

위성영상 분석에 의한 만포-강계 지역 경지확대에 따른 산림경관 변화*

이민부** · 김남신*** · 최한성*** · 신근하*** · 강철성*** · 한 옥****

Landscape Fragmentation of Forest of the Cropland Increase Using Landsat Images of Manpo and Gangae, Jagang Cities, Northwest Korea

Min-Boo Lee** · Nam-Shin Kim*** · Han-Sung Choe*** ·
Keun-Ha Shin*** and Chul-Sung Kang*** · Uk Han****

요약 : 본 연구는 1993년과 2002년의 위성영상의 비교분석을 통해 북한 만포·강계 지역의 9년간의 경지확대에 따른 산림경관 변화를 정량적으로 분석한 것이다. 연구 대상지역에서의 농경지는 9년 동안 49.9% 증가하였고, 산림지는 16% 감소하였다. 농경지 개간의 공간적 분포 특성을 보면, 경작지의 평균고도는 1993년의 381m에서 412m로, 경사도는 10°에서 13°로 상승하였다. 9년 동안 확대 개간지 자체만을 보면 평균고도 455m, 경사도 15°에 이르며, 최대 경사도는 70°에 육박하였다. 파편화에 따른 패치 경향을 보면, 1993년에서 2002년 동안 패치수 394에서 1,241개로 증가하였으며, 패치의 증가와 함께 패치의 형태지수와 프랙탈 차원도 약간 증가하였다. 경작지 개간 고도는 450~750m에서 가장 많이 진행되었다. 북한 농업 생산성은 정치 및 사회구조의 개선, 농업 발전을 위한 외부지원, 산지삼림의 복원이 동시에 이루어져야 개선될 것으로 보인다.

주요어 : 경관의 파편화, 패치현상, 패치의 형태지수, 패치의 프랙탈 차원, 산지로의 경지확대

Abstract : This study aims to analyze quantitatively changes of forest and cropland landscape due to cropland increase toward higher mountain slope during 9 years from 1993 to 2002, using Landsat images and field survey in the vicinity of Manpo and Gangae cities, Jagang Province, Northwest Korea. During 9 years, cropland has increased as 49.9%, forest area decreased as 16%. The spatial characteristics of cropland changes present that average elevation of cropland are increased from 381m of 1993 year to 412m of 2002 year, and average gradient increased from 10° to 13°. In increased area of cropland during 9 years, the average elevation is 455m, and average gradient is 15° with maximum gradient 70°. Analysis of the patch phenomena by fragmentation of vegetation landscape show that number of patch increased from 394 to 1,241 and also values of shape index, and fractal dimension of vegetation are increased slightly, during 9 years. Croplands have developed mainly in mountain slopes of elevation between 450 to 750m. For improvement of agricultural productivity, it should be required political and social stabilization, international and South Korea's assistance, and restoration of mountain forest.

Key words : Fragmentation of vegetation, Patch phenomena of landscape, Shape index, Fractal dimension, Cropland increase toward mountain slope

1. 서론

북한은 국토에서 산지의 면적이 80% 이상을 차지하고 낮은 기온의 기후 영향으로 식량 생산성이 낮아 70년대 이후 식량부족 개선을 위한 경사지 개간 운동을 펼쳐왔다. 이러한 노력에도 불구하고 식량부족 사태가 별로 개선되지 못한 상태에서 90

년대 들어 자연재해가 빈발하면서 식량부족 현상은 더욱 가속되었다. 따라서 그 동안 경작활동이 가능한 16° 내외의 사면경사지를 대상으로 진행된 개간지역에 대해 고도와 경사도를 높이는 방향으로 진행되면서(이민부 외 2003a, 2003b), 북한의 산지지형과 산림경관에 커다란 변화를 주게 되었다(이민부 외 2003b). 위성영상 분석에 의하면 인

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

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

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

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

구가 밀집된 시·군단위의 주변 산지를 따라서 최근 10여년 사이에 산림지역이 감소했으며 산림경관의 패치가 늘고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 북한지역에서 다양한 형태의 자연재해와 지형변화에 영향을 미친 것으로 판단되며 이를 위한 체계적인 연구가 필요하다(Goudie, 1997; 이민부 외 2003b).

식생은 환경변화에 대한 민감도가 큰데, 자연환경 변화와 인간간섭 모두에 의해 영향을 받는다. 자연환경 요소의 변화에 의한 영향은 자연계의 동적순환 속에서 일어나는 적응과정으로서 식생의 안정화 단계에 이르러는 천이 과정으로 볼 수 있다. 인간간섭에 의한 식생의 변화는 적응과정으로서 보다는 천이과정의 불균형을 가져오며, 환경문제를 해석하는 지표 중에 하나로 인식되고 있다.

인간의 간섭에 의한 영향으로는 경지개간, 벌채, 오염 및 기상변화 등으로 식생 면적의 감소, 저밀도화, 수종의 단일화, 산불, 질병 등의 영향이 나타날 수 있다. 최근에 환경관련 학문 분야에서 식생 변화에 대한 여러 지표를 사용하여 이러한 문제를 분석하려는 연구들이 늘고 있다. 일반적으로 식생 변화에 대한 대표적인 연구방법은 식생활력도(NDVI)를 주로 사용해왔는데, 이 연구방법은 수종, 식생밀도 등을 중심으로 한 대륙적 규모 지역적 규모에 까지 공간적으로 탄력적이며 전역적인 접근이 가능하다. 그렇지만 지역 규모에서 나타나는 식생의 변화에 대한 구체적이고 실증적인 접근에는 제한이 따른다(Guan, et al. 2000; 홍선기·김동엽, 2000; 한국경관생태학회, 2001).

현재 북한의 경우 경지개간은 산림식생 면적의 감소로 나타나는데, 경관상으로는 산림식생과 경지의 경계선을 잠식해 가는 방향으로 나타나며, 이 경우 식생들이 분포하는 경계가 복잡해지기 시작하여 개간의 정도가 높아질수록 식생경관이 파편화되어 패치 형태로 변하게 된다(홍선기·김동엽, 2000; 한국경관생태학회, 2001). 이는 식생에 대한 인간간섭이 지역적인 규모에서 직접 미치는 경우이다.

식생경관의 파편화는 자연환경에 대체로 부정적인 효과를 보여준다. 즉 수종의 단순화와 동물의 이동경로 차단에 의한 멸종과 같은 직접적인 문제와 이차적으로는 하천의 유량감소와 수질오염 증

가, 하도퇴적에 의한 망상하도 발달, 토양유실, 산사태 등 다양한 환경문제가 발생한다(한국경관생태학회, 2001). 이는 자연생태계의 균형이 잃게 됨으로써 나타나는 현상들로 해석될 수 있다. 이에 대한 최근의 연구들은 시가지 확대와 개발에 의한 경관 파편화에 대한 연구들이 많이 진행되고 있다.

본 연구에서는 위성영상과 압록강변의 산지지역에 대한 답사를 통하여 북한의 만포와 강계일대를 대상으로 지난 10여년간 진행된 산지개간지의 산림경관의 파편화에 따른 패치현상을 분석하고자 한다. 이는 북한지역에서의 산림감소에 대한 실증적인 자료뿐만 아니라 산림경관의 이질화 대한 분석적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구지역 및 연구방법

1) 연구지역

연구지역은 자강도의 만포시에서 강계시에 이르는, 지리좌표상 동경과 북위 126° 15', 41° 00' ~ 126° 45', 41° 15'에 해당한다. 전체적으로 낭림산맥의 서부와 강남산맥의 북부 접합지대 지역에 발달한 구조선상의 하곡으로 이루어진 지역들이다. 지질은 만포와 강계를 잇는 지역을 따라 조선계 석회암이 대상으로 분포하고 그 외는 대체로 편마암류와 화강암류가 나타난다(Kim, et al. 1993; 대한지질학회, 1999). 낭림산맥과 평행하여 발달한 동북-서남방향의 구조선을 따라 압록강이 흐르며 이를 북서-남동 방향으로 교차하는 만포-강계 단층선의 교차 지역에 만포시가 입지하고 있다. 강계시는 남북방향 단층선과 만포-강계 단층선의 교차지역에 위치하고 있다. 석회암의 분포는 만포-강계 단층선의 북부를 따라 나타난다. 연구지역은 주로 500~1,000m로 비교적 높은 산지지형이고 현당산(845m), 무학산(1,085m), 십이집산(1,045m) 등이 석회암 지대에서 발달하고 있다(대한지질학회, 1999).

연구지역의 연평균기온은 6.2℃이고 강수량은 대략 1,000mm로 온대 대륙성 기후이다. 기온분포와 강수량은 지역적 편차가 심하며 산지지역에서는 9월말에서 10월초에 첫서리가 내린다(통일원, 1993; 기상청, 1995).

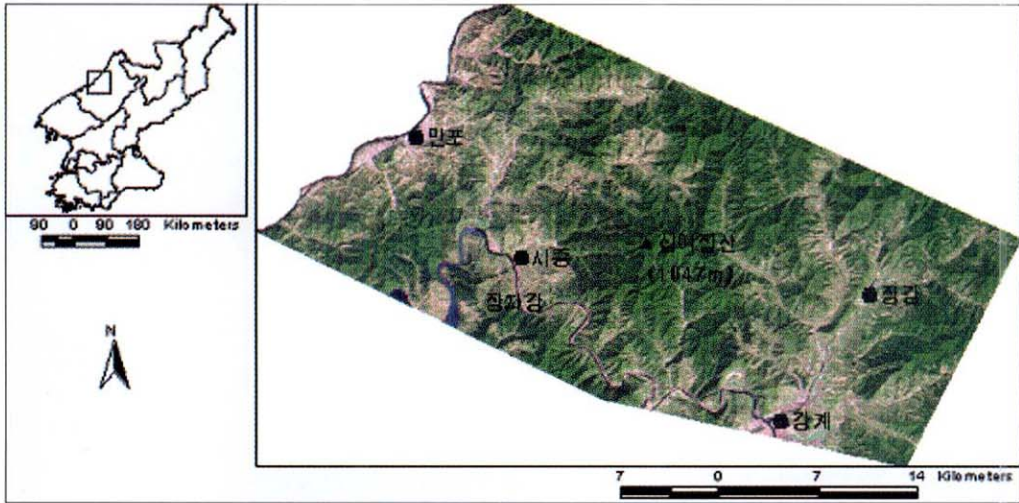


그림 1. 연구지역

2) 연구방법

농경지 개간에 따른 산림 경관의 파편화를 분석하기 위해 사용된 자료와 분석방법은 다음과 같다. 우선, 위성영상과 수치고도모델(Dted) 및 문헌을 통해 자료조사와 분석을 실시하고, 분석결과의 확인을 위해 압록강 중류 강변을 따라 2003. 10. 10 ~ 10. 16일에 걸쳐 현지 조사를 실시하였다. 분석에 사용된 기법으로는 Arcinfo 7.2.1과 Imagine 8.5의 기능들이다. 위성영상은 30m 해상도의 Landsat path-low 117-31에 해당하는 TM 1993. 10. 18과 ETM 2002. 9. 17로서 약 9년간의 변화량을 분석하고자 하였다.

사전작업으로 Landsat 위성영상에 대한 기하보정과 방사보정을 실시하였는데, 위성사진과 지형도에서 동시에 확인 가능한 GCP 12개 지점을 선정하여 지형도의 지형지물과 일치하는 지점에서 좌표점을 읽어 UTM Zone 51구역으로 투영시켰다. GCP(ground control points)의 RMS(root mean square) error는 0.05로 보정하였다. 방사보정은 태양 고도각, 센서의 특성, 대기의 상태 및 지형적 요인 등에 의해 발생하는 방사량을 보정하였다. 방사보정은 ERDAS Imagine 8.5 Modeler를 이용하여 수정하였다. 지형분석에 사용된 수치고도 자료(digital terrain elevation data; Dted)는 해상도가 30m로 보간되어 있는데, 수치고도 모델의 경우 지형면들

이 계단상으로 나타나 연속적인 지형을 반영하지 못하므로 푸리에 변환(Fourier transformation)을 실시하여 수정·복원하였다. 연구 절차는 <그림 2>와 같다.

<그림 2>에서와 같이 산림 감소는 주로 경지개간의 확대에 따라 나타나므로 우선 감속분류에 의한 토지피복을 분류하여 9년간의 농경지와 산림지의 공간적 변화를 분석하였다. 이를 바탕으로 산림 지역만 추출하여 두 시기 간에 이루어진 파편화에 의한 패치를 분석을 실시하였다. 식생 grid는 Arcinfo의 grid majority 기능을 이용하였으며, 인식과 분석이 불가능한 3×3 개수 이하를 제거하였다. 다음으로 일정크기 이상으로 이상으로 선택된 패치들은 개별화시켜 분석해야 하기 때문에 region group을 실시하여 분리시킨 후, 면적, 둘레길이를 계산하였다. 한편 Elkie, et al.(1999)는 경관을 평가하기 위한 지수로, 면적(area metrics), 패치밀도(path density), 크기(size), 가장자리(edge metrics), 형태(shape metrics), 다양성과 산재(diversity and dispersion metrics), 핵심지역(core area metrics) 등을 제안하였다. 본 연구에서는 일반적으로 가장 많이 사용되는 형태지수와 프랙탈 차원을 이용하여 경관변화를 분석하였다.

형태지수(SI: shape index)는 패치의 경계선이 공간적으로 얼마만큼 개간에 의해 잠식되어 나가고 있는가를 분석할 수 있는 지표의 하나로 식은

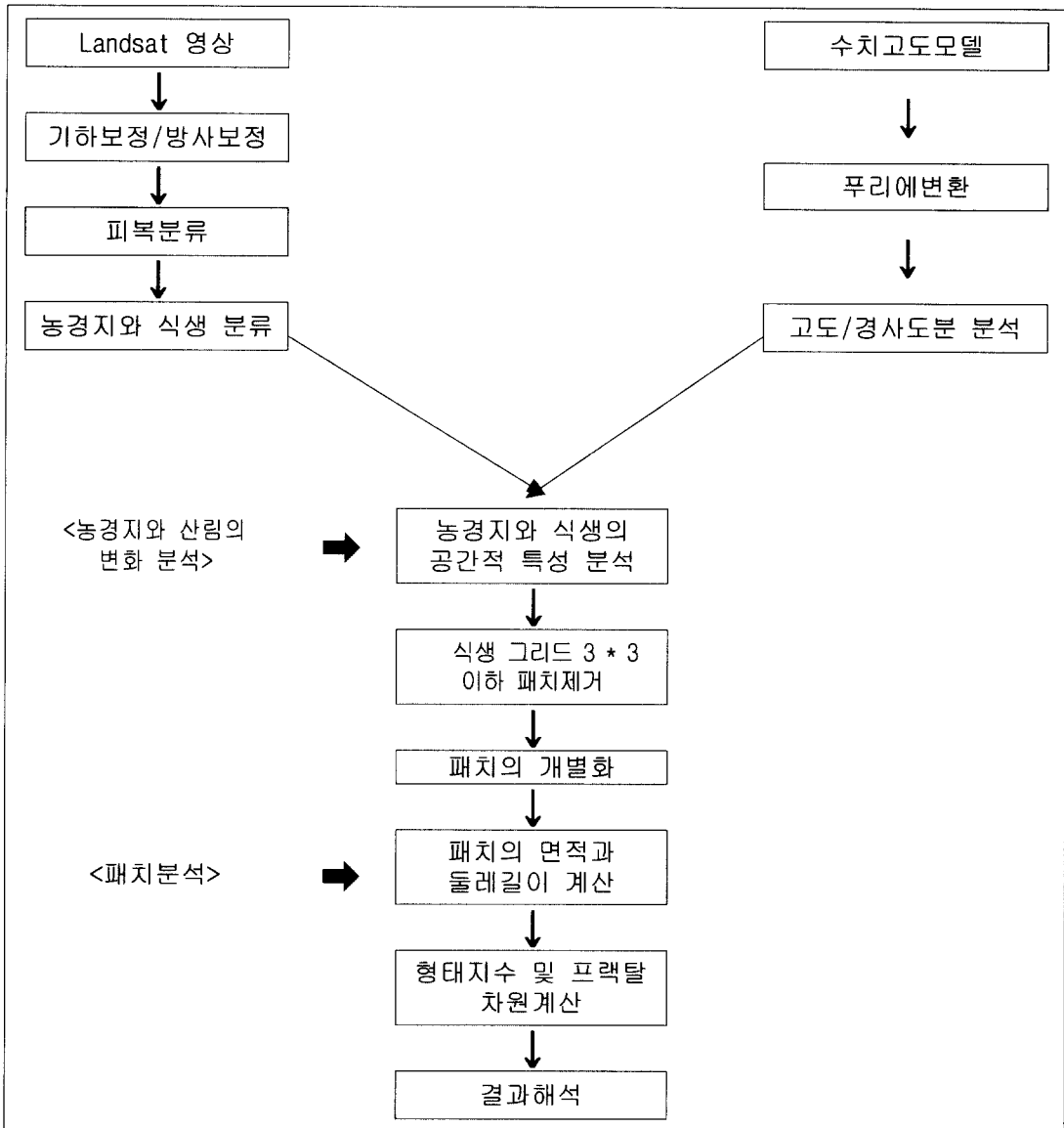


그림 2. 연구의 절차와 방법

다음과 같다.

$$SI = \frac{P}{2(\pi A)^{0.5}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 P: 둘레길이(m) A: 면적(ha)

이론적으로 원의 형태지수(SI) 1.0이고 정사각형의 형태지수는 1.1이다. 일반적으로 자연계의 산림경관 패치는 이보다 큰 값을 갖는다. 또한 패치 경계선의 복잡성, 즉 개간에 따른 식생의 별채

가 일관성 없이 이루어진 정도를 분석하기 위해 Walking-Divider 기법으로 프랙탈 차원을 분석하였다(Richardson, 1961). 여기서 프랙탈 차원(FD: fractal dimension)은

$$FD = \frac{\text{Log}N}{\text{Log}(\frac{1}{r})} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 r: 둘레길이를 측정하기 위한 단위길이 (step size), N: r에 의해 회수(Count) 이다.

패치의 경계선이 일직선이거나 사각형일 경우 프랙탈 차원(FD)은 1에 가깝고 복잡해질수록 이보다 커지는 경향을 갖는다. 이상의 분석과정은 과정은 AML로 프로그램을 작성하였다.

3. 선행연구

북한의 농지개간과 산림변화에 대한 정량적 분석 연구는 최근에 일부 이루어져 왔다. 이민부 외(2003a)는 1992년과 2000년의 Landsat 영상분석에서 두만강 하류지역의 온성, 새별, 은덕 지역 농경지 개간과 산림지역에 대한 분석에서 산지개간에 따라 경작지의 평균고도는 각각 255m, 122m, 127m, 평균경사도는 9.4°, 5.1°, 8.0°로 상승하였음을 보고 하였다. 또한 이민부 외(2003b)는 회령지역의 산림개간에 따른 토양 침식도 분석에서 토양침식이 상대적으로 많은 고도는 300~500m이며, 토양 침식량은 1987년 57 ton에서 2001년 85 ton으로 증가한 것으로 분석하였다. 그렇지만 이들 연구는 현지 자료 획득의 어려움으로 인해 실증적인 확인에 있어 제한이 있었다. 본 연구의 목적과 관련된 식생경관 파편화에 대한 직·간접적인 연구들은 다음과 같다.

김명수와 안동만(1996)은 서울, 수원, 안산, 분당에 대한 연구에서 형태지수가 서울, 수원, 분당, 안산 순으로 도시가 오래될수록 큰 것으로 분석하였다. 신상희(1998)는 도시립의 생태학적 관리를 위한 GIS 활용 방안 연구에서 생태계의 등급에 따른 도시립의 GIS 관리 방안을 제시하였다. 이종성(1998)은 MSS 위성영상을 이용하여 서울 외곽지역의 산지 경관분석에서 서울의 양천구 일대에서 특히 산림면적 감소율이 높은 것으로 보고 하였다. 정종철(1999)은 식생의 파편화 과정을 분석함에 있어 식생지수를 이용하여 식생의 파편화를 설명하고자 하였는데, 파편화정도가 커질수록 형태지수와 프랙탈 차원이 커진다는 결론을 내렸다. 손학기 외(2000)는 경관 생태계의 평가를 위한 평가 단위를 설정하고 용인시의 생태계의 안정성도를 평가하였다. 박소윤(2003)은 봉화군을 대상으로 기존의 경관평가 지수를 분석하여 면별 생태적 안정도를 평가하였다. 정성관 외(2003)는 경산시 시가지 확대에 따른 토지이용 변화에서 산림경관 변화의 파편

화 정도를 다양한 지수를 적용하여 평가 하였다.

Tricart and KiewietdeJonge(1992)은 농업활동이 집약적으로 이루지는 저개발 국가나 농업생산에 의존도가 높은 국가에서는 식량생산을 늘이기 위해 식생의 감소는 불가피하게 일어나는 과정이며 이에 따라 지표 생태계의 불안정을 초래하여 침식이나 사태 등이 발생한다고 하였다. Pickett and White(1985)는 인간의 간섭에 의한 식생경관의 파편화 연구에서 교란이 커질수록 패치의 수와 반면 패치간 거리가 증가하고 패치의 면적은 감소하여 초기에는 새로운 패치형성으로 다양성이 일시적으로 높아질 수 있지만, 결국은 생태계의 균형을 잃게 됨을 지적하고 있다. Kohn and Walsh(1994)은 생태적 다양성과 패치의 크기에 대한 연구에서 패치의 면적과 그 형태가 생물종의 생존율과 다양성을 결정한다고 하였다. Forman(1995)는 식생경관의 분절에 의한 파편화가 진행되면 종의 단일화를 초래할 뿐만 아니라 패치가 생태적인 섬(island)으로 고립되면 멸종이 일어날 수도 있음을 지적하고 있다. Guan, et al.(2000)은 베네주엘라의 야노스(Llanos) 지역을 대상으로 형태지수, 패치의 수, 생태적 연결통로(corridor) 등을 분석하여 인간의 간섭에 의해 진행된 패치의 공간적 분포패턴과 생태적인 프로세스 간의 관련성을 분석하였다. Grez, et al.(2003)은 칠레 중부해안지역의 삼림황폐화에 따른 파편화를 Monetry 소나무 인공조림에 기인한 것으로 보고 81년과 91년 사이에 숲의 50%이상이 파괴되었음을 보고하고, 식생의 파편화가 종의 소멸을 유발함을 증명하였다.

이상의 연구결과들은 생태계의 교란을 일으키는 인간의 간섭, 이종의 침입에 따른 식생경관이 파편화되고, 그 결과로 나타나는 패치현상에 대한 다양한 분석과 해석방법들을 제시하고 있다. 그러나 이러한 연구들은 형태적인 측정에 치우쳐 지표환경변화를 일으키는 주요 원인들과의 상관관계나 특히 최근에 초점이 되고 있는 인간간섭에 대한 종합적인 공간분석은 약한 것으로 지적되고 있다.

4. 농경지와 산림지 변화 분석

만포와 강계일대의 농경지와 산림지역의 변화를 분석하기 위해 우선 1993년 TM과 2002년 ETM의

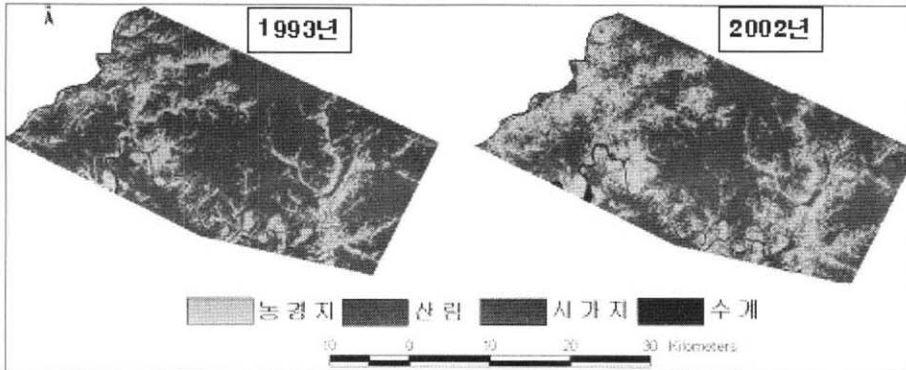


그림 3. 1993년과 2002년의 피복분류

영상을 이용하여 지표피복 분류를 실시하였다. 분류항목으로 농경지, 산림, 시가지, 수계 등의 4 항목에 대한 감독분류를 실시하였다. 본 연구에서는 관심을 두고 있는 농경지와 산림지역을 효과적으로 분류하기 좋은 시기로서 가을 영상을 사용하고 있는데, 그것은 봄이나 여름 영상에서는 농경지가 산림지역과 파장이 비슷하거나 같게 나타나는 경우가 있어 산림지역과 농경지가 잘 분리되지 않는 경우가 있기 때문이다(이민부 외, 2003a).

9년간의 영상 분석결과 시가지와 수계에서는 커다란 변화가 나타나지 않고 있다(그림 3). 시가지의 경우 9년 정도의 차이면, 일반적인 개발도상국의 도시들에서는 시가지가 확대되고 있는 것으로 나타나지만 북한의 경우 거의 변화가 없는 것으로 볼 때 폐쇄된 사회의 정체된 도시 특성을 보인다고 할 수 있다. 수계에서는 장자강호가 담수가 시작되어 댐이 나타나는 것 외에 별 차이가 없다.

그러나 농경지와 산림지역은 색조의 차이에서도

커다란 변화가 있는 것으로 분석되었다. 농경지의 변화 특징은 만포시 지역은 압록강변을 따라서 산림지역으로 진행되고 있으며, 시중과 강계시에서는 시역을 중심으로 주변 산지와 골짜기를 따라 농경지가 산림지대로 확대된 모습이다. 전체적으로는 인구가 정착된 시가지 및 촌락이 분포하는 지역을 따라서 산림지역이 감소되었음을 알 수 있다.

농경지와 산림지역 간의 변화에 대한 구체적인 변화량과 공간분포 특성을 살펴보면, 다음 <표1>, <표2>와 같다. 이 결과는 분석 대상인 위성영상 자료 공간에 한정된 것이므로 분석공간의 규모에 따라 달라질 수 있다.

연구지역에서 9년간의 농경지 증가는 49%로 나타났다. 반면에 산지의 감소율은 16%로 농경지 증가율에 비해 낮게 나타났다(그림 4). 이는 농경지의 개간이 산지외에도 경작 가능한 모든 지역으로 확대되었기 때문인 것으로 판단된다(그림 5). 농경지의 평균 경사도는 10°에서 13°로 증가했으나 최

표 1. 농경지와 산림지역의 상대적인 변화량

시 기	1993년(km ²)	2002년(km ²)	변화율(%)
농경지	218	326.8	49.9(증가)
산림	703.4	597.3	16(감소)

표 2. 농경지의 공간적 분포특성

항목	결과		9년간 개간지역	연구대상 전지역 DEM의 평균	
	전체적인 농경지 평균	1993			2002
고도(m)		381	412	455	529
경사도(°)		10	13	15	15.4

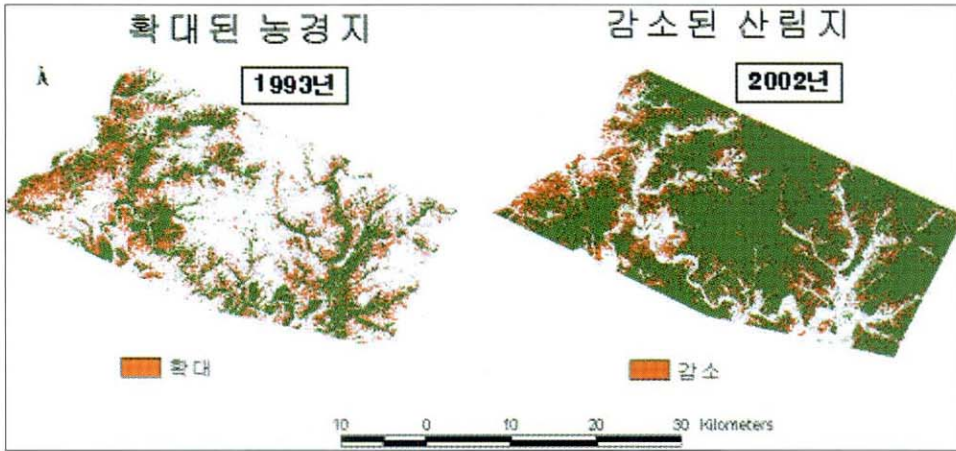


그림 4. 농경지 확대와 산림감소의 공간패턴

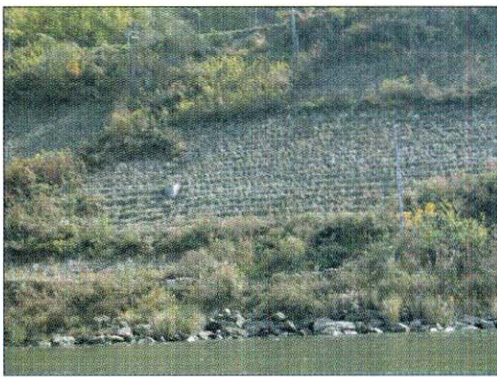


그림 5. 도로변의 개간지역: 2003. 10.15 촬영

대 경사도는 9년 사이에 70°까지 개간이 진행된 것으로 분석되었다(그림 6). 확대된 지역에 대한 분석에서는 연구 대상 전체지역의 평균고도와 경사도에 근접할 정도로 고도가 높은 지역으로 까지 개간이 진행되어 왔다. 곳에 따라서는 산정상까지 최대 경사도 70° 정도지역에 까지도 개간이 진행되어 있다(그림 7). 현지조사에서 확인한 바에 의하면 경사지 개간도 무계획적으로 진행되고 있어 산림지역이 파편화에 의한 패치가 인위적으로 진행되고 있음을 알 수 있다(그림 8). 또한 개간된 경사지의 경작방식을 보면 지력유지와 토양침식을 방지하기 위해 행해지는 계단식, 등고선식 등과 같은 경작 방식을 확인할 수 없다. 그렇지만 만포시

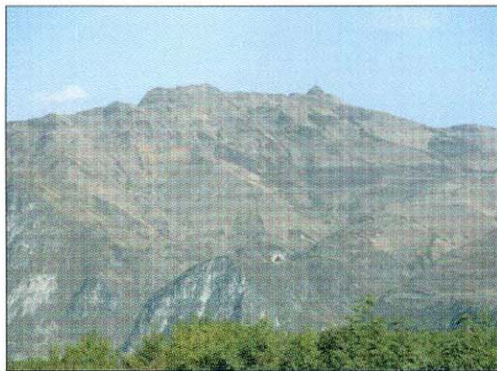


그림 6. 만포시 북부의 개간지: 60°이상의 경사지 까지 개간이 진행되었고 능선과 곡지 모두에서 산림이 제거되었다: 2003. 10.15 촬영

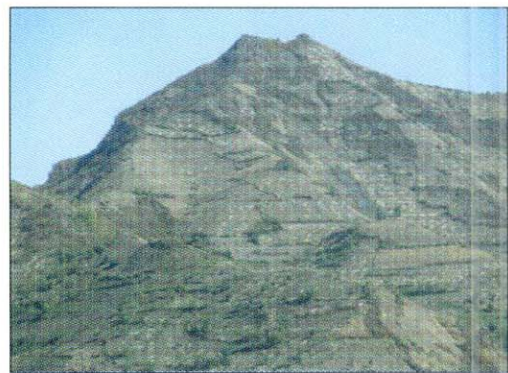


그림 7. 만포시 배후산지 개간지: 고도 800m, 경사도 70° 이상지역까지 개간되고 있다: 2003. 10.15 촬영



그림 8. 만포시 남부지역 개간지: 개간과정이 일률적으로 진행되기보다는 부분적으로 진행되어 패치화가 이루어지고 있다: 2003. 10. 15 촬영

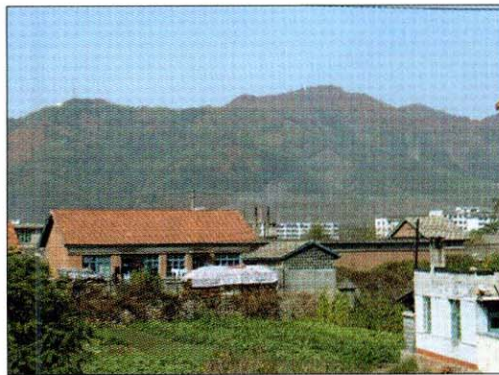


그림 9. 중국 산지경관(지안), 식생이 잘 보존되고 있다: 2003.10.15 촬영

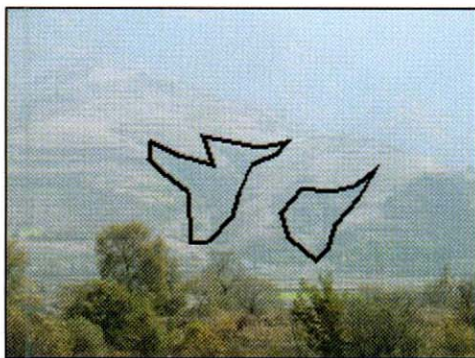


그림 10. 개간지에 발달한 침식곡, 주침식곡과 지류침식곡이 수지형을 이루면서 확대되고 있다: 2003. 10.15 촬영

를 마주보고 있는 중국의 산지경관은 상대적으로 경사가 완만한 지역을 중심으로 경작이 이루어지고 있으며 산지는 그대로 보존되고 있어 강건너 북한 지역과 대조를 이룬다(그림 9). 따라서 개간 지역은 고도, 경사도, 장소에 구분없이 접근이 가능한 곳은 거의 모두, 확대되고 있음을 알 수 있다. 이는 지표의 특성을 고려하지 않고 진행되었기 때문에 연구지역 곳곳에서 침식에 의한 악지형(gully, rill)들을 확인할 수 있다(그림 10).

5. 식생경관 패치분석

산지의 비율이 높은 만포-강계 지역에서 농경지의 개간 방향이 고도와 경사도 모두에서 고도화되고 있음을 영상분석과 수치고도분석을 통해서 확인되었다. 이 결과는 산지에 분포하는 식생의 면적과 식생의 다양성을 감소시키는 방향으로 진행되고 있음을 추정할 수 있다. 지표에 드러나는 식생경관이 산림지가 경작지화 되면서 단일한 등질적 식생공간으로 이질화되며, 이와 동시에 식생경관이 분절되면서 식생과 경작지의 경계선이 복잡해지고 패치, 생태섬(island), 연결통로(corridor) 형태 등 형태적으로는 다양해진다(그림 11). <그림 11>과 같이 1992년의 패치는 3개로서 비교적 등질한 면을 이루고 있지만 9년 후에는 패치간의 거리가 멀어지고 기존의 패치를 잠식하여 새로운 패치로 변한 것을 확인할 수 있다.

이렇게 식생경관이 파편화되어 패치들이 증가하게 되면 생태적으로 지표환경의 불안정해져 생물종의 감소와 멸종은 물론 사면침식과 산사태 등의 자연재해가 발생 빈도가 커지게 된다. 특히 북한지역과 같이 한랭한 지역에서의 토양은 부식질이 적게 함유하고 있기 때문에 토양발달이 약하고 유기물 함량이 적은 풍화층이 지표면에 노출되기 쉬워 침식이 잘 일어나게 된다(김성훈·김도영, 1998). 특히 급경사지에서 침식의 속도가 더욱 빨라 작물 재배를 어렵게 만드는 요인이 된다.

이상과 같은 식생경관의 정량적 평가를 위해 패치의 수, 형태지수, 프랙탈 차원을 분석하여 두 시기 동안 진행된 식생의 불안정화를 분석하였다(표 3). <표 3>과 같이 1993년에는 패치의 수는 3배로 늘었는데 이는 경사지의 개간과정이 지표면

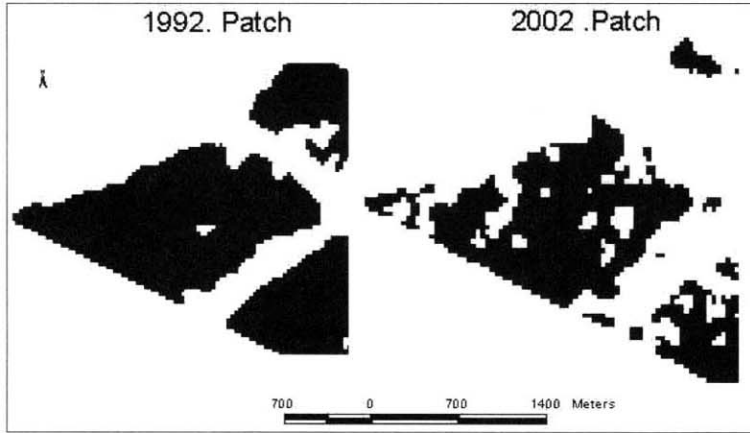


그림 11. 두시기의 패치의 형태 예

(1992년: SI: 1.66 Fd: 1.07, 2002년: Si: 2.93 Fd: 1.15)
SI: 형태지수, Fd: 프랙탈 차원

표 3. 식생 패치의 정량적 분석

시기	패치수	형태지수(SI)			프랙탈차원(Fd)			형태지수와 프랙탈 차원의 상관관계
		평균	최소	최대	평균	최소	최대	
1993년	394	1.35	1.0	14.2	1.044	1.0	1.27	0.993
2002년	1241	1.33	1.0	15.7	1.046	1.0	1.28	0.996
9년간 확대 개간지역	471	1.36	1.0	10.5	1.052	1.0	1.29	0.996

을 따라서 무작위적으로 진행되었기 때문인 것으로 파악된다(그림 8). 형태지수는 1993은 1.35, 2002년이 1.33으로 감소한 경향이 있다. 이는 개간된 이후에 시간이 지나면서 패치의 굴곡진 경계선을 따라서 식생들이 재생했기 때문인 것으로 해석된다. 이는 현장답사시 산림지와 경작지가 접하는 급경사 지역에서는 버려진 경작지에서의 식생재생을 통해서도 확인되었다. 또한 개간의 진행과정에서 경계의 모서리를 좀더 개간해 가기 때문에 형태지수가 낮아진 것으로 해석된다.

프랙탈 차원 분석에서는 2002년이 1.046으로 좀더 복잡해지는 경향을 보이고 있다. 이렇게 패치 경계선 지역이 복잡해져 가고 있는 이유는 버려진 개간지의 재생은 물론 현재도 개간이 진행되고 있기 때문으로 판단된다(그림 12).

한편 확대 개간지역만을 대상으로 형태지수와 프랙탈 차원을 분석한 결과 형태지수는 1.36, 프랙

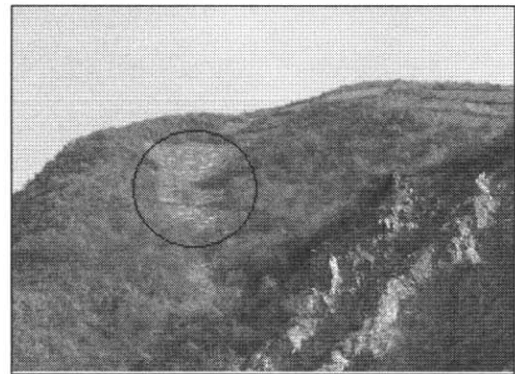


그림 12. 현재도 개간이 진행되고 있는 지역(만포)

탈차원은 1.052로 증가하였다. 이는 확대지역에서의 산림제거가 크면 이는 생태적으로 불안정한 구조를 형성하는 원인으로 해석된다. <그림 13>~<그림 18>은 패치 측정 지수와 프랙탈 차원을 고도와

위성영상 분석에 의한 만포-강계 지역 경지확대에 따른 산림경관 변화

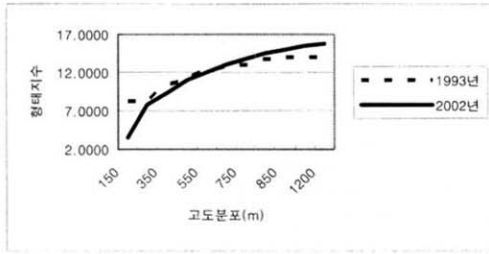


그림 13. 고도별 형태지수

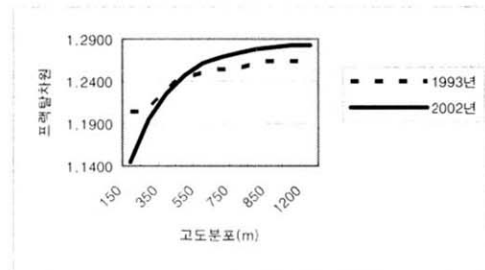


그림 14. 고도별 프랙탈 차원

경사도별로 경향을 분석한 결과이다.

<그림 13>은 고도분포와 형태지수를 나타낸 것이다. 고도 150m에서 1993년의 형태지수는 높게 나오고 2002년은 낮다. 이것은 낮은 지역에서의 패치는 경작 연대가 오래되어 정리되면서 경계지역이 단순해지는데 원인이 있다고 판단된다. 두 시기 모두 450~750m의 고도에서 형태지수가 급격히 올라가다 이후에는 완만해지는데, 경사지 개간이 경사지의 개간이 주로 450~750m 지역에서 가장 많이 진행된 것으로 해석된다(그림 15). 마찬가지로 <그림 14>의 고도별 프랙탈 차원 분석에서도 형태지수와 같은 경향을 보이고 있다.

경사도별 형태지수와 프랙탈 차원은 고도와는 다른 경향을 보인다. <그림 16>과 <그림 17>에서 경사도와 프랙탈 차원이 30° 정도까지는 형태지수와 프랙탈 차원이 증가하고 있지만 60~70°까지 계속 감소한다. 이는 지역에서 경지개간이나 경작이 최대한 70°까지 개간을 시도했음을 나타낸다. 70°이후에 경사도와 프랙탈 차원이 증가하는 것은 자연식생 조차도 자라기 힘든 지역으로서 자연적인 패치가 존재하는 지역이다. 경사도 분석에서 농경지 개간이 70°까지 진행되는 것으로 분석되었지만 개간 면적은 상대적으로 적은 것으로 판단된다. 그것은 급경사지 지역 자체가 면적이 협소하기 때문이고,

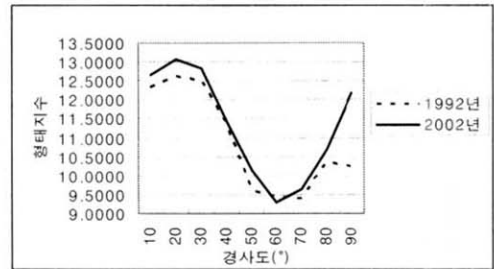


그림 16. 경사도별 형태지수

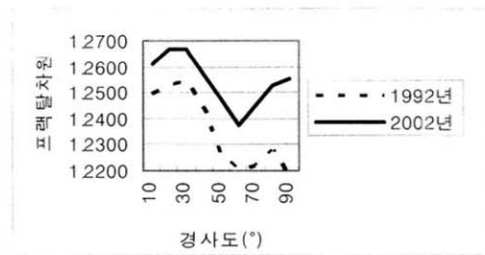


그림 17. 경사도별 프랙탈차원

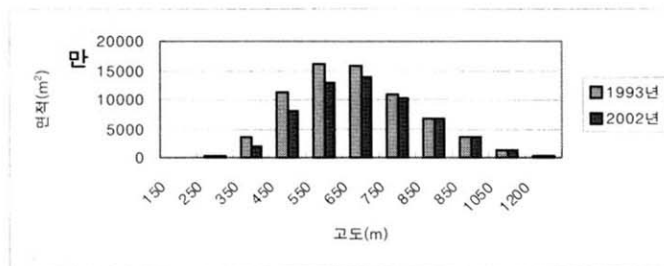


그림 15. 고도별 개간지 면적분포

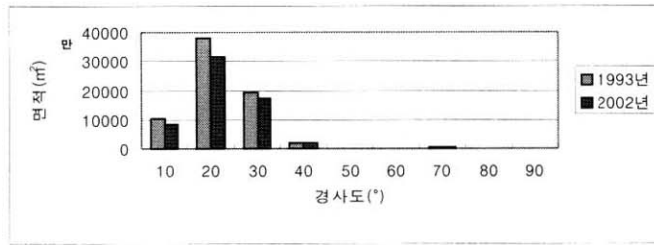


그림 18. 경사도별 면적분포

완전히 개간을 할 수도 없었기 때문이다. 경사도별 개간지의 면적 분포를 보면 이 같은 사실이 설명된다(그림 18).

6. 결론

북한은 70년대 이후 식량부족 개선을 위해 경사지 개간 운동을 전개해 왔으나 90년대의 자연재해와 함께 식량 부족현상은 더욱 악화되었다. 이것은 산지개간과 산림훼손, 산사태, 농업생산성 하락 등을 더욱 가속화시키는 악순환을 야기시켜 왔다.

사례연구로서 자강도(과거 평북) 북부의 압록강 연안 만포시에서 내륙의 강계시에 이르는 일대 지역을 대상으로 1993년과 2002년의 위성사진 분석을 중심으로 산지개간과 산림지 감소, 개간에 따른 파편화와 패치화 토지이용과 경관변화의 공간적 특성 등을 분석하였다. 그리고 부분적으로 현지의 지상사진 분석으로 확인 및 보완을 했다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

농경지는 9년 동안 49.9% 증가하였고, 산림지는 16% 감소하였다. 연구지역에서 농경지 개간은 농경지 외에도 모든 가능한 대상 지역에서 이루어졌다. 또한 농경지의 공간적 분포 특성을 보면, 평균 고도는 1993년의 381m에서 2002년의 412m로, 경사도는 10°에서 13°로 상승하였고, 9년 동안에 개간된 지역만을 보면 평균고도 455m, 경사도 15°에 이르러, 연구지역 전체 평균 529m와 15.4°에 육박하였고 최대경사지는 70°까지 진행되고 있음이 확인되었다. 파편화에 따른 패치 경향을 보면, 1993년의 패치수 394에서 2002년에는 1,241개로 급격히 늘어났다. 그러나 형태지수와 프랙탈 차원은 약간의 증가가 나타났다. 이것은 개간지역에서의 경작

의 포기, 현재 진행중인 경작지 등의 영향으로 보인다. 경작지 면적 분포를 보면, 경사지 개간은 고도 450~750m에서 가장 많이 진행되었으며 형태지수와 프랙탈 차원 분포도 비슷한 양상을 보인다.

농업생산성 측면에서 보면 고도와 경사도가 보다 높은 산지지역으로 경지개간이 확대되면서 노동력과 농기구 사용 등의 불리함과 지표조건 악화에 의한 생산성 저하, 산림훼손에 따른 침식, 표토유실, 산사태 등의 자연재해 유발 등으로 악순환이 계속되고 있음을 연구지역에서 확인하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는, 평지와 기존의 농경지에서의 생산성을 높이고, 경사도가 높은 산지는 산림으로 복원하여 자연재해의 유발을 막아야 한다. 이를 위해서는 궁극적으로 정치, 사회, 경제 구조적인 문제의 개선과 동시에 지속적이고 자생적인 농업을 위한 지원이 요구된다고 하겠다. 아울러 농업과 산림에 관한 정밀한 현황 파악을 위해 북한의 농업지역과 경관변화에 대한 보다 실증적인 지리학적 분석도 지속되어야 할 것이다.

사 사 :

2003년 10월 10일부터 10월 16일까지 현지조사에 적극적인 도움을 주신 연변대학교 지리학과 남영교수님을 비롯한 장춘, 연변, 훈춘, 통화, 이도백학각지의 현지 전문가들께 감사드립니다.

文 獻

- 김명수·안동만, 1996, 도시공원의 경관생태학적 분석-패치의 형태지수와 분선도 분석을 중심으로, 한국조경학회지, 23(4), 12-19.
 김성훈·김도영, 1998, 북한의 농업, 비봉출판사.

- 박소윤, 2003, GIS를 활용한 산림생태계 평가에 있어 경관지수 기법의 적용방안, 대구가톨릭대학교 석사학위논문.
- 신상희, 1998, 도시림의 경관생태학적 관리를 위한 GIS활용 방안, 서울대학교 석사학위논문.
- 손학기·김원주·박종화, 2000, GIS 공간유형분석 모형을 이용한 경관 규모 생태계의 평가 기법, 한국GIS학회지, 8(2), 233-241.
- 이종성, 1998, Landsat Mss Data를 이용한 서울시 산림패취의 패턴 변화분석, 한국조경학회지, 26(2), 240-250.
- 이민부·한 옥·김남신·한주연·신근하·강철성, 2003a, 다시기 위성영상을 이용한 두만강 하류지역의 농경지 개간의 공간적 특성 분석, 대한지리학회지, 38(2), 629-639.
- 이민부·김남신·강철성·신근하·최한성·한옥, 2003b, 북한 회령지역의 농경지 변화에 따른 토양침식 추정 한국지역지리학회지, 9(3), 373-384.
- 이형호·한옥·김두일, 1997, 인공위성 영상을 이용한 황해도 북부지역의 토지이용 변화연구, 화랑대연구소.
- 정성관·오정학·박경훈, 2002, 토지이용 변화에 따른 경산시의 경관구조 분석, 한국지리정보학회지, 5(3), 9-18.
- 정종철, 1999, 식생지수에 의한 경관파편화의 해석 기법, 한국지리정보학회지, 2(3), 16-22.
- 한국경관생태학회, 2001, 경관생태학, 동화기술.
- 홍선기·김동엽 역, Forman,R.T.T(지음), 2000, 토지 모자이크-지역 및 경관생태학, 성균관대출판부.
- 경인문화사, 1997, (最近)北韓 五萬分之一 地形圖(上), 경인문화사.
- 기상청, 1995, 북한 기상 20년보(1973-1994), 기상청.
- 대한지질학회, 1999, 한국의 지질, 시그마프레스.
- 통일원 정보분석실, 1994, 북한의 자연지리와 사적, 통일원.
- Elkie, P.C., Rempel. R.S. and Carr, A.P., 1999, *Patch analyst users manual: A tool for quantifying landscape structure*. NWST technical manual TM-002. Ontario. http://www.uni-klu.ac.at/geo/lv_online/seminar2002/pa_manual.pdf.
- Forman, R.T.T., 1995, *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*, Cambridge University Press.
- Goudie, A(eds)., 1997, *The human impact reader: readings and case studies*, Blackwell.
- Guan, Y., de Jong, S.M., and de Meijere, J., 2000, *Integration of RS and GIS to assess human impact on ecosystem change in Linanos area (Venezuela)*, <http://www.gisdevelopment.net>.
- Grez,A.A., Bustamante, R.O., Simonetti, J.A., and Fahrig, L., 2003, *Landscape ecology, deforestation, and forest fragmentation:the case of the ruil forest in Chile*, <http://www.brocku.ca/epi/lebk/grez.html>.
- Kohn, D.D, and Walsh, D.M., 1994, Plant species richness—the effect of island size and habitat diversity, *Journal of Ecology*, 82, 367-377.
- Lam, N.S., and De Cola L., 1993, *Fractals in geography*. Englewood Cliff, PRT Prentice Hall.
- La Pointe, P.R., 1988, A method to characterize fracture density and connectivity through fractal geometry, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstract*, 22, 421-429.
- Pickett, S.T.A and White, P.S., 1985, *The ecology of natural disturbance and patch dynamics(eds.)*, San Diego, Academic Press.
- Richardson, L.F., 1961, The problem of continuity: an appendix to statistics of deadly quarrels. *General Systems Yearbook*, 6, pp.139-187.
- Tricart, J. and KiewietdeJonge, J., 1992, *Ecogeography and rural management*, Longman Scientific and Technical.

(접수 : 2003. 9. 3, 채택 : 2003. 11. 20)