

도시하천에서 자연형 저수로 호안공법의 적용과 식생복원 모니터링^{1*}

- 서울시 양재천의 학여울 구간을 사례지역으로 -

최정권²

Application of Close-to Nature Revetment Techniques Adapted to Low Flow Channel & Monitoring of Vegetation Restoration^{1*}

- Case Study for Hakyöul in the Yangjaech'ön -

Jung-Kwon Choi²

요 약

본 연구는 하천환경의 생태적 재생을 목적으로 자연형 저수로 호안공법을 개발하기 위해 수행되었다. 이를 위해 실험하천으로 선정된 양재천 학여울 구간에 사주부, 수총부, 얕은 만 3가지 유형의 하안경관 특성에 따라 총 10 가지 공법을 개발, 시험 적용하였다. 각 호안공법의 설계에서는 정수식물의 식재에 중점을 두었으며 설계된 공법들은 현장 적용되었고, 적용후 1년간의 경관 형성과정과 식생복원 모니터링을 실시하였다. 이를 통해 자연형 저수로 호안공법의 기술적 실행 가능성을 높여, 관행적으로 행해지고 있는 하천공법을 대체할 수 있는 생태적 대안을 제시하였다.

주요어 : 생태적 재생, 지형형성과정, 기술적 실행 가능성

ABSTRACT

This study for development of close-to nature revetment techniques is conducted to rehabilitate disturbed stream ecosystem. For this objective, the experimental reach as on-site demonstrated research was set up in Hakyöul, the Yangjaech'ön from Oct. 1995 to Nov. 1996. Special emphasis on the developing process of the design of revetments was given to geomorphic character of 3 types of low flow channel bank: point bar, attack point and shallow bay. Each revetment was developed with the consideration on revegetation of emergent plants. And

* 본 연구는 '95년 한국건설기술연구원의 연구의뢰로 경원대 환경계획연구소에 의해 수행되었으며, '95년말 환경부의 G-7 선도기술개발과제 중 생태복원기술 자연형 하천공법개발 과제의 실험지로 선정되어 향후 5년간 모니터링이 진행될 예정이다

1 접수 6월 30일 Received on June 30, 1997

2 경원대학교 공과대학 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, College of Engineering, Kyungwon Univ., Kyunggi, 461-701, Korea

designed techniques were applied to the experimental reach, and were evaluated with monitoring for 1 year. As a result of the process, the experiment suggested ecological alternatives to enhance technical feasibility and to replace the conventional river-work.

KEY WORDS: ECOLOGICAL REHABILITATION, GEOMORPHIC PROCESS, TECHNICAL FEASIBILITY

서 론

자연하천은 유수체계(fluvial system)가 반영되어 생물종 다양성과 역동성이 큰 생태계(lotic ecosystem)이다. 반면에 치수목적으로 관행적으로 정비되어 온 도시하천은 자연하천에 비해 생물종 다양성과 역동성이 낮다. 특히 도시하천의 저수로 하안부에 적용되어 온 콘크리트 공법은 홍수 배수를 목적으로 하여 치수기능은 양호하나, 하천에 서식하는 생물종의 부양기능이 저조하므로 환경적으로 건전하지 못한 공법으로 평가되고 있다.

하천의 생태적 재생은 이수, 치수 기능을 저해하지 않는 범위 내에서 하천환경을 자연에 가깝게 재생하여 생태계의 다양성을 높이도록 정비하는 것을 말한다. 즉 하천이 지닌 환경기능 중에서 특히 하천 동식물의 서식처 기능을 재생시키는 데 중점을 둔 것이다. 하천 생태계를 재생시키려면 하천지형 형성 과정의 이해를 통한 교란된 지형기반의 복구가 선행되어야 한다(Kondolf, 1997). 자연하천에 가까운 하천지형의 복구가 이루어지면 후속적으로 자기치유적 생태적 현상이 발생하게 되어 하천생태계가 재생되는 것이다.

하천의 생태적 재생을 위한 방법은 한국에 앞서 스위스, 독일, 일본 등에서 연구개발되어 적용되었다. 스위스에서는 과거부터 '생물공학적 방법(Ingenieurbiologische Bauweisen)'으로 규모는 작으나 하상경사가 급하고 산지계류형에 가까운 하천으로 복원하는 하천 '재생(Wiederbelebung)' 사업을 지속적으로 시행해 오고 있다(Zeh, 1993). 독일에서는 하천의 하천재생을 위한 구체적인 공법으로서 '근자연하천공법(Naturnaher Wasserbau)'을 개발하여 모든 하천공사에 활용하고 있는데, 이는 원생자연에 가까운 완전한 자연으로의 재생 또는 복원이 불가능하므로, 가능한 한 자연의 형성과정에 가깝게 재생 또는 복원하려는 의도에서 붙여진 용어이다(조용현, 1997). 일본은 스위스와 독일의 선행 연구를 받아들이면서 자국의 여건에 맞게 수정 보완한 '다자연하천공법(多自然河川工法)'을 하천재생 사업에 다양하게 적용시키고 있다. 다자연하천공법

이란 자연하천이 지닌 다양한 환경요소와 자연소재를 하천공간에 도입하고 친수공간을 창출하기 위한 하천공법이다(이삼희, 1995).

한편 한국에서는 1990년대 초부터 한국건설기술연구원 수자원실을 중심으로 하천재생과 관련된 기초연구(건설부, 1994; 건설교통부 1995; 환경부, 1996)를 수행해 왔다. 이를 기초로 양재천 학여울 구간을 실험하천구간으로 하는 자연형 저수로 호안 공법 연구를 수행하고 있다.

저수로 호안공법은 고수부지의 세굴을 방지하기 위해 저수로의 하안에 설치하여 수로를 유지하는 것이다. 저수로 호안 중에서 자연형 호안의 경우, 자연에 가까운 구조와 기능을 되살리기 위해 사행하도를 확보하여 여울과 웅덩이로 이루어진 미지형이 형성되게 하고(Hough and Choi, 1991). 하폭이 넓은 부위에 얇은 만을 조성하고, 단면이 홍수를 소통하기에 여유가 있을 경우 호안의 경사를 완화시키기도 한다. 또한 호안 재료는 자연재료를 사용하며 버드나무나 갈대 같은 자연하천의 수로변에 자생하는 식물종을 식재한다(한국건설기술연구원, 1994). 이와 같은 자연형 저수로 호안공법은 관행적 공법을 보완하면서 생태적으로 교란된 도시하천의 생태적 재생을 촉진시키기 위한 친환경적 생태공법(ecotechnology)의 하나이다.

본 연구에서는 하천생태계의 재생을 위해 인위적 교란의 정도가 심한 콘크리트 호안을 제거하고, 다공질 자연재료를 도입하여 생물서식을 촉진시킬 수 있는 자연형 저수로 호안공법을 개발, 적용, 모니터링, 평가하는 과정을 거쳤다.

재료 및 방법

1. 실험하천 구간의 선정

실험하천 구간은 자연형 하천공법의 적용으로 생태적 재생효과를 기대할 수 있어야 하므로 도시화과정에서 생태계의 교란이 다양하게 이루어진 곳을 선정하는 것이 좋다.

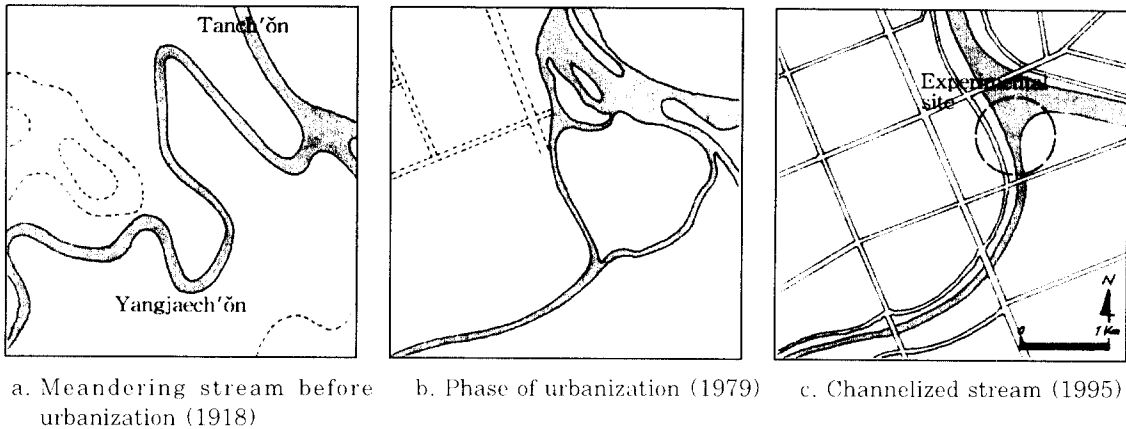


Figure 1. Geomorphic process in the Yangjaech'ön(1918~1995)

하천생태계에 대한 교란은 하도조작(channel manipulation), 유역분지 특성의 변형, 도시화, 오염 등 여러 가지를 들 수 있으나 그중 첫번째 요인이 특히 중요하다(Goudie, 1982). 하도조작은 직강화(channelization), 하상준설(dredging) 등의 형태로 나타나며, 그 결과 하천단면은 자연하천의 비대

칭 단면에서 대칭 단면으로 바뀐다(Gardiner, 1991). 또 자연하천에서 볼 수 있는 사행하도와 여울과 소 등으로 이루어진 미지형은 심하게 교란되어 지형경관은 단순화된다. 하상재료의 분급상태(sorting) 역시 교란되어 전반적인 여울(mostly riffle)이 되며 저수로변의 식생이 훼손되면서 어류 서식처로서의 기능이 감소된다(Keller, 1976).

따라서 실험하천 구간은 도시화 과정에서 사행하도(meandering channel)가 직강화된 구간이 적절할 것으로 판단되었다. 이를 위하여 1918년도에 간행된 1/50,000 지형도와 1990년대에 간행된 지형도상에 나타나는 하도를 비교하여 그 변형정도가 두드러진 양재천 학여울 구간을 선정하였다. 하천생태계가 하천의 변천사와 형성과정을 이해하지 않은 채, 단지 하천의 현재 조건만을 기초로 진행된다면 이는 성공하기 어렵다. 한정된 기간의 연구는 하천변과 수생태계에 대해 잠재적으로 중요한 영향들을 포함한 장기간에 걸친 하천 변화를 포착하기 어렵기 때문이다. 따라서 과거의 하천 조건과 그것들에 영향을 미치는 인자들을 설명하기 위하여 변천사적 형성과정을 살펴봄으로써 한정된 연구기간을 과거로 확장할 수 있다(Kondolf, 1997).

양재천 학여울 구간은 Figure 1에서 볼 수 있듯이 양재천과 탄천의 합류지점에 인접한 구간으로 개포지구 토지구획사업으로 주변지역이 시가화되기 이전에는 사행하도를 이루었으나(Figure 1의 a 참조), 시가화 이후 직강화되었다(Figure 1의 b, c 참조).

양재천 유역분지는 청계산의 북서사면과 관악산의 동사면을 끼고 형성되어 있으며 그 면적은 56.8km²이다. 서북쪽으로는 안양천 유역, 동북쪽으

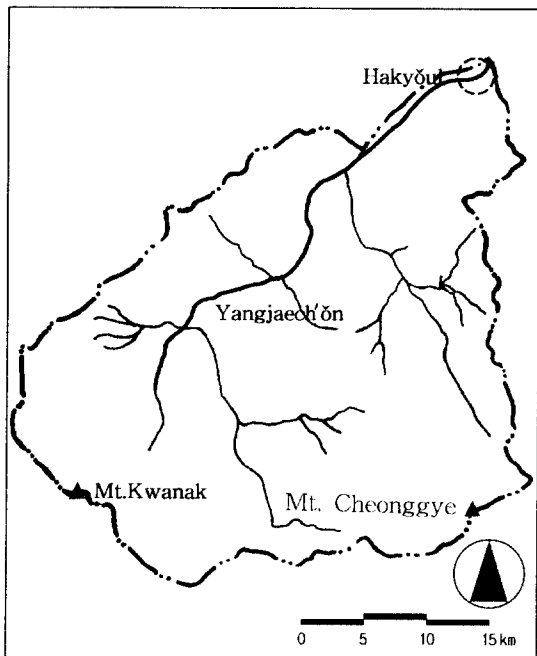


Figure 2. Site map of the Yangjaech'ön watershed

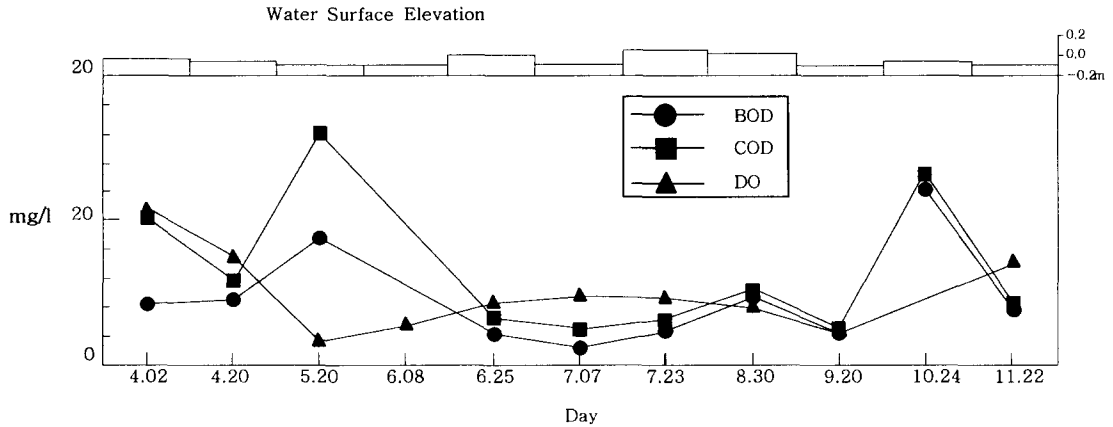


Figure 3. BOD, COD and DO variations at experimental site in 1996 (Source: KICT, 1997, 348pp.)

로는 탄천유역과 접해 있으며, 강남구 대치동에서 탄천으로 유입되는 하천이다. 하천의 종단적 특성으로는 하천연장이 15.6km이며 실험하천구간이 포함된 유역출구에서 여의천 합류점까지의 평균 하상경사는 0.0014이다.

Figure 3에서 보듯이 실험하천구간의 수질은 BOD 3~16mg/l, COD는 값의 변화 폭이 넓어서 2~9mg/l 사이에 분포하고 있다. 시기별로 BOD와 COD의 변화양상은 일정한 경향성을 보이지 않는다. 수질등급으로는 BOD 만을 고려할 때 3등급에서 등급 외의 범위에 걸쳐 조사시기별로 달리 나타났다. 갈수기인 봄철에 물의 오염정도가 심하여 하상은 오히려 검은 색을 나타내며, 강우량이 많은 6, 7월에는 오염정도가 개선되며 하상의 오히려 부분적으로 씻겨 내려가거나 상류로부터의 유사로 얇게 덮여 신선한 모래하상으로 바뀐다(한국건설기술연구원, 1996).

실험하천 구간에 인접한 부분의 등고선도(contour map)와 기복도(relief map)상에는 뚜렷한 여울과 소의 구조는 나타나지 않았다. 하상재료는 상류 쪽에는 자갈과 굵은 모래로, 하류 쪽에는 대부분 가는 모래와 실트로 이루어져 있다.

2. 공법의 실험적 적용

공법적용 구간은 서울시 강남구 양재천 학여울 구간으로, 연장(Figure 4의 A, B, C 구간 길이의 누계) 150m, 총 면적 550m²의 규모로 각 미지형 단위의 특성에 부합되는 4구간을 선정하여 1994년

12월, 현황 조사를 시작으로 1995년 10월에 시공되었다.

현황 조사는 수총부, 사주부, 얕은 만, 하중도 등 저수로 하안부의 미지형 특성을 대표할 수 있는 3지점에 belt transect를 설치하여 식생구조 조사를 실시하였고, 식생 조사 결과는 고수부지와 제방 사면

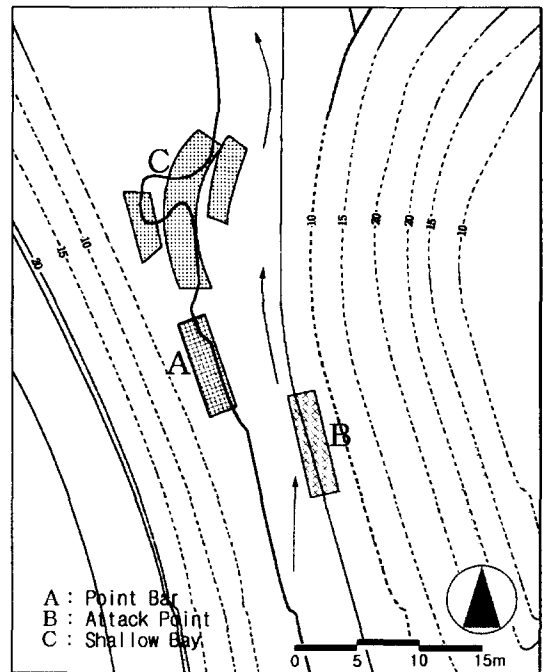


Figure 4. The map of the experimental site

Table 1. Types of vegetation revetement constructed at the experimental site(July 1995 ~ Oct. 1995)

Types	Site condition		Treatment		
			Slope Toe	Slope face	Vegetation cover
A-I	Geomorphic cond.	point bar	stake + salix net	wattling	Shoulder : Ms planting Lower parts : reed sodding Toe : reed sodding
	Vegetation	coverage: 100%			
	Materials	concrete brick			
	Revetment height	90cm			
	Mean water depth	10cm			
A-II	Geomorphic cond.	point bar	fascines double layering	green bag	Shoulder : reed sodding Lower parts: reed sodding
	Vegetation	coverage: 90%			
	Materials	concrete brick			
	Revetment height	90cm			
	Mean water depth	15cm			
A-III	Geomorphic cond.	point bar	stakes	green bag	Shoulder: Sg planting Lower part: reed sodding
	Vegetation	coverage: 20%			
	Materials	concrete brick			
	Revetment height	90cm			
	Mean water depth	30cm			
B-I	Geomorphic cond.	attack point	boulder + stakes	coir roll	reed sodding
	Vegetation	coverage: 80%			
	Materials	concrete wall			
	Revetment height	100cm			
	Mean water depth	40cm			
B-II	Geomorphic cond.	attack point	gabion + stakes	wire netting	Sg cutting & reed sodding
	Vegetation	coverage: 70%			
	Materials	concrete wall			
	Revetment height	100cm			
	Mean water depth	50cm			
B-III	Geomorphic cond.	attack point	gabion	boulder	Shoulder: Sg planting
	Vegetation	coverage: 10%			
	Materials	concrete wall			
	Revetment height	100cm			
	Mean water depth	55cm			
C-1	Geomorphic cond.	island	boulder + stakes	jute net	Hj clearing & reed sodding
	Vegetation	Hj. Pt			
	Bed materials	sand, silt			
	Mean water depth	20cm			
	Flow velocity	0.2 - 0.3cm			

Table 1. (Continued)

Types	Site condition	Treatment		
		Slope Toe	Slope face	Vegetation cover
C-II	Geomorphic cond.	shallow bay		
	Vegetation	Hj		
	Bed materials	sand, silt, clay	coir roll	wattling
	Slope	1 : 4 - 6		Hj clearing reed sodding To planting
	Flow velocity	below 0.1 ^m s		
C-III	Geomorphic cond.	shallow bay		
	Vegetation	Hj, Pc		
	Bed materials	silt, clay	coir roll	
	Mean water depth	10cm	+	-
	Flow velocity	below 0.1 ^m s		
C-IV	Geomorphic cond.	shallow bay		
	Vegetation	Pa, Sg		
	Soil	silt, clay	-	jute net
	Slope	1 : 2		Shoulder: Sg planting Lower parts: Ms sodding
	Length of slope	2m		

Hj: *Humulus japonicus*, Pc: *Phragmites australis*, Pt: *Persicaria thunbergii*.

Pa: *Phalaris arundinacea*, Sg: *Salix gracilistyla*, Ta: *Typha orientalis*.

Ms: *Miscanthus sacchariflorus*

을 따로 구분하여 환경 조건이 다른 6개의 장소로 구분, 집계하였다. 이와 함께 대상구간과 유황이 비슷하며 자연식생이 양호한 사기막천의 식생구조를 본보기로 하여 도입식물종과 식재역을 설정하였다. 공법의 설계과정에서는 각 지점의 유속, 수심 등의 측정 결과에 따라 수공학적 안정성을 고려하여 적합한 공법을 선정, 적용하였으며 후속적으로 변화 과정을 모니터링하였다.

3. 공법의 구분

저수로 하안 유형별 실험적용된 공법은 Table 1에서 보듯이 저수로의 수류에 의해 형성되는 하안의 경관특성에 따라 사주부, 수충부, 얇은만 그리고 하중도 호안으로 구분하고, 공법의 강도에 따라 I, II, III으로 세분하였다.

사주부(point bar: A) 하안은 저수로의 수류가 분산류(divergent flow)로서 유사의 퇴적이 지속적으로 일어나는(Gardiner, 1991) 구간이다. 따라서 호안 사면을 1 : 3 완경사로 하였으며 비탈바닥면은 통나무 말뚝박기와 야자섬유 두루마리로 처리하였

다. 사면은 버드나무 가지로 된 윗가지 덮기(wattling)로 하여 유사의 퇴적과 함께 정수식물류의 발생을 유발시키고자 했다.

수충부(attack point: B) 하안은 저수로의 수류가 집중류(convergent flow)로서 하안이 지속적으로 침식되는 구간이다. 따라서 침식을 경감시키고 수류에 저항할 수 있게 돌망태나 자연석 놓기로 호안의 기반부를 강화시켰다. 호안사면은 1 : 2 경사로 하였으며 사면부에 갯버들과 사면 어깨부에 물억새를 식재하였다.

얇은 만(shallow bay: C)은 수서생물종의 서식처로 중요한 기능을 하는 미지형 요소이다(건설부, 1994). 실험구간에서 얇은 만은 사주부에 연이어져 형성되어 있으며 인접 저수로의 수심이 상대적으로 얇으며 유속이 현저하게 완만하다. 자연하천의 얇은 만이 지닌 물리적 구조와 유사하게 사면을 처리하였으며(사면 경사, 1 : 4~6) 천변 저습지(palustrine wetland)로 물이 드나들 수 있고, 생물종의 이동이 원활하게끔 수초수로(swale)를 조성하였다. 수초수로와 연이어진 수중에 부들을 재식하였다.

하폭이 넓어지면서 저수로 내부에 자연적으로 형성된 하중도에는 바닥면을 유지하면서 하안부를 자연석과 말뚝박기로 고정시키고 지표면은 하천식생의 발생을 촉진시키기 위하여 야자섬유방(coir net)으로 피복하였다. 인접한 소규모(폭 10m, 길이 25m)의 하중도는 자연상태로 방치하여 호안처리를 한 하중도와 지형 및 식생 형성과정을 비교할 수 있게 하였다.

4. 식물의 식재

하천식생의 분포역(Bache and Macaskil, 1984)을 고려하여 호안의 기단부와 사면의 식재는 정수식물 위주로 하였으며, 사면의 어깨 부위에는 정수식물 보다 상대적으로 지하수위가 낮은 자연 서식처에 분포하는 갯버들과 물억새와 같은 식물을 도입하였다. 갈대를 포함한 정수식물의 식재는 천이관리(Managed succession) 개념(Hough, 1995; Luken, 1990)에 근거한 것으로 하천식생의 천이단계를 단축시켜 반안정상태로 유도하기 위해서 시도되었다.

자연상태로 방치해 둔 상태에서 일년초 위주의 선구식물 군락은 불안정상태를 거쳐, 반안정상태로 이행하는데 장기간이 소요되므로 천이관리를 통해 소요기간을 단축시킬 수 있다. 천이관리에 의한 식생 조성은 수립대 조성에 유용한 방식으로 알려져 있지만(Hough, 1995), 천변 저수로 하안부에 정수식물을 도입할 때도 응용할 수 있다. 토양지지섬유(geotextiles)로 저수로 호안의 안정성을 확보한 후 갈대류의 정수식물을 식재하면 자연하천에서 불안정상태를 이루는 수제부 식생을 반안정 상태로 바꾸어 안정성을 높이며 다양한 하천식생을 재생시킬 수 있다(최정권, 1995).

결과 및 고찰

1. 식생 모니터링

1995년 10월 시험 적용 후, 1996년 5월부터 11월까지 5차에 걸쳐 모니터링이 시행되었다(Table 2). 홍수 전후와 같이 식물상의 변화 폭이 현저한 시기에 식물상, 식생피도, 재생, 활착여부 등을 관찰, 촬영, 기록하고 분석하였다.

공법시험적용구간에서 5월 24일에 조사된 식물종 목록은 Table 3에서 보듯이 갈대 등 인위적으로 도입된 4과 7종 외에도 자연발생한 식물이 13과 26종이어서 관찰된 종은 총 16과 33종으로 나타났다.

식재 이듬해에 재생, 발생한 식물종은 월별로 다소 차이가 있으나, 홍수직전인 7월 18일에 실시한 2차 모니터링시에 가장 다양한 식물종이 나타났으며, 자연발생 식물종은 27종으로, 총 34종의 식물종이 집계되었다.

홍수전후로 식물상의 변화정도가 두드러지게 나타나, 홍수직전에는 34종이, 직후에는 21종으로 13종이 감소하였다. 이런 현상은 홍수에 의한 유사의 퇴적으로 인하여 초장이 짧은 단경초분류는 매몰되거나 관수(inundation)상태에서 내성이 약한 종이 고사한 것으로 판단된다. 7월 20일부터 8월 15일간 25일 동안의 강우로 수위가 상승하여 사주부인 A호 안에는 평균 18cm, 집종류(convergent flow)가 발생하는 B호안에는 2cm, 얕은 만이 형성된 C호안에는 12cm 두께의 유사가 퇴적되었다. 하천역에만 분포하는 절대하천식생(obligatory vegetation)은 홍수기 동안의 관수 상태에 내성이 강한 반면에 하천역을 포함한 육역부에도 생육하는 임의하천식생(facultative vegetation)은 홍수 후에는 대부분 유사의 퇴적에 매몰되어 재생이 원활하지 못함을 확인

Table 2. Monitoring of plants species at the experimental site

Divisions	Initial phase	1st	2nd	3rd	4th	5th
	'95. 10. 12~25	'96. 5. 24	'96. 7. 18	'96. 8. 16	'96. 10. 2	'96. 11.16
No. of introduced species	4 families 7 species	-	-	-	-	-
No. of naturally generating species	-	13 families 26 species	12 families 27species	9 families 14 species	11 families 16 species	7 families 11 species
Total no. of species	4 families 7 species	17 families 33 species	16 families 34 species	13 families 21 species	15 families 23 species	11 families 18 species

Table 3. List of flora in the experimental site(May 24, 1996)

Family name	Species name	Introduced	Naturally generating
Graminea	<i>Phragmites australis</i> Trin.	○	
	<i>Phragmita japonica</i> Steud.	○	
	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Bentham	○	
	<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i> Ohwi		○
	<i>Agropyron tsukushiense</i> Ohwi		○
	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv		○
	<i>Spodiopogon cotulifer</i> (Thunb.) Hack		○
Cyperacea	<i>Carex leiorhyncha</i> C. A. Meyer		○
Salicaceae	<i>Salix gracilistyla</i> Miq.	○	
	<i>Salix babyronica</i> L.	○	
Polygonaceae	<i>Persicaria thunbergii</i> H. Gross		○
	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach		○
	<i>Rumex crispus</i> L.		○
	<i>Persicaria perfoliata</i> H. Gross		○
Equisetaceae	<i>Equisetum arvense</i> L.		○
Umbelliferae	<i>Oenanthe javànica</i>		○
Cruciferae	<i>Lepidium apetalum</i> Willd		○
	<i>Cardamine flexuose</i> With		○
	<i>Draba nemo</i> var. <i>hebecarpa</i> Lindbl		○
Typhaceae	<i>Typha orientalis</i> Presl.	○	
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium album</i> var. Makino		○
	<i>Chenopodium bryoniaefolium</i> Bunge		○
Ranunculaceae	<i>Ranunculus japonicus</i> Thunb		○
Cannabinaceae	<i>Humulus japonicus</i> S.et Z.		○
Compositae	<i>Artemisia selengensis</i> Turcz		○
	<i>Bidens tripartita</i> L.		○
	<i>Taraxacum mongolicum</i>		○
	<i>Crisium japonicum</i> var. Kitamura		○
Iridaceae	<i>Ilex koreana</i> Nakai	○	
Caryophyllaceae	<i>Stellaria aquatica</i> Scop.		○
Alismataceae	<i>Sagittaria pygmaea</i> Miq.		○
	<i>Alisma plantago-aquatica</i> var. <i>orientale</i> Samueleson		○
Salviniaceae	<i>Lemna paucicostata</i> Hegelm.		○

할 수 있었다. 특히 물쭉, 달뿌리풀과 같은 좋은 유수에 줄기가 쓰러진 상태에서 줄기의 마디에서 뿌리가 형성되어 재생이 활발하였다.

환삼덩굴의 확산으로 도입식물종 특히 갈대의 재생이 저조하였다. 이는 호질소성 토양조건에서 잘 자라는 환삼덩굴이 갈대 유묘의 경엽부를 감아 생육을 방해하기 때문인 것으로 판단된다. 갈대의 재생이 저조한 또 다른 요인은 갈대의 식재가 식재적이기 아닌 10월에 이루어졌으며 실험하천 구간에 대한

접근을 초기에 통제하지 않아 담압에 의한 피해로 판단된다.

2. 재료별 평가

(1) 야자섬유 두루마리(coir roll)

B-I, C-II, C-III 구간의 기단부에 설치된 토양 지지섬유로, 비탈범출공의 기능과 함께 흐르는 물에 직접 접하는 부위에서 수류에 의한 세굴을 방지하고

갈대가 활착할 때까지 근경부를 보호해 주는 기능을 한다.

섬유조직 내부에 갈대의 근경부 심기가 이루어지지 않아 이듬해의 재생이 저조하였다. 식물의 재생을 촉진시키기 위해서는 조직내부에 갈대 근경부 심기를 하고, 두루마리의 1/2정도를 상수위면에 잠기게 하면 정수식물의 발생을 촉진시킬 수 있을 것이다.

(2) 쏘다발(fascine)

A-II 구간의 기단부에 설치한 비탈면출공이다. 쏘다발의 제작과정에서의 문제점으로 버드나무 가지의 쏘다발은 가는 가지로 엮어서 만들어야 하나 굵은 가지로 아래부분을 채워 놓았으며, 아래부분은 죽은 마른 가지로 해야 하나 살아있는 가지로 하여, 맹아의 발생이 아래 부분에서 활발하며 상대적으로 윗부분의 발생이 저조하다.

(3) 황마섬유망(jute-net)

복단부 사면의 침식을 예방하기 위해 피복한 토양 섬유로서 사면의 유지에 기능하고 있다. 한편 남동 사면으로는 수광량이 많고 토양이 비옥하여 환삼덩굴의 피도가 7등급에 이를 정도로 우세하여 식재한 달뿌리풀과 물억새가 자연발생한 환삼덩굴에 피압되어 생장이 저조하다. 달뿌리풀과 물억새의 성장과 지상경의 발달을 위해서는 부지정지 단계에 5cm 내외의 모래층을 깔아서 토양비옥도를 조절하고 달뿌리풀의 서식조건을 개선해 주어야 한다.

(4) 윗가지(wattling)

사면의 표면침식을 예방하기 위해 버드나무 가지를 엮어놓은 것이다. 표면침식 예방과 유사의 퇴적이 이루어지 이입한 종에 의한 식생피복 상태가 양호하다. 시공과정의 문제점으로 버드나무 가지의 아래 부분을 땅속에 묻어 두어 버드나무의 발생이 이루어져야 하나, 단순히 표면에 깔아 두어 버드나무의 재생이 전혀 이루어지지 않았다.

(5) 녹색주머니(green bag)

상수위면에 맞닿는 부위에서 하안사면의 하단부를 채우고 정수식물의 발생을 촉진시키기 위해 설치된다. 황마섬유 주머니 내부에는 주변에서 확보한 토양과 함께 갈대의 근경부를 심는다. 갈대 근경부의 재생이 저조한데 이는 늦은 가을에 식재가 이루어져 동해를 입은 것으로 판단된다.

(6) 돌망태(gabion)

수충부 하안의 기단부에 설치되는 재료로서 소류력의 강도에 따라서 수류에 수직 또는 평행한 방향으로 설치된다. 전반적으로 하안의 기단부 보호기능은 제대로 이루어지고 있다. 시공과정에서의 문제점으로 망태의 간격보다 적은 입자의 돌로 채워진 부위에서 돌이 빠져 나온 부분이 있다.

(7) 자연석 놓기

수충부 하안과 하중도의 머리부분에 적용된 공법이다. 직경 40~60cm, 둥근 형태의 자연석을 사면의 기울기에 따라 2단으로 놓았다. 자연석 사이에 부분적으로 유사가 퇴적된 곳이 있으나 전반적으로 초기에 설치된 상태를 유지하고 있다.

(8) 나무말뚝박기

기단부에 설치한 비탈면출공으로 하안의 세굴을 방지하고 호안 사면을 안정시킨다. A-III 구간에서 인접한 오수관로의 맨홀에서 강우시 오수가 일시적으로 유출되어 2.5m 구간이 손상되었다. 이후 유실된 구간을 복구하였다.

3. 식재방법에 대한 평가

(1) 갯버들 꺾꽂이

버드나무류는 가지와 줄기에서의 발근성, 부정아의 발아능력이 상당히 크기 때문에 버드나무류의 꺾꽂이는 재생율이 높을 것으로 예상하였으나 현장 적용 결과 재생율이 극히 저조하였다.

(2) 갯버들 그루터기 심기

재생 활착율이 높을 것으로 예상되었으나, 결과는 매우 저조하였다. 갯버들 꺾꽂이와 함께 그루터기 심기의 재생율이 극히 낮은 원인은 현재로서는 분명치 않으나, 답압과 환삼덩굴의 피압이 원인인 것으로 추측된다.

(3) 갈대 심기

답압에 의한 피해가 없는 하중도와 얇은 만 구간의 재생 활착율은 높으나 A, B구간의 재생율은 저조하였다. 시험구간 인근에서 이식된 구간은 재생 활착이 순조로우나 원거리에서 이식된 것은 재생 활착율이 저조하였다. 재생율을 높이기 위해서는 갈대의 생장이 활발하기 전의 식재시기(4월~5월 초순)

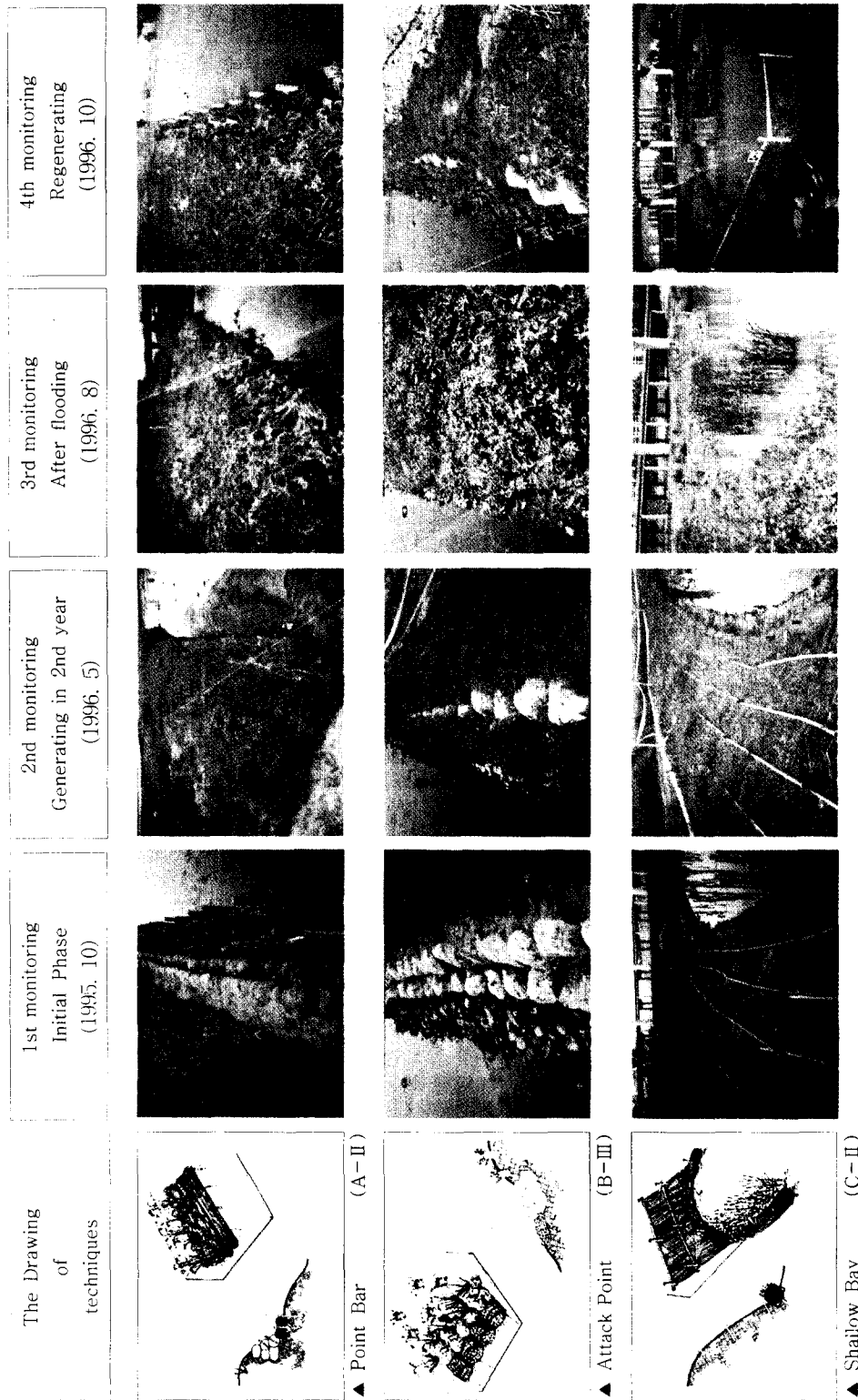


Figure 5. Five phases monitoring in each type of revetment

에 시공해야 하고, 자생지에서 채취하여 이식하는 방법은 다른 지역의 식생훼손을 유발하므로 종자과중에 의한 실생묘의 식재가 바람직 할 것이다. 또한 성장 초기에 답압에 의한 피해가 예상되므로 조성 초기에는 출입을 제한해야 할 것이다.

(4) 환삼덩굴의 발생

환삼덩굴 군집은 덩굴성 식물의 특성상 세력이 왕성하여 다른 식물을 뒤덮거나 고사시키면서 순군락을 형성하는데, 실험 구간에서 광범위하게 발생하였다(Figure 5, Table 4). 환삼덩굴은 토양의 상태가 비옥하고 다소 습한 곳에 주로 출현하였으며, 특히 수광량이 많은 사면 부위에 집중적으로 발생하였다.

홍수가 발생한 후 사주부인 A구간은 사면부에 10~18cm 정도의 퇴적이 발생하였고 수층부인 B구간은 1~4cm 정도의 퇴적이 발생하였다. 두텁게 퇴적된 A구간의 환삼덩굴은 퇴사에 피압되어 부분 재생에 그쳤으나 얇게 퇴적된 B구간은 홍수후 전면적으로 재발생하였다.

결 론

본 연구는 교란된 하천생태계를 재생하기 위한 과정으로, 자연형 저수로 호안공법의 개발을 목적으로 하였다. 저수로의 직강화와 콘크리트 호안의 설치 그리고 물 오염 등으로 인하여 하천생태계의 교란 정도가 심한 서울시 강남구 양재천 학여울 구간을 실험 하천구간으로 하여 2년간(1995~1996년)에 걸쳐 현장조사, 공법설계, 적용, 적용 후 식생복원 모니터링이 진행되었다.

하천의 수류에 의해 형성되는 하안경관의 유형에 따라 공법을 달리 구분하였으며 각 공법은 자연하천의 지형과 식생의 구조를 본보기(reference)로 하여 자연에 가까운 상태로 복구하는데 주안점을 두었다.

개발된 공법의 적용 후 모니터링 결과는 다음과 같다.

① 개발 적용된 공법의 치수에 대한 안정성은 적용 후 1년간 유수에 유실된 구간이 없어 양호하였다. 향후 저수로 변에 정착한 정수식물 근경부의 활착과 함께 호안 안정성은 더욱 높아질 것으로 기대된다.

② 기반부 공법으로는 싹다발, 야자심유 두루마리, 나무말뚝 박기, 돌망태 누이기, 그리고 자연석 놓기가 시행되었는데 세굴에 대한 안정성은 전반적으로 양호하였다. 수세부의 도입식물은 싹다발과 야

자심유 두루마리기 설치된 구간에서 활착율이 높았으며, 돌망태와 자연석이 설치된 구간에서는 유사가 퇴적되어 재료의 간격을 메우면서 개구리자리와 소리쟁이와 같은 습생식물의 자연발생율이 높았다. 반면에 나무말뚝 박기가 시행된 구간에서는 접수역이 물리적으로 차단되면서 식물의 발생율이 낮았다.

③ 호안사면 공법으로는 윗가지 덮기, 녹색마대 쌓기, 야자심유망 깔기 그리고 황마심유 깔기가 시행되었는데 전반적으로 유사의 퇴적이 원활하여 침식이 발생한 부위가 없었으므로 사면을 안정시키는 기능은 양호하였다. 식생의 발생에 있어서는 완경사로 처리한 윗가지 덮기가 가장 양호하였으며 하중도의 사면에 설치한 황마심유망에서 갈대의 재생율이 비교적 높았다. 녹색마대 쌓기, 야자심유망 깔기가 시행된 부위에서는 도입식물종의 재생율이 저조하였다. 이는 전반적으로 환삼덩굴이 확산되면서 이에 피압된 결과로 판단되었다.

④ 식재공법으로는 땃장심기, 근경부 심기, 그루터기 심기 그리고 꺾꽂이가 시행되었는데, 전반적으로 재생율이 저조하였다. 이는 식재 부적기에 시행된 결과, 동해에 의한 피해와 이듬해 초기발생시 답압에 의한 피해, 그리고 유수에 의해 근경부가 고정되지 않아 발근과 활착이 원활하지 않은 것으로 판단되었다. 이에 대한 대책으로는 식재적기의 시행, 실생묘의 이식, 식재후 초기 접근 통제방안이 마련되어야 할 것이다.

⑤ 도입식물종은 갈대, 갯버들을 포함한 7종인데 얇은 반 사면과 하중도 사면에 식재한 갈대와 사면 어깨 부위에 식재한 노랑붓꽃, 그리고 얇은 만의 하상에 식재한 부들은 활착 재생율이 높았다. 달뿌리풀과 불억새의 경우, 모래가 우세한 자생지의 토양조건과 맞지 않아 재생율이 저조한 것으로 판단되었다.

⑥ 자연발생 식물종은 홍수전후와 계절에 따라 달리 나타났다. 5월 26종, 홍수전인 7월 27종, 홍수후인 8월 14종 그리고 10월 16종, 11월 11종으로 집계되었다. 이는 계절에 따른 생육식물종의 차이와 함께 홍수시 관수상태에서의 내성여부에 따라서 달리 나타난 것으로 판단되었다.

⑦ 자연형 저수로 호안공법의 효능, 특히 생태계의 부양능을 검증하기 위해서는 식물종 이외에 다양한 생물종에 대한 모니터링이 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

본 연구에서 제시한 자연형 저수로 호안 공법은 연구 초기단계이므로 확대 적용하는데 있어 다음과 같은 한계가 있다. 이는 후속적인 모니터링과 실험적 시도를 통하여 보완되어야 할 것이다.

첫째, 하천 치수기능과 상충되는 문제를 어떻게 조절할 것이냐는 것이다. 특정 하천구간의 수리적 특성을 감안하여 홍수 통수기능에 여유가 있고, 보강된 제방으로 범람에 안전한 하천구간에 적용가능할 것이다.

둘째, 공법의 확대 적용을 위해서는 실험적 시도 후 모니터링의 결과를 반영하여 개발된 공법을 보완 해주어야 한다. 특히 치수의 안정성 검토와 함께 도입식생의 활착율을 높일 수 있는 식재 및 생태적 관리기법에 대한 후속연구가 이루어져야 할 것이다.

셋째, 생태적 재생은 하천 구간에 따라 각기 다른 물리적 조건을 감안하여 일률적으로 적용될 수가 없고 하천의 지역성, 적용구간의 개별적 환경특성을 반영해야 하므로 면밀한 현황조사와 특정 환경조건에 맞는 공법을 적용해야 한다는 어려운 짐이 있다.

넷째, 공법 적용 후 목표로 하는 식생구조 및 종조성이 이루어질 때까지 인위적인 관리를 지속적으로 해주어야 한다.

토목 위주의 하천공법과는 달리 자연형 저수로 호안공법이 적용된 직후에는 생태적 재생을 위한 기반 환경이 조성되었을 뿐이다. 생태적 재생을 위해서는 정수식물 위주의 식생이 정착할 때까지는 자연형성 과정을 중시한 모니터링이 이루어져야 하고 이를 근거로 후속적인 관리작업이 진행되어야 한다.

인용 문헌

- 이삼희(1995) 자연형 하천종합정비. 한국건설기술정보, 134: 16-21.
- 조용현(1997) 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도 평가방법 개발. 서울대 환경대학원 박사학위논문, 189쪽.
- 최정권(1995) 수변식생 조사와 실험하천에서의 식생 호안재 선정 및 적용. 한국건설기술연구원, 서울, 151쪽.
- 한국건설기술연구원(1994) 자연형 하천계획기법 및 하천유량과 수심의 상관성 조사 연구. 건설부, 서울, 485쪽.
- 한국건설기술연구원(1995) 도시하천의 하천환경 정비 기법의 개발. 건설교통부, 246쪽.
- 한국건설기술연구원(1996) 국내여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발. 환경부, 631쪽.
- Bache, D. H., Macaskill, I. A.(1984) Vegetation in civil and landscape engineering. Granada, 158pp.
- Gardiner, J. L.(1991) River projects and conservation : A Manual for holistic approach. John Wiley & Sons, New York, 236pp.
- Goudie, A.(1990) The Human impact : on the natural environment. MIT Press, MA, 299pp.
- Hough, M., Choi, J. K.(1991) Don river valley study. The Task Force to Bring Back The Don, Toronto, pp.63-66.
- Hough, M.(1995) Cities and natural process. Routledge, 326pp.
- Keller, E. A.(1976) Channelization: Environmental geomorphic and engineering aspect in Coates, D. R.(1976)(ed.) Geomorphology and engineering, pp.115-140.
- Kondolf, G. M. (1977) Geomorphology in Ecological restoration of rivers and stream. in International Symposium on river restoration, Environmental Planning Institute, Seoul National University, Seoul, pp.9-20.
- Luken, J. O. (1990) Directing ecological succession. Chapman and Hall, pp.1-15.
- Schl ter, U.(1986) Pflanze als Baustoff. Patzer, Verlag, Berlin, 328pp.
- Zeh, H. (1993) Ingenieurbiologische Bauweisen. Studienbericht Nr.4., Eidgenössisches Verkehrs und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Wasserwirtschaft, pp.21-31.