

경관지수를 이용한 지역생태계 평가*

- 용인시를 대상으로 -

조 용 현

서울시정개발연구원

Evaluation of regional ecosystem by landscape ecological measure*

- Case study in Yongin City -

Cho, Yong-Hyeon

Seoul Development Institute

Abstract

In the study, the feasibility of landscape ecological measures as indices system for interpretation and evaluation of regional ecosystem was investigated through the application to Yongin City.

Each patch metrics well showed the class structure and supplemented the class metrics, and class metrics also showed well the landscape structure and supplemented the landscape metrics. And the change analysis through subtraction of two set of landscape ecological measurement in two point of time showed the dynamic trends very well. One of the dynamic trends in Yongin City was the rapid fragmentation.

While there was no landcover data on Yongin City, using Landsat data and remote sensing techniques were proved to be efficient and effective to produce the digital landcover data.

Key words : landscape indices, landscape ecology, change, evaluation, remote sensing

I. 서 론

세계적으로 생물다양성의 보존이 커다란 이슈

로 제기되고 있음에 반해서 생물다양성 보존을 위한 대부분의 과거와 현재의 노력들이 종, 야생, 개체군 등에 집중되어 있다. 그러나 근본적으로

* 본 논문은 환경부 후원으로 국가선도기술개발 과제로서 수행되고 있는 '지속가능한 개발을 위한 생태계 지표 개발' 연구의 성과물임을 밝힙니다.

중 수준에서는 기존의 중에 근거한 다양성이라는 작은 조각밖에는 다룰 수 없기 때문에, 이보다 상위의 생태계 혹은 경관 수준에 눈을 돌려야 한다. 또한 대다수의 생물다양성 보존을 위해서는 생태계 수준은 물론이고 보다 상위의 경관 수준을 평가하고 계획하는 것이 필요하다(Franklin, 1993).

한편 공간상의 요소와 이들의 배치는 토지이용 계획자들에게 있어서 기본적인 관심사항이고, 특히 조경에서 경관계획(Landscape Planning)은 자연형성과정 및 주요 문화자원과 자연자원을 보호하며, 경합되는 토지이용을 조화시키는 것에 관한 활동(Zube, 1986), 또는 경관특성, 경관형성과정, 경관체계에 귀속된 개발과 토지이용과 관련된 다양한 활동(Marsh, 1983)으로 정의되는 데서 알 수 있듯이 상당히 중요하게 다루어지는 주제이다.

그러나 우리는 아직 경관에 대해서 충분한 지식을 가지고 있지 못할 뿐만 아니라 시계열적인 변화의 양상에 대해서는 더욱 모르고 있다(Romme & Knight, 1984). 외국에서도 경관의 변화에 대한 계량적 연구는 매우 드물다(Romme & Knight, 1984).

이 연구의 목적은 경관생태학의 관점에서 지역 생태계의 현황을 해석하고 평가하는 지표로서 경관지수의 활용가능성을 검토하는 것이다. 구체적으로는 용인이라는 자연환경이 양호한 지역이 도시개발에 노출되어 개발과 보존의 갈등이 첨예하게 나타나는 지역에서 지속 가능한 개발을 위한 적절한 행위대안을 도출해줄 수 있는 손쉬운 생태계 지표를 설정하고 이 지표를 이용한 평가 방법을 개발하는데 목적이 있다.

II. 연구사

경관생태학은 생태학과 자연지리의 접목에서 출발하였으며, 경관생태학이라는 용어는 최초로

독일의 Troll(1939)에 의해서 사용되었다. 경관생태학의 발달에는 연구대상의 특성상 항공사진의 보급이 기여한 바가 크다고 할 수 있다. 네델란드 펠트호벤에서의 최초 국제 모임(1981), 이어서 러시아 피에스타니에서의 국제학회 설립(1982), 최초 국제학회지 발간(1987) 등의 일련의 진전에서 알 수 있듯이 경관생태학은 최근 10년 사이에 토지이용계획과 조경에 유용성을 확보한 학문이다.

이처럼 경관생태학이 최근에 발달을 보게 된 배경으로는 그 어느 때보다도 생물서식지 손실과 고립, 파편화(크고 완전한 서식지를 작게 분산), 해체(서식지 분리), 구멍(안정된 서식지에 구멍), 위축(서식지의 크기 축소), 소멸(서식지가 사라짐) 등의 일련의 생태계 훼손이 극대화되고, 이에 대한 처방 모색의 필요성이 보편적으로 인식된 것을 들 수 있다.

경관생태학의 성격을 약술하면, 생태학이 일반적으로 생물과 환경간의 상호작용을 연구하는 데 반해, 경관생태학은 특히 경관을 대상으로 한 지역에서 상이한 공간단위를 지배하는 생물학적 관계에 관한 학문(Troll, 1939)으로 정의되며, 이때 경관은 복수의 특정 생태계와 토지이용이 반복되는 수 킬로미터에 걸친 모자이크로 정의된다. 일반 생태학이 동질적 공간단위 안에서 일어나는 식물, 동물, 대기, 물, 토양의 수직적 관계를 연구하는데 반해, 경관생태학은 단일 생태계보다 더 큰 공간적 단위를 설정하고, 복수의 생태계 사이의 생태적 현상을 수평적으로 연구하는 특성을 가진다.

Dramstad 등(1996)은 경관생태학의 주요 특징을 경관의 구조, 기능, 변화에 초점을 두고 연구하며, 여기서 구조란 경관요소의 공간적 패턴 즉, 생태계의 크기, 형태, 수, 종류, 배열과 관련하여 에너지, 물질, 생물 종의 분포를 지배하는 구분되는 생태계 혹은 요소 사이의 공간적 관계를 지칭하고, 기능이란 공간적 요소들 사이의 상호작용 즉, 구성 생태계 사이의 생물, 물, 바람, 물질, 에너지

의 이동과 흐름을, 그리고 변화란 시간에 따른 생태적 모자이크의 구조와 기능의 변경이라고 지적하였다. 그리고, 경관생태학에서의 문제인식은 특히 공간적 패턴, 모자이크 변경의 생태계 영향, 토지 개발 방안 등에 두어지고 있다고 하였다.

경관생태학의 원칙들은 대개 패치(patch), 통로(corridor), 모자이크(mosaic)의 3부분으로 목록화되어 설명되고 있고, 패치의 일부분으로서 가장자리(edge)와 패치의 특수형태로서 매트릭스(matrix)로 부연 설명되는데, 패치는 섬처럼 남아 있는 동식물 서식처, 통로는 선형적 특성을 갖는 경관요소, 모자이크는 상호작용하는 패치들의 결합, 가장자리는 패치의 일부로서 내부(또는 핵심지)와 구별되는 외곽부, 매트릭스(matrix)는 패치 중 가장 광범위하게 분포하고 가장 잘 연결된 경관 요소 유형으로 정의된다.

관련 연구로서 Dramstad 등(1996)은 조경과 토지이용계획에서 적용가능한 경관생태학의 기본원칙을 정리하고, 활용사례를 정리하였고, Romme과 Knight(1984)는 경관다양성의 역사적 양식을 묘사하기 위해서 집중적인 생태조사를 실시하고, 종다양성 측정수단과 유사한 세 가지 다양성지수를 사용하였으며, 이를 1778년부터 1978년도까지 200년간의 경관을 재구성하는 데 사용한 바 있다.

경관지수의 산출과 관련하여서는 McGarigal과 Barbara(1994: 1995)는 'Fragstats'라는 경관 구조와 관련된 각종 공간통계 수치를 계산하는 프로그램을 개발하였고, Berry 등(1997)은 경관 지수를 산출하기 위해 개발된 프로그램인 Fragstats에 GIS와 삼림식생변화를 모의하는 프로그램(FVS: Forest Vegetation Simulator)과의 연결을 소개한 바 있다. Lathrop와 Bognar(1998)는 개발 압력 때문에 삼림보전 갈등이 있는 지역을 대상으로 GIS와 경관생태학적 원칙을 적용하여 지역별 보전 우선순위를 설정하였다.

한편 국내에서는 심우경 등(1998: 1999)이 천안시를 대상으로 위성영상을 활용하여 토지이용의

변화와 녹지구조 변화를 연구한 바 있으며, 안동만 등(1998)이 서울시 주변을 대상으로 경관이질성 변화분석기법 개발에 관한 연구를 수행하였으며, 이응경(1998)은 경관지수에 의한 한강 하류지역 삼림 파편화 추세를 분석하였다. 경관생태학적 접근을 시도한 국내사례로서 박종화 등(1998)은 하천의 경관특성 등을 기초로 GIS 분석기법을 활용하여 어류 종다양성 분포 예측 기법을 개발하였으며, 박종화(1992)는 1980년대 서울의 도시식생의 변화를 평가하기 위해서 위성자료를 이용하였고, 측정수단으로서 녹색식생지수(GVI)를 이용한 바 있다. 또한 박종화(1991)는 도시림의 현황을 평가하기 위해서 위성이미지와 녹색식생지수(GVI)를 이용한 바 있으며, 이규성(1998)은 인공위성 영상해석 기법을 이용하여 현행 녹지자연도 평가를 부분적으로 보완하는 방안에 관하여 연구하였다.

이상의 국내 사례를 살펴볼 때 아직 생태계 평정 및 평가 사례가 매우 적으며, 더욱이 경관생태학에 근거한 평정 또는 평가 사례가 극히 적다. 아울러 생태계 평가에 선행되어 이루어져야 할 생태계 유형화 연구가 미흡한데, 이는 외국의 다양한 생태계 유형화 시도와 다양한 평가시도와 대비된다 하겠다.

그러나 앞으로의 연구 여건을 살펴보면 국내에서는 자연환경보전법(1997)에서 생태계 평가를 통해 전국단위의 축척 1/50,000 이상의 생태자연도 작성을 의무화하고(제2조, 제34조), 지방자치단체들도 생태자연도 작성(제34조)과 시·도생태계보전지역 지정을 가능토록 하였으며(제30조), 서울시에서는 10년 단위 생태조사와 축척 1/25,000이상의 생태자연도 작성을 의무화하고 있다(서울시자연환경보전조례, 1999). 이 밖에도 환경정책기본법에 의해 매 10년마다 환경보전을 위한 장기종합계획 수립을 의무화하고 있다. 이와 같은 국가 시책은 경관생태학의 연구배경과도 일맥상통하며, 경관생태학의 연구가 활성화되는 계

기가 될 것이다. 아울러 최근에 국내에서 시도되고 있는 3가지 연구사업이 있는데, 즉 전국 또는 지자체 단위의 기초조사와 이를 DB로 통합 구축하고, 최종적으로 이를 평가자료로 활용하여 생태계를 평가하는 일련의 과정이 병렬적으로 수행되고 있다. 구체적으로 환경부의 전국 자연환경 기초조사 및 GIS DB 구축, 서울시의 비오통합환경 조사 및 GIS DB 구축 등의 연구를 계기로 국내에서도 경관생태학 연구가 활성화 될 수 있을 것으로 기대된다.

III. 연구의 방법

연구접근법으로는 사례연구를 택했으며, 분석방법으로는 위성 이미지에 의한 원격탐사와 함께 경관지수라는 개념을 활용하였고, 이를 계산하고 해석하는 방법을 사용하였다. 분석의 방법은 시기적 차이가 있는 두 영상의 토지피복 분류결과로 도출된 토지피복도에 대하여 다양한 경관생태학적 지수를 산출하고, 이를 생태계 지표로 활용가능성을 검토하는 것이었다.

분석과정에서는 Arc/Info에서 운영되도록 개발된 경관지수 산출 전문 프로그램인 FRAGSTATS*ARC v.2.0를 사용하였고, 여기에 필요한 입력 데이터의 생성을 위해 위성영상 분석프로그램인 ER Mapper 5.5를 사용하였다. 분석에 사용된 자료는 1991년 10월 6일과 1996년 9월 1일의 Path 116, Row 34의 Landsat TM 위성영상 자료였다.

대상지는 한국 내 최대의 도시인 서울시에 인접하여 난개발의 폐해가 노출되고 사회적 관심과 주목을 받고 있는 용인시를 대상으로 하였으며, 분석의 공간적 경계도 용인시 행정경계를 기준으로 하였다. 연구의 대상이 되는 변화현상의 시간적 범위는 1991년 10월 6일부터 1996년 9월 1일까지 5년간의 기간으로 하였다. 내용적 범위는 경관

지수를 이용한 생태계 평가 사례 검토, 평가 지표 선정, 평가 모델의 설정에 국한하였다.

연구과정은 개념 정의 및 사례 검토, 지수의 검토(Patch 지수, Class 지수, Landscape 지수), 사례 적용 및 지수의 해석, 경관 지수의 기회성과 한계 검토를 실시하였다.

지수의 검토에서는 공간 규모 관련 지수와 평가 속성 관련 지수를 구분하여 경관 구조를 대변하는 다양한 지수를 검토하였다. 공간 규모와 관련해서는 패치, 계급, 경관 단위로 구분하여 검토하였는데, 여기서 패치는 경관을 구성하는 최소 공간단위를 일컬으며, 계급은 경관을 구성하는 최소 공간단위인 패치의 다양한 속성 중 선택된 일정 속성이 동일한 패치들의 집단을 지칭하고, 경관은 이들 패치와 계급을 포괄하는 전체를 지칭한다.

평가 속성에 따라 지수를 1) 면적 지수, 2) 패치 밀도, 크기, 패치 변이 지수, 3) 가장자리 지수, 4) 형태 지수, 5) 핵심지 지수, 6) 근접성 지수, 7) 다양성 지수로 구분한 후, 각 범주에 속하는 다양한 경관지수의 정의와 계산식을 검토하였다.

- 면적 지수(Area metrics): 면적(Area), 유사도(Landscape similarity index), 계급 면적(Class area), 경관 백분율(Percent of landscape), 최대 패치 지수(Largest patch index) 등이 포함됨
- 패치 밀도(Patch density), 크기(Size), 패치 변이(Variability): 패치 수(Number of patches), 패치 밀도(Patch density), 평균 패치 크기(Mean patch size), 패치 크기 표준편차(Patch size standard deviation), 패치 크기 분산계수(Patch size coefficient of variation) 등이 포함됨
- 가장자리(Edge metrics): 둘레(Perimeter), 가장자리 대비 지수(Edge contrast index), 총 가장자리(Total edge length), 가장자리 밀도(Edge density), 대비 가중 가장자리 밀도(Contrast weighted edge density), 총 가장자리 대비지수(Total edge contrast index), 평균 가장자리 대

- 비지수(Mean edge contrast index), 면적 가중 평균 가장자리 대비지수(Area-weighted mean edge contrast index) 등이 포함됨
- 형태(Shape metrics): 형태지수(Shape index), 프랙탈 디멘전(Fractal dimension), 평균 형태지수(Mean shape index), 면적 가중 평균 형태지수(Area-weighted mean shape index) 등이 포함됨
 - 핵심지(Core area metrics): 핵심지 면적(Core area), 핵심지 수(Number of core areas), 핵심지 면적 지수(Core area index), 핵심지 백분율(Core area percent of class), 총 핵심지 면적(Total core area), 핵심지 수(Number of core areas), 핵심지 밀도(Core area density), 패치당 평균 핵심지 면적(Mean core area per patch), 패치 핵심지 표준편차(Patch core area standard deviation), 패치 핵심지 분산계수(Patch core area coefficient of variation), 분리된 핵심지 표준편차(Mean area per disjunct core), 분리된 핵심지 분산계수(Disjunct core area standard deviation), 총 핵심지 지수(Total core area index), 평균 핵심지 지수(Mean core area index) 등이 포함됨
 - 근접성(Nearest-neighbor metrics): 최근접 패치와의 거리(Nearest-neighbor distance), 근접성 지수(Proximity index), 평균 최근접지 거리(Mean nearest-neighbor distance), 최근접지 거리 표준편차(Nearest-neighbor standard deviation), 최근접지 거리 분산계수(Nearest-neighbor coefficient of variation), 평균 근접성 지수(Mean proximity index) 등이 포함됨
 - 다양성(Diversity metrics): 섀넌 다양성지수(Shannon's diversity index), 심프슨 다양성 지수(Simpson's diversity index), 변형 심프슨 다양성 지수(Modified Simpson's diversity index), 패치 부유도(Patch richness), 패치 부유밀도(Patch richness density), 상대 부유도(Relative patch richness), 섀넌 균제도(Shannon's

evenness index), 심프슨 균제도(Simpson's evenness index), 변형 심프슨 균제도(Modified Simpson's evenness index) 등이 포함됨

경관구조를 평가하는 시험적용과정에서는 일련의 과정을 거치게 되는데, 우선 원시자료가 생성되어야 하고, 이어서 이 원시자료를 이용하여 공간통계 분석 프로그램에 의한 지수 산출과정이 수행되어야 한다.

원시자료 생성 과정 중 토지피복 분류는 경관지수 산출에서 가장 중요한 부분으로서 본 연구에서는 토지피복 분류 정보로서 공개된 정보가 없었기 때문에 위성영상 분류를 통해 토지피복 분류 정보를 획득하였으며, '91년 10월 6일과 '96년 9월 1일의 두 위성영상을 사용하였다. 원시자료 생성 과정을 거친 후 최종적으로는 이들 생성된 토지피복 분류 정보로부터 적정 규모의 경관요소(패치) 경계를 생성하였다. 지수 산출과정에서는 Fragstats Arc 프로그램을 이용함으로써 상기한 다양한 경관구조 지수들을 공간규모별(패치, 계급, 경관)로 구분하여 산출하였다.

상기 평가 지표를 용인시에 시험적으로 적용하였다. 경관의 공간적 변이뿐만 아니라 시간적 변이가 평가 지표에 어떻게 반영되는가를 함께 살펴보기 위해서, 두 시점의 경관구조 지수를 각각 산출하였고, 이를 상호 비교하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 토지피복 분류에 의한 원시자료의 생성

피복분류의 유형을 설정과 관련하여 볼 때, Odum(1995)은 경관을 개발환경, 경작환경, 자연환경으로 구분하고, 이들을 다시 각각 연료동력계, 보조태양동력계, 기본태양동력계로 구분할 수 있음을 강조한 바 있는데(Odum, 1993), 본 연구에서는 이를 근거로 토지피복상태를 개발지(시가

화지역, 나지), 경작지, 자연환경(산림, 초지, 물)으로 구분하여 총 6가지로 분류하였다.

분류 영상등록, 비감독분류, 감독분류를 실시하였으며, 이 과정을 두 개의 Landsat 위성영상('91. 10. 6, '96. 9. 1)에 대해 각각 실시하였다. 비감독분류에서는 위성영상의 밴드별 반사치 자료 값에

의해서만 분류를 실시하였으며, 감독분류에서는 비감독분류 결과에서 지피정보가 확인되는 동질적 지역중 지피분류 유형별로 각각 대표지(훈련지역)를 선정하고, 이 지역 정보에 의해서 지피를 재분류하였다(Figure 1, 2 참조). 재분류과정에서는 용인군 통계자료와 대비하여 재조정을 실시

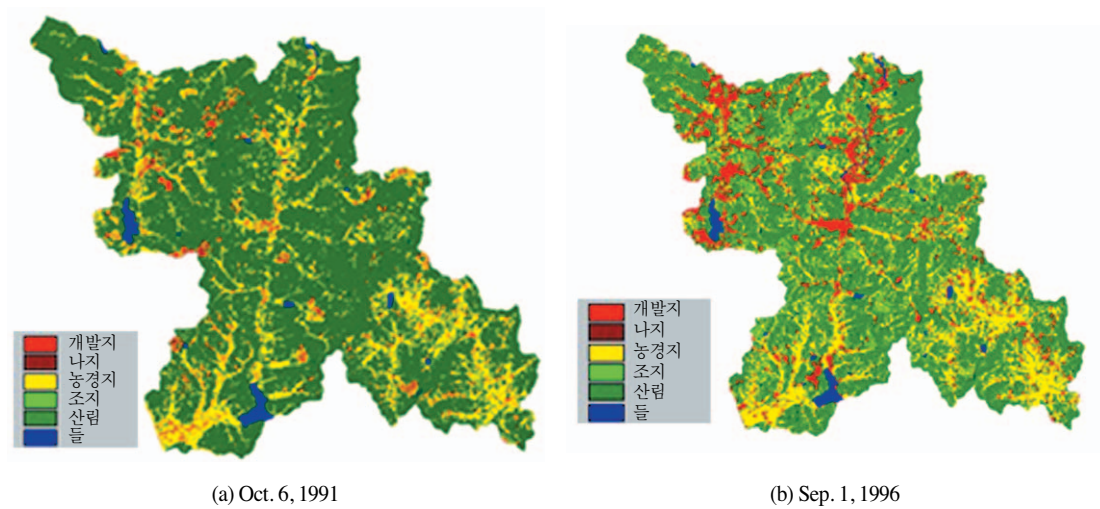


Figure 1. Landcover of Yongin City

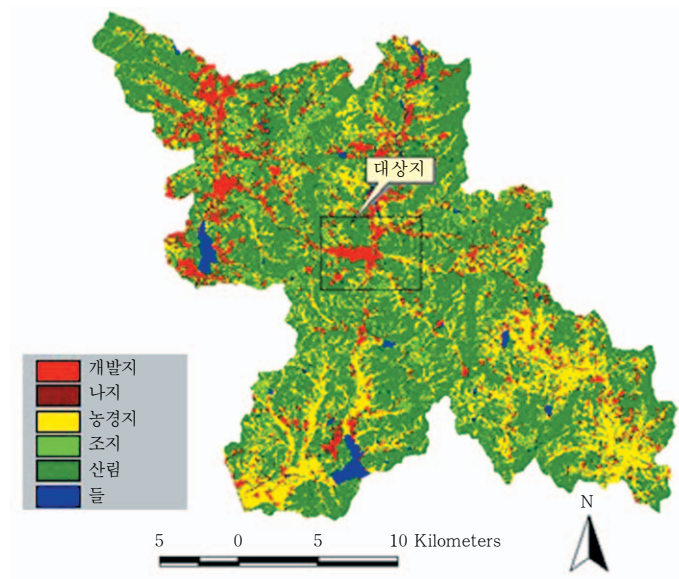


Figure 2. Key map of the site to be zoomed in

하였다. 이상의 과정을 두 개의 Landsat 위성영상('91. 10. 6, '96. 9. 1)에 대해 각각 실시하였다.

2. 가공 : 경관요소(패치) 경계의 생성

경관 지수 산출 프로그램인 Fragstats*Arc에 입력 데이터로 사용할 경관요소(패치) 경계를 생성하기 위해 레스터 형태의 지피분류(Patch) 데이터를 폴리곤 형태의 자료로 변환하였다. 이렇게 생성된 패치 경계를 나타내는 폴리곤 데이터를 입력하고 Pentium II 300 MHz, RAM 124M, HDD 4GByte의 PC에서 Fragstats*Arc 프로그램을 실행하여보았으나, 처리 용량 때문에 프로그램 수행

이 이루어지지 않았다('96 데이터의 경우 폴리곤 수가 무려 309,813개로 지나치게 많음).

이를 개선하기 위해 원래 위성영상의 레스터 데이터의 해상도(30m)를 100m로 낮추어 폴리곤 데이터를 생성하여 실행한 경우도 역시 실패하였다. 최종적으로 사용된 데이터는 레스터 데이터의 해상도를 100m 낮춘 후 여기에 다시 미세한 패치를 제거한(majority filtering) 후 폴리곤을 생성한 것을 사용하였다('96년의 경우 폴리곤 수가 6,177개로 감소됨). 그 결과는 Table 1에 정리하였다. 시가화지역이나 나지 같이 작은 패치의 토지 이용들은 주변의 주 토지이용에 흡수되어, 전체적으로는 각 토지이용별 집계 면적이 변하게 되

Table 1. Landcover classification

Landcover	1991		1996		Change(1991 ~ 1996)	
	Source data (m ²)	After majority filtering(m ²)	Source data (m ²)	After majority filtering(m ²)	Source data	After majority filtering
Urban area	20,215,800	11,700,000	47,460,600	45,280,000	+135%	+287%
Denuded area	6,610,500	4,460,000	19,548,900	13,410,000	+196%	+201%
Crop field	114,208,200	95,740,000	154,929,600	134,070,000	+36%	+40%
Grassland	386,100	250,000	18,464,400	13,230,000	+4,682%	+5,192%
Forest	444,508,200	472,900,000	342,962,100	376,510,000	-23%	-20%
Water	6,362,100	5,990,000	8,925,300	8,260,000	+40%	+38%
Sum	592,290,900	591,040,000	592,290,900	590,760,000	-	-

Table 2. Error matrix of landcover classification (Sep. 1, 1996)

		Groud Truth							Pr
		Urban area	Denuded area	Crop field	Grassland	Forest	Water	Sum	
P r e d i c t e d	Urban area	17	2	2	0	5	0	26	0.16560
	Denuded area	4	15	0	1	1	1	22	0.14012
	Crop field	0	0	16	1	1	0	18	0.11465
	Grassland	1	2	0	17	2	0	22	0.14012
	Forest	6	0	5	2	39	0	52	0.33121
	Water	1	1	2	0	3	10	17	0.10828
	Sum	29	20	25	21	51	11	157	
	Pr	0.184713	0.127389	0.159236	0.133758	0.324841	0.070064		
overall	0.726115								

었고, 단위 셀의 크기가 변하게 됨에 따라 경계부에 걸린 셀의 집계가 달라지게 되어 전체 면적 집계도 소폭 변화였다. 마지막으로 오차표를 작성하였는데, 화소 해상도의 감소로 인하여 정확

도가 72.6%로 저조하게 나타났다(Table 2 참조).

최종적으로 입력된 자료의 생성과정과 함께 과정별 영상의 차이 및 변화를 Figure 3~6에 표시하였는데, 여기서 Fig 3는 활용된 토지이용 분류

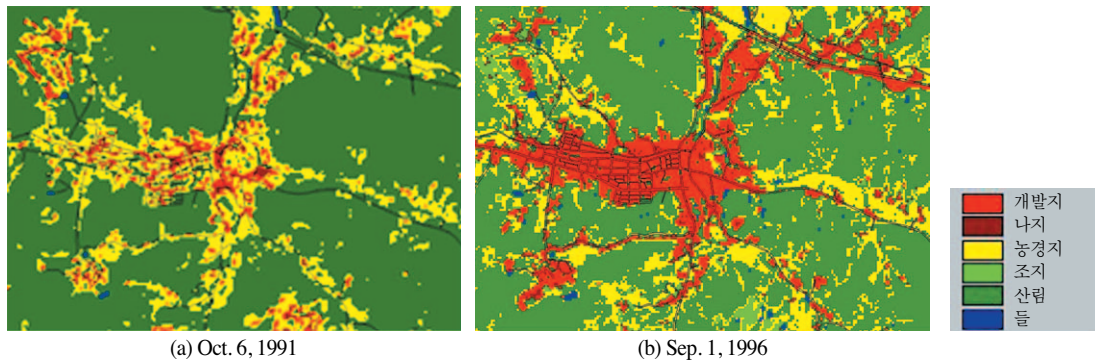


Figure 3. Landcover classification with Landsat TM, with 30m resolution

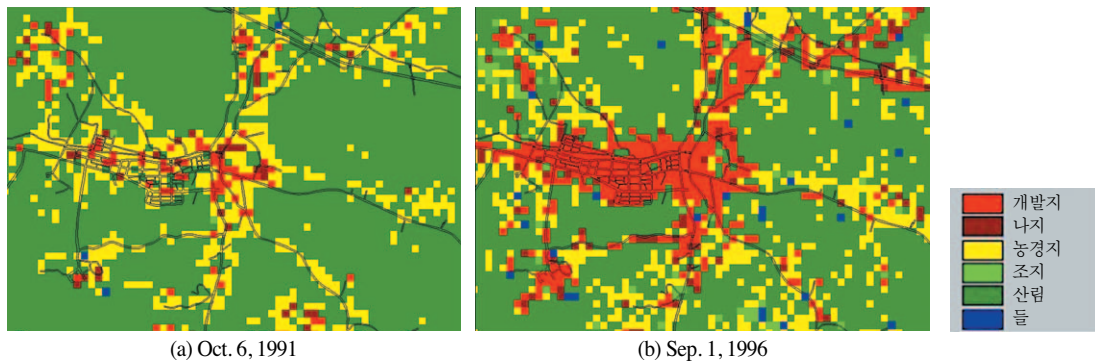


Figure 4. Landcover classification with Landsat TM, with 100m resolution

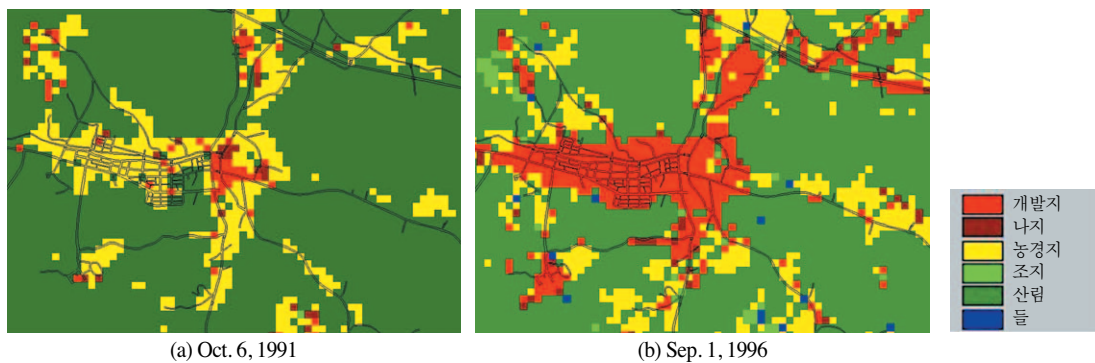


Figure 5. Landcover classification after majority filtering



Figure 6. Generated boundary polygons of patches

결과의 확대그림이고, Figure 4는 30m에서 100m로 해상도 조정한 결과를 나타내며, Figure 5는 해상도 조정 결과에서 다시 미세 폴리곤을 제거(Majority filtering)한 결과이다. 그리고 Figure 6은 폴리곤 데이터 생성 결과의 부분예시이다.

3. 지수의 산출

가. 패치(Patch) 지수

용인시 내에는 너무나 많은 패치들이 산재하기 때문에 이들에 대한 나열적 설명은 무의미하므로 생략하였다. 단, 특정 패치의 특성 또는 일정 조건의 패치에 관심이 있는 경우에는 이들의 특성 파악이 매우 중요하다. 그러나 특정 패치의 특성 파악에 관심이 없다면, 패치들의 집단적 특성은 계급지수와 경관지수에 반영되어 나타나기 때문에 생략해도 무방할 것이다.

나. 계급(Class) 지수

계급 면적, 패치 수, 경관 대비 면적 백분율, 최대 패치지수, 패치 밀도, 평균 패치 규모, 평균 형태지수, 면적 가중 평균 형태지수 등 총 27가지의 지수를 산출하였고, 용인시에 대해 수행한 '91년도와 '96년도 각각의 계급 지수 산출 결과와 시계

열적 지수 변화는 Table 3과 같다.

다. 경관(Landscape) 지수

경관 지수로서 전체면적, 패치 수, 최대 패치지수 등 총 31가지 지수를 산출하였다. 용인시에 대해 수행한 '91년도와 '96년도 각각의 경관 지수 산출 결과와 시계열적 지수 변화는 Table 4와 같다.

4. 결과의 해석

위성영상에 의한 토지이용 분류에 의하면 Table 1에서 보듯이 용인시에서는 1991년부터 1996년까지 5년 사이에 급격한 토지이용의 변화가 있었던 것으로 나타났다. 특히 용인시 면적의 80%를 점했던 산림이 20%의 순감소(원시자료상 -22%의 순감소)가 있었던 것으로 분석되었고, 반면에 시가화지역은 287%의 순증가(원시자료상 +134%의 순증가), 나지는 +200%의 순증가(원시자료상 +195%), 초지는 +5,192%의 순증가(원시자료상 +4,682% 순증가)가 있었던 것으로 분석되어, 급속하게 산림지역이 시가지, 나지, 또는 초지로 전용되고 있는 것으로 분석되었다.

산출된 계급지수 가운데 시간적 변화가 큰 계급 지수로서는 계급면적, 패치의 수, 최대 패치지

Table 3. Class metrics of Yongin City (Oct. 6, 1991, Sep. 1, 1996)

	Urban area			Denuded area			Crop field			Grassland			Forest			Water		
	1991 (A)	1996 (B)	B-A	1991 (A)	1996 (B)	B-A	1991 (A)	1996 (B)	B-A	1991 (A)	1996 (B)	B-A	1991 (A)	1996 (B)	B-A	1991 (A)	1996 (B)	B-A
CA	1,170	4,528	3,358	446	1,341	895	9,574	13,407	3,833	25	1,323	1,298	47,290	37,651	-9,639	599	826	227
class area(ha)	0<=CA																	
TA	59,104	59,076	-28	59,104	59,076	-28	59,104	59,076	-28	59,104	59,076	-28	59,104	59,076	-28	59,104	59,076	-28
total landscape area(ha)	0<TA																	
NP	662	1,177	515	253	1,037	784	1,048	2,021	973	22	845	823	268	943	675	38	154	116
number of patches	0<=NP																	
PLAND	2.0	7.7	5.7	0.8	2.3	1.5	16.2	22.7	6.5	0.0	2.2	2.2	80.0	63.7	-16.3	1.0	1.4	0.4
percent of landscape(%)																		
LPI	0.1	0.1	0.5	0.1	0.0	-0.0	1.9	2.8	0.9	0.0	0.1	0.1	72.5	38.0	-34.5	0.5	0.5	0.0
largest patch index(%)																		
PD	1.1	2.0	0.9	0.4	1.8	1.3	1.8	3.4	1.6	0.0	1.4	1.4	0.5	1.6	1.1	0.1	0.3	0.2
patch density(number per 100 ha)																		
MPS	1.8	3.8	2.1	1.8	1.3	-0.5	9.1	6.6	-2.5	1.1	1.6	0.4	176.5	39.9	-136.5	15.8	5.4	-10.4
mean patch size(ha)																		
MSI	1.2	1.2	0.0	1.2	1.2	-0.0	1.3	1.3	-0.0	1.1	1.2	0.0	1.3	1.3	-0.0	1.3	1.2	-0.1
mean shape index	1<=MSI																	
AWMSI	1.3	1.7	0.4	1.4	1.3	-0.1	3.1	2.9	-0.2	1.1	1.4	0.2	14.2	12.9	-1.3	1.9	1.8	-0.1
area-weighted mean shape index	1<=AWMSI																	
DLFD	-238.5	-109.7	128.8	-251.0	-599.7	-348.7	-67.4	-80.7	-13.2	0.0	-309.3	-309.3	-52.2	-59.9	-7.7	-50.4	-100.4	-50.1
double log fractal dimension	1<=DLFD<=2																	
MPFD	1.3	1.3	-0.0	1.3	1.3	0.0	1.3	1.3	0.0	1.3	1.3	0.0	1.3	1.3	0.0	1.3	1.3	0.0
mean patch fractal dimension	1<=MPFD<=2																	
AWMPFD	1.2	1.2	-0.1	1.3	1.3	0.0	1.2	1.1	-0.1	1.3	1.3	0.0	1.4	1.3	-0.0	1.3	1.3	0.1
area-weighted mean patch fractal dimension	1<=AWMPFD<=2																	
TCA	860	3,739	2,879	326	918	592	8,355	11,545	3,190	17	951	935	45,874	35,457	-10,417	552	725	172
total core area(ha)	0<=TCA																	
NCA	662	1,176	514	253	1,037	784	1,047	2,021	974	22	845	823	268	943	675	38	154	116
number of core area	0<=NCA																	
CAD	1.12	1.99	0.87	0.43	1.76	1.33	1.77	3.42	1.65	0.04	1.43	1.39	0.45	1.60	1.14	0.06	0.26	0.20
core area density(number per 100 ha)	0<=CAD																	
CPLAND	1.5	6.3	4.9	0.6	1.6	1.0	14.1	19.5	5.4	0.0	1.6	1.6	77.6	60.0	-17.6	0.9	1.2	0.3
core area percent of landscape(%)																		
MCA1	1.3	3.2	1.9	1.3	0.9	-0.4	8.0	5.7	-2.3	0.8	1.1	0.4	171.2	37.6	-133.6	14.5	4.7	-9.8
mean core area per patch(ha)																		
MCA2	1.3	3.2	1.9	1.3	0.9	-0.4	8.0	5.7	-2.3	0.8	1.1	0.4	171.2	37.6	-133.6	14.5	4.7	-9.8
mean area per disjunct core(ha)																		
TCAI	73.5	82.6	9.1	73.2	68.5	-4.7	87.3	86.1	-1.2	67.0	71.9	5.0	97.0	94.2	-2.8	92.2	87.7	-4.5
total core area index(%)																		
MCAI	67.2	69.1	1.9	67.4	66.3	-1.0	72.2	70.7	-1.5	66.3	66.6	0.3	69.6	70.1	0.6	72.2	67.9	-4.3
mean core area index(%)																		
CASD1	2.3	14.7	12.3	2.6	0.7	-1.8	51.9	48.1	-3.8	0.3	2.2	1.9	2,551.6	710.8	-1,840.7	50.8	26.3	-24.6
patch core area standard deviation(ha)																		
CACV1	179.9	461.3	281.4	197.9	80.7	-117.2	650.9	842.3	191.3	36.4	193.8	157.4	1,490.7	1,890.5	399.9	349.7	558.2	208.5
patch core area coefficient of variation(%)																		
PSSD	2.7	15.7	13.1	2.9	0.8	-2.1	55.7	51.3	-4.4	0.4	2.5	2.1	2,620.1	743.9	-1,876.2	53.2	27.6	-25.6
patch size standard deviation(ha)																		
PSCV	150.0	408.6	258.7	166.1	65.6	-100.5	609.4	773.5	164.1	30.9	158.7	127.9	1,484.8	1,863.1	378.3	337.7	514.5	176.8
patch size coefficient of variation(%)																		
SCA	860	3,739	2,879	326	918	592	8,354	11,545	3,191	17	952	935	45,874	35,457	-10,416	552	725	172
Sum of core area in ha																		
CASD2	2.34	14.66	12.32	2.55	0.72	-1.84	51.92	48.12	-3.80	0.28	2.18	1.91	2,551.58	710.84	-1,840.75	50.82	26.26	-24.56
disjunct core area standard deviation(ha)	0<=CASD2																	
CACV2	179.83	460.99	281.16	197.91	80.70	-117.21	650.67	842.40	191.73	36.40	193.78	157.38	1,490.67	1,890.52	399.85	349.71	558.22	208.50
disjunct core area coefficient of variation(%)	0<=CACV2																	

Table 4. Landscape metrics of Yongin City (Oct. 6, 1991, Sep. 1, 1996)

	1991 (A)	1996 (B)	A-B	Remarks
TA	59,104	59,076	28	total area(ha)
NP	2,291	6,177	-3,886	number of patches
LPI	72.52	38.00	34.52	largest patch index(%) 0<LPI<=100
PD	3.88	10.46	-6.58	patch density(no. per 100ha)
MPS	25.80	9.56	16.23	mean patch size(ha)
CPLAND	94.72	90.28	4.44	core area percent of landscape(%)
MSI	1.24	1.22	0.03	mean shape index (1<=MSI)
AWMSI	11.82	8.94	2.88	area-weighted mean shape index (1<=AWMSI)
LCAS	94.72	90.28	4.44	core area percent of entire landscape (%)
TCA	55,983.70	53,335.18	2,648.52	total core area(ha) (0<=TCA)
NCA	2,290.00	6,176.00	-3,886.00	number of core area (0<=NCA)
CAD	3.88	10.45	-6.58	core area density(number per 100 ha) (0<=CAD)
MCA1	24.44	8.63	15.80	mean core area per patch(ha)
MCA2	24.45	8.64	15.81	mean area per disjunct core(ha)
TCAI	94.72	90.28	4.44	total core area index(%)
MCAI	69.85	68.94	0.91	mean core area index(%)
CASD1	873.63	279.36	594.28	patch core area standard deviation(ha)
CACV1	3,575.18	3,235.53	339.65	patch core area coefficient of variation(%)
PSSD	897.15	292.40	604.75	patch size standard deviation(ha)
PSCV	3,477.61	3,057.34	420.27	patch size coefficient of variation(%)
PR	6.00	6.00	0.00	patch richness (0<PR)
PRD	0.01	0.01	0.00	patch richness density(no. per 100 ha)
RPR	100.00	100.00	0.00	relative patch richness(%)
SHDI	0.64	1.05	-0.41	shannon's diversity index (0<=SHDI)
SIDI	0.33	0.54	-0.20	simpson's diversity index (0<=SIDI<1)
MSIDI	0.41	0.77	-0.36	modified simpson's diversity index (0<=MSIDI)
SHEI	0.36	0.59	-0.23	shannon's evenness index (0<=SHEI<=1)
SIEI	0.40	0.64	-0.24	simpson's evenness index (0<=SIEI<=1)
MSIEI	0.23	0.43	-0.20	modified simpson's evenness index (0<=MSIEI<1)
CASD2	873.82	279.38	594.44	disjunct core area standard deviation(ha)
CACV2	3,574.38	3,235.10	339.28	disjunct core area coefficient of variation(%)

수, 평균 패치크기, 전체 핵심지 면적, 경관대비 핵심지 백분율, 패치 핵심지 표준편차, 패치 크기 표준편차 등으로 나타났다.

변화 양상을 살펴보면, 계급 면적은 전체적으로 큰 변화가 있었는데, 특히 삼림의 경우 5년 사이에 전체 면적의 1/7이 사라졌다. 패치의 수는 모든 유형에서 공통적으로 증가하였으며, 그 규

모도 최소 78%에서 3,700%까지 증가하였다. 파편화와 위축 정도를 나타내는 최대 패치지수는 삼림에서만 특히 격감하여 그 심각성을 잘 나타내었으며, 그 규모는 약 50% 정도에 달했다. 또한 생태계 훼손을 종합적으로 나타내는 삼림의 평균 패치 크기가 특히 격감하였으며, 약 1/4 정도로 줄어들었다. 전체 핵심지 면적은 개발지와 농경

지에서 급증한 반면, 산림에서 격감하였다. 경관 대비 핵심지 백분율은 산림에서 격감하는 대신 개발지와 농경지에서 급증하였다. 산림 생태계의 훼손 현상의 보편성을 입증하는 산림의 패치 핵심지 표준편차와 패치 크기 표준 편차가 크게 감소하여 산림 생태계의 훼손 현상이 보편적임을 나타내었다.

한편 산출된 경관지수 가운데 시간적 변화가 큰 경관 지수로서는 패치의 수, 최대 패치지수, 패치밀도, 평균 패치규모, 총 핵심지 면적, 총 핵심지 수, 핵심지 밀도, 패치당 평균 핵심지 면적, 분리 핵심지 당 평균 면적, 패치 핵심지 면적 표준편차, 패치 규모 표준편차, 세년 다양성 지수, 심프슨 다양성 지수, 변형 심프슨 다양성 지수, 세년 균제도 지수, 심프슨 균제도 지수, 변형심프슨 균제도 지수 등으로 나타났다.

이중 급격하게 증가한 것으로서는 파편화와 해체 정도를 나타내는 패치의 수(2,291에서 6,177로), 패치밀도, 총 핵심지 수 등이어서 파편화와 해체 정도가 매우 큼을 입증하였고, 증가한 지수는 고립 정도를 나타내는 핵심지 밀도로서 고립화 정도가 큼을 나타냈다.

한편 크게 감소한 것으로는 파편화 정도를 나타내는 최대 패치지수와 위축을 나타내는 평균 패치규모, 총 핵심지 면적, 평균 패치당 핵심지 면적, 분리 핵심지 당 평균 면적 등으로 나타나 파편화와 위축이 매우 큰 것으로 나타났다. 아울러 이들 현상의 경향을 입증하는 패치 핵심지 면적 표준편차, 패치 규모 표준편차 등도 크게 감소하여 이들 현상이 보편적임을 입증하였다.

V. 결론 및 고찰

이 연구의 목적은 경관생태학의 관점에서 지역 생태계의 현황을 해석하고 평가하는 지표로서 경관지수의 활용가능성을 검토하는 것이며, 이를

위해 국내외 선행연구 검토, 경관지수 유형 및 정의 검토, 경관구조 평가 절차 검토를 거쳐 용인시를 대상으로 경관지수 산출을 시험적용하고, 경관지수의 시계열적 변화를 분석하였다.

시험적으로 산출된 경관지수의 검토 및 비교에 의해 결론을 내린다면 다음과 같다.

첫째, 한 시점에서 전체 경관구조의 정량적 특성을 나타내는 경관지수를 보완하여, 각 계급별로 산출된 다양한 경관지수들은 상이한 변이를 보임으로써 각각의 계급별 경관구조 특성을 잘 나타내고 있었다.

둘째, 경관구조의 시간적 변화와 관련해서, 경관 규모와 계급 규모에서 각 경관지수들이 상이하게 나타남으로써, 경관구조의 동태적 변화의 경향을 정량적으로 잘 나타내고 있었다.

셋째, 지수의 해석에서는 경관지수가 전체 경관의 특성을 요약하지만 경관특성의 심층분석에서는 계급지수의 해석이 필수적으로 요청되며, 같은 맥락에서 계급지수의 심층해석을 위해서는 다시 패치지수의 해석이 필수적으로 요청된다.

마지막으로 광역 생태정보가 없는 상황에서 토지피복 분류정보 획득 수단으로 사용된 위성자료를 이용한 원격탐사기법은 매우 신속하고 경제적이었다.

한편 경관지수의 산출을 통해서 얻어진 용인시 경관구조의 특성과 변화에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 도시지역의 경관다양성은 자연지역의 경관다양성보다 훨씬 높다는 것이다. 도시의 경관은 지나치게 조각나있고, 도시의 경관다양성은 생물다양성 보존의 수단으로 받아들여지기 곤란할 것으로 판단되기 때문에 오히려 훼손지수의 일종으로 해석될 수도 있을 것이며 이에 대한 후속연구가 필요하다.

둘째, 용인시에서 산림의 파편화, 해체, 위축이 급속히 진행중임을 정량적으로 확인 할 수 있었으며, 반대로 시가지, 농경지, 초지의 총 면적과

패치 수가 급증한 것으로 나타났다.

지금까지는 용인시를 대상으로 하여 경관구조 지수의 시험측정과 연도간 변화 또는 차이 비교를 실시하였다. 추후 이루어져야 할 연구과제로서는 측정된 지수에 대한 정밀 검토와 제시된 경관 지수의 기회성과 한계에 대한 보다 심층적인 검토 등이 필요하다 하겠다.

참고문헌

1. 박종화, 1992, Landsat 녹색식생지수를 이용한 서울시 도시녹지 변화 조사, 대한원격탐사학회지, 8(1): 27-44.
2. 박종화, 1991, 도시녹지의 현황 및 정비방안. 도시 산림 환경 심포지엄 보고서, 한국조경학회 및 산림청, pp.53-74.
3. 박종화, 조용현, 홍석학, 1998, 생물다양성 보전 및 관리를 위한 원격탐사기법 활용, 환경정책평가연구원.
4. 안동만, 박은관, 김인호, 김명수, 박소영, 1998, 서울시 주변지역의 경관이질성 변화 분석기법 개발을 위한 기초연구, 한국조경학회지, 26(3): 288-296.
5. 이규성, 1998, 인공위성 영상자료와 GIS를 이용한 녹지자연도 등급판정기법 개발 연구보고서, 환경부.
6. 심우경, 이진희, 김훈희, 1998, 도농통합지역의 녹지환경정비모델에 관한 연구 I: 위성데이터를 이용한 천안시 토지이용변화, 한국조경학회지 26(4): 237-248.
7. 심우경, 이진희, 김훈희, 1999, 도농통합지역의 녹지환경정비모델에 관한 연구 II: 천안의 녹지구조변화를 중심으로, 한국조경학회지 72(): 105-112.
8. 이응경, 1998, Trend of forest fragmentation in the lower region of the Han River basin, 서울대 환경대학원 석사학위논문
9. Berry, Joseph, David Buckley, and Kevin McGarigal, 1998, FRAGSTATS*ARC: Integrating ArcInfo with the FRAGSTATS Landscape Structure Analysis Program, ESRI International User Conference Proceedings, ESRI.
10. Dramstad, Wenche E., Olson, James D. and Forman, R. T. T., 1996, Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning.
11. Franklin, Jerry F., 1993, Preserving Biodiversity: Species, Ecosystems, or Landscapes?, Ecological Applications, 3(2): 202-205.
12. Kim, K.C. & R.D Weaver(eds), 1994, Biodiversity & Landscapes: A Paradox of Humanity, Cambridge Univ. Press, N.Y.(미출판 원고)
13. Lathrop, Richard G. and Bognar, Jom A., 1998, Applying GIS and landscape ecological principles to evaluate land conservation alternatives, Landscape and Urban planning, 41: 27-41.
14. Marsh, William, 1983, Landscape Planning, Addison Wesley: Reading, Massachusetts.
15. McGarigal, Kevin and Marks, Barbara, 1994, Fragstats Ver. 2.0 Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure.
16. McGarigal, Kevin and Barbara Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech Rep. PNW-GTR-351. Portland, Oregeon: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, p.122.
17. Naiman, Robert, J., 1993, The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity, Ecological Applications, 3(2): 209-212.
18. Odum, E. P., 1993, Ecology and Our

- Endangered Life-Support System 2nd. ed, Minnesota Publishing Co. Ltd.
19. Park, Chong-Hwa, 1992, A Change Detection of Urban Vegetation of Seoul with Green Vegetation Index Extracted from Landsat Data, Journal of the Korean Society of Remote Sensing, 8(1): 27-43.
 20. Romme, William H. and Dennis H. Knight, 1984, Landscape Diversity: The Concept Applied to Yellowstone Park, BioScience, 32(8): 664-670.
 21. Romme, William H., 1982, Fire and Landscape Diversity in Subalpine Forests of Yellowstone National Park, Ecological Monographs, 52(2): 199-221.
 22. Troll, 1939, Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Zu Berlin, pp.241-98.
 23. Urban, Dean L., Robert V. O' Neill, and Herman H. Shugart Jr., 1987, Landscape Ecology: A hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns, BioScience, 37(2): 119-127.
 24. Wilson, Edward O., 1992, The Diversity of Life, The Belknap Press of Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts.
 25. Zonneveld, I.S. and R.T.T. Forman(eds), 1984, Changing Landscapes: An Ecological Perspective, Springer-Verlag: New York.
 26. Zube, E.H., 1986, Landscape Planning Education in America: Retrospect and Prospect, Landscape and Urban Planning 13: 367-378