

극궤도 기상위성 자료를 이용한 한반도의 지면피복 분류

서명석^{1,*} · 곽종흠¹ · 김희수² · 김맹기¹

¹공주대학교 대기과학과, 314-701 충남 공주시 신관동 182

²지구과학교육전공, 314-701 충남 공주시 신관동 182

Classification of Land Cover over the Korean Peninsula Using Polar Orbiting Meteorological Satellite Data

Myoung-Seok Suh^{1,*} · Chong-Heum Kwak¹ · Hee-Soo Kim² · Maeng-Ki Kim¹

¹Department of Atmospheric Science, Kongju National University, Kongju, 314-701, Korea

²Earth Science Education Major, Kongju National University, Kongju, 314-701, Korea

Abstract: The land cover over Korean peninsula was classified using a multi-temporal NOAA/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) data. Four types of phenological data derived from the 10-day composited NDVI (Normalized Differences Vegetation Index), maximum and annual mean land surface temperature, and topographical data were used not only reducing the data volume but also increasing the accuracy of classification. Self organizing feature map (SOFM), a kind of neural network technique, was used for the clustering of satellite data. We used a decision tree for the classification of the clusters. When we compared the classification results with the time series of NDVI and some other available ground truth data, the urban, agricultural area, deciduous tree and evergreen tree were clearly classified.

Key words: land cover classification, NOAA/AVHRR, NDVI, SOFM, decision tree

요약: 이 연구에서는 극궤도 기상위성인 NOAA/AVHRR 시계열 자료를 이용하여 한반도의 지면 피복을 분류하였다. 일주기 기상위성자료로부터 구름이 없는 상태의 지면상태 자료를 획득하기 위하여 10일 간격 최대치 합성법 자료를 작성하였으며 27개의 10일주기 식생지수 자료들(겨울철 12, 1, 2월 자료 9개 제외)로부터 4개의 식생 계절성 자료를 작성하였다. 또한 위성자료로부터 분석한 연 최고 및 연평균 지면온도, 그리고 지형고도 자료를 이용하였다. 각 지면 피복에 대한 특성 자료 수집이 어렵기 때문에 여기서는 2단계 무감독 분류법을 이용하였다. 즉, 초기 입력자료는 신경망 기법의 일종인 SOFM을 이용하여 군집화한 다음 결정나무를 이용하여 각 군집을 분류하였다. 최종 분류 결과는 식생지수의 시계열과 지상 자료로 검증한 결과 대도시, 농지, 낙엽수림 및 상록수림 등 우리나라의 지면 피복을 개략적으로 잘 나타내고 있는 것으로 판단된다.

주요어: 지면피복 분류, 극궤도 기상위성, 식생지수, 신경망 기법

서론

현재 우리 나라에서 수신 가능한 기상위성에는 극궤도 기상위성(NOAA-15)과 정지기상위성(GMS-5) 등이 있다. 이들 기상위성에서 탐사한 자료는 주로 구름, 바람, 기온과 습도의 연직 구조와 같은 기상요소들을 생산하는 데 이용되고 있다. 이중에서 극궤도 기상위성은 기상정보 외에도 오존, 황사 및 지면상태 등 환

경 관련 정보를 다수 제공하기 때문에 최근에는 극궤도 환경탐사 위성(POES: Polar Orbiting Environmental Satellite)으로 불리고 있다. POES에는 개량된 가시적외 고분해능 복사계(AVHRR; Advanced Very High Resolution Radiometer)와 대기연직 탐측기(TOVS; TIROS Operational Vertical Sounder) 등의 센서가 탑재되어 있다. 여기서 TOVS는 각 기압면에서의 기온과 습도, 가강수량, 총 오존량, 바람장 등을 산출하기 위한 복사계로서, HIRS(High-resolution Infrared Radiation Sounder), SSU(Stratospheric Sounding Unit) 및 MSU

(Microwave Sounding Unit)로 구성되어 있다. AVHRR은 가시에서 적외파장까지 5개의 채널로 지표면의 상태(알베도, 식생, 해수면온도) 및 구름의 특성을 분석하는데 주로 이용되고 있다.

기상위성 탐사 자료로부터 기상 및 환경요소들의 분석은 주로 센서로 측정된 복사 에너지 또는 다중 채널(분광대)사이의 복사 에너지의 상대적 크기에 임계치 기법이나 통계기법을 적용하여 이루어져 왔다(예: Sellers *et al.*, 1990). 최근에는 다중 채널 특성과 각 탐사자료의 시간적 차이를 활용하여 기상 및 환경요소를 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Cihlar *et al.*, 1996; Sellers *et al.*, 1996). 그 중에서도 가장 대표적인 것이 NOAA/AVHRR 자료로부터 시간에 따른 지면의 상태, 즉, 식생의 시계열적 변화 특성을 분석하는 것이다. 위성탐사 식생의 시계열 자료는 지역적 또는 전지구 규모의 지면 피복을 분류하는데 있어서 가장 기본적인 자료로 활용되고 있다(Defries *et al.*, 1995; Smith *et al.*, 1997).

지면은 해면에 비하여 그 구성 요소(식생, 토양, 눈, 덮임, 토양 수분 등)가 다양할 뿐만 아니라 공간적으로는 이질적이고 시간적으로는 변동이 큰 특징을 갖고 있다. 이러한 지면은 지면-대기 상호작용을 통하여 날씨 및 지역기후에 많은 영향을 주는 것으로 나타나고 있다(Xue *et al.*, 1996). 그런데 산맥이나 사막과 같이 정규적 관측이 곤란한 지역 등으로 인하여 지면과 대기 상호 작용에서 요구하는 수준의 지면피복(land cover)의 관측이 거의 불가능하였다. 지금까지 지면과 대기 모수화에서 주로 이용된 지면피복 자료들은 직접 관측한 것이 아닌 각국에서 다양한 목적과 기준에 따라 작성한 자료들을 종합하여 지면-대기 모형에 적합하도록 수정 보완한 것들이다(예: Matthews, 1983). 이러한 기존 자료들의 문제점은 1) 자료 수집 및 분류 기준상에 일관성의 결여로 자료의 정확성이 부족한 점, 2) 식생의 계절적 특성(phenology)을 나타내기가 어렵고 주기적 수정 및 보완이 어려운 점, 3) 공간 분해능이 좋지 않은 점(>50km) 등이다(Smith *et al.*, 1997).

현재 지면-대기 모형에서 요구되는 지면 특성의 시간 및 공간적 해상도를 만족시킬만한 수준의 관측 방법으로는 위성 탐사가 유일한 대안인 것으로 알려져 있다(Defries *et al.*, 1995; Smith *et al.*, 1997). 특히 지면의 피복 상태 자료로서 위성 탐사 자료가 유일한 대안으로 인정받게 된 이유는 위성 탐사 자료의 공

간 분해능이 고해상도이고(수십 km~1km), 주기적으로 일관성 있는 방법에 의한 관측이 이루어지고 있으며, 접근이 어려운 지역(예: 열대 우림, 사막 등)에 대한 정보 제공이 가능하기 때문이다. 즉, 위성 탐사 시계열 자료를 이용하면 지면 피복의 공간적 이질성과 시간적 변화를 잘 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 도시화, 사막화 등에 의한 지면 상태 변화에 대해서도 주기적 수정 보완이 가능하다. 이러한 이유로 최근에 세계 각국에서는 위성탐사 자료로부터 주변지역의 지면피복 분류 연구들이 활발히 진행중이다(성정창, 2000; Cihlar *et al.*, 1996; Carlson *et al.*, 1997; Smith *et al.*, 1997). 그러나 우리나라의 경우 아주 제한된 범위에서만 위성탐사 자료를 이용한 지면 피복 분류 연구가 진행되고 있을 뿐이다. 특히 장시간의 위성탐사자료로부터 기상 및 기후학적 응용에 적합한 식생의 계절성 자료와 지면 피복 분류 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 지면-대기 상호작용에 중요한 요소 중의 하나인 지면피복 자료를 극궤도 기상위성인 NOAA-14에 탑재된 AVHRR 탐사 자료로부터 분석하였다. 분석영역은 한반도이고 AVHRR 자료 활용 기간은 1996년 8월 1일부터 1997년 7월 31일까지이다. 지면피복의 분광학적 그리고 시계열적 특성에 대한 지상 관측자료가 거의 없기 때문에 여기서는 두 단계의 무감독 분류방법을 이용하였다. 즉, 위성탐사 자료를 비선형 자료의 분류에 적합한 것으로 인정되고 있는 신경망 기법의 일종인 SOFM(Self-Organizing Feature Map) 기법을 사용하여 군집화(clustering) 한 후 식생의 계절성, 잎의 형태 등을 고려하여 작성한 결정나무를 이용하여 분류하였다.

자 료

본 논문에서 사용된 자료는 1996년 8월 1일부터 1997년 7월 31일까지의 낮 시간(오후 2시 전후)에 한반도 지역을 탐사한 NOAA-14/AVHRR 영상자료(540×900 화소/일/채널)이다. 지금까지 운용중이거나 운용되었던 기상위성 센서중에서 가장 많이 이용된 센서중의 하나가 극궤도 기상위성에 탑재된 AVHRR이다. AVHRR의 채널 1은 입사복사 중 식물 잎의 엽록소에 의하여 강하게 흡수되는 파장역이고, 채널 2는 해면질의 입살(spongy mesophyll)에 의하여 강하게 반사되는 파장역이다(Table 1). 따라서 두 채널 사

Table 1. The spectral range and major applications of the NOAA/AVHRR data.

Channel	Spectral range (μm)	Applications
1	0.58 ~ 0.68	mapping of day time cloud, snow, and albedo
2	0.72 ~ 1.10	mapping of day time cloud, snow, and vegetation
3	3.53 ~ 3.93	night time cloud, SST, coastal line, forest fire (noise during day time)
4	10.30 ~ 11.30	cloud, SST, soil moisture
5	11.50 ~ 12.50	cloud, SST, soil moisture

이의 반사도 차는 주로 식생의 종류(형태), 성장시기, 밀도 및 상태에 영향을 받는다. 또한 토양이나, 물, 눈 및 구름 등에서는 두 채널 사이의 반사도 차이가 크지 않은 것으로 보고되고 있다(Agbu and James, 1994). 지표면의 특성연구를 위하여 이들 두 채널에서의 식물체에 대한 반응의 차를 여러 가지 형태의 비율로 변환하여 이용하고 있다(e.g., Holben, 1986; Hall *et al.*, 1995). 그 중에서도 정규화된 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: 이하 식생지수)는 녹색잎 총량(total biomass)과 잎 면적 등과 같은 식생요소와 상관성이 매우 높아서 식생을 포함한 지면의 분류에 중요한 인자로 이용되고 있다. 식생지수의 주요 활용분야는 지면피복(land cover)/토지이용(land use) 분류, 지면상태 변화(사막화, 도시화 등), 지면의 물리적 상태의 시공간적 변화 탐지 등이다(DeFris *et al.*, 1995; Cihlar *et al.*, 1996).

NOAA-14/AVHRR 에는 Table 1에서 보는 바와 같이 5개의 채널이 있다. 본 논문에서는 한반도 지면의 특성 및 지면피복 분류를 위하여 채널 3을 제외하고 가시 및 적외 파장대의 채널 1, 2, 4, 5의 자료(지상해상도 1.1km)를 이용하였다(채널 3은 에너지원이 지구와 태양으로 혼합되어 있어 낮에는 사용이 어려움). 한반도는 사계절이 뚜렷하나 겨울철에는 식생의 변화가 거의 없고, 개마고원과 같은 고산지대 등에는 눈이 있는 경우가 많기 때문에 이 연구에서는 12, 1, 2월은 분석에서 제외하였다. 또한 분석의 보조 자료로 우리나라의 지형고도 자료를 이용하였다.

분류 방법

원격탐사자료는 직접 관측한 자료가 아니기 때문에

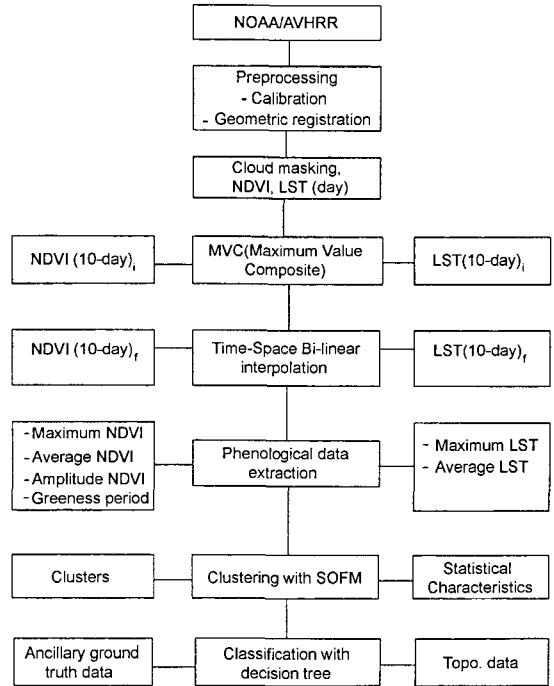


Fig. 1. Methodological framework for the land cover classification over the Korean peninsula using multi-temporal AVHRR data.

몇 단계의 전처리 과정을 거쳐야 물리적 의미를 갖는다. Fig. 1은 AVHRR 수신자료로부터 지면피복 분류에 이르는 과정을 나타낸 것으로 전처리, 식생 계절성 자료 작성, 군집화 및 분류 등의 4단계로 구성하였다.

AVHRR 자료의 전처리에서 복사검정(radiometric calibration)과 기하학적 보정(geometric correction)은 수신시스템에 탑재된 S/W를 이용하였다. 위성의 자세는 매우 정교하게 조정됨에도 불구하고 항상 미미한 오차가 발생하는 데, 그 결과 지상에서는 경우에 따라서 수 km의 기하학적 편이가 발생한다. 즉, Cihlar *et al.*(1996)이 밝혔듯이 여러 시간대의 기상위성 자료를 동시에 활용하는 과정에서 가장 중요한 것 중의 하나가 정확한 기하학적 보정이다. 정확한 기하학적 보정을 위해서는 위성 자세와 보정 영역의 고도에 대한 정확한 정보가 필요하지만 매 수신 자료마다 이들 자료를 수집하여 보정하는 것은 매우 힘든 일이다(Tateishi and Kajiwara, 1994). 특히 본 연구에서처럼 사용 자료수가 많아질수록 현실적으로 거의 불가능해진다. 여기서는 연속적인 10일간의

자료 중에서 구름이 거의 없고 위성이 한반도 중심을 통과한 날의 자료를 기준으로 하여 다른 위성자료를 보정하였다. 보정 방법은 기준 영상과 비교 영상을 증첩하여 화면에 표출한 후 주로 동해안이나 서해안과 같이 경계가 뚜렷한 지역의 해안선을 맞추어 주는 방법을 이용하였다. 이 방법은 분석자가 매 영상마다 보정을 하여야 하고 구름이 많이 있는 경우에는 적용하기가 어려운 것이 문제점이나 현실적으로 자동화 방법이 없는 점도 큰 문제점중의 하나이다.

AVHRR의 채널 1과 2의 반사특성으로부터 정규화된 식생지수(NDVI)는 다음과 같이 계산된다(Holben, 1986).

$$NDVI = \frac{CH2 - CH1}{CH2 + CH1} \quad (1)$$

위 식에서 CH1, CH2는 각각 채널 1, 2에서 관측한 반사율이다. 일반적으로 지면을 대표하는 식생의 상태는 시간적으로 변화도가 크지 않기 때문에 식생지수는 일정기간(월(30 또는 31일), 15일, 10일 등)에 대하여 대표값을 추출하여 이용한다. 대표값을 추출하는 방법으로 가장 많이 이용된 것이 MVC(Maximum Value Composite)로 이 방법이 적용하기가 쉬울 뿐만 아니라 구름, 수증기, 에어로졸 등의 영향도 최소화하는 것으로 보고되고 있다(Holben, 1986). 본 연구에서는 MVC 방법을 이용하여 각 순별[1~10, 11~20, 21~30(31)] 10일 식생지수 대표값을 구하였다. 이 과정에서 두 종류의 비정상적 자료는 시·공간적 bi-linear 내삽법을 이용하여 보정하였다. 즉, 여름철과 같이 구름이 10일 이상 연속적으로 있어 식생지수가 비정상적으로 낮은 값을 갖는 자료, 그리고 센서의 광학적 또는 자세 에러나 대기의 영향 등에 의하여 비정상적인 값을 갖는 자료들이다. 본 연구에서 분석한 결과 전자는 주로 여름철 남부 지역에서 많이 발생하고 후자는 겨울철에 북한 지역에서 주로 발생하였다. 후자의 에러 발생 특성은 태양 고도각이 낮아지는 겨울철에 고위도 지역에서 많이 발생한다는 성경창(2000)과 Agbu and James(1994)의 연구결과와도 일치한다. 구름에 의한 비정상적 자료의 검색은 서명석·이동규(1999)의 방법으로, 센서이상에 의한 비정상적 자료는 5×5의 창을 연속적으로 이동시키면서 화소의 값이 평균보다 표준편차의 두 배 이상 큰 값을 비정상적 값으로 규정하였다. 정확

한 초기자료 작성이 모든 연구의 핵심임을 고려할 때 기하학적 보정을 포함하여 비정상적 자료의 보정에 대한 연구는 보다 객관적으로 이루어져야 할 것이다.

원격탐사자료로부터 지면 온도(Land Surface Temperature: LST)는 정확히 정의하기도 힘들뿐만 아니라 지표면의 방출율(emissivity)이 1보다 작고 지면피복 및 토양수분 상태에 따라 바뀌기 때문에 정확히 계산하는 것은 매우 어려운 일이다. 본 연구에서는 상대적인 온도분포를 분석하기 위하여 지표면의 방출율을 1이라 가정하고 Price(1983)의 방법을 이용하여 LST를 계산하였다. 아래 식에서 T4, T5는 각각 채널 4, 5에서 관측한 휘도온도이다.

$$LST = T4 + 3.3*(T4 - T5) \quad (2)$$

한반도의 지면 피복을 분류하기 위하여 앞에서 분석한 NDVI와 LST로부터 다음과 같은 식생의 계절성 자료(phenological feature set)를 추출하였다. 여기서 10일 주기 식생지수 및 온도 자료를 모두 이용할 경우에는 3개/월×9월×2개 요소 = 54개 자료가 되어 현실적으로 처리가 쉽지않은 점과 많은 연구에서 아래와 같은 식생 계절성 자료를 이용한 경우에도 분류결과의 정확도에 문제가 없는 것으로 나타나고 있기 때문이다(DeFris and Townshend, 1994; Smith et al., 1997).

- 최고 식생지수(Maximum NDVI: Max): 각 화소별로 분석기간 중 가장 큰 NDVI 값
- 평균 식생지수(Average NDVI: Ave): 각 화소별로 분석기간중의 평균 값
- 식생지수 진폭(NDVI Amplitude: Amp): 분석기간 중 최고 NDVI - 최저 NDVI
- 녹색 잎 일수(NDVI Greeness Period: GrP): 식생의 녹색 잎이 활동을 하는 일 수
- 최고 지면온도(Maximum LST): 분석기간 중 가장 높은 온도
- 평균 지면온도(Mean LST): 분석기간 중의 평균 온도

위성 탐사 자료를 이용하여 지면 피복을 분류하는 방법은 기준 자료의 활용 여부에 따라 감독 분류(supervised classification)와 무감독 분류(unsupervised classification)로 구분한다. 자원탐사 위성(Landsat, SPOT) 자료와 같이 분류 영역이 소규모이고 공간 해상도가 수십 m 이내여서 기준자료의 확보가 용이한

경우에는 주로 감독 분류법을 이용하고, 기상위성 탐사 자료와 같이 분류 영역이 광역이고 공간 해상도가 수 km 이상인 경우에는 지면의 기준 자료를 수집하기가 어렵기 때문에 주로 무감독 분류법을 이용한다. 즉, 무감독 분류기법은 위성 영상 자료를 반사율의 분광대 및 시간에 따른 변화 특성이 유사한 화소들의 집합으로 군집화(clustering)한 다음 각각의 특성에 따라 분류하는 것이다.

이 연구에서는 각 지면 피복에 대한 기준 자료의 수집이 거의 불가능하기 때문에 2단계 무감독 분류법을 이용하였다. 1단계는 Kangas *et al.*(1990)이 개발한 신경망 기법의 일종인 SOFM을 이용하여 위성 탐사자료를 군집화하는 단계이고 2단계는 각 군집을 특정 지면 피복으로 분류하는 단계로 1) 지면 피복 결정구조, 2) 지리적 위치, 및 3) 보조 자료의 특성 등을 고려하였다. 이 방법의 장점은 목적에 따라 지면 피복을 병합 또는 분리를 통해서 지면 피복의 개수를 확장 또는 축소가 가능하고 지역 및 시간에 관계없이 재분류가 가능한 점 등이다.

SOFM은 기존의 주성분 분석과 같은 방법으로는 만족할 만한 결과를 얻지 못했던 비선형의 복잡한 문제의 해결에 좋은 결과를 보이는 것으로 알려지고 있다(Kangas *et al.*, 1990). SOFM은 완전 연결된 입력 층과 출력 층 사이에 신경망을 이용하여 군집화하는 방법이다(Fig. 2). 즉, 다차원 입력 벡터인 $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)^T$ 의 데이터 점들을 1차원 또는 2차원 출력 층 격자로 사상시키는 방법으로, 출력 군집들 사이에는 기하학적 관계가 존재하게 된다. 여기서 X_1, X_2, \dots, X_n 은 $M(540) \times N(900)$ 개의 화소로 이루어진 특징 벡터로 이 연구에서는 최대 6개의

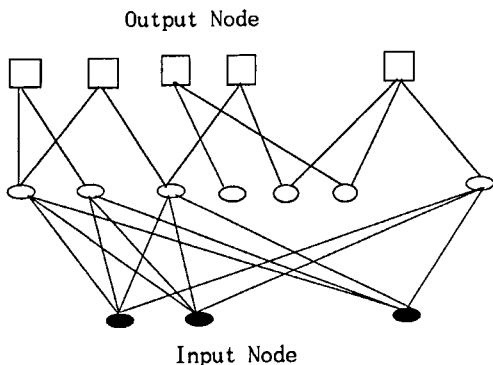


Fig. 2. Conceptual structure of input and output in the 2-layer neural network.

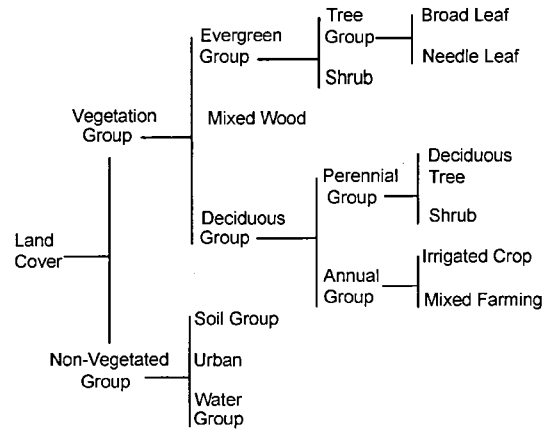


Fig. 3. Hierarchical decision tree for the land cover classification.

특징 벡터로 입력 층을 구성하였다. 각 단계별로 입력 층에 4~6개의 입력 벡터를 1차로 7×7개의 군집으로 나눈 후 2차로 3×3개의 군집으로 사상시키도록 하였다. 여기서 최종 군집을 9개로 정의 한 것은 한반도의 주요 지면 피복의 개수를 고려한 것이다.

SOFM을 이용하여 군집화하는 과정에서 초기화(각 군집의 통계적 특성)는 최종 군집의 분포에 많은 영향을 주기 때문에 중요한 요소인데 여기서는 입력 패턴의 평균 벡터와 표준 편차를 구하여 평균 벡터를 중심으로 $\pm 1\sigma$ 내에서 임의의 수로 하는 방법을 이용하였다. 또한 SOFM을 이용하여 군집화하는 과정에서 입력층과 출력층 사이의 층수도 최종 군집화에 영향을 주므로 이 연구에서는 군집화의 정확성을 향상시키기 위하여 입력층과 출력층 사이를 2층으로 구성하였다.

Fig. 3은 현재 대기 대순환 및 지역 기후 모형의 지면-대기 모수화 방안으로 비교적 많이 이용되고 있는 BATS(Biosphere Atmosphere Transfer Scheme)에서 정의한 18개 지면피복중에서 우리나라의 지리적 특성을 고려하여 작성한 4단계의 결정나무로 나타낸 것이다(Dickinson *et al.*, 1993). 1단계는 식생의 유무로 분류하였고 식생 그룹의 2단계는 식생의 계절성 크기에 따라 상록수림, 혼합림 및 낙엽수림으로 구분하였다. 상록수림은 높이에 따라 구분한 다음 다시 잎의 모양의 기준으로 구분하였다. 또한 낙엽수림은 등치의 유무에 따라 1년생과 다년생으로 구분하였으며 1년생은 다시 관계농지와 혼합농지(밭, 농촌

등)로 구분하였으며 다년생은 나무의 크기에 따라 구분하였다. 비식생은 토양, 도시 및 물 그룹으로 나누었다.

지면피복 결정구조에서 1, 2단계는 식생지수의 계절성과 최고 지면온도만을 이용하여도 쉽게 분류가 되며 그 정확도도 높다. 식생 그룹의 3단계와 4단계는 등치(tree)의 유무, 식생의 높이, 잎 형태 및 관계(irrigation) 유무를 기준으로 분류하는 것이다. 여기서 문제가 되는 것은 위성 탐사 자료에는 등치의 유무, 식생의 높이 및 잎 형태를 구별시키는 명확한 정보가 없다는 점이다. 이것은 대부분의 지면이 단일 종류로 되어있지 않은 점과 함께 분류의 정확도를 낮게 하는 중요한 요인이다. 여기서는 분류의 정확도를 향상시키기 위하여 식생의 계절성 자료(phenology or seasonality)외에도 고도, 지면온도 자료 및 지리적 위치를 보조 자료로 이용하였다. 또한 고도가 높아질수록 식생의 종류가 관계농지-혼합농지-나무-관목-잔디 순서로 변이 되는 일반적인 성질을 이용하였다. 비식생 그룹을 세분화하는 3단계에서는 식생지수의 최고치, 고도, 지면 온도 변동폭 및 지리적 위치 등을 이용하였다.

결 과

식생지수의 시간에 따른 변동성을 보기 위하여 북위 38°를 경계로 하여 남한과 북한의 식생지수 시계열을 Fig. 4에 나타내었다. (1)식으로 계산한 식생지수(NDVI₍₂₎)의 크기는 -1.0~1.0까지이나 컴퓨터상에서 다루기 쉽도록 $NDVI = 100 * NDVI_{(2)} + 100$ 으로 처리하여 0~200 사이의 값을 갖도록 하였다. 식생지

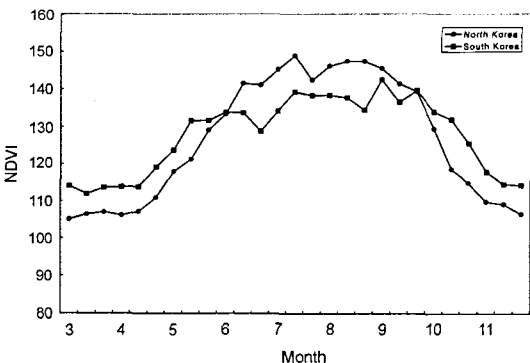


Fig. 4. Time series of 10-day NDVI over the South and North Korea.

수의 시계열은 우리나라 식생의 전반적인 계절적 변동성향을 반영하여 봄·가을에 작고 여름에 큰 값을 보여주고 있다. 그리고 남한과 북한의 지리적 위치의 영향으로 식생의 발아 및 낙엽이 지는 시기가 뚜렷하게 차이가 나고 있으며 여름에 최고치는 산악지역이 많은 북한에서 크게 나타나고 봄과 가을에는 평균 기온이 더 높은 남한 지역에서 크게 나타나고 있다. 앞에서 연속적인 그룹에 의하여 오염된 화소를 보정하였음에도 여름철에 식생지수의 시계열이 불연속적으로 나타나고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 1년이 아닌 2~3년간의 자료를 정규화해서 사용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있을 것이다.

식생 계절성 자료 중에서 평균 식생지수와 식생지수의 진폭을 Fig. 5에 나타내었다. 평균 식생지수 [Fig. 5(a)]는 지리산, 태백산맥 등 주로 산악지역에서 크게 나타나고 있으며 서울을 비롯한 대도시와 남한의 4대강 유역 평야지대에서 작게 나타나고 있다. 북한 지역에서도 유사한 경향성을 보이고 있으나 백두산 주변과 같이 고도가 높은 산악지역에서는 식생의 성장기간의 영향으로 평균값이 상대적으로 크지 않게 나타나고 있다. 그 결과 전체적으로 보면 남한지역이 북한 지역보다 상대적으로 크게 나타나고 있다. 그에 비해서 식생지수 진폭 [Fig. 5(b)]은 강원도 이북지역의 산악지역에서 크게 나타나고 있으며 남한의 대부분 지역과 북한의 황해도 평야지대에서 작게 나타나고 있다. 이들 자료는 각 지역별 식생의 양과 계절성을 잘 나타내주고 있다. 즉, 서울과 같은 대도시지역은 식생의 양이 적을 뿐만 아니라 계절성도 거의 보이지 않고 있으며 태백산맥과 백두산 주변의 산악지역은 평균 식생지수와 진폭이 모두 크게 나타나 이들 지역이 주로 낙엽수림으로 되어 있음을 제시하고 있다. 남한의 일부 산악지역(지리산, 한라산 등)의 정상부근에서도 같은 현상을 보이고 있는데 이들 지역은 주로 키가 작은 낙엽 관목수림으로 되어 있음을 제시하고 있다.

우리 나라 지면 피복 분류 결과를 Fig. 6과 Table 2에 나타내었다. 초기 입력자료중 고도자료는 한반도 지역자료만을 이용한 결과 Fig. 6에서 북한의 서쪽지역이 비정상적으로 분류되었다. 지면피복의 개수를 8개로 한 결과 농지(주로 밭)와 산이 접한 지역과 혼합림이 가장 많고 다음이 농지, 침엽수림 밑 낙엽수림순으로 나타나고 있다. 최대 식생지수는 낙엽수림, 혼합림 등에서 크게 나타나고 도시에서 가장작게 나

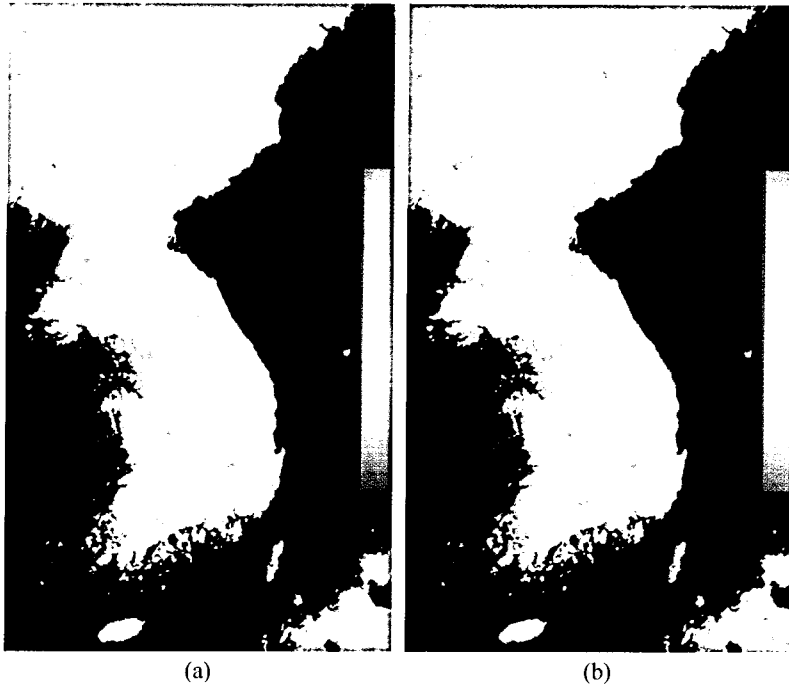


Fig. 5. 9-month average (a) and amplitude (b) for NDVI over the Korean peninsula (The color bar means the relative magnitude of the each value : Red and green color mean a small and large value, respectively).

타나고 있으며 잎이 활동하는 일수는 열대활엽수림에서 가장 길고 도시에서 짧게 나타나고 있다. 고도는 도시와 농지에서 낮게 나타나고 낙엽수림과 관목 숲에서 높게 나타나고 있다. 열대활엽수림이 많은 것은 분석과정에서 일본의 일부 지역을 포함하였기 때문이다.

분류 결과에서 도시는 붉은색, 농지는 노랑색, 혼합림은 진녹색, 낙엽수림은 하늘색, 열대 활엽수림은 주황색 그리고 침엽수림은 옅은 녹색으로 하였다. 우리나라의 도시, 농지 및 산림분포를 고려하면 전체적인 분류는 잘 표현하고 있다고 볼 수가 있다. 도시의 경우는 서울을 비롯한 각도에서의 주요도시를 정확히 분류하였으나 중소도시는 분류하지 못하고 있으며 도시가 아닌 해안가와 강하구도 도시로 잘못 분류하고 있다. 이것은 해안가 지역이 도시와 같이 식생이 적을 뿐만 아니라 온도도 유사하게 높고 변동성이 적은 것에 의한 것으로 사료된다. 농지도 주요 평야지대는 확실히 분류하였으나 산, 중소도시와의 경계지역들은 대부분은 혼합농지로 분류하고 있다. 열대 활엽수림의 경우는 제주도, 남해안과 동해안지역에서 나타나고 있는데 이는 경상도 동해안 지역이 동해안

류의 영향으로 식생의 성장기간이 동일위도 지역에 비해서 더 긴 점이 반영된 것으로 본다.

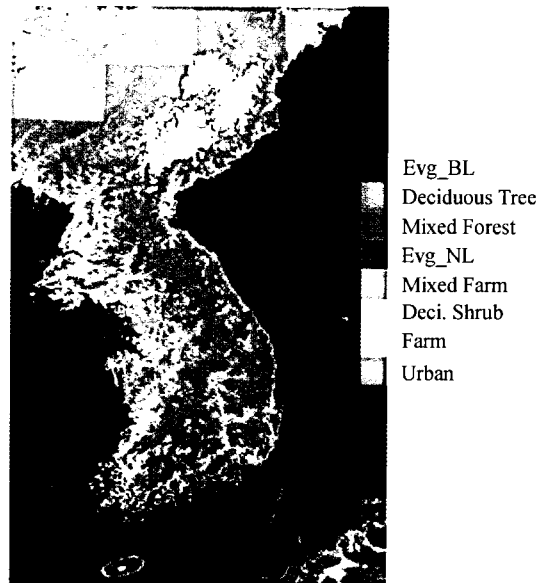


Fig. 6. Imagery for the land cover classification using multi-temporal NOAA/AVHRR data (see the text for details).

Table 2. Land cover classification results over the Korean peninsula.

Code	Pixels	Land cover	NDVI				Height (m)
			Max	Ave	GrP	Amp	
1	8466	Urban	0.12	-0.02	74.55	0.21	29.0
2	40910	Farm	0.38	0.13	161.08	0.40	32.5
3	21890	Deci. Shrub	0.58	0.24	199.78	0.55	1352.2
4	65823	Mixed Farm	0.48	0.28	201.38	0.46	46.5
5	41485	Mixed Forest	0.54	0.32	239.91	0.46	471.1
6	37305	Evg_NL ¹⁾	0.50	0.28	223.89	0.45	269.8
7	34074	Deciduous	0.57	0.29	200.77	0.55	776.8
8	19382	Evg_BL ²⁾	0.43	0.28	263.94	0.33	74.3

¹⁾Needle leaf evergreen.

²⁾Broad leaf evergreen.

토의 및 결론

본 연구에서는 1996년 8월 1일부터 1997년 7월 31일까지의 NOAA-14/AVHRR 자료에 신경망기법의 일종인 SOFM(Kangas *et al.*, 1990)을 적용하여 한반도 지면에 대한 지면피복 분류를 시도하였다. 많은 연구에서 강조된 바와 같이 무감독 분류과정에서 초기 입력자료의 질은 매우 중요하다. 이 연구에서는 초기 입력 자료의 질을 향상시키기 위하여 전처리 과정에서 다중 시간대 위성 탐사 자료의 지리적 위치를 수동적으로 보정하였으며 구름의 영향과 비정상적인 수신자료를 제거하였다. 또한 초기 입력 자료의 양을 줄이기 위하여 27개의 10일 합성 식생지수 자료로부터 4개의 식생 생태학적 자료를 추출하였다.

이러한 지면 특성 자료에 SOFM을 적용하여 1차에서 49개, 2차에서 9개(1개는 바다라 분류에서 제외) 그룹으로 군집화한 다음 계층적 지면 피복 결정나무(decision tree) 모형을 이용하여 한반도의 지면 피복을 분류하였다. 분류 결과의 질적 검증을 위하여 각 지면 피복별 식생지수의 시계열과 보조자료의 특징을 분석하였다. 이 연구에서 분류한 한반도 지면 피복 분류 자료는 비록 현장 관측 자료에 의하여 검증되지는 못하였지만, 식생의 계절성 자료, 지형 및 지리적 위치 그리고 기존의 분류 결과 등과 비교할 때 피복 종류의 개수에서부터 각 지면 피복의 공간 분포에 이르기까지 한반도 지면 피복의 개략적 특성을 잘 나타내고 있는 것으로 판단한다. 하지만, 우리나라 대부분의 지면은 위에서 분류한 것처럼 동질의 식생으로 구성되어 있지 않고 다양한 종류의 식생, 토양 등이 복합적으로 구성되어 있다. 특히 화소의

해상도가 1km 이상인 경우에는 평야지대와 대도시와 같이 독특한 경우를 제외하고는 동질의 지면 피복으로 구성된 지역은 거의 없을 뿐만 아니라 동일 지면 피복(특히 계절성이 큰 식생)도 지리적 위치에 따라 변동성이 크기 때문에 분류 결과의 검증을 위한 지상 관측 자료의 수집이 어렵다. 동일 식생이 지리적 위치(위도와 고도)에 따라 식생 계절성의 차이를 최소화하기 위해서는 분류 영역을 분할하는 방법을 고려할 필요가 있다. 그러나 전체 영역을 소 영역으로 분할하기 위해서는 영역 분할 기준(예: 위도)과 최종 분류과정에서의 통합 기준이 필요하다. 본 연구에서 분류한 우리나라 지면 피복은 위성 탐사 자료에 내재된 식생의 계절학적 자료, 고도, 지면 온도에 근거한 “최상의 추정”이다. 따라서 보다 세밀한 분류를 위해서는 초기 식생지수 자료의 정확도 향상 방법, 자원탐사 위성과 같은 고해상도 자료와의 합성방법, 지리적 위치와 고도를 고려할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구에서 위성자료를 군집화하는 SOFM 기법을 적용한 프로그램을 개발해 준 서남대학교 김동근 교수님과 위성자료 전처리를 도와준 충남대학교 김용 학생에게 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

서명석·이동규, 1999, NOAA/AVHRR 주간 자료로부터 지면 자료 추출을 위한 구름탐지 알고리즘 개발. 대한원

- 격담사학회지, 15, 239-251.
- 성정창, 2000, 광역 시계열 원격탐사 자료 분석의 특성과 응용. 대한원격탐사학회지, 16, 1-12.
- Agbu, P.A. and James, M.E., 1994, The NOAA/NASA Pathfinder AVHRR land data set user's manual. Goddard Distributed Active Archive Center, Greenbelt, Maryland.
- Carlson, T.N. and Riply, D.A., 1997, On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62, 241-252.
- Cihlar, J., Humg, L., and Qinghan, X., 1996, Land cover classification with AVHRR multi-channel composites in Northern environments. *Remote Sensing of Environment*, 58, 36-51.
- Defires, R.S., Hansen, M., and Townshend, J.R.G., 1995, Global discrimination of land cover types from matrices derived from AVHRR pathfinder data. *Remote Sensing of Environment*, 54, 209-222.
- Hall, F.G., Townshend, J.R., and Engman, E.T., 1995, Status of remote sensing algorithm for estimation of land surface state parameters. *Remote Sensing of Environment*, 51, 138-156.
- Holben, ~B.N., 1986, Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1417-1434
- Kangas, J.A., Kohonen, T.K., and Laaksonen, J.T., 1990, Variants of self-organizing feature maps. *IEEE Transaction on neural networks*, 1, 93-99.
- Matthews, E., 1983, Global vegetation and land use. New high resolution data bases for climate studies. *Journal of Climate*, 22, 474-487.
- Price, J.C., 1983, Estimation surface temperature from satellite thermal infrared data - a simple formulation for the atmospheric effect. *Remote Sensing of Environment*, 13, 353-361.
- Sellers, P.J., Rasool, S.I., and Bolle, H.J., 1990, A review of satellite data algorithms for studies of the land surface. *Bulletin of American Meteorological Society*, 71, 1429-1447.
- Sellers, P.J. and Coauthors, 1995, Remote sensing of the land surface for studies of global change: Models-algorithms-experiments. *Remote Sensing of Environment*, 51, 3-26.
- Smith, P.M., Kalluri, S.N.V., Prince, S.D., and Defries, R., 1997, The NOAA/NASA Pathfinder 8-km land data set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(1), 12-31.
- Tateishi, R. and K. Kajiwara, 1994, Consideration on problems of NOAA/GVI data for global land cover monitoring. *Geocarto International*, 4, 5-15.
- Xue, Y., Fennessy, M.J., and Sellers, O.J., 1996, Impact of vegetation properties on U. S. summer weather prediction. *Journal of Geophysical Research*, 101, 7419-7430.

2000년 12월 13일 원고 접수
 2001년 4월 1일 수정원고 접수
 2001년 4월 7일 원고 채택