

도시하천의 환경특성과 친자연적 계획전략*

- 춘천시 공지천을 대상으로 -

조현길* · 안태원**

*강원대학교 산림경영·조경학부 · **강원대학교 대학원

Environmental Characteristics and Nature-friendly Planning Strategies for an Urban Stream

- The Case of Chuncheon's Gongji Stream -

Jo, Hyun-Kil* · Ahn, Tae-Won**

*Division of Forest Management and Landscape Architecture, Kangwon National University

**Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Kangwon National University

ABSTRACT

This study analyzed characteristics of natural and human environments in Chuncheon's Gongji stream, and suggested nature-friendly planning strategies for self-purification of water quality, biodiversity improvement and conservative waterfront recreation. The environmental analysis included streambed structures, floodplain soils, water quality, vegetation, wildlife, and human facilities.

Natural colonization of vegetation for the middle section of the study stream was obstructed by a straightened concrete revetment of baseflow channel, and vehicle movement and concrete parking lots across the floodplain. These human disturbances also deteriorated the naturalness of the stream landscape and limited habitation of bird species. However, natural sedimented wetlands in half of the channel width for the lower section of the stream contributed to a desirable vegetational landscape and greater bird occurrence. Based on BOD measurements, water quality of the stream fell under class II~III of the stream water-quality standard, but it was worse around sewage outlets due to incomplete sewage collection, especially during the dry season. Dominant fish species included typical inhabitants of good water-quality streams that are tolerant of adverse habitat changes.

Nature-friendly planning strategies were established based on analysis of the environmental characteristics.

*: 본 논문은 강원지역환경기술개발센터에서 시행한 2002년도 환경기술연구개발사업 연구 결과의 일부임.

Corresponding author: Hyun-Kil Jo, Division of Forest Management and Landscape Architecture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, Tel.: +82-33-250-8345, E-mail: jhk@kangwon.ac.kr

They focused on not merely spatial zoning and layout divided into four zones – preservation, partial preservation, conservation, and use –, but close-to-nature channel revetment techniques, natural water-purification facilities, biotope diversification, and water-friendly recreation and circulation. Strategies pursued both renewal of stream naturalness and hydraulic stability of streamflow by minimizing transformation of natural channel micro-topography and biotope, and by reflecting natural traces of streambed structures such as revetment scour and sedimentation.

Key Words: Self-purification, Biodiversity, Water-friendly, Streambed, Revetment

1. 서론

도시하천은 인공요소가 지배적인 도시환경에서 생태 통로 또는 그린네트워크의 역할을 담당하고 생물 다양성 확보에 기여하는 등 생태적으로 중요한 영역 중의 하나이다. 국내 도시하천의 정비와 관리는 과거 하천 고유의 생태환경적 특성을 무시한 채 이수 및 치수 측면에 중점을 두어 왔다. 즉, 홍수 소통을 원활히 유지하기 위해 하천의 선형을 직강화하고, 저수로 둔치와 제방을 콘크리트로 정비하면서 하천의 수로화(channelization)를 초래하였다. 그 결과 도시 하천은 생물 서식, 수질 자정, 친수성 등 귀중한 환경적 기능을 상실하게 되었다.

최근, 하천의 이수와 치수에 부가하여 생태 및 친수 공간 개념으로서의 하천 기능에 대한 사회적 관심이 증가하고 있다. 즉, 하천 정비는 수질 자정 능력을 회복하고 다양한 생물종이 서식하면서 사람과 공존할 수 있는 친자연적인 방향으로 추진해야 한다는 공감대가 형성되고 있다. 친자연적 또는 자연형 하천 정비란 도시화와 산업화로 훼손된 하천을 원래의 모습에 가깝게 되돌리거나, 나무, 풀, 돌, 흙 등 자연재료를 최대한 이용하여 하천을 자연에 가깝게 만드는 것이다.

독일, 스위스, 일본, 미국 등 외국에서는 하천을 자연에 가까운 상태로 복구, 재생하고자 하는 연구 및 사업을 활발히 진행하여(리버프론트整備センター, 1990; 1992; 조용현, 1997; FISRWG, 2001), 하천생태계를 효과적으로 복구하고 우려했던 홍수 피해도 줄이고 있는 상황이다. 즉, 독일은 재자연화(renaturierung)를 위해 근자연형 하천공법(naturnahen wasserbaus)을, 그리고 스위스는 재생(wiederbelebung)을 하천 정비 방향으로

생물공학적 공법(ingenieurbio-logische bauweisen)을 개발하였고, 하천개수 및 정비공사 시에 개발 공법을 적용하여 하천의 생태적 복원을 유도하고 있다. 일본에서는 스위스와 독일의 선형 연구를 도입하여 자국의 여건에 맞게 수정 보완한 다자연형 하천공법(多自然型 河川工法)을 하천 정비 사업에 활용하고 있다. 국가에 따라 하천공법의 명칭은 약간 다르지만, 이들은 공통적으로 하천의 콘크리트 제방을 지양하고 거석, 통나무, 식생 등 자연재료를 이용하며, 하천의 형태도 직선을 피하고 완만한 사행과 여울, 소 등을 적절히 도입하여, 자연적 형태에 가까운 하천을 조성하는 사업내용을 골격으로 포함한다.

국내에서는 한국건설기술연구원이 1990년대 초부터 수행한 하천환경관리 기법에 관한 연구에서, 일본, 스위스 등의 관련 사례를 소개하면서부터 자연형 하천공법의 개념이 도입되기 시작했다고 볼 수 있다(환경부, 2002). 이때부터 한국건설기술연구원을 중심으로 도시하천 복원과 관련된 기초연구를 수행하였고, 1995년에는 양재천 학여울 구간에 10가지 유형의 자연형 저수로 하안공법을 시험적용하였다(건설부, 1991; 1992; 1993a; 1994a; 건설교통부, 1995). 그 이후, 환경부의 G-7 연구과제로서 1995년 후반부터 2001년까지 6년간 자연형 하천공법에 관한 연구가 수행되었다(환경부, 1997a; 1997b; 1999; 2002). 이 연구를 통해, 하천생태계, 경관, 수리를 비롯하여 하천을 종합적으로 조사하고 하천 복구 기술의 개발 및 현장 시험 적용으로 이어지는 등, 국내 도시하천 정비방향에 새로운 장을 열어 왔다.

사실 1990년대 중반 이후 자연형 하천을 표방한 하천 정비 사업이 도시하천을 중심으로 추진되었다. 서울

시의 증랑천, 우이천, 홍제천, 탄천, 정릉천 및 양재천과 수원의 수원천 등을 그 대표적 사례로 들 수 있다(서울특별시, 1994; 1995a; 1995b; 1995c; 서초구, 1995; 수원시, 1995). 그러나, 이러한 하천 정비 사업의 대부분은 저수로 정비, 고수부지의 활용 등 하천의 공원화에 비중을 두었다. 즉, 하천의 환경기능 중 친수성 증진을 강조한 것으로서 생물 서식 및 수질 자정의 보다 중요한 기능들을 소홀히 고려하였으며, 하천의 생태환경을 보전, 복구한 사례는 아직 미흡한 상황이다.

공지천은 호반의 도시라는 춘천시 이미지를 대표하는 주요 도시하천이다. 본 연구의 목적은 공지천을 대상으로 자연 및 인문환경을 조사 분석하고, 수질 자정, 생물 다양성 증진, 친수 기회 확보 등을 포함하는 친자연적 하천계획 전략을 제안하는 것이다. 계획전략은 기존 하천 정비 사례의 문제점을 보완하여 레크리에이션적 이용보다 생물 서식 및 수질 자정에 비중을 두고, 자연적으로 형성되어 온 하상구조의 변형과 생물 서식 공간의 훼손을 최소화하는 접근방법을 통해 하천의 생태환경 회복을 추구하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 대상지

연구대상지의 공간적 범위는 춘천시의 석사동에서 강남동 방향으로 흐르는 상류 거두교~하류 호반교 구간으로서, 그 유로연장은 총 3.5km이었다(그림 1, 2 참조).

2. 현황조사 및 분석

연구대상 하천을 현장실사하고 기존자료를 검토하여 상, 중, 하류의 구간별 환경조건을 조사 분석하였다. 조사내용은 유역, 하상구조, 토양, 유량 및 수위, 수질, 식생, 야생동물 등을 포함하는 자연환경, 그리고 내외부 토지이용, 동선 및 접근성, 하천 시설물 등의 인문환경이었다.

1) 하상구조 및 경관

수치지도를 구입하고 연구대상 하천을 예비답사하

여, 하상구조의 유사성 여부에 따라 총 18개의 표본조사지점을 선정하였다. 각 표본지점에서 제방, 고수부지 및 저수로의 횡단면(폭, 경사, 높이)을 실측하고 구성 재료를 조사하였다. 저수로 사행, 사주, 중도, 여울, 소 등의 공간분포를 도면에 기록하고, 사진촬영을 병행하여 홍수 전후의 하천 미지형 변화를 파악하였다. 수심 및 수폭과 유속은 평수기인 9월과 갈수기인 2월의 2회에 걸쳐 실측하였다. 하상구조 조사 시 하천경관을 비롯하여 내외부 토지이용, 동선, 하천시설물 등 인문환경도 함께 파악하였다.

2) 토양

토양은 상, 중, 하류에서 주요 공통식물종이 생장하는 각 지점을 대상으로 9개씩의 표본지점을 선정하였다. 10월에 직경 5.1cm의 다층토양표본추출기(AMS multi-stage core soil sampler)를 이용하여 깊이 30cm까지의 토양표본을 채취하였다. 또한, 깊이 60cm까지 시추하여 지하수위 분포를 조사하였다. 채취된 토양은 음건시킨 후 직경 2mm 체(sieve)로 정선하고 그 무게를 0.1g까지 측정하였다. 농촌진흥청(1988)의 표준방법에 따라 수분, 산도, 유기물, 총질소, 유효인산, 치환성 양이온, 양이온 치환능 등의 물리화학적 특성을 분석하였다.

3) 수질

수질은 상, 중, 하류와 하수 유입부를 대표할 14개 지점을 선정한 후, 계절별로 3L 용량의 밴돈샘플러(Van Dorn sampler)로 채수하고 2L 플라스틱 채수통에 담아 실험실로 운반하여 이화학적 특성을 분석하였다. 분석항목은 용존산소(DO), 생물학적 산소요구량(BOD), 총질소(T-N), 총인(T-P), 부유물질(SS) 등이었다. BOD는 윙클러-아자이드화나트륨 변법, T-N은 자외선 흡광광도법, T-P는 아스코르빈산 환원법, SS는 유리섬유 여지법을 각각 이용하여 측정하고, DO는 채수 즉시 현장에서 DO meter(YSI model 58)로 측정하였다.

4) 생물

식생은 상, 중, 하류의 환경구배를 대표하도록 35개 지점을 표본추출하고, 방형구법(크기 5×5 m)을 적용

하여 7~10월에 걸쳐 출현종, 피도 등을 조사하고 중요도를 분석하였다. 야생동물은 조류와 어류에 국한하여, 조류의 경우 선조사법에 의해 연구대상 구간 전체에서, 어류는 등간격 상의 6개 표본지점에서 각각 계절별로 조사한 자료(조현길 등, 2004)를 이용하여 서식종과 우점종을 파악하였다.

3. 계획전략 수립

현황분석 결과를 바탕으로 하천 공간정비 및 배치를 구상하고, 저수로 자연형 하안공법, 수질 자연정화시설, 생물서식공간, 수변 레크리에이션과 동선 등을 위주로 계획전략을 수립하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 하천환경

1) 유역개황

공지천은 춘천시 동내면 수리봉(해발 644.9m)과 대룡산(해발 899.0m)에 수원을 두고, 유역 상류부에서는 산림과 농경지를, 중하류부에서는 비교적 평탄한 시가지를 유하하여 의암호로 유입되는 지방2급 하천이다(그림 1). 유역면적은 약 54.7km²로서 유역 내 토지이용은 분수령을 형성하는 산림이 58.6%를 점유하였다. 유역권 하수처리장은 공지천 하류의 의암호 합류부에 위치하는 하수종말처리장에서 담당하나, 하수관거가 합류식이고 차집이 완벽하지 못해 특히 우수기엔 미처리 하수를 공지천에 그대로 방류하는 상황이었다. 하류에서는 의암댐으로 형성된 의암호의 배수(背水) 영향으

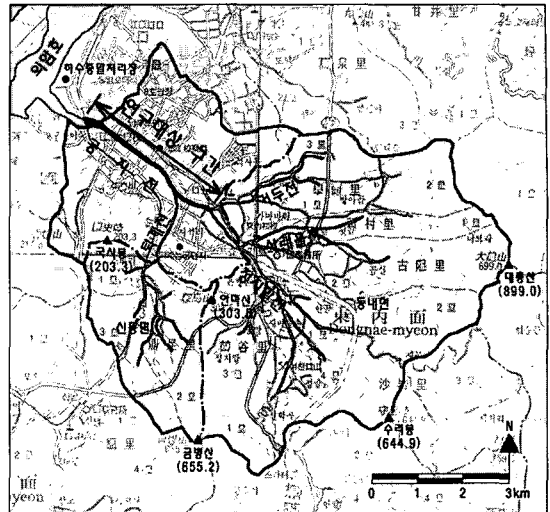


그림 1. 공지천 유역 분포도

로 인해 수체가 정체되고, 하수종말처리장 방류수의 역류와 체류가 발생하였다. 연구대상 하천구간에는 총 8개(철도교 1개)의 교량이 분포하며, 상류에는 거두교가, 그리고 하류에는 호반교가 위치한다(그림 2).

2) 하상구조 및 경관

공지천은 대부분 구간 복단면 구조로 개수된 하천으로서, 제외지 중앙에 저수로가 위치하고 양측으로 대칭의 둔치가 조성되어 있었다(그림 3). 제방은 콘크리트 수직 옹벽 또는 석축 사면이며, 제방고는 100년 빈도 홍수위(춘천시, 1992) 대비 0.8~1.0m의 여유고 기준(건설부, 1993b)을 확보하여 대체로 적합하였다. 제방사면을 포함한 하폭은 상류의 거두교~석사교 구간이 가장 좁은 45m이고, 하류의 온의교~호반교 구간이 가장 넓은 120m이었다. 거두교~석사교 구간의 고수부지 폭은

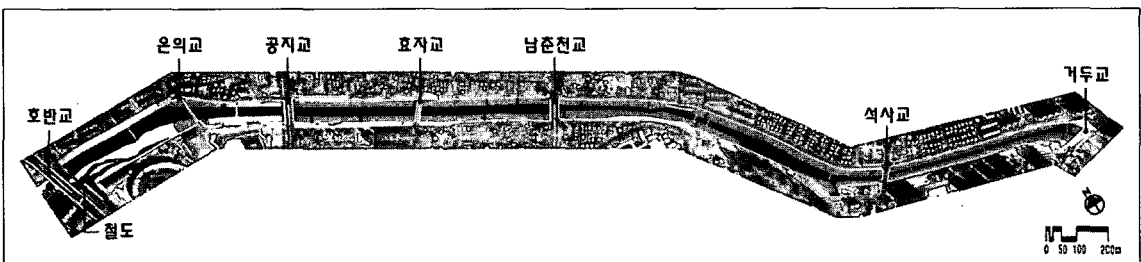


그림 2. 공지천 연구대상 구간과 교량 위치도

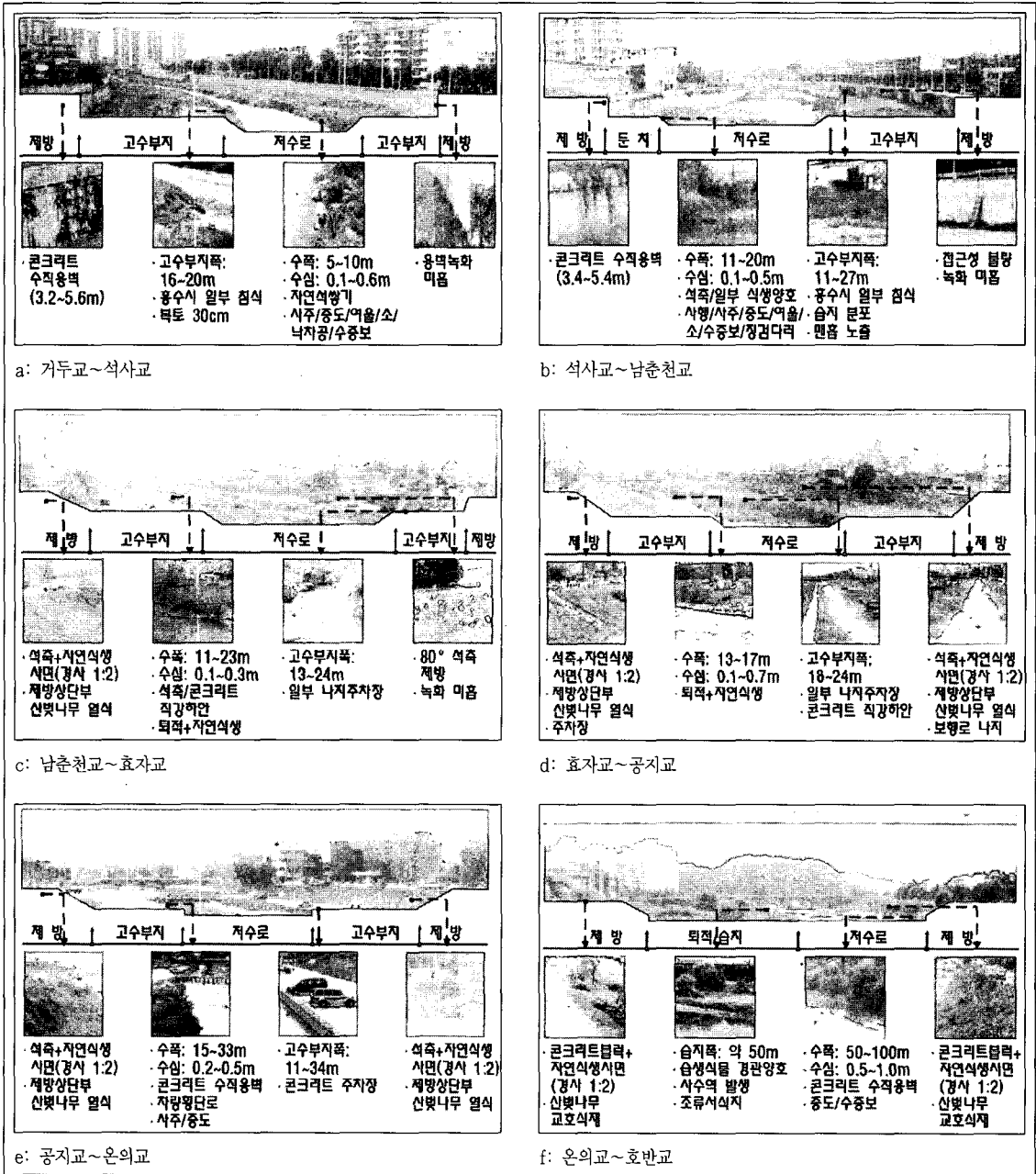


그림 3. 하천구간별 하상구조 및 경관

최대 20m로서 전체적으로 타 구간에 비해 역시 협소한 경향을 보였다. 하상경사는 거두교~석사교 구간이 1/118로서 다소 급하고, 석사교~은의교 구간 1/312 ~1/348이며, 은의교~호반교 구간은 1/839로서 상대적으로 완만하였다.

거두교~남춘천교 구간의 저수로 하안공법은 자연식 쌓기인데, 일부는 콘크리트를 타설한 চাল붙임으로 시공하여 식생의 자연유입을 방해하고 경관적으로도 불량하였다. 저수로 하안고가 낮은 일부 구간에는 월류로 둔치 침식이 발생하였고, 남춘천교 상류의 하도가 사행

하는 수층부에선 저수로 하안과 둔치 일부가 유실되었다. 남춘천교~온의교 구간의 저수로로는 콘크리트 직강 하안으로서, 치수적 측면에서는 유리할 수 있으나 생물 서식을 제한하고 자연성을 저해하였다. 저수로 폭은 거두교~석사교 구간 7~12m, 온의교~호반교 구간 50~100m이었다. 저수로 내에는 사행, 사주, 중도, 여울, 소 등 자연적으로 형성된 하천 미지형이 다수 분포하는데, 홍수 후에도 주 골격은 대체로 유지되거나 재현되고 있었다. 온의교~호반교 구간에는 남측으로 저수로의 약 1/2에 걸쳐 자연퇴적습지가 형성되어, 양호한 습생식물 경관을 나타내고 조류의 출현빈도도 높았다.

3) 유량 및 유속

수심은 하류 온의교~호반교 구간에선 의암댐 수위 조절 및 역류의 영향으로 연중 0.5~1.0m(9월: 0.5~0.7m, 2월: 0.8~1.0m)를 유지하였다. 타 구간의 경우 갈수기에도 유수의 단절 없이 평균 수심이 0.1m 이상인 것으로 나타나, 피라미의 서식 및 산란을 위한 최소 수심(서울특별시, 1995a)은 유지되는 상황이었다. 그러나, 거두교 하류, 석사교 하류, 남춘천교 하류 등 일부 지점에서는 갈수기에 수폭이 넓게 수심이 얇은 여울이 형성되므로, 여울 및 소, 사주 등의 도입으로 유수를 가두거나 수면폭을 축소하여 최소 수심을 확보할 필요가 있다.

유속은 평수기의 경우, 상류 거두교~석사교 구간에서 0.4~0.8m/s이었고, 하류로 갈수록 느려져서 공지교~호반교 구간에선 0.1~0.3m/s를 나타냈다. 한편, 유수의 지속적인 영향을 받는 저수로 단면 만을 대상으로, Manning 공식에 의해 조도계수, 하상경사 등을 고

려하여(춘천시, 1992; 건설부, 1993b) 만수 시 유속을 추정된 결과, 거두교~남춘천교 3.4m/s, 남춘천교~온의교 2.5m/s, 온의교~호반교 2.0m/s이었다. 즉, 유속은 하상경사가 상대적으로 급한 상류에서 가장 빠르며, 저수로 폭이 넓고 하상경사가 완만한 하류로 갈수록 느린 경향이었다.

4) 토양

공지천 토양의 상, 중, 하류별 물리화학적 특성을 분석한 결과(표 1), 토성은 대체로 자갈이 있는 사토 내지는 사양토이었다. 입경 2mm 이상의 석력 함량은 상중류의 거두교~공지교 구간 평균 23%이고, 자연퇴적 습지가 형성된 하류의 공지교~호반교 구간에선 3%로서 상중류에 비해 훨씬 적었다. 토양수분 함량은 저수로 수변에서 11~38% 범위로 다양하고, 고수부지의 경우는 5~8%로서 수변에 비해 상대적으로 적은 경향이 있었다. 지하 수위는 수변에서 0.2~0.5m로서 자연적인 수변에서 나타나는 지하 수위 범위(Gold and Kellogg, 1997)에 속하였고, 고수 부지에서는 조사깊이인 0.6m 범위를 초과하였다. 이와 같이, 하천 종적으로는 토성 변화가, 횡적으로는 수분변화가 뚜렷한 경향을 보였다. 환경구배에 따른 생장기반을 안정화하고 다양한 식물 종이 자생하도록 유도하여 생물 다양성을 증진함이 바람직하다.

유기물 함량은 구간별로 큰 차이 없이 유사한 수준이고 전 구간 평균 2.2%로서, 평창군 하천변 2.5%(이미정 등, 2002), 국내 논토양 A층 평균 2.3%(허봉구 등, 1997) 등과 유사하며, 산림토양의 A층 4.5%(정진현 등, 2002)보다는 적었다. 총질소는 구간 간 뚜렷한

표 1. 공지천 토양의 구간별 물리화학적 특성*

구간	수분 (%)	산도	유기물 (%)	총질소 (mg/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성 양이온(cmol ⁺ /kg)			양이온 치환능 (cmol ⁺ /kg)
						K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
거두교~남춘천교	17.9(10.3)	6.6(0.2)	2.3(0.1)	102.7(81.8)	50.7(5.9)	0.16(0.03)	2.37(0.65)	0.50(0.17)	4.9(1.1)
남춘천교~공지교	11.3(3.2)	7.0(0.1)	2.0(0.1)	140.0(53.0)	49.0(13.6)	0.13(0.02)	2.17(0.68)	0.33(0.09)	4.2(0.8)
공지교~호반교	32.5(4.3)	6.8(0.0)	2.3(0.2)	247.3(76.4)	54.0(12.7)	0.14(0.02)	2.10(0.49)	0.47(0.07)	4.6(0.4)
전체	20.5(4.6)	6.8(0.1)	2.2(0.1)	163.3(41.8)	51.2(5.7)	0.14(0.01)	2.21(0.31)	0.43(0.06)	4.6(0.4)

*: () 내 숫자는 표준오차

차이를 보이지 않은 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 등과는 달리, 상류에서 하류로 갈수록 증가하였고 하류 퇴적지에서 특히 많았다. 식물종별로는 갈대(*Phragmites communis*) 생육지 평균 61mg/kg, 미국가막사리(*Bidens frondosa*) 145mg/kg, 고마리(*Persicaria thunbergii*) 285mg/kg으로서, 갈대가 성장하는 토양이 타 식물종에 비해 상대적으로 적은 경향이였다. 양이온 치환능은 전 구간 평균 4.6cmol⁺/kg으로서, 논 A층 9.7cmol⁺/kg(허봉구 등, 1997)이나 산림토양 A층 12.5cmol⁺/kg(정진현 등, 2002)의 약 1/2 수준이였다.

5) 수질

하천의 대표적 수질지표인 BOD 농도는 본류의 경우 대체로 하천 수질환경기준 II~III등급이였다. 그러나, 지천 합류부나 생활하수 유입부의 BOD는 완벽하지 못한 하수차집시설로 인해 11.7mg/L 이상으로서, 특히 갈수기에 수질오염이 현저한 것으로 나타났다. 공지천 유역의 주 오염원은 생활하수로서 BOD의 경우 총 오염 부하량의 약 70%를 차지하며, 나머지는 축산, 농경 등에 기인하였다(강원지역환경기술개발센터, 2001). 본류의 DO 농도는 8.6mg/L 이상으로서 하천 수질환경기준 I등급을 유지하고 있었으며, 계절별로는 대체로 겨울철에 더욱 양호한 한편, 구간별로는 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 특히, 의암호의 배수(背水)영향을 받고 정체현상을 보이는 호반교 부근은 DO 농도가 타 지점에 비해 상대적으로 더욱 낮았다.

T-N 농도는 3.3mg/L 이상으로서 모든 측정지점에서 호소 수질환경기준을 초과하는 것으로 나타났다. T-P 농도는 겨울철에 측정지점에 따라 0.06~0.10mg/L로서 호소 수질환경기준 IV등급에 해당하였으나, 타 계절의 경우 대부분 지점에서 그 기준을 초과하였다. SS 농도는 계절별 측정지점 전체 21.9mg/L 이하로서 하천 수질환경기준 I등급을 유지하고 있었다. 중금속 분석 결과, 하천 수질환경기준의 사람 건강보호 항목에 포함된 카드뮴(Cd), 비소(As), 수은(Hg), 납(Pb), 크롬(Cr) 등은 검출되지 않았다.

6) 생물

하천구간별 식물종 중요도를 분석한 결과, 상류의 거

두교~남춘천교에서는 하안에 고마리, 미국가막사리, 닭의장풀(*Commelina communis*) 등이, 그리고 고수부지에는 바보여뀌(*Persicaria pubescens*), 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 소리쟁이(*Rumex crispus*), 달맞이꽃(*Oenothera odorata*), 명아주(*Chenopodium album* var. *centrorubrum*), 돼지풀(*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*) 등 대부분 귀화식물이 우점하였다. 제방의 수직옹벽에는 벽면녹화를 실시하여 담쟁이덩굴이 생장의 초기단계에 있었다. 거두교~석사교 구간의 고수부지에는 족제비싸리(*Amorpha fruticosa*)와 페스큐(*Festuca* sp.)를 인공 식재하여 하천 고유의 자연성을 저해하였다. 중류의 남춘천교~공지교 구간 역시 상류의 우점종 분포와 유사하나, 하안에 갈대가 우점하고 갯버들(*Salix gracilistyla*), 큰고랭이(*Scirpus tabernaemontani*), 부들(*Typha orientalis*) 등 습생식물이 함께 서식하였다.

하류의 공지교~호반교 구간에서는 상, 중류의 경우보다 식물의 종다양성이 높았고, 하안에 도꼬마리(*Xanthium strumarium*), 고마리, 미국가막사리 등이, 고수부지에는 환삼덩굴, 가시박(*Sicyos angulatus*), 바보여뀌, 소리쟁이 등이 각각 우점하였다. 환삼덩굴과 가시박은 타 식물체를 감고 올라가는 덩굴성으로서 주변식물 생장에 피해를 주고 있었다. 은의교~호반교의 자연퇴적습지에는 도꼬마리가 집단적으로 분포하고 버드나무류, 갈대, 부들, 마름(*Trapa japonica*), 질경이택사(*Alisma plantago-aquatica* var. *orientale*) 등 습생 및 수생식물이 생육하여, 조류의 서식과 정체수 수질 개선에 기여하는 것으로 분석된다.

고수부지 내 식생피도는 대체로 양호하나, 홍수에 의한 침식과 차량주차 및 통행압입으로 일부 구간에 나치가 발생하였다. 특히, 거두교~석사교 구간에서는 낙차공의 콘크리트 횡단구조물이 홍수 시 유수를 방해하여 침식 및 세굴을 야기하고, 남춘천교~공지교 구간의 경우 차량통행에 따른 답압에 기인하여 나치 발생이 현저하였다. 공지교~은의교 구간에서는 콘크리트 주차장으로 말미암아 식생 유입 및 생장이 불가하고 자연성을 저해하므로 철거를 필요로 한다.

조류는 4계절 조사기간 중 23종이 출현하였고, 우점종은 전체 개체수의 53.6%를 차지하는 참새(*Passer*

montanus)에 이어 쇠오리(*Anas crecca*) 10.8%, 청둥오리(*A. platyrhynchos*) 7.5%, 흰뺨검둥오리(*A. poecilorhyncha*) 5.8% 등인 것으로 나타났다(조현길 등, 2004). 계절별 종 및 개체의 수는 10월에 가장 많이 출현하였는데, 이는 높은 서식비를 보인 겨울철새 오리류가 유입된 것에 기인한다. 구간별로는 넓은 자연퇴적습지가 분포하는 하류의 온의교~호반교에서 가장 많은 개체가 관찰되었다. 한편, 이 구간은 2월의 경우 의암호 역류에 따른 자연퇴적습지 침수와 정체수 결빙으로 타 계절 및 구간에 비해 낮은 서식밀도를 보였다. 종류의 남춘천교~공지교 구간에서는 하류의 약 40%에 불과한 개체수가 출현하였으며, 이는 빈번한 주차 및 통행에 따른 주민의 접근이 조류 서식을 방해한 것으로 판단된다. 서울 양재천에서도 친수환경을 위해 조성된 자연터 동선과 시민의 빈번한 왕래가 자연형 하천조성 후 조류상을 더욱 단순화시킨 것으로 보고된다(환경부, 2002). 공지천에서 조류 서식을 증진하기 위해서는 자갈 및 모래밭, 덩불, 습지 등 다양한 서식환경 조성을 비롯하여 무분별한 통행 및 식생훼손의 제한 등을 필요로 한다.

어류는 계절별 조사 결과 총 16종이 출현하였으며, 우점종은 전체 개체수의 41.2%를 점유한 피라미(*Zacco platypus*) 및 36.0%의 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*)이었고, 아우점종으로서 붕어류(*Carassius* spp.)가 서식하였다(조현길 등, 2004). 우기가 지난 후 수질이 회복되고 어류의 서식처가 안정화된 10월의 조사에서 가장 많은 종들이 출현하였다. 개체수는 7월에 다른 시기보다 많았는데, 이는 어류의 산란기인 5~6월 이후 치어가 많이 채집되었기 때문인 것으로 판단된다. 상기한 우점종들은 수질이 비교적 양호한 하천에서 서식하는데 유기물 오염 및 환경 변화에 대한 내성이 강한 편이다. 대상 하천에는 돌, 자갈 등의 어류 은신처가 매우 적으므로, 서식 어종을 증진하기 위해 거석 및 자갈의 자연스러운 배치와 수질 개선을 요구한다.

7) 인문환경

연구대상 구간의 제내지는 근린생활권 근린공원이 부족한 주거밀집 및 주상복합 구역이었다. 제외지의 경우, 거두교~남춘천교 구간의 고수부지는 초지, 남춘천

교~공지교 구간은 나지주차장, 공지교~온의교 구간은 콘크리트 주차장이었다. 거두교~남춘천교 구간은 콘크리트 수직제방과 접근시설 미흡으로 고수부지 내 접근성이 불량하나, 남춘천교~온의교 구간은 다수의 계단과 램프가 분포하였다. 기존 램프는 모두 차량 접근으로 활용되고 있으며, 양측 둔치를 연결하는 징검다리 등의 저수로 횡단로가 극소수 위치하였다. 일부 교량 하부는 침식, 쓰레기 등으로 불량경관을 야기하고, 남춘천교 하부에는 생태통로 기능을 제한할 수 있는 게이트블장과 출입문 및 가벽이 설치되어 있었다. 거두교~석사교 구간의 콘크리트 낙차공은 어도 부재로 어류의 이동을 제한하고, 홍수시 월류로 양측 고수부지의 침식을 유발하였다.

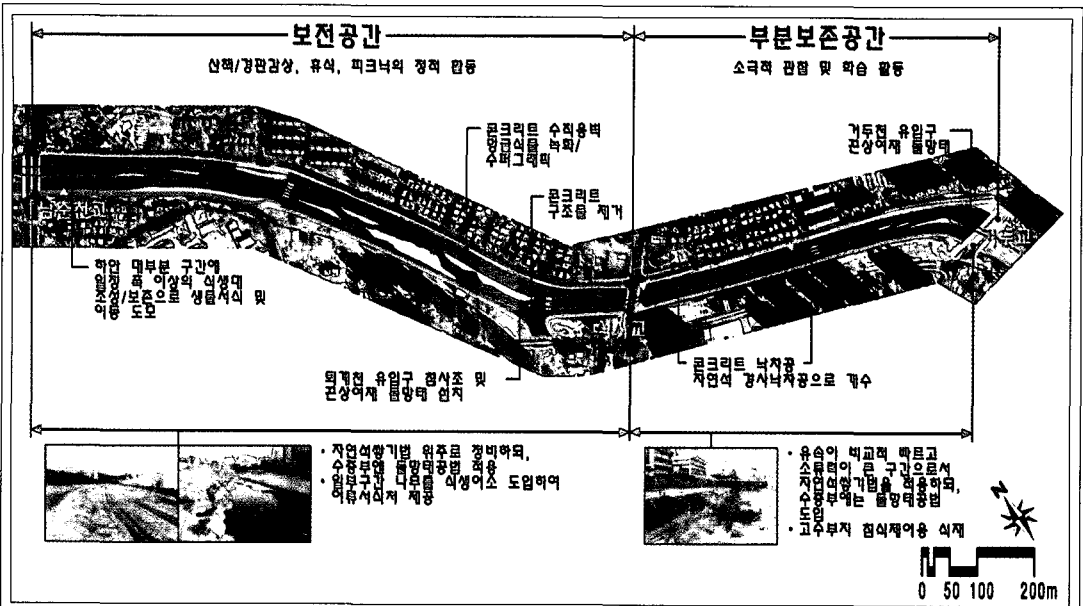
2. 계획전략

1) 하천 공간정비 및 배치

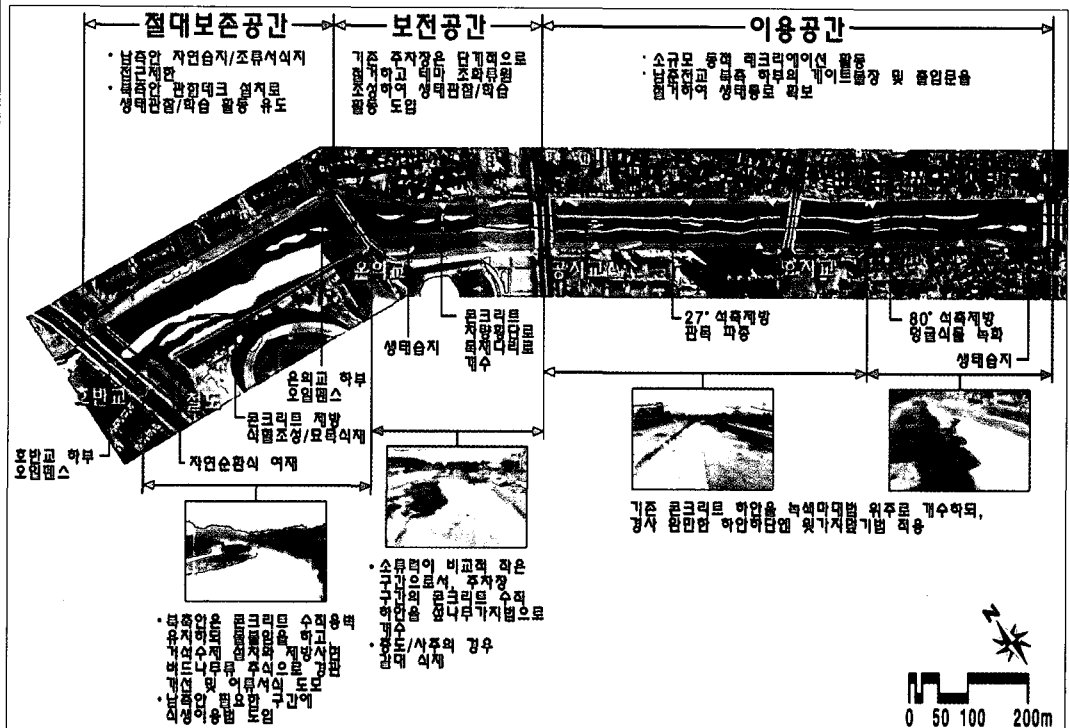
연구대상 하천의 구역을 치수 안정성, 생태적 민감성, 친수성, 공간기능 연계성 등을 감안하여, 절대보존공간, 부분보존공간, 보전공간 및 이용공간의 4개 유형으로 구분함이 바람직하다(그림 4). 절대보존공간은 대형 자연습지가 분포하고 조류가 서식하여 생태적 민감도가 높아, 사람의 접근과 간섭을 배제할 필요가 있는 하류 온의교~호반교 구간에 해당한다. 부분보존공간은 현재 접근성이 불량한 상류 거두교~석사교 구간으로서, 둔치폭이 상대적으로 협소하여 이용시 생물서식을 방해하거나 나지화에 따른 침식이 우려되므로, 별도의 접근시설 설치를 회피하고 일부 구간 내 산책 및 관찰활동만을 허용한다. 보전공간은 정적 친수활동을 허용하는 구간이며 절대보존공간과 이용공간 중간의 완충기능도 부여한다. 이용공간은 종류의 남춘천교~공지교 구간으로서 수변 일부에 소극적 레크리에이션 활동을 도입한다. 이 구간은 접근성이 양호하고 기존 이용으로 나지가 분포하며, 제내지의 경우 근린공원이 부족한 도심의 주거밀집구역이다.

2) 저수로 자연형 하안공법

기존의 콘크리트 저수로 하안은 자연형 공법으로 개수하되, 허용 소류력(건설부, 1994b) 및 유속과 하안의



a: 거두교~남춘천교 구간



b: 남춘천교~호반교 구간

그림 4. 공지천의 친자연적 계획전략

- 범례: 고수부지 습지 중도 덩굴식물 녹화 관목파종 계단
- 저수로 사주 여울/소 식혈조성/묘목식재 징검다리 램프

유실 여부 흔적에 근거하여 적절한 공법을 선정한다. 하안 구간별 소류력은 상류의 거두교~남춘천교에서 최대 13.3kg/m², 중류의 남춘천교~온의교에서 4.7kg/m², 하류의 온의교~호반교에서 2.3kg/m²이었다. 소류력이 크고 유속이 비교적 빠른 상류구간과 수중부에는 각각 자연석쌓기법과 돌망태공법을 적용한다. 중류에는 녹색마대법을 위주로 하되 경사 완만한 구간엔 잇가지덮기법을 혼용하고, 하류에는 쉼나무가지법을 비롯하여 방파목책 및 식생이용법을 도입한다.

3) 수질 자연정화시설

생물서식, 경관 및 친수성을 동시에 만족시킬 목표수질과 목표유량을 설정하되, 목표수질은 현 수질상태를 반영하여 단기적으로는 하천 수질환경기준 II등급을, 장기적으로는 I등급을 추구함이 바람직하다. 정화식물의 하안식재를 비롯하여 비용 저렴한 시설로서 생태습지, 여울 및 소, 폭기낙차공, 사주, 중도, 사행저수로, 끈상여재 돌망태, 오일펜스 등을 설치하여 자정작용을 촉진한다. 생태습지는 특히 하수 유입부에 조성하여 호소 수질환경기준을 초과하여 유동하는 T-P, T-N 농도를 제어할 필요가 있다. 오일펜스는 의암호의 배수영향으로 갈수기에 역류하는 부유물질을 차단하도록 하류의 온의교~호반교 구간에 설치한다. 아울러, 공지천의 주요 오염원인 유역권 내 생활하수의 전량차집, 분류식 하수관거 도입, 하수종말처리장 방류수질기준 강화 및 고도처리 등 하천수질오염의 원천적 제어가 요구된다.

4) 생물서식공간

자연형 하안조성을 비롯하여 여울 및 소 도입, 사행천과 중도 확보, 나무틀 식생어소 및 거석수제 설치, 낙차공 경사어도 유치 등을 통해 저수로의 어류와 저서동물 서식조건을 개선한다. 특히, 공지천의 하상에는 모래가 우점하므로 거석과 자갈을 도입하여 수생동물의 서식기회를 확충함이 바람직하다. 둔치와 제방에는 하류 구간의 콘크리트 주차장 철거 및 습지조성과 더불어 곤충, 조류 등을 유인할 자생식물 위주의 초화류 및 식이수종 서식을 증진한다. 자연발생적인 사주, 중도, 소규모 자연습지 등을 보전하고 환경구배에 따른 다양한 식물종의 자생기반을 조성할 필요가 있다. 그리고, 하

안 및 둔치에 일정 폭 이상의 식생대를 확보하여 도심과 자연을 연결하는 춘천시 주요 생태통로로서의 역할을 도모한다.

5) 수변 레크리에이션 및 동선

수변 레크리에이션은 생태관찰 및 학습, 산책 및 경관감상, 휴식 등의 정적 활동 위주로 유치하여 시민의 친수기회를 제공한다. 하천생태와 수질의 보전차원에서 수상 레크리에이션을 배제하고 동적 활동 및 시설은 소규모로 제한하되, 홍수 피해나 유수 방해를 감안하여 가반식 또는 평면적 시설을 도입할 필요가 있다. 동선은 최소폭의 산책로와 자전거 도로 유치에 국한하되, 하류구간의 자연습지 및 조류 서식지를 포함하는 절대보존공간에는 보행동선도 배제한다. 자전거 도로는 보전 및 이용공간의 일부 구간에 도입하고, 차량 접근은 홍수시 시설물 이동 등 비상시에만 허용한다.

IV. 결론

본 연구는 춘천시의 주요 도시하천인 공지천을 대상으로 생태환경을 조사 분석하고, 수질 자정, 생물 다양성 증진 및 친수기회 확보를 강조하는 친자연적 하천계획 전략을 제안하였다. 하천 중류구간의 저수로는 콘크리트 직강하안으로서 생물서식 기회를 제한하고 자연성을 저해하였다. 상류의 콘크리트 낙차공은 홍수 시 월류로 양측 고수부지의 침식 및 나지를 유발하고, 어도 부재로 어류 이동을 제한하였다. 중류 일부 구간의 고수부지에서는 차량통행으로 나지가 발생하고 콘크리트 주차장으로 인해 식생유입 및 생장을 차단하였다. 빈번한 주차 및 통행에 따른 주민의 접근은 조류서식도 방해한 것으로 나타났다. 한편, 하류에는 저수로 폭의 약 1/2에 걸쳐 자연퇴적습지가 형성되어, 양호한 습생식물 경관을 형성하고 조류의 출현빈도도 높았다. 수질은 BOD 농도에 근거하면 대체로 하천 수질환경기준 II~III등급이나, 생활하수 유입부에서는 완벽하지 못한 하수차집시설로 인해 특히 갈수기에 수질오염이 현저하였다. 어류의 우점종은 수질이 비교적 양호한 하천에서 서식하나 유기물 오염 및 환경 변화에 대한 내성이 강한 것들이었다.

하천환경의 분석결과를 바탕으로, 하천 공간정비 및 배치를 절대보존공간, 부분보존공간, 보전공간, 이용공간 등 4개 유형으로 구분하고, 저수로 자연형 하안공법, 수질 자연정화시설, 생물서식공간, 수변 레크리에이션 및 동선 등을 위주로 계획전략을 수립하였다. 본 계획 전략은 자연적으로 형성된 저수로 미지형 및 생물서식 공간의 인위적 변형을 최소화하고, 세굴, 퇴적 등 현 하상구조의 흔적을 반영하는 접근방법으로, 하천 자연성 회복과 하도의 수리적 안정성을 동시에 추구하였다. 또한, 고비용의 인위적 수질정화시설이나 동적 레크리에이션 시설의 도입을 가급적 배제하고, 자연적 수질정화 기법을 적용하면서 생물서식과 생태환경 보전을 강조하여 기존 하천 정비와의 차별성을 부여하였다. 하천환경의 주 영향인자는 홍수로서 예기치 못한 침식 및 하상변화로 치수적 안전성, 생태적 기능성 등에 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 향후 지속적인 모니터링을 통해 본 연구단계에서 예측하지 못한 자연형 하안공법, 수질 자정시설, 생물 서식공간 등의 지침을 보완할 필요가 있다. 본 연구결과는 대상 하천의 자정능력을 향상시켜 수질을 개선하고, 도심과 자연을 연결하는 춘천시 주요 생태통로의 기능을 확보하는데 일조할 것으로 기대한다.

인용문헌

1. 강원지역환경기술개발센터(2001) 오염총량제 실시에 대비한 춘천시 수질관리 방안.
2. 건설교통부(1995) 도시하천의 하천환경 정비기법의 개발.
3. 건설부(1991) 하천환경관리 기본 조사·연구 보고서.
4. 건설부(1992) 하천환경 정비기법 개발 기초 조사·연구. 하천환경 관리기법 개발 연구·조사 보고서.
5. 건설부(1993a) 하도환경정비 기초 조사·연구. 하천환경 관리 기법 개발 연구·조사 보고서.
6. 건설부(1993b) 하천시설기준.
7. 건설부(1994a) 자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사·연구. 하천환경 관리 기법 개발 연구·조사 보고서.
8. 건설부(1994b). 하천공사 표준시방서.
9. 농촌진흥청(1988) 토양화학분석법.
10. 서울특별시(1994) 우이천 환경정비 기본 및 실시설계 기본계획 보고서.
11. 서울특별시(1995a) 중랑천수계 고수부지 시민휴식공간 조성 기본 및 실시설계 보고서.
12. 서울특별시(1995b) 탄천수계 둔치 시민휴식공간 조성 기본 및 실시설계.
13. 서울특별시(1995c) 홍제천수계 고수부지 시민휴식공간 조성 기본 및 실시설계 보고서.
14. 서초구(1995) 양재천 종합정비 기본 및 실시설계 보고서.
15. 수원시(1995) 수원천 정비 기본계획.
16. 이미정, 이선, 지윤의, 김효정, 송호경(2002) 남한강 상류 평장군 일대의 하천변 식생. 환경생물학회지 20(1): 55-65.
17. 정진현, 구교상, 이충화, 김춘식(2002) 우리나라 산림토양의 지역별 이화학적 특성. 한국임학회지 91(6): 694-700.
18. 조용현(1997) 생태적 복원을 위한 증소하천 자연도 평가방법 개발. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
19. 조현길, 허린, 최승익, 박정호, 한갑수, 최재석, 이준석(2004) 공지천의 자연친화형 하천조성모니터링 연구. 강원지역환경 기술개발센터.
20. 춘천시(1992) 공지천·퇴계천 하천 정비기본계획.
21. 허봉구, 임상규, 김유학, 이계엽(1997) 우리나라 논도양 유형별 이화학적 특성. 한국토양비료학회지 30(1): 62-66.
22. 환경부(1997a) 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발. 제2단계 1차년도 연차보고서 제1, 2권.
23. 환경부(1997b) 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발. 제2차년도 연차보고서 제1, 2권.
24. 환경부(1999) 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발. 제3차년도 연차보고서 제1, 2권.
25. 환경부(2002) 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발.
26. 리버프론트整備センター(1990) まちと水辺に豊かな自然を-多自然型建設工法の理念と實際. 東京: 山海堂.
27. 리버프론트整備センター(1992) まちと水辺に豊かな自然をII-多自然型川づくりを考える. 東京: 山海堂.
28. FISRWG(2001) Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices, US Federal Interagency Stream Restoration Working Group. ISBN-0-934213-59-3.
29. Gold, A. J. and D. Q. Kellogg(1997) Modelling internal processes of riparian buffer zones. In N. E. Haycock, T. P. Burt, K. W. T. Goulding, and G. Pinay, eds., Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection. Harpenden, UK: Quest Environmental. pp. 192-207.