

## 多時期 위성영상을 이용한 두만강 하류지역의 농경지 개간의 공간적 특성분석\*

이민부\*\* · 한 욱\*\*\* · 김남신\*\*\*\* · 한주연\*\*\*\* · 신근하\*\*\*\* · 강철성\*\*\*\*

### Analysis on the Spatial Characteristics Caused by the Cropland Increase Using Multitemporal Landsat Images in Lower Reach of *Duman River*, Northeast Korea\*

Min-Boo Lee\*\*, Uk Han\*\*\*, Nam-Shin Kim\*\*\*\*, Juyoun Han\*\*\*\*,  
Keun-Ha Shin\*\*\*\*, and Chul-Sung Kang\*\*\*\*

**요약** : 본 연구는 두만강 하류의 온성, 새별, 은덕 지역을 대상으로 1992년 Landsat TM과 2000년 Landsat ETM 자료 및 수치지도자료를 이용하여 농경지와 산림지의 분포와 변화, 변화과정의 공간적 특성을 분석한 것이다. 1:5만 수치지형도 분석, 영상밴드조합, 주성분 분석 등 감독분류를 통하여 농경지, 산림, 취락 및 건물, 강과 저수지 등의 수체를 주요 항목으로 하여 분류를 시도하였다. 대상 지역에 대한 분석의 결과를 보면, 온성과 은덕 지역에서는 1992년에서 2000년 사이에 농경지가 각각 22.8%, 14.7% 증가하였으며, 상대적으로 산림은 각각 24.0%, 13.6% 감소하였다. 또한 경작지의 평균고도를 보면 온성, 새별, 은덕의 경우, 각각 157m, 85m, 78m에서 192m, 95m, 91m로 높아졌으며, 경사도의 경우는, 각각 5.2°, 2.5°, 3.0°에서 6.6°, 3.0°, 4.4°로, 고도와 경사도 모두 약 30% 증가세를 보여주고 있다. 특히 신개간지 만을 보면 평균고도는 각각 255m, 122m, 127m, 평균경사도는 9.4°, 5.1°, 8.0°로 나타나고 있다. 이러한 개간지들은 구릉지대나 산록완사면을 따라 경사변환점까지 확대되고 있으며, 산림이 제거된 나대지들은 불규칙한 패치모양을 띠면서 rill과 gully 등의 사면침식과 하천의 토사퇴적의 원인을 제공하고 있다. 이러한 위성영상분석은 지표확인을 할 수 없는 한계점은 있으나 농업과 관련된 북한의 환경문제에 대한 실태 파악에 도움을 줄 수 있다.

**주요어** : 농경지 개간, 산림지 감소, 수치지도자료, 사면침식, 환경문제

**Abstract** : This study aims to analysis the distribution and change of cropland and forest, the *Onseong*, *Saebyeol*, and *Eundeok* counties on the lower reach of *Duman(Tumen)* river, northeast Korea, using 1992 year Landsat TM data, 2000 year Landsat ETM data, and digital terrain elevation data(DTED). Land cover and land use of the study areas are classified into cropland, forest, vil.age, and water body, using the supervised classification method including 1:50,000 DTED analysis, image band composition, and principal component analysis(PCA). Results of quantitative analysis present that each growth rate of cropland of *Onseong* and *Eundeok* are 22.8% and 14.7% corresponding to decreasing rates of forest, 8% and 13.6% during 8 years from 1992 to 2000. In *Onseong*, *Saebyeol*, and *Eundeok*, each values of mean elevations and slope gradients increased to 192m, 95m, and 91m from 157m, 85m, and 78m, and to 6.6°, 3.0°, and 4.4° from 5.2°, 2.5°, and 3.0°. Especially, in case of newly developed cropland, the values of mean elevation and mean gradient have 225m, 122m, and 127m, and 9.4°, 5.1°, and 8.0°, in above three regions. These new croplands were developing along to deeper valleys and toward lower hill and mountain slope up to knickpoint zone of gradient change. Deforested lands for cropland have formed irregular pattern of patch-type, and become sources for the sheet erosion, rilling and gulleying in mountain slope and sedimentation in local river channel. Though there were no field checking, analysis using landsat images and GIS mapping can help understand actual environmental problems relating to cropland development of mountain slope in North Korea.

**Key Words** : new development of cropland, decreased forest, digital terrain elevation data(DTED), slope erosion, environmental problems

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

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

\*\*\* 육군사관학교 환경학과 교수(Professor, Department of Environmental Science, KMA)

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

## 1. 서론

북한은 70년대 이후부터 부족한 식량문제 해결을 위해 구릉이나 사면경사가 16° 이상인 산지사면까지 개간하여 다락밭으로 이용하는 것으로 알려져 있다. 그렇지만 경사지 개간에 따른 농경지 확대에도 불구하고 북한의 식량문제가 여전히 심각한 것은 농업에 대한 투자 소홀, 불리한 지형과 기상조건, 생산의욕 상실 등이 주된 원인으로 알려져 있다(김성훈, 1992; 권오홍, 1999; 부경생, 2001). 특히, 90년대에 발생한 자연재해로서 1993년의 냉해, 1994년 우박피해, 1995년과 1996년의 홍수 및 1997년의 가뭄 등은 북한의 경제와 식량수급 문제를 더욱 어렵게 하였다.

북한에서 농경지 개간이 경사도가 높은 산록대로 향할 수밖에 없는 것은 국토면적에서 산지비율이 80% 이상을 차지하기 때문이다. 그러나 일단 개간이 진행된 사면이 생태적인 안정성<sup>1)</sup>을 잃게 되고 식생밀도가 약화되면서 고도가 높은 지역으로 사면침식이 확대된다. 북한의 경우 식생의 감소는 직접적으로 개간에 의한 것도 있지만 산림지대와 개간지의 접이지대에서 나타나는 지표환경의 불완전성에 의한 이차적인 감소효과도 크다고 본다. 특히 기후 조건이 한랭한 북한과 같이 토양발달이 적은 경사지에서는 토양의 토립이 약하고 투수성이나 유실성이 높기 때문에 악지형(badland)으로 변할 수도 있다.

북한 지역에서 농경지 개간에 따른 지표피복의 공간적 변화는 산림파괴, 홍수, 토양침식, 산사태 및 농경지 황폐화 등으로 나타나고 있다. 이에 농지 개간에 따른 북한의 지역별 농경지의 변화와 산림의 변화에 대해 살펴보고자 한다. 본 연구의 결과는 그 동안 알려지지 않은 북한의 농경지 분포 및 변화, 식생 변화에 대한 구체적이고 실증적인 정보를 제공하여 사면의 토양침식, 가뭄 및 식생의 안정성에 대한 해석 등 이차적으로 자연재해를 일으키는 원인들에 대한 모델링 및 분석 작업에 도움을 줄 것으로 본다.

## 2. 연구지역 및 연구방법

### 1) 연구지역

연구지역은 현재의 북한 행정구역 행정구역상 함경북도의 두만강 하류일대의 129° 45' E, 43° 00' N~130° 30' E, 43° 30' N에 해당하는 온성군 온성, 경원군 새별, 은덕군 은덕 일대이다. 두만강 하류지역은 북한에서 외부세계에 개방하여 경제개발에 유리한 지리적입지를 갖는 곳으로 평가 받는다. 따라서 두만강 하류지역에 대한 지표피복의 자연·인문 지리적인 공간적 특성에 대한 평가는 이 지역의 개발과 보존을 위한 연구자료로서 의의가 있다고 볼 수 있다(한국과학재단, 1999; 서울대 사범대 지리교육과, 2001). 또한 온성, 새별, 은덕 지역<sup>2)</sup>은 식량생산을 위한 토지이용이 하류의 다른 지역과 비교해 오랜 역사를 갖기 때문에 농경지 개간에 따른 지표피복의 변화가 큰 곳으로 기대되는 곳이다.

이 지역은 북서에서 동남 방향으로 흘러 동해로 유입하는 두만강변에 발달한 유역분지에 해당한다. 이 일대의 주요 기반암은 고생대 화강편마암과 퇴적암, 중생대의 퇴적암과 관입된 화강암 및 3기 퇴적암이다(Kim, et al., 1993; 대한지질학회, 1999)(그림 1). 이 중 3기 퇴적암은 상대적으로 풍화와 침식이 약하여 분석 대상지역에서 차별적 침식현상이 잘 나타나고 있으며 인위적 침식지역과 상당히 일치한다.

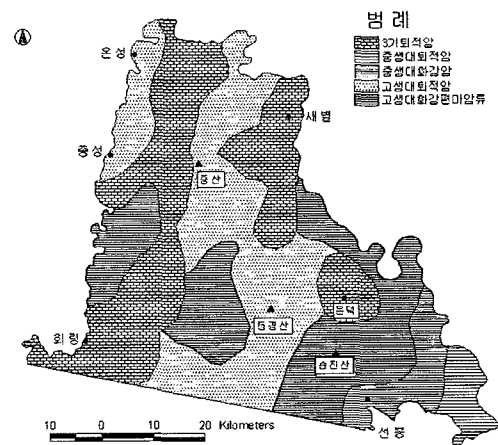


그림 1. 연구지역 지질도(자원연구소, 1995 재구성)

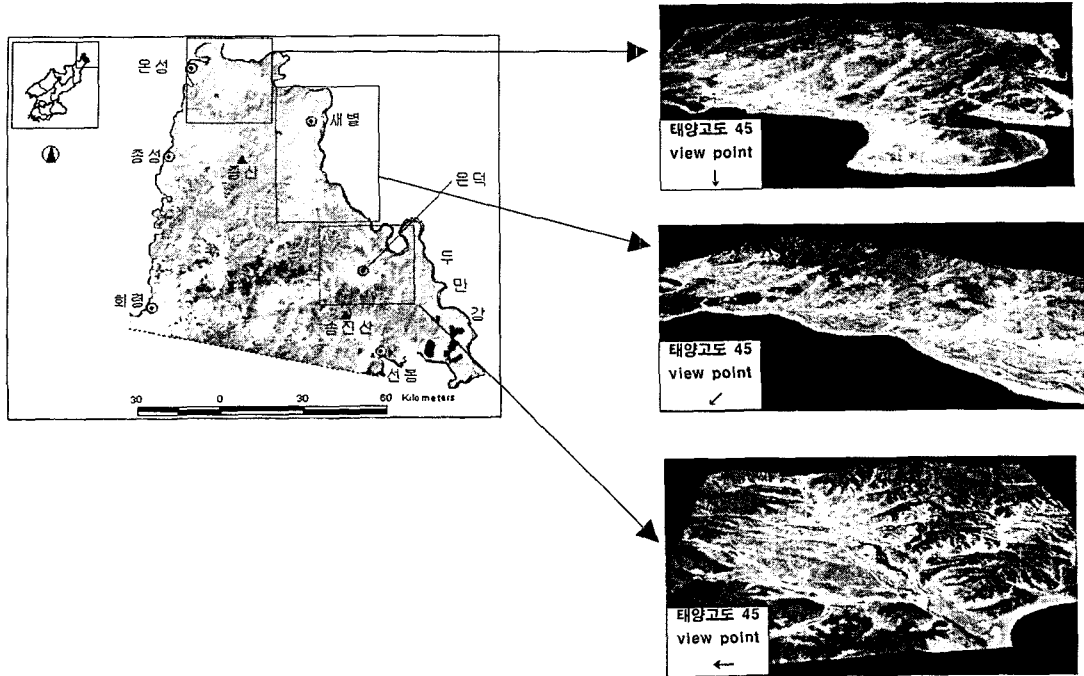


그림 2. 연구지역 개관

주: bird view는 DTED와 Band 3, 2, 1 조합하여 작성된 것임. 수직왜곡도는 15입.

온성을 중심으로한 유역분지에서는 두만강을 향하여 주요 지류들이 복류하며, 새별일대의 주요하천들은 동류, 그리고 은덕일대의 지류 하천들은 남남동 방향으로 두만강으로 유입한다. 산지지형은 화강암 지대의 증산(1,041m) 일대와 화산암 지대의 송진산(1,146m)을 중심으로 하는 남북 방향의 능선을 따라 유역분지들이 분포한다(그림 2).

유역분지의 특징을 보면 온성과 새별 지역의 경우 배후산지를 따라 발달한 산록완사면의 대부분은 농경지로 개간이 된 상태로 두만강을 향해 개방되어 있다. 반면에 은덕지역은 분지의 출구는 좁게 발달한 단층선을 따라 두만강으로 이어지고 있다.

## 2) 연구방법

본 연구에서는 시기별 농경지의 변화와 산림식생의 변화를 분석하기 위해 1992. 10. 17 Landsat TM(115-30) 해상도 30m 영상과 2000. 9. 29 Landsat ETM(115-30) 해상도 30m 영상을 사용하였다. 위성영상의 분석과 GIS 작업은 Erdas Imagine 8.5와 Arcview 3.2를 사용하였다. 8년간의

영상 차이를 분석하여 지표피복의 변화를 살펴보고자 한다. 특히 이 기간 동안 북한에서는 보다 식량난이 가중되면서 산지사면 개간이 보다 심해졌을 것으로 판단된다.

두 시기의 Landsat 영상에서 모두 계절적으로 가을을 택한 것은 논, 밭 등의 농경지와 산림지역의 분포 차이가 잘 드러나기 때문이다. 여름 영상의 경우 수전지역에 대한 분석은 용이하지만 산록완사면에서 이루어지는 전작지는 분광적 특성으로 산림식생과 구분이 잘 되지 않는 경향이 있다. 경작지 분포에 대한 공간적 특성을 GIS로 분석하기 위해 미국 육군지도청(Defense Mapping Agency: DMA)의 표준포맷으로 제작된 수치고도자료(digital terrain elevation data: DTED)를 사용하였다. 수치고도자료는 지표면의 경사, 고도분포, 사면방향 등에 대한 정량적 분포와 유역분지 및 하계망 등의 수문학적 분석에 이용된다. 본 연구에서는 이러한 정량적 분석의 결과와 농경지 분포도를 중첩대비하여 개간지의 공간적 특성을 파악하였다.

위성영상과 수치고도 자료는 UTM Zone 52 구

역으로 통일하였다. 위성영상의 GCP는 1981년에 구소련군 참모부에서 제작된 자료를 바탕으로 1997년에 제작된 「최근 북한 5만분지 1지형도」에서 GCP는 지표의 좌표확인이 용이한 도로와 하천의 교차점을 중심으로 취득하였다. 그런데 북한의 지형도는 Gauss-Krüger로 통일된 TM 투영법을 채택하고 있으며, Krasovsky 타원체(연구지역은 zone 22 구역)를 사용했기 때문에 좌표점을 찾은 후 UTM으로 재투영하여 사용하였다.

### 3. 선행연구

북한의 농지 개간과 이에 따른 환경변화에 대한 연구는 그동안 충분히 이루어지지 못했다. 이 지역적 특성으로 인한 자료 획득의 어려움, 답사의 한계, 기술적인 측면 등과 관련된다. 그 동안 이루어진 주요 조사 연구 결과는 다음과 같다.

우선, 인공위성(NOAA/AVHRR)을 이용하여 한반도 토지 피복 변화를 연구한 김의홍 등(1996)의 연구, 동일한 위성을 이용하여 북한 지역 지표 식생 및 농경지 모니터링을 실시한 황순욱(1997)의 연구와 북한을 포함한 한반도 식생분포에 관한 김동실(1999)의 연구가 있다. 이들 연구는 특성상 낮은 해상도의 위성 영상을 이용하였으므로, 북한 전체의 식생과 농경지에 대한 개괄적 특성은 파악하고 있으나 식생분포의 변화에 대한 구체적인 접근에서는 한계를 보이고 있다.

이형호 외(1997)와 김두일 외(1998)의 연구보고서 및 논문은 Landsat TM 영상을 이용하여 1990년에서 1995년 사이의 황해도 북부 지역의 농촌 지역을 중심으로 토지 이용 변화를 보고하고 있다. 이들 연구는 생태 환경적인 측면보다는, 비교적 단기간의 지표피복 변화를 분석하였다. 그리고, 한국과학기술단체연합회(1998)에서 이루어진 위성 원격 탐사 자료를 이용한 북한의 홍수 피해 지역의 환경계측연구가 있다.

이기석 외(2002) 연구에서는 Landsat TM 밴드를 이용하여 두만강 하류의 지표피복변화를 분석하고 있다. 이를 통해 북한 식량 문제의 중요 원인 중의 하나인 홍수 피해에 대한 간접적인 인식이 가능하다. 한국농촌경제연구원(1997: 1999)에서는

1997년과 1999년에 각각 북한의 농림축산업 현황을 전망하고, 1998년의 북한의 식량 생산량을 추정하였다. 이들 주요 기관들의 연구 결과들은 본 연구를 실시하는 데 있어 중요한 문헌 자료를 제공할 수 있는 것들이다.

마지막으로 본 연구 결과 해석 및 대안 제시를 위해 필요한 것들은 북한의 농촌, 식량 문제와 관련된 연구들이다. 김명선(1995)은 주로 북한의 식량문제에 대해 그 수확 실태 및 식량난의 원인을 중심으로 살펴보았고, 김채수 외(1999)는 북한 농업 기반의 현황과 문제점을 발표하였다. 장해성(1999)은 북한 농촌 및 농업 문제와 그 해결 방안에 대해 조사 연구하였으며, 김수대(2001)는 최근에 북한에서 시행된 토지(농경지) 전개 사업을 정리, 발표하였다.

### 4. 지표피복분석과 수치지도 자료분석

Landsat 영상과 GIS 작업을 통하여 이루어진 지표피복과 이들의 변화에 대한 분석의 절차는 그림 4와 같다. Landsat 영상의 GCP는 scene당 10 지점씩 사용하였으며 RMS error는 0.2로 계산되었고 영상소의 재배열은 cubic convolution을 적용하였다. 여기서 Landsat 1 픽셀당 해상도 30m를 기준으로 할 때 RMS error는 픽셀당 6m이므로 1 픽셀의 범위를 충족하고 있다. 연구지역인 온성, 새별, 언덕 지역에서 지상기준점으로 투영된 영상을 적출하였다.

다음으로 진행된 절차는 지표피복(land cover)들의 파장 분석이다. 피복분류 항목 중에서 농경지와 산림을 일차적으로 구분하였으며 시가지, 하천과 저수지와 같은 수체 등 분류 항목을 4가지로 하였다. 이상의 피복체들에 대한 파장분석은 밴드별로 반응정도가 다르게 나타났다(그림 3).

그림 3에서 보면 적외선 밴드들에서는 시가지, 하천, 농경지, 산림 등이 잘 구분되며 특히 Band 4는 이와 같은 차이를 가장 잘 반영하고 있다. 이러한 구분은 1992년과 2000년 밴드들의 지역별 파장 분석에서도 잘 나타났다.

다음으로 항목별 감독 분류를 위한 sample들에서의 항목이 차지하는 정도를 분석하였다. 일반적

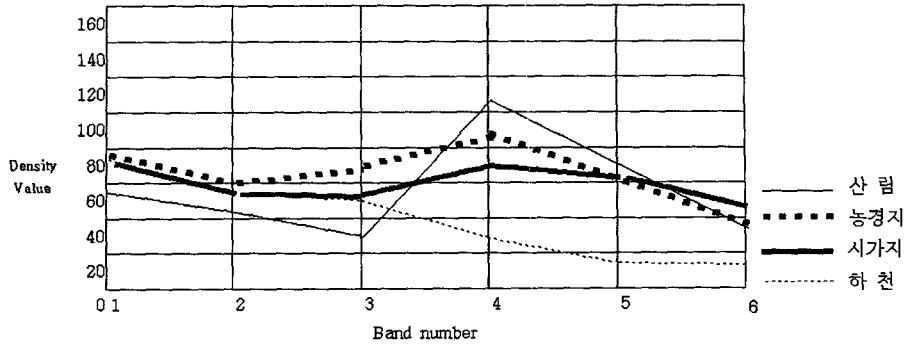


그림 3. Landsat ETM 온성지역의 분류항목별 파장특성 예

으로 잘 알려지지 않는 지역에 대해서는 무감독분류를 실시하지만 본 연구에서는 감독분류를 실시하였다. 그것은 농경지의 경우 수확후의 영상에서는 나대지, 식생, 습지 등으로 분광적 특성이 다르게 나타나기 때문이다. 또 무감독분류를 실시할 경우 나대지는 시가지, 사질 퇴적지와 분광적 특성이 유사하고, 미수확단계의 작물 재배지는 산림식생으로 분류되거나 습지는 하천이나 이에 인접한 요소로서 분류되는 등의 오류가 나타나고 있다. 따라서 이러한 오류를 줄이기 위해, 1:50,000 지형도의 지표피복정보, 각 밴드들의 조합에 의한 RGB 필터를 적용한 false color composite (3/2/1) (4/2/1) (4/7/2) 과 밴드들의 주성분분석(PCA)의 결과들을 바탕으로 분류 항목들에 대해 시각적 분석을 실시하였다. 결과적으로 밴드 3/2/1 조합에서 4가지 분류 항목들이 가장 잘 구별되었다.

다음 절차로 농경지, 산림, 식생, 하천을 대상으로 한 signature file을 작성하였다. signature file에서 sample에 대한 각 항목(class)들이 차지하는 비율에

표 1. 각 Class 항목의 분류예측도 (단위 %)

지역	항목	농경지	산림	시가지	하천
Landsat TM (1992, 10)	온성	99.12	99.72	98.33	98.69
	새별	93.75	98.88	92.73	97.34
	은덕	96.65	99.34	96.60	99.13
Landsat ETM (2000, 9)	온성	94.60	98.85	85.69	99.50
	새별	93.14	98.56	82.75	99.48
	은덕	97.71	99.18	97.63	99.62
Pixel Count		12,652	9,361	590	1,293

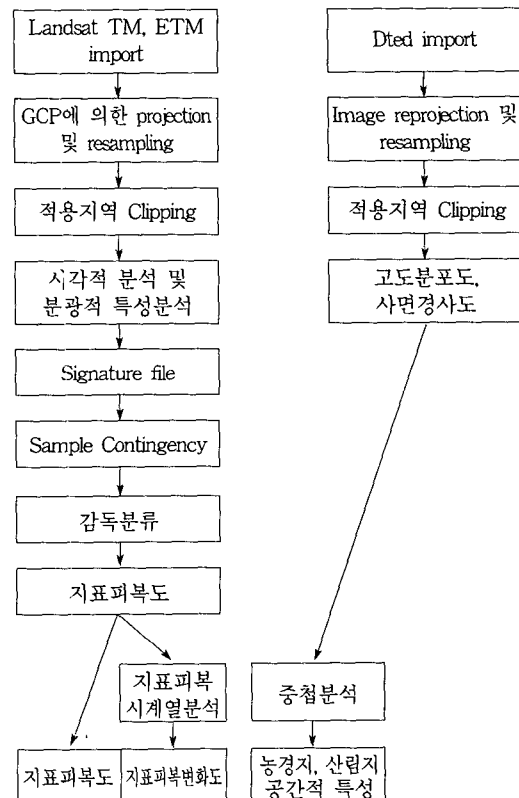


그림 4. Landsat과 DTED를 이용한 지표피복 분석절차

대한 분류예측도(contingency)는 표 1과 같다. 전체 분석지역에 대한 감독분류 sample에서 차지하는 항목들은 98% 이상 대체로 만족스럽게 분류되었다. 이상의 결과를 바탕으로 감독 분류를 실시한 결과 그림 5와 같이 지표피복 분포와 그 변화 과정이 분석되었다.

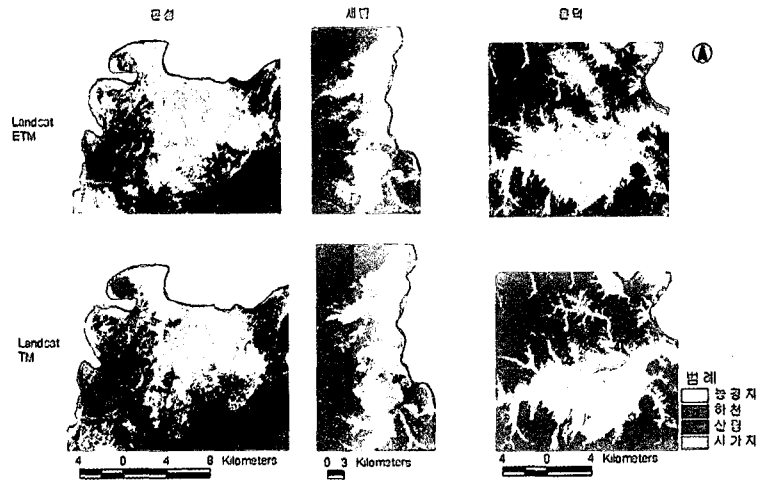


그림 5. 지표피복도 분포와 그 변화

### 5. 농경지와 산림지역 변화의 공간적 특성

환경변화 분석의 주요 대상인 농경지와 산림의 변화에 대한 시계열분석을 위해 1992, 2000년의 농경지와 산림지역을 재분류한 다음 두시기에 대한 변화상을 분석<sup>3)</sup> 하였으며 1992년을 기준으로 농경지와 산림지역의 증감을 살펴보았다(그림 6, 7).

그림 6에서와 같이 세 지역 중 온성과 은덕 지역에서 뚜렷이 경지가 증가했음을 관찰할 수 있다. 온성지역에서는 농경지의 확대가 거주지 지역과는 비교적 먼 산록완사면을 따라서 진행되고 있는 모습이다. 이에 반해 은덕지역은 골짜기를 따라 진행되고 있으며 거주지 인접지역에서는 배후사면을 따라서 진행되고 있다. 새별지역은 육안으로 관찰하기 어려운 정도로 변화가 적어 보인다. 이와 같이 농경지의 변화에 지역별 차이가 나타나는 것은 온성과 은덕 지역은 농지확보를 위한 평지의 비율이 낮은 반면 새별지역은 충적지와 낮은 구릉 지들이 많아 농경지가 잘 확보되고 있기 때문으로 판단된다.

그림 7의 산림지 변화는 경지개간에 따른 산림지역의 감소를 보여주는 것인데 대체로 산림감소 지역은 농경지 증가지역과 잘 일치하고 있어 농경지의 증가는 거의 산림지역에서 이루어지고 있음을 알 수 있다. 그림 8은 이러한 농경지와 산림지의 상대적인 변화량을 보여주고 있다. 영상분석 대

상지역을 보면 새별지역은 8년 동안 거의 변화가 없으나 온성과 은덕은 농경지가 각각 22.8%와 14.8%가 증가하였고 산림지역은 각각 24.0%, 13.6%나 감소하여 농경지 증가와 산림지 감소의 비율이 거의 유사하며, 8년 동안의 짧은 시기를 감안하면 매우 심각한 변화를 보여주고 있음을 알 수 있다.

농경지의 증가와 산림지역의 감소의 일반적인 경향은 경사도와 고도가 비교적 낮아 개간이 유리한 산록완사면이나 낮은 구릉지대를 따라 진행되고 있지만 개간이 진행될수록 고도와 경사도가 높아지고 있어 평균고도 및 최대의 고도와 경사도에 대한 정량적 분석이 요구된다. 경지개간의 정도를 결정하는 인자 중에 하나인 고도와 경사도는 지표 피복 뿐만 아니라 지표의 환경변화에 미치는 영향이 크다. 즉 토지에 대한 농업적 이용이 임계고도와 임계경사도 이상 진행되면 발생하는 가장 큰 문제는 rill과 gully에 의한 사면침식, 이에 따른 산사태와 토사 유출과 같은 자연재해의 발생이다.

이와 같이 고도분포와 사면경사 분석을 위해 수치지도 자료를 검토해본 결과 지형도상의 고도와는 편차가 있는 것으로 나타났다. 40m 내외의 낮은 고도는 실제보다 0.1% 이상 높은 것으로 나타났으며 500m 이상의 높은 지역은 오히려 0.1% 낮게 계산된 것으로 나타나 고도값에 대한 보정을 실시하였다. 이러한 오차의 원인을 자세히 분석할 수 없으나 지도제작상의 오류 때문으로 추정된다. 그리

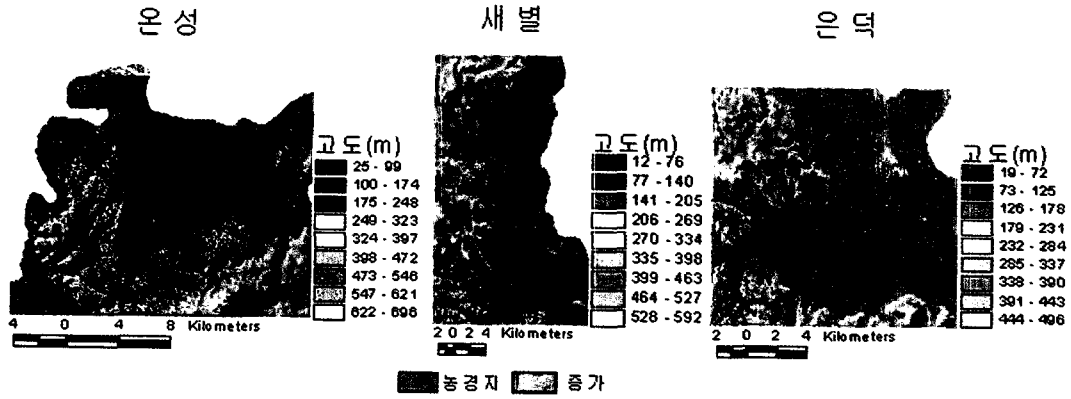


그림 6. 농경지의 변화

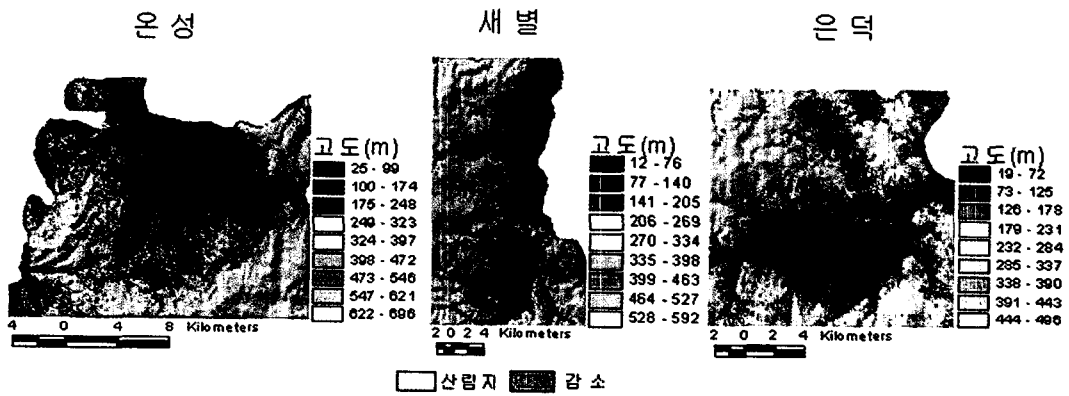


그림 7. 산림지의 변화

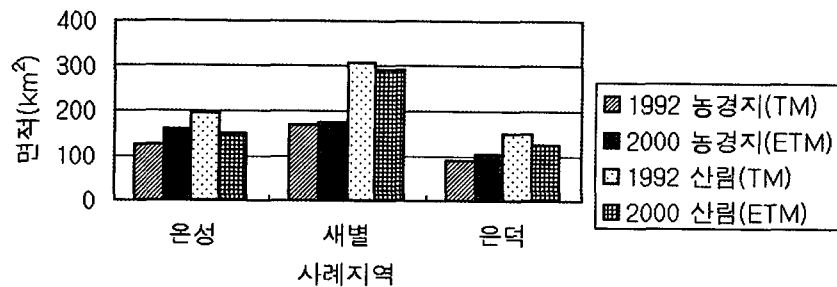


그림 8. 농경지와 산림지역의 상대적인 변화량

고 보간된 고도값의 분포값이 계단상으로 나타나는 곳이 많아 DTED에서 대표점들을 35% 추출하여 재보간 작업을 하였다. 그 결과 계산된 연구지

역의 고도분포와 사면경도는 다음 그림 9와 같다. 농경지는 고도와 사면 경사에 영향을 많이 받는 속성이 있기 때문에 두 시기에 대한 농경지의 분

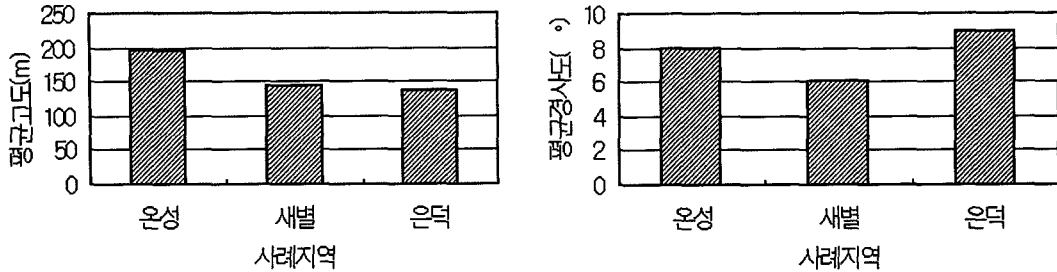


그림 9. 연구지역의 DTED의 정량적 분석

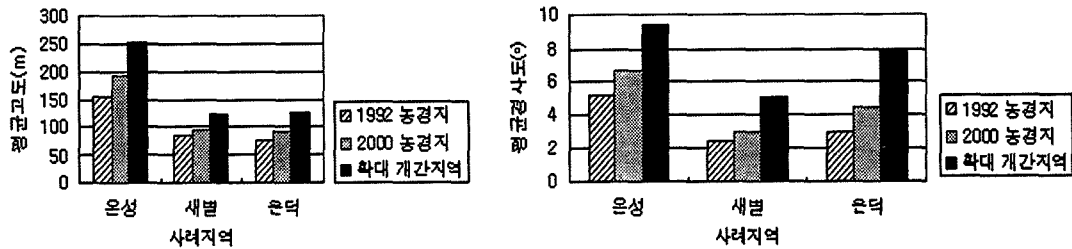


그림 10. 농경지와 확대 개간된 농경지의 공간적 특성

포의 고도 및 사면경사도를 비교하여 특징을 살펴 보았다(그림 10).

그림 10에서와 같이 1992년(TM)의 농경지는 고도와 경사도에서 보다 낮은 값을 보이는데 이것은 낮은 구릉대를 중심으로 개간되고 있음을 보여 준다. 이에 반해 2000년(ETM)의 농경지에서는 고도 분석결과 농경지의 평균고도는 은성이 높게 나타나고 있으며 새별과 은덕 지역은 100m 정도로 나타났다. 경사는 6° 이내로 여전히 낮은 기복대에서 이루어지고 있으나, 두 시기를 비교할 때 농경지의 확대가 2000년대는 지표피복의 고도와 경사도가 높은 곳으로 확대되었다는 것을 알 수 있다. 이 결과를 좀더 구체적으로 살펴보기 위해 농경지가 확대된 지역만을 대상으로 분석해본 결과 그림 10의 확대 개간지역과 같다.

농경지의 고도와 사면경사도가 30% 정도로 상승하거나 급해진 것을 알 수 있다.

위성사진에 대한 시각적 분석결과(그림 2)를 보면 1992년 이후 개간된 농경지에서는 기존의 농경지에 비해 경지개간의 계획성이 없고 경지의 구획에 대한 규칙성을 찾아 볼 수 없다. 이는 지표의

지력을 유지하고 침식을 방지하기 위한 개간이 고려되지 않고 무분별하게 진행되고 있다는 것을 의미한다. 이에 따라 농경지가 확대된 지역에서는 토양침식과 나대지화 및 그에 따른 산림의 황폐화가 진행되었다고 판단된다.

## 6. 결론

북한에 대한 환경변화 혹은 환경문제는 90년대의 자연재해와 기근을 계기로 더욱 관심을 끌게 되었다. 구체적인 자료가 뒷받침 해주지 않는 상태이지만 내부적으로는 그 상태가 더 심각할 것으로 예측된다. 이러한 환경문제 분석을 위해서 접근지역이나 방법에 있어 제약을 받지 않는 위성영상 자료는 폐쇄된 지역에 대한 연구를 가능케 한다. 이러한 점에서 본 연구는 두만강 하류지역의 은성, 새별, 은덕지역을 사례로 1992년과 2000년에 촬영된 영상을 이용하여 농경지 변화와 산림감소를 분석하였다.

1992년의 Landsat TM 영상에서 확인된 내용은



비교적 농경활동이 가능한 고도와 사면경사에서 진행되고 있는 것으로 나타났다. 또한 경사지의 전작 지대에서 흔히 나타나는 나대지나 침식지는 잘 나타나지 않아 비교적 안정된 상태를 유지하고 있었다. 그렇지만 2000년의 Landsat ETM 영상은 높은 고도와 급경사의 사면까지 농경지가 확대되었음을 보여준다. 온성과 은덕 지역에서 새별지역에 비해 이러한 경지 분포의 변화가 컸다. 세 지역 모두에서 기복이 낮은 구릉지대나 산지사면을 따라 연속적으로 개간이 확대되어 갔다. 새별지역은 두만강의 범람에 의한 충적지가 넓게 발달하여 상대적으로 산지사면 개간의 수요가 적은 것으로 판단되며 상대적으로 온성과 은덕 일대는 평지가 적기 때문에 개간이 산지쪽으로 진행된 것으로 보인다. 온성은 주로 경사가 완만한 산록완사면을 따라 개간되어 결국 산지와 경사변환점까지 진행된 상태이다. 은덕지역은 산록완사면이 이미 개간된 상태라 골짜기를 따라서 깊이 진행된 것으로 나타났다.

이와 같은 농경지 개간 확대에 따라 산림도 상대적으로 감소되었다. 즉 농지와 산림의 접이제대인 구릉지대와 산록완사면의 주변부를 따라서 산림의 지속적인 황폐화가 진행되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히 위성사진에서 나대지들이 불규칙적인 patch 모양으로 관찰되는데 이는 식피의 감소에 따른 토양 유실, rill, gully와 같은 사면 침식이 활발한 지역이다. 이로 인해 생태적으로 불안정해지면서 산림 식생의 황폐화가 가속되고 있는 것으로 판단된다. 사면에서 침식된 토사들이 하곡에 퇴적되는 모습은 영상에서 반사도가 높게 나타나면서 확인이 되고 있다. 또한 사면을 따라 개간된 농경지에서 사면을 보호하기 위한 계단식이나 등고선식과 같은 경작 형태가 잘 보이지 않는 것으로 보아 토양침식은 가속화될 것으로 본다. 결론적으로 북한에서 90년대 이후에 빈번히 나타나는 자연재해는 농경지 개간과 산림황폐에 따른 지표 환경 변화가 주요 원인으로 작용한 것으로 생각된다.

본 연구는 현장확인 없이 영상자료만을 사용했기 때문에 연구 결과에 대한 한계가 있지만 연구에서 분석된 북한에 대한 사실적인 정보는 농업과 관련된 환경문제에 대한 실태 파악에 어느 정도 도움을 줄 것으로 판단된다. 실증자료 획득이 어려운 실정에서 앞으로 가능한 연구로는 고해상도 위

성영상과 보다 개선된 방법으로 제작된 DTED 데이터터를 이용하여 3차원 입체분석을 실시하면 연구의 제한점을 상당히 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구 과정에서 파악된 토사침식과 지표피복 변화의 patch화 경향은 앞으로 보다 세밀하고 분석적으로 보완해야할 연구 과제이다.

## 註

- 1) 생태적인 안정(ecological stability)은 지표공간이 자연생태계에서 동적평형(dynamic equilibrium) 상태를 이루면서 지속적인 순환을 통해 생태적으로 안정 상태를 유지하는 것을 말한다. 그런데 지표공간은 경지개간, 개발, 간척 등과 같은 인간의 간섭이나 자연적인 재해 등은 동적평형을 잃게 하는 중요한 원인으로 작용하는데, 특히 인간의 간섭은 최근에 가장 큰 인자로 작용되는 것으로 보고 있다. 지표공간이 생태적으로 동적평형을 잃게 되면 발생하는 문제는 주로 단기적인 문제보다는 지표침식, 식생의 감소와 외래 수종의 서식, 산사태 등 장기적으로 진행되는 등 이차적인 문제가 발생한다(Tricart and KiewietdeJonge, 1992).
- 2) 연구에 적용된 현재의 지명과 행정구역을 사용하였음.
- 3) 시계열적인 변화를 탐지하는 방법은 image differencing, image rationing, classification comparison, comparison of preprocessed imagery, change vector analysis 등이 있다. 본 연구에서는 지표피복 분류결과를 이용하여 농경지와 산림지를 재분류하여 두 시기의 변화를 분석하는 post-classification comparison 기법을 적용하였다.

## 文獻

- 건설교통부 · 한국건설기술연구원, 2000, 리모트 센싱과 GIS를 이용한 자연재해분석 및 관리 시스템 개발, 유니세크.
- 김동실, 1999, 인공위성(NOAA/AVHRR) 영상자료에 의한 한반도 식생분포에 관한 연구, 한국교원대학교 석사학위논문.
- 김두일 · 한 옥 · 정상조, 1998, "위성 영상을 이용한 황해도 농촌 지역의 토지이용 변화 연구," 지리학연구, 32(4), 한국지리교육학회, 135-146.
- 김명선, 1995, 북한의 식량문제에 관한 연구: 식량수급 실태 및 식량난의 원인을 중심으로, 서울대학교 석사학위논문.

- 김수대, 2001, "최근 북한에서 전개된 토지(농경지) 정리사업," 북한국토의 이해와 개발에 관한 국제 학술 세미나, 대한지리학회, 117-125.
- 김의홍·이석민, 1996, "NOAA/AVHRR 자료를 이용한 한반도 토지피복 변화 연구," 한국GIS 학회지, 4(1), 13-20.
- 윤홍석, 2000, "북한의 1999/2000년도 식량수급," 극동문제, 253, 115-124.
- 이기석·이옥희·최한성·안재섭·남 영, 2002, "나진-선봉 경제 무역지대의 입지 특성과 지역구조," 대한지리학회지, 37(4), 293-316.
- 이승호, 1998, 한국 서·남해안 간척지의 식생변화에 관한 연구, 군산대 대학원 석사학위논문.
- 이형호·한 옥·김두일, 1997, "인공위성 영상을 이용한 황해도 북부지역의 토지이용 변화 연구," 화랑대연구소.
- 임상규, 2000, Landsat TM 자료를 이용한 농경지의 변화 분석에 관한 연구, 경희대학교 대학원 박사학위논문.
- 임석민, 2001, 위성 영상을 이용한 비접근 지역에 대한 지형정보분석에 관한 연구, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 최상규, 1999, 비접근 지역에 대한 지형정보 분석체계에 관한 연구, 건국대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 서울대 사범대학 지리교육과, 2001, 북한 개방지역에 관한 연구-나진-선봉 지역을 중심으로.
- 한국과학기술단체연합회, 1998, 위성 원격탐사자료를 이용한 북한 홍수피해지역의 환경계측 연구.
- 한국과학재단, 1999, 두만강(도문강)유역 토지자원 종합평가-수출자유지역단지 개발을 중심으로.
- 한국농촌경제연구원, 1997, 북한의 농림축산업 현황과 전망.
- \_\_\_\_\_, 1999, 1998년 북한의 식량 생산량 추정.
- 황순욱, 1997, NOAA/AVHRR 자료를 이용한 북한 지역 지피식생 및 농경지 모니터링, 서울대학교 환경대학원 환경조경학과 석사학위논문.
- 경인문화사, 1997, (最近)北韓 五萬分之一 地形圖(上), 경인문화사.
- Kim, S-J et al., 1993, *Geology of Korea, Foreign Languages Book, Publishing House, Pyongyang.*
- Buiten, H.J. and Clevers, J.G.P.W., 1990, *Land Observation by Remote Sensing*, Gordon and Breach Science Publishers.
- Jensen, J.R., 1996, *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall.
- Han, K-H., 1985, *Estimation of Major City Population in Korea Using Landsat Imagery*, Doctor of Philosophy, Department of Geography, The University of Utah.
- Schowengerdt, R. A., 1983, *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*, Academic Press Inc., New York.
- Tricart, J. and KiewietdeJonge, J., 1992, *Ecogeography and Rural Management*, Scientific and Technical, Longman.
- FAO/GIEWS, 1999, *Special Report-FAO /WFP Crop and Food Supply Assessment Mission to the Democratic People's Republic of Korea.*
- \_\_\_\_\_, 2000, *Special Report-FAO/WFP Crop and Food Supply Assessment Mission to the Democratic People's Republic of Korea.*
- \_\_\_\_\_, 2000, *Special Report-Chronic Food Supply Problems Persist in DPR Korea Suggesting Continued Dependence on Large Scale Food Assistance.*
- \_\_\_\_\_, 2001, *Special Report-FAO/WFP Crop and Food Supply Assessment Mission to the Democratic People's Republic of Korea.*

최초투고일 03. 06. 11

최종접수일 03. 09. 16