

## 금호강 유역 산림의 경관생태적 패턴분석

박경훈<sup>1</sup> · 정성관<sup>2\*</sup> · 이현택<sup>2</sup> · 오정학<sup>3</sup> · 김경태<sup>2</sup>

### An Analysis on Landscape Ecological Pattern of the Geumho River Watershed Forest

Kyung-Hun PARK<sup>1</sup> · Sung-Gwan JUNG<sup>2\*</sup> · Hyun-Taek LEE<sup>2</sup> · Jeong-Hak OH<sup>3</sup> · Kyung-Tae KIM<sup>2</sup>

#### 요 약

산림의 단편화와 같은 인위적 교란은 유역생태계의 지속성에 영향을 미치기 때문에, 본 연구는 각종 개발사업에 따른 산림의 단편화를 사전에 예방하기 위해서 경관지수와 GIS를 이용하여 금호강 유역에 분포하는 산림구조를 정량화하였다. 소유역 단위의 경관지수값은 인자분석에 의해 전체 분산을 85% 정도 설명하는 3개의 공통인자를 단순화하였다. 산림단편화 정도는 소유역별 인자점수를 토대로 계산하였고, 이는 도시지역 면적률( $r=0.827$ ,  $p<0.01$ ,  $R^2=0.685$ ), 고도( $r=-0.637$ ,  $p<0.01$ ) 그리고 경사도( $r=-0.593$ ,  $p<0.01$ )와 상호관련성이 있는 것으로 나타났다. 이상과 같이 본 연구는 금호강 유역관리를 위한 산림경관의 건전성 및 구조적 패턴을 평가하기 위한 방법론과 경관지수값을 제시하였다. 향후에는 경관패턴 및 그 변화가 유역환경의 건전성에 미치는 영향을 규명하기 위한 연구가 필요할 것이다.

**주요어:** 유역관리, 경관생태, 경관지수, GIS

#### ABSTRACT

An artificial disturbance like fragmentation in watershed forest has impacted a sustainability of watershed ecosystem, therefore this research quantified the landscape structure in the Geumho river watershed using landscape indices and GIS. Landscape indices were calculated from the forest distributed maps for 24 subwatersheds. Three common factors, which explained about 85% of the variation in the original data, were extracted by a factor analysis. The fragmentation gradient in forest landscape, which was calculated from the factor scores, was correlated with proportion of urban land

2004년 6월 30일 접수 Received on June 30, 2004 / 2004년 8월 23일 심사완료 Accepted on August 23, 2004

<sup>1</sup> 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environment Engineering, Changwon National University

<sup>2</sup> 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

<sup>3</sup> 국립산림과학원 산림생태과 Dev. of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute

\* 연락처자 E-mail: sgjung@knu.ac.kr

( $r=0.827$ ,  $p<0.01$ ,  $R^2=0.685$ ), elevation ( $r=-0.637$ ,  $p<0.01$ ) and slope gradient ( $r=-0.593$ ,  $p<0.01$ ). The result of the study presented that the methodology and the values of landscape indices to assess the structural patterns of forest landscape for the Geumho river watershed management. Future research will be directed towards the detection of impacts of landscape patterns and their changes on the integrity of watershed environments.

**KEYWORDS:** *Watershed Management, Landscape Ecology, Landscape Index, GIS*

## 서론

유역생태계의 지속성을 확보하기 위해서는 산림의 물리적 풍부함뿐만 아니라, 산림 패치(patch)의 크기, 수, 형태, 공간배치 등 구조적 안정성도 고려되어야 한다. 하지만, 인간에 의한 무분별한 도로건설과 대규모 개벌(皆伐) 등과 같은 인위적 교란과 그리고 산불 등은 단편화(fragmentation)와 같은 구조적 변화를 야기하고 있다(김기대 등, 1998; 김귀곤 등, 2000; Tinker, 1998). 단편화는 산림 외부에서 유입되는 바람과 빛의 강도 등을 변화시키기 때문에 결국 산림 내에 서식하는 생물종의 다양성, 영양물질 순환, 하천 수질 및 수량 등에 부정적 영향을 미치게 된다(이도원, 2001; Forman 1995). 이에 많은 경관생태학자들은 유역생태계를 구성하는 요소들(산림, 하천, 경작지 등)의 구조적 특성을 정량화하기 위해서 경관지수(landscape indices)를 개발하였다(Baker와 Cai 1992; McGarigal 등, 1995). 또한, 경관지수를 활용하여 각종 인간활동에 따른 산림의 경관생태적 변화패턴을 모니터링하고(정성관 등 2002a; Tinker 등 1998; Herzog 등, 2001), 이것이 유역생태계의 지속성과 환경오염에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구를 활발히 수행하고 있다(Hunsaker 등, 1992; Jones 등, 2001). 한편 최근에 와서는 GIS 및 원격탐사 기술의 발달로 유역과 같은 광역적 공간규모의 경관요소(토지 이용/피복)를 빠른 시간 내에 수집할 수 있게 되었을 뿐만 아니라, 경관지수를 자동적으로 계산할 수 있는 프로그램(McGarigal 등, 1995)이 개발됨에 따라 광역적 공간규모의 경관요소들에

대한 구조적 패턴 및 변화양상을 효과적으로 규명하고 있다.

경관지수는 공간의 이질성, 또는 경관요소의 구조적 패턴을 정량화하는데 효과적으로 적용할 수 있지만, 이들 상호간에는 서로 밀접한 관련성이 존재하기 때문에 분석결과를 해석하는데 어려움이 있다. 이에 많은 연구자들은 소수의 핵심적인 경관지수를 선정하거나(Gustafson 1992), 인자분석 등의 다변량통계기법을 활용하여 최적으로 그룹화된 소수의 공통인자를 산출하는 방법론을 활용하고 있다(Riitters 등, 1995; Cain 등, 1997; Griffith 등, 2000; Cifaldi 등 2004). 국내에서도 다양한 분야에서 경관지수를 활용한 연구가 진행되고 있는데, 정종철(1999)은 위성영상자료에서 산출된 식생지수와 경관지수를 활용하여 산림 단편화 정도를 평가하였고 정성관 등(2002b, 2003)은 토지이용의 시간적 변화패턴이 경관구조에 미치는 영향을 분석하였으며, 황국웅과 박소윤(2003)은 산림지역을 대상으로 경관지수를 적용하여 생태계 건전성을 평가하였다. 하지만, 아직까지 경관지수들간의 상호관련성을 고려한 최적의 경관지수군을 추출하거나, 유역 산림을 대상으로 적용한 연구는 부족한 실정이라 사료된다. 따라서 본 연구는 금호강 유역을 대상으로 산림의 경관생태학적 패턴을 정량적으로 해석하고, 이를 토대로 단편화 정도를 규명함으로써 산림생태계가 가지는 생물서식지 제공, 자연적 자정작용 등의 계기능을 회복하기 위한 네트워크 구축 등 유역단위의 산림생태계 복원을 수립하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

## 연구방법

### 1. 대상지 개요

연구 대상지는 행정구역상 대구시와 경상북도 영천시, 경산시, 고령군에 위치하는 낙동강 중류의 24개 소유역으로 구성되어 있다(그림 1). 대상지의 중심을 흐르고 있는 금호강은 경상북도 포항시 죽장면 가사령에서 발원하여 약 118km를 흘러 대구광역시 달성군 화원읍에서 낙동강과 합류한다(대구지방환경청, 2000). 따라서, 금호강 유역의 환경상태는 그 본류인 낙동강에 직·간접적인 영향을 미칠 수 있기 때문에, 생물서식지 및 자연정화기능을 가지는 산림생태계의 구조적 안정성은 낙동강 물환경정책에서 중요하게 고려되어야 할 것으로 판단한다.

(23,326km<sup>2</sup>)의 11% 정도에 해당한다. 전체 소유역 중에서 신령천 유역의 면적이 340km<sup>2</sup>(13.2%)로 가장 크고, 대구광역시 달서구와 달성군 화원읍에 걸쳐있는 진천천 유역이 24km<sup>2</sup>(0.9%)로 가장 작은 것으로 나타났다(표 1).

소유역별 토지이용과 지형조건은 표 1에 제시된 바와 같은데, 산림면적률은 가창댐유역이 93% 정도로 가장 높고, 도시지역 면적률은 금호강05 유역이 68%로 가장 높다. 농경지 면적률은 금호강03유역이 40%로 가장 높은 반면, 금호강 하류의 신천02 및 금호강05유역은 전체 면적의 2% 정도만이 농경지로 구성된 것으로 나타났다. 지형조건은 평균고도(m)와 평균경사도(%)를 통해서 파악할 수 있는데, 산림면적률이 상대적으로 높은 가창댐 및 영천댐유역은 평

FIGURE 1. Location of study area

특히, 금호강 유역의 하류에 분포하는 대구광역시와 이에 인접한 경산시는 고속도로 건설, 대규모 택지조성 등 각종 개발사업으로 인하여 산림 감소 또는 소실, 단편화 등과 같은 인위적 교란현상이 심화되어지고 있다. 소유역 경계는 낙동강을 비롯한 우리나라 주요 4대 강 수계를 대상으로 구축된 배수구역도를 기준으로 하였으며, 전체 유역면적은 2,579km<sup>2</sup>로 낙동강 유역

균 400m 이상의 해발고도와 50% 정도의 경사도를 가지는 것으로 나타났다.

### 2. 자료수집 및 분석과정

금호강 유역산림의 경관생태적 패턴은 생물종을 제외한 소유역별 패취단계(patch level)에서 구조적 측면만을 분석하였고, 그 과정은 그

TABLE 1. Land use types and topographical conditions of each subwatershed

ID	Name of subwatershed	Area(km <sup>2</sup> )	Land use types(%)			Topography	
			Forest	Urban	Agriculture	Elevation(m)	Slope(%)
W01	Yeongcheon dam	234.3	84.0	1.6	11.6	402.5	49.8
W02	Keumhogang01	100.8	63.7	4.6	26.7	206.2	29.7
W03	Gochoncheon	112.3	71.6	4.3	20.5	181.9	28.8
W04	Keumhogang02	115.5	46.8	9.1	36.4	136.0	19.8
W05	<u>Sinryeongcheon</u>	<b>339.4</b>	69.9	3.1	24.4	274.9	34.8
W06	Bukancheon	91.5	56.0	11.5	27.5	170.4	25.0
W07	Cheongtongcheon	125.5	60.5	6.6	28.0	236.3	29.0
W08	Keumhogang03	84.7	32.0	17.7	<b>39.9</b>	102.8	13.6
W09	Omokcheon	183.9	48.2	8.5	37.7	156.6	24.5
W10	Namcheon	121.2	66.1	14.3	15.0	231.8	36.5
W11	Keumhogang04	82.5	41.4	33.5	18.6	136.5	21.5
W12	Donghwacheon	103.6	74.3	6.6	14.4	328.4	37.1
W13	Sincheon01	68.0	78.6	4.2	13.9	374.5	41.7
W14	Gachang dam	42.1	<b>93.2</b>	<b>1.2</b>	3.2	<b>495.1</b>	<b>54.0</b>
W15	Sincheon02	73.4	32.8	62.3	<b>1.5</b>	135.6	17.8
W16	Keumhogang05	32.5	<b>20.9</b>	<b>67.9</b>	2.2	<b>53.6</b>	<b>9.0</b>
W17	Pageocheon	99.6	67.4	13.2	14.0	241.0	33.7
W18	Keumhogang06	63.6	36.0	37.1	14.4	61.5	15.6
W19	Leoncheon	63.7	77.1	3.0	14.5	179.2	32.4
W20	Nakdonggang21	194.4	55.4	7.4	26.9	137.7	25.7
W21	<u>Incheoncheon</u>	<b>23.9</b>	58.5	26.6	11.4	207.4	32.1
W22	Cheonnaecheon	47.2	72.6	5.1	16.8	263.3	37.1
W23	Nakdonggang22	79.9	48.9	3.4	36.2	65.9	22.6
W24	Chacheon	93.3	58.8	4.4	31.2	210.1	31.7

\* Measurement of all variables were calculated from land use and DEM data in the study area.

림 2에 제시된 바와 같다. 산림분포도는 국립지리정보원에서 제작·공급하고 있는 축척 1:25,000의 수치토지이용도(그림 3a)에서 산림지역만을 추출하여 제작하였다. 구조적 패턴은 McGarigal과 Marks(1995)가 제안한 크기, 밀도, 가장자리, 형태, 핵심구역 등에 관련된 경관지수를 토대로 FRAGSTATS Ver. 3.3을 사용하여 분석하였다. 또한 인자분석을 사용하여 다수의 경관지수를 소수의 공통인자로 단순화·축소화함으로써 산림경관의 구조적 패턴을 좀더 용이하게 해석하였다(Rüitters 등, 1995; Tinker 등, 1998; Cifaldi 등, 2004). 인자분석을 실시하기 전에, 경관지수들간의 정보의 중복성을 최소화하기 위해서 SPSS 11.0(SPSS Inc., 2001)을 사

용하여 경관지수들간의 상관계수를 산출한 후 그 값이 0.9 이상이면 두 변수 중에서 하나만을 선택하였다(Herzog 등, 2001). 최종 선정된 경관지수는 측정단위의 상이함에 따른 영향을 제거하기 위해서 Z-score로 표준화한 후, 주성분 방식을 적용하여 고유치(eigenvalue)가 1.0 이상인 인자만을 선정하도록 설정하였고, 마지막으로 인자구조의 명확화를 위해서 직각회전 중 Varimax법으로 인자회전을 시켰다. 인자를 회전시켜 산출된 인자행렬을 토대로 각 공통인자에 대한 변량을 측정된 인자점수를 지도화하였다(이희연, 1995). 전체 공통인자의 소유역별 인자점수는 산림경관의 단편화를 평가하기 위해서 합산한 후, 최종적으로 도시화 및 농업화 정

FIGURE 2. Procedure for the spatial pattern analysis of forest patches

FIGURE 3. Spatial data for the analysis of forest patches and physical environments in the Geumho river watershed

도, 그리고 지형조건 등의 유역환경이 단편화에 미치는 영향은 상관 및 회귀분석을 토대로 분석하였다.

경관지수는 패취의 ① 크기/밀도/가장자리 ② 형태 ③ 핵심구역 ④ 공간 배치로 구분할 수 있다(표 2). 크기/밀도/가장자리에 관련된 경관지수는 최대패취지수(LPI), 평균패취크기(MPS), 패취밀도(PD), 가장자리밀도(ED)로 구성되어 있다. LPI는 가장 큰 산림패취가 소유역에서 차지하는 비율을 측정하는 지수이다. PD는 단위면적당(100ha) 패취 수를 의미하는 것으로, 서로

다른 소유역의 산림면적이 동일하더라도 그 수에 따라 밀도가 다르기 때문에 패취의 연결성 또는 쪼개짐 정도를 측정할 수 있다. 물론, PD 단독으로 산림경관의 구조적 안정성, 또는 생태적 기능성 등을 평가하는 것은 불가능하지만, 100ha 당 산림경관의 수를 기준으로 볼 때, 그 값이 높을수록 구조적으로 불안정한 상태라 할 수 있다. ED는 패취의 둘레길이를 면적으로 나눈 것을 의미하는데, 이것은 패취의 형태에 많은 영향을 받게 된다. 즉, 면적이 동일하더라도 가장자리에 굴곡이 많으면 그 만큼 둘레길이가

TABLE 2. Landscape indices included in the analysis

Category	Index	Description	Units
Area/density/edge	LPI	Largest patch index	%
	MPS	Mean patch size	ha
	PD	Patch density	number/100ha
	ED	Edge density	m/ha
Patch shape	LSI	Landscape shape index	-
	MSI	Mean shape index	-
Core area	C%LAND	Core area percentage of landscape	%
	MCA	Mean core area	ha
	DMCA	Disjunct mean core area	ha
	DCAD	Disjunct core area density	number/100ha
	CAI	Core area index	%
Spatial configuration	IJI	Interspersion and juxtaposition index	%

\* Complete descriptions of landscape indices are given in McGarigal and Marks(1995).

늘어나기 때문에 가장자리의 밀도는 증가하게 된다.

패취형태는 경관형태지수(LSI)와 평균형태지수(MSI)를 토대로 평가하였다. MSI는 패취의 둘레길이 및 면적간의 관계를 기초로 경계부분의 복잡성을 측정하는 것이며, 그 값이 증가할수록 경계부분의 형태가 복잡해짐을 의미한다 (Forman, 1995; 이도원, 2001). MSI는 입력자료의 형태에 따라 적용기준이 상이한데, 벡터자료는 원을 기준으로 래스터적자는 패취면적과 동일한 크기의 정사각형을 기준으로 얼마만큼 변형되었는가를 측정하는 지수이다. 만약 완전한 사각형의 형태를 가지는 패취인 경우는 형태지수의 값으로 1을 가지게 된다. 따라서 지수값이 증가할수록 패취형태가 좀더 복잡해짐을 의미한다. 핵심구역은 패취의 가장자리를 제외한 내부지역의 최대점원을 의미하며, 여기서 가장자리의 폭은 박종화 등(1995)과 Tinker 등(1998)의 연구결과에서와 같이 50m로 설정하였다.

핵심구역에 관련된 경관지수는 핵심구역면적률(C%LAND), 평균핵심구역면적률(MCA), 분리된핵심구역면적률(DMCA), 분리된핵심구역밀도(DCAD), 핵심구역지수(CAI)이다. 산재도 및 접촉도지수(IJI)는 패취들간의 공간적 분포패턴

과 인접한 토지이용의 다양성을 평가할 수 있으며, 그 값이 높을수록 인접한 지역의 토지유형이 다양하다는 것을 의미한다(McGarigal과 Marks, 1995).

## 결과 및 고찰

### 1. 경관지수 산출

24개 소유역별 산림경관의 경관지수별 계산결과와 기술통계량은 표 3과 같다. 패취크기에 관련된 LPI와 MPS는 가창댐유역(W14)이 각각 93.2%, 3,925.6ha로 가장 높은 값을 가지는 것으로 분석되었다. 인접한 신천01 유역(W13)과 천내천 유역(W22)도 70% 이상으로 나타났다. 반면에 도시 및 농업적 토지이용이 우세한 금호강 중·하류의 소유역(W08, W18)은 LPI 9.2%, MPS 32.7ha로 매우 낮은 값을 가지는 것으로 나타났다. 분산의 정도를 상대적으로 측정한 변동계수(coefficient of variation: CV)를 보면 LPI에 비해 MPS의 경우가 소유역간 격차가 큰 것으로 나타났다. PD의 분석결과에 따르면, 전술한 LPI와 MPS의 값이 가장 높았던 가창댐유역(W14)의 PD가 가장 낮은 것으로 나타났다. 반면에 금호강 중류에 분포한 소유역(W04,

TABLE 3. The values of landscape indices of each subwatershed

ID	LPI	MPS	PD	ED	LSI	MSI	C%LAND	MCA	DMCA	DCAD	CAI	IJI
W01	16.0	418.6	0.20	24.4	12.0	1.94	73.4	365.7	477.4	0.15	19.1	60.4
W02	19.5	156.7	0.41	31.4	12.3	2.32	49.9	122.7	104.8	0.48	19.5	72.4
W03	30.4	182.8	0.39	43.9	15.5	2.27	54.1	138.0	129.2	0.42	14.4	67.2
W04	29.0	60.1	0.78	49.2	20.8	2.25	29.8	38.2	<b>17.3</b>	<b>1.72</b>	14.2	60.0
W05	23.9	206.4	0.34	41.5	<b>24.8</b>	2.23	53.7	158.6	69.6	0.77	22.8	65.1
W06	18.4	69.2	0.81	<b>50.3</b>	17.6	2.18	37.9	46.8	25.5	1.49	14.9	73.2
W07	30.3	135.6	0.45	42.8	16.7	2.30	44.8	100.4	38.0	1.18	17.7	67.4
W08	22.8	<b>32.7</b>	0.98	31.0	13.9	1.95	21.5	<b>22.0</b>	17.4	1.24	<b>8.4</b>	60.1
W09	29.4	68.1	0.71	42.4	22.4	1.91	33.0	46.7	26.4	1.25	11.1	61.0
W10	60.7	286.0	0.23	26.7	10.5	2.00	55.1	238.3	104.3	0.53	24.9	72.4
W11	38.3	148.6	0.28	25.7	10.4	2.36	31.3	112.4	50.7	0.62	16.6	58.2
W12	30.7	167.4	0.44	38.6	13.0	2.11	59.3	133.4	82.9	0.72	16.0	71.0
W13	76.1	667.9	0.12	27.0	8.0	2.38	66.1	561.1	299.3	0.22	33.1	79.6
W14	<b>93.2</b>	<b>3925.6</b>	<b>0.02</b>	15.4	<b>4.3</b>	<b>4.32</b>	<b>83.5</b>	<b>3517.4</b>	<b>1172.5</b>	<b>0.07</b>	<b>89.6</b>	76.3
W15	14.8	86.1	0.38	13.8	6.5	<b>1.66</b>	26.6	69.7	65.1	0.41	29.9	<b>47.5</b>
W16	14.3	35.8	0.58	<b>12.5</b>	5.5	1.89	<b>15.2</b>	26.1	45.0	0.38	13.2	58.6
W17	22.9	149.1	0.45	32.1	11.6	1.87	54.1	119.7	99.7	0.54	20.8	80.2
W18	<b>9.2</b>	79.0	0.46	20.2	8.4	1.78	27.2	59.6	64.0	0.43	27.6	60.7
W19	61.9	446.7	0.17	38.0	10.7	2.73	60.1	348.2	100.8	0.60	34.3	83.9
W20	20.0	269.2	0.21	27.8	14.6	2.28	44.3	215.5	107.7	0.41	25.9	78.1
W21	55.8	99.8	0.58	16.5	4.3	1.94	49.1	83.9	167.8	0.29	16.1	78.7
W22	71.8	489.7	0.15	22.0	5.9	2.28	61.8	417.2	224.6	0.28	24.3	<b>85.3</b>
W23	16.3	48.8	<b>1.00</b>	36.8	13.4	1.87	35.0	35.0	32.5	1.08	11.3	69.7
W24	25.8	116.8	0.50	29.6	11.0	1.84	46.7	92.6	75.1	0.62	16.8	70.5
Min.	9.2	32.7	0.02	12.5	4.3	1.66	15.2	22.0	17.3	0.07	8.4	47.5
Max	93.2	3925.6	1.00	50.3	24.8	4.32	83.5	3517.4	1172.5	1.72	89.6	85.3
Mean	34.6	347.8	0.44	30.8	12.3	2.19	46.4	294.5	149.9	0.66	22.6	69.1
CV	0.66	2.24	0.60	0.36	0.45	0.24	0.36	2.38	1.61	0.67	0.70	<b>0.14</b>

W08, W06) 그리고 낙동강 본류의 W23 등은 PD값이 0.72 이상으로 높게 나타났다. 이처럼 PD가 높다는 것은 산림의 연결성이 낮다는 것을 의미하는 것으로서, 도로 건설 등과 같은 인위적 압력에 의해서 단절된 패취가 증가할수록 그 밀도는 증가하게 된다. ED는 금호강 하류의 도시지역 면적률이 높은(표 1 참조) 소유역(W15, W16, W21)을 중심으로 낮은 값은 가지는 것으로 나타났다.

패취형태에 관련된 경관지수인 MSI는 가창댐유역(W14), 신천02유역(W15), 금호강04유역(W11), 그리고 이연천유역(W19) 등에서 높은 값을 가지는 것으로 나타났다. 반면에 대구시에 분포하는 금호강05유역(W16)과 금호강06유역(W18), 신천02유역(W15)은 매우 낮은 값을

가지는 것으로 나타났다. 핵심구역의 크기에 관련된 C%LAND, MCA, DMCA, DCAD, CAI의 분석결과에 따르면, 가창댐유역(W14)을 비롯한 신천01유역(W13), 금호강 최상류의 영천댐유역(W01) 등이 비교적 높은 값을 가지는 것으로 나타났다. 핵심구역 면적률의 평균값인 MCA는 변동계수가 2.38로 다른 경관지수들에 비해 소유역간 격차가 가장 큰 것으로 나타났다. 마지막으로 산림주변지역의 패취유형, 즉 토지이용패턴의 다양성을 측정하기 위한 IJI는 천내천유역(W22)이 85%로 가장 높게 나타났다. 신천02유역(W15)은 47.5%로 가장 낮은 값을 가지며, 인접한 금호강04유역(W11)과 금호강06 유역(W18)도 IJI 값이 비교적 낮은 것으로 나타났다.

TABLE 4. Pearson correlation matrix of landscape indices. Underlined correlation numbers indicate values of  $\pm 0.90$  or greater

Index	LPI	MPS	PD	ED	LSI	MSI	C%LAND	MCA	DMCA	DCAD	CAI	IJI
LPI	1.00											
MPS	0.61**	1.00										
PD	-0.50*	<u>-0.93**</u>	1.00									
ED	0.06	-0.16	0.36	1.00								
LSI	-0.23	-0.26	0.39	0.88**	1.00							
MSI	0.65**	0.62**	-0.59**	0.20	0.05	1.00						
C%LAND	0.62**	0.89**	-0.71**	0.00	-0.19	0.48*	1.00					
MCA	0.59**	0.81**	<u>-0.93**</u>	-0.17	-0.26	0.61**	<u>0.90**</u>	1.00				
DMCA	0.44*	0.85**	-0.78**	-0.43*	-0.51*	0.36	0.81**	0.86**	1.00			
DCAD	-0.16	-0.58**	0.67**	0.78**	0.76**	-0.13	-0.46*	-0.59**	-0.85**	1.00		
CAI	0.28	0.74**	-0.80**	-0.41*	-0.46	0.34	0.52**	0.73**	0.62**	-0.58**	1.00	
IJI	0.53	0.59	-0.36	0.06	-0.20	0.39	0.68**	0.57**	0.57**	-0.27	0.44*	1.00

\*\*Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). \* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

TABLE 5. Factor loadings of components by varimax rotate method

Index	Components		
	Factor I	Factor II	Factor III
● MSI	0.922	0.029	0.265
◆ CAI	0.894	-0.306	0.179
◆ DMCA	0.879	-0.310	0.186
■ ED	-0.144	0.956	0.142
● LSI	-0.140	0.890	-0.112
■ DCAD	-0.189	0.861	-0.334
□ IJI	0.089	-0.006	0.909
◆ C%LAND	0.505	-0.105	0.752
■ LPI	0.571	-0.204	0.594
■ PD	-0.415	0.483	-0.527
eigenvalue	3.260	2.924	2.304
cumulative%	32.6	29.3	23.0

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

## 2. 인자분석에 의한 산림 단편화지수

경관지수는 상호간에 밀접한 관련성이 존재할 수 있기 때문에, 표 4와 같이 Pearson의 상관분석을 실시하여 상관계수 0.9 이상( $p < 0.01$ )

이면 두 지수 중에서 하나만을 선택하여 인자분석에 적용하였다(Riitter 등, 1995; Herzog 등, 2001; Cifaldi 등, 2004). 이러한 과정을 토대로 최종 선정된 경관지수는 총 10개로서 표 5에 제시된 바와 같다.

인자분석을 적용하여 표 5에서 보는 바와 같이 3개의 공통인자가 추출되었다. 이 공통인자는 경관지수의 총분산량을 85% 정도 설명할 수 있다. Factor I은 고유치 3.260이고, 총분산량의 32.6%를 설명하며, 특히 MSI, CAI, DMCA를 중심으로 양(+)의 부하량이 높게 적재된 것으로 나타났다. Factor II는 ED, LSI, DCAD를 중심으로 양(+)의 부하량이 높게 적재되었고, 고유치는 2.924이고 총분산량의 29.3%를 설명하는 것으로 나타났다. Factor III은 고유치 2.304이고 총분산량의 23%를 설명하며, IJI와 C%LAND, LPI는 양(+), 그리고 PD는 음(-)의 부하량이 높게 적재된 것으로 나타났다(표 5).

그림 4(a~c)는 소유역별로 각 인자에 대한 변량을 측정하여 산출한 인자점수를 지도화한 것으로, 이를 토대로 산림경관의 구조적 패턴을 분석하였다. 패취형태와 핵심구역의 크기에 관련된 Factor I의 인자점수는 가창담유역(W14)을 비롯한 이연천유역(W19), 신령천유역(W05)등을



**FIGURE 4.** Spatial distributions of three factor scores and fragmentation index values for each subwatershed

**FIGURE 5.** Distribution patterns of fragmentation index values of each subwatershed

중심으로 높은 반면, 금호강 하류와 낙동강 본류 지역은 낮은 점수를 가지는 것으로 나타났다(그림 4a). 가장자리 및 핵심구역의 밀도를 반영하는 Factor II의 인자점수는 금호강02유역(W04)

과 이에 인접한 소유역들이 다른 지역에 비해 전반적으로 높게 나타났다(그림 4b). 마지막으로 FactorⅢ는 산림경관에 인접한 지역의 토지이용 유형(IJI)과 핵심구역의 면적률(C%LAND)과 가장 큰 면적의 산림경관이 소유역에서 차지하는 비율(LPI), 그리고 단위면적당 패취수(PD)를 종합적으로 반영하는 것이다. 인자점수의 공간적 분포패턴은 그림 4(c)에 보는 바와 같이, 금호강 하류에 분포하는 신천02유역(W14)과 그 주변지역을 중심으로 낮은 것으로 분석되었다.

산림경관의 크기, 형태, 공간배치 등을 종합적으로 고려하기 위해서, 전술한 3개 공통인자의 소유역별 인자점수를 합산하였으며, 이를 단편화지수(fragmentation index: FI)로 명명하였다. 단편화지수의 공간적 분포패턴은 그림 4(d)와 같고, 각 소유역별 지수값은 그림 5에 제시된 바와 같다. 분석결과에 따르면, 가창댐유역(W14)과 이연천유역(W19)에 분포하는 산림의 단편화 정도가 다른 소유역에 비해 낮은 것으로 나타났다. 아울러, 금호강 상류지역의 소유역(W03~W07)도 전반적으로 낮은 지수값을 가지는 것으로 나타났다. 이에 반해 금호강 하류

때, 대구시라는 거대도시가 위치하고 있는 금호강 하류의 도시적 성격의 소유역을 중심으로 산림의 단편화 정도가 높다고 할 수 있으나, 상수원보호구역을 비롯한 도시자연공원이 지정된 도시근교의 소유역, 그리고 금호강 상류지역은 전반적으로 단편화 정도가 낮다고 평가할 수 있다.

### 3. 유역환경특성과 산림단편화의 상호관계성

산림경관의 구조적 패턴은 지형, 토양, 식생 등의 자연적 요인과 도로건설, 택지개발 등의 인위적 압력요인에 의해서 영향을 받게 된다(정성관 등, 2002a; Tinker, 1998; Herzog, 2001; Cifaldi, 2004). 소유역별 토지이용강도와 지형조건이 산림단편화 및 구조적 패턴에 미치는 영향을 분석하기 위해서 표 6과 같이 Pearson 상관계수( $r$ )를 산출하였다.

분석결과를 살펴보면, 단편화지수와 도시지역 면적률은 상관계수  $r=0.827(p<0.01)$ 로 두 변수 사이에 양(+)의 상관도가 상당히 높게 나타났다. 이에 반해, 농업지역 면적률은 음

TABLE 6. Correlation between the spatial patterns of forest landscape and watershed environments

Variables	FI	Factor I	Factor II	Factor III
Urban(%)	0.827**	-0.247	-0.547**	-0.641**
Agriculture(%)	-0.229	-0.265	0.769**	-0.105
Elevation(m)	-0.637**	0.526**	-0.092	0.670**
Slope(%)	-0.593**	0.613**	-0.102	0.516**

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). \* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). FI means fragmentation index

이자 대구시와 경산시에 해당하는 소유역(W15, W16, W18)은 단편화 정도가 매우 심화된 것으로 나타났다. 또한, 금호강03 및 04유역(W08, W11), 그리고 진천천유역(W21) 등의 경우도 단편화 정도가 비교적 높은 것으로 나타났다. 금호강 유역의 전반적인 단편화 양상을 살펴볼

(-)의 방향성을 보이지만 유의한 상관관계는 존재하지 않은 것으로 나타났다. 지형조건인 평균고도( $r=-0.637$ )와 평균경사도( $r=-0.593$ )는 유의수준 1% 이내에서 단편화지수와 뚜렷한 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. Factor I의 인자점수와 유역환경인자와의 상

관관계를 살펴보면, 지형조건과 유의수준 1% 이내에서 상관계수  $r > 0.5$  이상으로 뚜렷한 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. Factor II는 도시지역의 면적률과는 음(-)의 방향성( $r = -0.547$ ,  $p < 0.01$ )을 가지는 반면, 농업지역과는 강한 양(+)의 상관도( $r = 0.769$ ,  $p < 0.01$ )를 가지는 것으로 나타났다. Factor III는 도시지역 면적률( $r = -0.641$ ,  $p < 0.01$ ), 평균고도 및 평균경사도( $r = 0.670$ ,  $r = 0.516$ ,  $p < 0.01$ )와 유의수준 1% 이내에서 뚜렷한 양(+)의 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 한편, 단편화지수와 유의한 상관관계를 가지는 도시지역 면적률, 평균고도 및 경사도에 대해서는 상호간의 인과성을 평가하기 위해서, 그림 6과 같이 산포도 작성 및 단순회귀분석을 실시하였다. 단편화지수는 종속변수, 그리고 도시지역 면적률(%), 농업지역 면적률(%), 평균고도, 평균경사도는 독립변수로 설정하였다. 분석결과에 따르면, 도시지역 면적률이 증가할수록 단편화지수가 높아짐을 알 수 있었으며, 단편화지수의 총분산량을 68.5%( $R^2 = 0.685$ ) 정도 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 지형조건은 산포도에서 보는 바와 같이, 도시지역 면적률과 상반된 인과성, 즉 소유역에 분포하는 산림의 고도가 높고, 경사가 급할수록 단편화 정도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 지형적인 조건으로 인해 유역내의 개발사업이 제한됨을 의미한다고 하겠다.

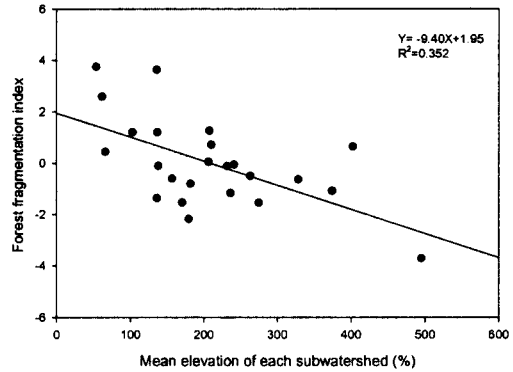
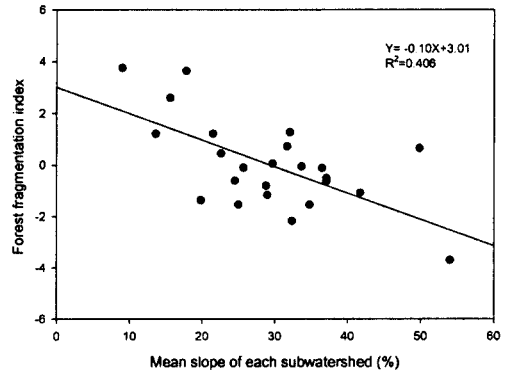
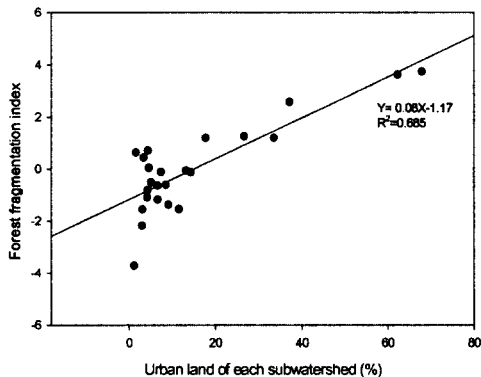


FIGURE 6. Scatter plots and linear regression analysis of fragmentation index and watershed environments

## 결론

최근의 유역관리정책은 물환경을 비롯한 자연생태계의 건전성을 회복하기 위한 통합적 해결방안으로 추진되고 있다. 본 연구는 금호강 유역을 대상으로 산림경관의 구조적 패턴과 단편화 정도를 정량적으로 분석함으로써, 유역생태계의 건전성 평가 및 관리계획수립을 위한 유용한 정보를 제공하고자 하였다. 분석결과를 요약하면, 패취 및 핵심구역의 크기에 관련된 경관지수(LPI, MPS, C%LAND, MCA, DMCA CAI)는 가창댐유역을 비롯한 신천01, 그리고 금호강 상류유역을 중심으로 높은 값을 가지는 것

으로 나타났다. 이에 반해 금호강 하류에 분포하는 소유역은 패취 및 핵심구역의 크기는 작고, 그 밀도(PD, DCAD)는 높은 것으로 평가되었다. 또한, 도시지역 등의 인공적 환경이 우세한 소유역에 분포하는 산림은 자연성과 구조적 안정성이 높은 소유역의 산림에 비해 패취형태(MSI)가 보다 단조롭고 산림주변의 토지유형(IJI)이 비교적 단조로운 상태를 유지하는 것으로 나타났다.

소유역별 경관지수는 인자분석을 통해 3개의 공통인자로 축소할 수 있었으며, 이들은 전체 경관지수의 총분산량을 85% 정도 설명하였다. 각 인자의 소유역별 인자점수는 합산과정을 통해 단편화지수를 산출함으로써, 금호강 유역에 분포하는 산림경관의 구조적 패턴을 종합적으로 해석할 수 있었다. 가창댐유역의 산림이 구조적으로 가장 안정된 상태를 유지하고 있었으며 그 외의 이연천유역과 금호강 상류지역도 전반적으로 단편화정도가 낮은 것으로 나타났다. 반면에, 금호강 하류의 대구시와 경산시에 분포하는 소유역은 단편화 정도가 매우 심화된 것으로 나타났다. 이러한 산림의 단편화 정도는 유역의 도시화 정도와 상호 관련성( $r=0.827$ ,  $p<0.01$ )이 매우 높은 것으로 나타났으며, 회귀분석에 의해서도 도시지역 면적률이 단편화지수의 분산을 68.5% 정도 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 반면 산림의 고도가 높고, 경사가 급할수록 개발사업의 제한성으로 인해 단편화 정도는 낮은 것으로 나타났다.

이상과 같은 금호강 유역 산림의 경관생태적 패턴을 분석한 결과는 각종 개발사업에 따른 산림 단편화를 사전에 예방하거나, 단편화된 산림의 생태적 기능을 회복하기 위한 네트워크의 구축을 위한 기초자료로서 활용가능할 것으로 판단된다. 아울러, 산림 단편화 등의 구조적 변화가 생물종 다양성 등 생태계에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구가 이루어져야 할 것이며, 이와 함께 지속적인 모니터링을 통한 산림경관의 시간적·공간적 변화패턴을 파악하고

이것이 유역환경에 미치는 영향 또는 상호관계에 대한 종합적인 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 한국과학재단의 2003년도 후반기 해외 Post-doc. 연수지원에 의해 얻은 결과의 일부로서 이에 감사드립니다. **KASIS**

## 참고문헌

- 김귀곤, 최준영, 손삼기. 2000. 단편화된 서식처의 연결을 위한 야생동물 이동통로의 조성. 한국조경학회지 28(1):70-82.
- 김기대, 길지현, 최병진, 서민환, 고강석, 최덕일. 1998. 환경영향평가서에 나타난 생태계 단편화 현황과 생태통로 조성실태. 환경영향평가 7(2):15-27.
- 대구지방환경청. 2000. 금호강의 어제와 오늘 그리고 미래.
- 박종화, 명수정, 박영임. 1995. GIS 및 원격탐사 기법을 이용한 북한산 국립공원 주변부의 추이대 탐지. 한국GIS학회지 3(2):91-102.
- 이도원. 2001. 경관생태학-환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리. 서울대학교 출판부.
- 이희연. 1995. 지리통계학 -지리자료분석기법-. 법문사.
- 정성관, 박경훈, 오정학. 2002a. 낙동강 유역의 선형개발사업이 산림 단편화에 미치는 영향. 환경영향평가 11(3):111-127.
- 정성관, 오정학, 박경훈. 2002b. 토지이용변화에 따른 경산시의 경관구조 분석. 한국지리정보학회지 5(3):9-18.
- 정성관, 오정학, 박경훈. 2003. 도시경관계획수립을 위한 경관과편화에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(3):11-20.
- 정종철. 1999. 식생지수에 의한 경관과편화의 해석 기법. 한국지리정보학회지 2(3):16-22.

- 황국웅, 박소윤. 2003. 지속가능한 토지이용을 위한 경관규모 생태계평가기법 연구. 한국지리정보학회지 6(1):78-84.
- Baker, W.L. and Cai, Y. 1992. The role programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. *Landscape Ecology* 7:291-302.
- Cifaldi, R., Allan, J.D., Duh, J.D. and Brown, D.G. 2004. Spatial patterns in land cover of exurbanizing watersheds in southeastern Michigan. *Landscape and Urban Planning* 66(2):107-123.
- Forman, R.T.T. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Griffith, J.A., Martinko, E.A. and Price, K.P. 2000. Landscape structure analysis of Kansas at three scales. *Landscape Urban and Planning* 52:45-61.
- Gustafson, E.J. 1992. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. *Landscape Ecology* 7(2):101-110.
- Herzog, F., Lausch, A., Müller, E., Thulke, H.E., Steinhardt, U. and Lehmann, S. 2001. Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation. *Environmental Management* 27(1):91-107.
- Hunsaker, Devine, D.A., Timmins, S.P., Jackson, B.L. and O'Neill, R.V. 1992. Landscape characterization for assessing regional water quality. In *Ecological Indicator*, McKenzie, D.H., Hyatt, D.E. and McDonald, V.J. (eds). Elsevier Applied Science, New York, pp.997-1006.
- Jones, K.B., Neale, A.C., Nash, M.S., Van Remortel, R.C., Wickham, J.D., Riitters, K.H. and O'Neill, R.V. 2001. Predicting nutrient and sediment loadings to streams from landscape metrics: A multiple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region. *Landscape Ecology* 16:301-312.
- McGarigal, K. and Marks, B. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-351. Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.
- Riitters, K.H., O'Neill, R.V., Hunsaker, C.T., Wickam, J.D., Yankee, D.H., Timmins, S.P., Jones, K.B. and Jackson, B.L. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* 10:23-29.
- Tinker, D.B., Resor, C.A.C., Beauvais, G.P., Kipfmüller, K.F., Fernandes, C.I. and Baker, W.L. 1998. Watershed analysis of forest fragmentation by clearcuts and roads in a Wyoming forest. *Landscape Ecology* 13:149-165.
- Turner, M.G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematic* 20:171-197. **KAGIS**