

# 경관생태학의 기본 개념과 환경 관리를 위한 가설적 제안<sup>1)</sup>

이 도 원\*

〈目 次〉

I. 발전 배경과 기본 개념	IV. 환경관리를 위한 가설적 제안과 적용 방향
II. 구조적 측면	V. 장래의 전망
III. 기능적인 측면과 환경의 질	

## I. 발전 배경과 기본 개념

경관생태학은 조경, 토지 관리 및 계획, 그리고 사회학의 결합과 함께 인문지리와 생태학 분야의 총체적 접근(holistic approach)의 창발로 1960년대 중부유럽에서 시작된 생태학의 한 분야다.<sup>2)</sup> 유럽의 지형은 신대륙에 비해서 상대적으로 상하 굴곡이 심하고, 더 긴 세월 동안 인간 교란이 진행되어 조각난 토지가 많아 일찍부터 생물지리학적 관심의 대상이 되었을 뿐만 아니라,<sup>3)</sup> 사람이 쉽게 접근할 수 있는 면적이 좁아 토지와 자연 자원의 효율적 이용이 더 크게 요구되었으므로 짐작된다. 그런 여건에서 땅이 지니고 있는 고유한 가치를 더욱 키워야 할 이유는 당연했고, 생태학적 원리를 적용함으로써 그것을 달성할 수 있으리라는 바램은 경관생태학을 탄생시켰을 것이다.

경관생태학이라는 단어가 사용되기 시작한 것은 땅을 먼 거리에서 조망할 수 있는 수단인 항공사진을 널리 사용한 20세기 초였다. 자연에 대한 총체적인 시각에서 1935년 제안된 '생태계'란 용어에 영향을 받아 생물학과 지리학 배경을 가진 Carl Troll이 1939년 처음으로 사용

\* 서울대학교 환경대학원 교수

1) 이 글에서 먼저 기존 문헌에 나타난 경관생태학의 발전 배경과 기본 원리, 개념을 개괄적으로 소개하고 경관의 구조적 기능적인 측면을 중심으로 생태적, 사회적 요소, 경관유형, 환경 지속성의 관계를 기술하는 가설적인 개념 모형들을 제안한다. 필자의 학문적인 성향 때문에 대부분의 논의를 자연생태학적 연구결과에 제한하였지만 도시 및 지역, 교통 계획 및 설계, 조경, 환경 관리 분야를 포괄하는 경관생태학의 발전 전망을 논의한다. 이 글을 준비하는 기간인 1998년 3월 1일부터 1999년 2월 28일까지 저자에게 베풀어진 서울대학교의 연구교수 지원에 감사한다.

2) Wiens et al. 1993.

3) O'Neil 등 1986.

한 것으로 알려져 있다.<sup>4)</sup> Troll은 1968년 논문에서 경관생태학을 ‘경관의 특정 부분에서 우세하게 퍼져 있으며, 특정 경관유형이나 여러 가지 다른 크기의 자연공간분류체계에서 분명하게 나타나는 생물군집과 환경조건 사이의 전체적이고 복합적인 원인과 결과의 연결망을 연구하는 학문’으로 정의했다.<sup>5)</sup> 그 이후 농경지역 토지 이용의 기초 자료로서 토지 분류 작업 수행에 많은 시간을 보낸 학자는 경관생태학을 대상과 변수로서 토지의 특성을 연구하는 학문으로 정의하였으며,<sup>6)</sup> 토지 평가와 식생도 작성에 관심을 가졌던 학자는 여러 가지 다른 요소로 이루어져 있으며, 또한 서로 영향을 주고받는 총체적인 실체로서 토지를 고려하는 지리학적 연구의 한 분야로 보았다.<sup>7)</sup>

지리학적 접근이 중심을 이루고 있던 유럽의 경관생태학은 1980년대 초에 북미의 생태학계에 도입되면서 점점 기능적인 부문에 대한 연구영역을 확대하는 한편 또 다른 체계를 갖추어가고 있다.<sup>8)</sup> 1981년에 개최된 네델란드 경관생태학회에 에너지 흐름과 물질순환을 중심으로 생태계 생태학을 연구하던 북미 생태학자들의 참여는 새로운 전기가 되었다.<sup>9)</sup> 그 북미의 참여자들은 경관생태학이 큰 토지 모자이크를 가로질러 일어나는 공간적인 관계, 에너지, 물질 그리고 생물종의 유동과 변화에 초점을 맞추는 것으로 이해했다.<sup>10)</sup> 이러한 배움은 좀더 구체화되어 경관생태학을 공간적 이질성의 발달과 역동성, 이질적 경관 사이에서 일어나는 시공간적 상호작용과 교환, 공간적 이질성이 생물적 비생물적 과정에 미치는 영향, 그리고 공간적 이질성의 관리를 고려하는 학문으로 보았다.<sup>11)</sup>

이처럼 경관생태학은 수 평방 킬로미터 내지 그보다 훨씬 넓은 면적의 지리적으로 이질적인 경관(landscape)과 광역(region) 안에서 일어나고 있는 자연 및 인공 과정을 연구하는 학문이다.<sup>12)</sup> 경관생태학은 여러 가지 유형, 모양, 기능을 가지는 조각 또는 생태계들과 이것들 사

4) Schreiber 1990.

5) 경관생태학과 같은 뜻으로 공간생태학 spatial ecology, 광역생태학 regional ecology 등 다른 용어를 제안하는 사람도 있는 한편 광역생태학은 경관생태학과 공유하는 내용이 많지만 경관보다 더 큰 단위의 광역을 대상으로 하고 있는 까닭에 구별하기도 한다(Forman 1995, Zonneveld 1995).

6) Vink 1975.

7) Zonneveld 1979와 1995.

8) Malanson 1993.

9) Forman 1992. Forman과 Golley를 포함하는 5명의 생태학자들이 참여하였으며, 이를 계기로 Forman은 프랑스에서 연구년을 보내며 영어로 작성된 경관생태학 교과서를 저술하였으며(Forman & Gordon 1986), Golley는 1987년부터 발간되기 시작한 국제경관생태학회지 Landscape Ecology 의 초대 편집장이 되었다.

10) Forman 1990.

11) Risser 등 1984.

12) Risser 1990. 여기서 광역으로 옮긴 region 은 흔히 지역으로 번역한다. 이 개념의 신축성에 대해서 김형국(1997)은 다음과 같이 표현했다. “도시 대 지역”이라 하면 지역은 농촌지역을 지칭하는 좁은 의미의 지역이다. 아주 넓게는 심지어 지구를 일컬어 세계지역(world region)이라 말하기도 한다. 하지만 지역연구에서는 대체로 도시보다 큰, 그래서 도시도 포함하는 일단의 광역을 지역이라 이름한

이에 일어나는 상호작용에 관심을 가지고 있으며, 그 특징상 특별히 육상경관을 강조한다.<sup>13)</sup> 계층구조적인 비교에서 생태계와 경관 사이에 일어나는 과정이 인식되는데, 이 경우 생태계의 의미는 내부과정이 생태계의 특성에 의해서 추동되고 동질의 구성요소들로 이루어진 지역을 말한다(예를 들면 낙엽수림 또는 초지). 반면에 경관과 광역은 여러 가지 차원에서 규모가 상대적으로 넓다. 경관생태학의 연구대상이 되는 경관과 광역은 자연적 인위적 과정이 대조되는 이질적 생태계들로 구성되어 있다. 따라서 단순한 과정에 대한 연구는 쓸모가 없을 정도로 훨씬 큰 복잡성과 공간적인 이질성을 내포하고 있다. 그러므로 경관생태학은 경관 과정이 분석될 수 있는 시공간적 규모에서 이질적 토지 모자이크를 형성하는 수준에 초점을 맞춘다.<sup>14)</sup>

독일어 Landschaft가 영어 landscape로 옮겨지고, 이것이 다시 우리말 경관이라 번역되면서 경관생태학이란 용어는 필요 이상으로 시각적인 의미를 부각시켜 기능적인 측면을 고려하지 않는 오해를 낳고 있지만,<sup>15)</sup> 요컨대 경관생태학은 경관의 구조, 기능 그리고 두 요소의 상호관계와 함께 변화를 연구하는 학문이다. 여기서 구조는 하나의 경관 안에 있는 공간적 구성요소이며 경관요소의 크기, 형상, 수, 종류, 분포 유형 등과 관련된 에너지, 물질, 생물, 정보의 분포에 관한 특성을 말한다. 기능은 공간적인 요소의 상호작용을 말하며, 생물 및 지화학적 과정을 통해서 이루어지는 에너지, 물질, 종으로 대표되는 생물정보와 함께 무형의 정보 흐름을 말한다. 변화는 시간에 따른 경관 구조와 기능의 변화 특성을 의미한다.

우리가 인식하는 변화란 어떤 장소에서 물질이나 에너지 그리고 정보의 첨가 또는 제거에 의해서 나타나는 결과이다. 경관 구조는 이들의 흐름에 영향을 줌으로써 어떤 경관요소에서 제거 또는 첨가를 초래한다. 말하자면 경관 구조와 기능의 상호작용에 의해서 경관은 변화된다.

---

다. 학문적으로 '지역은 일반적으로 어떤 공통적, 또는 상호보완적 특성을 가졌거나 또는 광범위한 역간활동의 흐름(inter-areal activity flows)으로 묶인 지리적으로 연속된(contiguous) 공간범위의 한 무리'를 지칭하기도 한다."

13) Forman and Gordon 1986.

14) Schreider 1990. 경관생태학은 근래에 발달하고 있는 컴퓨터 프로그램, 원격탐사, 지리정보체계, 모형, 프랙탈, 침투이론(percolation theory) 등으로 무장하여 경관의 구조적 기능적 관계 규명에 힘을 쓰고 있다(Forman 1995).

15) 구미에서도 독일어 Landschaft를 landscape로 옮겨 경치 또는 풍경이라는 의미와 혼동하는 경우가 많다(Zonneveld 1995). 따라서 Zonneveld는 landscape ecology 대신 굳이 land ecology 이라는 용어를 사용하지만 우리말로 토지생태학이라 번역하면 수중생태계(aquatic ecosystem)를 고려하지 않는 것으로 오해할 문제가 있다. 우리나라에서도 조경 또는 경관이라는 용어에 대한 의미가 시대에 따라 달라지고 있는 점을 볼 수 있다. 전통적으로 조경가들은 경관을 경치로 생각하고 경치를 만들거나 꾸미는 것을 본분으로 삼아 왔지만, 현대 조경가들은 경관을 경치뿐만 아니라 인간과 모든 생물이 실제로 생활하는 '환경'이나 '장소'로 생각한다(황기원 미발표 자료).

## II. 구조적 측면

경관 구조를 이루는 기본적인 단위는 경관 요소이다. 경관 요소를 특징에 따라 분류해보면 크게 3 가지로 나눌 수 있다. 그것은 바탕(matrix), 조각(patch), 통로(corridor)다.<sup>16)</sup>

바탕은 경관 안에서 가장 너른 면적을 차지하고 연결성이 가장 좋은 요소를 말한다. 자연적 인위적 교란이 일어나기 전에 있어왔던 균질한 지역을 지칭하는 의미에서 바탕이라 하며, 교란 결과물의 뒷편에 넓게 자리하고 있는 의미에서 배경이라 할 수 있다. 많은 경우에 경관 모자이크는 조각과 통로가 바탕에 군데군데 박혀 있는 모습으로 나타난다. 숲의 일부를 개발하는 경우에는 숲이 바탕이 되겠지만 서울의 남산과 같은 숲은 오히려 시가지라는 바탕에 쌓여 있는 조각이 된다. 후자의 경우 시가지는 바탕이라기보다 배경으로 해석하는 것이 더 적절할 것이다.

조각은 바탕 안에 놓여 있으며 시각적 생태적 특징이 바탕과 구별되는 비선형적, 면적인 경관요소를 말한다. 이 조각은 크기, 형상, 경계부의 특성 등에 의해서 여러 가지 유형으로 나타난다. 경관 속에서 조각은 흔히 식물과 동물 군집 그리고 자연 및 인공 교란에 이루어지는 동질적인 단위다. 대체로 조각 요소는 다른 주변지역의 바탕 안에 이루어지는 경우가 많다. 이를테면 숲으로 이루어진 경관바탕에 산사태, 폭풍우, 화재, 포유동물의 짓밟기, 과도한 초식, 대기오염에 의한 훼손, 벌채, 개발행위로 이루어지는 경관조각을 상상해 볼 수 있다.

통로는 바탕에 놓여 있는 선형의 경관 요소를 말한다. 형성되는 과정이 조각의 경우와 거의 비슷하지만 나타난 모양에서 차이를 가진다고 보면 된다. 조각에 비해서 주변지역과 접촉하는 길이가 월등하게 크기 때문에 생태적으로 구별되는 특성을 포함하고 있다. 하천, 울타리, 산능선, 등산로, 도로, 동력선은 쉽게 볼 수 있는 통로의 보기이다.

자연적 인위적 과정으로 형성된 조각과 통로의 크기, 형상, 그리고 경계부의 특징, 경관 안에서 배열 상태는 원래의 바탕으로 회복되는 과정과 시간에 매우 큰 영향을 미치는 중요한 인자이며, 이 과정은 기능적인 과정과 밀접한 관계를 이룬다. 따라서 경관구조와 관련된 근래의 연구는 이러한 현상들을 정량적으로 분석할 수 있는 연구방법과 지수개발에 역점을 두고 있다.<sup>17)</sup>

이와 같이 지금의 경관생태학은 평면적인 구조와 관련된 연구를 주로 하고 있다. 이를테면 경관생태학에서 흔히 인용되는 고전적인 섬생물지리설은 섬의 크기만을 고려함으로써 수평적인 분화뿐만 아니라 수직적인 이질성은 전혀 고려하지 않는다.<sup>18)</sup> 그러나 2차원적 조감은 나타

16) Smith & Hellmund 1993, Forman 1995. 경관을 조각-통로-바탕 패러다임으로 보는 시각은 20년이 채 안되는 역사를 가지고 있지만 전체로서 경관을 이해하는 데 도움이 되고 있다.

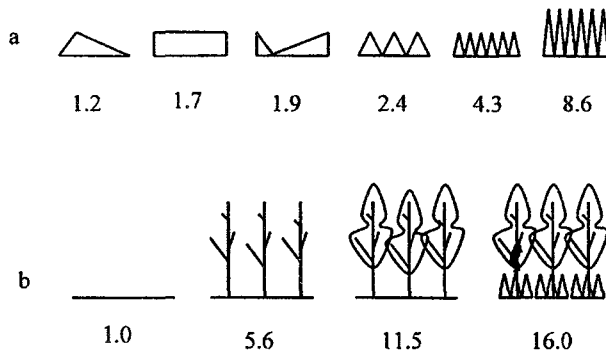
17) Hargis 등 1998, Tinker 등 1998.

18) MacArthur & Wilson 1967.

나는 유형과 과정을 제한한다. 수평적인 흐름에 비해서 상대적으로 수직적인 흐름과 이동이 빠르게 증가하는 경관에서는 이러한 관점들은 많은 한계성을 지니고 있다.<sup>19)</sup> 특히 우리 나라와 같이 지형의 높낮이가 심한 지형에서는 3차원적 조망이 제외되면 경관 과정에 대한 해석은 전혀 엉뚱한 방향으로 갈 수도 있다.

수직적인 요소는 총괄적으로 표면의 거칠기로 표현될 수 있을 것이다.<sup>20)</sup> 지표면의 거칠기는 경사지, 골, 산봉우리, 고도, 식생이 이루는 표면상태를 총괄적으로 표현하는 단어다.<sup>21)</sup> 일반적으로 큰 규모의 거칠기는 단위 시간에 작용하는 에너지 양이 크고 간헐적 또는 장기적인 주기로 생성되는 경향이 있는 반면에 작은 규모의 거칠기는 단위 시간에 적은 에너지가 지속적으로 작용함으로써 생긴다. 예를 들면 지반 응기, 화산폭발, 지진, 태풍, 산사태, 큰 불과 같은 지질과 기후 변화는 커다란 규모에서 보는 거칠기를 만드는 반면에 인간을 제외한 생물 활동은 작은 규모의 거칠기를 만든다.

큰 규모의 거칠기는 지형도의 단위 면적당 등고선의 전체 길이에 비례한다.<sup>22)</sup> 그러나 이 정의를 작은 규모에 적용하자면 대부분의 경우 실질적인 높낮이가 복잡하기 때문에 등고선으로 표현하기 위해서 정밀한 측량의 수고가 따를 뿐만 아니라 도면 작업까지 포함하는 여러 가지 어려움이 있을 것으로 예상된다. 더구나 천이가 진행됨에 따라 식생에 의해서 추가되는 거칠기는 제외하고 있어 물, 영양소의 이동과 동식물의 전파에 활용하는 데 한계를 가지고 있다.<sup>23)</sup> 대안으로 생각할 수 있는 것인 실질적인 표면적의 값을 수직으로 투사된 면적으로 나눈 값으로 거칠기 지수라 정의한다. 몇 가지 단순화시킨 지형과 상층식생 및 하층식생에 의해 공헌되는



〈그림 1〉 지형과 식생에 의해서 나타나는 경관 요소의 거칠기 지수.<sup>24)</sup>

19) Swanson et al., 1988.

20) 여기서 거칠기는 영어의 ruggedness와 roughness를 함께 표현한다(Lee 등 1998).

21) Forman 1995.

22) Beasom 등 1983.

23) Lee 등 1998.

24) Lee 등 1998.

거칠기 지수의 상대적인 크기를 아래 그림 1에서 비교해보았다. 경관에서 꼭 들어맞는 지형과 식생구조와 일치하지 않아 비현실적인 면이 있지만 거칠기 지수의 특징을 이해하는 데 도움이 될 것으로 본다. 이 지수를 활용 가능성은 이 글의 뒷부분에서 논의한다.

### Ⅲ. 기능적인 측면과 환경의 질

생태계의 기능 연구가 하나의 동질적인 공간인 생태계 안에 존재하는 내부 구성요소들의 구조적인 측면과 물질순환과 에너지 흐름뿐만 아니라 대사회전과 과정을 포함하는 기능적인 측면에 관여하고 있는 반면에 경관생태학은 경관 요소와 요소의 경계를 가로질러 일어나는 에너지, 물질, 생물, 정보의 이동 원리와 함께, 이러한 이동과 지역을 이루는 각기 다른 특징의 토지 크기, 모양, 배열, 구성요소들 사이의 관계에 관심을 가진다.

자연에서 에너지, 물질, 생물, 정보가 흘러가는 경로는 다양하다. 흐름경로는 자원을 이용하는 생물의 입장에서 보면 빠져나가는 여러 가지 다른 유형이기도 하다. 이동되는 대상은 휘산되는 기체 형태, 물에 녹아 있는 상태(용존상), 흙 알갱이와 같은 작은 조각(입자상), 죽은 식물조직(씨앗, 낙엽, 죽은 가지), 살아 있는 동물, 인위적인 가공물 등으로 나누어 볼 수 있다. 자연과학에 뿌리를 둔 경관생태학은 아직까지 마지막 경우를 그다지 다루지 않거나 부대적인 문제로 보고 있는 경향이 짙다.

에너지, 물질, 생물, 정보의 이동과정은 확산(diffusion)과 집단유동(mass flow), 생물의 적극적 이동(locomotion), 동물과 사람의 운반과 교신 수단에 의해 일어난다. 확산이란 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르는 현상을 말한다. 이를테면 정체되어 있는 호수에 누출된 오염물질은 농도가 높은 오염지역에서 농도가 낮은 곳으로 확산에 의해서 천천히 퍼져간다. 1800년대 미국지역에서 발생한 콜레라나 근래에 발생한 후천성면역결핍증이 초기발생지역에서 다른 지역으로 전파되어가는 현상에는 확산작용이 상당히 작용하고 있다.<sup>25)</sup> 집단이동은 물질이 바람이나 물의 흐름에 실려 이동하는 경우를 말하며, 수문학이나 대기과학에서는 이류(advection)라고도 한다. 공장에서 발생한 폐수와 대기오염물질이 강물과 바람에 실려가는 것은 집단유동의 보기이다. 공기나 물에서 일어나는 기체상, 용존상, 또는 입자상 물질의 이동은 대부분 확산과 집단유동에 의한다. 생물의 적극적 이동은 동물이 날개나 다리와 같은 자신의 이동수단을 이용하여 옮겨가는 현상을 일컫는다. 세계 곳곳에서 볼 수 있는 철새 떼나 툰드라 지역에서 일어나는 초식동물의 이동은 대표적인 보기이다. 마지막으로 사람의 교통과 통신 수단이 환경에서 물질과 정보 이동에 점점 큰 역할을 하는 것은 주지의 사실이다. 이 주제는 오래 전부터 도시 및 지역, 교통 계획 및 설계에서 특별히 중시해 온 반면에 자연생태학에서 출

25) 김형국 1997, 104쪽 재인용.

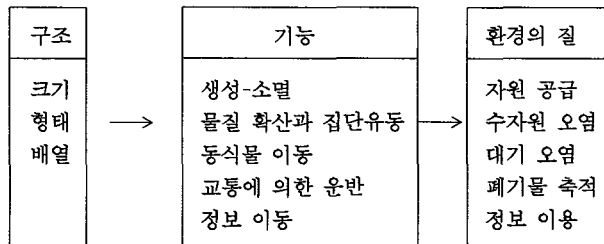
발한 지금까지의 경관생태학에서는 뚜렷하게 고려하지 않았지만 경관생태학 원리와 연결될 것으로 예상된다.

물질을 옮겨 놓는 힘은 태양에너지, 중력, 원자력 등에서 비롯된다. 옮겨 놓는 매체는 물, 바람, 동물, 사람이지만 물, 바람, 동물, 사람이 가진 에너지의 대부분은 태양에너지에서 비롯되었다. 경관생태학의 기능적인 영역은 이러한 에너지에서 비롯된 힘이 경관의 구조에 의해서 어떻게 영향을 받고 어떤 요소에 어떻게 분배되는지 정성적 정량적으로 탐구하는 분야로 볼 수 있다. 자연적인 흐름과 인공적인 작용이 가미된 흐름을 보편적으로 다룰 수 있는 원리 발굴은 앞으로 경관생태학이 폭을 넓힐 수 있는 방향으로 짐작된다.

경관에서 경관요소의 배치는 경관 안에서 에너지, 물질, 생물, 무형의 정보 흐름에 영향을 주며, 동시에 그러한 흐름은 경관 요소의 형태와 배치에 되먹임 과정을 가진다. 경관 요소 사이에 일어나는 이동 과정에서 물, 부유물질, 용존성 오염물질과 같이 어떤 물질은 강으로 집중되며 침식, 씨앗이나 대기오염 물질과 같이 어떤 물질은 흩어지는 경향이 있다. 어떤 생물은 장소를 옮겨가며 생활하는 동안에 경관의 모양과 배치에 대해 매우 예민한 반응을 보이기도 하고 어떤 생물은 무디다. 어떤 생물은 멀리 이동해 갈 수 있는 반면에 어떤 생물은 좁은 장소에서 제한된 이동을 하며 일생을 마친다. 어떤 것은 빠르게 이동하며, 어떤 것은 천천히 이동한다. 경관 요소의 경계부는 이동속도가 현저하게 변하는 여과대 기능을 하기도 한다.

광역 차원에서 도시중심지는 사람, 자동차, 정보, 그리고 상품의 생성처(source)로서 기능을 하는 반면에 주변의 시골은 수용처(sink) 역할을 한다. 역으로 시골은 광업이나 농업으로 생산한 원료와 산소와 같은 물질의 생성처로서 수용처인 도시지역과 기능적으로 상호작용을 한다.<sup>26)</sup> 생성처와 수용처를 연결하는 대상의 이동은 많은 경우 잘 형성된 통로를 따라 일어나지만 공기나 물에서는 이류 또는 확산을 통해서 일어난다.

이런 과정을 거쳐 경관 구조는 우리 환경의 질에 매우 밀접한 관계를 가진다. 이것은 경관 구조가 기능인 에너지, 물질과 정보의 생성, 소멸 그리고 이동에 큰 영향을 미치고 또 받기 때문이다. 이러한 과정을 요약해보면 그림 2와 같다.



〈그림 2〉 경관 구조, 기능 그리고 환경질의 관계

26) Odum 1981, 이도원 1997.

#### Ⅳ. 환경관리를 위한 가설적 제안과 적용 방향

일반적으로 작은 규모에 비해서 큰 규모의 현상은 지속적이고 안정적이다. 짧은 기간에 일어나는 대부분의 작은 변화는 작은 면적에 영향을 주는 반면에 장기적인 변화는 큰 면적에 영향을 미친다. 지역적인 생태계는 수일 또는 수년의 규모 안에서 쉽게 변한다. 예외적으로 몇 시간 또는 몇 일 안에 일어나는 척추동물의 이동이나 수천 년이 걸쳐서 일어나는 식생 변화도 있으나 대부분의 경관과 광역 수준의 토지 모자이크는 수 십년 내지 수 세기에 걸쳐 조금씩 변형된다.

따라서 장기적인 측면을 고려하는 지속가능성은 엄밀한 의미에서 지구 규모에서 보장되어야 한다. 반면에 지속가능한 인간과 토지의 관계가 장기적인 접근을 요구하기는 하지만 단기적인 계획과 의사 결정에 우선순위를 빼앗기는 경우가 허다하다.<sup>27)</sup> 사람들은 우선 발 앞에 떨어진 단기적이며 자기와 직접 관련된 일들에 더 관심을 가지고 있다. 뿐만 아니라 지구 차원에서 환경 문제를 진단할 수는 있어도 어느 누구도 지구 차원에서 환경을 관리할 수 없다. 그렇다고 환경 문제는 개인과 가정 차원에 맡겨놓아서 해결될 일이 아니다. 이제 흔히 전지구적으로 생각하고 지역적으로 행동하자는 말의 '지역'을 '경관'과 '광역' 수준에 맞추어 생각할 필요가 있다. 경관과 광역 단위는 지속 가능한 사회를 주장할 때 계획의 기저가 되어야 한다. 정책, 계획, 설계, 관리, 보전에서 생태학 원리를 적용할 때 자연과정과 인간 활동의 균형을 유지하고 통합할 수 있는 적절한 단위는 경관과 광역이라고 본다.<sup>28)</sup>

경관 수준의 과정은 우리가 보고 있는 공간적 구조를 형성하는 데 핵심적인 역할을 하고 있다. 동시에 경관구조는 그 과정들과 유통에 주요한 조절기능을 발휘한다. 생성처와 수용처 결정, 경관요소의 연결성, 바람, 물, 동물, 사람에 의해서 야기되는 흐름의 여러 가지 강도는 기능과 구조를 연결시키는 핵심이다. 경관 단위 사이의 물과 영양소 운반, 식물과 무척추동물, 척추동물의 이동과 같은 것이 중요한 요소가 된다.

목재의 생산, 생물과 토양 그리고 하천의 보호, 주택과 도로 건설은 경관요소들의 배치에 의해서 영향을 받는다. 인간의 활동으로 만들어놓은 경관요소들 사이의 흐름으로 각 요소들에 대한 발전 방향의 지속가능성이 보장될 때 전체 환경의 지속가능성도 보장을 받는다. 각 요소들이 원만한 상호 작용 또는 교환으로 이루어지는 지속가능성의 원리는 간단하지만 구체적인 실천방안은 그렇지 않다. 경관생태학은 궁극적으로 원리와 함께 실천 방안을 동시에 끌어내고자 하는 학문이다.

경관생태학의 연구결과를 바탕으로 에너지와 물질, 생물, 정보를 생성하고 공급하는 생태계

27) 이도원 등 1995.

28) Forman 1995.



와 소비하는 생태계의 연결을 도모할 수 있다. 이를테면 육상생태계가 인위적인 토지 이용 변화로 영양물을 과도하게 내어놓는 경우 그것을 받아 줄 다른 육상생태계로 유통시키면 물로 들어가는 양이 적어질 것은 당연하다. 그러나 이것은 하나의 보기일 뿐이다. 물질뿐만 아니라 에너지, 생물, 정보의 자연적 인공적 생성처와 수용처를 밝히고 주고받는 관계를 원만히 이루도록 토지이용계획과 조정설계에서 반영하는 노력은 이미 진행되고 있다.<sup>29)</sup>

경관에서 토지이용 양상, 대기로부터 입력되는 물질의 양 그리고 유역으로부터 출력되는 물질의 양은 서로 관련이 있다. 경관을 가로질러서 영양원소들의 물이나 바람의 흐름에 의해서 이동할 때 여러 가지 생태계 유형과 경관 단위들의 변화를 초래할 뿐만 아니라 유체 자신의 선택적 이동 경로를 포함하는 물리적 화학적 성향의 변화 또한 생긴다.<sup>30)</sup> 이를테면 경작지에서 발생한 질소와 인, 부유물질이 지하 또는 지표 유출수를 따라 강으로 흘러가는 동안 많이 제거된다(표 1). 만약 강변지역의 삼림이 없었다면 대부분의 질소와 인은 강으로 흘러들어 부영양화에 보탬이 되었을 것이다.

뿐만 아니라 이동하는 대상은 종류에 따라 선택적인 이동 경로를 가지는 경우가 있어 경관 요소의 배치에 반영될 필요가 있다. 이를테면 질소의 경우에는 경작지와 강변생태계 사이의 지하수를 통해서 이동하는 양이 우세한 반면에 인은 경작지에서도 강변삼림에서도 지표유출수로 주로 이동한다.<sup>31)</sup> 더구나 유출수의 질산염 농도는 강변에 조성되어 있는 숲을 통과한 다음에는 크게 감소하는데 그 양은 삼림의 성장에 의한 흡수량으로 설명될 수 있는 양보다 훨씬 많다고 한다. 또한 질소화합물의 경우에는 탈질작용과 같이 미생물 활동으로 기체 형태로 바뀌어 대기로 유실되는 양이 많지만 인의 경우에는 기체형태가 없다.

이런 연구는 경관생태학에 여러 가지 중요한 착상을 확인시켰다. 예를 들면 첫째, 강변삼림과 경작지와 같은 경관단위는 그 경관의 유출수의 방류 특징을 결정하는 데 주요한 역할을 맡고 있다. 둘째, 여러 가지 경관단위는 영양물질들을 포집하고 전환시키는 데는 선택적인 효과를 가지기 때문에 단순히 유역에서 하천을 통해 유출되는 물의 양을 측정하는 수문학적 접근만으로는 경관의 전환 특징을 보여 주지 못한다. 셋째, 질소와 인과 같은 중요한 영양소는 경관을 거쳐서 이동할 때 수문학적으로 다른 경로에 의해서 전달되기도 하고 이들 경로는 경관 안에서 영양소들의 운명과 그에 따른 결과를 결정하는 데 중요한 역할을 하게 된다. 그리하여 이러한 원리들을 고려한 경관단위의 신중한 관리와 배치는 사람들에게 이로운 경관구조를 자아내게 할 수 있다. 예를 들면 육상생태계의 영양소를 보유할 뿐만 아니라 식물이용과 용탈 및 유출수에 의한 손실에 대한 취약성을 조절할 수 있는 경관을 조성할 수 있다.

다른 조건들이 모두 같다면 거칠기가 큰 경관은 외부의 자극에 더 큰 반응을 보일 것으로 예

29) Forman 1995, Dramstad 등 1996.

30) Lowrance 등 1985, Armentano & Menges 1986.

31) Vought 등 1994, Lee 1998, Lyons 등 1998.

<표 1> 식생 여과대의 너비와 질소, 인 그리고 부유물질의 제거 효율

너비(m)	총질소		무기인		부유물질		참고문헌
	유입수 농도 (mg N/l)	제거율 (%)	유입수 농도 (mg P/l)	제거율 (%)	유입수 농도 (g/l)	제거율 (%)	
지하유출수							
30	5.2	100					1
25		68					2
19	7.4	93					3
50	6.8	99					3
10	14.0 <sup>a</sup>	86					9
5		100					10
17		84					10
지표 유출수							
30	175.2	98					4
30	69.3	98					4
30	47.0	98					4
50	4.5	78					3
5	8	40-50	2	65-85			5
10	8	75	2	95			5
5	12.3 <sup>a</sup>	10-15	6.4	40-45			6
10	12.3 <sup>a</sup>	25-45	6.4	65-70			6
15	12.3 <sup>a</sup>	40-45	6.4	85-90			6
10	7 <sup>a</sup>	50	0.3	70-80			7
4.6			16.2 <sup>b</sup>	53	17.1	56	8
9.1			16.2 <sup>b</sup>	78	17.1	80	8
4.6				41 <sup>b</sup>			11
9.2				53 <sup>b</sup>			11
26				89 <sup>b</sup>			12
26				92			12
8				66			13
16				95			13

1: Pinay & Decemps 1988; 2: Lowrance 등 1984; 3: Peterjohn & Correll 1984; 4: Doyle 등 1997; 5: Syversen 1992; 6: Vought 등 1991; 7: Knauer & Mander 1989; 8: Lee 등 1989; 9: Lowrance 1992; 10: Haycock & Pinay 1993; 11: Matette 등 1987; 12: Schwer & Clausen 1989; 13: Bought 등 1994. 참고문헌 1-7은 Petersen 등(1992), Vought 등(1994)에서 재인용했다. 윗첨자 a와 b는 각각 질산태 질소와 총인을 가르킨다.

측된다. 오목지역이 있는 경관에서 표면의 거칠기가 큰 요소는 이입하는 에너지와 물질을 보유하는 경향이 커짐에 따라 수용체로서 작용할 것이며 표면의 거칠기가 낮은 요소는 외부의 자극으로 물질을 잃는 생성체으로서 역할을 할 것이라는 가설을 제안할 수 있다.<sup>32)</sup> 이를테면 삼림

생태학에서 흔히 사용하는 엽면적 지수(LAI: leaf area index)는 거칠기 지수의 한 부분으로 그 값이 큰 경우 더 많은 빛에너지를 일차생산성으로 전환한다.<sup>33)</sup> 또한 하층식물이 있는 곳에서는 경관조각의 큰 거칠기 때문에 많은 양의 낙엽이 보유되는 사실이 현장 조사와 컴퓨터 모의실험을 통해서 밝혀졌다.<sup>34)</sup> 이런 연구를 통해서 제안된 가설은 부분적으로 검증되었지만 앞으로 규모와 특징이 다른 경관요소에 적용해볼 필요가 있다. 큰 규모에서 거칠기는 큰 입자를, 반면에 작은 규모의 거칠기는 작은 입자를 보유하는 잠재력을 가질 것으로 보아 이러한 현상을 정량적으로 기술할 수 있는 지표가 될 가능성도 있다.

물, 바람, 동물의 흐름은 이러한 거칠기에 예민한 반응을 보인다. 이동하는 물질의 특성에 따라 거칠기의 정도는 서로 다른 규모에서 정의할 필요가 있다. 이를테면 큰 산줄기와 골짜기가 이루는 거칠기와 경사지에 나타나는 바위, 나무들의 높이가 이루는 거칠기는 서로 다른 규모에서 나타나는 거칠기다. 이러한 규모의 차이는 위를 나는 새나 땅을 기는 길짐승들의 행동에는 다른 영향력을 발휘할 것이다.

거칠기가 다른 지역의 상대적인 위치도 경관 기능에 중요한 작용을 한다. 일반적으로 물질은 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐른다. 거칠기가 낮은 지역이 낮은 곳에 위치할 때보다 높은 곳에 위치하면 물질의 이동은 더 크게 된다. 보기로 숲에 덮인 산보다 민둥성이 산에서 더 많은 토사가 발생하는 것을 들 수 있다. 반면에 낮은 곳에 거칠기가 높은 경관 조각을 배치함으로써 물질이 더 낮은 곳으로 이동하는 것을 감소시킬 수 있다.

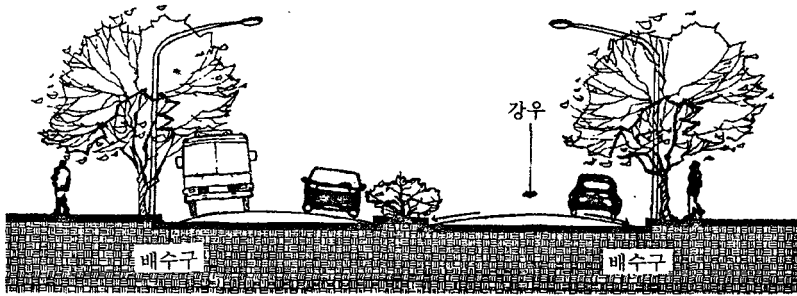
같은 맥락에서 거칠기가 작은 포장 지역과 거칠기가 큰 녹지의 상대적인 위치도 생각해 볼 수 있다. 우리 나라 가로수와 도시 녹지는 거칠기가 낮은 시멘트 건물이나 아스팔트보다 높게 위치한다(그림 3a). 잘 알고 있는 바와 같이 건물이나 도로 위에는 대기 오염물질인 먼지, 매연 등으로 발생한 질소, 황 산화물질 뿐만 아니라 휘발성 독성물질 등이 습성, 건성 강하를 통해서 쌓여 있다. 관례적인 수직 배치는 거칠기가 낮은 아스팔트나 시멘트의 물질들이 바람이나 빗물에 씻겨 아무런 장애없이 더 낮은 하천으로 쉽게 흘러 들 수 있게 한다. 대안으로 녹지를 낮추면 녹지의 거칠기가 아스팔트에서 씻겨온 물질의 수용처 기능을 발휘할 할 것이다(그림 3b).

급경사지역 기슭에 시냇물이 흐르고 시내 가를 따라 숲이 우거져 있는 경우를 고려해보자. 경사지로부터 많은 침식된 용탈된 영양소 그리고 숲이 생산한 씨앗, 낙엽, 죽은 나뭇가지가 시내로 흘러들 것이다. 하천의 물벌레, 물고기는 이러한 물질들의 계절적인 변화에 뚜렷한 반응을 보일 것이다. 이를테면 우리 나라의 경우엔 여름철 홍수시기에 유량이 많아지고 침식과 용탈이 많이 일어난다. 낙엽의 경우 가을에 하천으로 흘러들고 눈이 많은 경관에서는 겨울 동안

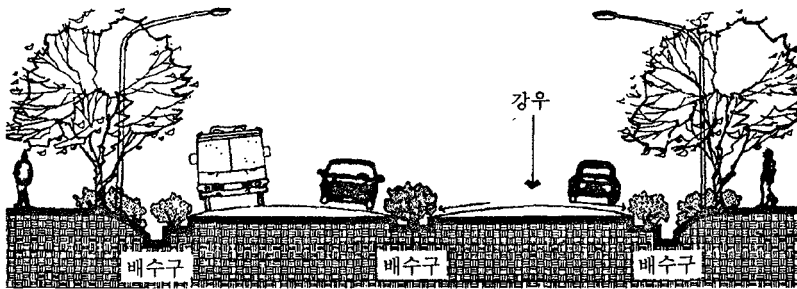
32) 이도원 1997.

33) Waring & Running 1998.

34) Lee 등 1997, 1998.



(a)



(b)

〈그림 3〉 흔히 보는 도로 구조(a)와 제안된 구조(b)의 단면 비교.

이동이 매우 적어진다. 이른 봄 해빙기가 지난 다음 건조해지면 다시 지난 해 가을에 떨어졌던 낙엽이 이동하여 하천을 흘러든다. 이런 계절적인 특성은 하천의 생물활동 및 이동에 독특한 의미를 가질 것으로 보인다.<sup>35)</sup> 이런 과정의 정량적인 이해는 단순한 경관 요소들의 수평적인 관계뿐만 아니라 지형과 식생의 분화로 이루어지는 수직적인 구조 안에서 조망할 때 가능해진다.

뿐만 아니라 숲은 천이와 함께 수직적으로 분화되어 각 높이의 요소들이 발휘하는 독특한 기능으로 새로운 흐름을 조장한다. 이를테면 땅 위에 촘촘하게 자라는 작은 나무와 풀은 비가 올 때 흐르는 물길을 더디게 한다. 물길을 더디게 하는 만큼 더 많은 물들이 땅 속으로 스며들게 하여 지하수를 보충시킨다. 흐르는 물의 힘과 양이 줄어들니 유실되는 토양량을 감소시키는 데 일조한다. 이것은 숲의 토양과 주변 수자원을 동시에 보호한다.

잡목과 잡풀은 지면에 자라는 동물들이 깃들이는 서식처를 제공한다. 즐거가 많은 작은 나무들과 풀은 지표수와 바람에 떠도는 토양입자와 낙엽을 붙잡는 데 효율적이다.<sup>36)</sup> 영양소가 풍

35) Lee 1998.

36) Ludwig 등 1997, Lee 등 1998.

부한 토양은 식물 생산성을 촉진하고, 그렇게 자란 식물과 낙엽과 함께 벌레들의 먹이가 되고, 벌레는 또한 새들과 네 발 달린 짐승들의 먹이가 된다. 생물다리 아래 우거진 작은 키의 관목과 풀은 동물들이 적, 더위를 피하기에 안성맞춤인 환경을 만들어 놓기도 한다.<sup>37)</sup> 그런 동물들이 쏟아 놓는 배설물은 풀과 나무가 자라는 영양소를 공급하고, 먹다 남긴 물질과 함께 썩어서 토양 유기물을 보탠다. 자연에서 일어나고 있는 오묘한 순환과 협동 과정이다.

## V. 장래의 전망

전통적으로 토지관리를 위한 공간정보는 지도 위에 기록되어 왔다.<sup>38)</sup> 탐험가는 강, 산 등 자연 요소를 중심으로 자기가 지나가는 길에서 본 주요 특징물과 연관시켰다. 도시가 발달하면서 도로, 철로, 주거지의 위치가 지도 위에 첨가되었다. 자연을 연구하는 전문가들이 식생, 토양, 배수로를 조사하고 측량하면서 정보는 더욱 보태어졌다. 이 모든 것들은 현장에서 조사함으로써 얻어진 자료들이다. 관찰자가 경관 안에 갇혀 있어서 큰 그림을 그리는 데 긴 시간이 걸렸으며 한계가 있었다.

오늘날 경관분석은 그러한 지도 위에 다른 정보들의 보충을 요구하고 있다.<sup>39)</sup> 환경관리를 위한 식물과 토양 속의 물, 탄소, 영양소 보유량과 생태계 안에서 순환하는 과정 및 속도의 중요성이 인식되고 있다. 나아가 식물 씨앗의 전파 속도와 방향, 동물 개체군의 역동성, 산불이나 다른 요소들의 파급과 같은 식물과 동물의 공간적 변화를 일으키는 과정들도 중요한 환경 계획 및 관리 요소로 추가되었으며 실제로 효과가 나타나고 있다.

경관생태학의 주요 단위인 경관은 지질, 토양, 동물, 식생들이 자아내는 자연적 요소뿐만 아니라 경작지, 거주지, 공장부지와 같은 인간활동이 그리는 토지요소를 포함한다. 공간적으로 경관은 수 평방 킬로미터의 크기이며, 이질적인 지형, 식생형태, 토지이용의 모자이크로서 이루어진다. 그러한 모자이크는 크게 (1) 긴 역사에 걸쳐 일어나는 지질적인 과정, (2) 지구 표면의 생물군집 형성으로 대표되는 생물적 과정, (3) 자연발화에 의한 화재나 태풍과 같은 자연적인 교란, 그리고 (4) 화전, 벌채, 농경 활동, 도시 건설과 같은 인적 교란의 종합적인 영향에 의해 이루어진 결과로 볼 수 있다.

따라서 지구정보시대를 내다보는 최근의 경관생태학은 경관형성에 점점 더 큰 영향력을 발휘하고 있는 인간 활동뿐만 아니라 그것을 좌우하는 인문적인 부분까지 연결시켜 경관 구조와 기능의 변화를 기술하고 예측하려는 시도를 하고 있으며, 생태적 문화적 경관 다양성의 복원을 주장하기도 한다.<sup>40)</sup> 이러한 관점들이 지니고 있는 과정을 간략히 요약해 보면 그림 4와 같다.

37) Forman 1995, 197쪽.

38) Waring & Running 1998.

39) Waring and Running 1998.

생태적 요인,	→ 생물 분포,	→ 경관유형
사회요인,	토지 이용	
시장원리	정책과 실행	
→ 일조 및 복사,	→ 물질이동,	
바람유형,	식물전파, 동물이동,	
수문체제	교란과 병충해 전파,	
	인구 및 정보 이동	
→ 자원공급,	→ 생태적, 사회경제적 안정성	
환경의 질		

〈그림 4〉 자연과정과 함께 인문 사회적인 요인은 경관유형을 결정하고, 나아가 환경의 질과 자원 공급에 영향을 준다.<sup>41)</sup>

이처럼 환경 질을 보호하기 위한 접근은 단순한 경관 요소의 배치뿐만 아니라 배치에 따라오는 생지화적 과정의 변화까지 조명할 것을 요구한다. 이것은 또한 경관 과정이 복잡적이기 때문에 다각적인 차원에서 공동 연구를 진행하지 않으면 환경 계획과 설계는 진정 중요한 요소를 빠뜨려놓고 진행될 수 있다는 사실을 의미한다. 이상적인 역할 분담이기는 하지만 원리는 생태학자들이, 구체적인 배치와 광역 차원의 설계는 조경가들이, 배치와 관련된 인문 사회, 자연과학적 요소를 총괄하는 과정은 계획가들이 나누어 연구를 하더라도 서로 정보를 교환할 수 있는 장치가 없이는 불가능하다.

이미 자연자원의 이용과 관리에 종사하는 전문업자, 생태학자, 도시 및 지역 계획 및 설계가, 그리고 환경관리 전문가는 경관생태학 원리와 인연을 맺고 있다. 산림업에 종사하는 사람들은 야생동물 생태학자들과 함께 숲의 계획과 관리를 동시에 고려하기 시작하면서 한편으로는 기존의 생태학 원리를 응용하며 한편으로 새로운 경관생태학 원리 발굴에 공헌하고 있다.<sup>42)</sup> 지역 계획가와 조경가는 공원, 신도시개발, 녹색띠(green way), 하천통로 신설에 경관생태적 원리를 응용하고 또 생태학자들의 원리개발을 조르고 있다. 지리학자들은 물리적, 생물적, 인문적 지리학의 통합에 경관생태학적 접근을 고려하고 있다. 공원관리인과 생태계 복원을 전문으로 하는 업체에서도 경관생태학 원리를 갈구한다. 토양, 생물, 생태계 보존을 주장하는 전문가와 정부기관, 시민단체도 생태학적 원리에 의한 환경관리를 인식하고 있다. 이런 상황에서 경관생태학은 앞으로 점점 국토, 도시, 수자원, 산업, 교통 계획 및 관리에 공헌할 것임에 틀림없다. 왜냐하면 이 모든 분야는 토지이용과 관련된 경관의 구조와 기능에 영향을 주는 과정과 밀접한 관련을 맺고 있기 때문이다.

40) Poore & Poore 1987. 보호경관국제심포지엄에서, Lucas 1992 인용, Urban 등 1987, Naveh 1998.

41) Lee 등 1998.

42) Harris 1984.

지금까지 살펴본 바와 같이 경관생태학은 경관 요소들과 이러한 흐름의 구조적 기능적인 관계를 연구하는 학문이다. 경관생태학의 원리는 생태기술의 발전에도 공헌할 것임에 틀림없다. 환경의 지속가능성은 생태적 온전성(ecological integrity)에 기반하고 있으며, 생태적 온전성은 경관의 구조 및 기능과 밀접한 관계를 맺고 있다.<sup>43)</sup> 바람과 물에 의한 침식, 수자원 오염, 도시지역의 확장, 생물종의 절멸 등의 환경문제가 바로 경관 구조와 기능에 의해서 좌우되기 때문이다.

이런 측면을 강조하면 경관생태학은 경관의 구조와 기능 그리고 이들이 이루는 환경질과 관계를 개념적인 틀과 현장조사, 항공사진, 원격탐사, 지리정보체계, 모형이라는 연구방법을 통해서 정성적/정량적으로 규명하는 학문이다. 이론과 개념은 구조와 기능의 특성을 종합하는 길이며, 현장조사, 항공사진, 원격탐사는 경관 구조 연구에 중요한 자료를 제공한다. 현장 조사, 이론, 개념, 모형은 전체를 종합하고 일반화하는 데 현재로서는 중요한 방안이다. 이제 환경문제를 포괄적으로 다루고자하는 우리 앞에 놓인 가장 큰 숙제는 수많은 정보를 종합하여 정량적인 분석을 가능하게 하는 연구방법의 창출이다.

### 참고문헌

- 김형국. 1997. 한국공간구조론. 서울대학교출판부, 서울.
- 이도원. 1997. 떠도는 생태학. 범양사출판부, 서울.
- 이도원, 박은진, 송동하 옮김. 1995. 생태학: 환경의 위기와 우리의 미래. 민음사, 서울.
- Armentano, T.V., and E.S. Menges. 1986. Patterns of change in the carbon balance of the organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology* 74: 755-774.
- Beasom, S.L., E.P. Wiggers, and J.R. Giardino. 1983. A technique for assessing land surface ruggedness. *Journal of Wildlife Management* 47: 1163-1169.
- Dramstad, W.E., J.D. Olson, and R.T.T. Forman. 1996. *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*. Island Press, Washington, D.C.
- Forman, R.T.T. 1990. The beginnings of landscape ecology in America. pp.35-44 In: I.S. Zonneveld and R.T.T. Forman (eds.) *Changing Landscapes: An*

43) 생태적 온전성은 관리는 고유한 전체다양성(생물종, 개체군, 생태계 다양성), 그리고 그 다양성을 유지하는 데 필수적인 생태적 유형과 과정을 포함하는 보호를 말한다 (Norton 1992, Grumbine 1994).

- Ecological Perspective. Springer-Verlag, New York.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, New York, NY. p. 632.
- Forman, R. T. T., and M. Godron. 1986. *Landscape Ecology*. Wiley, New York.
- Grumbine, R. E. 1994. What is ecosystem management? *Conservation Biology* 8: 27-38.
- Hargis, C. D., J. A. Bissonette, and J. L. David. 1998. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology* 13: 167-186.
- Harris, L. D. 1984. *The Fragmented Forest*. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- Haskell, B. D., B. G. Norton, and R. Costanza. 1992. What is ecosystem health and why should we worry about it? pp. 3-20 In: R. Costanza, B. G. Norton, and B. D. Haskell (eds.). *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Island Press, Washington, D. C.
- Haycock, N. E. and G. Pinay. 1993. Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter. *J. Environ. Qual.* 22: 273-278.
- Lee, D. 1998. Retention of leaf litter, soil particles and nutrients by undergrowth and woody debris in terrestrial ecosystems (Submitted to *BioScience*).
- Lee, D., T. A. Dillaha and J. H. Sherrard. 1989. Modeling phosphorus transport in grass buffer strips. *Journal of Environmental Engineering* 115: 409-427.
- Lee, D., G. Yoo, S. Oh, J. H. Shim and S. Kang. 1997. Significance of leaf litter redistribution to carbon cycling in a temperate mixed hardwood forest. *Korea-Japan Ecology Symposium Proceeding "Cool Temperate Forests in Korean and Japan: Vegetation and carbon Cycling"*. pp. 56-73, Chungbuk National University, 10 October, 1997.
- Lee, D., K. Lee, S. Kang, and S. Kim. 1998. Effects of landscape surface characteristics on material redistribution and environmental management perspectives. a paper presented at a joint symposium of Hokkaido University-Seoul National University in Sapporo, Japan on August 11-12 1998.



- Lowrance, R.R. 1992. Groundwater nitrate denitrification in a coastal plain riparian forest. *J. Environ. Qual.* 21: 401-405.
- Lowrance, R.R., R.A. Leonard, L.E. Asmussen, and R.L. Todd. 1985. Nutrient budgets for agricultural watersheds in the southeastern coastal plain. *Ecology* 66:287-298.
- Lubchenco, J. et al. 1991. The sustainable biosphere initiative: An ecological research agenda. *Ecology* 72: 371-412.
- Lubchenco, J., P.G. Risser, A.C. Janetos, J.R. Gosz, B.D. Gold, and M.M. Harold. 1993. Priorities for an Environmental science agenda in the Clinton-Gore administration: Recommendations for transition planning. *Bul. Ecol. Soc. Am.* 74: 4-8.
- Lucas, P.H.C. 1992. *Protected Landscape: A Guide for Policy-Makers and Planners*. Chapman & Hall, New York, NY.
- Ludwig, J., D. Tongway, D. Freudenberger, J. Noble, and K. Hodgkinson (eds.) 1997. *Landscape Ecology: Function and Management*. CSIRO Publishing, Australia.
- Lyons, J.B., J.H. Corres, and J.A. Amador. 1998. Spatial and temporal variability of phosphorus retention in a riparian forest. *J. Environ. Qual.* 27: 895-903.
- MacArthur, R.H., and E.O. Wilson. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, NH.
- Magette, W.L., R.B. Brinsfield, R.E. Palmer, J.D. Wood, T.A. Dillaha, and R.B. Reneau. 1987. Vegetated filter strips for agricultural runoff treatment. CBP/TRS 2/87, U.S. EPA, Philadelphia, PA 19107. pp.125.
- Malanson, G.P. 1993. *Riparian Landscapes*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Naveh, Z. 1998. Ecological and cultural landscape restoration and the cultural evolution towards a post-industrial symbiosis between human society and nature. *Restoration Ecology* 6: 135-143.
- Norton, B. 1992. A new paradigm for environmental management. pp.23-41 In: R. Constanza, B.G. Norton, and B.D. Haskell (eds.) *Ecosystem Health*. Island Press, Washington, D.C.
- O'Neil, R.V., D.L. DeAngelis, J.B. Waide, and T.F.H. Allen. 1986. A

- Hierarchical Concept of Ecosystems. Princeton University Press, Princeton, NJ. p.253.
- Peterjohn, W.T., and D.L. Correll 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observations on the role of a riparian forest. *Ecology* 65: 1466-1475.
- Petersen, R.C., L.B.-M. Petersen, and J. Lacoursiere. 1992. A building-block model for stream restoration. pp.293-309 In: P.J. Boon, P. Calow and G.E. Petts (eds.) *River Conservation and Management*. John Wiley, Chichester, UK.
- Primack, R.B. 1995. *A Primer of Conservation Biology*. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA.
- Risser, P.G. 1990. Landscape pattern and its effects on energy and nutrient distribution. pp.45-56 In: I.S. Zonneveld and R.T.T. Forman (eds.) *Changing Landscapes: An Ecological Perspective*. Springer-Verlag, New York.
- Risser, P.G., J.R. Karr, and R.T.T. Forman. 1984. *Landscape Ecology: Direction and Approaches*. Special Publication 2. Illinois Natural History Survey, Champaign, IL, cited by Forman 1995.
- Rosenberg, D., B.R. Noon, and E.C. Meslow. 1997. Biological corridors: form, function, and efficacy. *BioScience* 47: 677-687.
- Schreiber, K.-F. 1990. The history of landscape ecology in Europe. pp.21-33 In: I.S. Zonneveld, and R.T.T. Forman (eds.) *Changing Landscapes: An Ecological Perspective*. Stringer-Verlag, New York.
- Schwer, C.B. and J.C. Clausen. 1989. Vegetative filter treatment of dairy mikhouse wastewater. *J. Environ. Qual.* 18: 446-451.
- Smith, D.S., and P.C. Hellmund (eds.) 1993. *Ecology of Greenways*. University of Minnesota Press, Minneapolis, MN.
- Swanson, F.J., T.K. Kratz, N. Caine, and R.G. Woodmansee. 1988. Landform effects on ecosystem patterns and process. *BioScience* 38: 92-8.
- Tinker, D.B., C.A.C. Resor, G.P. Beauvais, K.F. Kipfmuehler, 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.

- Turner, M.G., W.H. Romme, R.H. Gardner, and W.W. Hargrove. 1997. Effects of fire size and pattern on early succession in Yellowstone National Park. *Ecological Monographs* 67: 411-433.
- Urban, D.L., R.V. O'Neil, and H.H. Shugart, Jr. 1987. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience* 37: 119-127.
- Van der Ryn, S., and S. Cowan. 1996. *Ecological Design*. Island Press, Washington, D.C.
- Vink, A.P.A. 1975. *Land Use in Advancing Agriculture*. Springer-Verlag, Berlin.
- Vought, L.B.-M., G. Pinay, A. , C. Ruffinoni. 1995. Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agricultural landscape. *Landscape and Urban Planning* 31: 323-331.
- Voug, L.B.M., J. Dahl, C.L. Pedersen, and J.O. Lacoursiere. 1994. Nutrient retention in riparian ecotones. *Ambio* 23: 342-348.
- Waring, R.H., and S.W. Running. 1998. *Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scale*. 2nd ed., Academic Press, San Diego, CA. 370p.
- Wiens, J.A., N.C. Stenseth, B. Van Horne, and R.A. Ims. 1993. Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos* 66: 369-380.
- Zonneveld, I.S. 1995. *Land Ecology*. SPB Academic Publishing, Amsterdam, Netherlands.