

## 하천환경분과 - 3

### 자연재료를 이용한 하천 호안 보호공법

김진영 (행정자치부 사무관)

지동식 ((주)우대기술단 수자원부 상무)

홍성규 (동명엔지니어링 수자원부 상무)

이원희 ((주)KC 종합환경 본부장)

1. 서론
  2. 식생공법과 소류력과의 관계
  3. 식물의 선정조건
  4. 코이어롤(Coconut Fibre Roll)을 이용한 식생호안 공법
    - 4.1 코이어 롤이란?
    - 4.2 코이어 롤을 이용한 호안 적용 사례
  5. 식물재료를 이용한 식생호안 공법
    - 5.1 잔디(Turf)
    - 5.2 갈대 줄기 식재
    - 5.3 롤 갈대(Reed Rolls)
    - 5.4 윗가지로 엮은 울타리(Wattle fence)
    - 5.5 쉼 단(Live fascine)
    - 5.6 버드나무 잔가지를 층으로 쌓은 계단식 공법(Willow brush layer)
    - 5.7 버드나무 Mat(Willow brush mat)
    - 5.8 버드나무 가지와 돌을 이용한 공법(Branch layer)
  6. 자연형하천 정비시 문제점
    - 6.1 시공시기
    - 6.2 공사비 적용
    - 6.3 자재수급 문제
    - 6.4 돌 공사시 식재와 병행
    - 6.5 자연형 하천 공사시 콘크리트 기초 지양
- 참고문헌

## 1. 서론

'90년대 초반 국내에도 자연형 하천 공법이 소개된 이후 이제는 하천정비시 자연소재를 이용한 하천환경정비는 일반화 되어져 있다. 자연형 하천공사는 자연이 가진 다양성의 보전과 창출, 생태계 복원을 위하여 재료 및 공법선택에 신중을 기해야 한다. 특히 저수호안부는 수역과 육역이 교류하는 지역으로 생태계의 종 다양성이 매우 풍부한 지역이며 서식처로서의 역할도 담당하고 있다. 호안블럭이나 석축의 호안정비는 단기적 내구성은 강하나 장기적으로는 취약해져서 일정기간 경과후 재시공할 수 밖에 없는 취약점과 함께 생태적으로 매우 불리하다. 그러나 나무와 수초를 이용한 식생호안 공법은 식물이 활착하기 전에는 물리적인 힘에 취약하지만 활착이 진행되어가면서 점차로 내구성이 증대되며 하천 생태계 재생에도 결정적 역할을 수행한다 할 수 있다.

그러므로 하천 환경정비시 치수적 안정성 및 생태계를 배려한 소재 및 공법선택에 신중을 기하여 유역에 적합한 공법개발 및 공사후 Monitoring을 통한 사후관리 및 적용성 검토에 유념하여야 한다.

## 2. 식생공법과 소류력과의 관계

표 2.1 시공직후 및 3~4년 후의 최대 허용 소류력.

구조물의 종류	시공직후 소류력(N/m <sup>2</sup> )	3~4년후 소류력(N/m <sup>2</sup> )
Turf	10	100
Reed plantings	5	30
Reed roll	30	60
Wattle fence	10	50
Live fascine	60	80
Deciduous tree plantings	20	140
Branch layer	50	300
Willow brush layer	20	120
Willow mat	100	300
Coarse gravel and stone cover with live cuttings	50	250
Rip-rap with live branches	200	300
Rip-rap large quarry stone	-	250
Dry stone wall, stone pitchig	-	600

표 2.2 반경 2mm이하인 식물줄기의 인장강도

식물줄기	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )
Grasses	5 - 25
Herbs	3 - 60
Shrub-willows	10 - 70

### 3. 식물의 선정조건

- 하도에서 발생하는 물리적인 힘에 대한 높은 저항력
- 주기적인 침수에 대한 저항력 - 버드나무류, 벼과식물, 사초과 등.
- 토사와 자갈등의 퇴적시 생존능력
- 수중에서도 뿌리를 번식시킬수 있는 능력,토양침식방지, 유수의 에너지 분산.
- 긴밀한 뿌리조직에 의한 토양 결속능력 -
- 인간의 간섭을 피할 수 있는 토양 개선 능력 (토양의 점착력, 비옥도 등)
- 염도에 저항이 강한 수종(갈대등).
- 기타 경관등의 요소

### 4. 코이어롤(Coconut Fibre Roll)을 이용한 식생호안 공법

#### 4.1 코이어 롤이란?

##### 4.1.1 코코넛

코코넛은 동남 아시아 등 열대 아열대 지방에서 자라는 야자과 (COCO NUCIFERU LINN)에 속하는 키가 큰 야자나무의 과일로서 껍질에 해당하는 HUSK를분리한후섬유를 채취하여 제품화 한다.아래 사진은 코코넛 섬유의 절단면을 확대한 것으로 코코넛 섬유는 수많은 섬유 세포로 구성된 나선형 배열의 구조체로 다량의 공극을 이용한 공기와 수질정화용 FILTER로 사용되고 있다.



그림 4.1 코코넛 섬유 확대사진

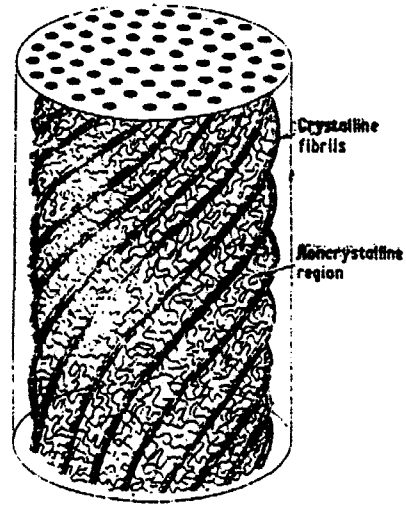


그림 4.2 나선형 배열의 코코넛 섬

#### 4.1.2 코코넛 섬유의 장점

천연섬유중 코코넛섬유는 기타 다른천연섬유(인공섬유 포함)에 비교하여 다음과 같은 장점이 있다.

- 가. 절기에 구분없이 충분한 양의 공급과 동남아시아 여러나라의 코코넛산지에서 충분한 산업기반이 조성되어 있음.
- 나. 탁월한 물리적 성질.
  - 우수한 보습력.-식물 성장에 도움
  - 강한 인장력.-내구성
  - 높은 유연성.-시공의 용이성
  - 내염성이 강함.-명계양식용 로프로 사용
  - 통풍성 및 투수성이 강함.
- 다. 섬유 그자체가 거의 Cellulose와 Lignin으로 되어 있어 환경에 무해하다.
- 라. 코코넛 FABRIC과 황마, COTTON 내구성 비교

표 4.1 코코넛 FABRIC과 황마, COTTON 내구성 비교

조 건	코코넛 FABRIC	JUTE(황마)	COTTON
토양중 온도82~86F 습도90%	1년(인장강도 20%보유)	8주후 완전히 생분해됨	6주후 완전히 생분해됨
수중 4000시간	변화가 거의 없음 (신장율만 약간 감소)	TEST 불가	TEST 불가

### 4.1.3 코이어 롤(COIR ROLL)의 특성

- 100% 코코넛 천연섬유로 구성됨.
- 일정한 볼륨과 탄력성으로 유수의 충격을 흡수하여 사면을 보호하며 유연성이 뛰어나다.
- 호안에 단독으로 수변식물 식재시 유수에 의하여 유실되기 쉬우므로 식물의 뿌리를 고정시켜주는 역할을 한다.
- 일정한 체적과 코코넛 섬유 자체가 수 많은 공극을 가지고 있어 물을 여과, 정수시킨다.
- 표면조도가 크므로 유사를 침전시킨다.
- 저수호안에 적용시 사면보호와 함께 수변식물의 조기녹화에 유리하다.
- 인장 강도와 내구성이 우수한 기계로 제작한 로프를 사용한 네트를 표면재로 하며, 내부는 코코넛 섬유를 채워 제작한 원통형 ROLL 형상이다.
- 규격 : 지름 30cm, 길이 4 M (중량40kg이상)



그림 4.3 COIR ROLL 사진

### 4.2 코이어 롤을 이용한 호안 적용 사례

- (1) 수심이 얇고 비수충부나 직선구간에 적용 가능하며, 빠른식생 활착을 시킬 수 있다.
- (2) 수심이 깊은 구간에 적용 가능하며 빠른 식생 활착을 시킬 수 있다.
- (3) 기존 저수호안을 활용할 수 있으며 경제적인 공사비로 수초대를 조성하여 수질 및 경관을 향상시킬 수 있다.

- (4) 하도 전면 개수시 적용하며 저수 호안부에 습지대를 조성한다.
- (5) 호수나 저수지 또는 수로 폭이 넓은 대하천에 적용하여 침식방지 및 수초대를 조성하여 수질개선 및 경관 향상
- (6) 유속이 빠른 지역에 적용할 수 있는 경제적인 공법으로 돌망태와 코이어를 함께 사용하여 하단부에 수초대 형성

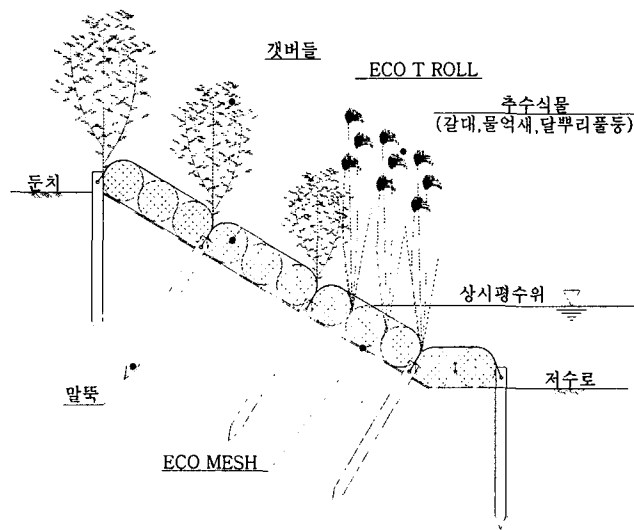


그림 4.4 단면도 1

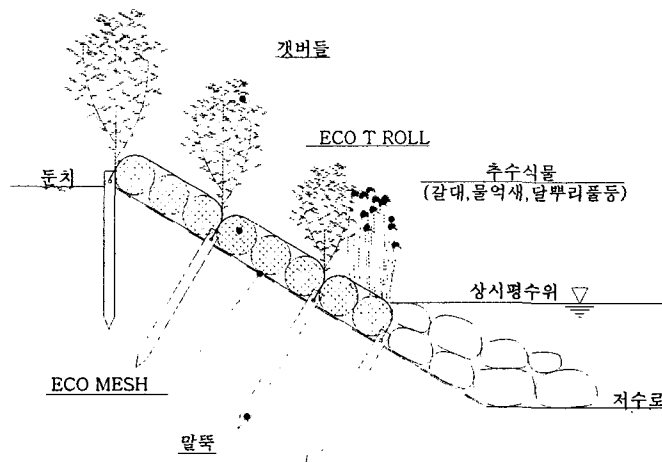


그림 4.5 단면도 2

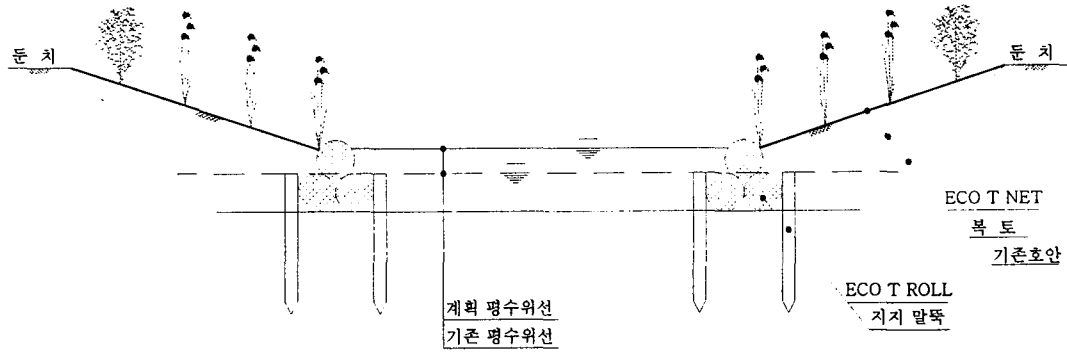


그림 4.6 단면도 3

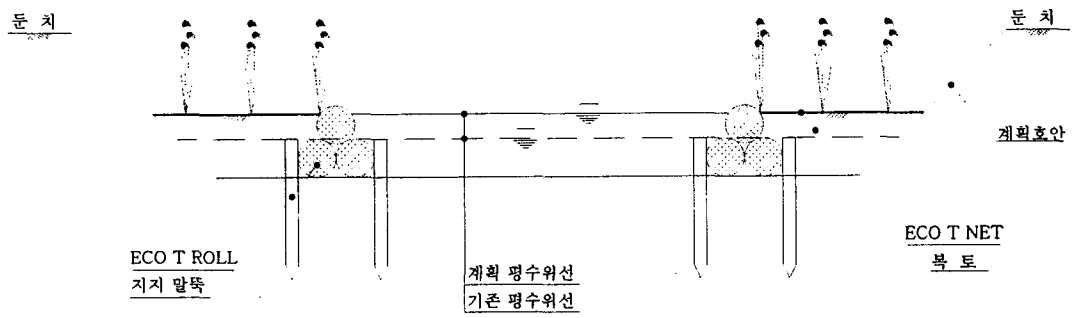


그림 4.7 단면도 4

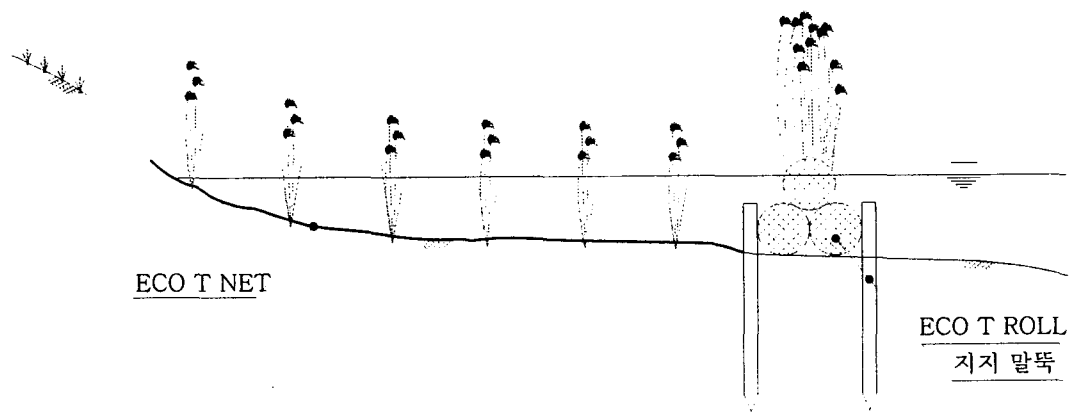


그림 4.8 단면도 5

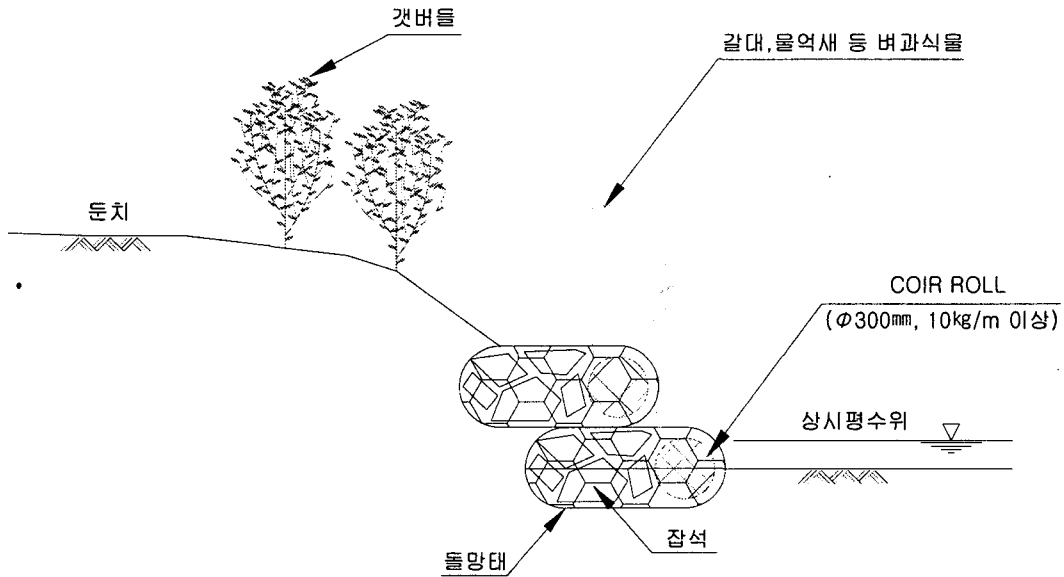


그림 4.9 단면도 6

(용인 수지 택지지구내 정평천에 적용)

## 5. 식물재료를 이용한 식생호안 공법

### 5.1 잔디 (Turf)

- (1) 재료 : 잔디뗏장, 롤잔디 이식 → 30 ~ 50cm 길이의 띠꼴이로 고정.
- (2) 시기 : 성장기 (Growing Period)
- (3) 적용장소 : 고수부지나 제방등에 제한적 적용.

### 5.2 갈대 줄기 식재

- (1) 재료: 크기 800 ~ 1,200 mm의 어린 갈대줄기
- (2) 시공방법: 3 ~ 5개 줄기를 25 ~ 50 cm 간격으로 식재하며, 줄기가 수면 아래로 10 ~ 15cm 잠기게 한다. 잡석과 함께 시공 가능.
- (3) 시기: 갈대의 새싹이 나오는 5월중이 좋다.
- (4) 효과: 갈대 줄기와 잎은 유속을 감소시키고, 뿌리조직은 토양침식 방지, 완전히 활착 하려면 2~3년이 필요함.
- (5) 장점: 시공이 간단하고, 경제적이다.



- (6) 단점: 시공시기가 매우 제한적. 뿌리활착이 느리므로 단기간내에 호안보호가 어렵고  
    용달진 곳에 적용이 안됨.
- (7) 적용장소: 호수, 저수지, 댐 및 유속이 작은 하천수로의 보호

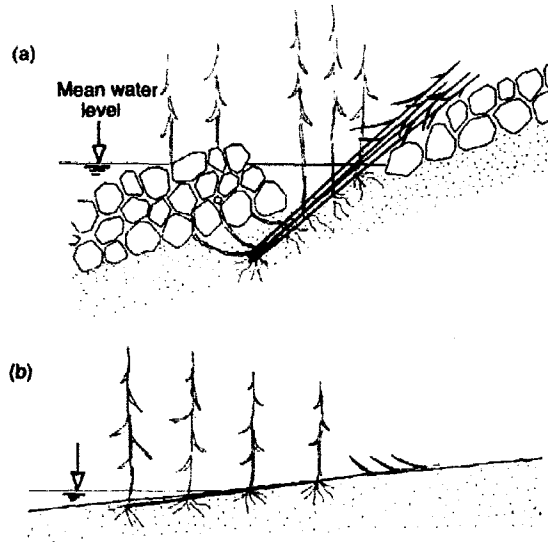


그림 5.1 갈대이식 모식도

### 5.3 롤 갈대 (Reed Rolls)

- (1) 재료: 갈대 덩어리, 나무막대, 철망, 잡석, 자갈, 나무판자
- (2) 시공방법: 1 ~ 1.5m의 나무막대를 1~1.5m 간격으로 지면에 박고 40~50cm 깊이로 굴착 후 철망을 설치한후 자갈 (20~60mm), 잡석(20~60mm)과 이식토를 차례로 채우고 상단 1/3은 갈대 뿌리덩어리를 놓고 철망을 조립한다. 롤의 크기는 30~40cm 정도가 좋다.
- (3) 시기: 휴면기(초봄)
- (4) 효과: 갈대를 이용한 가장 안정된 공법
- (5) 장점: 즉각적인 하안 보호
- (6) 단점: 시공시기가 제한적 이다.
- (7) 적용장소: 유속이 비교적 일정한 하천수로에 적용.

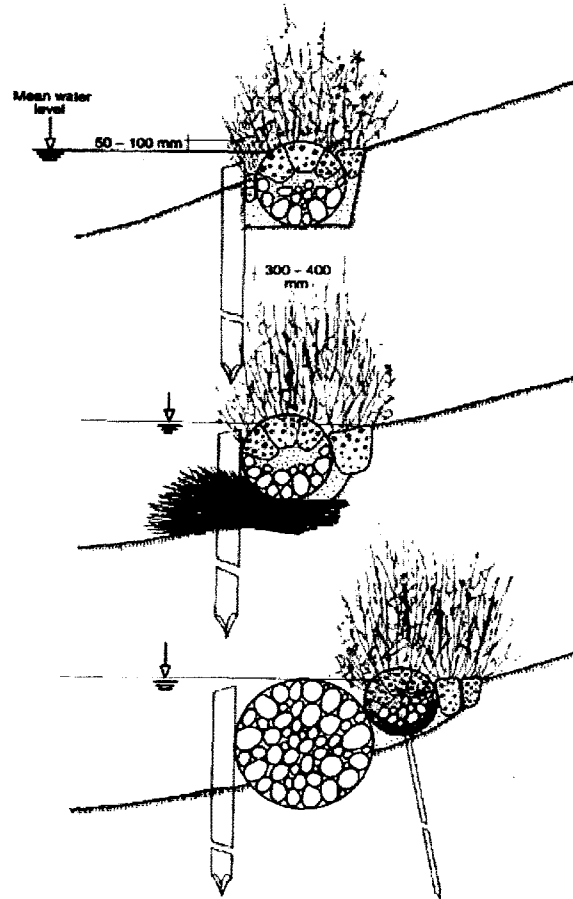


그림 5.2 를 갈대 설치 모식도

#### 5.4 윗가지로 엮은 울타리 (Wattle fence)

- (1) 재료: 길고 유연한 나뭇가지
- (2) 시공방법: 나무말뚝 (Ø3 ~ 10 cm, 100 cm) 또는 쇠말뚝을 1m 간격으로 박고, 약 50cm 간격으로 짧은 막대기를 나무말뚝사이에 박는다. 번식이 쉬운 강하고 유연한 나뭇가지를 말뚝사이에 엮고 아래로 눌러 준다. 나무말뚝은 2/3 이상 지면에 박고, 윗가지 위로 돌출된 부분은 5cm 이하이다.
- (3) 시기: 휴면기
- (4) 장점: 빠른 하안보호
- (5) 단점: 많은 양의 줄기가 필요하다.

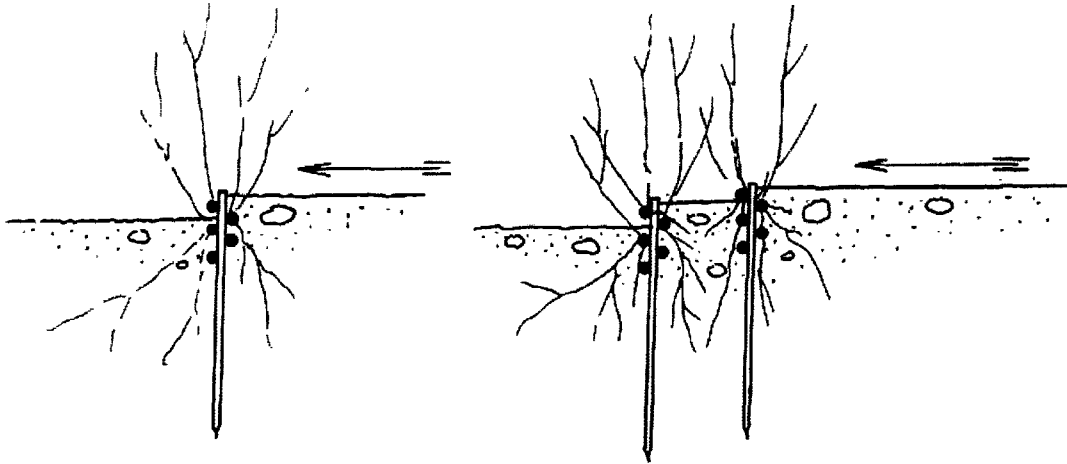


그림 5.3 윗가지로 엮은 울타리 SILLS 모식도

### 5.5 쉼 단 (Live fascine)

- (1) 재료: 1~3m의 살아있는 나뭇가지, 죽은 나뭇가지, 끈.
- (2) 시공방법: 죽은 가지와 살아있는 나뭇가지를 혼합해서 지름은 30~50cm, 길이는 2~3m의 규격으로 쉼단은 나무말목으로 지면에 고정시키고 지름의 1/2 ~ 2/3 정도는 흙 속에 묻히게 하여 수분이 공급될 수 있도록 한다. 말목은 약75cm의 길이로 1m 간격으로 고정시킨다.
- (3) 시기: 휴면기
- (4) 효과: 빠른 유속에서도 빠르게 하안을 보호하며, 성장한 후 동물이나 습지 생태계의 서식처가 된다.
- (5) 장점: 빠르고 간단한 시공
- (6) 단점: 휴면기 동안에 시공
- (7) 적용지역: 구배가 심하고 좁은 소하천 지역에 적용.

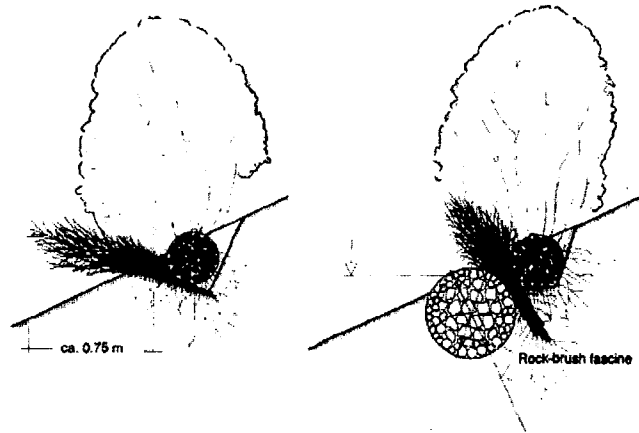


그림 5.4 하상경사가 심한 지역에 설치된 섯단의 모식도

### 5.6 버드나무 잔가지를 층으로 쌓은 계단식 공법 (Willow brush layer)

- (1) 재료: 살아있는 버드나무 잔가지, 20가지/m, 천연섬유, 합성섬유
- (2) 시공방법: 0.75 ~ 2m 폭의 소단에 버드나무류의 잔가지를 엮갈려 놓고, 섬유망을 설치한 후 토사를 성토한 후 섬유망으로 감싼다. 제방높이까지 반복하며, 이때 버드나무 잔가지는 토사위로 20cm 이상 들출되지 않게 한다.
- (3) 시기: 휴면기
- (4) 효과: 시공후 빠른 효과
- (5) 장점: 시공이 단순함, 효과적인 뿌리와 토양구조가 빠르게 형성된다.
- (6) 단점: 두꺼운 유기질 토양층의 안정화에는 부적합하다.
- (7) 적용지역: Sliding 되기 쉬운 하천제방의 보호.

### 5.7 버드나무 Mat (Willow brush mat)

- (1) 재료: 잔가지가 있는 곧게 뻗은 버드나무 줄기, 1.5m 이상의 20~50 줄기(/m)가 필요하며 사면길이가 길 경우 30cm정도 겹치게 설치한다.
- (2) 시공방법: 버드나무 가지로 지면의 약 80%를 덮도록 하며 잘려진부분은 뿌리가 나올 수 있도록 물가의 흙 속에 묻고 돌이나 섯단 등으로 눌러 놓는다. 시공은 위에서 아래 방향으로 행하며, 0.8 ~ 1m 간격으로 말뚝으로 고정 시킨 후 각 말뚝을 철선 등으로 연결시킨 뒤 표토로 살짝 덮어준다. 시공 후 홍수가 우려될 경우 네트 등으로 덮어준다.

- (3) 시기: 휴면기
- (4) 효과: 빠른 기간 내에 뿌리가 나오고, 효과적으로 사면을 덮어 표면침식을 막아준다.
- (5) 장점: 소류력에 저항능력이 매우 좋다.
- (6) 단점: 많은 양의 가지가 필요함
- (7) 적용지역: 홍수 피해가 우려되는 지역에 빠르고 오랫동안 지속될 수 있는 호안 보호 공법.

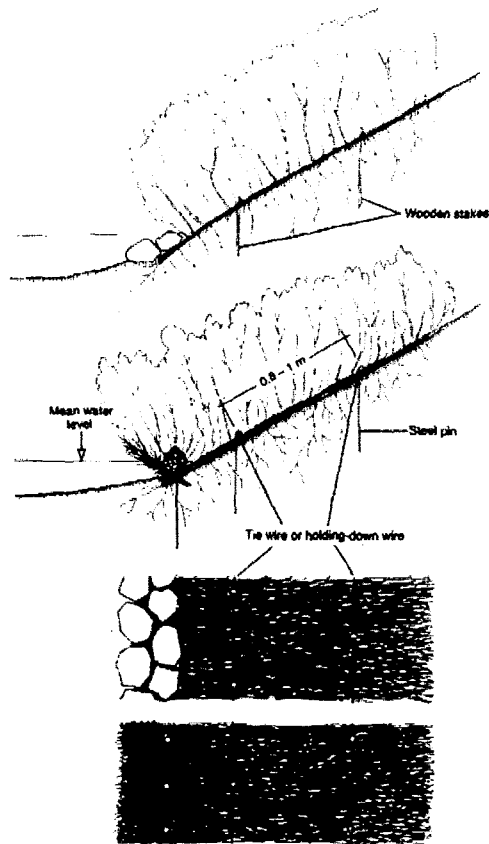


그림 5.5 버드나무 매트 모식도

### 5.8 버드나무 가지와 돌을 이용한 공법 (Branch layer)

- (1) 재료: 돌, 1~1.5m 길이의 맹아력 좋은 버드나무 가지
- (2) 시공방법: 돌과 같이 병행해서 시공하며, 돌 틈은 흙으로 채운다. 버드나무의 절단된 부분은 물 선에 닿도록 깊게 삽입하고 약 5~10cm정도 표면위로 나오게 시공한다.
- (3) 시기: 휴면기
- (4) 효과: 매우 안정된 구조이며 빠르게 호안을 보호한다.

- (5) 장점: 치수적, 생태적으로 매우 효과적인 공법이다.
- (6) 단점: 돌이 설치된 후 가지 삽입은 어렵다.
- (7) 적용지역: 수위 변동이 매우 심하고 유속이 매우 빠른 지역의 호안보호에 적용

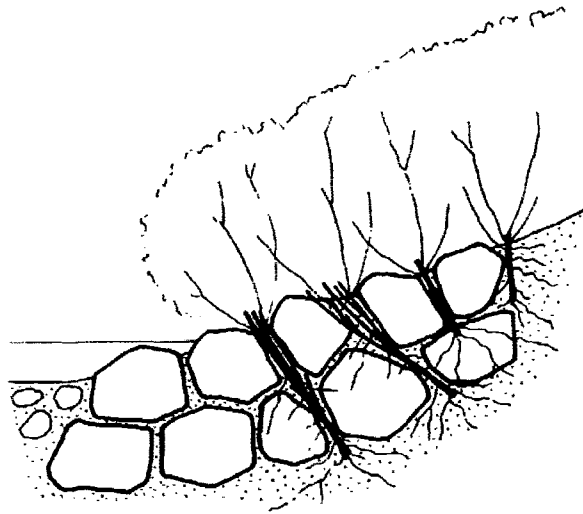


그림 5.6 Rip-Rap과 버드나무가지의 혼합 모식도

## 6. 자연형하천 정비시 문제점

### 6.1 시공시기

년중 식물 식재를 위한 시공 시기의 배려가 필요. 식물 성장기 동안 이식할 경우 고사하는 식물의 양이 늘어난다.

- 갈 대: 3~5月
- 버드나무류: 2~4月初

### 6.2 공사비 적용

자연형 하천 공법은 아직 대부분이 품셈에 기재되어 있지 않아서 노임, 경비 및 재료비의 적용이 일정치 않다. 설계담당자나 담당 공무원의 애로 사항이 되고 있으며 이는 공사비 산출 시 가격 상승의 원인이 되기도 하므로 이에 대한 정비가 필요하다.

### 6.3 자재수급 문제

자연형 하천 공사시 가장 일반적으로 사용되는 식물은 버드나무과의 갯버들, 버드나무 등과 벼과 식물이 갈대, 물억새 등이다. 다행히 최근 일부 식물원에서 갈대, 물억새등은 재배하여 판매하고 있지만, 아직도 많은 양이 채취되고 있으며, 버드나무류는 거의 전량이 채취되고 있다고 보여 진다. 이는 자연 하천을 조성하기 위해 또 다른 환경파괴를 범하는 경우가 되므로 현재는 큰 문제가 없다 할지라도, 향후 공사가 늘어나면 큰 문제가 될 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요함.

#### 6.4 돌 공사시 식재와 병행

돌을 사용하는 공사는 돌사이의 공극에 물고기와 저서 생물등의 서식처 및 피난처로 사용될 수 있는 공간이다. 그러나 평상시 수위선 이상의 지역은 돌틈 사이에 자연적으로 식물이 자생하려면 많은 시간이 소요될 뿐아니라 붕괴의 한 원인이 될 수 있으며 경관적으로도 좋지 않으므로 평수위선 이상은 돌틈사이에 흙을 채워 버드나무류 삼목, 잔디식재 및 씨앗 뿌리기 등으로 녹화시키는 것은 경관상으로는나 치수적으로 좋다고 판단 됨.

#### 6.5 자연형 하천 공사시 콘크리트 기초 사양

콘크리트 구조물로 공사되지 않는 자연형 하천 저수호안의 메쌓기, 메붙임 등의 공사시 나무말뚝(방부처리 안함)을 기초로 활용하는 것도 콘크리트에 비하여 내구성이 손색이 없으며 생태계 복원과 보전에도 좋을것으로 사료됨.

## 참고문헌

- 과학기술처 (1991). COCONUT HUSK를 이용한 건축내장재 개발.
- 건설부 (1994). “자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사·연구”.
- 건설교통부 (1995). “도시하천의 하천환경 정비기법 개발”.
- 송재우 (1994.9). “하천공간의 효율적인 활용”, 한국수문학회지 제27권, 제3호.
- 이원희 (1996.5). “코코넛 섬유를 이용한 자연형 식생호안 공법”. 대한토목학회지, 44권 5호.
- KC종합환경 (1996). “자연형 식생호안”.
- H.M. SCHIECHTL AND R. STERN (1997). WATER BIOENGINEERING TECHNIQUES FOR WATERCOURSE BANK AND SHORELINE PROTECTION.
- INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION (1989). EROSION KNOWS NO BOUNDARIES.
- INTERNATIONAL EROSION CONTROL ASSOCIATION (1994). HOW TO CONTROL STREAMBANK AND SHORELINE EROSION USING SOIL BIOENGINEERING TECHNIQUES.
- UNITED STATES COIR GEOTEXTILE SEMINARS (1990).
- BON TERRA AMERICA, EROSION CONTROL
- HOLLIS H. ALLIN, NOEL R. OSWALT (1993). “TRIP TO SACRAMENTO RIVER AND SACRAMENTO DISTRICT”.
- WENDI GOLDSMITH AND LATHER BESTMANN (1992). “AN OVERVIEW OF BIOENGINEERING FOR SHORE PROTECTION”.
- BADEN-WÜRTTENBERG 환경청 (1991). HANDBUCH WASSER 2.
- 日本土木學會 (1990). “水邊景觀設計”, 기보당.
- 日本建設省 土木研究所 環境部 綠化生態研究室 (財)日本造園修景協會 (1995). “水辺自然植生創出のための工法開發調査 報告書”.
- 日本建設省 關東地方建設局 霞ヶ浦工事事務所, 山王川 植生淨化施設
- 日本 山口縣 土木建築部河川課 (1994). 多自然型川づくり.