

경관지수를 활용한 낙동강 유역 산림경관의 시계열적 패턴 분석

정성관¹ · 오정학^{2*} · 박경훈³

A Temporal Structure Analysis of Forest Landscape Patterns using Landscape Indices in the Nakdong River Basin

Sung-Gwan JUNG¹ · Jeong-Hak OH^{2*} · Kyung-Hun PARK³

요 약

파편화와 같은 인위적 교란은 산림생태계의 지속성에 영향을 미치므로, 산림의 양적인 분포뿐만 아니라 구조적인 패턴을 분석하는 것은 산림생태계를 관리하는 기본적인 과정이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 산림생태계의 건전성 평가 및 관리계획 수립을 위한 기초정보를 제공하기 위해 경관지수와 GIS 기법을 활용하여 낙동강 유역에 분포하는 산림구조를 정량적으로 분석하였다.

분석에 필요한 공간정보는 환경부에서 발행한 토지피복분류도를 이용하여 구축하였으며, 경관지수 상호간 정보의 중복을 배제하기 위하여 Pearson 상관분석을 통해 6개의 지수(LPI, PD, ED, MSI, CPLAND, IJI)를 선정하였다. 경관지수를 이용한 산림경관의 구조적 패턴을 분석한 결과, 낙동강 본류에 분포하는 유역들에서 파편화 정도가 다른 유역에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 특히 낙동상주 유역과 낙동밀양 유역은 산림의 양적인 측면뿐만 아니라 구조적으로도 불안정한 상황을 보이는 것으로 나타났는데, 이들 유역에 대해서는 지역의 환경조건에 부합하는 산림복원 등의 생태적 관리를 위해 현장검증 및 영향인자에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주요어: 파편화, 경관지수, 유역관리, 낙동강

ABSTRACT

An artificial disturbance like forest fragmentation has affected the sustainability of forest ecosystem. Therefore, in order to manage the forest ecosystem efficiently needed to analyze quantity and quality(structural pattern) of forest simultaneously. This study analyzed the structural patterns of forest landscape to provide a basic data for evaluation and management of forest ecosystem in Nakdong

2005년 4월 30일 접수 Received on April 30, 2005 / 2005년 6월 23일 심사완료 Accepted on June 23, 2005

1 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

2 국립산림과학원 산림생태과 Div. of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute

3 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environment Engineering, Changwon National University

*연락처 E-mail: ojhg822@hanmail.net

River Basin during 10 years from 1980s to 1990s using landscape indices and GIS methods.

Forest distribution maps and 6 landscape indices(LPI, PD, ED, MSI, CPLAND, IJI) for the analysis were reconstructed from land-cover maps constructed by Ministry of Environment and pearson correlation analysis. According to the structural analysis of forest landscape using landscape indices, the forest fragmentation of watersheds along the main stream of the Nakdong river was more severe than any other watersheds. Futhermore, the Nakong-sangju and Nakdong-miryang watersheds had unstable forest structures as well as least amount of forest quantity. Thus, these watersheds need significant amount of forest through a new forest management policy considering local environmental conditions. The connectivity between forests in local regions should be considered as well.

KEYWORDS: *Forest Fragmentation, Landscape Indices, Watershed Management, Nakdong River*

서 론

생태계의 형태, 생태지역 및 서식처와 같은 의미를 가지는 산림은 생태적 공간에서 인간에게 공기를 제공하고 정화해 주며, 다양한 생물 분류군을 보유하는 생태계로써(Lindenmayer, 1999; Louw와 Scholes, 2002), 재화와 용역을 지속적으로 생산할 수 있는 중요한 자연자원이자 인류의 생존을 위해 영구적으로 보전되어야 할 삶의 터전이라고 할 수 있다(양희문과 김지홍, 2002).

이와 같이 생태적 및 환경적으로 매우 가치 있는 자연자원인 산림을 보전하고 관리하는 것은 지역 생태계의 건전성을 유지시키는데 있어 기본적인 과정이라 할 수 있지만, 최근 인간을 중심으로 한 시각에서 행해진 산림지역내 도로 건설, 택지개발 등과 같은 인위적 교란요인 및 산불 등은 파편화(fragmentation)와 같은 산림의 구조적 변화를 야기시키고 있다(박인환과 장갑수, 2002).

이러한 파편화는 산림 외부에서 유입되는 바람과 빛의 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 서식지의 질 및 종 다양성과 같은 생태적 과정 또는 기능과 상당히 밀접한 관련이 있는 구조적 패턴을 분석하는 것은 산림생태계를 파악하는데 있어 중요한 인자라 할 수 있다(Turner, 1989; 오정학, 2004).

산림경관의 구조적 패턴은 패치(patch)를 하나의 기하학적 도형으로 간주하여 둘레와 면적의 비율, 크기, 분포, 주변 패치와의 상호 연계성 등을 섬생물지리학(island biogeography)을 배경으로 공식화한 경관지수(landscape indices)에 의해 정량화될 수 있다(국토연구원, 2004). 경관지수는 일정 공간 규모내에서 경관요소들에 대한 구조적 패턴 및 변화양상을 규명하는데 있어 수치화된 값을 사용할 수 있다는 용이성으로 많은 연구에서 활용되고 있다(Tischendorf, 2001).

O'Neill 등(1988)은 정보 이론과 프랙탈 이론을 바탕으로 한 경관지수를 통해 미국 동부 지역에서의 경관패턴을 정량적으로 분석하였으며, Hargis 등(1998)은 경관요소들의 공간적 변화와 생태학적 특성을 분석하기 위해 경관지수를 사용하였고, Griffith(2002)는 유역내에 분포

하는 토지이용 패턴과 수질과의 관련성을 분석하기 위하여 경관지수와 위성영상을 통해 분석하였다.

국내에서도 정종철(1999)은 Landsat TM 영상의 정규식생지수(NDVI)와 경관지수를 활용하여 경관의 파편화현상을 분석하였으며, 손학기 등(2000)은 용인시를 대상으로 공간유형 분석기법을 활용하여 경관규모의 생태계를 평가하였다. 또한, 정성관 등(2003)은 경관생태학적 도시경관계획 수립의 기초자료를 제공하기 위해 산림경관 변화의 파편화 정도를 다양한 지수를 적용하여 평가하였으며, 이민부 등(2003)은 비접근지역인 북한내의 만포와 강계지역을 대상으로 경지확대에 따른 산림경관의 변화를 위성영상을 통해 분석하였다.

이와 같이 경관지수를 이용하여 생태계의 교란을 일으키는 인간의 간섭 및 토지이용 변화 등에 따른 산림경관의 파편화 현상과 그 결과로 나타나는 산림의 구조적 변화에 대한 다양한 분석들이 이루어지고 있다. 그러나, 오늘날 발생하는 산림 및 생태계의 변화는 일정지역에서의 문제뿐만 아니라 넓은 지역에 걸쳐 광범위하게 발생함에도 불구하고, 지금까지의 연구는 주제도 작성 및 분석에 있어 시·공간적 제약으로 인해 광역적인 지역에서의 적용은 미흡한 실정이라 사료된다.

이에 본 연구에서는 다양한 경관요소가 내재되어 있는 낙동강 유역의 산림을 대상으로 경관생태학적 측면에서 시계열적인 산림경관의 구조적 패턴 변화를 경관지수와 GIS를 이용하여 정량적으로 분석하고자 하였다. 분석된 결과는 향후 다양한 공간적 범위내에서 발생할 수 있는 산림의 파편화를 사전에 예방하거나 생물서식지 제공, 자연적 자정작용 등과 같은 산림의 생태적 기능을 회복하기 위한 경관·녹지 네트워크 구축 등의 생태계 복원계획을 수립하는데 있어 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

연구의 범위 및 방법

1. 대상지 개요

본 연구의 공간적 범위인 낙동강 유역은 그림 1에서 보는 바와 같이, 수자원공사에서 작성한 수자원단위지도를 기준으로 낙동강 본류를 포함한 총 22개 중권역 및 191개의 표준유역으로 구성되어 있다.

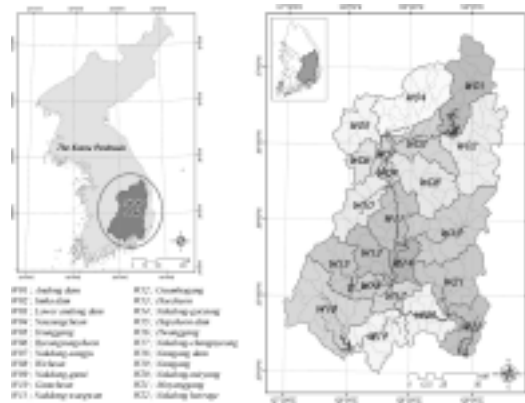


FIGURE 1. Geographic location of the study area

낙동강 유역은 총 면적이 약 23,700km²로 국토 전체 면적의 약 24%를 차지하고 있으며, 대구광역시, 부산광역시 및 울산광역시의 3개 광역시와 강원도, 경상남·북도, 전라남·북도 등의 5개 도 19개 시와 22개 군에 걸쳐 있다. 낙동강 유역을 구성하고 있는 22개 중권역별 면적 및 토지피복 현황은 표 1과 같은데, 낙동강의 주요 지천 중 행정구역상 전라북도와 경상남도의 9개 시·군에 걸쳐 있는 남강댐 유역의 하천연장 및 유역면적(2,293.4km², 9.7%)이 가장 넓으며, 다음으로 가장 많은 표준유역으로 구성되어 있는 금호강 유역(W12)이 2,092.4km²(8.8%)의 면적을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 반면, 낙동구미 유역(W09)은 179.2km²(0.8%)로 가장 적은 유역면적 및 표준유역(2개)으로 구성된 것으로 나타났다.

TABLE 1. Landcover patterns of the study area

ID	Watershed name	Area(km ²)	No. of sub-watershed	Landcover types(%)					
				Forest		Agriculture		Urban	
				1980s	1990s	1980s	1990s	1980s	1990s
W01	Andong dam	1,628.7	12	84.0	81.6	11.1	12.4	0.5	1.5
W02	Imha dam	1,975.8	15	85.2	79.6	10.5	15.1	0.9	1.6
W03	Lower andong dam	980.4	8	68.8	66.0	24.6	25.7	1.3	3.5
W04	Naesungcheon	1,816.1	16	70.2	62.6	24.9	30.5	0.6	3.4
W05	Yeunggang	914.4	7	82.0	75.6	14.3	18.3	1.0	2.9
W06	Byeongsungcheon	433.1	3	64.7	57.9	30.5	34.6	0.9	4.3
W07	Nakdong-sangju	224.1	3	55.8	51.1	35.3	37.9	0.3	3.4
W08	Wicheon	1,406.0	10	70.0	68.2	24.0	25.4	1.1	2.7
W09	Nakdong-gumi	179.2	2	65.5	61.2	24.9	26.6	0.3	2.6
W10	Gamcheon	1,005.3	7	75.1	64.5	20.0	28.3	0.8	3.7
W11	Nakdong-waegon	1,106.2	8	62.9	57.3	27.5	27.9	2.3	7.4
W12	Geumhogang	2,092.4	19	69.0	63.5	20.1	21.8	5.5	8.5
W13	Hoecheon	781.7	7	80.9	74.9	14.8	18.6	0.7	2.6
W14	Nakdong-goryung	548.0	7	57.9	53.1	27.4	26.0	6.7	11.9
W15	Hapcheon dam	928.9	8	80.4	70.9	14.3	22.3	0.6	2.6
W16	Hwanggang	387.2	4	70.9	67.3	21.7	23.5	0.6	3.0
W17	Nakdong-changnyeong	473.3	5	67.3	59.8	24.5	29.6	1.0	3.4
W18	Namgang dam	2,293.4	14	80.5	73.5	15.2	19.8	0.5	2.4
W19	Namgang	1,185.1	10	66.3	58.1	26.8	31.1	1.4	5.5
W20	Nakdong-miryang	1,004.7	9	59.2	48.3	32.0	37.8	1.3	6.2
W21	Miryanggang	1,422.3	9	77.4	71.2	17.1	21.3	1.2	3.0
W22	Nakdong barrage	915.8	8	62.7	55.7	24.5	22.6	4.2	11.0
Total		23,702.1	191	73.2	67.0	20.2	23.6	1.6	4.3

2. 연구방법

낙동강 유역을 대상으로 한 산림경관의 구조적 패턴 변화를 파악하기 위해 본 연구에서는 환경부에서 발행한 1980년대(1987~1989년 위성영상)와 1990년대(1997~1999년 위성영상)의 토지피복분류도를 이용하여 분석하였다. 시기별 토지피복분류도에서 산림을 제외한 나머지 토지피복항목(시가지, 경작지, 나지, 수역)은 경관지수의 계산에서 적용되지 않으므로, 산림지역은 '1'의 값을, 그리고 비(非)산림지역은 '0'의 값을 부여한 후, 분석과정에서 '0'값을 가지는 부분은 제외되도록 설정하여 시계열별 산림분포도를 작성하였다.



FIGURE 2. The analysis process of this study

이상의 과정을 통해 생성된 산림분포도를 22개 중권역으로 분리한 후, 경관분석용 소프트웨어인 FRAGSTATS Ver. 3.3을 이용하여 경관지수를 계산하였다. 물론, 경관지수만으로 시계열적인 산림의 구조적 패턴을 분석할 수는 있

TABLE 2. Landscape indices used in the analysis

Index*	Description	Unit	
Area/ density/ edge	LPI	Largest patch index	%
	MPS	Mean patch size	m/ha
	PD	Patch density	number/100ha
	ED	Edge density	m/ha
Patch shape	LSI	Landscape shape index	-
	MSI	Mean shape index	-
Core area	CPLAN D	Core area percent of landscape	%
	MCA	Mean core area	ha
	DMCA	Disjunct mean core area	ha
	MCAI	Mean core area index	%
	DCAD	Disjunct core area density	number/100ha
Configuration	IJI	Interspersion and Juxtaposition Index	%

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

지만, 변화요인에 대한 부연적인 설명을 위하여 시기별 토지피복분류도를 중첩·분석하여 change detection map을 작성하였다. 경관지수는 평가목적에 따라 그 종류가 다양한데, 본 연구에서는 국내·외 관련문헌을 참고로 분석에 필요한 경관지수를 선정하여 분석하였다(표 2).

결과 및 고찰

1. 경관지수 산출

앞에서 언급한 바와 같이, 경관지수는 공간의 이질성 또는 경관요소의 구조적 패턴을 정량화하는데 효과적으로 적용될 수 있지만, 이들 상호간에는 서로 밀접한 관련성이 존재하기 때문에 분석결과를 해석하는 데에는 어려움이 있다. 이에 많은 연구자들은 소수의 핵심적인 지수를 선정하거나 다변량통계기법 등을 활용하여 최적으로 그룹화된 소수의 공통인자를 산출하는

방법론을 활용하고 있다(Ritters 등, 1995; Tinker 등, 1998; Cafaldi 등, 2004).

본 연구에서도 낙동강 유역에서의 산림경관 변화를 효과적으로 대변하고, 계량화할 수 있는 인자를 찾아내기 위하여 표 2에서 제시된 경관지수에 대하여 통계프로그램인 SPSS 12.0을 이용하여 상관분석을 실시하였다.

유역별로 산출된 경관지수들 간의 상호관계성을 파악하기 위해서 Pearson의 상관분석을 수행한 결과를 살펴보면 표 3과 같은데, 유의수준 5% 이내에서 상관도가 높은 지수들이 있음을 알 수 있었다. 예를 들면, 평균 패치 크기(MPS)는 핵심구역 면적(MCA)과 유의수준 1% 이내에서 상관계수 $r=0.99$ 로 나타났으며, MPS는 패치밀도(PD)의 상관성($|r|=0.87, p<0.01$)도 매우 높은 것으로 나타났다. 또한, 가장자리 밀도(ED)는 분리된 핵심구역 밀도(DCAD)와의 상관성($r=0.89, p<0.01$)이 높은 것으로 나타났는데, 이와 같이 경관지수들간의 상관관계를 검토한

TABLE 3. Pearson correlation matrix of landscape indices

	LPI	MPS	PD	ED	LSI	MSI	CPLAND	MCA	DMCA	MCAI	DCAD	IJI
LPI	1.00											
MPS	0.73**	1.00										
PD	-0.55**	-0.87**	1.00									
ED	-0.25	-0.38	0.66**	1.00								
LSI	-0.09	-0.18	0.46*	0.73*	1.00							
MSI	-0.50*	-0.41	0.47*	0.65**	0.29	1.00						
CPLAND	0.75**	0.85**	-0.73**	-0.29	-0.02	-0.49*	1.00					
MCA	-0.74*	0.99**	-0.88**	-0.41	-0.20	-0.46*	0.86**	1.00				
DMCA	0.69**	0.78**	-0.79**	-0.66**	-0.34	-0.80**	0.73	0.81**	1.00			
MCAI	-0.54**	-0.49*	0.31	0.06	-0.29	0.62**	-0.65**	-0.51*	-0.56**	1.00		
DCAD	-0.32	-0.55**	0.81**	0.89**	0.67**	0.72**	-0.45*	-0.57**	-0.76**	0.25	1.00	
IJI	-0.09	0.22	-0.41	-0.65**	-0.23	-0.35	0.15	0.24	0.45*	-0.17	-0.57**	1.00

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

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

후, 상관도가 매우 높은 경우에는 정보의 중복을 고려하여 하나의 변수만을 선정하여 분석하였다.

2. 유역별 산림경관의 구조적 패턴 분석

1) 최대 패치지수(LPI)

최대 패치지수는 유역에 분포하는 산림패치들 중에서 가장 큰 패치가 차지하는 비율을 나타내는 지수로서, 우점도 정도를 판단할 수 있다. 산림패치가 단일조각인 경우 100의 값을 가지며, 최대 패치의 크기가 감소할수록 0의 값에 근접하게 되는데, 유역별 분석결과는 그림 3에 제시된 바와 같다. 분석결과를 살펴보면, 임하댐 유역(W02)이 70% 이상으로 가장 높았으며, 영강 유역(W05)에서도 60% 이상으로 나타났다. 반면, 농업적 토지이용패턴이 상대적으로 활발한 남강(W19), 낙동상주(W07), 낙동왜관 유역(W11)은 최대크기의 패치가 차지하는 비율이 전체면적의 9~15%로 낮게 나타났는데, 이들 유역에서는 큰 산림 주변부에서 나타난 산림의 파편화로 작은 산림패치들이 농업지역으로 흡수되었을 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

시계열적으로 살펴보면, 영강 유역(W05)에서의 LPI 변화가 39%로 가장 많이 감소한 것으로 나타났으며, 낙동강 하류 지역에 위치하는 남강댐(W18), 합천댐(W15), 회천 유역(W13)도 30% 이상 감소한 것으로 나타났다. 이들 유역의 산림면적율은 70% 이상으로 높은 것과 비교하였을 때, 산림패치의 단편화된 구조적 패턴에 따른 결과라 판단되며, 다른 유역들에 비해 산림지역에서의 개발행위가 상대적으로 빈번하였음을 간접적으로 시사한다고 할 수 있다.

최대 패치지수는 한정된 공간범위에 분포하는 산림의 면적이 동일하더라도 하나의 큰 패치로 존재하느냐, 아니면 여러 개의 쪼개진 보다 작은 패치들로 구성되어 있는가를 정량적으로 나타낸 것으로서, 지수값이 높을수록 그만큼 안정된 산림구조를 가진다고 할 수 있다. 따라서, 도로건설 등과 같이 산림단편화에 직접적인 영향을 주는 선형적인 개발행위를 실시함에 있어 최대 패치크기와 같이 산림의 구조적 패턴에 미치는 영향도 함께 고려해야 할 것으로 사료된다.

2) 패치밀도(PD)

패치밀도는 단위면적당(100ha) 패치 수를 의미하는 것으로, 서로 다른 유역의 산림면적이 동일하더라도 그 수에 따라 밀도가 달라지기 때문에, 패치의 연결성 또는 쪼개짐 정도를 측정할 수 있는 지표라고 할 수 있다. 물론, 패치밀도만으로 산림경관의 구조적 안정성 또는 생태적 건전성 등을 평가하는 것은 불가능하지만, 100ha 당 산림 패치의 수를 기준으로 볼 때, 그 값이 높을수록 구조적으로는 불안정한 상태에 가깝다고 할 수 있다.

분석결과를 살펴보면(그림 4), 패치밀도가 0.5 이하로 나타난 유역은 임하댐(W02), 황강(W16), 안동댐(W01), 밀양강 유역(W21) 등으로 나타났다. 패치밀도가 상대적으로 높게 나타난 유역들은 낙동강 중류에 해당하는 내성천(W04)과 낙동상주 유역(W07)으로 나타났다.

시계열적으로 살펴보면, 대부분의 유역에서 1980년대보다 패치밀도가 감소한 것으로 나타났으며, 특히 내성천(W04)과 남강댐 유역(W18)에서의 감소율이 높은 것으로 분석되었는데, 산림지역에서의 패치밀도의 변화는 크게 2가지 원인에 기인하게 된다. 첫 번째는 인위적인 개발로 인해 산림이 파편화되는 것이고, 두 번째는 새로운 패치의 도입으로 인해 산림이 재복원되는 것이다. 일반적으로 PD의 감소는 산림생태계의 건전성이 증가한 것으로 판단할 수 있지만, LPI 및 유역내의 산림면적율의 감소에도 불구하고 PD가 감소한 것으로 미루어 볼 때, 산림지역에서의 파편화 현상이 주된 원인인 것으로 판단된다. 즉, 개발로 인한 훼손으로 산림의 건전성이 감소되고 있음을 알 수 있으며, 개발이 가능한 저지대에 작은 패치형태로 존재하는 산림조각이 농경지나 도시지역으로 전용된 것으로 판단되어 진다.

또한, 패치밀도가 높다는 것은 산림의 연결성이 상대적으로 낮다는 것을 의미하는 것으로, 도로 건설 등과 같은 인위적인 개발에 의해 단절된 패치가 증가할수록 그 밀도가 증가하게 된

다. 따라서, 산림의 패치밀도가 높은 지역의 경우에는 현장조사를 기초로 하여 단절된 패치가 연결이 가능한 지역의 경우에는 녹지대 조성 등의 녹지네트워크 구축을 통해 연결성을 증가시킬 필요성이 있다고 사료된다.

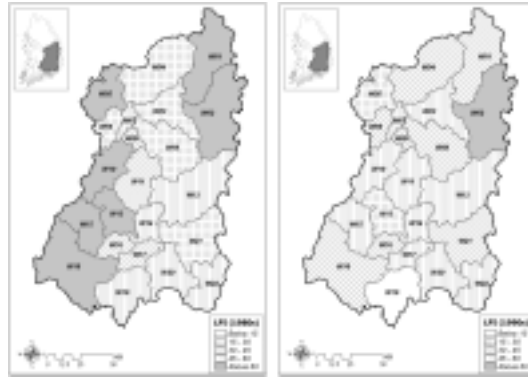


FIGURE 3. Largest patch index

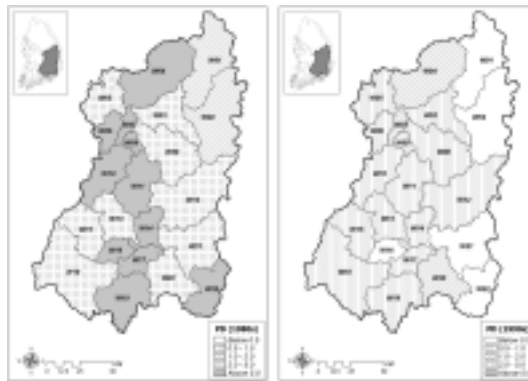


FIGURE 4. Patch density

3) 가장자리 밀도(ED)

가장자리 밀도는 단위면적 내에 포함된 산림 패치의 둘레길이를 나타내는 값으로 패치의 모양에 많은 영향을 받는 지수이다. 즉, 산림패치의 면적이 동일하더라도 가장자리의 굴곡이 많으면 둘레길이가 증가하기 때문에 가장자리 밀도는 증가하게 되며, 일반적으로 경관 형태지수(LSI)와 동일하게 사용되어진다. 대상지역의 산림패치에 대한 가장자리 밀도를 분석한 결과는

그림 5에서 보는 바와 같이, 다른 유역들보다 상대적으로 도시적 토지이용이 활발한 유역들에서 가장자리 밀도가 낮은 것으로 분석되었으며, 산림면적율이 높은 유역에서는 상대적으로 높은 가장자리 밀도를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 도시지역의 확장과 개간행위가 산림과 인접한 저지대를 중심으로 이루어졌다는 것을 간접적으로 알 수 있다.

시계열적으로 가장자리 밀도의 변화량을 살펴보면, 낙동강 유역 전체가 감소한 것으로 나타났다. 특히 병성천(W06)과 황강 유역(W16)에서의 감소폭이 큰 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 시계열적인 토지피복변화와 비교해서 살펴보면, 산림주변에서 개발이나 농경지의 경지정리 등의 개간행위로 인해 큰 산림패치 주변을 중심으로 한 파편화 현상이 증가하고, 산림의 면적 감소와 작은 패치들의 소멸로 인하여 산림패치 모양이 단순해진 것으로 파악할 수 있다.

일반적으로 가장자리 모양이 단순화되면 내부종이 줄어들고, 가장자리 종인 덩굴식물이 늘어나는 등 생태계 종다양성 측면에서 바람직하지 못한 결과를 발생시킬 수도 있다(이도원, 2001). 따라서 이러한 유역에 대해서는 가장자리 면적을 단순화시키는 산림패치의 분할요인에 의한 서식처 파편의 크기와 이격 양상에 대한 검토가 이루어져야 할 것이다.

4) 평균 형태지수(MSI)

평균 형태지수는 입력자료의 형태에 따라 적용기준이 달라지는데, 벡터(vector) 자료인 경우에는 원을 기준으로 하며, 래스터(raster) 자료인 경우에는 패치면적과 동일한 크기의 정사각형을 기준으로 얼마만큼 변형되었는가를 측정하는 지수이다. 만약 산림패치가 완전한 사각형의 형태를 가지는 경우에는 형태지수의 값이 1을 가지게 되며, 지수값이 증가할수록 패치의 형태가 좀 더 복잡해짐을 의미한다.

분석결과를 그림 6에서 살펴보면, 안동댐 하류 유역(W03)의 형태지수값이 1.8로 가장 높았

으며, 낙동창녕(W17), 내성천(W04), 임하댐 유역(W01)에서도 비교적 높게 나타났다. 반면, 형태지수값이 낮게 나타나고 있는 유역은 임하댐(W01), 밀양강(W21), 합천댐 유역(W15) 등으로 나타났는데, 유역별로 평균값의 차이는 크게 나타나지 않았다.

시계열적으로 살펴보면, 전체 유역에서의 평균 형태지수의 값이 증가하여 패치의 형태가 다소 복잡하게 변화했지만, 그 차이는 0.6을 벗어나지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 앞에서 언급한 PD의 변화량과 비교해 보면, 산림주변에서의 개발행위가 택지개발과 같은 대규모의 공사보다는 도로 건설과 같은 선형적인 개발위주로 이루어졌으며, 농경지 및 도시지역의 확장이 주변의 산림지역을 점진적으로 잠식해 나가면서 생긴 결과라고 사료된다.

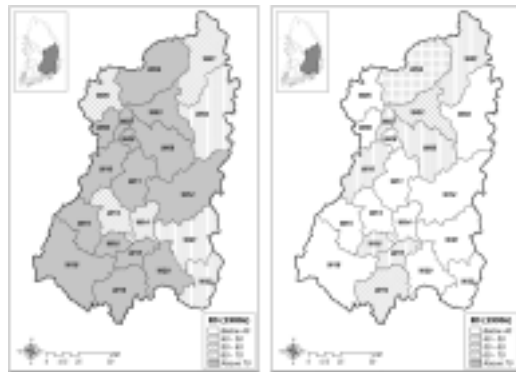


FIGURE 5. Edge density

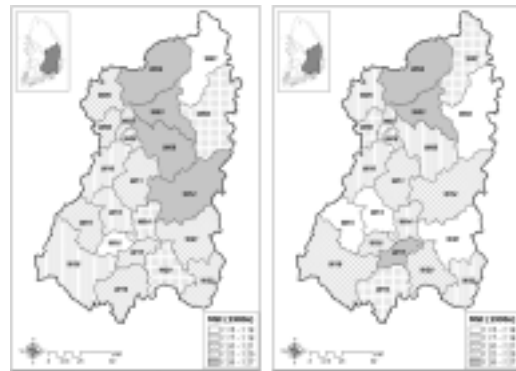


FIGURE 6. Mean shape index

5) 핵심구역 면적율(CPLAND)

패치의 가장자리와 완충지역을 제외한 내부지역을 지칭하는 핵심구역은 산림패치의 구성과 형태를 동시에 반영하여 자연성을 결정하는 지수로써, 패치의 크기와 모양에 많은 영향을 받는다.

핵심구역 면적율의 시계열적 변화를 살펴보면 그림 7에서 보는 바와 같이, 감천(W10)과 낙동밀양 유역(W20)에서는 5% 이상 감소한 것으로 나타난 반면, 황강(W16)과 위천 유역(W08)은 반대로 4% 이상 증가한 것으로 나타났다.

핵심구역 면적율을 유역별로 살펴보면, 핵심구역 면적율이 낮은 유역은 낙동상주(W07), 낙동밀양 유역(W20)으로 40%를 넘지 않는 것으로 나타났다. 반면, 안동댐(W01), 임하댐(W02), 영강(W05), 회천(W13), 남강댐(W18) 및 밀양강 유역(W21)은 60% 이상의 높은 면적율을 가지는 것으로 나타났다. 일반적으로, 생물종의 보호에 있어 내부종과 고유종의 보호는 중요한 인자로 인식되는데(이도원, 2001), 산림패치 중에서 핵심구역의 면적이 큰 조각은 내부종이나 고유종이 다른 패치에 비해 상대적으로 많다고 할 수 있다.

그러나, 도로는 가장자리 효과에 의한 생물서식처를 파편화하는 결정적 요소 가운데 하나로, Primack(1998)은 산림내부를 가로지르는 도로 건설은 약 54%의 서식처 면적의 감소를 발생시키게 된다고 하였다(김종원, 2004). 따라서, 이들 유역에 대해서는 향후 내부를 가로지르며 행해지는 개발행위에 대해 계획단계에서부터 생태학적 생물서식처로서의 파편화에 대한 영향을 분석하여야 할 것이다.

6) 산재도 및 접촉도지수(IJI)

산림패치 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.

유역별 분석결과를 그림 8에서 살펴보면, 안동댐 유역(W01)이 29.1%로 가장 낮은 값을 가

지고 있었으며, 다음으로 낙동왜관(W11), 병성천 유역(W06)의 순으로 나타났다. 이는 산림에 인접한 지역의 토지이용패턴의 다양성이 낮다는 것을 의미하는데, 다른 유역에 비해서 산림지역 주변에서의 개발행위가 상대적으로 적었음을 의미한다.



FIGURE 7. Core area percent of landscape

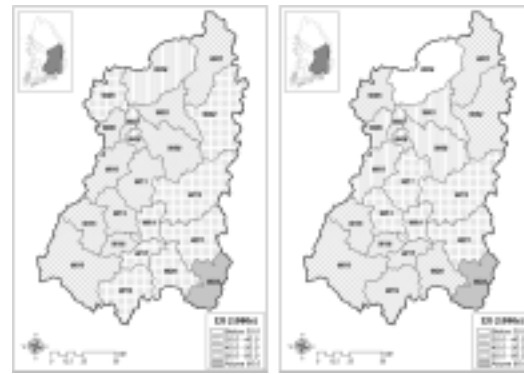


FIGURE 8. Interspersion and juxtaposition index

시계열적으로 살펴보면, 감천(W10) 및 낙동구미 유역(W09)에서의 IJI값의 증가율이 가장 높은 것으로 나타나, 다른 유역에 비해 토지이용패턴의 다양성이 증가한 것으로 분석되었다. 이는 산림지역 주변에서의 다양한 개발행위로 인해 인근 산림과의 연결성이 악화되었음을 의미하는데, 결국 산림주변에서 발생한 다양한 토지이용으로 인해 농경지나 도시지역으로 개발됨에 따라 나타난 결과라 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, IJI지수가 크게 나타난 유역들은 동·식물의 확산을 저해하는 서식처 파편에 대한 크기와 분리형태에 대한 검토가 이루어질 필요성이 있다. 또한, 서식처 분할에 영향을 미치는 개발 사업에 있어서는 환경영향평가서에 제시된 야생동물 이동통로의 등과 같은 유효 서식면적의 확보를 통해 서식처의 연결성을 증가시킬 필요성이 있을 것으로 판단된다.

“한 생태계는 주변 생태계에 영향을 줄 수 있는 물질을 제공할 뿐만 아니라, 실질적인 의미로서 그 생태계 주변으로부터의 물질에 의해 제어되고 형성된다”고 Forman(1987)이 주장하였듯이 이러한 패치들은 연결되었을 때에만 가치있게 작용하게 된다. 그러나, 최근의 자연환경의 개발은 대부분 자연생태계의 단절로 이어지고, 인위적인 환경이 들어옴에 따라 서식지를 자유롭게 왕래하던 동물들의 통로가 단절되면서, 식물도 그들의 종자를 널리 퍼뜨리기가 어려워진다. 특히, 도로를 건설하거나, 대규모 시설이 들어서는 경우에 더욱 심하게 되는데, 생태계의 단절 문제는 생물종 자원의 보존 측면에서 깊게 다루어져야 된다.

따라서, 산림의 연결성 증진을 통한 생물다양성 보전 기법의 일환으로 비오톱 및 비오톱 네트워크 개념을 통해 단절·고립된 녹지 및 생물 서식공간을 연결할 수 있는 에코브리지를 조성할 필요성이 있다. 또한, 그림 9에서 보는 바와 같이 나무 가지처럼 전체 경관에 뻗어 있으며, 반복적이지만 다른 유형의 생태계를 포함하고 있는 수변 식생지역을 보강하여 개발행위로 인해 야기될 수 있는 지리적 격리에 의한 피해를 최소화할 수 있는 녹지연계망 구축이 이루어

져야 할 필요성도 있다고 판단된다.



FIGURE 9. Landscape with (A) high and (B) low degrees of connectivity [Source; USDA, 2001]

결론

본 연구에서는 낙동강 유역을 대상으로 경관지수를 이용하여 시계열적인 산림경관의 구조적 패턴을 정량적으로 분석함으로써, 산림생태계의 건전성 평가 및 관리계획 수립을 위한 기초정보를 제공하고자 하였으며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

낙동강 유역 산림경관의 패치 면적 지수를 분석한 결과, 내성천과 남강댐 유역에서 LPI 및 유역내의 산림면적율의 감소에도 불구하고 PD가 감소한 것으로 나타났다. MSI 지수를 통해 산림패치의 복잡성을 분석한 결과, 안동댐 하류 유역과 낙동창녕, 내성천, 임하댐 유역에서 비교적 높게 나타났다. 이러한 결과를 PD의 변화량 및 토지피복현황과 비교해 보면, 산림주변에서의 개발행위가 택지개발 등의 대규모의 공사보다는 도로 건설과 같은 선형적인 개발 위주로 이루어졌으며, 농경지 및 도시지역의 확장이 주변의 산림지역을 점진적으로 잠식해 나가면서 생긴 결과라고 사료된다.

산림의 자연성을 반영하는 CPLAND를 분석한 결과, 안동댐, 임하댐, 영강, 회천, 남강댐 및 밀양강 유역은 60% 이상의 높은 면적율을 가지

는 것으로 나타났는데, 이들 유역에 대해서는 향후 내부를 가로지르며 행해지는 개발행위에 대해 계획단계에서부터 생태학적 생물서식처로서의 파편화에 대한 영향을 분석하여야 할 것이다.

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. 따라서, 환경영향평가와 같은 제도를 통해 산림을 서식지로 하는 야생동물들의 세력권이나 활동반경 등에 대한 보다 충실한 조사 및 평가가 이루어져야 할 것이며, 도로개설로 인해 야기될 수 있는 이차적인 간섭요인이 산림경관에 미치는 영향 등에 대한 분석도 함께 이루어질 필요성이 있다고 사료된다.

마지막으로, 분석에 사용된 경관지수를 종합적으로 분석한 결과, 낙동강 본류에 분포하는 유역들에서 파편화 정도가 다른 유역에 비해서 높은 것으로 나타났으며, 특히 낙동상주 유역과 낙동밀양 유역은 산림의 양적인 측면뿐만 아니라 구조적으로도 불안정한 상태를 보이는 것으로 나타났다. 향후 이들 유역에 대해서는 추가적인 분석을 통해 지역의 환경조건에 부합하는 산림정책 등의 생태적 관리를 병행할 필요성이 있다고 판단된다.

이상과 같이 낙동강 유역 산림의 경관생태학적 패턴을 분석한 결과는 각종 개발 사업에 따른 산림의 파편화를 사전에 예방하거나 파편화된 산림의 생태적 기능을 회복하기 위한 생태네트워크 구축의 기초자료로서 활용가능성이 높을 것으로 판단된다. 아울러, 지속적인 산림생태계의 모니터링을 통한 생태정보의 축적으로 산림경관의 시간적·공간적 변화 및 산림패치의 구조적 패턴이 생물다양성과 같은 주변 생태계에 미치는 영향에 대한 종합적인 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한, 산림식생의 분포 및

변화 패턴은 계곡과 골짜기 등과 같은 지형적인 요소에 따라 달라지므로, 향후에는 본 연구에서 고려되지 않은 지형적인 요소에 대한 분석도 병행되어야 할 것으로 판단된다. **KACRE**

참고문헌

- 국토연구원. 2004. 공간분석기법. 한울아카데미. 532쪽.
- 김종원. 2004. 녹지생태학. 월드사이언스. 59-61쪽.
- 박인환, 장갑수. 2002. 대도시 주변지역의 토지 이용변화: 대구광역시를 중심으로. 한국조경학회지 30(1):1-10.
- 손학기, 김원주, 박종화. 2000. GIS 공간유형분석 모형을 이용한 경관 규모 생태계의 평가 기법. 한국GIS학회지 8(2):233-241.
- 양희문, 김지홍. 2002. 생태적인 산림관리를 위한 군집 구조적 속성의 분석과 활용. 한국임학회지 91(4):545-553.
- 오정학. 2004. 환경친화적 국토자원관리를 위한 경관생태학적 접근. 경북대학교 박사학위논문. 127쪽.
- 이도원. 2001. 경관생태학. 서울대학교 출판부. 101-233쪽.
- 이민부, 김남신, 최한성, 신근하, 강철성, 한옥. 2003. 위성영상 분석에 의한 만포-강계 지역 경지확대에 따른 산림경관 변화. 한국지역지리학회지 9(4):481-492.
- 정성관, 오정학, 박경훈. 2003. 도시경관계획 수립을 위한 경관파편화에 관한 연구. 한국지리정보학회지 5(3):9-18.
- 정중철. 1999. 식생지수에 의한 경관파편화의 해석기법. 한국지리정보학회지 2(3):16-22.
- 한국경관생태연구회. 2001. 경관생태학. 동화기술. 97-100쪽.
- 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.
- Griffith, J.A. 2002. Geographic Techniques and Recent Applications of Remote Sensing to Landscape-Water Quality Studies. *Water, Air, and Soil Pollution* 138:181-197.
- 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.
- 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.
- Louw, J.H. and M. Scholes. 2002. Forest site classification and evaluation: a South African perspective. *Forest Ecology and Management* 171:153-168.
- McGarigal, K. and B.J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service. General Technical Report PNW-GTR-351. pp.86-103.
- O'Neill, R.V., J.R. Krummel, R.H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D.L. DeAngelis, B.T. Milne, M.G. Turner, B. Zygmunt, S.W. Christensen, V.H. Dale and R.L. Graham. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1(3):153-162.
- Ritters, K.H., R.V. O'Neill, C.T. Hunsaker, J.D. Wickham, D.H. Yankee, S.P. Timmins, K.B. Jones and B.L. Jackson. 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* 10(1):23-39.
- Tinker, D.B., C.A.C. Resor, G.P. Beauvais, K.F. Kipfmüller, 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.
- Tischendorf, L. 2001. Can landscape indices predict ecological processes consistently?. *Landscape Ecology* 16(3):235-254.
- Turner, M.G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematic* 20:171-197.
- USDA. 2001. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. http://www.nrcs.usda.gov/technical/stream_restoration
- 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.