

낙동강중류의 토지피복형태를 고려한 유역별 수질오염도 분석

이 우 성 · 정 성 관 · 박 경 훈 · 유 주 한*
경북대학교 조경학과, *창원대학교 환경공학과, **충청북도 수목산야초연구센터
(2005년 10월 21일 접수; 2006년 3월 30일 채택)

An Analysis on Water Pollution Degree by the Watershed considering Landcover Types in the Mid-Nakdong River

Woo-Sung Lee, Sung-Gwan Jung, Kyung-Hun Park* and Ju-Han You**

Department of Landscape Architecture, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

*Department of Environmental Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

**Chungcheongbuk-do Research Center for Wild Plants, Cheongwon 363-874, Korea

(Manuscript received 21 October, 2005; accepted 30 March, 2006)

The purpose of this study is to evaluate the water pollution degree in the Mid-Nakdong River watershed regarding to landcover types using GIS method. As a result of landcover classification, rate of urban appeared highly on Daegu Metropolitan city. Also, rate of agriculture showed highly in the riparian zones of the Nakdong and Guemho River and rate of forest appeared highly in the borders of the study area. To identify the groups of watershed with similar landcover patterns using the Cluster Analysis.

According to the cluster analysis, the fifty sub-watersheds were grouped in three clusters, "Urban watershed", "Agriculture watershed", "Forest watershed". The proportion of urban area in each cluster had a positive correlation with water pollution degree.

Otherwise, the proportion of agriculture in the Agriculture watershed had a high positive correlation with water pollution degree. Therefore, it is necessary to estimate environmental capacity of water quality considering ecological and environmental characteristics of watershed ecosystem and expand water quality monitoring systems to small stream.

Key Words : Cluster analysis, Environment capacity, GIS, Landcover classification, Nakdong River, Watershed management

1. 서 론

산업혁명 이후 도시의 개발지역 확대, 하천유역의 난개발 및 무계획적인 토지이용은 환경에 부정적인 영향을 미치고 있다. 도시가 발달하면 토지를 이용하는 용도가 변화하게 되는데, 기존의 농경지나 나대지였던 곳이 개발지역으로 변화하고 산림은 농경지나 개발지역으로 변화하게 된다¹⁾. 이러한 토지이용의 형태나 변화의 특성은 환경과 밀접한 관련을 가지게 되는데 특히, 수질오염과 직접적인 관련을

가지고 있다²⁾.

여기서, 수질오염의 주된 원인은 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 등 대량 발생원에 의한 점오염원 뿐만 아니라 강우 시 도시지역, 건설지, 농경지, 도로 등 다수의 저농도 발생원인 비점오염원이 있다^{3,4)}. 이러한 점오염원과 비점오염원이 아무런 관리나 통제 없이 하천이나 호소로 유입되었을 경우 수질은 심각하게 오염되게 되는데, 대부분의 점오염원은 환경기초시설, 오·폐수시설을 통한 정화과정을 거치고 있으나, 비점오염원의 경우는 효과적인 조절이나 통제가 어려워 그 문제가 심각해지고 있다.

최근에 Wickham 등⁵⁾은 환경문제가 복잡한 상호관계와 다중성을 가지는 요인들에 의해 발생함으로

Corresponding Author : Sung-Gwan Jung, Department of Landscape Architecture, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
Phone: +82-53-950-5783
E-mail: sgjung@knu.ac.kr

통합적인 방법으로 문제해결에 접근해야 함을 강조하였고, Hargis 등⁶⁾과 Lutz⁷⁾는 경관의 공간적 변화나 생태학적 특성들을 경관지수와 비교함으로써 환경특성을 평가하는 연구를 수행하였다. 한편, Arnold 등⁸⁾은 유역의 불투수층과 도로가 증가하면 하천으로 유입되는 영양물질과 퇴적물에 큰 영향을 미친다는 연구를 하였고, Allan 등⁹⁾과 Johnson 등¹⁰⁾은 토지이용 상 농경지비율이 수질오염과 높은 연관성이 있음을 분석하였다.

국내의 한국환경정책평가연구원(Korea Environment Institute: KEI)에서는 인공위성영상자료를 이용한 토지피복지도의 분류에 관하여 연구하였고¹¹⁾, 이어서 도시의 불투수면 지표를 개발하고 그것을 이용하여 효율적인 유역관리 방법을 연구하였다¹²⁾. 또한, 조명희 등¹³⁾은 GIS와 위성영상을 이용한 수질 오염인자의 공간 변화를 분석하여 도시지역보다는 과수원 및 밭의 증가가 수질오염에 많은 영향을 미친다는 결론을 도출하였다. 박경훈¹⁴⁾은 금호강 유역의 환경특성이 하천수질에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하여 도시화나 산업화와 관련된 변수들은 수질과 음(-)의 상관관계를, 자연환경상태와 관련된 변수들은 양(+)의 상관성을 가진다고 분석하였다. 이처럼 도시와 환경에 관한 연구를 수행함에 있어 토지이용의 형태와 변화는 중요한 인자로 활용되고 있으며 이를 토대로 분석된 결과에서 토지이용은 수질오염의 증감에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

그러나 소유역을 대상으로 토지피복 패턴에 따른 유형을 분류하고 토지피복의 형태와 수질환경의 관계를 정량적으로 평가한 연구는 미흡한 실정이라 판단된다. 따라서 본 연구는 표준유역을 대상으로 토지피복 형태를 경관생태학적으로 분석하고 군집분석을 실시하여 토지피복의 특성별 유형을 분류하고자 하며, 이를 토대로 유형별 유역에 대한 상관분석을 실시하여 환경특성이 수질오염도에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고자 한다.

2. 연구대상지 및 분석방법

2.1. 대상지 개요

본 연구의 대상지는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 낙동강 중류로 낙동구미, 감천, 낙동왜관, 금호강, 회천, 낙동고령의 6개 중권역으로 나누어져 있으며 50개의 표준유역으로 구성되어 있다. 중류의 총면적은 5,712.0km²로서 낙동강 전역의 24.1%를 차지하고 있으며, 행정구역상 대구광역시와 경상남·북도 일대의 20개 시·군에 걸쳐 있다.

연구지역에는 국가하천인 낙동강, 금호강, 감천이

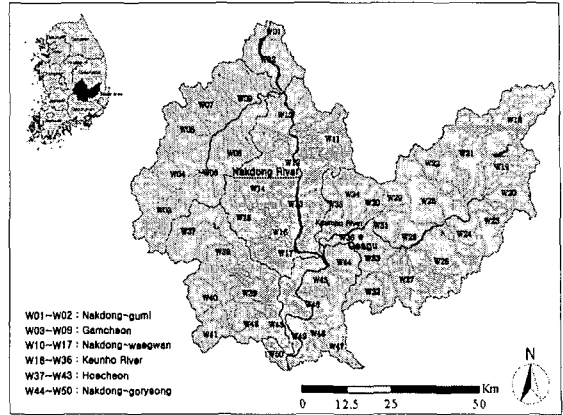


Fig. 1. Location of the study area.

흐르고 있으며 감천은 구미시 선산읍에서, 금호강은 대구광역시 다사읍에서 낙동강 본류와 합류하게 된다. 낙동강의 제1지류인 금호강과 만나는 구역에서는 대구광역시라는 거대도시를 중심으로 대규모의 염색·섬유산업단지과 도시지역이 형성됨에 따라 환경부하가 급격히 증가되었고¹⁵⁾, 이로 인해 합류점의 BOD 농도는 수질등급 III급수를 초과하고 있는 실정이다¹⁶⁾.

2.2. 자료구축 및 연구과정

대상지에 대한 유역별 토지피복 패턴을 분석하기 위해 건설교통부에서 제공하는 2000년의 토지피복도와 수자원 단위지도를 이용하였고, 수질측정자료는 환경부, 농업기반공사, 대구지방환경청, 대구광역시 등에서 2000년 당해에 관측한 데이터를 수집, 정리하여 월별 측정값을 평균하여 활용하였다(Fig. 2).

먼저, 유역별 토지피복 패턴을 분석하기 위해 건설교통부에서 작성된 토지피복도의 8개(도시지역, 논, 밭, 산림, 나지, 초지, 수역, 습지) 대분류 기준 중 습지와 수역, 논과 밭을 합쳐 6개 항목으로 재분류하였다. 이렇게 생성된 토지피복분류도(공간해상도 30m×30m)를 토대로 ArcGIS 8.3을 활용하여 50개 표준유역을 대상으로 항목별(도시지역, 농경지, 산림) 토지피복 형태를 판단할 수 있는 주제도를 생성하였다.

다음은 환경특성에 따른 유형분류를 위해 분석된 토지피복 패턴의 항목별 면적비율을 인자로 하여 SPSS 11.0에서 군집분석을 실시하였다. 군집분석이란 많은 객체들을 일정한 속성에 따라 몇 개의 군집으로 분류하여 같은 군집에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집간의 상이성을 규명하고자 하는 통계분석법으로 유사성의 거리는 피타고라스 정리를 활용한 유클리드 거리로 계산되어진다. 본 연구

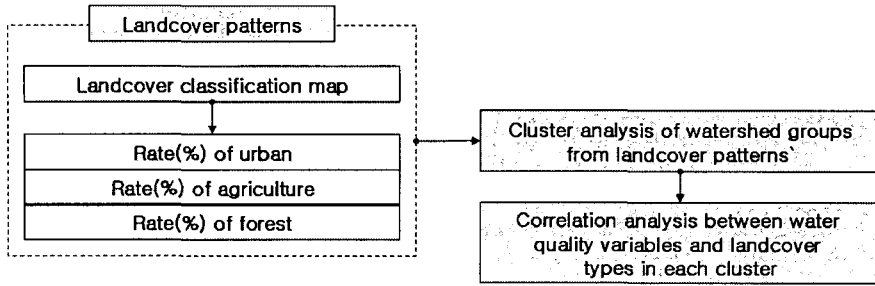


Fig. 2. The analysis process of this study.

에서는 순차적으로 군집화 과정을 반복하는 비계층적 K-평균 군집분석법을 사용하여 유역을 군집화하였다. 한편, 군집분석 실시 후 각 군집에 대한 통계적 타당성을 확인하기 위해 변이계수, F-검정, 판별분석 등을 수행하였다.

마지막으로 전체유역에 대한 토지피복 패턴과 수질의 상관성 분석을 통하여 토지피복이 수질에 미치는 영향성을 규명하고, 군집분석으로 분류된 유형별 수질오염도의 차이를 보기 위해 유역의 오염도를 산출하였다. 또한, 유형별 유역의 토지피복 형태와 수질오염도의 Pearson 상관분석을 실시하여 상대적인 차이를 비교하여 유형별로 유역 관리 방안을 제시하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유역별 토지피복 형태

전체유역에 대한 토지피복 형태를 분석하기 위해 건설교통부에서 제공하는 토지피복도의 8개 항목을 논과 밭, 수역과 습지를 합친 6개 항목으로 재분류하였다(Fig. 3). 도시지역은 대구광역시를 중심으로 집중 분포하고 있고 농경지는 낙동강과 금호강의 수변지역을 따라 선형적인 분포를 보이며, 산림은 농경지 외곽으로 넓게 나타났다. 이처럼 농경지가 수변구역을 따라 선형적으로 나타나고 하천에서 멀

어질수록 감소하는 양상을 보이는 것은 수변구역에서 용수공급이 용이하고, 토양의 비옥도가 높으며, 평균경사와 고도가 낮아 작물재배의 최적조건을 가지고 있기 때문으로 판단된다. 그러나 농경지의 경작활동에 따른 농약이나 비료 등의 사용량이 증가하면서 강우 시 하천으로 화학물질 등의 오염원이 직접 유입되기 때문에 수변구역에서의 적극적인 비점오염원 관리가 필요할 것으로 판단된다¹⁵⁾.

한편, Table 1은 대상지의 토지피복면적과 비율을 나타낸 것으로 도시지역은 대상지의 2.9%를 차지하고 있고, 농경지는 27.9%, 산림은 67.6%를 점하는 것으로 분석되었다.

다음으로, 재분류된 토지피복의 6개 항목 중 낙동강 중류에서의 상대적인 면적비율이 높고, 경관생태학적으로 중요한 요소인 도시지역, 농경지, 산림의 면적비율을 중심으로 토지피복 패턴을 분석하였다.

토지피복 분류상 도시지역이란 주거지역, 상업지역, 공업지역, 교통지역, 기타 시설지역을 포함하는 항목으로 수질오염을 일으키는 점오염원의 주 발생지역으로 분류되고, 업정섭¹⁷⁾의 연구에서는 도시지역의 불투수강도가 매우 높아 강우 시 발생하는 비점오염원의 원인이 되기 때문에 불투수면에 대한 총량규제의 필요성을 언급하고 있다. 또한, 도시지역의 소항목 중 교통지역은 산림의 파괴와 파편화

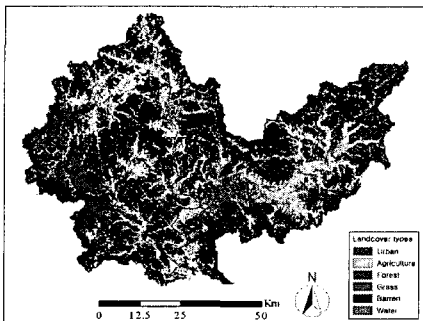


Fig. 3. Landcover map.

Table 1. Area of landcover in 2000

Class	Area(km ²)	Rate(%)
Urban	165.3	2.9
Agriculture	1593.8	27.9
Forest	3861.4	67.6
Grass	6.0	0.1
Water	60.0	1.1
Barren	25.5	0.4
Total	5712.0	100.0

를 발생시키는 주요 원인이기 때문에 도시계획 단계에서부터 산림의 피해를 최소화할 수 있는 방향을 제시해야 할 것으로 판단된다.

유역별 도시지역 비율의 분석 결과는 Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 신천하류(W33), 금호강 중류(W31) 등 4개 지역에서 8.0% 이상의 높은 비율이 나타났으며 특히, 진천천 유역(W44)에서는 49.5%의 가장 높은 도시지역 비율이 나타났다. 도시지역의 비율이 높게 분석된 4개 유역은 행정구역상 모두 대구광역시에 포함되는 유역으로 금호강의 중하류에 분포하고 있기 때문에 하천수질에 미치는 영향이 클 것으로 판단된다. 한편, 도시지역 비율이 4.0% 이상으로 나타나는 유역은 대부분이 대구광역시 인근에 위치해 도시화가 진행되고 있음을 알 수 있었다. 이에 반해, 낙동강 중류의 대부분 유역(34개 유역)은 비율이 2.0% 미만으로 나타나 유역간의 편차가 심함을 알 수 있고, 이들 유역의 지형적인 특징으로 볼 때 평균경사와 고도가 높아 인간의 토지이용 활동이 약하게 나타나는 것으로 판단된다.

다음은 농경지의 면적비율을 분석한 것으로(Fig. 4(b)), 감천하류(W09), 오로천 유역(W26) 등 6개 지역에서 면적비율이 40.0% 이상으로 나타나 전형적인 농촌형으로 분석되었다. 이들 지역의 공통적인 지형적 여건을 살펴보면, 경사가 완만하고 용수이용이 편리한 곳에 분포하고 있었다. 농경지 비율이 30.0% 이상인 유역은 낙동강과 금호강 본류를 따라 선형적으로 나타났음을 알 수 있고, 면적비율이 20.0% 미만인 영천댐(W18), 가야천 유역(W40) 등은 대부분이 산림 면적비율이 높은 곳으로 분석되었으며, 진천천 유역(W44)의 경우는 도시지역 면적이 많은 부분을 점하고 있어 상대적으로 농경지의 비율이 낮게 나타났다.

이처럼 농경지는 인간생활에 필수적인 농업작물 생산지역이며, 경관생태학적 측면에서 생물서식처(biotop)로 활용되는 공간이다¹⁸⁾. 그러나 최근 농작

물의 생산성 향상, 병충해 방지 등을 목적으로 농약과 비료의 사용량이 증가하면서 하천이나 호수의 부영양화를 초래하고 있다. 따라서 농경지를 안정적이면서 효율적으로 관리하기 위해서는 오염유발 지역에 대한 지속적인 모니터링이 이루어져야 하고, 오염원의 저감을 위한 수변녹지대 등이 조성되어야 할 것으로 사료된다.

마지막으로 생물의 서식처를 제공하고, 경관생태적으로 보존가치가 있는 산림의 유역별 분포 비율을 살펴보면, 감천상류(W03) 등의 7개 유역에서는 면적비율이 85.0% 이상으로 나타났으며 특히, 성주댐 유역(W37)은 비율이 92.7%로 가장 높게 나타났다. 이처럼 산림의 비율이 85.0% 이상으로 나타나는 유역들의 지형적인 특성을 보면, 감천상류, 영천댐 등과 같이 하천이 형성되는 상류지점이 대부분인 것으로 분석되었다. 낙동강과 금호강의 본류 인근의 유역에서는 산림 비율이 낮게 나타났고 특히, 도시지역이 밀집한 신천하류, 진천천 유역에서는 산림 면적비율이 40.0% 미만을 점하고 있었다. 이러한 산림은 환경을 고려하지 않은 무분별한 개발과 고속도로 건설 등으로 인해 산림 훼손과 산사태 등의 환경파괴에 노출되어 있으므로 생태적으로 건전한 개발과 지속적인 산림의 복원정책이 필요할 것으로 판단된다.

유역별 토지피복의 형태적 특성을 요약하면 도시지역의 비율은 행정구역상 대구광역시를 포함하는 유역에서 높게 나타났고, 농경지 비율은 경사가 낮고 용수공급이 용이한 낙동강과 금호강의 본류를 중심으로 높게 분포하고 있었다. 또한, 산림의 면적비율은 하천의 상류를 중심으로 높게 나타났으며, 하천과의 '횡방향 거리에 비례하여' 증가하는 것으로 분석되었다.

3.2. 토지피복의 형태에 따른 유역의 유형분류 유역이라는 것은 인간활동과 자연환경 요소들 간

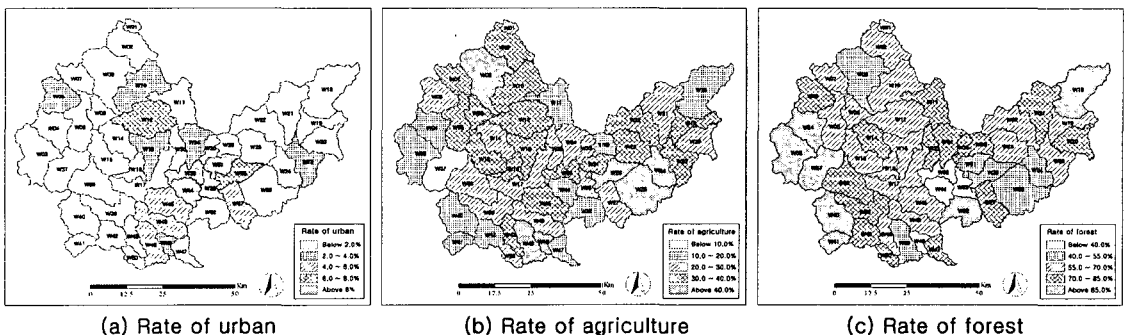


Fig. 4. Maps of landcover patterns in watershed.

의 복잡한 상호관계에 의해서 형성된 생태계 영역으로서, 최근 들어 수환경을 비롯한 각종 환경문제와 자연자원관리를 위한 통합환경평가의 기본단위로 적용이 되고 있다^{19,20}. 이러한 유역단위로 수질특성을 파악하기 위해서는 소유역별로 환경특성에 의한 유형분류가 요구됨으로 본 연구에서는 낙동강중류의 50개 표준유역에 대해 토지피복분류도의 6개 항목 중 면적비율이 상대적으로 높은 도시지역, 농경지, 산림의 비율을 인자로 활용하여 군집분석을 수행하였다.

한편, 군집분석에서는 초기에 지정하는 군집의 개수에 따라 그 결과가 상이하게 도출되고 연구자의 주관적 견해가 포함되기 때문에 먼저 초기 군집의 개수를 2개에서 7개로 선택한 후, 선행연구^{18,21,22})에 시 제시한 유형별 토지피복 특성과 유형의 개수를 비교분석하여 3개의 군집과 5개의 군집을 선택하였다(Fig. 5). 그러나 군집을 5개로 분류하였을 경우에는 Fig. 5(b)와 같이 유형 간에 복합적, 중간적 성격(cluster III과 IV가 큰 차이 없이 나타남)을 가지는 유형이 존재하여 명확한 환경특성의 분류가 어려운 것으로 판단되어 3개의 군집을 채택하였다.

군집분석에 의해 분류된 유형의 통계적 타당성을 검증하기 위해 Table 2와 같이 변이계수, F-검정, 판별분석 등을 실시하였다. 먼저 유형별 토지피복 패턴을 보면, 제 I 유형은 도시지역의 면적비율이 39.8%로 높았으며, 농경지와 산림의 비율은 각각

23.3%, 35.1%로 나타나 타 유형에 비해 낮은 것으로 분석되었다. 제 II 유형은 도시지역 비율이 2.5%로 낮았으나, 농경지 비율이 37.7%로 타 유형에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 제 III 유형에서, 도시지역과 농경지의 비율은 낮게 나타났으나, 산림의 비율은 세 유형 중 가장 높은 값인 79.0%로 분석되었다.

다음으로 변이계수(coefficient of variation: C.V)에 의한 분석을 보면, 제 I 유형은 세 항목 모두가 0.5 이하의 낮은 값으로 분석되었고, 제 II, III 유형의 농경지와 산림에서도 낮은 값이 나타났다. 이에 반해, 제 II, III 유형의 도시지역에서는 변이계수가 각각 1.45, 1.64로 높은 값으로 나타났는데, 이를 통해 제 II, III 유형에서 유역별 도시규모의 차이가 크다는 것을 판단할 수 있다. 한편, 유형별 평균의 동질성 검정(F-검정)을 실시한 결과, 도시지역, 농경지, 산림의 면적비율이 유의수준 1% 이내에서 평균에 차이가 있는 것으로 나타났다.

마지막으로 군집분류의 정확도를 판단하기 위해 판별분석을 실시하였는데, 집단 간의 관련성 정도를 나타내는 정준상관계수는 0.94로 높게 나타나 유형 간의 판별력이 우수한 것으로 나타났고, 집단판별의 적중률을 판단하는 분류의 정확도는 98.0%로 나타나 비교적 정확하게 분류되었다.

각 유형에 포함되는 표준유역을 살펴보면, 제 I 유형은 신천하류(W33), 금호강하류(W36), 진천천 유역(W44)이, 제 II 유형은 감천합류점(W02), 동촌유역

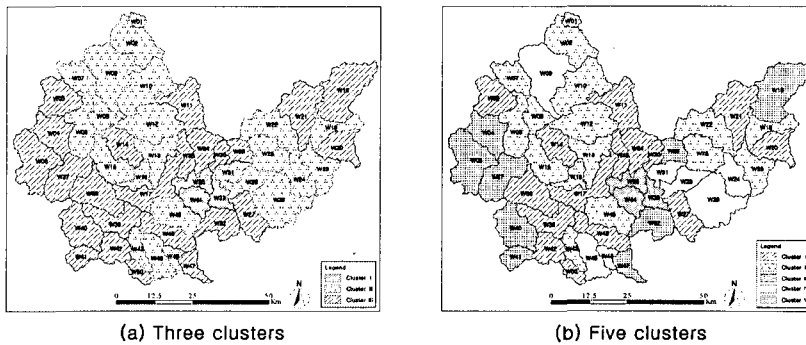


Fig. 5. Results of watershed groups by cluster analysis.

Table 2. Statistical characteristics in each cluster^{23,3}

	Cluster I		Cluster II		Cluster III		F-value	Canonical correlation	Correctness of classification
	Ave.(%)	C.V	Ave.(%)	C.V	Ave.(%)	C.V			
Urban	39.8	0.23	2.5	1.45	0.9	1.64	186.2**	0.94	98.0
Agriculture	23.3	0.33	37.7	0.19	19.2	0.33	42.9**		
Forest	35.1	0.10	57.4	0.15	79.0	0.09	68.8**		

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

(W28) 등 23개 유역이, 마지막으로 제Ⅲ유형은 감천상류(W03), 영천담구역(W8) 등 24개 유역이 포함되는 것으로 나타났다. 제Ⅰ유형의 면적은 192.4km² (3.4%), 제Ⅱ, Ⅲ유형의 면적은 각각 2715.0km² (47.5%), 2805.4km² (49.1%)로 분석되었다.

유형별 분포패턴은 Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 제Ⅰ유형은 낙동강 유역의 최대 도시인 대구광역시를 중심으로 분포하고 있고, 제Ⅱ유형은 낙동강과 금호강을 따라 선형으로 넓게 나타났으며, 제Ⅲ유형은 유역전체에 걸쳐 광범위하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 특이한 점은 제Ⅲ유형인 백천 상류가 제Ⅱ유형의 유역에 의해 둘러싸여진 것인데, 이를 토지피복지도와 하천망도를 이용하여 분석해 보면 인접한 유역은 농경지가 많은 반면에 백천 상류는 금오산(977m)과 백마산(715m) 등의 산림이 대부분을 점하고 있기 때문으로 판단된다.

이상의 유형별 토지피복 패턴과 분포특성으로 볼 때, 제Ⅰ유형은 대구광역시에 인접해 도시지역이 많은 부분을 차지하고 있어 '도시형 유역'의 특성을 나타낸다고 할 수 있으며, 제Ⅱ유형은 낙동강과 주요 하천을 따라 발달한 '농지형 유역', 제Ⅲ유형은 도시의 외곽에 위치하여 생태적 보존가치가 있는 '산지형 유역'의 특성을 가진다고 판단할 수 있다.

3.3. 유형별 수질오염도의 분석

수질측정자료는 환경부, 대구지방환경청 등에서 제공하는 2000년의 측정치를 활용하였고 수질측정망이 존재하는 유역은 총 26개 유역으로 Fig. 6과 같이 나타났으며, 도시형 유역에는 3개소, 농지형 유역에는 15개소, 산지형 유역에는 8개소의 측정지점이 분포하고 있었다. 한편, 수질측정 항목 중 수질 오염총량관리제의 주요 항목인 BOD, T-N, T-P를 분석에 활용하였다.

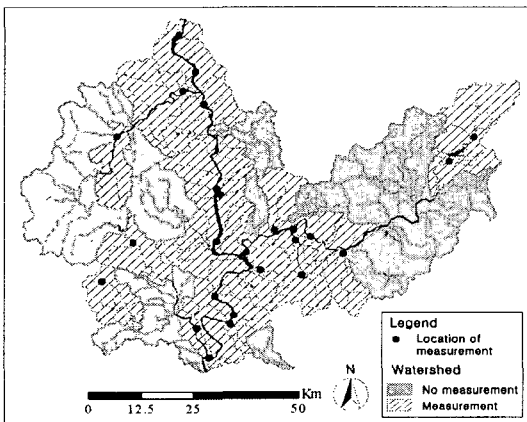


Fig. 6. Location of water quality measurement.

먼저 전체유역에 대한 토지피복 패턴과 수질오염도의 상관분석을 실시하여 Table 3과 같은 결과를 도출하였다. 분석 결과, 도시지역 비율과 BOD, T-N, T-P는 각각 0.515, 0.733, 0.664로 유의수준 1% 이내에서 양(+)의 상관관계를 보였으나, 농경지와 도시지역의 분석은 큰 의미를 나타내지 못하였다. 산림과의 분석은 유의수준 5% 이내에서 상관계수가 각각 -0.396, -0.469, -0.406로 나타나 오염도와 음(-)의 방향성을 가지는 것으로 분석되었다. 따라서 하천수질을 개선시키기 위해서는 도시지역에 대한 지속적인 관리와 생태적으로 건전한 방향의 개발정책을 시행하며, 산림에 대한 과학적인 모니터링을 통해 훼손된 산림을 복원해야 할 것으로 사료된다.

다음으로 전체유역에 대한 토지피복 패턴과 수질의 상관분석만으로 유역을 관리하기 위한 방안을 마련하기에는 무리가 있는 것으로 판단되어 유형별 유역에 대한 수질의 분석을 실시하였다. 각 유형에 대한 평균 오염도를 살펴보면(Table 4), 도시형 유역의 오염도는 BOD, T-N, T-P가 각각 9.26mg/L, 13.60mg/L, 0.87mg/L로 세 유형 중 가장 높게 나타났다. 농지형 유역은 15개 수질측정망을 대상으로 평균값을 분석한 결과, 오염도가 각각 3.20mg/L, 3.69mg/L, 0.17mg/L로 도시형 유역에 비해 상당히 낮게 분석되었다. 마지막으로 산지형 유역에서는 8개 측정망이 분석에 활용되었는데, 그 평균값이 각각 4.91mg/L, 5.34mg/L, 0.32mg/L로 나타나 농지형 유역보다 높은 오염도를 보였다. 산지형 유역의 오염도가 농지형 유역에 비해 높게 나타난 것은 산지형 유역 중 팔거천(W34)과 남천 유역(W27)에서의 오염도가 각각 19.2mg/L(BOD), 10.2mg/L(BOD)로 높게 측정되었기 때문인데, 이는 산지형 유역임에도 불구하고 도심과 인접한 지역에 위치하여 도시확산에 따른 택지개발과공단건설이 이루어졌으나 오염원에 대한 정화시설이 부족한데 기인한다. 또한 도시지역이 하천을 중심으로 인접하게 분포하고 있어 도시지역의 오염원이 하천으로 직접 유입되었기 때

Table 3. Results of the correlation analysis between water quality variables and landcover patterns

Water quality \ Landcover	BOD (n=26)	T-N (n=26)	T-P (n=26)
Urban	0.515**	0.733**	0.664**
Agriculture	0.020	-0.122	-0.127
Forest	-0.396*	-0.469*	-0.406*

**Correlation is significant at the 0.01 level(2- tailed)

*Correlation is significant at the 0.05 level(2- tailed)

낙동강중류의 토지피복형태를 고려한 구역별 수질오염도 분석

Table 4. Characteristics of water quality in each cluster

(Unit : mg/L)

Water quality	Urban watershed			Agriculture watershed			Forest watershed		
	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.
BOD	9.26	18.00	4.10	3.20	9.70	0.70	4.91	19.20	0.60
T-N	13.60	18.62	10.48	3.69	7.10	1.74	5.34	18.00	0.65
T-P	0.87	1.14	0.68	0.17	0.50	0.04	0.32	1.50	0.01

Table 5. Results of the correlation analysis between water quality variables and landcover patterns in each cluster

Landcover	Urban watershed			Agriculture watershed			Forest watershed		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Urban	0.864	0.960	0.987	0.675**	0.757**	0.775**	0.666	0.759*	0.699
Agriculture	-0.669	-0.830	-0.891	0.668**	0.597*	0.502	0.356	0.320	0.412
Forest	-0.762	-0.582	-0.478	-0.829**	-0.823**	-0.734**	-0.600	-0.571	-0.533

**Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed)

*Correlation is significant at the 0.05 level(2-tailed)

문으로 판단된다. 따라서 현재 개발이 진행 중이거나 이미 완료된 지역에 대해서는 정화시설의 확충을 통해 하천으로 유입되는 오염원을 최소화해야 할 것으로 사료된다.

마지막으로 유형별 토지피복 패턴과 수질오염도의 상관분석을 실시하였는데, 그 결과는 Table 5와 같다. 도시형 구역에서 도시지역 비율과 T-N, T-P의 경우는 상관계수가 각각 0.960, 0.987로 높게 나타났으나, 유역의 개수가 적어 유의수준을 만족하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 95% 신뢰수준을 만족하지는 않지만 도시지역 비율과 오염도는 양(+)의 상관관계를, 농경지 비율과 오염도는 음(-)의 상관관계를 가진다고 판단할 수 있다. 따라서 도시형 유역을 관리하기 위해서는 도심지내 도로, 아파트단지 등과 같이 불투수면을 감소시키고, 공원, 녹지대 등과 같은 투수면을 증가하는 정책을 실시해야 될 것으로 판단된다.

농지형 유역에서 도시지역 비율은 오염도와 유의수준 1% 이내에서 양(+)의 방향성을 가지는 것으로 나타났고, 특히 농경지 비율과 오염도의 상관분석에서는 타 유형과 달리 양(+)의 방향성을 가지는 것으로 분석되었다. 이는 농약과 비료의 사용으로 인해 농업지역에서 오염원이 증가하였기 때문으로 사료된다. 한편, 산림 비율과 오염도는 0.7 이상으로 높은 음(-)의 상관관계를 가져 산림은 수질환경에 건전한 역할을 하는 것으로 나타났다. 그러므로 농지형 유역을 효율적으로 관리하기 위해서는 비료와 농약 등의 화학물질 사용량을 규제하고 오리농법, 미생물농법 등의 친환경적인 농업을 실시해야 될 것이며, 유역내 완충수림대 조성을 통해 오염원을 저감시켜야 될 것으로 사료된다.

산지형 유역에서 유역내 산림의 비율이 70% 이상을 점하고 있어 오염도가 낮게 나타날 것으로 예상하였지만, 이와 달리 오염도가 높게 나타났고 도시지역 비율과 오염도가 양(+)의 상관성을 가지는 것으로 분석되었다. 이는 앞서 언급한 것처럼 도시지역이 하천을 중심으로 집중분포하고 있어 도시지역의 오염원이 하천으로 직접 유입되었기 때문으로 판단된다. 따라서 산지형 유역에서는 도시지역을 중심으로 환경기초시설을 확충해야 될 것으로 판단되며, 하천과 도시지역 사이 수변녹지대를 조성하여 하천에서 도시지역으로 직접 유출되는 비점오염원 등을 저감시켜야 될 것으로 사료된다(Fig. 7(b)). 한편, 가창댐, 영천댐 등과 같이 오염도가 낮게 측정되는 청정유역에서는 지속적인 모니터링을 통해 산림을 보전해야 될 것으로 판단된다.

요약하면, 토지피복에 의해 분류된 유형에 따라 하천수질은 상당한 차이를 보이고 있고 상관분석에서도 유형별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러므로 정부가 환경정책 또는 도시계획을 수행함에 있어 유형별 환경특성을 고려하고 개발과 보존의 가치를 정확하게 판단하여 계획을 시행해야 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 낙동강 중류의 50개 표준유역을 대상으로 유역별 토지피복 형태를 분석하고 이를 토대로 유형을 분류한 후, 유형별 유역의 토지피복 패턴과 수질오염도를 상관분석하여 환경특성을 규명하고자 하였다.

먼저 유역별 토지피복 형태를 살펴보면, 도시지역 면적비율은 행정구역상 대구광역시에 포함되는 신

천·하류, 금호강 중류 등 4개 유역에서 8.0% 이상의 높은 비율이 나타났다. 또한, 대구광역시 인근에 위치한 유역에서도 도시의 광역화로 인해 도시지역의 비율이 4.0% 이상으로 분석되었다. 농경지의 비율은 낙동강과 금호강을 따라 6개 유역에서 40.0% 이상으로 분석되었는데, 이는 지형적으로 경사가 완만하고 용수이용이 편리하였기 때문으로 판단된다. 산림의 면적비율은 농경지 외곽으로 넓게 분포하는데, 감천상류 등 7개 유역에서 80.0% 이상의 비율이 나타났다.

다음으로 토지피복 항목 중 도시지역, 농경지, 산림의 비율을 인자로 하여 낙동강 중류의 표준유역에 대해 3개의 유형으로 군집분석을 실시하였다. 분류의 타당성을 검증하기 위해 통계적 분석을 실시한 결과, 정준상관계수가 0.94, 분류의 정확도는 98.0%로 나타나 비교적 정확하게 분석되었다고 할 수 있다. 제 I 유형은 토지피복 상 도시지역이 39.8%의 높은 값을 가져 도시형 유역으로, 제 2 유형은 농경지의 비율이 37.7%로 나타나 농지형 유역으로, 제 3 유형은 산림이 79.0%의 값을 보여 산지형 유역으로 명명하였다.

마지막으로 유형별 유역에서 수질오염도의 평균은 도시형 유역에서 가장 높게 나타났고 다음으로 산지형, 농지형 유역 순으로 나타났다. 산지형 유역에서 농지형 유역보다 높게 나타난 것은 산지형 유역에 속하는 팔거천과 남천 유역의 오염도가 상대적으로 높은 값을 가졌기 때문이다. 한편, 유형별 유역에 대한 상관분석의 결과를 보면, 도시형 유역에서는 측정망의 수가 적어 유의수준을 만족하지는 않지만 도시지역 비율과 양(+)의 관계를, 농경지 비율과는 음(-)의 관계를 나타내었다. 농지형 유역에서 타 유역과 달리 농경지 비율과 오염도가 양(+)의 상관관계를 나타내는 것으로 분석되어 농약과 비료의 사용량이 수질에 부정적인 영향을 미친다고 판단할 수 있었다. 산지형 유역에서는 유역내 산림의 비율이 대부분을 점하고 있음에도 불구하고 하천을 중심으로 도시지역이 집중 분포하는 패턴을 보여 도시지역 비율과는 양(+)의 상관관계를 가졌다. 따라서 산지형 유역에서는 수변녹지대 조성을 통한 오염원 저감 정책을 실시해야 될 것으로 판단된다.

본 연구를 수행함에 있어 한계점은 군집분석 시 도시지역, 농경지 등의 면적비율만을 인자로 활용하였기 때문에 팔거천, 남천 유역 등과 같이 유역내 산림의 면적비율이 높게 나타났음에도 불구하고 오염도가 높게 측정되는 경우가 있었다. 따라서 향후에는 수질과 높은 상관성을 가지는 타 인자들의 면적비율 뿐만 아니라 입지적 또는 위치적 특성까지

를 고려한 환경계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한, 현재 환경부의 수질측정망이 소하천까지 확대되고 있고, 비점오염원에 대한 측정과 규제 방법이 활발히 연구되고 있기 때문에 향후에는 이를 통한 종합적인 수질환경용량의 산정이 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 1) 김기성, 이병철, 최예환, 2001, GIS를 이용한 춘천시 도시계획구역의 토지이용변화 분석, 농업과학연구지, 12, 77-86.
- 2) Hörmann, G., A. Horn and N. Fohrer(In press), 2005, The evaluation of land-use options in mesoscale catchments: Prospects and limitations of eco-hydrological models, Ecological Modelling.
- 3) 김철, 김석규, 2001, GIS를 이용한 황룡강 유역의 유출량 및 오염부하량 산정, 한국GIS학회지, 9(3), 425-438.
- 4) 오영택, 박제철, 김동섭, 류재근, 2004, 강우시 소옥천에서의 비점오염원 유출 특성, 한국물환경학회지, 20(6), 657-663.
- 5) Wickham, J. D., K. B. Jones, R. V. O'Neil, R. D. Tankersley and E. R. Smith, 1999, An integrated environmental assessment of the US Mid-Atlantic region, Environment Management, 24(4), 553-560.
- 6) 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.
- 7) Lutz, T., 2001, Can landscape indices predict ecological processes consistently, Landscape Ecology, 16, 253-254.
- 8) Arnold, C. and J. Gibbons, 1996, Impervious Surface Coverage: The Emergence of a key environmental indicator, J. of the American Planning Association, 62, 243-258.
- 9) Allan, J. D., D. L. Erickson and J. Fay, 1997, The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales, Freshwater Biology, 37(1), 149-161.
- 10) Johnson, L. B., C. Richards, G. E. Host and J. W. Arthur, 1997, Landscape influences on water chemistry in midwestern stream ecosystems, Freshwater Biology, 37(1), 193-208.

- 11) 전성우, 1999, 인공위성 영상자료를 이용한 토지 피복 분류, 한국환경정책평가연구원 보고서.
- 12) 최지용, 2003, 유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표 개발과 적용방안(1), 한국환경정책평가연구원 보고서.
- 13) 조명희, 권봉겸, 부기동, 1999, GIS와 위성영상을 이용한 수질 오염인자의 공간 변화 분석, 한국지리정보학회지, 2(3), 60-70.
- 14) 박경훈, 2003, 금호강 유역의 환경특성이 하천수질에 미치는 영향, 한국지리정보학회지, 6(4), 85-98.
- 15) 박경훈, 오정학, 정성관, 2005, 금호강 유역관리를 위한 수변구역의 토지이용패턴분석, 한국지리정보학회지, 8(2), 157-165.
- 16) 낙동강환경관리청, 2001, 낙동강유역 환경지도: 물관리 부문 중심으로, 낙동강환경관리청.
- 17) 엄정섭, 2004, 도시의 불투수면 총량규제에서 원격탐사와 GIS의 활용, 환경영향평가학회지, 13(5), 263-276.
- 18) 오정학, 정성관, 박경훈, 2005, 토지이용패턴을 중심으로 한 낙동강 유역의 경관생태학적 유형 분류, 한국지리정보학회 춘계GIS워크숍 및 학술대회 논문집, 121-132.
- 19) Riitters, K. H., J. D. Wickham and K. B. Jones, 1996, A landscape atlas of the Chesapeake Bay watershed, 2nd ed. Tennessee Valley Authority, Norris.
- 20) Rattan, L., 2000, Integrated watershed management in the global ecosystem, CRC Press, Washington D. C.
- 21) 한강유역관리청, 2001, 한강수변구역관리 기본계획 및 설계종합보고서.
- 22) 박경훈, 2002, GIS 및 RS 기법을 활용한 낙동강 유역의 통합환경평가, 경북대학교 대학원 조경학과 박사학위논문.