

# 자연형 호안공법의 원리와 적용상의 문제

- 양재천 학여울 구간을 예를 들어 -

김혜주 (선임연구원, 한국건설기술연구원 수자원연구실)

## 1. 서론

지금까지의 하천정비는 이수, 치수에 주 목적이 있었다. 그러나 앞으로의 하천정비나 관리는 경제적인 측면만을 고집해서는 안된다고 생각된다. 그 이유는 산업화와 도시화의 영향으로 기존의 하천정비가 동식물의 중요한 서식공간인 물속과 물가를 파괴하여 하천의 생태적 기능을 상실하게 하였고 동시에 인간의 질적인 삶도 하락시키고 있기 때문이다.

선진외국의 경우 이미 하천의 정비나 관리시에 하천생태계를 고려한 여러가지 기술적인 공법이 개발되고 적용되어 큰 효과를 보았다(Gunkel, 1996). 하천의 생태적 기능을 회복시키기 위한 방법은 직강화된 하도를 사행시킨다든지 획일화된 하천의 물리적 구조를 변경시키다든지 또는 인공적인 구조물을 철거하여 하천의 종적 횡적인 연속성(continuum)을 재생시키는 등 여러 가지 방법이 있다. 그러나 위의 여러 공법과 무관하게 손쉽게 적용할 수 있는 방법으로 생물공학(biological engineering)적 원리, 다시 말하자면 식물을 '토목용 재료'로 이용하여 하안을 보호하고 하천변의 Biotop 조성을 꾀하는 방법이 있다. 생물공학의 원리를 응용한 공법은 자연형 하천을 설계하기 위해 구태여 하천부지를 구입하거나 하도나 하상을 크게 변경시키지 않아도 가능하므로 손쉽게, 값싸게 그리고 모든 하천에 적용할 수 있는 장점이 있다(Kim, 1996). 이렇게 볼 때 국내에서 1995년 9월 한국건설기술연구원이 국내 최초로 시도한 자연형 호안공법(양재천 학여울 구간)연구 및 시험적용은 큰 의의가 있다고 본다. 본 고에서는 이 시험구간에 적용된 각각

의 공법을 2년이 지난 지금의 호안상태를 생물 공학적 측면에서 분석하여 관련된 문제점을 밝히고 그 개선 방향을 모색하고자 한다.

## 2. 자연형 호안공법의 원리

### 2.1. 역사적 고찰

자연형 호안공법(自然形護岸工法)이란 자연상태의 하천에서처럼 식물을 이용하여 물과 바람으로부터 하안(河岸)의 침식을 방지할 수 있는 방법이다. 식물을 이용한 호안공법은 시멘트와 콘크리트가 없었던 중세에 이미 그 기원을 찾아 볼 수 있다. 약 19세기 중엽에 남프랑스의 Demontzey가 고안한 산악지 하천의 정비방안을 보면 식물을 이용하여 침식을 방지하고자 하였고, 1883년 대홍수 피해를 입었던 오스트리아에서는 그 다음해인 1884년 하천법을 제정하여 산악지 하천에서 수해가 없이 물이 통과할 수 있도록 토목적인 기술과 더불어 식물을 이용한 생물공학적 공법을 도입하였다. 독일의 바이에른(Bayern)의 경우는 이미 1878년 농림장관의 지시에 의해 호안에 생물공학 공법을 도입하였다(Prueckner, 1965).

이와 같은 긴 역사를 가진 식물을 이용한 호안공법은 근대 토목기술의 발달로 오랫동안 잊혀진 채 사용되지 않고 있다가, 1937년 Preu en(현재의 독일)의 농림부장관의 지시를 기록한 '자연보호를 고려한 배수시설'이란 문구와 관련하여 1938년 기술자 Seifert가 'Naturnahe Wasserbau' (=자연에 가까운 하천 만들기)라는 개념을 도입하였다. 이 때의 방법은 콘크리트 대신 버드나무를 이용하여 하안의 침식을 방지

하고자 하였는데 하천의 수목은 홍수위선 밖에 식재하였다. 1960년대에 들어 오면서 독일어권을 중심으로 새로운 호안재료와 공법이 적극적으로 개발되었다. 자연형 하천만들기의 변천사에서 가장 주목할 만한 것은 Meszmer의 '띠형의 숲이 있는 하천단면 (=Saumwaldprofil)'인데 Meszmer는 이를 Mosbach에 처음으로 적용하여 하천수목이 유속을 방해하여 홍수시 재해의 위험도를 높일 것이라는 관례를 무너뜨리게 하였다. 1970년대 부터는 식물을 이용한 호안공법 뿐 아니라 자연형 하천을 위한 여러 가지 방안, 예를 들면 Biotop 설계와 관련하여 하천의 자연도 평가기법과 식물의 종류와 생리, 식재위치, 어류나 조류의 서식처 설치에 관한 연구가 활발히 적용되었다(Hohmann & Konold, 1995).

## 2.2 식물 선택 및 식생대의 결정

하안에 이용될 수 있는 식물재료는 조경용 관상재료와는 달리 뿌리의 부피가 크고, 被覆, 傷害, 浸水에 강하고, 잔가지가 많고 영양번식이 가능한 것이 유리하다(Begemann & Schiechtl, 1986). 이런 모든 특성을 가진 식물의 종은 사실상 그렇게 많지 않고 특히 국내에 알려진 식물은 극소수에 불과하다. 식물재료는 식물체나 식물체의 부위에 따라 구별할 수 있는데 식물체라 함은 지하부인 뿌리와 지상부인 가지로 구성된 온전한 나무 또는 초본을 뜻한다. 반면에 식물체의 부위는 발근력이 있는 큰 나뭇가지부터 작은 나뭇가지 또는 초본의 줄기를 의미한다. 아울러 맹아력이 있는 runner나 지하구근 또는 뿌리도 이에 속한다. 하안의 침식방지에 빠른 효과를 기대하기 위하여는 거의 종자파종을 이용하지 않으나 침식의 위험이 없는 고수부지 또는 제방사면의 경우 파종 방법도 이용될 수 있다. 침식의 위험이 많은 곳에 빠른 효과를 거두기 위해서는 여러 식물체를 한꺼번에 이용하는 방법도 있다. 예를 들면, 굵고 가는 나뭇가지를 함께 묶어 만든 Faschinen<sup>1)</sup> 또는 양탄자처럼 기른 식물군집 등이 있다.

식물의 선택은 그 지역의 환경조건과 특히 자연잠재식생<sup>2)</sup>을 그 곳의 최종목표로 삼고 그에 맞는 식물을 선택하도록 한다. 만약 자연잠재식생이 알려져 있지 않은 경우에는 시공할 장소의 식물생육조건, 즉 토질, pH, 온도 등을 고려하는 것이 원칙이다(Hiller, 1986 ; Schlueter, 1986).

모든 하천은 양분, 산소의 양, 微砂의 양, 유속, 수심 등 각각 그의 특성이 다르다. 이런 환경조건 때문에 자연적인 하천식생은 그 군집도 각각 다른 것이 보통이다. 하천변에서 식물의 군락형성은 무엇보다도 침수기간과 밀접한 관계가 있으므로 이를 근거로 식생대를 결정하게 된다(Bittmann, 1965 ; Schlueter, 1986). 식재의 위치를 결정하려면 수위측량자료를 가지고 계산할 수 있는데 수위측정이 되어 있지 않은 곳은 시공장소의 하천식생 예를 들면 자생하고 있는 軟樹木류나 硬樹木류의 위치를 중심으로 결정한다. 만약 이와 같은 자연 식생대가 없거나 수위측정도 없는 하천의 경우는 식재의 위치를 추측할 수밖에 없다. 이때에 예상도를 높이기 위해 예상식생대의 식물을 여러 줄로 식재하여 일어날 수 있는 피해를 최소한 줄이도록 한다.

수위에 따른 온대지방 하천의 수역(Zone)은 Bittmann(1965)과 Schlueter(1986)에 의하면 아래와 같이 나눌 수 있다(그림 1):

- Zone I : 대략 평균 저수위보다 낮은 수위 선에서 부터 3(5)m의 수심이 되는 구간으로 생물 공학적 공법적용이 불필요한 수역이다. 이곳의 식물군락은 개구리밥과(Lemnetea), 가래과(Potamogetonaceae), Utriculatea이다. 침수기간은 1년중 약 360일 이상이다.

- Zone II : 대략 평균 저수위와 평균수위구역으로 식물군락은 특히 갈대과(Phragmitea)이다. 침수기간은 약 150-360일이다.

- Zone III : 대략 평균 평수위와 평균 고수위구역으로 식물군락은 온대지방의 경우 수위의 변동에 강한 예를 들면 버드나무과(Salicetea) 또는 오리나무

1) 이태리의 "파시즘(Faschismus)"에 그 어원이 있고 뜻은 잔가지로 만든 나무다발(영어로는 fascines임)

2) 자연잠재식생이란 인간의 영향력이 멈추었을 때의 기대할 수 있는 그 지역의 식물군락이다(Tuexen, 1961).

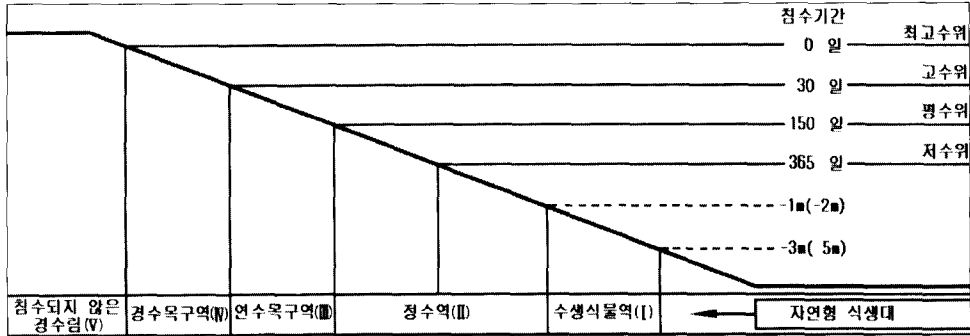


그림 1. 침수기간과 식생대와의 상관관계

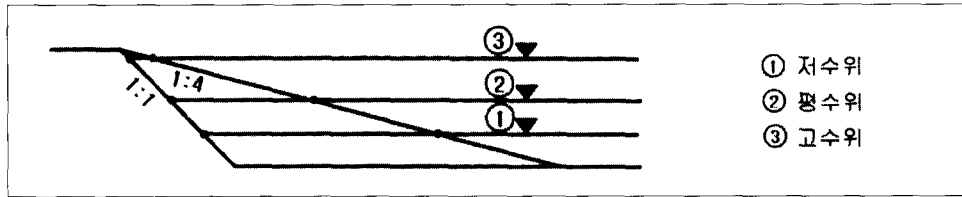


그림 2. 서로 다른 하안의 경사도에서의 하안의 길이(Schlueter, 1986)

과(Alnetea)들이다. 이 구역을 軟樹木 구역이라 하기도 한다. 침수기간은 약 30-150일이다.

• Zone IV : 대략 평균 고수위구역에서 최고홍수위에 해당하는 구역으로 硬樹木구역이라고도 하며 이곳은 수위의 변동에 내성이 적은 식물의 군락이 발달한다. 침수 기간은 약 30일 미만이다.

우리나라의 경우 하안의 수역을 위와 같이 구분하고 있지 않으나 유황의 기준을 나타내는 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량에서의 침수기간을(이진원 등, 1993) 참고로 미래에는 하안의 수역을 구분하여 자연형 하천을 위한 공법적용시 이용되어야 하겠다. 여기서 독일 등에서 사용되고 있는 고수위, 평수위, 저수위 등의 기준은 우리나라 기준과는 서로 일치하지 않음을 부연해둔다.

### 2.3 수역(Zone) 특성에 따른 공법 선택

자연형 호안공법을 실시하기 위하여는 우선 하안의 기울기를 결정하여야 하는데 자연하천의 좌우하안이 언제나 그 기울기가 다른 것 처럼 시공하고자 하는 하천의 좌우안의 기울기도 서로 다르게 선택하는 것이 원칙이다. 자연형 호안공법의 적용을 위하여 하안의

기울기는 완만한 것이 유리한데, 그림 2에서 보는 것처럼 식생대의 폭이 넓어지는 것은 물론 경사가 완만할수록 하안의 안전성이 더 유지되기 때문이다 (Schlueter, 1986 ; Landesamt fuer Wasser und Abfall NRW, 1989).

자연형 호안공법이라면 가능한 한 생명력이 있는 재료를 사용하는 것이 원칙이나 공사장의 환경이 식물생육에 불리하거나 또는 공사의 효과가 즉시 요구되는 하천 구간은 부득이 생명력이 없는 재료를 혼합하여 사용한다. 우선 생명력이 있는 생명재료와 생명력이 없는 무생명 재료(참고: 표 1)를 구별하고 공법적용을 위한 Zone의 특성을 살펴보고자 한다.

표 1. 호안재료의 종류

구 분	재료의 종류 및 예
무생명재료	돌 (자갈, 쇄석) 시멘트 (블럭, 콘크리트) 철 (철판, 철근, 철망) 통나무 (말뚝, 울타리) 마른나뭇가지 (나뭇단, 엮은 울타리)
생명재료	맹아력이 있는 나뭇가지 (귀꽃이, 울타리) 숙근성 야생초화류 갈대류 수목류

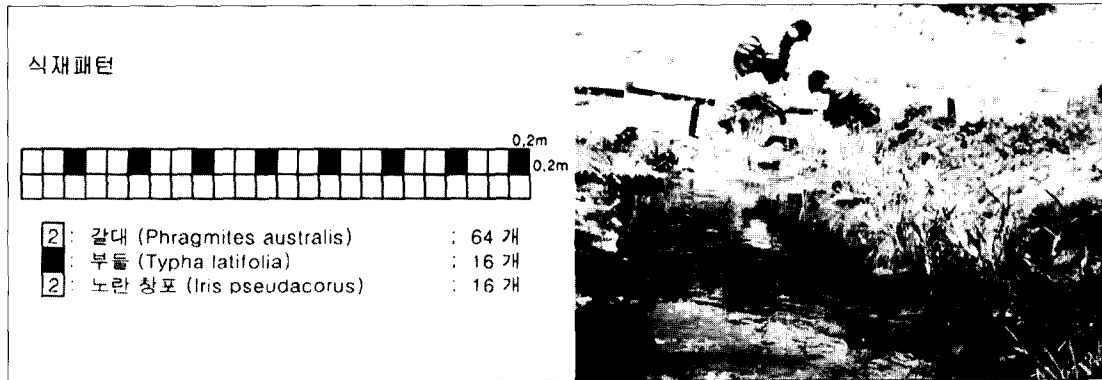


그림 3. 양재천 과천 시험구간(환경부/건기연, 1997)의 갈대류 식재(촬영: 1997. 6)

공법적용 대상이 되는 하안의 Zone는 침식의 우려가 많은 II에서 IV 까지이다. Zone I에는 자연 발생적인 식물이 서식할 수 있도록 하여 자연형 호안공법 적용에서 제외하는 것이 일반적이므로 Zone II부터 IV까지 아래와 같이 살펴보기로 한다:

• Zone II

이곳은 물과 맞닿는 구역으로 수심의 변동과 파랑이 심하여 하안의 Zone 중에서 침식이 가장 많이 일어나는 구역이다. 하천의 종류와 하천의 구역에 따라 생명력이 있는 재료만을 또는 생명력이 없는 재료를 식물의 묘, 식물의 싹이나 뿌리, 나뭇가지를 함께 사용하여 한다. 이 구역에 알맞는 식물의 재료는 갈대류가 가장 적합하고 식재의 위치는 대략 평수위선에서 0.3m 위의 하안부이다(참고: 그림 3).

식재를 위한 갈대류의 상태는 매우 다양하며(갈대 싹 다발, 갈대묘, 갈대뿌리, 갈대줄기) 이에 따른 공법은 수없이 많다. 공법의 선택은 그 대상하천의 유속이나 하폭, 하천유역 등에 따라 결정하는데 예를 들면 하폭(저수로)이 5m 미만인 경우 갈대류의 식재는 피하는 것이 원칙이다.

• Zone III

그림 1에서 이미 언급되었던 연수목 구역이다. 이 구역은 연간 30일에서 150일 정도 침수되어지는 구간으로 초본류 보다는 목본류(Meszmer, 1972)를 이용하여 하안의 침식을 방지하는 것이 효과적이고 또한 자연적인 식생대(그림1)를 통하여도 목본류의 이용성은 논란의 여부가 없다고 하겠다. 단지 우리나라

의 하천법상 현재까지 이를 규제하고 있어 키가 작은 관목류만이 이용 가능하다. 대상수목은 관목의 버드나무류인데, 버드나무류는 8일동안 물속에서 견딜 뿐 아니라 몇주일간의 지속적인 침수에도 생육상의 해가 나타나지 않고(Muth, 1992), 적박한 토양 또는 토양의 표토가 빈번히 유실된 곳에도 성장발육에 아무런 영향을 받지 않는다(Hiller, 1985). 버드나무를 이용한 공법은 헤아리지 못할 정도로 많고 또한 그 역사도 깊다. 버드나무를 재료로 이용할 수 있는 상태는 굵은 나뭇가지 또는 가는 나뭇가지, 어린 묘목이다. 버드나무 윗가지에 사용할 나뭇가지는 맹아력이 있는 가지를 원칙적으로 이용하나 부족할 경우는 적어도 약 25%가량 맹아력이 있는 가지를 혼합하여야 한다(Schlueter, 1986 ; Muth, 1992). 버드나무삽수를 쇠석과 같이 이용하는 경우는 공법의 종류에 따라 다르나 삽수는 전년도 생장지를 붙여 충실한 것으로 택한다. 아래의 그림 4, 그림 5와 같이 버드나무와 쇠석을 이용할 경우 종 다양성을 유발하기 위하여 주로 종이 다른 버드나무를 혼식하도록 한다.

• Zone IV

이 구역은 하안의 보호측면에서 큰 의의가 없고 단지 자연환경 개선의 측면에서 또는 하천에서 다음 지역(도로, 농경지, 주택, 기타 등)으로 연결되는 연계대로서 보다 더 큰 의미가 있다. 그렇지만 이 구역은 30일 미만의 침수가 발생하는 지역이므로 범람시 물에도 견딜 수 있는 식물을 택하여 토양의 유실을 방지하여야만 한다. 우리나라의 경우 이 지역을 고수부지

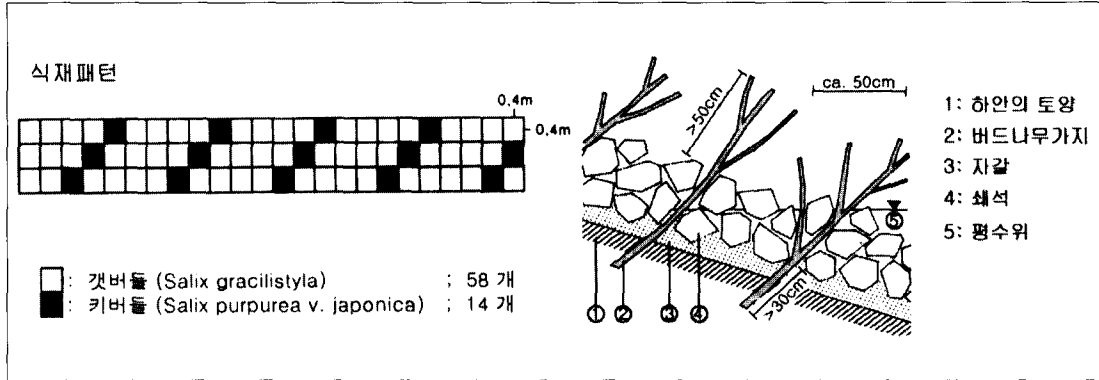


그림 4. 양재천 과천 시험구간에 적용된 쇠석과 버드나무 삼목의 사례



그림 5. 양재천 과천 시험구간 시공(촬영: 1997. 6)

또는 둔치라 하고 특히 토지의 이용율을 높이기 위해 도시에서 다양하게 이용하고 있는데, 본고에서는 고수부지의 이용성과는 무관하게 적용 가능한 공법과 관련하여 기술하고자 한다.

이 구역을 경수목 구역이라 하는 것은 성장할 수 있는 나무의 성질이 유연하지 않고 견고한 것이 잘 자랄 수 있기 때문이다. 이 구역은 침식의 위험이 그렇게 크지 않기 때문에 토목용 재료를 이용하지 않고 바로 어린 식물을 식재할 수 있다. 예를 들면 물오리나무-물푸레나무군락, 서어나무-느티나무군락 조성이 가능하다고 생각된다. 하천법상의 이유로 하천 내에 교목의 식재가 불가능한 현재로는 키가 작고 뿌리의 발달이 양호한 관목류의 식재, 야생초지류의 파종법을 적용할 수 있겠다.

### 3. 학여울 구간의 특징 및 적용된 공법

#### 3.1 시험구간의 일반적인 환경조건

양재천의 발원지는 경기도 과천시 갈현동 관악산이고, 과천 시가지를 통과한 후 막계천과 합류한 후 다시 서울 서초구 양재동에서 우안으로 유입하는 여의천과 합류되어 강남구 대치동에서 탄천 좌안으로 유입된다. 시험구간인 학여울 구간은 탄천과 합류직전에 있는 양재천의 최하류에 속한다. 양재천의 유로연장은 15.6km, 유역면적은 56.8km<sup>2</sup>, 유역의 평균폭은 3.6km, 하천의 밀도는 0.275km<sup>-1</sup>, 하폭은 23-140m, 형상계수가 0.233, 하상경사는 1/500이다(환경부/건기연, 1997).

시험구간인 학여울의 위치는 그림 6에 표시된 것처럼 양재천과 탄천의 합류 지점에서 상류쪽으로 150-200m이며 시험구간은 100m이다. 이 구간의 하도는 소규모의 사주, 하중도가 형성되어 있고 좌안과 우안 모두 콘크리트로 정비되었었다. 시험구간의 저수시 하폭은 24m 내외이며 평균수심은 0.2-0.5m로 매우 얇고 고수부지의 폭은 좌안은 14-44m, 우안은 16-48m, 제방사면의 길이는 좌안은 28m, 우안은 24m이다. 하천의 수질분석 결과에 따르면 BOD가 21mg/l로서(건교부/건기연, 1995) 이는 유럽의 기준에 의하면(Saprobity system) 급수 IV(= polysaprobity)로 매우 더러운 물에 속한다.

토양의 종류는 고수부지의 좌안은 미사질(2-

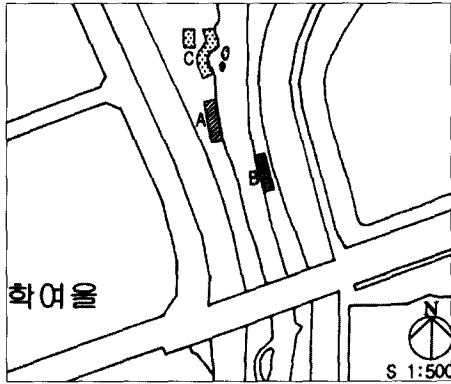


그림 6. 학여울의 시험구간

0.063mm) 내지 점질토(0.063-0.002mm), 우안은 입경이 이 보다는 굵은 사력질 내지 사질로 이루어졌다(건교부/건기연, 1995, 12).

본 구간에 대해서 95년 9월에 건교부/건기연이 주관한 자연형 하천공법 연구의 일환으로 자연형 호안 공법이 시험설치되었으며, 그 후 환경부/건기연의 연구의 한 부분으로 생태, 수리, 수질 측면에서 모니터링이 지금까지 계속되어왔다. 하천 식생은 시험구간 A, B, C구역에 공법 적용전과 후에 transect를 이용 조사되었고 조류 조사도 시행되었는데, 이에 관한 자

표 2. 무생명 재료

재료의 종류	적용구역 (Zone)	
나무말뚝	하안의 기단	Zone I
마른 나무가지(섞단)	하안의 기단	Zone I
아자섬유 두루마리	하안의 기단, 하안의 비탈	Zone I-III,
돌망태	하안의 기단	Zone I
자연석/야면석	하안의 기단	Zone I
녹색 마대	하안의 기단, 하안의 비탈	Zone I-III,
황마 섬유망	하안의 비탈, 하안의 정상	Zone III- IV

표 3. 생명력이 있는 재료

재료의 종류	적용구역 및 Zone	
물억새	하안의 정상	Zone IV
갈대Sod	하안의 비탈	Zone III, IV
갈대뚝뚝	하안의 기단	Zone II
갯버들 모	하안의 정상	Zone IV
갯버들 삼목	하안의 정상	Zone IV
버드나무가지(윗가지 덮기, 버드나무엮기)	하안의 기단, 하안의 비탈	Zone II, III

세한 것은 건교부/건기연 보고서(1995, 12)와 환경부/건기연 보고서(1997, 1)에 기술되어 있으므로 생략하기로 한다.

### 3.2 공법재료와 적용구역

자연형 호안공법이 기존의 호안 공법과 다르게 분류될 수 있는 중요한 한 가지는 앞서 제 2장에서 자세히 밝힌대로 재료(소재)의 차이라 하겠다. 따라서 학여울 구간에 사용된 재료들(건교부/건기연, 1995, 12 ; 환경부/건기연, 1997, 1)을 우선 적용구역에 따라 분류하면 표 2, 3과 같다.

무생명 재료는(표 2) Zone II에 그 전체의 60%, Zone III에 30%, Zone IV에 10%로 하안의 기단부(Zone II)에 가장 많이 이용하였고 생명재료는(표 3) Zone II, III 각각에 22.2% Zone IV에 55.7%로 하안의 정상부에 가장 많이 사용되었다. 이와 같이 무생명 재료를 Zone II와 III에 많이 이용한 것은 자연적인 동식물의 서식처를 가로막고 있기 때문에 자연형 하천에서 기대할 수 있는 생태적 하천의 추이대에 유리하지 못한 면이 있다.

### 3.3 적용된 공법의 종류와 문제점

시험구간에 적용된 공법의 모니터링을 위하여 현재의 호안상태를 조사하였는데 조사방법은 시험구간의 하천 단면측량과 우점 식생조사 및 사진촬영(조사시기: 1997년 5월말부터 6월 중순)을 이용하였다. 분석한 결과는 아래 도표와 같다. 표 4에서 '적용된 공법'과 '공법의 목적/기대효과'는 시공당시 계획된 것을 인용하였다(건설교통부/건기연, 1995 ; 한국건설기술연구원 수자원연구실, 1995). 또한 시공당시의 하천단면의 측량자료가 없기 때문에 공법시공(한국건설기술연구원 수자원연구실, 1995)의 하천단면자료를 본고에서는 활용하였다. 따라서 적용된 각각의 공법이 원시공도에 의해서 시공되어졌으리라는 전제조건 하에 검토되었음을 첨언한다.

학여울 구간에 적용된 공법의 종류 및 적용상태를 종합하면 공통적인 문제점으로 아래와 같은 것을 지적할 수 있겠다.

표 4. 시험구간별 공법의 종류와 문제점

시험지구	적용된 공법 <sup>3)</sup>	공법의목적 /기대효과 <sup>4)</sup>	시공 2년후의 호안상태	문 제 점
A-1	Zone II에 나무말뚝에 버드나무역기, 갈대망태, Zone III에 맹아력이 있는 버드나무 가지덮기 및 갈대 뗏장심기, Zone IV에는 물억새 묘심기	Zone II에 통나무 말뚝에 버드나무 가지역기 및 갈대망태를 통해 하안 기단부의 침식방지, Zone III에 맹아력이 있는 버드나무 가지덮기 및 갈대뗏장을 이용 하안 비탈부의 토양유실 방지 및 녹화	하안기단부는 세굴되지 않았고 오히려 퇴적이 되었다. 하안의 비탈부는 윗가지 덮기로 사용한 맹아력이 있는 버드나무와 갈대 뗏장이 고사하였다. 우세한 식물은 개밀(Agrocyron tsukushiense v. transiens)와 소리쟁이(Rumex crispus)를 관찰할 수 있었다.	이 지역은 하천의 하류부분으로 유속이 느려서 하안기단부에 침식이 일어나는 구역이 아니므로 Zone II에 침식방지를 위한 나무말뚝박기보다는 하천의 생태적 측면에서 생명재료만으로도 가능하였으리라 생각된다. 갈대의 식재위치가 Zone III으로 부적합한 식물의 생육조건이였고, 버드나무역기의 위치는 Zone II와 III으로 적당하였으리라 생각되나 성장하지 못한 것은 시공상의 전문성이 부족했던 것이 아닐까 사료된다.
	시공당시		현 재	
도면				
사진				

- 갈대류(Phragmites australis, Phragmites japonica, Iris pseudacorus, Typha angustata)가 앞서 언급한 대로(참고: 2.3.1., 2.3.2.) Zone II에 식재되지 않았고 지하수위가 높은 하안의 비탈 또는 정

상부(Zone III, IV)에 식재되어 많은 개체가 고사하였다.

- 버드나무는 개척 식물의 하나로 일반적으로 상처에 강하고 맹아력이 강한 것이 보통인데 '갯버들' 꺾

3) 한국건설기술연구원 수자원연구소 1995.9  
4) 건설교통부 1995.12 / 환경부 1997.1

표 4. 시험구간별 공법의 종류와 문제점(계속)

시험 지구	적용된 공법	공법의목적 /기대효과	시공 2년후의 호안상태	문 제 점
A-II	Zone II에 맹아력이 있는 버드나무를 섞어 싹단을 누웠고, Zone III에는 마대에 흙을 채워 쌓고 갈대뿔장심기 및 황마섬유 덮기, Zone IV에는 갈대 근경부 심기를 하였음	호안의 세굴방지, 정수식물의 군락조성을 유도, 유속감소	Zone II에 누웠던 버드나무는 현재 그 자취를 찾을 수 없고 단지 나무말뚝만 남아 있는데 하안기단의 침식은 일어나지 않았다. Zone III, IV에서 식재된 갈대는 거의 관찰 할 수 없었고 침수가 빈번한 곳에 출현하는 관수식물군락에 속하는 소리쟁이(Rumex crispus)가 우점하고 있었다.	A-I에서와 같은 이유로 공법 적용의 효과가 크지 못하고 하안비탈부의 침식을 방지하기 위한 황마섬유덮기와 갈대 뿔장심기가 하안의 기울기(1:1.8)가 너무 가파른 이유로 효과적이지 못한 것으로 사료된다. 정수식물의 군락 조성을 위한 식재 계획에서 식재의 위치는 물론 정수식물의 군락 조성을 위한 식물의 종류가 다양하게 식재되지 못하였다.
시공당시			현 재	
도면				
사진				

꽃이'는 뿌리가 없어서 고사하였다 하더라도 '버드나무 그루터기 심기' 까지 성공하지 못한 것은 연수목 구역(Zone III)을 고려하지 못하였기 때문이라고 사료된다.

- Zone II에 사용된 무생명 재료를 이용한 공법들은 하천식생대의 연속성을 충분히 고려하지 못 하였다. 더구나 침식의 우려가 없는 하천의 하류구간의 하안기단부(Zone II)에 무생명 재료인 나무말뚝 연이어

박기 및 자연석쌓기 또는 나무말뚝 연이어박기 및 마대쌓기 등의 재료를 겹으로 사용한 것은 자연형 호안을 위한 것이 아니고, 오히려 상처난 토양에 세력이 강한 한 두가지의 개척식물의 번식을 유리하게 하였던 것으로 생각된다.

- 하천환경평가를 환경부 (1997. 12, p. 523-526)의 식생조사와 관련 현 시점에서 덧붙여 평가하자면(참고: 표 5) 이입식물들이 자연파괴가 되어진



표 4. 시험구간별 공법의 종류와 문제점(계속)

시험지구	적용된 공법	공법의목적/기대효과	시공 2년후의 호안상태	문제점
B-III	Zone I과 II에 돌담태와 자연석, Zone III에 갈대뗏장과 황마섬유 깔기, Zone IV에 갯버들 그루터기 심기	갯버들 그루터기 심기로 발생할 나무의 그늘로 수온 조절이 가능하여 어류와 조류의 유인	하안의 기단부에 이용된 돌담태나 자연석은 그 흔적을 관찰할 수 없도록 많은 유사가 쌓여있다. Zone III, IV에 심은 갈대와 버드나무는 다른 지구와 마찬가지로 고사한 듯 하며 많은 개척 식물종 특히 환삼덩굴 (Humulus japonicus)이 많이 출현하였다.	갯버들 그루터기가 그늘을 형성할 수 있을 때까지는 적어도 5년정도의 시간이 필요 (Albrecht, 1985)한데 2년이 지난 현재 관리의 소홀과 부적합한 식재위치 때문에 효과가 적다. 적합한 식재위치는 Zone II-III이다. 아울러 갈대의 고사원인은 식재위치와 하안의 기울기가 부적합한 때문이라 생각된다.
시공당시			현 재	
도면				
	S 1 : 50		S 1 : 50	
사진				

곳에서 출현하는 1,2년초(Therophyten)로 아주 우세하다. Sukopp(1969)에 따르면, 어떤 식물군집에서 1,2년초 (Therophyten)의 양이 증가할수록 그 곳의 환경은 인간의 영향력이 강하게 미친 곳이라 하였다. 예를 들면 1,2년초의 양이 전체 식물의 20% 미만인 경우 Mesohemeroby로서 인간의 영향이 조금 미친 환경영향상태를 지시하고 1,2년초의 양이 전체의 40%를 넘으면 그 곳의 환경상태는 외부에 의한 파괴상태를 나타낸다. 이렇게 볼때 A-I의 경우 1,2년초의

양은 수생식물을 제외시키면 85.7%나 된다. 시험지구 B와 C에도 이들이 차지하는 양은 75에서 87.5%나 된다. 물론 1,2년초의 양 만으로는 그 곳의 환경상태를 완전히 평가할 수는 없다. 하지만 공사전에 존재하던 식물류(건교부, 1995. 12. p. 166), 특히 자연에 가까운 하천변 식물들 예를 들면 멧석딸기(Rubus parvifolius), 줄사초(Carex lenta), 덩굴사초(Carex pseudocuraica), 방동사니(Cyperus microiria), 긴혹삼릉(Sparganium japonicum), 달뿌리풀

표 4. 시험구간별 공법의 종류와 문제점(계속)

시험지구	적용된 공법	공법의목적/기대효과	시공 2년후의 호안상태	문 제 점
C-1	Zone II에 자연석 쌓기 내지 나무말뚝 연이어 박기, Zone III에 갈대땃장 심기 및 황마씨우기	세굴방지와 식생의 발달유도	세굴이 일어나지 않았다. 하천특유의 식생은 현재까지는 관찰할 수 없고 갈대의 땃장 심기에 의한 식재결과는 양호하지 못하다. 우세한 식물은 소리쟁이(Rumex Crispus)이다.	세굴발생이 기대되지 않는 자연적인 모래섬의 Zone II에 토목용 재료를 이용한 것은 오히려 자연 발생적으로 진전될 수 있는 식생대를 저해하였다고 사료된다.
시공당시			현 재	
도면				
사진				

(Phragmites japonica) 등이 공사로 인한 자연환경의 파괴 때문에 생활력이 강한 식물들에게 밀려났다고 하겠다. 이에 대한 보상책은 실질적으로 공법적용을 통한 '정수식물군락조성'(건교부/건기연, 1995, p. 195, 204)이라 할 수 있었을텐데 표 4에서 언급하였던 이유로 잘 이루어지지 못한 것 같다.

#### 4. 결론 및 제언

자연형 호안공법의 개발에서 가장 중요하게 다루어져야 하는 것은 기존의 호안공법에서 등한시하였던 하천생태계의 보전 및 복원이라고 생각된다. 물론 자연형 호안만으로는 하천생태계를 완전히 복원시킬 수는 없지만 적어도 하천특유의 식생대를 조성시켜 주

므로써 장래에는 그 환경에 맞는 생물의 서식공간이 저절로 이루어질 수 있게 하자는 것이다(Schlueter, 1992 ; Gunkel, 1996). 따라서 치수의 염려가 없는 하안은 주로 생명력이 있는 재료, 즉 하천특유의 식생을 선택하고 그 식물은 그 생육조건에 맞게 식재하여야만 한다. 반대로 하안침식이 우려되는 곳에는 생명력이 있는 재료와 생명력이 없는 재료를 혼합한 공법이 선택되어야 하겠다. 이 때에 무생명재료는 통나무나 커다란 자연석보다는 가능한 한 동식물의 서식공간을 제공할 수 있는 쇠석이 유리하다(Schoenborn, 1992). 파랑이 아주 심하고 유속이 빠른 구역일 경우는 자연형 하천에서도 부득이 무생명력 재료만을 사용할 수도 있다. 이 때에는 가능한 한 그 사용범위가 지속적이지 않도록 하여야 한다

표 5. 이입식물 및 생활형

구분	식생명		구간				생활형
			ZONE I	ZONE II	ZONE III	ZONE IV	
	출현종의 수		1	7	7	6	
A-I	Alopecurus aequalis	뚝새풀					T
	Humulus japonicus	환삼덩굴					T
	Persicaria hydropiper(?)	여뀌					T
	Equisetum arvense	쇠뜨기					다년생
	Bidens tripartita	가막사리					T
	Chenopodium album	명아주					T
	Echinochloa crus-galli	돌피					T
	1,2년생(Therophyten)						85.7%
	다년생						14.2%
	출현종의 수		1	4	1	1	
B-III	Persicaria thunbergii	고마리					T
	Persicaria hydropiper	여뀌					T
	Humulus japonicus	환삼덩굴					T
	Miscanthus sacchariflorus	물억새					다년생
	1,2년생(Therophyten)						75%
	다년생						25%
	출현종의 수		1	8	9	6	
C-II	Persicaria hydropiper(?)	여뀌					T
	Humulus japonicus	환삼덩굴					T
	Alopecurus aequalis	뚝새풀					T
	Artemisia princeps	쑥					다년생
	Chenopodium album	명아주					T
	Chenopodium bryoniaefolium	청명아주					T
	Ambrosia artemisiifolia	돼지풀					T
	Persicaria perfoliata	머느리배꼽					T
	1,2년생(Therophyten)						87.5%
	다년생						12.5%

(Schlueter, 1992).

국내 최초로 양재천 학여울구간에 시험적용된 공법들은 기존의 하천정비가 고려하지 못했던 생태계의 보전 내지 복원을 시도하기 위한 첫 출발로서 그 의의가 있다고 하겠으며, 관련된 문제점을 파악하고 개선하여 나아간다면 앞으로의 국내 하천환경계획에 큰 전환점이 될 수 있는 많은 가능성을 제시하였다고 하겠다. 예를 들면 자연형 호안공법의 생물공학적 원리

는 하안뿐이 아니라 절개지의 사면을 보호하고자 할 경우에도 응용할 수 있고 거의 모든 하천에 하도나 하상의 변경없이도 실시할 수 있어서 경제적인 여건이 허락하지 않는 범위에서도 손쉽게 하천환경을 조금이나마 개선할 수 있다고 본다. 특히 녹지가 부족한 도심지의 경우 도시민의 친수공간으로 활용할 수 있어 공법적용에 대한 많은 연구와 특히 생명력 있는 재료의 개발이 시급히 요구된다. 46

## 〈 참고 문헌 〉

- BEGEMANN, W. & SCHIECHTL, H-M., 1986: Ingenieurbiologie: Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau. Wiesbaden, Berlin.
- BITTMANN, E., 1965: Grundlagen und Methoden des biologischen Wasserbaus. In: BUNDESANST. F. GEWAESSERKUNDE (Hrsg.): Der biologische Wasserbau an den Bundeswasserstrassen. Stuttgart. S. 17-78.
- GUNKEL G. (Hrsg.), 1996: Renaturierung kleiner Fliessgewaesser. Jena, Stuttgart.
- HILLER, H., 1985: Lebender Baustoff Pflanzen: Graeser und Kraeuter des Roehrichts. Ingenieurbiologie Collegbeilageheft. TU Berlin.
- HOHMANN, J. & KONOLD, W., 1995: Renaturierung von Fliessgewaessern. Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung an der Enz in Pforzheim. Landsberg.
- KIM, H-J., 1996: Die Ufervegetation eines Fliessgewaessers in Abhaengigkeit vom Ausbau mit unterschiedlichen Materialien. (Schriftenreihe im Fachbereich Umwelt und Gesellschaft Nr. 103), Berlin
- KRAUSE, A., 1979: Ufergehoeelzpflanzungen an kleinen Wasserlaeuften. Praktische Beispiele aus Nordwestdeutschland. Schriftenr. d. Deutschen Rates f. Landespflge 33, 195-198.
- LANDESANSTALT FUER WASSER UND ABFALL NRW 1989: Richtlinie fuer naturnahen Ausbau und Unterhaltung der Fliessgewaesser in NRW. 4.Aufl., Essen.
- MESZMER, F., 1972: Die Sichelberme, ein Gestaltungselement landschaftsgerechten Wasserbaus. Wasser und Boden (1), Jg. 24, 16-19.
- MUTH, W., 1991: Wasserbau. Landwirtschaftlicher Wasserbau, Bodenkultur. 2. Aufl., Duesseldorf.
- PRUECKNER, R., 1965: Die Technik der Lebendverbauung, Wien.
- SCHLUETER, U., 1986: Pflanze als Baustoff. Ingenieurbiologie in Praxis und Umwelt. Berlin, Hannover.
- SCHOENBORN, W., 1992: Fliessgewaesserbiologie. Jena, Stuttgart.
- SEIFERT, A., 1938: Naturnaerer Wasserbau. Deutsche Wasserwirtschaft 33 (12), 361-366.
- SUKOPP, H., 1969: Der Einfluss des Menschen auf die Vegetation. Vegetatio 17, 360-371.
- TUEXEN, R., 1961: Wesenszuege der Pflanzengesellschaften als lebendiger Baustoff. In: Angewandte Pflanzensoziologie Nr. 17, S. 64-70.
- WILLY, H., 1986: Vor- und Nachteile des naturnahen Gewaesserlaufes im Vergleich zu kanalisiertem Fliessgewaessern. Mit. Inst. f. Wasserbau und Kulturtechnik 173, TH Karlsruhe.
- 건설교통부/건기연, 1995. 12: 도시하천의 하천환경 정비 기법의 개발.
- 이진원, 김형섭, 우효섭, 1993. 7.: 댐건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화분석, 대한토목학회논문집 제 13권 제 3호, p. 79-91.
- 환경부/건기연, 1997. 1: 국내여건에 맞는 자연형하천공법의 개발. Vol. 1.