

낙동강 유역의 선형개발사업이 산림 단편화에 미치는 영향

정성관 · 박경훈 · 오정학

경북대학교 농업생명과학대학 조경학과

Effect of Linear Development Projects on Forest Fragmentation in the Nakdong River Watershed

Jung, Sung-Gwan · Park, Kyung-Hun · Oh, Jeong-Hak

Department of Landscape Architecture, Kyungpook National University

Abstract

This study tested the usefulness of landscape indices for quantifying forest fragmentation due to linear development projects. Research was carried out in the middle-upper Nakdong River watershed, which has been affected by the expressway building, or national road-widening. Landscape indices were calculated from the forest cover maps before and after road-building using FRAGSTATS 3.1. We could successfully demonstrate the forest fragmentation based on landscape indices; ① patch size decreased, and edge density and patch density increased ② roads simplified patch shapes, especially in the larger patches, ③ patch core area size decreased, and core area density increased, ④ the distance increased between the focal patch and each of the other patches within the search radius (= 1km) as a result of roads. We suggest several important needs for future researches, including continued investigation of scaling issues, development of indices that measure specific components of spatial pattern, and study of the relationships between forest fragmentation and ecological processes.

Key words : forest fragmentation, landscape ecology, landscape indices, GIS

I. 서론

산림은 대기정화, 수원함량, 토사유출방지, 동식물의 서식지 제공 등의 생태·환경적 기능을 담당하고 있으나, 인간에 의한 대규모 개벌(皆伐:

clear cutting) 및 도로건설 등으로 인하여 단편화(fragmentation) 또는 소실됨에 따라 점차 그 기능들이 상실되어가고 있다(Tinker, 1996). 특히, 생활수준의 향상에 따른 교통수요의 증가는 지속적인 도로신설 및 확장사업을 초래하였고, 최근에는

토지보상비용의 절감 등을 이유로 과거에는 이루어지지 않았던 산림지역에서의 도로건설이 증가함에 따라 단편화가 더욱 가속화되고 있다(김기대 등, 1998; 김귀곤 등, 2000). 이와 같은 인위적 압력으로 인한 산림의 단편화는 외부에서 유입되는 바람과 빛의 강도, 질 등을 변화시키고, 결국에는 산림 내에 서식하는 생물종의 다양성, 영양물질의 순환, 주변하천의 수질 및 수량 등에 부정적 영향을 미치게 된다는 사실이 밝혀짐에 따라(이도원, 2001; Forman, 1995), 전 세계적으로 단절된 산림(녹지 또는 생태계) 네트워크를 복원하거나, 계획단계에서 단편화를 최소화하기 위한 방안들이 지속적으로 연구되고 있다(김선희, 1999). 특히, 경관생태학분야에서는 경관을 구성하는 요소들(산림, 하천, 경작지 등)의 크기, 수, 형태, 밀도 등을 정량적으로 계산하기 위한 지수들을 개발하여 인간활동에 따른 경관의 구조적 변화패턴을 파악하고(Herzog et al., 2001), 이를 토대로 각종 환경문제와의 상호관계를 규명하려는 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 더욱이, 최근에 와서는 지리정보시스템 및 원격탐사 기법의 발전으로 광역적 공간규모에 있어서의 경관요소를 빠른 시간 내에 파악하는 것이 가능해졌을 뿐만 아니라, 경관지수를 자동적으로 계산할 수 있는 각종 프로그램들이 개발되어지고 있다(Herzog et al., 2001; McGarigal et al., 2002). 이러한 경관지수는 국내·외적으로 다양한 분야에서 활용되고 있는데, 먼저 Tinker et al.(1998), Herzog et al.(2001)은 경관지수를 활용하여 대규모 개별, 임도 개설, 농지확장, 주택건설 등으로 야기되는 경관요소의 구조적 변화패턴을 시계열적으로 분석하였고, 국내에서도 이응경(1998), 조용현(2000) 등이 산림의 단편화와 지역생태계의 건전도를 평가하기 위한 지표로서 활용하였다. 한편, 지금까지 생태계 관리에 관련된 많은 연구에서는 다양한 공간적 범위를 적용하여 왔는데, 미국, 독일, 일본 등의 선진국에서는 유역을 생태계 관리의

기본단위로 설정하여, 산림-물-토양-생물 등의 자연생태계와 인간활동을 조화시키기 위한 통합환경 관리를 추진하고 있다(김선희, 1999; Montgomery et al., 1995; 國土廳計劃調整局, 1998). 특히, 최근에는 유역 내의 인간활동으로 인하여 야기되는 산림의 단편화 정도를 지속적으로 모니터링하고, 각종 환경문제에 미치는 영향을 최소화하기 위한 연구들이 주요 관심사로 제기되고 있다(조용현, 2000; Reed et al., 1996).

이에, 본 연구에서는 광역적 공간규모에서의 선형개발사업이 산림의 단편화에 미치는 영향 정도를 정량적으로 해석하기 위해서 경관지수와 지리정보시스템을 활용하고자 하며, 이에 대한 실증적 연구를 위해서 우리나라 주요 4대강의 하나인 낙동강의 중·상류 유역을 대상으로 도로건설에 따른 산림의 단편화를 분석하고자 한다. 아울러, 향후 경관지수를 선형개발사업에 따른 산림 단편화를 사전에 예측하거나, 최소화하기 위한 지표로서 활용가능한 가를 검토해 보고자 한다.

II. 연구대상지 및 분석방법

1. 대상지의 개요

전국적으로 군도(郡道)이상의 도로연장은 총 91,396km이며(2001년 12월 기준), 연구 대상지인 낙동강 중·상류유역에 해당하는 대구광역시와 경상북도의 도로연장은 12,118km로(건설교통부, 2001) 최근의 중부내륙고속도로, 국도 및 지방도 등의 신설 또는 확장으로 인해 산림생태계의 교란이 더욱 심각해지고 있다. 대상지의 지리적 위치 및 현황은 Fig. 1과 같으며, 수치지도로 작성된 유역경계도에서 계산된 유역면적은 15,053km²이고, 유역 내에 건설된 도로(고속도로, 국도, 지방도) 연장은 약 3,466km로 조사되었다. 토지피복특성은 환경부에서 작성한 토지피복분류도(1999년 대 말)를 기준으로 볼 때 산림이 전체면적의 75%

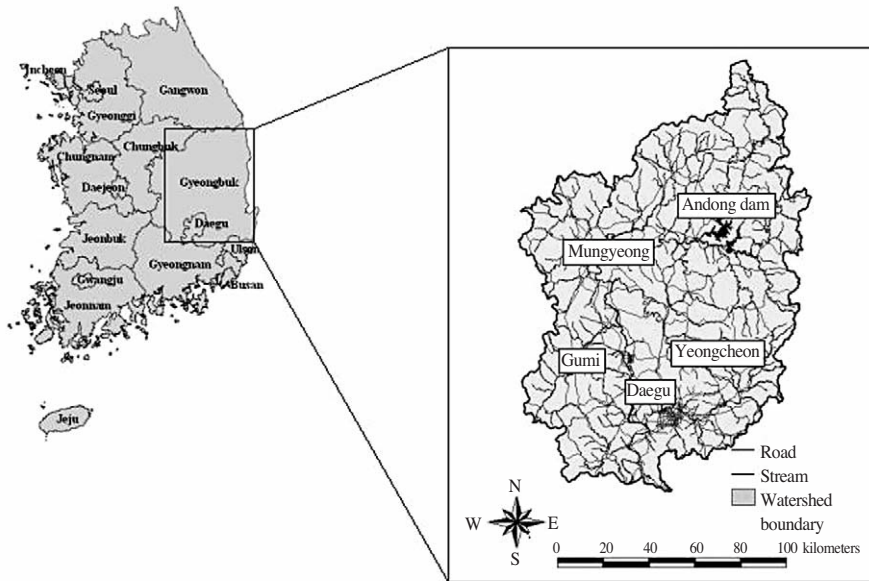


Fig. 1. Location of the middle and upper Nakdong River watershed

이상을 차지하고 있는 것으로 나타나, 도로건설 등의 각종 개발사업에 따른 산림의 단편화를 완전히 배제하는 것은 현실적으로 기대하기 어렵다고 할 수 있다. 따라서, 도로건설로 인해 불가피하게 발생될 수 있는 단편화를 최소화할 수 있는 방안이 시급히 마련되어야 할 것으로 판단된다.

2. 분석과정 및 방법

본 연구에 사용될 공간자료의 구축 및 분석과정은 Fig. 2에 제시된 바와 같다. 먼저, 산림패치자료는 Landsat TM자료에서 작성된 토지피복분류도¹⁾에서 추출하였는데, 최초 1:50,000 수치지도의 인덱스맵을 기준으로 47개의 이미지 파일로 분리된 것을 IMAGINE 8.4(ERDAS Inc., 1999)에서 하나의 도엽으로 합친 후, 필요로 하는 대상지역만을 추출하기 위해서 낙동강 중·상류 유역의 외곽경계선을 따라 마스킹(masking) 처리를 하였다.

다음으로, 산림을 제외한 나머지 토지피복항목(시가지, 경작지, 나지 등)은 경관지수의 계산에

적용되지 않기 때문에 산림지역은 '1' 값, 그리고 비(非)산림지역은 '0' 값을 부여한 후, 분석과정에서 '0' 값을 가지는 부분은 제외되도록 설정하였다. 이러한 과정을 통해서 작성된 산림패치자료를 입력자료로 하여 FRAGSTATS를 실행해 보았으나, 패치 수가 지나치게 많아 프로그램의 수행이 불가능하였다. 이러한 제한요소를 개선하기 위해서 관련된 선행연구(조용현, 2000; Tinker et al., 1998)를 참조하여 Fig. 3과 같이 최초 생성된 산림패치자료를 가공하였는데, 먼저 ArcInfo8.0.2(ESRI Inc., 1999)의 재배열(resampling) 기능을 이용하여 공간해상도를 100m pixel로 낮춘 다음, 미세한 패치를 제거(majority filtering)함으로써 경관지수의 산출이 가능해졌다.

도로망도는 국립지리원에서 제작한 1:250,000 지세도를 스캐닝하여 이미지 형태로 변환한 후,

1) 환경부에서 제공받은 1990년대 말의 토지피복분류도로써 1997년 5월 17일과 1998년 10월 2일에 촬영된 Landsat TM 영상자료를 이용하여 작성되었음.

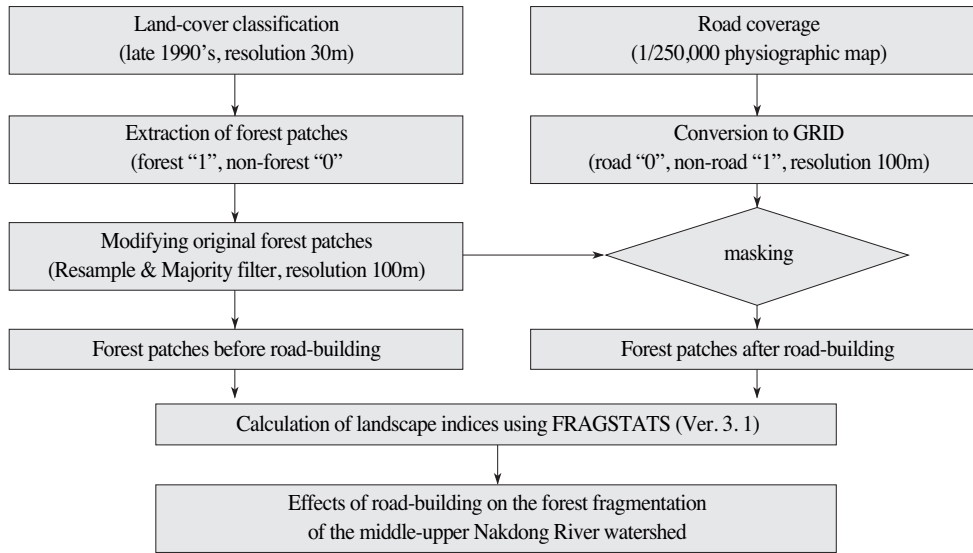


Fig. 2. The analysis processes of forest fragmentation by road-building using FRAGSTATS landscape indices

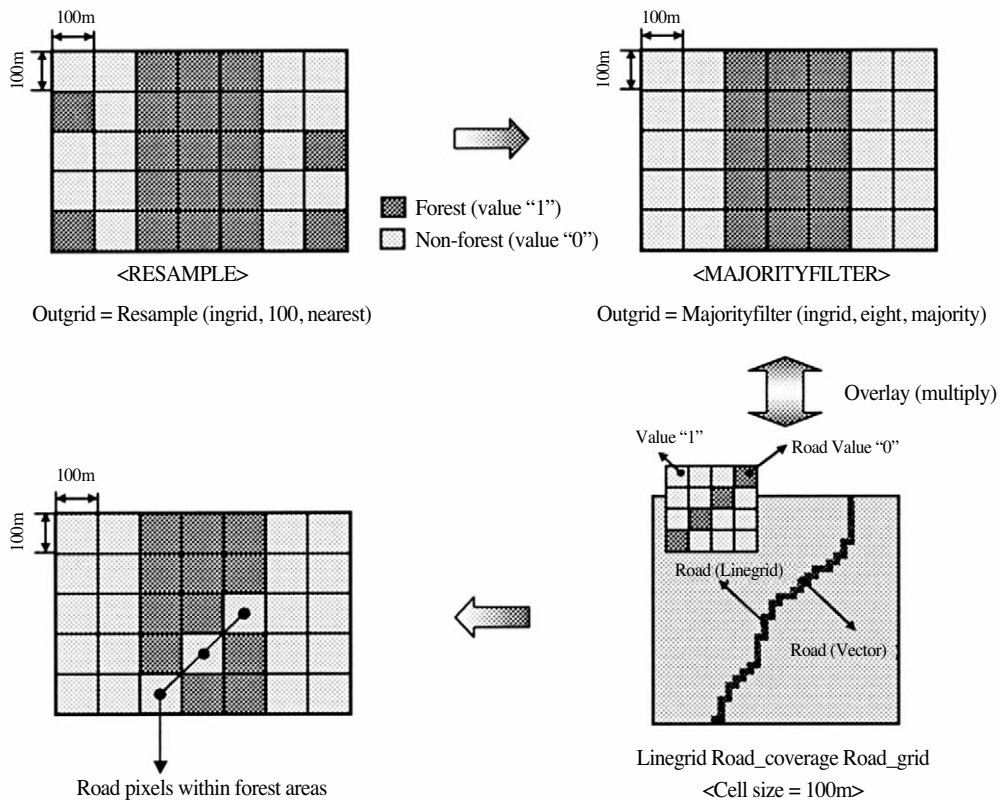


Fig 3. The process of constructing and modifying spatial data

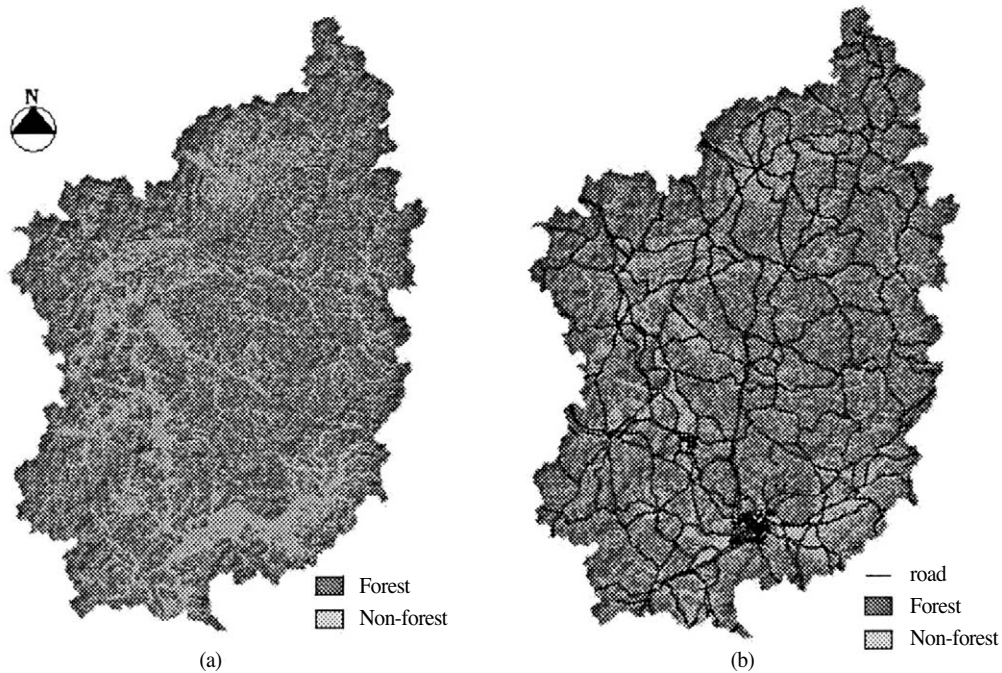


Fig. 4. Forest patches of before(a) and after(b) road-buildings

AutoCAD(AutoDesk Inc., 1997)에서 고속도로, 국도, 지방도의 중심선을 추출하고, 최종적으로 ArcInfo 8.0.2에서 산림패치자료와 동일한 좌표체계의 벡터자료를 생성하였다. 그리고, 도로지역은 '0' 값, 비도로지역은 '1' 값을 가지는 선형그리드(공간해상도 100m pixel)로 변환한 후, 산림패치자료와의 중첩연산을 통하여 산림 내의 도로부분을 제거하였다. 이렇게 생성된 도로건설 전·후의 산림패치자료(Fig. 4)를 최종적인 입력자료로 하여, 각각에 대한 경관지수를 산출·비교하여 도로건설에 따른 산림의 단편화 정도와 패턴을 분석하였다.

3. 분석에 사용된 경관지수

경관지수는 산림, 경작지 등과 같은 경관요소들의 공간적 패턴을 정량화하기 위해서 개발되어졌고, 이를 토대로 경관의 구조적 특성이 종 다양

성 등과 같은 생태적 과정에 미치는 영향을 지속적으로 규명해 오고 있다. 예를 들면, 인간활동에 따른 토지변형을 면적 변화에만 초점을 두지 않고, 형태, 공간적 배치, 연결성 등과 같은 구조적 패턴도 동시에 분석하는데 적극적으로 활용되고 있다(Reed et al., 1996; Tinker et al., 1998; Handsen et al., 2001; Herzog, 2001). 본 연구에서 사용된 경관지수는 Table 1에 제시된 바와 같이, 크게 패치의 ① 크기/밀도/가장자리 ② 형태 ③ 핵심구역 ④ 근접도로 구분되고 각 범주에 다양한 경관지수들이 포함된다. 여기서, 크기/밀도/가장자리에 관련된 지수들은 최대 패치 지수(LPI), 평균 패치 크기(MPS), 패치 수(NP), 패치 밀도(PD), 가장자리 밀도(ED)로 구성되어 있다. 형태에 관련된 지수들은 패치 형태의 복잡성을 정량화하기 위한 지수들로서 패치의 둘레길이와 면적간의 관계를 기초로 계산되며(McGarigal et al., 2002), 본 연구에서는 평균 형태지수(MSI), 면적

Table 1. Landscape indices included in the analysis

Structural feature	Index*	Description
Area/ Density/ Edge	LPI	Largest Patch Index
	MPS	Mean Patch Size
	NP	Number of Patches
	PD	Patch Density
	TE	Total Edge
	ED	Edge Density
Shape	MSI	Mean Shape Index
	AWMSI	Area-Weighted Mean Shape Index
	MPFD	Mean Patch Fractal Dimension
	AWMPFD	Area-Weighted Mean Patch Fractal Dimension
Core area	TCA	Total Core Area
	MCA	Mean Core Area
	MDCA	Mean Disjunct Core Area
	NDCA	Number of Disjunct Core Areas
	DCAD	Disjunct Core Area Density
Proximity	MPI	Mean Proximity Index

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

가중 평균 형태지수(AWMSI), 평균 패치 프랙탈 차원(MPFD) 등을 사용하였다. 다음으로, 핵심구역은 패치 경계에서 일정거리 이내, 즉 가장자리 효과(edge effects)가 나타나는 부분의 안쪽에 분포하는 구역을 의미하는 것으로서, 가장자리 효과의 폭이 지수결과치에 중대한 영향을 미치게 된다. 따라서, 본 연구에서는 관련된 선행연구(박종화 등, 1995; 서경주, 1996)를 종합적으로 고찰하여 가장자리 폭을 100m로 설정하였다. 마지막으로, 근접도에 관련된 지수들은 인접한 패치들 간의 이질성 정도와 거리를 기초로 하는 평균 근접도 지수(MPI)를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 패치 크기/밀도/가장자리

일반적으로 단편화로 인하여 패치 크기는 감소

하고, 그 수와 밀도, 그리고 가장자리의 양은 증가하게 된다(이도원, 2001; Turner, 1996; Tinker et al., 1998). 대상지의 경우도 Table 2에 제시된 바와 같이 동일한 변화패턴을 보이고 있는 것으로 나타났다. 먼저, 최대 패치크기 지수(LPI)는 Table 2의 산출공식에서와 같이 가장 큰 면적의 산림 패치가 전체 유역면적에서 차지하는 비율로서 도로건설 전에는 전체면적의 약 70%를 차지하였으나, 도로건설 후에는 3%까지 감소한 것으로 나타났다. 또한 평균 패치 크기(MPS)에 있어서도 863ha에서 518ha로 동일한 감소패턴을 보였다. 이와는 달리, 패취 수(NP)와 밀도(PD)는 단편화에 의해서 증가한 것으로 나타났는데, 패취 수의 경우는 도로건설 전에 비해 약 64%(1,329→2,180) 이상 증가하였다. 또한, 가장자리의 양(TE)과 밀도(ED)에 있어서도 뚜렷한 증가패턴을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이상과 같은 패치 크기/밀도/가장자리에 관한 지수들은 생태계

Table 2. The values of landscape indices related to patch area/density/edge

Index	Units	Range	Equation	A*	B*	B-A
LPI	%	$0 < LPI \leq 100$	$LPI = \frac{\sum_{j=1}^n \max(a_{ij})}{A} (100)$	69.6	3.0	-66.6(↓)
MPS	ha	$MPS > 0$	$MPS = \frac{A}{N} \left(\frac{1}{10,000} \right)$	863.1	517.8	-345.3(↓)
NP	-	$NP \geq 1$	$NP = N$	1,329	2,180	851(↑)
PD	No/100ha	$PD > 0$	$PD = \frac{N}{A} (10,000)(100)$	0.088	0.140	0.052(↑)
TE	m	$TE \geq 0$	$TE = E$	25,101	26,866	176.5(↑)
ED	m/ha	$ED \geq 0$	$ED = \frac{E}{A} (10,000)$	16.7	17.9	1.2(↑)

* A: forest patches before road-building, B: forest patches after road-building

* a_{ij} =area (m^2) of patch ij , A =total landscape area(m^2), N =total number of patches in the landscape, E =total length(m) of edge in the landscape

관리에 있어서 유용한 정보를 제공하는데, 특히 패치 크기의 경우는 Robbins et al.(1989)의 연구결과에 따르면 조류(鳥類)의 종 다양성(종의 수, 즉 종 풍부도)과 상당한 관계성이 있는 것으로 밝혀졌다. 향후, 이러한 지수들과 현장조사를 통한 경험적 자료를 축적하여 종 다양성-패치 크기의 상호관계를 명확히 함으로써, 특정 종이 생존 가능한 최소한의 서식지 크기를 유지하는 것이 가능해질 것으로 판단된다(이도원, 2001).

2. 패치 형태

단편화는 패치 형태에도 상당한 영향을 미치게 되는데 도로 등과 같은 인위적인 압력에 의해서 생성된 패치는 기하학적 성향을 띠고 있으며, 자연 상태의 패치 형태는 불규칙적인 특성을 가지게 된다(이도원, 2001; Luken et al., 1991; Tinker et al., 1998). FRAGSTATS에서 계산 가능한 형태지수는 입력자료의 형태에 따라서 적용기준이 상이한데, 래스터(raster) 형태의 경우는 정사각형을 기준으로 얼마만큼 변형되었는가를 상대적으로 계산하는 것으로서, 만약 특정 패치가 완전한 정사각형인 경우에는 형태지수 값이 1을

가지게 된다. 즉, Table 3에 제시된 경관지수의 값이 증가할수록 패치 형태가 복잡해진다는 것을 의미하게 된다. 분석결과를 살펴보면, 평균 형태지수(MSI)와 평균 패치 프랙탈 차원(MPFD)은 도로건설 전과 비교하여 거의 변화하지 않은 것으로 나타났으나, 패치 면적에 따라 가중치를 부여하여 계산되는 면적 가중 평균 형태지수(AWMSI)는 면적 가중 평균 프랙탈 차원(AWMPFD)은 도로건설 전에 비하여 뚜렷한 감소경향을 보이고 있다. 일반적으로 단순한 형태의 패치일수록 내부의 자원을 보존하는데 효과적인 반면, 굴곡형 경계부를 지닌 패치는 인접 생태계와 보다 많은 상호작용이 일어나게 된다. 그 일례로서, 미국 북서부 워싱턴과 오리건 주에 분포하는 산림서식처의 단편화에 의해 절멸위기에 놓인 점박이 올빼미(*Strix occidentalis caurina*)가 불규칙한 모양의 숲 조각에서 위축되는 현상을 개체군 모형을 통하여 예측한 연구사례가 있다(이도원, 2001). 예컨대, 이러한 산림 패치의 형태는 분석에 사용된 공간자료의 해상도뿐만 아니라, 사업지역에 분포하는 산림의 지형적인 특성에도 많은 영향을 받기 때문에, 향후에는 경사도, 고도 등과 같은 3차원적 공간자료를 동시에 고려

Table 3. The values of landscape indices related to patch shape

Index	Units	Range	Equation	A*	B*	B-A
MSI	-	MSI ≥ 1	$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{N}$	1.425	1.584	0.159(↑)
AWMSI	-	AWMSI ≥ 1	$AWMSI = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$	46.065	5.565	-40.5(↓)
MPFD	-	1 < MPFD ≤ 2	$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{2 \ln(0.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right)}{N}$	1.040	1.052	0.012(↑)
AWMPFD	-	1 < AWMPFD ≤ 2	$AMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{2 \ln(0.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$	1.327	1.176	-0.151(↓)

* p_{ij} = perimeter (m) of patch ij

하여 분석할 필요성이 있다고 판단된다.

3. 핵심구역

핵심구역(core area)은 생태학적으로 생물종이 외부로부터 격리를 필요로 하는 임계면적을 의미하는데, 단편화로 인한 패치 크기 또는 형태의 변화는 핵심구역의 크기, 수, 밀도 등에도 상당한 영향을 미치게 된다(이도원, 2001). 핵심구역은 패치 크기에 비하여 서식지의 질(habitat quality)을 좀더 효과적으로 평가할 수 있는 지표로서 활용되고 있다(McGarigal et al., 2002). 핵심구역에 관련된 경관지수들을 대상지역에 적용하여 산출된 결과는 Table 4와 같은데, 먼저 핵심구역의 크기와 관련된 전체 핵심구역(TCA)은 도로건설로 인하여 27,427ha 이상이 감소하였으며, 평균 핵심구역 면적(MCA)은 302ha가 감소한 것으로 나타났다. 한편, 가장자리의 폭을 100m로 설정하였을 경우, 핵심구역이 존재하는 산림패치의 수(NDCA)는 도로건설 전에 비하여 427개가 증가한 것으로 나타났으며, 100ha 당 핵심구역 패치의 수, 즉 상

호분리된 핵심구역의 밀도(DCAD)도 단편화로 인하여 0.094개/100ha에서 0.122개/100ha로 증가한 것으로 나타났다. 이는 결국 도로건설 전에는 하나의 패치로 존재하였으나, 도로건설로 인하여 좀더 작은 면적의 서로 다른 패치로 분리되어졌음을 의미한다.

4. 근접도

근접도(proximity)는 동일한 유형을 가지는 패치들 사이의 거리 또는 일정반경 이내에 분포하는 동일 유형 패치들의 면적 등을 기준으로 측정할 수 있다. 본 연구에서는 Table 5에 제시된 바와 같이, Gustafson and Parker(1992)에 의해서 개발되어진 평균 근접도 지수(MPI)를 이용하였다.

분석결과에 따르면, 산림 패치들 간의 평균 근접도 지수(MPI)가 도로건설 전에 비해서 상당량(82,300→2,268) 감소한 것으로 나타났다. 이는, 도로 건설로 인하여 상호 연결되어져 있던 하나의 패치가 서로 양분되거나 소실됨에 따라, 인접한 산림 패치들 간의 거리가 더욱 증가하였음을 의

Table 4. The values of landscape indices related core area

Index	Units	Range	Equation	A*	B*	B-A
TCA	ha	TCA ≥ 0	$TCA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \left(\frac{1}{10,000} \right)$	983,451	956,024	-27,427(↓)
MCA	ha	MCA ≥ 0	$MCA = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{N} \left(\frac{1}{10,000} \right)$	740	438	-302(↓)
MDCA	ha	MDCA ≥ 0	$MDCA = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^p a_{ijq}^c}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n n_{ij}^c} \left(\frac{1}{10,000} \right)$	694	519	-175.0(↓)
NDCA	-	NDCA ≥ 0	$NDCA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n n_{ij}^c$	1,417	1,842	427(↑)
DCAD	No./100ha	DCAD ≥ 0	$DCAD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n n_{ij}^c}{A} (10,000)(100)$	0.094	0.122	0.025(↑)

* aijc=core area (m²)of patch ij based on specified edge depths(m), nijc = number of disjunct core areas in patch ij based on specified edge depths(m), aijqc=core area (m²) of disjunct core area q in patch ij based on specified edge depths(m)

Table 5. The values of landscape index related to isolation/proximity

Index	Units	Range	Equation	A*	B*	B-A
MPI	-	MPI ≥ 0	$MPI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}}{N}$	82,300	2,268	-80,032(↓)

* aijs= area (m²)of patch ijs within specified neighborhood (m) of patch ij, hijs= distance (m) between patch ijs and patch ijs, based on patch edge-to-edge distance, computed from cell center to cell center

미한다.

IV. 결론

이상과 같이 본 연구는 낙동강 중·상류 유역이라는 광역적 공간규모에 있어서의 도로건설로 인하여 발생하는 산림의 단편화를 정량적으로 해석하기 위해서 경관지수와 지리정보시스템을 활용해 보았다.

먼저, 환경부의 토지피복분류도는 한반도 전체를 대상으로 하여 작성된 자료로서, 본 연구의 대

상지와 같은 광역적 공간규모에 있어서의 산림 패치 등의 경관요소를 생성하는데 유용하게 활용될 수 있었다고 판단된다. 도로건설 전·후의 산림 패치자료에서 추출된 경관지수값의 변화패턴을 토대로 단편화 정도를 정량적으로 해석할 수 있었는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, 산림 패치의 크기에 관련된 지수들(LPI, MPS)은 뚜렷한 감소패턴을 보였고, 그 수와 밀도(NP, PD), 그리고 가장자리의 양(TE, ED)은 도로 건설로 인하여 증가한 것으로 나타났으며, 이러한 변화는 패치의 내부 서식지라 할 수 있는 핵심구

역에도 영향을 미치게 되어 핵심구역의 크기는 감소(TCA, MCA, MDCA)하고, 그 수와 밀도(NDCA, DCAD)는 증가한 것으로 나타났다. 다음으로 패치 형태에 있어서는, 큰 면적의 패치들을 중심으로 도로와 같은 인위적인 영향인자에 의하여 경계부의 형태(AWMSI, AWMPFD)가 단순해진 것으로 나타났다. 마지막으로 도로에 의해서 연결되었던 하나의 산림 패치가 분리 또는 소실되어짐에 따라 서로간의 거리, 즉 근접도(MPI)도 증가한 것으로 나타났다.

한편, 본 연구를 수행하면서 도출된 문제점 및 향후과제로서, 먼저 대상지의 공간규모에 따라 패치자료의 스케일을 결정해야 되는데, 특히 래스터 자료의 경우는 공간해상도가 경관지수의 결과에 중대한 영향을 미치기 때문에 적합한 스케일의 결정을 위한 선행연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서와 같이 광역적 공간 규모에서는 패치자료의 획득을 위해서 Landsat TM 정도의 공간해상도를 가지는 위성영상자료가 시간 및 효율성 등을 고려해 볼 때 활용가치가 높다고 할 수 있으나, 특정 도로구간과 같은 소규모의 경우에서는 IKONOS 등과 같은 고해상도의 영상자료 등에서 정밀한 산림패치자료의 생성이 필요하리라 판단된다. 아울러, 사전 환경성 검토 등의 계획단계에서부터 도로건설로 인해 발생될 수 있는 산림의 단편화를 최소화하거나, 생태계에 미치는 영향을 사전에 예방하기 위해서는 경관지수에 의해서 설명되는 산림패치의 구조적 패턴이 생물종 다양성 등에 어떠한 영향을 미치는가를 규명할 필요성이 있으며, 이를 위해서는 현장조사를 통한 생태정보의 지속적인 축적이 동시에 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

건설교통부, 2001, 건설교통통계연보 - 건설부문.
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, 한국환경영향평가학회지, 7(2): 15-27.

김선희, 1999, 국토생태통합네트워크 구축과 관리 방안 연구, 국토연구원 연구보고서.

박종화, 명수정, 박영임, 1995, GIS 및 원격탐사기법을 이용한 북한산 국립공원 주변부의 추이대 탐지, 한국GIS학회지, 3(2): 91-102.

서경주, 1996, 식생지수를 이용한 설악산 국립공원 내 인간활동이 식생에 미치는 영향 분석, 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문, 11-29.

이도원, 2001, 경관생태학 환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리, 서울대학교 출판부.

이응경, 1998, Trend of forest fragmentation in the lower region of the Han River basin, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.

조용현, 2000, 경관지수를 이용한 지역생태계 평가: 용인시를 대상으로, 한국환경영향평가학회지, 8(4): 349-362.

國土廳計畫調整局, 1998, 21世紀の國土のグランドデザイン-地域の自立の促進と美しい國土の創造新しい全國總合開發計畫の解説, 時事通信社, 日本, 145-173.

Chen, J., J. F. Franklin and T. A. Spies, 1992, Vegetation responses to edge environments in old-growth Douglas-fir forests, Ecological Applications, 2: 387-396.

Forman, R. T. T., 1995, Land mosaics: the ecology of landscape and regions, Cambridge University Press.

Gustafson, E. J., 1998, Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? Ecosystem, 1: 143-156.

- Handsen, M. J., S. E. Franklin, C. G. Woudsma and M. Peterson, 2001, Caribou habitat mapping and fragmentation analysis using Landsat MSS, TM, and GIS data in the North Columbia Mountains British Columbia, Canada, *Remote Sensing of Environment*, 77: 50-65.
- Herzog, F., A. Lausch, E. M. Iler, H. E. Thulke, U. Steinhardt and S. Lehmann, 2001, Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation, *Environmental Management*, 27(1): 91-107.
- Luken, J. O., A. C. Hinton, and D.G. Bake, 1991, Forest edges associated with power-line corridors and implications for corridor siting, *Landscape and Urban Planning*, 20: 315-324.
- McGarigal, K. and B. Marks, 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.
- 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>.
- Montgomery, D. R., G. E. Grant and K. Sullivan, 1995, Watershed analysis as a framework for implementing ecosystem management, *Water Resources Bulletin*, 31: 369-385.
- Reed, R. A., B. J. Johnson and W. A. Baker, 1996, Contribution of Roads to Forest Fragmentation in the Rocky Mountains, *Conservation Biology*, 10: 1098-1106.
- Robbins, C. S., D. K. Dawson and B. A. Dowell, 1989, Habitat area requirements of breeding forest birds of the Middle Atlantic States, *Wildlife Monographs*, 103: 1-34.
- Tinker, D. B., C. A. C. Resor, G. P. Beauvais, K. F. Kipfmueller, C. I. Fernandes and W. L. Baker, 1998, Watershed analysis of forest fragmentation by clearcuts and roads in a Wyoming forest, *Landscape Ecology*, 13: 149-165.
- Tuner, I. M., 1996, Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence, *Journal of Applied Ecology*, 33: 200-209.