

우리나라 하천특성에 맞는 자연형 환경호안 공법  
설계기준에 관한 연구

A Study on the Design Standards of Close-to  
Nature Channel Revetment Techniques  
Adapted to the Korea Streams

연 구 원 : 오 경 두

(육군사관학교 토목공학과 교수)

이 진 원

(한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원)

김 민 규

((주)한국종합기술개발공사 수자원개발부 과장)

# 1. 서 론

## 1.1 연구의 목적 및 배경

### 1.1.1 연구의 목적

최근 하천환경에 대한 관심이 고조되면서 고수부지 정비, 저수로 정비 등 하천의 환경 기능을 향상시키기 위한 각종 시책과 사업이 활발히 이루어지고 있다. 지금까지 우리나라 하천은 치수위주로 정비되어 온 것이 사실이며, 하천의 환경을 고려한다는 정비도 도시 내 토지의 고도이용측면만 강조되어 고수부지의 주차장화, 각종 체육시설 설치, 콘크리트의 획일적인 하도정비 등 단편적인 하천정비만이 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 획일적인 하천공간관리는 하천을 점점 인공화, 단순화시켜 인간에게 가장 가까운 자연의 하나인 하천을 점점 황폐화시킴으로써 소중한 자연환경을 인간으로부터 점점 멀어지게 하는 결과를 초래하고 있다. 이에 따라 하천이 인간생활에 윤택함과 풍요로운 자연으로서의 혜택을 줄 수 있도록 정비하고 또한 후손에게 물려줄 국토환경을 보전하기 위하여 하천의 환경관리에 대한 명확한 방향 제시가 무엇보다 절실한 실정이다.

이 연구에서는 하천환경의 기본적인 정비방향과 구체적인 시행방법을 제시함으로써 하천의 효율적인 이용과 보전을 도모하고자 하는 것이며, 특히, 중·소 하천별로 하천수리 특성 및 생태계 보전에 적합한 자연형 환경호안 설계기준을 제시함으로써 국내 하천기술자들이 자연형 하천공법을 손쉽게 하천 실무에 적용하도록 하는데 그 목적이 있다.

### 1.1.2 연구의 배경

자연형 환경호안공법에 관한 지금까지의 연구는 하천의 수리, 수문 특성을 고려하기 위한 뚜렷한 기준이 마련되어 있지 않은 상태이며, 시험구간에 대한 수리학적인 안정성 검토와 생태계 복원, 경관 특성 등에 치우친 연구개발이 주를 이루고 있다. 또한 하천규모에 따른 수리특성이 상이함에도 불구하고 일률적으로 이미 개발된 자연형 하천호안공법을 적용해야 한다는 어려움과 실패사례에 대한 분석 없이 자연형 호안공법을 제시하고 있어 안정성 결여에 따른 실무적용의 어려움이 있으므로 우리나라 하천특성에 맞는 호안공법 및 소재개발과 호안공법에 대한 설계기준의 제시가 필요하다.

## 1.2 연구의 범위

이 연구에서는 우리나라 하천특성에 맞는 자연형 환경호안의 공법과 호안공법에 대한 설계기준으로 수리학적 안정성을 검토를 위한 평가항목과 방법에 대한 기준을 제시한다.

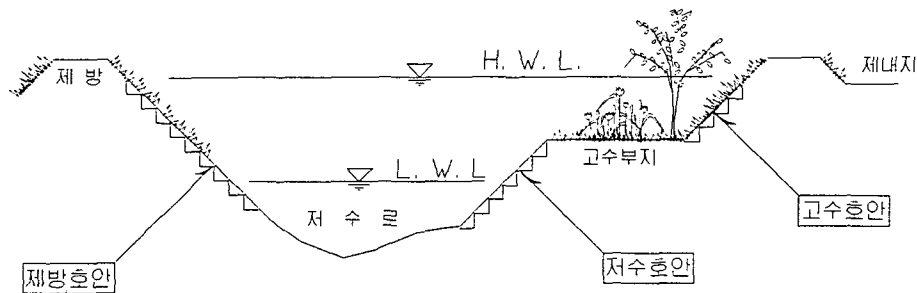
## 2. 자연형 환경 호안공법

### 2.1 자연형 환경호안의 기능 및 정의

#### 2.1.1 자연형 환경호안의 정의

하천시설기준(1993.12)에 의하면 「호안은 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로 부터 직접 보호하기 위해 제방 앞 비탈에 설치하는 구조물이다.」라고 정의하고 있다.

호안은 설치위치에 따라 고수호안, 저수호안 그리고 제방호안의 3가지로 분류된다. 여기서 고수호안이라 함은 홍수 시 제방의 앞 비탈을 보호하기 위하여 비탈면에 설치하는 호안을 말하며, 저수호안은 저수로에서 발생하는 난류의 영향과 고수부지의 세굴을 방지하기 위하여 저수로의 하안에 설치하는 호안을 의미한다. 특히, 저수호안은 홍수 시 유수에 잠기므로 세굴에 대한 안정검토가 필요하다. 또한 제방호안은 고수부지가 없이 저수로가 제방사면에 직접 접해있거나 홍수 시 수충부가 되는 요안부(凹岸部) 등에 설치하는 호안을 의미한다. <그림 2-1>은 임의 하천 단면에서의 호안의 종류를 나타내는 모식도이다.

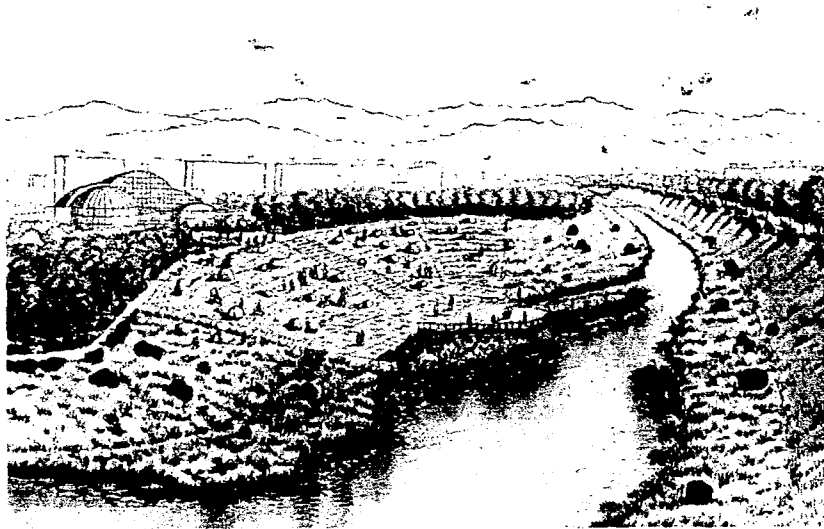


<그림 2-1> 호안의 종류

이 연구에서 다루고자하는 환경호안은 앞서 기술한 호안의 기본적인 기능 외에 환경적인 요인도 고려하여 설계하는 호안을 지칭하며, 설계목적에 따라 친수·하천이용 호안, 생태계 보전 호안, 경관 보전 호안의 3가지로 분류될 수 있다.

여기서 친수·하천이용 호안은 물놀이 또는 수변 휴식처에서의 여가활동을 하기 위한 하천공간 이용자의 하천 접근을 보다 쉽게 하기 위한 형태로 설계된 호안을 말한다. 이러한 친수·하천이용 호안에는 고수부지에서의 체육활동이나 행사의 관람을 위하여 고수호안을 계단형상으로 설계하는 관람석호안과 물가로의 접근성을 향상시키기 위한 저수계단 호안, 그

리고 자연석을 이용하여 경관특성을 향상시킬 수 있는 계단호안이 있다. 또한 저수호안의 경사를 완만하게 하여 고수부지에서 저수로로의 접근을 용이하게 하기 위한 환경사호안이 있다. <그림 2-2>는 친수·하천이용 호안의 대표적인 형태로 관람석호안의 설계 예를 도시한 것이다.



(a) 관람석 호안의 설계 예



(b) 계단호안의 시공 예 (성내천 좌안)

<그림 2-2> 친수·하천이용 호안의 설계 예

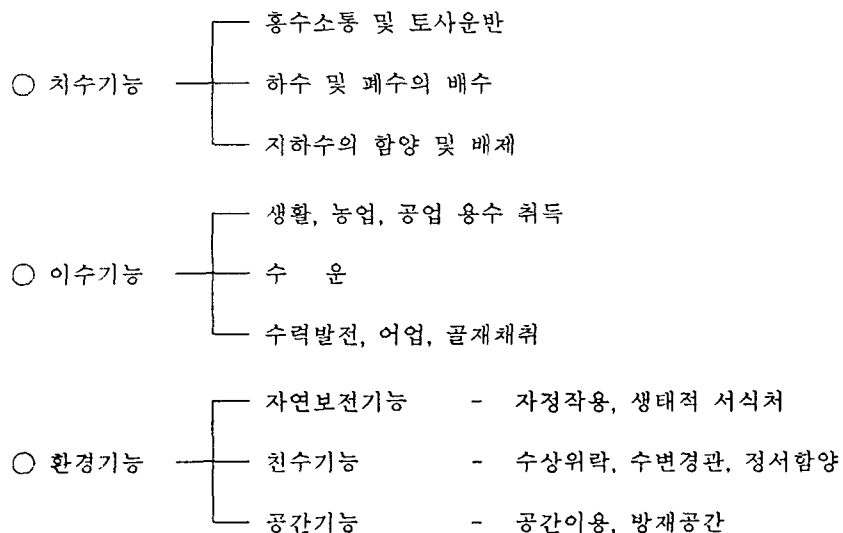
생태계보전 호안은 수중생물의 산란과 생육, 홍수 시 대피장소의 제공을 고려하여 설계된 호안을 지칭하며, 주로 어소형 블럭에 의한 호안형태와 밀다짐 재료로 어류서식이 가능한 재료를 사용하는 호안형태 등이 있다.

경관보전호안은 주변환경과의 조화 또는 외간의 아름다움을 고려하여 설계하는 호안을 지칭하며, 녹화블럭을 사용한 녹화호안과 칼라블럭 등을 이용한 조경호안이 있다.

### 2.1.2 하천의 종합적인 정비·보존방향

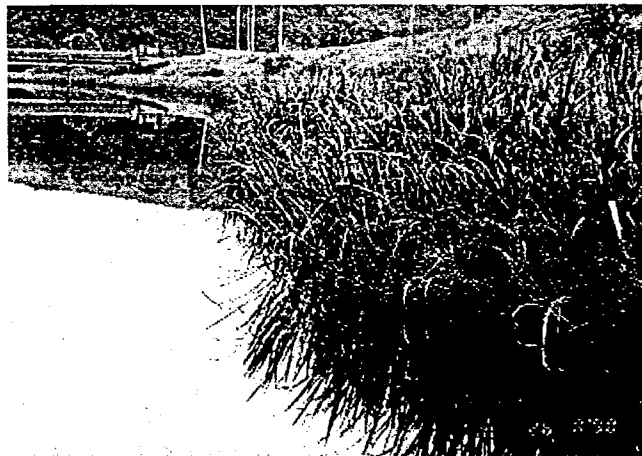
하천환경은 물을 주체로 하는 물 환경과 공간을 주체로 하는 공간환경으로 구성되며, 지역사회의 생활환경형성에 큰 역할을 담당하고 있다. 따라서 하천 환경정비는 하천이 갖는 자연성을 유지하고 하천경관을 개선하여 자연과 인간이 조화를 이루는 하천이 인간생활에 윤택함과 풍요로운 자연으로서의 혜택을 줄 수 있도록 정비하여 후손에게 물려줄 국토환경을 보전하는데 그 목적이 있다. 하천이 가지고 있는 기능적 측면에서 볼 때 하천은 홍수소통과 물의 이용이라는 이·치수측면 외에도 인간의 정서를 순화시키고 경관 미를 창출할 수 있는 환경기능을 가지고 있는 주요한 자연공간이다.

지금까지 국내 하천은 치수와 이수 목적 위주로 개발되어 왔으나 최근에 이르러 하천주변의 도시화에 따른 주변공간을 효율적으로 이용하기 위하여 치수적 목적 이외에도 도시미관 및 환경개선이라는 물 환경 측면과 하천이용자가 쉽게 수변에 접근할 수 있도록 친수기능 및 생태계보전의 기능을 갖도록 하천의 특성, 유역의 문화, 역사, 생업, 경제상황을 고려한 하천정비와 개발이 추진되고 있다. 하천의 개발과 정비에 있어서 기능별 고려사항은 다음과 같다.

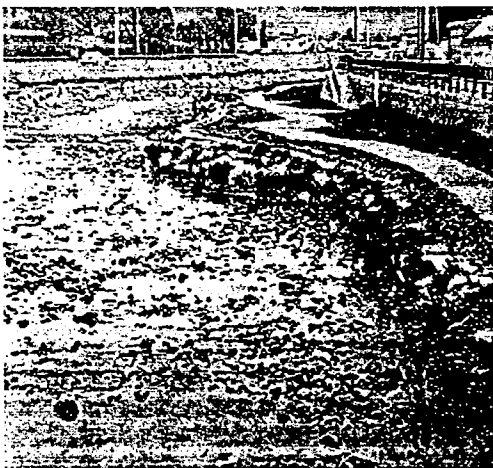


### 2.1.3 왜 자연형 호안공법인가 ?

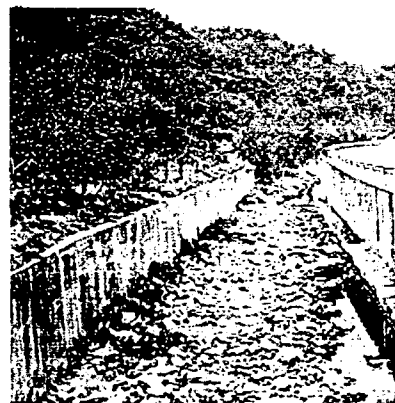
이 연구에서 다루고자하는 자연형 환경 호안공법은 기존의 하천이 가지고 있는 치수적 측면에서의 안정성 유지·확보라는 기능은 그대로 유지하면서 자연과 사람이 어우러질 수 있는 하천의 참모습을 되찾고자하는 자연 하천공법의 한 부분을 차지하고 있다. 하천에서의 자연적 특성의 복원과 향상을 위해서는 인위적인 시설물의 설치와 사람의 접근을 최대한 억제하는 방향으로 공법개발이 시행되어야 한다. 그러나 경제·사회의 발전에 따라 사람들의 가치관도 다양해지고 높아지면서 지역의 풍토를 형성하고있는 수변공간에 대해서 치수·이수적 측면뿐만 아니라 자연환경이 보존되고 향상된 공간형성을 기대하고 있다.



(a) 자연이 그대로 남아있는 하천(탐진강)



(b) 친수기능이 향상된 하천(수원천)



(c) 생태통로가 단절된 산지하천(영평천)

<그림 2-3> 하천정비에 따른 개발과 보존의 양면

<그림 2-3>은 자연보존노력에 의하여 자연이 그대로 남아있는 하천의 싱그러운 전경과 인위적인 하천정비로 인하여 생태통로가 단절될 흉한 모습을 드러내고 있는 산지하천, 그리고 친수성이 향상된 도시하천의 사례를 비교한 것이다.

따라서 이 연구는 하천의 기능별, 공간별 특성에 맞는 하천의 친수성과 경관 특성을 향상시키고자하는 하천의 개발측면에서 자연형 호안공법의 설계기준을 제시하는 범위에서 수행된다.

## 2.2 기존 국내·외 자연형 환경호안공법 연구의 조사

### 2.2.1 국외의 자연형 환경호안공법의 연구

우리나라 하천특성에 맞는 호안공법을 제시하기 위하여 국외의 자연형 환경호안공법의 연구사례를 수집 분석하였다. 우리나라에서도 최근 자연 하천환경을 보전하려는 국민적 관심이 고취됨에 따라 정부의 G7 과제에 국내 연구기관에서 자연형 환경호안공법에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이때 수집된 외국의 관련연구사례가 다수 있으므로 이중 환경호안공법에 대한 부분을 발췌하여 이 연구에서 다루고자 하는 환경호안공법에 대한 설계기준 마련에 참조하였다.

#### 1) 일본의 다자연형 하천정비

일본의 다자연(多自然)형 하천정비사업은 구미 선진국에서의 「근자연형 하천공법」을 받아들여 자연이 풍부한 하천으로 개발·관리하려는 노력의 일환으로 1980년대 중반에 시작되었다. 이전까지 일본은 우리나라와 마찬가지로 치수와 이수 측면에서의 하천관리가 주를 이루고 있었다. 현재 일본의 다자연형 하천정비 공법은 실험적인 성격을 띄고 있으며, 이는 대상하천의 하천정비사례를 볼 때 전체구간에 대한 정비를 하지 않고 일부구간에 대한 정비를 수행함으로써 향후 발생될 수 있는 문제점들을 도출하기 위한 도구로 활용될 수 있다.

또한 일본의 하천특성은 급격한 지형지세로 하상경사가 급하고 하폭이 좁으며, 하상계수가 크고 단시간 내 홍수가 발생한다. 이러한 하천특성을 고려한 일본의 다자연형 하천공법은 치수상의 안전성을 확보한 후에 적극적인 자연창조를 도모하는 것으로 일본 건설성이 제시한 다자연형 하천공법 중 호안공법의 검토방안은 수리특성에 따라 식생과 나무 또는 석재를 병행한 하안보호공을 채택하며, 사석 등 공극구조를 갖는 재료를 채택하도록 하고 있다.

일본의 환경호안공법에 대한 연구 중 대표적인 사례로는 녹화생태연구소에서 수행중인 복토호안에서의 식물생육에 관한 연구이다. 이는 기존 콘크리트 호안 위에 복토를 하고 여기에 파종 또는 식재를 하는 것으로 기존 콘크리트 호안을 매우 경제적으로 자연형 호안으로 바꿀 수 있다는 장점을 가지고 있으나 큰 홍수 시 복토의 유실과 유실된 흙의 하도내 퇴

적 등 치수측면에서의 문제점도 가지고 있다. 그 밖의 자연형 환경호안이 시공된 사례로는 多摩川 田園調布시 구간에 시공된 호안으로 돌바구니와 나무울타리, 사석, 기초보호용 블럭 등이 사용되었다. 니가류혼천(二ヶ龍本川)의 저수호안은 돌과 목재 등을 사용하여 시공되었으며, 하안에서의 흙의 유실을 방지하기 위하여 토목섬유를 사용하였다. 또한 요꼬하마의 이따찌(いたさ)천은 총유로연장 7.2km 중 2km에 대하여 통나무 상자호안을 정비하고 야자섬유로 흙의 유실을 방지하였으며, 하수도 유입구에는 나무말뚝을 박아 유속을 완화시켰다.

이상과 같은 일본에서의 다자연형 하천정비기법은 하천시설물의 재료를 가급적 인근에서 취득 가능한 자연재료를 이용하고, 그때의 구조는 자연생태계 및 경관을 고려하는 것이다. 따라서 호안 설치 시 자연석, 목재, 나무 및 풀 등 자연재료를 주로 이용하되 인공재료를 이용하거나 기존의 인공시설을 이용할 경우 자연성을 회복할 수 있도록 강구하고 있다.

## 2) 독일의 근자연형 하천정비

독일의 近自然型 공법(naturnaher wasserbau)은 인공적으로 정비된 강을 자연적인 하천으로 변형하여 하천의 자연상태를 유지하려는 움직임과 임의 선정된 하천구간을 자연상태로 복원될 수 있도록 초기조건을 갖추어주려는 움직임의 2가지로 구분된다. 특히 Pforzheim 시 동부의 Enz강 지역에 대한 근자연형 하천정비에 대한 “Handbuch Wasser 2: Bauweisen des naturnahen Wasserbau, Ministerium für Umwelt, Baden-Württemberg, 1991”에서는 대상지구별 환경호안의 설계 예를 제시하고 있어 환경호안 설계뿐만 아니라 시공 측면에서도 많은 도움을 주고 있다. 또한 Karlsruhe 대학의 수리공사와 토지개량기술연구소에서 시행된 모형실험을 통하여 몇몇 공법에 대해서는 대상 하천 수리량의 평균값을 사용하여 공법의 선정과 시공위치 등을 결정할 수 있도록 하였다.

이러한 독일의 근자연형 하천정비에 대하여 건설교통부 보고서 “자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사연구, 1994”에 언급된 내용 중 환경호안과 관련된 내용을 정리하면 다음과 같다.

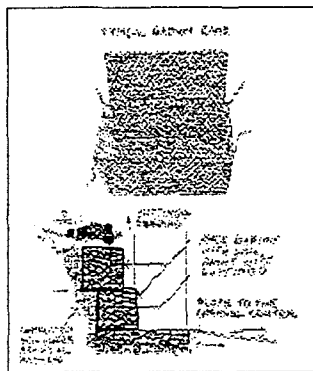
- ① 하천정비에 사용되는 재료는 가급적 자연재료를 사용하며,
- ② 수변공간의 보전 및 이용에 관한 합리적 계획을 도출해야 하며,
- ③ 하상변화와 관련된 충분한 자료를 확보하기 위하여 기초사업을 실시하고,
- ④ 시공결과에 대한 장래 하상변화를 예측함으로써
- ⑤ 자연적으로 하천이 복원되도록 한다.

## 3) 미국의 도시하천 복원 프로그램

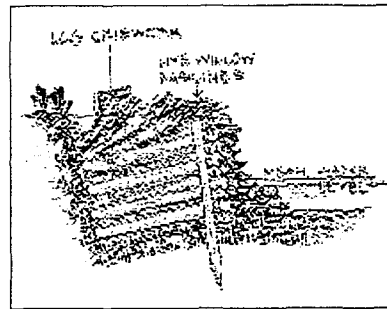
환경부 보고서 “국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발, 1997”에 의하면 “미국의 도시하천 복원(urban stream restoration)은 도시지역이나 밀집거주지역을 흐르는 하천에서 홍



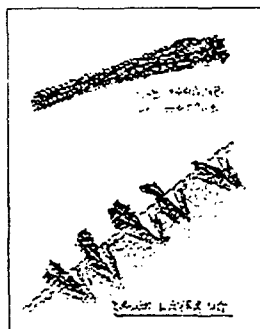
수, 하상 침식, 제방불안정 등의 문제가 생태적 서식처, 경관 등 하천의 자연적 가치를 악화시키고 하천변의 자산가치를 떨어뜨리는 것을 막기 위해 홍수피해를 감소시키면서 하천의 환경적, 심미적 기능을 회복시키는 것을 의미한다. 과거에는 이러한 홍수나 침식 및 제방불안정 등에 의한 피해를 예방하기 위하여 하천을 정비할 목적으로 콘크리트 하도가 주로 사용되었다. 그러나 하천복원 사업에서는 콘크리트 대신에 통나무, 살아있는 버드나무, 돌, 수목 등 자연재료를 이용하여 환경친화적인 방법으로 하천을 정비함으로써 홍수피해의 경감은 물론 자연하천의 특성을 되살아나게 하는 것이다.”라고 적고있다. 또한 토양생물공학법(soil bioengineering)에 의하여 호안 등 나무의 활착이 어려운 곳에서의 식재를 가능하게 하는 호안공법을 소개하고 있으며, 그 대표적인 4가지 형태를 소개하면 <그림 2-4>와 같다. 여기서 소개되고 있는 돌바구니(gabion), 나무틀 옹벽(wood crib wall), 나무다발(fascines or wattles), 가지 덮기(branch matting) 공법은 급경사 호안 등 처음에 정상적인 식재방법으로 나무가 활착하기 어려운 곳에 활착을 돕기 위한 공법이며, 공법에 도입되는 재료는 인근에서 구하기 쉬운 생나무가지, 돌, 풀 등이다.



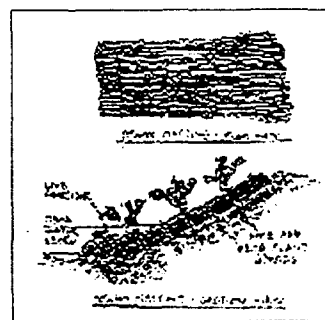
(a) 돌바구니



(b) 나무틀 옹벽



(c) 나무다발



(d) 가지 덮기

<그림 2-4> 토양생물공학법에 소개된 활착용 호안공법 예

### 2.2.2 국내의 자연형 환경호안공법의 연구

국내에서도 자연하천 환경을 보전하려는 국민적 관심이 고취됨에 따라 정부의 G7과제로 자연형 하천에 대한 연구가 진행 중에 있으며, 특히 자연형 환경호안공법에 대해서는 환경부의 "사람과 생물이 어우러지는 자연환경의 보전, 복원, 창조 기술의 개발"과 관련한 연구를 들 수 있다. 이 연구에서는 자연형 저수로 호안의 효과를 종류별로 다음과 같이 제시하였다.

표 2-1. 자연형 저수로 호안의 이용재료에 따른 분류

이용재료	공 법	비 고
나무와 식생	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 버드나무가지 공법</li> <li>• 나무말뚝 공법</li> <li>• 나무틀 공법</li> <li>• 통나무 공법</li> </ul>	
석 재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 돌망태 공법</li> <li>• 돌바구니 공법</li> <li>• 돌쌓기 공법</li> <li>• 사석호안</li> </ul>	메쌓기, 찰쌓기
콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 블럭 공법</li> <li>• 콘크리트 틀 공법</li> <li>• 돌심기 공법</li> <li>• 기타 콘크리트 공법</li> </ul>	식생, 녹화, 경관, 어소, 계단 블럭  콘크리트면에 돌심기 현장타설 콘크리트, 콘크리트 마대공법
기타재료	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 야자섬유 공법</li> </ul>	

이 연구에서는 자연형 저수로 호안이 양재천 하역율 구간에 시공된 후 단위 공법별 모니터링결과를 다음과 같이 제시하였다. 여기서 양재천 하역율 구간은 1995년 건설교통부의 "도시하천의 하천 환경 정비 기법의 개발" 연구의 일환으로 시공되었으며, 이때 개발된 자연형 저수로 호안은 10종이며, 자연형 저수로 호안에 대한 모니터링의 평가항목은 홍수 전·후의 식물상, 식생피복, 재생 활착 여부 등이다.

또한 이 연구에서는 자연형 하천 공법의 수리학적 안정성을 검토하기 위하여 수치모형에 의한 수리량을 검토하고 이를 이용한 개별공법의 구체적인 평가를 실시하려하였다. 여기서 사용된 모형은 수심적분 2차원 흐름모형이며, BOSS사의 SMS모형과 음해교호법(ADI)을 사용한 개발프로그램이다. 그러나 하천정비에 따른 수리안정성 검토는 주로 저수로계획 및 여울-소 구조에 대한 수리량과 하상변동에 대한 것이며, 하천공법 특히 호안설계에 대한 미시적이고 자세한 수리학적 안정성 검토는 실시하지 않았다. 또한 복단면을 가지는 하천에서의 횡방향 2차류 흐름에 대한 해석은 실시하지 않았다.

## 2.3 우리나라와 외국의 수자원 특성

### 2.3.1 강우 및 하천 유출 특성

우리나라는 동북아시아에 위치하고 있으므로 아시아 몬순기후에 속하며, 1995년부터 1988년까지의 30년간 우리나라 연평균강수량은 1,274mm이다. 또한 월 강수량의 분포는 다우기인 6월부터 9월까지의 강수량이 연간 총강수량의 약 2/3를 차지하고 있어 강수량의 계절적 변화가 매우 크며, 그에 따른 하천유출의 변화도 매우 심하여 우리나라의 연간 하천유출량은 697억 m<sup>3</sup>으로 내륙 연평균 총강수량 1,267억 m<sup>3</sup>의 55%를 차지하는 수치이다. 이는 우리나라의 하천특성이 미국이나 유럽에 비하여 유역이 작고 경사가 급하며 유로연장이 짧기 때문에 일시에 대량의 유출이 발생하는 수문특성을 나타내는 것이다. 또한 하천유출량의 월변화를 살펴보면 7월~9월의 3개월간의 유출량이 1년 전체 유출량의 60%를 차지하고 있다. 우리나라의 수자원 특성을 <표 2-2>에 정리하였다.

<표 2-2> 우리나라의 수자원 특성

항 목		한강	낙동강	금 강	섬진강	영산강	전국
수계면적 (km <sup>2</sup> )		26,018	23,326	9,810	4,897	1,319	-
유로연장 (km)		470	510	401	212	766	-
강수량	연평균 (mm)	1,286	1,166	1,269	1,414	1,319	1,274
	변화폭 (mm)	711 ~ 1,820	713 ~ 1,622	766 ~ 1,757	801 ~ 2,065	766 ~ 1,945	754 ~ 1,683
	강수총량 (억m <sup>3</sup> )	335	285	127	71	45	1,267
유출량	총량 (억m <sup>3</sup> )	193.8	139.5	62.1	38.3	27.5	654.3
	유출계수 (%)	58	49	49	54	57	55

### 2.3.2 유황 특성

우리나라 하천은 강수량의 월 변화가 크므로 이에 따른 하상계수도 매우 크다 <표 2-3>은 우리나라 5대강과 외국 하천의 하상계수를 비교한 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 우리나라 주요하천의 자연상태에서의 하상계수는 유럽하천의 하상계수보다 매우 크며, 유럽의 경우 하상계수는 50이하를 유지하고 있으므로 하천의 유지유량이 풍부한 것으로 나타나

고 있다. 그러나 우리나라 하천의 경우에도 다목적 댐의 건설로 인한 유황의 개선은 두드러지게 나타나고 있으므로 지속적인 수자원 개발을 위한 필요성을 보여주고 있다.

<표 2-3> 국내외 주요하천의 하상계수

하 천 명		하상계수	하 천 명	하상계수
한 강	자연하천	390	탐즈강	8
	충주댐 이후	90	다뉴브강	30
낙동강	자연하천	260	세느강	34
	안동댐 이후	260	라인강	16
금 강	자연하천	300	미주리강	75
	대청댐 이후	190	미시시피강	100
섬진강	자연하천	390	오하이오강	364
	선진강댐 이후	270	나일강	30
영산강	자연하천	320	대정천(일본)	110
	농업용댐 이후	130	이근천(일본)	900

주) 하천공간정비기법 개발 조사·연구, 건설교통부, 1996.3

### 3. 자연형 환경호안공법 및 안정성 검토

#### 3.1 자연형 환경호안공법의 설치 계획 및 분류

##### 3.1.1 자연형 환경호안의 설치 계획

하천시설기준에 의하면 호안설계 시 다음사항에 유의하도록 제안하고 있다.

- ① 기초세굴에 대하여 안전할 것
- ② 뒷채움 토사의 유출에 대하여 안전할 것
- ③ 배후에서의 토압, 수압에 대한 붕괴에 대하여 안전할 것
- ④ 유수에 의한 비탈덧기 면의 파괴에 대하여 안전할 것
- ⑤ 호안 비탈머리 부분에서의 세굴에 대하여 안전할 것
- ⑥ 호안구조의 변화 점에서 파괴에 안전할 것

- ⑦ 호안법선은 개수계획 법선을 고려하고 홍수 시 유수의 직진에 의한 세굴 및 파괴가 발생되지 않도록 할 것
- ⑧ 시공의 용이성, 공사비의 저렴성을 고려할 것

또한 하천환경은 물을 주체로 하는 물 환경과 공간을 주체로 하는 공간환경으로 나누어 지므로 지역사회의 생활환경설정에 큰 역할을 담당하고 있다. 따라서 이러한 수변공간에 대해서 치수, 이수 측면뿐만 아니라 환경 측면에서의 공간형성을 위하여 다음과 같이 하천의 기능별 공간 구역을 구분하고 각 공간 구역에 타당한 환경호안을 설계하여야 한다. 하천의 기능별 구역부분은 다음과 같다.

- ① 자연하천구역 : 급류계곡 및 산지 등 자연상태가 그대로 유지되는 구역으로 하천생태계와 하천경관의 보전 및 재생이 필요한 구역
- ② 전원하천구역 : 유역 내 전답 등을 이용한 지역주민의 활동이 이루어지는 구역으로 수변에서의 하천생태계를 고려하면서 인간생활과 조화를 이루고 자연경관을 보전 또는 향상시켜야 하는 구역
- ③ 도시하천구역 : 지역주민 생활의 중심이 되며 문화, 역사를 포함한 인문, 사회적 측면에서 도시하천 경관을 보전하고 하천이 도시내 중요한 자연으로써 그 역할이 필요한 구역

이러한 하천의 기능별 구역부분에 따라 유역의 수문, 수리특성과 자연특성 및 사회적인 특성 그리고 장래 개발계획 등을 고려하여 다음과 같이 공간구역을 구분하고 기능별 시설물을 배치 계획한다.

<표 3-1> 하천공간 구역의 구분

구역구분	정비방향
인공정비 구역	인공시설물을 중심으로 적극적으로 정비하는 구역
시설이용 구역	인공정비구역과 같이 인공시설이 중심이 되지만 특히 자연하천경관이 좋은 구역
정비자연 구역	인공적 이용과 자연적 이용이 공존하는 구역
자연이용 구역	자연적인 시설을 중심으로 정비하되 일부 인공시설도 고려하는 구역
자연보전 구역	자연생태계 및 자연경관을 보전할 목적으로 설정한 구역

### 3.1.1 자연형 환경호안공법의 분류

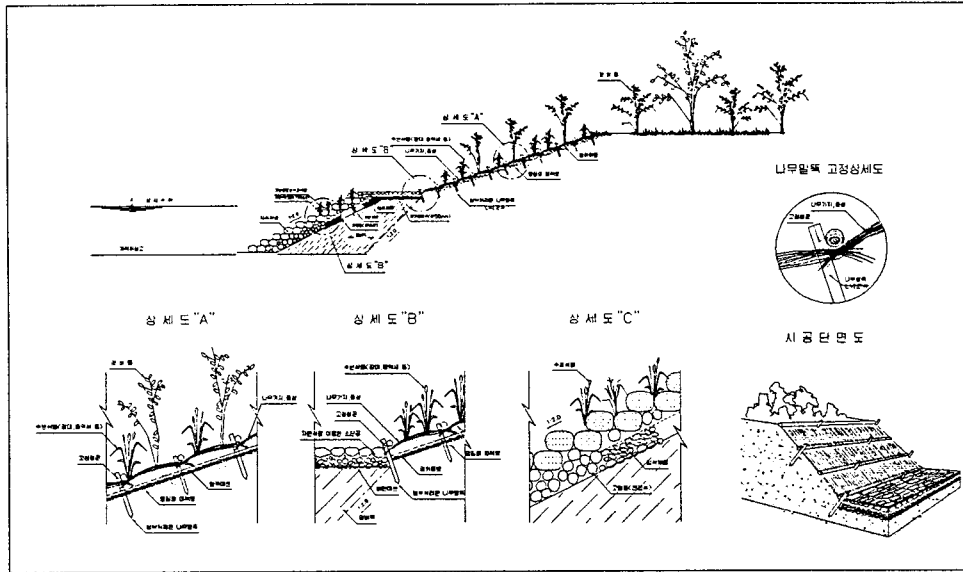
우리나라의 시험구간에 시공되었거나 또는 이미 설계에 반영되고 있는 환경호안공법의 특징 및 사용재료 등을 정리하면 <표 3-2>와 같으며, <그림 3-1>은 각 호안공법에 대한 모식도이다.

<표 3-2> 환경호안공법의 분류

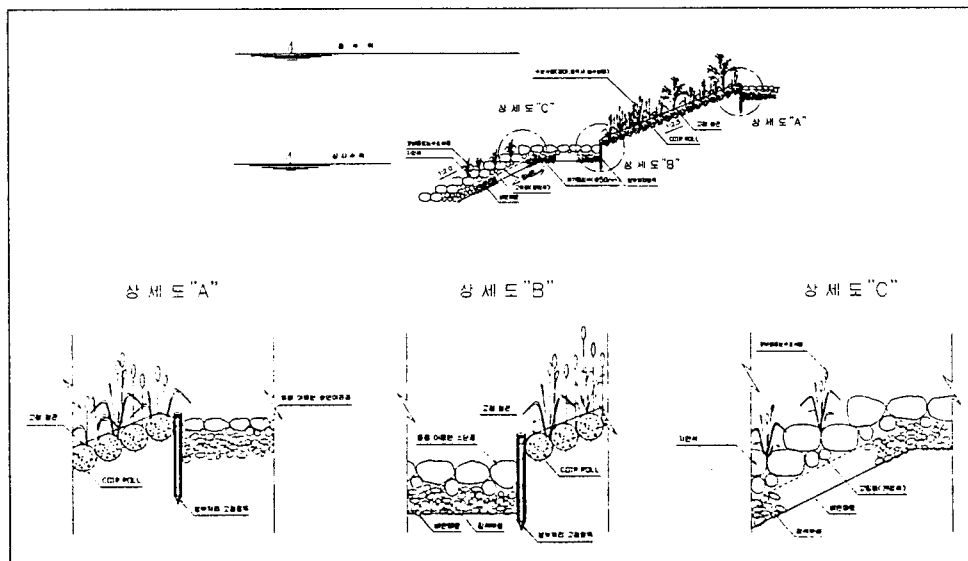
호안공법명	특징	적용범위	사용재료
나무와 가지를 이용한 자연형 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 친수적인 수변공간 확보</li> <li>▶ 수중생태계-추이대-육상생태계의 연계성 확보</li> <li>▶ 세굴과 침식에 비교적 강함</li> <li>▶ 수변으로의 접근 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수층부, 비수층부에 적용가능</li> <li>▶ 급류부, 준급류부에 적용가능</li> </ul>	양카매트, 피복토, 풀짚, 나뭇가지, 수변식물, 배면매트, 체가름 잡석, 나무말뚝, 자연석, 사석, 깬잡석
Coir roll 및 수변식물을 이용한 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수변으로의 접근 용이</li> <li>▶ 세굴 및 침식에 강함</li> <li>▶ 호안의 치수적 안정성 확보</li> <li>▶ 육상-수중 생태계간 연계성 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수층부, 비수층부에 적용가능</li> <li>▶ 급류부, 준급류부에 적용가능</li> </ul>	밀다짐사석, 깬잡석, 자연석, 코코넛 섬유, 나무말뚝, 수변식물
돌망태와 깬돌을 이용한 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 사용재료의 확보와 시공이 용이</li> <li>▶ 깬돌의 계단쌓기로 친수성 및 접근성 용이</li> <li>▶ 재폭기에 의한 수질정화</li> <li>▶ 세굴과 침식에 강함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수층부에 적용가능</li> <li>▶ 급류부, 준급류부에 적용가능</li> </ul>	돌망태, 양카매트, 피복토, 수변식물, 깬잡석, 망눈, 배면매트, 밀다짐용 사석, 자연석(깬돌)
자연석에 의한 자연형 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 자연석 배치에 따른 다양한 자연경관 창출</li> <li>▶ 시공과 사용재료의 확보 용이</li> <li>▶ 수변으로의 접근 용이</li> <li>▶ 밀다짐용 사석에 공극이 많아 수생생물의 서식처 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 급류부, 준급류부에 적용가능</li> </ul>	암바력, 잡석, 호박돌, 자갈, 밀다짐용 잡석, 자연석, 깬잡석, 저면매트, 배면매트, 수변식물
복토와 수변식물을 이용한 자연형 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ PC-T형 말뚝으로 인한 공간의 활용 극대화</li> <li>▶ 세굴과 침식에 비교적 강함</li> <li>▶ 현 지형에 자생하는 식생을 그대로 이용</li> <li>▶ 호안머리공을 초지로 대체함으로써 자연적이고 일체적인 자연환경 창출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 급류부, 준급류부에 적용가능</li> </ul>	양질의 복토, 나무말뚝, 배면매트, 체가름 잡석, 잔디, 수변식물, 밀다짐 사석, 저면매트 호박돌 및 자갈, PC-T형 말뚝, 콘크리트 블럭
나무말뚝과 잡석을 이용한 자연형 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 자연적인 울타리 형식으로 주변 동식물의 서식에 도움</li> <li>▶ 호박돌과 자갈을 이용한 자연적인 환경공간 창출</li> <li>▶ PC-T형 말뚝으로 인한 공간 활용 극대화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 급류부, 준급류부에 적용가능</li> </ul>	양질의 복토, 나무말뚝, 배면매트, 체가름 잡석, 수변식물, 콘크리트 블럭 호박돌 및 자갈, 잔디 PC-T형 말뚝, 깬잡석

<표 3-2>의 계속 - 환경호안공법의 분류

호안공법명	특징	적용범위	사용재료
나무소재를 이용한 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 돌망태에 의한 구조적 안정성 증대</li> <li>▶ 나무침상틀과 자연석에 의한 자연미와 인공미의 조화 창출</li> <li>▶ 유속완화 효과 증대</li> <li>▶ 세굴 및 침식에 강함</li> <li>▶ 수질정화효과 기대</li> </ul>	▶ 급류부, 준급류부에 적용가능	나무침상틀, 배면매트 밀다짐용 사석, 수변식물 체가름 잡석, 피복토 호박돌 및 자갈, 자연석, 수변식물
괘돌과 돌망태를 이용한 어류산란 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 돌망태에 의한 하상세굴저감 효과 증대</li> <li>▶ 수초식물의 생장 및 산란장소 제공</li> <li>▶ 세굴과 침식에 강함</li> </ul>	▶ 급류부, 준급류부에 적용가능	돌망태, 앙카매트, 수변식물, 자갈 괘잡석, 망눈, 저면매트, 밀다짐용 사석, 암버럭, 자연석(괘돌), 배면매트
돌망태와 식생블럭을 이용한 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 기성의 콘크리트제품이나 블럭을 이용하므로 시공이 용이</li> <li>▶ 콘크리트 호안블럭사용으로 호안보호기능 증대</li> <li>▶ 돌망태에 의한 하상인근에서의 세굴저감효과 증대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 유속이 빠른 급류부에 시공가능</li> <li>▶ 수층부, 비수층부에 적용가능</li> </ul>	돌망태, 괘잡석, 망눈, 배면매트, 저면매트, 밀다짐용 사석, 자갈, 식생블럭, 호박돌, 피복토, 체가름 잡석
돌망태를 이용한 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 세굴 및 침식에 강함</li> <li>▶ 돌망태에 의한 호안보호기능 증대</li> <li>▶ 돌망태에 의한 하상인근에서의 세굴저감효과 증대</li> <li>▶ 수질정화효과 기대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 유속이 빠른 급류부에 시공가능</li> <li>▶ 수층부, 비수층부에 적용가능</li> </ul>	밀다짐용 사석, 망눈, 돌망태, 호박돌, 암버럭, 저면매트, 배면매트, 괘잡석, 체가름 잡석, 피복토, 앙카매트, 수변식물
어소형 블럭과 자연석을 이용한 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 양호한 자연경관 창출</li> <li>▶ 블럭에 의한 계단조성으로 접근성 증대</li> <li>▶ 사석부설에 의한 세굴방지효과 증대</li> <li>▶ 세굴과 침식에 강함</li> <li>▶ 결빙에 의한 동파 우려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 유속이 빠른 급류부에 시공가능</li> <li>▶ 수층부, 비수층부에 적용가능</li> </ul>	밀다짐 사석, 괘잡석, 어소블럭, 저면매트, 체가름 잡석, 자연석, 호박돌 및 자갈, 암버럭, 비탈멈춤공
식생블럭을 이용한 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 콘크리트 블럭을 사용하므로 유수에 대한 호안보호기능 증대</li> <li>▶ 기성의 콘크리트 블럭을 이용하므로 시공이 용이</li> <li>▶ 기성의 콘크리트제품을 사용하면서도 자연적인 경관 창출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 유속이 빠른 급류부에 시공가능</li> <li>▶ 수층부, 비수층부에 적용가능</li> </ul>	식생블럭, 피복토, 수생식물, 사석, 호박돌 및 자갈, 체가름잡석
자연초지틀을 이용한 환경사 호안	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 기존의 자연초지틀 그대로 이용하므로 형성된 수리학적 안정성 유지</li> <li>▶ 환경사부의 자연석 배치로 세굴방지효과 증대</li> <li>▶ 환경사 호안으로 접근성 향상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수층부의 경우 기어오름에 의한 고수부지 침식 우려</li> <li>▶ 완류부에 시공</li> </ul>	자연석, 잡석, 자갈, 콘크리트 기초공



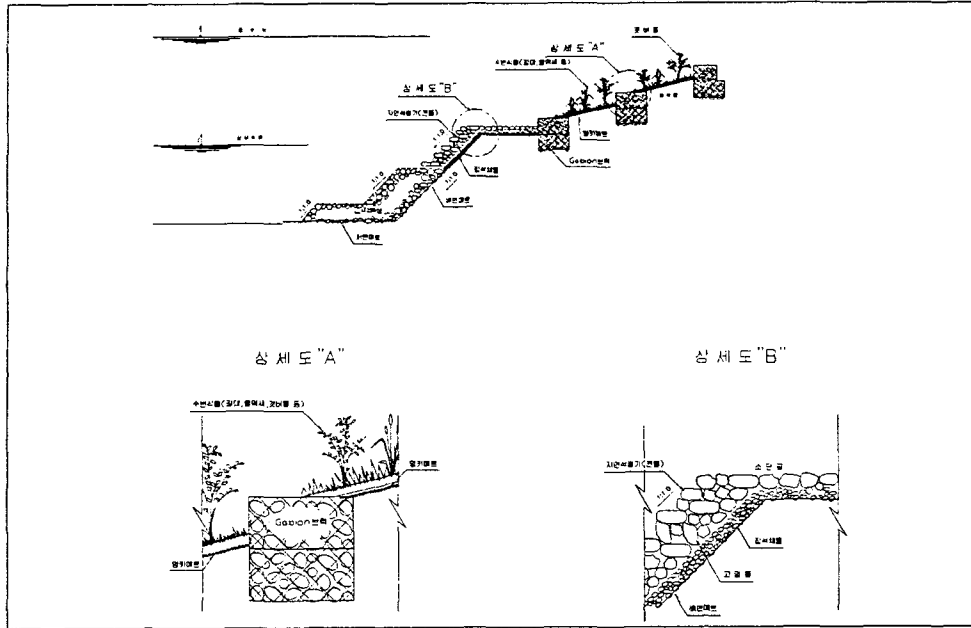
(a) 나무와 가지를 이용한 자연형 호안



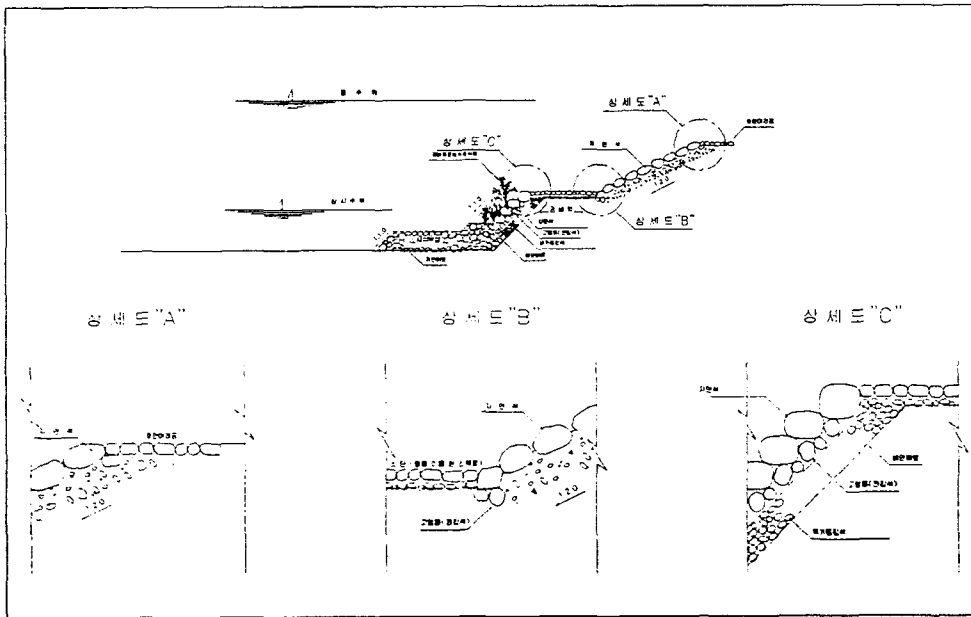
(b) Coir roll 및 수변식물을 이용한 호안

<그림 3-1> 자연형 호안공법의 모식도



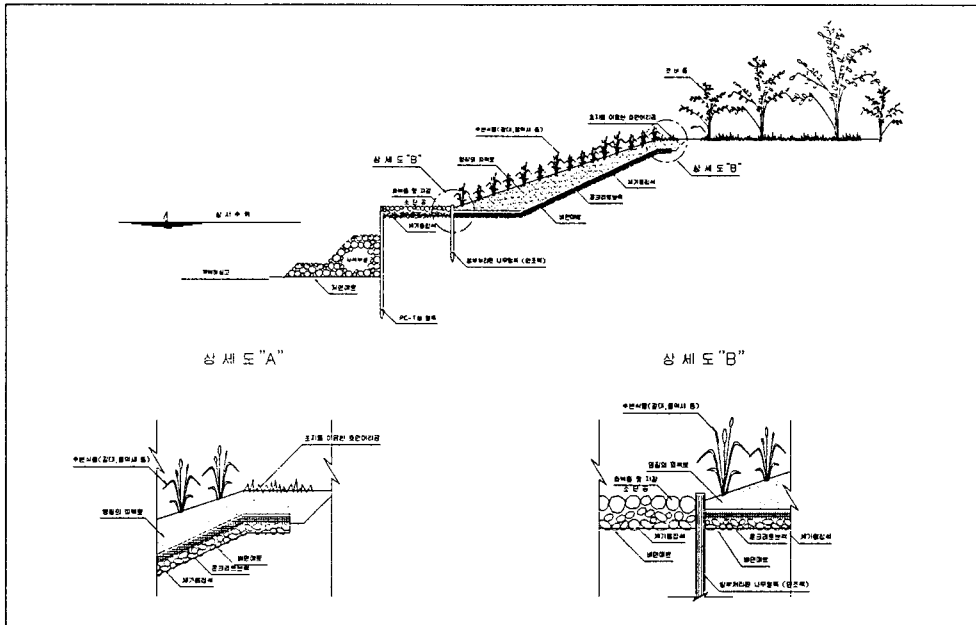


(c) 돌망태와 갠돌을 이용한 호안

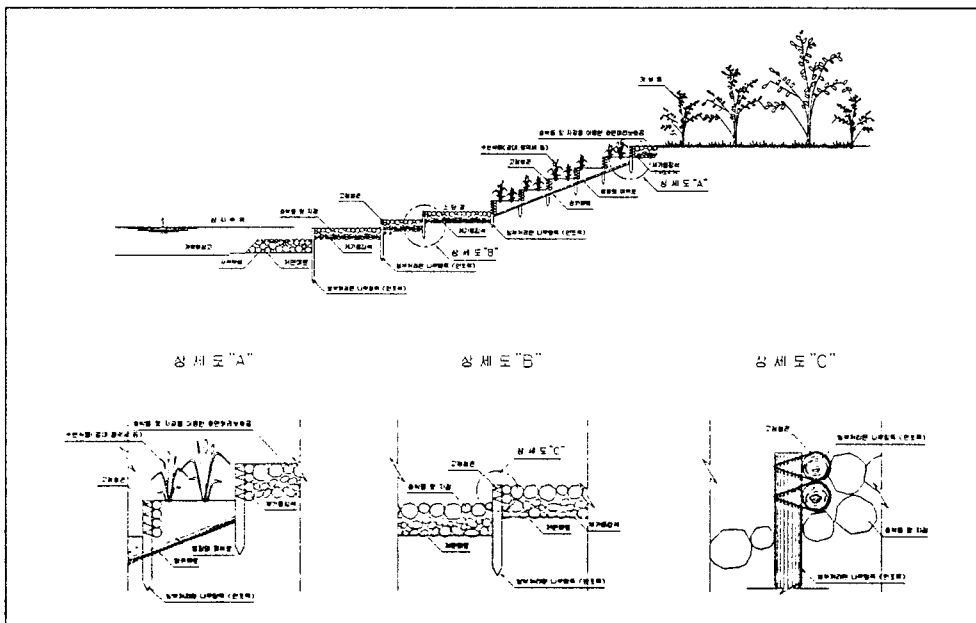


(d) 자연석에 의한 자연형 호안

<그림 3-1>의 계속 - 자연형 호안공법의 모식도

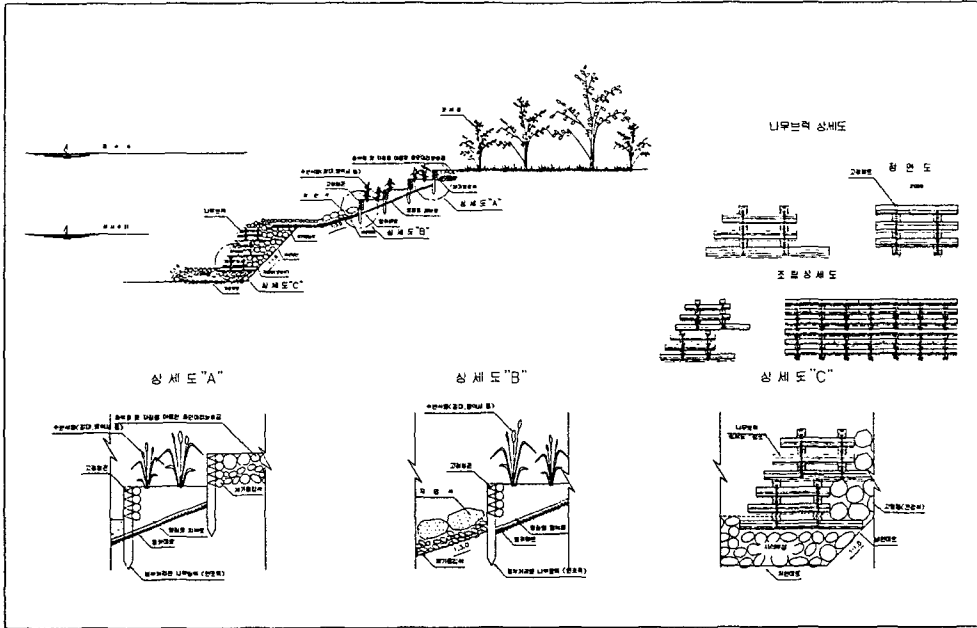


(e) 복토와 수변식물을 이용한 자연형 호안

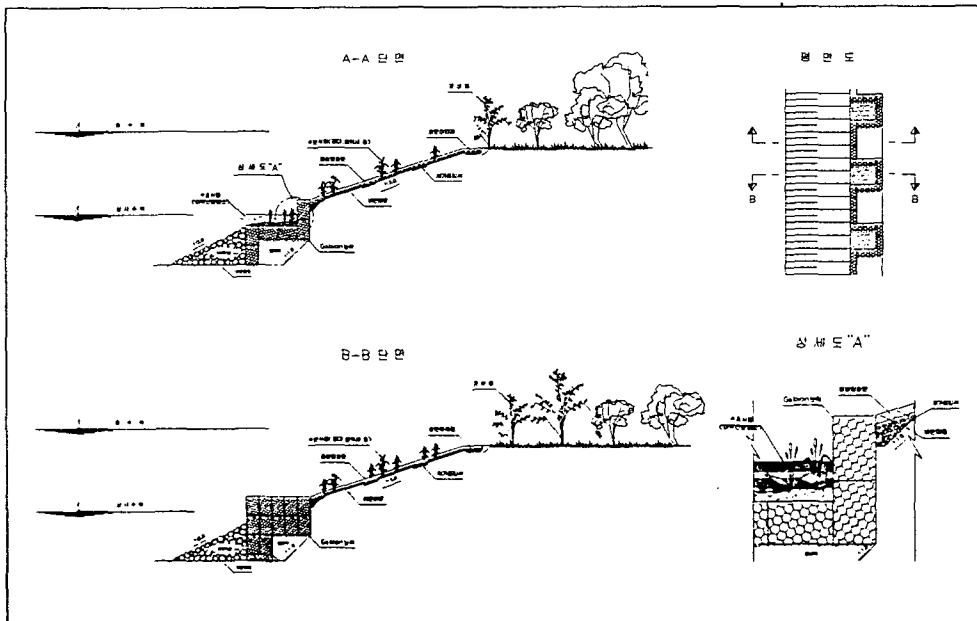


(f) 나무말뚝과 잡석을 이용한 자연형 호안

<그림 3-1>의 계속 - 자연형 호안공법의 모식도

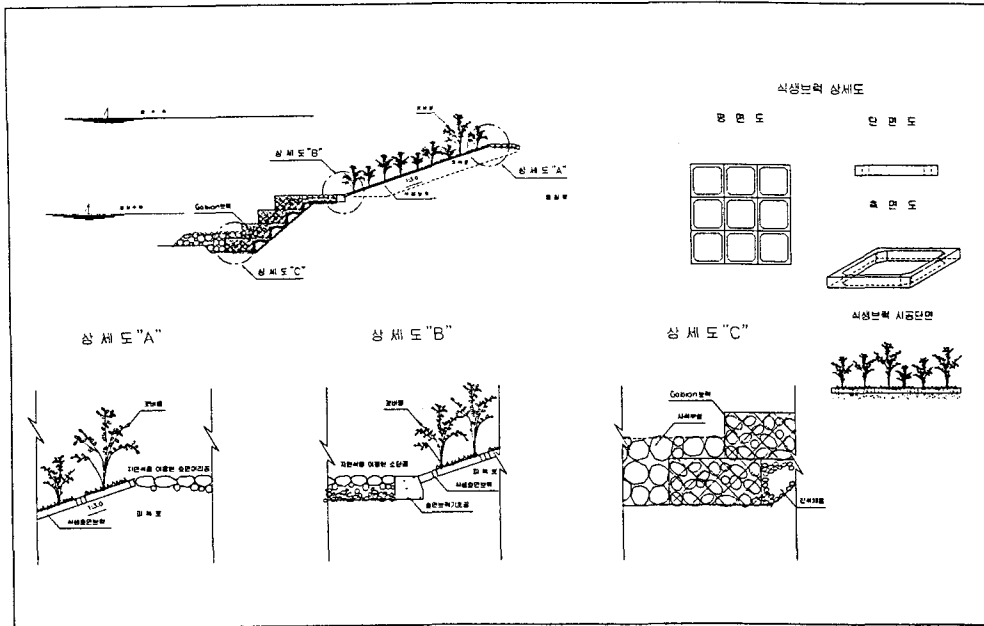


(g) 나무소재를 이용한 호안

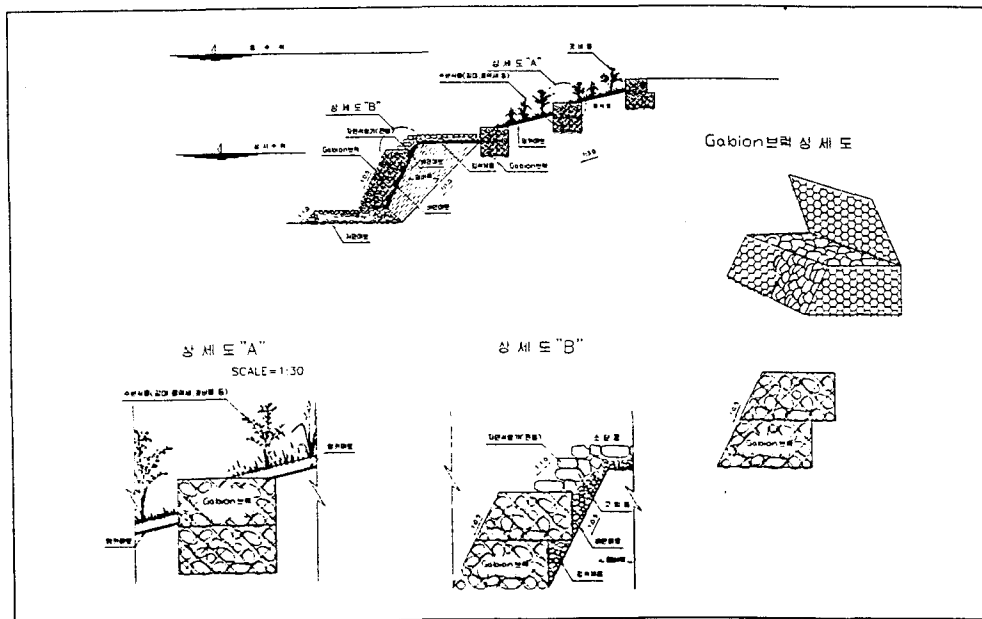


(h) 깎돌과 돌망태를 이용한 어류산란 호안

<그림 3-1>의 계속 - 자연형 호안공법의 모식도

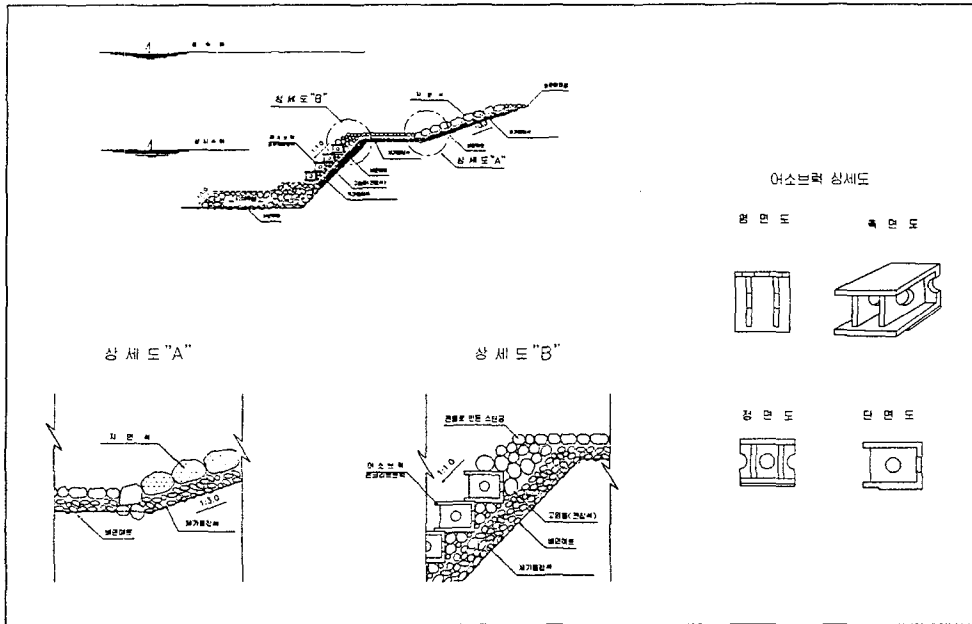


(i) 돌망태와 식생블럭을 이용한 호안

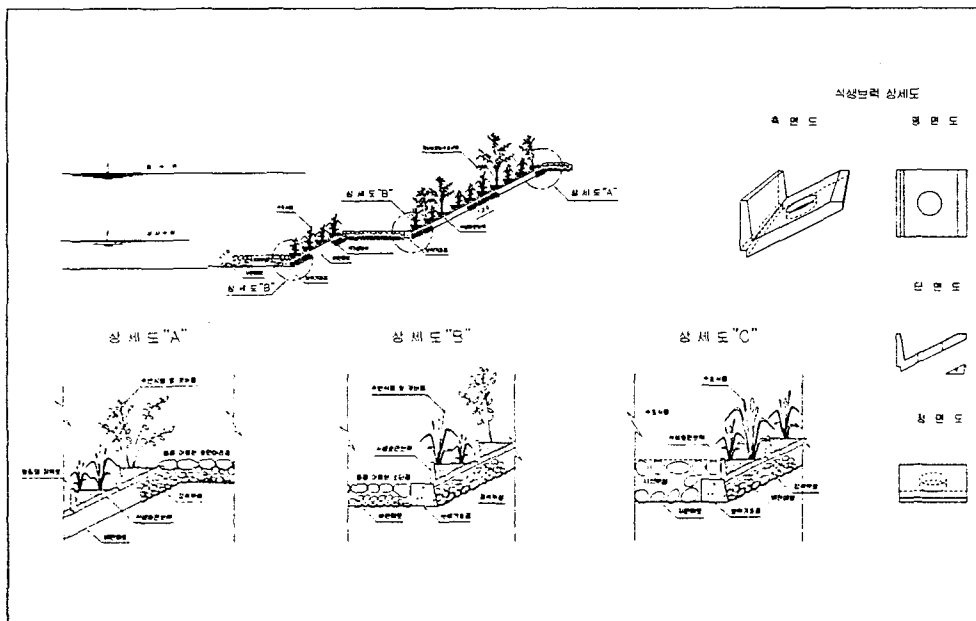


(j) 돌망태를 이용한 호안

<그림 3-1>의 계속 - 자연형 호안공법의 모식도

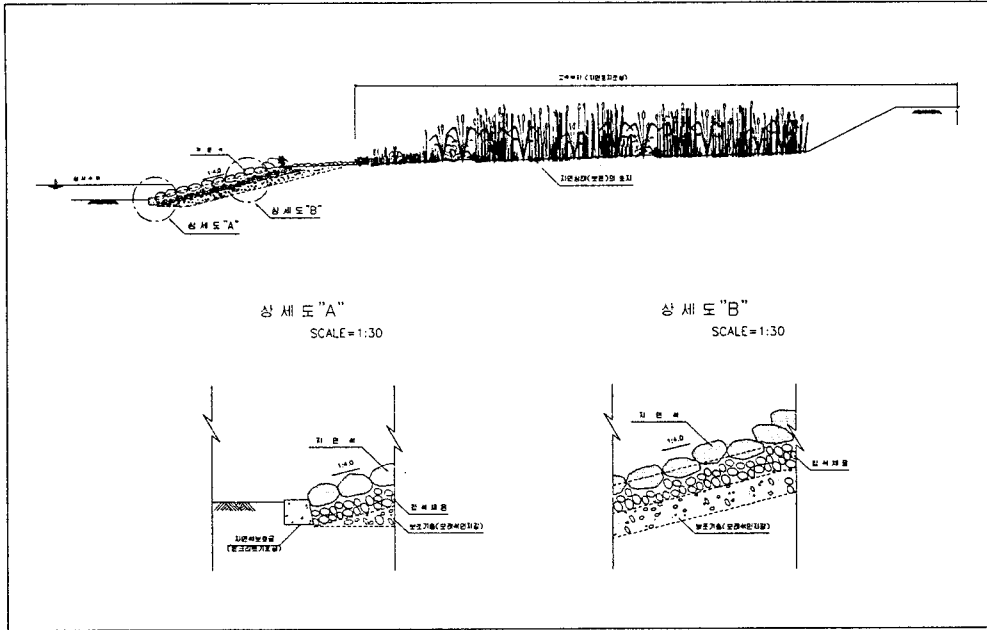


(k) 어소형 블럭과 자연석을 이용한 호안



(l) 식생블럭을 이용한 호안

<그림 3-1>의 계속 - 자연형 호안공법의 모식도



(m) 자연초지를 이용한 환경사 호안  
 <그림 3-1>의 계속 - 자연형 호안공법의 모식도

### 3.2 자연형 환경호안공법의 안정성 검토

#### 3.2.1 기존 문헌에 의한 자연형 환경호안공법의 안정성 검토 기준

하천공사 표준시방서에 의하면 단위공법별 비탈덮기, 기초, 비탈멈춤, 밀다짐에 대하여 설계기준을 제시하고 있다. 특히 호안의 안정에 매우 중요한 역할을 하고있는 밀다짐의 경우 소류력에 견딜 수 있고, 하상변동에 대하여 굴요성을 가지게 하기 위하여 다음과 같이 계획상고에 홍수 시 일시적 세굴깊이를 고려하여 기초밑 깊이를 결정하도록 제안하고 있다.

<표 3-3> 홍수시 일시적 세굴 깊이

하상재료	홍수시 하안의 유속			비고
	3 m/sec 이상	3~2 m/sec	2 m/sec 이하	
조약돌 이상의 입경	1.0 m	0.5 m	-	
자갈 정도의 입경	1.5 m	1.0 m	0.5 m	
잔 자갈 정도의 입경	-	1.5 m	1.0 m	

또한 급류하천 및 완류하천에 적용되는 호안시공에 대하여 다음사항을 주의하도록 제안하고 있다. 비탈덮기의 표면은 수류의 저항을 크게 하고, 세굴을 줄이기 위하여 거친 표면으로 시공하며, 호안 파괴를 최소화하기 위하여 밀다짐을 충실히 시행하여야 한다. 그리고 현장여건을 고려하여 경제적인 공법을 채택하여야 하며, 호안의 재료는 소류력, 내구성, 미관, 하천환경 및 유지관리 등이 충분히 고려되도록 선택하여야 한다. 특히, 비탈덮기 호안이나 구조물의 밀다짐용 사석은 수리특성이 지배적이므로 중요한 지점이나 수리학적 규범이 어려운 곳은 수치모델링(2~3차원) 또는 수치모형실험을 실시하여 수리특성을 정확히 파악하여야 한다고 제안하고 있다.

하천공사 표준시방서에서는 호안종류에 따른 허용소류력을 표 3-4와 같이 제시하였으며, 이때의 수리량은 단면평균된 값이므로 국부 흐름에 대한 미시적 수치는 아니다. 단면평균 유속에 의한 소류력은 다음 식에 의하여 결정된다.

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot i = \frac{\gamma}{C^2} V^2$$

여기서  $\tau$ 는 소류력(kg/m<sup>2</sup>),  $\gamma$ 는 물의 단위 중량(kg/m<sup>3</sup>), R은 경심(m), i는 수면경사(m/m), V는 단면평균 유속(m/sec), C는 Chezy 계수( $V = C\sqrt{Ri}$ )이다.

표 3-4. 호안형태에 따른 허용소류력

호 안 의 종 류	허용소류력 (kg/m <sup>2</sup> )
1. 평매	2.0
2. 바자안의 얇은 자갈	1.0
3. 바자안의 자갈	1.5
4. 바자(유수에 평행 또는 비스듬할 때)	5.0
5. 쇄 호안	7.0
6. 돌 붙임(비탈 1:1, 두께 0.3m)	16.0
7. 큰 사석	24.0
8. 돌쌓기(메쌓기)	60.0
9. 콘크리트 벽	60.0
10. 방틀공	150.0 까지

주) 하천공사 표준시방서 P3-25(1994, 건설부)

### 3.2.2 자연형 환경호안공법의 안정성 검토 기준

연구의 범위에서 언급한 바와 같이 이 연구에서는 자연형 환경호안공법의 설계기준 마련을 위한 첫 번째 과정으로 호안공법별 안정성을 검토하기 위한 평가항목과 평가방법에 대하여 기술한다.

자연형 환경호안공법의 설계기준은 「하천공사 표준시방서」와 「하천시설 기준」에 제시된 바 있으나, 이는 안전 측면에서의 설계기준이며 수리특성의 규명이 필요하거나 수리학적 규명이 어려운 곳은 수치모델링(2~3차원) 또는 수리모형실험을 실시하여 수리특성을 정확히 파악하도록 추천하고 있으므로 이에 대한 평가방법의 제시가 요구된다.

따라서 자연형 환경호안공법의 설계기준에는 다음과 같은 항목이 평가되어야 한다.

- ① 자연형 환경호안 설계 시 상위 관련 시방서인 「하천공사 표준시방서」와 「하천시설 기준」에 준하여 설계한다.
- ② 상위 관련 시방서에 의하여 평가할 수 없는 항목에 대해서는 수치실험이나 수리모형실험을 실시하여 수리특성을 파악한다.
- ③ 이때 평가되어야 하는 항목으로는 호안시공에 따른 홍수위 검토, 국부적 흐름에 의한 소류력 검토, 장·단기 하상변동량 검토 등이다.

#### 1) 자연형 환경호안 시공에 따른 수리량 검토

일반적으로 호안의 비탈댐기 표면은 수류의 저항을 크게 하고, 세굴을 줄이기 위하여 거친 표면으로 시공하도록 추천하고있으므로 홍수 시 비탈면의 조도와 식생의 영향으로 홍수위는 상승하게 된다. 이미 환경부의 보고서 “국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발”에서 실험한 바와 같이 수심적분 2차원 흐름해석모형에 의한 계산 결과 조도계수에 의한 모형의 민감도가 난류교환계수에 의한 민감도보다 매우 높으므로 모형 적용 시 정확한 조도계수 결정에 대한 주의가 요구된다. 이는 모형의 매개변수를 결정하기 위한 검증과정에서 충분히 검토되어야 할 사항이며, 이를 위하여 대상하천에서의 끊임없는 유량조사가 선행되어야 한다.

또한 수치해석에 의하여 홍수위를 비롯한 수리량을 결정할 때에는 2차원 이상의 수치해석모형을 사용하는 것이 정확한 흐름구조를 파악하는데 유리할 수 있겠으나, 수치모형의 특성상 차수의 증가는 모형의 민감도를 증가시키므로 대상 하천이 확보하고 있는 유량조사자료를 감안하여 모형을 선정하여야 한다. 특히 복단면을 가지는 하천의 경우 황방향으로의 2차류에 의한 수리특성이 지배적일 수 있으므로 이에 대한 해석이 요구된다.

호안에서의 전단응력 결정을 위해서는 대상 지점에서의 국부유속을 결정하는 것이 가장 타당하나, 수심적분 2차원모형으로 수심평균된 수리량을 결정하였을 때에는 다음과 같은 공



식으로 전단응력을 산정 할 수 있다.

$$\tau_b = \rho \left\{ \frac{u}{5.75 \log(12h/k)} \right\}^2$$

여기서  $\rho$ 는 물의 밀도,  $h$ 는 수심,  $k$ 는 Nikuradse의 조고(roughness height)이다.

## 2) 자연형 환경호안 시공에 따른 하상변동량 검토

자연형 환경호안설계에 따른 수리량 검토를 바탕으로 대상 구간에서의 장·단기 하상변동을 예측하여 설계의 타당성을 검토하여야 한다. 일반적으로 대상하천에서의 장·단기 하상변동을 예측하기 위한 도구로는 수치해석기법에 의한 해석모형을 들 수 있겠으며, 우리나라에서 주로 사용되고 있으며, 현재 하천정비를 위하여 적용되고 있는 모형은 HEC-6모형이다. HEC-6모형은 하천 및 저수지에서 장·단기 하상변동을 손쉽게 예측할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 HEC-6모형은 1차원 모형으로 최심선의 변화만을 예측하므로 호안 시공에 따른 종방향과 횡방향의 하상변동은 예측할 수 없다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 준 2차원 모형이상의 수치모형에 의한 장·단기 하상변동을 예측할 수 있도록 하여야 한다.

## 4. 결론 및 향후 연구과제

### 4.1 결 론

이 연구는 하천환경의 기본적인 정비방향과 구체적인 시행방법을 제시함으로써 하천의 효율적인 이용과 보전을 도모하고자 하는 것이며, 특히, 중·소 하천별로 하천수리 특성 및 생태계 보전에 적합한 자연형 환경호안 설계기준을 제시함으로써 국내 하천기술자들이 자연형 하천공법을 손쉽게 하천 실무에 적용하도록 하기 위한 연구의 일환으로 수행되었다.

이를 위하여 미국, 일본, 독일에서의 환경호안을 중심으로 한 기존연구를 수집·분석하였으며, 국내에서의 환경호안에 관한 연구를 수집·분석하였다.

또한 국내의 시험구간에 시공되었거나 또는 이미 설계에 반영되고 있는 환경호안공법의 유형을 제시하였으며, 이에 대한 기존 시방서 및 연구에서 언급하고 있는 설계기준을 정리하였다.

이를 바탕으로 제시된 환경호안 형태에 따른 설계기준 마련을 위한 평가항목 및 평가방법에 대하여 기술하였다. 이때 평가항목은 환경호안 설치에 따라 변화되는 수리량의 평가방

법과 이로 인한 장·단기 하상변동의 예측이다.

#### 4.2 향후 연구과제

자연형 환경호안의 설계기준마련을 위하여 이 연구에서 제시된 평가방법 및 평가항목에 대한 적용과 검증을 위하여 전국 하천의 규모별 조사가 선행되어야 한다. 또한 평가방법으로 제시될 수 있는 다양한 수치모형을 수집하고 이를 사용한 결과를 비교 검토함으로써 보다 타당한 평가도구를 제시하여야 한다. 그러나 무엇보다도 선행되어야 하는 것은 임의 대상하천에 대한 보다 면밀하고 지속적인 수리량 조사가 병행되어야 한다는 것이다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부, “도시하천의 하천 환경 정비 기법의 개발”, 1995
- 건설교통부, “오산천 하천정비관리계획”, 1977. 11
- 건설교통부, “자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사연구”, 1994
- 건설교통부, “하천공간정비기법 개발 조사·연구”, 1996.3
- 건설부, “하천공사 표준시방서”, 1994
- 건설부, “하천시설 기준”, 1993. 12
- 건설부, “하천환경관리 기법 연구·조사 보고서 - 하천환경 정비기법 개발 기초조사·연구”,  
1992. 12
- 광주광역시, “영산강, 황룡강 하천정비 및 수변공원 조성사업 기본 설계보고서”, 1996. 10
- 서울시정개발연구원, “자연형 하천으로의 정비방안 연구”, 1996
- 환경부, “사람과 생물이 어우러지는 자연환경의 보전, 복원, 창조 기술의 개발-국내여건에  
맞는 자연형 하천공법의 개발-Vol. I”, 1997
- Ministerium für Umwelt, Baden-Württemberg, “Handbuch Wasser 2: Bauweisen des  
naturnahan Wasserbau”, 1991