

# 토지이용변화에 따른 낙동강 유역 산림경관의 구조적 패턴 분석

박경훈 · 정성관\* · 권진오\*\* · 오정학\*\*

창원대학교 환경공학과 · \*경북대학교 조경학과 · \*\*국립산림과학원 산림생태과

## Patterns of Forest Landscape Structure due to Landcover Change in the Nakdong River Basin

Park, Kyunghun · Jung, Sungwan\* · Kwon, Jino\*\* · Oh, Jeonghak\*\*

*Department of Environment Engineering, Changwon National University*

*\*Department of Landscape Architecture, Kyungpook National University*

*\*\*Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute*

**ABSTRACT** : The goal of this research is to evaluate landscape-ecological characteristics of watersheds in the Nakdong River Basin by using Geographic Information System (GIS) and landscape indices for integration of spatio-temporal informations and multivariate statistical techniques for quantitative analysis of forest landscape. Fragmentation index and change matrix techniques using factor analysis and grid overlay method were used to efficiently analyze and manage huge amount of information for ecological-environmental assessment (land-cover and forest landscape patterns). According to the results based on the pattern analysis of land-cover changes using the change detection matrix between 1980s and 1990s, addition on 750km<sup>2</sup> became urbanized areas. The altered 442.04km<sup>2</sup> was agricultural areas which is relatively easy for shifting of land-use, and 205.1km<sup>2</sup> of forests became urbanized areas, and average elevation and slope of the whole altered areas were 75m and 4°. On the other hand, 120km<sup>2</sup> of urban areas were changed into other areas (i.e., agricultural areas and green space), and fortunately, certain amount of naturalness had been recovered. But still those agricultural areas and fallow areas, which were previously urban areas, had high potential of re-development for urbanization due to their local conditions. According to the structural analysis of forest landscape using the landscape indices, the forest fragmentation of watersheds along the main stream of the Nakdong River was more severe than any other watersheds. Furthermore, the Nakdong-sangju and Nakdong-miryang watersheds had unstable forest structures as well as least amount of forest quantity. Thus, these areas need significant amount of forest through a new forest management policy considering local environmental conditions.

**Key words** : Forest fragmentation, FRAGSTATS, Landscape indices, Watershed management

### 1. 서론

다양한 생물분류군을 보유하는 생태계인 산림은 생태적 공간에서 인간에게 공기를 제공해 주고 정화해주며, 야생동물의 서식지로 중요한 역할을 하는데(Lindenmayer, 1999), 산림의 종류와 모습은 지역과 환경에 따라 다르게 나타난다. 어디에 어떠한 산림이 어떠한 모습으로 있는지를 파악하는 것은 산림생태계를 관리하는 기본적인 과정이며, 나아가 국토의 이용계획 수립, 환경관리, 자연자원

과 생태계 보전 등의 활동에 있어서도 중요한 기초자료가 된다(오정학, 2004).

그러나 지난 30여 년간 국토관리의 중심은 전 국토면적의 3.5%를 차지하고 있는 도시지역에 치중되어, 전 국토의 21.8%를 차지하고 있는 농경지 및 66.7%의 산림지역에 대해서는 상대적으로 소극적인 관리가 이루어져 왔다(환경부, 2001). 인간에 의해 형성되는 경관유형은 지역 생태계의 건전성과 무관하지 않기 때문에 자연환경적 시각보다는 인간을 중심으로 한 시각에서 행해진 인위적 교란요인은 파편화(fragmentation)와 같은 산림의 구조적 변화를 야기시키게 된다(박인환과 장갑수, 2002).

이러한 파편화는 산림 외부에서 유입되는 바람과 빛의

Corresponding author : Oh, Jeonghak

Tel : 02-961-2544

E-mail : oj6822@hanmail.net

강도 등을 변화시키기 때문에 산림내에 서식하는 생물종의 다양성, 영양물질 순환, 하천수질 및 수량 등에 부정적인 영향을 미치게 되며, 파편화 정도가 심할수록 생태적 기능의 자연적 회복 또는 복원은 어려워지게 된다(이도원, 2001, 한국경관생태연구회, 2001, Zebisch 등, 2004).

따라서 산림의 양적인 측면과 함께 서식지의 질 및 종 다양성 등과 같이 생태적 과정 또는 기능과 상당히 밀접한 관련이 있는 구조적 패턴을 분석하는 것은 산림생태계를 파악하는데 있어 중요한 인자라 할 수 있으며, 지역의 환경 훼손을 방지하여 인간과 자연이 공생하는 환경을 조성하기 위해서는 지역의 경관구조를 정확하게 평가하는 것이 선행될 필요성이 있다(손학기 등, 2000).

경관을 구성하는 요소들의 구조적 패턴은 패치(patch)를 하나의 기하학적 도형으로 간주하여 둘레와 면적의 비율, 크기, 분포, 주변 패치와의 상호 연계성 등을 공식화한 경관지수(landscape indices)에 의해서 정량화 될 수 있다. 경관지수는 이론적으로 섬생물지리학(island biogeography)을 배경으로 하고 있으며, 생태환경공간의 생물학적 다양성을 유지하기 위해 절대면적이 중요하다는 원리를 기반으로 경관의 파편화 정도를 계량화한 것이다(국토연구원, 2004).

이와 같은 경관지수는 1950년대 초부터 기하학적 이론을 기초로 하여 제기되어져 왔으며, 컴퓨터의 성능 향상과 GIS 및 RS 기법의 기술적 향상으로 광역적 범위에서의 경관구조를 해석하는 것이 가능해졌다(O'Neill 등, 1992, Tinker 등, 1998, Herzog 등, 2001, 정성관 등, 2003). 또한, 1980년대 후반부터 경관 매트릭스 계산을 위해 많은 연구에서 수학적공식을 다루어 왔으며, 경관분석 소프트웨어(FRAGSTATS, Patch analysis, etc.)의 개발로 복잡한 계산식으로 구성된 경관지수를 자동적으로 계산할 수 있는 단

계까지 오게 되었다(Gustafson, 1998, McGarigal 등, 2002). 이를 통해 일정 공간규모내에서 경관요소들에 대한 구조적 패턴 및 변화양상을 효과적으로 규명하고 있다(Tischendorf, 2001).

Turner와 Ruser(1988)는 미국 Georgia 주를 대상으로 산림경관에서부터 해안경관까지 경관요소의 변화에 따른 경관지수들의 변화패턴에 대해 연구하였으며, Hargis 등(1998)은 경관요소들의 공간적 변화와 생태학적 특성을 분석하기 위하여 경관지수를 사용하였다. Jones 등(2001)과 Lin 등(2002)은 건전한 유역생태계를 확보하기 위해 유역내에 분포하는 토지이용 패턴 및 수변구역의 위치와 너비에 따른 수질변화 정도와 수질정화기능에 대해 분석하였다.

국내에서도 이용경(1998)이 다중시기 위성영상으로 한강 하류유역에서의 산림파편화를 경관생태학적으로 분석하였으며, 장갑수 등(1999)은 경상북도 4개 주요 도시를 대상으로 도로에 의한 녹지의 파편화에 대한 현상을 분석한 바 있다. 손학기 등(2000)은 용인시를 대상으로 경관규모의 생태계를 평가하기 위하여 공간유형 분석기법을 활용하여 분석하였으며, 정성관 등(2003)은 경관지수 및 시계열적 임상데이터를 이용하여 도시경관계획수립을 위한 경관파편화에 관한 연구를 수행하였다.

이와 같이 경관지수를 이용하여 경관을 구성하는 요소들의 구조적 패턴 분석 및 산림파편화에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 그러나, 오늘날 토지이용 변화로 인해 발생하는 생태계의 변화는 일정지역에서의 문제뿐만 아니라 넓은 지역에 걸쳐 광범위하게 일어남에도 불구하고, 지금까지의 연구는 데이터 수집 및 주제도 생성에 대한 공간적·시간적 제약으로 인해 광역적인 지역에서의 적용 및 경관을 구성하는 요소들간의 상호관련성에 대한 연구는 미흡한 실정이라 사료된다.

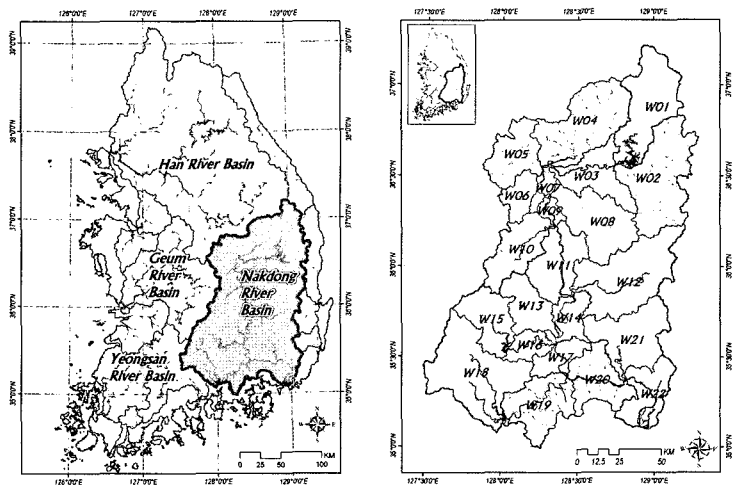


그림 1. Geographic location of the study area

표 1. Landcover types and topographical conditions of each watershed

ID	Watershed name	Area(km <sup>2</sup> )	Rate(%)	Landcover types(%)						Topography	
				Forest		Agriculture		Urban		Elevation(m)	Slope(°)
				1980s	1990s	1980s	1990s	1980s	1990s		
W01	Andong dam	1,628.7	6.9	84.0	81.6	11.1	12.4	0.5	1.5	548.3	20.6
W02	Imha dam	1,975.8	8.3	85.2	79.6	10.5	15.1	0.9	1.6	387.5	20.1
W03	Lower andong dam	980.4	4.1	68.8	66.0	24.6	25.7	1.3	3.5	209.9	14.9
W04	Naesungcheon	1,816.1	7.7	70.2	62.6	24.9	30.5	0.6	3.4	320.4	14.9
W05	Yeunggang	914.4	3.9	82.0	75.6	14.3	18.3	1.0	2.9	335.4	19.2
W06	Byeongsungcheon	433.1	1.8	64.7	57.9	30.5	34.6	0.9	4.3	173.0	12.3
W07	Nakdong-sangju	224.1	1.0	55.8	51.1	35.3	37.9	0.3	3.4	133.4	10.9
W08	Wicheon	1,406.0	5.9	70.0	68.2	24.0	25.4	1.1	2.7	212.5	15.1
W09	Nakdong-gumi	179.2	0.8	65.5	61.2	24.9	26.6	0.3	2.6	147.1	12.1
W10	Gamcheon	1,005.3	4.2	75.1	64.5	20.0	28.3	0.8	3.7	280.9	15.5
W11	Nakdong-waegon	1,106.2	4.7	62.9	57.3	27.5	27.9	2.3	7.4	150.0	12.7
W12	Geumhogang	2,092.4	8.8	69.0	63.5	20.1	21.8	5.5	8.5	236.0	14.9
W13	Hoecheon	781.7	3.3	80.9	74.9	14.8	18.6	0.7	2.6	348.9	17.9
W14	Nakdong-goryung	548.0	2.3	57.9	53.1	27.4	26.0	6.7	11.9	141.8	13.1
W15	Hapcheon dam	928.9	3.9	80.4	70.9	14.3	22.3	0.6	2.6	501.6	17.4
W16	Hwanggang	387.2	1.6	70.9	67.3	21.7	23.5	0.6	3.0	149.6	15.8
W17	Nakdong-changnyeong	473.3	2.0	67.3	59.8	24.5	29.6	1.0	3.4	142.8	15.4
W18	Namgang dam	2,293.4	9.7	80.5	73.5	15.2	19.8	0.5	2.4	425.6	18.0
W19	Namgang	1,185.1	5.0	66.3	58.1	26.8	31.1	1.4	5.5	110.5	14.5
W20	Nakdong-miryang	1,004.7	4.2	59.2	48.3	32.0	37.8	1.3	6.2	122.3	13.1
W21	Miryanggang	1,422.3	6.0	77.4	71.2	17.1	21.3	1.2	3.0	319.2	19.6
W22	Nakdong barrage	915.8	3.9	62.7	55.7	24.5	22.6	4.2	11.0	187.6	15.2
Total		23,702.1	100.0	73.2	67.0	20.2	23.6	1.6	4.3	292.1	16.4

\* Measurement of all variables was calculated from land-cover maps and DEM data constructed by Ministry of Environment

이에 본 연구에서는 광역적 규모에서 토지이용 변화가 산림의 구조적 패턴에 미치는 영향을 낙동강 유역을 대상으로 경관지수와 GIS를 활용하여 정량적으로 분석하고자 하였으며, 향후 다양한 공간적 범위를 대상으로 객관적이고 합리적인 국토·자연환경 보전을 위한 정책 수립 및 입안을 위한 방향제시와 생태적 영향을 고려한 관리방안을 모색하는데 있어 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구의 범위 및 방법

### 1. 연구대상지 개요

연구 대상지역인 낙동강 유역은 동경 127° 29'~129° 18, 북위 35° 03'~37° 13' 사이인 남한의 남동부에 위치하며, 경상남·북도, 전라남·북도, 강원도 등을 포함하는 유역으로서, 그 유역면적은 남한의 약 1/4에 해당하는 23,702.1 km<sup>2</sup>로, 22개의 중권역 및 191개의 표준유역으로 구성되어 있다<그림 1>).

유역의 북쪽은 남한에서 가장 큰 유역인 한강유역, 서쪽은 금강 및 섬진강 유역에 접해 있다. 동쪽은 태백산맥이 동해안 유역과 분수령을 형성하고 있고, 남쪽으로는 남해와 접해 있으며, 유역의 동서장은 약 150km이고, 남북장은 약 250km이다.

낙동강 유역을 구성하고 있는 22개 중권역별 면적 및 토지피복 현황과 지형조건은 표 1과 같은데, 낙동강의 주요지천 중 행정구역상 전라북도와 경상남도의 9개 시·군에 걸쳐 있는 남강댐 유역의 하천연장 및 유역면적(2,293.4km<sup>2</sup>, 9.7%)이 가장 넓으며, 다음으로 가장 많은 표준유역으로 구성되어 있는 금호강 유역(W12)이 2,092.4km<sup>2</sup>(8.8%)의 면적을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 반면,

1) 본 연구에 사용된 유역경계는 한국수자원공사에서 1998년 정보화근로사업의 일환으로 국가지리정보시스템(National Geographic Information System: NGIS)을 활용하여 전국을 대상으로 대권역, 중권역, 표준유역의 단계로 구축한 수자원단위지도(2002년 변경)를 기준으로 하였다.

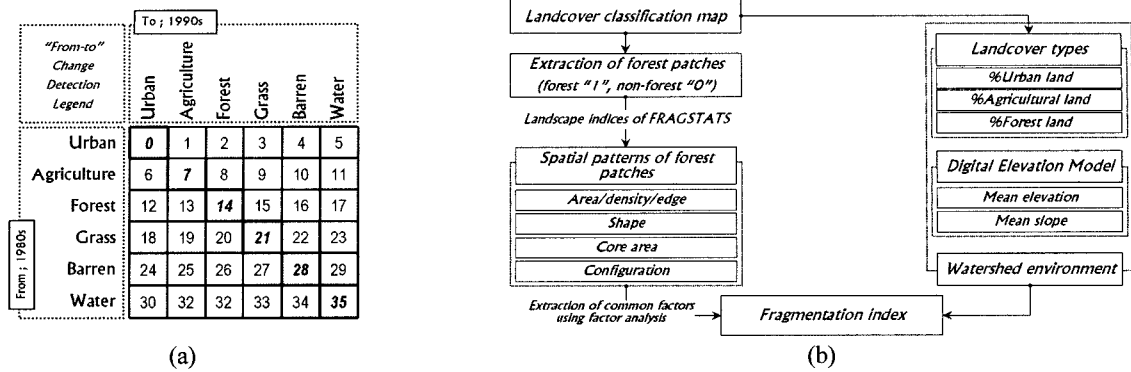


그림 2. Procedure for land cover change detection matrix(a) and spatial pattern analysis of forest patches(b)

낙동구미 유역은 179.2km<sup>2</sup>(0.8%)로 가장 적은 유역면적 및 표준유역(2개)으로 구성된 것으로 나타났다.

유역별 토지피복현황을 살펴보면, 산림면적율은 낙동강 상류의 안동댐과 임하댐 유역이 약 80%로 가장 높고, 농경지 면적율은 낙동밀양 유역과 낙동상주 유역이 30%를 넘는 것으로 나타났다. 도시지역 면적율은 부산광역시와 대구광역시가 위치한 낙동강 하구인 및 낙동고령 유역이 11%를 넘는 것으로 나타난 반면, 산림면적율이 높은 안동댐과 임하댐은 전체 면적의 1.5% 정도만이 도시지역으로 구성된 것으로 나타났다.

## 2. 연구과정 및 방법

사례대상지의 토지피복 변화 패턴 및 산림경관의 구조분석은 그림 2와 같은 과정으로 수행되었다. 먼저 환경부에서 발행한 1980년대(1987~1989년 위성영상)와 1990년대(1997~1999년 위성영상)의 토지피복분류도<sup>2)</sup>를 이용하여 시계열별 토지의 변화 패턴을 분석하였다. 본 연구에서는 보다 구체적인 토지변화 패턴을 살펴보기 위하여 후분류 비교 변화탐지법(post-classification comparison)을 사용하였는데, 그림 2(a)와 같이 시기별로 다르게 나타나는 토지피복지도가 하나의 주제로도 합성되더라도 서로 중복되는 값들을 가지는 것을 방지하기 위하여 각 토지피복 유형별로 1980년대에는 0, 6, 12, 18, 24, 30을, 1990년대에는 0, 1, 2, 3, 4, 5의 고유값을 적용하였다(Jensen 등, 1993). 고유값이 적용된 두 시기의 토지피복지도를 중첩하여 0~35까지의 값을 가지는 결과물을 생성하여 시계열별 토지이용 변화패턴을 분석하였다.

다음으로 McGarigal 등(2002)의 경관지수를 토대로 산림경관의 구조적 패턴을 분석하였는데, 시기별 토지피복분류도에서 산림을 제외한 나머지 토지피복항목(시가지, 경작지, 나지, 수역)은 경관지수의 계산에서 적용되지 않는다.

따라서, 그림 2(b)와 같이 산림지역은 '1'의 값을, 그리고 비(非)산림지역은 '0'의 값을 부여한 후, 분석과정에서 '0' 값을 가지는 부분은 제외되도록 설정하였다.

본 연구는 토지이용 변화에 따른 산림경관의 구조적 패턴을 종합적으로 분석하는 것을 목적으로 하기 때문에, 개개의 경관지수에 대한 분석보다는 인자분석을 통하여 다수의 경관지수를 지역의 환경특성에 부합하는 공통인자를 추출함으로써 산림경관의 구조적 패턴을 좀 더 용이하게 해석하였다(Ritters 등, 1995, Tinker 등, 1998, Cafaldi 등, 2004). 인자분석을 통해 산출된 경관지수별 인자행렬을 토대로 각 공통인자에 대한 변량을 측정된 인자점수를 지도화 하였으며, 공통인자의 유역별 인자점수는 합산하여 산림경관의 파편화를 평가하기 위한 파편화 지수(fragmentation index)를 산출하였다. 최종적으로 도시화 및 농업화 정도, 그리고 지형조건 등의 유역환경이 산림의 파편화에 미치는 영향을 상관 및 회귀분석을 토대로 분석하였다.

표 2. Landscape indices used for landscape analysis

Metrics	Index	Description	Unit
Area/density/edge	LPI	Largest patch index	%
	MPS	Mean patch size	ha
	PD	Patch density	no./100ha
	ED	Edge density	m/ha
Patch shape	LSI	Landscape shape index	-
	MSI	Mean shape index	-
Core area	CPLAND	Core area percent of landscape	%
	MCA	Mean core area	ha
	DMCA	Disjunct mean core area	ha
	MCAI	Mean core area index	%
Configuration	DCAD	Disjunct core area density	no./100ha
	IJI	Interspersion and Juxtaposition Index	%

\* Complete description of landscape indices are given in McGarigal et al.(2002)

2) <http://ngis.me.go.kr/egis>

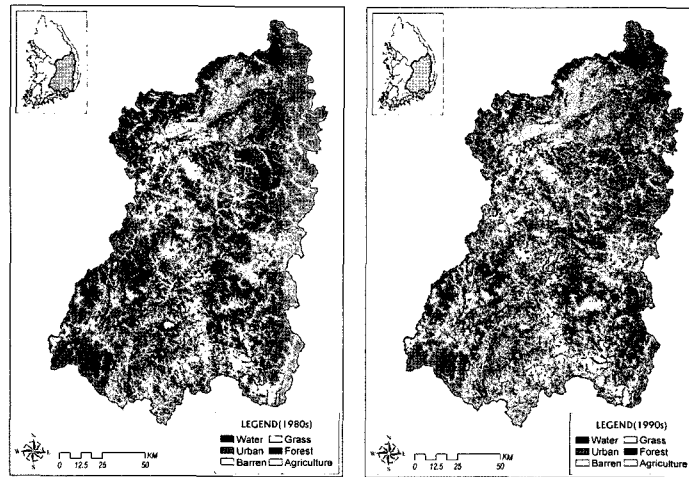


그림 3. Temporal landcover map of the study area

경관지수는 평가목적에 따라 그 종류가 다양한데, 본 연구에서는 토지이용 변화에 따른 시계열적인 산림경관의 구조적 패턴을 분석하고, 지역의 환경인자와 상호·비교하는 것을 전제로 하기 때문에, 패치 수와 같이 공간적 영역에 영향을 받는 지수들은 제외하였다. 분석에 사용된 경관지수는 크게 패치의 1) 크기/밀도/가장자리 지수, 2) 형태지수, 3) 핵심구역지수, 4) 공간배치에 관한 지수로 구분할 수 있는데, 본 연구에 사용된 경관지수에 관한 간략한 설명은 표 2에 제시된 바와 같다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 경관요소별 시계열적 변화 분석

토지이용은 경관에 대한 인간의 영향을 단적으로 나타내어 주는 중요한 지표로, 경관변화의 결정적인 인자로 작용한다. 이러한 토지이용은 인간의 간섭 정도 또는 이용 목적에 따라 다양한 형태로 개발되는데, 인간활동의 장이라 할 수 있는 도시지역과 농업지역은 인위적 교란으로

인해 생태적 건전성에 있어 부정적인 영향을 미치게 된다. 반면, 산림을 비롯한 자연초지 등과 같은 지역은 자연성 및 생태적 건전성 향상에 긍정적인 역할을 담당한다고 할 수 있으므로, 지역의 토지이용패턴은 지역생태계에 있어 상당히 밀접한 관련성을 가진다고 할 수 있다(오정학, 2004).

환경부의 토지피복분류도를 이용하여 낙동강 유역의 토지이용패턴을 분석한 결과, 산림지역과 초지를 제외한 나머지 토지피복들의 면적은 증가한 것으로 나타났다<그림 3, 4>.

먼저, 도시적 토지이용패턴 중 주요인자로 간주되는 불투수층 지역은 전체 면적의 1.60%(379km<sup>2</sup>)에서 4.25%(1,006 km<sup>2</sup>)로 약 2.5배 정도 증가한 것으로 나타났는데, 도시지역의 공간적 분포패턴은 그림 3에서 보는 바와 같이, 행정구역상 부산광역시, 대구광역시 등을 중심으로 한 광역도시권에서 집중적으로 증가한 것으로 분석되었다.

농업적 토지이용패턴에 해당하는 논, 밭, 과수원, 하우스재배지 등은 전체 면적의 20.2%(4,780km<sup>2</sup>)에서 23.6%(5,598km<sup>2</sup>)로 약 1,000km<sup>2</sup> 증가한 것으로 나타났다. 공간

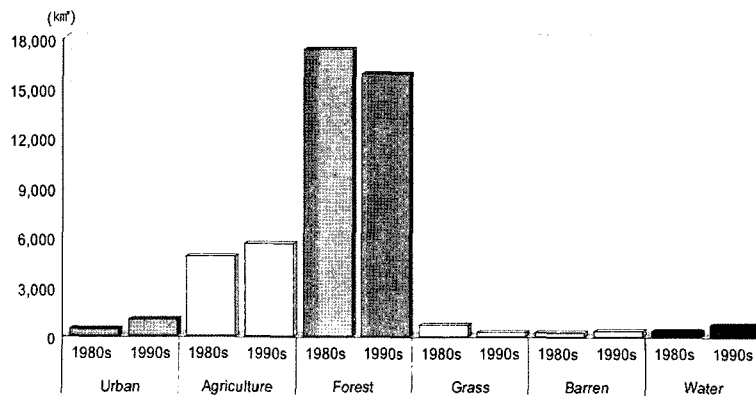


그림 4. Landcover changes between 1980s and 1990s

적 분포패턴은 상대적으로 경사도가 낮은 낙동강 본류 유역에 해당하는 의성군과 상주시, 경산시 및 영천시 등이 포함되는 금호강 유역에 대규모로 분포하는 것으로 나타났다. 또한, 지리적 여건의 차이로 인해 낙동강 상류지역과 하류지역은 서로 다른 형태의 농경지 분포패턴을 보이는 것으로 분석되었다.

다음으로, 낙동강 유역 전체면적의 67%(15,877km<sup>2</sup>)를 차지하는 산림지역은 1980년대(73.2%) 보다 약 1,500km<sup>2</sup> 감소한 것으로 나타났으며, 자연초지와 골프장 등과 같은 인공초지로 구분되는 초지는 1980년대 보다 약 450km<sup>2</sup> 정도 감소한 225km<sup>2</sup>로 전체 유역의 약 1% 정도를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 나지는 전체면적의 1.4% 정도(100km<sup>2</sup> 정도 감소)를 차지하고 있는 것으로 나타났는데, 지형도와 비교하여 분석한 결과 하천변과 공업지역 주변에 대부분 분포하는 것으로 나타났다.

표 3. Land cover change matrix between 1980s and 1990s (units : km<sup>2</sup>)

1990s \ 1980s	Urban	Agriculture	Forest	Grass	Barren	Water	Total
Urban	255.66	50.99	10.68	8.73	24.15	28.78	378.99
Agriculture	442.04	3,348.99	649.78	60.93	109.78	168.59	4,780.11
Forest	205.11	1,815.52	14,941.72	129.27	93.56	146.86	17,332.04
Grass	59.62	314.33	248.99	17.65	14.49	25.40	677.48
Barren	37.95	55.99	15.74	5.88	48.26	61.21	225.03
Water	3.13	11.87	9.68	2.05	28.06	238.93	293.72
Total	1,000.51	5,597.69	15,876.59	224.51	318.30	669.77	23,687.37

마지막으로, 습지를 포함한 수역은 1980년대 보다 약 370km<sup>2</sup> 정도 증가한 약 670km<sup>2</sup>(2.8%)를 차지하고 있는 것으로 분석되었는데, 이는 임하댐·남강댐·밀양댐 등의 다목적댐 건설로 인해 저수용량이 증가한데에 기인한 것으로 판단된다.

Change matrix를 이용한 분석결과를 살펴보면(표 3), 도시화가 진행된 지역은 약 750km<sup>2</sup>로 개발여건이 상대적으로 양호한 농경지(442.04km<sup>2</sup>)에서 산림지역(205.1km<sup>2</sup>)보다 더 많은 개발행위가 이루어진 것으로 나타났으며, 이들 지역의 평균표고 및 경사도는 75m, 4°로 나타났다.

도시지역이 타용도로 전용된 지역은 약 123km<sup>2</sup>로 대부분이 농경지(51km<sup>2</sup>) 및 초지와 산림지역으로 변화되어 자연성을 회복한 것으로 나타났으며, 댐의 건설로 약 29km<sup>2</sup>의 지역이 수몰된 것으로 나타났다. 그러나, 농경지와 나지로 존재하는 지역은 개발여건만 성숙된다면 기존에 도시지역이었던 여건을 살려 재개발될 우려도 있으므로, 이들 지역에 대해서는 향후 발생하게 될 휴경농지 및 한계농지의 생태적 복원에 의한 녹지지역의 지속적인 확보를 통해 지역 생태계로서의 기능을 유지 및 증진시키기 위한 정책의 필요성이 대두되는 지역이기도 하다.

## 2. 산림경관의 파편화 지수

유역별로 생성된 산림패치를 중심으로 분석된 경관지수들을 통해서 개략적인 산림경관 구조를 해석할 수 있으나, 경관내에 존재하는 산림패치의 크기, 형태 및 공간적 분포패턴을 동시에 고려하여 산림경관의 구조적 안정성을

표 4. Factor loadings for the used in the analysis by varimax method

Index	Component (1980s)			Index	Component (1990s)		
	Factor I	Factor II	Factor III		Factor I	Factor II	Factor III
▶ MPS	0.915	-0.201	-0.019	▶ MPS	0.946	-0.196	0.040
▶ PD	0.910	0.214	-0.185	◆ MCA	0.942	-0.233	0.061
◆ MCA	0.906	-0.241	-0.005	◆ CPLAND	0.878	-0.133	0.285
◆ CPLAND	0.862	-0.0267	-0.0374	▶ LPI	0.840	-0.024	0.214
▶ LPI	0.808	0.225	-0.410	▶ PD	-0.791	0.507	0.155
◆ DCAD	-0.086	0.914	0.340	◆ DMCA	0.702	-0.600	0.243
▶ ED	-0.350	0.902	0.118	▶ ED	-0.242	0.917	0.187
■ IJI	0.163	-0.816	0.341	◆ DCAD	-0.417	0.863	0.098
◆ DMCA	0.535	-0.708	-0.266	■ IJI	-0.048	-0.780	0.163
● LSI	0.293	0.611	0.580	● MSI	-0.342	0.687	-0.463
● MSI	0.015	0.106	0.927	◆ MCAI	-0.461	0.130	-0.822
◆ MCAI	-0.328	0.072	0.843	● LSI	-0.149	0.633	0.635
eigenvalue	4.518	3.472	2.564	eigenvalue	4.964	3.811	1.580
cumulative%	37.7	66.6	88.0	cumulative%	41.4	73.1	86.3

▶ area/density/edge metrics ● shape metrics ◆ core area metrics ■ contagion/interspersion

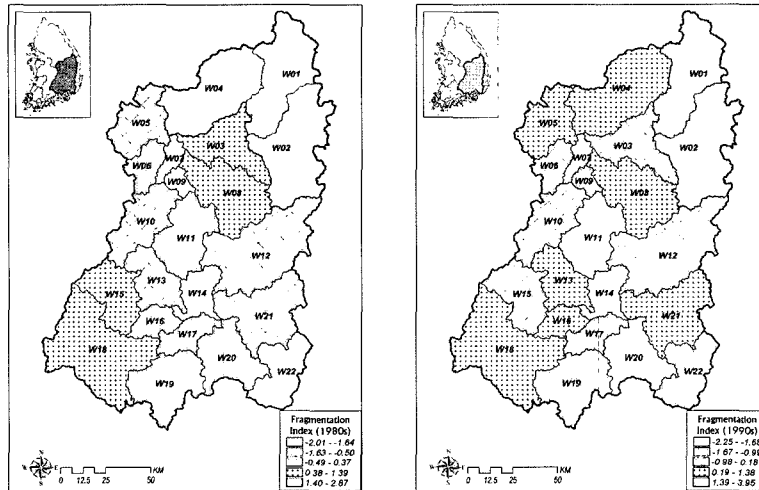


그림 5. Forest fragmentation index in 1980s(left) and 1990s (right)

파악하는 것은 더욱 중요한 부분이라고 할 수 있다. 따라서, 앞서 언급한 바와 같이 개개의 경관지수에 대한 분석이 아닌 유역별 경관지수의 결과치를 통합하여 산출한 파편화 지수를 산림경관의 환경평가를 위한 지표로서 활용하였다.

파편화 지수의 산출을 위해 다변량분석기법 중에서 인자분석을 적용하였으며, 분석에 앞서 경관지수간 측정단위의 상이함에 따른 영향을 제거하기 위하여 Z-score에 의한 자료의 표준화를 실시하였다(이희연, 1995, 박경훈, 2002).

다음 과정으로 Windows용 SPSS 12.0을 이용하여 인자분석을 실시하였는데, 공통인자는 주성분 방식을 적용하여 고유치(eigenvalue)가 1.0 이상인 인자만을 선정하였다. 또한 인자구조의 명확화를 위하여 직각회전 중 Varimax 법을 이용하여 인자회전을 통해 연도별로 각 3개의 공통인자를 추출하였다<표 4>.

이들 공통인자들은 경관분석에 있어 최초로 사용된 12개 지수의 총분산량의 약 86~88% 정도를 설명하는 것으로 나타났다. 1990년대를 기준으로 살펴보면, Factor I은 고유치 4.964이면서 총분산량의 41.4%를 설명하고 있으며, 평균 패치크기(MPS), 평균 핵심구역 지수(MCA), 핵심구역 면적(PLAND)을 중심으로는 높은 (+) 부하량이, 패치밀도(PD)는 (-) 부하량이 적재된 것으로 나타났다.

다음으로 Factor II는 가장자리 밀도(ED), 분리된 핵심구역 밀도(DCAD), 평균 형태지수(MSI)와는 (+) 부하량을, 패치들간의 산재도와 접촉도지수(LJI)와는 (-) 부하량을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이 인자의 고유치는 3.811이고, 총분산량의 31.7%를 설명하고 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 Factor III는 경관 형태지수(LSI)와 평균 핵심지역 지수(MCAI)에 높은 부하량이 적재되어 있으며, 고유치는 1.580, 총분산량의 13.2% 정도를 설명하고 있는 것으로 나타났다.

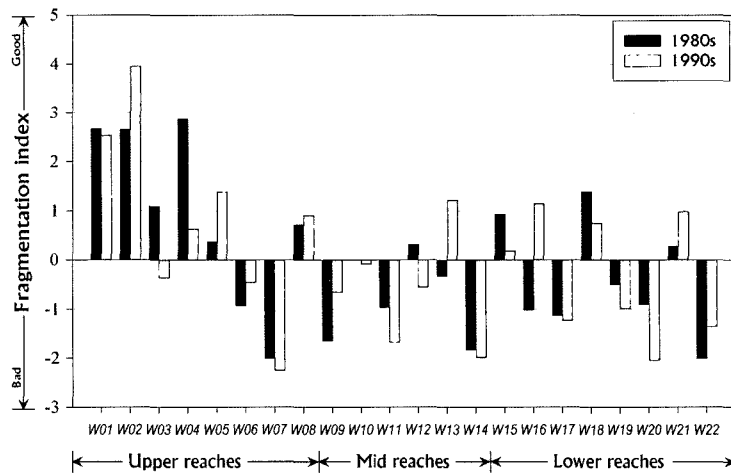


그림 6. Distribution patterns of fragmentation index value

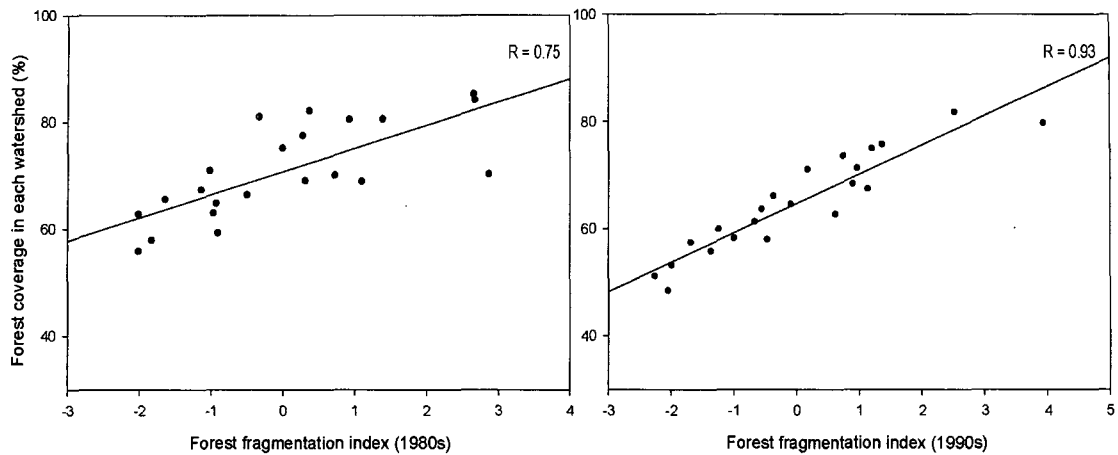


그림 7. The relationship between forest area and fragmentation index

인자분석에 의해서 추출된 공통인자에 대한 대상지역의 22개 유역별 인자점수를 합산하여, 산림패치가 가지는 크기, 형태, 공간적 배치 형태 등을 종합적으로 고려한 파편화 지수에 관한 정보를 생성하였으며, 최종적인 분석결과는 그림 5 및 6과 같다. 지수값이 작을수록 산림의 파편화 정도가 크다는 것을 의미하며, 지수값이 클수록 산림의 건전성은 상대적으로 우수하다는 것을 의미한다.

분석결과에 따르면, 낙동상주(W07), 낙동밀양(W20), 낙동고령(W14), 낙동왜관(W11), 낙동강 하구인(W22) 및 낙동창녕 유역(W17) 등에서 파편화 지수가 낮게 나타났는데, 낙동강 본류에 해당하는 유역들로서 산림의 파편화 정도가 다른 유역에 비해 높은 것으로 나타났다. 특히 낙동상주(W07)와 낙동밀양 유역(W20)은 산림의 양적인 측면(표 1)뿐만 아니라 구조적으로도 불안정한 양상을 보이는 것으로 나타났는데, 이들 유역에 대해서는 추가적인 분석을 통하여 지역의 환경조건에 부합하는 산림정책 등의 생태적 관리를 병행할 필요성이 있다.

산림의 파편화 정도를 유역 내에 존재하는 산림면적율과 비교해서 살펴보면, 그림 7과 같이 상호간에 뚜렷한 정(+)의 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있었다.

따라서, 도로건설, 자연휴양림내 집단시설지구 건설 및 대규모 택지개발 등과 같은 산림지역 내에서의 개발사업 시행시 사전환경성 검토 등의 계획단계에서부터 개발행위로 인해 발생될 수 있는 산림지역의 양적인 감소와 함께 구조적인 측면에서 산림 파편화를 최소화하기 위한 방안이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 생태계에 미치는 영향을 사전에 예방하기 위해서는 경관지수에 의해서 설명되는 산림패치의 구조적 패턴이 생물다양성 등에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 파악할 필요성이 있으며, 이를 위해서는 현장조사를 통한 생태정보의 지속적인 축적이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

또한, 도로 및 임도 건설 등과 같은 선형적인 개발행위는 지형의 조건에 따라 생물서식지의 단절을 유발하는 중요한 요인이 되므로 사전에 주변 자연생태계의 구성원들을 충분히 조사·예측하지 못한 상태에서 생물서식지를 크게 가로지르는 도로의 개설은 동물들의 활동양상을 크게 교란시키게 된다. 따라서, 기존의 도로 개설에 따른 환경영향평가와 같은 제도적 장치 속에서 야생동물들의 세력권이나 활동반경 등에 대한 보다 충실한 예측과 평가를 통해 활동반경 뿐만 아니라 기타의 생육조건 등과 같은 서식지의 영향에 대한 요소들도 적극 검토되어야 할 것이다.

3. 유역별 환경특성과 산림파편화의 관련성

산림경관의 구조적 패턴은 지형, 토양, 식생 등의 자연적 요인과 도로건설, 택지개발 등의 인위적 압력에 의해 영향을 받게 되므로(Tinker 등, 1998, Herzog 등, 2001, Cafaldi 등, 2004), 유역별 토지이용강도와 지형조건이 산림파편화 및 구조적 패턴에 미치는 영향을 분석하기 위하여 표 5와 같이 Pearson 상관분석을 실시하였다.

낙동강 유역의 22개 중권역을 대상으로 분석한 결과, 파편화 지수는 지형인자와는 정적(+)인 상관관계를, 도시

표 5. Correlation between the spatial patterns of forest landscape and environmental variables

Variables	Fragmentation index	
	1980s	1990s
Urban(%)	-0.328	-0.642**
Agriculture(%)	-0.656**	-0.772**
Elevation(m)	0.769**	0.730*
Slope(°)	0.675**	0.840**

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)



토지이용변화에 따른 낙동강 유역 산림경관의 구조적 패턴 분석

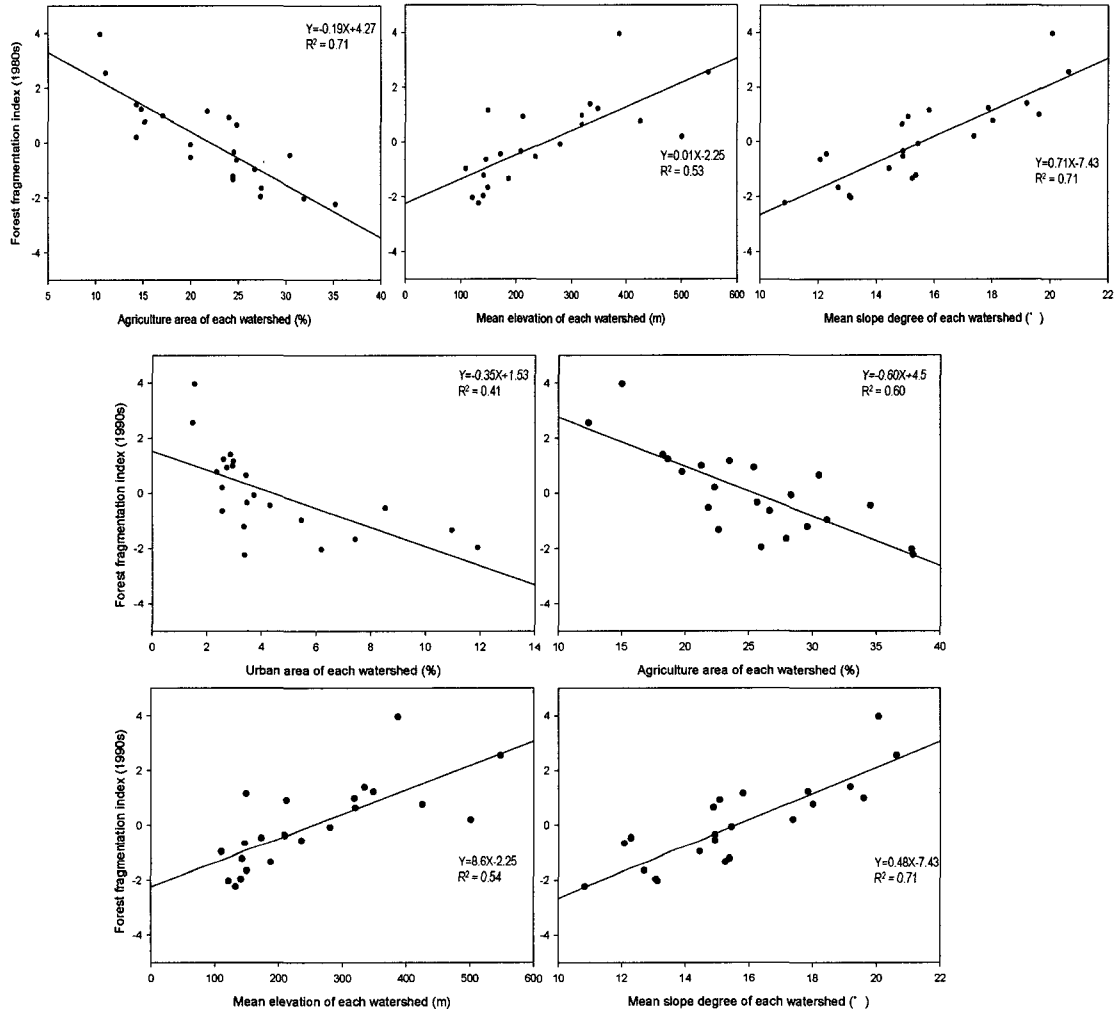


그림 8. Scatter plots and linear regression analysis of fragmentation index and other variables

지역 면적율과 농업지역 면적율과 같이 인간의 간섭이 나타나는 토지이용 패턴과는 부적(-)의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

시기별로 토지이용 패턴과의 상관관계에 대해 살펴보면, 파편화 지수와 농업지역 면적율은 상관계수  $|r| = 0.656$ ,  $|r| = 0.772$  ( $p < 0.01$ )로 두 시기 모두 부(-)의 상관도가 상당히 높게 나타났다. 파편화 지수와 도시지역의 면적율과의 관계에서는 1980년대의 경우에는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 그러나, 개발행위로 인한 도시지역의 면적확대로 1990년대에는 파편화 지수와 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 그러나, 개발행위로 인한 도시지역의 면적확대로 1990년대에는 파편화 지수와 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 이러한 결과를 시계열별 토지피복 변화와 비교해서 분석해 보면, 산림지역 주변에서의 개발행위가 1980년대에는 농경지를 중심으로 이루어졌지만, 1990년대에는 도시화 진행에 따라 산림지역의 파편화 현상에 미치는 영향이 상대적으로 증가한 것으로 파

악된다.

다음으로, 파편화 지수와 유의한 상관관계를 가지는 농업지역 면적율과 평균고도 및 경사도에 대해서는 상호간의 인과성을 평가하기 위하여 그림 8과 같이 산포도 작성 및 단순회귀분석을 실시하였다. 파편화 지수를 종속변수로, 농업지역 면적율(%), 도시지역 면적율(%), 평균고도(m), 평균경사도(°)는 독립변수로 설정하였다.

분석결과 따르면, 도시지역과 농업지역의 면적율이 증가함에 따라 파편화 지수가 감소함을 알 수 있었다 또한, 도시적 토지이용보다 농업적 토지이용이 산림의 파편화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 시간의 변화에 따라 도시적 토지이용의 영향이 점점 증가되는 것을 알 수 있었다. 이를 토지피복 변화추이와 비교해서 살펴보면, 도시지역에 인접한 산림 및 농경지가 도시지역으로 흡수되고, 농경지 또한 산림지역을 흡수하면서 일어난 현상으로 파악된다. 특히, 산림의 파편화는 도시지역의 확

산보다 농경지에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났는데, 도시지역에 잠식당한 농경지의 확보를 위해 인접 산림을 흡수하면서 산림 파편화에 직접적인 영향을 주었을 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

지형인자에 대해서는 산포도에서 보는 바와 같이 유역 내에 분포하는 산림은 고도가 높고, 경사가 급할수록 파편화 정도가 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 지형적인 조건으로 인해 유역 내의 개발사업이 제한됨을 의미한다고 할 수 있다.

낙동강 유역의 산림지역에 대한 경관생태적 패턴을 분석한 결과, 도시지역의 확장에 따라 인접한 산림지에 대한 파편화 현상이 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 농업지역에 대한 개간행위가 도시적 토지이용 패턴보다 산림에 미치는 영향이 더 큰 것으로 분석되었다. 이와 같이 산림식생의 구조와 기능에 영향을 미치는 중요 원인인 인간의 간섭은 우리가 의도하지 않은 생물들의 분포와 분산에 많은 영향을 미치게 되므로 자연생태계의 질적·구조적 변화로 야기되는 영향에 대해 과학적인 검증과 인식이 이루어질 필요성이 있다.

이를 위해, 산림경관과 토지이용 패턴의 시간적·공간적 변화패턴에 대한 지속적인 모니터링을 통해 영향 및 상호관계에 대한 종합적인 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한, 공간적 범위에 따라 산림 파편화에 미치는 인자의 영향정도가 달라질 수 있으므로 향후에는 다른 대권역 및 중권역과 표준유역에 확대·적용하여 공간적 위계뿐만 아니라 지역의 환경특성에 부합하는 영향인자의 관련성을 파악하는 연구도 병행되어야 할 것이다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 낙동강 유역을 대상으로 시계열적인 토지이용 변화 및 경관지수를 이용한 산림경관의 구조적 패턴과 파편화 정도를 정량적으로 분석함으로써, 산림생태계의 건전성 평가 및 관리계획 수립을 위한 정보를 제공하고자 하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

Change matrix를 이용한 시계열적인 토지이용패턴을 분석한 결과, 도시화가 진행된 지역은 약 750km<sup>2</sup>로 개발여건이 상대적으로 양호한 농경지(443.9km<sup>2</sup>)에서 산림지역(205.1km<sup>2</sup>)보다 더 많은 개발행위가 이루어진 것으로 나타났다. 반면, 도시지역이 다른 토지형태로 전용된 지역은 약 120km<sup>2</sup>로 대부분이 농경지 및 녹지로 변화되어 자연성을 회복한 것으로 나타났으나, 농경지와 나지로 존재하는 지역은 개발여건만 성숙된다면 기존에 도시지역이었던 여건을 살려 재개발될 우려도 있으므로 건전한 생태계로서

의 기능을 유지시키기 위한 노력이 필요한 지역이라고 할 수 있다.

산림경관의 구조적 패턴을 분석하기 위해 사용된 유역별 경관지수는 인자분석을 통해 3개의 공통인자로 축소할 수 있었으며, 이들은 전체 경관지수의 총분산량을 약 87% 정도 설명하였다. 각 인자의 유역별 인자점수는 합산 과정을 통해 파편화 지수를 산출함으로써 낙동강 유역에 분포하는 산림경관의 구조적 패턴을 종합적으로 해석할 수 있었다.

도시지역의 확장에 따라 인접한 산림지역에 대한 파편화 현상이 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 농업지역에 대한 개간행위가 도시적 토지이용보다 산림의 구조적 패턴에 미치는 영향이 큰 것으로 분석되었다.

낙동강 본류에 분포하는 유역들에서 파편화 정도가 다른 유역에 비해 높은 것으로 나타났는데, 특히 낙동상주 유역과 낙동밀양 유역은 산림의 양적인 측면뿐만 아니라 구조적으로도 불안정한 상황을 보이는 것으로 나타났다. 향후 이들 유역에 대해서는 추가적인 분석을 통해 지역의 환경조건에 부합하는 산림정책 등의 생태적 관리를 병행할 필요성이 있다고 판단된다.

또한, 산림의 파편화 정도는 유역의 농업화 정도와 상호관련성( $r=0.772, p<0.01$ )이 매우 높은 것으로 나타났으며, 회귀분석에 의해서도 농업지역 면적율이 파편화지수의 분산을 60% 정도 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 반면, 유역의 평균고도가 높고, 경사가 급할수록 개발사업의 제한성으로 인해 파편화 정도는 낮은 것으로 나타났다.

이상과 같이 낙동강 유역 산림의 경관생태학적 패턴을 분석한 결과는 인간 중심의 시각에서 행해질 수 있는 각종 개발사업에 따른 산림 파편화의 현황 분석 및 파편화된 산림의 생태적 기능을 회복시키기 위한 방안을 수립하는데 있어 기초자료를 제공하는 방법론으로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 향후 지속적인 산림생태계의 모니터링을 통해 산림경관의 시간적·공간적 변화패턴에 대한 분석과 함께 주변생태계에 미치는 영향 등 상호관계에 대한 종합적인 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 국토연구원, 2004, 공간분석기법, 한울아카데미
2. 박경훈, 2002, GIS 및 RS 기법을 활용한 낙동강 유역의 통합환경평가, 경북대학교 박사학위논문
3. 박인환, 장갑수, 2002, 대도시 주변지역의 토지이용 변화, 대구광역시를 중심으로, 한국조경학회지 30(1) : 1-10

4. 손학기, 김원주, 박종화, 2000, 도시공원의 경관생태학적 분석-패취의 형태지수와 분산도 분석을 중심으로-, 한국조경학회지 23(4) : 12-19
5. 심우경, 이진희, 김훈희, 1999, 도농통합시의 녹지환경정비모델에 관한 연구 II-천안의 녹지구조변화를 중심으로-, 한국조경학회지 26(4) : 105-112
6. 오정학, 2004, 환경친화적 국토자원관리를 위한 경관생태학적 접근, 경북대학교 박사학위논문
7. 이도원, 2001, 경관생태학-환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리, 서울대학교 출판부
8. 이용경, 1998, Trend of forest fragmentation in the lower region of the Han river basin, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문
9. 이종성, 1998, Landsat MSS Data를 이용한 서울시 산림패취의 패턴 변화 분석, 한국조경학회지 26(2) : 240-250
10. 이희연, 1995, 지리통계학-지리자료분석기법-, 범문사
11. 정성관, 오정학, 박경훈, 2003, 도시경관계획수립을 위한 경관과편화에 관한 연구, 한국지리정보학회지 6(3) : 11-20
12. 조현길, 김성훈, 2001, 경관생태적 접근을 통한 도시경관의 구조와 변화해석, 한국조경학회지 추계학술발표회 10-12
13. 한국경관생태연구회, 2001, 경관생태학, 동화기술
14. 환경부, 2001, 표토보전 및 침식(유실)방지 대책에 관한 연구, 환경부
15. 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
16. Gustafson, E.J., 1998, Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art?, Ecosystems 1(2) : 143-156
17. Hargis, C.D., J.A. Bissonette, and J.L. David, 1998, The behavior of landscape metrics commonly used in the study habitat fragmentation, Landscape Ecology 13(3) : 167-186
18. Herzog, F., A. Lausch, E. Müller, H. Thulke, U. Steinhart, and S. Lehmann, 2001, Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation, Environment Management 27(1) : 91-107
19. Jensen, J.R., D.J. Cowen, S. Narumalani, J.D. Althausen, and O. Weatherbee, 1993, An Evaluation of Coast Watch Change Detection Protocol in South Carolina, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56(9) : 1039-1056
20. Lindenmayer, D.B., 1999, Future directions for biodiversity conservation in managed forests: indicator species, impact studies and monitoring programs, Forest Ecology and Management 115 : 277-287
21. McGarigal, K., S.A. Cushman, M.C. Neel, and E. Ene, 2002, FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
22. O'Neill, R.V., R.H. Gardner, and G.M. Turner, 1992, A hierarchical neutral model for landscape analysis, Landscape Ecology 7 : 55-61
23. Ritters, K. H., R. V. O'Neill, C. T. Hunsaker, J. D. Wickham, D.H. Yankee, S.P. Timmis, K.B. Jones, and B.L. Jackson, 1995, A factor analysis of landscape pattern and structure metrics, Landscape Ecology 10(1) : 23-39
24. Tinker, D.B., C.A.C. Resor, G.P. Beauvais, K.F. Kimfueller, C.I. Fernandes, and W.L. Baker, 1998, Watershed analysis of forest fragmentation by clearcuts and roads in a Wyoming forest, Landscape Ecology 13(3) : 149-165
25. Tischendorf, L., 2001, Can landscape indices predict ecological processes consistently?, Landscape Ecology 16(3) : 235-254
26. Turner, M.G., and C.L. Risher, 1988, Changes in landscape patterns in Georgia, USA, Landscape Ecology 1(4) : 241-251
27. Zebisch, M., F. Wechsung, and H. Kenneweg, 2004, Landscape response functions for biodiversity-assessing the impact of land-use changes at the country level, Landscape and Urban Planning 67 : 157-172