

연구논문

낙동강 중·하류 지역의 수변 특성에 관한 연구*

강대석 · 성기준 · 여운상** · 정용현 · 이석모

부경대학교 생태공학과, 부산발전연구원***

(2008년 3월 4일 접수, 2008년 6월 18일 승인)

Riparian Area Characteristics of the Middle and Lower Reaches of the Nakdong River, Korea*

Dae-Seok Kang · Ki-June Sung · Un-Sang Yeo** · Yong-Hyun Chung · Suk-Mo Lee

Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 609-737, Korea

Busan Development Institute, Busan 614-052, Korea**

(Manuscript received 4 March 2008; accepted 18 June 2008)

Abstract

As a transition zone between terrestrial and aquatic ecosystems, riparian areas of rivers and streams play significant roles in production and decomposition for river and stream systems. Understanding of the physical and ecological characteristics of riparian areas are, therefore, important for the management of river and stream systems. It is especially important to understand the characteristics of riparian areas for the Nakdong River in Korea which has a large watershed area and diverse land uses. This study aimed at collecting field data, according to stream types, which are essential for the management of riparian areas of the middle and lower reaches of the Nakdong River, Korea. Most riparian areas surveyed in this study had roads within 100 meters from river edges. Distances from water edge to banks were less than 1m for most riparian areas neighboring agricultural lands, indicating that those areas might be very vulnerable to pollutant inputs from non-point sources. Water quality data indicated that soil erosion in the riparian areas could be a major source of phosphorus input to the Nakdong River and land use patterns might have a significant influence on nitrogen concentration in the river. Heavy metal concentrations in soils of the riparian areas of the river were below soil quality standards, except arsenic and chromium. Vegetation surveys showed that therophytes were the most frequently occurred riparian plants in the Nakdong River. Number of aquatic plant species increased downstream, with the most diverse aquatic plants observed in wetlands

* 본 연구는 2006년도 낙동강수계관리위원회 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 시행한 환경기초조사 사업과 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 연구지원에 의하여 수행되었습니다.

Corresponding Author: Kijune Sung, Department of Ecological Engineering, Pukyong National University Tel: 051-629-6544

Fax: 051-629-6538 Email: ksung@pknu.ac.kr,

and irrigation canals of the West Nakdong River. Occurrence rate of naturalized plants and urbanization index were high in the survey sites adjacent to urban and agricultural areas.

Key words : River management, Riparian areas, Wetland, Vegetation strip, Non-point pollution, Nakdong River

1. 서 론

수변지역이란 육상생태계와 수생태계의 전이지대로서, 생물상과 생태학적 기작 및 물리화학적인 구배를 갖고 있는 지역이다. 수문학적으로는 지표수나 지하수 등으로 육상생태계와 연결되어 있으며, 수생태계와 에너지 및 물질 교환에 영향을 주는 중요한 육상생태계의 일부를 포함하고 있다(NRC, 2002). 이러한 수변지역은 하천생태계의 중요한 생산지역이자 분해지역이며, 육상생태계와 수생태계를 오가는 다양한 생물의 서식처로서 중요한 기능을 담당한다. 우리나라 하천법에서는 이러한 수변구역을 하천 경계로부터 400m까지의 인접구역과 500m까지의 연안구역으로 구분하고 있으며, 1998년 하천의 수질을 보호하기 위해 도입한 수변구역 제도는 하천과 호소의 경계로부터 500m에서 1km까지의 지역을 수변구역으로 정의하고 있다.

일반적으로 수변지역의 경관 구조는 주변의 토지이용에 따라 발생하는 오염물질의 유입을 막을 수 있는 선형구조로, 일정거리 이상의 폭과 적합한 수종으로 구성된 수변녹지의 경우 하천의 회랑을 따라 오염물질 유입을 차단할 수 있는 효과적인 수질보전 기능을 갖게 된다. 수변녹지는 강우시에 발생하는 유출수의 양을 줄이고 제방이나 수로의 침식을 방지하며 퇴적물의 유입을 감소시켜 주변 지역에서 하천으로 들어오는 오염물질의 양을 줄인다. 도시지역의 경우 비점오염원에서 발생하는 고히물과 같은 침전물질, 질산염이나 인산염 같은 영양물질과 유기오염물질 등의 제어와 중금속 및 휘발성 유기오염물질에 대한 여과에 특히 효과가 있는 것으로 알려졌다(NRC, 2002). 따라서 수변지역을 녹지로 관리할 경우 인접한 오염지역에서 하천으로 유입하는 영양물질, 퇴적물, 오염물질의 양을 줄이는 여과지로 기능하게 된다.

그러나 본 연구의 대상지역인 낙동강 중·하류의 수변지역은 이러한 수질보전기능이 고려되지 못한 채 농업용지나 주거지, 도로건설과 도시개발 및 친수활동과 같은 인위적 간섭으로 인하여 훼손되어 왔다. 또한 하천의 직강화와 침식방지를 위한 수변의 콘크리트화와 같은 불투수층의 증가는 지류의 생태적 기능을 감소시켰으며, 건강한 수변녹지를 형성하고 있는 지역을 찾아보기 어렵게 되었다. 특히 낙동강 하류의 본류지역은 부산광역시의 주요 취수원으로 사용되고 있어 특별한 관리가 필요한데도 수변구역의 지정 등 체계적인 관리가 이루어지고 있지 못하고 있다. 하천의 관리에 매우 유용하게 활용할 수 있는 수변이 오히려 훼손과 개발의 위협에 지속적으로 노출되고 있는 것이다.

하천의 수변지역 관리에 관한 연구로는 크게 하천의 자연 정화능 평가에 관한 연구(이경보 외, 2003)와 수질개선을 위한 수변녹지 조성·관리 및 정책개선방안에 관한 연구(최지용·이지현, 2000, 2001; 최지용·정유진 2004) 등이 있다. 그러나 이러한 연구들은 주로 상수원수를 보호하기 위한 수변구역 내 수변식생대의 기능 정립과 조성 방안에 관한 연구로 낙동강 수계의 수변지역에 곧바로 적용하기에는 적합하지 않은 측면이 있다. 왜냐하면 하천식생은 하천의 수리, 수문, 수질 및 주변 토지이용에 민감하게 반응하고, 하천 주변의 토지이용 및 수변의 식생분포 또한 하천생태계의 수문 및 수질에 큰 영향을 준다고 알려져 있어(Aubumozni *et al.*, 2005; Lowerence *et al.*, 1984; Schnabel *et al.*, 1996), 하천별로 특성이 다양한 수변이 존재할 수 있기 때문이다. 따라서 수변관리의 출발점은 관리에 필요한 기초 자료를 확보할 수 있도록 관리하고자 하는 하천의 수변특성을 파악하는 것이다. 특히 유역면적이 넓고 다양한 유형의 토지이용이

이루어지고 있으며 이미 많은 수변지역이 훼손된 낙동강 중·하류 지역의 경우 수변지역의 수질정화 기능과 생태적 기능을 회복하는데 활용할 수 있도록 수변지역의 특성을 조사하는 것은 효과적인 하천관리를 위하여 매우 필요한 일이라 할 수 있다. 본 연구에서는 낙동강 중·하류 지역의 수변관리를 위한 기초자료를 확보하기 위하여 이 지역의 수변 실태를 하천 유형별로 조사하였다. 분류와 지류 및 주변 습지 등 총 8개 지역을 대상으로 각 조사지역의 물리적 특성, 수질 및 토양특성과 식생특성을 2006년 6월부터 9월 까지 수생식물이 생존하는 시기에 조사하였다.

II. 실험방법

1. 하천의 물리적 특성

본 연구에서는 낙동강 본류 2개 지역(적포교 양안, 매리-물금-양산천 합류부의 양안), 낙동강으로 유입하는 지천 3개 지역(회천, 양산천의 양산교 양안 및 남부공원), 서낙동강 1개 지역(대동수문-수안-신안), 낙동강 주변 습지 2개 지역(서낙동강 주변 습지, 서낙동강과 둔치도 사이 묵논) 등 총 8개 지역의 하천 특성을 조사하였다(Figure 1). 조사 하

천의 방위, 경사도, 물막이보 유무, 제방 특성, 수변 토양의 수분조건, 하천의 도시 통과유무, 하천과 산업/상업시설 인접유무, 주변토지이용 형태, 수변에서 제방까지의 거리, 하천 접근성 등 본 연구에서는 인간에 의한 교란 여부와 관련된 특성을 현장에서 조사하였다.

2. 수변토양 특성

하천의 수변토양 특성을 파악하기 위하여 낙동강 중·하류 지역의 본류와 지류의 6개 지점에서 토양 pH, 양이온교환능력(CEC), 염농도, 유기물농도, 총질소(TN), 총인(TP), 토성, Pb, Zn, Cu, Cr, As, Cd 등 총 13개 항목을 조사하였다. 낙동강 본류지역은 적포교 주변의 수변지역 중 토양 특성이 다른 농경지, 범람지역, 비범람지역 등 세 지점, 낙동강 지류의 경우 조사 지점 중에서 비교적 상류에 해당하는 회천과 도시하천인 양산천의 양산교 및 남부공원 수변 등 세 지점에 대하여 토양 특성을 조사하였다. 이들 조사지점 가운데 수변지역의 대부분이 농경지로 사용되고 있는 본류의 적포교 지역과 도시를 관통하고 있는 양산천의 양산교 및 남부공원 지역은 토지이용 형태에 따른 수변토양의 특성 변화, 적포교의 범람 및 비범람지역은 강우에 의한 수



Figure 1. Location map of survey sites in the middle and lower reaches of the Nakdong River, Korea in 2006

변토양의 특성 변화를 파악하는데 활용하였다.

조사항목 가운데 토양의 pH는 풍건토양과 증류수를 1:5 비율로 혼합하여 1시간 놓아둔 뒤 pH meter를 이용하여 측정하였다. 또한 토양입도 분석은 비중법을 이용하였으며, 강열감량, CEC, 영양염류, TN, TP는 토양화학분석법(농업기술연구소, 1988)을 이용하여 분석하였다. 중금속인 Cd, Cr, Cu, Zn, Pb는 풍건시킨 토양을 일정량 취하여 코니칼 비이커에 담아 질산과 과염소산으로 산분해한 다음 원자흡광광도계(PerkinElmer, AA Analyst 300)로 분석하였으며, As는 비소분석기(PerkinElmer, FIMS 400)로 분석하였다.

3. 수질특성

조사대상 하천의 수질 특성을 파악하기 위하여 수온, 염분농도, pH, 탁도, 용존산소, TN, TP, 총용존고형물질(TDS), 총부유물질(TSS), 화학적 산소요구량(COD), 생물학적 산소요구량(BOD), Pb, Zn, Cu, Cr, As, Cd 등 총 17개 항목을 분석하였다. 수온, 염분농도, pH, 탁도, 용존산소는 현장에서 YSI model 6600을 사용하여 측정하였고, 그 밖의 항목은 2L 용량의 폴리에틸렌병에 채수하여 실험실로 운반한 후 수질오염공정시험법으로 즉시 분석하였다. 이 중 Cd, Cr, Cu, Zn, Pb는 원자흡광광도계(Perkin Elmer, AA Analyst 300)로, As는 비소분석기(PerkinElmer, FIMS 400)로 분석하였다.

4. 식생특성

하천 유형별 식생특성은 도보로 접근이 어려운 낙동강 본류의 매리-물금-양산천 합류부 양안의 약 7km 지역과 서낙동강 약 8.2km 지역의 수변은 배를 이용하여 수변 및 수생식물을 조사하였으며, 그 외 지역은 상·하방 200m 이상의 지역을 도보로 이동하며 조사하였다. 습생 및 정수식물은 수변에서 둔치까지, 침수식물, 부유식물, 부엽식물과 같은 수생식물은 수체 내에서 조사하였다. 식물의 동정은 현지에서 하였으나, 현지 조사 당시 동정이 어려운 것은 수집하여 실험실에서 분류하였다. 종의

동정은 원색대한식물도감(이창복, 2003)과 한국원색식물도감(이영노, 2002) 및 귀화식물도감(박수현, 1996, 2001)을 이용하였으며, 식물의 생활형은 Raunkiaer의 생활형 기준으로 분류하였다(여천생태연구회, 1997). 조사된 식물은 귀화식물 유무와 생활형을 분류하였으며, 이를 바탕으로 귀화식물 유입률과 도시화지수 등 하천별 서식특성을 분석하였다.

III. 연구결과

1. 하천특성

본 연구에서 조사한 낙동강 중·하류 8개 하천 지역의 물리적 특성은 Table 1에 제시하였다. 회천의 경우 주변의 토지가 주로 임야 및 농경지이지만, 일부는 체육시설로 이용되는 등 사람의 접근성은 용이하였다. 양산천의 양산교 부근은 주변에 상업시설이 밀집한 상업도시형 하천으로, 양산천 남부공원의 경우 주거지와 공원이 인접한 주거도시형으로 특징지을 수 있다. 낙동강 본류의 적포교 좌안과 물금 지역은 대부분의 수변지역이 논과 밭으로 이용되고 있으며 사람의 접근이 용이하였다. 적포교 우안은 상업시설과 농경지가 혼재하고 있으나, 수변의 경사가 급하여 사람의 접근이 매우 어려웠다. 한편 낙동강 본류의 매리지역은 상업시설, 인근 공단 시설 등과 농경지가 혼재하며 사람의 접근성이 나쁘지 않은 것으로 나타났으며, 서낙동강의 대동수문에서 수안까지는 농경지에 주거지가 혼재한 농경지형으로 구분할 수 있다. 조사 하천 중에서 양산천만 양산시를 관통하는 도시통과형 하천이었다. 그 밖의 하천은 도시를 직접 통과하지는 않았지만 대부분의 수변 지역이 하안에서 100m 이내에 도로와 인접하였으며, 특히 주변의 토지가 대부분 농경지로 이용되었다. 이 중 낙동강 본류의 매리와 물금지역은 수변에서 제방까지의 거리가 1m 이내로 수변구조가 취약하여 비점오염물질의 유입에 그대로 노출되어 있는 것으로 나타났다(Table 1). 적포교 부근의 낙동강 본류 지역도 대부분의 수변 지역이 농경지와 인접하고 있어

Table 1. Characteristics of surveyed riparian areas of the middle and lower reaches of the Nakdong River in 2006

Location	Aspect	Bank gradient	small water dam	Soil moisture	Pass through urban area	Paved road within 100m	Industrial/commercial facilities	Land use	Distance from river to bank	Bank properties	Access ability
Hoicheon	W	32°	Y	Slight moist	N	N	N	Forest/farmland/park	80m	Artificial/Natural	H
Jeokpo Bridge (left side)	W	20°	N	Slight dry	N	N	N	Farmland	50-70m	Natural	H
Jeokpo Bridge (right side)	E	29°	N	Slight dry	N	Y	restaurant business/gas station	Farmland/restaurant	< 1m	Artificial	L
Mulgeum (Main stream)	W	10-45°	N	Slight moist	N	Y	N	Farmland	< 1m	Artificial/Natural	M
Maeri (Main stream)	E	28-40°	N	Slight moist	N	Y	gas station/factory/small shop	Farmland/restaurant	< 1m	Artificial/Natural	M
Yangsan Bridge (Yangsancheon)	E-W	35-40°	Y	Slight dry	Y	Y	gas station/small shop	Farmland	40m	Artificial	M
South Park (Yangsancheon)	E	25-30°	Y	Slight dry	Y	Y	N	Park/apartment	120m	Artificial	H
West Nakdong River	S-N	10-40°	N	extremely wet	Y	Y	N	Residential/restaurant	< 1m	Artificial/Natural	M

* Y= Yes, N= No, H=(High), M=(Medium), L=(Low)



(a)



(b)

Figure 2. Erosion of riparian banks in the middle and lower reaches of the Nakdong River in 2006 : (a) Jeokpo Bridge and (b) Mulgum-Yangsancheon

농업 활동에 따른 비점오염물질의 유입에 취약한 것으로 나타났다. Figure 2에 강우 이후 퇴적과 침식이 함께 일어난 낙동강 본류의 적포교 지역과 낙동강 본류와 인접하여 침식이 일어나고 있는 물금지역의 사진을 제시하였다.

2. 수변 토양특성

낙동강 중·하류 지역 본류와 지류의 수변토양 특성을 Figure 3에 나타내었다. 수변 토양의 pH는 5.6~6.8로 대부분의 수변지역이 중성 또는 약산성을 나타냈으며, 토양의 염농도 역시 0.5 ds/m이하로 수변식생의 성장에 영향을 미치지 않는 낮은 수

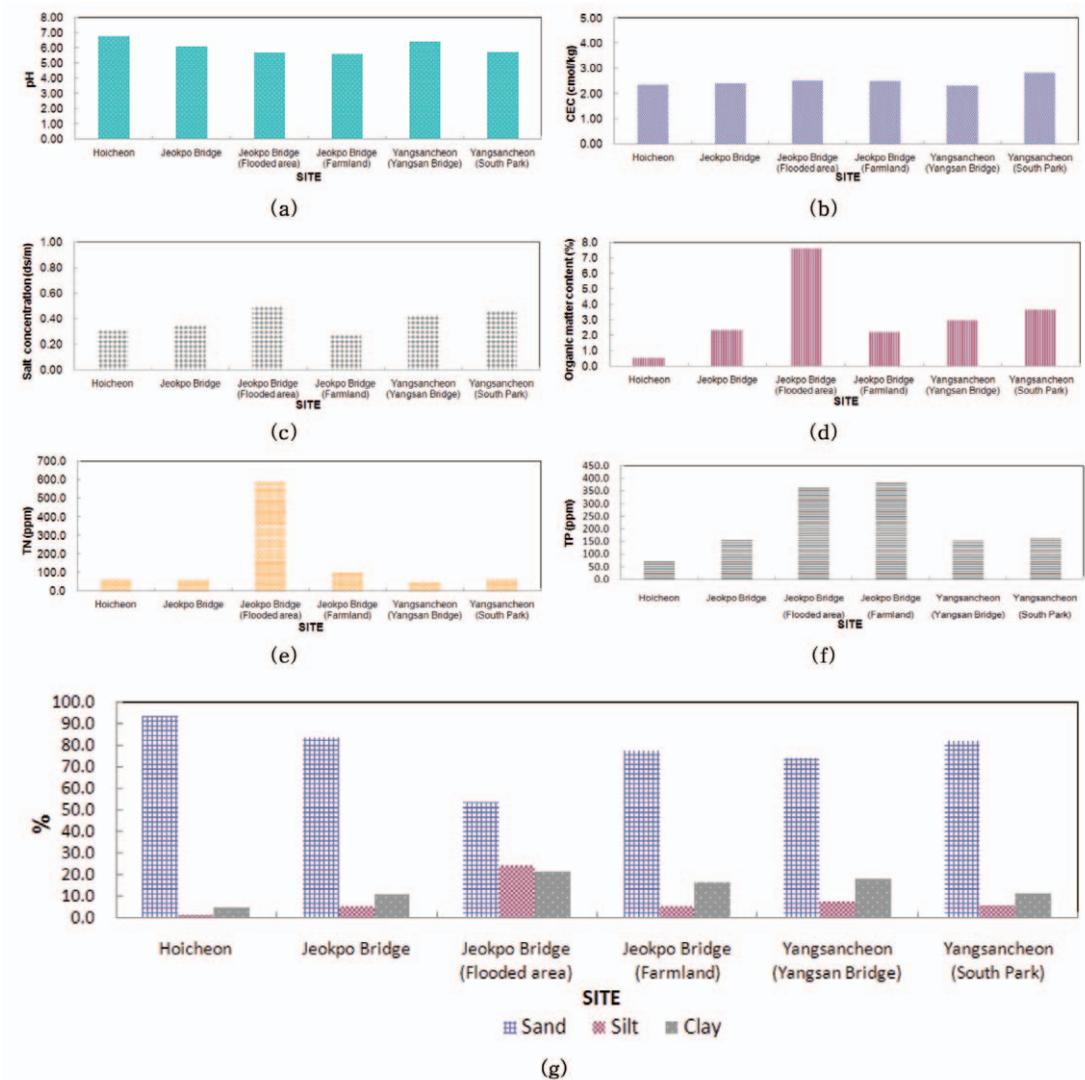


Figure 3. Physicochemical properties of soils in the riparian areas of the middle and lower reaches of the Nakdong River in 2006 : (a) pH, (b) CEC (Cation Exchange Capacity), (c) salt concentration, (d) organic matter content, (e) TN, (f) TP, and (g) soil texture

준이었다. 그러나 양이온 교환능력은 분류와 지류에서 모두 3 cmol/kg 이하로 낮게 나타되며, 강열감량으로 측정된 수변 토양의 유기물함량과 영양염류인 TN과 TP의 농도는 적포교의 범람지역에서 가장 높았으며, 적포교 인근 농경지역에서 두 번째로 높게 나타났다(Figure 3d,e,f). 이들 지역은 토사가 강우 시에 하천으로 바로 유입할 수 있는 곳으로 하천의 수변관리가 하천의 비점오염원 관리에 매우 중요한 요소임을 보여주고 있다.

토양의 유기물 함량은 적포교 범람지역을 제외하

고는 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보여주었으며, 토성의 경우도 회천에서 하류로 갈수록 전체 토양 중 모래의 비율이 감소하고 점토 성분이 증가하였다(Figure 3g). 특히 적포교 범람지역에서는 다른 수변지역보다 실트와 점토의 비율이 높았는데, 범람으로 유입한 실트와 점토가 퇴적된 것으로 보이며 강우 시에 하천으로 유입할 가능성이 높은 것으로 판단된다. 또한 도시를 관통하는 하천인 양산천의 양산교 수변과 양산천 남부 공원의 토성은 유사하였는데, 도시하천의 경우 하천의 위치와 관계

없이 토성이 비슷하다는 것을 보여준다. 일반적으로 점토와 같이 토양이 미세해질수록 투수율이 감소하고 오염물질을 장기간 보유할 수 있으며 제거가 어려워지는 경향을 보인다. 따라서 점토나 실트질의 하천 유입은 이로 인한 오염물질의 유입, 특히 오염된 토양에 흡착되어 있는 난분해성 오염물질의 유입에 기여할 수 있으므로 이들 지역의 토양 관리 시 반드시 고려할 필요가 있다.

Figure 4는 낙동강 중·하류 지역의 본류와 지류의 수변토양 중금속 농도를 나타낸다. 카드뮴을 제

외한 모든 중금속의 농도가 적포교 부근에서 가장 높게 나타났다. 적포교 범람지역의 경우 중금속 농도가 비범람지역보다 낮았는데, 이는 범람 때문에 오염토양과 비오염 토양이 혼합되어 나타난 결과로 추정된다. 적포교 부근 농경지의 경우 중금속 농도가 다른 지역보다 낮았다. 전체적으로 본 연구지역의 토양오염도는 낮은 수준이었으나, 비소와 크롬의 경우 대부분 지역에서 토양오염우려기준 이상으로 나타나 이에 대한 대책이 시급한 것으로 판단된다. 현재와 같이 열악한 수변조건에서는 강수시 범

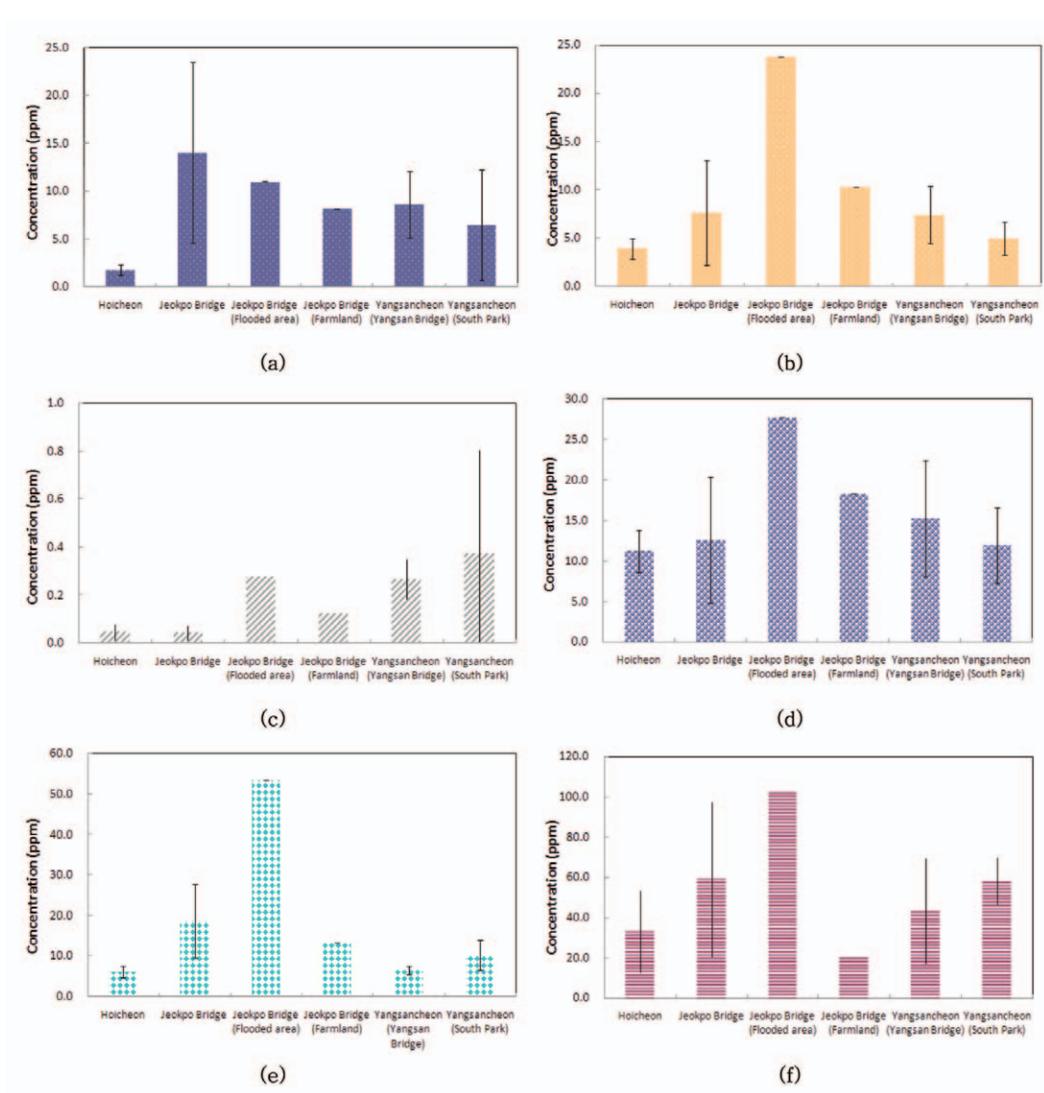


Figure 4. Heavy metal concentrations of soils in the riparian areas of the middle and lower reaches of the Nakdong River in 2006: (a) As, (b) Cu, (c) Cd, (d) Pb, (e) Cr, and (f) Zn

람이나 침식으로 인하여 중금속이 수체로 유입할 가능성이 매우 높아 수변림 확보와 같은 수변관리 대책이 매우 필요한 것으로 나타났다.

3. 수질특성

각 하천의 수질 특성은 Table 2에 제시하였다. 하천의 pH는 대부분 6.52~8.36의 범위로 중성을 나타내었다. 용존산소의 경우 조사지점 가운데 상류에 있는 회천과 조사지점 위쪽에 물막이보가 있는 양산교 부근에서 각각 9.51 mg/L, 9.79 mg/L로 높았으며, 정체 수역인 서낙동강 둔치도의 묵논이나 개구리밭과 같은 부유식물이 번성하여 산소공급이 저해되었던 서낙동강 신안지역에서는 각각 3.69 mg/L, 4.61 mg/L로 낮게 나타났다. 하천의 염분농도는 모든 지역에서 0.14 psu(practical salinity unit) 이하로 낮았다. 탁도의 경우 조사대상 지역 중 상류 지점인 회천에서 가장 낮았으나, 강우 후 침식이 많이 일어나고 있는 본류의 적포교 부근은 32.10 NTU(Nephelometric Turbidity Unit)로 가장 높았다. 이는 주변 토지이용과 강우에 의한 퇴적이 하천 수질에 많은 영향을 끼친다는 것을 의미한다.

총고형물질농도(TSS)는 탁도가 높은 낙동강 본류의 적포교 지역에서 61 mg/L로 가장 높았으며,

물막이보가 있어 낙차시 부유물질이 증가할 가능성이 있는 양산천의 양산교 지점과 마름과 자라풀 등 부유식물이 많이 발견된 서낙동강과 부근 묵논의 경우 TSS가 높게 나타났다. 이는 침식뿐만 아니라 수생식물의 분포도 TSS 농도에 영향을 미칠 수 있음을 나타내며, 하천 부유식물의 지나친 번성이 여름철 수질을 악화시킬 수도 있음을 보여주는 결과라 할 수 있다. 따라서 수생식물을 수질정화에 이용할 때 부유식물 이외에도 침수식물이나 정수식물 등을 적절히 활용해야 할 필요가 있다.

조사하천의 영양염류 농도 중 총인의 경우 적포교 부근에서 가장 높게 나타나, 토양유실이 하천으로 인이 유입하는 주요 요인일 수 있음을 보여주었다. 총질소는 양산천의 남부공원 지점 및 서낙동강의 대동수문지역과 같이 주변이 주거지와 농경지로 이루어진 지역에서 높게 나타났다. 이러한 결과는 영양염류의 경우 주변의 토지이용 형태에 따라 영향을 많이 받고 있음을 보여주며, 하천 수질을 향상시키기 위해서 비점오염원 관리나 토지이용관리 등이 수반되어야 함을 보여준다.

하천의 유기물질 농도를 나타내는 COD와 BOD는 서낙동강 둔치도 주변 묵논에서 가장 높았는데, 이는 묵논과 같은 습지가 오염물질을 자체적으로 보유하는 저류형 습지의 역할을 하고 있으면서 강

Table 2. Water quality in the middle and lower reaches of the Nakdong river in 2006

	Temp (°C)	pH	DO (mg/L)	Turbidity (NTU)	Salinity (psu)	TDS (mg/L)	TSS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
Hoicheon	25.89	8.05	9.51	3.60	0.07	0.10	5.92	0.01	0.01	2.60	0.26
Jeokpo Bridge	26.91	7.98	6.28	32.10	0.14	0.21	60.99	1.29	0.21	8.62	3.14
Yangsancheon (Yangsan Bridge upstream)	24.24	8.15	9.36	13.05	0.13	0.17	4.68	1.13	0.05	3.41	0.76
Yangsancheon (Yangsan Bridge downstream)	25.87	8.36	9.79	6.95	0.12	0.16	12.08	1.42	0.11	5.23	2.19
Yangsancheon (South Park)	22.58	7.25	8.51	3.80	0.11	0.15	6.77	2.11	0.08	3.14	0.74
West Nakdong River (Daedong floodgate)	31.38	7.49	7.05	NA	0.09	0.13	8.33	2.61	0.10	5.09	1.12
West Nakdong River(Sinan)	31.11	7.21	4.61	NA	0.09	0.13	13.06	1.16	0.08	6.18	1.19
West Nakdong River(Suan)	31.60	6.98	7.19	NA	0.10	0.13	13.82	1.64	0.10	5.61	1.42
West Nakdong River (Abandoned rice paddies)	29.86	6.52	3.69	NA	0.10	0.14	11.76	1.90	0.15	17.39	4.29

으로 오염물질이 직접 유입하는 양을 감소시켜 비점오염원 관리와 하천 수질 유지에 매우 중요한 역할을 할 수 있음을 보여준다. 토양유실이 많이 일어난 본류의 적포교 조사지점에서 BOD기준 3등급 수질을 나타내었으며, 다른 조사 지점은 본 조사 시기에 1~2등급으로 양호하였다.

중금속의 경우 조사항목 모두 하천 수질 기준 이하로 나타나 조사지점에서는 중금속에 의한 문제가 없었다(Figure 5). 그러나 비소의 경우 주변에 농경지가 많은 적포교 부근에서 상대적으로 높게 나타

났으며, 아연과 구리는 도시를 관통하는 양산천의 양산교 부근에서 높았다. 이는 수체의 중금속 농도 역시 주변의 토지이용 형태와 관계가 있음을 보여주며, 일부 경우에는 중금속 오염원 관리가 필요함을 보여주는 예라 할 수 있다. 전체적으로 낙동강 본류 적포교 부근의 수질이 나쁘게 나타났는데, 시료채취시기가 강우 직후로 주변 토양의 유실과 오염물질의 유입에 기인한 것으로 판단된다. 이는 수변이 열악한 하천에서 특히 강우에 수질이 악화할 가능성이 높다는 것을 시사한다.

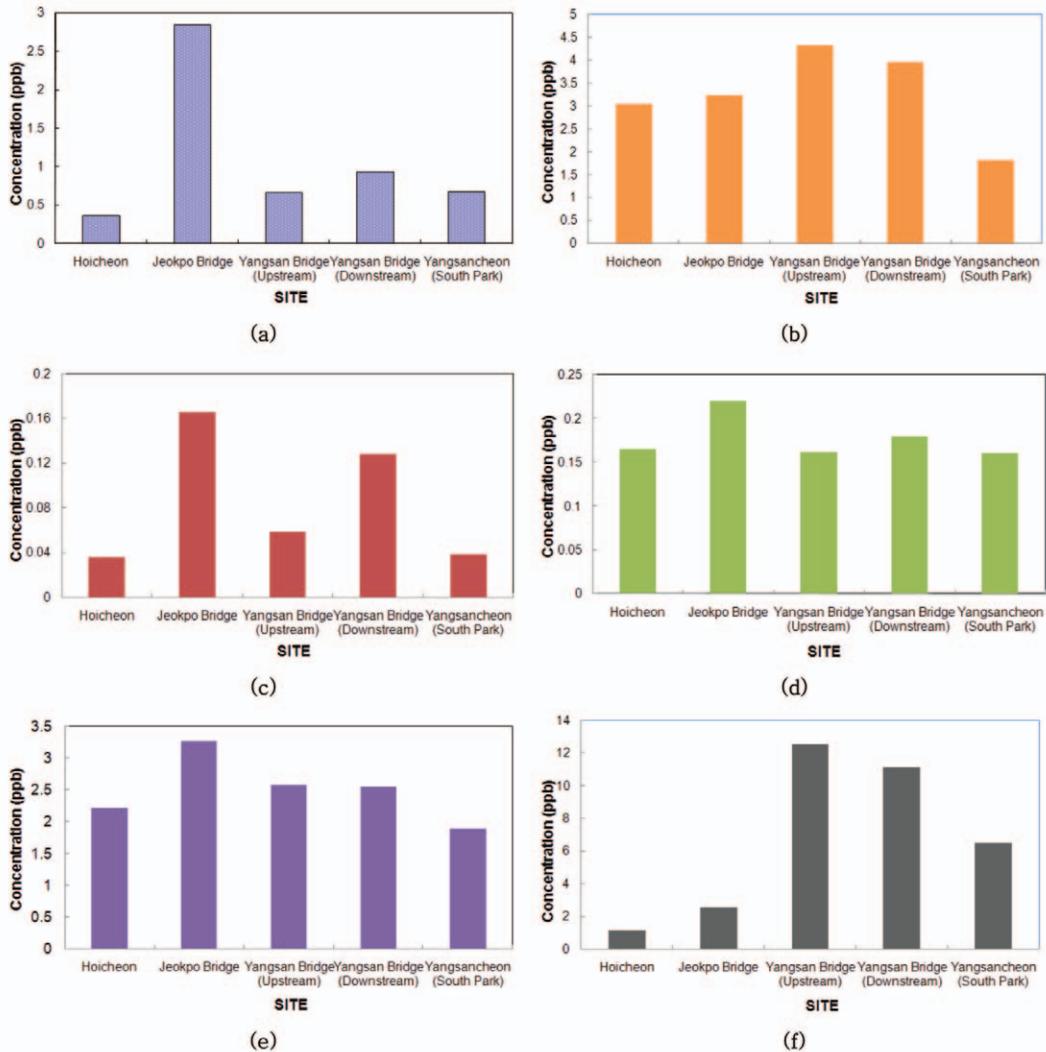


Figure 5. Heavy metal concentrations of water in the riparian areas of the middle and lower reaches of the Nakdong River in 2006: (a) As, (b) Cu, (c) Cd, (d) Pb, (e) Cr, and (f) Zn

4. 식생 특성

대부분의 조사지역에서 1년생 식물의 출현율이 가장 높았는데, 이는 하천의 특성상 1년생 식물의 유입, 특히 1년생 귀화식물의 유입에 의한 것으로 판단된다(Figure 6). 하지만 낙동강 본류 매리지역의 경우 지상식물의 출현율이 높았는데, 이는 하안에서 제방까지의 거리가 가깝고 지상식물의 점유가 높았으며, 가시상치나 개망초와 같은 1년생 식물의 유입이 상대적으로 낮았기 때문으로 판단된다. 이러한 결과는 일정 거리의 수변이 확보될 수 있으면 수변림의 조성이 가능함을 보여준다. 특히 현재 법률상 제약 때문에 수변구역으로 지정하기 어려운 낙동강 중·하류지역에 수변림의 조성을 통한 vegetation strip의 확보가 수변관리에 적합함을 시사한다. 수생식물의 경우 하류로 갈수록 중수가

증가하였으며, 특히 서낙동강의 습지 및 주변 용수로 등에서 많은 종이 나타나 수생식물을 이용한 하천 수질관리에 활용할 수 있는 좋은 여건을 가진 것으로 판단된다.

Figure 7은 각 조사지역별 하천 식물의 상대풍부도, 귀화식물 출현율 및 도시화지수를 나타낸다. 도시를 관통하는 도시 하천인 양산천의 양산교와 남부공원에서 상대풍부도, 귀화식물 출현율 및 도시화지수가 가장 높게 나타났으며, 주변의 토지가 농경지로 이용되는 적포교, 조사지점들 중 상류에 있으며 주변이 농경지와 산지 또는 체육시설로 일부 이용되는 등 사람의 접근성이 용이한 회천 순서로 나타났다. 이는 귀화식물의 유입이 주변의 토지이용 유형과 관련된 사람의 접근성에 영향을 받는다는 것을 보여주는 결과이다. 반면에 낙동강 본류인

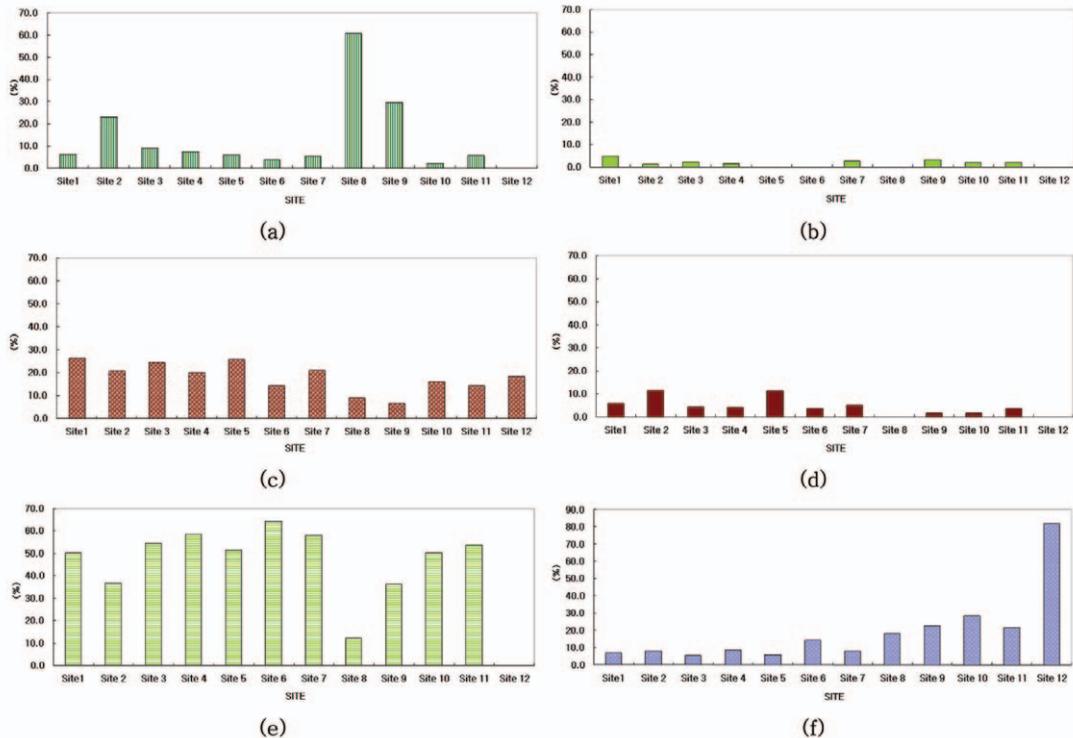


Figure 6. Life form of riparian vegetation in the middle and lower reaches of the Nakdong River in 2006: (a) phanerophytes, (b) chamaephytes, (c) hemicryptophytes, (d) cryptophytes, (e) therophytes, and (f) aquatic plants. Site 1(Yangsan Bridge:Left side), Site 2 (Yangsan Bridge: Right side), Site 3 (Yangsancheon: South park), Site 4 (Jeokpo Bridge: Left side), Site 5 (Jeokpo Bridge: Right side), Site 6 (Hoicheon: Riverside), Site 7 (Hoicheon: Bank side), Site 8 (Nakdong River: Maeri), Site 9 (Nakdong River: Mulgeum), Site 10 (Nakdong River: Mulgeum), Site 11 (West Nakdong: Riparian wetland), Site 12 (Nakdong river: Irrigation canal), Site 13 (West Nakdong: Abandoned rice paddies)

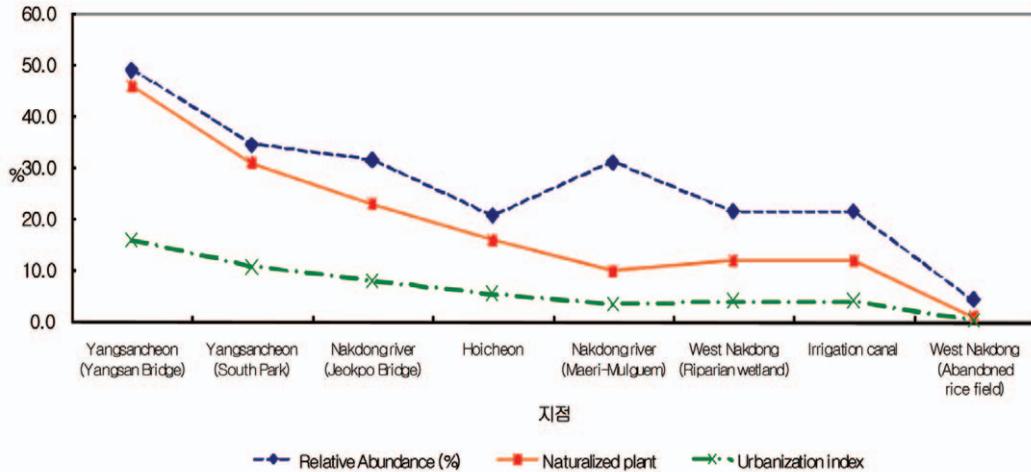


Figure 7. Characteristics of riparian vegetation in the middle and lower reaches of the Nakdong River in 2006

매리와 물금지역의 경우 사람들의 접근이 어려워 귀화식물 및 도시화지수가 조사지점 중 상류지역인 회천보다 낮게 나타났다. 서낙동강 습지나 용수로 및 목정논의 경우 조사 지점 중에서 도시화지수가 가장 낮았는데, 이는 귀화식물이 수변지역의 식생에 미치는 영향이 적다는 것을 의미한다.

IV. 결 론

육상생태계와 수생태계의 전이지대로서, 하천시스템의 중요한 생산지역이자 분해지역이고 또한 육상생태계와 수생태계를 오가는 여러 생물들의 서식처 역할을 담당하는 하천 수변지역의 특성을 파악하는 것은 수변 관리에서 매우 중요하다. 특히 유역면적이 넓고 다양한 토지이용이 이루어지고 있는 낙동강의 경우 수변 지역의 특성을 이해하는 것은 낙동강의 생태적 관리의 시작이라 할 수 있다. 본 연구에서는 낙동강 중하류 지역의 수변 실태를 하천 유형별로 조사하여 이 지역의 수변관리를 위한 기초자료를 확보하고자 하였다. 낙동강 수계내 물금지역 및 매리지역은 부산광역시외의 취수원으로 사용되는 곳이기 때문에 수변구역으로 지정하여 관리할 필요성이 높은 지역이지만, 현재 수변구역 지정은 상수원으로 사용되는 댐으로 유입하는 하천에 한정되어 있기 때문에 실제로 수변구역으로 관리되지

못하고 있는 형편이다.

조사 하천 대부분의 지역이 하천변 100m이내에 도로와 인접하였다. 특히 낙동강 본류의 매리와 물금지역은 주변 토지가 대부분 농경지로 이용되고 있으며, 일부 지점에서는 수변에서 제방까지의 거리가 1m 이내로 수변구조가 매우 열악하여 비점오염물질 유입에 아주 취약한 것으로 나타났다. 또한 낙동강 본류 적포교 지역도 농경지와 매우 인접하고 있어 농업활동에 따른 비점오염물질의 유입에 취약한 것으로 판단된다. 수질 조사결과 토양 유실이 하천에 유입하는 인의 주요 공급원으로 기능할 가능성이 있으며, 질소는 주변의 토지이용 형태에 따라 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 따라서 하천 수질을 개선하기 위해서는 비점오염원 관리나 토지이용 형태 개선 등이 수반되어야 할 것으로 보인다. 또한 목정논과 같은 습지가 오염물질을 자체적으로 보유하는 저류형 습지의 역할을 할 수 있으며, 오염물질이 강으로 직접 유입하는 것을 지연시켜 비점오염원 관리와 하천 수질 개선에 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 보인다.

수변지역 토양조사 결과 중금속의 경우 대부분의 항목에서 기준치 이하를 보였지만, 비소와 크롬의 경우 많은 지역에서 토양오염우려기준 이상으로 나타나 이에 대한 대책이 시급한 것으로 나타났다. 그러나 현재와 같은 열악한 수변조건에서 강우시 범람

이나 침식으로 인하여 중금속이 수체로 유입할 가능성이 매우 높은 것으로 판단되므로 수변림 확보와 같은 수변관리대책이 필요한 것으로 사료된다.

식생조사 결과는 현재 법률상 수변구역 지정이 어려운 낙동강 중·하류지역에 vegetation strip과 같은 수변식생대 조성이 수변관리에 적합할 수 있음을 보여주었다. 수생식물의 경우 서낙동강의 습지 및 주변 용수로 등에서 풍부하게 나타나 수생식물을 이용한 하천 수질관리를 위해서는 습지 조성·복원 또는 목정논 등의 활용이 우선적으로 고려되어야 할 것으로 사료된다. 또한 습지의 보전이나 관리가 하천 수질 관리뿐만 아니라 수변생태계 관리에서도 매우 중요한 요소로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 낙동강수계관리위원회 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 시행한 환경기초조사 사업과 2007년도 교육과학기술부와 한국산업기술재단 지역혁신인력양성사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

농업기술연구소, 1988, 토양화학분석법, 450pp.
 박수현, 1996, 한국의 외래귀화식물, 일조각, 143pp.
 박수현, 2001, 한국귀화식물원색도감, 일조각, 178pp.
 여천생태연구회, 1997, 현대생태학실험서, 교문사, 286pp.
 이경보, 김창환, 김중구, 이덕배, 박찬원, 나승용, 2003, 만경강 본류의 자연정화능 향상을 위

한 식생학적 진단, 한국 환경농학회지, 22(2), 153-165.

- 이영노, 2002, 한국식물도감, 교학사, 1629pp.
 이창복, 2003, 원색대한식물도감, 향문사, 910pp.
 최지용, 정유진, 2000, 수질 개선을 위한 수변녹지의 조성 및 관리방안 연구, 환경정책평가연구원, 79pp.
 최지용, 이지현, 2001, 상수원 유역 도시지역에서의 수변 녹지 조성 및 관리방안에 관한 연구, 환경정책평가연구원, 160pp.
 최지용, 이지현, 2004, 수변구역의 효율성 제고를 위한 정책개선방안연구, 한국환경정책평가연구원, 147pp.
 Anbumozhi, V., J. Radhakrishnan, and E. Yamaji, 2005, Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations, *Ecological Engineering*, 24, 517-523.
 Lowrance, R., R. Todd, J. Fail, O. Hendrickson, R. Leonard, and L. Asmussen, 1984, Riparian forests as nutrient filters in agricultural watershed, *BioScience*, 34(6), 374-377.
 Schnabel, R. R., L. F. Cornish, W. L. Stout, and J. A. Shaffer, 1996, Denitrification in a grassed and a wooded, valley and ridge, riparian ecotone, *J. Environ. Qual.* 25, 1230-1235.
 National Research Council, 2002, Riparian Areas: Functions and Strategies for Management, National Academic Press, 428p.