

# 금호강 유역관리를 위한 수변구역의 토지이용패턴분석

박경훈<sup>1</sup> · 오정학<sup>2\*</sup> · 정성관<sup>3</sup>

## An Analysis of Land Use Patterns in Riparian Zones for the Geumho River Watershed Management

Kyung-Hun, PARK<sup>1</sup> · Jeong-Hak, OH<sup>2\*</sup> · Sung-Gwan, JUNG<sup>3</sup>

### 요 약

본 연구의 목적은 금호강 유역을 대상으로 수변구역의 토지이용패턴과 하천 수질간의 관계를 규명하는 것이다. GIS 자료는 수치토지이용도(1:25,000), 수치지형도(1:5,000)에서 추출된 하천망도, 그리고 다중버퍼링 기법에 의한 수변구역도로 구성되었다. Pearson의 상관분석은 하천 양안 30m 수변구역의 토지이용패턴과 수질간의 관계를 설명하기 위해서 사용하였다. 수변구역의 토지이용패턴을 분석한 결과에 따르면, 대구광역시와 위치하고 있는 금호강 하류의 소유역들은 대부분이 주거, 상업, 공업의 도시지역으로 개발된 반면, 금호강 중류와 낙동강 본류에 분포하는 소유역들은 논, 밭 그리고 과수원 등의 농업지역으로 주로 이용되었다. 유역에서 발생하는 질소, 인, 퇴적물 등의 여과기능을 담당할 수 있는 산림지역의 면적률은 16% 정도에 불과한 것으로 나타났다. 수변구역의 토지이용패턴과 하천 수질지표간의 상관분석결과에 따르면, 수변구역의 도시면적률은 하천 수질과 음(-)의 관계를 가지며, 산림지역 면적률은 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 향후에는 지가(地價) 등의 경제적인 측면을 비롯한 현재의 토지이용패턴, 그리고 하천 제방의 특성, 지형, 토양 등의 물리적 인자를 종합적으로 고려한 조사 및 연구와 이를 바탕으로 한 종합적인 수변구역 정비 및 관리계획이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 유역관리, 수변구역, 버퍼링, GIS, 토지이용

### ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the relationship between land use patterns of riparian zones and water quality in the Geumho River watershed. A GIS database included digital land use maps(1:25,000), stream network extracted from digital topographic maps(1:5,000) and riparian zones maps by multi-buffering method. Pearson's correlation analysis was used to explain the relationship

2005년 5월 1일 접수 Received on May 1, 2005 / 2005년 6월 23일 심사완료 Accepted on June 23, 2005

1 창원대학교 환경공학과 Dept. of Environment Engineering, Changwon National University

2 국립산림과학원 산림생태과 Dev. of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute

3 경북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

\* 연락처 E-mail: ojh6822@hanmail.net

between the environmental conditions of a 30 meter buffer strip on each side and water quality. According to the result of investigation of riparian-level land use patterns, sub-watersheds on the lower Geumho River including Daegu metropolitan city were mainly developed as urban area such as residential, commercial and industrial ones, while sub-watersheds on the middle Geumho River and the main course of Nakdong River, agricultural ones such as a paddy, a dry field and an orchard. Meanwhile, the area-rate of riparian forests which play an important role in filtering nitrogen, phosphorus and sediment was estimated below the average 16%. The proportion of urban area in a 30 meter riparian bufferstrip had a negative correlation with water quality in each sub-watershed. But the proportion of forest area had a positive correlation with water quality. Henceforth, it is necessary to establish landscape planning for preparing and restoring the riparian buffer zones, concerning land form, soil type, the present land use pattern and economic aspects.

**KEYWORDS :** Watershed Management, Riparian Zone, Buffering, GIS, Land Use

## 서 론

수변구역은 수질 및 수량적인 측면 그리고 하천생태계의 유지 측면에서 그 중요성이 점차 확대되고 있다. 국내에서도 4대강 유역관리의 일환으로 수변구역제도를 도입하여 하천생태계와 육상생태계를 연결하는 수변구역을 보호·복원하기 위한 정책을 추진하고 있다. 수변구역은 하천에 인접한 지역으로 유역의 에너지 흐름 또는 물질순환을 위한 중요한 통로이고, 육지와 물의 전이지대(ecotone) 역할을 담당하기 때문에(Malanson, 1993; Forman, 1997), 수변구역내의 인위적 토지이용 등은 하천 수질 및 수생태계에 중대한 압력요인으로 작용할 수 있다. 이러한 중요성에도 불구하고 한정된 토지자원에서 개발용지를 확보하기 위해 하천에 인접한 지역까지 불투수성 포장재로 피복할 뿐만 아니라, 산림 등의 자연녹지공간의 파괴 및 훼손, 하천에 인접한 도로건설 등이 공공연하게 이루어져 왔다. 수변구역의 과도한 개발 및 무분별한 이용과 이에 따른 환경영향은 유역규모에서 보다 더욱 가중되어 작용하게 된다(최지용과 이지현, 2001). 한편, 수변녹지(산림, 초지 등)는 하천으로 유입되는 오염원을 차단하고, 수온을 조절하며, 햇빛의 양을 조절하고, 서식지 및 종다양성

을 유지하는 완충대로서의 긍정적 기능을 담당한다. 이와 같이 수변녹지는 유역에서의 각종 비점오염원을 효과적으로 조절할 뿐만 아니라, 하천의 생태적, 물리적, 화학적 환경을 유지하는데도 중요한 역할을 한다(최지용과 정유진, 2000; NRC, 2002). Arya(1999)는 수변구역의 농경지율, 도로밀도, 급경사(>6%)의 면적률과 완경사지(2~3%)의 면적률은 하천 서식지 질(Qualitative Habitative Evaluation Index, QHEI)에 부정적 영향을 미치는 반면에, 수변구역의 산림면적률은 QHEI에 매우 긍정적인 영향을 미친다는 연구결과를 발표하였다. 국내에서는 최지용(2002)이 수변구역내 토지매입의 근거자료로 활용할 수 있도록 AHP기법을 활용하여 수질개선 측면에 바탕을 둔 토지매입 우선순위 설정기법을 제안하였다. 한혜진과 박석순(2004)은 GIS와 AHP 기법을 활용하여 적정규모의 수변구역 폭을 결정하는 방법론을 제안하였고, 김계현 등(2000)은 GIS 기법을 활용하여 상수원 관리를 위한 수변구역의 설정 및 관리시스템을 개발하였다.

유역관리제를 비롯한 수변구역의 지속가능한 관리는 주요 선진국을 중심으로 활발히 추진되고 있는데, 우리나라는 최근 들어 그 중요성이 강조되고 있다. 최근까지 수변구역의 폭을 설정

하기 위한 연구가 활발히 추진되고 있으나, 유역규모에서 주요 하천 수변구역의 인간활동과 자연생태계의 분포형태 및 규모 등의 현황분석과 이것이 하천 수질 등의 물환경에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구는 부족한 실정이라 판단된다. 따라서 본 연구는 수질오염총량관리제를 비롯한 수변구역의 지정 및 관리를 추진하고 있는 금호강 유역을 대상으로 각 소유역별 주요 하천에 인접한 수변구역의 토지이용강도와 산림녹지의 규모와 하천 수질에 미치는 영향을 분석하고자 하며, 이를 통해서 향후 수변구역의 토지이용규제 및 완충수립태의 조성 및 복원 등의 종합적인 대책을 수립하는데 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 연구대상지 및 자료구축

### 1. 대상지 개요

연구대상지는 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. 수변구역은 금호강 본류와 이에 합류하는 지류 하천을 대상으로 하천 양안의 90m까지로 설정하였다(그림 1).

대상지의 중심을 흐르고 있는 금호강은 낙동강의 제1지류로서, 1970년대부터 산업화 및 도시화 등의 근대화 과정을 거치면서 중·하류 지역의 대구광역시라는 거대도시를 중심으로 대규모 산업단지와 도시지역이 형성됨에 따라 환경부하가 급격히 증가하게 되었고, 이로 인해 낙동강의 수질은 금호강이 합류되면서 연평균 BOD 농도(1991~2000년)를 기준으로 수질등급 III급수를 초과하고 있다(낙동강유역환경청, 2002). 따라서, 유역규모의 오염총량관리제와 함께 물환경을 고려한 수변구역의 지속가능한 관리는 금호강과 그 본류인 낙동강의 수질개선 및 하천생태계의 복원을 위해서 매우 중요한 정책이라 하겠다.

### 2. 자료구축

토지이용은 인간의 활동과 직접적으로 관련된 토지의 구체적인 이용형태를 말한다. 국립지리정보원에서 제작한 수치토지이용도(1:25,000)는 대상지의 토지이용현황을 파악하기 위해서

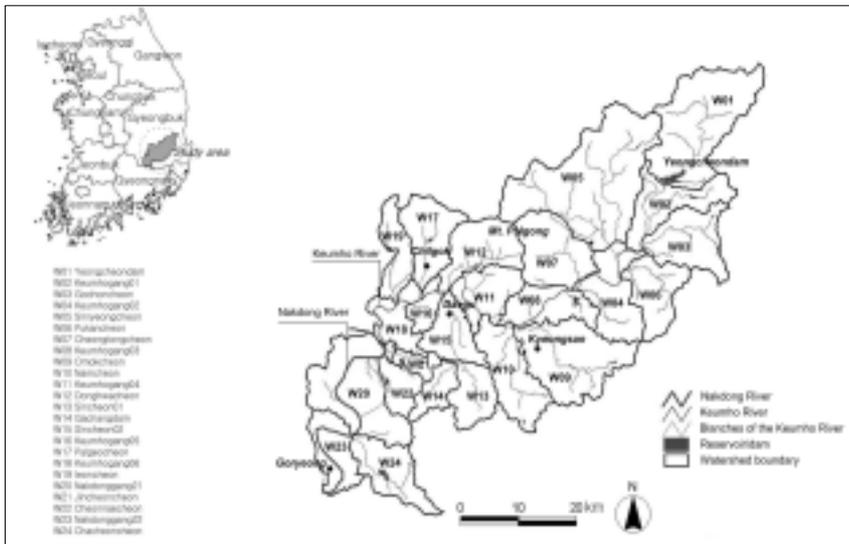


FIGURE 1. Location of the study area

이용하였다(그림 2). 토지이용도는 도시지역, 산림지역, 농업지역, 초지, 나지, 수역의 5개 유형으로 분류하였다.

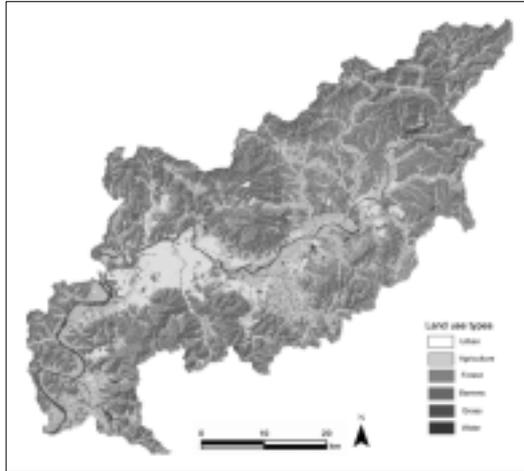


FIGURE 2. Map of land use patterns

수변구역도는 토지이용도에서 추출한 하천망도를 입력자료로 하여 ArcView 3.2의 버퍼링(buffering) 기능으로 작성하였다(그림 3).

버퍼링 구간은 하천경계에서 90m까지 15m 간격으로 설정하였으며, 최종적으로 도시지역, 산림지역, 초지, 농경지, 나지 대분류 단계의 토지이용분류도와 중첩하여 구간별 토지이용패턴을 분석하였다.

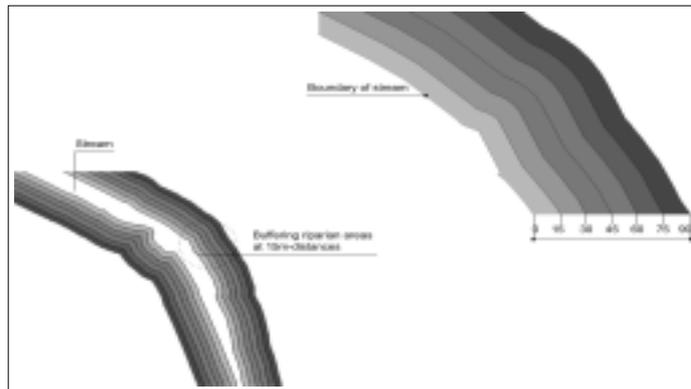


FIGURE 3. Determine of riparian zones using buffering function

한편, Erman 등(1977)과 Erman과 Mahoney(1983)은 수변서식지 보호를 위해서 최소 30m의 수변 폭을 필요로 한다는 연구결과를 제시하였는데, 본 연구는 이를 고려하여 하천 양안에서 30m까지의 수변구역에 대한 토지이용패턴과 하천 수질과의 관계성을 규명하였다. 하천 수질자료는 1990~2001년까지 환경부의 측정망 자료를 기본적으로 활용하고자 하였으나, 대부분의 수질측정망이 낙동강 및 금호강 본류에 집중되어 있는 것으로 파악되어, 추가적으로 대구지방환경청(2000), 배준웅 등(1995, 2000, 2002), 그리고 정윤숙(2001) 등의 연구에서 측정한 수질자료(BOD, COD, SS, T-N, T-P)를 수집·정리하여 소유역별 평균값을 산출한 후, 이를 데이터베이스화하였다.

## 분석 및 고찰

### 1. 구간별 토지이용패턴

수변구역의 구간별 토지이용패턴은 표 1과 같다. 논, 밭, 과수원 등의 농경지 면적률이 전체 구간에서 50% 이상으로 나타났으며, 하천에서 15-30m 구간은 농경지의 면적률이 60%이상으로 다른 구간에 비해 가장 높은 것으로 나타났다.

완충녹지대로서의 역할을 담당하는 산림지역은 각 구간별로 13-26% 정도의 면적률을 가지

TABLE 1. Landuse patterns of a 15m-distance riparian zones

Unit: ha(%)

Distance	Forest	Agriculture	Urban	Grass	Barren	Others
0-15m	286.7 (13.2)	1,279.3 (59.1)	369.0 (17.0)	176.2 (8.1)	35.7 (1.6)	17.4 (0.8)
15-30m	342.2 (15.9)	1,281.0 (59.5)	352.5 (16.4)	130.6 (6.1)	35.7 (1.7)	12.6 (0.6)
30-45m	402.5 (18.8)	1,238.0 (57.7)	352.4 (16.4)	102.6 (4.8)	38.4 (1.8)	11.6 (0.5)
45-60m	458.3 (21.4)	1,190.1 (55.7)	359.2 (16.8)	79.5 (3.7)	39.3 (1.8)	11.2 (0.5)
60-75m	510.7 (24.0)	1,143.1 (53.7)	360.2 (16.9)	61.6 (2.9)	40.9 (1.9)	12.1 (0.6)
75-90m	558.1 (26.3)	1,100.7 (51.9)	355.2 (16.8)	52.3 (2.5)	41.3 (1.9)	11.9 (0.6)

는 것으로 분석되었다. 산림면적률을 구간별로 살펴보면, 하천에 가장 인접한 0-15m 구간은 13.2%로 가장 낮고, 하천 경계에서 75-90m 구간은 26.3%로 가장 높은 것으로 나타났다. 수변구역의 구간별 도시지역 면적률은 하천에 가장 인접한 0-15m 구간이 17%로 가장 높았고, 전체적으로 16-17% 정도의 면적률을 가지는 것으로 나타났다. 특히, 수변구역 15-30m 구간 이후부터는 두드러진 감소경향을 보였다. 초지는 하천에서 15m 이내의 구간에 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다. 하천경계로부터 이격된 거리를 기준으로 수변구역의 각 구간별 토지이용의 변화패턴을 살펴보면, 산림지역은 하천에서 거리가 멀어질수록 증가하고, 농경지 및 초지는 하천에서 멀어질수록 감소하는 패턴을 보였고, 도시지역 및 나지는 뚜렷한 차이가 보이지 않았다(그림 4).

수변구역내의 수림대는 하천에 인접하여 분포할수록 유역에서 유입되는 각종 오염물질의 여과 및 완충기능이 증대되기 때문에, 하천에 인접하여 완충수림대를 조성하는 방안이 고려될 필요성이 있을 것으로 판단된다. 수변구역내의 농경지 면적률은 전반적으로 높은 것으로 파악되어, 경작활동에 따른 농약이나 비료 등의 화학물질이 강우시 하천으로 유입되는 것을 적극적으로 관리할 필요성이 있다.

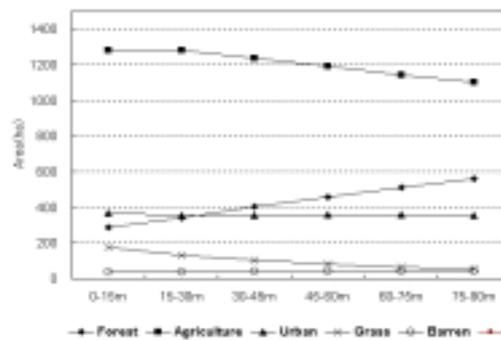


FIGURE 4. Change patterns of landuse types by the riparian zone sections

## 2. 토지이용패턴과 하천수질과의 상관분석

하천 양안에서 30m 이내의 수변구역은 수변 서식지 보호를 위한 최소단위(Erman et al., 1977; Erman and Mahoney, 1983)로 설정하여, 그림 5와 같이 소유역별 토지이용형태에 따른 면적률을 분석하였다. 수변구역의 도시지역 면적률은 금호강 하류에 분포하는 소유역이 40% 이상으로 매우 높게 나타났다. 산림면적률은 가창댐 유역(W14)이 43%로 가장 높았고, 다음으로 금호강 상류의 영천댐 유역(W01)과 낙동강 분류에 직접 유입되는 천내천 유역(W22)이 27%, 그리고 팔공산 자연공원이 분포하는 동화

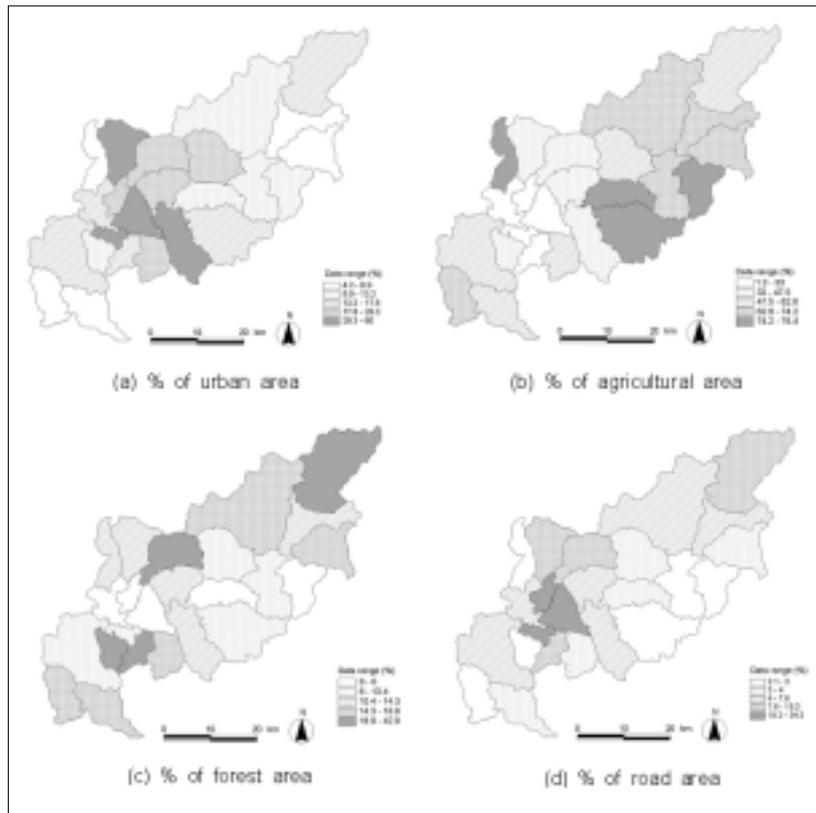


FIGURE 5. Maps of land use patterns within a 30m-riparian zone

천 유역(W12)이 23% 정도로 높게 나타났다. 한편, 도로지역의 면적률은 그림 5(d)와 유사한 패턴을 보이는데, 가창댐 유역과 영천댐 유역은 댐 주위에 인접한 도로면적률이 각각 15%, 13%로 비교적 높게 나타났다. 농경지 면적률은 금호강 중·상류에 분포하는 소유역의 대부분이 60% 이상이며, 특히 북안천 유역(W06)은 80% 정도의 높은 면적률을 가지는 것으로 나타났다. 한편, 금호강 하류 및 신천 중·하류에 분포하는 소유역들은 10% 미만의 농업지역 면적률을 보이고 있는데, 이는 도시하천의 수변구역은 대체적으로 초지를 비롯한 콘크리트 주차장, 도로 등의 인공포장면으로 조성되었기 때문이다.

수변구역(30m 이내)의 토지이용패턴이 하천 수질에 미치는 영향을 분석하기 위해서 표 2와 같이 Pearson의 상관분석을 실시하였다. 수변구

역의 도시지역 면적률은 하천 수질과 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 수변구역의 도로면적률은 BOD와 T-P와 유의수준 1% 이내에서 상관계수(r) 0.7 이상으로 높은 양(+)의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다. 일반적으로 도로를 확장할수록, 하천과 인접할수록 그리고 교량이 증가할수록 하천수질에 미치는 영향은 더욱 증가하게 된다.

특히, 도로는 일단 건설된 후에 영구적으로 이용되기 때문에 지속적인 누적영향을 미치게 된다(박경훈, 2003). 따라서, 수변구역 내의 도로 건설은 되도록 지양하는 것이 원칙이며, 불가피하게 건설될 경우에는 최소한의 수변 완충녹지대를 조성하여 오염물질이 우수 유출수에 의해 하천으로 직접 유입되는 것을 차단해야 할 것이다. 산림지역의 면적률과 하천 수질은 뚜렷한

**TABLE 2.** Results of the Pearson's correlation analysis on water quality variables and land use patterns within a 30m-riparian zone

Water quality Land use	BOD (n=13)	COD (n=11)	SS (n=11)	T-N (n=13)	T-P (n=13)
Urban	0.503	0.494	0.295	0.461	0.493
Forest	-0.608*	-0.661*	-0.585	-0.605*	-0.598*
Agriculture	-0.870**	-0.867**	-0.737**	-0.860**	-0.904**
Road	0.711**	0.634	0.390	0.641*	0.708**

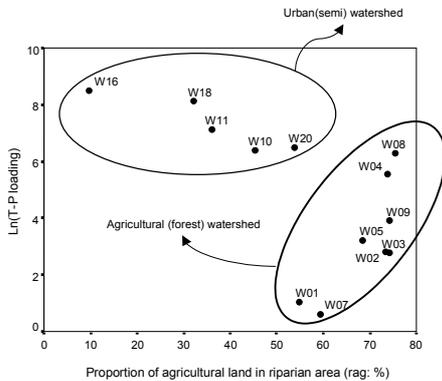
\* and \*\* mean significant at 1% and 5% level(2-tailed), respectively.

음(-)의 상관관계를 가지며, 특히 COD와는 유의수준 5% 이내에서  $r=-0.661$ 로 가장 높게 나타났다. 농업지역의 면적률과의 상관관계를 분석한 결과는 전체적으로 음(-)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 국내·외의 관련연구들(이호준 등, 1999; Hunsaker and Levine, 1995; Jones et al., 2001)과 상반된 패턴을 보이는 것이다. 수변구역의 농경지 면적률과 Ln(T-P)와의 산점도를 작성한 FIGURE 6에서 보면, 농업지역이 우세한 금호강 중·상류 지역은 양(+)의 방향성을 가지는 반면, 금호강 하류 지역은 음(-)의 방향성을 가지는데 기인한 것으로 판단된다.

### 결론

금호강을 비롯한 낙동강 중상류 지역은 수질 오염총량제와 수변구역의 지정 및 관리 등 유역관리제도가 본격적으로 추진되고 있다. 이에 본 연구는 금호강 유역관리를 위해서 하천에 인접한 수변구역의 토지이용강도와 여과기능을 담당할 수 있는 산림지역의 규모를 파악하고, 수변구역의 토지이용패턴이 하천 수질과 어떠한 관계성을 가지는 가를 분석하였다.

분석결과를 요약하면, 구간별 토지이용패턴은 금호강 하류 유역을 제외한 대부분의 소유역에서 논, 밭, 과수원 등의 농경지 면적률이 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났고, 특히 하천에서 15-30m 구간은 60% 정도가 농경지로 이용되고 있었다. 반면에, 완충녹지대로의 역할을 담당하는 산림지역의 면적률은 각 구간별로 최소 13%에서 최대 26% 정도이며, 하천에서 멀어질수록 증가하는 패턴을 보였다. 도시지역은 하천에 가장 인접한 0-15m 구간이 17%로 가장 높은 것으로 나타났다. 금호강 유역의 주요 하천별 수변구역의 토지이용패턴은 전반적으로 농경지의 면적률이 가장 높고, 완충대의 역할을 담당하는 산림지역의 면적률은 상당히 낮은 것으로 나타나, 수변구역의 관리에서 농약이나 비료 등의 화학물질이 하천으로 유입됨에 따른 수질 오염의 발생가능성에 우선적으로 관심을 가져야 할 것으로 판단된다.



**FIGURE 6.** Scatter plot of T-P and proportion of agricultural land in riparian zone

다음으로 수변구역 30m 이내의 토지이용패턴과 하천 수질과의 상관성을 분석한 결과에 따르면, 수변구역의 개발강도와 강한 양(+)의 상관성을 가지고, 산림 면적률은 강한 음(-)의 상관성을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 연구결과는 오염총량제의 실시에 따른 개발규모의 적정수준을 결정짓는데 중요한 요소로서 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러, 향후 산림 등의 완충공간이 오염물질의 여과작용에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구를 통해서 완충수림대의 적정 폭과 위치 선정기준을 마련할 수 있을 것이다. 또한, 수변구역의 지가(地價) 등의 경제적인 측면을 비롯하여 현재의 토지이용패턴, 하천 제방의 특성, 지형, 토양 등의 물리적 인자를 종합적으로 고려하여 수변구역 내의 완충수림대 조성 및 복원계획이 수립되어야 할 것으로 판단된다. **한국환경**

## 참고문헌

- 김계현, 윤호석, 권우석. 2000. 상수원보호를 위한 수변구역 지정에 관한 연구. *환경영향평가* 9(3):239-248.
- 낙동강유역환경청. 2000. 낙동강유역 환경지도:물관리 부문 중심으로.
- 대구지방환경청. 2000. 금호강의 어제와 오늘 그리고 미래.
- 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.
- 박경훈. 2003. GIS 및 RS 기법을 활용한 낙동강 유역의 통합환경평가. 경북대학교 대학원 조경학과 박사학위논문.
- 이호준, 방제용, 김용욱. 1999. 토지이용이 이원천 유역의 하천수질에 미치는 영향. *환경생태학회지* 22(5):235-240.
- 정윤숙. 2001. 대구지역 하천의 오염현황과 수질. 경북대학교 농업개발대학원 석사학위논문.
- 최지용. 2002. 수질개선을 고려한 수변구역의 토지매입 우선순위 산정기법 연구. *국토연구* 제34권:29-43.
- 최지용, 이지현. 2001. 도시지역의 수변녹지 조성 및 관리방안, 한국환경정책평가연구원 보고서.
- 최지용, 정유진. 2000. 수질개선을 위한 수변녹지의 조성 및 관리방안. 한국환경정책평가연구원 보고서.
- 한혜진, 박석순. 2004. 계층분석법을 이용한 적정 수변구역 결정에 관한 연구. *한국물환경학회* 20(6):555-562.
- Arya, S. 1999. Explaining biotic integrity and habitat across multiple scales: and empirical analysis of landscape, land use, and land cover variable in an Ohio ecoregion. <http://www.ucgis.org/oregon/papers/arya.htm>.
- Erman, D.C. and D. Mahoney. Recovery after logging with and without bufferstrips in orthern California, Contribution 186. 1983. Davis: University of California, California Water Resources Center.
- Erman, D. C., J.D. Newbold and K.B. Roby. 1977. Evaluation of streamside bufferstrips for protecting aquatic organisms, Contribution 165. Davis: University of California, California Water Resources Center.
- Forman, R.T.T. 1997. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press.
- 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. et al. 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.

Malanson, G.P. 1993. *Riparian landscapes*, Cambridge University Press.

NRC(National Research Council). 2002. *Riparian areas: functions and strategies for management*.

<http://www.nap.edu/openbook/0309082951/>.

