

효율적인 하천관리를 위한 하천생태 특성을 고려한 유형 분류*
- 낙동강수계를 대상으로 -

이유경¹⁾ · 이상우²⁾

¹⁾ 건국대학교 환경과학과 대학원 · ²⁾ 건국대학교 환경과학전공

Stream Classification Based on the Ecological
Characteristics for Effective Stream Management*

- In the Case of Nakdong River -

Lee, Yoo-Kyoung¹⁾ and Lee, Sang-Woo²⁾

¹⁾ Dept. of Environmental Science, Graduate Konkuk University,

²⁾ Dept. of Environmental Science, Konkuk University.

ABSTRACT

The purpose of this research is classifying stream into different types depending on various factors from the perspective of stream corridor restoration and using it as basic data, which are used to consider efficient management and planning for the healthy stream according to the characteristic by types. In this study, 130 points of location of the Nakdong river basin which consist of various geographic factors have been chosen and hierarchical cluster analysis has been carried out in these points by using biological and physiochemical factors whose health can be considered to be predicted and evaluated. As a result of cluster analysis, there were three divided types. Type A whose biology and water quality are considered the best was the highest in forest area percentage so that it was classified into natural stream. Type B was classified into a rural region stream with a mixture of urban and agricultural region. Type C, with the most damaged water quality and biology health had the most urban region surface area and was named as urban region stream. Moreover, an overall restoration strategy according to

* 본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원(과제번호 : PJ007426062012)의 지원으로 작성되었습니다.

First author : Lee, Yoo-Kyoung, Dept. of Environmental Science, Graduate Konkuk University,
Tel : +82-2-3437-0202, E-mail : upgoplay@konkuk.ac.kr

Corresponding author : Lee, Sang-Woo, Dept of Environmental Science, Konkuk University,
Tel : +82-2-450-4120, E-mail : sw17311@konkuk.ac.kr

Received : 19 July, 2012. **Revised** : 25 October, 2012. **Accepted** : 26 October, 2012.

characteristic by stream types was set. By the results of correlation analysis on factors, water quality showed a high correlation with biological properties and was affected by surrounding land usage. In evaluation of streams, it proves the need to consider not only other habitat's geographical and biological factors but also the water quality and land usage factors. There needs to be further research on stream ecosystem functionality factors and structural aspects by using a more objective and total evaluation result in selecting additional index and various other specific classification methods by stream types and its restoration strategies.

Key Words : *Stream classification, cluster analysis, Stream restoration, land use.*

I. 서 론

최근 우리나라에서는 인간의 과도한 간섭으로 훼손된 하천을 온전한 상태로 회복시키기 위한 생태하천복원사업이 활발히 진행되고 있다. 하지만 다양한 전략과 접근 방법 그리고 무분별한 기술들의 적용은 대상 하천의 입지, 지형, 생태적 특성을 충분히 반영하지 못하는 실정이며, 생태계를 고려하지 못한 이·치수 위주의 하천 정비는 생물 서식지 파괴와 다양성의 감소 등으로 수생태계의 건강성 악화가 가중되어 왔다. 우리나라 하천은 연중 상당한 수문학적·물리학적 교란을 경험하기 때문에 BOD를 포함하는 이화학적 요인만으로는 생태계의 건강성을 총체적으로 판정하기에는 크게 미흡하다. 또한 하천의 생태학적 인식과 기능에 대한 이해의 부족은 생태계의 건전한 물 순환과 생태계의 흐름에 부정적인 영향을 끼쳤으며(Forman, 1995; Sala et al, 2000), 더 이상 하천 고유의 생태적 역할을 기대할 수 없게 되었다. 건강한 하천을 위한 하천의 이상적인 생태적 복원은 자연성을 훼손하지 않는 범위에서 생태계 시스템의 기능회복에 초점을 두어야 한다(Hobbs and Norton, 1996; Holl et al, 2003). 단순 화학적 평가만으로는 수계내의 총체적 건강 상태를 진단할 수 없기 때문에(Karr, 1981) 생태계를 둘러싸고 있는 복잡한 요인들에 대하여 단편적이고 부분적인 방법이 아니라 통합적인 방법(holistic approach)으로 문제를 해결해야 한다

(Wickham et al, 1999). 하천의 수질에 영향을 미치는 요인들은 하천의 형태, 주변 생태계, 인간의 활동, 토지이용 등 여러 가지 환경요인들이 있으며 이 요인들과의 관계를 구명하려면 다각적인 접근이 필요하다(오영주 et al, 2006).

일반적으로 하천 및 호소의 주변 토지이용의 형태와 변화의 특성은 수문학 및 수질뿐만 아니라(Tong and Chen, 2002) 하천 및 주변 생태계와 수서 생물상의 구조와 기능에 대해 영향을 미치며(Dunne and Leopold, 1978), 특히 저서성 대형 무척추동물과 어류는 물리적 서식처의 변화에 대해 뚜렷하게 변화를 보인다(Sponseller et al, 2001). 따라서 이·화학적인 요인과 생물학적 평가, 서식지의 상태를 포함하는 수생태계의 종합적인 평가 및 관리가 매우 중요하다(Davis, 1995). 하천평가를 위한 선행 연구 사례로 하천생태계를 역사적으로 종합 검토한 바 있으며(Naiman, 1998), 주로 물리적 요소를 위주로 평가한 연구, 생물적 요소에 의한 평가(Angermeier, 1994), 물리적 요소와 생물적 요소를 복합적으로 평가(Leopold, 1964)한 연구 등이 있다. 이에 반해 국내 대부분의 복원사업은 생태적 복원의 절차를 수용하지 않아 진단평가가 이루어지지 않은 실정이며 오염원들에 의한 하천의 유형화, 이에 따른 수질 평가 등에 대한 연구는 미비한 실정이다.

이러한 관점에서 하천 분류는 하천의 특성을 이해하기 위하여 물리·생태 등의 특성인자를 사용하여 구분하는 작업으로 하천 분류는 전통적,

학문적인 차원에서 탈피하여 다양한 하천의 특성을 파악할 수 있는 방법으로 현재까지 많은 방법이 제시되고 있다. 영국EA(National Rivers Authority : NRA, 1990)의 하천 분류는 하천의 지형학적 조사를 전제로 하여, 현장 답사를 통하여 지형 변화를 야기하는 요인에 대한 하천의 민감도를 파악하였으며(건기연, 2005), 미국 플로리다만의 수질특성 평가를 위하여 다변량해석을 적용한 연구 등 많은 연구가 수행되었다(Boyer, 1997). 미국의 경우 유럽 선진국이나 일본과 비교해 비교적 늦게 하천복원사업을 시작하였지만 충분한 생태적 기초정보를 확보하고 복원생태학 분야를 선도하는 국가로서 진단평가에서부터 대조하천정보의 수집 및 그것을 활용한 복원계획 수립, 복원 효과 평가 도구 개발 등을 통해 체계적인 하천복원 체계를 구축하고 있다(Stream Corridor Restoration 등).

일반적으로 하천분류는 특정한 목적에 맞게 개발되므로 일률적인 적용은 피해야 하며 목적에 맞는 변수 선정과 분류방법이 중요하다. 생태계를 구성하는 모든 요소 전체를 포함하는 하나의 유형을 제시하는 것은 힘들지만 하천을 구성하는 다양하고 복합적인 측면을 단순화시켜 대상하천의 입지, 지형, 생태적 특성을 고루 반영한 분류는 건강한 하천생태계가 이루어지기 위한 좀 더 효율적이고 체계적인 관리 방안에 도움이 될 것이며 나아가 단계적이고 지속 가능한 생태하천복원을 위한 방향 설정 시 기초자료로서 이용 가능하다.

보다 건강한 생태하천 복원을 위한 관점에서 하천을 평가 및 관리 할 때 기존 유역 중심의 수질 또는 수량 문제만을 다루는 연구가 아닌, 하천의 건강한 생태계와 주변 토지이용과의 관계를 규명하여 하천 별 공간단위로서의 관리가 필요하다. 본 연구는 낙동강 유역권을 대상으로 1) 수생태계를 대표하는 요인별 유사한 패턴을 보이는 유형으로 유역을 분류하고, 2) 지점별 토지피복을 중심으로 공간분석기법을 활용하여 유형별 공

간단위에 대한 특징을 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구범위

본 연구의 대상유역인 낙동강 유역은 유로연장 525.8km, 유역면적 23,384km²로 남한 전체 국토의 약 25.9%를 차지한다. 낙동강은 우리나라 4대 강 중의 하나로 강원도 태백시에서 발원하여 남해안으로 유입되는 한국에서 가장 긴 강으로 한반도 전체에서는 압록강 다음으로 긴 우리나라 제2의 수계이다. 주요 수계는 낙동강, 태화강, 형산강이며 주요 지류에는 반변천(101km)·내성천(102km)·금호강(116km)·황강(111km)·남강(186km)·밀양강(90km)·위천(111km)·감천(71km) 등이 있다. 강원도, 경상북도, 경상남도를 가로지르는 낙동강 유역의 주요 도시로는 대구와 부산이 있으며 약 500만 이상의 인구가 거주하고 있다(Figure 1).

본 연구의 조사지인 낙동강 대권역의 총 조사

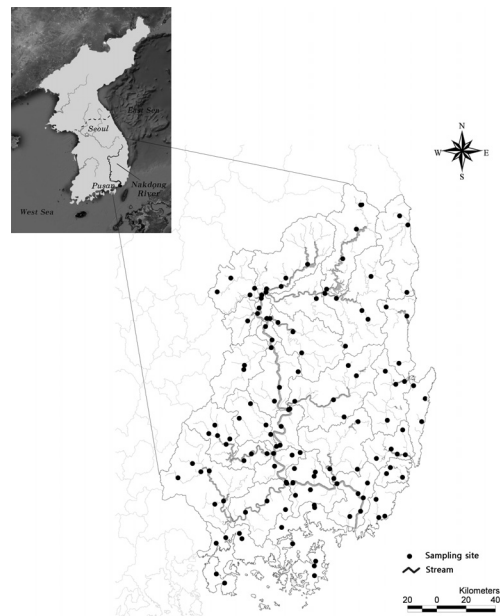


Figure 1. Sampling sites in Nakdong River.

지점은 낙동강 수계(93개), 형산강 수계(4개), 태화강 수계(5개), 기타 수계(28개) 등을 포함하는 총 130개 지점이며 2009년도 수생태계 건강성 조사 및 평가자료(MOE/NIER, 2009)를 기초로 실시하였다. 본 연구의 조사 시기는 여름 장마에 의한 집중강우와 태풍 등의 영향을 받기 전·후 시기로, 우기 집중강우에 의한 영향성을 배제하기 위하여 홍수가 시작되기 전으로 설정되었으며, 각각 2009년 4~5월 및 9월에 조사되었다. 수생태계 건강성 조사 및 평가 자료는 우리나라 하천의 건강성에 대하여 전국단위에서 조사한 매우 중요한 자료이며 점(point)자료로서 하천 지점의 조사 및 평가와 조사된 정확한 위치를 포함하고 있다(MOE/NIER, 2009).

2. 연구방법

첫째, 130개 지점에서의 부착조류(TDI), 저서성 대형무척추동물(KSI), 어류(ABI) 등 생물학적 특성을 대표하는 3개 항목과 수질현황(BOD, T-N, T-P)을 포함한 6개 항목에 대해 비슷한 특성의 유형분류 도출을 위해서 계층적 군집분석(Hierarchical cluster analysis) 후 비계층적 군집분석인 K-평균법(K-means)으로 재분석 하였다. 계층적 군집분석 시 요인부하량을 이용하여 Ward(Ward's method linkage)의 방법에 따라 시행하였으며 이 방법은 각 변수들의 공간적 연결성과 유사성에 의해 군집을 형성하고 지역들은 위계적인 군집화 가정을 통하여 최초의 환경요인을 모아감으로써 군집을 형성하게 된다. 유사성은 분류하고자 하는 변수에 의해서 분석대상 사이의 비슷한 정도를 평가하는 것이라 할 수 있으며, 유형들 간 유사성의 거리는 제곱 유클리드거리(squared euclidean distance)를 기준으로 산출하였고 덴드로그램(Dendrogram)으로 나타냈다. 계층적 군집분석 결과를 이용하여 순차적으로 군집화 과정을 반복하는 비계층적 방법인 K-means 방법으로 각 지점을 재분류 하였다. K-means는 개체군집화를 해내는데 있어 이해가 쉬운 직관적인 알고리즘으로 개체

수가 큰 자료에 대해서도 빠르게 결과를 내는 것으로 알려져 있다(이혜림, 2010). 군집분석 결과 3개의 서로 다른 특성을 가진 유형으로 분류되었으며, 유형별 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였으며 유의확률은 모두 0.00으로 낮은 수치로 나타나 환경요인변수에 따른 유형별 차이가 있음을 알 수 있다.

둘째, 이화학적 요인과 생물학적 요인을 통해 3형태로 분류된 유형의 하천 지점별 주변 토지이용 특성을 알아보기 위해 one-way ANOVA를 이용하여 평균을 비교를 하였다. 분석대상지점에 대하여 각 지점별 1km 반경의 Buffer zone을 생성하여 그룹별 토지이용의 특성을 비교하였으며, 모든 공간자료의 좌표체계는 ArcGIS Transverse Mercator(TM)이고 중부원점의 Bessel 타원체를 적용하였다. 모든 통계분석은 SPSS package(SPSS Inc., v. 19.0)를 이용하였고 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다. 본 연구는 MOE "National Aquatic Ecological Monitoring Program(NAEMP), 2009"의 낙동강 수계 130개 조사지점의 대표적인 생물학적, 이화학적 요인 측정결과와 환경부 2007년 전국 토지피복분류도를 이용하여 토지이용 현황을 분석하였다.

3. 생물학적 평가

오늘날 환경 선진국들(미국, 영국, 프랑스 등)에서는 저서생물, 어류 및 부착조류 등을 이용한 생물학적 평가방법을 이용하여 국가 전체의 수생태계 건강성 평가를 실시하고 있으며 우리나라의 환경부에서는 부착조류, 저서성 대형무척추동물, 어류를 이용한 생물학적 물환경 평가기법을 개발한 바 있다. 수생태계 건강성 평가방법은 미국 환경청(EPA, 1974)과 유럽 환경청(EEA)에서 제안한 평가 방법을 우리나라 하천에 맞게 수정 및 보완한 방법이다. 이는 생물종의 다양성, 풍부도 및 서식환경의 건강성 수준을 계량화하여 수생태계의 건강성을 종합적으로 평가 가능한 지표로서 이용될 수 있다(MOE/NIER, 2009).

1) 부착조류 영양염 지수(TDI : Trophic Diatom Index)

부착조류는 수질변화나 오염을 나타내는 지표로 이용되며 수질의 생물학적 판정 재료로 가치가 높아 하천의 건강성을 평가하는데 널리 활용되고 있다(UNESCO, 2004). 본 연구에서의 부착조류 영양염지수(TDI : Trophic Diatom Index, Kelly and Whitton, 1995)는 Kelly et al, (1995)이 제시한 민감도와 지표값을 국내 실정에 맞게 수정한 값을 이용하였다(MOE/NIER, 2009).

2) 저서성 대형무척추동물-한국오수생물지수(KSI : Korean Saprobic Index)

하천 생태계의 주요 구성원이며, 어류의 주요 먹이원인 저서성 대형무척추동물은 서식처의 교란에 매우 민감하게 반응하기 때문에 종수와 개체수의 분포 등 군집구조의 차이가 뚜렷하여 중요한 생물학적 지표로 이용된다(Allan, 1995). 본 연구에서는 저서성대형무척추동물을 평가하기 위하여 한국오수생물지수(KSI : Korean Saprobic Index) 평가결과를 이용하였다(MOE/NIER, 2009).

3) 어류생물지수(IBM : Index of Biotic Integrity, Fish)

어류는 수생태계 내 장기간의 환경적 영향을 반영하는 생물지표로, 본 연구에서 이용된 어류 조사 평가결과는 어류생물지수(IBM : Index of Biotic Integrity, Fish)를 이용하였으며 이는 국내종의 총 종수(M1), 여울성 저서종수(M2), 민감종수(M3), 내성종수(M4), 잡식종(Omnivores) 개체수(M5), 충식종(Insectivores) 개체수(M6), 채집된 국내종 개체수(M7), 비정상종(Anormalities) 개체수(M8) 비율 등 8개 평가 매트릭 모델을 이용하여 모델 값을 산정한 결과이다(MOE/NIER, 2009).

4. 하천 주변 토지이용 분석

기존의 많은 연구들이 유역에서의 토지이용유형과 주변 하천 및 호소의 수질과 밀접한 관계가

있는 것으로 보고하고 있다(Lenat and Crawford, 1994). 본 연구에서 하천주변의 토지이용의 특성을 분석하기 위한 자료는 “2007년 전국 토지피복도(LULC : Land Use/Land Cover), MOE”자료를 기초로(ArcView GIS 활용), MOE “National Aquatic Ecological Monitoring Program(NAEMP), 2009”의 낙동강수계 지점(130개 지점)을 기준으로 하였다. 낙동강 수계의 하천 조사지점을 중심으로 하천주변의 1km 버퍼 내 토지이용면적 비율을 이용하여 군집 별 토지이용의 특성을 도출하였다. 하천주변 1km 버퍼를 이용한 것은 하천으로부터 이격될수록 토지이용자체의 영향보다는 표면 유출 시 토지 표면의 수리수문학적 혹은 생화학적 영향을 받을 가능성이 커지기 때문이다(박창석 et al, 2009). 환경부 토지피복분류는 7개 토지이용으로 대분류되어 있으나 본 연구에서는 요인별 상관분석 결과와 토지이용항목 중 가장 유의하다고 판단된 세 개 항목인 시가지화 건조지역(urban), 농업지역(agricultural), 산림지역(forest)의 분포면적을 기초로 하였고, 초지(grass), 습지(wetland), 나지(bare ground)와 수역(water area)의 경우 큰 점유율을 보이지 않아 영향력이 미비할 것으로 판단되어 본 연구의 토지이용 대상 항목에선 제외하였다. 일반적으로 산림지역의 경우 오염원이 적은 편이나, 도시 및 농경지역에서 발생하는 오염물질은 주요 지류로 합류되어 하천의 수질에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

국의 사례로 Arienzo et al(2001)은 이태리의 Sarno 강 유역의 도시화와 산업지역의 성장에 따라 수질 오염도 증가를 통해 도시화와 수질의 상관관계를 연구하였다. Ren et al(2003)은 농업 지역과 인접 강 수질 특성 사이에 강한 부정적인 상관관계를 보고, 농업 지역의 화학비료에 따른 수질저하의 원인을 밝힌 바 있다. 특히 도시화의 지표인 불투수층 지역은 하천 생태계에 부정적인 영향을 끼친다. 따라서 강에 인접한 유역내의 적절한 토지 이용의 관리를 통해 수질 개선 노력이 필요하다.

III. 결과 및 고찰

1. 환경요인과 토지이용 기초통계량

본 연구에서 이용한 변수들 간의 상관관계를 알아보기 위하여 상관관계분석(correlation analysis)을 실시하였다. Pearson 상관계수는 일반적으로 $-1.0 \leq r \leq 1.0$ 의 값을 가지며, 유의수준은 $p < 0.05$ 를 기준으로 하였다. 본 연구의 최종 분석대상 자료의 통계특성을 파악하기 위한 요인별 기술통계량 결과는 다음과 같다(Table 1). 부착조류 영양염지수(TDI), 저서성 대형무척추동물 한국 오수생물지수(KSI), 어류생물지수(IBM)의 평균값은 각 44.44, 65.64, 48.06으로 보통인 편이나 일부 지점들에서는 매우 불량한 수준으로 나타난다. 수질 항목 평균 측정치는 BOD의 평균농도는 1.21mg/L로 I b등급(좋음) 수준이며, T-P는 0.06mg/L로 II

(약간 좋음)등급으로 나타나 낙동강 유역의 수질은 대체적으로 양호한 수준이라고 할 수 있다. Table 2는 각 조사지점 하천으로부터 1km 버퍼 내 토지이용 패턴에 따른 기술통계량과 항목별 면적에 따른 비율을 나타낸 표이다. 도시지역, 농업지역, 산림지역의 평균값은 각 13.38, 36.26, 32.54로 다른 기타 토지이용 항목들에 비해 높은 값을 나타낸다. 또한 하천 조사지점 주변 토지이용의 면적비율 분석결과 도시지역은 13.5%로 나타났으며 농경지역과 산림지역이 각각 36.5%, 32.8%로 비교적 높아 전형적인 농촌유역의 형태로 나타났다.

2. 환경요인과 토지이용 상관분석

환경요인을 대표하는 총 6개 변수를 사용하여 상관분석을 실시한 결과는 Table 3과 같다. 상관

Table 1. Descriptive statistics of environmental variables.

Environmental Variables		Min.	Max.	Mean	SD
Biological indicators	TDI	4.13	78.81	44.44	20.53
	KSI	9.10	93.77	65.64	20.14
	IBI	20.00	90.00	48.06	15.14
physiochemical indicators	BOD(mg/L)	0.20	7.40	1.21	1.13
	T-N(mg/L)	0.69	6.91	2.50	1.15
	T-P(mg/L)	0.00	0.53	0.06	0.09

SD : Standard deviation, n=130

TDI : Trophic Diatom Index,

KSI : Korean Saprobic Index,

IBI : Index of Biotic Integrity,

BOD : Biochemical oxygen demand,

T-N : Total nitrogen,

T-P : Total Phosphorus.

Table 2. Descriptive statistics and Area of land use pattern.

Categories	Min.	Max.	Mean	SD	Area(km ²)	Rate(%)
Urban	0.00	75.04	13.38	15.39	1,739.9	13.5
Agriculture	0.00	81.13	36.26	17.34	4,714.1	36.5
Forest	0.00	81.06	32.54	22.09	4,230.6	32.8
Grass	0.00	19.19	1.87	2.91	242.6	1.9
Wetland	0.00	15.54	3.13	2.99	406.3	3.1
Barren	0.00	23.05	4.77	4.50	619.5	4.8
water area	0.00	32.24	7.29	6.68	947.1	7.3

n=130.

분석 결과 생물학적 대표요인인 TDI, KSI, IBI와 이화학적 대표인자인 BOD, T-N, T-P는 대체로 높은 유의관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 특히 BOD와 T-N, T-P는 0.557, 0.636으로 높은 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 생물학적 대표요인은 모두 이화학적 항목과 음의 상관관계를 보이는 것을 알 수 있는데 이는 수질항목이 좋아 질수록 수생태계 건강성이 양호할 확률이 높다는 것으로 분석된다. 특히 TDI와 수질항목간의 상관관계는 -0.410, -0.494, -0.471로 비교적 높게 나타났으며(Table 3), 토지이용과 수질 항목간의 상관성은 매우 유의한 관계를 갖는 것으로 분석되었다(Table 4). 도시와 농업지역은 수질항목과 양의 상관성을 갖는 것으로 평가되었으며, 수질과 양의 상관관계를 갖는다는 것은 수질악화의 요인으로 작용한다는 의미로 해석가능하며, 음의 상관관계를 갖는다는 것은 수질개선의 요인으로

작용함을 의미한다고 할 수 있다. 특히 산림지역과 수질이 음의 상관성($p<0.01$)을 보여 상대적으로 산림은 생물과 수질에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 대부분의 다른 연구결과와 유사한 경향을 나타내는 것으로 평가된다(Lenat and Crawford, 1994; Fisher et al, 2000).

3. 유형별 수생태계 특성

유형별 수생태계 특성을 살펴보면(Figure 2) 유형 A는 가장 많은 지점들을 포함하고 T-P와 T-N의 농도가 2.05, 0.03으로 낮은 수준이며, 특히 BOD($r=0.77$)의 수치는 매우 낮게 나타나 수질상태가 우수한 경향을 보인다. 하천의 규모는 평균적으로 3~4 차수가 대부분이며 수질이 양호하고 생물학적 평가 결과 또한 TDI($r=61.46$), KSI($r=75.08$), IBI($r=55.22$)로 높은 수치를 나타

Table 3. Correlation analysis of environmental variables.

Categories	Biological indicators			physiochemical indicators		
	TDI	KSI	IBI	BOD	T-N	T-P
TDI	1	0.431**	0.478**	-0.410**	-0.494**	-0.471**
KSI		1	0.273**	-0.365**	-0.229**	-0.414**
IBI			1	-0.355**	-0.281**	-0.322**
BOD				1	0.557**	0.636**
T-N					1	0.603**
T-P						1

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, n=130.

Table 4. Correlation analysis between environmental variables and land-use pattern.

Categories		Land use pattern		
		Urban	Agriculture	Forest
Biological Indicators	TDI	-0.165	-0.015	0.203*
	KSI	-0.208*	-0.039	0.276**
	IBI	-0.027	-0.212*	0.405**
Physiochemical indicators	BOD	0.259**	0.024	-0.304**
	T-N	0.246**	-0.018	-0.236**
	T-P	0.296**	-0.133	-0.236**

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, n=130.

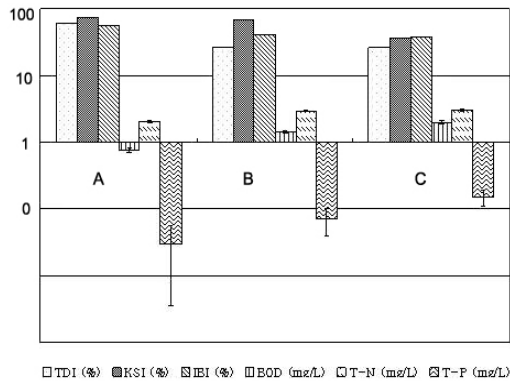


Figure 2. Cluster analysis of Biological and Physiochemical indicators.

내 전반적으로 생물이 살기에 적합한 ‘우수’ 서식처로 구성되어 있다고 판단되며, 특히 낙동강 중권역을 대표하거나 대조하천의 후보지로 적합한 지점들을 다수 포함하고 있다. 유형 B는 우리나라의 평균적인 하천이라고 할 수 있다. 평균적으로 3~5차수가 대부분이며, 지방2급부터 국가하천까지 다양한 등급의 하천들과 대도시부터 소도시까지 다양한 형태의 특성을 포함하고 있으며 수생태계의 건강은 ‘보통’ 수준으로 나타난다. 마지막으로 유형 C는 BOD, T-N, T-P 값이 각각 2.01, 3.05, 0.15로 다른 유형에 비해 높은 수치를 보여 ‘불량’을 나타내는 유형이다. 수질은 BOD 2.01mg/L로 ‘약간 좋음’ 상태이지만 생물학적 평가결과는 TDI($r=26.29$), KSI($r=36.02$), IBI($r=38.15$)로 가장 낮은 등급을 나타내어 이는 도시와 농업 지역의 영향을 많이 받아 생물들이 살기에 적합하지 않은 서식처로 판단할 수 있으며 주로 낙동강 본류에 위치하며 국가하천등급의 규모가 큰 하천들이 포함되어 있어 대부분의 지점들이 부산과 대구광역시, 경상북도 등 주로 대도시 주위에 위치해 있다. 특히 낙동고령, 낙동밀양, 낙동강남해, 낙동강하구언 등을 포함하고, 보 설치구간이 다수 포함되어 있다는 특징을 갖는다.

4. 유형별 토지이용 특성

본 연구 결과 하천의 생물학적, 이화학적 특성

은 토지이용과 밀접한 관계가 있으며 유역내의 효과적인 토지이용 관리는 하천의 생태학적 건강성을 위해 반드시 필요함을 알 수 있다. 동일한 생물·이화학적 특성으로 분류된 유형은 크게 산림, 농경지 및 도시지역 등 크게 세 가지 토지이용도에 따라 두드러진 차이가 나타났으며 이러한 토지이용을 이용한 분류특성과 유사한 국내 연구사례들을 찾을 수 있다(박석순 et al, 1994; 오정학 et al, 2005; 오영주 et al, 2006).

세 유형의 토지이용패턴 특성을 살펴보기 위한 평균비교 분석 결과(Table 5)와 각 유형의 지역적 분포는 Figure 3과 같다. 유형 A는 산림면적율이 다른 유형에 비해 상대적으로 높은 특성을 보이고 있어 ‘자연지역 하천’으로 명명하였다. 유형별 평균 산림면적이 37.34%로 가장 높을 뿐만 아니라, 경상북도 울진군(N111), 의성군(N031), 영덕군(N112), 예천군(N018)에 포함되는 일부 지점들의 경우 하천 주변의 70% 이상이 산림으로 구성되어 있어 매우 양호한 상태를 나타낸다. 유형 A는 평탄지의 면적이 적어 인간의 간섭으로 인한 생태계 교란이 많지 않으며 산림의 수원함량, 야생동식물의 서식지 제공 등을 통해 생태계의 건전성은 양호한 상태라고 할 수 있다. 또한 다른 유형에 비해 상대적으로 폭이 좁고 지방 2급 수준의 소·중규모의 하천을 다수 포함하고 있으며 상대적으로 유역의 평균경사와 고도가 높아 주로 안동댐, 임하댐, 한천댐, 남강댐 등의 상류지점에 주로 분포하고 있으며 지형이 급경사인 경우가 많아 하류 하천보다 토지이용 변화에 민감하게 반응한다. 특히 경사지에 위치한 농경지는 토양유실의 위험성으로 인해 식량생산의 어려움이 있을 뿐만 아니라, 농약, 비료, 제초제 등의 화학물질이 토사와 함께 하천으로 유입될 가능성이 높다. 유형 A의 경우 산림면적율이 낮고 농업적 토지피복과 도시적 피복율이 상대적으로 높은 경상북도 봉화군(N002), 상주시(N022), 경상남도 의령군(N067), 울산광역시 경주시(N101) 등의 지점들도 다수 포함하고 있다. 하지만 이러한 지점

Table 5. Statistical characteristics in each cluster.

Categories		Cluster			F	P-value
		A (n=67)	B (n=36)	C (n=27)		
Biological indicators (%)	TDI	61.46	26.39	26.29	177.55	0.00
	KSI	75.08	70.31	36.02	88.25	0.00
	IBI	55.22	42.15	38.15	20.99	0.00
physiochemical indicators (%)	BOD	0.77	1.42	2.01	15.31	0.00
	T-N	2.05	2.93	3.05	12.82	0.00
	T-P	0.03	0.07	0.15	23.77	0.00
Land use pattern (average)	Urban	11.34	13.46	18.37	2.04	0.13
	Agriculture	35.98	36.94	36.05	0.047	0.96
	Forest	37.34	32.68	20.46	6.05	0.00
		Good	Fair	Poor		

*p<0.05, **p<0.01, n=130.

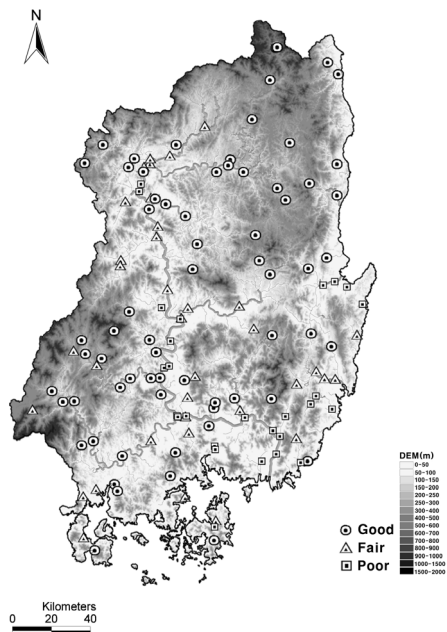


Figure 3. Regional distribution of type.

들의 경우 C 유형인 도시지역하천에 비하면 녹지공간을 확보하는데 있어 상대적으로 양호한 상태이며 보다 효율적인 녹지공간을 확보하기 위해서는 향후 발생할 수 있는 휴경농지에 대한 생태적 복원과 함께 유역을 기반으로 한 생태적 건전

성에 많은 영향을 미치는 수변구역을 조성하는 노력이 필요하다.

유형 B는 다양한 토지이용패턴을 두루 갖추고 있는 유형이지만 그 중 전반적으로 농업지역과 도시지역의 성격이 상대적으로 높게 나타나 ‘중도시지역 하천’로 명명하였다. 분포 특성을 살펴보면 낙동강 본류와 지류 중심으로 분포해 있으며, 상류지역부터 하류지역까지 골고루 분포하고 있는 우리나라 일반적인 하천의 특징지임을 알 수 있으며, 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. 평균 농업의 면적율을 비교해 본 결과 경상북도 문경시(N013), 경상남도 창원군(N080, N064), 경산시(N046)등에서 50%가 넘는 면적이 농업지역으로 나타났다. 농업지역은 상대적으로 강우나 바람 등에 지표면이 노출되는 경작지의 면적율이 높기 때문에 산림지역이나 도시지역보다 토양침식의 위험도가 높다고 할 수 있다. 또한 논, 밭, 과수원 등과 같은 농경지를 비롯하여 가축사육 등의 농업활동이 활발한 지역으로

토양침식과 시비, 제초제 등과 같은 농업용 화학 물질의 과도한 사용과 축산폐수 등이 주된 오염 원으로 작용하게 되어 하천으로의 오염물 유입에 있어 관리가 필요하다.

수질과 생물학적 특성이 불량한 상태인 유형 C는 주로 부산, 울산, 대구광역시 등 대도시를 중심으로 집중 분포하고 있으며 낙동강 본류에 인접하고 있는 지점이 많았다. 토지이용의 면적점 유율의 도시지역 평균은 18.37%로 다른 항목에 비해 상대적으로 높은 비율을 나타내어 유형 C는 '도시지역 하천'으로 분류 가능하다. 특히 국가하천인 낙동강이 지나는 대구광역시 달성군(N052)과 지방2급 하천인 형산강을 포함하는 경상북도 경주시(N095)의 경우 하천주변 토지이용의 35% 이상이 도시지역으로 구성되어 있다. 주거, 상업, 공업, 교통지역 등과 같은 지역을 포함하고 있는 도시지역의 경우 유역내의 평균경사도 및 평균고도의 값이 낮아 주로 평탄지를 이루고 있어 자연임지적인 측면에서 개발의 경제적인 이용성은 높게 판단된다. 하지만 도시지역 하천의 경우 불투수성 포장재로 인한 불투수강도가 높아 강우 시 발생되는 비점오염원의 원인이 될 수 있으므로 하천 수질 및 수생태계에 미치는 영향을 고려한 대책이 필요하며, 도시계획 단계에서부터 산림의 피해를 최소화할 수 있는 방안이 필요하다. 특히 유형 C의 경우 수질을 대표하는 BOD, T-N, T-P의 값이 높게 나타나는데 이는 하천 주변이 농업을 기반으로 하는 농촌지역의 영향으로 볼 수 있다. 따라서 상류지역의 축산폐수와 농약 배수 및 가정하수의 대책이 필요하다. 낙동강 하류 수계 중 본류는 지류에 비해 생물학적 특성이 모두 낮은 상태로 조사되었는데 이는 낙동강은 부산을 비롯한 경남, 경북 지역 주민들의 상수원 수 및 농업·공업용수로 사용되고 있고 특히 중·상류부에 대도시와 산업단지가 집중된 경향이 보여 하·폐수의 유입량이 증가하고 이에 따른 많은 오염물질이 하천으로 유입되기 때문이라 판단되어 대규모 도시지역의 경우 지속적인 관리

가 요구되는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 하천 생태계를 구성하는 다양한 요소들의 관계를 규명하기 위한 다각적인 접근을 시도하였다. 대상하천의 입지, 지형, 생태적 특성을 고루 반영한 분류는 건강한 하천으로의 복원을 위한 기초 자료로 의미가 있다고 판단되며, 생태하천복원을 위한 방향 설정과 하천의 효율적인 관리시 이용 가능하다. 본 연구에서는 다양한 경관요소가 혼재하고 있는 낙동강 유역의 130개 지점을 대상으로 하천의 생태계 건강성의 예측 및 평가가 가능하다고 사료되는 생물적 요인과 이화학적 요인을 이용하여 군집분석을 실시한 결과 크게 3가지 유형으로 분류되었다. 분류된 유형의 특성은 생물과 수질이 가장 양호하다고 판단된 A 유형은 산림면적율이 가장 높아 자연지역 하천으로 분류되었으며, B 유형은 도시와 농업지역이 혼합된 지역으로 준 도시지역 하천, 하천의 수질과 생물의 건강성이 훼손된 C 유형은 도시지역의 면적율이 가장 높아 도시지역 하천으로 명명하고 유형별 공간단위 특성을 분석하였다. 연구 분석 결과 하천을 구성하는 생물, 수질, 하천 주변의 토지이용 등 다양한 요인들의 상관분석 결과 수질은 생물학적 특성과 높은 상관관계를 나타내며, 주변 토지이용의 영향을 받는다. 이는 하천을 평가 할 때 수질이나 유역의 토지이용뿐만 아니라 다양한 서식처의 지형적 요인 및 하천 내 생물학적 요인들을 함께 분석해야 할 필요성이 있다는 것을 의미한다. 향후 하천 생태계의 기능성 요인과 물리적 요인, 즉 구조적인 측면에 있어서 좀 더 통합적이고 객관적인 평가결과를 이용한 지표선정 추가와 본 연구에서 유형의 분류가 세 등급으로 단순한 점을 보완하여 국내에 적용 가능한 다양하고 정교한 분류 방법의 연구 및 하천 특성별 복원 방안에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

인용문헌

- 건설기술연구원. 2005. 다기능하천실험사업.
- 박석순·박배경·이상호. 1994. 한강유역의 토지 이용도에 따른 지천 수질 비교. 한국수질보전학회지 10(1) : 10-16.
- 박창석·배민기·오충현·이상호·김명철. 2009. 하천과의 거리 및 수변구역 지정에 따른 경관특성 비교. 한국조경학회 추계학술대회 논문집, 71-75.
- 오영주·강병화·김정우·김성필·한민수·김진호·나영은. 2006. 토지이용패턴에 따른 하천수질과 식생분포. 한국환경농학회지 25(1) : 34-39.
- 오정학·정성관·박경훈. 2005. 토지이용패턴을 중심으로 한 낙동강 유역의 경관생태학적 유형 분류, 한국지리정보학회 춘계GIS워크숍 및 학술대회 논문집, 121-132.
- 이혜림. 2010. K-평균법의 군집개수 선택기준에 관한 비교 연구 : 한반도 바람지역 군집분석에의 응용.
- Allan, J.D. 1995. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Chapman and Hall, London.
- Boyer, J.N., J.W. Fourqurean, and R.D. Jones, 1997. Spatial Characterization of Water Quality in Florida Bay and Whitewater y Multivariate Analyses : Zones of Similar Influence, Estuaries, 20(4), 743-758.
- Paul L. Angermeier and James R. Karr. 1994. Biological Integrity Versus Biological Diversity as Policy Directives, BioScience, 44(10).
- Arienzo, M., Adamo, P., Bianco, M. R. and Violante, P. 2001. Impact of land use and urban runoff on the contamination of the Sarno river basin in southwestern Italy. Water Air Soil Pollut. 131 : 349-366.
- Davis, W. S. 1995. Biological Assessment And Criteria : Building on the Past. In : W. S. Davis and T. P. Simon (Eds.) Biological Assessment and Criteria : Tools for Water Resource Planning and Decision Making, Lewis, Boca Raton, pp. 81-96.
- Dunne, T. and Lepold, L. B. 1978. Water in environmental planning. W. H. Freeman and Company.
- Eagleson, P.S. 1970. Dynamic Hydrology, McGraw-Hill.
- EPA. 1974. Lake Restoration. Minneapolis : US Environmental Protection Agency.
- Fisher, D.S., J.L. Steiner, D.M. Endale, J.A. Stuedemann, H.H. Schomberg, A.J. Franzuebbers and S.F. Wilkinson. 2000. The relationship of land use practices to surface water quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia. Forest Ecol. Manage. 128 : 39-48.
- Forman, R.T.T. 1995. Land Mosaics : The Ecology of Landscapes and Regions, Cambridge University Press. pp. 652.
- Richard J. Hobbs, David A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology Vol. 4, No. 2, pp. 93-110.
- Holl K.D., Crone E.E. and Schultz C.B. 2003. Landscape restoration : moving from generalities to methodologies. BioScience, 53, 491-502.
- Karr J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries, 6. pp. 21-27.
- Kelly M.G. and B.A., Whitton. 1995. The Trophic Diatom Index : a new index for monitoring eutrophication in rivers. Journal of applied phycology. 7/4 : 433-444.
- Lenat, D. R. and J. K. Crawford. 1994. Effects of land use on water quality and aquatic

- biota of three North Carolina piedmont streams. *Hydrobiologia*. 294(3) : 185-200.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. and Miller, J. P. 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman, San Francisco, CA, p.522.
- MOE/NIER. 2009. Final report of survey and evaluation of aquatic ecosystem health in Korea. The ministry of Environment/National Institute on Environmental Research, Korea.
- Naiman, R.J. 1998. Biotic Stream Classification. In R.J. Naiman and R.E. Bilby (eds.), *River Ecology and Management* : 97-119, Springer-Verlag, New York.
- Ren, W., Zhong, Y., Meligrana, J., Anderson, B., Watt, W. E., Chen, J. and Leung, H. 2003. Urbanization, land use, and water quality in Shanghai : 1947-1996. *Environ. Int.*, 29 : 649-659.
- Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J.J. et al. 2000. Biodiversity - global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Sponseller, R.A., E.F. Benfield and H.M. Valett. 2001. Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities. *Freshwater Biology* 46 : 1409-1424.
- Tong, S. T. Y. and W. Chen. 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management* 66(4) : 377-393.
- UNESCO. 2004. *Integrated watershed management - Ecohydrology and phytotechnology*.
- 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.