

# GIS와 RS를 이용한 토지피복 및 식생 분포의 시·공간적 변화\*

- 평안북도 서부 지역을 중심으로 -

이민부\*\* · 김남신\*\*\* · 최한성\*\*\* · 신근하\*\*\*

## An Analysis on Spatio-Temporal Changes of Land Cover focusing on NDVI Using GIS and RS in *Pyeongbuk* Province, Northwest Korea\*

Min-Boo Lee\*\*, Nam-Shin Kim\*\*\*, Han-Sung Choe\*\*\*, and Keun-Ha Shin\*\*\*

**요약** : 본 연구에서는 GIS 및 RS를 이용하여 평안북도 서부지역을 대상으로 1988년~2001년 사이의 토지피복과 식생 분포의 시·공간적 변화를 살펴보았다. 이를 위해, Landsat TM 및 ETM 영상을 사용하여, 기하 방사 보정 후, 감독 분류와 NDVI 분석을 실시하였다. 분석 결과, 평안북도 삭주, 대관, 구성, 의주 지역에서는 13년 동안 산림이 감소하고 시가지, 인간의 간섭에 의해 발생한 황무지, 범람과 사태 등의 자연적 요인에 의한 나대지 등이 증가한 것을 관찰하였다. 또한, DEM 분석을 통해 대부분 지역에서 고도가 높고 경사도가 큰 지역까지 시가지 개발 및 확장, 개간이 이루어지면서 더 많은 황무지가 발생하고, 비교적 높은 고도에서도 NDVI 값이 감소한 사실을 알 수 있었다. 이러한 변화는 지형적 특성을 고려하지 않은 채 이루어진 개발에 의한 것이며, 산사태 등의 자연재해 방지, 안정적인 식량공급 등을 위해 많은 연구 및 해결책 제시가 필요할 것으로 본다.

**주요어** : 토지피복, 식생분포, 시 공간적 변화, NDVI, 인간 간섭

**Abstract** : This study deals with the spatio-temporal change of land cover and vegetation distribution between 1988 and 2001 using remote sensing images and GIS techniques in west area of *Pyeongbuk* Province, northwest Korea. Landsat TM and ETM images are geometrically and radiometrically corrected for the analysis of land cover and NDVI. Forested areas are decreased during 13 year from 1988 to 2001 in study area including *Sakju, Daegwan, Guseong* and *Euiju* of *Pyeongbuk* Province, because wasteland are increased by human impact and denuded land by landslide and flooding. DEM analysis presents that settlement and cropland are developed toward higher and steeper mountain slope, together with decrease NDVI values. these changes have resulted from unplanned increase of cropland without consideration of geomorphic condition. Therefore, more researches and reasonable policies are required to protect forest and cropland and stable food supply against natural hazard like landslide.

**Key Words** : land cover, vegetation distribution, temporal-spatial change, NDVI, human impact

### 1. 서론

지표 환경을 구성하는 대표적인 생물적 요소인 식생은 해발고도, 사면 방향, 사면각, 일사량, 기온 등에 따라 다양한 분포를 보이며, 미지형 환경 외에 인간의 간섭 즉, 시가지 개발 및 산지 개간, 토

지피복변화 등도 식생 분포 및 변화에 많은 영향을 준다.

Landsat image 등을 이용한 원격탐사(remote sensing : RS)는 지상의 물체가 반사하는 전자파를 감지하면서 각 물체가 갖는 고유의 분광 특성을 이용하여 간접적으로 지상의 물체를 식별하여 그

\* 이 논문은 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-072-BS1525).

\*\* 한국교원대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, KNUE), minblee@knue.ac.kr

\*\*\* 한국교원대학교 통일교육연구소 연구원(Researcher, Institute of Education for National Unification, KNUE)

상태를 조사하는 기술을 말하는 것으로 많은 분야에서 활용되고 있다. 이것은 광범위한 지역을 주기적으로 같은 정도로 관측하므로, 비교적 저렴한 비용으로 입수 가능한 data를 사용하여 토지 피복과 식생 등을 조사하고 그 변화의 분석이 가능하기 때문이다. 그러나 정확한 데이터의 처리 및 이러한 주요 생물 요소 등과 밀접한 관련을 맺고 있는 고도, 경사도 등의 지표 환경을 효과적으로 분석하기 위하여 GIS 기법을 상호보완적으로 병행하는 것이 좋다.

본 연구에서는 현실적으로 접근이 용이하지 않은 지역인 평안북도 삭주, 대관, 구성, 의주를 사례로 1988년과 2001년의 Landsat 영상을 이용하여 토지피복 및 NDVI 값을 분석한 후, 그 변화를 수치고도모델(DEM)을 이용하여 분석한 지형적 특성과 관련시켜 설명해보고자 한다.

## 2. 선행 연구

최근의 식생 및 산림 연구에 있어서는, GIS와 RS가 널리 활용되고 있다. 그것은 RS가 종래의 항공 사진에 비해 해상력은 낮으나 넓은 지역을 한번에 연구하기에 적당하고, 산림에 대한 다양한 정보를 주기적으로 관측, 제공해주므로 신속하고 저비용으로 식생 및 임상 구분, 산림 자원량의 모색, 산지이용형태 분류 등을 가능하기 때문이다(이승호, 1992 : 9). 특히, 광범위한 산림자원조사에 있어서는 항공사진에 비해 시간 및 비용이 약 1/3~1/4 정도 절감된다는 장점이 있으며, 본 연구와 같이 항공사진을 이용할 수 없는 지역의 경우에도 매우 유용하다. 또한 원격탐사를 이용한 조사에서도 위성영상과 함께 항공 사진 및 현지 조사를 병행하면 더 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 최근 고비용이지만 Ikonos와 같은 고해상도 영상을 병행 이용되기도 한다. 이러한 정보를 실제 효과적으로 활용하기 위해서는 GIS와의 결합 및 통합적인 사용이 거의 보편화되어 가고 있다(Goodenough, 1988 : 연상호, 1990).

이와 관련한 국내 연구의 사례를 살펴보면, 김갑덕(1987)은 Landsat MSS 합성사진을 이용한 토지 이용 분류, 임상구분 및 수종 식별의 가능성을 제

시했고, 조명희(1990)는 Landsat TM영상을 이용하여 토지피복 분류를 시도하였다. 김철민(1991)은 경북 금오산을 대상으로 Landsat TM 데이터를 통해 임상을 구분하고 수치지형모델(DTM)을 이용하여 산림 분포와 관련된 여러 지형 요인들을 유도, 산림 분포 특성을 해석하였다. 이승호(1992)는 Landsat MSS 및 TM 화상자료를 다중분광 처리하여 온산공단 주변의 산림 및 토지이용형태의 변화와 이에 따른 임상, 피복도, 분포 면적 등의 산림 분포 특성에 관한 경년변화 상태를 분석하였다. 황순욱(1997)은 NOAA/AVHRR 자료를 이용하여 북한 지역의 지피식생 및 농경지를 모니터링하였으며, 김두일 외(1998)는 위성영상을 이용하여 황해도 농촌지역의 토지이용변화를 분석하였다. 김광래 외(1998)는 원격탐사자료를 이용하여 서울시 토지피복의 시계열 변화량을 추출하였고, 성효현과 박옥준(2000)은 성남시를 중심으로 하여 토지피복 변화에 따른 NDVI의 분포 및 변화를 분석하였다. 김지은(2002)은 DEM을 이용, 지형환경과 관련시켜 조계산의 산림 식생의 공간적 분포를 상세하게 분석하였다. 그리고, 이민부 외(2003)는 Landsat 영상 및 수치고도자료를 이용하여 두만강 하류지역의 농경지 개간에 따른 지표피복 변화 과정의 추적을 통하여 환경문제 분석을 시도하였다.

## 3. 연구 지역 및 연구 방법

### 1) 연구지역 개관

본 연구 대상 지역인 북한 행정구역상의 평안북도 지역은 해발 평균높이가 약 236m, 최고 높이는 묘향산의 1,909m으로서 산지가 많지만, 80% 이상이 500m 이하이며 특히 경제활동에 이용 가능한 200m 미만의 지역이 대부분이다. 연평균 기온은 7~9°C이며, 1월 평균기온은 -7.9°C~-12.5°C, 7월 평균기온은 22~24°C이다. 연평균강수량은 900~1,400mm로서 특히 청천강, 구룡강 및 대령강 상류 지역은 우리나라의 다우지역에 속한다.

본 연구에서 거주지 구체적인 사례로 선정한 주요 지역을 차례로 살펴보면, 삭주군은 압록강의 수풍호를 끼고 있으며 군의 80%가 산림으로 구성되

어 있다. 대관군은 평북의 내륙에 위치하고 있으며 산지가 우세한 지역이면서, 하계 밀도가 비교적 조밀한 특성을 가진다. 인구 19만명의 구성시는 평북의 중앙에 위치하였으며, 신의주 다음으로 큰 도시이다. 의주군은 압록강을 사이에 두고 중국과 인접하고 있으며, 남동부의 높은 산지가 북서부로 가면서 점차 낮아지는 특성을 보인다(통일원, 1993).

2) 연구 방법

본 연구는 Landsat의 통과 관측 위치 118Path / 32Row를 cover하는 지역 중 평안북도의 삭주, 대관, 구성, 의주를 중심으로 하는 주요 거주 지역 4곳을 연구의 공간적 범위로 하되(그림 1), 1988년 9월 25일과 2001년 9월 21일의 2시기를 시간적 범위로 하여 비교 분석한다. 토지 피복 및 식생 변화 분석의 오류를 줄이기 위하여 계절적으로 최대한 동일 시기 영상을 선택하였으며, 1988년은 TM(Thematic Mapper)영상, 2001년은 ETM(Enhanced Thematic Mapper)영상이다. 또한, 지형 분석을 위하여 한반도 전역을 대상으로 제작된 DEM 자료의 일부를 수정, 사용한다. 연구분석 과정은 그림 2와 같다.

첫째, 연구 지역의 범위를 설정한 후, 대상 지역의 기본도를 제작하고 data를 보정하였다. 정확한 분류를 위해 기하보정(geometric correction) 및 방사보정(radiometric correction)의 단계를 거쳤는데, 기하보정에 있어서는 UTM WGS84(52 zone) 투영 체계를 이용하되, TM영상의 경우 최신 북한

1:50,000지도를 바탕으로 16개의 GCP를 선정, RMS error 0,0641로 보정(rectification)하였고, ETM 영상은 TM영상을 바탕으로 RMS error 0,1712로 등록(registration)되었다.

방사보정은 태양 고도각, 센서의 특성, 대기의 상태 및 지형적 요인 등에 의해 발생하는 방사량에 있어서의 오차를 제거, 정확한 영상분석을 위하여 실시하였는데, ERDAS 8.5 Modeler를 수정 보완하되, Header file을 참고로 각 영상 및 band별 고유값을 적용하였다. 방사보정이 이루어진 후에는 각 화소값의 분산도가 커짐에 따라 나타나는 분류시의 오류를 최소화하기 위하여 필터를 적용하였다.

둘째, 1:50,000지도를 참고로 훈련지역을 설정, 감독분류(supervised classification)을 통해 토지 피복을 분류하되 산림, 시가지와 촌락, 농경지 및 초지, 수계, 나대지, 인간의 간섭에 의한 황무지로 구분하였다. 여기서 나대지는 식생과 토지이용 없이 토양 혹은 풍화층이 그대로 드러난 지표면으로써 상류로부터 많은 부유물질이 운반 퇴적되어 하천이 제 역할을 하지 못하고 있는 경우도 나대지로 분류하였다. 황무지는 인간의 간섭에 의해 토지이용이 불가능해진 지역을 말한다.

셋째, band 3과 band 4를 이용하여 NDVI 분석을 실시하였다. 식생지수는 적색 가시광선과 적외선 영역의 녹색 식물에 대한 반사율 차이를 이용하여 계산되므로, 각각 band 3과 band 4를 이용하였다. 또한, 본 연구에서는 NDVI 값을 0~255의 256단계의 DN(digital number)값으로 조정하기 위

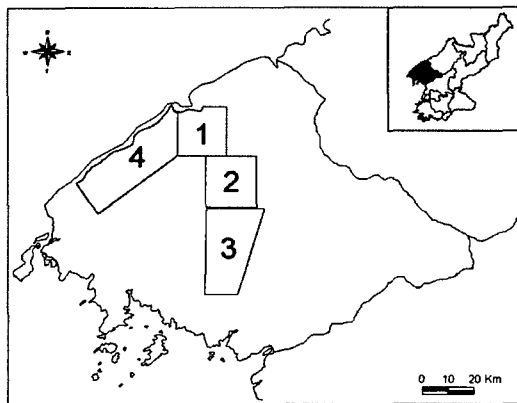


그림 1. 연구 지역 (현재의 북한 행정구역 : 1-삭주군, 2-대관군, 3-구성시, 4-의주군)

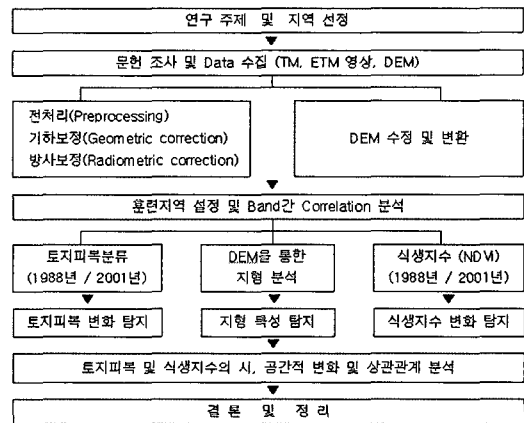


그림 2. 연구의 흐름

하여 다음과 같이 변형된 식을 사용하였다.

$$NDVI = \frac{(Band4 - Band3) \times 128}{(Band4 + Band3) + 128} \quad (1)$$

식(1)에서 구한 NDVI는 255에 가까울수록 식생 활력도가 높음을 의미한다. 그러나 어느 지역의 NDVI가 높다는 것은 반드시 그 지역이 울창한 산림을 의미하는 것은 아니다. 활발하게 성장을 하고 있는 초지는 다소 훼손된 산림보다 높을 수 있으며, 일반적으로 활엽수림이 침엽수림보다 높다.

넷째, 식생은 지형환경 특히 고도 및 사면 방향 등의 영향을 받게 되므로 DEM 분석을 통해 연구 지역 내의 이러한 지형적 특성을 분석하였다(이금삼, 1999). 마지막으로, 고도, 경사, 사면 방향에 따른 NDVI의 시·공간적 변화 및 토지피복변화와 식생의 변화의 상관관계 등을 정량적으로 분석하였다.

#### 4. 토지피복 및 NDVI의 시간적 분포

##### 1) 토지피복분류 및 변화

본 연구에서는 각 연구지역의 토지피복분류를 위하여 band 3,2,1 조합을 이용하여 감독분류를 실시하였으며, 각기 지역적 특성에 따라 5-6개로 분류하였다. 4 지역의 토지피복분류는 그림 3~6의 각 지도 및 표 1~4의 도표를 통해 분석결과를 제시하였다.

분석 결과, ①지역에서는 인간 간섭의 영향으로 산림이 감소한 반면에 황무지로 변화되었다. 압록강 본류의 하천변 지역에서는 상류로부터 운반된 퇴적물로 매몰된 나대지가 증가하였으며, 수풍댐으로 인해 형성된 호수변은 저수량의 증가로 나대지가 감소한 것을 알 수 있다. 시가지 주변의 나대지에서는 농경지로 개간된 지역이 나타난다(그림 3, 표 1). ②지역은 약 58km<sup>2</sup>의 산림이 감소하면서 이들 대부분이 나대지 및 황무지로 변화되었으며, 연구지역 중 가장 많은 산림이 파괴된 지역으로 나타났다(그림 4, 표 2). ③지역은 구성시 지역으로서, 4지역 중 가장 개발이 많이 이루어진 지역이다. 산림이 감소한 현상은 동일하지만, 시가지 및 농경지가 함께 증가한 것이 주목할 만하다. 즉, 시가지

가 점차 확대되면서 시가지 주변의 나대지 및 산림 지역이 농경지로 개간되었으며, 새로운 개발로 인하여 황무지가 산림지 방향으로 확대된 것을 볼 수 있다(그림 5, 표 3). ④지역은 압록강변을 따른 의주지역으로서, 전체 변화량이 가장 적은 지역이다. 이 지역에서는 산림이 나대지 및 황무지로, 또한 기존 나대지가 황무지로 변화된 지역을 관찰할 수 있다(그림 6, 표 4).

##### 2) NDVI 분포 및 변화

본 연구에서는 앞서 연구방법에서 제시한 바와 같은 식으로 NDVI를 계산하였으며, 연구지역 내의 NDVI 분포를 고려하여 각각 9단계로 분류하였다. 4지역의 NDVI 값은 그림 7~14의 각 지도 및 그래프를 통해 분석 결과를 제시하였다. NDVI 분포는 1988년의 값을 기준으로 하여 9단계 단계구분도를 제작한 후, 동일한 조건에서 변화치를 살펴보기 위하여 동일한 급간으로 2001년의 NDVI 분포도를 제작하였다.

NDVI 분석을 통해, 연구 지역 ①에서는 식생지수 최대값 분포 지역(240~255)이 감소한 반면에, 중간값 분포 지역(64~229)은 증가한 것을 볼 수 있다. 즉, 전체 식생지수 및 분산도가 감소한 것을 알 수 있다(그림 7, 9). 연구지역 ②는 연구 지역 ①과 유사한 패턴으로 최대값 분포 지역(213~255)이 감소하고 최소~중간값 지역이 증가하였으나 그 변화 정도는 미약하게 나타났다(그림 8, 10). 연구지역 ③은 구성시 시가지 및 개발 지역이 넓게 분포하고 있어 ①, ②지역에 비해 NDVI 분포값이 낮다. 0~106의 최소값 구간은 그 분포지역이 거의 동일하며, 최대값 분포지역(219~255)은 감소하였고, 그보다 낮은 구간인 203~218의 분포를 보이는 지역이 증가하였다. 그러나, 그림 11의 2001년 NDVI 분포에서 중간값(173~185)지역은 증가한 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 시가지 개발 등으로 인하여 높은 식생지수를 나타내는 산림지역은 전체적으로 감소하였으나, 경작이 이루어지지 않고 버려졌던 저평한 지역이 경작지로 재사용되거나 또는 초지로 변화되었기 때문으로 추정된다(그림 11, 13). 마지막으로, 연구지역 ④는 압록강과 지류 및 하천변의 범람지대를 포함하고 있어 식생지수가 최소값을 가지는 지역이 넓게 분포하고 있다.

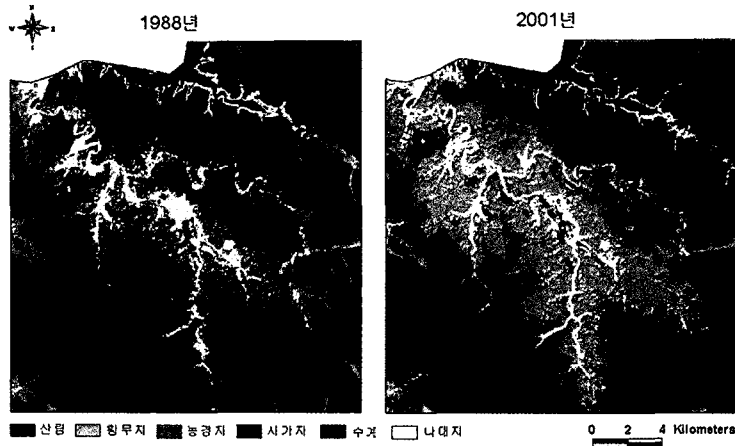


그림 3. 연구지역 ①의 토지피복분류

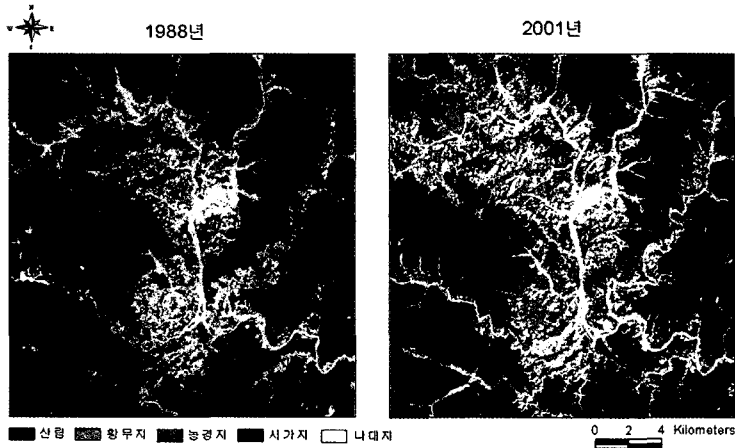


그림 4. 연구지역 ②의 토지피복분류

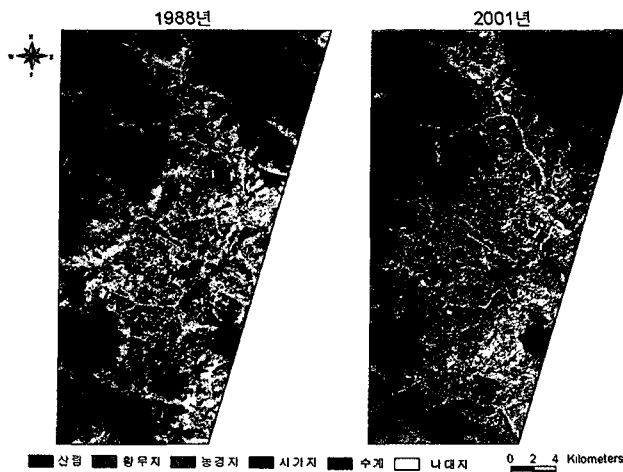


그림 5. 연구지역 ③의 토지피복분류

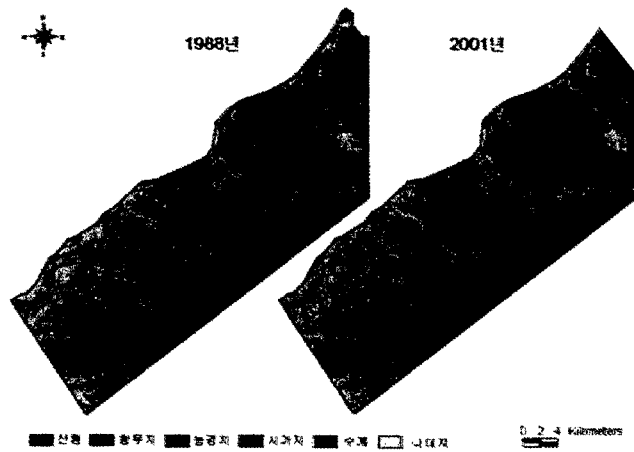


그림 6. 연구지역 ④의 토지피복분류

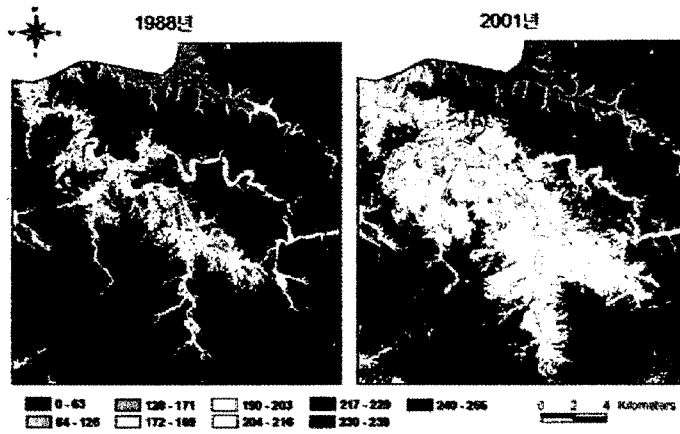


그림 7. 연구지역 ①의 NDVI 분포

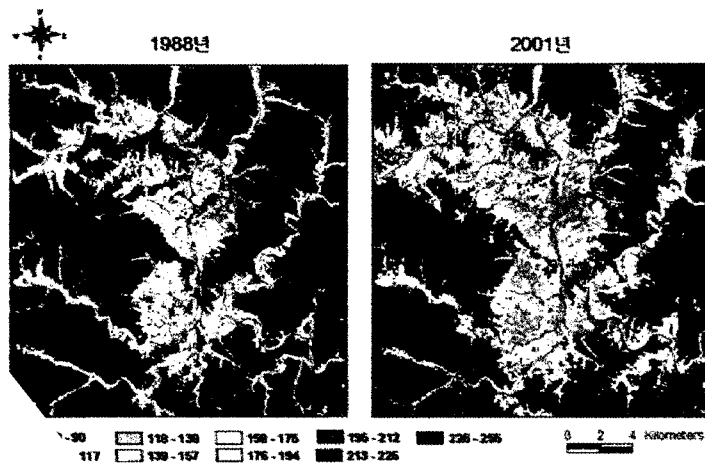


그림 8. 연구지역 ②의 NDVI 분포

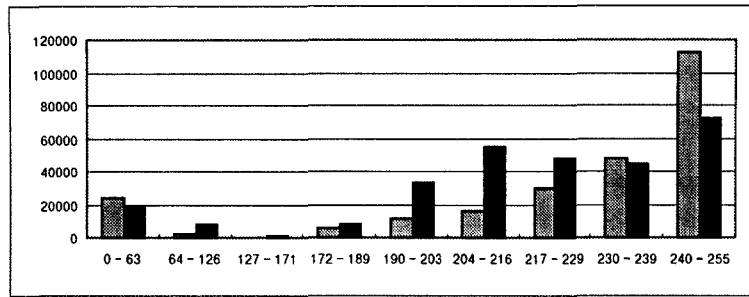


그림 9. 연구지역 ①의 NDVI 분포 변화(좌 : 1988년, 우 : 2001년)

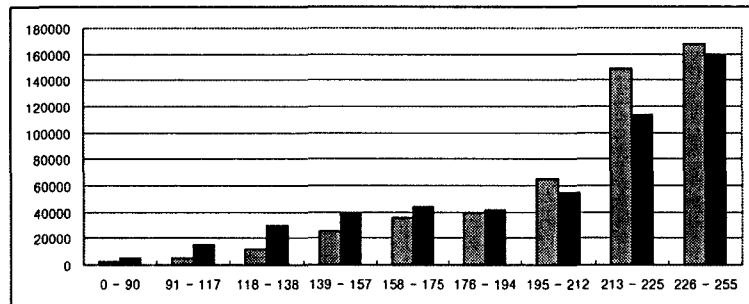


그림 10. 연구지역의 NDVI 분포 변화(좌 : 1988년, 우 : 2001년)

표 5. 연구지역 ①의 토지피복별 고도분포 (단위 : m)

분류항목	1988년		2001년	
	Mean	SD	Mean	SD
산 립	424.51	153.99	424.63	159.02
황무지	238.31	89.29	266.23	105.46
농경지	145.38	62.69	184.09	85.97
시가지	142.44	21.23	144.94	39.58
수 계	123.07	12.79	124.23	15.25
나대지	154.53	61.61	195.35	110.78

표 6. 연구지역 ②의 토지피복별 고도분포 (단위 : m)

분류항목	1988년		2001년	
	Mean	SD	Mean	SD
산 립	369.79	110.41	385.25	111.39
황무지	233.58	53.61	246.33	61.93
농경지	237.52	61.54	226.64	52.55
시가지	201.85	20.31	237.22	33.39
나대지	217.70	48.39	254.28	72.91

표 7. 연구지역 ③의 토지피복별 고도분포 (단위 : m)

분류항목	1988년		2001년	
	Mean	SD	Mean	SD
산 립	336.56	136.16	346.32	137.48
황무지	132.47	47.51	135.03	59.11
농경지	91.35	24.99	143.24	73.60
시가지	102.64	33.74	129.20	59.70
수 계	94.44	34.90	102.34	33.67
나대지	128.47	54.43	149.47	82.13

표 8. 연구지역 ④의 토지피복별 고도분포 (단위 : m)

분류항목	1988년		2001년	
	Mean	SD	Mean	SD
산 립	213.12	97.22	215.60	97.09
황무지	98.36	62.20	105.15	66.03
농경지	39.53	32.82	37.03	27.01
시가지	78.51	40.26	84.99	57.51
수 계	44.66	38.32	39.65	16.29
나대지	64.45	56.56	64.89	53.92

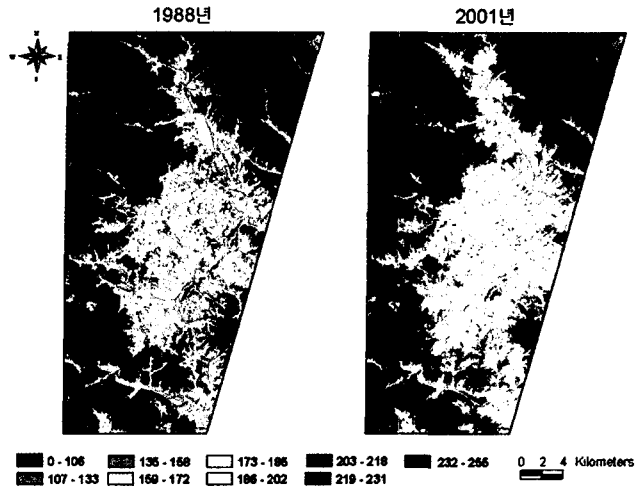


그림 11. 연구지역 ③의 NDVI 분포

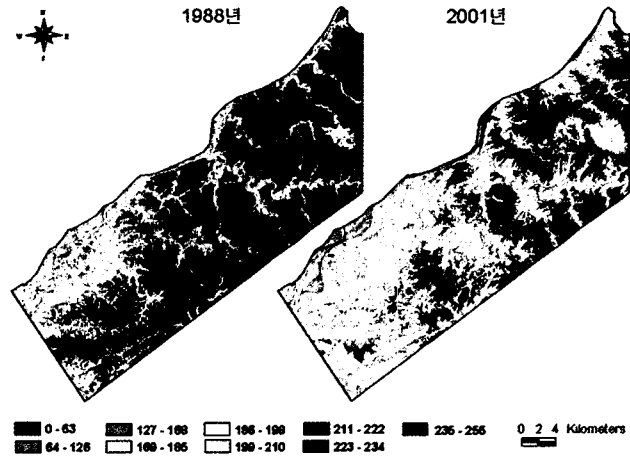


그림 12. 연구지역 ④의 NDVI 분포

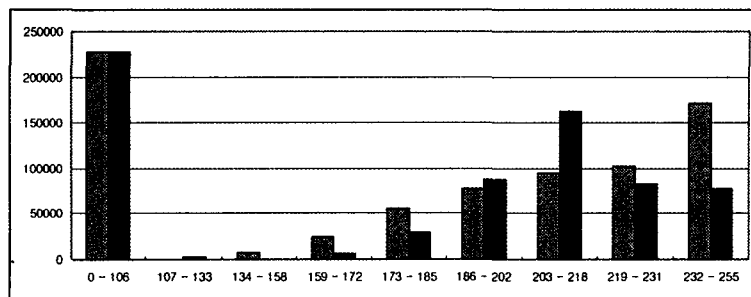


그림 13. 연구지역 ③의 NDVI 분포 변화 (좌 : 1988년, 우 : 2001년)



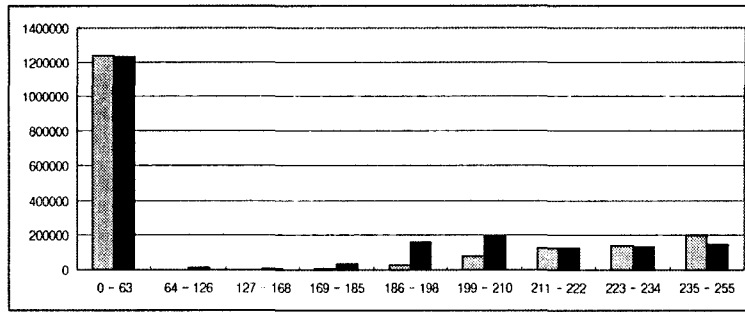


그림 14. 연구지역 ④의 NDVI 분포 변화 (좌 : 1988년, 우 : 2001년)

표 1. 연구지역 ①의 토지피복변화 (단위 : km<sup>2</sup>)

분류 항목	1988년(%)	2001년(%)	변화량(%)
산 립	268.3(67)	248.0(62)	-20.3(7.6)
황무지	97.6(24)	105.4(26)	7.7(1.0)
농경지	2.7(0.006)	7.8(1.9)	5.1(2.8)
시가지	0.2(0.001)	0.6(0.001)	0.4(3)
수 계	6.5(0.1)	7.8(1.9)	1.3(1.2)
나대지	24.0(6.0)	29.6(7.4)	5.6(1.2)
합 계	399.3	399.2	0

표 2. 연구지역 ②의 토지피복변화 (단위 : km<sup>2</sup>)

분류 항목	1988년(%)	2001년(%)	변화량(%)
산 립	326.1(72)	267.9(59)	-58.2(17.9)
황무지	57.2(12)	91.0(20)	33.7(1.5)
농경지	9.7(2.1)	10.5(2.3)	0.8(1.0)
시가지	0.05(0.01)	0.17(0.02)	0.1(3.4)
나대지	57.6(12.7)	81.1(17.9)	23.4(1.4)
합 계	450.65	450.67	0

표 3. 연구지역 ③의 토지피복변화 (단위 : km<sup>2</sup>)

분류 항목	1988년(%)	2001년(%)	변화량(%)
산 립	344.2(50)	303.3(44)	-40.9(11.9)
황무지	178.3(26)	197.7(29)	19.4(1.1)
농경지	31.2(4.5)	87.3(12.7)	56.1(2.7)
시가지	10.9(1.5)	18.5(2.7)	7.6(1.6)
수 계	1.7(0.002)	2.7(0.003)	0.9(1.5)
나대지	117.5(17.1)	74.2(10.8)	-43.2(37)
합 계	683.8	683.70	

표 4. 연구지역 ④의 토지피복변화 (단위 : km<sup>2</sup>)

분류 항목	1988년(%)	2001년(%)	변화량(%)
산 립	446.9(58)	436.4(56)	-10.4(2.4)
황무지	165.6(21)	167.3(21)	1.6(1.0)
농경지	26.0(3.3)	26.8(3.4)	0.8(1.0)
시가지	6.2(0.8)	11.0(1.4)	4.7(1.7)
수 계	20.6(2.6)	12.9(1.6)	-7.6(37.4)
나대지	102.2(13.3)	113.2(14.7)	10.9(1.1)
합 계	767.5	767.6	0

표 9. 연구지역 ①의 토지피복별 경사분포 (단위 : °)

분류항목	1988년		2001년	
	Mean	SD	Mean	SD
산 립	22.23	8.07	22.33	8.31
황무지	15.03	9.37	15.63	8.92
농경지	6.81	9.04	8.86	9.80
시가지	3.44	8.01	4.20	8.69
수 계	2.38	7.53	2.85	8.09
나대지	8.67	10.24	12.75	10.96

표 10. 연구지역 ②의 토지피복별 경사분포 (단위 : °)

분류항목	1988년		2001년	
	Mean	SD	Mean	SD
산 립	18.72	8.62	19.60	8.35
황무지	8.11	8.45	9.44	8.64
농경지	7.32	8.71	7.31	8.34
시가지	7.89	8.01	8.86	8.24
나대지	8.52	8.95	11.51	9.67

표 11. 연구지역 ③의 토지피복별 경사분포 (단위 : °)

분류항목	1988년		2001년	
	Mean	SD	Mean	SD
산 립	18.61	7.36	18.86	7.43
황무지	7.86	6.81	7.76	6.89
농경지	2.27	3.83	7.74	7.78
시가지	3.93	6.09	7.07	7.89
수 계	3.12	6.01	3.62	6.38
나대지	7.20	6.89	8.90	7.72

표 12. 연구지역 ④의 토지피복별 경사분포 (단위 : °)

분류항목	1988년		2001년	
	Mean	SD	Mean	SD
산 립	17.13	9.36	17.25	9.33
황무지	9.40	8.95	9.74	9.03
농경지	2.77	5.37	2.66	5.26
시가지	6.46	4.98	10.18	9.94
수 계	3.06	6.94	2.76	6.82
나대지	5.28	7.83	5.62	8.02

또한, 남서쪽 지역에는 국경을 따라 새로운 시가지 등이 개발되면서 식생지수가 크게 감소한 것을 관찰할 수 있다(그림 12, 14).

## 5. 토지피복 및 NDVI의 공간적 분포

### 1) 토지피복의 공간적 분포

앞서 보았듯이, 13년간 연구지역의 토지피복은 크게 변화하였다. 이러한 변화는 하천 범람이나 부유하중 등의 자연적 요인의 영향도 있겠지만, 농경지 개간 및 시가지 개발 등의 인위적 요인 또한 많은 영향을 미친 것으로 분석되었다. 인간의 간섭에 의한 변화는 곧 접근이 용이한 지역을 우선하므로, 토지피복변화와 DEM을 통해 분석된 고도 및 경사도와와의 상관관계를 분석하는 것이 의미가 있을 것으로 본다. 고도와 경사도는 토지피복 전체의 평균고도와 경사도이다.

DEM과의 상호 분석을 통한 연구 지역 내 각 토지피복의 고도분포를 살펴보면, 연구지역 ①의 경우, 산림 및 수계는 고도 변화가 거의 없으나 농경지는 개간에 따라 평균고도가 약 40m 가량 높아졌으며, 이와 동시에 나대지 및 황무지 또한 비교적 높은 고도까지 확대된 것으로 분석된다. 연구지역 ②는 연구가 이루어진 네 지역 중 가장 변화가 적은 지역이며, 나대지 만이 높은 고도까지 진전되었다. 연구지역 ③은 농경지 및 시가지, 나대지가 모두 약 20-50m 가량 고도가 상승하였다. 시가지 고도상승 요인은 수치고도모델의 오차를 고려하더라도 산지의 비율이 높은 지역이라는 점을 감안하면 어느 정도는 수직적인 상승을 인정할 만한 수

치이다. 연구지역 ④ 또한 거의 고도에 따른 토지피복 변화가 거의 없으며, 황무지만이 약 7m 정도 고도가 상승하였으나 분석의 오차를 고려하면 큰 변화는 없는 것으로 파악된다.

다음으로, 경사도 분포와 토지피복과의 관계를 살펴보면, 연구지역 ①에서는 나대지 지역의 경사도가 약 4° 증가하였으며, 연구지역 ②에서는 황무지 지역이 약 1.3°, 나대지 지역이 약 3° 증가하였다. 연구지역 ③은 농경지가 경사도가 5° 이상, 시가지가 약 4° 증가하였고, 연구지역 ④에서는 시가지가 4° 가량 증가한 것 이외에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 즉, 고도가 상승하더라도 비교적 경사도가 급하지 않은 지역을 대상으로 개간 및 개발이 이루어진 것으로 추정할 수 있다.

### 2) NDVI의 공간적 분포

다음은 각 고도별, 경사도별로 NDVI값과 1988년과 2001년 사이의 공간적 분포 변화를 분석한다. NDVI 값은 연속적으로 분포하므로 분산형 그래프를 통해 표현하였다.

그림 15를 통해 고도별 NDVI 분포 경향을 보면, 연구지역 ①에서는 고도 200m 이하 지역은 1988년에는 식생지수가 50~200에 분포하면서 주로 150~200에 집중하고 있었지만, 2001년에는 0~150에 고르게 분포한다. 또한, 식생지수 200 이상인 지역이 현저히 감소한 것을 알 수 있다. 연구지역 ②는 고도별 토지피복과 마찬가지로 큰 변화를 보이지 않고 있으나, 다만 전체 지역에서 지수가 감소하였다. 연구지역 ③ 또한 유사한 경향을 보이고 있지만, 고도 300m 이상인 지역에서는 오히려 식생지수가 증가한 현상을 관찰할 수 있다. 연구지역

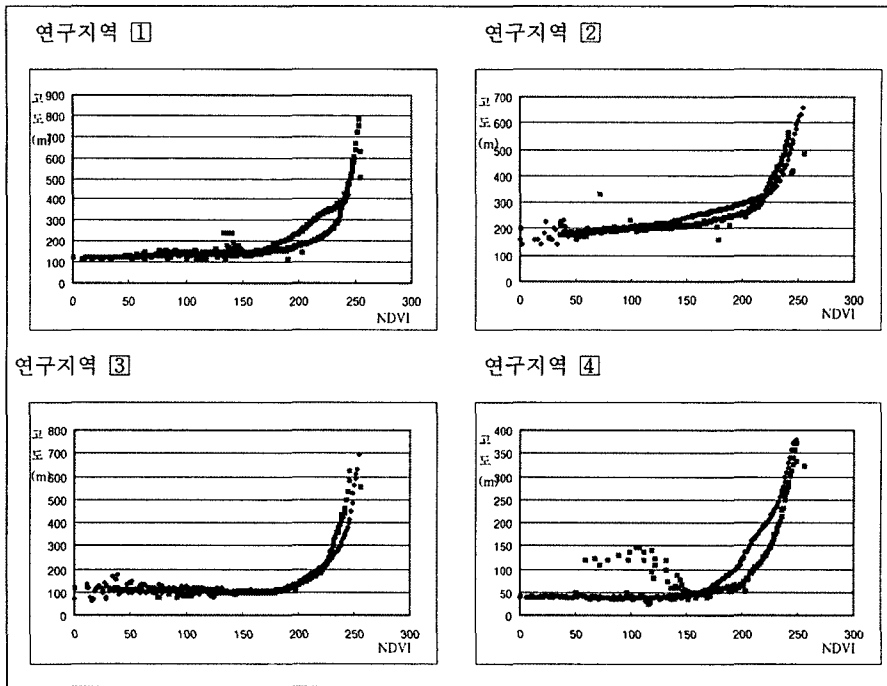


그림 15. 각 연구지역의 고도에 따른 NDVI 분포(■1988년 ◆2001년)

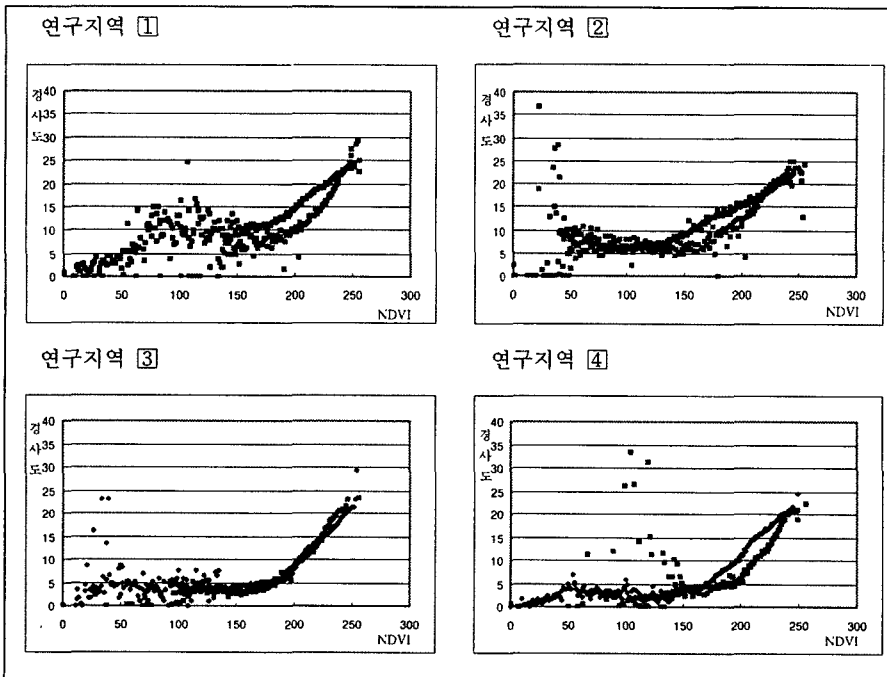


그림 16. 각 연구지역의 경사도에 따른 NDVI 분포(■1988년 ◆2001년)

④에서는, 앞에서 언급된 지역과 다른 경향이 나타나는데 이는 물론 분석에 있어서의 오차도 작용하겠지만, 하천지류변의 나대지가 농경지 등으로 변화된 영향으로 보인다. 정리해보면, 고도가 증가할수록 산림 지대가 증가하므로 식생지수는 증가하고 있으나, 1988년에 비하여 2001년에는 그 정도가 감소하고 있다. 또한, 높은 고도지역일수록 식생지수가 더 집중되어 있는 것은 기후의 영향으로 인한 식생의 단순화 현상의 영향도 있을 것으로 본다(김철민, 1991; 김지은, 2002).

그림 16의 경사도별 NDVI 분포를 보면, 고도와 상관관계에 비해 정적 상관의 정도가 낮음을 알 수 있다. 연구지역 전체에서 경사도가 높을수록 식생지수가 높아지는 경향을 보이지만, 1988년에 비하여 2001년에는 동일 경사도에 있어서 식생지수가 각각 5-10정도 감소하는 경향을 보이고 있다. 경사도가 커질수록 식생지수의 분산도는 낮아지는 경향을 보이는데, 이는 일정 이상의 경사도를 지닌 지역에서는 개발이 덜 이루어졌음과 함께 고도상승에 따른 수종의 단순화의 영향도 있을 것으로 추정된다.

마지막으로, 그림 18의 그래프는 사면 방향에 따른 NDVI 분포를 나타내고 있다. 사면 방향은 일반적으로 북을 기준으로 시계방향으로 0~360°의 분포로서 표현한다. 그러나, 사면 방향의 절대값은 식생 활력도와와의 상관관계를 설명할 수 없으므로, 본 연구에서는 일사량과의 관련성으로 고려하여 사면을 4방향으로 사면 방향 0-1은 0~45° 및 315~360° 지역, 사면 방향 1-2는 45~90° 및 270~315° 지역, 사면 방향 2-3은 90~135° 및 225~270° 지역 그리고 사면방향 3-4는 135~225° 지역으로 재분류하였다(그림 17).

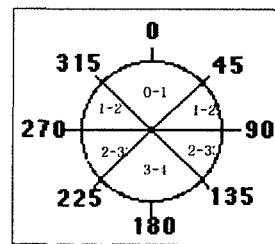


그림 17. 사면방향 재분류

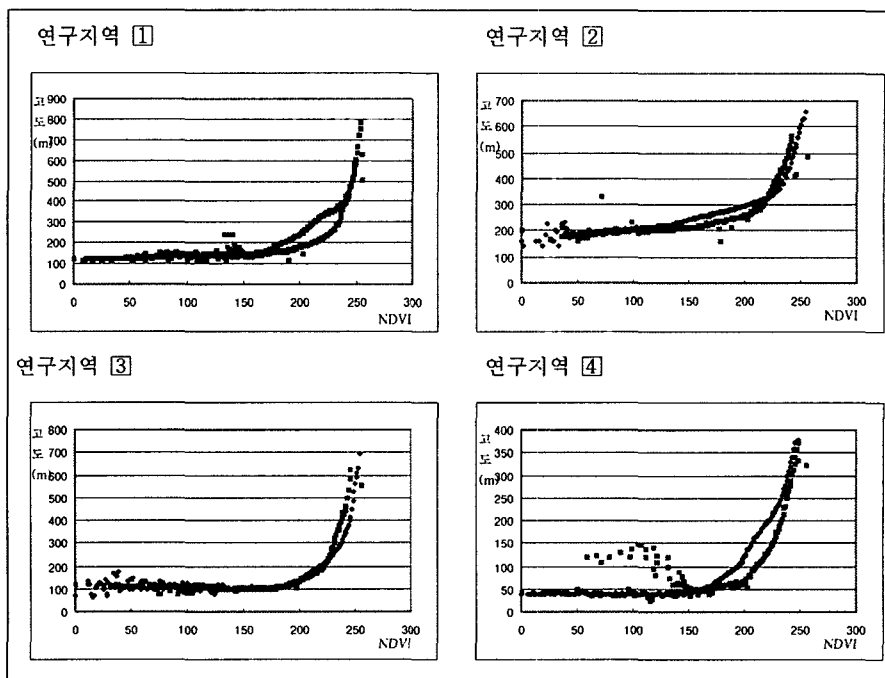


그림 18. 각 연구지역의 사면 방향에 따른 NDVI 분포(■ 1988년 ◆ 2001년)

이러한 분류에서 보면, 방향 3-4의 지역은 남서, 남, 남동향을 포함하고 있어 가장 일사량이 많은 지역이며, 방향 0-1의 지역은 북서, 북, 북동향 지역으로서 최저 일사량을 보이는 지역이다(Lee, 1993).

재분류한 사면 방향의 평균값과 NDVI 분포의 상관관계를 살펴보면, 사면 방향의 평균값이 높을수록 NDVI 값이 높게 나타나고 있어, 사면에 따른 일사량이 식생에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 1988년과 2001년을 비교해보면, 연구지역 전체에서 NDVI 값은 감소하였고, 분산도는 어느 정도 증가하였다.

## 6. 결론 및 제언

본 연구에서는 비접근 지역인 북한의 평안북도 서부의 삭주, 대관, 구성, 의주를 사례로 1988년의 Landsat TM 및 2001년의 Landsat ETM 영상을 이용하여 토지피복 및 NDVI 값을 분석한 후, 그 변화를 수치고도모델(DEM)을 이용하여 고도, 경사도, 사면방향 등 지형적 특성과 관련시켜 설명해보고자 하였다.

연구 결과, 평안북도 삭주, 대관, 구성, 의주 지역은 13년간 산림이 감소하고 시가지, 인간의 간섭에 의해 생한 황무지, 범람과 사태 등의 자연적 요인에 의한 나대지 등이 증가하였다. DEM 분석을 통해 볼 때, 대부분의 지역에서 고도가 높고 경사도가 큰 지역까지 시가지 개발 및 확장, 개간이 이루어지면서 더 많은 황무지가 발생하였다.

또한, 고도가 증가할수록 산림 지대가 증가하므로 식생지수는 증가하고 있으나, 1988년에 비하여 2001년에는 활력도 정도가 감소하고 있다. 경사도가 높을수록 식생지수가 높아지는 경향을 보이지만, 동일 경사도에 있어서 1988년에 비해 2001년은 식생지수가 각각 5-10정도 감소하고 있다. 즉, 비교적 높은 고도에서도 NDVI 값이 감소한 사실을 알 수 있었다. 사면 방향과 관련해보면 일사량이 높은 남서~남동향일수록 NDVI 값이 높게 나타났으나 13년간 NDVI 값은 감소하였고, 분산도는 증가하였다.

이는 지형적 특성을 고려하지 않은 채 농경지 개간 등이 이루어짐으로써 발생하는 악순환의 영

향으로 판단된다. 북한의 정치, 경제적인 상황이 우리나라와 현저히 다르므로, 산사태 등의 자연재해 방지, 안정적인 식량공급 등을 위해 이와같은 연구와 합리적인 해결책 제시가 요구된다.

## 文 獻

- 김갑덕 · 이승호 · 김길민, 1989, "Landsat TM data와 흑백적외선 항공사진을 이용한 임상구분에 관한 연구," 한림지, 78(3), 263-273.
- 김광래 · 이종성, 1998, "원격탐사자료를 이용한 서울시 토지피복의 시계열 변화량 추출," 국토계획, 95, 363-374.
- 김두일 · 한 욱 · 정상조, 1998, "위성 영상을 이용한 황해도 농촌 지역의 토지이용 변화 연구," 지리학연구, 32(4), 135-146.
- 김지은, 2002, DEM을 이용한 조계산 산림식생의 공간적 분포 분석, 순천대학교 대학원 박사학위논문.
- 김철민, 1991, Landsat TM 데이터와 수치지형모델을 이용한 산림분포 해석에 관한 연구 - 금오산 지역을 중심으로 -, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 성효현 · 박옥준, 2000, "토지피복 변화에 따른 식생지수(NDVI)분포 및 변화에 관한 연구 : 성남시를 중심으로," 한국GIS학회지, 8(2), 275-288.
- 연상호, 1990, 리모트 센싱과 GIS의 종합 및 그 적용기법에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이금삼, 1999, DEM을 이용한 한반도 지형의 계량적 특성과 기반암질과의 관계분석, 경북대학교 박사학위논문.
- 이민부 · 한 욱 · 김남신 · 한주연 · 신근하 · 강철성, 2003, "두만강 하류지역의 농경지 개간에 따른 환경문제," 대한지리학회 춘계학술대회 발표집, 대한지리학회, 93-97.
- 이승호, 1992, Landsat 화상자료를 이용한 산림식피 변화에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 조명희, 1990, Landsat TM 영상을 이용한 토지피

- 복분류: 낙동강 하구지역을 사례로, 경북대학교 대학원 박사학위논문.
- 통일원, 1993, 북한지지도요람, 통일원.
- 황순욱, 1997, NOAA/AVHRR 자료를 이용한 북한 지역 지피식생 및 농경지 모니터링, 서울대 석사학위논문.
- Goodenough, D. G., 1988, Thematic mapper and SPOP intergration with a geographic information system, *P. E. & R. S.* 52(2), 167-176.
- Lee, M-B, 1993, Diffusion equation models for geomorphic dating, *Journal of the Korean Geographical Society*, 28(4)(English Ed.), 285-296.
- Kim, S-J et al., 1993, *Geology of Korea*, Foreign Languages Book, Publishing House, Pyongyang.
- Honda, K., Samrakon, L., Mabuchi, Y., and Miyajima, S., 1996, Remote sensing and GIS technologies for denudation estimation in Siwalik Watershed of Nepal, <http://gisdevelopment.net>.
- Shi, A.H., Cai, C.F., Ding, S.W., Li, Z.X., Wang, T.W. and Sun, Z.C., 2002, Assessment of erosion Risk with the Rusle and GIS in the middle and Lower Reaches of Hanjiang River, *12th ISCO Conference*, 73-78.
- Toy, T.J., and Foster, G.R.(ed), 1998, *Guidelines for the RUSLE ver 1.06 on mined lands, construction sites and reclaimed lands*, Department of Geography, University of Denver.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D, 1965, Predicting rainfall erosion losses from cropland east of Rocky mountains-guide for selection of practices for soil and water conservation, *Agricultural Handbook*, 282, U.S., Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D, 1978, Predicting rainfall erosion losses, *Agricultural Handbook*, 537, U.S., Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Zinck, J.A.Z., Lopez, J., Metternicht, G. I., Shrestha, D.P and Vazquez-Selem, L., 2001, Mapping and modeling mass movement and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques, *JAG*, 3(1), 43-53.
- 김천, 위성 원격탐사자료를 이용한 북한 홍수피해 지역의 환경계측(<http://krsc.kigam.re.kr>).
- <http://mepas.pnl.gov>. soil erodity Factor.

최초투고일 03. 10. 01

최종접수일 03. 12. 17