

人工衛星(NOAA/AVHRR) 映像資料에 의한 韓半島 植生分布에 관한 研究

김 동 실*

Korean Vegetation Types Using NOAA/AVHRR Data

Kim, Dong Sil*

요약 : 본 연구는 원격탐사 기법을 이용하여 북한 지역을 포함한 한반도 전지역을 대상으로 식생활력도(vegetation activity)의 시계열적 변화를 모니터링하고, 식생지수의 연중변화 특성을 이용하여 한반도의 식생 분포도를 작성하는데 그 목적이 있다. 1997년 4월부터 11월까지 8개월 동안 NOAA-14 위성에서 수신된 AVHRR 자료를 수집하여 정규 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index)를 구하고 이들을 MVC(Maximum Value Composite) 방법으로 조합하여 월별 NDVI 합성도를 작성하여 식생활력도의 시계열 변화를 고찰하였다. 또한 식물의 생장시기인 5월부터 10월 까지의 NDVI를 무감독 분류하여 한반도의 식생분포 유형을 도시·나대지, 초지, 경작지, 활엽수림, 침엽수림으로 나누었다. 분류된 식생유형별 점유면적 비율은 도시·나대지가 4.14%, 초지 4.49%, 경작지 27.54%, 활엽수림 25.61%, 침엽수림 38.22%로 나타났다.

주요어 : 원격탐사, NOAA, AVHRR, 정규식생지수, 무감독 분류

Abstract : The vegetation activity of the Korean peninsula has been monitored temporal variations through a satellite remote sensing and the vegetation index was used to set up the vegetation data map of Korea.

The AVHRR data sent by the NOAA-14 satellite was collected for 8 months between April and November, 1997 to calculate the normalized difference vegetation index(NDVI) which was combined the MVC(Maximum Value Composite). Then this NDVI composite map was prepared to review the temporal variations in the vegetation activity. The NDVI has been subject to the unsupervised classification for the growing season between May and October. And the vegetation type is divided into five classes ; urban · bare soil, grass, farming land, deciduous forest and coniferous forest.

The unsupervised classification of vegetation distribution in the Korean Peninsula shows that the urban and bare soil take 4.14% of total national area, grass 4.49%, farming land 27.54%, deciduous forest 25.61% and coniferous forest 38.22%.

Key Words : remote sensing, NOAA, AVHRR, NDVI, unsupervised classification

1. 서론

우리 나라는 국토면적에 비해 상대적으로 식생의 종이 다양하고 위도와 고도에 따라 식생의 발달이 뚜렷하여 분포양상이 복잡한 편이다. 이와 같은 환경 특성에 비추어 볼 때, 국토의 효율적 이용과 임산자원의 합리적 관리와 나아가 생태계 보존을 위해서는 식생의 현황을 정확히 아는 것이 중요하고 그러기 위해서는 정기적으로 관측할 필요가 있다. 그런데 한반도 전체를 대상으로 현

지조사를 통해 식생을 조사하려면 자료수집에 많은 인력과 비용과 시간이 필요할 뿐만 아니라, 조사자의 능력이나 주관에 의해 결과의 신뢰도가 의심스러울 수도 있다. 따라서 넓은 지역에 대한 식생 조사를 신속하고 정확하게 수행할 수 있는 효과적이고 능률적인 방법이 요구되고 있는 실정이다. 현재 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 조사 방법은 원격탐사를 이용한 자료수집이 가장 확실한 방법이다.

원격탐사가 제공하는 자료는 신속하고 정확하

* 중산중학교 교사(Teacher, Jeungsan Middle School in Seoul)

게 광역의 정보를 경제적으로 제공해 주며, 주기적인 정보의 수집이 가능하고, 필요한 자료의 변화에 대한 정성적·정량적 분석이 가능하며, 필요로 하는 정보의 공간적 분포를 알 수 있다는 장점이 있다.¹⁾ 또한 원격탐사는 접근 불가능한 지역에 관한 정보도 시간적, 공간적 제한없이 얻을 수 있는 장점이 있다. 남북분단 이후 북한 지역은 실제 현지답사를 할 수 없기 때문에 기존의 식생연구는 대부분 남한지역만을 대상으로 하고 있어 북한의 삼림 식생분포와 수종에 관한 구체적인 자료는 거의 알려져 있지 않다. 그러나 원격탐사 기법을 이용하면 북한과 같이 접근이 어려운 지역도 조사범위에 포함시킬 수 있다.

본 연구에서는 원격탐사 기법을 이용하여 접근이 어렵고 정보가 부족한 북한 지역을 포함하여 한반도 전지역을 대상으로 식생활력도(vegetation activity)의 시계열적 변화를 모니터링하고, 식생지수의 연중변화특성을 이용하여 한반도의 식생 분포도를 작성해 보려고 한다. 또한, 결과로 얻어진 한반도 식생 분포도를 통하여, 식생의 분포 특성에 영향을 미치는 요인을 지리적 관점에서 해석해 보고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구의 방법 및 과정은 다음과 같다.

첫째, 1997년 1년 동안 NOAA-14 위성에서 수신된 AVHRR 자료 중 겨울철 자료를 제외한 4월부터 11월까지 8개월 분의 영상자료를 수집하였다.

둘째, 구름의 영향을 제거하기 위해 channel 1의 ALBEDO를 구하여 값이 0.15 이상인 pixel(화소)은 구름으로 판별하여 제외하였다.

셋째, AVHRR의 5개 channel 중 식생 연구에 이용되는 channel 1과 channel 2를 추출하여 ALBEDO 공식에 의해 천장각 보정을 하였다.

넷째, 천장각에 대해 보정된 channel 1과 channel 2의 반사값으로 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index)를 계산한 후 일별 식생지수 자료를 중첩하여 각 화소의 최대값을 선택하는 MVC(Maximum Value Composite) 방법으로 월단위의 NDVI 합성도(composite)를 작성하였다.

다섯째, 식물의 성장시기인 5월부터 10월까지의 NDVI 값을 컴퓨터 처리하여 한반도의 식생 분포를 분류하였다. 분류방법은 식생지수의 연중변화특성이 비슷한 집단끼리 스스로 군집하는 무감독 분류(unsupervised classification)를 채택하였고 군집화 과정은 k-means알고리즘을 이용하였다.

여섯째, 무감독 분류하여 생성된 16개 군집의 분포특성과 식생지수의 연중변화특성을 이용하여 한반도의 식생 유형을 도시·나대지, 초지, 경작지, 활엽수림, 침엽수림 등 다섯 가지로 구분하였다.

본 연구에 사용된 인공위성 영상자료의 처리는 미국 INTERGRAPH사의 Modular GIS Environment/ImageStation Imager - 2를 이용하였다.

3. 선행 연구

우리 나라에서 인공위성 자료를 활용하여 지피 및 식생에 관한 연구가 시작된 것은 1980년대 후반부터이다. 초기에는 주로 LANDSAT 자료를 이용하여 토지이용, 입상구분, 병해충에 의한 삼림의 피해에 대한 연구를 수행하였다. 한균형(1987)은 MSS data를 이용하여 북한의 총 연간 쌀 생산량을 추정하였다. 양경락(1989)은 TM data를 이용하여 솔잎혹파리의 피해지역을 추출하는 연구를 수행하였고, 김철민(1991)은 TM data와 지형도에서 고도를 읽어 구축한 수치지도를 이용하여 삼림분포와 지형과의 관계를 분석하였다. 이승호(1992)는 MSS와 TM data를 이용하여 삼림에 있어서 입상의 변화를 분석하였다.

최근에 NOAA/AVHRR 자료를 이용한 식생 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이규성(1994)은 NOAA-11 위성에서 수신된 AVHRR 자료를 이용하여 한반도의 식생 분포를 침엽수림, 활엽수림, 침활혼효림, 농지, 초지관목림, 그리고 도시지역으로 구분하였다. 또 신사철·최운수·안기원(1996)은 한반도 전역의 피복상황을 물, 도시, 논, 낙엽림, 상록림, 기타의 6개 항목으로 분류하였다.

외국의 식생 연구를 보면 Townshend and Justice(1986)는 NOAA/AVHRR 자료를 이용하여 아프리카 대륙의 식생활력도를 모니터링하였다. Derrien *et al.*(1992)는 NOAA-11/AVHRR 자료로

구한 NDVI를 automatic clustering algorithm으로 프랑스의 식생을 20개의 class로 나누었다. Eidenshink(1992)는 미국을 대상으로 NOAA-11/AVHRR 자료를 이용하여 2주 단위로 NDVI 합성도를 작성하여 식생의 시계열적 변화를 모니터링하였다. Zhu and Evans는 미국 중서부 지역을 대상으로 1991년 NOAA/AVHRR 자료를 무감독 분류하여 63개의 class로 나누고 이를 12개의 산림유형으로 분류하였다.

연구목적이나 연구지역의 스케일에 따라 적합한 자료를 선택하는 것이 중요하며, 반드시 해상력이 높은 자료가 필요한 것은 아니다. LANDSAT TM 자료는 공간 해상력이 30m×30m이기 때문에 임상구분이나 수종식별, 삼림 피해정도 등을 판독하는 것이 용이하지만 위성영상 자료의 취득기간이 16일이므로 한반도의 기상을 고려했을 때 영상자료의 취득시기마다 구름이 없는 영상을 얻을 수 있는 가능성이 매우 낮다. 또한 TM 자료는 센서가 미치는 공간적 범위가 185km에 한정되어 한반도 전체를 분석하기 위해서는 여러 개의 위성자료를 연결해야 하고 자료의 양이 방대하여 처리에 상당한 시간과 비용 및 노력이 요구되는 단점이 있다.

NOAA/AVHRR 자료는 공간 해상력이 1.1km×1.1km로 LANDSAT 이나 SPOT 보다 해상력은 낮지만 1일 2회 자료를 취득할 수 있고 자료처리에 비용과 시간이 적게드는 장점이 있으므로 연구지역이 넓거나 산불이나 화산폭발의 모니터링과 같이 빠르게 변화하는 현상을 연구하기에는 적합하다. 그러므로 한반도 전체를 대상으로 하는 연구에서는 해상력이 상대적으로 낮지만 자료획득 기간이 짧고 자료처리에 시간과 비용이 적게드는 NOAA/AVHRR 자료를 이용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

4. 정규식생지수(NDVI)

광합성활동이나 호흡활동을 하고 있는 살아 있는 식물의 잎은 종류나 생리적 상태에 따라 고유의 변화가 생기지만, 상당한 공통점도 있으므로 다른 물체와 비교할 때 매우 특징 있는 반사율 곡선을

나타내고 있다.²⁾ 그림 1은 대표적인 토지 피복인 식물, 흙, 물 등의 분광 반사율을 나타낸 것이다.

식물의 분광 반사율 곡선을 보면 광합성의 녹색영역에 해당하는 0.55 μ m 부근에는 전반적으로 10~20%의 낮은 반사도를 가지며, 근적외선 영역의 0.8부터 1.0 μ m 사이에는 40~50%의 높은 반사도를 나타내며, 적색광의 0.7 μ m와 1.5 μ m 및 1.9 μ m 부근에서는 강한 흡수를 보인다. 광합성 작용을 활발히 하는 녹색식물은 잎에 포함되어 있는 클로로필이라는 색소가 청색(0.45 μ m) 부근과 적색(0.67 μ m) 부근의 전자과를 강하게 흡수하므로 상대적으로 녹색(0.5~0.6 μ m)의 반사율이 높게 된다.

수종이 다를 때는 파장 전반에 걸쳐 반사율에 차이가 있다.³⁾ 예를 들면 활엽수는 침엽수보다 높은 반사율을 보인다. 그러나 같은 식물에서도 생육상태에 따라 파장별로 반사량은 변한다. 식물에 이상이 생기거나 노화되어 엽록소 생산이 감소되면 청색과 적색 영역에서의 흡수가 감소되고 적색의 반사율이 증가되며, 근적외선의 반사량은 감소한다. 이러한 성질을 이용하여 수목의 종류나, 생육상태도 판별할 수 있다.

기상위성이나 지구관측위성의 화상자료로부터 식생 분포 상황을 파악하기 위한 방법으로 식생 지수가 많이 이용된다. 식생지수를 계산하는 방법은 몇 가지가 있으나 일반적으로 가장 많이 이용되는 식생지수는 정규식생지수(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)이다.⁴⁾ NDVI는 식물의 양과 분포상황을 조사하는 것뿐만 아니라 계절변동의 특성으로부터 식생분류나 피복분류에도 이용될 수 있으며 태양에너지의 반사량이 지형의 표면경사, 방향 등에 의해 달라지는 현상을 보정

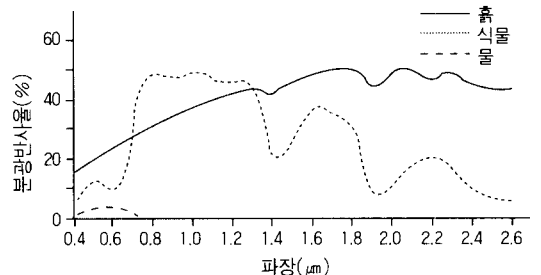


그림 1. 식물, 흙, 물의 분광반사율 곡선
출처: Lillesand and Kiefer, 1994, 18.

하는 효과가 있어 넓은 지역에 대한 식생 연구에 주로 사용되고 있다. NOAA/AVHRR 자료를 이용할 경우 NDVI는 다음 식으로 계산된다.⁵⁾

$$NDVI = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1}$$

여기서 CH₁은 NOAA/AVHRR의 Channel 1(0.58~0.68μm)의 반사율이고, CH₂는 NOAA/AVHRR의 Channel 2(0.725~1.10μm)의 반사율이다.

식생이 번창할수록 NDVI는 1에 가까운 값을 가진다. 왜냐하면 활력 있는 식물의 잎은 식물의 중간층 구조와 세포벽의 근적외 다중반사에 기인하여 채널 2에 해당하는 근적외선 영역에서의 반사율이 높고, 엽록소에 의한 초기복사의 강한 흡수 때문에 채널 1에 해당하는 가시광선 영역에서의 반사율이 낮기 때문이다.

5. 월별 NDVI 분포

1) 월별 NDVI 분포 특성

그림 2는 4월부터 11월까지의 월별 NDVI 합성도이다. 월별 NDVI 합성도를 비교해 보면 각 시기의 한반도 NDVI 분포 특성이 명확히 드러난다.

4월에는 한반도 거의 전역의 NDVI가 0.3 이하이다. 일반적으로 낙엽수들은 4월이 되어야 새 잎이 나기 시작하기 때문에 4월의 식생활력도는 아직 상당히 낮다. 4월의 NDVI 합성도를 보면 개마고원 일대, 경기도 일원, 태백산맥의 동쪽지역, 소백산맥의 동쪽 경상분지 지역의 NDVI가 비교적 높고 특히 남동 해안 지역에서 최대 값이 나타난다.

개마고원 일대는 위도와 고도가 높은 지역임에도 불구하고 주변지역에 비해 식생활력도가 현저히 높다. 이는 이 지역이 우리 나라에서 삼림의 밀도가 가장 높은 지역이며, 주로 상록침엽수림 중심으로 식생이 이루어져 있기 때문에 식물의 성장시기와는 관계없이 비교적 높은 NDVI를 나타내고 있는 것으로 추정된다.

경기도 일원에서는 특히 경기 북동부 지역의 NDVI가 상대적으로 높게 나타난다. 이는 이 지역

이 군사시설보호 및 상수원 지역으로 오랫동안 사람의 출입이 제한되어 왔고 개발이 규제되었기 때문이라고 생각된다.

태백·소백·노령·광주산맥 등 주요 산지지역도 비교적 NDVI가 높다. 특히 태백산맥의 동쪽지역은 서쪽지역에 비해 NDVI가 현저히 높다. 이는 태백산맥이 차가운 북서풍을 막아주는 역할을 함으로써 영동지역이 영서지역보다 기온이 높아 식생 성장이 빠르기 때문이다. 일평균 기온이 5°C 이상인 기간을 식물의 생육기간으로 보는데 속초, 강릉, 삼척, 울진 등 영동지역은 3월에도 월평균 기온이 5°C가 넘어 식물성장이 가능하다.⁶⁾ 이와 유사하게 소백산맥에서도 NDVI의 동서차를 확인할 수 있으며, 대체로 경상분지 지역에서는 도시와 농경지를 제외한 지역이 NDVI가 높은 편이다.

한편 남동 해안 지역에서 NDVI가 가장 높게 나타나는데, 이는 이 지역의 위도와 고도가 낮고 난류의 영향을 받아 상대적으로 기온이 높기 때문에 다른 지역보다 일찍 식생활력도가 높아지는 것으로 이해된다.

5월이 되면 한반도 대부분 지역의 NDVI가 0.3 이상으로 높아지지만 개마고원 부근, 비농사 지역, 길명 지구대·추가령 구조곡·형산강 지구대 및 낙동강 유역의 NDVI는 비교적 낮다.

북한지역에서 고도가 낮은 지역은 NDVI가 매우 높아진데 비해 고도가 높은 개마고원 일대는 5월초까지도 일평균 기온이 5°C 이상으로 올라가지 않으며 일최저 기온도 0°C 이하이기 때문에 식물성장에 불리해 상대적으로 식생활력도가 낮은 편이다.

안주 박천평야·평양평야·재령평야·연백평야·평택평야·호남평야·나주평야 등 주요 비농사 지역은 NDVI가 현저히 낮다. 우리 나라는 5~6월에 대부분 모내기를 하므로 논은 아직 내대지와 비슷한 값을 가져 비농사 지역의 NDVI가 낮은 것이다.

한편 길명 지구대·추가령 구조곡·형산강 지구대 등은 비교적 NDVI가 낮다. 왜냐하면, 구조선의 선상 패턴을 잘 반영하는 길명 지구대·추가령 구조곡·형산강 지구대 등은 현재 주요 교통로로 사용되고 있으며 농업적 토지 이용도 활발한 편이기 때문이다. 또한 낙동강 유역도 남북 방

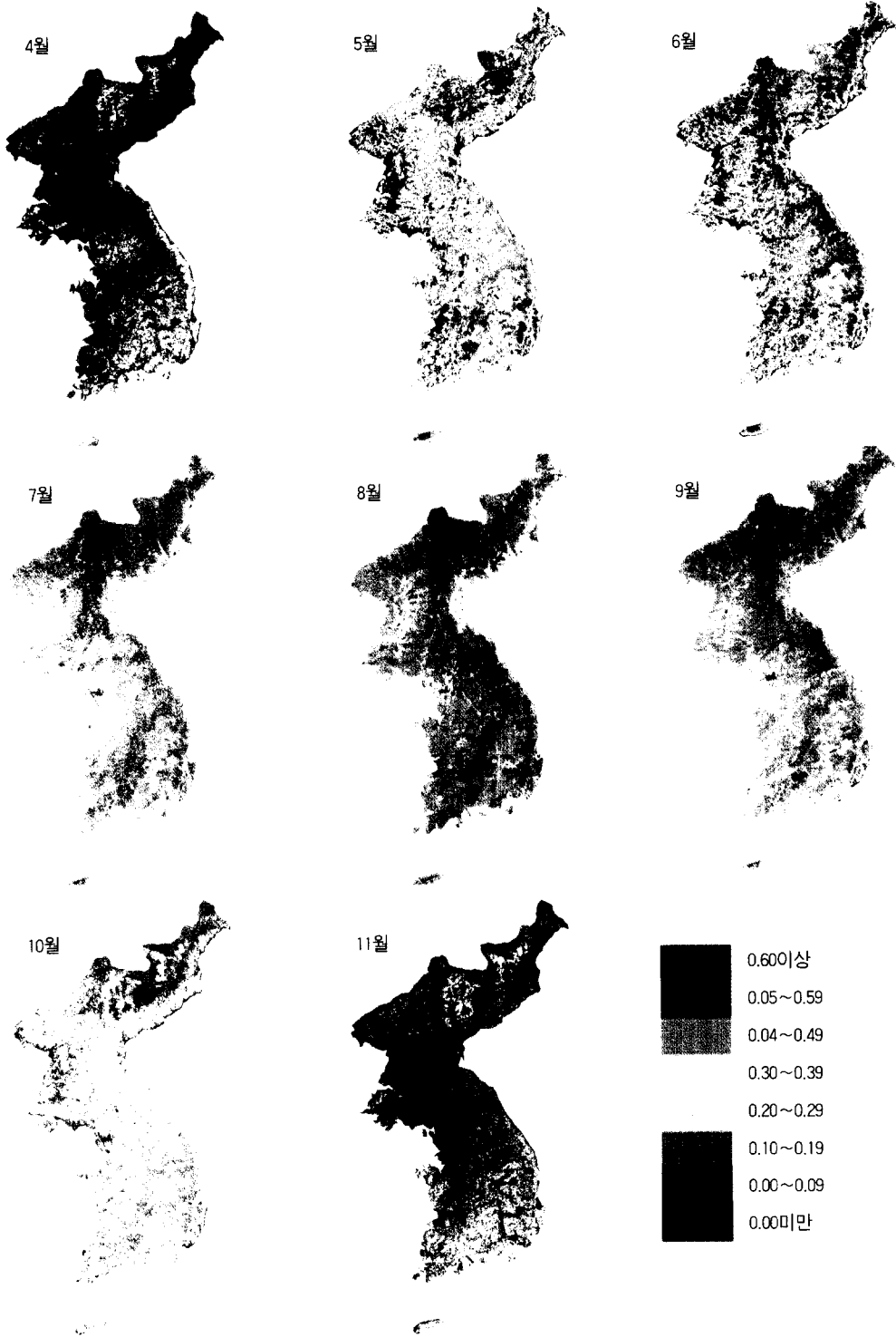


그림 2. 월별 NDVI 합성도

향의 구조선을 따라 선상 패턴을 뚜렷하게 보이며, NDVI가 낮은 편이다. 이는 구조선을 따라 발달한 많은 곡저 평야와 분지가 예로부터 오랜 기간동안 우리 나라의 주요 인구 밀집지대를 이루어 왔기 때문이다.

6월에는 낭림산맥에서 태백산맥과 소백산맥을 연결하는 산지지역의 NDVI는 매우 높아졌지만, 개마고원 일대, 주요 평야를 중심으로 한 벼농사 지대, 산지 지역의 개간 가능한 완경사 지역을 중심으로 한 밭농사 지대, 구조선을 반영하는 주요 곡저 평야 등은 대체로 NDVI가 낮다. 위도와 고도가 높은 개마고원 일대는 여름이 늦게 시작되므로 아직도 식생활력도가 낮은 것이며, 벼농사지역은 모내기를 하였지만 아직 모의 생육이 충분히 이루어지지 않아 NDVI가 현저히 낮은 것이다.

7월에는 서울과 그 주변의 도시 지역을 제외한 한반도 전역의 식생이 활발히 번창하는데, 특히 북한의 개마고원 일대에서는 NDVI가 0.6 이상으로 최대값이 나타난다. 이와 같이 7월에 개마고원 일대의 NDVI가 높게 나타나는 까닭은 개마고원 일대의 식생 밀도가 타 지역에 비해 상대적으로 높고 이 시기에 기온이 높고 강수량이 많아 식물의 광합성 작용이 가장 활발하게 일어나기 때문이다. 반면에 남한 지역은 장마의 영향권 내에 속하여 NDVI가 상대적으로 낮게 나타나며, 이는 대기 중에 존재하는 물방울이나 에어로졸 상태의 수분이 NDVI 값을 약화시키는 요인으로 작용하기 때문이다.

8월의 NDVI 합성도를 보면 평양, 서울, 대전, 대구, 광주, 부산 등의 대도시 지역의 NDVI는 현저히 낮고 그 외 지역의 NDVI는 매우 높다. 도시 지역은 대형 아파트 단지, 도로, 소규모 건물, 일반주택, 콘크리트 시설물, 기타 인공 구조물 등으로 이루어져 있고, 녹지비율이 낮기 때문에 NDVI가 낮다.

7월에 비해 북한의 개마고원 일대는 식생활력도가 약간 낮아진데 비해 남한지역의 태백산맥과 소백산맥 일대의 식생활력도는 최고에 이르러 0.6 이상의 값을 나타낸다. 7월과 8월의 NDVI 합성도를 비교해 보면, 남북간에 좋은 대조를 이룬다. 즉, 북한의 개마고원 일대는 7월에 식생이 가장 번창하고, 남한지역은 8월에 가장 번창하는 것으

로 나타난다. 이는 지역에 따른 기후차이와 수종의 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 개마고원 일대는 1년 중 7월에 가장 기온이 높고 강수량이 많아 식생이 최고로 번창하는 시기이다. 또한 침엽수 위주의 식생이 밀집되어 있기 때문에 NDVI 값이 0.6 이상으로 높아지는 것이다. 이에 비해 남한지역은 8월에 NDVI 값이 가장 높게 나타난다. 일반적으로 침엽수보다는 활엽수가 NDVI 값이 높게 나타나는데 남한에서 산림밀도가 높은 지역은 주로 활엽수림 지역이기 때문에 활엽수가 최고로 번창하여 광합성을 활발히 하는 시기인 8월에 NDVI 값이 0.6 이상으로 높아지는 것이다.

9월에는 한반도 전역의 NDVI가 전반적으로 낮아지기 시작한다. 이 시기에 이르면 단풍이 물들기 시작하여 식물 내부의 엽록소 양이 줄어들기 때문에 NDVI가 전반적으로 낮아진다. 특히 벼는 수확을 앞두고 엽록소의 양이 감소하기 때문에, 다른 식생 지역에 비해 벼농사 지역의 NDVI는 현저히 낮아진다. 또한, 9월의 NDVI 합성도를 통해 남북간의 차이를 살펴보면, 아직은 북한의 삼림지역이 남한의 삼림지역에 비해 식생활력도가 높게 나타난다.

10월에 북한지역은 단풍이 들고 낙엽이 지면서 NDVI가 급격히 낮아진다. 이 시기에 이르면 벼농사 지역에서는 추수가 끝나기 때문에 나대지와 비슷한 NDVI를 갖는다. 일부 삼림지역에서만 NDVI가 높게 나타나지만 0.5 이상인 지역은 없으므로, 식생활력도가 상당히 낮아진 것을 알 수 있다.

11월에는 소백산맥 이남 지역 및 개마고원의 일부 지역을 제외하고는 NDVI가 매우 낮다. 개마고원의 일부 지역은 상록 침엽수림의 밀도가 높기 때문에 11월에도 NDVI가 상대적으로 높게 나타난다. 또한, 소백산맥 이남 지역은 위도가 낮고 기온이 높아서 식생이 상대적으로 긴 성장기간을 유지할 수 있기 때문에 NDVI가 상대적으로 높게 나타난다.

2) 월별 NDVI 분포 특성의 비교 분석

4월부터 11월까지의 NDVI 합성도를 비교해 보면, 4월과 5월에는 북한지역보다 남한지역의 NDVI가 높고, 7월에서 9월까지는 북한지역이 높

다가, 10월과 11월에는 다시 남한지역이 높게 나타난다. 대체로 남한이 북한보다 4월과 5월에 식생지수가 높게 나타나는 이유는 위도 및 대륙도의 차이로 남한지역이 북한지역보다 상대적으로 기온이 높아 식생이 보다 일찍 성장을 시작하기 때문이다.

그러나, 7월부터는 북한지역의 NDVI가 더 높게 나타나는데, 이는 기온의 상승에 기인하는 것이 아니라 식생 밀도 차이에 기인한다. 대체로 기온이 높아질수록 식생의 활력도는 높아지지만, 식생이 성장하기에 충분한 수준의 기온에 이르면 기온이 더 상승하여도 식생활력도가 더 높아지지는 않는다. 기온이 일정 수준 이상에 달했을 경우에는 기온보다는 지역간의 식생 밀도 차이에 따라 식생활력도가 다르게 나타난다. 즉, 겨울철에 개마고원 일대의 식생활력도가 높은 까닭은 식생의 종류에 기인하며, 여름철에는 타 지역에 비해 개마고원 지역의 식생 밀도가 높기 때문에 식생활력도가 높은 것이다.

10월과 11월에는 남한지역보다 북한지역의 NDVI가 더욱 급격히 낮아지는데 이는 북한지역은 추위가 일찍 찾아오므로 잎의 엽록소 감소로 단풍드는 시기와 낙엽 지는 시기가 남한보다 빠르기 때문이다.

이상으로 볼 때 우리 나라 식생활력도는 기후 및 지형과 밀접한 관련이 있다. 그러나, 우리 나라 식생활력도를 고찰하는데 있어서 반드시 고려해야 할 사항은 인간의 간섭에 의한 영향이다. 더욱이 한반도에서는 일찍부터 인간이 거주해 왔으며, 농경 생활이 정착된 이후에는 인구 밀도가 상당히 높은 지역에 속해 왔기 때문에 인간의 간섭에 의한 지표 식생의 변화는 반드시 고려되어야 한다.

자연 상태에서는 저평한 지역이 고도가 높은 고산지 보다 식생의 성장에 유리하다. 그러나, 인간 거주에 의해 점유 당한 지역에서는 저평한 지역이 주로 거주지나 농경지로 이용되기 때문에 식생 밀도가 상대적으로 낮고, 오히려 사람들의 손길이 닿기 힘든 고산지역의 식생 밀도가 높은 편이다. 이에 따라 현재 한반도에서 식생이 가장 밀집하여 발달한 곳은 개마고원 일대 및 주요 산지지역이다.

6. 한반도의 식생분포 분류

한반도 식생 분포의 현황을 파악하기 위하여 식물의 성장시기인 5월부터 10월까지의 NDVI를 컴퓨터로 무감독 분류하여 구분이 뚜렷한 16개의 spectral class를 추출하였고, 각 class별로 분포도를 작성하고 NDVI의 월 평균값을 그래프로 나타내었다. 식생 분포 유형은 각 class의 분포도와 NDVI 월별 변화 그래프에 의거해 판별하였는데 분류항목은 NOAA 영상의 해상도를 감안해 ①도시·나대지 ②초지 ③경작지 ④활엽수림 ⑤침엽수림의 5개 항목으로 정하였다.

분류된 16개의 class 중 class 2, 6, 7, 9, 10, 14는 분포 특성이 분명하고, 식생 분포 유형을 판별하기가 비교적 용이하였다. Class 2는 개마고원 일대에 한정적으로 분포되어 있다(그림 3-1). 4월에서 5월까지의 NDVI 값이 0.1 이하로 아주 낮지만 6월부터 급격히 높아져 7월에 최고에 이르며 9월 이후 급격히 낮아진다(그림 4-1). 중강진, 혜산, 풍산, 장진, 강계 등 개마고원 지역의 기상관측 자료에 의하면 월평균 기온은 11월부터 3월까지 0°C 이하이고 최저기온은 9월부터 영하로 내려가기 시작하여 5월초까지도 영하를 기록하고 있다.²⁾ 그러므로 실지로 식물이 광합성을 활발히 할 수 있는 시기는 6~8월의 3개월 동안이라고 할 수 있다. 5월까지도 NDVI가 낮은 이유는 이 지역의 고도와 위도가 높아 식생의 성장이 늦기 때문이며 여름이 짧고 추위가 일찍 찾아오기 때문에 9월이면 벌써 낙엽이 지기 시작하여 식생활력도가 급격히 낮아지는 것이다. 7월에는 NDVI 값이 0.4 이상으로 올라가 16개 class 중 가장 높은 값을 나타내는데 이는 개마고원이 우리나라에서 삼림밀도가 가장 높은 지역이기 때문에 식생활력도가 높게 나타나는 것으로 이해된다. 개마고원에는 추위에 강하고 척박한 토양에서도 견딜 수 있는 이갈나무, 분비나무, 가문비나무, 잣나무, 전나무 등의 침엽수들이 주로 자라고 있다.

Class 6은 태백산맥과 소백산맥을 잇는 남한의 주요 산지지역에 분포하고 있다(그림 3-2). NDVI는 5월부터 9월까지 상당히 높은 값을 유지하고 있다(그림 4-2). 나뭇잎이 무성한 여름에만 NDVI 값이 높고 봄과 가을에는 낮아지는 것으로 보아

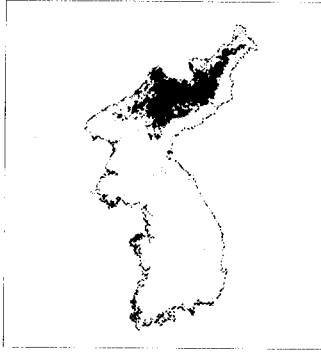


그림 3-1. Class 2의 분포도

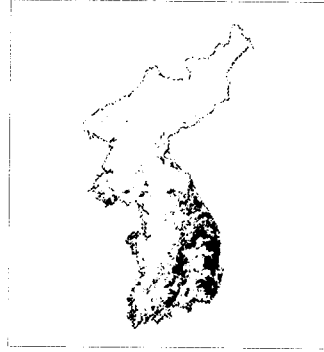


그림 3-2. Class 6의 분포도

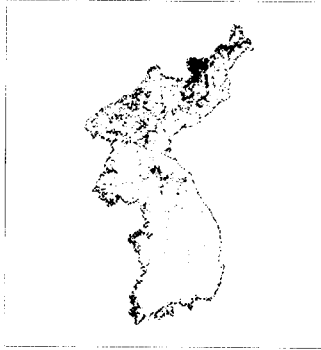


그림 3-3. Class 7의 분포도



그림 3-4. Class 9의 분포도

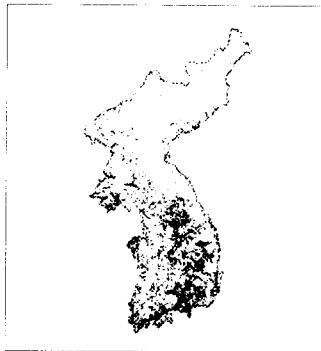


그림 3-5. Class 10의 분포도



그림 3-6. Class 14의 분포도

참나무, 떡갈나무, 신갈나무, 밤나무, 단풍나무, 상수리나무 등 낙엽활엽수림으로 판단된다.

Class 7은 백두산 주변지역에 집중 분포하고 있으며 남한지역에는 거의 분포하지 않는다(그림 3-3). NDVI 그래프를 보면 6월부터 9월 사이에 비교적 높은 값을 유지하고 있지만 0.35 이상 높아 지지는 않는다(그림 4-3). 백두산 정상부는 화산

폭발 때 생긴 부석이 많고 바람이 심하게 불며 연중 기온도 낮은 편이다. 이에 따라 교목이 자라기는 어렵고 관목이나 고산 식물이 주로 서식하고 있다. 그러나 백두산 주변지역은 과거 원시림이 무성했던 곳이었는데 광복 이후 북한은 삼림개발이라는 이름으로 본격적인 벌목사업을 계속해 왔다. 이는 결국 삼림황폐화의 원인이 되었으며 최

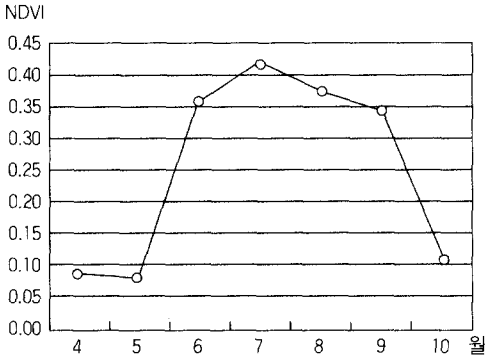


그림 4-1. Class 2의 NDVI 월별변화

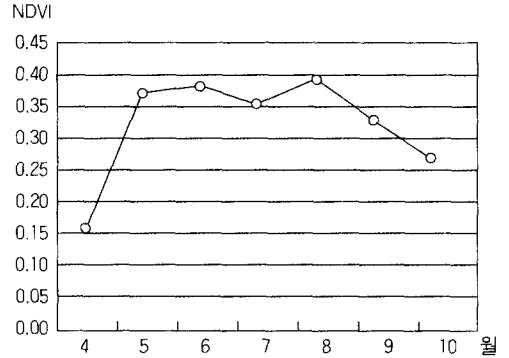


그림 4-2. Class 6의 NDVI 월별변화

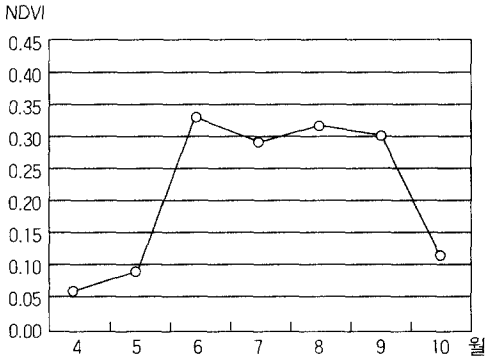


그림 4-3. Class 7의 NDVI 월별변화

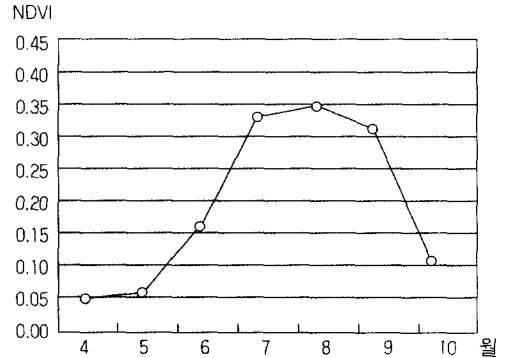


그림 4-4. Class 9의 NDVI 월별변화



그림 4-5. Class 10의 NDVI 월별변화

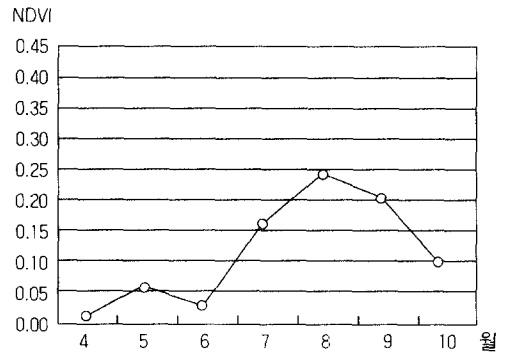


그림 4-6. Class 14의 NDVI 월별변화

근에는 황무지에 가까운 험벗은 지역으로 변해 관목이 덩성덩성 자라는 초지가 된 것으로 보인다. 백두산주변을 촬영한 LANDSAT 영상을 보면 식생의 활력도가 현저히 낮아 삼림지대와는 분명히 구분되는 식생 유형으로 나타난다.

Class 9는 안주·박천평야, 재령평야, 호남평야 등 우리 나라 주요 비농사지역에 분포하고 있다

(그림 3-4). NDVI 그래프를 보면 NDVI 값이 6월부터 급격히 높아지고, 9월 이후에는 급격히 낮아지는데 그 이유는 모내기를 하면 식생활력도가 높아지고 추수를 하면 낮아지기 때문이다(그림 4-4).

Class 10은 북한에는 분포가 희박하고 주로 남한지역에만 분포하는데 특히 남해안 지역에 집중되어 있다(그림 3-5). 4월부터 NDVI가 높아지지

만 한여름에도 아주 높아지지는 않는 것으로 보아 침엽수가 주로 많이 서식하는 것으로 판단된다(그림 4-5). 우리 나라 남해안 지역은 침엽수 중에서도 특히 소나무과 수종이 많이 자라고 있는데 해안 산지 지역에는 햇볕을 많이 요구하는 극양수로 건조한 곳에서도 생육이 잘되고 해충의 피해에 강한 곰솔이 주로 자라고 있다. 이에 비해 사람의 접근이 쉬워 자연림이 훼손되고 인공 조림된 지역은 목재로서의 활용가치가 높은 적송을 주로 심어 가꾸어 왔다. 남해안의 산록지대는 흔

히 상록활엽수림 지역으로 알려져 있지만 고도가 높고 수분이 안정되지 않아 활엽수보다는 척박한 토양에서 견딜 수 있는 소나무과 수종의 침엽수가 주로 자라고 있다. 남해안의 해안 산지 지역은 대체로 급경사를 이루고 암석이 노출되어 있는 경우가 많기 때문에 토양의 두께가 얇아서 주로 침엽수림이 서식하고 있다. 반면에 북서면의 경우에는 상대적으로 적설 기간이 길고 증발량이 적기 때문에 안정적인 수분 공급이 이루어지고 토층이 두터워 활엽수가 서식하는 경우가 많다.⁸⁾

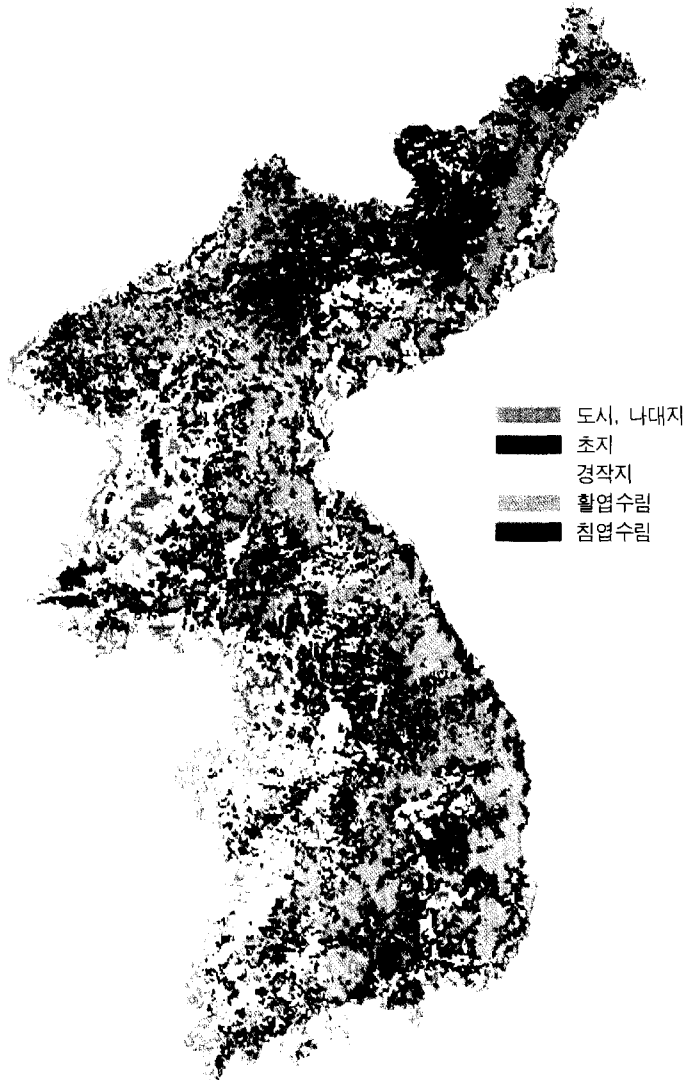


그림 5. 한반도 식생 분포도

Class 14는 평양, 서울, 대전, 대구, 광주 등 대도시 지역에 주로 분포하는데 16개 class 중 NDVI가 가장 낮다(그림 3-6, 그림 4-6). 남한의 cluster는 도시임이 분명하고, 북한지역의 cluster는 도시 지역도 포함되지만 식생이 거의 없는 나대지일 것으로 추정된다. 특히 평양주변의 대규모 cluster는 1997년도 발생한 홍수의 피해를 입어 황폐해진 농경지일 것으로 추정된다.

이와 같이 무감독 분류로 추출한 16개의 class들

을 대조가 뚜렷한 5개의 식생 분포 유형으로 분류해본 결과 class 14는 도시·나대지로, class 7은 초지로, class 3, 8, 9, 15, 16은 경작지로, class 5, 6, 11, 13은 활엽수림으로, class 1, 2, 4, 10, 12는 침엽수림으로 나뉘어졌다. 이 결과를 지도화한 것이 그림 5이고, 표 1은 각 class별 식생 유형 및 특징을 정리한 것이다.

전국토의 5가지 식생 유형별 점유면적비율은 도시·나대지 4.14%, 초지 4.49%, 경작지 27.54%.

표 1. Class 별 식생유형 및 특징

Class	면적(km ²)	식생유형	특징
Class 1	16705 (8.03%)	침엽수림	개마고원 일대와 평야지대를 제외한 한반도 대부분 지역에 분포하고 있다. NDVI가 4월에도 상대적으로 높은 편이며, 5월부터 8월까지 계속 높은 상태가 지속된다.
Class 2	19440 (9.35%)	침엽수림	개마고원 일대에 한정적으로 분포하고 있다. 4월에서 5월까지는 NDVI 값이 아주 낮지만 6월부터 급격히 높아지고 9월 이후 급격히 낮아진다
Class 3	10878 (5.23%)	경 작 지	저산성 산지지역에 주로 분포하며, 대체로 생육 기간이 짧은 작물이 재배되는 밭농사지역에 해당한다. 4월에는 NDVI 값이 아주 낮지만 서서히 증가하여 7, 8월에 최고에 이른다.
Class 4	9824 (4.72%)	침엽수림	북부지방의 고도가 낮은 산지지역에 분포하며, 4월에는 NDVI가 아주 낮지만 6월 이후 높아져 9월까지 비교적 높은 값을 유지한다.
Class 5	6878 (3.31%)	활엽수림	남한의 대표적 산지에만 집중적으로 분포하고 있다. 남한지역에만 분포하고 있어 5월에도 NDVI가 상당히 높고 9월 이후 서서히 낮아진다.
Class 6	14353 (6.90%)	활엽수림	태백산맥과 소백산맥을 잇는 남한의 주요 산지지역에 분포하고 있다. NDVI는 5월부터 9월까지 상당히 높은 값을 유지하고 있다.
Class 7	9347 (4.49%)	초 지	백두산 주변지역에 집중 분포하고 있으며, NDVI는 6월부터 9월 사이에 비교적 높은 값을 유지하고 있지만 0.35 이상 높아지지는 않는다.
Class 8	7943 (3.82%)	경 작 지	전국적인 분포를 보이나 NDVI 값은 비교적 낮다. 4월부터 서서히 NDVI가 높아져서 8월까지 높은 값을 유지하다가 9월부터 낮아진다.
Class 9	7582 (3.65%)	경 작 지	우리 나라 주요 벼농사 지역에 분포하고 있다. NDVI 값이 6월부터 급격히 높아지고 9월 이후에는 급격히 낮아진다.
Class 10	14322 (6.89%)	침엽수림	주로 남한지역에만 분포하는데, 특히 남해안 지역에 집중되어 있다. 4월부터 NDVI가 높아지지만 한여름에도 아주 높아지지는 않는다.
Class 11	17946 (8.63%)	활엽수림	함경산맥, 낭림산맥, 태백산맥을 연결하는 산지지역에만 주로 분포하고 있다. 북한지역에서 자라는 식생이면서도 5월부터 NDVI 값이 상당히 높고 9월까지 높은 값을 유지한다.
Class 12	19207 (9.23%)	침엽수림	개마고원 지역을 제외한 한반도 전역에 분포하는 식생유형으로 여름에도 NDVI 값이 비교적 낮다
Class 13	14089 (6.77%)	활엽수림	주로 북한의 개마고원 외곽지역에 분포하고 있다. 4월부터 NDVI가 서서히 높아져 6월부터 9월사이에는 높은 값을 유지하다가 서서히 낮아진다
Class 14	8621 (4.14%)	도시·나대지	대도시 지역에 주로 분포하는데 16개 class 중 NDVI가 가장 낮다.
Class 15	22046 (10.60%)	경 작 지	서해안 평야지대에 집중 분포하고 있으며 특히 북한지역에도 넓게 분포하고 있다. 6월부터 NDVI가 서서히 높아지다가 8월 이후 낮아지는데 NDVI가 비교적 낮은 편이다.
Class 16	8816 (4.24%)	경 작 지	주로 중부 이남 지역에만 분포하며, 생육기간이 긴 밭작물을 재배하는 지역에 해당한다. 5월부터 10월까지 높은 NDVI가 유지된다.

활엽수림 25.61%, 침엽수림 38.22%로 삼림이 한반도 면적의 반 이상인 63.83%를 차지하고 초지는 4.49%로 미약함을 보여주고 있다.

7. 결론

이상의 연구과정을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 4월부터 11월까지의 NDVI 합성도를 분석한 결과 식생활력도는 기후와 지형의 영향을 크게 받음을 확인하였다.
 2. 우리 나라에서 식생활력도가 가장 높은 지역인 개마고원은 기후여건상 침엽수 위주의 수종이 자랄 것으로 추정되며, 1년 중 7월에 식생이 가장 번창하여 NDVI가 0.6 이상으로 높아진다.
 3. 백두산 정상부는 해발고도 증가에 따른 기온 하강으로 관목이나 고산 식물로 피복 되어 있으며, 그 주변지역의 원시림은 북한의 무분별한 남벌로 인해 삼림이 황폐화되어 키 작은 관목이 자라는 초지가 확대되고 있는 것으로 보인다. 따라서, 다른 지역에 비해 상대적으로 NDVI가 낮은 편이다.
 4. 남해안 일대는 상록활엽수림 지역으로 분류되어 왔지만, NOAA/AVHRR 자료 분석에 의하면 적송이나 곰솔 등의 소나무과 수종이 주로 자라고 있는 침엽수림 지역인 것으로 확인되었다.
 5. 한반도에서 식생활력도가 높은 곳은 개마고원 일대와 주요 산지지역이며, 대도시 지역은 인공 건조물이 많고 녹지비율이 낮아 한여름에도 식생활력도가 매우 낮다.
 6. 4월과 5월에는 북한지역에 비해 남한지역의 NDVI가 높으나, 7월부터 9월까지의 북한 지역이 더 높고, 10월과 11월에는 다시 남한지역이 더 높게 나타난다. 이와 같은 현상이 나타나는 원인은 같은 계절에도 기온의 남북차와 동서차 및 고도에 따라 식생의 성장시기가 다르기 때문이다.
 7. 무감독 분류방법으로 한반도의 식생 분포 유형을 분류한 결과 도시·나대지는 4.14%, 초지는 4.49%, 경작지는 27.54%, 활엽수림은 25.61%, 침엽수림은 38.22%로 나타났다.
- 본 연구를 통하여 NOAA/AVHRR 자료를 이

용한 한반도 식생 연구의 효용성과 응용가능성을 확인하였다. 앞으로 분석방법의 개선과 경험 및 자료의 축적이 이루어진다면 좀 더 정확도가 높은 결과를 얻을 수 있을 것이며, 자료확보가 어려운 북한지역에 대한 각종 정보도 얻을 수 있을 것이다.

註

- 1) 서경주, 1996, 22 참고.
- 2) 유복모, 1997, 32 참고.
- 3) 김갑덕, 1986, 256 참고.
- 4) NOAA/AVHRR의 Channel 1과 Channel 2의 반사율의 차이를 이용하여 산출하는 식생 지수에는 DVI(Differential Vegetation Index), RVI(Ratio Vegetation Index), NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), PVI(Perpendicular Vegetation Index) 등이 있다
- 5) Lillesand and Kiefer, 1994, 506 참고.
- 6) 기상청, 1991, 한국기후도: 1961~1990 기후표준평균값.
- 7) 기상청자료: 1973년부터 1997년까지의 북한지역 27개 관측소의 기상자료.
- 8) 강성렬, 1998, 54-56 참고.

文 獻

강성렬, 1998, 지리산의 산지지형, 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.

기상청, 1991, 한국기후도, 서울.

김갑덕, 1986, 사진관독과 원격탐사, 서울대학교 출판부, 서울.

김영섭·서애숙·조명희 공역(日本リモートセンシング研究會 編), 1998, 원격탐사 개론, 도서출판 동화기술, 서울.

김철민, 1991, LANDSAT TM데이터와 수치지형모델을 이용한 산림분포 해석에 관한 연구: 금오산지역을 중심으로, 서울대학교 대학원 박사학위논문.

서경주, 1996, 식생지수를 이용한 설악산 국립공

- 원내 인간활동이 식생에 미치는 영향분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 신사철 · 최윤수 · 안기원, 1996, "NDVI를 이용한 한반도의 피복분류", 대한토목학회논문집, 16(Ⅲ-2), 139-146.
- 양경락, 1989, Landsat TM data를 이용한 솔잎혹파리 피해지역추출에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 유복모, 1997, 원격탐측, 개문사, 서울.
- 이규성, 1994, "시계열 AVHRR 위성자료를 이용한 한반도 식생분류", 한국임학회지, 83(4), 441-449.
- 이승호, 1992, LANDSAT 화상 자료를 이용한 산림식피 변화에 관한 연구, 서울대학교대학원 박사학위논문.
- 한균형, 1987, "인공위성 사진을 이용한 북한 쌀 생산량 추정", 지리학논총, 14, 311-320.
- 황순욱, 1997, NOAA/AVHRR 자료를 이용한 북한지역 지피식생 및 농경지 모니터링, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- Derrien, M., Farki, B., Legleau, H. and Sairouni, A., 1992, Vegetation cover mapping over France using NOAA-11/AVHRR, *International Journal of Remote Sensing*, 13(9), 1787-1795.
- Eidenshink, J. C., 1992, The 1990 Conterminous U.S. AVHRR Data Set, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58(6), 809-813.
- Holben, B. N., 1986, Characteristics of maximum-value composite image from temporal AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1417-1463.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., NewYork.
- Loveland, T. R., Merchant, J. W., Ohlen, D. O. and Brown, J. F., 1991, Development of a landcover characteristics database for the conterminous U.S., *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(11), 1453-1463.
- Townshend, J. R. G. and Justice, C. O., 1986, Analysis of the dynamics of African Vegetation using the normalized difference vegetation index, *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1435-1445.
- Zhu, Z. and Evans, D. L., 1992, Mapping midsouth forest distributions, *Journal of forestry*, 90(12), 27-30.