

北韓 地域 山林面積 變化의 規模와 特性¹

李奎成² · 鄭美寧² · 尹貞淑²

Content and Characteristics of Forest Cover Changes in North Korea¹

Kyu-Sung Lee², Mi-Reyoung Joung² and Jung-Sook Yoon²

요 약

북한의 산림면적 변화에 대한 규모와 특성을 파악하기 위하여 1910년 제작된 조선임야분포지도와 그 동안 국내외에 발표된 다양한 통계자료를 종합 분석하였다. 또한 지형적으로나 지리적 특성이 서로 대조적인 평양주변지역과 해산주변지역에 대하여 1973년부터 약 10년 주기로 촬영된 Landsat 위성영상 자료를 처리하여 각 시점의 토지피복도를 작성하여 산림변화의 공간적 특성을 분석하였다. 1990년대 이전에 발표된 북한 전체의 산림면적은 약 89,000km²에서부터 98,000km²까지 다양하게 나타나고 있으나, 조사방법의 불투명성으로 인하여 신뢰도에 많은 의문이 있다. 1991년 두 종류의 위성영상을 이용하여 북한 전 지역의 산림면적을 추정한 결과 위성자료와 처리방법이 달랐음에도 불구하고 매우 비슷한 산림면적을 보여주는 데, 추정된 산림면적은 그 이전의 자료에 비하여 뚜렷한 감소 경향을 보이고 있다. 가장 최근 북한에 의하여 유엔에 보고된 산림면적은 75,519km²로서 1991년 위성자료 추정치와 비교하였을 때 약 10,000km²의 급격한 감소를 보였다. 평양과 해산지역에 대한 위성영상자료의 분석 결과도 매우 유사한 변화특성을 보여주고 있다. 1980년대에는 1973년 자료에 비하여 다소의 감소가 있었으나 1993년 영상에서는 산림이 급격히 감소하였다. 이와 같은 북한의 산림면적 변화는 1990년대부터 악화된 북한의 경제 사정과 최근 빈번히 발생하고 있는 대규모 자연재해 현상과 관련이 있다고 판단된다. 북한지역의 위성영상 분석에 있어서 가장 중요한 특징은 산지임에도 불구하고 임목이 거의 분포하지 않는 무림목지가 상당히 많이 분포하고 있으며, 이러한 무림목지는 잠재적인 황폐화 가능지로서 이 지역의 현황을 보다 정확하게 파악하기 위한 추가적인 노력이 필요하다.

ABSTRACT

It has been rare to obtain reliable information related to the size of forest land in North Korea. Several sources of forest statistics, ranging from the first map of forest distribution in Korean Peninsula produced in 1910 to official data reported by the North Korea Government in 1997, were gathered and analyzed to define the characteristics of forest cover changes over years. In addition, Landsat satellite data obtained from 1973 to 1993 were processed for the two study areas of the provinces of Pyongyang and Heasan, where the topography and land use pattern are significantly different each other. Using three sets of multitemporal Landsat imagery, land cover maps were produced by computer classification. Although forest statistics reported before 1990 are somewhat inconsistent, they were gradually decreasing over years. The estimates of 1991 satellite data and the recent statistics reported in 1998 shows very steep decline in forest lands as compared to the ones before 1990. The abrupt decrease of forest lands after 1990 was also found on the detailed analysis of Landsat data for the two study areas of Pyongyang and Heasan. The rapid decline of forest lands may have something to do with the poor economic situation of the country and the continuing natural disasters of severe flooding and drought.

¹ 接受 1999年 4月 28日 Received on April 28, 1999.

² 인하대학교 지리정보공학과 Department of Geoinformatic Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea.

Unstocked forest, which was not classified into forest land, was a very distinct and pervasive land cover type that can be easily observed on satellite imagery. Since unstocked forest land in North Korea may be a critical factor for degrading environmental quality as well as for the continuing natural disasters, further analysis is necessary to define the exact extent and the physical characteristics of the cover type.

Key word : forest land decline, North Korea, remote sensing, land use, Landsat, change dection.

서 론

최근 북한에서 자주 발생하고 있는 극심한 홍수 및 가뭄 등의 자연재해와 식량부족 문제는 국내외적으로 지대한 관심이 되고 있으나, 이에 대한 정확한 정보를 파악하는 데 많은 어려움이 있다. 북한에서 발생하고 있는 자연재해는 북한의 지형적·기상학적 특성에 따른 자연적 원인과 함께, 지난 수십 년 동안의 무리한 산림훼손에 따른 토지이용변화, 치수시설의 미비, 방재 대책의 낙후 등 인위적 원인에 기인한 것으로 판단된다. 특히 부족한 식량난과 에너지 문제에서 비롯된 무분별한 산림의 전용과 훼손이 직결된 자연재해를 야기하는 중요 원인으로 인식되고 있으나, 이를 객관적으로 입증할 수 있는 정확한 자료가 미비한 상태다. 지난 50년 동안 단절된 상황에서 북한 지역에서 일어난 산림의 훼손, 농지의 증가, 수자원개발, 간척 사업, 산업지역 조성 등 토지이용 및 자연환경과 직간접적으로 관련된 공간정보를 획득할 수 있는 방법은 극히 제한되어 왔다. 북한사회의 절대적인 폐쇄성과 현지 접근이 원천적으로 봉쇄되어왔기 때문에 북한의 산림환경 및 산지이용 실태와 관련된 연구가 거의 없었다. 북한 당국과 국내외를 통하여 발표되는 제한된 자료에 의존하여 북한의 산림 및 임업정책 등과 관련된 연구가 진행되어 왔고, 최근 북한의 황폐임지 복구방안이 모색 중에 있다(유병일, 1994, 1997, 1998; 김운근, 1997).

넓은 지역을 대상으로 토지이용 및 식생분포 등을 파악하기 위하여 인공위성 원격탐사기술은 매우 유용하게 사용되어 왔으나, 그 동안 북한지역을 대상으로 한 원격탐사 연구도 극히 소수에 불과했다. 최근에 위성영상자료를 이용하여 북한의 산림조사, 토지이용구분, 홍수피해조사 등의 산발적인 연구 결과가 발표되고 있다(Lee, 1994; 이승호 외, 1996; 김철 등, 1999). 위성영상자료를 이용한 토지이용변화 분석 사례는 다양

한 분야에서 실시되어 왔다. 특히 지구환경변화와 관련하여 민감한 사항인 열대림의 훼손 정도를 분석하거나 사막의 확대, 농지의 팽창 등 대륙적 규모로 발생하는 토지이용 변화를 모니터링 하는데 주된 자료로서 사용되고 있다. 위성영상 자료는 또한 지역적 규모의 토지이용변화를 파악하기 위하여 자주 사용되고 있는 데 도시의 팽창, 산림의 훼손, 식생구조의 변화, 인안역의 변화 등 특정 토지피복의 변화에 중점을 두어 분석하는 사례를 많이 찾아 볼 수 있다(Jensen, 1981; Singh, 1989; Green *et al.*, 1994; Muchoney and Haack, 1994).

본 연구의 목적은 우선 지난 1910년 이래 발표된 자료를 종합하여 북한 전체의 산림면적 변화의 규모를 밝히고, 특정 지역에 대한 위성영상자료를 분석하여 최근 북한 산림변화의 공간적 분포와 특성을 밝히고자 한다. 더 나아가 현지 검증이 불가능한 제한 요소를 가지고 있는 북한지역을 대상으로 한 원격탐사 연구에 있어서 검토되어야 할 문제점과 한계 등을 고찰하고자 한다.

연구 방법

1. 연구지역 및 분석 자료

1) 지도

해방 이전의 북한 산림과 관련된 자료는 대부분 일제의 산림정책에 따라 실시된 임적조사사업(1910), 임야조사사업(1917~1924), 특별연고삼림양여사업(1926~1934)의 결과로 북한에 해당되는 행정구역의 기록이 존재하고 있으나, 대부분 산림 면적과 축적에 관한 통계수치에 불과하다(배재수, 1997). 남북분단 이전의 북한에서의 산림분포를 보여주는 지도는 1910년 조선임적조사사업에 의하여 제작된 1:500,000 축척의 조선임야분포도가 유일하게 존재하고 있다. 조선임야분포도는 제주도를 제외한 한반도 전역의 산림을 수종(적송, 기타침엽수, 활엽수), 임상(성림지, 지

수발생지, 무림복지) 및 소유구분(국유림, 사찰림, 사유림)에 따라 표시된 지도로서, 한일합방 이전 일본군에 의하여 근대적 측량방법으로 제작된 지형도를 원도로 하여 불과 6개월 동안의 짧은 기간에 주로 목측에 의한 조사를 통하여 개략적으로 제작된 지도이다.

분단 이후 북한지도의 구입은 원칙적으로 불가능했으나, 미소 냉전체제의 붕괴에 따라 구 소련군에서 제작된 지형도가 국내에 반입되어 출판된 북한지형도가 있다(경인문화사, 1997). 이 지도는 1981년 소련군 참모본부에 의하여 군사용지도로 제작되었는데, 산림을 비롯하여 논, 밭, 취락지 등 토지이용상태가 표시되어있다. 지도축척이

1:50,000으로서 북한 전역이 약 400매로 되어 있는데, 이 지도는 인공위성 영상자료를 처리하는데 필요한 보조자료로 사용되었다.

2) 위성영상자료

분단 이후 북한의 산림면적 변화 특성을 보다 상세하게 파악하기 위하여 지난 1970년대 이후에 획득된 여러 시기의 위성영상자료를 사용하였다. 적합한 위성영상자료의 존재 여부와 자료처리에 필요한 시간과 예산을 고려하여, 연구 지역은 지난 30여년간 북한 전 지역의 산림변화를 특징적으로 보여줄 수 있는 평양주변의 구릉지역과 혜산주변의 함경도 산악지역을 선정하였다(그림 1).

평양지역은 평안남도화 황해도 북부의 약 8,700km² 면적으로 평양을 비롯하여 남포, 사리원, 송림 등의 도시권을 포함하고 있기 때문에 북한에서 가장 높은 인구밀도를 가지고 있다. 북한의 대표적인 평야인 개령평야와 평양평야를 포함하여 지형적으로 비교적 완만한 경사의 구릉지역으로서 가장 높은 곳은 해발 954m의 황해도 구월산이다. 다음의 표 1에서 보듯이 대규모의 평야지대를 포함하고 있는 만큼 전 지역의 80% 정도가 해발 100m이내(평균고도 64m)의 저고도 지형에 해당된다. 이와 같은 지형적 조건과 인구분포를 감안하면 이 지역의 산림은 타 지역에 비하여 인간의 간섭정도가 심하다고 판단되며 따라서 산림의 전용 및 훼손에 따른 변화 가능성이 큰 지역이라 추정된다.

두 번째 연구지역으로는 평양지역과는 성격이 다른 함경도 산악지형을 선정하였다. 혜산을 중심으로 하여 개마고원 북부에서부터 압록강까지 약 4,200km²에 해당하는 지역으로서 혜산을 제외한다면 대부분 험준한 산악지형으로 이루어져 있

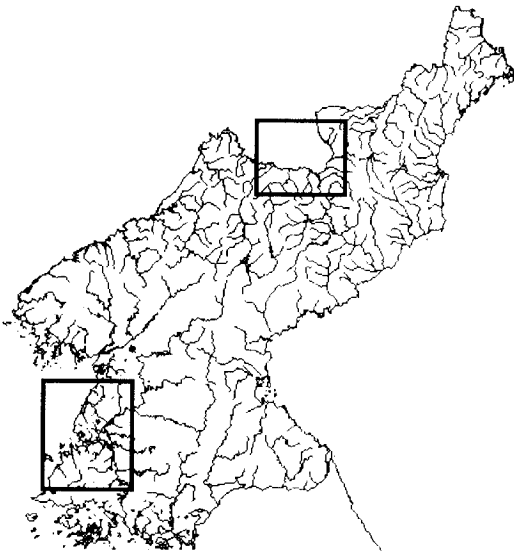


Fig. 1. Study areas for detailed analysis of forest changes using satellite data.

Table 1. Topographic characteristics of the study areas covered by Landsat data.

study sites	area (km ²)	elevation range (average)	slope range (average)	remark
Pyongyang (Pyungan and Hwangheha Provinces)	8,700km ²	0-945m (64m)	0-71 (5.2)	low elevation gradual slope relief include largest rice crop fields large urban areas(Pyongyang, Nampo, Sariwon, Songrim)
Heasan (Hamkyung Provinces)	4,200km ²	470-2365m (1,193m)	0-86 (14.1)	high mountains steep slope very small crop lands well known timber production areas since 1910

다. 이 지역의 해발고도는 평균 1,193m로서 평양지역에 비하여 고도가 높고 경사도 또한 심한 전형적인 산악지형을 보이고 있다. 해산을 중심으로 압록강 중상류에 해당하는 이 지역은 일제시대 초기부터 중요한 목재공급지로서 울창한 임상을 가진 대표적인 산림지역으로 알려져 왔다.

최초의 민간목적 원격탐사위성으로서 지난 1972년에 발사되어 오늘에 이르기까지 꾸준히 위성영상을 공급하고 있는 Landsat 위성은 다른 위성자료에 비하여 과거자료가 잘 축적되어 있고 비교적 원만한 자료공급체계를 갖추고 있다. 원래 변화분석을 위한 시계열 영상자료는 식생의 생육조건 등을 감안하여 동일한 시기의 자료를 이용함이 가장 바람직하지만, 자료 획득 시점의 구름의 영향과 자료의 보관상태 등에 따라 다소 상이한 시점의 자료가 포함되었다. 평양 및 해산지역에 대하여 각각 1973년부터 1993년까지 약 10년 간격으로 촬영된 위성자료를 사용하였다. 아래 표 2는 본 연구에 사용된 Landsat 위성자료의 특성을 보여주고 있다.

2. 조선임야분포도 수치지도 제작

1910년 당시 북한의 정확한 임상별 산림면적 파악과 차후 위성영상자료를 통하여 연계될 산림분포도와의 중첩분석을 위하여 조선임야분포도를 수치화(digitizing)하였다. 한반도 전역이 세 배의 1:500,000 축적 지도로 나누어져 있는 데, 전지역을 한 장의 지도로 인쇄한 것이 아니라 접어서 보관하거나 타 문서에 첨부하기 용이하도록 대략 A4 용지 크기로 나누어 인쇄되어 있고 인쇄된 부분 사이에 약 5mm의 간격의 상하좌우 여백이 포함되어 있다. 따라서 원도를 그대로 디지털이정하기에는 매우 부적합한 형태이므로, 원도로부터 여백부분을 제외한 순수 인쇄부분만을 투명지에 이사한 후에 이를 수치지도로 변환하였다.

전술한 바와 같이 원도에는 상림지, 치수발생지, 부림복지 등의 임상이 다른 색으로 구획되어 있고, 그 밖에 수종과 소유구분이 표시되어 있다. 그러나 소나무, 소나무이외의 침엽수, 활엽수의 수종 표시가 하나의 폐합된 면(polygon)으로 구획되어 있지 않고 기호로서 대략적인 위치만 표시되어 있기 때문에 이들의 경계를 정확히 구분할 수 없었다. 결국 임상경계만을 투명지에 이사하여 이를 스캐닝한 뒤, 선형화(vectorizing) 과정을 통하여 수치지도로 제작하였다. 위상구조와 속성이 완벽된 최종적인 주제도로써 완성되기까지 원도가 가지고 있는 오류와 디지털이정 과정에서 발생된 오류를 편집 보정하였고, 위성영상자료와의 중첩을 위하여 동일한 평면좌표좌표계로 좌표변환이 실시되었다. 최종적으로 완성된 수치지도자료에서 북한에 해당되는 지역과 평양지역 및 해산지역에 해당되는 부분이 따로 발췌되었다.

3. 위성영상처리

평양지역과 해산지역에서 1973년부터 1993년까지 발생한 산림면적의 변화와 그 특성을 분석하기 위한 다중시기 위성영상자료의 처리과정은 그림 2와 같다. 본 연구에 적용된 영상처리과정에 대한 자세한 내용은 이미 여러 문헌에 보고되었기 때문에 상세한 기술은 생략하기로 한다(Lee, 1998a, 1998b; Jensen, 1996). 먼저 구입된 영상이 가지고 있는 광학적 왜곡과 기하학적 왜곡으로 변화탐지에 영향을 미칠 수 있는 오차를 보정해주는 전처리 과정을 거쳤다. 1970년대 Landsat 초기 위성의 MSS 자료에서 볼 수 있는 줄무늬 현상은 연구에 사용된 1973년도 자료에서 발견되었다. 이는 센서의 불안정에 기인하여 발생하는 현상으로 감겨소자의 간격에 따라 규칙적으로 발생하는 줄무늬 현상은 간단한 필터링 과정을 통

Table 2. Characteristics of Landsat satellite image data used.

study area	data acquisition	sensor	wavelength	no. of bands	spatial resolution
Pyongyang	Apr. 30th, 1973	MSS	0.5 1.1 μ m	4	80m
	Oct. 8th, 1981	TM	0.45 12.5 μ m	7	30m
	May 27th, 1993				
Heasan	May 17th, 1973	MSS	0.5 1.1 μ m	4	80m
	May 14th, 1985	TM	0.45 12.5 μ m	7	30m
	May 20th, 1993				

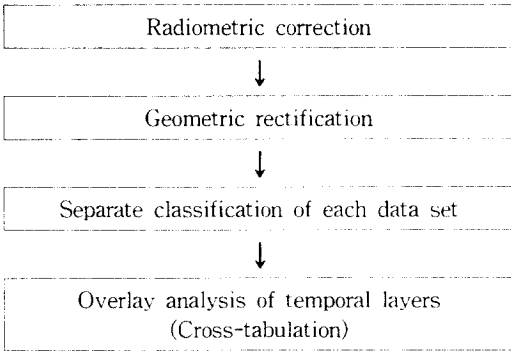


Fig. 2. Satellite data analysis procedure for defining the characteristics of forest changes in two study areas.

하여 처리되었다.

각 연구지역에 대하여 얻어진 세 시기의 영상 자료를 동일한 좌표에 맞추는 기하 보정은 먼저 하나의 영상을 기준으로 하여 다른 시기의 영상들을 맞추는 1차적인 좌표 변환을 통하여 실시되었다. 세 시기의 영상들이 동일 좌표 내에 등록된 후에는 이 영상이 지도좌표에 등록시키기 위해서는 먼저 영상과 지도에서 공통적으로 인식될 수 있는 기준점(ground control points)을 선정하였다. 각각의 연구지역에서 약 20여개의 이상의 기준점에 대한 평면직각좌표를 취득하여 좌표 변환식이 산출되었고, 이를 이용하여 영상을 지도좌표에 등록하였다. 또한 MSS자료와 TM자료는 공간해상도가 다르므로, 영상을 지도좌표로 재배열하는 과정에서 영상의 화소 크기를 MSS자료에 기준하여 사방 57m로 맞추었다.

연구지역에 대한 개략적인 토지피복 상황은 소련군에서 제작한 지도를 참조하여 파악하였고, 또한 북한 영상과 유사한 개질에 촬영된 남한 지역의 영상과 비교를 통하여 컴퓨터 분류를 위한 최종 등급을 확정하였다. 평양지역은 대규모의 평야를 포함한 구릉지역으로서, 남한과 매우 유사한 피복 특성을 가지고 있지만 몇 개의 특정 등급에 대해서는 남한지역과 구별이 뚜렷한 형태로 존재하고 있음을 관찰할 수 있다. 반면에 해안지역은 눈을 비롯한 농경지가 매우 드물게 분포하고 있으나, 산악지형에서는 기존의 산림과는 뚜렷이 구분되는 지역을 관찰할 수 있었다. 산림의 공간적 분포와 면적에 관한 정보를 얻기 위한 영상분류를 위하여 최종적으로 채택된 분류등급은 산림, 나지(무림피지), 농지(논, 밭), 토양,

취락지, 수면의 여섯 등급이다.

각 시기별 위성영상은 촬영된 시점의 태양위치나 대기 상태에 따라 동일한 지표물이라 할 지라도 서로 다른 반사신호를 보일 수 있다. 따라서 변화를 탐지하는 방법은 실험적으로 태양각도 및 대기상태 등의 환경적 요인에 의해 발생하는 광학적 오차들을 미리 수정한 뒤 변화분석을 하는 방법들과 영상에 대한 광학보정 없이 각 시기별 영상자료를 독립적으로 비교하는 방법으로 나눌 수 있다. 본 연구지역에서는 광학적 보정을 하지 않고 변화를 직접적으로 비교 분석할 수 있는 방법으로 분류후 비교법(post-classification comparison)을 적용하였다. 분류후 비교는 각 시기적 영상들에 대해 독립적으로 영상분류과정을 거친 뒤 그 결과를 가지고 비교 분석하는 방법으로 변화탐지에 영향을 미치는 광학적 차이들을 고려하지 않아도 변화를 탐지할 수 있는 장점을 가지고 있는 반면, 분류오차가 변화분석결과에 그대로 반영되므로 영상분류를 최대한 정확하게 해야한다(Jensen, 1996; Muchoney et al., 1994). 영상분류방법은 북한과 같이 현지 확인이 불가능한 지역의 영상을 분류하는데 자주 사용되는 무감독 분류법(unsupervised classification)을 채택하였다. 이 방법은 유사한 값을 가진 화소들끼리 스스로 군집화(clustering)하여 분류등급을 형성해 나가는 알고리즘이다. 각 년도별 자료에 대하여 약 30여개의 군집을 생성해낸 뒤, 각각의 군집이 가지고 있는 분광반사 특성 및 피복현황 등을 고려하여 위에서 설정한 여섯 가지의 피복등급으로 재분류하였다.

두 연구지역에 대하여 세 시기의 토지피복분류 결과를 가지고 1973년부터 1993년까지 시간에 따라 산림의 분포가 변화된 과정을 설명하기 위하여 중첩분석을 실시하였다. 중첩분석은 두 시점의 분류결과를 중첩하여 서로 일치하는 부분과 일치하지 않는 부분에 해당하는 모든 조합별 면적과 공간적 분포를 보여줄 수 있게 된다. 가령 1973년과 1993년 두 시점의 분류결과를 중첩하였을 경우 각 시점의 토지피복도는 6개의 등급으로 구분되어있으므로 중첩결과는 총 36가지의 등급으로 나타날 수 있는데, 이중 6개는 변화가 발생하지 않은 등급에 해당하며, 나머지 30개 등급은 변화가 발생한 지역이라 할 수 있다. 중첩분석에 있어서 미반 위성영상자료에 의하여 얻어진 토지피복도 이외에도 수치지도로 제작된 조선임

야분포도를 함께 적용하여, 1910년부터의 변화과정을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 북한 전체 산림면적 변화

지금까지 발표된 북한의 산림면적 통계자료는 그 출처만큼이나 다양한 결과를 보여주고 있으며 따라서 발표된 산림면적에 대한 신뢰도에 다소 문제가 있을 수 있다. 이는 북한이 그 동안 보여준 국제사회에서의 폐쇄성에 기인하여 통계자료의 누출을 꺼리는 원인과 함께, 정확한 정보의 획득을 위한 우리의 노력 또한 미흡했던 점을 부인할 수 없다. 1910년 제작된 조선임야분포도에서 북한에 해당하는 지역의 도면을 전산화하여 얻어진 당시의 산림면적과 지금까지 국내외적으로 발표된 북한의 산림면적을 정리한 결과는 다음 표 3과 같다.

북한의 산림면적은 62,980km에서 94,990km까지 다양하게 나타나고 있으나, 1991년 중국 임업부에서 발표된 62,980km는 북한 토지법에 의하여 분류된 산림토지에 해당하는 면적이므로, 산림토지 이외의 구분에 포함되는 산림(혁명전적지, 사적지, 문화유적지 등의 특수토지)이 누락되어 있으므로 실제적인 산림면적과는 차이가 있다고 판

단되므로 직접적인 비교에는 부적합하다. 가장 최근에 북한에 의하여 대외적으로 처음 발표된 산림 면적이 75,519km인데 이는 지난 1970년에 발표된 자료와 비교하여 약 22,396km의 산림이 감소된 것이다. 1990년 이전에 발표된 자료중 국내 정부기관에서 발표되는 산림면적은 거의 변화가 없는 데 반하여, 중국, 국제식량기구, 동등 등에서 발표된 자료에는 북한의 산림면적이 감소하고 있음을 볼 수 있다. 물론 1991년 이전의 산림면적 통계치에 관한 구체적인 조사방법이 부연되지 않았기 때문에 자료에 대한 신빙성에는 다소의 문제가 있다고 할 수 있으나, 1970년 이래 북한의 농지확장정책에 따라 많은 산림이 농지로 개간되었고 또한 연료채취와 목재 수급을 위한 벌채로 인하여 상당부분의 산림이 감소하였음을 유추할 수 있다.

아래의 표 3에 열거된 자료의 대부분은 북한의 산림면적을 수치로서 나타낼 뿐 공간적 분포를 보여주는 지도의 형태로 존재하는 것은 1910년 지도와 1991년 위성영상자료의 분류를 통하여 얻어진 결과뿐이다. 1910년 조선임야분포도에는 산림지역이 성림지, 초수발생지, 부림목지의 세 종류로 나누어 표시하고 있는 데, 현재 북한에 해당하는 지역을 수치지도에서 매개하여 조사한 결과 각각 37,386km, 27,962km, 22,285km로 나타났

Table 3. Variation of forest area in North Korea

year	forest area(km)	sources	remarks
1910	87,632	조선임업조사자료(배재수, 1997)	Digital map of 1910 Chosun Forest Land
1942	93,430	1948년 한국은행 조선경제연보(김윤근, 1997)	Above 38°N
1970	97,726	북한발표자료 - 중국 '조선주요기상대점자료' (김윤근, 1997)	China
1980	94,990	남북한경제사회상 비교(통계청, 1997)	Korea Government
1987	89,650	FAO 한국협회(김윤근, 1997)	FAO
1987	88,700	북한의 임업, 사회주의임업(Sozialistische Forstwirtschaft), 1987년 3월호(하연, 1993)	East Germany
1989	94,710	북한산림지리연구(통일원, 1989)	Korea Government
1991	94,020	북한개요(통일원, 1991)	Korea Government
1991	62,980*	중국임업부 북한출장보고서(김윤근, 1997)	China
1991	86,384	한국임학회지(Lee, 1994)	NOAA AVHRR classification
1991	84,455	임업연구원 연구보고서(이승호 외, 1996)	Landsat TM classification
1993	94,770	남북한경제사회상 비교(통계청, 1997)	Korea Government
1998	75,519	북한발표자료(FAO/UNDP, 1998)	UN

* represents only the forest land defined by the Land Law of North Korea.

다. 전체 산림에서 무림복지를 제외한 성림지와 치수발생지는 65,347km로 산림상태가 현재보다 비교적 양호했을 1910년의 수치로는 매우 낮은 수치라 할 수 있다. 이는 조선임업조사가 28명의 소규모 인원으로 6개월이라는 짧은 조사기간에 임상뿐 아니라 주요 수종구성 구성과 소유권 등을 객관적으로 파악하기 위한 사업이었기 때문에 그 결과에 대한 신뢰도에 다소의 문제가 있을 수 있다(배재수, 1997). 현지에 접근하여 북측에 의하여 임상을 파악하고 그 결과를 원도 위에 직접 스케치하는 방법으로 제작된 지도이기 때문에 많은 오류가 포함될 수 있으나, 한반도 산림의 공간적 분포를 최초로 도면화한 지도로서 나름대로 매우 귀중한 가치를 가지고 있다. 현지 조사를 시작한 시점이 3월이므로 지역에 따라 많은 활엽수림의 경우 무림복지 또는 비산림지역으로 잘못 판단되었으리라 생각되며, 따라서 조선임업분포도에 나타나 있는 1910년의 산림면적은 1970년대 이후의 자료들과 비교하였을 때 오히려 실제보다 낮게 추정되었다고 판단된다.

1991년 위성영상자료를 분석하여 북한의 산림면적을 추정한 연구에서는 비록 다른 종류의 위성자료와 분석방법이 적용되었음에도 불구하고 매우 유사한 결과가 도출되었다(Lee, 1994; 이승호 외, 1996). 먼저 NOAA위성의 AVHRR 영상자료를 이용하여 남북한을 모두 포함하는 한반도 전체에 대하여 침엽수림, 활엽수림, 혼효림의 세 가지로 구분하여 면적 추정을 하였는데, AVHRR 위성자료는 약 1km의 매우 낮은 공간해상도를 가진 자료임에도 불구하고 30m의 비교적 높은 공간해상도를 가진 Landsat TM영상을 이용한 분석과 매우 유사한 결과를 보여주고 있다. 현실적으로 북한지역에 대하여 직접적인 현지조사나 항공사진 촬영이 불가능한 만큼 위성영상자료를 이용하여 북한의 산림에 대한 실태를 조사하는 것이 거의 유일한 방법이라 할 수 있다.

북한의 산림면적 추정에 사용된 두 종류의 위성영상자료가 모두 1991년에 촬영된 것이기 때문에 그 이후의 북한 산림에 대한 현황은 불확실하지만, 최근 4~5년 사이에 북한에서 발생한 홍수와 가뭄 등의 대규모 자연재해와 극심한 식량난 등을 감안한다면 1991년 후에 보다 급속한 산림면적의 감소가 예상된다. 가장 최근의 자료로 1998년 북한 당국에 의하여 유엔에 제출된 북한의 산림면적은 75,519km로서 북한 당국이 지난

1970년 자료로 발표하였던 97,726km와 비교하여 22,207km가 감소한 결과를 보이고 있으나, 북한에서 대외적으로 발표되는 자료가 그렇듯이 이 수치 역시 의문의 여지가 있다고 할 수 있다. 위의 표에서 열거된 통계치들을 종합해 보면 해방 이후 북한에서의 산림면적 감소는 꾸준히 진행되어 왔으나, 급격한 감소는 북한의 경제사정이 악화되고 홍수 등의 자연재해가 빈번했던 1990년 이후에 발생하였으리라 추측된다. 물론 1970년대부터 부족한 식량난 해결을 위한 국가 사업으로 실시된 다락밭개간, 새마을운동 등의 농지확장 사업과 늘어나는 목재 수요와 연료 공급을 위한 산림 훼손에 따라 북한에서의 산림면적의 감소는 당연한 결과라 할 수 있다. 그러나 경제적 여건이 비교적 양호했던 1980년대까지는 전용된 산림면적에 상응하여 그 동안 꾸준히 시행되었으리라 판단되는 조림 녹화사업을 감안한다면 산림의 감소 규모는 심하지 않았을 것이다. 이와 같은 추측은 평양과 혜산지역을 대상으로 실시한 위성영상자료 분석 결과를 통하여 유추해 볼 수 있을 것이다.

2. 평양·혜산 지역의 산림면적 변화 특성

북한의 산림면적 변화에 대한 공간적·시간적 특성을 밝히고자 현존하는 위성영상자료 중 가장 오래된 자료부터 최근의 자료까지 세 시기별 영상자료를 컴퓨터 분류 결과 평양과 혜산지역에 대하여 각 년도별 토지피복형 면적이 산출되었다(표 4). 먼저 평양지역의 분류결과를 살펴보면 1973년에서 1993년까지 20년 동안 약 500km의 산림이 감소하였고, 특히 1973년에서 1983년까지의 감소 폭보다는 1983년에서 1993년 동안 급격히 감소하였음을 알 수 있다. 산림 면적이 감소한 대신 도시 및 나지의 면적이 증가하였음을 볼 수 있는데, 이 지역은 평양시 이외에 남포, 사리원, 송림 등의 도시지역과 함께 북한에서 비교적 인구밀도가 높기 때문에 도시의 팽창규모 또한 다른 지역에 비하여 빠른 편이었을 것이다. 또한 비교적 완만한 경사와 저고도의 산림지형과 비교적 높은 인구밀도를 감안한다면 농지로의 전용 또한 보다 유리한 상황이라고 여겨진다. 영상자료의 계절적 특성상 눈을 제외한 농지를 정확히 분류하기 어려웠기 때문에 산림면적 변화에 따른 농지면적의 변화를 정확히 판단하기는 어려웠다.

Table 4. Size of forest land and other cover types for the study areas, which were determined by 1910 forest map and three sets of Landsat data (unit : km)

Classes	Pyongyang				Heasan			
	1910	1973	1984	1993	1910	1973	1985	1993
forest	4045.0	3733.7	3638.6	3246.8	3434.1	2504.5	2428.1	1815.7
rice field		1741.3	1738.9	1767.1				
live crop, grass		166.9	326.3	229.0		138.0	74.8	774.4
residue		1763.9	1744.1	1649.3		1086.0	1555.6	1392.0
bare soil	4599.5	392.0	536.9	634.6	729.1			
urban		152.9	276.5	755.2		35.8	38.6	53.8
water		743.1	432.5	411.9		151.7	49.4	175.9
other(cloud, shadow)						283.4	76.3	11.0
Total	8644.5	8693.9	8693.8	8693.9	4163.2	4199.4	4222.8	4222.8

평양지역의 위성영상은 4월, 10월, 5월에 촬영된 자료이므로 북한의 계절적 조건을 감안한 때 농작물이나 초지가 충분히 성장한 시점의 자료는 아니다. 따라서 눈을 제외한 농지와 나지, 그리고 농작물이나 임목이 존재하지 않는 이른바 공한지를 정확히 구분해내는 것은 매우 어려웠다. 일반적으로 식물이 없는 토양상태로 있는 나지나 도시지역은 분광반사도가 유사하기 때문에 정확한 구분이 쉬지 않은데, 도시지역으로 분류된 면적 중 상당 부분이 작물이 제대로 자라지 못하거나 재배를 포기하고 버려진 상태의 토양 등으로 분류되었을 것이다. 위성영상 분류 결과에 따라서 유추해볼 수 있는 것은 상당 면적의 산림이 농지로 사용되기 위하여 개간되었으나, 작물의 재배에 부적합한 토양이거나 또는 재배 기술이나 자본의 미비로 농지로서의 기능을 제대로 수행하지 못하고 황폐화되어가고 있는 것이 아닌가 판단된다. 작물의 최대 생장기인 여름의 영상자료를 사용하면 이러한 의문점을 해결할 수 있었으나, 한반도의 기후 특성상 구름이 없는 상태의 여름 영상을 획득하기에는 많은 어려움이 있다.

해산지역의 경우 평양지역과는 대조적으로 전 지역의 70% 이상이 해발 1,000m 이상의 산악지형으로 이루어져 있고, 해산을 비롯한 소규모 취락지역이 압록강 및 지류들 따라 발달해 있기 때문에 상대적으로 낮은 인구밀도를 가지고 있다. 해산지역의 산림면적 변화 역시 평양지역과 매우 유사한 특성을 보여주고 있는데, 1973년에서 1985년까지의 감소는 매우 소규모인데 비하여 1985년에서 1993년 사이에 산림면적이 급격히 감소하였음을 볼 수 있다. 해산지역에 사용된 영상

자료는 평양지역과는 달리 모두 5월 중순경에 촬영된 자료들이므로 식물 생육의 계절적인 차이에 따른 피복 변화의 폭은 작다고 할 수 있다. 20여 년 동안 산림면적이 감소한 만큼 농지와 초지의 면적이 확대되었는데, 대규모의 산지개발이 진행되었음을 영상판독을 통해서도 발견할 수 있었다.

그림 3은 평양지역과 해산지역에 대하여 1910년 제작된 조선임야분포도와 1993년 Landsat 위성영상자료를 분류하여 얻어진 산림지역의 분포를 보여주고 있다. 앞에서 언급하였듯이 조선임야분포도는 산림지역을 상림지, 치수발생지, 무림목지의 세 등급으로 나누어 표시하고 있는데, 평양지역은 전체 산림의 80.2%가 치수발생지로 나타나고 있다. 현재의 위성영상에서도 비교적 건강한 임분으로 관찰할 수 있는 황해도 구월산 지역조차 대부분 치수발생지 또는 무림목지로 나타나고 있는 것은 납득하기 어려운 점이다. 조선 임적조사에 적용된 상림지, 치수발생지, 무림목지의 분류기준이 명확하게 제시되지 않았기 때문에 1910년 당시의 상태를 추정하기에 어려움이 있으나, 최소한 치수발생지의 경우 어느 정도의 임목밀도를 유지하고 있는 임분이었으리라 추측된다.

1993년 위성영상에서 분류된 평양지역의 산림은 조선임야분포도와 비교할 때 황해도 구월산, 장방산 및 평안도 평성군의 자묘산 등 주요 산림지역의 개략적 공간 분포는 일치하고 있으나, 상당 부분의 소규모 산림이 농지 및 나지의 형태로 바뀌 모습을 관찰할 수 있다. 위성자료만으로 분석한 결과에서도 농지 및 나지로 전환된 산림이

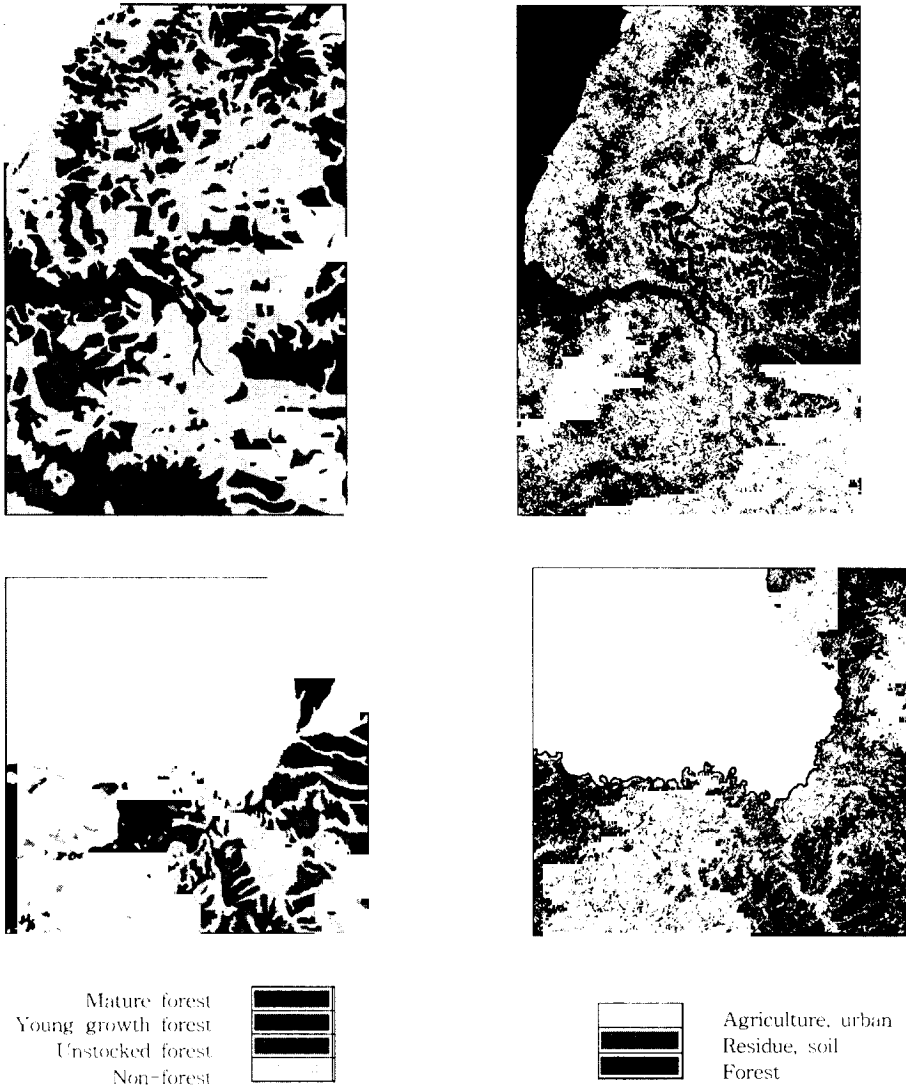


Fig. 3. Distribution of forest lands on 1910 forest map(left) and 1993 classification results(right) of Pyungyang(upper) and Heasan (lower) areas.

대규모로 개간된 것이 아니라 기존의 농지에 근접한 산림이 소규모로 전용되었음을 관찰할 수 있었다(Lee, 1998b). 1973년부터 1993년까지의 세 시기의 분류결과를 중첩하여 변화패턴을 분석한 결과 평양지역에서 약 20년 동안 1,023km²의 산림이 농지, 나지, 도시의 형태로 바뀌어왔다(표 5). 1973년 위성영상에서 분류된 이 지역의 산림 면적이 3,733km²임을 감안한다면, 20여년 동안 상당한 산림이 개간되었다고 할 수 있을 것이다. 반면에 타 용도에서 산림으로 농화된 지역도 558km²

이기 때문에 순수하게 감소된 산림면적은 약 465 km²라고 볼 수 있다. 지난 1960년대 이래 지금까지 북한에서도 조림 및 치산치수사업이 주요 산림정책으로 발표되고 있음을 볼 때 조림에 의하여 복구된 산림이 상당한 면적을 차지하고 있다고 판단된다.

해산지역은 평양과는 다른 산림감소 패턴을 볼 수 있는데, 1910년 지도와 1993년 위성자료 분류도에서 대규모의 산림이 감소한 지역을 볼 수 있다. 그림 3의 아래 지도에서 밝게 표시된 중앙부

Table 5. Forest cover changes in Pyungyang area, from 1973 to 1993, which were determined from multitemporal Landsat MSS and TM data.

Land cover change category(1973 - 1993)		Area(km ²)
From (1973)	To (1993)	
forest	agriculture, residue, soil	861.3
	urban	161.8
others(residue, bare-soil)	forest	558.9

분이 해산시로서 이 곳에서 백두산까지의 북부지역이 1910년 지도에서는 거의 성림지로 표시된 반면에 1993년 분류결과에서는 백두산 부근의 최북단 지역을 제외하고는 대부분 비산림 지역으로 바뀌었다. 이미 1973년 위성영상에서도 이 지역의 상당부분이 비산림지역으로 감소되었음을 볼 수 있는 데, 압록강 중상류에 해당하는 이 지역은 이미 일제시대 초기부터 목재공급을 위한 대표적인 벌채지역으로서 해방 이후에 벌써 상당부분의 산림이 없어진 상태로 되어 있었을 것이다. 그러나 1973년부터 10년 간격으로 세 시기의 위성자료 분류결과를 비교하였을 때, 1973년과 1983년에 비하여 1993년의 산림 면적이 급격히 감소하였다. 이 지역은 평양지역과는 달리 해발고도가 높은 험준한 산악지형이고 기후조건이나 인구분포를 고려할 때, 이 지역에서 발생한 산림의 감소는 농지의 개간과 함께 목재 공급을 위한 벌채가 주원인이라 판단된다.

3. 북한지역의 위성영상분석에 대한 고찰

위성영상에서 비산림지역으로 분류되는 지역의 대부분은 벌채후 조림 녹화가 이루어지지 않은 상태로 식생피복도가 매우 미약한 지역으로 북한 지역에서 빈번하게 관찰될 수 있는 토지피복형이다. 남북한을 포함하는 한반도의 대부분 지역은 식물이 생육할 수 있는 토양과 기후조건을 갖추고 있고 따라서 취락이 형성되어 있는 도시지역을 제외한다면 거의 모든 지역이 산림 및 농지로 이루어진 토지피복형태라고 할 수 있다. 그러나 온대 기후 특성에 따라 침엽수림을 제외하고는 연중 녹색 식물이 지표를 덮고 있는 기간은 늦은 봄부터 가을까지 제한되어 있으며, 지리적 위치 및 고도에 따라 생육기간에 많은 변이를 가지고 있다. 특히 농지의 경우 작물의 생육 기간에 따라 위성에서 관측되는 신호는 매우 민감하게 작용한다고 할 수 있다. 따라서 인공위성 영상자료를 이용한 북한의 산림면적 추정에 있어서 가장

중요하게 작용하는 문제는 적절한 영상자료의 획득시기라고 할 수 있다. 따라서 식물의 잎이 만개된 시점의 영상을 이용하지 않는다면 농지와 기타 관목림 또는 무림목지는 유사한 분광반사특성을 가지게 되므로 자동분류가 쉽지 않다.

북한과 같이 현지 접근이 불가능한 지역을 대상으로 위성자료를 분석할 경우, 영상자료의 획득 시기와 함께 위성분석결과를 검증할 수 있는 현지 조사자료가 절대 부족한 문제를 항상 고려하여야 한다. 위성영상자료 분석에 있어서 가장 중요한 과정으로 위성에서 기록되는 신호값과 지표물과의 관계를 밝힐 수 있는 정확한 현지검증 과정이 필요한 데, 북한 같은 경우 현지 접근이 원천적으로 봉쇄되어 있기 때문에 현지 관련자료는 소수의 방문자에 의한 단편적이고 간접적인 정보에 국한되어 있는 실정이다.

위성자료를 이용한 산림지역을 분류할 경우 남한 지역의 경우는 산림과 산림이 아닌 지역이 확연히 구분되는 토지이용 체계를 갖추고 있는 데 비하여, 북한은 산림과 비산림의 중간 단계로 볼 수 있는 토지피복형이 많이 분포한다는 점이 고려되어야 한다. 구 소련군에 의하여 제작된 북한 지형도에 산림, 논, 밭 등 토지이용상태가 표시되어있는 데, 이 지도에서 흥미로운 점은 산림과 구별하여 조림지라는 별도의 등급으로 표시된 지역이 지도상에 넓게 표시되어 있다. 이는 산지이지만 임목이 자라지 않는 무림목지 상태의 산지가 상당히 넓은 면적을 차지하고 있음을 나타내고 있다고 할 수 있다. 이러한 무림목지의 경우 임목이 거의 없고 관목류나 초지 등의 빈약한 식생피복의 형태로 있기 때문에 위성영상에서 나타나는 전형적인 산림의 신호값과는 매우 다르게 나타나며, 따라서 영상분류에 있어서 정확한 분류가 어렵게 된다.

평양과 해산 두 연구지역의 위성영상자료에서도 산림으로 분류되기에 부적합한 지역이 많이 분포하고 있음을 발견할 수 있었다. 이러한 지역

은 지형적 특성으로 볼 때 산지임에는 틀림없으나, 적외선 파장밴드에서 비교적 낮은 신호값을 보이고 육안에 의한 영상판독에서도 주변의 정상적인 산림지역에 비하여 녹색식물의 피복도가 매우 낮게 나타난다. 이러한 지역은 영상분류에 있어서 대부분 잔류지(residue)로 분류되었는데, 이 등급은 나무가 거의 없는 무림목지 이외에 밭을 포함하고 있는 지역이다. 분석에 사용된 영상이 이른 봄 또는 늦가을에 촬영된 영상이고, 북한의 계절적 특성을 감안한다면 북한의 주요 밭작물이라 할 수 있는 옥수수의 경우 밭이 초기이거나 이미 수확 후의 시점에 해당하므로 위성에서 관측되는 신호값은 무림목지와 매우 유사하게 나타나리라 여겨진다. 따라서 위성영상을 이용하여 황폐화된 산림지역을 밭과 정확하게 구분하여 분류하기 위해서는 낙엽수종을 비롯하여 주요 작물이 충분히 성장한 시점인 7, 8월 영상이 보다 적합하다고 할 수 있다.

결론

북한의 산림면적과 황폐화 복구 방안에 관한 논의가 비교적 활발하게 진행되고 있지만, 자료의 미비로 인하여 정확한 산림현황 파악조차 매우 어려운 형편이다. 1910년 일제에 의하여 제작된 조선임야분포도에 표시된 북한의 산림분포 상태를 분석한 결과, 예상보다 많은 면적의 산림이 치수발생지와 무림목지로 구분되어 있었다. 임상구분의 정확도를 무시한다고 해도, 전체적인 산림면적은 분단 이후 발표된 북한의 산림면적보다 오히려 작게 나타나고 있어 당시 조사 과정에서의 문제점을 보여준다. 조산임야분포도를 제외한다면, 분단 이후 북한이나 제3국에서 발표된 북한의 산림 면적은 수치만이 제시되었을 뿐 구체적인 추정방법이나 공간적인 분포를 보여줄 수 있는 지도가 결여되었기 때문에 추정치에 대한 신빙성에 의문의 여지가 남아있다.

1998년 북한에 의하여 유엔에 보고된 북한 전체 산림면적은 1991년 위성영상자료를 분석하여 얻어진 추정치와 비교하여 약 1,000km² 감소를 나타내고 있다. 1990년 이전의 북한 산림면적은 비교적 작은 규모로 꾸준히 감소되어오다가 1990년 이후부터 급격한 감소가 발생하였으리라 판단된다. 북한의 산림면적 감소는 식량증산을 위한 농지로의 개간, 연료채취, 그리고 목재 공급을 위

한 벌채 등이 주요 원인으로 꼽을 수 있다. '다락밭개간'과 '새땅찾기' 등의 이름으로 실시된 산지개간은 지난 1970년대부터 꾸준히 실시되어 왔으나, 그에 상응하는 조림 녹화사업을 어느 정도 고려한다면 전체 산림면적의 감소는 비교적 소규모로 발생하였으리라 생각된다. 결국 북한의 산림면적 감소는 북한의 경제 사정이 악화되기 시작한 1990년 이후에 보다 가속화되었으며, 그 중요 원인으로서는 그 이전까지 매우 빈약한 임상을 유지하고 있던 많은 산림지역이 벌채와 훼손으로 급격히 황폐화되었을 가능성이 높다. 특히 지난 1990년대에 들어 연례적으로 발생하고 있는 대홍수와 극심한 가뭄 등의 자연재해와 그로부터 비롯되는 식량난 등이 산림황폐화를 가속화시킨 중요 원인으로 꼽을 수 있을 것이다. 1973년 이후의 평양과 혜산지역에 대한 다중 시기 위성영상의 분석에서도 그러한 변화 추세를 뒷받침하는 결과를 보여주고 있다.

원격탐사 기술을 이용한 산림조사는 전 세계적으로 매우 폭넓게 이루어지고 있다. 특히 북한과 같이 현지 접근이 어려운 지역을 대상으로 하는 산림조사에 있어서 위성영상자료는 거의 유일한 수단이라 할 수 있다. 그러나 지난 수십년 동안의 단절된 상태에서 객관적인 현지 자료가 거의 전무한 형편이다 보니, 그 곳의 산림현황을 위성영상만으로는 정확히 파악하기에 많은 어려움이 있는 실정이다. 특히 북한 지역에서 넓게 분포하고 있는 무림목지에 대한 해석에 있어서 세심한 주의가 요구된다. 현재 나무가 거의 존재하지 않는 산지가 상당히 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 이러한 무림목지에서 나타나는 분광반사신호는 전형적인 산림과는 거리가 있지만 그렇다고 이 지역을 모두 황폐화된 산림지역으로 해석하는 데에는 추가적인 연구가 필요하다.

농지로의 전용이나 벌채로 인하여 남겨진 산지에 대한 공간적 특성에 대한 관찰이 주된 관심사가 될 수 있다. 즉 산림을 농지로 개발하였을 경우 개간된 농지의 지형적 입지조건이 과연 적합한 전용이었나를 판단하고 개간 이후의 토지 이용상태에 대한 세심한 분석이 필요하다. 현재 북한의 황폐지와 관련하여 민간단체 및 국가기관의 관심이 높아져 가고 있지만, 정확한 황폐지의 규모나 지리적 특성에 대한 정보는 매우 미흡한 실정이다. 산림에서 농지로 전용된 지점에 대한 지속적인 모니터링을 통하여 황폐화 과정에 대한

특성을 밝힐 수 있다면, 그에 대한 복구대책 마련에 보다 효과적일 것이다. 통일에 대한 국민적 염원과 국내의 정세의 변화에 따라 북한과 관련된 사회적, 국가적 관심은 날로 높아져 가고 있지만, 북한의 자연적, 지리적 환경에 대한 정확한 정보는 상대적으로 매우 빈약한 형편이다. 국토의 효율적 이용, 자연환경보전, 자원의 합리적 관리 등에 관한 제반 정책 수립과 준비 작업을 위하여 우선되어야 할 사항으로서 북한의 국토 환경에 대한 보다 정확한 정보를 갖추는 노력이 요구된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(971-0607-056-2) 지원으로 수행되었습니다. 한반도 지역의 산림분포를 최초로 도면화한 1910년 조선 임야분포도를 기꺼이 제공해 주신 임업연구원 배재수, 김철민 두 분 박사님께 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. 경인문화사, 1997. 최신 북한오만분지일 지형도.
2. 김운근, 1997. 북한의 농·임업, 공보처. 181p.
3. 김 천·정강호, 1999. JERS-1 OPS 자료를 이용한 북한 희천분지 지역의 홍수피해 분석, 대한원격탐사학회 1999년 춘계학술대회 논문집, pp.45-50.
4. 배재수, 1997. 일제의 조선 산림정책에 관한 연구 : 국유림정책을 중심으로. 서울대학교 박사학위 논문, 290p.
5. 유병일, 1994. 북한의 산림 이용과 잠재력 가치 제고 방안, 북한농업연구 I, pp.81-94.
6. 유병일, 1997. 통일을 대비한 임정과제, 임정연구 30호 : 96-102.
7. 유병일, 1998. 북한의 지속 가능한 산림관리를 위한 남북한 협력방안. 산림과학논문집 제57호, pp.137-145.
8. 이승호 외, 1996. 원격탐사에 의한 북한의 산림자원조사, 임업연구원 임업연구보고서, pp.663-695.

9. 통일원, 1991. 북한개요
10. 통계청, 1997. 남북한 경제사회상 비교, 268p.
11. 하 연, 1993. 북한의 임업. 숲과 문화, 제2권 1호 : 42-48(F.B. Mueller 동독의 사회주의 임업에서 발간되었던 논문을 발췌 번역)
12. Green, K., D. Kempka and L. Lackey, 1994. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 60(3) : 331-337.
13. Jensen, J.R. 1981. Urban change detection mapping using Landsat digital data. American Cartographer. 8(2) : 127-147.
14. Jensen, J.R., 1996. Introduction digital image processing. Prentice Hall.
15. Lee, K.S. 1994. Vegetation cover type mapping over Korean peninsula using multi-temporal AVHRR data. 한국임학회지, 83(4) : 441-449.
16. Lee, K.S. and M.R. Joung, 1998a. Determination of land use change categories using classification of multitemporal satellite image data. Proc. of the 19th Asian Conference on Remote Sensing. Nov. 16-20. Manila, Philippines. R-4-1-6.
17. Lee, K.S. and M.R. Joung. 1998b. Analysis of land use changes in western region of North Korea using satellite remote sensor data. Proc. of IUFRO Inter-Divisional Seoul Conference. Oct. 12-17. pp.484-490.
18. Muchoney, D.M. and B.N. Haack, 1994. Change detection for monitoring forest defoliation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 60(10) : 1243-1251.
19. Singh, A.. 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing. 10(6) : 989-1003.
20. FAO/UNDP. 1998. Special report on Agricultural Recovery and Environmental Protection in the Democratic People's Republic of Korea.