

# 자연형 하천공법의 개발, 적용 및 평가

## - 양재천 시범 적용 사례 -

○이두한<sup>1)</sup>, 이진원<sup>2)</sup>, 우효섭<sup>3)</sup>, 유권규<sup>4)</sup>, 김혜주<sup>5)</sup>

### 1. 서론

자연형 하천공법이란 도시화와 산업화로 훼손된 하천을 원래의 모습에 가깝게 되돌리거나, 치수 또는 다른 목적으로 하천을 새롭게 정비할 필요가 있을 경우 살아있는 나무, 풀, 돌, 흙 등 자연재료를 최대한 이용하여 하천을 자연에 가깝게 가꾸는 방법과 기술이며 이러한 공법의 적용을 통하여 하천의 자정능력 향상, 생태적 서식처 조성, 친수공간 조성 등을 그 목표로 삼고 있다. 1991년에 한국건설기술연구원에 의해 자연형 하천공법이 처음 소개된 이후 국내에서는 이미 여러 하천이 자연형 하천공법을 표방하여 정비가 되었거나, 정비가 진행 중이다. 또한 새로이 하천정비가 계획되는 대부분의 하천은 어떤 형태로든 자연형 하천공법의 개념을 도입하고 있다.

본 연구에서는 양재천 과천 구간에 자연형 저수로 호안 공법 12종 외에 둔덕 여울, 갈지자 여울, 징검다리 여울, V자형 여울 등 4종의 여울과 소 조성 공법을 이미 '96년에 적용하여 계속적인 모니터링이 진행 중이다. '97년에는 본 연구의 범위를 확대하여 고수부지 및 제방에 대하여 자연형 하천공법을 시험 적용하여 현재 모니터링이 진행 중이다. 적용된 고수부지 공법은 완사면조성공법, 과종법, 식생식재기법 등이며, 제방공법은 블록교체법, 돌망태공법 등이다. 본 논문에서는 본 연구에서 개발된 공법을 제시하고 현재까지의 모니터링 성과를 통하여 개발된 자연형 하천공법의 효과와 문제점을 분석하여 이후 공법 개발의 방향을 제시하고자 한다.

### 2. 자연형 하천공법의 개발 및 시범 적용 (양재천 과천구간)

#### (1) 저수로 호안 공법의 개발 및 적용

양재천 과천시 별양교-부림교 간 300m에 자연형 저수로 호안 공법을 중심으로 자연형 하천 공법을 적용하였다(그림 1). 300m의 시험 구간은 좌·우안을 각 8개 구간으로 하여 총 16개 소구간으로 구분하였으며 각 소구간 별로 자연형 저수로 호안 공법 및 자연형 여울과 소 조성 공법을 적용하였다.

- 
- 1) 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원
  - 2) 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원
  - 3) 한국건설기술연구원 기획조정실 실장(연구위원)
  - 4) 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원
  - 5) (주)삼성에버랜드 환경개발사업부 실장

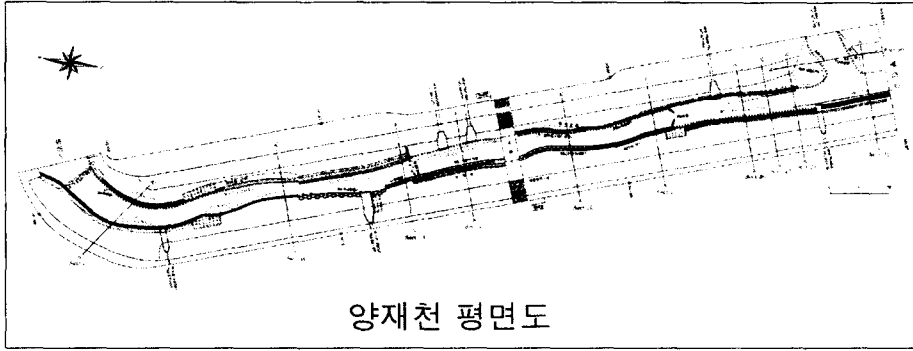


그림 1. 양재천 평면도

① 하천 선형의 개선

자연형 하천 공법을 적용하기 전의 양재천 과천 구간은 홍수시 유수의 소통만을 고려하여 직선형으로 정비되어 있었다. 직선형으로 정비된 하천은 생태적인 측면에 보면, 흐름과 하천 내·외의 공간 배치가 단순하여 다양한 하천 생물을 위한 서식처를 제공할 수 없다. 다양한 경관을 창출하지 못한다는 점에서 경관적인 측면에서도 단점이 많다.

이를 개선하기 위하여 과천 구간 현장의 세굴과 퇴적 흔적 조사를 통하여 하천의 선형을 자연스러운 모습으로 개선하였다.

② 자연형 저수로 호안 공법

자연형 저수로 호안 공법은 표 2 및 3과 같이 좌우안을 총 16개 구간으로 나누어 총 12가지 공법을 적용하였다. 사용된 재료는 돌, 나무, 야자섬유 등인데, 수류가 비교적 강한 곳은 돌이나 나무를 사용하여 홍수시의 안정성을 고려하였다. 비교적 수류가 약한 곳은 자연상태의 흙을 이용하면서, 유실을 방지하기 위한 야자섬유망을 이용하였다. 그리고 국내에서 사용예가 적은 수제공법을 도입하였는데, 수제는 저수로 호안을 보호할 뿐만 아니라 하천 생물의 서식공간을 제공하기도 한다.

표 1. 양재천 과천 구간의 우안 저수로 호안 공법

	호안공법	식생	특징
R1	돌바구니3단	달뿌리풀	-자연성과 치수안정성을 동시에 만족 -다공성 재료로 생태계 유리
R2	돌바구니+나무수제	자연식생	-자연성과 치수안정성 확보 -수제내 생태공간 조성
R3	돌바구니2단	자연식생	-자연성과 치수안정성을 동시에 만족 -다공성 재료로 생태계 유리
R4	나무틀	자연식생	-다공성 재료로 생태계 유리
R5	자연석계단+산책로	자연식생	-자연성 및 친수성 확보
R6	사석쌓기II	자연식생	-사석사이에 토사 퇴적 유도
R7	야자섬유롤+야자섬유망	갯버들	-자연성 강조
R8	사석쌓기II	갯버들	-사석사이에 토사 퇴적 유도

표 2. 양재천 파천 구간의 좌안 저수로 호안 공법

	호안공법	식생	특징
L1	야자섬유롤+야자섬유망	달뿌리풀	-자연성 강조
L2	사석쌓기1	갯버들	-자연성과 치수안정성 고려
L3	야자섬유롤+강자갈	자연식생	-자연성 강조
L4	야자섬유망+돌수제	자연식생	-자연형 강조, 호안보호 및 서식처 고려
L5	야자섬유롤+강자갈	달뿌리풀	-자연성 강조
L6	야자섬유롤+야자섬유망	자연식생	-자연성 강조
L7	야자섬유망+나무수제	갯버들	-자연성 강조
L8	습생식물군락	갈대,부들	-자연성 강조, 습생식물고려

식물재료로는 주로 버드나무와 달뿌리풀을 이용하였으며, 특별한 식생을 도입하지 않고 자연식생의 활착을 기대한 구간도 일부 있다. L8 구간은 습생식물군락을 형성하기에 적당한 조건을 갖추고 있었어, 이를 활용하기 위해 갈대, 부들 등의 습생식물을 도입하였다.

③ 어류 서식처 및 피난처 조성 공법

어류 서식처 조성 및 하천 자정작용의 개선을 위하여 둔덕 여울, 징검다리 여울, 갈지자 여울, V자 여울 등 4가지 여울을 인공적으로 조성하였고, 여울 하류에 자연스럽게 소가 조성되도록 하였다.

- 둔덕 여울 : 둔덕여울은 어류의 서식공간 확보와 여울을 통하는 유수의 자연스러운 자정작용 향상을 위하여 설치하였다.

- 징검다리 여울 : 징검다리 여울은 어류서식처를 제공하는 목적과 함께 친수성의 향상을 위하여 설치하였다.

- 갈지자 여울 : 갈지자 여울은 유수를 갈지자로 유도하여 자연스럽게 소가 형성되기를 기대하는 공법으로 어류서식처 제공을 목적으로 설치하였다.

- V자 여울 : V자 여울은 홍수시 유수가 여울을 월류하면서 여울 하류에 비교적 큰 소를 조성하게 된다.

(2) 자연형 고수부지 및 제방 공법의 개발 및 적용

저수로 호안 공법이 시공되어 있는 양재천 파천구간에 제방 총60m, 고수부지 총180m에 자연형 고수부지 및 제방 공법을 '97년도에 새로 적용하였다.

① 복단부 완사면 조성 공법 - 저수로 호안 및 고수부지의 경사 1/4에서 1/12로 낮추어 저수호안에서 고수부지에 이르는 구간에 다양한 수생태환경의 조성을 목적으로 적용하였으며, 적용구간은 세월교 하류 좌안 L6구간 20m이다. 부지 정지후 야자섬유망을 덮었으며, 달뿌리풀, 벌개미취, 개미취 등을 2:1:1의 비율로 식재하였다.

② 파종법 - 고수부지의 경사 조정없이 부지정지후 파종을 하고 야자섬유망을 씌웠다. 적용 구간은 세월교 상류 우안 R3-R4구간 20m이며 봄에 떠나 슛크령을 파종할 계획이다.

③ 블록교체 공법 - 기존 제방의 블록을 1:4 비율로 부분 제거하고 점토질의 흙으로 대체하고 식물을

식재하였다. 적용구간은 R6구간 20m, R7구간 10m로 총 30m이며 식물은 인동덩굴과 원추리를 1:1의 비율로 식재하였다.

④ 돌망태 공법 - 기존 제방의 일부를 완전히 제거하고 돌망태로 대체하였으며, 돌망태 사이에 식물을 식재하였다. 적용구간은 L6구간 20m, L7구간 10m로 총 30m이며 물은 인동덩굴과 땃맹이덩굴을 7:3의 비율로 식재하였다.

⑤ 고수부지 내 식물식재 - 고수부지 내 친수공간 조성과 환경 개선을 위하여 R5구간에서 R7구간까지 140m의 고수부지 내에 식물을 식재하였다. 식재된 식물은 초본류로 달뿌리풀, 목본류로 덜꿩나무, 흰말채나무, 화살나무, 꼬리조팝나무 등이다.

### 3. 모니터링 결과 및 평가

양재천 과천 구간에 시공된 자연형 하천공법은 크게 수리적 안정성, 생태계, 경관 등의 3가지 분야에서 모니터링이 지속적으로 이루어지고 있다. 적용 결과에 대한 정확한 평가는 적어도 3~4년 동안의 자료 축적이 이루어진 이후에 가능하겠지만, 현재까지의 모니터링 결과로도 나름대로 의미있는 결론을 도출할 수 있을 것이다.

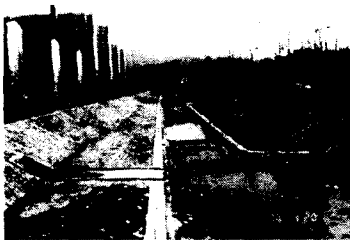


그림 2. 공사전

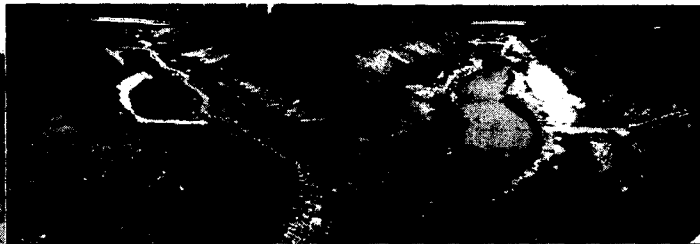


그림 3. 공사직후

그림 4. '97년 봄



그림 5. 홍수시



그림 6. '97년 가을

#### (1) 수리적 안정성

저수로 호안 공법 적용 이후 두차례의 홍수(최고 유속 2m/s)를 겪으면서 몇가지 문제점이 지적되었다. 돌바구니, 나무상자, 사석 등 비교적 강한 재료를 사용한 호안부에서는 수리적 안정성에 문제가 발생하지 않았다. 특히 사석쌓기를 이용한 호안부는 식생의 활착도 순조로워 생태계 서식환경과 수리적 안정

성이 잘 조화된 저수로 호안으로 평가된다.

그러나 생태계를 적극적으로 고려하여 자연상태의 흩에 야자섬유망을 사용하여 초본류의 자연스러운 활착을 통한 호안의 안정을 기대하였던 구간은 야자섬유망의 유실로 인하여 상당량의 토사 유출이 발생하였다.

또한 거석보, 둔덕여울, V자 여울 등의 하천 횡단 구조물이 설치된 구간에는 거의 예외 없이 저수로 호안 및 고수부지에 세굴이 발생하였는데 그 원인은 첫째, 고수부지 표고와 횡단구조물의 높이에 대한 고려가 부족하여 유수가 횡단구조물을 월류하는 시점에 호안부 및 고수부지 일부 구간에 유수가 집중되었기 때문이며, 둘째는 횡단구조물의 주변에 유수 집중을 고려한 충분한 안전장치가 없었기 때문이다. 고수부지는 2차 홍수시에 일부 구간이 유실되었는데 이는 하천공사시 고수부지면이 교란된 상태에서 식생의 활착이 저조하였던 것이 원인으로 추정된다.

현재는 시공 후 2년째로 접어들면서 식생이 안정화되는 단계에 있어 더 이상의 홍수 피해는 발생하지 않을 것으로 판단되며, 전체적으로 수리적 안정성의 면에서 부분적인 성과가 있었던 것으로 판단된다.

## (2) 생태계

생태계를 고려한 자연형 하천공법의 핵심은 어류와 식생으로 볼 수 있는데 본 연구에서는 어류에 대하여 적극적인 고려는 하고 있지 못하다. 시험구간에는 식생 전문가의 검토 후 3차에 걸친 식재를 실시하였다. 그러나 1차와 2차에 식재된 식물은 목본류와 초본류 모두 생존율이 극히 저조하였는데 이는 하천의 구역별 특성을 고려하지 못한 식재 방법에 문제가 있었던 것으로 추정된다. 즉 식생의 식재 위치와 수위와의 관계에 대한 고려가 부족했던 것인데 3차 식재시에는 이를 고려하여 식재하였으며, 식재 후 10개월 정도 경과한 현재의 상태는 생존율이 상당히 양호하여 목본류의 경우 거의 90%이상의 생존율을 보이고 있다. 초본류의 경우에도 현재 활발한 생장을 보이고 있다.

## (3) 경관

양재천 파천 구간의 기존 상태는 저수로의 선형이 일직선에 가까웠고, 콘크리트 블록에 의한 저수로 호안의 정비로 다양한 경관을 창출하지 못하였다. 그러나 시험 시공 후 다양한 초본류와 목본류가 성장하면서 다양한 경관을 창출하고 있다.

## 4. 문제점 및 개선방향

아직은 자연형 하천 공법이 국내에 도입된 역사가 짧고 실용화하기에는 해결되어야 하는 많은 문제점이 있는 것이 사실이다. 연구과정에서 나타난 몇가지 문제점과 개선방향을 적어 보면 다음과 같다.

① 외국 사례의 무분별한 도입 - 하천 특성이 다른 독일, 일본, 미국 등의 공법을 맹목적으로 도입하려는 사례가 많은데 하상계수 등의 우리나라의 하천 상황을 고려할 경우 생태계는 물론이고 치수안정성에 불리한 결과를 초래할 수 있다. 또한 외국 사례의 도입은 재료의 도입도 의미하는데 이는 경제적인 문제와 함께 문화적인 문제도 야기할 수 있다.

② 치수측면과의 조화 - 도시 하천의 경우는 치수안정성에 대한 고려가 필수적인데 이는 하천환경과

는 상반되는 면이 있어 이의 조화가 중요하다. 공법 적용시 치수안정성에 치중하면 자연성보다는 조경적인 측면이 부각되고 자연성에 치중하면 홍수시에 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 보다 신뢰할만한 홍수량과 홍수시의 유속 및 수위에 대한 산정이 선행되어야 할 것이다.

③ 기술 및 자료의 부족 - 공법에 사용되는 자연재료 및 식생의 공학적 안정성에 대한 충분한 검토가 필요하다. 현재로는 자연재료 및 식생의 한계소류력에 대한 신뢰할만한 자료가 없는 상태이므로 이 분야에 대한 다양한 연구와 실험이 필요하다. 또한 설계 홍수량과 홍수위 및 평수위 등의 자료가 빈약하여 생태계 측면을 고려한 공법의 적용에 많은 한계가 있다.

④ 생태계 요소와의 연결성 문제 - 자연형 하천 공법은 적용 전에 토양과 수질을 비롯하여 식생, 어류 등에 대한 기초조사가 선행되어 이를 기초로 특정 동식물의 서식 환경을 조성해 주는 것이다. 즉, 생태계의 기초조사를 기본으로 도입식생 및 공법이 결정되는데, 이 과정에서 조사자료와 공법의 연결성이 핵심이다. 그러나 현실은 생태계 조사자와 공법 개발자의 서로의 분야에 대한 무지로 인하여 그 연결이 자연스럽지 못하여 공법이 그 지역의 생태계 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 이는 특정 동식물의 서식 기반에 대한 연구가 미진한 것이 원인이며 이의 해결이 선결되어야 할 것이다.

⑤ 개개 하천의 특성에 맞는 공법의 적용 - 기존의 하천정비 관행은 표준단면을 이용하여 획일적인 하천정비를 시행하였다. 그 결과 전국의 하천은 각 하천의 특성에 무관하게 비슷한 모습으로 정비된 것이 현실이며, 이런 현실 속에서 자연형 하천 공법이 각 하천에 적용되면 또다른 획일적인 자연형 하천공법으로 전국의 하천이 비슷한 모습으로 정비될 우려가 있다.

⑥ 경제성 문제 - 자연형 하천정비는 기존의 하천정비에 비하여 고비용이 소요되는 것이 사실이다. 이는 자연형 하천공법의 본래의 취지와도 맞지 않는 것으로 보다 저렴한 재료와 공법의 개발이 필요하다.

## 5. 결론

국내에서 처음으로 자연형 하천공법을 종합시공한 양재천 과천구간에 대한 평가를 내리기에 현재 축적된 자료는 미약한 편이다. 그러나 일정 정도의 성과는 있었다고 할 수 있을 것이다. 적어도 국내에 자연형 하천공법을 적용하는데 따른 구체적인 문제점을 파악할 수 있었던 것은 큰 성과로 여겨진다. 현재는 시간이 지나면서 식생의 활착과 함께 수리적 안정성이 확보와 함께 다양한 생태계 공간이 만들어지는 단계로 평가할 수 있을 것이다. 이후로는 추가적인 공법의 적용없이 공법 적용 후 자연적으로 형성되어가는 양재천의 모습을 계속 모니터링할 계획이다. 향후에 보다 과학적인 분석이 가능하리라 기대한다.

## 6. 참고문헌

환경부, 국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발, 1997.