

# 수도권 내 개발계획관련 요소와 산림파편화 관계분석을 통한 관리방안<sup>†</sup>

이동근\* · 김은영\*\*

\*서울대학교 조경·지역시스템공학부 · \*\*서울대학교 대학원

## Management Plan of Relationship between Land Development and Forest Fragmentation in Metropolitan Area

Lee, Dong-Kun\* · Kim, Eun-Young\*\*

\*Dept. of Landscape Architecture, Seoul National University

\*\*Graduate School, Seoul National University

### ABSTRACT

Recently, reckless exploitation of land resources without much consideration for the environmental value of the land has been witnessed to accommodate the ever-increasing demands for regional development. Fragmentation due to land development is a major reason for the declining biodiversity in forest ecosystems. The purposes of this study were (1) to investigate the relationship between the factors of land development and forest fragmentation in 13 watersheds of a metropolitan area and (2) to suggest a forest management plan through the relationship. We carried out a factor analysis to determine explanatory axes of forest fragmentation, and then conducted a correlation analysis between the factor scores and the factor of land development, such as the rate of built-up areas, road density, number of built-up patches, and area of housing developments. The first explanatory axis represented stability of landscape highly related with the rate of the built-up area and road density. The second axis represented the level of fragment highly related with a number of built-up patches. Forest fragmentation patterns of the 13 watersheds were classified for the similarity in forest fragmentation. This study presents the forest management plans including distribution and level of land development and forest conservation.

*Key Words: Landscape Stability, Complexity, Landscape Pattern, Forested Patch, Road Density, Built-up Area*

## 1. 서론

인간에 의한 개발은 서식지 훼손과 파편화를 통해 생물종 다양성에 영향을 미치는 주요 원인으로 작용하고 있다(Liu *et al.*, 2003). 특히 도로와 같은 개발사업은 생태계의 다양성과 구조적·기능적 측면에서 넓은 범위에 영향을 미치며, 결국 생물종

다양성에 부정적인 감소를 초래하고 있다(Spellerberg, 1998; Forman *et al.*, 2003; Aune *et al.*, 2005; Jha *et al.*, 2005). 이러한 경관패턴 변화 혹은 경관 파편화는 생물학적 시스템에서의 물질과 에너지 순환에 영향을 미친다(Turner, 1989).

우리나라의 경우, 경제가 발전함에 따라 도시지역은 물론이고 자연지역내의 녹지까지 개발이 확대되는 등 환경을 충분히

†: 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2005-000-10521-0)지원으로 수행되었음.

Corresponding author: Eun-Young Kim, Graduate School, Seoul National University, Tel. : +82-2-880-4885, E-mail: ey1230@snu.ac.kr

배려하지 않은 사업들의 인허가로 인해 난개발이 이루어지고 있다. 최근 용인시의 경우, 난개발로 인해 2000년 최악의 수해를 입었으며 대규모 아파트 건설로 인해 산림의 훼손이 부분별 하게 일어나고 있다(조선일보, 2005.06.28; 국민일보, 2005.08.28). 1994년부터 10년 동안 전국의 산지는 여의도 면적의 244배인 72,000ha가 줄었으며, 2002년 한해 경기도에서만 전년(1,933ha)보다 34.1%가 증가한 2,617ha의 산지가 다른 용도로 전용되는 등 산림 훼손의 규모뿐만 아니라 속도도 증가하는 추세이다(국민일보, 2005.08.30). 이러한 산림 파편화는 도시지역에서 뿐만 아니라 도시외곽과 근교까지 그 영향이 증가하고 있으며(Hansen *et al.*, 2005; Munroe *et al.*, 2005), 특히 도시지역 내 잔존녹지는 도시화로 인한 영향이 심각한 실정이다(Stenhouse, 2004).

생물종은 경관의 구조적인 패턴에 민감하게 반응하며, 이러한 경관패턴의 변화는 생물종 수의 감소 및 서식지의 훼손 등에 영향을 미친다(Forman, 1995). Fletcher(2005)는 파편화로 인한 이종의 가장자리 생성은 조류종의 출현확률을 파편되지 않은 지역에 비해 4배 이상 감소시키는 등 산림 파편화가 심각한 지역의 경우 조류분포에 강한 영향을 미친다고 제시하였다. 이렇듯 생물종다양성에 부정적인 영향을 미치는 산림 파편화는 경관패턴에 의해 영향을 받는 것으로서 이에 대한 고려가 필요하다.

최근 산림파편화 연구는 공간패턴 및 경관지수를 이용하여 매우 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 대부분의 국외연구는 토지이용 및 토지피복 변화 등에 따른 경관지수의 변화를 분석하였다(Zeng and Wu, 2005; Baskent and Kadiogullari, 2007; Lin *et al.*, 2007). 이외 파편화를 설명할 수 있는 다양한 경관지수들 중에 파편화와 관련한 지수를 도출하여 산림파편화를 평가하거나(Yu and NG, 2006; Wang *et al.*, 2007), 다양한 경관지수를 요인분석을 통해 단순화·축소하여 경관의 구조적 패턴을 좀 더 용이하게 해석한 연구가 진행되었다(Riitters *et al.*, 1995; Cifaldi *et al.*, 2004). 또한, 국외의 경우 개발밀도, 건축물 밀도, 도로 개발, 택지 증가 등의 개발 요인과 산림 파편화간의 관계를 설명하는 연구가 진행된 바 있다(Hawbaker *et al.*, 2006; Gonzalez-Abraham *et al.*, 2007). Hawbaker *et al.*(2006)의 연구결과, 파편화는 도로밀도의 증가에 따라 크게 영향을 받으며, 주택밀도 역시 가장 큰 패치크기와 패치형태에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 건축물 등의 택지의 증가가 서식지 손실과 파편화에 미치는 영향을 분석한 결과, 택지 주변지역의 경우 약 20%의 잠재서식지의 감소와 함께 평균 패치크기가 감소하는 것으로 나타났다(Gonzalez-Abraham *et al.*, 2007).

국내의 경우, 이형동과 황철수(2006)는 택지개발 주변지역을 대상으로 토지이용 변화에 따른 경관지수를 분석하였으며, 정성관 등(2003)과 허성구 등(2007)은 도시화로 인한 경관지

수 변화 분석을 실시하였다. 또한, 박경훈 등(2004)은 유역단위에서 경관지수를 활용하여 산림 파편화와 관련한 요인을 추출하고 산림 파편화 요인과 도시화율, 표고, 경사와의 관계를 분석한 바 있다.

기존의 연구를 고찰한 결과, 국외의 경우 산림파편화의 영향요인으로 제시되고 있는 개발사업간의 관계를 정량적으로 분석한 사례가 증가하고 있으나, 우리나라의 경우 이에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 또한, 현재의 개발사업이나 산지전용 등이 행정구역을 중심으로 관리되고 있어 주변 시·군·구에서 수행하고 있는 개발사업이나 산림훼손 현황에 대해서는 고려가 미흡한 실정이다. 이러한 측면을 고려했을 때 유역적 접근은 환경을 평가하고 문제를 인식하기 위한 효과적인 방법과 해결책을 제공하며, 보전 및 복원계획을 수립하는데 효율적인 방안을 제공하는 것으로 알려져 있다(EPA, 2000).

따라서 본 연구의 목적은 개발이 집중되고 있는 과밀억제권역 중 13개 표준유역을 대상으로 파편화를 설명하는 주요 요인과 개발계획관련 요소와의 관계를 정량적으로 분석하여 유역별 산림파편화 유형을 살펴보고 이를 통해 유역 내 산림 및 지역개발계획과 관련한 관리방안을 제시하는 것이다. 본 연구의 결과는 산림 파편화와 개발요소들간의 관계를 정량화할 뿐만 아니라 유역별 산림파편화 현황을 통해 향후 개발사업 및 산림보전의 방향을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

## II. 연구의 범위 및 방법

### 1. 연구 대상지

본 연구에서는 수도권권역관리체계에 의해 과밀억제권역<sup>1)</sup>으로 설정된 지역 내 13개의 표준유역<sup>2)</sup>을 대상지역으로 설정하였다(그림 1 참조).

본 대상지역에 포함되는 행정구역은 서울시 전역과 인천광역시 계양구, 부천시를 포함한 안양시, 의왕시, 성남시, 수원시, 오산시, 고양시 등 서울 인근 경기도 시군이다. 본 연구에서 분석한 유역단위는 토지피복의 변화와 이로 인한 토지이용 패턴에 미치는 변화를 시뮬레이션하고 평가하는데 유용한 평가단위이다(Lin *et al.*, 2007).

대상지역 내 토지피복의 현황을 살펴보면 시가지지역이 996km<sup>2</sup>로 전체 면적에 약 35.85%를 차지하는 등 개발지역의 면적비율이 매우 높은 것으로 나타났으며, 산림비율은 약 38%로 1,508km<sup>2</sup>를 차지하고 있다(그림 2a 참조). 2003년 현재 대상지역의 산림을 패치크기로 구분하여 살펴 본 결과, 대형초식동물 1,000개체 이상 서식이 가능한 10,000ha의 산림(Schonewald-Cox, 1983)은 북한산, 광교산 등 굴포천, 창릉천, 왕숙천, 탄천유역에 존재하고 있으며, 그 밖에 1,000~10,000ha에 해당하는 큰 규모

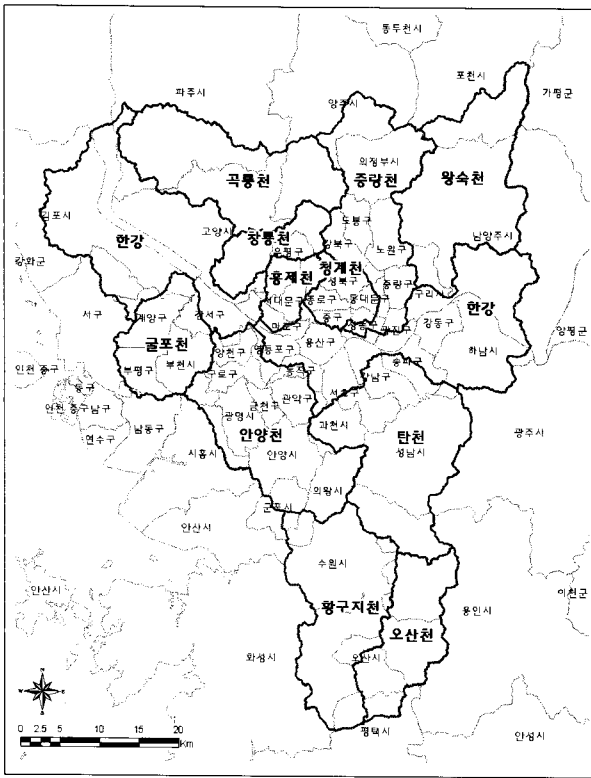


그림 1. 연구 대상지  
 범례:  유역,  시군구

의 산림이 안양천, 오산천, 중랑천 등에서 분포하고 있다(그림 2b).  
 본 대상지역의 유역별 택지개발사업은 1981년 서울 개포택지개발을 시작으로 하여 성남분당, 고양일산 등과 같은 대규모

택지개발에서부터 소규모 택지개발까지 다양한 규모로 진행되고 있으며, 앞으로도 다수의 개발사업이 추진 예정인 지역으로 개발계획관련 요소와 산림파편화간의 관계정립의 필요성이 높은 지역이다(그림 2c 참조).

## 2. 연구 방법

본 연구에서는 파편화 관련 경관지수를 선정하여 이를 토대로 산림파편화 현황을 분석하고, 파편화 설명요인과 개발계획관련 요소와의 관계를 분석하였다. 본 연구를 수행하기 위해서 2003년도 Landsat ETM+ 영상을 이용하여 분류한 토지피복분류도의 산림지역을 대상으로 연구를 수행하였다.

선행연구를 통해 경관패턴을 나타내는 다양한 경관지수 중에서 파편화와 관련이 있는 지수로 패치밀도, 패치수, 가장자리 밀도, 평균패치크기, 면적 가중치된 패치형태<sup>3)</sup>, 면적가중치된 프랙탈지수<sup>4)</sup>를 선정하였다(Yu and NG, 2006; Wang et al, 2007). 선정된 경관지수는 토지피복분류에서 추출한 산림지역을 바탕으로 Fragstats 3.3(McGarigal et al., 1995)을 이용하여 경관지수를 분석하였다. 파편화를 설명하기 위해 사용되는 다양하고 복잡한 경관지수를 대상으로 요인분석을 실시하여 파편화를 설명하는 주요 변수를 추출하였다. 요인분석은 주성분 방식을 적용하여 고유치(eigenvalue)가 1.0 이상인 요인만 선정하도록 하였으며, 요인구조를 명확히 하기 위해 베리맥스(Varimax)방법을 이용하여 직각회전한 결과를 토대로 각 공통 요인에 대한 변량을 측정하여 요인점수를 지도화하였다(이희연,

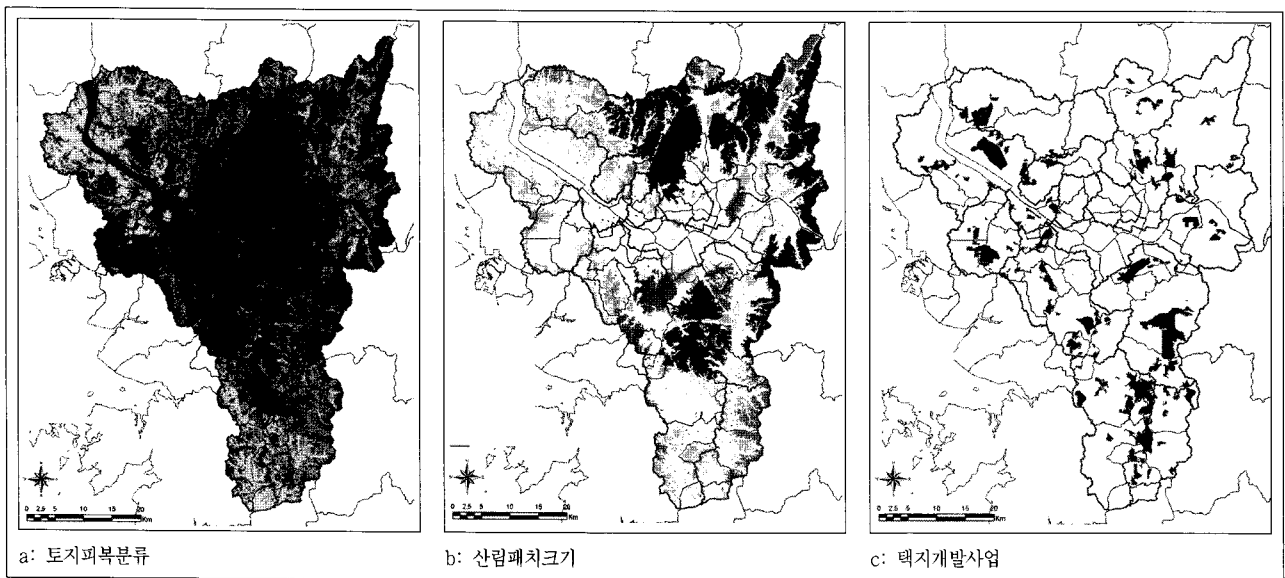


그림 2. 연구대상지 현황

- 범례: a:  시가지,  농경지,  산림,  초지,  습지,  나지,  수역,  
 b:  2ha이하,  2~10ha,  10~100ha,  100~1,000ha,  10~100ha,  100~1,000ha,  
 c:  택지개발사업

표 1. 유역 내 토지피복별 면적

유역	총면적(ha)	토지피복별 면적(ha)						
		시가지	농경지	산림	초지	습지	나지	수역
곡릉천	26,140.0	3,538.0	8,115.7	12,822.8	1,025.2	0	229.1	409.2
굴포천	13,182.3	8,177.0	2,357.4	1,869.1	546.8	0.1	168.7	63.3
안양천	28,116.5	15,083.7	1,153.1	10,904.8	532.9	0	255.0	187.0
왕숙천	27,459.2	3,655.0	3,921.0	18,087.7	1,457.6	1.8	115.0	221.1
증량천	24,315.9	10,189.7	1,293.3	12,025.4	416.3	0	200.5	200.6
창릉천	8,029.6	2,354.4	812.0	4,444.8	277.7	0	101.3	39.3
청계천	5,558.7	4,136.9	0.1	1,154.4	24.3	0	52.8	10.1
단천	30,273.7	11,994.1	1,806.8	14,958.6	1,078.7	0	182.4	253.1
한강곡릉천	35,276.8	10,368.3	13,723.7	5,286.3	1,228.1	39.9	415.8	4,214.7
한강증량천	32,898.0	14,525.0	2,947.5	10,383.4	1,402.7	0.7	276.7	3,362.0
홍제천	5,095.1	3,280.9	0.4	1,757.2	33.3	0	22.8	0.6
오산천	15,085.2	3,313.6	4,323.4	5,439.4	1,511.4	0	136.8	360.5
황구지천	26,424.2	8,831.9	8,875.5	6,652.2	1,252.5	0.2	296.1	515.8

1995; 박경훈 등, 2004).

산림파편화 및 산림생태계에 부정적인 영향을 미치는 주요 원인은 도로건설과 택지개발이다(Nilon *et al.*, 1995; Saunders *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2007). 본 연구에서는 개발사업으로 인한 직접적인 영향의 결과로서 도로건설 및 택지개발 등과 관련하여 유역별 도시화율, 도로밀도, 택지개발 면적, 시가지지역 패치수를 개발계획관련 요소로 선정하였다. 도시화율은 유역 내 개발면적비율을 대표하는 지표로서 토지피복분류상에서 시가지면적이 차지하는 비율을 이용하였다. 도로밀도는 100ha당 도로의 연장길이(km)를 기준으로 계산하였으며, 이때의 도로는 고속도로, 국도, 지방도 및 간선도로 등을 포함하였다. 택지개발사업 면적은 산림 파편화에 부정적인 영향을 미치는 요소로서 개발의 정도를 평가하는 항목으로 활용하였으며, 현재 개발사업이 진행 중인 지역을 포함하여 자료를 구축하였다. 시가지지역 패치수는 개발지역의 분포를 확인하기 위해서 선정된 요소이며, 유역별 토지피복분류상의 시가지지역 패치의 개수를 이용하여 분석하였다.

앞서 제시한 산림 파편화를 설명하는 주요 설명요인과 개발 계획관련 요소와의 관계를 분석하고자 상관분석과 회귀분석을 실시하였다. 상관관계 및 회귀분석을 통해 개발사업 및 개발 정도에 따른 산림파편화의 임계치를 분석하였다. 또한, 요인분석을 통해 도출된 요인값을 이용하여 군집분석을 실시하고, 파편화 유형별 개발사업과의 관계를 통해 지속가능한 유역관리 방안을 제시하였다. 이와 관련한 모든 통계분석은 SPSS Ver. 12.0(SPSS Inc, 2003)을 이용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 산림파편화 설명요인 도출

경관지수를 이용하여 산림 파편화 설명요인을 도출하기 위해 요인분석을 실시한 결과 2개의 공통요인이 추출되었다. 이 공통요인은 경관지수의 총분산량을 86.7% 설명하였다. 분석에 사용된 표본은 단위행렬 검정통계량이 유의수준  $P=0.001$ 에서 통계적으로 유의한 것으로 분석되어 요인분석에 적합한 것으로 판단되었다.

경관지수와 관련한 변수 6개는 2개의 요인으로 분류되었다. 첫 번째 요인은 고유치 2.913이고, 총분산량의 48.54%를 설명할 수 있다. 첫 번째 요인으로 분류된 지수는 면적이중치된 패치형태, 면적 가중치된 프랙털, 가장자리 밀도, 평균 패치크기를 나타내고 있어 이를 산림경관의 구조적 안정성이라 명명하였다. 두 번째 요인은 고유치 2.291이고, 총분산량의 38.19%를 설명하며, 패치밀도와 패치수를 나타내고 있어 파편화 정도로 명명하였다(표 2 참조).

유역별 각 요인에 대한 변량을 측정하여 요인값을 지도화하였으며, 이를 토대로 산림의 구조적 패턴을 분석하였다. 산림경관의 구조적 안정성을 나타내는 성분 I의 요인값이 높은 굴포천, 왕숙천은 산림패치의 규모가 크고 골짜기가 형성되는 등 형태의 굴곡이 큰 지역으로 구분되는 반면, 요인값이 낮은 청계천, 한강곡릉천, 황구지천은 산림패치의 크기가 작고 패치형태의 굴곡이 작은 것으로 나타났다(그림 3 참조).

표 2. 베리맥스 방법에 의해 회전된 요인분석값

구분		성분	
		성분 I	성분 II
산림경관의 구조적 안정성	면적가중치 패치형태	0.970	-0.159
	면적가중치 프랙탈	0.952	-0.062
	가장자리 밀도	0.744	0.493
	평균 패치크기	0.687	-0.612
파편화 정도	패치밀도	-0.179	0.960
	패치수	0.092	0.850
고유치		2.913	2.291
분산(%)		48.54	38.19

파편화 정도를 나타내는 성분 II의 요인값이 높은 곡릉천, 한강곡릉천, 황구지천, 오산천은 산림패치가 대부분 1,000ha 이하이며, 산림패치의 수와 패치밀도가 매우 높은 것으로 나타나 산림의 파편화 정도가 매우 심각한 지역으로 판단된다. 반면 요인값이 낮은 왕숙천, 홍제천, 중랑천, 청계천은 산림패치의 크기가 크고 패치수와 패치밀도가 요인값이 높은 지역에 비해

낮게 나타나는 지역으로 산림파편화 정도가 상대적으로 낮은 지역이라 평가되었다(그림 4 참조).

## 2. 개발계획관련 요소와 산림파편화 설명요인과의 관계

산림파편화에 영향을 미치는 개발계획관련 요소는 도로건설, 택지개발 등이 있다(Nilon *et al.*, 1995; Saunders *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2007). 본 연구에서의 개발계획관련 요소로는 도시화와 관련한 지표인 시가화지역 패치수, 도로밀도, 도시화비율, 택지개발면적을 사용하였다.

시가화 패치수 분석 결과, 곡릉천, 한강곡릉천, 황구지천, 왕숙천에서 시가화 패치수가 많은 것으로 나타났으며, 이는 분산된 개발분포를 나타내고 있다. 특히, 왕숙천의 경우 매우 작은 규모의 시가화 지역이 분산되어 나타나고 있다. 반면 홍제천과 청계천의 경우, 시가화지역이 대규모로 집중되어 있어 시가화 지역 패치수가 상대적으로 낮게 분석되었다(그림 5a 참조). 도로밀도의 경우, 100ha당 도로연장길이(km)를 이용하여 분석한 결과, 홍제천과 청계천이 가장 높은 밀도를 보였으며, 서울시에 해당하는 중랑천, 굴포천, 안양천, 한강중랑천이 높은 도

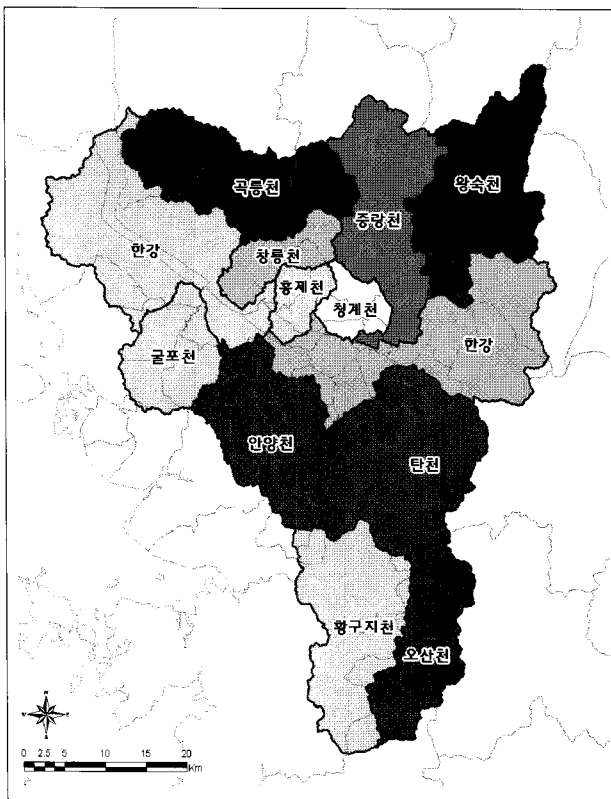


그림 3. 산림경관의 구조적 안정성 요인값

범례: □ -1.0 이하, ▨ -1.0~-0.5, ▩ -0.5~0, ▪ 0~0.5, ▫ 0.5~1.0, ▬ 1.0 이상

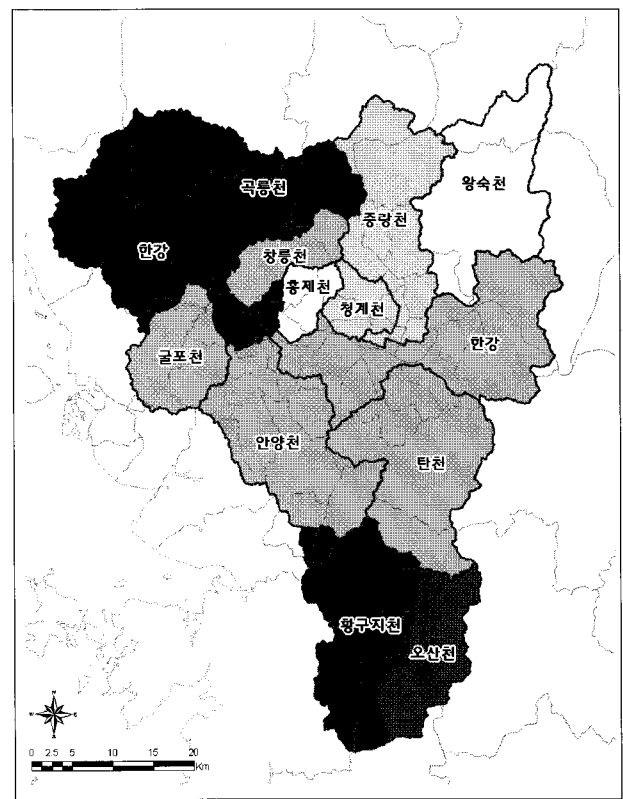


그림 4. 파편화 정도 요인값

범례: □ -1.0 이하, ▨ -1.0~-0.5, ▩ -0.5~0, ▪ 0~0.5, ▫ 0.5~1.0, ▬ 1.0 이상

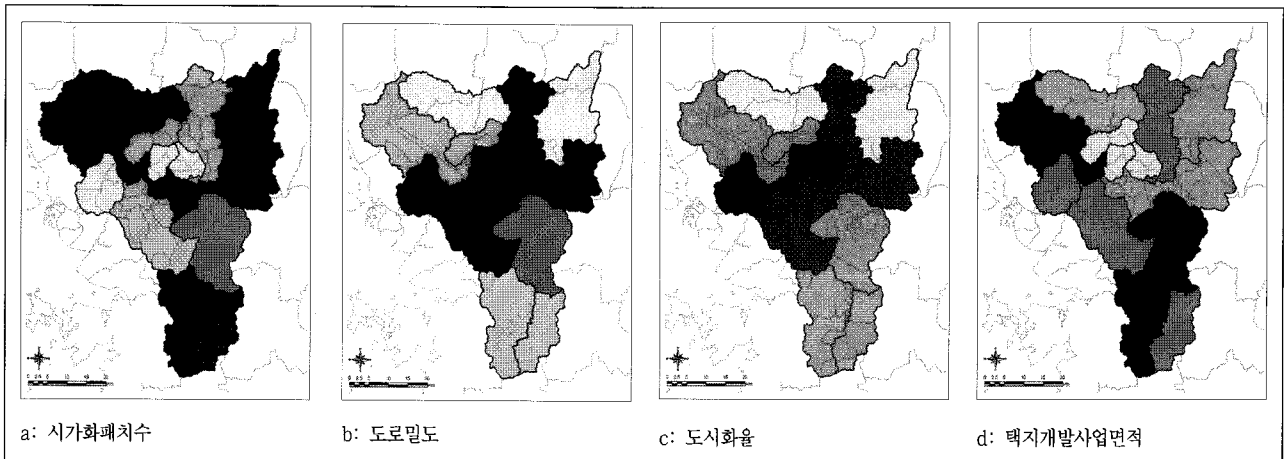


그림 5. 개발계획관련 요소

범례: a: 300 이하, 300~600, 600~900, 900~1200, 1200 이상  
 b: 2 이하, 2~4, 4~6, 6~8, 8 이상(단위: km/100ha)  
 c: 20% 이하, 20~40%, 40~60%, 60% 이상  
 d: 1 이하, 1~2, 2~4, 4~6, 6 이상(단위: 1000ha)

로밀도를 보였다. 반면 곡릉천, 왕숙천의 경우 도로밀도가 낮은 것으로 나타났다(그림 5b 참조). 도시화율은 유역 내 시가화면 적비율을 이용하였으며, 굴포천, 홍제천, 청계천이 높게 나타났다(그림 5c 참조). 택지개발면적의 경우, 탄천유역이 성남분당, 성남판교 등 대규모 택지개발사업이 실시되어 총 8,031ha로 가장 넓은 택지개발사업 면적을 나타내고 있으며, 그 다음으로 황구지천에서의 택지개발사업 면적이 큰 것으로 나타났다. 일산신도시, 화정 등 택지개발이 이루어진 한강곡릉천 역시 택지 개발사업면적이 큰 것으로 나타났으며, 창릉천, 홍제천, 청계천 이 기개발지역으로서 택지개발사업의 수가 적은 것으로 나타 났다(그림 5d 참조).

개발계획관련 요소인 시가화 패치수, 도로밀도, 도시화율, 택 지개발사업면적과 요인분석을 통해 도출된 두 가지 요인인 산 립경관의 안정성과 파편화 정도간의 관계를 분석하였다. 분석 결과 산림경관의 구조적 안정성을 설명하는 첫 번째 요인과 도 시화비율이 상관계수  $r = -0.717 (p < 0.01)$ 로 두 변수 사이에 음 (-)의 상관도가 높은 것으로 나타났으며, 도로밀도 역시 상관 계수  $r = -0.627 (p < 0.05)$ 로 음(-)의 상관에 있는 것으로 나타 났다. 반면 택지개발면적, 시가화지역 패치수 등은 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 파편화 정도를 나타내는 두 번째 요인

은 첫 번째 요인과 달리 시가화지역 패치수와 상관계수  $r = 0.755 (p < 0.01)$ 로 높은 양(+)의 상관관계를 나타냈다. 또한, 택 지개발면적, 도로밀도, 도시화율 변수와는 유의확률은 상대적 으로 낮지만 상관관계는 있는 것으로 나타났다(표 3 참조).

분석결과, 도시화율이 40% 이상 진행될 경우 산림경관의 구 조적 안정성이 비선형의 곡선을 보였다(그림 6 참조). 경관의 구조적 안정성과 도시화비율에 대한 회귀분석을 실시한 결과, 도시화비율은 산림경관의 안정성을 설명하는 요인의 77.1%를 설명하고 있으며,  $R^2$ 는 0.594로 나타났다. 본 회귀모델의 유의 성 검증을 위한  $F$ 값은 16.096였으며,  $P = 0.002$ 에서 유의한 것 으로 분석되었다.

$$y_{Factor 1} = -1.411 - 1.353 \log x_{rate\ of\ built} \quad (식 1)$$

도시화율이 약 13%인 왕숙천의 경우, 산림패치의 크기가 10,000ha 이상의 대규모 산림을 가지고 있으며, 형태의 굴곡이 크게 나타나 산림경관 구조의 안정성이 높은 것으로 나타났다 (그림 7a 참조). 탄천의 경우 도시화율 약 40%로 높게 나타났 지만 유역 내 10,000ha 이상의 대규모 산림 패치가 존재하고 있으며, 그 산림의 경계 역시 복잡하게 나타나 높은 시가화면

표 3. 산림 파편화 설명 변수와 개발요소와의 상관관계

	도시화율	택지개발면적	시가화지역패치수	도로밀도
산림경관의 구조적 안정성	-0.717*	0.061	0.394	-0.627**
파편화 정도	-0.493	0.552	0.755*	-0.543

\*: 1% 유의수준에서 양측검정 결과 유의성 있음

\*\* : 5% 유의수준에서 양측검정 결과 유의성 있음

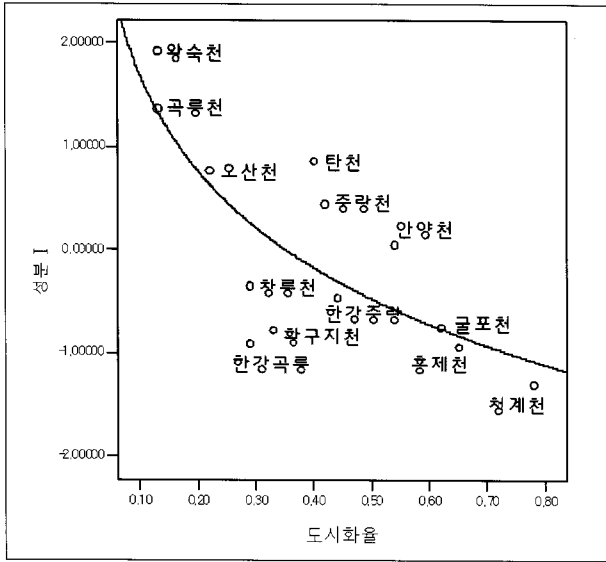


그림 6. 산림경관의 구조적 안정성과 도시화율과의 관계

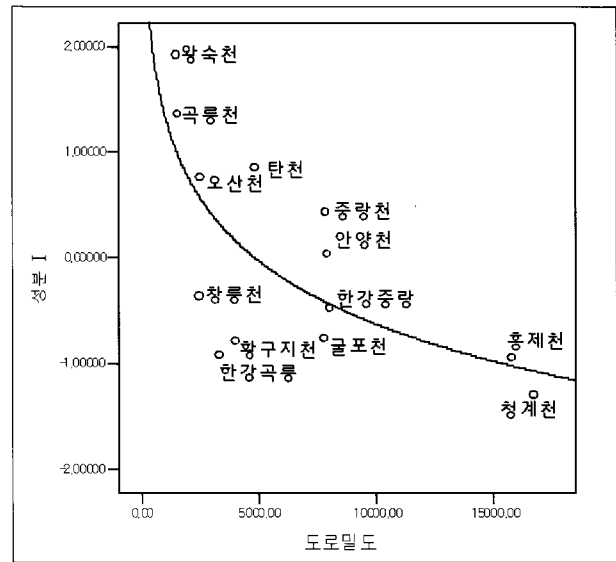
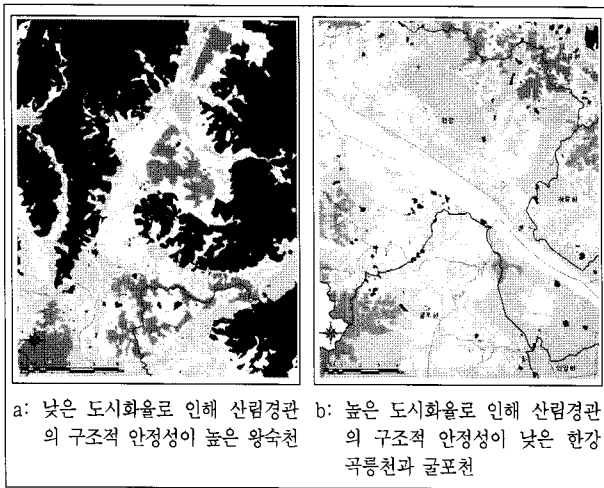


그림 8. 산림경관의 구조적 안정성과 도로밀도와와의 관계



a: 낮은 도시화율로 인해 산림경관의 구조적 안정성이 높은 왕숙천  
b: 높은 도시화율로 인해 산림경관의 구조적 안정성이 낮은 한강곡릉천과 굴포천

그림 7. 산림경관의 구조적 안정성과 도시화율과의 관계 현황  
범례: ■ 시가지지역

적 비율에 비해 산림경관의 구조적 안정성이 높게 나타난 것으로 판단된다. 반면 한강곡릉천의 경우 도시화율이 약 30%로 탄천보다 낮지만 산림패치가 및 산림패치의 굴곡 역시 작아 산림의 단편화가 많이 진행된 것으로 나타났다(그림 7b 참조). 굴포천의 경우, 도시화율은 약 60%이상이지만 한강곡릉천과 같이 산림패치 크기가 작고 파편의 형태가 단순하게 나타나 단편화가 많이 진행되었음을 알 수 있다(그림 7b 참조). 그 밖의 산림경관의 구조적 안정성을 나타내는 첫 번째 요인과 도시화율과의 회귀식을 살펴본 결과, 왕숙천, 곡릉천, 오산천, 한강중랑천, 굴포천, 홍제천, 청계천은 회귀식 선상에 나타났지만 탄천, 중랑천, 안양천의 경우 도시화율이 높은 데 비해 유역 내 산림이 차지하는 비율이 높아 산림의 단편화가 상대적으로 낮

게 나타난 것으로 판단되었다.

도로밀도가 100ha당 5km까지는 산림경관의 구조적 안정성, 즉 산림 파편의 복잡성이 급격하게 감소한 후 산림 파편이 점차 단순화되어 안정성 정도가 수렴하는 것으로 나타났다(그림 8 참조). 도로밀도는 산림파편의 복잡성을 69.7% 설명하고 있으며,  $R^2$ 는 0.486으로 나타났다. 본 회귀모델의 유의성 검증을 위한  $F$ 값은 10.414이고,  $p=0.08$ 에서 유의한 것으로 나타났다.

$$y \text{ Factor 1} = 7.339 - 0.865 \log x \text{ density of road} \quad (\text{식 2})$$

왕숙천, 곡릉천 등의 도로밀도가 낮은 지역은 산림경관의 구조적 안정성이 높은 것으로 나타났으며, 100ha당 도로연장길이 약 7.8km인 중랑천의 경우, 도로밀도가 매우 높는데 반해 산림 파편이 단편화되지 않은 것으로 나타났다. 이는 도로가 대부분 시가지지역에 집중되어 분포하고 있고, 산림을 단절시키는 경우가 낮기 때문으로 판단된다(그림 9a 참조). 오산천의 경우, 도로밀도는 약 2.5km/100ha 정도로 낮아 산림 단편화에 영향이 적은 것으로 나타났다(그림 9b 참조). 황구지천의 경우 도로밀도는 약 4.0km/100ha으로 높지 않으나 도로로 인해 산림경계가 단절된 사례가 많이 발생하여 산림패치의 형태가 단순하게 변화함을 알 수 있다(그림 9b 참조). 홍제천과 청계천의 경우, 100ha당 도로연장길이가 15km 이상 되는 고밀도 지역으로서 산림의 경계가 대부분 도로에 영향을 받는 지역으로 나타났다. 본 연구 결과, 산림경관의 안정성은 도로밀도와 밀접한 관계가 있으며 도로의 개설은 산림지역을 단절시키거나 산림의 가장자리를 훼손시켜 패치형태를 단순

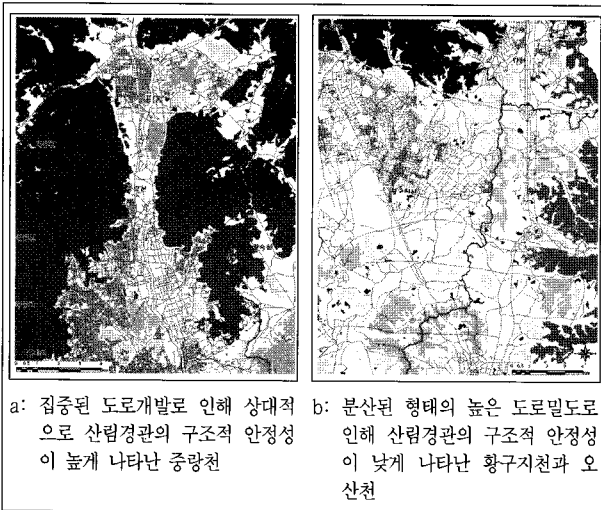


그림 9. 산림경관의 구조적 안정성과 도로밀도와의 관계 현황  
범례: 도로

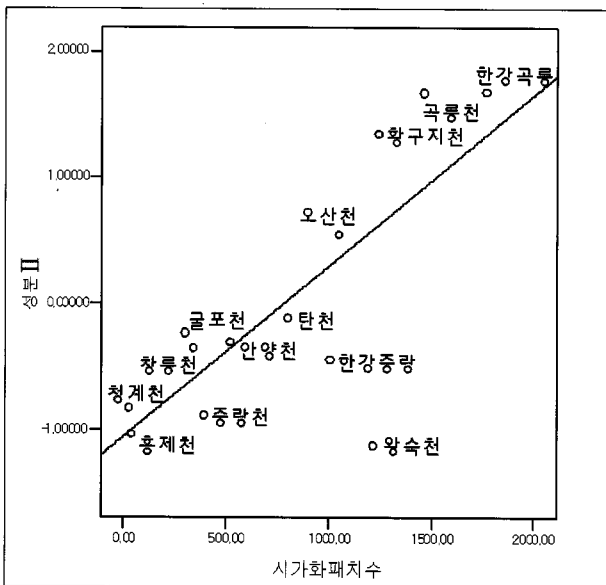


그림 10. 파편화 정도와 시가지패치수의 관계

화시키는 것으로 분석되었다.

산림파편화 정도를 설명하는 성분 II와 시가지 패치수에 대한 회귀분석을 실시한 결과, 시가지 패치수가 증가할수록 산림의 파편화 정도가 함께 증가하는 것으로 분석되었다(그림 10 참조). 이 회귀모형은 시가지패치수를 통해 산림 파편화 정도를 약 75.5%로 설명하고 있으며,  $R^2$ 는 0.571로 나타났다. 본 회귀모델의 유의성 검증을 위한  $F$ 값은 14.616이고,  $p=0.002$ 에서 유의한 것으로 나타났다.

$$Y_{Factor II} = -1.052 + 0.001x_{NPofbuilt} \quad (식 3)$$

유역 내 시가지 패치수가 많은 곡룡천의 경우 산림의 파편화

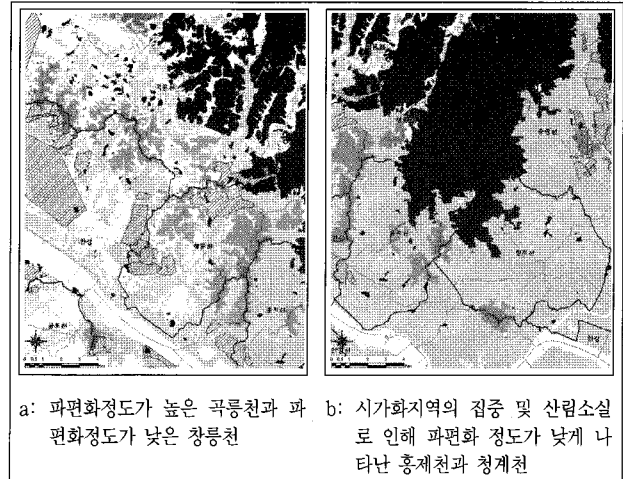


그림 11. 파편화 정도와 시가지패치수의 관계 현황  
범례: 택지개발사업지구

정도가 매우 심각한 것으로 나타났으며, 그 원인으로는 작은 규모의 시가지지역이 산림지역 주변에 산발적으로 나타나고 있으며, 이는 농경지 확장과 택지개발사업 등에 의한 것으로 판단된다(그림 11a 참조). 홍제천, 청계천 및 창릉천의 경우, 시가지패치가 집중되어 있어 시가지 패치수가 작은 것으로 나타났다. 하지만 이 지역 모두 시가지지역의 비중이 높고 산림의 소실 등으로 인한 산림패치의 밀도가 낮아 파편화 정도가 낮은 것으로 분석되었다(그림 11a, b 참조). 시가지 패치수가 많은 데 비해 가장 파편화 정도가 낮은 왕숙천의 경우, 시가지지역의 규모가 작고 주요 시가지지역이 산림지역과 떨어져 분포하고 있어 산림파편화에 미치는 영향정도가 미비한 것으로 나타났다. 산림의 파편화 정도와 시가지패치수의 관계를 살펴본 결과, 향후 택지개발사업 등 각종 개발사업으로 인한 시가지 패치수가 증가한다면 탄천, 안양천 등의 유역에서 산림의 파편화 정도가 증가할 것으로 판단된다.

### 3. 유역별 산림파편화 유형구분 및 관리방안 제시

요인분석을 통해 도출된 산림경관의 안정성과 파편화 정도의 요인값을 이용하여 군집분석을 실시한 결과, 다음 그림 12와 같이 분류되었다. 첫 번째 군집은 창릉천, 한강중랑천, 골포천, 안양천, 청계천, 홍제천, 탄천, 오산천, 중랑천, 한강곡룡천, 황구지천, 곡룡천으로 군집되었으며, 두 번째 군집은 왕숙천이 구분되었다.

첫 번째 군집에서 가장 유사한 성격을 가지고 있는 유역들간의 성격을 살펴보면 창릉천과 한강중랑천, 골포천, 안양천의 경우 서울 구로구, 양천구, 관악구, 금천구, 강동구, 용산구, 영등포구, 경기도 광명시, 안양시, 의왕시를 비롯하여 인천광역시



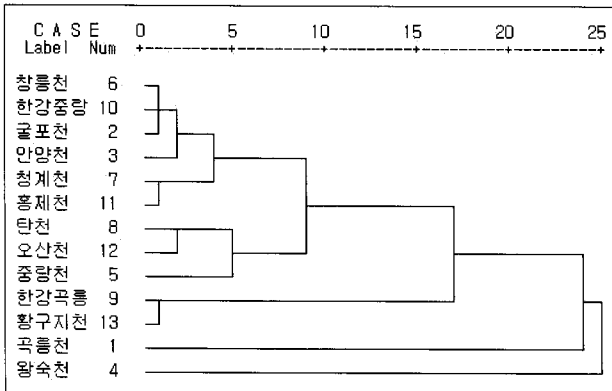


그림 12. 산림경관의 구조적 안정성과 파편화 정도를 이용한 군집분석

계양구, 부평구, 부천시 등 연구대상지역의 남서부에 위치한 지역으로서 도시화비율이 높은 지역이다. 또한, 산림 규모가 대체로 작고 파편화 정도가 많이 진행된 지역으로서 도로밀도에 의한 영향정도가 유사한 지역으로 판단된다. 대부분의 지역이 기개발된 지역이지만 향후 택지개발계획의 수요가 많은 지역으로서 이로 인한 소규모 산림 및 생태자연도 2등급 등과 같은 법적인 보전지역이 아닌 산림지역에 대한 훼손 가능성이 높은 지역이다. 따라서 향후 개발계획 수립 시 인접지역의 개발현황 및 산림훼손 현황 등의 고려 및 이에 대한 보전계획이 우선적으로 수립되어야 할 것이다.

청계천과 홍제천 유역은 개발의 정도 및 개발의 집중도가 매우 높은 지역으로서 북한산 등 대규모 배후 산림 외에 산림패치가 적어 밀도가 매우 낮은 지역이다. 또한, 이미 산림의 파편화가 심각하게 진행된 지역으로 향후 택지개발사업 등 대규모 개발사업은 없으나 재개발 및 소규모 개발 등으로 인한 산림의 훼손이 우려되는 지역이다. 따라서 이 지역의 경우 유역 내 산림의 비율이 매우 낮고 도시화율이 매우 높다는 점을 고려한다면 인공지반복화 등과 같은 산림의 양적인 확보와 더불어 질적인 향상이 고려되어야 한다.

탄천, 오산천, 중랑천의 경우 유역내 1,000ha 이상의 산림이 존재하고 있으며, 산림경관의 구조적 안정성 정도가 유사한 지역으로 나타났다. 이 지역은 최근 십여 년간 택지개발사업이 집중적으로 나타난 지역으로서 택지개발사업이 산림경관의 구조적 안정성 저하에 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한, 이 지역은 향후 택지개발, 도로건설 등 개발계획이 예정되어 있어 산림의 파편화가 우려되는 지역이다. 따라서 향후 개발계획 수립시 주변의 기존 개발계획에 대한 고려를 통해 산림 가장자리 훼손 및 산림 파편화를 최소화하여야 한다.

한강곡릉천과 황구지천의 경우, 산림경관의 구조적 안정성과 파편화 정도가 유사한 지역으로서 도시화율과 도로밀도 역시 유사한 수치를 보이는 지역이다. 이 지역은 산림의 규모가 매우 작고 파편되어 있으며, 농경지의 비율이 다른 지역에 비

해 높은 지역이므로 대규모 택지개발사업과 도로건설로 인한 훼손 가능성이 매우 높은 지역이다. 따라서 소규모 산림지역에 대한 보전대책뿐만 아니라 환경적으로 보전가치가 있는 농경지 전환에 대한 계획을 수립하여야 한다.

곡릉천의 경우, 산림패치가 매우 복잡한 형태를 나타내고 있을 뿐만 아니라 산림패치 밀도 역시 높아 다른 지역과 달리 분류된 것으로 판단된다. 또한, 산림이 차지하는 비율은 높으나 대부분의 산림이 파편되어 있어 소규모 산림의 경우 각종 개발사업에 의해 소멸 가능성이 매우 높은 지역이다. 따라서 곡릉천의 경우 기존의 개발지역을 중심으로 한 개발계획을 통해 소규모의 산림패치의 훼손을 최소화하며 대규모의 산림을 보전하도록 하여야 한다. 또한, 개발계획 내 포함되는 소규모 산림의 경우 단지 내 녹지공간으로 활용하여 산림의 훼손을 최소화하여야 한다. 특히, 한강하류에 위치하고 있어 개발에 의한 산림의 단절이 자연지형과 높은 연관성이 있을 것으로 사료되므로 향후 이에 대한 고려가 필요하다.

과밀억제권역 중 택지개발사업, 도로밀도가 매우 낮은 수준을 보이는 왕숙천의 경우 다른 유역과 달리 유역 내 산림패치의 규모가 크고 복잡한 산림패치의 형태를 보이고 있는 지역이다. 또한, 시가화 패치수는 많으나 그 시가화지역 규모가 매우 작아 산림파편화 영향이 매우 적은 것으로 나타났다. 이러한 왕숙천의 경우, 현재 상수원보호구역 등의 환경규제를 받고 있는 지역이기도 하므로 지속가능한 환경을 유지하기 위해서 왕숙천의 환경용량을 고려한 소규모 개발 혹은 기개발 지역을 중심으로 한 개발이 가능할 것으로 사료된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 수도권 과밀억제권역 내 포함되는 13개의 표주유역을 대상으로 경관지수를 이용하여 개발계획관련 요소와의 상관관계 및 회귀분석을 통해 개발사업에 의한 산림파편화의 영향정도를 정량화하였는데 의의가 있으며, 이론상에서 제시하고 있는 경관지수를 실제 유역 내 개발 특성과 산림 파편화와의 관계를 통해 지속가능한 산림 및 지역계획에 대한 관리방안을 제시하였다.

연구결과, 도시화율과 도로의 밀도가 증가할수록 산림패치의 형태가 단순화되는 등 산림경관의 구조적인 안정성이 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 개발 등으로 인해 쐐기(wedge) 형태의 산림이 점차 원형으로 변형됨에 따라 산림의 주변부에서 예상되는 에코톤의 길이 및 기능이 축소되었다고 볼 수 있다. 또한, 시가화지역 패치수의 증가는 산림패치의 개수 및 밀도를 증가시켜 파편화 정도를 심화시키는 주요한 요인으로 분석되었다. 또한, 산림경관의 구조적 안정성과 파편화 정도를 이

용하여 산림파편화 유형을 구분한 결과, 왕숙천은 과밀억제권역 내 포함되는 다른 유역과 달리 산림파편화의 정도가 낮을 뿐만 아니라 개발의 정도도 낮은 것으로 분석되어 이를 고려한 차별된 관리방안의 방향을 제시할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 산림 및 지역개발계획에 대한 관리방안에 있어서 기존의 획일적인 관리방안이 아닌 산림경관의 구조적 안정성과 산림파편화 정도의 적용가능성을 제시하였다.

하지만 수도권 과밀억제권역에 대한 지속가능한 관리방안을 제시하기 위해서는 본 연구에서 제시하는 산림의 파편화에 대한 고려뿐만 아니라 개발사업에 직접적인 영향을 미치는 요인인 표고, 경사 등의 지형적 특성 및 지역의 환경용량 등이 함께 고려되어야 한다. 따라서 향후 연구에서는 이에 대한 고려와 함께 산림패치에 대한 경관지수의 시계열 자료의 변화량과 개발사업의 변화량을 함께 고려한다면 현재의 개발사업이 산림파편화에 미치는 영향을 보다 명확하게 구분할 수 있을 것으로 사료되며, 유역별 산림파편화 현황에 대한 현장조사를 통해 관리방안의 적합성을 검증할 필요성이 있다.

- 주 1. 수도권정비계획법에 의한 과밀억제권역은 인구 및 산업이 과도하게 집중되거나 집중될 우려가 있어 그 이전 또는 정비가 필요한 지역을 말함(법제처 홈페이지).
- 주 2. 표준유역은 국가, 지방1급, 지방2급 하천의 합류점과 주요 댐, 수위표지점을 기준으로 분할하였으며, 자연하천의 표준유역 면적은 최소 50km<sup>2</sup>이 되도록 함(www.wamis.go.kr).
- 주 3. 면적가중치된 패치형태는 1에 가까울수록 원형 혹은 사각형의 형태를 나타내며 값이 커질수록 보다 부정형의 형태로 변화한 것임(McGarigal *et al.*, 1995).

$$AWMSI = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{0.25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$$

AWMSI: 면적가중치된 패치형태, A: 전체면적, a: 면적, p: 둘레길이

- 주 4. 면적 가중치된 자기유사성 지표로서 패치형태의 복잡성을 설명함. 지수의 범위는 1~2까지 이며 1에 가까울수록 단순한 형태를 가짐(McGarigal *et al.*, 1995).

$$MPFD = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{2 \ln(0.25p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right)}{N}$$

인용문헌

1. 박경훈, 정성관, 이현택, 오정학, 김경태(2004) 금호강 유역 산림의 경관생태적 패턴분석. 한국지리정보학회지 7(3): 22-34.
2. 이형동, 황철수(2006) 대규모 택지개발에 따른 토지이용패턴변화와 시공간적 특성 분석: 고양시를 사례로. 지리학연구 40(1): 155-167.
3. 이희연(1995) 지리통계학 -지리자료분석기법-. 서울: 법문사.
4. 정성관, 오정학, 박경훈(2003) 도시경관계획수립을 위한 경관파편화에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(3): 11-20.
5. 허성구, 김기성, 안재훈, 윤정숙, 임경재, 최중대, 신용철, 유창원(2007) FRAGSTATS 모형을 이용한 도암댐 유역의 산림 파편화 분석. 한국지리정보학회지 10(1): 10-21.
6. Aune, K., B. G. Jonsson and J. Moen(2005) Isolation and edge effects among woodland key habitats in Sweden: Is forest policy promoting fragmentation? Biological Conservation 124 : 89-95.

7. Baskent, E. Z. and A. I. Kadiogullari(2007) Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: A case study in Inegol. Landscape and Urban Planning 81: 316-327.
8. Cifaldi, R., J. D. Allan, J. D. Duh and D. G. Brown(2004) Spatial pattern in land cover of exurbanizing watersheds in southeastern Michigan. Landscape and Urban Planning 66(2): 107-123.
9. EPA(2000) Watershed Analysis and Management(WAM) Guide for Tribe.
10. Fletcher, R. J. Jr.(2005) Multiple edge effects and their implications in fragmented landscapes. Journal of Animal Ecology 74: 342-352.
11. Forman, R. T. T.(1995) Some general principles of landscape and regional ecology. Landscape Ecology 10(3): 133-142.
12. Forman, R. T. T., D. Sperling, J. A. Bissonette, A. P. Clevenger, C. D. Cutshall, V. H. Dale, L. Fahrig, R. France, C. R. Goldman, K. Heanue, J. A. Jones, F. J. Swanson, T. Turrentine and T. C. Winter(2003) Road ecology: Science and solution. Island Press, Washington, D.C., USA.
13. Gonzalez-Abraham, C. E., V. C. Radeloff, R. B. Hammer, T. J. Hawbaker, S. I. Stewart and M. K. Clayton(2007) Building patterns and landscape fragmentation in northern Wisconsin, USA. Landscape Ecology 22: 217-230.
14. Hansen, A. J., R. L. Knight, J. M. Marzluff, S. Powell, K. Brown, P. H. Gude and K. Jones(2005) Effects of exurban development on biodiversity: Patterns, mechanisms, and research needs. Ecological Application 15(6): 1893-1905.
15. Hawbaker, T. J., V. C. Radeloff, R. B. Hammer and M. K. Clayton (2004) Road density and landscape pattern in relation to housing density, and ownership, land cover, and soils. Landscape and Urban Planning 68: 389-401.
16. Jha, C. S., L. Goparaju, A. Tripathi, B. Gharai, A. S. Raghubanshi, and J. S. Singh(2005) Forest fragmentation and its impact on species diversity: an analysis using remote sensing and GIS. Biodiversity and Conservation 14: 1681-1698.
17. Lin, Yu-Pin, N. M. Hong, P. J. Wu, C. F. Wu and P. H. Verburg (2007) Impacts of land use change scenarios on hydrology and land use patterns in the Wu-Tu watershed in Northern Taiwan. Landscape and Urban Planning 80: 111-126.
18. McGarigal, K. and B. J. Marks(1995) FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis.
19. Munroe, D. K., C. Croissant and A. M. York(2005) Land use policy and landscape fragmentation in an urbanizing region: Assessing the impact of zoning.
20. Nilon, C. H., C. N. Long and W. C. Zipperer(1995) Effects of wildland development on forest bird communities. Landscape and Urban Planning 32(2): 81-92.
21. Riitters, 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.
22. Saunders, S. C., M. R. Mislivets, J. Chen and D. T. Cleland(2002) Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. Biological Conservation 103 : 209-225.
23. Schonewald-Cox, C. M.(1983) Conclusion : Guidelines to management: A beginning attempt. In Richard B. Primack(1993) Essentials of Conservation Biology. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc..
24. Spellerberg, I. F.(1998) Ecological effects of roads and traffic: a literature review. Global Ecology and Biogeography 7:317 - 333.
25. Stenhouse, R. N.(2004) Fragmentation and internal disturbance of native vegetation reserves in the Perth metropolitan area, Western

- Australia, *Landscape and Urban Planning* 68: 389-401.
26. Turner, M. G.(1989) Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20:171 - 197.
27. Wang, X., D. Zheng and Y. Shen(2008) Land use change and its driving forces on the Tibetan Plateau during 1990-2000. *Catena* 72 (1): 56-66.
28. YU, X. and C. NG(2006) An integrated evaluation of landscape change using remote sensing and landscape metrics: a case study of Panyu, Guangzhou, *International Journal of Remote Sensing* 27: 1075-1092.
29. Zeng, H. and X. B. Wu(2005) Utilities of edge-based metrics for studying landscape fragmentation. *Computers, Environment and Urban System* 29: 159-178.
30. <http://www.chosun.com>(조선일보, 2005. 06. 28. '망가지는 국토' 그후 5년 <3> 난개발 용인은 지금)
31. <http://www.kukminilbo.co.kr>(국민일보, 2005. 08. 28. 산림이 사라진 다(상))
32. <http://www.kukminilbo.co.kr>(국민일보, 2005. 08. 30. 산림이 사라진 다(하))
33. <http://www.moleg.go.kr>(법제처 홈페이지)
34. <http://www.wamis.go.kr>(국가수자원관리 종합정보시스템 홈페이지)

---

원 고 접 수: 2008년 1월 3일

최종수정본 접수: 2008년 2월 15일

4인익명 심사필