

금호강 유역의 환경특성이 하천수질에 미치는 영향

박경훈^{1*}

The Impact of Environmental Characteristics in the Geumho River Watershed on Stream Water Quality

Kyung-Hun PARK^{1*}

요 약

최근 물환경에 관련된 광범위한 문제들을 해결하기 위한 대안으로 유역관리의 관심이 증대되고 있는 시점에서, 본 연구는 금호강 유역을 모니터링하기 위한 환경정보의 구축과 소유역 단위의 환경특성이 하천 수질에 미치는 영향을 분석하였다. 소유역 단위의 환경특성을 분석하기 위한 GIS 데이터베이스는 축척 1:25,000의 지형도, 정밀토양도, 토지이용도, 10m 해상도의 DEM, 도로망도, 수계망도, Landsat TM 영상에서 산출된 식생지수(NDVI), 강우량, 그리고 RUSLE 모형에 의한 토양유실량으로 구성되었다. 소유역 단위의 환경특성과 하천 수질간의 상호관련성을 분석한 결과에 따르면, 유역의 도시화 또는 산업화에 관련된 주거·상업지역, 공업지역, 도로지역에 관련된 변수들은 BOD, COD, SS, T-N, T-P의 수질자료와 음(-)의 상관성을 가지는 것으로 분석되었다. 이와는 달리, 자연환경상태와 관련된 산림피복과 식생상태 변수들은 수질자료와 양(+)의 상관성을 가지는 것으로 분석되었다. 그러나, 농업적 토지이용과 농약 및 비료사용량, 토양유실량은 수질자료와 유의한 상관성을 가지지 않는 것으로 나타났다.

주요어: 유역관리, 통합환경평가, 토지이용, GIS, 하천수질

ABSTRACT

There has recently been an increasing interest of the watershed management as a solution to a wide range of problems related water environment, therefore this study attempted to construct the environment information system to monitor the Geumho River watershed, and to evaluate the impacts of the watershed characteristics on stream water quality. A detailed GIS database to analyze the environmental characteristics at the subwatershed units, including 1:25,000 scale topographical maps, detailed soil maps, land use, 10m-resolution DEMs, roads, streams, vegetation index(NDVI) calculated

2003년 11월 13일 접수 Received on November 25, 2003 / 2003년 12월 13일 심사완료 Accepted on December 13, 2003
1 경북대학교 환경과학연구소 Environmental Science Institute, Kyungpook National University
* 연락처자 E-mail: landpkh@hanmail.net

from Landsat TM imagery, rainfall, and soil loss using RUSLE, is compiled for the study area. The set of variables representing watershed urbanization or industrialization, residential and commercial landuse, industrial landuse, and road area have significantly negative(-) relationship with water quality variables(BOD, COD, SS, T-N, T-P). On the other hand, watershed indicators related to natural environmental conditions, forest cover and vegetation index(NDVI) in each subwatershed were significantly positive(+) relationship with water quality. Three other variables, agricultural landuse, amount of fertilizer and pesticides, and potential soil loss, were not significant in explaining the correlations between watershed environment and stream water quality.

KEYWORDS: Watershed Management, Integrated Environmental Assessment, Land Use, GIS, Stream Water Quality

서 론

우리나라는 물환경문제가 본격적으로 거론되기 시작한 1980년대 초부터 20년이 넘는 기간 동안 점오염원에 의한 수질오염을 저감시키기 위해서 대규모의 환경기초시설을 설치하는 등 지속적인 노력과 투자로 지점별·수계별 수질개선효과를 가져왔으나(김종원, 2000), 농경지에 살포된 비료 및 농약, 토양침식물, 축사유출물, 도시지역의 먼지와 쓰레기, 대기오염물질의 강하물 등과 같은 비점오염물질에 대한 관리부재로 대부분의 강이나 하천은 목표수질을 달성하지 못하고 있는 실정이다. 이처럼 점오염원 중심의 수질정책과 특정사안을 중심으로 한 단편적 대책마련에 편중된 종래의 물환경정책에 대한 한계성을 인식하면서 물이 흘러 모여드는 집수구역 또는 유역단위의 자연환경, 토지이용, 역사·문화적 요소 등을 통합적·유기적으로 관리하기 위한 유역관리제의 도입이 활발히 추진되고 있다(이창희, 1999; 김종원, 2000; 日本國立環境研究所, 2001). 예를 들어, 미국은 일찍부터 유역관리제를 도입하여 전 국토를 흐르고 있는 강이나 하천에서 낚시와 수영이 가능하고 마시기에 안전한 물을 확보한다는 목표 아래 ‘맑은 물 실천계획(Clean Water Action Plan, CWAP)’을 수립하여 추진 중에 있으며(이창희 등,

1999), 일본의 경우도 1998년 3월 수립한 ‘21세기 그랜드디자인(21世紀の國土のグランドデザイン)’에서 유역단위의 국토 보전 및 관리를 통한 건전한 물순환계의 회복을 주요 시책으로 지정하고 있다(日本環境廳, 2001). 최근 국내에서도 낙동강을 비롯한 주요 4대강의 수질 개선을 목표로 한 유역관리제의 추진이 활발히 이루어지고 있는데, 그 일환으로 환경부는 2002년 수질보전국 산하에 유역제도과를 신설하고, 8개 지방환경청을 유역관리체계로 전면 개편하여 사전 환경성검토 및 소유역별 오염총량관리제의 도입 등 사전예방기능을 강화하고 있으며, 그동안 한강수계에만 적용되어 오던 수변구역을 낙동강, 금강, 영산강의 3대 수계로 확대하여 지정·관리하고 있다.

최근 들어, 물환경관리에 유역개념을 도입한 연구들이 활발히 진행되고 있는데, 특히 유역규모에서의 인간활동 및 자연환경특성이 물환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가한 연구로서, Bolstad와 Swank(1997)는 유역의 도로밀도와 건물밀도, 불투수성 포장률이, 그리고 Moyle와 Randall(1998)은 댐밀도와 저수지 수용능력, 급경사지의 농경지 면적률 등이 하천수질에 미치는 영향을 평가하였고, Hunsaker와 Levine(1995), Jones 등(2001)은 유역경관지표를 토대로 오염부하량을 예측하기 위한 다중회귀모델을 제안하였다.

한편, 국내에서도 이호준 등(1999)은 유역의 토지이용패턴이 물환경에 미치는 영향을 분석하였고, 권형중과 김성준(2003), 이연길 등(2003)은 유역의 홍수유출을 해석하였으며, 안승섭과 조명희(1999), 김성준 등(2002), 그리고 박경훈과 정성관(2000)은 GIS 기법을 활용한 유역환경평가 및 관리시스템 구축에 관한 연구를 수행하였으나, 아직까지 유역단위의 인간 활동 및 자연환경적 특성을 파악하기 위한 광범위한 유역환경정보의 구축과 유역환경특성이 하천 수질에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위한 통합적 연구는 미흡한 실정이라 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 최근 오염총량관리제를 비롯한 수변구역의 지정 등 유역 관리제가 활발히 추진되고 있는 낙동강 중류의 금호강 유역을 대상으로 GIS 및 원격탐사 기법을 활용하여 유역환경특성, 즉 토지이용강도 등의 인간활동규모와 식생, 토양 등 자연환

경의 상태를 파악하기 위한 유역환경정보를 구축하고, 이를 토대로 금호강 유역을 구성하는 소유역 단위의 환경특성이 하천 수질에 미치는 영향을 정량적으로 규명하고자 한다.

연구대상지 및 분석방법

1. 대상지 개요

본 연구의 대상지는 그림 1과 같이 낙동강 중류권에 분포하는 24개 소유역으로 금호강 본류 및 지류의 19개 소유역과 낙동강 본류의 5개 소유역으로 구성되어 있다. 소유역의 수문학적 흐름은 금호강 최상류의 영천댐(W01) 유역에서 시작하여 낙동강의 지류인 차천천(W24) 유역까지 연결되어 있다.

대상지의 중심을 흐르고 있는 금호강은 낙동강의 제1지류로서, 1970년대부터 산업화 및 도시화 등의 근대화 과정을 거치면서 중·하

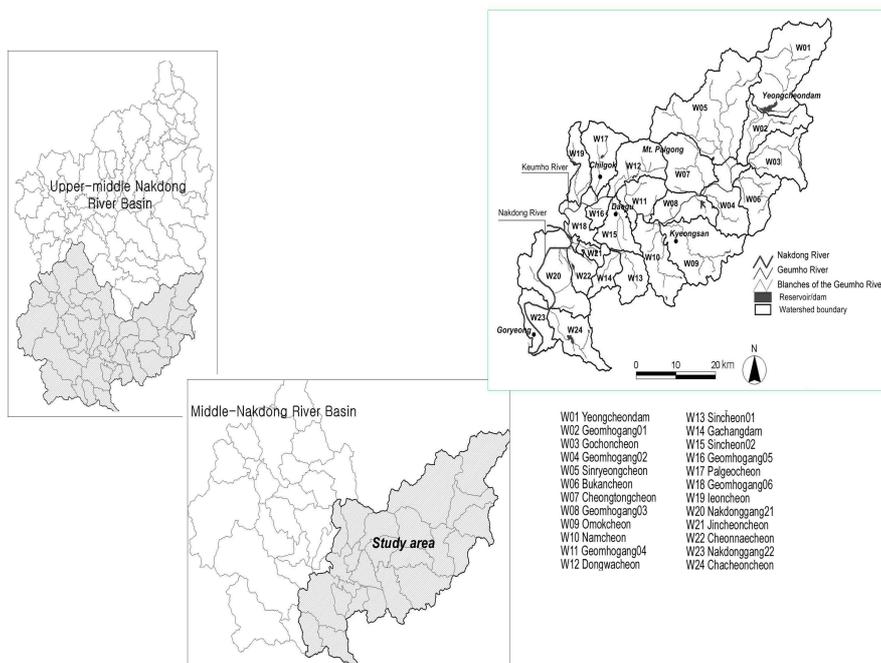


FIGURE 1. Geographical location of the study area

류 지역에 대구광역시라는 거대도시를 중심으로 대규모의 산업단지와 도시지역이 형성됨에 따라 환경부하가 급격히 증가하게 되었고, 이로 인해 낙동강의 수질은 금호강이 합류되면서 연평균 BOD 농도(1991~2000년)를 기준으로 수질등급 III급수를 초과하고 있는 실정이다(낙동강환경관리청, 2001). 이러한 상황을 고려해 볼 때, 현재 정부차원에서 추진되고 있는 낙동강 물관리종합대책에 있어서 금호강의 수질개선 및 자연성 복원을 위한 유역관리방안이 우선적으로 다루어져야 할 것으로 판단된다.

2. 조사 및 분석과정

대상지의 환경특성을 파악하기 위한 유역 환경정보는 표 1에 제시된 바와 같이, 국립지리원에서 제작한 수치토지이용도(1:25,000)와 수치지형도(1:25,000), 농업과학기술원에서 제작한 수치정밀도양도(1:25,000), 그리고 Landsat TM 위성영상(1995년 5월 7일 촬영)을 기본적인 공간자료로 활용하였다. 또한, 수치지형도에서 해당 레이어를 추출하여 도로망도와 하천망도 등의 주제도를 생성하였고, 지형분석은 수치지형도에서 10m 간격의 고도값을 가지는 등고선을 추출하여 불규칙삼각망(triangulated irregular network, TIN)으로 변환시킨 후, Arc/Info 8.0.2(ESRI Inc., 1999)의 TINLATTICE

명령어를 이용하여 생성된 10m 해상도의 DEM 자료를 활용하였다. 식생활력도 평가를 위한 정규식생지수(NDVI, normalized difference vegetation index)는 Landsat TM 영상자료의 band 3, 4를 이용하여 산출하였다. 측정자료에 해당하는 월평균 강수량은 1990~2001년까지 기상청에서 측정된 각 년도별 월평균 자료를 수집한 후, Microsoft사의 Excel 프로그램을 활용하여 데이터베이스화하였다. 토양침식위험도를 평가하기 위한 토양유실량은 RUSLE (revised universal soil loss equation)모형을 적용하여 산출하였다.

RUSLE의 적용을 위한 인자는 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 식생피복인자(C), 침식조절인자(P)로서 정밀도양도, 토지이용도, 경사도, 경사길이 등의 유역환경정보를 활용하여 5개 인자에 대한 10m 셀크기의 주제도를 각각 생성한 후, 최종적으로 이를 중첩하여 토양유실량을 산출하였다(박경훈, 2003). 이러한 토양유실량을 토대로 소유역별 토양침식 위험도를 평가하였는데, 본 연구에서는 농업전문가들이 관심을 가져야 될 적정한 수준으로 제시되고 있는 토양유실량 10ton/ha/yr을 기준(Morgan, 1995)으로 그 이상인 지역의 면적률을 소유역별로 산출하였다. 이상과 같이 구축된 유역환경정보는 유역규모에서의

TABLE 1. Watershed inventory data used in this study

Data layer	Scale	Source
Land use	1:25,000	Topographic map
	1:25,000	Topographic map
Soils	1:25,000	Detailed soils map
Slope	10m cell	DEM
Elevation	10m cell	DEM
Slope length	10m cell	DEM
Watershed boundary	1:25,000	Topographic map
NDVI	30m cell	Landsat TM imagery (7 May 1999, row/path=114/35)
Rainfall (1990~2001)	1:25,000	Point locations and tables of attributes
Meteorological stations		
Soil loss	10m cell	RUSLE model

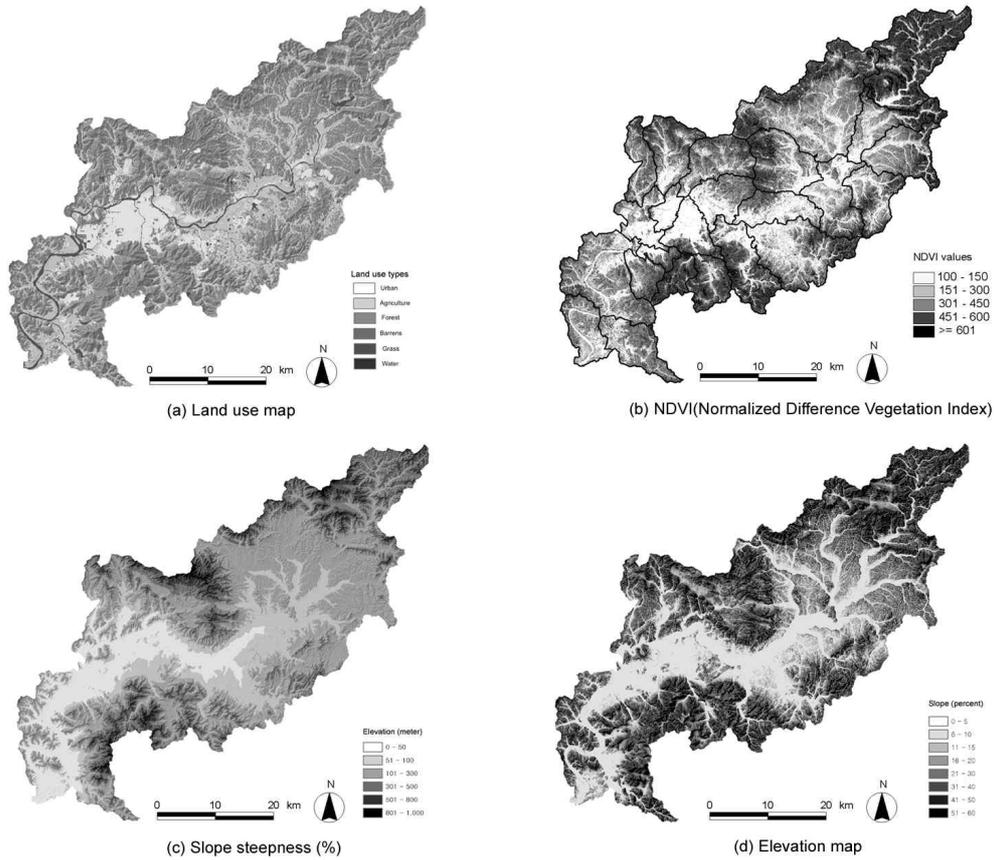


FIGURE 2. Spatial data set for evaluating watershed environmental characteristics

TABLE 2. The list of variables for the evaluation watershed environmental characteristics

Descriptions	Watershed indicators	Explanation	Units	Abbr.
Human activities	Residential and commercial area	Proportion of watershed with residential and commercial area	%	RESI
	Industrial area	Proportion of watershed with industrial area	%	INDU
	Road area	Proportion of watershed with road area	%	ROAD
	Agricultural area	Proportion of watershed with agricultural area	%	AGRI
	Fertilizer and pesticides	Annual amount of used fertilizer and pesticides	ton/km ² /yr	FERP
Natural environment conditions	Forest area	Proportion of watershed with forest area	%	FORE
	Vegetation condition	Mean values of normalized difference vegetation index	-	NDVI
	Potential soil loss	Proportion of watershed with potential soil loss greater than 10ton per ha per year	%	SLOS

환경특성이 하천 수질 등의 물환경에 미치는 영향을 분석한 선행연구(Booth, 1991; Case 등, 1994; Zandbergen, 1998; Jones 등, 2001)를 종합적으로 고려하여 선정된 유역지표를 평가하기 위한 기초자료로 활용하였다(그림 2).

환경특성을 평가하기 위한 유역지표는 크게 유역의 도시화 및 농업활동 등의 인간활동 규모와 산림의 물리적인 양과 식생의 생육상태, 토양의 침식위험도 등의 자연환경상태로 구분하였다. 세부적으로 표 2에 제시된 바와 같이, 인간활동규모에 관련된 지표들은 주거·상업지역 면적률(%), 공업지역 면적률(%), 도로 면적률(%), 농업지역 면적률(%), 그리고 농약 및 비료사용량($\text{ton}/\text{km}^2/\text{yr}$)이며, 유역의 자연환경상태에 관련된 지표들은 산림면적률(%), 식생활력도, 그리고 토양침식위험도(%)로 구성되었다.

유역환경정보를 토대로 유역지표($n=8$)에 대한 소유역 단위($n=24$)의 환경특성을 평가한 후, 이를 기초로 Excel 프로그램을 이용하여 8×24 의 행렬표(matrix)로 작성하였다. 소유역 단위의 환경특성을 평가한 결과는 ArcView 3.2의 JOINITEM 명령어를 이용하여 소유역구

분도의 속성값으로 입력하여 각각의 유역지표에 따른 환경특성과 분포패턴을 분석하였다.

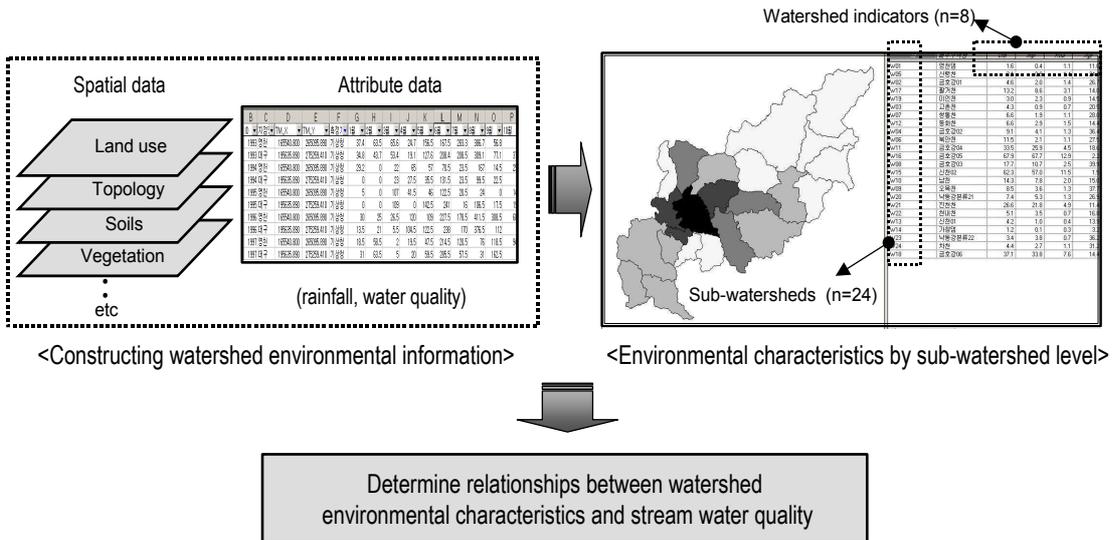
대상지의 연평균 수질자료는 1990~2001년까지 환경부의 수질측정망 자료를 기본적으로 활용하고자 하였으나, 대부분의 수질측정망이 낙동강 및 금호강 본류에 집중되어 있는 것으로 파악되어, 추가적으로 대구지방환경청(2000), 배준웅 등(1995; 2000), 정윤숙(2001), 그리고 배준웅(2002) 등의 연구에서 측정된 수질자료(BOD, COD, SS, T-N, T-P)를 수집·정리하여 소유역별 평균값을 산출한 후, 이를 데이터베이스화하였다. 소유역 단위의 환경특성과 수질자료간의 상호관계성은 SPSS 11.0 for Windows(SPSS Inc., 2001)를 이용한 피어슨의 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 통해서 규명하였다(그림 3).

결과 및 고찰

1. 소유역 단위의 환경특성분석

1) 인간활동규모

(1) 도시적 토지이용



도시화 및 공업화 정도를 측정하기 위한 도시적 토지이용은 유역의 인간활동규모를 평가하기 위한 지표로서 유용하게 활용되고 있다(Hunsaker와 Levine, 1995; Jones 등, 1997). 본 연구는 도시적 토지이용패턴을 분석하기 위해서 주거·상업지역 면적률(%), 공업지역 면적률(%), 도로 면적률(%)을 평가지표로 선정하였다. 먼저, 주거·상업지역 면적률의 소유역별 분포패턴은 그림 4와 같이, 금호강 중·하류에 분포하는 신천02(W15)와 금호강 05(W16) 유역이 30% 이상이고, 이에 인접한 금호강04(W11)와 금호강06(W18) 유역도 12% 정도로 다른 소유역에 비해 상당히 높은 것으로 나타나, 이들 소유역들을 중심으로 도시지역의 주요 오염원인 가정에서 배출되는 생활하수 등이 도시하천으로 직접 유입되는 것을 차단하기 위한 유역관리가 우선적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

소유역별 공업지역의 면적률은 그림 5와 같은데, 특히 염색공단을 비롯한 대규모 공업단지가 밀집한 금호강05 유역이 15% 이상으로 가장 높게 나타났고, 그 외의 금호강06 유역이 10%, 그리고 진천천(W21) 유역이 4% 정도로 다른 소유역들에 비해 비교적 높은 것으로 분석되었다. 이상의 주거·상업·공업지역 등의 도시적 토지이용은 낙동강에 인접한 금호강 중·하류에 집중되어 있는 것으로 나타나, 이들 소유역들을 중심으로 도시지역으로부터 배출되는 생활하수, 산업폐수 등의 오염물질이 하천으로 유입되는 것을 차단하기 위한 수변완충녹지대를 조성하거나, 집중호우시 표면강우유출을 최소화하기 위한 투수성 포장률의 증대를 위한 유역관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

다음은 유역 내의 도로 면적률을 평가한 것으로서, 대부분의 도로는 도시지역과 마찬가지로 아스팔트, 콘크리트 등의 불투수성 포장재로 피복되어 있기 때문에 집중호우시 표면유출량의 급격한 증가를 가져오게 하며, 하천

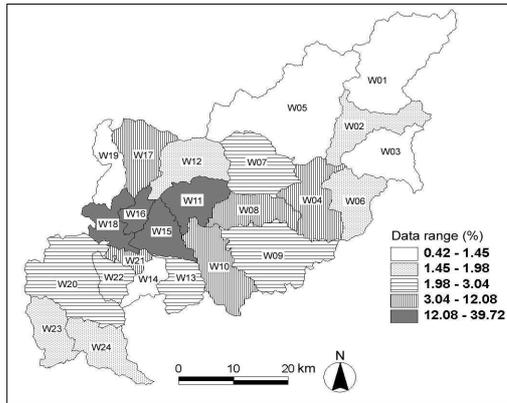


FIGURE 4. Proportion of watershed with residential and commercial area

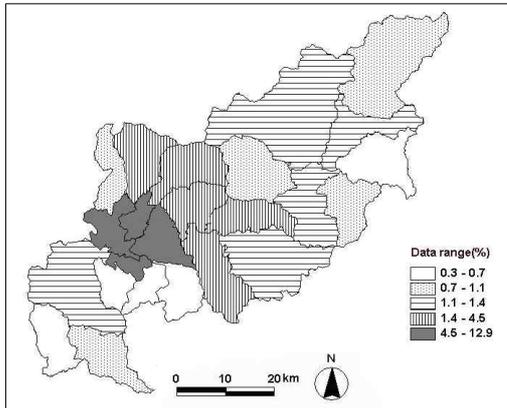


FIGURE 5. Proportion of watershed with road area

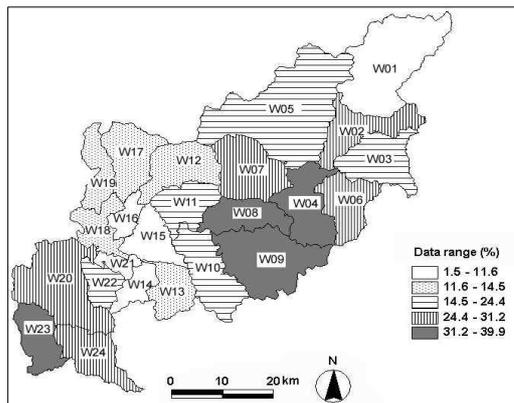


FIGURE 6. Proportion of watershed with agricultural area

과의 교차정도는 하천 서식지의 질과 관련하여 부정적인 영향을 미치는 것으로 밝혀지고 있다(Bolstad, 1997; Jones 등, 1997). 도로면적률의 분포패턴은 그림 6에서 보는 바와 같이, 유역전체가 상수원보호구역으로 지정된 가창댐(W14)과 대구시의 남북방향을 관통하여 흐르고 있는 신천 상류에 위치한 신천01(W13), 금호강 상류의 고촌천(W03), 그리고 낙동강 본류22(W23) 유역이 0.7% 이하로 매우 낮은 것으로 나타났다. 이에 반해, 금호강 하류에 분포하는 금호강05, 신천02, 그리고 낙동강 본류에 인접한 금호강06과 진천천 유역은 도로

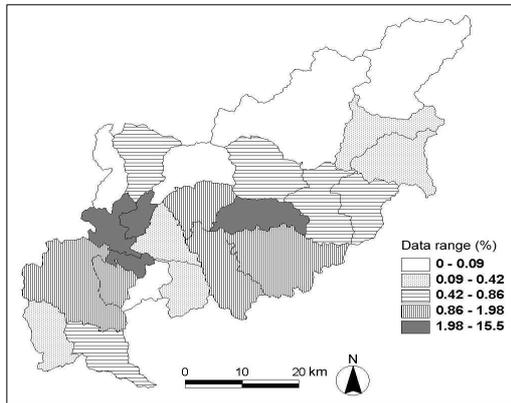


FIGURE 7. Proportion of watershed with industrial area

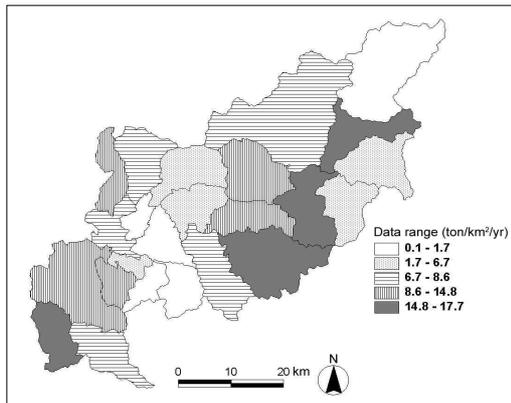


FIGURE 8. An annual amount of used fertilizer and pesticides in each subwatershed

면적률이 10% 이상으로 다른 소유역에 비해 상당히 높은 것으로 분석되었다.

(2) 농업활동규모

유역의 농업활동규모를 측정하기 위한 변수로서 논, 밭, 과수원, 축산농가 등의 농업지역 면적률과 농약 및 비료사용량을 선정하였는데, 먼저 농업지역은 경작활동을 비롯한 농업에 관련된 인간활동의 장으로, Arya(1999)의 농촌유역을 대상으로 한 사례연구에서 농업지역 면적률이 높을수록 하천 수질에 부정적 영향을 미치는 것으로 밝혀지고 있다. 본 연구 대상지의 소유역별 농업지역 면적률을 분석한 결과는 그림 7과 같은데, 금호강 중류에 분포하는 금호강02(W04), 금호강03(W08), 오목천(W09) 유역과 낙동강 본류22(W23), 차천(W24) 유역의 농업지역 면적률이 31% 이상으로 상당히 높게 나타났으며, 특히 금호강03 유역은 전체면적의 40% 이상이 농업지역으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.

이에 반해, 도시적 토지이용패턴이 우세한 금호강 하류의 소유역들과 상수원댐이 건설된 금호강 최상류의 영천댐(W01)과 대구광역시의 가창댐(W14) 유역은 4% 미만으로 매우 낮은 것으로 분석되었다.

농업지역에서의 농약 및 비료사용량(ton/km²/yr)을 소유역별로 평가한 결과는 그림 8과 같은데, 전술한 농업지역 면적률과 마찬가지로 금호강 중류권에 분포하는 오목천, 금호강 02, 그리고 낙동강 본류22 유역은 농약 및 비료사용량이 연간 14ton/km² 이상으로 매우 높은 것으로 분석되었다. 금호강01(W02)과 고촌천(W04) 유역은 농업지역 면적률이 20% 미만으로 금호강 중류 및 낙동강 본류의 소유역들에 비해 낮은 경향을 보이고 있으나, 연간 18ton/km² 이상의 농약 및 비료를 사용하고 있는 것으로 분석되었다. 이는 결국, 토양침식 등으로 인하여 토양 내에 축적된 질소, 인 등의 영양물질이 하천으로 유입되어 수질오염을

발생시키는 주요 원인이 될 수 있기 때문에, 하천과 농경지 사이에 가용면적을 확보하여 완충수림대를 조성하거나 농약사용을 최소화 하기 위한 친환경농법의 확대적용을 위한 지속적인 노력이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2) 자연환경상태

산림 면적률은 유역의 자연성 정도를 양적인 측면에서 비교·평가하는데 유용한 정보를 제공할 뿐만 아니라(Jones 등, 1997), 하천 수질 및 어류생태계 등과 관련성이 높은 것으로 밝혀지고 있다(Bolstad와 Swank, 1997). 소유역별 산림 면적률의 분포패턴은 그림 9와 같이 영천댐(W01) 유역을 비롯하여 이연천(W19), 가창댐(W14), 신천01(W13) 유역이 75% 이상으로 나타났으며, 특히 가창댐 유역은 산림 면적률이 93%로 유역의 자연성 정도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 이에 반해, 금호강 중·하류에 분포하는 금호강03(W08), 금호강04(W11), 그리고 신천02(W15) 유역 등은 40% 정도의 산림면적률을 가지는 것으로 나타났다. 다음으로 원격탐사기법을 활용하여 식생의 생체량, 엽면적 지수, 수분함량 등과 밀접한 관련성이 있는 NDVI를 산출하였으며, 이는 지역계획차원에서 유역생태계의 건전성을 진단하거나, 식생활력도와 물환경과의 상호 관련성을 평가하기 위한 지표로서 활용되고 있다(Jones 등, 2001). 소유역별 NDVI의 분포패턴은 그림 10과 같으며, 금호강의 상류에 분포하는 영천댐(W01) 유역을 비롯한 신천 상류의 가창댐(W14), 신천01(W13) 유역의 NDVI 평균값이 460 이상으로 식생활력도가 매우 높은 것으로 평가되었다.

반면에, 영천시와 경산시에 걸쳐 있는 금호강03(W08), 금호강04(W11), 그리고 대구시에 위치한 금호강05(W15), 금호강06(W18), 낙동강 본류22(W23) 유역은 전반적으로 식생활력도가 떨어지는 것으로 평가되었는데, 특히 금호강05 유역은 NDVI 평균값이 296으로 다

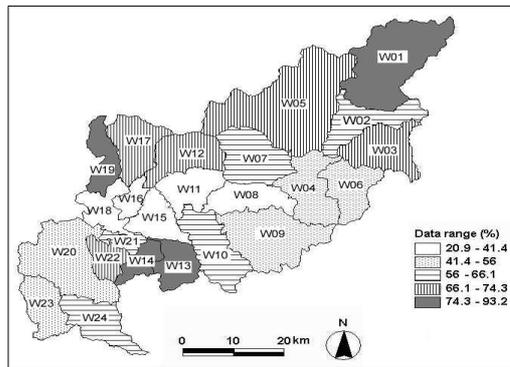


FIGURE 9. Proportion of watershed with forest area

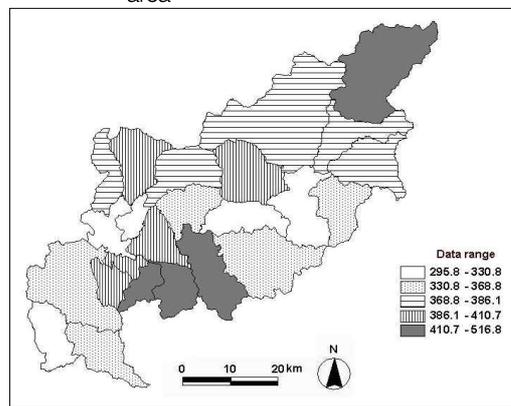


FIGURE 10. Mean values of vegetation index(NDVI)

른 소유역에 비해 가장 낮게 나타났다. 한편, 대구 도심을 남북방향으로 관통하여 흐르고 있는 신천 중·상류에 위치한 신천02 유역은 하천 양안에 인접하여 도로가 건설되어 있을 뿐만 아니라, 전체적으로 도시적 토지이용패턴이 우세하여 유역의 자연성이 떨어진다고 할 수 있으나, 유역 내에 도시자연공원으로 지정된 앞산공원이 분포하고 있어 NDVI 평균값이 비교적 높은 것으로 평가되었다.

마지막으로 토양환경의 상태를 파악하기 위해서 토양침식의 잠재적 위험도를 평가하였는데, Morgan(1995)은 토양유실량 10ton/ha/yr 이상인 지역은 농업전문가들이 토양침식에 따

른 환경영향을 고려할 필요성이 있음을 강조하였다. 따라서 본 연구에서는 이를 고려하여 토양유실량 10ton/ha/yr 이상인 지역의 면적률을 소유역별로 계산하여 토양침식위험도를 평가하였다. 분석결과를 살펴보면, 신천02(W15), 금호강05(W16) 유역 등은 토양유실량 10ton/ha/yr 이상인 지역의 면적률이 2% 미만으로 매우 낮은 것으로 평가되었는데, 이들 소유역은 대체적으로 인공포장면의 비율이 높은 도시적 토지이용이 우세하거나, 또는 완만한 지형적 조건으로 인해 토양유실량이 낮게 평가된 것으로 판단된다(그림 11).

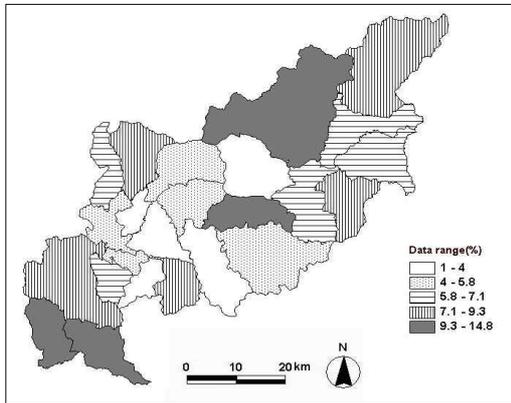


FIGURE 11. proportion of watershed with potential soil loss greater than 10ton/ha/yr

이에 반해, 낙동강 본류22(W23) 유역은 토양유실량 10ton/ha/yr 이상인 지역의 면적률이 15%로 가장 높고, 그 다음으로 신령천(W05), 금호강03(W08), 차천천(W24) 유역이 10% 정도로 높게 나타나, 향후 이들 소유역을 중심으로 철저한 현장조사를 실시하여, 토양침식에 영향을 미치는 잠재적 요인을 규명하고 이에 따른 관리방안을 마련해야 할 것으로 판단된다.

2. 유역환경특성이 하천 수질에 미치는 영향

소유역 단위의 환경특성이 하천 수질에 미치는 영향을 분석하기 위해서, 전술한 8개 유역지표에 대한 평가결과와 수질자료간의 상관

분석을 실시하였다. 환경부 등에서 측정된 연평균 수질자료를 소유역별로 계산하기 위해서, 각 측정지점에 대한 경위도 좌표값을 1:25,000 지형도에서 추출하여 소유역구분도와 중첩이 가능하도록 TM(transverse Mercator)좌표계로 변환한 후, 각 측정지점에 대한 수질자료를 속성값으로 입력하였다(그림 12).

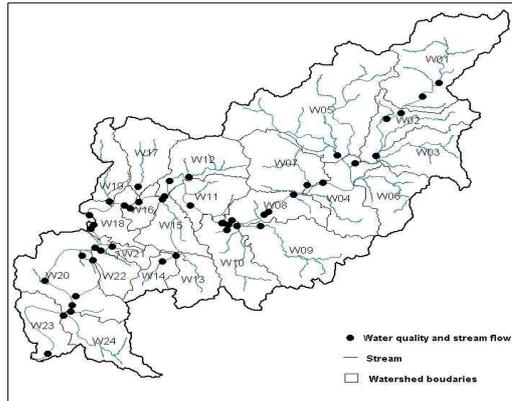


FIGURE 12. Location of sampling sites for water quality

수질측정지점의 분포패턴을 살펴보면, 대부분의 측정지점이 금호강 본류에 집중되어 있고, 그 지류에 대한 측정자료는 매우 부족하거나 자료가 존재하지 않기 때문에 24개 소유역 전체에 대한 분석이 불가능하였다. 또한, 신천 02(W15)와 금호강05(W16) 유역은 도시지역의 점유율이 다른 소유역에 비해 월등히 높아, 이들 소유역을 모두 고려할 경우 분석결과에의 유의도가 현저히 떨어지게 되는 문제점이 있어 제외하였고, 천내천(W22) 유역의 측정자료는 이상점으로 진단되어 분석에서 제외하여 최종적으로 BOD 19개, COD 16개, SS 15개, T-N 18개, T-P 18개의 관측치를 이용하여 통계분석을 수행하였다(표 3). 주거·상업지역 면적률(RESI)을 비롯한 8개의 유역지표를 평가한 결과와 BOD 등의 5개 수질측정항목에 대한 피어슨의 상관분석을 실시하여 표 3과 같이 상관관계수(r)를 산출하였다. 분석결과를 살펴보

TABLE 3. Results of the Pearson's correlation analysis on water quality variables and watershed indicators in all subwatersheds in the Geumho River Watershed

Water quality variables(mg/L)	Number of sites	Watershed indicators							
		RESI	INDU	ROAD	AGRI	FERP	FORE	NDVI	SLOS
BOD	19	0.701**	0.481*	0.664**	0.016	-0.089	-0.590**	-0.462*	0.058
COD	16	0.476	0.439	0.447	0.233	0.029	-0.574*	-0.444	0.136
SS	15	0.227	0.433	0.240	0.251	0.320	-0.484	-0.488	0.306
T-N	18	0.678**	0.501*	0.620**	-0.132	-0.059	-0.412	-0.258	-0.181
T-P	18	0.612**	0.434	0.543*	-0.236	-0.154	-0.308	-0.140	-0.184

** and * mean significant at 1% and 5% level(2-tailed), respectively.

면, 인간활동규모를 반영하는 유역의 도시적 토지이용패턴에 관련된 주거·상업지역 면적률(RESI), 공업지역 면적률(INDU), 그리고 도로 면적률(ROAD)은 수질자료와 양(+)의 상관관계를 보이고 있는데, 특히 주거·상업지역 면적률과 BOD간의 상관계수 $r=0.701$ ($p<0.01$)로 가장 높게 나타났고, T-N($r=0.678$, $p<0.01$)과 T-P($r=0.612$, $p<0.01$)의 경우도 강한 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 또한, 공업지역 면적률은 BOD($r=0.481$, $p<0.05$), T-N ($r=0.501$, $p<0.05$)과 통계적으로 유의한 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, 도로 면적률은 유의수준 1% 이내에서 BOD와의 상관계수 $r=0.664$ 이고, T-N과의 상관계수 $r=0.620$ 으로 강한 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 그러나, COD와 SS의 경우는 도시적 토지이용패턴에 관련된 유역지표와 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않는 것으로 분석되었다.

한편, 유역의 농업지역 면적률과 농약 및 비료사용량은 하천 수질간의 상호관계성을 분석한 기존 연구사례(Booth, 1991; Case 등, 1994; Arya, 1999)에서 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 밝혀지고 있으나, 본 연구의 대상지에서는 농업활동규모에 관련된 농업지역 면적률(AGRI)과 농약 및 비료사용량(FERP)은 수질자료와 통계적으로 유의한 상관관계를 가

지지 않는 것으로 나타났다. 이는 종래의 연구들은 농촌유역만을 대상으로 하였으나, 본 연구에서는 농업중심의 전형적인 농촌유역이라기 보다는 다양한 토지이용패턴이 상호 혼재되어, 농업활동에 따른 영향이 충분히 반영되지 않았다고 판단된다. 따라서, 향후에는 유역특성을 고려하여 도시형, 농촌형, 산지형 등과 같은 소유역별 유형분류가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

마지막으로 유역의 자연성 정도를 나타내는 산림 면적률(FORE)과 식생활력도(NDVI)는 전술한 도시적 토지이용에 관련된 지표들(RESI, INDU, ROAD)과는 달리 전체적으로 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 특히, 산림 면적률과 BOD간의 상관계수 $r=-0.590$ ($p<0.05$)으로 가장 높은 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며, COD와도 유의수준 5% 이내에서 상관계수 $r=-0.574$ 로 통계적으로 유의한 상관성을 가지는 것으로 분석되었다. 그러나, 나머지 수질측정항목인 SS, T-N, T-P와는 상호간에 음(-)의 관계성을 가지고 있으나, 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 토양침식위험도(SLOS)의 경우는 농업활동에 관련된 지표들(AGRI, FERP)과 마찬가지로 수질측정항목과 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않는 것으로 분석되었다.

결 론

본 연구는 오염총량관리제 등의 유역관리 정책이 활발히 추진되고 있는 낙동강 중류권의 금호강 유역을 대상으로 유역환경정보를 구축하여 소유역 단위의 환경특성을 평가한 후, 이를 토대로 유역환경특성이 하천 수질에 미치는 영향을 정량적으로 규명하고자 하였다.

분석결과를 요약하면, 먼저 유역환경특성에 있어서 도시적 토지이용은 금호강 하류 지역에 집중적으로 분포하고 있는 것으로 나타났는데, 특히 주거·상업지역 및 도로 면적률은 행정구역상 대구광역시에 해당하는 신천02 유역과 금호강05 유역이 30% 이상으로 매우 높았고, 공업지역 면적률은 염색공단 등의 대규모 공업단지가 밀집한 금호강05 유역이 15% 이상으로 가장 높은 것으로 분석되었다. 이와 같은 소유역 단위의 도시적 토지이용을 고려해 볼 때, 특히 낙동강에 인접한 금호강 하류 지역을 중심으로 생활하수, 산업폐수 등의 점오염원에 의한 오염부하량의 저감과 집중호우 시 강우유출을 최소화하기 위한 투수성 포장면의 증대 등과 같은 유역관리정책이 우선적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

소유역 단위의 농업활동은 금호강 중류와 낙동강 본류에 분포하는 소유역들이 비교적 우세한 것으로 나타났는데, 특히 금호강02, 오목천, 낙동강 본류22 유역은 전체면적의 31% 이상이 농경지로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 또한 이러한 소유역들은 경작활동에 따른 농약 및 비료사용량도 연간 $14\text{ton}/\text{km}^2$ 이상으로 매우 높기 때문에 농경지에 축적된 질소, 인 등의 오염물질이 지표수와 지하수로 유출되는 것을 차단하기 위한 수변 완충녹지대의 조성 및 친환경농법의 확대적용이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

산림면적률, 식생활력도, 토양침식위험도를 토대로 유역의 자연성을 평가한 결과에 따르면, 금호강 상류와 대구광역시의 도심지 외곽

에 분포하는 소유역을 중심으로 산림면적률과 식생활력도가 매우 높은 것으로 나타났다. 특히, 금호강 최상류의 영천댐 유역과 신천 상류의 가창댐 유역과 신천01 유역은 산림 면적률이 75% 이상이고, 식생활력도도 매우 높은 것으로 평가되었다. 반면, 도시 및 농업적 토지이용이 우세한 금호강 중·하류에 분포하는 소유역은 산림면적률과 식생활력도가 매우 낮은 것으로 평가되었다. 토양침식위험도는 인공포장재로 피복된 도시지역의 면적률이 높고, 완만한 지형조건을 가진 금호강 하류지역보다 농경지를 비롯한 급경사지의 분포면적이 많은 낙동강 본류와 금호강 상류의 신령천, 금호강 03 유역 등이 상대적으로 높게 나타났다.

소유역 단위의 환경특성과 하천 수질간의 관련성을 규명하기 위해서 8개의 유역지표와 수질지표간의 상관분석을 실시한 결과, 인간활동에 관련된 주거·상업지역 면적률, 공업지역 면적률, 도로 면적률과 수질지표와는 양(+)의 상관관계를 가지는 것을 나타냈는데, 특히 주거·상업지역 면적률은 BOD, T-N, T-P와의 상관관계수가 유의수준 1% 이내에서 0.6 이상으로 강한 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 반면에, 유역의 자연성을 측정하기 위한 산림면적률과 식생활력도는 수질지표와 음(-)의 상관성을 가지는 것으로 나타났으며, 산림면적률과 BOD의 경우도 유의수준 1% 이내에서 상관관계수 $r=-0.590$ 으로 강한 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 평가되었다.

본 연구를 수행하면서 도출된 한계점과 향후과제로서, 먼저 환경부의 수질측정망 자료는 주로 금호강 본류에 집중되어 있기 때문에, 유역환경과 하천 수질간의 상관성을 분석하는데 한계성 있었다. 이에 최근 10년간 금호강 및 낙동강 수계를 중심으로 수질측정을 실시한 기존의 연구결과들을 종합적으로 활용하였는데, 각각의 수질자료에 대한 측정방법의 상이성, 계절별 또는 연간 추이 등의 검증단계가 고려되지 못하였다. 그러나, 현재 환경부의 수

질측정망이 지류 하천까지 지속적으로 확대되고 있기 때문에, 향후에는 금호강 분류 및 지류 하천에 대한 장기적인 수질모니터링이 가능해지고, 동시에 광범위한 유역환경정보를 지속적으로 구축함으로써, 유역환경과 수질간의 일반화된 모델을 제시하는 것이 가능할 것으로 기대된다. 아울러, 효과적인 유역환경계획의 수립을 위해서는 조경, 도시계획 등의 분야와 환경공학 분야간의 학제간 연계를 통한 연구가 필요하리라 판단된다. **KAGIS**

참고문헌

- 권형중, 김성준. 2003. TOPMODEL과 Muskingum 기법을 연계한 안성천유역의 홍수유출 분석. 한국지리정보학회지 6(1):1-11.
- 김성준, 채효석, 신사철, 이운아, 권기량. 2002. 공간정보를 이용한 유역 관리시스템 개발. 한국지리정보학회지 5(3):33-44.
- 김종원. 2000. 하천유역별 통합 물관리체계 연구. 국토연구원 연구보고서.
- 낙동강환경관리청. 2001. 낙동강유역 환경지도: 물관리 부문 중심으로. 낙동강환경관리청.
- 대구지방환경청. 2000. 금호강의 어제와 오늘 그리고 미래.
- 박경훈, 정성관. 2000. 낙동강 유역권의 광역환경분석. 한국지리정보학회지 3(1):12-22.
- 박경훈. 2003. GIS 및 RS기법을 활용한 낙동강 유역의 통합환경평가. 경북대학교 박사학위논문. 149쪽.
- 배준웅, 서무룡, 장혜영, 송희봉, 박태명. 1995. 금호강 수질의 장기 변동에 관한 연구. 한국환경과학회지 4(3):207-220.
- 배준웅, 이상학, 이성호, 송희봉. 2000. 금호강 수중의 영양염류의 장기변동. 한국환경분석학회지 3(2):101-108.
- 배준웅. 2002. 금호강 오염의 종합적 조사. 한국분석과학회지 15(1):54-66.
- 안승섭, 조명희. 1999. 지리정보시스템을 이용한 하천유역의 지상학적 특성분석. 한국지리정보학회지 2(3):23-34.
- 이연길, 박성천, 이관수. 2003. 지리정보시스템을 이용한 소하천유역의 홍수유출 해석. 한국지리정보학회지 6(1):12-23.
- 이창희, 이병국, 최지용, 김은정. 1999. 물자원의 효율적 이용을 위한 유역관리 방안: 낙동강 수계관리를 중심으로. 한국환경정책·평가연구원 연구보고서.
- 이호준, 방제용, 김용욱. 1999. 토지이용이 이원천 유역의 하천수질에 미치는 영향. 한국생태학회지 22(5):235-240.
- 정운숙. 2001. 대구지역 하천의 오염현황과 수질. 경북대학교 석사학위논문.
- 日本國立環境研究所. 2001. 流域環境管理に關する國際共同研究.
- 日本國土廳. 2001. 21世紀の國土のグランドデザイン:地域の自立の促進と美しい國土の創造, pp.145-173.
- Arya, S. 1999. Explaining biotic integrity and habitat across multiple scales: empirical analysis of landscape, landuse, and land cover variable in an Ohio ecoregion. <http://www.ucgis.org/oregon/papers/arya.htm>.
- Bolstad, P.V. and W.T. Swank. 1997. Cumulative impacts of landuse on water quality in a Southern Appalachian watershed. Journal of the American Water Resources Association 33(3):519-530.
- Booth, D. 1991. Urbanization and the natural drainage system: impacts, solutions and prognosis. Northwest Environmental Journal 7(1):93-118.
- Case, P., T. Clark, J.M Maxwell and T. Sale. 1994. Spatial analysis of the cumulative effect of land management activities on stream water quality within forested watershed. Proceedings of the Fourteenth Annual ESRI User Conference.

- pp.383-399.
- Hunsaker, C.T. and D.A. Levine. 1995. Hierarchical approaches to the study of water quality in rivers. *BioScience* 45(3):193-203.
- Jones, K.B., A.C. Neale, 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.
- Jones, K.B., K.H. Riitters, J.D. Wickham, R.D. Tankersley, R.V. O'Neill, D.J. Chaloud, E.R. Smith and A.C. Neale. 1997. An ecological assessment of the United States Mid-Atlantic Region: A landscape atlas. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Washington, DC.
- Morgan, R.P.C. 1995. *Soil Erosion and Conservation*. Longman.
- Moyle, P.B. and P.J. Randall. 1998. Evaluating the biotic integrity of watersheds in the Sierra Nevada, California. *Conservation Biology* 12(6):1318-1326.
- Zandbergen, P.A. 1998. Urban watershed assessment-linking watershed health indicators to management of urban watersheds. Ph.D dissertation, Resource Management and Environmental Studies, University of British Columbia, Canada. [KAGIS](#)