분도 있어 주관적인 판정

을 배제할 수 없는 실정이다. 결국 지금의 녹지자연도 사정기준에 있어서 물리적인 요인은 대부분 임상도에 의하여 설명될 수 있는 항목이므로, 1차적인 녹지자연도 등급은 임상도 속성에 따라 어느 정도 판정될 수 있다. 다만 임상도는 산림만을 대상으로 한 구획이므로 녹지자연도의 등급으로는 6 - 9 등급에 해당하는 지역만을 포함하게 된다.

임상도에 의한 녹지자연도 등급사정은 임분의 세 가지 속성에 따라 계층적 분할 방식에 의하여 실시되었는데, 하나의 속성 기준에 의하여 분류된 그룹들에 대하여 또 다른 속성 기준을 적용하면서 등급을 세분해 나가는 과정을 채택하였다(그림 2). 먼저 임상(수종)에 따라 인공림, 천연림, 그리고 무림목지로 크게 구분하였다. 임상 속성에서 교목의 울폐도가 30% 이하인 무림목지에 해당하는 벌채적지, 미임목지, 황폐지, 초지, 경작지, 기타제지, 임간나지 등은 녹지자연도 등급 사

정에서 제외하였다.

임상 속성의 부호가 P(plantation)로 시작하는 인공림은 지난 60년대부터 시작된 산지녹화사업에 의하여 조성된 산림으로서 대표적인 조림수종인 리기다소나무, 잣나무, 낙엽송이 주를 이루고 있다. 이렇게 인공적으로 조성된 산림은 지난 수십년 동안의 산림보호정책에 힘입어 이제는 천연림에 버금가는 울창한 숲으로 형성되어 각종 야생 동식물의 서식처로서 환경적 가치를 가지고 있다. 그러나 현재의 녹지자연도 등급사정 기준은 이러한 인공림에 대해서는 특별한 논의 없이 6등급으로 분류하는 것을 원칙으로 하고 있으므로, 임상도에 인공림으로 분류된 임분은 모두 6등급으로 처리하였다.

최종적인 녹지자연도 등급 사정과 구역 설정은 비교적 최근의 위성영상에서 추출되는 정보에 의하여 결정되기 때문에, 임상도를 이용한 1차적 등급 판정은 7, 8등급에 중점을 두었다. 천연림에

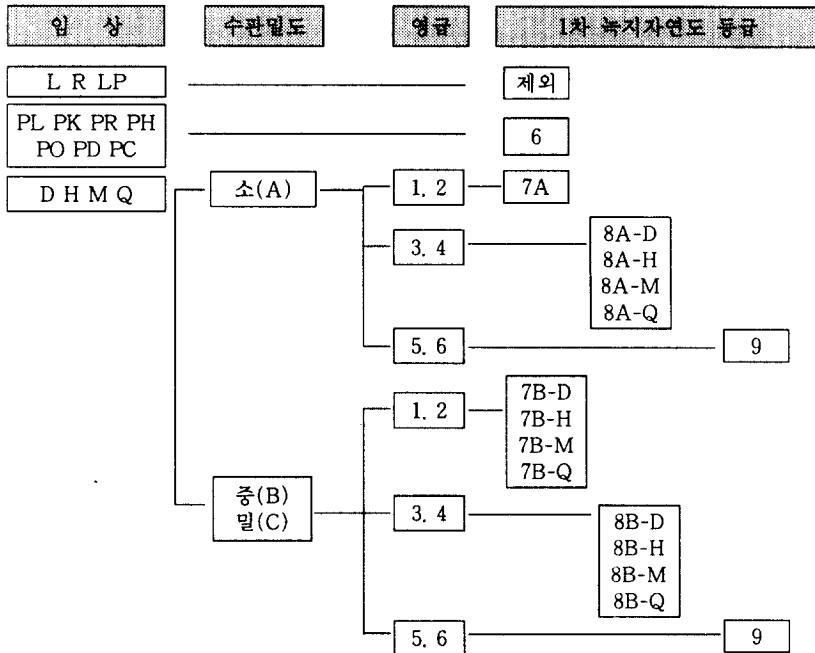


그림 2. 임상도를 이용한 1차적 녹지자연도 등급 분류 단계

해당하는 산림은 다양한 수종이 혼합되어 있으므로 일반적으로 어느 특정 수종에 의한 분류보다는 침엽수림, 활엽수림, 침활혼효림 등의 임상으로 분류한다. 그러나, 연구지역을 포함하여 우리나라의 대부분 산림에 분포하는 중요 침엽수종은 소나무(*Pinus densiflora*)이므로 소나무가 우점하는 천연림의 경우 임분을 수종에 따라 침엽수림이 아닌 소나무림으로 분류하고 있다. 또한 활엽수의 경우도 매우 다양한 활엽수종으로 구성되어 있는 것이 일반적이나, 참나무류(*Quercus*)가 우점하고 있는 경우에는 활엽수림이 아니라 참나무림으로 별도 구분하여 임분을 분류하고 있다. 결국 녹지자연도 7등급 이상에 해당하는 임분은 천연림 지역에 해당하는데 본 연구지역에서 나타나는 천연림 임분은 소나무림(D), 활엽수혼효림(H), 침활혼효림(M), 그리고 참나무림(Q)의 네 종류가 있다.

임상에 의하여 천연림 지역을 7등급 이상으로 분류하였고, 다음 단계의 분류는 수관의 지표점유율을 나타내는 수관밀도(50% 이하와 이상)로 나누었다. 수관밀도가 50% 이하인 산림은 인위적인 훼손이 많거나, 암석지 등으로 녹지의 자연도가 떨어지는 지역으로 판단되었다. 수관밀도에 의하여 나누어진 임분들은 다시 임목의 평균 수령에 기초한 영급을 기준으로 하여 한 단계 더 세분하여 1차적인 녹지자연도 등급이 부여되었다. 녹지자연도 7, 8등급 구분을 위한 사정기준에 있어서 중요한 인자는 임목의 수령이다. 임분의 평균수령 20년을 경계로 하여 7등급과 8등급을 구분하고 있는 데, 임상도는 이러한 기준에 부합되는 영급 속성을 가지고 있다. 각 임분의 평균수령을 10년 단위로 하여 구분된 영급에 따라 20년생 미만인 1, 2영급과 21년에서 40년생까지의 3, 4영급, 그리고 41년생 이상인 5, 6영급으로 나누어 1차 녹지자연도 등급을 세분하였다. 이상과 같이 임상, 수관밀도, 영급에 따라 무림목지를 제외하고 14개 세부등급으로 구획되었다.

3. 위성영상자료에 의한 등급 조정

1) 영상자료의 전처리

본 연구에서 사용한 위성영상자료는 Landsat 5호 위성에서 획득한 TM영상으로, 대부분의 수목이 연중 최고의 생장을 이룬 시점이고 또한 잎이 변색하기 이전의 상태를 보여주는 9월의 영상을 선정하였다. 임상도에 의한 1차적인 녹지자연도 분류결과를 보정하기 위해서는 먼저 위성영상자료가 가지고 있는 왜곡 현상을 보정하는 제반의 전처리(preprocessing) 과정을 적용하였다. 전처리는 지구자전, 위성의 궤도, 지형 등에 의하여 발생한 영상의 기하학적인 왜곡을 보정하여 지도좌표에 등록하는 기하보정(geometric correction)과 영상을 구성하는 각각의 화소값(pixel value)에 영향을 미친 외적요인(태양의 위치, 경사면의 방향에 따른 수광량의 차이)을 최소화하는 광학적 보정(radiometric correction)으로 나누어 실시되었다. 기하보정은 영상과 지도에서 함께 확인할 수 있는 총 27개의 기준점(GCP - ground control points)을 이용하여 좌표변환식을 산출하였다. 좌표변환식은 평균제곱근오차가 0.5화소 이내로 영상이 등록되도록 설정되었고, 이 식을 통하여 원래 영상의 화소가 지도좌표에 맞도록 재배열하였다.

위성영상은 센서에서 감지하는 지표물의 반사신호를 바탕으로 이루어지므로 센서와 광원의 위치와 목표물 상태에 따른 기하학적인 영향을 받게 된다. 특히 우리나라와 같이 대부분의 임분이 산악지형에 위치한 경우 경사도와 사면의 방위에 따라서 동일한 속성의 임분이라도 매우 다양한 반사도 보이게 된다. 그러므로 동일한 토지 또는 산림 피복 상태라 할지라도 이런 지형적인 영향에 따라서 화소값의 범위는 매우 다양하게 나타나게 되므로 산림의 물리적 특성에 관한 정확한 정보를 추출하는데 많은 어려움을 줄 수 있다. 이

와 같이 산악지형에 있어서 태양의 위치에 따른 지형의 영향을 최소화하여 임목에서 반사된 순수한 신호 값을 복원하기 위한 방사보정을 실시하였다. 본 연구에서 적용한 방법은 수치고도자료(DEM)를 이용하여 각 화소점의 지형인자(slope, aspect)와 태양이 이루는 기하학적 관계를 정확히 계산한 뒤 산림에 해당하는 화소에 미친 영향을 최소화하는 방법이다^{9) 11)}. 이 방법은 기존의 방법들과는 달리 산림과 같은 표면의 불규칙적인 반사특성을 기반 가정으로 하여 실시되는 광학적 보정기법이며, 이에 대한 상세한 내용은 선행 연구에 설명되어 있다⁹⁾.

2) 식생지수 산출

식생지수(vegetation index)는 다중 파장영역의 영상자료로부터 식생의 분포와 상태 등을 효과적으로 보여주기 위하여 고안된 영상처리 기법으로, 식물의 생체량(biomass), 생산량(productivity), 엽면적 지수(leaf area index), 광합성복사량(photosynthetically active radiation) 등과 밀접한 관계를 가진 지표로서 알려져 있다^{7) 13)}. 식생지수는 가시광선과 적외선 파장영역에서 나타나는 식물의 반사특성을 산술적으로 조합하여 하나의 수치로 나타낸 결과인데, 여러 가지 식생지수 알고리즘 중 가장 일반적으로 사용되는 정규식생지수(normalized difference vegetation index - NDVI)를 사용하였다.

본 연구에서는 지형에 의한 방사왜곡을 DEM을 통하여 보정한 TM영상에서 적색광 파장에 해당하는 밴드 3과 근적외선 파장대의 밴드 4를 이용하여 식생지수를 계산하였다. NDVI 영상은 -1에서 1까지의 소수값을 갖게 되는데 자료의 처리를 간편하게 하기 위하여 NDVI값에 1을 더한 뒤 100을 곱하여 0부터 200까지의 정수값을 갖게 변환하였다.

3) 식생지수에 의한 녹지자연도 등급 조정

임상도에 표시된 각 임분의 속성에 따라 1차적인 녹지자연도 등급이 구분되었으나 임상도의 제작시기에 따른 피복 변화와 제작과정에서 나타날 수 있는 오류 등을 감안하여, 비교적 최근에 촬영된 위성영상자료로부터 처리된 식생지수에 의하여 1차적으로 구분된 등급의 구역을 조정하였다. 임상도는 이미 6 - 7년 전에 제작되었기 때문에 그 동안 농지, 택지, 산업용지 등 타 용도로 전용되었거나, 또는 병충해나 산불 등에 의하여 심한 훼손을 입은 경우가 있을 것이다. 이와 같이 산림의 식생이 제거되었거나 급격한 변화가 발생한 지역은 간단하게 NDVI 값을 비교함으로써 찾아낼 수 있었다. 또한 항공사진판독, 도면이사, 도면의 디지털라이징 등 임상도 제작과정에서 발생할 수 있는 오류로 인하여 산림이 아닌 지역이 임상도에 포함되어 있는 경우도 있는 데, 이러한 오류 역시 NDVI값을 통하여 발견하였다. 임상도 제작시점 이후 현재까지 임목의 성장을 감안한다면 녹지자연도가 한 등급 상향 조정될 수 있는 임분도 많이 있을 수 있으며, 반면에 입지환경적인 요인에 의하여 생육에 영향을 받은 임분의 경우 임상도에 의한 녹지자연도 등급보다 한 등급 아래인 경우도 있을 것이다. 이와 같이 동일한 등급내에서 소규모로 분포할 수 있는 국소적인 임분의 공간적 변이를 식생지수값을 통하여 구분해냄으로써, 녹지자연도 등급을 한 단위 상위 또는 하위 등급으로 조정하고자 하였다.

이와 같이 임상도의 제작 시점 이후의 변화와 임상도가 가지고 있는 오류를 보정하여 보다 최신의 식생현황을 정확하게 나타내는 녹지자연도 등급을 구획하고자 Landsat TM자료를 처리하여 얻어진 식생지수자료와 임상도에 분류된 1차적 녹지자연도를 중첩 분석하였다. 먼저 임상도에 의하여 1차 구획된 녹지자연도 도형자료를 식생지수 영상 위에 중첩한 뒤 각 등급별 식생지수에

대한 통계치를 분석을 하였고, 영상판독과 현지 조사에 의하여 결정된 등급별 임분에 해당하는 NDVI값을 적용함으로써 최종적인 등급을 조정하였다.

III. 결과 및 고찰

임상도에 의하여 1차적으로 분류된 녹지자연도 등급별 NDVI의 차이를 분석한 결과 일부 세부등급을 제외하고는 전체적으로 등급간 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났다(표 2). 연구에 사용된 TM영상자료가 9월 하순의 영상이기 때문에 수목의 잎이 변색되기 이전의 시기임을 감안한다면, 위성영상에서 얻어진 식생지수가 임분의 울폐도 및 수관의 상대적 엽량과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 녹지자연도 구분의 기준이 되는 임분의 평균연령과 어느 정도 관계를 기대할 수 있다. 그러나 식생지수는 엽량 외에도 임분의 수종 구성, 수관층의 밀도, 지피 상태에 따라 크게 영향을 받을 수 있다.

임상도에 의하여 분류된 세부 등급별 통계치를

보면 일반적으로 침엽수림이 활엽수림에 비하여 낮은 식생지수를 보여주고 있으며, 대부분이 침엽수종으로 이루어져 있는 인공림(등급 6)의 경우 식생지수값이 가장 낮게 나타나고 있다. 소나무가 우점하는 천연림에서, 비교적 어린 임령의 등급(7B-D)이나 III등급 이상의 등급(8B-D)에서 식생지수의 값이 거의 동일하게 나타나는 것을 알 수 있는데 이는 수관밀도가 50% 이상인 경우 나무의 크기(또는 영급)가 식생지수에 큰 영향을 미치지 않음을 나타낸다. 즉 우리 나라 산림과 같이 임목의 밀도가 높아서 수관층의 엽량이 일정 수준 이상으로 밀집되어 있을 경우 식생지수값이 한계에 도달하여 더 이상 증가되지 않는다는 것을 의미한다. 한편 비교적 동일한 수종으로 이루어진 참나무림의 경우 다른 등급이나 수종에 비하여 높은 식생지수를 보여주고 있다.

소나무림과 참나무림을 제외한다면 활엽수혼효림과 침활혼효림에 있어서는 비록 그 차이가 미미하지만, 대체로 영급이 증가할수록 그리고 수관밀도가 높아질수록 식생지수가 높게 나타나고 있다. 그러나 세부등급별 NDVI 평균값의 미세한

표 2. 임상도 속성에 따라 분류된 1차적인 녹지자연도의 세부등급별 식생지수

녹지자연도	세부등급	임 분 속 성	식생지수(NDVI)	
			평균	표준편차
6	6	수종에 관계없이 모든 인공림	1429	95
7	7A	수종에 관계없이 수관밀도가 50% 이하인 II영급 산림	1463	106
	7B-D	수관밀도가 50% 이상인 II영급의 소나무우점 천연림	1450	90
	7B-H	수관밀도가 50% 이상인 II영급의 활엽수혼효림	1463	105
	7B-M	수관밀도가 50% 이상인 II영급의 침활혼효림	1460	104
	7B-Q	수관밀도가 50% 이상인 II영급의 참나무우점 천연림	1570	63
8	8A-D	수관밀도가 50% 이하인 III, IV영급의 소나무우점 천연림	1490	79
	8A-H	수관밀도가 50% 이하인 III, IV영급의 활엽수혼효림	1433	107
	8A-M	수관밀도가 50% 이하인 III, IV영급의 침활혼효림	1467	106
	8B-D	수관밀도가 50% 이상인 III, IV영급의 소나무우점 천연림	1456	88
	8B-H	수관밀도가 50% 이상인 III, IV영급의 활엽수혼효림	1486	96
	8B-M	수관밀도가 50% 이상인 III, IV영급의 침활혼효림	1471	95
	8B-Q	수관밀도가 50% 이상인 III, IV영급의 참나무우점 천연림	1551	75
9	9	수종, 수관밀도에 관계없이 V영급 이상 산림	1504	87

차이와 편차를 감안한다면, 식생지수만으로 녹지자연도 등급을 구분한다는 것은 용이하지 않을 것이다. 식생지수는 임목의 수관층에서 반사되는 신호값을 기준으로 계산된 만큼 나름대로 임목의 상대적 크기나 밀도 등과 관계가 있을 수 있으나, 임목의 크기이외에도 수종구성, 자연도 등 녹지자연도 분류등급 기준에 관한 특성을 제대로 대표하기에는 분명 한계가 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 사용된 TM과 같은 현재의 위성영상만을 이용하여 녹지자연도 등급을 정확히 분류한다는 것은 한계가 있다고 판단되며, 향후 분광해상력과 공간해상도가 향상된 차세대 위성영상자료를 이용한 분석에 기대를 걸어본다.

위의 표 2에서 보듯이 단지 식생지수만을 이용하여 녹지자연도 등급을 정확히 구분할 수는 없지만 식생지수를 이용하여 임상도 제작 시점 이후에 발생한 산지개발 및 산불 등과 같이 변화가 발생한 지역을 갱신하고 항공사진판독, 도면제작, 수치지도화 과정에서의 오류를 보정할 수 있었다. 아래 그림 3은 임상도에 의하여 1차 분류된 몇몇의 녹지자연도 세부등급 구역내에 있는 식생지수의 히스토그램을 보여주고 있다. 이 히스토그램에서 보듯이 각 세부등급은 동일한 임분 속성을 가지고 있음에도 불구하고 평균값을 중심으로 편차를 보이는 것은 하나의 등급내에서도 이미 개발되어 산림이 아닌 지역을 포함하고 있고 또한 일부 지역은 그 등급의 평균보다 월등히 우

량한 임분구조를 가지고 있다는 것을 의미한다.

일반적으로 나지, 도로, 개발지역 등은 가시광선과 근적외선 파장영역에서 모두 높은 반사도를 보이고 있기 때문에 NDVI 값은 0(본 연구에서 변환된 값으로 100)에 가까운 값을 갖게 된다. 산림에서 식생이 완전히 제거된 지역뿐 아니라 대규모의 벌채나 산불 등의 훼손으로 더 이상 임목 지로서의 기능이 상실된 무림목지는 당연히 5등급 이하의 녹지자연도에 해당되게 된다. 이러한 무림목지에 해당하는 지역은 비록 수목은 없지만 상당량의 초분류는 존재할 수 있기 때문에 NDVI 값은 100보다는 다소 큰 값을 가질 수 있다. 개발 및 훼손된 지역에 해당하는 식생지수의 값은 NDVI영상과 방사보정된 칼라합성영상을 동시에 화면에 출력시킨 후 직접 지표상태와 식생지수값을 주의 깊게 비교 관찰한 결과, 개발지, 나지, 도로 등은 거의 100에 가까운 값을 갖고 있음을 알 수 있었고, 기타 벌채지 또는 산화지역의 경우 식생지수의 값이 100보다 다소 크게 나타나고 있었다. 이와 같이 영상판독을 통하여 산림에서 7등급 이상의 녹지자연도 산정에 제외되어야 할 개발지 및 무림목지에 해당하는 식생지수 값은 대략 135 이하로 나타났다.

임상도 제작 과정에서 항공사진판독이나 판독 결과를 지도에 이사하는 과정에서 산림이 아닌 지역이 산림으로 잘못 표시되는 오류가 있을 수 있는 데, 이러한 제작과정의 오류 지역 역시 식생

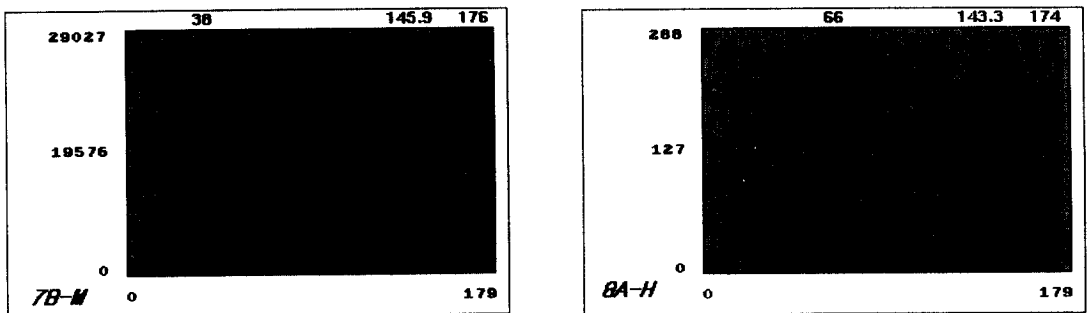


그림 3. 1차적으로 구분된 녹지자연도 세부등급별 식생지수의 히스토그램

지수에 의하여 갱신되었다. 이와 같이 전형적인 산림에 해당하는 NDVI 값보다 절대적으로 낮은 비산림지역을 찾아내어 녹지자연도 등급을 갱신한 결과, 임상도에 의하여 7등급 이상으로 구획되었던 산림 중 12%(23,498ha)에 해당하는 지역이 5등급 이하의 지역으로 갱신되었다. 표 3은 임상도에 의하여 구분된 1차 등급에서 개발지 및 무림목지로 판정된 지역의 면적을 보여주고 있는데, 개발 및 훼손은 비교적 어린 영급의 임분에서 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

식생지수만으로 녹지자연도 등급을 분류한다는 것을 무리라 할 수 있지만, 단일의 속성을 가진 임분내에서 건강하고 울창한 부분과 그렇지 않은 부분의 상대적인 차이는 식생지수를 통하여 구분될 수 있을 것이다. 위의 그림 3에서도 볼 수 있듯이 임상도에 의하여 구획된 단일의 녹지자연도 세부등급내에서 식생지수 값의 분포는 평균값을 중심으로 좌우가 대칭인 정규분포에 준하고 있다. 따라서 동일한 세부등급내의 산림에서도 비

교적 상태가 우량하거나 불량한 부분을 식생지수를 통하여 구분하였다. 임상도 제작을 위한 항공사진 판독에 있어서 임분 구획을 위한 최소 단위 면적은 1ha이지만, 일반적으로 수십 ha이상의 면적으로 구획되어 있다. 그러나 판독과정에서 단일의 임분 내에 위치하고 있는 수종구성, 밀도, 영급 등이 상이한 1ha 미만의 소규모 임분이 혼재될 수 있다. TM위성영상의 경우 영상을 구성하고 있는 화소의 단위 면적이 30×30m²이기 때문에 수 ha에서 수십 ha까지의 단위로 구획된 임상도 임분 단위에 비하여 비교적 세부적인 수관상태를 구분할 수 있게 된다. 임상도에 의하여 1차로 판정된 동일한 등급내에서 비교적 수관밀도가 높고 건강한 숲은 그 등급의 평균에 비하여 높은 식생지수를 갖게 되며, 생장이 불량하거나 어느 정도 훼손이 있는 숲의 경우는 비교적 낮은 식생지수를 갖게 된다. 각각의 세부등급 구역내에서 식생지수의 분포를 고려하고, 또한 영상자료에서 식생지수에 상응하는 지점을 직접 판독해

표 3. 위성영상 식생지수에 의한 1차 판정 등급의 갱신 및 조정

임상도에 의한 1차 판정 등급			위성영상 식생지수에 의한 등급 조정 (면적:ha)			
등급	세부등급	면적(ha)	개발 훼손지	7등급	8등급	9등급
7	7A	6,233.7	859.9	2,986.5	2,387.3	0
	7B-D	14,334.9	1,861.1	7,739.9	4,733.9	0
	7B-H	50,934.4	6,584.9	27,222.8	17,126.7	0
	7B-Q	44.9	0.4	25.7	18.8	0
	7B-M	47,897.6	6,443.8	24,163.5	17,290.3	0
	소 계	119,445.5	15,750.1	62,138.4	41,557.0	
8	8A-D	302.3	17.0	67.8	217.5	0
	8A-H	557.4	107.1	49.1	401.2	0
	8A-M	220.4	28.7	22.1	169.6	0
	8B-D	16,941.9	1,944.3	1,190.7	13,412.3	394.6
	8B-H	33,652.8	3,162.3	4,690.7	25,423.6	376.2
	8B-M	22,196.3	2,365.1	1,808.8	17,777.2	245.2
	8B-Q	236.3	3.0	0	233.3	0
	소 계	74,107.4	7,627.5	7,829.2	57,634.7	1,016.0
9	9B	2,529.2	120.1	0	0	2409.1
합 계		196,082.1	23,497.7	69,967.6	99,191.7	3,425.1

나가면서 한 등급 상향 또는 하향 조정될 수 있는 식생지수값의 범위를 결정할 결과 임상도에서 1차로 분류되었던 원래의 등급에서 한 등급 상향 또는 하향 조정된 부분의 면적이 등급에 따라 40%에 달하기도 하였다(표 3).

수관밀도가 50% 이상이고 기존의 영급이 II영급이었던 7등급에 해당하던 1차 그룹의 임분 중 상당 부분이 8등급으로 조정되었음을 볼 수 있다. 천연림의 경우 10년생 미만인 1영급이 거의 존재하지 않으므로 임상도 제작당시 대부분 11-20년생 사이의 II영급이었고 따라서 임상도 속성에 따라 7등급으로 분류되었지만, 항공사진 촬영시기보다 6-7년 이후인 현재 시점에서 얻어진 위성자료에서 분석된 식생지수값을 이용하여 등급조정을 한 결과 생장이 활발하고 건강한 성림을 이룬 숲은 8등급으로 상향 조정되었다. 그림 4는 임상도를 이용하여 1차적으로 구분하였던 녹지자연도 7, 8, 9등급이 위성영상을 처리하여 얻어진 식생지수를 중첩하여 변화된 부분을 조정한 최종 결과를 보여주고 있다. 전체 산림의 60% 이상은 식생지수를 중첩하여 조정된 이후에도 1차 분류등급과 동일하게 나타나고 있다. 임상도에 의하여 7등급으로 분류되었던 부분 중 약 41,500ha가 8등급으로 상향 조정되었는데, 이러한 차이의 대부

분은 임상도 제작시기 이후의 임목 성장으로 설명될 수 있을 것이다.

산지개발 및 훼손으로 인하여 변화된 지점을 찾아내어 갱신하거나 또는 단일 임분내에서 등급 조정을 위한 식생지수값의 결정은 사용되는 위성 영상의 시기와 판독자의 주관에 따라 달라질 수 있게 된다. 임상도로 1차 구획된 녹지자연도 구역을 조정하거나 등급을 상하향 조정하기 위한 절대적 식생지수값을 제시한다는 것은 매우 어려운 일이다. 즉 사용되는 위성영상의 종류, 시기, 처리 방법 등에 따라 무수히 많은 기준값이 제공되어야 하는데, 이와 같은 절대적 기준을 결정하는 것 보다는 오히려 위성영상의 올바른 처리과정을 통하여 얻어진 식생지수와 현지조사자료를 병행하여 등급을 조정하는 경험적인 방법이 보다 적합하리라 판단된다. 본 연구에서도 지형의 효과를 최소화하는 방사보정을 거친 영상에 나타나는 임분의 상대적인 밝기와 색조 등을 감안하고, 현지조사에 의하여 확인된 산림에 상응하는 식생지수값을 판별 구획하였기 때문에 하나의 세부등급내에서의 우량한 임분과 그렇지 않은 임분을 구획할 수 있었다.

다음 그림 5는 1:25,000 축척 임상도 한 도엽에 해당하는 지역으로 임상도만으로 1차 구획된 녹지자연도 분포와 위성영상에서 추출된 식생지수를 이용하여 비산림지를 찾아 갱신하고 등급을 조정한 결과를 보여주고 있다. 전체적인 녹지자연도 등급별 분포패턴을 거의 동일하지만, 식생지수에 의하여 등급조정이 된 지도에서는 각각의 임분 구역내에서 식생지수값에 의하여 부분적으로 등급의(5등급 이하)로 갱신되었거나 한 등급이 상향 또는 하향 조정되었기 때문에 등급 구획에 미세한 차이점을 볼 수 있다. 지도에서도 볼 수 있듯이 등급이 조정된 부분은 대규모 면적으로 발생하지 않았고, 대개 소수의 화소들로 이루어진 소규모 면적으로 나타남을 볼 수 있다.

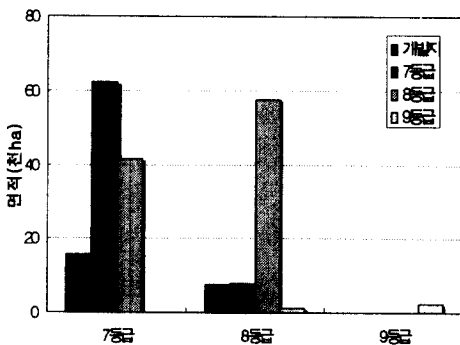


그림 4. 위성영상처리 결과 얻어진 식생지수에 의한 임상도 1차 분류등급 조정 결과

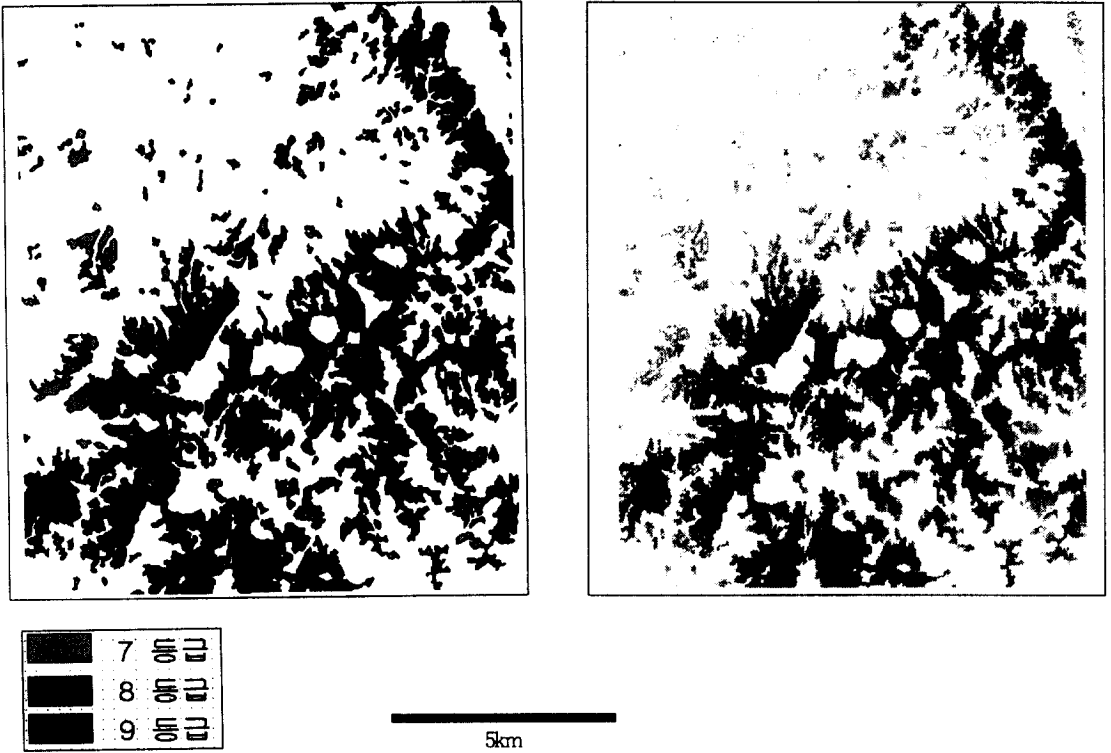


그림 5. 임상도에 의한 1차 등급판정 결과(좌)를 위성영상에서 산출된 식생지수에 의하여 등급조정 후의 결과 (우)(1:25,000 축척 지형도 한 도엽에 해당, 도엽명: 충북 보은 미원)

IV. 결 론

녹지자연도 지도에 대한 문제점이 꾸준히 제기 되어 왔지만, 그 동안 나름대로 무분별한 개발억 제를 위한 효과적인 수단으로 사용되어 왔음을 부인할 수 없다. 지금의 녹지자연도 등급사정 기준에도 개선되어야 할 점들이 있지만, 그보다는 오히려 다수의 현지조사자에 의한 주관적인 등급 판정과 적절치 못한 도면제작에서 오는 일관성 결여가 보다 시급히 해결하여야 할 문제이다. 자연식생에 대한 인위적인 분류는 조사자의 관점에 따라 주관적일 수밖에 없는 근원적인 한계를 가지고 있다면, 현재 녹지자연도의 문제점을 해결 하기 위해서는 보다 과학적인 판정 기준을 마련 하고 그러한 기준을 전국적으로 일관된 작업과정

을 적용함으로써 객관성을 확보해야 할 것이다.

녹지자연도 6등급 이상에 해당하는 산림 지역 은 전 국토의 60% 이상을 점유하고 있고, 산림의 상태와 공간적 분포에 대하여 현존하는 가장 정 확한 자료인 임상도를 적극 활용하는 방안이 필 요하다. 임상도가 비록 녹지자연도 사정과 관련 된 식물사회학적 상태를 직접적으로 표현하지 않 지만, 녹지자연도 등급 사정의 기준이 되는 개략 적인 종구성, 임분의 평균년령, 수관밀도 등에 관 한 기본적 속성을 가지고 있기 때문에 이러한 자 료를 최대한 활용하는 관점에서 접근하여야 할 것이다. 아울러 향후의 임상도 제작에 있어서 산 립 식생의 생태적 상태를 나타낼 수 있는 방향으 로 조사 범위를 확대하는 방안도 고려되어야 할 것이다.

녹지자연도 등급 판정을 위하여 임상도를 기본적으로 활용하되, 임상도 제작시점 이후의 인위적인 변화가 발생한 부분과 임상도가 가지고 있는 오류를 조정할 수 있는 방안으로는 최신의 위성영상자료를 활용하는 방안이 적합하리라 판단된다. 위성영상자료에서 산출되는 식생지수에 전적으로 의존하여 녹지자연도를 직접적인 판정해 내기 위해서는 선행되어야 할 여러 가지 한계를 내포하고 있다. 녹지자연도는 인위적인 분류 기준을 많이 포함하고 있기 때문에 식생에서 반사되는 물리적인 분광반사특성에 기인한 식생지수만을 의존할 수는 없을 것이다. 따라서 녹지자연도 산정에 식생지수를 직접적으로 적용하기에는 어려움이 많지만, 임상도에 의하여 1차적으로 분류된 등급내에서 개발 및 훼손 지역이나, 생장의 차이에 따른 변이를 찾아냄으로써 등급조정을 위한 수단으로 사용될 수 있다.

현재의 위성영상에 의하여 녹지자연도를 직접적으로 구분하기에는 아직 한계가 있지만, 최소한 산림과 비산림을 구분하거나 동일한 속성의 단위 입분에서 나타날 수 있는 수관의 미세한 차이 등을 구분할 수 있기 때문에 임상도에 의하여 구획된 1차적인 녹지자연도를 갱신하고 보정하는데 큰 어려움 없이 적용될 수 있다고 판단된다. 위성영상자료와 수치임상도를 이용한 녹지자연도 추정은 등급사정에 있어서 객관성을 기할 수 있다는 장점이외에도, 도면제작의 효율성을 꼽을 수 있다. 아무리 훌륭한 현지조사방법과 등급판정기준이 마련되어도, 최종적인 활용은 결국 도면에 의존하게 된다.

본 연구에서는 위성영상자료를 처리하여 얻어진 식생지수에 의하여 임상도로 판정한 1차 등급을 조정하였으나, 그 결과에 대한 객관적인 정확도를 검증하는 과정이 결여되어 있다. 먼저 임상도를 입분 속성에 따라 재분류하여 얻어진 1차적인 녹지자연도 등급 판정에 대한 검증이 이루어져야 할 것이며, 더 나아가 위성영상을 처리하여 얻

어진 식생지수에 의한 최종 등급 조정결과에 대한 정확도도 함께 추정되어야 할 것이다. 원격탐사기법을 이용한 녹지자연도 제작이 실무적인 입장에서 채택되기 위해서는 무엇보다 먼저 객관적인 정확도 검증을 실시하여 미비점이 보완되어야 하며, 정확도 추정은 각 등급의 구획에 대한 위치 정확도와 최종 판정된 등급에 대한 주제정확도를 함께 추정할 수 있는 검증 방법에 대한 추가 연구가 요망된다.

사 사

본 연구는 1997년 인하대학교 교내연구비와 환경부 학술연구용역에 의하여 수행되었음을 밝히며, 연구 수행에 있어서 기반 자료로 사용된 수치임상도를 기꺼이 제공해 주신 임업연구원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김갑덕, 김철민, 이승호, 1991, Landsat TM 데이터와 지형정보를 이용한 산림의 잠재 식생 분포에 관한 연구, 한국임산에너지학회지, 11(1): 45-63.
2. 안기원, 이효성, 서두천, 1997: 인공위성 화상 데이터를 이용한 솔겉질각지벌레 피해지역의 추출기법에 관한 연구, 한국측지학회지, 15(2): 287-298.
3. 이규성, 이병천, 신준환, 1996. 환경인자의 공간분석을 통한 남한지역의 산림식생대 구분: 지리정보시스템(GIS)에 의한 접근, 한국생태학회지, 19(5): 465-476
4. 이여하, 1989. 측수학 요론, 기전연구사.
5. 임업연구원, 1992. 산림자원조사보고서(충청북도 기본계획 구), 임업연구원 연구자료 제69호
6. 한의정, 김명진, 홍준석, 서창완, 1997: 식생지수와 녹지자연도의 비교평가, 환경영향평가,

- 6(2): 181-188.
7. Jensen, J.R., 1996. *Introductory Digital Image Processing*. 2nd Ed., Prentice Hall, NJ, 316pp.
 8. Lee, Kyu-Sung, 1994. Vegetation Cover Type Mapping Over The Korean Peninsula Using Multitemporal AVHRR Data, *Journal of Korean Forestry Society*, 83(4): 441-449.
 9. Lee, Kyu-Sung, Yoon, Jung-Sook, 1997. Radiometric correction of terrain effects for SPOT and Landsat Thematic Mapper imagery in mountainous forest area, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 13(3): 277-292.
 10. Lee S. H., 1997. Multitemporal classification of Texas AVHRR imagery using Harmonic Components, *Proceedings of Int. Symposium on Remote Sensing*.
 11. Leprieur, C.E. and J.M. Durand, 1988. Influence of Topography on Forest Reflectance Using Landsat Thematic Mapper and Digital Terrain Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54:491-496.
 12. Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer, 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, NY, USA
 13. Park, C. H., D.J. Suh, and C.W. Suh, 1996. An Evaluation of the Green Belt of Seoul Metropolitan Region by Utilizing NDVI Derived from TM Data, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 12(3):245-256.