한국지리정보학회지 10권 3호 : 49~57(2007)

백두대간 마루금 지역의 시계열적 토지피복 변화 및 경관구조 분석

오정학[1※] · 김영걸[1] · 권진오[1]

An Analysis of Landcover Change and Temporal Landscape Structure in the Main Ridge Area of the Baekdu Daegan Mountain System

Jeong-Hak OH[1※] · Young-Kul KIM[1] · Jino KWON[1]

요 약

본 연구는 국토의 생태축이라고 할 수 있는 백두대간의 지속가능한 보전 및 주변환경과의 조화로운 관리방안을 수립하는 기초자료를 제공하기 위하여 GIS 및 경관지수를 이용하여 시계열적 토지피복 및 경관구조 변화에 대해 분석하였다. 국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공받은 토지피복도를 활용하여 생성한 change detection matrix를 통해 시계열적 토지피복변화를 살펴본 결과, 도시화가 진행된 지역은 약 3.61㎢로 농경지(2㎢)와 산림지역(1.36㎢)에서 더 많은 개발행위가 이루어진 것으로 나타났으며, 산림지역이 다른 용도로 변화된 지역은 약 85.7㎢로 농경지(72.2㎢)와 초지지역(10.1㎢)으로 전용된 것으로 분석되었다. 경관지수에 의한 경관구조를 분석한 결과, 산림지역의 경관구조가 구조적으로도 불안정한 상황을 보이는 것으로 나타났는데, 이들 지역에 대해서는 향후 고해상도 위성영상 등을 이용한 추가적인 분석을 통해 지역의 환경조건에 부합하는 생태적 관리를 병행할 필요성이 있다고 판단된다.

주요어 : 백두대간, 경관생태, 토지피복, 경관지수

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze contemporary changes of landcover patterns and landscape structure in order to provide basic data and methods for sustainable management and conservation in Baekdu Daegan region using GIS and landscape indices. According to the results based on the pattern analysis of landcover changes using the change detection matrix between 1975 and 2000, addition on 3.6㎢ became urbanized areas. Otherwise, 85.7㎢ of forest area shift into agriculture(72.2㎢) and grass area(10.1㎢) for the vegetables in highland condition and stock farm. According to the landscape structure analysis using landscape indices, forest areas were unstable forest structures because of fragmentation. Thus, to improve

2007년 7월 25일 접수 Received on July 25, 2007 / 2007년 8월 21일 심사완료 Accepted on August 21, 2007
1 국립산림과학원 산림생태과 Div. of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute
※ 연락저자 E-mail : jehoh@foa.go.kr

forest ecosystem, significant amount of forest through a new forest management policy considering local environmental conditions are needed. And, the connectivity of forests in local regions should be considered as well.

KEYWORDS : Baekdu Daegan, Landscape Ecology, Landcover Pattern, Landscape Index

연구배경 및 목적

백두산에서 시작해서 지리산까지 이어지는 길이 약 1,400㎞의 연속적인 산줄기를 의미하는 백두대간은 우리 고유의 지형관을 대표하는 개념이자 수많은 야생동·식물이 서식하는 공간적 실제로, 물리적 환경뿐만 아니라 우리 민족의 역사문화 등을 포함한 인문사회적 환경이 종합적으로 고려된 지리인식체계를 내포하는 개념이라고 할 수 있다(최영국, 2001; 임업연구원, 2003).

지금까지 백두대간 지역은 표고 및 경사 등의 지형적 요인으로 인해 일반인의 접근과 이용이 상대적으로 쉽지 않아 자연환경이 비교적 잘 보존되어 왔으나, 최근 교통 및 개발여건의 개선과 각종 잠재자원, 관광 수요 증가 등으로 인해 개발요구가 증가되면서 보전과 이용의 갈등이 점차 심화되고 있다(최영국, 2001; 산림청, 2006).

이에 정부는 국토 생태축으로서 백두대간의 중요성을 강조하면서 자연생태계의 보전 및 개발로 인한 환경파괴의 방지를 위해 약 26만ha(핵심구역 약 17만ha, 완충구역 약 9만ha)에 이르는 지역을 백두대간보호지역으로 확정하였다(산림청, 2006).

또한, 백두대간을 보전하고 생태적으로 관리하기 위해 지금까지 많은 연구자들에 의해 다양한 연구가 수행되었다. 그러나 이들 연구의 대부분이 유역을 기초로 한 백두대간에 담긴 의미 해석(손일, 2003; 이도원 등, 2003), 수계망에 의한 관리범위의 선정(권태호 등, 2002) 및 백두대간 주요 능선주변의 동·식물조사(강산준과 곽애경, 1999; 조현제 등, 2004; 오현경과 고명희, 2005) 연구 등 제한된 백두대간 성격 제시의 연구가 주를 이루고 있다. 따라서 공간적 범위가 넓고 다양한 생태적 구성요소를 포함하고 있는 백두대간을 많은 생물군집과 환경조건을 지닌 하나의, 그리고 복합적인 연결망을 보유한 경관단위로서 접근하여 분석한 경관구조 변화에 대한 연구는 상대적으로 미흡하다고 할 수 있다.

백두대간의 경관생태적 특성을 분석하기 위해서는 상호작용에 의하여 끊임없이 변화하고 있는 생태계 구성요소간의 기능과 구조를 해석하는 일이 선행되어야 하며, 이러한 작업은 백두대간에 분포하는 생물자원은 물론 인위적 행위의 결과인 토지피복의 변화상태를 함께 검토하여야 알 수 있다. 특히 동·식물, 물질, 정보 이동에 사용되는 다양한 공간 요소들이 어떻게 연결되어 있는가를 판단하는 것이 중요하다(최영국, 2001; Cafaldi 등, 2004; 정성관 등, 2005)

이에 본 연구에서는 백두대간의 지속가능한 보전 및 주변 환경과의 조화로운 관리방안을 수립하기 위한 방법론 및 기초자료를 제공하기 위해 시계열적 토지피복자료를 이용하여 토지피복 변화 패턴을 분석하고, 경관생태학적으로 중요한 요소인 산림지역과 농경지, 도시지역 등을 대상으로 경관지수와 GIS 기법을 활용하여 경관요소의 변화양상을 정량적으로 해석하고자 한다.

연구의 범위 및 방법

1. 연구 범위

본 연구의 범위는 백두산에서 지리산에 이르는 약 1,494㎞의 백두대간 중 남한의 향로봉에서 지리산 천왕봉까지의 약 680㎞를 구간에

이르는 지역의 주능선(6개 도, 12개 시 20여개 군에 걸쳐 있는 지역) 주변 2㎞(총 4㎞)를 대상으로 분석하였다.

지금까지의 백두대간 관리범위의 지정에 있어 선행연구에서는 주능선을 중심으로 한 수계의 차수에 의해 지정하였으나, 마루금을 따라 그 범위가 단절되거나 생물적 여건 등이 반영되지 않는 단점을 내포하고 있다. 그러나 본 연구가 경관의 구성요소 상호간의 관련성을 파악하고 생물적 여건이 다소 포함되는 관계로 인하여 마루금 1차수계의 평균 범위를 포함하는 2㎞를 연구의 범위로 하였다.

2. 연구 방법

대상지역의 토지이용 및 경관구조의 변화를 파악하기 위하여 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS)에서 제공받은 30m×30m 공간해상도의 토지피복지도(1975년, 1980년, 1985년, 1990년, 1995년, 2000년)를 이용하였으며, ArcGIS 프로그램을 활용하여 분석에 필요한 시계열별 주제도를 구축하였다.

다음으로, 각 시기의 토지피복지도 중 2개년도(1975년, 2000년)를 후분류 비교 변화탐지법을 사용하여, 각 경관요소별로 1975년 피복지도에는 0, 6, 12, 18, 24, 30을 2000년 피복지도에는 0, 1, 2, 3, 4, 5의 고유값을 적용하였다. 고유값이 적용된 두 시기의 피복지도를 중첩하여 0~35까지의 값을 가지는 결과물을 생성하여 변화양상을 파악하였다.

마지막으로 대상지역의 경관구조 및 변화패턴을 평가하기 위하여 경관분석용 소프트웨어인 FRAGSTATS Ver. 3.3을 이용하여 경관지수를 계산하였다. 물론, 경관지수만으로 시계열적인 산림의 구조적 패턴을 분석할 수는 있지만, 변화요인에 대한 부연적인 설명을 위하여 시기별 토지피복분류도를 중첩하여 Change detection map을 작성한 후 분석하였다. 경관지수는 평가목적에 따라 그 종류가 다양한데, 본 연구에서는 국내·외 관련문헌을 참고로 분석에 필요한 경관지수를 선정하여 분석하였다(표 1).

결과 및 고찰

1. 시계열적 토지피복 변화

인간행위에 의하여 이루어진 토지피복상태 및 이용패턴은 시각적으로는 시간적 차이의 경관변화를 의미하지만 사회문화적으로는 인

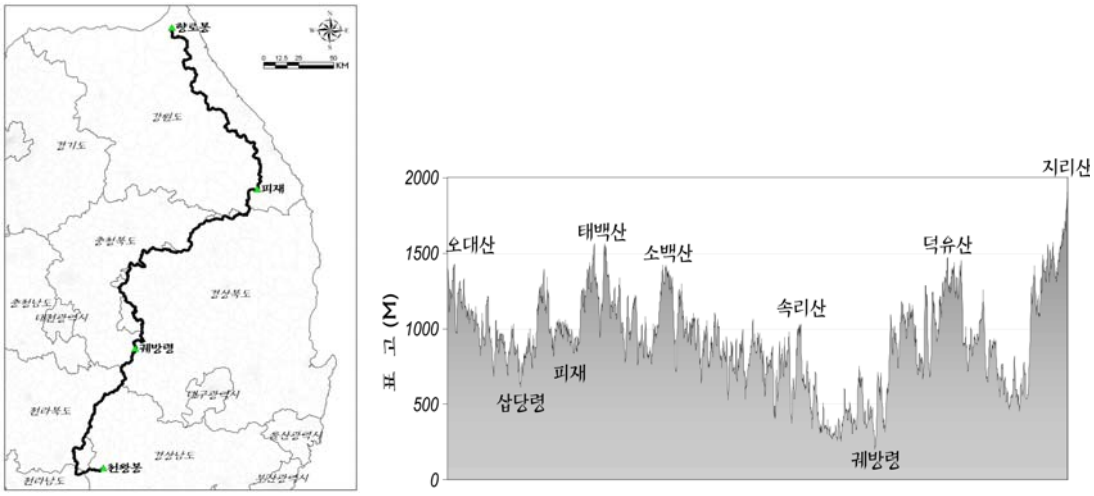
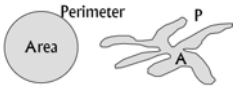
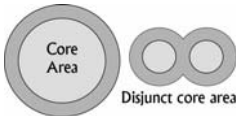
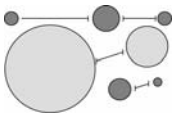


FIGURE 1. The geographical location and elevation of the study area

TABLE 1. Landscape indices used in the analysis

Index		Description	
Area, density, edge	NP	Number of patches	
	PD	Patch density	
	MPS	Mean patch size	
	LPI	Largest patch index	
Patch shape	AWMSI	Area-weighted mean shape index	
Core area	TCA	Total core area	
	CPLAND	Core area percent of landscape	
Configuration	IJI	Interspersion an juxtaposition index	

*Complete description of landscape indices are given in McGarigal and Marks(1995)

간의 자연이용의 한 단면을 의미함으로 이것의 구조, 기능적 변화의 해석을 통해 인간행위가 생태계에 미치는 영향을 파악하는 것이 곧 경관생태학적 해석의 본질이라 할 수 있다(최영국, 2001).

본 연구에서는 국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공받은 토지피복지도를 이용하여 주제도를 구축하였다. 구축된 주제도는 시계열적인 토지이용의 변화양상을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 경관요소에 대한 지수산출을 통해 경관에 대한 지료로서 활용이 가능하다(Tischendorf, 2001).

백두대간 능선을 포함한 그 주변지역은 산림으로만 구성되어 있는 것이 아니고 다양한 용도로 이용되고 있는데, 이들 지역에 대한 경관요소의 면적 변화를 살펴보면, 표 2와 같다.

산림의 면적은 1975년 91.6%에서 2000년 92.5%의 면적점유율을 보이는 것을 나타나 큰 변화는 없는 것으로 나타났으며, 농경지의 경우에는 약 1.4% 감소한 것으로 분석되었다. 시가화지역의 경우 1975년 0.06%에 불과하였으나, 2000년에는 0.18%로 약 3배의 면적증가율을 보이는 것으로 나타났으며, 초지의 경우에는 1975년 0.3%에서 2000년 0.6%로 약 2배의 증가율을 나타냈다.

TABLE 2. Landcover changes in the study area

	Landcover types(%)					
	Urban	Agriculture	Forest	Grass	Barren	Water
1975	0.06	7.66	91.64	0.32	0.26	0.06
1980	0.07	6.40	92.72	0.34	0.21	0.26
1985	0.09	6.37	92.95	0.34	0.20	0.05
1990	0.11	5.89	93.33	0.45	0.19	0.03
1995	0.13	6.25	92.83	0.46	0.29	0.04
2000	0.18	6.43	92.46	0.62	0.27	0.04

Change matrix를 이용한 1975년과 2000년 사이의 면적변화(표 3)를 살펴보면, 도시화가 진행된 지역은 약 3.61㎢로 농경지(2㎢)와 산림지역(1.36㎢)에서 더 많은 개발행위가 이루어진 것으로 나타났다. 이들 지역에 대해 지형도와 비교 분석한 결과, 상대적으로 적은 면적을 차지하는 송전탑 및 등산객의 증가로 인한 등산로 및 임도의 확대에 기인한 결과라고 할 수 있었다. 특히 1990년대 중반 이후 경쟁적인 백두대간 종주 붐으로 인해 지리산에서 진부령까지 등산로가 조성되어 있으며, 국립공원 이용인구의 급격한 증가에 의한 인위적인 훼손이 빈번히 발생하고 있다. 또한, 백두대간 상에 위치한 국립공원들 대부분은 수용력을 초과하는 탐방객들로 이로 인해 등산로를 따라 주변에 자라는 식물들이 죽거나 사라져 가고 있으며, 노면의 흙이 그대로 드러나 침식과 토사유출이 계속 진행되고 있는 실정이다(산림청, 2006).

산림지역이 다른 용도로 변화된 지역은 약 85.7㎢로 농경지(72.2㎢)와 초지지역(10.1㎢)으로 전용된 것으로 분석되었다. 일반적으로 산림훼손은 야생 동·식물 서식지의 파괴로 인한 종 다양성 감소 등 생태계에 부정적인 영향을 미치게 된다. 백두대간 능선에 접한 사면이 완만한 경우에는 많은 곳이 인간에 의해 개발·사용되고 있는데, 그 대표적인 용도로 고랭지채소밭과 목장 등을 들 수 있다. 특히, 강원도의 고랭지채소밭의 경우에는 1991년에 약 4,700ha에서 2003년에는 약 9,400ha로 급격히 증가하였다(산림청, 2006). 그러나 이와 같은 고랭지채소밭의 증가는 수확량 증대 등의 목적으로 농약과 비료 사용의 증가로 이어져 하류쪽 수생태계에 부정적인 영향을 미치게 되며, 일부에서는 급경사지에 고랭지채소밭이 조성되는 과정에서 지형적인 훼손으로까지 이어지는 경향이 있으므로 지속적인 모니터링이 필요한 지역이라 할 수 있다.

산림지역으로 변화되어 자연성을 회복한 지역은 약 105.97㎢로 농경지에서 변화한 면적이 상대적으로 높게 나타났다. 이들 지역은 산림지역에 인접한 농경지가 접근성의 약화 및 지력 쇠퇴 등의 이유로 인한 소득 감소의 영향으로 휴경농지화 되고, 자연식생이 도입되면서 나타난 결과라 판단되며, 향후 지속적인 분석과 모니터링을 통해 그 변화과정에 대한 고찰이 필요하다고 사료된다.

2. 경관지수 변화에 따른 구조 분석

분석된 경관지수들에 대해 패치면적 및 분포의 변화를 통해 경관을 구성하는 각 요소들의 형태변화와 구조를 살펴보고자 한다. 그림 2는 백두대간 양안 2㎞내의 시계열별 8개의 경관지수에 대한 경관의 변화를 나타낸 것으로 그래프의 y축은 각 경관요소별 범위 차이가 커서 log값으로 변형시켜 표시하였다.

각 경관지수에 의한 분석결과를 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 패치 면적지수(patch area

TABLE 3. Landcover change detection matrix between 1975 and 2000

(단위 : ㎢)

1975 \ 2000	Total	Urban	Agriculture	Forest	Grass	Barren	Water
Urban	1.51	0.75	0.29	0.32	0.01	0.13	0.01
Agriculture	187.52	2.00	81.21	97.66	3.00	3.40	0.25
Forest	2,242.51	1.36	72.20	2156.80	10.07	1.67	0.41
Grass	7.78	0.07	1.39	4.34	1.90	0.08	-
Barren	6.31	0.17	1.80	2.75	0.14	1.45	-
Water	1.45	0.01	0.33	0.80	0.05	0.00	0.26

index)에 해당하는 MPS(평균 패치크기)는 전체 면적이 같다는 전제하에 패치의 수가 증가된 것으로서 패치의 위축정도를 나타낸다. 여기서 패치란 경관적 특성과 시각적 양성에서 주변과 구별되는 공간적인 단위로서 주변과 생태적 시스템으로 연결된 정도를 알려주는 기초이며, 패치 수와 크기는 종다양성과 개체수, 야생동식물의 서식처 제공을 판단할 수 있을 뿐만 아니라 종다양성 증대 가능성과 향후 관리방안을 정립하는데 기본이 될 수 있다(최영국, 2001).

산림의 경우에서 살펴보면, 패치 수(NP) 및 패치 밀도(PD)의 증가와 함께 MPS의 값이 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 가장 큰 패치의 면적율을 나타내는 LPI가 증가하고 있는 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 토대로 살펴보면, 백두대간 관리범위내에서 산림에 대한 인위적인 간섭이 다소 줄어들어 산림의 형태적인 건전성은 향상된 것을 의미한다고 할 수 있다. 그러나 농경지나 시가화지역 등과 같이 다른 경관요소와 같은 패턴으로 변화한 결과에 대해서는 향후 추가적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

핵심구역(core area)은 생태학적으로 생물종이 외부로부터 격리를 필요로 하는 임계면적을 의미하는 것으로, 파편화로 인한 패치 크기 또는 형태의 변화는 핵심구역의 크기, 수, 밀도 등에도 상당한 영향을 미치게 된다. 핵심구역은 패치크기에 비하여 서식지의 질(habitat quality)을 좀더 효과적으로 평가할 수 있는 지표로서 활용되고 있다(McGarigal 등, 1995). 분석결과, 1975년 이후 산림지역의 핵심구역에 관한 지수(TCA, CPLAND)의 값이 큰 변화가 없는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 1970년대 이후 지역개발 붐과 함께 관광인구의 증가로 백두대간에는 다양한 용도의 도로가 생겨나기 시작한 이후, 지금까지 별다른 생태적 복원계획 없이 유지되고 있다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

일반적으로 경지개간이나 택지개발과 같은 면적개발보다 도로와 같은 선형적인 개발은 폭에 비해 도로 양쪽 경관에 대한 장벽기능이 크고, 가장자리 영향범위도 넓게 나타나는 등 지형의 조건에 따라 산림경관의 단절을 유발하는 중요한 영향으로 인식된다. 현재 백두대간 전 구간에는 50개의 도로와 22개의 비포장도로가 개설되어 평균 7.8㎞마다 1개소씩 도로가 백두대간을 관통하고 있는 것으로 조사되었다(산림청, 2006).

경관패치 유형 사이의 근접성을 나타내는 지수인 IJI는 패치의 산재도 및 접촉도에 대한 정보를 통해 패치의 공간적 배치형태를 측정하는 지수이다. 패치들 사이의 근접성 분포에 대해 불균등 정도가 심하면 0에 근접하게 되고, 지수가 높을수록 인접한 지역의 패치유형이 다양하다는 것을 의미한다. 분석결과 산림지역과 농업지역을 중심으로 증가폭이 높은 것으로 나타났는데, 산림지역과 농업지역 주변에서의 다양한 개발행위로 인해 인근 산림과의 연결성이 다소 악화되었음을 의미한다고 할 수 있다. 이러한 결과를 토지피복 변화패턴과 함께 분석해 보면, 산림지역에 인접한 농경지의 휴경지화 등의 이유로 인해 산림지역으로 복원되었으나, 일부 낮은 능선과 경사를 보이는 산림지역은 다시 고랭지 채소밭 등으로 산림이 벌채되는 악순환으로 인해 산림지역 상호간의 연결성은 더욱 악화된 것으로 사료된다.

MacArthur and Wilson(1976)의 도서생물지리학적 평형설(equilibrium theory of island biogeography)에 의하면, 생물서식처의 파편화는 두 가지 관점에서 이루어지는데 그 중 하나가 분할된 서식처 간의 거리이다(김종원, 2004). 생물다양성은 서식처 패치가 근접하면 근접할수록 건전하게 유지되는데, 향후 추가적인 분석을 통해 IJI지수의 값이 크게 나타난 경관요소 및 지역에 대해서는 동·식물의 확산을 저해하는 서식처 파편에 대한 크기와 분리형태에 대한 검토가 이루어질 필요성이 있다.

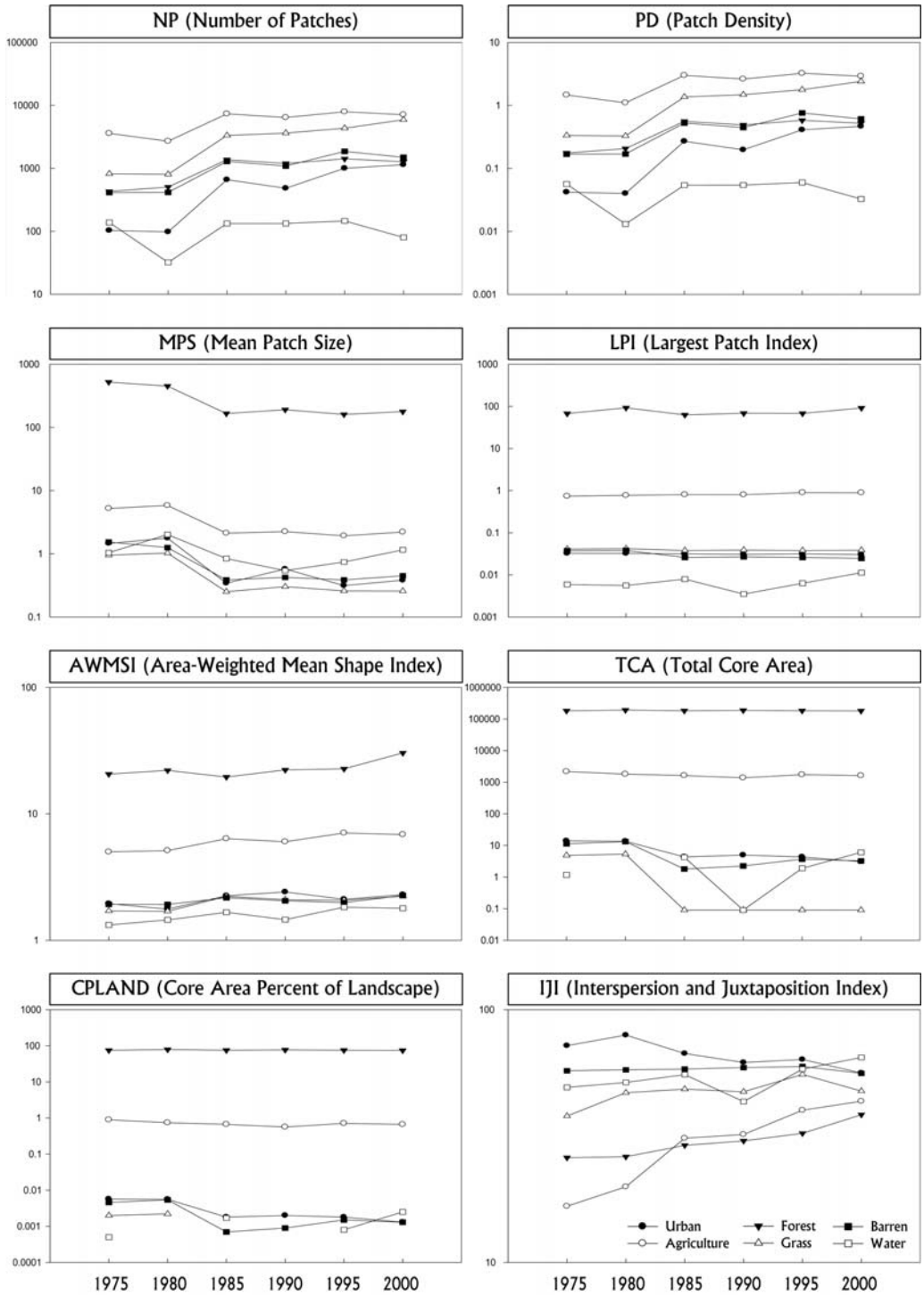


Figure 2. Landscpae indices change by time series of the study area

결 론

본 연구는 GIS 기법과 경관지수를 활용하여 백두대간 주능선 주변 지역의 시계열적 토지피복 및 경관구조 분석을 통해 지속가능한 보전 및 관리방안을 수립하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공받은 토지피복지도에 의한 시계열적 변화 패턴을 분석한 결과, 농경지는 약 1.4% 감소를 보인 결과, 시가화지역 및 초지의 경우에는 약 3배 및 2배의 면적증가율을 보인 것으로 나타났으며, 산림의 결과 면적점유율에 있어 큰 변화를 보이지 않은 것으로 나타났다. Change detection matrix를 이용하여 두 시기(1975년, 2000년)의 변화양상을 분석한 결과, 도시화가 진행된 지역은 약 3.61㎢로 농경지(2㎢)와 산림지역(1.36㎢)에서 더 많은 개발행위가 이루어진 것으로 나타났다. 또한, 산림지역으로 변화되어 자연성을 회복한 지역은 약 105.97㎢로 농경지에서 변화한 면적이 상대적으로 높게 나타났다. 그러나, 이들 지역은 지형 조건 및 접근 환경 개선 등 개발여건만 성숙된다면 여건을 살려 재개발될 우려도 있으므로 건전한 생태계로서의 기능을 유지시키기 위한 노력이 필요한 지역이라고 할 수 있다.

마지막으로 경관지수를 이용한 시계열적 경관구조 분석을 실시한 결과, 패치의 산재도 및 접촉도에 대한 정보를 통해 패치의 공간적 배치형태를 측정하는 지수인 IJI의 경우 산림지역과 농업지역을 중심으로 증가폭이 높게 나타났다. 이는 산림지역과 농업지역 주변에서의 다양한 개발행위로 인해 인근 산림과의 연결성이 다소 악화되었음을 의미한다고 할 수 있다. 토지피복 변화패턴과 함께 분석해 보면, 산림지역에 인접한 농경지의 휴경지화 등의 이유로 인해 산림지역으로 복원되었으나, 일부 낮은 능선과 경사를 보이는 산림지역은 다시 고랭지채소밭 등으로 산림이 벌채되는 악순환으로 인해 산림지역 상호간의 연결성은 더욱 악화된 것으로 사료된다.

이상과 같이 백두대간 마루금 지역의 토지피복 및 경관생태학적 패턴을 분석한 결과는 지속가능한 보전 및 생태적 관리방안을 수립하는데 있어 기초자료로 활용가능성이 높을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 사용된 중저해상도 위성인 Landsat 영상의 공간해상도로 인한 분석의 단점을 보완하고, 지속적인 생태계의 모니터링을 통해 경관의 시간적·공간적 변화패턴에 대한 분석과 아울러 주변생태계에 미치는 영향 등 상호관계에 대한 종합적인 평가를 위해서는 고해상도 위성인 Kompsat-2 등의 활용과 현장조사를 통해 지속적인 생태정보의 축적이 병행되어야 할 것으로 판단된다. KAGIS

참고 문헌

강산준, 곽애경. 1999. 충청북도 권역 백두대간의 식물상. 과학교육연구논총 15:85-99.

권태호, 최송현, 유기준. 2002. 백두대간 관리범위 설정에 관한 연구 : 유역확장방식에 의한 접근. 한국지리정보학회지 5(4):106-118.

김종원. 2004. 녹지생태학. 월드사이언스. 237쪽.

산림청. 2006. 백두대간백서. 산림청. 625쪽.

손일. 2003. 분수계의 지리적 함의와 백두대간. 한국지형학회지 10(1):110-119.

오현경, 고명희. 2005. 백두대간 능선부의 귀화식물 현황과 환경지수 분석. 한국산림휴양학회지 9(3):31-38.

이도원, 신준환, 강신규. 2003. 백두대간 체계 안에 내포된 유역 개념과 문제점. 한국생태학회지 26(4):215-221.

임업연구원. 2003. 백두대간의 생태계 현황 및 관리범위 설정. 임업연구원. 420쪽.

정성관, 오정학, 박경훈. 2005. 경관지수를 활용한 낙동강 유역 산림경관의 시계열적 패턴분석. 한국지리정보학회지 8(2):145-156.

조현제, 이병천, 신준환. 2004. 백두대간 남한지역 산림식생의 구조와 종조성. 한국임학회지 93(5): 331-338.

최영국. 2001. 백두대간의 경관생태학적 해석. 국토 237:88-100.

Cafaldi, R.L., J.D. Allan, J.D. Duh, and D.G. Brown. 2004. Spatial patterns in land cover of exurbanizing watersheds in southeastern Michigan. Landscape and Urban Planning 66(2):107-123.

McGarigal, K. and B.J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service. General Technical Report PNW-351. 122pp.

Tischendorf, L. 2001. Can landscape indices predict ecological processes consistently?. Landscape Ecology 16(3):235-254.