한국지리정보학회지 10권 4호 : 22~34(2007)

경관생태학적 유역관리를 위한 토지이용 유형 분류

오정학[1] · 정성관[2] · 권진오[1] · 박경훈[3※]

A Landscape Ecological Classification based on Watershed Focusing Landcover Types

Jeong-Hak OH[1] · Sung-Gwan JUNG[2] · Jino KWON[1] · Kyung-Hun PARK[3※]

요 약

우리나라는 그 동안 국토를 이용하고 관리함에 있어 생태적 계획에 입각한 지속가능한 보전 및 관리보다는 효율성과 경제성을 중심으로 한 개발지향적 논리에 초점을 맞춤으로써 국토 환경보전에 커다란 기여를 하고 있는 농경지 및 산지면적이 지속적으로 감소하고 있는 추세이다. 지역생태계의 가치에 대한 생태학적 인식이 부족한 가운데 이루어진 일련의 지속적인 개발압력은 자연환경의 자정능력을 초과하는 환경압력으로 작용함에 따라 지역생태계의 건전한 물질순환과 에너지 흐름에 부정적인 결과를 초래하고 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 물환경 문제해결을 위한 공간단위로서의 유역개념이 아닌 생태계를 평가하고 관리할 수 있는 공간 단위개념으로서 유역을 분석하기 위하여 다양한 경관요소가 혼재하고 있는 낙동강 유역권을 대상으로 경관구성 요소 중 토지이용을 중심으로 공간분석기법을 활용하여 서로 유사한 패턴을 보이는 유형으로 분류하고, 각 유형별 지역에 대한 특징을 분석하였다.

주요어 : 경관생태, 유역관리, 토지피복, 군집분석

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate landscape characteristics of watersheds in the Nakdong River Basin for identifying the groups of watershed with similar landcover patterns by using Geographic Information System and statistical technique. According to the results based on the cluster analysis using cluster analysis tool in the ArcGIS 8.3 program, 22 sub-watersheds were classified into three types; "Forest watershed", "Agriculture watershed", and "Urban watershed". In the forest watershed that has the least potential of ecological disturbances by human, a forest management approach based on geographic conditions and coverage types, etc., should be developed to sustain the ecological and environmental functions

2007년 7월 31일 접수 Received on July 31, 2007 / 2007년 8월 30일 심사완료 Accepted on August 30, 2007
1 국립산림과학원 산림생태과 Div. of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute
2 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University
3 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University
※ 연락저자 E-mail : landpkh@changwon.ac.kr

of forest. For the agriculture watershed, environmental-friendly agricultural techniques should be performed in the particular enhancement of riparian buffer zone to the prevent direct inflow of soils, fertilizers, and other chemicals into the stream network. Finally, in the urban watershed, an environmental-friendly plan that may increase the ratio of pervious surface and amount of green-space to should be reserved.

KEYWORDS : Landscape Ecology, Watershed Management, Landcover Pattern, Cluster Analysis

연구배경 및 목적

우리나라는 그 동안 국토를 이용하고 관리함에 있어 생태적 계획에 입각한 지속가능한 보전 및 관리보다는 효율성과 경제성을 중심으로 한 개발지향적 논리에 초점을 맞춤으로써 국토 환경보전에 커다란 기여를 하고 있는 농경지 및 산지면적이 지속적으로 감소하고 있는 추세이다(국토연구원, 1999). 지역생태계의 가치에 대한 생태학적 인식이 부족한 가운데 이루어진 일련의 지속적인 개발압력은 자연환경의 자정능력을 초과하는 환경압력으로 작용함에 따라 지역생태계의 건전한 물질순환과 에너지 흐름에 부정적인 결과를 초래하고 있다(Forman, 1995; Jones 등, 2001; 환경부, 2002).

또한, 생태계에서 발생하고 있는 서식지 파편화와 토지이용 변화, 하천 변형, 대기오염 등과 같은 환경문제는 지역, 국가, 나아가서는 전 지구적 차원과 같이 광범위한 스케일에서 발생하고 있다(Hunsaker 등, 1990). 그 결과, 특정된 공간범위에 있어서 다양한 환경문제들이 동시에 발생할 가능성이 높아지고 있으며, 그들의 영향은 누적될 가능성이 높다(조영동, 1998; 박경훈, 2002). 따라서, 다양한 인자들이 상호간의 영향권을 공유하는 생태계에 관련된 연구에서 공통의 공간적인 평가단위가 존재하지 않으면, 같은 지역에 대해 다르게 설명할 가능성이 높기 때문에(Bailey, 1996), 특정한 공간적 영역에서 발생하는 다양한 환경문제들을 통합적으로 평가하기 위한 새로운 접근법 및 관리체계가 요구되고 있다.

국외에서는 1935년 Tansley가 생태계(ecosystem)라는 용어를 제안한 이후, 다양한 구성요소가 존재하는 생태계를 연구하고 평가하기 위한 생태적 토지 분류의 단위로서 유역(watershed) 및 생태적 단위(ecological unit) 차원에서의 접근을 통해 공간영역을 설정하여(전성우, 2003). 그 지역이 가지는 각종 환경문제의 누적영향 및 평가권역 설정을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다(Omernik, 1995; Ricahrd 등, 1996; Scott 등, 1996; Wickham 등, 1999; Jenerette 등, 2002). 즉, 서로 동질적이면서도 계층적인 특징을 갖는 공간영역의 생태계 관리단위를 통해 그 지역의 생태계를 구성하는 토양, 식생, 물, 지형 등의 자연환경 요소와 인간활동간의 상호작용을 이해하고, 통합적인 관점(holistic approach)에서 건전한 생태계의 보전 및 복원을 위해 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다(Klijn, 1994).

그러나, 우리나라의 경우 대부분의 환경관리가 행정구역 단위를 바탕으로 이루어지고 있는데, 이러한 행정구역 위주의 환경관리는 자연적 공간 영역과의 불일치 등과 같은 문제를 수반하고 있다(이원영, 2001; 환경부, 2002). 이에 생태계를 평가하기 위한 공간적 틀을 설정하기 위해 유역권을 중심으로 생태통합네트워크 구축을 자연환경보전계획의 핵심으로 한 제4차 국토종합계획(국토연구원, 1999)을 수립하였다. 최근에는 생물다양성협약(Conservation on Biological Diversity: CBD) 이행의 기본적인 틀로서, 산림, 수자원 등 자연자원 관리방식에 있어서 핵심적인 개념으로 인식되는 생태적 접근법(ecological approach)을 통해 자연

자원의 지속성을 확보하려는 노력이 진행되고 있다(오정학, 2004).

생태적 지형도(ecological chorography)로 이해될 수 있는 유역권은 환경적으로 민감한 지역의 생태적 계획을 위한 적절한 단위로서 설명될 수 있어(Steiner 등, 2000), 각종 환경문제를 비롯한 자연자원의 효율적 관리뿐만 아니라, 생태계를 구성하는 요소들의 상호작용을 고려한 통합환경관리를 위해 유역 개념을 이용한 생태계 관리에 대한 연구(조용현, 1997; 김종원, 2000; 日本國立環境硏究所, 2001)가 활발히 수행되고 있다.

그러나, 기존의 유역중심의 환경관리에서는 수질 또는 수량문제만을 다루는 오염원 관리 및 자연환경적 요소들간의 상호작용에 따른 인자들이 수환경에 미치는 영향에 대한 연구(신은성 등, 2001; 김철과 김석규, 2002; 김중은 등, 2003)가 중심을 이루고 있어 생태적으로 동일한 특성을 갖는 단위로 이해되는 다양한 인자 및 공간적 위계를 가지는 생태계의 공간적 틀로서 유역권을 이용한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 기존의 물환경 문제해결을 위한 공간단위로서의 유역개념이 아닌 생태계를 평가하고 관리할 수 있는 공간 단위개념으로서 유역을 분석하기 위하여 다양한 경관요소가 혼재하고 있는 낙동강 유역권을 대상으로 경관구성 요소 중 토지피복을 중심으로 공간분석기법을 활용하여 서로 유사한 패턴을 보이는 유형으로 분류하고, 각 유형별 지역에 대한 특징을 분석하고자 한다.

연구 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구의 대상지인 낙동강 유역은 총 면적이 약 23,700㎢로 국토 전체 면적의 약 24%를 차지하고 있으며, 대구광역시, 부산광역시 및 울산광역시의 3개 광역시와 강원도, 경상남·북도, 전라남·북도 등의 5개 도 19개 시와 22개 군(총인구는 2001년 말을 기준으로 전국의 25.9%가 거주)에 걸쳐 있는 유역으로, 22개의 중권역과 191개의 표준유역으로 구성되어 있다(그림 1).

낙동강 수계에는 매력성과 유인성을 지닌 유로, 수변구역을 비롯한 수역의 수변곤충 및 육상곤충, 양·서 파충류, 어류, 조류, 식물군락 등과 생태계보전지역인 낙동강 하구, 원시자연늪인 우포늪, 산지습지인 무제치늪 등의 자연늪·습지가 분포하고 있으나(낙동강환경

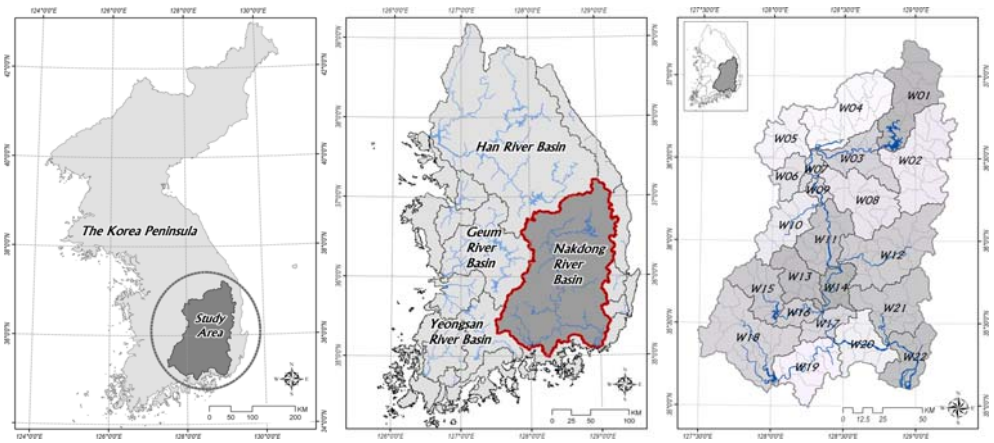


FIGURE 1. The geographical location of the study area

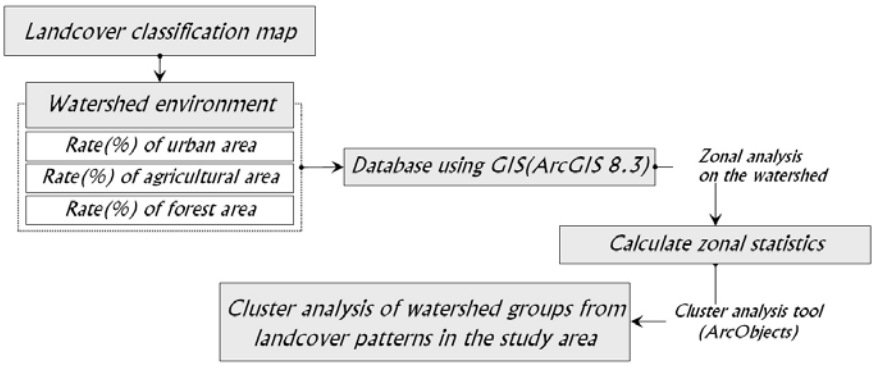


FIGURE 2. The analysis process of this study

관리청, 2001), 생태환경을 고려하지 않은 댐의 건설과 주변 대도시로부터의 각종 오염원 유입으로 인한 수질악화로 생태계가 훼손되고 있는 지역이기도 하다(건설교통부, 2002).

2. 연구방법

본 연구의 수행과정은 그림 2와 같은 과정으로 이루어졌는데, 낙동강 유역을 대상으로 한 토지피복 현황을 파악하기 위해 환경부에서 발행한 1980년대(1987~1989년 위성영상)와 1990년대(1997~1999 위성영상)의 토지피복분류도를 이용하여 분석하였다. 토지피복도의 대분류 기준 중 습지와 수역, 논과 밭을 합쳐 6개 항목으로 재분류하였으며, 시계열적인 토지피복 패턴을 22개 중권역별로 비교·분석하기 위하여 ArcGIS 8.3프로그램의 zonal statistics 기법을 활용하여 주제도를 구축하였다.

다음으로 토지피복 특성에 따른 유형분류를 위해 구축된 토지피복 패턴의 항목별(도시지역, 농경지, 산림) 면적비율을 인자로 낙동강 유역의 경관생태학적 유형분류를 위하여 군집분석(cluster analysis)을 실시하였다. 본 연구에서는 기존의 연구에서 많이 이용되었던 전통적인 군집분석과는 달리 공간 단위 사이의 유사성지수(similarity index) 알고리즘을 이용하여 위계적으로 지역을 넓혀가는 덴드로그램(dendrogram)에 의한 군집분석을 사용하였다. 이 방법은 각 변수들의 공간적 연결성과 유사성에 의해 군집을 형성하는데, 지역들은 위계적인 군집화 과정을 통하여 최초의 토지단위를 모아감으로써 군집을 형성하게 된다. 이러한 일련의 과정을 위하여 ArcGIS 8.3에 탑재되어 프로그래밍되고, ArcObjects로 개발된 Cluster Analysis Tool을 사용하였으며, 유형들간의 유사성은 제곱 유클리디언 거리(squared euclidian distance)를 기준으로 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 유역별 토지피복 현황

환경부에서 발행한 토지피복분류도의 대분류 중 낙동강 유역에서 면적점유율과 시계열적 변화율이 상대적으로 높아 경관생태학적으로 중요한 경관요소로 존재하는 도시지역, 농업지역 및 산림지역의 면적율을 중심으로 한 토지피복 분석을 통해 유역별 패턴에 대해 살펴보았다. 낙동강 유역을 구성하는 22개 중유역에 대한 시계열적 토지피복별 면적점유율 및 지형적 특성을 분석한 결과는 표 1과 같다.

TABLE 1. Landcover types and topographical conditions of each watershed

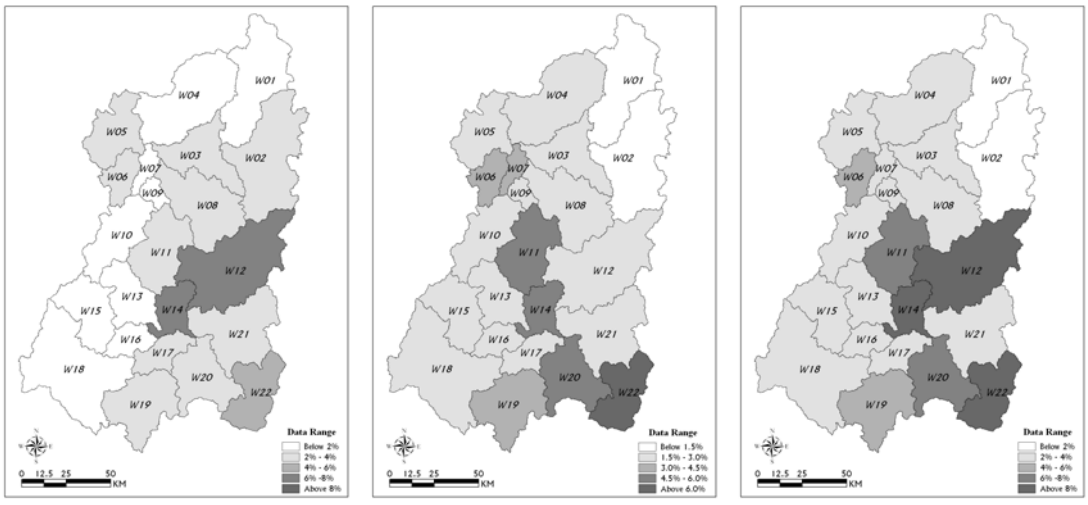
ID	Watershed name	Area (㎢)	Landcover types(%)						Topography	
			Forest		Agriculture		Urban		Elevation (m)	Slope (°)
			1980s	1990s	1980s	1990s	1980s	1990s		
W01	Andong dam	1,628.7	84.0	81.6	11.1	12.4	0.5	1.5	548.3	20.6
W02	Imha dam	1,975.8	85.2	79.6	10.5	15.1	0.9	1.6	387.5	20.1
W03	Lower andong dam	980.4	68.8	66.0	24.6	25.7	1.3	3.5	209.9	14.9
W04	Naesungcheon	1,816.1	70.2	62.6	24.9	30.5	0.6	3.4	320.4	14.9
W05	Yeunggang	914.4	82.0	75.6	14.3	18.3	1.0	2.9	335.4	19.2
W06	Byeongsungcheon	433.1	64.7	57.9	30.5	34.6	0.9	4.3	173.0	12.3
W07	Nakdong-sangju	224.1	55.8	51.1	35.3	37.9	0.3	3.4	133.4	10.9
W08	Wicheon	1,406.0	70.0	68.2	24.0	25.4	1.1	2.7	212.5	15.1
W09	Nakdong-gumi	179.2	65.5	61.2	24.9	26.6	0.3	2.6	147.1	12.1
W10	Gamcheon	1,005.3	75.1	64.5	20.0	28.3	0.8	3.7	280.9	15.5
W11	Nakdong-waegon	1,106.2	62.9	57.3	27.5	27.9	2.3	7.4	150.0	12.7
W12	Geumhogang	2,092.4	69.0	63.5	20.1	21.8	5.5	8.5	236.0	14.9
W13	Hoecheon	781.7	80.9	74.9	14.8	18.6	0.7	2.6	348.9	17.9
W14	Nakdong-goryung	548.0	57.9	53.1	27.4	26.0	6.7	11.9	141.8	13.1
W15	Hapcheon dam	928.9	80.4	70.9	14.3	22.3	0.6	2.6	501.6	17.4
W16	Hwanggang	387.2	70.9	67.3	21.7	23.5	0.6	3.0	149.6	15.8
W17	Nakdong-changnyeong	473.3	67.3	59.8	24.5	29.6	1.0	3.4	142.8	15.4
W18	Namgang dam	2,293.4	80.5	73.5	15.2	19.8	0.5	2.4	425.6	18.0
W19	Namgang	1,185.1	66.3	58.1	26.8	31.1	1.4	5.5	110.5	14.5
W20	Nakdong-miryang	1,004.7	59.2	48.3	32.0	37.8	1.3	6.2	122.3	13.1
W21	Miryanggang	1,422.3	77.4	71.2	17.1	21.3	1.2	3.0	319.2	19.6
W22	Nakdong barrage	915.8	62.7	55.7	24.5	22.6	4.2	11.0	187.6	15.2
	Total	23,702.1	73.2	67.0	20.2	23.6	1.6	4.3	292.1	16.4

* Measurement of all variables was calculated from land-cover maps and DEM data constructed by Ministry of Environment

1) 도시적 토지피복 분포

도시지역 면적율은 토지피복 분류상 유역 내에 분포하는 주거지역, 상업지역, 공업지역, 교통지역, 기타 시설지역 등이 차지하는 비율로서 인간에 의한 이용강도 즉, 도시화 정도를 파악하기 위한 지표라고 할 수 있다. 특히, 접근성의 향상을 위한 도로 개설은 자연의 파괴와 파편화를 의미하며, 동·식물의 이동을 저해할 뿐만 아니라 외래종의 확산을 돕는 역할을 하는 등 생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로(Schleusner, 1994; 나정화 등, 2001), 유역별 토지피복 현황을 기초로 하여 인간에 의한 도시적 이용강도를 평가하였다.

유역별 도시지역 면적율의 분석결과는 그림 3에서 보는 바와 같이, 행정구역상 대구광역시와 부산광역시에 분포하는 유역을 제외한 나머지 대부분의 유역들은 10% 미만의 면적율을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 산림의 점유율이 높은 안동댐(W01)과 임하댐 유역(W02)의 경우에는 지형학적 영향 등으로 인해 도시개발이 그다지 이루어지지 않아 증가율은 상대적으로 미약한 것으로 나타났다.



(a) 1980s (b) 1990s (c) change rate

FIGURE 3. The proportion and change rate of urban land in each watershed

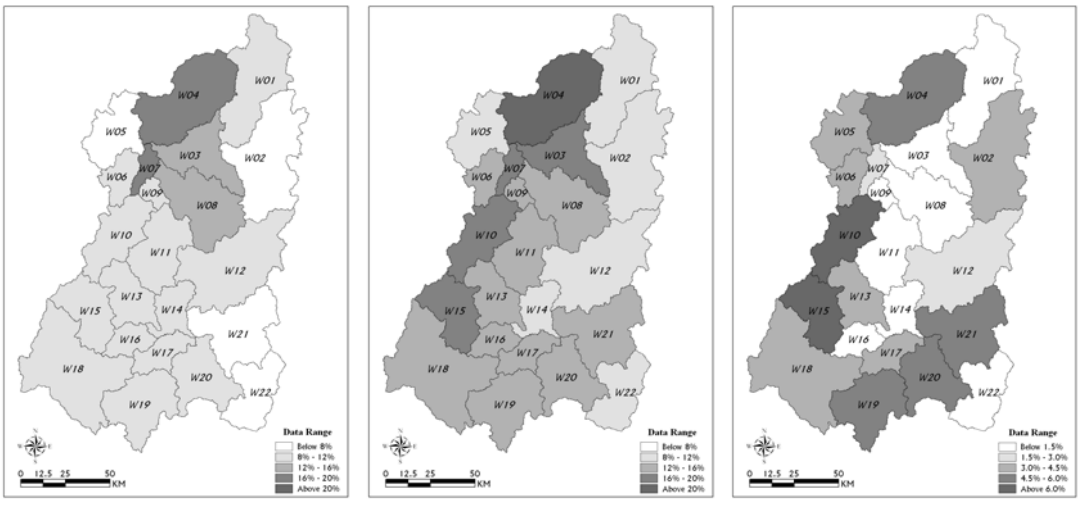
낙동창녕(W14), 금호강(W12) 및 낙동강 하구언 유역(W22)의 경우에는 증가율이 5%를 넘는 것으로 나타나, 다른 유역들에 비해 도시화의 진행이 빠르게 진행된 것으로 분석되었다. 특히, 이들 유역은 행정구역상 대구광역시와 부산광역시, 울산광역시 등과 같은 대도시와의 인접성으로 인해 지속적인 개발압력이 작용하고 있는 지역이다. 또한, 포장면이 상대적으로 높은 도시지역은 불투수강도가 매우 높아 강우, 특히 기상이변으로 인한 집중호우시 발생되는 비점오염원의 원인이 되며(엄정섭, 2004), 도시지역의 면적율 및 증가율이 상대적으로 높은 지역은 비점오염원 및 불투수성 포장율에 따른 하천 수질 및 수생태계에 미치는 영향은 상당히 높다고 할 수 있으므로 도시계획 단계에서 불투수면에 대한 총량규제 등의 관리방안이 필요하다고 할 수 있다.

2) 농업적 토지피복 변화

다음으로, 논, 밭, 과수원, 가축사육시설 등의 농업적 토지피복패턴은 농업용 용수로 설치, 농약 및 비료사용량의 억제, 경지 정리 등의 적절한 유지관리가 이루어질 경우에는 인간생활에 필수적인 농업작물 생산지역이며, 경관생태학적 측면에서 생물서식처(biotope)로 활용되는 공간이다(오정학, 2004). 그러나, 지형적으로 경사지에 위치한 농경지는 토양유실의 위험성으로 인해 식량생산의 어려움이 있을 뿐만 아니라, 농약, 비료, 제초제 등의 화학물질이 토사와 함께 하천으로 유입될 가능성이 높다. 이러한 경사지에 위치한 농경지의 관리에 대해 EPA(1997)에서는 토양유실이 예상되는 경사도 3% 이상에 위치한 농경지 면적을 지표로 삼고 있으며, USDA에서는 경사도에 따라 6등급으로 토양을 구분하여 6% 이상의 경사도를 가질 경우, 토양유실의 잠재적 위험성을 내포하므로 지속적인 관리를 실시하고 있다(Rattan, 2000).

본 연구에서는 농업과학기술원에서 발행한 토양도상의 경사도 평가기준 및 양진석 등(2000)의 연구결과를 기초로 하여 유역별 경사도 7% 이상에 분포하는 농경지 면적율을 평가지표로 사용하였으며, 결과는 그림 4와 같다.

평탄지 또는 경사가 완만한 지형에 분포하는 농경지의 면적율이 상대적으로 높은 낙동



(a) 1980s (a) 1990s (c) change rate

FIGURE 4. The proportion and change rate of agricultural land greater than 7% in each watershed

강 하구언(W22) 및 산림의 면적율이 상대적으로 높거나 유역의 평균고도가 높은 안동댐(W01) 및 임하댐 유역(W02)로 경사지에 분포하는 농경지의 면적율이 유역 면적의 10% 정도를 차지하는 것으로 나타났다.

유역별 분석결과, 농경지의 면적이 유역의 30% 이상을 차지하고 있는 내성천(W04) 및 위천 유역(W07)은 지형적 요인에 의해 농경지의 20% 정도가 경사도 7% 이상에 분포하고 있는 것으로 나타나 토양침식의 잠재적 위험성이 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

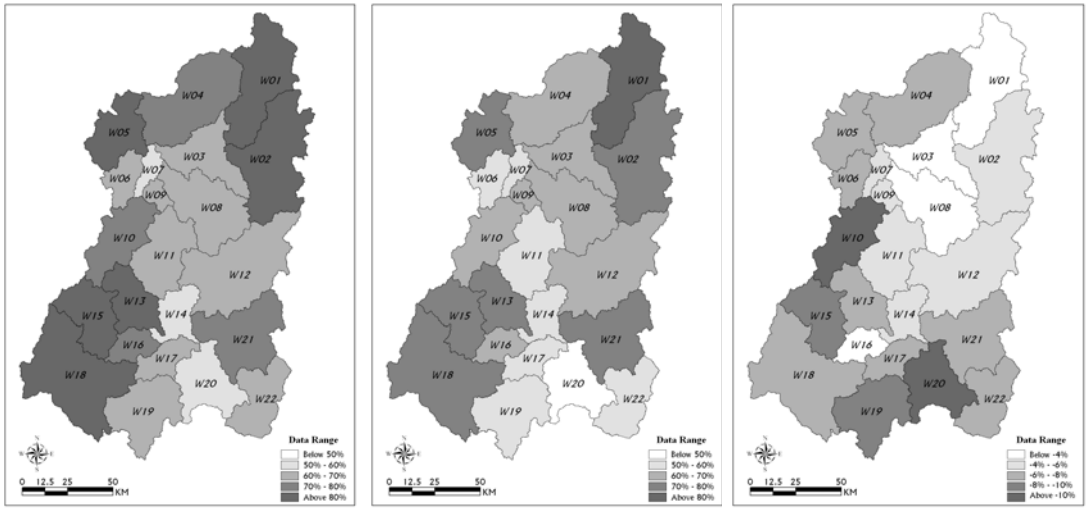
시계열적 변화를 살펴보면, 특히 합천댐(W15), 감천(W10) 및 낙동밀양 유역(W20)에서의 증가율은 6%를 넘어 토양침식의 잠재적 위험도는 상대적으로 높게 나타났다. 토지피복 분석 결과, 이들 유역들은 하천과 인접한 지역에서 농경지가 선형적인 형태로 많이 분포하는 것으로 나타났는데, 이들 지역에 대해서는 질소, 인, 퇴적물 등이 하천에 미치는 영향을 최소화하기 위해 수질오염의 발생가능성에 지속적인 관심을 보여야 할 것으로 사료된다.

3) 산림지역 면적율

산림면적율은 지역 생태계의 자연성 정도를 양적인 측면에서 비교·평가하는데 유용한 정보를 제공할 뿐만 아니라, 경관생태학적으로 생물의 서식처를 제공하며, 하천 수질 및 어류 건전성 등과 관련성이 높은 것으로 밝혀지고 있다.

유역별로 살펴보면 그림 5에서 보는 바와 같이, 안동댐(W01), 임하댐(W02), 영강 유역(W05)이 75%이상으로 산림면적율이 높게 나타났으며, 이 중에서 황지천에서 안동댐역조정지까지의 안동댐 유역(W01)은 약 80% 이상이 산림으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.

산림면적율이 가장 낮은 유역은 낙동강 하류지역에 위치한 낙동밀양(W20)으로서 48.31%를 차지하고 있으며, 다음으로 낙동상주(W07), 낙동고령(W14), 낙동강 하구언 유역(W22) 등으로 나타났다. 이들 유역들은 대부분 농업적 토지피복이 상대적으로 높은 유역으로서, 녹지공간을 확보하는데 있어 도시적 토지피복패턴을 가지는 지역보다는 상대적으로 양호한 상태라고 할 수 있다. 그러나 보다 효율적인 녹



(a) 1980s (a) 1990s (a) change rate

FIGURE 5. Proportion and change rate of forest land in each watershed

지공간을 확보하기 위해서는 향후 발생할 수 있는 휴경농지에 대한 생태적 복원과 함께 유역을 기반으로 한 생태적 건전성에 많은 영향을 미치는 수변구역을 조성하고, 도시지역의 경우에는 지리적 격리에 의한 피해를 최소화하기 위해 미결정고시공원에 대한 공원화와 녹도 및 가로수의 활용 등을 통해 산림 및 녹지공간을 확보할 필요성이 있다고 사료된다.

2. 토지피복패턴에 의한 유형분류

오늘날 발생하는 환경문제는 공간과 지역적으로 광범위한 영향권을 가질 뿐만 아니라, 시간적 차원에서도 계속 변하는 동적 과정에 있다. 즉 생태계를 둘러싸고 있는 자연환경은 복잡한 상호관계와 다중성을 가지는 요인들에 의하여 발생하므로 단편적이고 부분적인 방법이 아니라 통합적인 방법으로 문제를 해결해야 할 필요성이 있다(Wickham 등, 1999). 물론, 생태계를 구성하는 모든 요소 전체를 동시에 포함하는 하나의 공간적 범위를 제시하는 것은 곤란하지만, 복수의 요소를 어느 정도 포함하여 파악할 수 있는 공간적 범위를 분석하는 것은 가능하다고 할 수 있어, 면적비율이 상대적으로 높은 도시지역, 농경지, 산림의 비율을 인자로 활용하여 군집분석을 수행하였다.

이에 본 연구에서는 앞서 분석한 토지피복패턴을 중심으로 공간 단위 사이의 유사성지수(similarity index) 알고리즘을 이용하여 위계적으로 지역을 넓혀가는 덴드로그램(dendrogram)에 의한 군집분석을 사용하여 유형을 분류하였다. 이 모델은 다양한 환경적인 요인으로부터 생태학적 단위를 합리적인 방법을 거쳐 묘사할 수 있고, 그들을 위계적인 구조에 따라 조직화할 수 있게 한다. 이러한 방법은 지금까지 수행된 전통적인 방법에 비해 생태정보에 관한 주제도의 작성 과정이 정량적이며, 자동화된 정보를 제공해 줌으로써, 결과에 대한 불확실성이 줄어줄고, 인간의 주관적인 판단에 의한 오차를 줄여줄 수 있다는 장점이 있다(오정학, 2004).

한편, 군집분석에 의한 유형분류는 분석에 사용된 변수와 초기에 지정하는 유형 수의 지정기준 등에 따라 그 결과가 상이하게 도출되며, 해석에 있어서도 연구자의 주관적 견해가

TABLE 2. Statistical characteristics in each cluster

Category	Landcover pattern			Topography	
	Urban(%)	Agriculture(%)	Forest(%)	Elevation(m)	Slope(°)
Cluster A	1.72	11.85	83.30	467.54	21.52
Cluster B	3.27	21.43	70.61	301.82	16.95
Cluster C	6.20	33.37	52.48	137.14	12.67
Cluster D	5.38	43.84	44.77	151.56	9.71
Cluster E	44.74	8.64	33.33	107.17	9.62

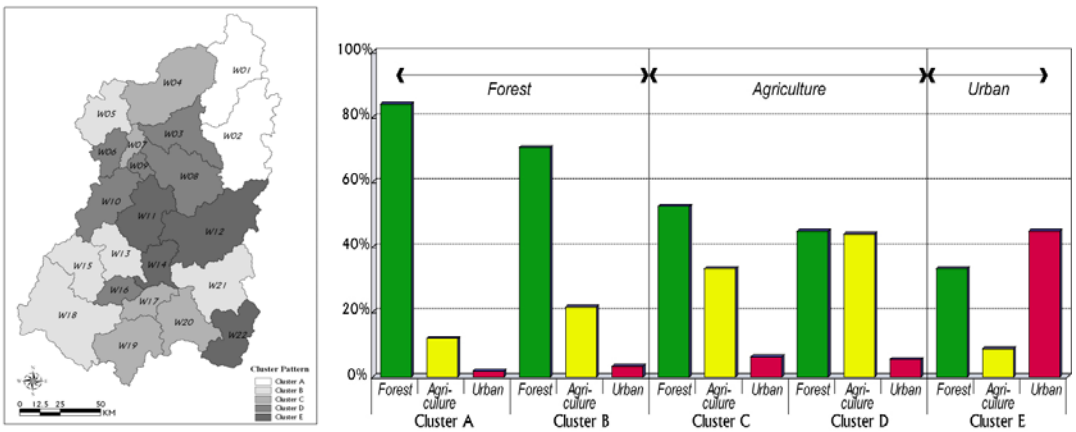


FIGURE 6. Results of watershed groups by cluster analysis

포함되게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 한계성을 최대한 보완하기 위해 한강유역환경관리청(2001)의 '한강수변구역관리 기본계획 및 설계 종합보고서' 및 금호강 유역을 대상으로 박경훈(2002)이 제시한 유형분류를 참조로 하여 군집의 수를 선정하였다.

유사한 토지피복 패턴을 보이는 유역들 간의 군집화 상태에서 낙동강의 22개 중권역을 5가지 유형으로 묶을 경우, 각 유형별 인자의 평균값은 표 2와 같으며, 공간적 분포패턴은 그림 6에서 보는 바와 같다.

그림 6에서, A유형에 속하는 유역은 상류지역인 안동댐(W01), 임하댐(W02)의 2개 유역으로 나타났으며, B유형은 낙동강 상류의 영강(W05) 및 낙동강 하류의 회천(W13), 합천댐(W15), 남강댐(W18) 및 밀양강 유역(W20)의 5개 유역이 포함되는 것으로 나타났다. 낙동강 상류의 내성천(W04) 및 낙동강 하류 의 낙동상주(W07), 낙동창녕(W17), 낙동밀양(W20), 감천 유역(W10) 등 5개 유역이 C유형에 포함되는 것으로 나타났으며, D유형에는 안동댐 하류(W03), 병성천(W06), 위천(W08), 낙동구미 유역(W09) 등의 낙동강 중류 유역과 낙동강 하류의 황강 유역(W16)의 6개 유역으로 나타났다. 마지막으로 E유형에 해당하는 유역은 대구광역시와 부산광역시가 포함되는 낙동왜관(W11), 금호강(W12), 낙동고령(W14) 및 낙동강 하구언(W22)의 4개 유역이 포함되는 것으로 분석되었다.

유형별 생태특성을 살펴보면, A·B유형은

산림면적율의 평균값이 다른 유형에 비해 상대적으로 높은 특성을 보이고 있어 '산림형 유역'으로 명명하였다.

산림의 양을 측정하기 위한 산림 면적율은 A유형이 평균 83%로 가장 높을 뿐만 아니라, 임하댐(W01)과 안동댐 유역(W02)은 유역 면적의 약 85% 이상이 산림으로 구성되어 있다. 자연입지적인 측면에서 연강수량이 소우지역의 특성을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 또한, 유역의 평균경사와 평균표고가 상대적으로 높은 반면, 토지의 경제적인 활용가능성을 나타내는 평탄지의 면적이 적어 도시지역 면적율과 같은 인간활동 규모에 관련된 지표들이 비교적 낮게 나타났다.

산림형 유역은 유역의 대부분이 산림으로 피복되어 있어 인간의 간섭으로 인한 생태계 교란은 많지 않으며, 산림의 수원함량, 야생동식물의 서식지 제공 등을 통해 생태계의 건전성은 양호한 상태라고 할 수 있다. 따라서, 지속가능한 산림관리를 위해 계안지역이나 수변지역 등의 설치를 통한 수변완충지대의 조성 및 산림수자원의 확보와 함께 산림지역내에서의 생물다양성에 부정적인 영향을 미치는 오염수준의 저감방안, 산림생태계의 환경조건 변화에 영향을 저감할 수 있는 산림관리기술을 장려할 필요성이 있다고 사료된다.

다음으로, C·D유형은 농업활동이 다른 유형에 비해 상대적으로 우세하기 때문에 '농촌형 유역'이라고 명명하였다. 농촌형 유역은 강우나 바람 등에 지표면이 노출되는 경작지의 면적율이 높기 때문에 산림지역이나 도시지역보다 토양침식의 위험도가 높다고 할 수 있다. 이는 잠재적인 토양침식 위험도과 관련된 지표인 경사지에 위치한 농경지의 면적율이 다른 유형에 비해 높은 값을 가진다는 점을 통해 이해할 수 있다.

농촌형 유역은 논, 밭, 과수원 등과 같은 농경지를 비롯하여 가축사육 등의 농업활동이 활발한 지역으로서, 토양침식과 시비, 제초제 등과 같은 농업용 화학물질의 과도한 사용과 축산폐수 등이 주된 오염원으로 작용하게 된다(박경훈, 2002). 농촌형 유역의 공간적 분포 패턴을 살펴보면, 낙동강 본류지역에 상당량 분포하는 것으로 나타났는데, 이들 유역을 중심으로 환경농법의 적극적인 도입과 함께 농약 및 비료에 의한 토양오염을 사전에 예방하고, 하천에 인접한 농경지의 경우 수변구역의 자연정화기능을 향상시키기 위한 완충수림대의 조성이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

또한 강우유출에 의한 경사지 농경지의 토양침식을 예방하기 위하여 토양침식의 위험도가 상대적으로 높은 지역은 사전예측과 지속적인 관리가 이루어져야 할 것이며, 침식퇴적물의 발생가능성이 높은 경사지 밭의 경우에는 경작형태의 변경이나 식생대 조성 등을 통하여 침식조절을 행할 필요성이 사료된다.

마지막으로, E유형은 주거·상업·공업지역 등과 같은 도시지역의 면적율이 평균 12% 이상으로 다른 유형의 유역에 비해 상대한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 유역내의 평균경사도 및 평균고도의 값이 낮아 자연입지적인 측면에서의 개발의 경제적인 이용성은 높은 지역으로 분석되었다.

Schleusner(1994)는 불투수성 포장율과 하천질 간의 관계성에 대해 분석하였는데, 불투수성 포장이 10% 이하일 경우 하천 질은 비교적 양호하며, 잘 보존된 상태의 하천수로도 자연상태에 가까운 건전한 상태를 유지하여 비점오염원의 영향은 적다고 하였다. 그러나, 불투수성 포장율이 11~25%로 증가하면 하천질은 상당히 떨어지게 되는데, 이는 불투수성 포장율의 증가로 인해 비점오염원의 부하가 발행하게 되고, 물리적·화학적 환경의 변화로 인해 종다양성이 감소된다고 하였다.

도시형 유역으로 분류된 유역들은 행정구역상 대구광역시와 부산·울산광역시를 포함하는 지역으로 낙동강 본류에 인접하여 분포하고 있는 것으로 나타나, 불투수성 포장율에 따

른 하천 수질 및 수생태계에 미치는 영향은 상당히 높다고 할 수 있다. 즉, 도시지역의 비점오염원이 수질오염에 큰 영향을 미치고 있으므로 낙동강의 생태적 건전성을 향상시키기 위해서는 도시지역 비점오염원의 절감을 위한 합리적인 기술 및 정책개발의 필요성이 있다고 사료된다. 또한 수환경의 생태적 건전성에 부정적 영향이 큰 불투수성 포장재의 사용을 자제하고, 옥상 및 법면녹화 등을 통한 녹지면적의 확대와 함께 차도 및 보도 등의 공간에 투수성 포장재를 사용하여 유역 내에서의 투수율을 증가시킬 필요성이 있다.

결 론

본 연구에서는 유역을 공간적 단위로 GIS 및 통계기법을 활용하여 토지피복 패턴을 중심으로 유사한 경관특징을 가지는 유형으로 분류하여 낙동강 유역에 대한 경관생태적 특징을 분석하였다. 일반적으로 경관생태적 공간유형은 비교적 동일하면서도 연속된 지역으로 정의되기 때문에 기존의 연구에서 많이 이용되었던 전통적인 군집분석과는 달리 공간 단위 사이의 유사성지수(similarity index) 알고리즘을 이용하여 위계적으로 지역을 넓혀가는 덴드로그램(dendrogram)에 의한 군집분석을 사용하였다. 제곱 유클리디언 거리(squared euclidian distance)를 기준으로 토지피복에 따른 수평적 경관에 의해 분류된 유형의 경관특성 및 관리방안을 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 유역의 대부분이 산림으로 피복되어 인간의 간섭으로 인한 생태계 교란이 상대적으로 적은 산림형 유역은 산림의 수원함량, 야생동식물의 서식지 제공 등을 통해 생태계의 건전성은 양호한 상태라고 할 수 있다. 그러나, 최근 자연휴양림 내의 집단시설지구 건설과 접근성 확보를 위한 도로 건설 등의 개발행위로 오염원의 증가가 지속적으로 이루어지고 있다. 이와 같은 비점오염원의 증가를 방지하기 위해서는 계안지역이나 수변지역 등의 설치를 통한 수변완충지대의 조성 및 산림수자원의 확보와 함께 산림생태계의 환경조건 변화에 대한 영향을 저감할 수 있는 산림관리 기술을 장려할 필요성이 있다고 사료된다.

다음으로 낙동강 본류의 중·상류지역에 많이 분포하고 있는 농촌형 유역은 논, 밭, 과수원 등과 같은 농경지를 비롯하여 가축사육 등과 같이 농업활동이 활발한 지역으로서, 토양침식과 시비, 제초제 등과 같은 농업용 화학물질의 과도한 사용과 축산폐수 등이 주된 오염원으로 작용하게 된다. 이들 유역을 중심으로 환경농법의 적극적인 도입과 함께 농약 및 비료에 의한 토양오염을 사전에 예방하고, 하천에 인접한 농경지의 경우 수변구역의 자연정화기능을 향상시키기 위한 완충수림대의 조성이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

또한, 산업화와 도시화에 따라 최근 농촌형 유역에서 많이 늘어나고 있는 휴경농지 및 한계농지는 농촌경관을 훼손하는 원인 중 하나로 인식되지만, 휴경기간 중에 도입된 식생으로 인해 토양침식, 불량경관 차폐 등 비가시적인 공익적 기능을 제공하고 있으므로 농촌자원의 일부인 농경지를 보호하는 동시에 주변경관과의 조화를 유도할 수 있도록 대안별 관리방안이 도입될 필요성이 있다고 판단된다.

마지막으로 낙동강 본류를 중심으로 하류지역에 분포하는 도시형 유역은 행정구역상 대구광역시와 부산·울산광역시가 위치하는 지리적 여건과 표고 및 경사와 같은 지형적 영향으로 인해 불투수층으로 포장된 도시적 토지피복이 경관의 요점요소로 작용하고 있는 지역이다. 이들 지역은 불투수성 포장율에 따른 하천 수질 및 수생태계에 미치는 영향은 상당히 높다고 할 수 있으므로, 친환경적 이용계획을 통한 투수성 포장율의 증가 및 옥상, 법면녹화 등을 통한 녹지공간의 확보가 이루어져야 할 것이다.

본 연구의 목적은 생태계의 관리정책을 수립하는 데 있어 적절한 공간적 관리 범위로서 유역권의 사용 가능성을 파악하기 위하여 이

용하여 토지피복 패턴을 중심으로 유형화 작업을 수행하였다. 그러나, 보다 더 실천적인 공간 단위로서의 역할 수행을 위해서는 향후 타 유역이나 국가 전체를 대상으로 환경특성에 따른 유형화 작업과 이를 토대로 한 구체적 실천방안이 지속적으로 연구되어져야 할 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서 다루지 않은 지형인자나 기상인자에 대한 분석도 병행되어져 우리나라 실정에 부합하는 인자 선정에 관한 연구 또한 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다. KAGIS

참고 문헌

국토연구원. 1999. 제4차 국토종합계획 시안: 총괄보고서(2000~2020). 394쪽.

건설교통부. 2002. 우리ㄱ롬길라잡이:우리 강을 한눈에, 건설교통부. 343쪽.

김종원. 2000. 하천유역별 통합 물관리체계 연구. 국토연구원. 131쪽.

김중은, 안건혁, 이창무. 2003. 하천유역 토지이용과 비점오염물질 발생강도간의 상관관계분석-도로와 건물의 비율 및 공간적 분포를 중심으로. 대한국토도시계획학회지 38(2):203-216.

김철, 김석규. 2002. GIS를 이용한 주암호 유역의 오염부하량 산정 및 수질모의. 한국지리정보학회지 5(3):87-98.

나정화, 이석철, 사공정희, 류연수. 2001. 생물종 및 서식지 보전의 관점에서 본 대도시의 비오톱 구조분석. 한국조경학회지 28(6):29-51.

낙동강환경관리청. 2001. 생태계변화관찰지역 탐방가이드. 낙동강환경관리청. 39쪽.

박경훈. 200. GIS 및 RS 기법을 활용한 낙동강 유역의 통합환경평가. 경북대학교 박사학위논문. 258쪽.

신은성, 최지용, 이동훈. 2001. 토지용도와 유역특성을 고려한 비점오염물질 원단위 산정에 관한 연구. 한국물환경학회지 17(2):137-146.

양진석, 권순식, 문영수, 박종관. 2000. 환경지리학: 토지이용과 지구시스템 과학. 시그마프레스.

엄정섭. 2004. 도시의 불투수면 총량규제에서 원격탐사와 GIS의 활용. 한국환경영향평가학회지 13(5):263-276.

오정학. 2004. 환경친화적 국토자원관리를 위한 경관생태학적 접근. 경북대학교 박사학위논문. 257쪽.

이원영. 2001, 유역을 기초로 한 행정구역경계 설정의 필요성. 한국환경영향평가학회지 10(3): 245-255.

전성우. 2003. DMZ 일원의 환경보전 기본방안. 한국환경정책평가연구원. 269쪽.

조영동. 1998. 도시생태계 보전을 위한 비오톱 맵핑의 적용과 활용방안에 대한 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문. 97쪽.

조용현. 1997. 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도 평가방법 개발. 서울대학교 환경대학원 박사학위논문. 189쪽.

환경부. 2002. 국토생태 네트워크 구축전략에 관한 연구. 183쪽.

日本國立環境硏究所. 2001. 流域環境管理に關する國際共同硏究.

Bailey, R.G. 1996. Ecosystem Geography. Springer. 204pp.

Forman, R.T.T., 1995, Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions, Cambridge University Press. 652pp.

Hunsaker, C.T., R.L. Graham, G.W. Suter, R.V. O'Neill, L.W. Barnthouse and R.H. Gardner. 1990. Assessing ecological risk on a regional scale. Environmental Management 14(3): 325-332.

Jenerette, G.D., J. Lee, D.W. Waller, and R.E. Carlson. 2002. Multivariate Analysis of the Ecoregion Delineation for Aquatic Systems. Environmental Management 29(1):67-75.

Jones, K.B., A.C. Naele, M.S. Nash, R.C. 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.

Island press. pp.140-157.

Scott, J.M., T.H. Tear, and F.W. Davis. 1996. GAP Analysis: A Landscape Approach to Biodiversity Planning. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Steiner, F., J. Blair, L. McSherry, S. Guhathakurta, J. Marruffo, and M. Home. 2000. A watershed at a watershed: the potential for environmentally sensitive area protection in the upper San Pedro Drainage Basin. Landscape and Urban Planning 49:129-143.

Wickham, K.B. Jones, R.V. O'Neill, R.D. Tankersley, and E.R. Smith. 1999. An integrated environmental assessment of the US Mid-Atlantic region. Environmental Management 24(4):553-560.

Klijn, F. 1994. Ecosystem classification for environmental management. Kluwer Academic Publishers. 329pp.

Omernik, J.M. 1995. Ecoregions: A Framework for Managing Ecosystems. George Wright Society Forum 12(1):35-50.

Rattan, L. 2000. Integrated watershed management in the global ecosystem. CRC Press. 416pp.

Richard, C., L.B. Johnson, and G.E. Host. 1996. Landscape-scale influences on stream habitats. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Species 53(1):295-311.

Schleusner, D.P. 1994. Resource Management Perspective: Practical Considerations for Using GIS and Remote Sensing at the Field Level. (In) Sample, V.A. (ed.). Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management.