

자연형 하천 공법 적용후의 식생변화분석¹⁾

- 서울시 양재천의 학여울 구간을 중심으로 -

신 정 이²⁾

²⁾ 경희대학교 대학원 환경 응용화학부

Analysis of Vegetation Variation after the Rehabilitation Treatment of Stream¹⁾

Shin, Joung-Yi²⁾

²⁾ Dept. of Environmental Science and Engineering, Graduate School of Kyunghee University

ABSTRACT

In order to confirm the effectiveness of the natural river improvement technique, the analysis of vegetation was carried out in Yangjae stream between 1996 and 1998.

The results of this study showed the numbers of riparian plants had increased from 41 species to 53 species, and the dominant species had changed from annual and biannual(*Humulus japonicus*, *Persicaria thunbergii*, *Persicaria hydropiper*, *Panicum dichotomiflorum*, *Echinochloa crus-galli*) to perennials (*Phragmites communis*).

The variation in biomass and biodiversity index were measured and calculated according to the rehabilitation method. Biomass were varied 302 to 828 g/m² and biodiversity index was varied 1.53 to 1.52 at point bar plots(A treatment plots) from 1996 to 1998.

In conclusion, the natural river improvement technique which has operated in Yanjaecheon for three years has contributed to restoration of riparian plants. Additionally, subsequent study using this technique should be followed in the near future.

Key words : *rehabilitation treatment, dominant species, biomass, biodiversity, Yanjaecheon*

I. 서 론

우리 나라의 하천환경은 1960-1980년대의 고도성장시기를 지나는 동안 상당부분 크게 훼손되어 왔다. 즉 하천수의 오염, 기계적인 하천정비, 하천복개 등에 의해 하천의 생태계, 경관,

친수기능 등이 상당히 사라져 버렸다(건설기술연구원, 1998). 단조로워지고 자연으로부터 멀어진 하천은 보기에조차 좋지 않을 뿐 아니라, 다양한 생물 부양, 수질 정화 등 하천으로서 자연적인 기능을 거의 수행하지 못하게 되었다. 선진국에서는 최근 들어 인공적이고 획일적인 하

1) 본 연구는 G-7 과제 “국내여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발” 연구비 지원에 의해 수행되었음

천정비로 인한 문제점들이 노출되면서 인공화된 하천을 원래의 자연스러운 하천상태로 되돌리고자 하는 사회적, 기술적 대안들이 다각적으로 모색되고 시험 적용되기에 이르렀으며, 일부 선진국에서는 이미 하천의 생태적 복원운동과 복원기법이 전국적으로 시행되고 있다. 스위스의 하천의 '재생', 독일의 '하천의 재자연화', 일본의 '다 자연형 하천 가꾸기' 등이 그 예이다. 국내에서 종래의 하천관리는 인간의 안전 및 생산활동과 관련된 치수와 이수에 중점을 두었으며, 1960년대 이후 급격한 공업화와 도시화의 진전으로 하천수의 오염이 진전됨과 동시에 하천공간이 황폐화됨으로써 하천의 관리는 새로운 국면으로 접어들었다(조, 1997).

현재까지의 하천식생에 관한 연구는 주로 수생식물의 분포와 물리·화학적인 환경요인에 대한 반응으로서 종 조성 등에 관한 연구(Yasuro, 1990; 김 등, 1990)들이 주를 이루어 왔고, 최근의 연구로서 최(1997)는 실험하천으로서 양재천의 학여울 구간에 대한 1년간의 식생복원 모니터링을 실시하여 관행적으로 행해지고 있는 하천공법을 대체할 수 있는 생태적 대안을 제시하였다.

본 연구는 저수로의 직강화와 콘크리트 호안의 설치 그리고 수질오염으로 하천생태계의 교란정도가 심한 도시하천의 성격을 띠는 양재천 학여울 구간에 대해 생태적으로 복원하기 위한 자연형 하천 공법적용후의 식생의 현황을 3년간 모니터링한 결과로서 현존량과 우점종의 변화, 종다양성의 변화를 고찰하였고, 공법별, 연도별로 결과를 제시하였다. 본 연구결과는 공법을 적용한 하천의 식생에 대한 정량적인 자료로서 장래 자연형 하천으로의 복원을 위한 하천 정비 계획수립에 기초자료로서 매우 유용할 것으로 판단된다. 기존의 연구들이 주로 피도(coverage)조사로 종다양성과 군집을 분석하였는데, 이는 연구자들마다 관점의 차이가 있으므로 보다 처리구간의 1차 생산력에 대한 보다 정량적인 결과를 얻고자 본 연구는 현존량 조사로써 공법에 대한 평가를 수행하였다.

II. 조사지 개황 및 연구방법

1. 조사지 개황

공법적용 하천인 양재천 학여울구간은 양재천과 탄천의 합류지점에 인접한 구간으로 개포지구 토지구획사업으로 주변지역이 시가화 되기 이전에는 사행하도를 이루었으나 시가화 이후 직강화 되었다. 양재천의 유역분지는 청계산의 북서사면과 관악산의 동사면을 끼고 형성되어 있으며 그 면적은 56.8 km²이다. 서북쪽으로는 안양천 유역, 동북쪽으로는 탄천유역과 접해 있으며 강남구 대치동에서 탄천으로 유입되는 하천이다. 실험하천구간의 수질은 BOD 3~16mg/l, COD는 2~9 mg 사이에 분포하고 있다. 갈수기인 봄철에 물의 오염정도가 심하여 하상은 오히려 검은 색을 나타내며, 강우량이 많은 6월과 7월에는 오염정도가 개선되며 하상의 오히려 부분은 씻겨 내려가거나 상류로부터 유사로 얇게 덮여 신선한 모래 하상으로 바뀐다.

2. 적용공법

공법적용 구간은 서울시 강남구 양재천 학여울 구간으로 A, B, C구간 길이의 누계로 150m, 총 면적 550m²의 규모로서 1995년 10월에 시공되었다. 저수로의 수류에 의해 형성되는 하안의 경관특성에 따라 사주부, 수층부, 얇은만 그리고 하중도 호안으로 구분하였다. 사주부(A) 하안은 저수로의 수류가 분산류로서 유사 퇴적이 지속적으로 일어나는 구간이다. 따라서 호안 사면을 1:3 완경사로 하였으며 비탈바닥면은 통나무 말뚝박기와 야자섬유 두루마리로 처리하였다. 사면은 버드나무 가지로 된 윗가지 덮기(wattling)로 하여 유사 퇴적과 함께 정수식물류의 발생을 유발시키고자 했다. 수층부(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 물억새를 식재하였다. 얇은만

(C)은 수서생물종의 서식처로 중요한 기능을 하는 미지형 요소이다. 실험구간에서 얇은만은 사주부에 연이어져 형성되어 있으며 인접 저수로의 수심이 상대적으로 얕으며 유속이 현저하게 완만하다. 자연하천의 얇은만이 지닌 물리적 구조와 유사하게 사면을 처리하였으며 천변 저습지(palustrine wetland)로 물이 드나들 수 있고, 생물종의 이동이 원활하게끔 수초수로(swale)를 조성하였다. 수초수로와 연이어진 수중에 부들을 재식하였다(최, 1997)(표 1).

3. 연구방법

1996부터 1998까지 도시하천이면서 공법적용 하천인 양재천의 학여울 구간에서 공법이 적용된 구간과 적용되지 않은 구간에 대해 25×25cm 방형구 내의 모든 식생의 지상부를 수확, 종별로 분류한 다음 85℃에서 3일 이상 건조시킨 후 0.01g까지 칭량하여 종별 현존량으로 하였다. 식물의 동정 및 분류는 이(1980) 등을 참조하였다.

1996년 공법 적용직후에 비처리구간과 처리구간을 계절별 각 4회씩 조사하였다. 비처리구간에서는 양안에 하안부터 제방까지 transect를 설치하여 2m 간격으로 방형구를 설치하여 조사하였고, 처리구간에서는 각 처리구별로 6개씩의 방형구를 설치하여 조사하였다. 1997년과 1998년에는 같은 방법으로 처리구간에 대해 각 3회씩 조사하였다.

공법이 적용된 후 비처리구간과 처리구간에 서, 그리고 A, B, C 각 처리구간에서 처리후 1996, 1997, 1998년에 걸쳐 연도별로 우점종과 현존량의 변화, 종다양성의 변화를 고찰하였다. 우점종은 조사지점의 개체별 현존량에서 선정하였으며 종다양성 계산을 위해 사용된 식은 아래와 같다.

Shannon-weaver function : $H' = -\sum Pi (\ln Pi)$
(Gorge w. 1996)

H' : 다양도, Pi : i 번째에 속하는 종의 개체수의 비율(ni/N), N : 군집내의 전 개체수, ni : 각 종의 개체수

위 식의 개체수에 해당되는 N 을 본 연구에서는 지상부 현존량을 대입하여 계산하였다

위의 현존량, 우점종, 종다양성지수는 생태계의 인위적 교란으로 인한 스트레스의 지표가 될 것으로 생각되어 이에 대한 분석을 수행하였고 그 결과는 아래와 같았다.

III. 결과 및 고찰

1. 공법적용후 종의 분포현황

학여울 처리구간의 식생조사 자료를 A, B, C 처리구별로 종의 분포를 살펴보면 A 처리구에서는 환삼덩굴, 갈대, 갈풀, 참새귀리, 여뀌의 현존량이 높고, B처리구에서 환삼덩굴, 돌피, 미

표 1. 양재천 학여울 구간 적용공법

공법	저수로호안	저수로경사면	둔치
A	나무말뚝+버드나무가지여기 쇳단 2단 누이기 나무말뚝 연이어 박기	윗가지 덮기 녹색마대 쌓기	물억새 갈대 Sod 갈대 근경부 갯버들 꺾꽂이
B	자연석 받침+나무말뚝 돌망태 평행+나무말뚝 돌망태 직각	야자섬유 두루마리 갈대맞대 야면석 쌓기	갈대 Sod 갯버들 꺾꽂이 갯버들 그루터기 심기
C	야자섬유 두루마리 통나무 말뚝박기	윗가지 덮기	환삼덩굴 제거 갈대 Sod, 줄, 갈대 근경부, 창포, 애기부들 갈대 두루마리

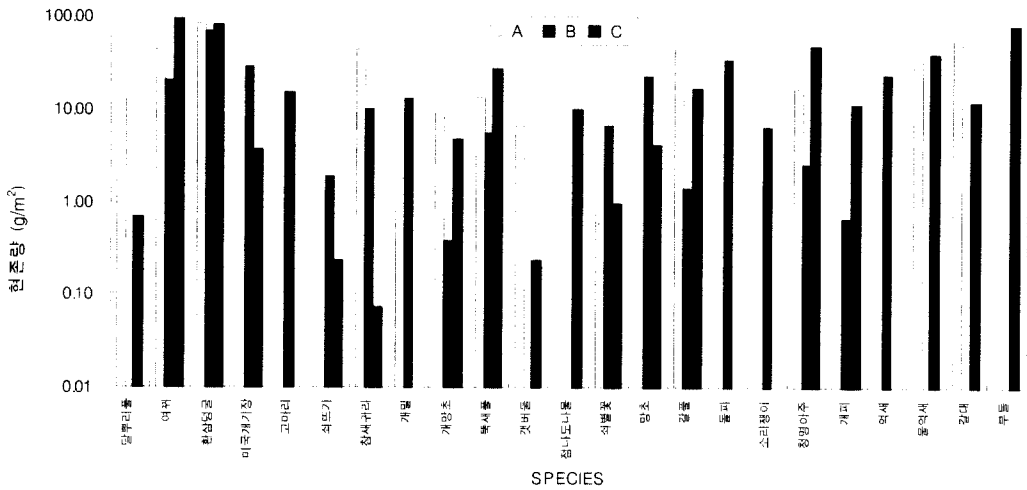


그림 1. 공법적용후 처리구별 종의 현존량 (A : 사주부, B : 수층부, C : 얕은만)

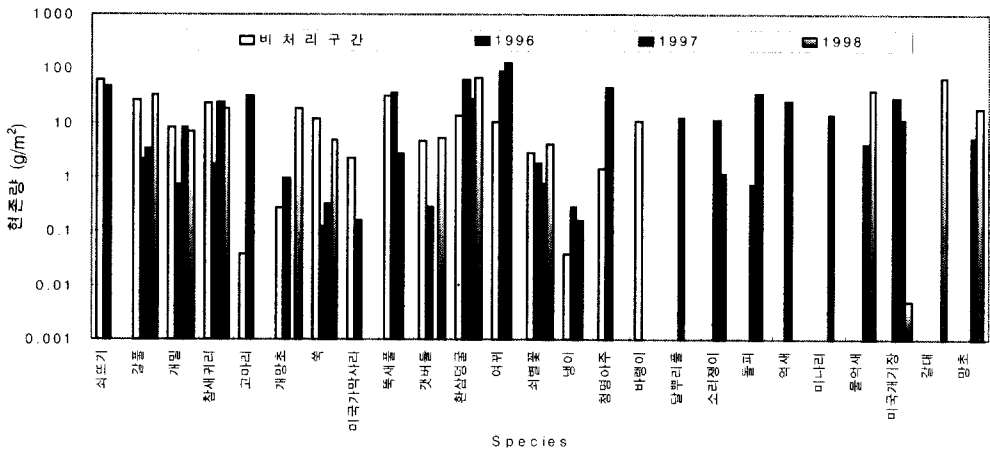


그림 2. 비처리구간과 처리구간 종별 현존량의 연도별 변화

국개기장, 억새, 망초의 현존량이 높게 나타났고, C처리구에서는 여뀌, 환삼덩굴, 부들, 청명아주, 물억새, 뚝새풀의 현존량이 높게 나타났으며 그 결과를 log scale로 도시하였다(그림 1).

1996년 조사에서 비처리구간에 쇠뜨기, 뚝새풀, 갈풀, 참새귀리가 각각 61.26 g/m², 31.92 g/m², 26.00 g/m², 23.15 g/m²로 나타났고, 같은 해 처리구간은 여뀌, 환삼덩굴, 쇠뜨기, 청명아주가 각각 88.25 g/m², 61.47 g/m², 48.00 g/m², 45.05 g/m² 순으로 우점하였다. 1997처리구간에서는 여뀌, 돌피,

환삼덩굴, 참새귀리의 평균 현존 생물량이 각각 128.79 g/m², 34.27 g/m², 27.78 g/m², 24.28 g/m²로 나타났다. 1998년에는 환삼덩굴, 갈대, 물억새, 갈풀의 평균 현존생물량이 각각 69.07 g/m², 68.62 g/m², 39.66 g/m², 33.60 g/m²로 우점하였으며 이상의 결과는 log scale로 도시하였다(그림 2).

식생에 대한 연구가 주로 편의성을 위주로 피도(coverage)로 조사되고 있어 자칫 주관적인 자료가 될 가능성이 있다. 현존량에 대한 조사는 조사지역의 1차 생산력에 대한 정량적인 자

료로서 그 중요성이 있고 공법적용전에 공법적용할 지역에 대한 종조성과 밀도, 피도와 함께 현존량에 대한 조사자료는 복원 후에도 그 결과를 평가하는데 필요할 것으로 사료된다. 현존량 조사 자료로서 처리구별 처리후 연도에 따른 우점종의 변화를 살펴보면 비처리구간에서의 우점종은 저수로에서 참새귀리, 둔치에서 뚝새풀이었고, 처리직후인 1996년 A 처리구에서 저수로와 둔치 모두에서 환삼덩굴이 우점하였다가 1997년에 저수로 호안과 둔치에 여뀌와 참새귀리가 우점하게 되었고, 1998년에는 저수로와 호안 모두에 갈대가 우점하였다. B 처리구에서 1996년 각각 고마리와 미국개기장이 우점하였고 1997년 환삼덩굴과 돌피가 우점하였다가 1998년이 되면서 쇠별꽃과 망초가 우점하였다. C 처리구간에서는 1996년 각각 뚝새풀과 청명아주가 우점하였다가 1997년 물억새와 여뀌가 우점하였고 1998년이 되면서 환삼덩굴과 참새귀리가 우점하였다(표 2).

2. 비처리구간과 처리구간의 연도별 현존량과 종다양성의 변화

양재천 학여울 처리구간에서 현존량은 비처리구간에서 191 g/m²로 조사되었는데, 공법처리후 저수로 호안부에서는 처리직후인 1996년에 414 g/m²에서 1997년과 1998년에 각각 187, 428 g/m²이 되어 1998년이 되면서 급격하게 증가한 것을 알 수 있다. C 처리구의 호안부 현존량도 1997년에 낮아졌다가 1998년에 증가하였으며 수층부 처리구인 B 처리구에서는 처리후 계속 현존량이 줄어들었다. 이것은 B 처리구의 종 다

양성이 높았던 것과 관련해서 교란에 강한 다수의 종으로 구성되어 있을 것으로 판단된다. 둔치의 현존량은 비처리구간에서 저수로보다 높았는데 A, B, C 처리구간 모두 1997년을 거쳐 1998년이 되면서 계속 감소하였으나 A처리구간의 감소가 다소 적었다(그림 3~4).

종다양성지수와 식생군집의 안정성과의 관계는 현재까지도 학계의 관심분야이다. 안정된 극상(climax)군집에서는 오히려 종 다양성이 낮아지는가 하는 것과, 종다양성지수가 높다는 것이 안정된 식생군집의 지표로 작용할 것인가가 논점이 된다. 인위적인 오염원이 적어 비교적 안정된 생물군집이 형성되어 건전한 생태계를 유지하고 있는 경기도 양평군 서종면 수입리 수입천의 식생조사 결과 종 다양성은 0.69로써 매우 낮았다(건설기술 연구원, 1999). 학여울 구간의 공법적용 전·후 보다 낮아, 오히려 교란된 군집에서 천이 초기 1, 2년생 식물의 발생으로 종다양성이 높아지는 것으로 해석할 수 있다. A 처리구간에서의 평균 현존량의 급격한 증가는 1, 2년생 식물이 우점하는 군집에서 식재 식물인 갈대와 같은 대형 정수식물의 우점으로 변화된 것과 관련되어 있다. 또한 A, B, C 처리구간 모두에 갈대를 식재하였는데, A 처리구간에서만 갈대가 우점하였던 것은 유사의 퇴적이 지속적으로 일어나는 구간 이 구간이 저수로의 수류가 집중류(convergent flow)로서 하안이 지속적으로 침식되는 구간에 비해 갈대의 생육 조건에 적합하였던 것으로 사료된다. 또한 갈대가 유속이 빠른 상류보다 하류에 분포하는 생태적인 특성과도 관련되었을 것으로 생각된다.

표 2. 처리공법과 처리후 연도별 우점종의 변화

처리공법구분		1996	1997	1998
A	저수로	<i>Humulus japonicus</i>	<i>Persicaria hydropiper</i>	<i>Phragmites communis</i>
	둔치	<i>Humulus japonicus</i>	<i>Bromus japonicus</i>	<i>Phragmites communis</i>
B	저수로	<i>Persicaria thunbergii</i>	<i>Humulus japonicus</i>	<i>Stellaria aquatica</i> Scop.
	둔치	<i>Panicum dichotomiflorum</i>	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.)	<i>Erigeron canadensis</i>
C	저수로	<i>Alopecurus aequalis</i>	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	<i>Humulus japonicus</i>
	둔치	<i>Chenopodium bryoniaefolium</i>	<i>Persicaria hydropiper</i>	<i>Bromus japonicus</i>

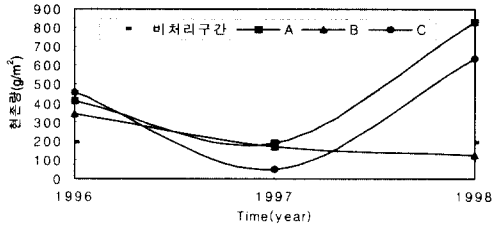


그림 3. 비처리구간과 처리구간의 저수로호안 연도별 현존량 변화 (A: 사주부, B: 수층부, C: 얇은만)

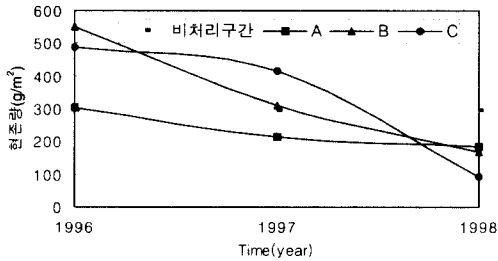


그림 4. 비처리구간과 처리구간 둔치 연도별 현존량 변화 (A: 사주부, B: 수층부, C: 얇은만)

1996 비처리구간에서 전체종수가 41종에서 처리 후에는 53종으로 증가하였고, 종 다양성지수($H' = -\sum(P_i \ln P_i)$)도 비처리구간이 2.56(저수로 1.2, 둔치 1.95)이었고 처리구간은 1996년 조사에서는 2.48, 1997년 조사에서는 1.91, 1998년 조사에서는 2.18로 나타나 공사후 1997년에는 식물군집이 교란되었다가 1998년에 회복되어 안정화 되어가는 것을 알 수 있다.

비처리구간의 저수로 호안부와 둔치의 종 다양성지수는 각각 1.28, 1.95였다가, 처리후에 A 처리구의 저수로 호안은 1997년에 낮았다가 1998년에는 비처리구간보다 높은 1.52로 나타났다. B처리와 C처리 모두에서 1997년에는 다양성이 낮았다가 1998년에는 증가하였으나 비처리구간의 종다양성지수 보다 낮게 나타났다. 둔치에서도 저수로 호안과 마찬가지로 처리후 3년째인 1998년에 종다양성지수가 A처리에서 1.55로써 가장 높았으나 저수로 호안부는 비처리구간보다 증가하였고 둔치부는 비처리구간에서 1.95로 감소하였다(그림 5~6).

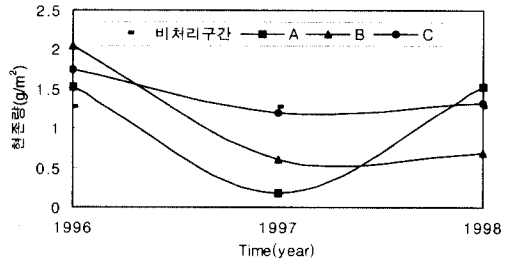


그림 5. 비처리구간과 처리구간 저수로 호안 연도별 종다양성 변화 (A: 사주부, B: 수층부, C: 얇은만)

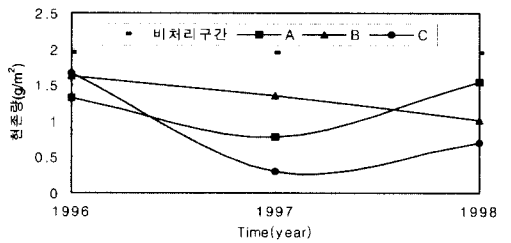


그림 6. 비처리구간과 처리구간 둔치 저수로 연도별 종다양성 변화.

종조성, 현존량, 종다양성지수를 척도로 A, B, C 처리에 대한 평가를 해 보면 결론적으로 본 연구에서 척도로 삼았던 현존량과 우점종 변화, 종다양성지수에 대한 평가로서 사주부 하안에 적용한 공법(A처리구)이 가장 안정된 군집의 자연성 회복이 이루어질 것으로 전망되나 향후 지속적인 모니터링이 이루어져야 하겠다.

IV. 적 요

1995년 자연형 하천공법을 적용한 양재천 하역울 구간에 대한 1996년부터 1998년까지의 식생조사로서 우점종의 변화, 현존량변화, 종다양성변화를 고찰한 결과는 아래와 같다.

1. 우점종이 1996년 비처리구간에서 갈풀을 제외하고 모두 1, 2년생 초본식물이었고 1996, 1997년 처리구간에서는 우점종이 교란에 강한 1, 2년생 초본류로 구성되어 있었으며, 공법적용 후 3년이 경과한 후 갈대, 물억새, 갈풀 등 다년생 초본류가 우점하였다.

2. 본 연구의 현존량(biomass)에 대한 조사자료는 공법 적용후 결과를 정량적으로 평가하는데 매우 유용한 것이며 본 연구결과를 처리구별로 연도별 변화를 고찰해보면 1996년에서 1998년이 되면서 사주부 하안에 적용한 공법으로 A처리구의 저수로 호안에서 현존량이 302에서 828 g/m²로서, 종다양성은 1.53에서 1.52로서, 우점종은 1996년에 환삼덩굴에서 갈대로 변화되므로 본 연구에서 측정된 척도로서 성공적이었다고 판단되나 지속적인 모니터링이 있어야겠다.

3. 비처리구간에서 전체종수가 41종에서 처리구간 전체 조사 방형구에서 53종으로 종수가 증가하였고 종다양성지수도 비처리구간이 2.56이었고 처리구 전체적으로 공사 후 1년째인 1996년부터 3년째인 1998년까지 각 2.48, 1.91, 2.18로 변화한 것으로 보아 공사직후 식물군집이 파괴되어 비교적 교란된 환경에 적응력이 강하다고 판단되는 환삼덩굴, 고마리 미국개기장, 돌피, 여뀌, 등 1, 2년생 초본류가 주류를 이루다가 3년째인 1998년에 식물군집이 갈대 등과 같은 다년생 초본식물로 안정화되어 가는 것을 알 수 있다. 한편, 종 다양성은 중간정도의 스트레스 하에서 가장 높은 경향을 보인다고 알려져 있어(Lobo *et al.* 1995) 공사직후에 받았던 스트레스가 회복되어 가는 단계로 사료된다.

4. 최근에 자연하천을 모델로 삼아 도시하천을 복원하려는 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그러나 하천의 자연성 회복을 위한 공법을 적용한 후 몇 년의 조사결과만으로서 효과를 판단하기는 어렵고 지속적인 모니터링과 평가가 행해져야 할 것이다. 이러한 모니터링은 다양한 생태계의 기능회복을 위한 자료구축에 큰 도움이 될 것으로 사료되며 공법적용으로 인한 효과를 파악하는데 있어 시·공간이 일치된 물리적 환경조사와 어류, 조류의 생물상과 병행한 다각적인 공법적용 결과의 평가가 이루어졌을 때 하천 관리 계획 수립에 있어서 더욱 유용한 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 하천의 복원과 안정화를 위해서 그리고 공사 후 환삼덩굴의 대량발생 문제를 조금이나마 해결

할 수 있는 방안으로서 공법적용지역의 토질 등 다양한 환경요인과 자생지 식물에 대한 밀도와 현존량 조사를 통해서 생육특성과 복원에 적합한 식재종의 선정과 관리방안에 대한 충분한 대안들을 세운 후에 복원사업을 하여야 과거의 하천의 직강화로 인한 생태계 파괴와 같은 우를 범하지 않을 수 있을 것으로 사료된다. 특히, 자연하천에 다량으로 분포되어 있는 달뿌리풀, 갯버들과 같은 다년생 초본류와 목본류의 식재가 필요하나 식재 식물의 생리·생태학적인 연구가 기반이 되지 않은 식재는 하천의 자연성회복에 큰 도움이 되지 않으므로 향후 이들 식재 식물에 대한 충분한 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

V. 인용문헌

- 건설기술연구원. 1996. 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발. 환경부 보고서.
- 건설기술연구원. 1997. 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발. 환경부 보고서.
- 건설기술연구원. 1999. 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발 중간보고서. 환경부 보고서.
- 김준호외 16인. 1997. 생태학실험서. 서울:교문사.
- 김용범·임양재. 1990. 탄천의 대형수생식물군집의 분포와 환경. 한국생태학회지. 13(4): 297-308.
- 이창복. 1980. 대한식물도감. 서울: 향문사.
- 조용현. 1997. 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도 평가방법 개발. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 최정권. 1997. 도시하천에서 자연형 저수로 호안공법의 적용과 식생복원 모니터링. 환경생태학회지 11(2): 204.
- Gorge W. 1996. General Ecology. : Brown publishers.
- Lobo, E.a., Katoh, K. and Aruga, Y.. 1995. Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metro-

politan area. Japan. Freshwater biology 34 :
191.
Yasuro Kadono. 1990. Aquatic macrophytes of

the KAKO rivers, Hyogo prefecture, south-
western Japan. Jpn. J. Ecol. 40 : 151-159.

接受 1999年 8月 24日