

식생호안의 기술적 검토

(Engineering Assessment of Vegetated Riparian Work)

책임연구원 : 송 재 우

(홍익대학교 토목공학과, 교수)

연 구 원 : 이 원 희

(KC 종합환경(주), 기획실장)

이 상 태

(건설교통부 기술정책과, 토목사무관)

1. 서론

1.1 식생 호안의 필요성

하천의 자연 경관을 구성하는 요소 중에는 하천 형태, 물의 흐름과 식생이 매우 중요한 위치를 차지하며 하천의 자연 경관을 사계절로 연출하는 것은 식물이라 할 수 있다. 하천은 연안의 시가지화·도시화가 진행되면서도 비교적 자연 그대로의 식생이 남아 있는데, 이것은 하천이 갖고 있는 지형적 여건과 수환경의 특수성에 의한 종구성, 홍수시 식생의 파괴에 의한 천이의 역행과 토지 이용이 어려운 제한을 받아온 결과에 의한 것이라 할 수 있다.

그러나 근년에 들어서 국토의 도시화에 따라 토지 이용이 증대되고 하천 유역에서의 생산 활동이 증대되면서 하천은 이·치수 기능만을 고려한 취수 및 배수로 기능을 담당하는 하천이 되어왔다. 특히 자연스럽게 사행하던 하천이 직강화 되거나 복개되고 호안은 콘크리트로 변하였고 차집관거 설치로 인한 유량 감소 등으로 인하여 하천은 자정능력을 상실한 채 다양하게 천변에 서식하던 어류, 곤충, 저서생물 등은 사라져 갔고, 식생 또한 큰 영향을 받아 자연 경관은 크게 변화되어가고 있으며, 귀화식물이라 불리는 외래 식물이 침입하여 하천 특유의 식생 종구성 및 분포에 현저한 변화가 일어나는 곳도 흔히 볼 수 있다. 이러한 곳에는 하천 본래의 식생 입지 여건을 회복하여 하천 특유의 자연 경관을 회복시키는 것이 과제이다.

특히 생태공학(BIOENGINEERING)적 기술은 불안정한 구간에 식물 공동체를 구축하는데 도움을 주며 생물학, 생태학과 공학적인 개념들이 함께 기능을 발휘하게 하는 체계가 필요하다. 생태공학은 식물이 스스로를 보호하는 자생력을 이용하며, 일단 식생의 안정화가 구축되면 식생은 자기 유지가 가능하다. 살

아있는 식물들이 외부의 힘(홍수나 유사 퇴적에 의한 상태의 변화)에 의해 충격을 받았을 때 식물들은 재생과 적응이 쉽다. 그래서 동·서양을 막론하고 수백년 동안 사람들은 이러한 식물의 안정화 특성을 이용하여 왔다.

하천변의 생태공학에서 가장 중요한 것은 수생 초본 식물 종의 성장이다. 이러한 것은 갈대, 골풀, 사초류, 부들류 그리고 이와 유사한 것들이며 이들 식물은 주로 수면 아래 토양에 뿌리를 내리고 줄기를 물위로 성장시킨다.

이들 습지식물의 잎과 줄기는 흐름을 완화시켜 침식을 억제하며 파랑 에너지는 식물의 탄력 있는 변형에 의해 완화된다. 개울과 강에 있는 식물종은 홍수 때는 지면에 누워 토양을 피복하여 물의 흐름에 장애가 되지 않고 침식을 방지한다. 하천가에 있는 습지 식물대가 확장될수록 침식 억제에 더욱 효과적이다. 어떠한 물의 움직임에서도 하상의 퇴적토 토양은 교란되는데 변성한 섬유질 뿌리를 갖고 있는 풍부한 섬유 뿌리의 식물은 효과적으로 토양을 둘러싸고 강화시키며 영성한 뿌리를 가진 식물은 효과적이지 못하다. 이러한 지하 뿌리체계는 풍부하고 다양한 생활 형태와 생물학적 과정을 지탱하며 거대하고 연속적으로 스스로 재생하는 식물에게 생화학적 근본이 된다. 습지에서의 신진대사 과정은 순환하는 물과 충분한 빛이 있는 지역에서 가장 빠르며 녹색식물은 기본 먹이사슬의 생산자이고 습지 공동체의 기초를 형성한다. 습지대는 미생물과 무척추동물에서 부터 양서류, 포유류, 조류까지 유기적인 조직체를 부양하며 습지대의 미생물과 식물 스스로의 신진대사 과정은 물의 자정 능력에 결정적인 역할을 한다고 할 수 있다.

자연형 하천 정비 공법은 현재의 인위적인 하천을 생태적 자연기법을 도입하여 과거 자연 상태의 하천으로 복원하려는 공법이며, 더이상 우리 주변의 자연환경을 사람위주로 개발하여 환경오염을 가중시키지 않고 인간과 자연이 공존하는 환경을 창출하고자 하는 것이며 하천 내에서 생태적으로 가장 중요한

역할을 담당하는 저수호안을 생태적으로 재생시키고자 하는 것이다.

1.2 식생호안의 도입 배경

인류의 문명은 하천 유역에서 발생하여 번창하였고 그것은 원시적인 생활을 하던 과거나 첨단 문명 생활을 영위하는 현대나 크게 다를 바가 없을 정도로 물은 인류와 불가분의 관계에 있다. 산업혁명 이후 경제발전이 가속화되면서 자연 상태이던 하천의 모습은 크게 변화하며 환경적인 요소를 간과된 채 이·치수의 기능만을 위한 일률적인 하천정비가 이루어졌다. 그러나 경제개발이 진행되어 전반적인 국민의 생활이 윤택해짐에 따라 여가활동과 생활하는 주변의 환경에 눈을 돌리게 되었다.

하천변 지역주민은 점차적으로 악화되어 가고 있는 하천환경으로 부터 여러 형태로 나쁜 영향을 받게 되어 하천 환경 개선의 필요성에 관해 인식을 새롭게 하면서 하천의 개활지가 갖고 있는 다양한 매력과 하천 생태계의 중요성을 깨닫게 되었고, 지역주민이 사라져 가는 하천의 자연스런 모습을 되살리려는 복원 운동을 활발히 전개하는 것이 세계 도처의 추세가 되었다. 대기, 수질, 토양 오염과 홍수와 같은 재앙은 이러한 변화에 부응하도록 분위기가 조성되었으며, 환경 보호단체는 물론 개발을 지향하는 사람들도 자연과 함께 공생·공존해야함을 인식하게 되었을 뿐 아니라, 기술이 모든 것을 해결할 수 있는 방법이 아니라는 것을 알게 되었고 우리 세대의 도덕적인 의무는 다음 세대를 부양할 능력이 있는 환경을 보장해 주는 것이라 할 수 있다. 이러한 하천 환경 문제를 일찍이 인식한 선진국에서는 60년대 중반부터 하천 환경 정비 개념을 도입한 이후 하천 관련 법률 정비 및 구체적인 연구에 착수하여 80년대 들어 하천 환경 종합 계획 수립 및 실행에 착수하였다.

국내에서는 건설부 주관으로 1991년도에 하천 환경 관리에 대한 기본조사·연

구가 5개년 계획으로 시작되어 일부 공법이 양재천 하구에 적용되었으며, 95년도에 환경부 주관 하에 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발에 착수하였다. 한편 그동안 새마을 사업의 일환으로 정비되던 지방의 소하천에 대해 체계적이고 합리적인 관리를 위하여 95년도에 소하천 정비법이 제정되어 각 지구별로 시범하천을 선정하여 추진 단계에 이르고 있다.

☐ 외국의 자연형 하천계획

가. 독일의 근자연형 하천정비공법 (NATURNAHER WASSERBAU)

'60년대 자연의 모습이 급격히 감소하자 자연의 재생 및 복원에 관해 크게 관심을 기울여 처음에는 채탄장의 폐광지를 중심으로 자연의 재생 및 복원에 관련한 사업을 실시하다가, '76년에 연방자연보호법이 제정되면서 활발히 전개되었다. 특히 연방 수문연구소를 중심으로 근자연형 하천 공법을 개발하게 되었고 이에 대한 기초 연구는 20여년 전부터 칼스루허(KARLSRUHE) 대학에서 진행되어 왔다.

근자연형 하천공법의 기본개념은

- 저수역 확보와 수변의 자연경관과의 조화
- 하천고수부지의 경관보호적 측면에서 하천공학기술의 개선
- 저수역에서의 하천공학, 경관 및 자연생태학 관련 기초조사
- 자연공간의 보전, 복원에 대한 기술적인 대응 등이다.

나. 일본의 다자연형 하천 정비

'64년 동경 올림픽을 계기로 체계적이고 종합적인 하천 공간 정비가 시작되어 현재까지 8차 치수 사업 5개년 계획('92-'96년)에 이르기까지 수자원 계획과

치수 사업에서 하천 환경 요소를 향후 주요한 과제로 삼고 있다.

'69년 '도시 하천 환경 정비 사업'의 착수를 시작으로 '90년에 다자연형 하천 가꾸기 사업으로 확정지어 하천 환경 정비 사업을 추진해오고 있으며 현재 「환경과 개발에 관한 리우선언」, 「생물의 다양성 보호」 등 국제적인 지구 환경 문제에 관심을 가지고 있다. 다자연형 하천 가꾸기는 치수 기능의 정비를 중심으로 해서 풍요로운 자연과 하천 경관의 보전, 재생 및 창출을 위한 다양하고 풍요로운 자연 환경 조건의 창출을 기본 이념으로 하고 있다.

다. 영국의 자연형 하천종합정비

영국에서는 최근 10여년전부터 하천정비시 이·치수 기능뿐만 아니라 자연생태계 보전, 친수기능 증진, 경관 확보 등 하천환경기능을 보전, 증진 및 복원시키고자 하는 하천환경 정비사업이 활발히 진행되어 왔다.

특히 '89년 국립 하천청(NRA)이 설립되면서 치수 사업시 반드시 하천 환경적 요소를 충분히 사전 조사하여 하천 환경 요소를 배려하는 자연형 하천 종합 계획을 세우고 있는 등 체계적으로 자연형 하천 계획의 개념을 정착시켜 하천 정비를 추진해 나가고 있다.

라. 미국의 서식처 수리학 및 하천복원 (HABITAT HYDRAULICS, RIVER REHABILITATION)

미국에서도 홍수 조절을 위한 중소하천의 정비시 하천 환경적 요소를 고려하도록 하는 지침서를 미공병단에서 만들었으며, 구체적인 자연형 하천 계획을 위한 연구가 미공병단 수로 실험소(WES) 및 농무성의 농업연구소(ARS)의 국립유사실험실(NSL) 등에서 하천생태계를 배려한 하천정비공법에 관한 연구를 활발히 진행 중에 있다. 특히 캘리포니아 새크라멘토강은 자연형 하천계획에 의해 정비된 하천으로서 대표적인 성공사례로 높이 평가받고 있다.

2. 천연섬유의 특성

자연형 하천 호안 공법에 사용되는 주요 재료는 자연석, 말뚝 및 천연섬유류와 물에 친숙한 수초, 버드나무류등이며 이들이 자연형 하천 공법이 발달된 선진 외국에서 쓰이는 주요 재료이다. 이들 재료중 자연석은 유한 자원이며, 목재 또한 사용후 다시 성장시키려면 적어도 수년에서 수십 년이 소요되는 유한자원으로 볼 수 있다. 돌과 나무의 파다 사용은 자연이 회복할 여유를 주지 않는 또 다른 자연 파괴이며, 훼손된 부분을 회복시키려 다른 곳을 파괴하는 빈곤의 악순환이 될 수 있다는 점에서 자원이 거의 무한한 천연 섬유류는 적절한 장소에 사용된다면 매우 유용한 호안 소재가 될 수 있다. 그러면 천연섬유류 중에서 하천공사에 가장 많이 사용되는 야자나무 섬유의 특성을 위주로 소개하면 다음과 같다.

COCONUT은 야자과(COCO NUCIFERU LINN)에 속하는 키가 큰 야자나무의 과일로서 COCONUT OIL과 여러 식품, 화장품의 원료가 되는 COPRA을 얻기 위해, 그리고 그대로 식용으로 사용하기 위해 열대 및 아열대 지방의 전역에서 대단위 농장으로 재배하고 있다.

COCONUT은 핵과에 해당하는 COCONUT KERNAL과 껍질에 해당하는 COCONUT HUSK로 쉽게 분리된다. 이들 두부분은 거의 절반씩의 같은 체적을 갖고 있다. COCONUT HUSK의 구조는 최외부에 섬세하고 얇은 섬유층이 있고 그 내부로 2 ~ 5cm 두께를 갖는 치밀한 섬유층을 형성하고 있으며, 섬유층은 COCONUT FIBRE와 거의 동량의 해면상의 교질 성분인 COCONUT PITH으로 구성하고 있으며, 오래 전부터 이들을 분리하여 추출한 COCONUT FIBRE(이하 FIBRE)는 식물성 천연 섬유 소재(INDIGENOUS MATERIAL)로 널리 이용하고 있다. COCONUT은 남방 과실로 연중 4회정도 수확하며 야자나

무 1주당 50 ~ 60개/년 산출되는바 인도네시아에서는 연간 500만 톤에 이르는 것으로 추정되고 있다. FIBRE 관련 제품은 인도, 스리랑카에서는 중요한 수출 상품으로 다양하게 생산하고 있다.

동남아시아 등 열대 혹은 아열대 지역에서 자라는 COCONUT 열매에서 핵과를 뺀 나머지 부위인 COCONUT HUSK 부위를 채취하여 갈퀴가 달린 압착탈수 ROLLER로 채취된 COCONUT HUSK을 압착, 분쇄한 후 DEFIBERING MACHINE로 섬유(FIBRE)를 채취하며 채취된 섬유(FIBRE)를 쇠망 ROTATOR(회전통)에 넣어 COCONUT DUST와 분리시켜 정선된 섬유만 채취한다.

☑ 코코넛 섬유의 특성

코코넛 섬유는 그 자체가 거의 CELLULOSE와 LIGNIN으로 구성되어 있어 수질 및 공기 정화기능과 함께 부식되기까지 약 7 ~ 10년이 소요되며 부식후 유기질 비료가 되므로 환경 피해가 거의 없는 천연소재이며 타 천연섬유와 비교하여 물리적 특성이 뛰어나다. 또한 코코넛 섬유는 전단면에 30 ~ 300개 이상의 CELL을 갖는 MULTI-CELLULAR FIBRE의 구조를 갖고 있으므로 보습력, 통풍성 및 유연성이 좋아 하천 호안 소재 외에도 차량 시트, 쿠션재, 정화용 FILTER, 건축용 판넬등 여러 분야에 이용되고 있다.

표1 COCONUT FIBRE와 DUST의 화학적 특성

SAMPLE	SOLUBILITY (%)			LIGNIN(%)	HOLO - CELLULOSE (%)	ASH(%)
	COLD WATER	HOT WATER	ETHANOL BENSENE			
COIL FIBER(I)	0	0.2	0.8	39.7	60.1	1.5
COIL FIBER(II)	0	0.2	0.6	29.9	72.7	1.7
COIL DUST	17.2	22.2	6.7	43.0	42.1	5.6

자료 : 紙パ技協誌, VOL.37(10), P.933-8(1983)

I : CONTAINS 25% COIR DUST

II : COMPLETE REMOVAL OF COIR DUST

표2 COCONUT FABRIC과 JUTE(황마), COTTON 강도 비교

조건	COCONUT FABER	JUTE(황마)	COTTON
토양중 온도 82~86°F 습도 90%	1년 (인장강도 20% 부유)	8주후 완전히 생분해됨	6주후 완전히 생분해됨
수중 4000시간	변화가 거의 없음 (신장율만 약간 감소)	TEST 불가	TEST 불가

주) 1. 독일 INSTITUTE BAM TEST 결과.

2. COTTON과 JUTE가 빨리 생분해 되는
것은 성분중 약 80%가 CELLULOSE이기
때문이다.

3. COCONUT은 성분중 약 40%가 LIGNIN
(목질소)이므로 물리적 특성이 매우 강함.

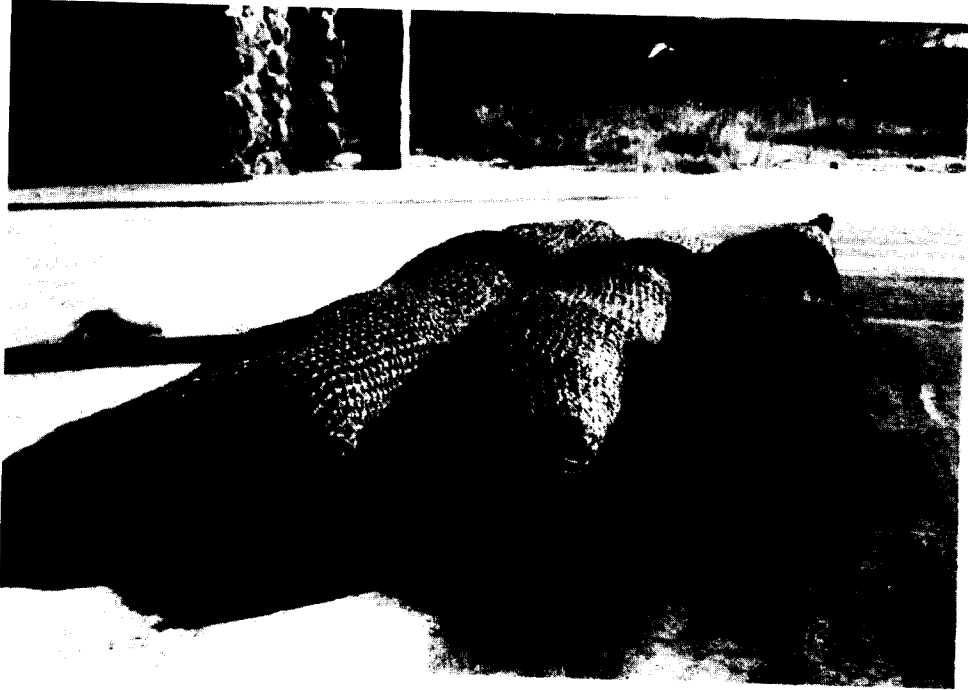


그림1 COIL ROLL

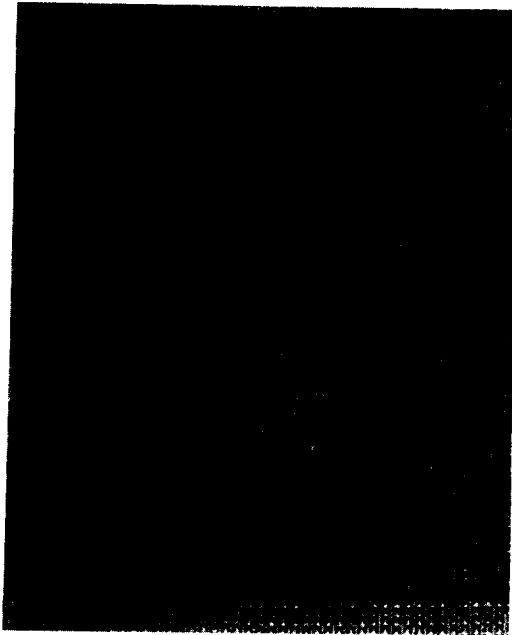


그림2 COIL NET

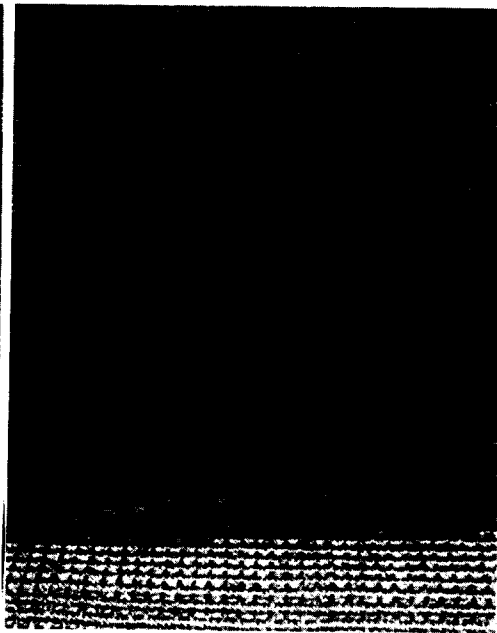


그림3 부직포형 FELT

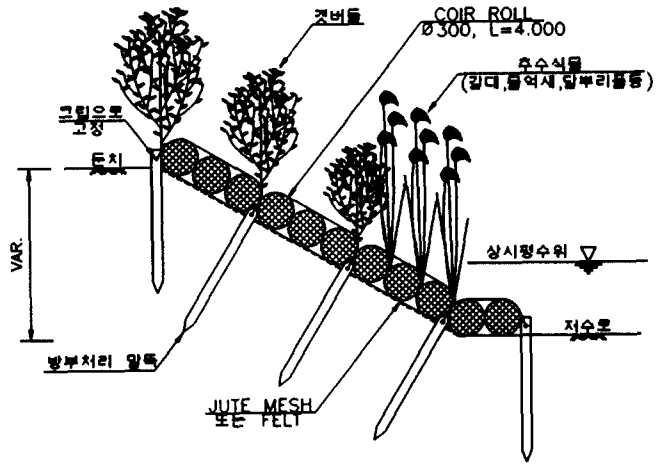
3. 국내의 식생호안 적용사례

국내에서 본격적인 식생호안의 실제 적용사례는 '95년 안양천과 여의천에 적용된 COIR ROLL을 이용한 공법과 양재천 하구 학여울 구간에 적용한 10가지 공법 등으로 선진 외국에 비하여 초보적인 수준이나 지속적인 MONITORING 과 유지관리를 통하여 국내여건에 적합한 공법으로 정착할 수 있도록 개선해 나가야 하겠다.

3.1 안양천과 여의천에 적용된 COIR ROLL을 이용한 식생호안 공법

안양천과 여의천에 적용된 공법은 다양하고 빠른 식생의 정착을 통하여 호안을 보호할 수 있는 자연성이 강한 공법으로 원통형 COIR ROLL과 갯버들, 갈대를 이용하여 실행되었다. 두하천 모두 갯버들의 성장상태는 비교적 양호한 편이나 갈대의 경우는 여의천에서 부분적으로 성장하고 있다.

시공 이후 홍수시 2~3 차례의 침수과정을 거치며 발생한 문제점으로 저수호안 사면에서는 호안 재료가 변하는 지점에서 부분적인 침식현상이 발생하였으며 호안 사면의 중간 부위에 배면토사가 밀려 내려온 것을 제외하면 수리학적으로 큰 문제점은 없었다. 이러한 문제는 식생의 정착과 함께 상당 부분 개선될 것으로 판단되며 저수호안의 기단부에서는 여의천의 경우 직선 수로가 사행수로로 조성되었기 때문에 부분적인 침식과 퇴적 현상이 반복되고 있다.



① 계획단면도



② 여의천의 준공직후 전경('96. 1)

그림4 여의천 식생호안 공사 사진



③ 여의천의 준공 8개월 후 전경('96. 8)

그림4 여의천 식생호안 공사 사진



그림5 여의천 사행수로 조성으로 인한 퇴적과 침식이 진행되고 있음

(준공후 9개월경과)

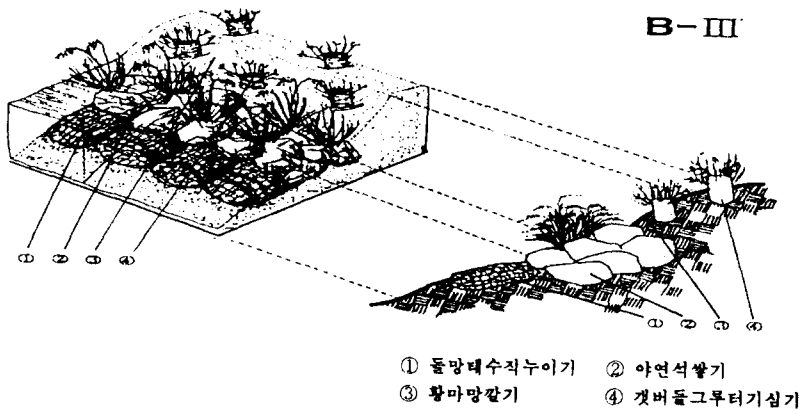
3.2 양재천 하구 학여울 구간에 적용된 식생호안 공법

학여울 구간에 적용된 공법은 공사구간이 한정되어 하천의 여러 가지 특성을 충분히 고려하지는 못하였지만 공법 적용 장소에 따라 조금씩 다른 공법을 채택하여 그 적용성을 검토하고자 하였다. 저수호안의 유형은 유수의 특성에 따라 사주부, 수충부, 만곡부, 하중도 및 기타 지역으로 나누어 10가지 공법을 적용하였으며 유속, 수심, 하상을 구성하는 저질의 종류에 따라 공법의 내용, 재료 및 조합방식을 달리 적용하였다.

이들 공법중 수충부와 얕은만 사면에 적용된 공법은 다음과 같다.

가. 수충부에 적용된 공법

유수가 충돌하는 지역으로 하상은 자갈 및 모래로 구성되어 있으며 갯버들을 식재하여 수면에 그늘을 드리워 어류의 서식 및 조류의 유인을 기하였다.



① 도면



② 준공직후 전경



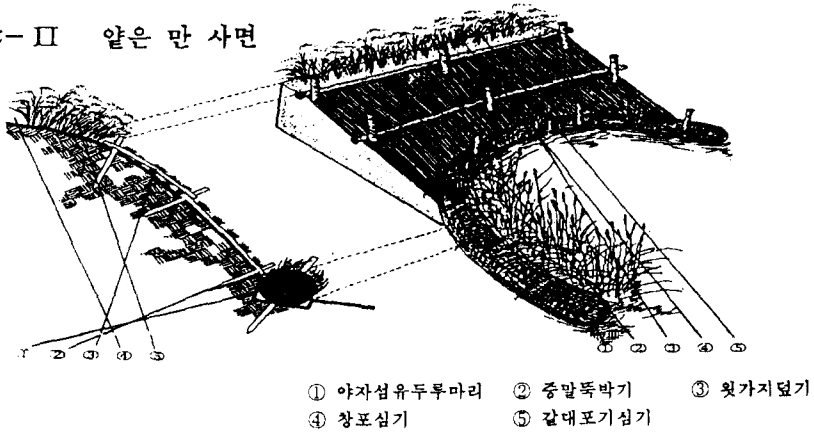
③ 준공후 약 10개월 경과후 전경

그림6 수층부에 적용된 공법

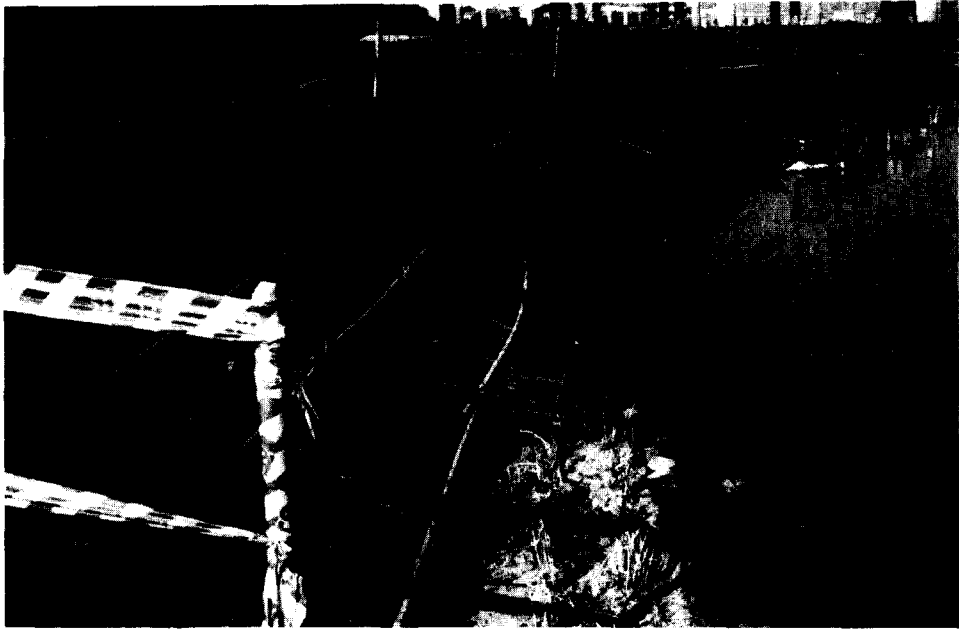
나. 얇은만 사면에 적용된 공법

유속이 비교적 작은 만곡부로 수심이 얇아 하안이 매우 완만한 편이며 하상은 점토질과 미사질로 구성되어 있고, 하천의 자연스러운 선형을 갖도록 함으로써 다양한 웅덩이나 소를 조성하여 다양한 식물의 발생을 촉진하고 이로 인한 다양한 동물의 서식 환경 조성을 기하였다.

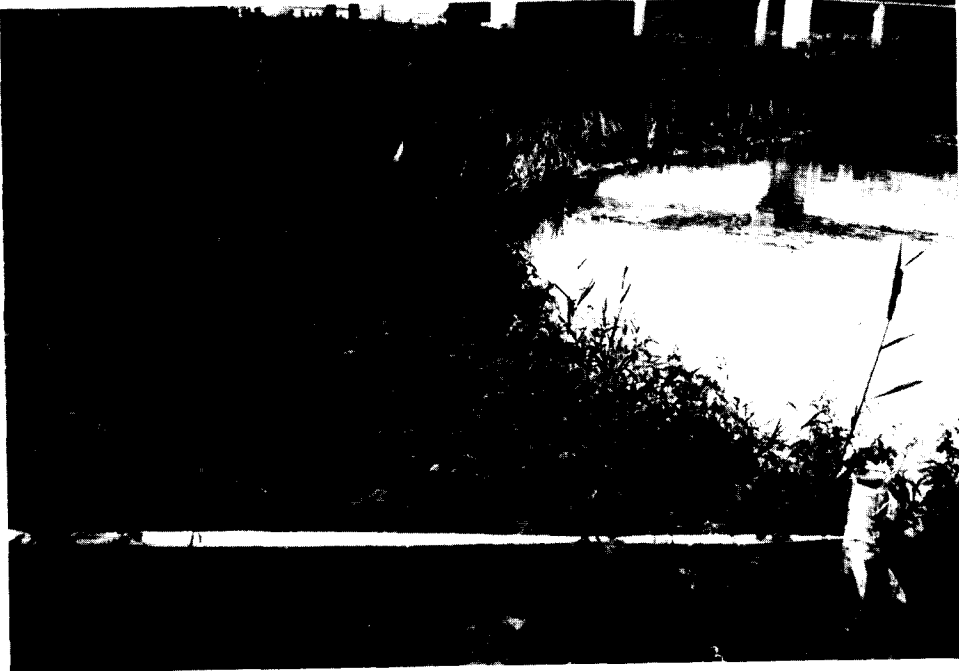
C-II 얇은 만 사면



① 도면



② 준공직후 전경



③ 준공후 약 10개월 경과후 전경

그림7 앞은만 사면에 적용된 공법

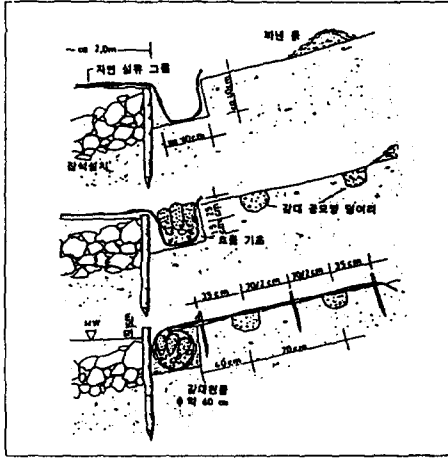
4. 외국의 자연형 식생호안 공법

4.1 독일 ENZ강의 근자연형 공법

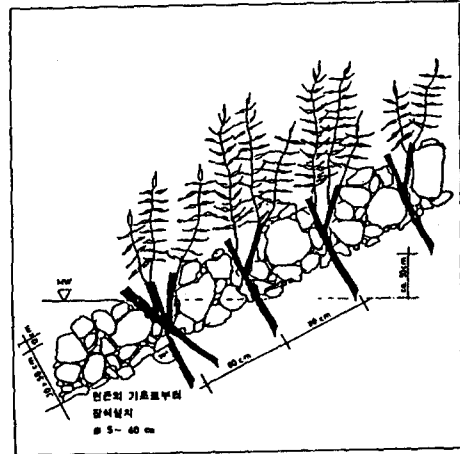
1986년 PFORZHEIM 시가 1992년 지방 정원 박람회 개최지로 정해짐에 따라 주에서는 ENZ강의 정비를 계획하였다. 지나 세기까지만 해도 ENZ강은 자연에 가까운 하천경관을 이루고 있었으나 1902~1907년에 도시지역의 ENZ강 정비시 하천 선형을 직선화 하였고 생태학적 관심사는 고려하지 않았다. ENZ강 정비를 위한 최초의 제안은 KNOLL/REICH/LUTZ의 건축가 협회에 의해 이루어졌으며 KARLSRUHE 대학과 토지개량 기술연구소의 THEOER-REHBOCK 실험실에서 포괄적인 모델 실험이 실행되었다.

KARLSRUHE 대학의 모델 시험으로부터 다양한 유출 상황에서의 정비방법이 제시되어졌고 이에 준하여 공법의 선택과 위치결정을 위한 세분화된 안이 위탁자와 계획자 사이의 공동협력으로 최종 공법과 위치가 결정되었다. '90년7월~'91년 3월 사이에 근자연형 하천공법이 ENZ강에 실행되었으며, 실행된 여러 가지 공법은 도식화하여 객관적이고 명백하게 시공방법이 제시되었고, 시공 회사에 의해 시공과정에 대한 자세한 설명을 포함한 작업카드가 작성되었다. BADEN-WUTTEMBERG 주의 환경보호국은 시공후 후속 절차로서 대학 및 전문 연구단체에게 수문수리학적 관계 및 하천의 기하학적 변화와 함께 생태학적 연구를 위탁하거나 준비중에 있으며 연구기간은 10년으로 계획하였다. ENZ강에 적용된 갈대와 버드나무를 이용한 여러가지 근자연형 공법의 시공 도면은 다음과 같다.

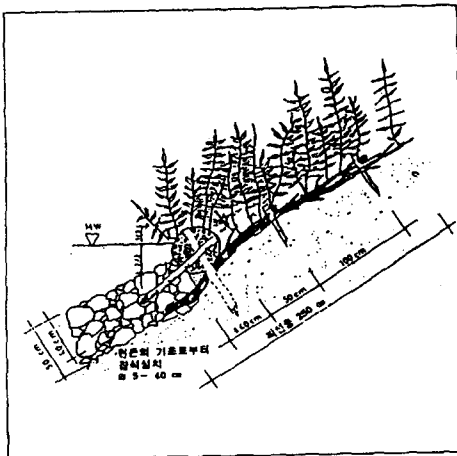
① 갈대를 이용한 근자연형 공법



② 버드나무 꺾꽂이와 잠석설치



③ 원통형 쇠단을 이용한 근자연형 공법



④ 자연 섬유를 이용한 파종

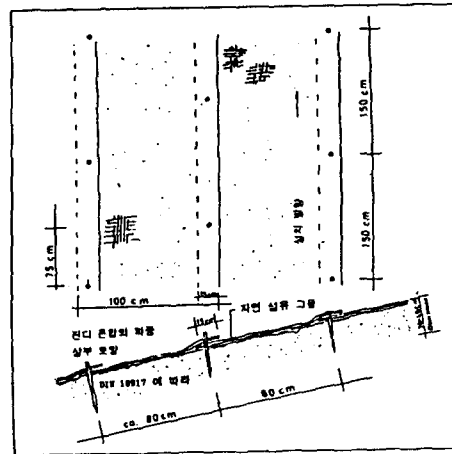


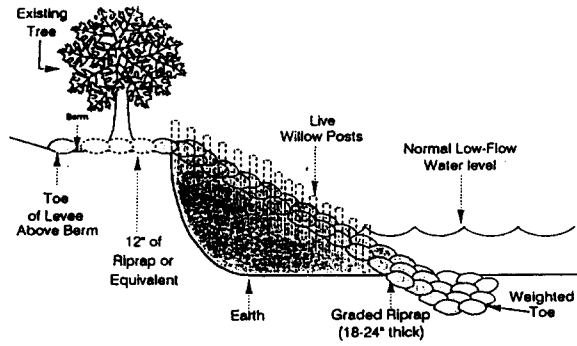
그림8 ENZ강에 적용된 여러 가지 근자연형 공법

4.2 미국 SACRAMENTO 강의 하천 환경 정비

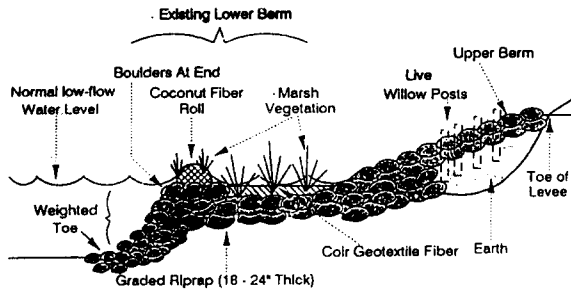
SACRAMENTO 강의 하천 제방 보호 공법은 물고기와 야생동·식물 특히 북태평양산 대형 연어에게 서식하기 적합한 장소를 개선하는 방법을 포함하며 생태기술적인 식생의 적용 방법을 포함한다. 94년도에 시행된 이 계획은 50년의 설계 빈도를 포함하며 물고기 서식처 조성을 위한 호박돌 사용이 고려되었고 공사기간도 기존 서식하는 동·식물을 위하여 3월에서 7월로 한정하였다.

유로의 직선부에 적용된 "THE WORKS"라 명명된 그림9(①)의 공법은 물고기 방파제의 정비를 포함하여 몇 가지 수생 식물의 서식처를 확보하여 홍수와 배의 운항에 따른 영향 등이 고려되었다.

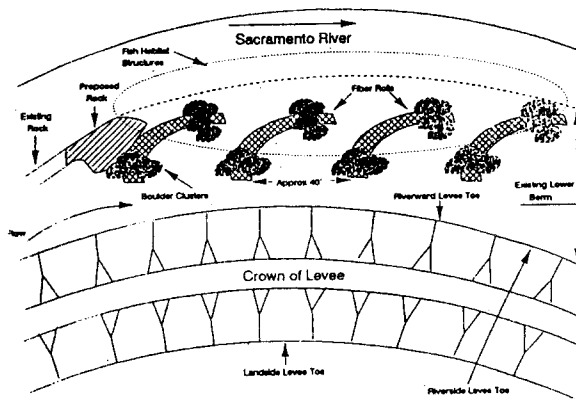
유로 곡선부에 적용된 "MOD - WORKS"는 "THE WORKS"의 변형으로 습지대를 조성하여 습지 식물의 서식처를 확보하며 상부에는 살아 있는 버드나무 말뚝이 고려되었다.(그림9의 ②,③) 여기에서 주기적인 홍수를 견딜 수 있는 식생의 이용은 매우 중요하며 사초류와 갈대 및 꿀풀등 수주간의 홍수에서도 견딜 수 있는 수종이 선정되었다. 본 SYSTEM은 물고기에게 그늘과 서식처를 제공하며 유수에 의해 식물이 유실되는 것을 방지하는 습지 서식처를 제공하여 물고기에게 최대의 혜택을 제공하도록 설계되었다.



① 직선구간(THE - WORKS)



② 곡선구간(MOD - WORKS)



③ 곡선구간(MOD - WORKS)

그림9 미국 SACRAMENTO 강의 자연형 하천 정비 도면

5. 수변식물의 식재방법

5.1 수변식물의 식물

갈대, 줄, 부들 등의 대형정수식물은 지하경을 신장시킴으로서 생육 범위를 확대하며 일반적으로 종자의 발아율은 좋지 않기 때문에 야외에 식재할때 종자 파종은 별로 이용하지 않고, 다음과 같은 방법을 사용하여 식재한다.

가. 근경(根莖) 심기

갈대, 줄, 부들류, 창포, 꽃창포, 석창포, 택사 등의 정수식물 전반에 걸쳐 봄에 새싹이 필때 뿌리에 흙이 묻어 있는 덩어리 상태로 이식하며 수종이 대형인 경우는 직경 30cm, 중소형의 수종은 직경 15 ~ 20cm 정도로 채취하며 뿌리 덩어리 보다 조금 큰 구멍을 파서 구멍 안에 넣고 토사를 채워 넣으며 주변을 다진다. 습지, 또는 수심 50cm 전후의 수중에 식재하는 것이 좋고 새싹이 지면위로 나올 정도의 깊이로 심으며 수중에 심을 때에는 식물이 호흡할 수 있도록 새싹이 수면보다 높게 심는다.

나. 지하경(地下莖) 심기

갈대, 덩굴갈대, 줄, 부들류등의 대형정수식물에 대하여 봄에 새싹이 발아할 때 새싹이 붙어 있는 지하경을 30cm 정도의 길이로 잘라 구멍을 파서 이식하며 습지대 또는 수심 20 ~ 30cm 정도의 얕은 수변지대나 수중에 식재할 경우는 호흡할 수 있도록 새싹이 수면위로 나오게 한다.

다. 갈대의 줄기(莖)심기

갈대, 덩굴갈대는 줄기심기가 가능하며 새싹이 지상으로 수심 cm ~ 1 M 정도까지 성장후에 새싹과 뿌리의 원줄기를 가진 마디를 포함한 부분을 절단 채취하며 직경 2 ~ 3cm의 막대기 등으로 식재지에 20 ~ 30cm 정도 깊이로 구멍을 만든 후 갈대의 줄기를 2 ~ 3분을 모아 꽂아서 주변의 토양을 발로다진다. 지하수위가 높은 장소에서부터 수심 20 ~ 30cm의 습지대까지 식재 가능하며, 호흡할 수 있도록 새싹이 수면위로 나오도록 식재한다.

줄기식재는 채취에서 심기까지의 기간동안 건조를 피하기 위하여 물속에 보관하거나 음지에서 물을 뿌린 후 마대 등으로 덮어 습도 유지에 유의하며, 채취후 1 ~ 2일 안에 식재하는 것이 바람직하며, 군락지는 채취후에 새싹이 나오므로 공급지 군락에 끼치는 영향이 비교적 작고 시기가 적절하다면 활착율이 100% 에 가깝다.

5.2 수변식물의 씨앗 발아 실험

수변식물의 발아율을 알아보기 위하여 일본 건설성 토목 연구소 녹화 생태 연구실(1995)에서는 저온습층처리한 씨앗과 일반 씨앗을 습도 조건과 온도 조건을 달리하여 실내시험을 하였다. 실험 결과 전반적으로 저온습층처리를 하지 않은 상태에서 높은 발아율을 보였으며 특히 알방동사니, 갈대, 부들 등이 높은 발아율을 보였고 저온습층처리를 한 상태에서는 파대가리, 며느리 배꼽 등이 높은 발아율을 나타냈다.

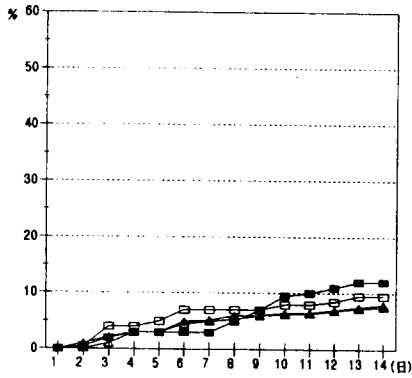
표3. 씨앗의 발아 조건과 발아율

과 명	종 명	최 중 발 아 율							
		무 처 리				저 은 습 충 처 리			
		25 °C		30 °C		25 °C		30 °C	
		통상	수몰	통상	수몰	통상	수몰	통상	수몰
등 심 초	푸 른 갯 골 풀	1.7	13.8	0.0	15.0	0.0	0.0	1.0	0.0
금 방 동 사 니	새 모 고 령 이	1.3	0.4	1.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	하 늘 지 기	10.4	2.9	2.5	3.3	10.7	7.7	0.0	0.0
	바 람 하 늘 지 기	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	3.7	1.7
	알 방 동 사 니	25.4	35.4	73.3	76.3	0.7	1.0	14.3	14.7
	너 도 방 동 사 니	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	2.0	1.3	2.0
	드 령 방 동 사 니	0.0	0.4	0.0	0.0	5.0	1.0	0.0	0.0
	파 대 가 리	0.0	1.3	3.8	7.9	0.0	3.0	37.3	37.3
벼	갈 대	49.2	42.9	51.7	47.1	9.0	13.0	6.7	7.0
	엽 주	1.7	0.0	40.0	0.0	1.0	1.0	7.3	0.0
	갈 풀	16.0	10.3	14.3	10.0	-	-	-	-
	줄	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	1.7
부 들	부 들	52.5	74.2	40.2	78.8	5.7	8.3	2.0	3.7
여 귀	며 느 리 배 곶	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	18.3	0.0	37.3
	미 꾸 리 님 시	0.4	0.0	2.1	0.4	0.3	0.0	0.0	1.0
	고 마 리	32.1	10.8	0.0	0.0	0.7	3.0	0.0	3.0

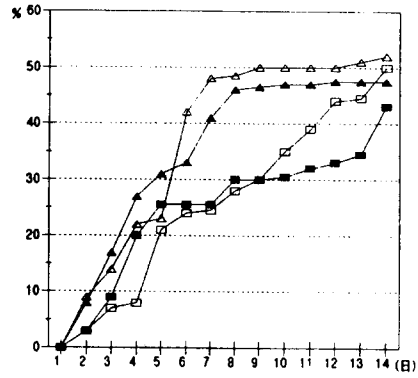
주) 1. 저온습충처리 : 고습도 조건에서 3 °C - 5 °C의 저온 상태로 3개월 간 보존한 상태.

2. 습도 조건 - 통상 : 여과지에 수분 함유 / 수몰 : 완전히 수중

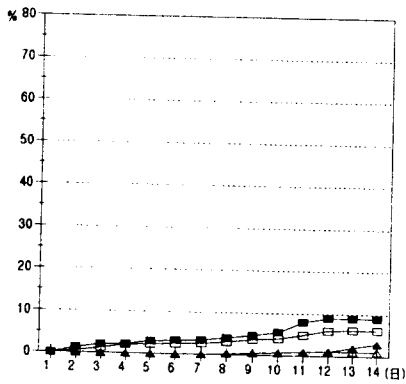
① 갈대의 저온습충처리한 발아율



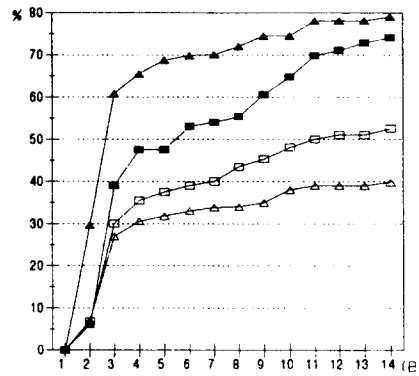
② 갈대의 무처리상태의 발아율



③ 부들의 저온습충처리한 발아율

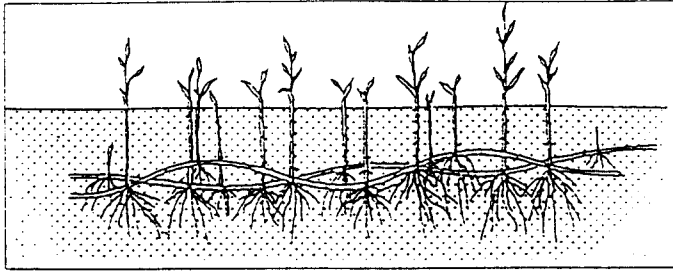


④ 부들의 무처리상태의 발아율

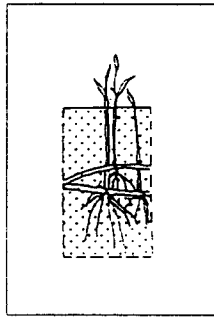


□ 25°C 통상 ■ 25°C 수물 △ 30°C 통상 ▲ 30°C 수물

그림10 갈대와 부들의 발아율

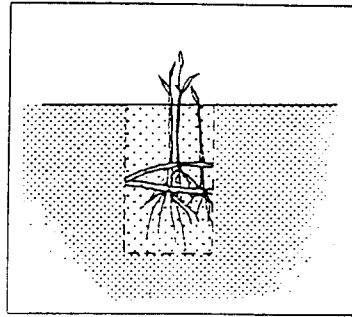


갈대군락



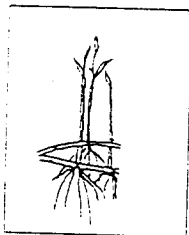
갈대 뿌리명어리

⇒



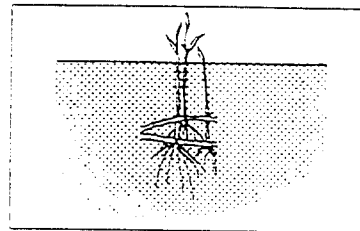
식재지

① 갈대의 근경(根莖)심기 모식도



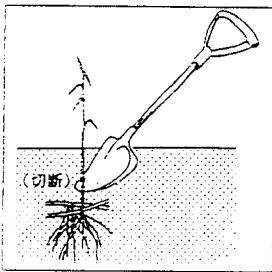
갈대 뿌리

⇒



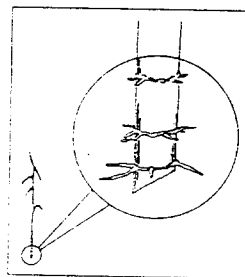
식재지

② 갈대의 지하경(地下莖)심기 모식도



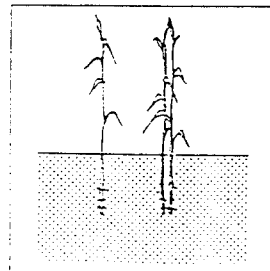
갈대 군락

⇒



갈대뿌리 줄기

⇒



식재지

③ 갈대의 줄기(莖)심기 모식도

6. 유지관리

기존에 시행되어 오던 호안블럭이나 석축등의 호안 시공 후에는 식생이 크게 번성하지 않으므로 별다른 관리가 필요 없었으나 자연을 회복시키려는 자연형 식생호안 공사는 지속적인 유지관리가 필수적이며 효과를 극대화시킬 수 있다.

가. 관리인을 지정하여 홍수시 떠내려온 이물질등을 제거하여야 하며, 취약부위가 발생시 보수를 시행하여야 한다.

나. 휘기 쉬운 깃버들은 정기적인 전정작업을 통하여 홍수시 소통에 지장을 주지 않도록 한다.

다. 갈대는 물에서 질소와 인을 흡수하여 수질을 정화하는 효과가 있는 반면에 흡수한 질소와 인을 재용출하므로 휴지기에 베어주어야 정화 효과를 높일 수 있다.

라. 하상의 진흙은 인을 흡착하는 작용을 하며, 오염물질이 침전되므로 계획적인 하상 준설로 침전된 오염물질의 재용출을 방지하여 수질오염을 방지해야 한다.

마. 자연형 하천호안에서 수변 식물의 역할은 매우 중요하므로 이의 유지 관리를 위하여 일정 자격과 전문가를 보유한 민간 업체에 위탁 관리하는 것도 검토해 볼 수 있겠다.

7. 결 론

본 연구에서는 국내외에서 적용된 식생호안 공법을 소개하였으며 특히 국내에 적용된 공법은 이제 시공된지 1년 남짓하므로 국내 하천에의 적용성 여부를 판단하기는 이른 감이 있으나 생태계의 변화 및 수리수문학적인 연구와 함께 형태학적인 변화 과정도 보다 장기적인 MONITORING과 유지 관리를 통하여 분석되어져야 한다.

자연형 하천 환경 정비 공법은 선진 외국에서 매우 활발하게 연구·적용되고 성공 사례가 발표되고 있으나 이들 공법은 해당 하천의 수리기하학적 특성과 생태계 및 기후 인자등이 고려되어 적용된 것으로 다소 여건이 다른 국내 하천에 적용하기 위해서는 여러 사항의 검토가 선행되어야 하며, 하천환경의 보전 및 개선을 위한 좋은 공법이 개발되었다 하더라도 국내 대부분의 도시하천과 같이 적은 수량과 나쁜 수질에서는 큰 효과를 기대하기 어려우므로 유량 확보와 수질 개선을 위한 노력이 선행되어야 할 것이다.

다음은 식생호안 공법 적용시 고려되어져야 할 사항을 정리하였다.

7.1 공사 시기 선정

자연형 하천 공법은 결국 수목에 의하여 하천이 유지되어야 하므로 가장 주된 재료는 결국 수목이다. 그러므로 수목이 잘 정착하려면 공사시기는 매우 중요하며, 대부분 식물의 가장 좋은 식재 시기는 4~5월경이므로 식생의 조기 활착을 위하여 공사시 식재 시기 선정에 충분한 배려를 하여야 한다.

7.2 수목선정

수목이 식재되어야 하는 곳이 저수호안이며 이곳은 토양과 물의 교류가 가장 빈번한 곳이다. 또한 이들 수목이 호안을 유지, 보호하는 역할을 수행하여야 하므로 수목 선정시 다음과 같은 기본적인 사항이 충족되어야 한다.

- 뿌리가 깊고 튼튼한 다년생 초본, 목본
- 물과 친숙한 수종
- 도시 하천의 경우 대부분 수질이 열악하므로 수질에 강한 수종
- 수질 정화 능력이 뛰어난 수종
- 경관이 양호한 수종
- 번식이 쉽고 대량 생산이 가능한 수종

등이 선택의 기준이 되어야 할 것으로 보며, 식생의 활착율을 높이기 위한 식재 방법도 체계적인 정립이 필요하다. 또한 국내 하천의 수목 높이에 대한 식재 제한은 과거의 우리 하천과 현재 외국의 사례에 비춰보아 홍수시 우수 흐름에 큰 지장을 주지 않는 곳이라면 융통성이 필요하다고 보며, 그럴 경우 식재할 수목 선정시 선택의 여유가 많아져 다양한 하천경관을 창출할 수 있다.

7.3 하도계획

현재 대부분의 하천은 사면구배가 1:1 ~ 1:2 정도의 구배로 설계되고 시공되어 있는데 사면은 완만할수록 수리적으로 안정되며 식물이 서식하기에도 좋은 여건을 조성해 주므로 둔치 이용에 크게 저촉되지 않는다면 일률적인 사면구배 보다는 여건에 따라 다양한 구배로 계획되어야 하며 물고기와 수중생물의 다양한 서식처 제공을 위한 여울과 소의 조성과 함께 낙차공, 보등으로 인한 수중생태계의 단절 현상을 막기 위하여 어도의 계획도 적극적으로 고려하여야 한다.

참고문헌

건설부, “자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수질의 상관성 조사·연구”, 1994

건설교통부, “도시하천의 하천환경 정비기법 개발”, 1995

과학기술처, “COCONUT HUSK를 이용한 건축내장재 개발”, 1991

송재우, “하천공간의 효율적인 활용”, 한국수문학회지 27권 3호, 1994.9

이원희, “코코넛 섬유를 이용한 자연형 식생호안 공법”. 대한토목학회지, 44권 5호, 1996.5

KC종합환경, “자연형 식생호안”, 1996

일본토목학회, “수변 경관설계”, 기보당, 1990

日本建設省 土木研究所 環境部 緑化生態研究室 (財)日本造園修景協會, “水辺自然植生創出のため

めの工法開發調査 報告書”, 1995

日本 山口縣 土木建築部河川課, 多自然型川づくり, 1994

BADEN-WÜRTTENBERG 환경청, “HANDBUCH WASSER 2”, 1991

“UNITED STATES COIR GEOTEXTILE SEMINARS”, 1990

HOLLIS H. ALLIN, NOEL R. OSWALT, "TRIP TO SACRAMENTO RIVER
AND SACRAMENTO DISTRICT", 1993

WENDI GOLDSMITH AND LATHER BESTMANN, "AN OVERVIEW OF
BIOENGINEERING FOR SHORE PROTECTION", 1992