

자연형 하천에서의 호안재료와 환경변화

- 식물 생태계를 중심으로

김 해 주 (정회원, 삼성 에버랜드)

1. 서론

인공적인 하천을 자연형 하천으로 회복시킨다는 것은 말 그대로 자연에 가까운 하천의 모습과 하천의 기능을 되살리는 것이다. 여기서의 하천의 기능이란 단순히 물의 수송능력이나 인간중심의 치수적 또는 이수적 개념보다는 하천의 생태적 기능을 의미한다. 다른 생태계는 물론 하천생태계도 매우 복잡하여 하천 생태계를 간단하게 요약할 수 없고, 특히 다른 생태계와의 연계는 더욱 복잡하고 미묘하여 하천의 기능을 회복시킨다는 것은 인간의 힘으로 단시간에 이루기에는 한계가 있다고 본다. 따라서 자연형 하천조성을 위한 여러 가지 방법들은 그 종류에 따라서 서로 효과성에 차이가 있지만, 인공성이 강한 하천의 모습과 기능을 되찾기 위한 조그만 수단일 뿐이다. 즉 하천 스스로의 발전성을 촉진시키는 계기를 만드는데 그 의의가 있다고 본다.

자연형 하천 조성법이 기존의 하천정비방식과 눈에 띄게 다른 점은 무엇보다도 식물 재료(생명 재료)를 많이 활용하는 것이다. 식물재료는 하천의 여건에 따라서, 특히 침식의 위험이 있는 곳에는 식물재료와 토목재료(무생명 재료)를 혼합하여 사용할 수 있으며, 또한 부득이 무생명 재료만을 사용하여야만 하는 경우에는 그 구간이 지속적이지 않도록 하여(김, 1997) 하천 변의 비오톱이 단절되지 않고 연계될 수 있도록 하여야 한다. 그러나 실제로 자연형 하천에 이용되어지는 식물재료 및 토목재료를 이용한 공법이 대상하천의 소류력에 견디는 것을 우선하여 적용하게 되므로 식물재료나 토목재료가 하천환경에 어떠한 영향력

을 미칠 것인가에 대하여는 소홀해 질 수 있다고 본다. 국내에 자연형 하천 조성법이 도입되면서 자연형 호안공법의 수리적 안정성은 외국의 연구자료가 소개된 바(환경부, 1999) 있으나, 하천에 사용되는 식물재료의 종류 및 토목재료의 혼합에 의한 공법류의 생태적 영향력에 대해서는 자연형 하천조성에 매우 주요한 요인이지만, 아직까지 알려져 있지 않다. 이에 본고는 여러 가지 자연형 호안공법 구간내의 이입식 생을 중심으로 식물 생태적 환경변화를 조사·분석하고 그 결과를 외국의 연구결과와 비교하여 앞으로 국내 자연형 하천조성 공법 및 재료 선별의 참고 자료로 활용되기를 목적으로 한다.

2. 대상하천의 개요

자연형 호안공법이 적용된 하천은 경기도 용인군 수지읍에 위치한 정평천 하류의 1.2km이며 1999년 12월 공사가 완료되었다. 정평천은 광교산에서 발원하여 성복천에 유입되며, 주변토지현황은 하류부에 걸쳐 대단위 고층아파트 단지가 1999년 거의 완료된 상태이며 상류인 신봉지구는 아직도 개발 중으로 개발 전에는 유역의 70%이상이 임야였다. 유역면적은 7.2km², 유로 연장은 6.95km이며, 하상경사는 1/100으로 전형적인 산지형 소하천의 특성을 나타낸다. (100년 빈도)하폭은 33~26m이며, 홍수량은 200cms이며, 갈수량은 0.029cms이다. 평균유량은 측정치가 없다. 유역내의 현존식생은 Ruderal 식물류 및 리기다소나무 군락이 우세하고 하상재료는 굽은 자갈에서 잔자갈이다(한국토지공사, 1998).

3. 조사 구간의 위치 및 호안공법의 종류

조사 구간은 아래 그림 1과 같이 100m 간격으로

골고루 선정하되 공법별로 조사가 이루어지도록 하였으나, 간혹 공법 적용구간이 짧은 경우 조사 구간의 반복 횟수가 작은 경우도 있다.

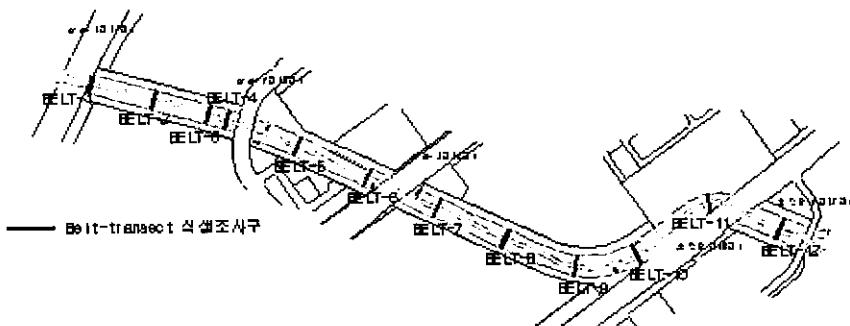


그림 1. 조사구의 위치

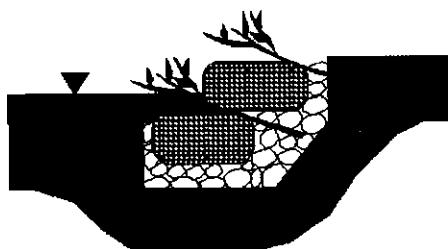


그림 2. 공법 A

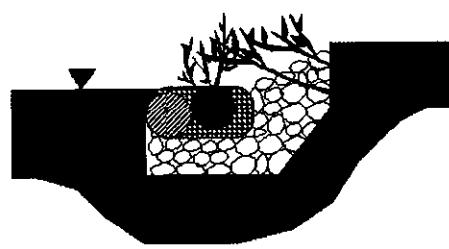


그림 3. 공법 B

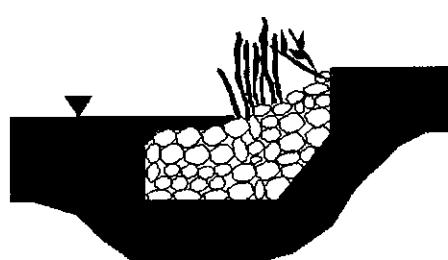


그림 4. 공법 C

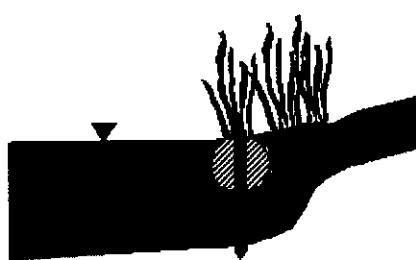


그림 5. 공법 D

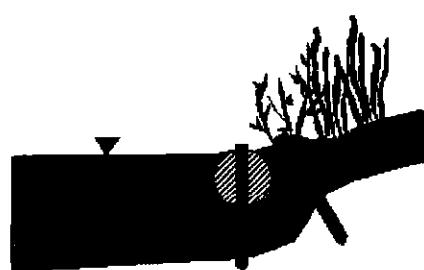


그림 6. 공법 E

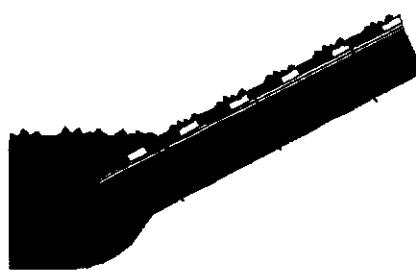


그림 7. 공법 F

적용된 호안공법의 유형은 크게 식물과 사석을 이용한 공법과(공법 A, B, C)식물과 야자 류를 이용한 것으로(공법 D, E) 나눌 수 있으며, 제방의 경우는 구멍 뚫린 잔디 블록과 식물을 이용한 것으로 모든 공법이 식물재료(생명재료)와 토목재료(무생명 재료)를 혼합한 공법들이다. 이 이유는 대상하천의 100년 빈도의 소류력이 108N/m^2 에서 191N/m^2 로 식생만을 이용한 공법으로는 시공 직후 안전할 수 없기 때문이며, 공법의 배치는 Schiechtl(1984, 1997)에 의거하였다. 제방과 고수부지는 각각 일식으로 적용되었다. 여기에 적용된 호안공법은 다음의 그림 2~7.에서와 같다.

공법 A는 타원형 돌망태와 베드나무 생가지를 이용한 공법으로 돌망태 주변에는 잡석 다짐이 되었다. 공법 B는 돌망태의 망태 속에 섬단 및 야자 류를 채운 후 망태 뒤를 잡석으로 채우면서 베드나무 생가지를 삽목한 것이며, 공법 C는 텃파기 후에 정수식물류를 식재하고 저수로의 상단에 베드나무 생가지를 삽목한 공법으로 유속이 약한 구간에 배치되었다. 공법 D는 야자 류 속에 정수식물류를 식재하여 저수로와 하안의 밑바닥에 고정시킨 후 호안부에는 정수식물을 도입한 것이며, 공법 E는 저수로의 바닥에 야자 류를 고정시킨 후 그 윗단에 베드나무생가지로 만든 섬단을 없어 고정시킨 다음 나머지의 하안부에는 정수식물을 도입한 것이다. 고수부지는 야자섬유 망과 초본류를 파종하고, 제방에는 식물생장에 장해를 주는 기존의 블록 대신에 식물 생장이 가능한 잔디 블록을 이용하여 초본류를 파종한 것이다(공법 F). 블록에 고정시키는 판은(그림 7.) 시공상의 이유로 실행되지 못하였고 결국 지난 호우에 유실된 블록이 있었다.

4. 연구방법 및 결과

4.1. 조사 및 분석방법

공법별 식생조사는 6월과 8월 2차례에 걸쳐 Dierschke(1994)에 의거 고도(수위)별 식물상의 변화를 관찰하기에 가장 적합한 Belt-transect식으로 조사하였는데, Belt 한 개의 길이는 저수로부에서 제방의 끝까지로 조사지역에 따라서 약간씩 다르며

Belt 내의 작은 방형구의 크기는 언제나 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 이다. Belt의 설치는 공법마다 가능한 한 빈도가 많아지도록 하였는데, 고수부지와 제방에 적용된 공법이 전 구간에 공통적이었으므로 식생조사에서 공법구간을 따로 나누지 않고 저수로의 각 공법구간에 출현식생으로 포함시켰다 식생의 조사방법은 출현빈도에 의하여 방형구 내에 출현한 모든 종을 기록하였고, 식물군락의 분류는 식물종 조성과 페도의 값을 고려한 식생의 정성적, 정량적인 자료에 의한 유사도 지수를 계산하여 수행하였다. 유사도 지수는 정량적인 자료분석에 적합한 Euclidean distance를 사용하여 비가중 산술평균법 UPGMA(Unweighted Pair Group Mathematical Average)으로 식물군집 분석(Cluster Analysis)을 하였다.

Euclidean distance의 일반화된 공식은 다음과 같다:

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^m (X_{ik} - X_{jk})^2$$

여기서, D_{ij} : 조사구 i와 j 사이의 거리지수

m : 종의 수

X_{ik} : 조사구 i에 포함된 k번째 종의 풍부도(페도)

X_{jk} : 조사구 j에 포함된 k번째 종의 풍부도(페도)

비가중 산술평균법(UPGMA, Unweighted Pair Group Mathematical Average)은 연결그룹 사이의 평균거리를 적용하여 clustering의 균형을 도모하고 연결그룹의 중심점 사이를 계산하는데 있어 가중치를 두지 않는 방법으로 가중치를 두는 방법에 비하여 중심점의 위치가 그룹이 더 많이 모여있는 쪽에 놓이게 된다. 식물군집의 판별은 식물종 조성과 상대 우점도가 유사한 표본 조사구별로 수집된 조사구를 하나의 군락으로 판별하고 상층식생의 우점종과 하층식생의 공통종을 확인하여 군락의 명칭을 정하였다. 아울러 인간의 교란정도를 평가하기 위하여 생활형 및 귀화종의 분포를 비교하였다.

4.2. 공법구간별 출현식물

아래의 표 1.에서 조사구의 1은 저수로 호안, 2번

표 1. 공법 A 구간의 출현식물

	Quadrat Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	생활형	비고
		평균 종 수	4.8	5.2	4.6	7.2	7.4	6.0	5.4	7.8	7.8	9.7	평균 6.6종
키버들	<i>Salix purpurea var. japonica</i>	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P	●
갯버들	<i>Salix gracilistyla</i>	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P	●
개구리자리	<i>Ranunculus sceleratus</i>	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H	△
미국가막살이	<i>Bidens frondosa</i>	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	×
고마리	<i>Persicaria thunbergii</i>	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H	△
이삭사초	<i>Carex dimorpholepis</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	●
큰개여뀌	<i>Persicaria nodosa</i>	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	T	△
개여뀌	<i>Persicaria blumei</i>	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	T	△
속속이풀	<i>Rorippa islandica</i>	1	-	1	-	-	1	-	-	1	1	T	△
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i>	2	2	4	7	8	6	9	9	10	4	T	△
왕포아풀	<i>Poa pratensis</i>	1	7	16	14	8	4	5	1	5	3	H	×
서양톱풀	<i>Achillea millefolium</i>	1	21	33	21	17	9	10	5	7	9	H	×
닭의장풀	<i>Commelinia communis</i>	1	-	-	1	1	2	1	1	-	1	T	△
흰명아주	<i>Chenopodium album</i>	-	3	4	2	1	1	-	2	1	3	T	×
줄명아주	<i>Chenopodium ficifolium</i>	-	3	4	2	1	-	1	1	1	2	T	×
강아지풀	<i>Setaria viridis</i>	-	1	-	6	15	9	6	7	5	5	T	△
바랭이	<i>Digitaria sanguinalis</i>	-	1	-	1	-	1	1	3	2	1	T	△
쑥	<i>Artemisia princeps var. orientalis</i>	-	1	-	1	1	2	-	-	1	1	H	△
봄여뀌	<i>Persicaria vulgaris</i>	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	T	△
벌노랑이	<i>Lotus corniculatus var. japonicus</i>	-	1	-	1	2	-	1	1	1	1	H	●
가는털비름	<i>Amaranthus palutis</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	T	×
마디풀	<i>Polygonum aviculare</i>	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	T	△
끈끈이대나물	<i>Silene armeria</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	T	×
호밀풀	<i>Lolium perenne</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	H	×
능수참새그령	<i>Eragrostis curvula</i>	-	-	-	2	2	2	2	2	2	2	H	×
소리쟁이	<i>Rumex acetosella</i>	-	-	-	1	2	1	-	1	-	-	H	×
애기똥풀	<i>Chelidonium majus var. asiaticum</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	T	△
명아주	<i>Chenopodium album var. centrorubrum</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	T	△
들목새	<i>Vulpia myuros</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	T	×
쇠뜨기	<i>Equisetum arvense</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	H	△
쇠별꽃	<i>Stellaria aquatica</i>	-	-	-	-	1	-	-	2	-	2	T	△
개밀	<i>Agropyron tsukushiense var. transiens</i>	-	-	-	-	1	1	1	2	2	-	T	△
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i>	-	-	-	-	1	-	1	1	1	-	H	●
돌콩	<i>Glycine soja</i>	-	-	-	-	1	-	1	-	-	1	T	△
틸뚝새풀	<i>Alopecurus japonica</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T	×
익모초	<i>Leonurus sibiricus</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T	△
겹달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	T	×
망초	<i>Erigeron canadensis</i>	-	-	-	-	-	1	2	2	2	1	T	×
며느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i>	-	-	-	-	-	1	1	-	2	2	T	△
쥐보리	<i>Lolium multiflorum</i>	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	T	×
벼룩이자리	<i>Arearia serpyllifolia</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	T	△
주름잎	<i>Mazus pumilus</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	T	△
참소리쟁이	<i>Rumex japonicus</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	H	△
가시상치	<i>Lactuca scariola</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	T	×
냉이	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	T	△

* T: 1~2년초(Therophyten), H: 다년초(Hemikrophyten), P: 목본(Phanerophyten)

** ●: 도입종(Introduced Species), △: 이입종(Naturally Introduced Species), ×: 귀화종(Naturalized Species)

총 45종, 도입: 5종, 이입: 40종, 귀화: 16종(36%), 다년생: 14종(31%), 1~2년생: 31종(69%)

■ 특집

자연형 하천에서의 호안재료와 환경변화 - 식물 생태계를 중심으로

표 2. 공법 B 구간의 출현식물

Quadrat Number	평균 종 수	생활형										비고
		1 6.0	2 4.4	3 5.9	4 6.1	5 7.0	6 6.8	7 6.9	8 5.6	9 5.6	10 9.7	
갯벌들	<i>Salix gracilistyla</i>	39	1	-	-	-	-	-	-	-	-	P ●
갈대	<i>Phragmites communis</i>	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H ●
꽃창포	<i>Iris ensata var. spontanea</i>	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H ●
미국가마살이	<i>Bidens frondosa</i>	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T T X
터리풀	<i>Filipendula glaberrima</i>	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H ●
이삭사초	<i>Carex dimorpholepis</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H ●
나도겨풀	<i>Leersia japonica</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H H △
개구리자리	<i>Ranunculus sceleratus</i>	3	-	-	-	1	1	1	-	-	-	T T △
며느리바느질	<i>Persicaria perfoliata</i>	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	T T △
고마리	<i>Persicaria thunbergii</i>	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	T T △
봄여뀌	<i>Persicaria vulgaris</i>	1	1	1	1	1	1	-	-	-	1	T T △
털독새풀	<i>Alopecurus japonica</i>	1	-	1	-	1	4	2	-	-	-	T T X
큰개여뀌	<i>Persicaria nodosa</i>	5	-	2	3	1	-	-	-	-	-	T T △
취명아주	<i>Chenopodium glaucum</i>	2	-	1	-	-	-	3	-	-	-	T T X
서양톱풀	<i>Achillea millefolium</i>	2	12	10	8	9	13	12	5	3	1	H H X
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i>	4	1	3	2	5	10	4	1	1	3	T T △
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i>	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	T T △
흰명아주	<i>Chenopodium album</i>	1	2	2	1	-	2	-	-	-	1	T T X
쇠별꽃	<i>Stellaria aquatica</i>	1	2	1	1	1	1	1	-	1	-	T T △
왕포아풀	<i>Poa pratensis</i>	-	10	23	14	8	4	2	2	-	-	H X
능수찰새그령	<i>Eragrostis curvula</i>	-	2	3	3	4	1	-	1	2	-	H X
냉이	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	-	1	1	-	-	1	1	-	-	-	T T △
강아지풀	<i>Setaria viridis</i>	-	-	1	3	7	10	11	17	22	8	T T △
돌콩	<i>Glycine soja</i>	-	-	1	-	1	-	1	-	-	-	T T △
별노랑이	<i>Lotus corniculatus var. japonicus</i>	-	-	1	1	1	1	1	1	1	-	H ●
토끼풀	<i>Trifolium repens</i>	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	H X
명이주	<i>Chenopodium album var. centrorubrum</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	T △
희여뀌	<i>Persicaria lapathifolia</i>	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	T T △
참새귀리	<i>Bromus japonicus</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	T T △
줌명아주	<i>Chenopodium ficifolium</i>	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-	T T X
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i>	-	-	-	1	1	-	-	3	-	1	H △
돼지풀	<i>Ambrosia artemisiifolia var. elatior</i>	-	-	-	1	-	1	1	3	-	1	T X
호밀풀	<i>Lolium perenne</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	H X
속속이풀	<i>Rorippa islandica</i>	-	-	-	1	-	-	4	3	-	-	T T △
소리쟁이	<i>Rumex acetosella</i>	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	H X
봄맞이	<i>Androsace umbellata</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T T △
개피	<i>Beckmannia syzigachne</i>	-	-	-	-	2	-	-	1	-	-	T T △
바랭이	<i>Digitaria sanguinalis</i>	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	T T △
그령	<i>Eragrostis ferruginea</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T T △
닭의장풀	<i>Commelinia communis</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T T △
벼룩이자리	<i>Arearia serpyllifolia</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T T △
족제비속	<i>Matricaria inodora</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T T X
갈풀	<i>Phalaris arundinacea</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	H △
쑥	<i>Artemisia princeps var. orientali</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	H △
참소리쟁이	<i>Rumex japonicus</i>	-	-	-	-	-	1	1	1	3	-	H △
큰김의털	<i>Festuca arundinacea</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	H X
버드나무	<i>Salix koreensis</i>	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	P △
빙가지풀	<i>Sonchus oleraceus</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	T △
붉은토끼풀	<i>Trifolium pratense</i>	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	H X
붉은서나물	<i>Erechtites hieracifolia</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	T X

* T: 1~2년초(Therophyten), H: 다년초(Hemikrophyten), P: 목본(Phanerophyten)

** ●: 도입종(Introduced Species), △: 이입종(Naturally introduced Species), X: 귀화종(Naturalized Species)

(공법 B. 계속)

	Quadrat Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	생활형	비고
개망초	<i>Erigeron annuus</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	T	X
쇠뜨기	<i>Equisetum arvense</i>	-	-	-	-	-	-	1	4	2	-	H	△
호밀풀	<i>Lolium perenne</i>	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	H	X
들陟새	<i>Vulpia myuros</i>	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	T	X
겁달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	T	X
망초	<i>Erigeron canadensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	T	X
돌피	<i>Echinochloa crus-galli</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	T	△
애기똥풀	<i>Chelidonium majus var. asiaticum</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	T	△
자귀풀	<i>Aeschynomene indica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	T	△
개갓냉이	<i>Rorippa indica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	H	△
매듭풀	<i>Kummerowia striata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	T	△
좀소리쟁이	<i>Rumex japonicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	H	X
서양민들레	<i>Taraxacum officinale</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	H	X
유럽점나도나풀	<i>Cerastium glomeratum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	T	X

* T: 1~2년초(Therophyten), H: 다년초(Hemikrophyten), P: 목본(Phanerophyten)

** ●: 도입종(Introduced Species), △: 이입종(Naturally Introduced Species), X: 귀화종(Naturalized Species)

총 64종, 도입: 6종, 이입: 58종, 귀화: 24종(38%), 다년생: 25종(39%), 1-2년생: 39종(61%)

표 3. 공법 C 구간의 출현식물

	Quadrat Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	생활형	비고
	출현 종 수	14	7	4	6	6	9	9	3	7	평균 7.2종	
터리풀	<i>Filipendula glaberrima</i>	20	-	-	-	-	-	-	-	-	H	●
갈대	<i>Phragmites communis</i>	20	-	-	-	-	-	-	-	-	H	●
미국가막살이	<i>Bidens frondosa</i>	5	-	-	-	-	-	-	-	-	T	X
쑥	<i>Artemisia princeps var. orientali</i>	5	-	-	-	-	2	5	-	-	H	△
틸뚝새풀	<i>Alopecurus japonica</i>	5	-	-	-	-	-	3	-	-	T	X
환명아주	<i>Chenopodium album</i>	5	3	-	5	-	-	1	-	5	T	X
서양톱풀	<i>Achillea millefolium</i>	5	1	20	10	10	20	5	2	5	H	X
개피	<i>Beckmannia syzigachne</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	T	△
이삭사초	<i>Carex dimorpholepis</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	H	●
고마리	<i>Persicaria thunbergii</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	T	△
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	T	△
씀비귀	<i>Ixeris dentata</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	H	△
쇠별꽃	<i>Stellaria aquatica</i>	1	-	-	-	-	10	-	-	-	T	△
겁달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	T	X
왕포아풀	<i>Poa pratensis</i>	-	10	20	30	10	10	5	2	-	H	X
강아지풀	<i>Setaria viridis</i>	-	10	-	5	20	5	5	2	5	T	△
바랭이	<i>Digitaria sanguinalis</i>	-	2	10	5	-	5	2	-	-	T	△
속속이풀	<i>Rorippa islandica</i>	-	2	1	-	-	-	-	-	-	T	△
봄여뀌	<i>Persicaria vulgaris</i>	-	1	-	2	-	3	-	-	3	T	△
큰개여뀌	<i>Persicaria nodosa</i>	-	-	-	-	5	-	-	-	-	T	△
돌콩	<i>Glycine soja</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	T	△
소리쟁이	<i>Rumex acetosella</i>	-	-	-	-	1	1	-	-	-	H	X
벌노랑이	<i>Lotus corniculatus var. japonicus</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	1	H	●
그령	<i>Eragrostis ferruginea</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	T	△
새풀	<i>Phaseolus nippensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	-	T	△
닭의덩굴	<i>Polygonum dumetorum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	5	T	X
좀명아주	<i>Chenopodium ficifolium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	5	T	X

* T: 1~2년초(Therophyten), H: 다년초(Hemikrophyten), P: 목본(Phanerophyten)

** ●: 도입종(Introduced Species), △: 이입종(Naturally Introduced Species), X: 귀화종(Naturalized Species)

총 27종, 도입: 4종, 이입: 23종, 귀화: 9종(33%), 다년생: 9종(33%), 1-2년생: 18종(67%)

■ 특집

자연형 하천에서의 호안재료와 환경변화 - 식물 생태계를 중심으로

표 4. 공법 D 구간의 출현식물

Quadrat Number	출현 종 수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	생활형	비고
		6	6	5	7	7	9	7	7	5	4	평균 6.3종	
길대	<i>Phragmites communis</i>	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H	●
꽃창포	<i>Iris ensata var. spontanea</i>	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H	●
이삭사초	<i>Carex dimorphaeptis</i>	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H	●
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i>	10	-	30	10	-	-	5	10	-	-	T	△
돌콩	<i>Glycine soja</i>	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	△
털부처꽃	<i>Lythrum salicaria</i>	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	H	●
서양톱풀	<i>Achillea millefolium</i>	-	30	30	20	10	10	10	-	5	10	H	×
좀명아주	<i>Chenopodium ficifolium</i>	-	10	-	-	-	-	-	-	-	5	T	×
털똑새풀	<i>Alopecurus japonica</i>	-	10	-	-	-	5	-	10	-	-	T	×
등수참새그령	<i>Eragrostis curvula</i>	-	10	-	-	5	-	-	5	5	-	H	×
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i>	-	5	-	3	-	-	-	-	-	-	T	△
흰명아주	<i>Chenopodium album</i>	-	5	-	3	5	5	5	-	-	50	T	×
며느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i>	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	T	△
왕포아풀	<i>Poa pratensis</i>	-	-	10	15	8	-	-	3	-	-	H	×
쇠별꽃	<i>Stellaria aquatica</i>	-	-	5	-	5	3	2	5	-	-	T	△
강아지풀	<i>Setaria viridis</i>	-	-	-	10	20	40	30	35	20	30	T	△
쑥	<i>Artemisia princeps var. orientalis</i>	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	H	△
개피	<i>Beckmannia syzigachne</i>	-	-	-	-	5	2	-	-	-	-	T	△
속속이풀	<i>Rorippa islandica</i>	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	T	△
봄여뀌	<i>Persicaria vulgaris</i>	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-	T	△
미국가막살이	<i>Bidens frondosa</i>	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	T	×
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	H	●
명아주	<i>Chenopodium album var. centrorubrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	T	△
망초	<i>Erigeron canadensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	T	×
벼룩이자리	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	T	△

* T: 1~2년초(Therophyten), H: 다년초(Hemikrophyten), P: 목본(Phanerophyten)

** ●: 도입종(Introduced Species), △: 이입종(Naturally Introduced Species), ×: 귀화종(Naturalized Species)

총 25종, 도입: 5종, 이입: 20종, 귀화: 8종(32%), 다년생: 9종(36%), 1~2년생: 16종(64%)

표 5. 공법 E 구간의 출현식물

Quadrat Number	출현 종 수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	생활형	비고
		2.7	4.3	6.7	7.3	7.7	5.3	5.3	5.7	6.0	6.0	평균 5.7종	
미국가막살이	<i>Bidens frondosa</i>	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	×
갯버들	<i>Salix gracilistyla</i>	13	2	-	-	-	-	-	-	-	-	P	●
고마리	<i>Persicaria thunbergii</i>	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T	△
개구리자리	<i>Ranunculus sceleratus</i>	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	T	△
담의장풀	<i>Commelinia communis</i>	1	-	-	1	-	-	2	1	-	1	T	△
서양톱풀	<i>Achillea millefolium</i>	-	13	27	23	27	14	15	12	23	20	H	×
환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i>	-	12	7	11	17	23	18	18	3	10	T	△
좀명아주	<i>Chenopodium ficifolium</i>	-	8	1	3	3	2	2	1	3	-	T	×
왕포아풀	<i>Poa pratensis</i>	-	5	3	5	8	3	7	7	5	7	H	×
속속이풀	<i>Rorippa islandica</i>	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	T	△
개피	<i>Beckmannia syzigachne</i>	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	T	△
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i>	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	T	△
비수리	<i>Lespedeza cuneata</i>	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	H	●
흰명아주	<i>Chenopodium album</i>	-	-	5	4	1	1	-	3	3	15	T	×
큰개여뀌	<i>Persicaria nodosa</i>	-	-	3	-	-	2	-	-	2	2	T	△
털똑새풀	<i>Alopecurus japonica</i>	-	-	3	-	3	-	-	-	-	1	T	×

* T: 1~2년초(Therophyten), H: 다년초(Hemikrophyten), P: 목본(Phanerophyten)

** ●: 도입종(Introduced Species), △: 이입종(Naturally Introduced Species), ×: 귀화종(Naturalized Species)

(공법 E. 계속)

Quadrat Number		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	생활형	비고
소리쟁이	<i>Rumex acetosella</i>	-	-	3	-	1	-	-	-	-	-	H	X
쇠별꽃	<i>Stellaria aquatica</i>	-	-	2	-	2	-	-	2	-	-	T	△
주보리	<i>Lolium multiflorum</i>	-	-	2	-	3	-	-	-	-	-	T	X
봄여뀌	<i>Persicaria vulgaris</i>	-	-	1	3	1	-	-	-	-	1	T	△
돼지풀	<i>Ambrosia artemisiifolia var. elatior</i>	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	T	X
별노랑이	<i>Lotus corniculatus var. japonicus</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	H	●
냉이	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	T	△
망초	<i>Erigeron canadensis</i>	-	-	-	1	-	1	1	-	-	2	TT	X
강아지풀	<i>Setaria viridis</i>	-	-	-	5	8	12	5	5	-	-	T	△
쑥	<i>Artemisia princeps var. orientalis</i>	-	-	-	-	1	2	-	-	-	2	H	△
갈풀	<i>Phalaris arundinacea</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	H	△
개망초	<i>Erigeron annuus</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T	X
능수침새그령	<i>Eragrostis curvula</i>	-	-	-	-	2	2	2	2	2	2	H	X
벼룩이자리	<i>Arearia serpyllifolia</i>	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	T	△
쇠뜨기	<i>Equisetum arvense</i>	-	-	-	-	-	-	5	2	2	-	H	△
애기똥풀	<i>Chelidonium majus var. asiaticum</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	T	△
돌콩	<i>Glycine soja</i>	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	H	△
매듭풀	<i>Kummerowia striata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	T	△

* T: 1~2년초(Therophyten), H: 다년초(Hemikrophyten), P: 목본(Phanerophyten)

** ●: 도입종(Introduced Species), △: 이입종(Naturally Introduced Species), X: 귀화종(Naturalized Species)

총 34종, 도입: 3종, 이입: 31종, 귀화: 12종(35%), 다년생: 11종(32%), 1-2년생: 23종(68%)

에서 4, 5에 이르는 구간은 고수부지이며, 6 이상은 제방에 해당된다. 여기서 도입종은 공법 적용 시에 식재 또는 파종된 식물을 가리키며, 이입종은 저절로 조사구간에 들어온 종을 의미한다. 이입식물군집이 가지는 중요성은 이미 Ellenberg(1956)가 지적하였듯이 어떤 곳의 환경성을 측정할 수 있는 수단이 된다. 이러한 이입종 중에서 귀화종이란 우리나라 자생종이 아닌 외래종으로 우리나라에 정착하여 사는 종으로 대개가 환경 적응력이 높아서 자생종의 생장 및 번식을 억제하므로 생태적 안정을 위하여 이롭지 못하다고 볼 수 있다.

위의 출현종을 공법별로 분석하면 특이한 것을 알 수 있는데, 즉 사석의 무생명 재료를 이용한(공법 A, B, C) 경우가 평균 6.4~7.2종/1m²로 야자 류를 무생명 재료로 이용한(공법 D, E) 경우의 5.7~6.3종/1m²보다 식물종이 더 많이 출현하였다. 공법 A, B, C 중에서는 돌망태가 아닌 사석 봇기를 이용 정수식물을 식재한 공법 C 구간에서 1m²당 7.2종으로 그中最 많은 종이 출현하였다. 반면에 야자 류를 이용한 공법 E는 1m²당 5.7종이 출현하여 가장 적은 출현빈

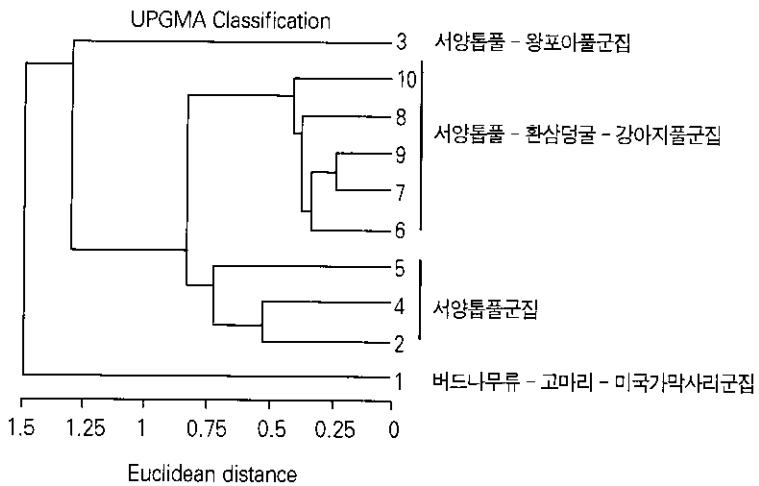
도를 보였다. 종 다양성에 대하여 Haeupler(1982)는 일찍이 여러 가지 식물생태계의 예를 들어 생태적인 안정성이 종 다양성과는 상관성이 없다고 증명하였다. 따라서 위의 경우처럼 사석을 이용한 공법에서 많은 종이 출현하였다는 것이 생태적으로 반드시 유리하다고 할 수는 없다. 더욱이 생태적 교란정도를 평가할 수 있는 귀화종의 비율도 평균적으로 사석을 이용한 공법에서 야자 류를 이용한 경우 보다 높게 나타났다. 또한 생태적 안정성과 깊은 관계가 있는 생활형의 비교에서는 공법별 차별화를 찾아 볼 수 없었다. 이것은 시공으로 인한 환경교란으로 공사직 후 1-2년생의 초본류가 많은 출현빈도를 보이지만 시간이 지나면서, 즉 교란이 적어질수록 그 수가 줄고, 다년생의 초본류 또는 목본이 우세할 것으로 예상되며, 공법별로 차별성도 나타날 것으로 짐작된다.

4.3 식물군집의 분류

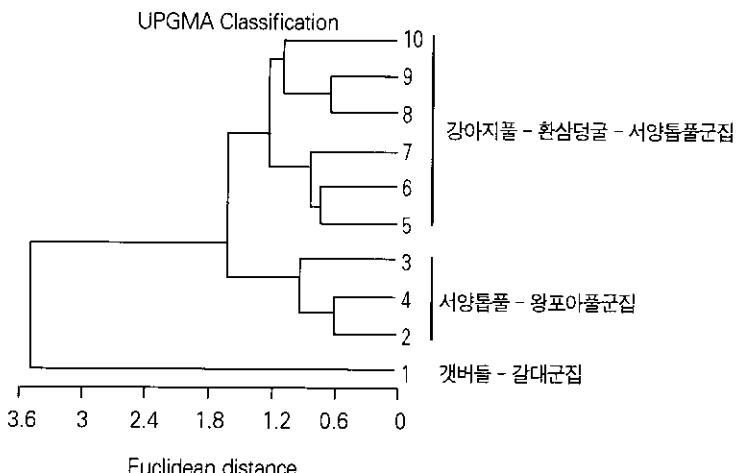
호안공법 A를 적용한 지역의 식물군집분석 결과 저수호안은 도입한 갯버들, 키버들, 버드나무와 고마리, 미국가막사리가 주로 출현하여 버드나무류 - 고마

특집

자연형 하천에서의 호안재료와 환경변화 - 식물 생태계를 중심으로



공법 A 적용구간 식생군집 분리



공법 B 적용구간 식생군집 분리

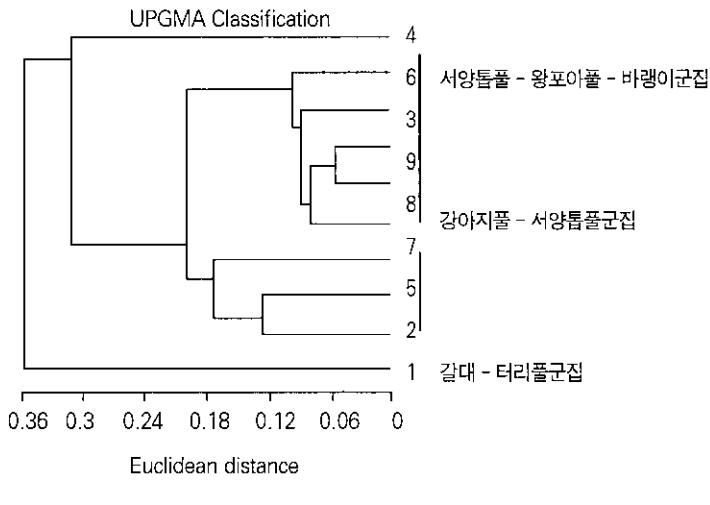
리 - 미국가막사리군집으로 분리되었으며, 고수부지 구간에서는 서양톱풀 - 왕포아풀군집, 제방에는 서양톱풀 - 환삼덩굴 - 강아지풀군집이 출현하였다.

호안공법 B를 적용한 지역은 총 3개 유형의 식물군집으로 분리되었는데 저수호안에는 도입한 갯버들 - 갈대군집, 고수부지는 서양톱풀 - 왕포아풀군집, 제방은 강아지풀 - 환삼덩굴 - 서양톱풀군집으로 분리되었다.

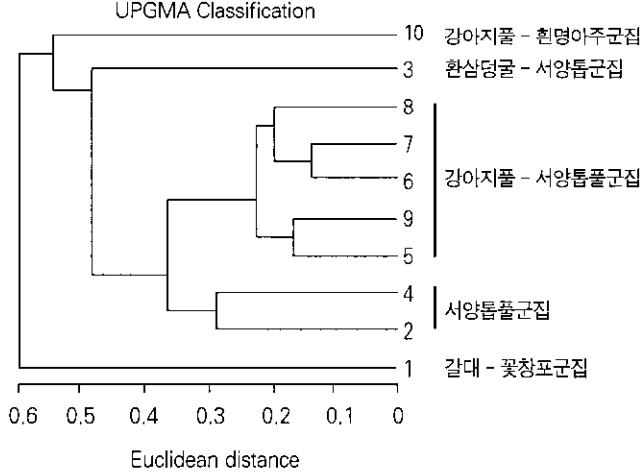
호안공법 C를 적용한 지역의 식물군집분석 결과

갈대 - 터리풀군집, 강아지풀 - 서양톱풀군집, 서양톱풀 - 왕포아풀 - 바랭이군집 등 3개 유형의 식물군집으로 분리되었다. 호안공법 D를 적용한 지역은 갈대 - 꽃창포군집, 서양톱풀군집, 강아지풀 - 서양톱풀군집, 환삼덩굴 - 서양톱풀군집, 강아지풀 - 환명아주군집으로 분리되었다.

호안공법 E를 적용한 구간의 식물군집은 저수호안에는 미국가막사리 - 고마리 - 갯버들군집이 출현하였고, 고수부지와 제방에는 환삼덩굴 - 서양톱풀군집,



공법 C 적용구간 식생군집 분리



공법 D 적용구간 식생군집 분리

서양톱풀 - 왕포아풀-환삼덩굴군집 등이 출현하여 3개 식물군집으로 분리되었다.

공법별 식물군집 분석 결과 쇄석을 이용한 저수호안 공법 A구간에는 버드나무 - 고마리군집, 공법 B의 갯벌들 - 갈대군집, 공법 C의 갈대 - 터리풀 군집으로 대개는 도입식생이 우세하게 영역을 확보하였고, 코이풀을 이용한 공법 D구간도 갈대 - 꽃창포군집이 자리를 잡았다. 그러나 공법 E 구간의 경우 고마리 - 미국가막살이 군집이 도입식생인 갯벌들 군집보다 우세

한 것으로 나타났다. 이것은 공법 E의 적용구간이 하천의 최 하류 구역에 위치하면서 인위적 교란성 보다는 오히려 하천에서의 침식 및 퇴적 같은(횡단측량 결과를 참조하면) 자연적 교란이 크게 작용한 것으로 추측된다. 반면에 고수부지와 제방에는 전 구간에 각각 동일하게 적용된 파종법으로 구간별로 차별화된 식물군집을 관찰할 수 없었고, 수위의 차에 따라 제방 쪽으로 가면서 건조에 강한 이입종이 군집을 이루었다, 즉 강아지풀, 환삼덩굴, 바랭이 등은 고수부지 쪽보다

■ 특집

자연형 하천에서의 호안재료와 환경변화 - 식물 생태계를 중심으로

건조한 제방 쪽에서 우세하였다. 한편 고수부지와 제방 쪽 모두 출현한 서양톱풀과 왕포아풀은 귀화종으로 짐작컨대 종자 파종 시 몰래 섞어 들어와 성장 속도가 느린 자생종을 누르고 그들의 생활영역을 확대한 것으로 추측된다.

4.4. 기타 생물상

기타 생물상에 대한 조사는 공법구간을 차별화하지 않고 전 대상구간에서 야생조류, 수서곤충 및 양서파충류와 어류를 조사하였다. 우선 조류의 경우 대상구간에서 총 3종 20개체, 수서곤충류는 3문 5강 10목 19종 169개체, 어류는 총 2과 3종 238개체, 양서파충류는 2과 2종으로 관찰되었다. 식생을 포함한 모든 조사는 시공 후 여려 해에 걸쳐 계속되어야만 각 공법별 변화를 더 정확하게 추적할 수 있는데 유감스럽게도 본 조사구간이 올 7월 22일 용인지역에 내린 호우와 상류지역의 난개발 및 도로유실 등으로 대상구간의 상류 및 중류구간의 저수로에 최고 1.5m에서 1m, 고수부지에는 0.5m 가량의 토사가 쌓이는 피해가 발생되었다. 이 때문인지 일반적으로 다른 하천에서 흔히 발생되는 침식으로 인한 저수로 호안공법유실은 없었지만 인접한 고층아파트단지로부터 흘러드는 우배수로와 그 주변에 극심했던 봄가뭄으로 활착이 불량했던 제방잔디 블록은 많은 유실이 있었다. 또한 시공기술의 미약으로 시설물의 파괴도 발생되었다. 이와 같은 이유로 하류의 400m구간을 제외한 전 저수로의 하상과 고수부지에서 흙을 퍼내는 작업 등이 진행되어 새로이 많은 환경변화가 초래될 것이다.

5. 결론 및 제언

위에서 언급하였듯이 시공 당시를 중심으로 한 조사를 계속하기에 무리가 있다고 생각한다. 따라서 원래 계획한 조사기간을 단축하여 공법별로 식물생태계만을 중심으로 지금까지의 조사결과를 유사한 연구결과와 비교해 보았다.

자연형 하천공법의 효과성에 대한 전체적인 평가는 국내의 경우 환경부 G-7과제를 통하여 진행되는 것

으로 알고 있으나 호안공법별로 생태적인 측면을 평가 척도로 한 사례나 연구는 없는 듯 하다. 외국의 경우 이 부분은 자연형 하천조성의 효과성 검증에 대한 연구 보다 그 수가 훨씬 적지만, 오래 전부터 많은 학자들의 관심사항이 되어왔다. 식물재료만을 이용한 호안 보호에 관한 연구는 Lohmeyer & Krause (1975)에 의하면 Muensterland에 저수로 하안을 조사하였는데, 오리나무를 줄지어 식재한 하천의 하안에는 하안 침식이 없었을 뿐 아니라 나무의 그늘로 인하여 호질소성 다년생 초본류와 유속을 빙해하는 수생식물의 수가 대폭 줄어들었고 또한 이로 인하여 관리비의 절감을 가져왔다고 한다. 이와 유사한 연구로 Bobrowski & Boettger(1983)의 평탄지 하천의 하안 보호를 위하여 오리나무를 식재한 하안생태계 조사에서 이들은 오리나무의 식재로 수생식물들이 크게 감소되었다고 보고하고 있다. 아울러 Niehoff et al.(1991)은 오리나무는 아니지만 수목류를 오카강(Oker)의 중류지역에 실험적으로 식재한 후 조사한 결과 호질소성 다년생 초본류가 급격히 줄어들면서 전반적으로 생태적으로 양호한 하천환경이 이루어졌다고 한다. 위의 연구들은 하천변 수목식재에 따른 생태적 변화 및 호안의 침식안전성을 증명하는 중요한 연구들이며 특히 국내에 하천변 수목 식재는 허가되었지만 이를 기피하는 실무자들에게 용기를 주었으면 한다.

돌망태 또는 돌 븗기를 이용한 호안공법 적용결과에 대하여 Meisel(1979)은 돌망태만으로 시공된 Mosel강 조사에서 원래의 하천식생은 시공 후 일부 출현하기는 하였지만 전형적인 하천의 식물사회는 이루어지지 못하였다고 보고하고 있으며, Oertling (1992)은 돌붓기를 한 하류의 Elbe강의 하안을 조사하였는데 많은 종의 식물은 출현하였지만 하천특유의 습지지표종이나 갈대류가 아주 적게 출현하였거나 또는 없었다고 한다. 이와 유사한 연구결과는 Kim (1996)에도 찾을 수 있는데 Nieplitz강의 경우 돌붓기로 시공된 하안에는 시공 후 다른 공법(버드나무섬단, 나무 말뚝)에 비하여 가장 많은 식물종이 출현하였지만 인간의 영향력을 강하게 상징하는 호질소성

초본류의 출현빈도가 매우 높았다. 이와 비슷한 결과는 또한 Seelig(1992)의 하류의 Elbe강의 식생조사에도 나타났는데, 즉 돌 붓기 또는 기계 블록을 이용한 호안 공법 적용구간의 경우 하천특유의 습지지표 종 보다는 하천에 적절한지 못한 답암에 강한 초본류의 출현이 많다고 한다. 위의 연구결과는 본 조사구의 사석을 이용한 공법 A, B, C, 그 중에서도 사석 붓기를 한 공법 C에서 가장 많은 식물종이 출현한 것과 일치하고, 귀화종의 평균비율도 야자 류를 무생명 재료로 이용한 공법 D, E보다 사석을 이용한 공법에 많았다. 즉 돌이라는 무생명 재료가 그 지방의 것이라 할지라도 귀화종에 유리한 환경을 제공하여 결국은 하

천특유의 식물사회를 이루기 어려울 것으로 보인다. 그러나 국내의 많은 산지형 소하천의 경우 부득이 소류력이 강한 재료를 선택하려면 선택의 여지가 없을 것이다. 평탄지의 중소하천의 중·하류부에는 소류력이 허용하는 범위 내에서 Hohmann & Konold (1992)가 '지역적인 재료와 분해가 가능한 재료'의 도입을 제의한 것처럼 썩어서 없어질 수 있는 무생명 재료와 식물재료를 혼합한 공법을 적용하는 것이 귀화종 및 호질소성 초본류의 출현빈도를 억제하여 하천특유의 식물사회 조성에 도움이 될 것으로 판단된다. ☺

〈참 고 문 헌〉

- 김혜주(1997). "자연형 호안공법의 원리와 적용상의 문제 - 양재천 학여울 구간을 예를 들어", 한국수자원학회지, Vol. 30 No. 4, pp. 56-67.
- 한국토지공사(1998). 용인수지2지구 정평천 자연형 하천조성-기본 및 실시설계 보고서.
- 환경부/전기연(1999). 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발(2권). Vol. II.
- Bobrowski, U., Boettger, K.,(1983). Floristische Veraenderungen am Schierenseebach Landschaft + Stadt 15 (2), pp. 60-71.
- Dierschke, H.,(1994). Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. Stuttgart.
- Ellenberg, H. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. In: Walter, H. (Hrsg.): Einfuehrung in die Phytologie. Bd. IV, Teil 1. Stuttgart, 1956
- Haeupler, H., Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation. Diss. Bot. 65, 1982, pp. 1-268.
- Hohmann, J. & Konold, W.,(1992). Flussbaumassnahmen an der Wutach und ihre Bewertung aus oekologischer Sicht. Wasserwirtschaft 82 (9), pp. 434-440.
- Kim, H-J., Die Ufervegetation eines Fließgewässers in Abhängigkeit vom Ausbau mit unterschiedlichen Materialien- Ein Beitrag zum Renaturierungsproblem. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung.
- Schr. im Fachbereich Umwelt und Gesellschaft Nr. 103. Berlin, 1996.
- Lohmeyer, W. & Krause, A.,(1975). Ueber die Auswirkungen d. Gehoelzbewuchses an kleinen Wasserlaeufen d. Muensterlandes auf die Vegetation im Wasser u. an den Boeschungen im Hinblick auf die Unterhaltung der Gewaesser. Schr. Reihe Vegetationskde. 9. Bonn-Bad Godesberg.
- Meisel, K.,(1979). Auswirkungen von Ausbaumassnahmen auf die Vegetation der Talauen. Schiftensr. d. Dts. Rates f. Landespfllege 33, pp. 241-246.
- Niehoff, N., Poertge, K-H. & Lambertz, B.,(1991). Beispiele zur oekologisch orientierten Ufergestaltung an Versuchsstrecken der Mittleren Oker. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 33, pp. 1-13.
- Oertling, W.,(1992). Profil-Typen der Ufervegetation der Unterelbe im Bereich und unterhalb der Mitteltidehochwasser-Linie. Ang. Bot. Beih. 3, pp. 37-74.
- Seelig, A.,(1992). Profil-Typen und Standorte der Elbufer-Vegetation zwischen Staustufe Geesthacht und Bunthaeuser Spitz im Bereich der Mitteltidhochwasserlinie. Ang. Bot. Beih. 3, pp. 5-36.