

등산로 개설에 의한 산림의 경관생태학적 영향 분석¹

이우성² · 박경훈^{3*} · 김동필⁴

The Analysis of Landscape Ecological Effect of Forest by Trail-Building¹

Woo-Sung Lee², Kyung-Hun Park^{3*}, Dong-Pil Kim⁴

요약

본 연구는 북한산 국립공원을 대상으로 등산로가 산림경관의 파편화에 미치는 영향을 분석한 후, 이를 토대로 소유역별 경관생태학적 건전성을 평가하였다. 등산로 개설에 의한 영향 분석 결과에 따르면, 산림패치의 크기는 감소한 반면 패치 및 가장자리 밀도는 증가한 것으로 나타났다. 또한, 패치형태는 보다 복잡해지고, 핵심지역의 면적은 뚜렷하게 감소하였고, 패치간의 근접도는 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 소유역별 경관생태학적 건전성 평가 결과, 종합적인 건전성은 북한산유역이 3.7점으로 가장 높게 나타났으며, 구기유역이 1.6점으로 가장 낮게 평가되었다. 이상의 결과를 종합해 볼 때, 산림의 경관생태학적 보전과 관리를 위해서는 불필요한 등산로의 개설을 금지하고, 훼손 및 교란 지역에 대한 자연적인 생태학적 복원이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 경관지수, 파편화, 건전성, GIS, FRAGSTATS

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the effect of hiking trails on forest landscape's fragmentation, based on which also to assess the landscape-ecology-based integrity by small drainage area by selecting Bukhansan National Park as a survey target. The results of effect analysis are as follow; size of forest patch decreased; the density of patch and edge increased; patch shape became complicated; the dimensions of core area noticeably decreased and proximity degree between patch increased after trail-building. In addition, the assessment results of overall landscape ecology-based integrity by small drainage basin showed that the Bukhansan catchment area was highest making 3.7 point, while Gugi catchment area was rated the lowest making 1.6 point. Putting the above results together, it is necessary to prohibit the opening up of unnecessary trails and to make room for ecological restoration of damaged and disturbance area to their original state as nature goes for landscape-ecology-based conservation and management of forests.

KEY WORDS : LANDSCAPE INDICES, FRAGMENTATION, INTEGRITY, GIS, FRAGSTATS

1 접수 12월 31일 Received on Dec. 31, 2007

2 경북대학교 조경학과 대학원 Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Kyungpook National Univ., Daegu(702-701), Korea(lagis@paran.com)

3 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environmental Engineering, Changwon National Univ., Changwon(641-773), Korea(landpkh@changwon.ac.kr)

4 부산대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Pusan National Univ., Miryang(627-706), Korea(kimdp@pusan.ac.kr)

* 교신저자 Corresponding author(landpkh@changwon.ac.kr)

서론

산림은 대기정화, 수원함량, 토사유출방지, 동식물의 서식지 제공 등과 같은 환경·생태적 기능을 담당하고 있으나, 인간에 의한 대규모 개발 및 도로건설 등으로 인하여 단편화 및 파편화(fragmentation)가 발생함에 따라 그 기능이 상실되어가고 있다(Tuner, 1996). 이와 같은 인위적 압력으로 인한 산림의 파편화는 외부에서 유입되는 빛의 강도, 질 등을 변화시키고, 결국에는 산림 내에 서식하는 생물종 다양성, 영양물질의 순환, 주변 하천의 수질 및 수량 등에 부정적 영향을 미치게 된다(Forman, 1995; 이도원, 2001).

산림의 단편화 및 파편화에 대한 부정적인 결과가 발표됨에 따라 이를 규명하고 평가하며, 이러한 결과를 이용하여 산림을 복원하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히, 경관생태학 분야에서는 산림과 같이 경관을 구성하는 요소들의 크기, 수, 밀도, 형태, 연결성 등을 정량적으로 계산하기 위한 경관지수(landscape indices)를 개발하여 인간 활동에 따른 경관의 구조적 변화패턴을 파악하고자 하였다(Baker and Cai, 1992; McGarigal and Marks, 1995; Herzog *et al.*, 2001). 이와 같은 경관지수는 1950년대 초부터 기하학적 이론을 기초로 하여 제기되어져 왔으며, 최근에는 컴퓨터의 성능 향상과 GIS 및 RS 기법의 기술적 발전으로 인해 경관분석용 소프트웨어(FRAGSTATS, Patch analysis etc.)를 통해 복잡한 계산식으로 구성된 지수를 자동적으로 계산하는 것이 가능해졌다(McGarigal and Marks, 1995; McGarigal *et al.*, 2002).

또한, 경관지수는 다양한 인간활동에 따른 산림 및 녹지의 경관생태학적 변화패턴을 모니터링하는데 활용되고 있으며, 유역생태계의 지속성과 환경오염에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위해 이용되고 있다(Tinker *et al.*, 1998; Jones *et al.*, 2001; 정성관 등, 2002; 박은영, 2004). 최근에는 GIS와 RS에 대한 기술적 발전으로 인해 광역적 범위에 대한 유역단위의 경관생태학적 패턴분석이 가능해졌으며(박경훈 등, 2004; 정성관 등, 2005), 경관지수와 생태계용역가치를 활용한 광역도시권의 경관 구조 및 기능적 분석이 이루어지기도 하였다(최원영 등, 2005).

한편, 최근 경제 수준 향상 및 국립공원 입장료의 폐지 등으로 인해 국립공원의 탐방 수요가 급격하게 늘어나고 있는 상황이다. 많은 탐방객들의 수용으로 인해 자연자원 훼손, 탐방압력의 가중, 공간시설물의 부족 등과 같은 문제점들이 발생하고 있으며, 특히 탐방객의 수용을 위한 등산로가 무분별하게 개설되고 있어 산림파편화, 자연식생 파괴 등과 같은 경관생태학적 문제를 야기시키고 있다. 이러한 경관생태학적 문제는 생물의 이동통로를 단절시켜 생물종 다양성을 감소시키고, 생태계 파괴의 직접적인 원인으로 작

용하고 있다(Tuner, 1996; 김종원, 2004). 그러나 아직까지 등산로 등과 같은 소규모의 선형개발에 대해서는 경관생태학적 연구가 수행되지 않고 있으며, 현실적으로 등산로에 의한 영향 및 훼손 정도를 파악하는 것은 쉽지 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 생활형·산악형 국립공원인 북한산을 대상으로 대규모 탐방객을 수용하기 위해 조성된 등산로가 산림경관의 파편화에 어느 정도의 영향을 미치는지에 대해 경관지수를 활용하여 정량적으로 분석하고자 한다. 또한, 북한산의 소유역별 경관생태학적 건전성평가를 실시하여 소유역별 건전성을 평가하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

북한산은 우리나라의 20개 국립공원 중 유일하게 수도권에 위치하고 있으며, 행정구역 상 서울시, 고양시, 의정부시, 양주군에 걸쳐 분포하고 있다(Figure 1). 1983년 국립공원으로 지정되었으며, 총 면적은 79.9km²이다(국립공원관리공단, 2007). 등산로의 개수는 약 190여개이며, 도로를 포함한 등산로의 총 연장은 약 160km에 달한다. 연평균 탐방객은 500만 명이며, 1km²에 대한 탐방밀도가 58,000명으로 기네스북에 기록되어 있다. 또한, 국립공원별 등산로에 의한 훼손 정도를 살펴보면, 약 26.9km가 보통 이상의 훼손이 된 것으로 나타났으며, 직접적인 정비가 필요한 구간으로 정의하고 있다(국립공원관리공단, 2002). 이와 같은 현황을 볼 때 북한산의 산림생태계는 심각하게 교란되어 있을 것으로 생각되며, 등산로에 의한 산림 파편화 역시 상당히 진행되어 있을 것으로 판단된다.

2. 연구과정 및 방법

본 연구는 현재 북한산에 존재하는 있는 법정 등산로가

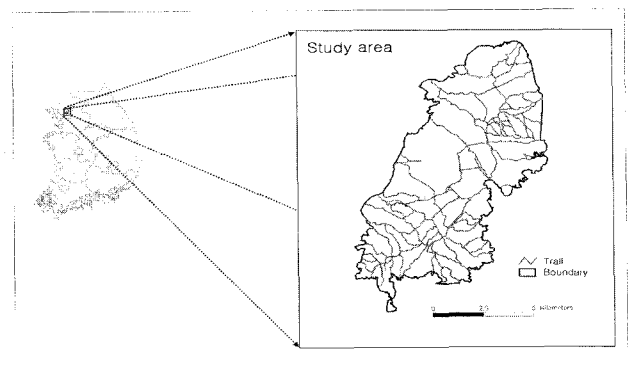


Figure 1. The location of the study area

모두가 개설된 이전 시점과 이후 시점을 가정하여 경관생태학적 차이를 검증하기 위해 수행되었다. 이러한 연구를 진행하기 위해 Figure 2와 같은 연구과정을 통해 공간자료를 구축하고, 분석을 실시하였다. 먼저, 북한산의 산림패치자료를 구축하기 위해 2006년 9월 13일 10시경에 촬영된 Landsat TM 영상(116/34)과 영상처리 프로그램인 PG-STEAMER 4.0(Pixoneer Geomatics Inc., 2007)을 이용하여 토지피복분류도를 작성하였다. 토지피복을 분류하기 이전에 기하보정을 실시하여 영상자료에 포함되어 있는 기하학적 왜곡을 제거하였으며, 영상분류는 감독분류(supervised classification)를, 분류방법은 최대우도법(maximum likelihood)을 선택하였다. 감독분류에 사용될 관심지역으로는 13개의 ROI(Region Of Interest)를 지정하였고, 항목은 도시지역, 농경지, 산림, 수역의 4개로 분류를 실시하였다. 분류결과, 공간해상도 30m의 토지피복분류도가 작성되었으며, 산림면적은 75.1km²로 전체면적의 94.0%를 점하는 것으로, 도시지역과 농경지는 각각 3.5%, 2.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 분류된 토지피복분류도에서 산림을 제외한 지역(도시지역, 농경지 등)은 경관지수 분석에서 계산되지 않기 때문에 산림지역은 '1', 비(非)산림지역은 '0'의 값을 부여한 후, 분석과정에서는 '0'의 값은 제외하도록 설정하였다.

등산로는 국립공원관리공단의 법정 등산로에 관련된 내부자료를 활용하여 기본맵을 구축하였으며, 1:25,000 수치지도 상에서 북한산 국립공원 경계 내부에 포함되는 도로레이어의 중심선을 추출하여 등산로 레이어에 포함되도록 하였다. 완성된 벡터자료 형태의 등산로는 ArcInfo 9.2(ESRI Inc., 2006)에서 공간해상도 30m인 선형그리드로 변환한 후, 도로지역은 '0', 비도로지역은 '1'의 값으로 설정하였다. 이렇게 구축된 산림패치와 등산로를 중첩연산하여 산림패치 내 등산로지역을 산림으로 복원한 지도와 산림패

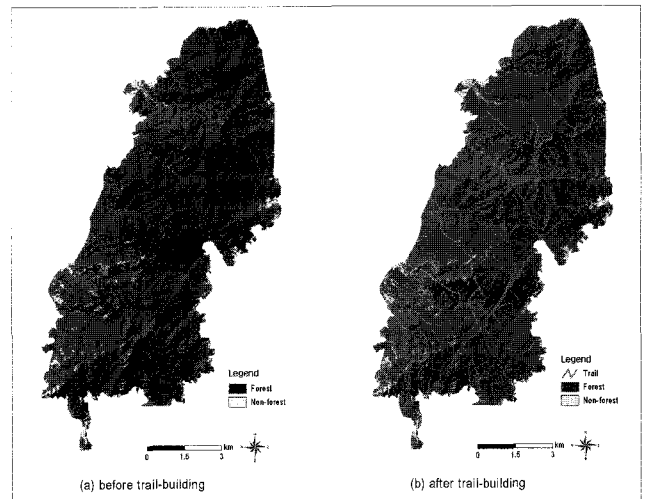


Figure 3. Forest patches of before and after trail-building

치 내 등산로지역을 제거한 지도를 생성하였다(Figure 3). 다음으로 등산로의 개설 전·후의 산림패치자료를 입력자료로 하여 FRAGSTATS Ver. 3.3에서 각각의 경관지수를 산출하였으며, 이를 토대로 등산로 개설에 따른 산림의 파편화 정도를 분석하였다.

한편, 등산로에 의해 파편화된 산림의 경관생태학적 건전성평가 및 훼손된 산림의 관리방안 제시를 위해 북한산 국립공원을 소유역으로 분할하였다. 1:25,000 수치지도로부터 추출한 수치표고모델(DEM)을 기반으로 하여 ArcInfo 9.2의 extension인 ArcHydro 1.2를 활용하여 Figure 4와 같은 방법으로 8개의 소유역을 분할하였다. 소유역에 대한 명명과 일반적 특성은 Table 1과 같다. 다음으로 등산로가 제거된 산림패치자료를 이용하여 소유역별 산림패치를 구축하였고, FRAGSTATS Ver. 3.3을 통해 경관지수를 산출하였다. 최종적으로 소유역별 산림면적률, 등산로밀도, 경관지수 등을 토대로 경관생태학적 건전성평가를 실시하였다. 8개의 소유역에 대해 항목별로 1~4점을 부여하였으

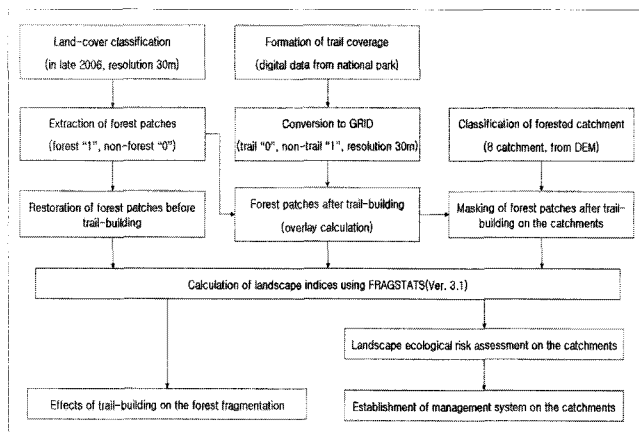


Figure 2. The analysis process of forest fragmentation by trail-building

Table 1. The area and name of each catchment

ID	Catchment name	Area(km ²)	Rate(%)
C1	Angol	5.85	7.32
C2	Songchu	15.29	19.13
C3	Dobong	12.88	16.12
C4	Bukhansan	21.77	27.24
C5	Gucheon	12.70	15.89
C6	Bulgwang	2.59	3.24
C7	Gugi	4.65	5.82
C8	Jeongneung	4.19	5.24
	Total	79.92	100.00

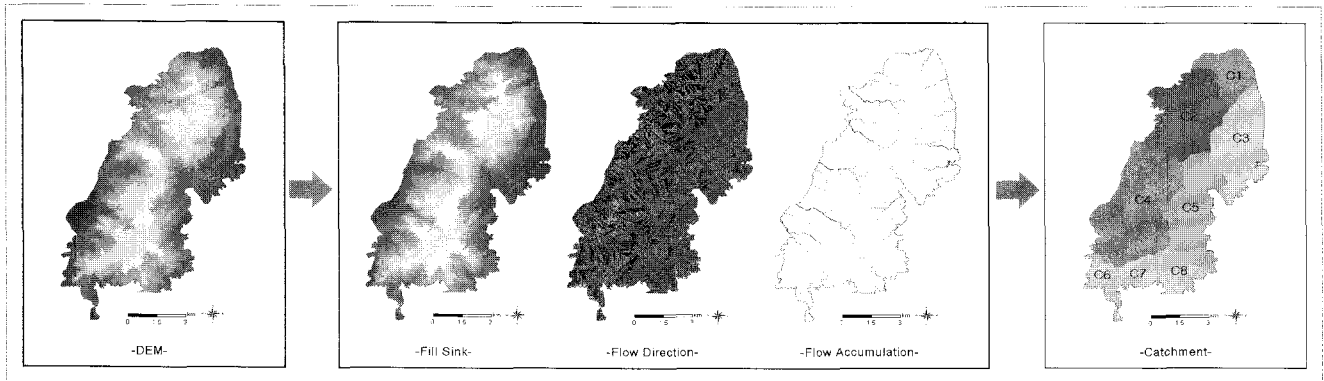


Figure 4. The process of dividing watershed

며, 각 항목을 합산평균하여 종합적인 건전성 정도를 산출하였다.

3. 경관지수의 개념 및 활용

경관지수는 이론적으로 섬생물지리학(island biogeography)을 배경으로 하고 있으며, 생태환경공간의 생물학적 다양성 유지를 위해 절대면적이 중요하다는 원리를 기반으로 경관의 파편화를 계량화한 것이다(국토연구원, 2004). 이러한 경관지수는 인간활동에 의한 토지 및 경관의 변형을 양적인 변화에만 초점을 두지 않고, 형태, 공간적 배치, 연결성 등과 같은 구조적, 기능적 패턴도 동시에 고려할 수 있다는 장점 때문에 여러 학문에서 활용되고 있다.

본 연구에서는 경관지수의 많은 인자들 중 FRAGSTATS의 클래스 수준의 범위에서 인자를 선정하였다. 또한, 등산로에 의한 산림패치의 훼손 여부를 판단하고자 하였기 때문에 크기, 형태, 핵심지역 등 인접패치와의 연결을 고려한 것이 아니라 산림패치 하나만으로 경관생태학적 영향의 분석이 가능한 항목을 선택하였다. 분류 항목은 크기/밀도/가

장자리, 형태, 핵심지역, 근접도의 4개 구분되고, 각 항목을 설명할 수 있는 11개의 경관지수를 선택하였다. 크기/밀도/가장자리에 관련된 지수들은 패치밀도(PD), 최대패치지수(LPI), 평균패치크기(MPA), 가장자리밀도(ED)로 구성되어 있으며, 형태 관련 지수에는 평균형태지수(MSI), 면적가중평균형태지수(AWMSI), 평균프랙탈지수(MFDI), 면적가중평균프랙탈지수(AWMFDI)를 선택하였다. 또한, 핵심지역 관련 지수에는 전체핵심지역(TCA), 핵심지역면적률(CPLAND)이 포함되고, 근접도 관련 지수는 평균근접성지수(MPI)를 선정하였다.

결과 및 고찰

1. 경관생태학적 영향 분석

1) 패치의 크기/밀도/가장자리

패치의 크기/밀도/가장자리는 경관의 구성 정도를 정량화한 지수로서, 경관 변화를 탐지하는데 가장 기본적이고, 중요한 요소이다(윤은주, 2006). 이러한 지수는 북한산의

Table 2. Landscape indices included in the analysis

Item	Index	Description	Limits	Unit
Area/Density /Edge	PD	Patch density	0<PD	No./100ha
	LPI	Largest patch size	0<LPI<100	%
	MPA	Mean patch area	0<MPA	ha
	ED	Edge density	0<ED	m/ha
Shape	MSI	Mean shape index	0<MSI	-
	AWMSI	Area-weighted mean shape index	0<AWMSI	-
	MFDI	Mean Fractal dimension index	1<MFDI<2	-
	AWMFDI	Area-weighted mean fractal dimension index	1<AWMFDI<2	-
Core area	TCA	Total core area	0<TCA	ha
	CPLAND	Core area percentage of landscape	0<CPLAND<100	%
Proximity	MPI	Mean proximity index	-	-

등산로 개설로 인해 변화되는 산림패치의 구성 정도를 정량적으로 평가할 수 있게 한다.

북한산 국립공원의 패치밀도(PD)를 Table 3과 Figure 5(a)를 통해 살펴보면, 등산로가 개설되기 이전에 단위 면적당(100ha) 0.31개의 패치가 존재하였으나 개설 이후 2.04개로 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 등산로 개설로 인해 경관의 쪼개짐이 발생하였으며, 그로 인해 산림경관이 파편화되었음을 간접적으로 확인할 수 있게 한다. 최대패치지수(LPI)는 대상지 내에서 분포하는 산림패치 중에서 가장 큰 패치가 차지하는 비율을 나타내는 지수로, 산림구조의 안정성을 판단할 수 있다. 북한산의 최대패치지수는 99.65%에서 12.54%로 87.11%나 감소된 것으로 나타나 산림의 구조적 안정성이 낮아진 것으로 분석되었다. 또한, 평균패치 크기(MPA)에 있어서도 326.82ha에서 49.03ha로 동일한 감소패턴을 보였다.

한편, 산림 패치의 둘레길이를 면적으로 나눈 가장자리밀도(ED)는 패치의 모양에 많은 영향을 받는다. 면적이 동일하더라도 가장자리에 굴곡이 많으면 그 만큼 둘레길이가 늘어나기 때문에 가장자리의 밀도가 증가하게 되는 것이다. 북한산의 가장자리밀도는 37.67m/ha에서 87.49m/ha로 증가하는 패턴을 보이고 있다. 이는 북한산의 면적은 일정한데, 등산로에 의해 파편화가 발생함으로써 둘레길이가 상대적으로 증가했기 때문이다.

일반적으로 많은 연구에서 파편화로 인해 패치 크기는 감소하고, 그 수와 밀도, 가장자리의 양은 증가하게 된다는 결과를 도출하고 있다(Tinker *et al.*, 1998; 이도원, 2001; 정성관 등, 2002). 이상의 결과를 토대로 북한산의 경우에도 이와 동일한 변화패턴을 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

2) 패치 형태

자연 상태의 산림패치는 불규칙적인 패치 형태를 가지고 있는 반면, 도로 등과 같은 인위적인 개발압력에 의해 생성

된 패치는 기하학적 특성을 가지고 있다. 패치형태지수(MSI)는 입력자료의 특성에 따라 벡터자료인 경우 원을 기준으로, 래스터자료인 경우 패치면적과 동일한 크기의 정사각형을 기준으로 얼마만큼 변형되었는가를 측정하는 지수이다. 완전한 원 또는 사각형의 형태를 취할 경우 패치형태지수는 1이 되며, 지수의 값이 증가할수록 패치의 형태가 점진적으로 복잡하게 변하게 된다(박경훈, 2002). 프랙탈지수(MFDI)는 모양의 복잡성을 측정한 지수로 1에서 2의 값을 가지고, 2에 가까울수록 복잡한 형태를 가진다.

패치 형태를 분석한 Figure 5(b)를 살펴보면, 패치형태지수와 프랙탈지수(MFDI)의 경우 등산로 개발 이전에 각각 1.43, 1.04에서 1.73, 1.08로 0.3, 0.04만큼 증가한 것으로 나타났다. 이는 등산로에 의한 파편화로 인해 패치의 모양이 복잡해졌다는 결론을 도출하게끔 하지만, 패치 면적에 따라 가중치를 부여한 면적가중평균패치형태지수(AWMSI)와 면적가중평균프랙탈지수(AWMFDI)의 경우 각각 7.89, 1.23에서 2.36, 1.12로 값이 감소한 경향을 보이고 있어 면적을 고려할 경우 결코 형태가 복잡해졌다고 판단할 수는 없을 것이다.

3) 핵심지역

핵심지역은 패치의 가장자리와 완충지역을 제외한 내부지역을 지칭하는 것으로, 산림 패치의 구성과 형태를 동시에 반영하여 자연성을 결정하는 지수이다. 여기에 속한 지수들은 패치크기, 모양, 가장자리의 깊이에 많은 영향을 받는 것으로 언급되었다(윤은주, 2006). 분석을 실시하기 위해서는 가장자리의 깊이를 지정하여야 하는데, 본 연구에서는 외곽경계로부터 50m로 설정하였다.

전체핵심지역면적(TCA)은 Figure 6(c)에서와 같이 6580.80ha에서 5186.97ha로 등산로 개설이후 1393.83ha가 감소되는 것으로 분석되었다. 또한, 핵심지역이 전체경관에 서 차지하는 비율을 나타내는 핵심지역면적률(CPLAND)

Table 3. The change values of landscape indices by trail-building

Item	Index	Unit	Before trail-building(A)	After trail-buliding(B)	Change value(B-A)
Area/Density/Edge	PD	No./100ha	0.31	2.04	1.73(↑)
	LPI	%	99.65	12.54	-87.11(↓)
	MPA	ha	326.82	49.03	-277.80(↓)
	ED	m/ha	37.67	87.49	49.83(↑)
Shape	MSI	-	1.43	1.73	0.30(↑)
	AWMSI	-	7.89	2.36	-5.52(↓)
	MFDI	-	1.04	1.08	0.04(↑)
	AWMFDI	-	1.23	1.12	-0.11(↓)
Core Area	TCA	ha	6580.80	5186.97	-1393.83(↓)
	CPLAND	%	87.55	75.04	-12.51(↓)
Proximity	MPI	-	12739.08	945.78	-11793.29(↓)

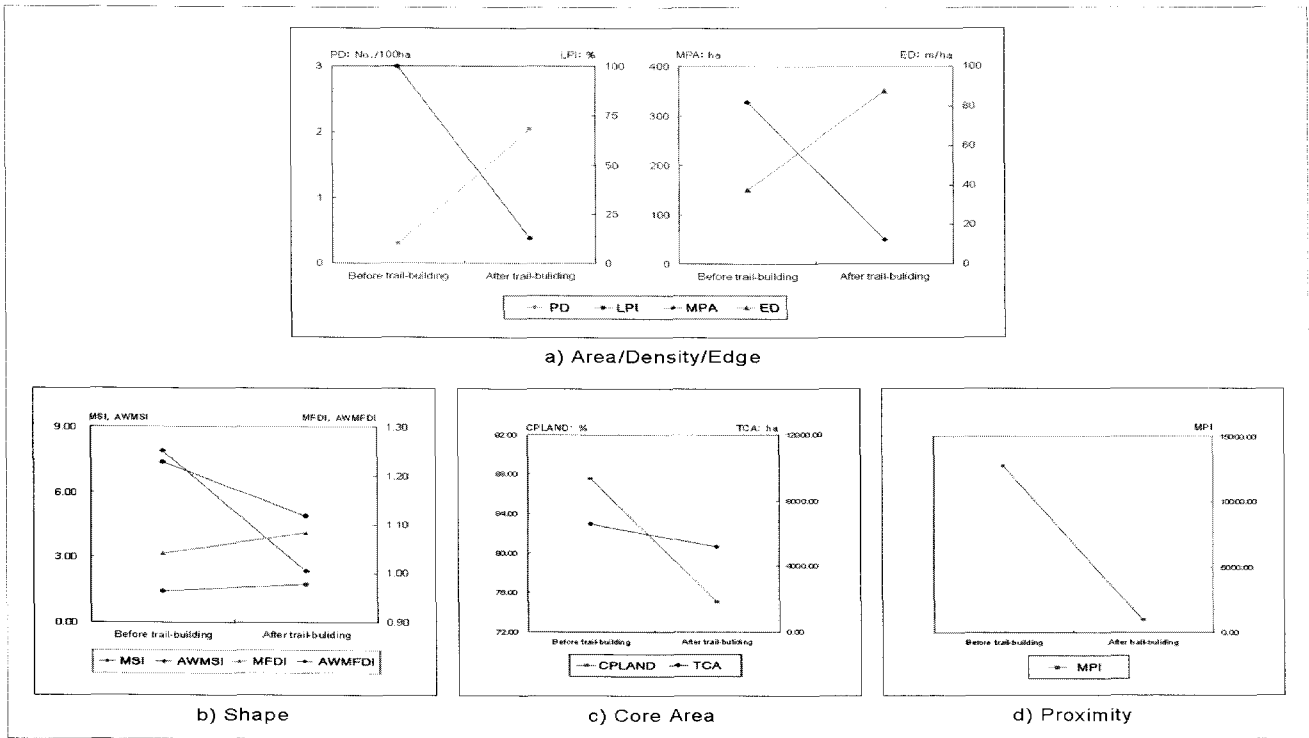


Figure 5. The change patterns of landscape indices by trail-building

도 87.55%에서 75.04%로 감소한 것으로 나타나 비슷한 패턴을 보였다. 이는 최대패치지수와 마찬가지로 등산로 개설에 의해 하나의 큰 패치로 존재하던 산림이 작은 면적의 서로 다른 패치로 분리되어졌기 때문이다.

4) 근접도

패치들 간의 공간적 관계로 측정되는 근접도는 패치들 사이의 거리 또는 일정반경 이내에서 탐지되는 패치들의 면적 등을 기준으로 측정되어진다. 본 연구에서는 이 유형의 지수들 중 동일한 유형의 패치 간에 근접도를 측정할 수 있는 평균근접성지수(MPI)를 활용하였다. 일반적으로 평균근접성지수 계산을 위해서는 탐색반경의 지정이 요구되어지는데, 이는 생태적 목표종에 따라 다르게 적용되고 있다. 본 연구에서는 Corry and Nassauer(2005), 윤은주(2006)의 연구결과를 참고로 소형 포유류를 목표종으로 선정하고, 탐색반경을 100m로 설정하였다.

Table 3과 Figure 5(d)에서 분석결과를 살펴보면, 평균근접성지수는 12739.08에서 945.78로 급격하게 감소되는 패턴을 보였다. 이는 등산로의 개설로 인해 일정거리 내에 상호 연결되어져 있던 산림패치가 서로 양분 또는 소실됨에 따라 인접한 산림 패치들 간의 거리가 증가되었기 때문으로 판단된다. 예를 들면, 일정 거리 내 2개의 패치로 존재하던 산림이 5개의 패치로 분리되었다고 가정하면, 패치사이의

거리는 멀어지는 반면 패치의 면적은 줄어들기 때문에 평균근접성지수가 감소하게 되는 것이다.

2. 경관생태학적 건전성 평가

북한산 국립공원의 경관생태학적 건전성 평가를 실시하기 위해 Figure 6과 같이 소유역별로 산림패치 및 등산로 자료를 구축하였다. 또한, 건전성의 평가항목, 항목별 영향성, 소유역별 현황은 Table 4와 같이 정리하였다. 평가항목은 일반적 항목, 면적/밀도/가장자리, 형태, 핵심지역, 근접도의 5개로 구분하였으며, 평가인자는 11개로 설정하였다. 항목별 영향성의 경우 일반적 항목의 산림면적률은 경관생태학적 건전성에 긍정적 영향(+)을, 등산로밀도는 부정적인 영향(-)을 미치는 것으로 판단하였다. 크기/밀도/가장자리 항목은 산림면적이 넓고, 단편화되지 않을수록 구조적 안정성이 높다고 할 수 있어 최대패치지수, 평균패치크기는 긍정적 영향으로, 패치밀도와 가장자리밀도는 부정적인 영향으로 설정하였다(윤은주, 2006). 형태 항목의 평균형태지수와 평균프랙탈지수는 모두 긍정적인 영향으로 고려하였으며, 핵심지역 항목의 경우에도 핵심지역의 면적이 넓을수록 안정적 구조를 취하고 있어 두 인자 모두를 긍정적인 영향으로 판단하였다. 근접도 항목의 평균근접성지수는 일정거리 내 동일유형의 패치면적이 클수록 건전성이 높다고 판단

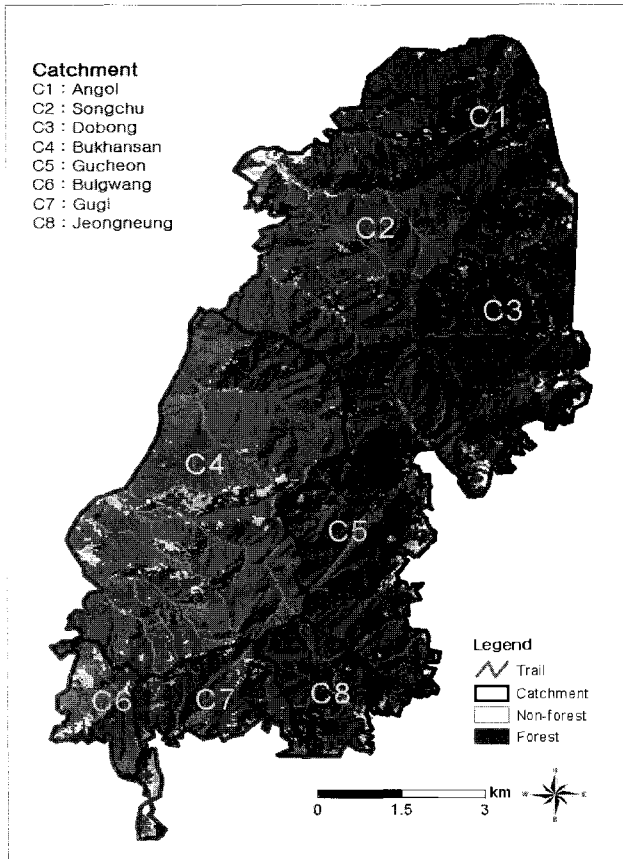


Figure 6. Spatial distribution of forest patch on each catchment

하여 긍정적인 영향으로 설정하였다.

다음으로 Table 4의 평가항목별 현황을 토대로 Table 5와 같이 소유역별 건전성 평가를 실시하였다. 평가 인자별 건전성이 가장 높은 두 개의 유역을 4점으로, 다음 2개의 유역을

차례로 각각 3, 2, 1점을 부여하였다. 인자별 건전성 평가 후 항목별 평균값을 구하였으며, 최종적으로 종합적인 경관 생태학적 건전성은 5개 항목의 합산평균으로 산출하였다.

평가 결과를 살펴보면, 산림면적률과 등산로밀도가 포함된 일반적 항목에서는 송추유역이 4.0점으로 가장 양호한 건전성을 가지는 것으로 나타났다. 이는 송추유역은 송추남능선, 오봉능선 등이 있으나, 산림면적률이 89.95%로 양호하고 등산로밀도가 5.35로 타유역에 비해 아주 낮게 나타났기 때문이다. 반면, 정릉유역은 형제봉능선, 태성능선, 칼바위능선 등이 개설되어 있으며, 좁은 유역면적에 비해 높은 등산로밀도를 가지는 것으로 나타나 건전성이 가장 낮은 것으로 분석되었다.

경관지수의 분석결과로 평가하는 크기/밀도/가장자리 항목의 경우 북한산유역이 가장 양호한 것으로 분석되었다. 북한산유역의 경우 효자리계곡을 주변으로 한 커다란 산림 패치가 존재하고 있으며, 패치밀도 및 가장자리밀도가 모두 낮게 나타났기 때문이다. 형태 항목에서는 안골유역과 송추유역이 4.0점으로 가장 높은 건전성을 가지는 것으로 분석되었다. 북한산유역의 경우 범골능선, 사패능선, 화룡능선 등과 같이 일부의 등산로가 존재하고 있지만, 패치의 형태적 측면에서 다양한 굴곡을 가지고 있는 것으로 나타나 높은 건전성을 가진 것으로 평가되었다. 반면, 정릉유역은 등산로밀도가 높고, 등산로에 의해 파편화된 패치형태가 단순해 가장 낮은 1.0점의 점수로 분석된 것이다.

한편, 핵심지역 항목에서는 송추유역과 북한산유역이 가장 높게 평가되었는데, 이는 등산로에 의해 파편화가 적게 발생되었으며, 커다란 산림패치가 존재하고 있기 때문이다. 또한, 마지막 항목인 근접도의 경우에도 송추유역과 북한산유역에서 가장 높은 점수로 평가되어 경관생태학적 건전성이 높은 것으로 나타났다. 반면, 불광유역과 구기유역은 1점으로 가장 낮은 건전성을 가지는 것으로 평가되었다.

Table 4. Items and factors for the integrity assessment on each catchment

Assessment Item			Catchment							
Item	Factor	Effect	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
General item	Forest rate	+	87.87	89.95	84.72	87.48	85.85	78.47	78.77	72.98
	Trail density	-	8.39	5.35	10.98	7.84	10.25	13.31	10.17	11.19
Area/Density/Edge	PD	-	2.14	1.53	2.75	1.94	5.50	5.40	6.55	4.45
	LPI	+	36.38	30.45	21.91	33.62	18.26	25.91	35.38	37.10
	ED	-	95.70	64.47	106.95	84.31	95.22	183.32	145.78	100.13
	MPA	+	46.73	65.50	36.37	51.47	18.17	18.51	15.26	22.47
Shape	MSI	+	1.77	1.45	1.77	1.73	1.40	1.99	1.50	1.39
	MFDI	+	1.09	1.05	1.09	1.08	1.07	1.11	1.06	1.05
Core Area	TCA	+	373.86	1114.38	762.12	1446.48	816.75	103.50	218.61	261.00
	CPLAND	+	72.72	81.02	69.84	75.95	74.93	50.84	59.68	72.59
Proximity	MPI	+	419.98	996.18	542.68	830.50	434.27	187.01	178.64	311.81

Table 5. The results of the integrity assessment on each catchment

Assessment Item		Catchment							
Item	Factor	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
General item	Forest rate	4.0	4.0	2.0	3.0	3.0	1.0	2.0	1.0
	Trail density	3.0	4.0	2.0	4.0	2.0	1.0	3.0	1.0
	Mean(A)	3.5	4.0	2.0	3.5	2.5	1.0	2.5	1.0
Area/Density/Edge	PD	3.0	4.0	3.0	4.0	1.0	2.0	1.0	2.0
	LPI	4.0	2.0	1.0	3.0	1.0	2.0	3.0	4.0
	ED	3.0	4.0	2.0	4.0	3.0	1.0	1.0	2.0
	MPA	3.0	4.0	3.0	4.0	1.0	2.0	1.0	2.0
	Mean(B)	3.3	3.5	2.3	3.8	1.5	1.8	1.5	2.5
Shape	MSI	4.0	2.0	3.0	3.0	1.0	4.0	2.0	1.0
	MFDI	4.0	1.0	3.0	3.0	2.0	4.0	2.0	1.0
	Mean(C)	4.0	1.5	3.0	3.0	1.5	4.0	2.0	1.0
Core Area	TCA	2.0	4.0	3.0	4.0	3.0	1.0	1.0	2.0
	CPLAND	3.0	4.0	2.0	4.0	3.0	1.0	1.0	2.0
	Mean(D)	2.5	4.0	2.5	4.0	3.0	1.0	1.0	2.0
Proximity	MPI	2.0	4.0	3.0	4.0	3.0	1.0	1.0	2.0
	Mean(E)	2.0	4.0	3.0	4.0	3.0	1.0	1.0	2.0
Total Mean ((A+B+C+D+E)/5)		3.1	3.4	2.6	3.7	2.3	1.8	1.6	1.7

이상의 항목별 분석결과를 토대로 북한산 국립공원의 종합적인 건전성을 평가한 결과, 북한산유역이 3.7점으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 송추유역, 안골유역이 각각 3.4점, 3.1점으로 높은 점수로 평가되었다(Figure 7). 이들 유역은 등산로밀도가 낮고, 파괴되지 않은 커다란 산림패치를 가지고 있기 때문이다. 따라서 이 지역에서는 추가적인 등산로의 개설을 금지하고, 산림의 건전성을 보존하고, 생물종다양성을 증가시키기 위한 생태학적 산림관리가 필요할 것으로 판단된다. 반면, 구기유역, 정릉유역, 불광유역의 경우 각각 1.60점, 1.70점, 1.75점으로 평가되어 최하위 그룹

으로 나타났다. 이는 등산로밀도가 높게 나타났으며, 이로 인해 산림의 파편화가 발생하고, 산림패치들 간의 거리가 증가되었기 때문이다. 따라서 이들 유역에서는 불필요한 등산로를 산림으로 복원하고, 산림 휴식년제, 휴식월제 등을 도입하여 훼손된 산림에 대한 복원 및 식생회복도 증가 등과 같은 산림관리계획을 수립해야 할 것으로 판단된다(이혜선 등, 1999). 또한, 단절이나 훼손이 심각하게 진행된 지역에서는 생태이동통로를 조성하여 서식처 단편화에 민감한 종들을 효과적으로 보전해야 할 것이다(Beier and Noss, 1998).

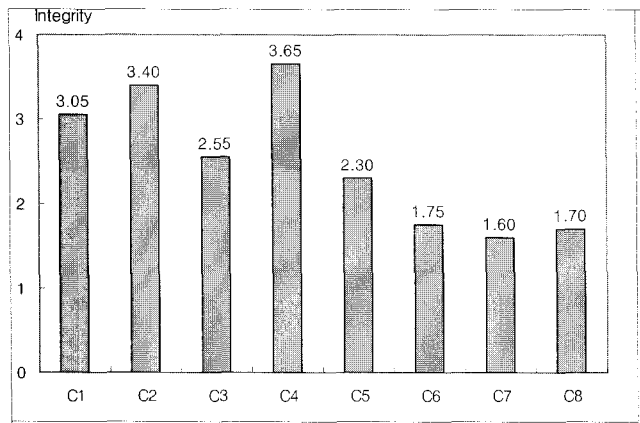


Figure 7. The landscape ecological integrity on each catchment

결론

본 연구는 북한산 국립공원을 대상으로 등산로가 산림경관의 파편화에 미치는 영향을 분석하고, 소유역별 경관생태학적 건전성 평가를 실시하여 산림경관의 훼손정도를 파악하였다. 등산로 개설 이후의 경관생태학적 영향 분석 결과, 크기/밀도/가장자리 항목에서 패치의 크기는 뚜렷한 감소패턴을 보였으며(LPI, MPA), 패치밀도와 가장자리밀도는 증가하는 경향으로 분석되었다(PD, ED). 이는 등산로의 개설로 인하여 하나의 커다란 산림패치가 파편화되었기 때문이다. 패치형태 항목을 살펴보면, 패치형태지수와 프랙탈지수는 다소 증가하는 것처럼 보였으나(MSI, MFDI), 패치면적에 따라 가중치를 부여한 면적가중평균패치형태지수와 면

적가중평균프레탈지수의 경우 감소하는 패턴을 보였다(AWMSI, AWMFDI). 핵심지역에서는 핵심지역의 면적이 뚜렷하게 감소하는 경향이 나타나 큰 패치로 존재하던 산림이 서로 다른 패치로 분리되었음을 확인하였고(TCA, CPLAND), 근접도 항목에서는 평균근접성지수가 급격하게 감소되어 산림 패치 간의 거리가 증가되었음을 판단하였다(MPI).

다음으로, 산림면적을 및 등산로밀도, 경관지수 등을 이용하여 경관생태학적 건전성을 평가하였다. 평가 결과를 살펴보면, 산림면적률과 등산로밀도가 포함된 일반적 항목의 경우 송추유역이 4.0점으로 가장 높은 건전성을 가졌으며, 정릉유역이 가장 낮게 평가되었다. 크기/밀도/가장자리 항목에서는 효자리계곡을 중심으로 커다란 산림패치가 존재하는 북한산유역이 가장 높게 평가되었으며, 형태 항목에서는 송추유역이 4.0점으로 가장 높게 나타났다. 또한, 핵심지역과 근접도 항목에서는 송추유역과 북한산유역이 모두 4.0으로 가장 높은 점수로 분석된 반면, 불광유역과 구기유역은 1.0점으로 가장 낮은 건전성을 가지는 것으로 나타났다. 최종적으로 종합적인 건전성은 북한산유역이 3.7점으로 가장 높게 나타났으며, 구기유역이 1.6점으로 가장 낮게 평가되었다.

이상의 결과를 토대로 볼 때, 등산로의 개설은 산림패치를 파편화하는 주요한 원인이 되고 있는 것으로 생각되며, 이로 인해 산림의 경관생태학적 건전성은 낮아지고, 생태학적 위험성이 커지는 것으로 판단된다. 이에 산림의 경관생태학적 보전과 관리를 위해서는 불필요한 등산로 개설을 금지하고, 휴식년제, 휴식월제 등의 도입을 통한 산림의 생태학적 복원이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

한편, 본 연구는 경관지수 분석을 위해 등산로를 공간자료화하는 과정에서 토지피복분류도에 의해 결정된 30m 공간해상도를 그대로 활용하였다는 점과 유역분할 시 유역경계가 등산로와 겹쳐져 정확히 구분되지 않았다는 한계를 가지고 있습니다. 따라서 향후에는 IKONOS, Quickbird 등과 같은 고해상도 영상 및 충분한 현장조사를 통한 정확도 높은 분석이 필요할 것으로 판단된다.

인용문헌

- 국립공원관리공단(2002) 국립공원 탐방로관리 종합계획.
- 국립공원관리공단(2007) 국립공원기본통계.
- 국토연구원(2004) 공간분석기법. 한울아카데미, 서울.
- 김종원(2004) 산림·조경·생태·환경을 위한 식물사회학적 녹지 생태학. 월드사이언스, 서울.
- 박경훈(2002) GIS 및 RS 기법을 활용한 낙동강 유역의 통합환경평가. 경북대학교 대학원 박사학위논문.
- 박경훈, 정성관, 이현택, 오정학, 김경태(2004) 금호강 유역 산림의 경관생태학적 패턴분석. 한국지리정보학회지 7(3): 22-34.
- 박은영(2004) 경관지수를 이용한 하천 수질 예측에 관한 연구. 이화여자대학교 과학기술대학원 석사학위논문.
- 윤은주(2006) 서울시 도시녹지 평가를 위한 경관지수의 민감성 및 변별력 분석. 서울시립대학교 대학원 박사학위논문.
- 이도원(2001) 경관생태학-환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리. 서울대학교 출판부.
- 이혜선, 이인성, 윤은주(1999) 인공위성 영상자료를 이용한 북한산 국립공원 휴식년제도의 효과 분석. 한국환경생태학회: 학술대회지 77-80.
- 정성관, 박경훈, 오정학(2002) 낙동강 유역의 선형개발사업이 산림 단편화에 미치는 영향. 환경영향평가 11: 117-127.
- 정성관, 오정학, 박경훈(2005) 경관지수를 활용한 낙동강 유역 산림 경관의 시계열적 패턴 분석. 한국지리정보학회지 8(2): 145-156.
- 최원영, 정성관, 오정학, 유주한(2005) 경관지수와 생태계용역가치를 활용한 대구광역시권 경관의 구조적, 기능적 변화 분석. 한국지리정보학회지 8(4): 102-113.
- Baker, W.L. and Y. Cai(1992) The role programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographic information system. Landscape Ecology 7: 291-302.
- Beier, P., and R.F. Noss.(1998) Do habitat corridors provides connectivity. Conservation Biology 12(6): 1241-1252.
- Corry, R.C. and J.I. Nassauer(2005) Limitations of using landscape pattern indices to evaluate the ecological consequences of alternative plans and designs. Landscape and Urban Planning 72: 265-280.
- Forman, T.T.T.(1995) Land Mosaics: the Ecology of Landscape and Regions. Cambridge University Press.
- Herzog, F., A. Lausch, E. Müller, H.H. Thulke, U. Steinhardt and S. Lehmann(2001) Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation. Environmental Management 27: 91-107.
- Jones, K.B., A.C. Neale, M.S. Nash, R.D. Van Remortel, J.D. Wickham, K.H. Riitters and R.V. O'Neill(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 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.

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: 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.