

침수방틀을 이용한 자연형 하천의 수충부 녹화공법 개발

문석기¹⁾ · 이은엽¹⁾ · 한성식²⁾ · 이기준²⁾

¹⁾ 청주대학교 환경조경학과 · ²⁾ 한림에코텍(주)

Development of Revegetation Technique for Water Attacking Point Using Waterlogged Prevention Frame Revetment

Seok Ki Moon¹⁾, Eun Yeob Lee¹⁾, Sung Sik Han²⁾ and Ki Joon Lee²⁾

¹⁾ Dept. of Landscape Architecture, Chongju University, ²⁾ Han Lim Eco-Tech Co.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of revegetation technique for water attacking point using waterlogged prevention frame revetment. In this study, we evaluate frame revetment stability, water quality, plant growth and ecological and environmental changes in Mooshim streamside landscape. The results are as follows;

1) The waterlogged prevention frame revetment appeared to be stable despite of two big floods. The materials used for the revetment were not eroded on the water attacking point. Thus, we confirmed the effect of scour prevention of the frame work.

2) The effects of the frame revetment on the water quality appeared to be good for the surrounding environment. Dissolved Oxygen(DO) was higher about 0.4~0.6mg/ℓ at the frame revetment than that of the main stream flow. pH value was lower about 0.4~0.5. Electric Conductivity(EC) showed lower about 0.8~1.1μs/cm. at submersion prevent frame than the low-flow of the stream. Turbidity was lower about 0.6~1.2mg/ℓ.

3) As the effects on ecological and environmental conditions, we discovered a number of *carassius auratus* and *Zacco platypus* in the frame revetment area. Also, *sympetrum balteata*, *coenagrionidae* was observed frequently.

4) The plant growth did not appear to tumble or wither despite of two big floods. The visual rating of plant growth was evaluated as medium (around 5 point)

5) The landscape analysis derived four factors(i.e. the harmony, the variation, the flexibility and the provincial characteristics) from the factor analysis.

Key words : *waterlogged prevention frame revetment, revegetation technique, stream water quality, plant growth, landscape analysis, ecological and environmental characteristics*

I. 서 론

1. 연구(개발)의 배경

우리나라의 하천정비는 경제적 개발위주의 정비사업에 치중하여 치수 및 이수 기능 위주로 이루어져 하천의 환경·생태적인 측면이 부각되지 못하였다.

따라서 현재의 하천은 많은 문제점을 드러낸 채 단순히 하수방류로, 우수소통로의 기능 외에는 도시하천 본래의 역할을 수행하지 못하였다.

다행히, 최근들어 도시생태환경의 악화, 주민의 삶의 질 향상요구 정도가 크게 부각됨에 따라 생태환경의 복원 및 재생에 관심을 두고 있으며, 특히 도시생활에서 수변 환경의 가장 큰 부분을 차지한다고 볼 수 있는 도시하천에서도 독일, 스위스, 영국, 일본과 같은 외국의 자연형 하천공법들을 응용하여 국내에 적용하고 있다. 또한 최근 환경부의 지원으로 발전된 공법개발을 위한 실험연구가 활발하게 추진되고 있다 (한국건설기술연구원, 1998).

그러나 우리나라는 연강우량의 2/3 이상이 여름철에 집중되고 있을 뿐 아니라, 태풍 또는 국지적인 호우로 인해 짧은 기간에 강우가 집중적으로 내려 피해를 가중시키고 있다 이로 인해 중, 소 하천의 유량은 시간적으로 매우 빠르게 변화하며 유속 또한 급속히 빨라져 하상의 변형이 순식간에 일어나는 호우특성과 지형특성을 가지고 있어 세굴에 의한 피해가 많이 발생되고 있다. 따라서 외국에서 적용된 공법들을 그대로 국내에 응용·적용시키는 데는 다소의 무리가 따를 수 있다.

특히, 하천구조중 물이 흐르고 다양한 수중·수변 동식물이 서식하여 풍부한 종 다양성이 형성되는 저수로 및 육역과 수역의 연결부로서 추이대(ecotone) 역할을 하는 하천저수로 호안구간은 생태환경측면에서 매우 중요한 공간이다. 그러나 이러한 제반 특성이 하천 정비시 전혀 고려되지 않거나 콘크리트 등의 인공구조물에 의해 획일적으로 조성되어지고 있어 생태환경측면에서 문제를 발생시킬 소지가 있

다.

현재 생태적 측면을 고려해서 국내에 적용되고 있는 하천 저수로 호안공법들은 식물재료를 이용한 식생호안공법이 주로 적용되었으며, 여기에 안정성 보강을 위해 천연섬유를 보조재로 사용하기도 하였다. 이들 공법은 식물이 활착된 후에는 어느 정도 내구성이 증대되어 하천 생태계 재생에도 유리하나 우리 나라의 강우특성을 고려해 볼 때 침식에 대한 저항성의 한계가 있으며, 기존 저수호안을 그대로 사용할 수 없다는 단점이 있다. 반면 돌을 재료로 한 자연석쌓기 공법은 시공이 양호하고 외관적으로 자연형경관을 제공하나, 돌자체가 무생명재료라는 점, 돌 사이로 세굴현상이 발생하고 부분적인 식생도입으로 생태복원이 어려운 단점을 지닌다. 또한 돌망태공법은 침식방지측면에서의 안정성은 기대되나 철제망속에 돌을 넣어 철제가 가지는 소재의 자연성 결여와 식생활착이 어렵고, 하부토사 세굴에 불리하며 내부공극이 적어 어류 등 생물종의 서식환경으로 부적합한 점을 지니고 있다. 이러한 단점을 보완하고자 최근에 통나무를 사용한 통나무상자공법이 개발되었는데, 일체성으로 시공이 용이하며 중력식으로 구조적인 안정성도 기대되나 중압감으로 경관의 훼손과 호안등 경사면 적용의 어려움, 그리고 궁극적으로 식생활착이 어려운 단점을 가지고 있다.

이러한 문제점 등을 고려해 볼 때 우리하천이 지닌 시간적, 공간적인 호우특성과 지형특성을 고려하고 최근의 환경정책 수립과정에서 추구하고 있는 ‘환경적으로 건전하며 지속가능한 개발(ESSD)’에도 부합되기 위해서는 구조적 안정성을 전제로 하여 생태환경측면, 수질정화효과, 경관성 그리고 한국적 정서에 맞는 향토성에 초점을 맞춘 자연하천의 수충부에 대한 녹화공법 개발이 요구된다.

2. 연구(개발)의 목적

본 공법은 하천저수로 호안의 생태적 복원 및 재생 측면에서 다양한 공법 및 소재 개발의 필요성에 따라 침식에 대한 안정성과 수충부가

가지는 생태적 중요성에 주안점을 두었으며, 구체적인 개발 목적은 다음과 같다. 1) 자연재료를 사용하여 환경친화적인 하천의 저수로 호안공법을 개발하며, 2) 유속완화 및 세굴방지 효과와, 3) 식재를 도입하여 인공적인 하천경관을 개선시키고, 4) 어소의 기능을 도입하여 물고기들의 서식처 및 산란처 역할을 제공하며, 5) 역간접축 산화원리에 의한 수질정화 효과와, 6) 친수공간(낙시터의 기능) 등을 제공할 목적으로 개발하였다.

이러한 개발 목적에 따른 시공성과를 파악하고자 본 연구는 침수방틀의 현장적용 사례 연구를 통해 하천의 안정성(세굴방지효과), 수질정화효과, 생태환경측면, 식물생육(녹화효과), 경관평가 등의 모니터링 평가를 수행하여 본 공법의 적용효과를 파악하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구사

지금까지 도시하천에 대한 연구는 치수와 이수 같은 기능적 측면과 경관, 수질 등에 대한 것이 대부분이었다. 김대현·김대수(1999)는 대전광역시의 3대 하천인 갑천, 유등천, 대전천을 대상으로 한 경관의 시각적 선호 이미지와 영향요인의 연구를 통해 도시소하천 경관의 창출 및 복원시 경관의 청결성에 유념해 하안구조물 등을 조성해야 한다고 했으며, 하천의 시각적 평가와 관련된 하천경관에 대한 연구 등도 다수 수행되었다(변문기, 1986; 하성한, 1990; 김용수 외 2인, 1998, 김성근 등, 1999).

그러나 1992년 리우환경회의 이후 ‘환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발’의 개념이 강조되었고, 이때부터 선진국의 생태적 복원 기법, 자연형하천 정비이론이 소개되기 시작했다(안근영·이은희, 2000). 이에 따라 국내에서도 그동안의 획일적인 하천개수 계획의 문제점이 부각되면서 무분별한 하천개발에서 벗어나 하안의 식생도입 등을 통해 하천의 생태계를 복원하고 친환경적인 생태공간을 조성하고자 하는 노력들이 진행되고 있다(건설교통부, 1995; 건설교통부, 1996; 우효섭과 유권규, 1996; 우효

섭, 1997). 환경부(1997)에서 국내 하천정비의 현황과 문제점을 분석하고 국내외 하천환경평가 기법과 공법사례를 검토해 자연형 하천공법 자료를 제작, 국내 중소하천에 적용, 하천 환경평가기법을 개발하였다. 건설교통부(1999)에서도 ‘하천공사 표준시방서’에서 자연형 하천공사의 항목을 새롭게 추가시켜 다양한 자연재료와 식생의 도입을 유도하는 등 정부 부처에서도 자연형 하천 및 생태하천 조성기법에 대한 관심을 기울이고 있다.

조용현(1997)은 생태적 복원을 위한 중소하천의 자연도 평가방법을 개발하였으며, 자연형 하천정비의 필요성에 대해 역설하여 하천환경의 방침 및 기본방향에 대해 연구하였고(임충수, 1996), 건설교통부(1996)와 정동양(1996)은 유럽 등지의 근자연형 하천정비계획을 연구하였으며, 일본의 다자연형 하천정비계획을 검토해 자연형의 하천정비 방안에 대해 소개하기도 하였다(이삼희, 1996; 우효섭·유권규, 1996; 건설교통부, 1996; 이원희 등, 1996).

박종화(1996)는 하천생태계의 구조와 하천식생대의 기능을 연구한 바 있으며, 도시하천을 자연형하천으로 복원시키기 위한 식생 및 식생공법도입과 관련한 연구(건설교통부, 1996; 서영기술단 부설연구소, 1996, 이원희, 1996, 정대영·심상렬, 1999, 최규창·김남춘, 1999, 전승훈 외 2인, 1999)가 진행되었다. 안근영·이은희(2000)도 중랑천을 연구대상지로 선정해 자연형 하천 생태계를 위한 식생개선 방안에 대한 연구를 수행한 바 있다.

김혜주(1998)는 자연형 하천에서 도입 가능한 호안공법의 원리와 적용상의 문제점을 독일의 사례를 들어 구체적으로 제시하기도 하였으며, 심우경·백경중(2000)은 정평천의 사례 연구를 통해 저수로 호안의 친환경적 조성기법에 대한 연구를 수행하였다.

하천환경의 생태적 재생을 목적으로 양재천 학여울구간에 자연형 저수로 호안공법 10가지를 개발, 시험적용한 뒤 1년간의 식생복원 모니터링을 통해 생태적 대안을 제시했으며(최정권, 1999) 김혜주(1998)는 그간 우리나라에 적

용되어온 자연형 호안공법 사례를 통해 자연형 호안 공법 적용상의 문제점을 지적하기도 하였다.

김혜주·김두하(2000)는 자연형 하천조성에서의 식물체의 도입을 통한 생물공학적 공법으로 하안보호 및 자연적인 하안식생대를 빠르게 조성하는 방안에 대한 연구를 수행하였고 자연재료, 특히 식물을 이용한 하천호안 보호공법에 대해서도 기술하였으며(최병곤, 2000), 갈대를 이용한 하천의 식생복원 공법으로 자연하천의 생태계 재생효과에 대해서 광주 극락강을 사례로 한 시공효과도 검토된 바 있다(이한승, 2000).

한편, 자연형 하천공법의 개발, 적용 및 평가를 위해 양재천을 대상으로 시범 적용한 사례 연구도 진행되었다(이두한 외 4인, 1998).

이상과 같이 도시하천과 관련된 기존의 연구들을 검토해 본 결과 대부분 외국의 자연형하천조성에 대한 소개와 하천경관 및 하천의 자연도평가를 위한 연구들이 수행되었으며, 자연형하천에 대한 하천조성공법들에 대한 연구도 상당부분 진행되고 있다.

특히 앞서서도 언급되었듯이 도시하천부 중 저수 호안부는 수역과 육역이 교류하는 수충부 지역으로 생태계의 종 다양성이 매우 풍부한 지역이고 서식처로서도 중요한 측면을 지니고 있다. 이러한 중요성에도 불구하고 1991년 이후 하천저수로 호안의 친환경적인 조성방안에 대한 연구는 매우 부족한 실정에 있다(심우경·백경중, 2000). 따라서 하천저수로 호안의 생태적복원 및 재생 측면에서 다양한 공법 및 소재 개발이 절실한 것을 알 수 있었으며, 우리나라의 강우특성상 하천저수로의 호안부는 홍수시에는 침수에 대한 안정성이 요구되고 동시에 수충부가 가지는 생태적 중요성도 강조되는바 이들 모두를 고려한 하천저수로 호안공법 및 재료의 개발이 필요하다는 것을 알 수 있었다.

III. 연구방법

본 공법은 청주시 소재의 무심천 약 170m구

간에 걸쳐 시험 시공되었으며, 우리나라의 자연적 특성에 맞는 하천조성공법과 기술에 대한 다양한 측면에서의 연구가 진행될 필요가 있다는 차원에서 공법적 측면(안정성), 수질, 생태적 측면, 도입식생 측면, 경관적 측면에서 시공효과를 검토하였다. 침수방틀의 현장적용 성과평가를 위한 모니터링을 3차례 실시하였다(1차 : 8월 21일~22일, 2차 : 9월 20일, 3차 : 10월 3일).

1. 안정성 평가

우리나라 하천의 지형적 특성을 고려해 볼 때 우선적으로 구조적인 안정성이 요구되는 바, 주로 세굴방지효과에 중점을 두어 조사·평가하였다. 침수방틀의 경우 유수 방향에 대해 도입부는 물의 흐름을 방해하므로 다른 지점에 비해 유수의 물리적인 힘에 의한 세굴압력이 가중되는 등 놓여진 부분에 따라 세굴정도가 다를 것이라는 가정하에 측정지점을 시작부(10개 지점)와 중간지점(20개 지점), 종단부분(10개 지점) 등 세 부분으로 구획하여 총 20개 지점을 고정구로 정한 뒤 3차례에 걸쳐 3반복씩 세굴 깊이를 조사하였다. 이때 세굴 깊이는 표척과 자를 이용해 현장 측정하였다.

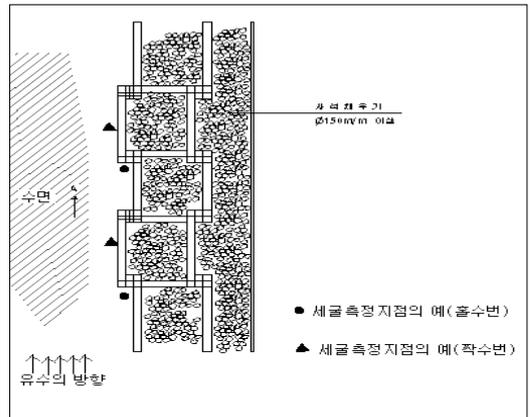


그림 1. 세굴측정지점의 예

2. 수질평가

침수방틀은 구조물내에 사석채움 또는 정수 식물을 식재하여 수로를 통과하는 물이 자연정

화 될 수 있는 공법이므로 침수방틀 설치구간과 주변의 저수로를 대상으로 수질을 비교분석하였다. 비교분석항목은 선행연구결과들을 참고하여 수질평가인자라 판단되는 이화학적 분석항목중 용존산소량(DO), pH, 전기전도도(EC), 탁도 등 4개 항목으로 한정하였다. 수질측정은 현장에서 다항목수질측정기(WQC-22A)로 직접 측정하였다. 수질측정은 3회(1차 : 8월, 2차 : 9월, 3차 : 10월)에 걸쳐 진행되었으며, 저수로의 수질측정은 침수방틀로부터 2m 떨어진 곳을 대상으로 유로의 방향에 대해 수심 20cm되는 4개 지점을 3회씩 측정하고 평균하였다. 또한 침수방틀 설치구간 역시 4지점을 3회씩 측정하고 평균하였는데 침수방틀 설치구간을 통과하는 물의 수질을 측정하기 위해 구조물내에 채워진 사석을 들어내고 측정하였다.

3. 생태환경평가

본 공법의 하천변 비오톱(biotope)조성 가능성을 조사하고 생물상 복원의 기능을 살펴보고자 주로 어소기능의 파악을 위한 담수어류 및 양서, 수서곤충상 조사에 중점을 두었다. 이때 담수어류는 담수어류 채집망(투망, 족대) 등을 이용해 직접 채집하고 채집된 표본을 100% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반한 다음에 동정, 분류하였다. 또한 수서곤충상은 곤충망을 이용한 채집을 통해 동정하는 방법을 주로 사용하였으며, 채집된 종은 동정하고 검색표 및 곤충도감 등을 이용하여(김익수·강인중, 1993; 윤일병, 1988) 그 종과 개체수 등을 파악하였다.

4. 식물의 생육특성 및 가시적 품질평가

식물의 생육특성은 수고와 가시적 품질평가 위주로 조사하였으며, 동시에 유실 및 전도된 식물의 개체수도 파악하였다. 수고는 퇴적 등에 의해 높이의 변동이 일어나므로 식물의 가지가 분기되는 일정분기점을 표시해 놓고 이로부터의 성장량을 측정하였다.

또한 가시적 품질평가(visual rating)의 측정은 가장 좋은 생육상태를 9점, 가장 나쁜 생육상

태를 보이면 1점으로 하여 1~9점까지의 점수로 조사하였다.

5. 경관평가

시험시공된 침수방틀에서 지각되는 경관이미지를 평가하고자 경관사진 촬영지점을 고정구로 정해놓고 슬라이드 필름으로 촬영하여 경관평가 슬라이드를 준비하였다.

기존 하천경관의 시각적 선호요인 분석을 위해 많이 이용되었던 경관형용사를 참고하여, 7점 척도로 구성된 어의 구별척도로 구성된 설문지로 평가하였다. 경관평가자는 청주대학교 이공대학 환경조경학과 3학년생 40명이며, 실험실에서 경관평가시, 현장감을 높이기 위해 일반인의 상·하, 좌·우 시각을 참고하여 슬라이드 화면의 가로 : 세로비를 1 : 1.6(60도 : 100도) 비로 조정하고, 평가거리는 삼각함수 공식에 의해 계산하였다(김대현·김대수, 1999).

그리고 평가된 점수의 분석방법은 퍼스널 컴퓨터의 통계 패키지 SPSS/PC+를 사용하여 평균분석과 요인분석, 회귀분석의 통계처리를 실시하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 공법적용구간의 특성

현장시공은 2000년 6월 1일부터 동년 7월 20일까지 청주시의 대표적 도시하천인 청주시 상당구 영운동 무심천 지내에 현장시공하였다.

본 시험적용구간은 도시생활하수에 의한 영향을 많이 받고 있으며 평상시의 평균수심은 50~100cm, 유로폭은 평균 10~15m이고, 주변은 시가지가 인접해 있으며(금천동,모충동 등) 공법적용구간은 콘크리트 하상도로가 수역에 접하여 조성되어 있다. 따라서 거의 수변식물과 수초가 수중부 근처에서 생육하지 못하고 있으며, 하상은 주로 자갈, 모래, 흙, 호박돌이 2 : 4 : 3 : 1의 구성비율로 구성되어 있으며 유속이 느린 여울을 나타낸다.

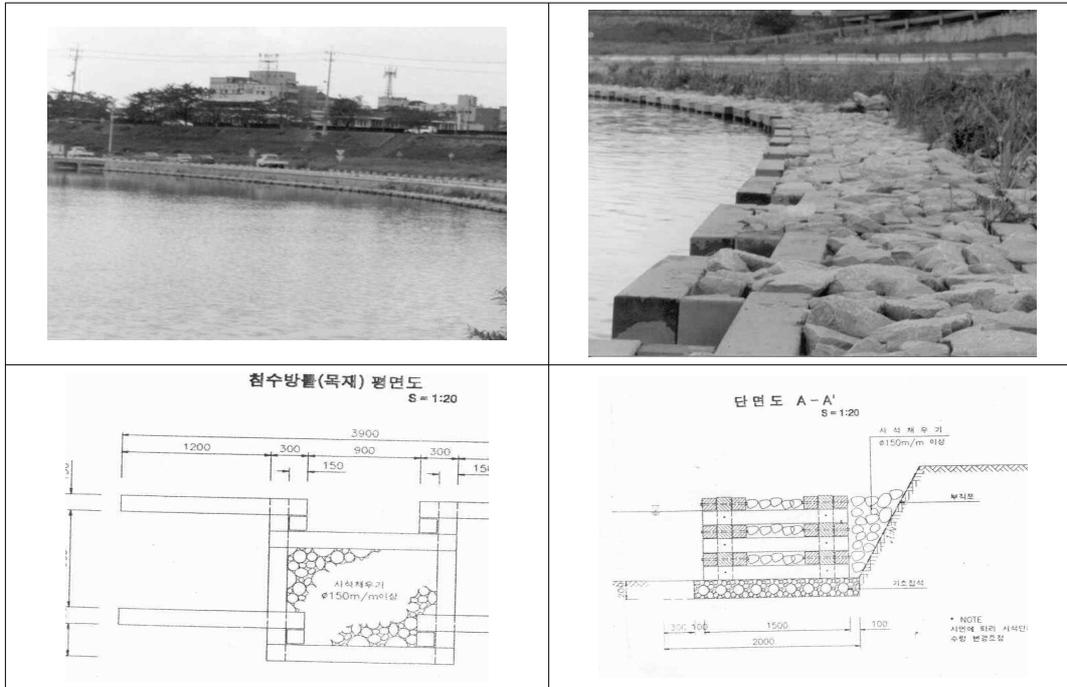


그림 2. 침수방틀 설치구간의 상세도 및 시공현황

2. 안정성평가

우리나라 하천의 지형적 특성을 고려해 볼 때 우선적으로 하천 호안 시공법의 구조적인 안정성이 중요하다는 판단하에 안정성과 관련된 침식방지효과 즉, 세굴방지효과를 3차례에 걸쳐 측정된 결과는 다음과 같다(그림 3 참조). 측정결과 침수방틀의 시작부(spot 1)는 다른 지점에 비해 상대적으로 물살이 급한 것이 관찰되어 다른 지점에 비해 상대적으로 유수에 대한 물리적인 힘이 가중된 것을 알 수 있다. 이같은 이유는 유수의 방향에 대해 침수방틀 도입부는 횡단으로 구조물이 설치되어 있으므로 유속의 흐름을 방해하고 있기 때문으로 생각된다.

침수방틀내에 채워진 사석의 경우 일부 들어 올려진 경우는 발생했어도 전동, 부류 등의 현상은 나타나지 않았다.

결국, 모니터링 기간 동안 침수방틀내에 채워진 사석과 목재 등이 유실 및 훼손되지 않아 두차례의 홍수(최고 유속 2.5m/sec 이상)에도 불구하고 호안부에서 수리적인 안정성에 문제가 발생되지 않았다.

따라서 호우에 의해 최고유속이 2.5m/sec 이상이 되어도 침수방틀내에 설치된 사석의 지름이 25cm 이상 확보될 경우 소류력에 대한 자중력이 확보되어 수리적인 안정성이 어느 정도 확보됨을 알 수 있었다.

특히, 2차 측정시기인 9월 20일은 두차례의 집중호우가 있던 다음인데 8월 24~27일까지의 강우량은 총 215.4mm정도이었고, 9월 13~16일까지는 총 199.6mm정도였으며, 대략 최대유속은 2.7m/s 이상으로 나타났다.

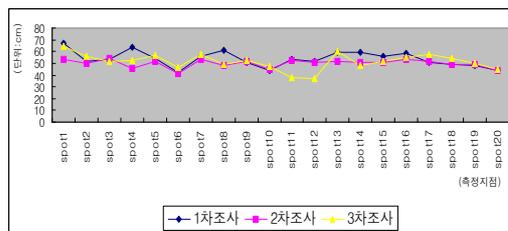


그림 3. 무심천변 침수방틀 설치구간의 세굴심측정결과 (단위 : cm)
(세굴심은 침수방틀상단부로부터 저수로 바닥까지의 높이를 측정한 값임)

따라서 비교적 높은 유속과 수압을 받았을 것으로 판단되나 침수방틀 설치구간의 경우 침수방틀 도입부와 오·우수관거 주변에서만 일부 세굴이 발생했을 뿐 침수방틀 호안 자체의 침식 및 재료훼손에 따른 문제가 발생되지 않았다. 두 번의 집중강우 후에도 세굴피해 및 재료의 훼손(사석의 이탈 등-들려진 경우는 있었으나 전동, 부류 등은 발생되지 않았음)등이 일어나지 않은 점에 비추어 볼 때 세굴에 대한 침수방틀의 안정성 효과를 확인할 수 있었다.

특히, 침수방틀 설치주변에 폭 1m정도로 사석을 저수로 바닥에 깔아 놓아 세굴방지 효과가 가증된 것으로 보여진다.

따라서 침수방틀 등 수충부 호안공법 적용시 침식을 방지하기 위해서 주변에 사석 등을 저수로 바닥에 설치해 줌으로써 호안구조물 자체의 침식을 상당부분 완화시켜 줄 수 있을 것으로 생각된다.

3차 세굴측정결과 2차때보다는 거의 전조사구간에서 세굴깊이가 줄어 들고 있는데 이는 2차 조사가 끝난 시점부터 3차 조사때까지 별다른 강우가 없어 물의 물리적인 압력 등의 증가가 발생되지 않아 세굴 보다는 모래, 흙 등의 퇴적이 진행된 것으로 볼 수 있다.

본 시험 적용구간인 무심천변의 침수방틀 설치구간은 저수로의 외측이어서 주로 침식이 일어나는 구간이므로 안정성 측면이 무엇보다도 중요하다고 판단되나 3차례에 걸친 조사기간동안 세굴피해 및 재료의 훼손 등이 발생되지 않아 어느 정도 치수적인 측면에서 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

따라서 현재로서는 침식(세굴)에 대한 안정성 측면에서 비교적 성공적이라 평가할 수 있으나 보다 객관적인 공법적용효과를 판단하기 위해서는 이후 지속적인 모니터링이 필요하겠

3. 수질분석

본 공법은 침수방틀내에 사석을 채움으로써 형성되는 공극을 통과하는 물이 역간접축 산화원리에 의해 수질정화 효과를 도모할 수 있으며

로 침수방틀설치구간과 주변의 하천수를 대상으로 이화학적 특성을 비교·분석하였다(표 1 참조).

표 1. 침수방틀 설치구간과 저수로구간의 수질비교

측정항목	1차(8월)		2차(9월)		3차(10월)	
	저수로	침수방틀	저수로	침수방틀	저수로	침수방틀
DO (mg/ℓ)	7.8	8.2	8.7	9.2	8.3	8.9
pH	7.8	7.3	7.3	6.9	7.6	7.2
EC (μs/cm)	28.5	27.4	27.6	26.8	25.7	24.7
탁도 (mg/ℓ)	9.8	9.1	7.2	6.0	6.8	6.2

역간접축산화법은 주로 BOD, SS의 제거를 목적으로 하기 때문에 사석 등에 부착된 미생물이 유수중의 오염물질을 산화, 분해하여 유수를 정화하는 자정 작용효과를 측정하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 본 공법의 적용구간은 하천의 유수로에 설치되어 미생물의 오염물질을 산화분해하는 정도를 측정하고 객관화시키는데 다소 어려움이 있어 일반적으로 수질을 측정할 때 사용하는 이화학적 수질 평가 항목중 DO, pH, EC, 탁도 등으로 한정하였다.

측정결과 평가 전항목에 있어 저수로의 하천수 보다는 침수방틀내의 수질이 양호한 것을 확인할 수 있었다. 먼저, 물의 오염강도를 평가하는 지표중의 하나인 DO의 경우 측정대상구간 모두 3차측정시(10월) 가장 높았고, 2차측정(9월)때가 가장 낮은 수치를 보였다. 대체적으로 저수로 보다는 침수방틀구간에서 0.4~0.6mg/ℓ 정도가 높은 것으로 나타났다.

pH는 측정대상지 모두 2차 조사기간에(9월) 가장 낮았는데, 집중 강우가 내린지 얼마되지 않은 시점이라 상대적으로 pH가 낮아진 것으로 판단된다. 이에 비해 1차조사(8월)시에 pH가 가장 높았던 것은 상대적으로 수위가 낮았고 수온은 높았던 것에 그 이유를 찾아볼 수 있다.

pH의 수질비교 결과 역시 침수방틀 설치구

간이 0.4~0.5정도 낮았다.

다음으로 EC는 수질의 오염정도를 신속하게 평가할 수 있는 항목인데, 조사기간별로 EC의 변화추이를 살펴보면 1차(8월)조사시 가장 높았고, 3차조사시(10월)에 가장 낮은 것으로 나타났다. 측정대상간의 오염정도를 비교 분석한 결과 역시 침수방틀 설치구간이 저수로의 하천수 보다 0.8~1.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 정도 낮게 나타났다. 따라서 전기전도도의 증가는 수질오염의 지표라는 선행연구결과(박재현, 1999)를 통해 침수방틀 구간의 수질완화 효과를 간접적이거나 확인할 수 있었다.

탁도는 수위가 낮고 수온이 높았던 8월(1차 조사)에 가장 높았으며, 9월, 10월(2, 3차조사)에 상대적으로 낮아지고 있었다. 한편, 탁도 측정결과 역시 0.6~1.2 mg/ℓ 정도 침수방틀 설치구간이 낮게 나타났다.

4. 생태환경평가

생태환경측면에서 살펴보면 침수방틀호안은 사석을 채움으로써 공극이 생기고 이곳에서 어류들 및 수서곤충들이 서식 및 휴식을 취할 수 있어 기존의 하천호안 조성공법에 비해 유리한 어로확보로 어류생태계에 긍정적 환경을 조성할 수 있는 것으로 보여지고 침수방틀을 설치한 구간이 일체화 됨으로써 연결통로가 확보되어 결국 어류생태계 조성에 효과적인 것으로 나타났다.

2차 조사기간인 9월 20일에는 집중강우 등의 영향으로 저수로 수위가 침수방틀 설치구간보다 높았는데 조사당시 침수방틀내에는 많은 개체수의 붕어(8월 : 30개체, 9월 : 55개체, 10월 : 22개체)와 피라미(8월 : 18개체, 9월 : 36개체, 10월 : 25개체) 등이 모여있는 것이 육안 관찰되었다. 다만, 붕어 및 피라미 등 일부 어류만이 유입되고 있었으나 기존의 연구결과 본 대상구간에는 참마자, 모래무지, 끄리 등도 출현하고 있어(손영목, 1997) 이들 어류들의 침수방틀내로의 유입 등에 대해서도 지속적인 모니터링 관찰이 필요할 것으로 생각된다.

특히 침수방틀 설치구간은 강우후 유속 등이

다른 저수구간에 비해 상대적으로 적었는데 이러한 영향으로 높은 개체수의 어류들이 강우기간 동안 침수방틀내에서 생활했던 것으로 판단되어 생태환경측면에서도 긍정적인 요인으로 평가해 볼 수 있었다. 또한 2, 3차조사시 침수방틀과 갯벌 등에 고추잠자리(8개체), 실잠자리(12개체) 등이 배회 및 앉아 있는 것이 자주 육안 관찰되었다.

5. 식물의 생육특성 및 가시적 평가

침수방틀 시공은 침수방틀내에 사석을 설치하고 황마주니머에 흙을 채워 그 안에 수생식물을 식재하여 돌틈사이에 배치하는 공법으로 식물도입에 의한 생태환경 조성차원에서 유리하다. 특히, 건조지 식생 또는 귀화식물 등의 침입으로 인한 하천고유의 식물이 발달할 수 없는 현재의 하천 환경을 개선하는 차원에서도 수생식물들의 도입은 중요한 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

표 2. 침수방틀내에 식재된 식물들의 생육특성

식생명	수 고(cm)					
	1차(8월)		2차(9월)		3차(10월)	
	Mean	Sig.	Mean	Sig.	Mean	Sig.
갯벌들	42.97	.000	47.95	.000	52.35	.000
갈대	29.67	.000	34.4	.022	44.52	.010
줄	37.92	.000	45.35	.001	49.53	.001
꽃창포	34.0	.001	39.32	.000	45.80	.000

아울러, 식물의 활착에 따른 저수호안에 작용하는 외력의 완충효과도 기대할 수 있다.

침수방틀내에 식재된 식물들의 성장상태를 수고를 중심으로 파악해 본 결과(표 2참조), 도입수종 모두 지속적으로 수고성장이 진행되고 있음을 알 수 있다. 특히 1차조사(8월)부터 2차 조사기간(9월) 사이에는 두차례의 집중강우가 있어 하천수가 하상도로까지 범람하였던 시기였다. 이로 인해 저수로의 수위가 상승하여 수생식물들이 침수되고 유속도 증가하였으나 지속적인 식물생장과 유실 및 전도된 개체도 발

생되지 않아 침수방틀이 적용된 구간은 홍수시 식물 등에 안정성을 제공하고 식물생육에도 기여하고 있는 것으로 보인다.

식재된 식물들의 가지적 품질평가 결과, 아직까지는 식생들의 완전한 활착 및 생육 안정 상태를 보인다고 볼 수 없어 중간정도(5점내외)의 평가치를 나타낸 것으로 보인다(표 3참조). 다만, 꽃창포가 다른 식물중에 비해 가지적 품질평가가 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그러나, 집중 강우후 여러 부산물 등이 상류로부터 흘러 내려와 식물 등의 줄기에 붙어 있어 추후 식물의 생장 및 생육에 저해요인으로 작용될 수 있으므로 적절한 관리가 필요하겠다. 또한, 3차조사시 침수방틀호안에서 많은 사람들이 낚시를 하고 있었는데 이들이 낚시대를 고정하기 위해 사석 등을 이동하고 불을 지피 음식을 해 먹는 등 이용과 관리적인 측면에서도 몇 가지 검토할 사항이 노출되었다. 이용자들의 유입에 따른 친수환경 제공 측면에서는 침수방틀에 대한 긍정적인 평가를 내릴 수 있으나 이용에 따른 일부 식물들의 가치가 부러지는 등의 피해가 발생되고 있어 적절한 관리대책이 마련될 필요가 있다.

표 3. 식생별 가지도 품질평가
(one-way anova test-duncan test)

	1차(8월)	2차(9월)	3차(10월)
갯버들	4.6a*	4.4a	4.4a
갈대	4.6a	4.7a	4.5a
줄	4.8a	4.3a	4.2a
꽃창포	6.5b	6.5b	5.0a

* : Mean values with the same letter within columns are not significantly different at p=0.05 level in Duncan's multiple range test.

5. 경관평가

1) 침수방틀의 시각적 선호 이미지에 대한 평균분석

침수방틀의 시각적 선호 이미지에 대한 평균분석결과(표 4) x01(곡선적인-직선적인), x12(부드러운-딱딱한), x10(따뜻한-차가운), x6(동적인-정적

인)의 변수가 5점 이상의 점수를 보였으며 x03(정돈된-혼란스러운), x04(단순한-복잡한), x05(도시적인-향토적인), x08(인공적인-자연적인), x13(개방적인-폐쇄적인), x16(안정성있는-불안정한)의 변수는 3.5미만의 낮은 점수를 나타냈다.

표 4. 시각적 선호 이미지에 대한 평균값

변 수	평균	표준편차
x01(곡선적인-직선적인)	5.7	1.59
x02(깔끔한-지저분한)	4.0	1.83
x03(정돈된-혼란스러운)	3.5	1.72
x04(단순한-복잡한)	3.4	1.47
x05(도시적인-향토적인)	3.5	1.17
x06(동적인-정적인)	5.0	1.55
x07(조화로운-부조화로운)	4.1	1.51
x08(인공적인-자연적인)	3.4	1.63
x09(새로운-오래된)	4.5	1.44
x10(따뜻한-차가운)	5.3	1.53
x11(평범한-특이한)	3.7	1.65
x12(부드러운-딱딱한)	5.5	0.98
x13(개방적인-폐쇄적인)	3.5	1.63
x14(친근한-어색한)	4.3	1.74
x15(변화있는-고정적인)	4.6	1.89
x16(안정성있는-불안정한)	3.2	1.83

2) 침수방틀의 선호 이미지에 대한 요인분석
도시하천에 설치된 침수방틀의 시각적 선호 이미지를 중심으로 이미지간의 상관관계를 이용해 유사한 변수들끼리 묶어 변수속에 내재된 소수의 기본적인 인자를 추출하기 위해 요인분석을 실시한 결과(표 5), 아이겐값(eigen value) 1 이상을 기준으로 4개의 요인으로 나타났으며, 전체 변량 중 이들 4개 요인군의 설명력은 80.4%로 비교적 높은 설명력을 갖는 것으로 나타났다.

Factor 1의 이미지 요소는 x03(정돈된-혼란스러운), x07(조화로운-부조화로운), x14(친근한-어색한), x16(안정성있는-불안정한), x02(깔끔한-지저분한)이 주성분을 이루었으며, 아이겐값 및 공통변량이 각각 4.901, 30.6%로 “조화성 요인”

이라 명명하였다.

Factor 2는 x04(단순한-복잡한), x15(변화있는-고정적인), x11(평범한-특이한), x09(새로운-오래된), x06(동적인-정적인)이 주성분을 이루고 있으며, 아이겐값(4.684)과 공통변량(29.3%)을 통해 “변화성 요인”이라 명명하였다.

Factor 3는 x01(곡선적인-직선적인), x10(따뜻한-차가운), x13(개방적인-폐쇄적인), x12(부드러운-딱딱한)이 주성분을 이루며, 아이겐값 2.096, 공통변량 13.1%로 “유연성 인자”로 명명하였다.

표 5. 침수방틀의 시각적 선호 이미지에 대한 요인분석 결과

시각적 선호 이미지	성분			
	factor 1	factor 2	factor 3	factor 4
x03	0.921	0.112	0.206	-5.7E-02
x07	0.916	-0.181	-6.5E-02	6.159E-02
x14	0.857	-0.245	0.143	-0.113
x16	0.821	-0.363	4.663E-02	-1.2E-02
x02	0.676	0.110	0.589	0.194
x04	0.227	-0.874	0.115	-0.212
x15	-0.196	0.873	0.150	-2.3E-02
x11	0.243	-0.822	-0.373	7.302E-02
x09	9.361E-02	0.803	0.349	0.197
x06	2.343E-02	0.482	0.408	-0.319
x01	0.142	5.925E-02	0.783	-8.8E-02
x10	0.340	0.223	0.761	-0.404
x13	-0.294	0.153	0.700	0.384
x12	0.375	0.306	0.643	-0.239
x05	6.574E-02	1.045E-02	2.961E-03	0.946
x08	-5.9E-02	0.512	-0.296	0.666
아이겐값	4.901	4.684	2.096	1.187
PV(%)	30.6	29.3	13.1	7.4
CV(%)	30.6	59.9	73.0	80.4

Factor 4는 x05(도시적인-향토적인), x08(인공적인-자연적인)이 주성분을 이루고 아이겐값 및 공통변량이 각각 1.187, 7.4%로 “향토성 인자”로 명명하였다.

결국 요인분석을 통해 침수방틀의 시각적 선호 이미지에 영향을 주는 요인으로는 조화성 요인, 변화성 요인, 유연성 요인, 향토성 요인 등 4가지로 설명할 수 있다.

3) 침수방틀의 선호이미지 요인에 대한 회귀 분석

각 요인들간의 중요성을 알아보기 위해 요인 분석에서 얻어진 각 성분의 요인점수를 독립변수로 하고, 침수방틀의 시각적 선호점수를 종속변수로 하여, 선형회귀분석을 실시한 결과는 다음과 같다(표 6참조).

표 6. 침수방틀 시각적 선호이미지 요인에 대한 회귀분석

Model	비표준화 계수		t	sig.	F	R ²
	B	표준오차				
상수	4.24	0.21	20.64	0.00		
Factor 1	0.12	0.06	0.48	2.04	0.054	
Factor 2	-0.35	0.17	-0.66	-2.07	0.053	12.18' 0.67
Factor 3	-0.14	0.10	-0.37	-1.39	0.172	
Factor 4	-0.19	0.08	-0.88	-2.47	0.031	

주) factor 1 : 조화성 인자, factor 2 : 변화성 인자, factor 3 : 유연성 인자, factor 4 : 향토성 인자
 * : p<0.05 수준

회귀 분석 결과, 침수방틀의 시각적 선호 이미지에 Factor 1, Factor 2, Factor 4가 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 특히, Factor 4의 베타계수의 절대값이(|-0.88|) 가장 높아 향토성이 침수방틀의 시각적 선호 이미지를 설명하는 가장 중요한 요인으로 나타났다. 다음으로 변화성(|-0.66|)도 시각적 선호이미지를 설명하는 중요한 요인임을 알 수 있었다.

V. 결 론

도시 하천의 자연성 회복과 치수적 안정성을 목적으로 자연재료인 목재와 사석 및 수생식물을 주요 재료로 한 침수방틀을 개발하고 현장 시공 하여 그 적용가능성을 파악하였다. 안정성(세굴방지효과), 수질, 생태환경, 식물생육효과 및 가지적품질평가, 경관을 대상으로 공법 적용 효과를 평가하였다.

1. 안정성과 관련된 시공효과의 측정 결과, 두차례의 홍수에도 불구하고 재료의 유실 및 침식이 발생되지 않아 세굴방지효과가 있는 것

으로 나타났다. 특히, 침수방틀 설치주변에 폭 1m정도로 사석이 저수로 바닥에 깔려 있어 세굴방지효과가 가중된 것으로 판단된다. 다만, 침수방틀의 도입부가 다른 지점보다 침식이 다소 높았는데, 유로 방향에 대해 횡단으로 구조물이 놓여져 유속의 흐름을 방해한 것이 그 원인인 것으로 생각된다.

2. 침수방틀 내부를 관통하는 하천수와 저수로를 흐르는 하천수와의 수질을 비교한 결과, 침수방틀 내부에서 수질이 다소 양호한 것으로 나타나 침수방틀의 수질정화에 대한 기여효과를 확인하였다. 즉, 용존산소(DO)는 침수방틀구간에서 0.4~0.6mg/l 정도 높게 나타났으며, pH는 침수방틀 설치구간이 0.4~0.5정도의 낮은 수치를 보였다. 전기전도도(EC)는 침수방틀 설치구간이 0.8~1.1 μ s/cm 정도 낮았으며, 탁도 역시 0.6~1.2mg/l 정도 침수방틀설치구간이 낮게 나타났다.

3. 생태환경측면에서 검토한 결과, 침수방틀 구간에서 다수의 붕어(8월 : 30개체, 9월 : 55개체, 10월 : 22개체) 및 피라미(8월 : 18개체, 9월 : 36개체, 10월 : 25개체)들을 관찰하였다. 특히, 두차례의 홍수로 하상도로까지 물이 범람했던 9월에 붕어 및 피라미의 개체수가 증가하여 홍수에 따른 피난처 및 서식처 제공측면에서 침수방틀을 긍정적으로 평가해 볼 수 있었다. 또한 2, 3차조사(8, 9월)시 침수방틀과 갯벌들 등에서 고추잠자리(8개체), 실잠자리(12개체)도 자주 관찰되었다.

4. 식물생육효과 및 가시적 품질 평가 결과, 침수방틀내에 식재된 식물의 경우 두차례의 홍수를 거치면서도 전도 및 고사된 수종이 발생되지 않아 식물들의 안정적 정착에 기여하고 있음을 알 수 있다. 다음으로 가시적품질평가 결과 대체적으로 중간정도(5점내외)의 평가치를 나타냈는데, 식재 후 얼마 지나지 않은 시점이라 평가결과가 높지 않았던 것으로 보인다. 다만 식재된 식물중 꽃창포가 6점 내외로 가장 높은 가시적 품질 평가치를 나타냈다.

5. 경관분석결과, 먼저 시각적 선호 이미지에 대한 평균분석결과 곡선적인-직선적인, 부드러운-

딱딱한, 동적인-정적인 변수가 5점 이상의 높은 점수를 보였다. 다음으로 요인분석결과 침수방틀의 시각적선호 이미지에 영향을 주는 요인으로는 조화성요인, 변화성요인, 유연성요인, 향토성요인 등으로 나타났다. 또한 회귀분석결과 침수방틀의 시각적 선호 이미지에 조화성요인, 변화성요인, 향토성 요인 등이 영향을 미치고 있었다. 특히, 베타계수의 절대값이 향토성(|-0.88|)과 변화성요인(|-0.66|)에서 상대적으로 높아 이들이 침수방틀의 시각적 선호 이미지를 설명하는 중요 요인으로 나타났다.

시험결과 향후 1-2년 정도의 모니터링을 통해서야 보다 객관적이고 과학적인 평가결과가 도출되겠지만, 현재까지의 조사결과 어느 정도 시공성과를 확인할 수 있었다.

다만, 본 공법과 관련된 몇가지의 고려할 사항으로, 집중강우 후 여러 부산물 및 쓰레기들이 상류로부터 흘러 내려와 식물 등의 줄기에 붙어 있어 식물생장을 저해 할 수 있는 점, 그리고 침수방틀내에 많은 사람들이 몰려 낚시를 하고 있어 친수환경의 제공면에서는 긍정적으로 평가되나 이용자에 의한 식물 훼손과 불을 지피고 취사 행위를 하는 점은 지속적으로 관리해야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 건설교통부. 1995. 도시하천의 하천환경 정비기법 개발.
- 건설교통부. 1996. 하천공간정비기법개발조사연구.
- 건설교통부. 1999. 하천공사 표준시방서.
- 김대현 · 김대수. 1999. 도시소하천 경관의 시각적 선호 이미지와 영향요인. 1999. 한국환경복원녹화기술학회지 2(4) : 9~15.
- 김성근 · 조우현 · 임승빈. 1999. 시각적 선호요인 분석을 통한 농촌 소하천 경관평가에 관한 연구. 농촌계획 : 한국농촌계획학회지. 5(1) : 35~44.
- 김용수 · 김수봉 · 정계순. 1998. 도시하천 流軸景의 시각적 선호요인 분석. 한국조경학

- 회지 26(2) : 101~109.
- 김익수·강연중. 1993. 원색 한국어류도감. 서울 : 아카데미서적.
- 김혜주. 1998. 자연형 호안 공법의 원리. 환경과 조경 120 : 64~69.
- 김혜주·김두하. 2000. 자연형 하천조성에서의 생물공학적인 공법. 한국환경계획·조성협의회 vol. 1 : 68~74.
- 박재현. 1999. 북한산 국립공원 북동사면 일대 계류수질 특성. 한국임학회지 88(1) : 101~110.
- 박종화. 1996. 자연형하천 계획의 하천생태학적 기초. 한국수자원학회. 29(2) : 21-26.
- 변문기. 1986. 한국도시내 하천의 경관특성에 관한 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
- 서영기술단 부설연구소. 1996. 도시하천의 생태환경조성기법에 관한 연구. pp 16~53.
- 손영목. 1997. 무심천 수계의 어류. 서원대학교 기초과학연구소, 청주환경운동연합 학술심포지움. pp. 35~50
- 심우경·백경중. 2000. 하천저수로 호안의 친환경적 조성기법의 개발. 한국조경학회지 28(1) : 83~91
- 안근영·이은희. 2000. 자연형 하천 생태계를 위한 식생개선 방안 연구-중량천을 사례로. 한국환경복원녹화기술학회지 3(2) : 35~46.
- 우효섭, 유권규. 1996. 미국·일본의 하천복원사업 및 자연형 하천정비 사례 해외출장보고서. pp. 70-74.
- 우효섭. 1997. 하천정비와 생태계보전. 충남대학교 환경문제연구소. 심포지움 : 35~40.
- 윤일병. 1988. 한국동식물도감 제 30권 동물편. 문교부.
- 이두한·이진원·우효섭·유권규·김혜주. 1998. 자연형 하천 공법의 개발. 한국수자원학회 학술발표회 논문집.
- 이삼희. 1996. 일본의 다자연형 하천정비. 한국수자원학회지 29(2) : 44~49.
- 이원희. 1996. 코코넛 섬유를 이용한 자연형 식생호안공법. 대한토목학회지 44(5).
- 이원희·정용태·노섭. 1996. 자연형 식생하안. 도서출판 무한.
- 이한승. 2000. 갈대를 이용한 하천의 식생공법. 한국환경계획·조성협의회 vol. 1 : 84~87.
- 임충수. 1996. 자연형 하천계획 및 정비방향. 한국수자원학회지 29(2) : 50~54.
- 전승훈 외 2인. 1999. 하천 미지형 및 하상저질에 따른 갯버들과 달뿌리풀군락의 분포특성에 관한 연구. 27(2); 58~68.
- 정대영·심상렬. 1999. 갈대속 식물의 식생공법 개발에 관한 연구. 한국조경학회지 26(1) : 96~112.
- 정동양. 1996. 독일, 스위스의 근자연형 하천계획. 한국수자원학회지 29(2) : 39~43.
- 조용현. 1997. 우리나라 중소하천 회랑의 자연성 평가 기법에 관한 연구. 한국조경학회지 66 : 74~75.
- 최규창·김남춘. 1999. 자연형하천 식생복원을 위한 달뿌리풀, 물억새, 솔새, 수크령의 녹화방법에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 2(2) : 70~77.
- 최병곤. 2000. 자연재료를 이용한 하천호안 보호공법. 한국환경계획·조성협의회 vol. 1 : 75~83.
- 최정권. 2000. 자연형 하천공법의 개발과 적용 후 모니터링. 한국환경계획·조성협의회 vol. 1 : 27~41.
- 하성한. 1990. 계량적 기법을 이용한 도시내하천경관의 평가에 관한 연구. 성균관대학교 대학원 석사학위논문
- 한국건설기술연구원. 1998. 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발. 환경부.
- 환경부. 1997. 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발.

接受 2000年 11月 20日