

청계천 복원공사 전·중·후의 수질과 식물 및 식생의 변화^{1a}

김혜주^{2*} · 김성환² · 김송이²

Changes in Water Quality, Flora and Vegetation of Cheonggye Stream Before, During and After its Restoration^{1a}

Hyea-Ju Kim^{2*}, Sung-Hwan Kim², Song-Yee Kim²

요 약

청계천 복원공사 전(2003)-중(2004)-후(2005)의 수질과 식물 및 식생모니터링결과 청계천의 수질등급은 공사 전에는 BOD₅가 평균 51.1mg/L로서 등급 외이었으나, 공사 후에 한강수와 지하철 역사의 물이 공급되면서 BOD₅가 3.3mg/L로 낮아져 수질이 3등급으로 향상되었다. 식물의 경우는 공사 전에 총 121종에서 공사 후에 132종으로 다소 증가하였다. 특히 다년초의 비율이 공사 전 24.8%에서 공사 후 35.6%로 증가되었으며, 갈대군락과 잔디군락이 도입 식생으로 관찰되었다. 그러나 공사구간은 공사 전 우점 군락이었던 식생보전등급 1인 환삼덩굴과 망초군락이 여전히 우세하여 식물의 생태성은 공사전과 후의 변화가 크지 않았다. 또한 이 같은 조사내용을 비교대상구간과 비교하면 비교대상구간의 수질은 BOD₅ 0.8mg/L 인 1등급으로 공사구간보다 양호하고, 식물종수도 154종으로 공사구간보다 다양할 뿐 아니라 귀화식물의 비율은 13%로서 공사구간의 28.8%보다 낮았다. 따라서 현재까지는 공사구간이 비교대상구간보다 생태적으로 떨어지는 것으로 평가된다. 그러나 하천복원이란 장기적이며 복합적인 과정으로서 본 연구에서와 같은 단기조사만으로 복원의 효과성을 논할 수 없으며, 앞으로 장기간에 걸친 다른 주요항목에 대한 조사도 병행되어야만 청계천 복원의 효과성을 검증할 수 있을 것이라고 사료된다.

주요어 : 하천복원, 하천복원의 효과성, 귀화식물, 비교대상구간

ABSTRACT

The monitoring of vegetation and water quality before(2003), during(2004) and after(2005) the restoration work of Cheonggye Stream indicated that BOD₅ concentration before the project averaged 51.1mg/L and that both the inflow of water from Hang River and the funnel of subway station water into the stream lowered the BOD₅ to 3.3mg/L, improving its water quality to the third grade. Species of plants slightly increased from 121 to 132 after the restoration. Specifically, perennial plant comprised 35.6%, an increase from 24.8% recorded before the restoration. *Phragmites communis* and *Zoysia japonica* communities were observed as the in

1 접수 3월 22일 Received on Mar. 22, 2006

2 김혜주자연환경계획연구소 Institute of Landscape Planning Hyea-Ju Kim (437-801) 276-8. Kochen-Dong, Uiwang-City, Kyonggi-Do, Korea
a 본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구 개발사업 수자원의 지속적 확보기술 사업의 “청계천 복원공사 모니터링 및 물순환 해석”과 관련한 위탁연구로 수행되었음.

* 교신저자, Corresponding author(hjkim@lapla.co.kr)

roduction vegetation. However, *Humulus japonicus* and *Erigeron canadensis* communities, which were classified into the first grade according to the vegetation conservation classification, were found to be still prevailing though they were dominant community before the restoration, meaning that the ecological condition of plants had not changed very significantly. An the other hand the water quality of the reference reach was classified into the first grade based on BOD₅, which implies the water quality of the section was better than the project reaches. Besides the section had more diverse plant species which numbered 154, and furthermore, the rate of immigrated plants comprised 13% which was lower than 28.8% recorded by the project sections. The project reaches are considered to be inferior to the reference section in terms of ecological condition. The effectiveness of the stream restoration cannot be determined only by such short-term investigation as was conducted in this study, and it is considered that the effectiveness of the restoration of Cheonggye Stream can be determined only if investigations in other major factors are conducted over the long-term period.

KEYWORD : STREAM RESTORATION, EFFECTIVENESS OF STREAM RESTORATION, IMMIGRATED PLANTS, REFERENCE SECTION

서론

1995년을 기점으로 국내에서도 자연형 하천조성 개념과 하천의 생태적 중요성이 부각되었고, 현재에 이르러서는 여러 지자체에서 하천조성에 큰 비중을 두고 있다. 그러나 대부분 하천의 특성이나 하천의 생태성 보다는 하천의 친수성을 강조한 하천조성사업들이 많이 있었다. 그 중에서도 특히 장기간 복개되었던 청계천은 2005년 6월 유로연장 약 6km에 대한 대대적인 공사가 완료되어 2005년 10월 1일에 공식적인 개통식이 있었다. 청계천의 하도는 다시 빛을 볼 수 있어서 생물들의 서식처로서 또는 도시의 바람통로로서 주요한 역할을 할 것이라 기대되지만, 한편으로는 청계천의 큰 문제점, 즉 하천의 건천화를 자연적 순리대로 해결하지 못하여 유역차원의 물순환과 이에 따른 근본적인 하천생태계의 회복은 한계가 있을 것으로 추측하고 있다. 이러한 예상과 실제 하천복원의 효과성은 일치하지 않는 경우가 많을 것이다. 그럼에도 국내에서는 많은 하천조성사업이 종료되었지만, 사업에 대한 검증, 특히 하천의 생태성에 대한 검증은 외국에 비하여 여러 가지 이유에서 잘 이루어지고 있지 않다. 다만 극히 일부의 사례에서 학술적 목적에 의한 하천복원 후의 수리 및 생태 모니터링이 진행되었다. 예를 들면 양재천 과천 및 우면동 구간의 자연형 하천 조성사업(환경부, 1999; 2002)이나 오산천의 일부 구간에 대한 모니터링이다(건교부, 2002).

모니터링(Monitoring)이란 일반적으로 규칙적인 모니터링과 불규칙적인 모니터링이 있다. 전자의 경우는

효과성 검증을 목적으로 하기 때문에 검증을 위한 사전의 한계치 또는 표준, 지표 같은 것을 이용하게 되나, 후자의 경우 "Surveillance"의 의미로 조사 전에 질적 표준치를 정하지 않고, 흔히 생태적 천이 등의 순수한 학문적 목적으로 실시하는 경우이다(Traxler, 1997). 본 연구에서 실시한 모니터링은 규칙적인 모니터링에 속한다. 즉 청계천의 개제가 구체적인 도구, 즉 복원공사에 의해 궁극적으로 어떤 결과를 가져왔는지를 보고자 하는 것이다. 그 결과에 대한 평가는 하천의 이상적 상태(현재잠재자연하천= the present-day potential natural state of water)를 기준으로 하는데, 이는 식물사회에서 "현재잠재자연식생"과 같이 어떤 임의의 하천 및 주변에 모든 인위적 교란이 정지되었을 때의 하천상태를 지칭한다. 이상적 하천이 의미하는 것은 하천의 생태적 질로서 하천 규모나 위치에 관계없이 하천의 생태적 질이 양호 또는 불량이나 보통 정도 등으로 평가된다(LAWA, 2000). 그러므로 하천의 규칙적인 모니터링 전에 지표로서 이상적 하천상태를 선정하는 것이 일반적이다. 본 연구에서도 이상적인 하천의 생태적 질을 청계천 수계 내에서 찾아보고자 하였으나, 대부분 도시화로 인하여 자연성이 높은 하천이 거의 남아 있지 않아서 가장 자연성이 높은 청계천 수계내의 백운동천을 질적 기준으로 삼았다.

하천에서의 모니터링 항목으로는 수리·수문, 지형(하상)변화, 공법, 동·식물그룹, 비오류구조, 하천의 발전성, 경비 등이 있으며, 조사 횟수는 하천공사 후에는 매년 실시하는 것이 좋지만 공사 후 몇 년 후에는 조사간격을 길게 하는 것을 권장하고 있다(LfU, 1995). 외국의 하천모

니터링 사례 중에서 생물서식처의 변화를 관찰한 사례는 매우 많다. 그 중에서 국내와 크게 비교되는 범람지 복원 후의 생태적 효과를 검증한 사례로서 Weser강(독일의 Bad Karlshafen과 Minden 사이에 있음)의 하류에 대한 모니터링(Boewing, *et al*, 1995)과 Jagsttal(독일 Neckar의 지류)에 조성한 Klostersersch(독일 Lippe의 범람지) 모니터링이 있다(Kappus, *et al*, 2000). 반면에 하천의 물리적 변화를 보기 위한 모니터링의 종류는 미국 Florida주의 Kissimmee River (www.sfwmd.gov/kissimmee)와 독일 Bochum의 Lottenbach (Hamischmacher and Zepp, 2000) 등이 있으며, 특정 공법의 효과성을 검증하기 위한 연구로는 Reusch, *et al* (1995)의 하상램프의 효과성과, 독일 Pforzheim의 Enz강에 적용한 하안공법의 안정성을 관찰한 LfU(1995)의 연구가 있다.

본 고에서는 수질과 식물 생태적 측면에서 청계천 공사 전·중·후의 변화상을 보고자 하였다. 그 이유의 하나는 식물 및 식생의 경우 모니터링종류 중에서 조사방법의 객관성이 높아 가장 활용도가 많고, 신뢰할 수 있는 자료로 이용될 수 있으며, 또한 식물은 그들의 서식환경을 비교적 잘 반영하고 있기 때문에 하천구조의 생태적 평가와 보호종의 발견이나 특정종의 출현을 예시하여 주기도 한다(Tremp, 2005). 아울러 유지관리 계획수립의 근거로 활용될 수 있기 때문이다. 그러나 현 시점의 본 연구는 단기적 결과에 불과하고 특히 수질과 식물의 생태성만으로는 하천의 복합적인 생태성을 평가하는 것은

한계가 있다. 따라서 본 연구는 공사 전과 공사 직후의 청계천의 수질과 식생변화상의 기록과 조사분석에 더 큰 의의를 두고자 하였다.

재료 및 방법

1. 대상하천의 개황

청계천은 중랑천의 지류로서 성북천 합류점을 기점으로 상류는 지방 2급, 하류는 지방 1급 하천으로 지정되어 있다. 대상하천의 유역면적은 50.96km²이며 지질은 화강암이다. 하상경사는 약간 가파른 편(1:310~510)으로 산지형 하천특성이 강하고, 사행성(사행도:약 1.32)은 낮으며 본래의 하상재로는 모래질이다(서울특별시, 2003). 청계천은 2003년 복원이전까지 하류부 2.36km를 제외한 전 구간이 복개되어 도로로 이용되어 왔으나 현재에는 5.76km의 하도가 개거되고 소위 자연형 하천으로 시공되었다. 그러나 전체 유로연장 10.92km 중 2.8km는 아직도 복개되어 있다. 청계천변을 포함한 청계천 유역은 대부분이 매우 고밀도의 상업지역 또는 주거지역으로 이용되고 있으며, 도시하천의 특징인 건천화에 의하여 평상시에는 물이 전혀 흐르지 않았으나, 공사 후에 수심 40cm를 유지하기 위하여 한강과 주변 지하철 역사로부터 1일 20만톤 가량의 물을 수로 내에 역펌핑하여 흘리고 있다. 그리고 청계천과 유역내의 지하수

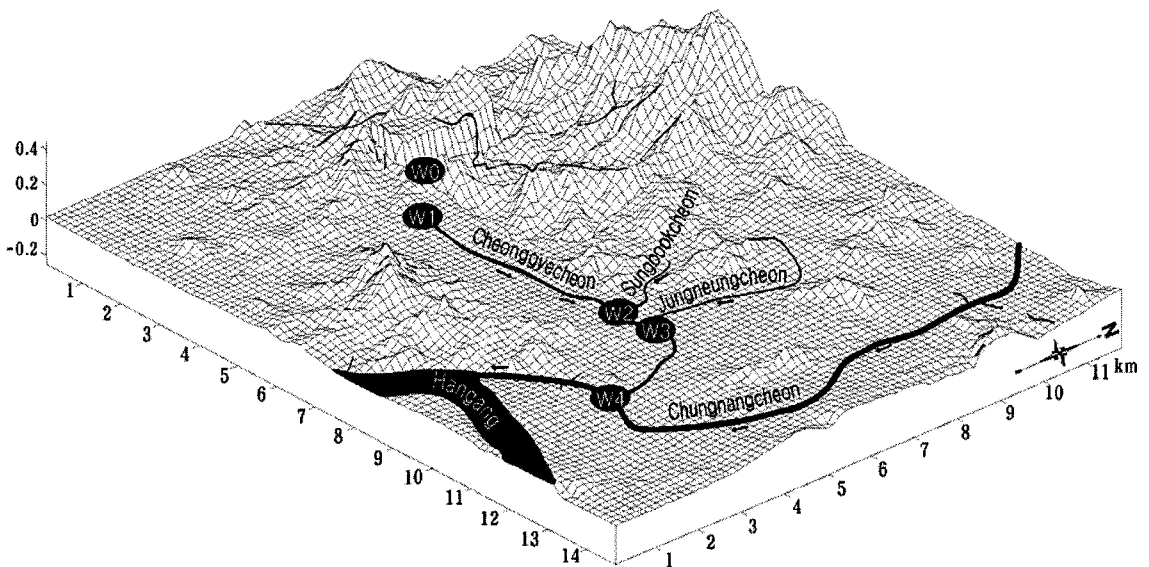


Figure 1. Location of the investigation sections

위는 평균 -11m 이하로(수자원의 지속확보기술개발사업단, 2006) 펴평한 물이 하상바닥으로 스며들지 않게 대부분의 하상은 방수처리 되어진 상태이다.

2. 조사지점의 선정

조사지점은 하천의 상·중·하류에 따른 종적 특성과 유입지천의 영향성을 고려하여 세운상가 부근(W1), 성북천 합류점(W2), 정릉천 합류점(W3), 중랑천 합류점일대(W4)를 선정하였다. 그리고 LfU(1995)에 의거 비교적 오염되지 않은 백운동천의 W0을 비교대상구간으로 정하였다(Figure 1).

3. 조사 및 분석방법

수질조사는 전문분석업체에 의뢰하여 2003년 6월부터 2005년 11월까지 매달 5개 지점에서 실시하였으며 pH를 비롯한 21개항목을 분석하였다. 모든 측정값은 평균값 및 중위수를 산출하고 지점별로 공사 전·중·후의 값과 비교하고 그래프로 나타내었다. 그래프에는 항목간의 단위가 다르기 때문에 측정값을 common log로 전환하여 변동 폭을 볼 수 있도록 하였다. 분석에는 MVSP(Kovach Computing Services, 2003)와 SPSS프로그램을 사용하였다.

식물상 및 식생은 공사 직전인 2003년, 공사 중인 2004년, 공사 직후인 2005년까지 장마 전(6월 중순)과 후(8월 말)에 연 2회씩 조사하였다. 식물상은 각 조사지점을 중심으로 반경 200m(총 400m)의 하천 양안을 걸으면서 수생, 정수, 하원역에 출현한 모든 식물의 종을 동정하여 정리하였다. 또한 belt-transect를 위한 조사구는 물리적 변동이나 하천 특유의 식물이 많이 출현하는 곳을 선정하여 정수역에서 제방 마루 끝까지 하천을 횡단하는 belt를 아래 그림과 같이 설치하고(Figure 2), 1m²의 방형구내에 출현하는 식물을 동정하고 출현빈도별로 정

리하였다(Appendix 2).

식물의 환경성 평가는 식물의 생활형과 귀화율 등을 활용하였으며, 고경식과 김윤식(1989), 박수현(1999), 이영노(1996), 이창복(1985; 2003)에 따랐다. 특정지역의 자연파괴도(도시화 지수)는 현재 한국내에 귀화식물의 총 수를 286종(국립환경과학원, 2006)으로 하고 임양재와 전의식(1980)에 의거 아래 식을 활용하여 산출하였다.

특정지역의 자연파괴도(도시화지수)=

$$\frac{\text{특정지역의 귀화식물 총 수}}{\text{남한의 귀화식물 총 수(286종)}} \times 100$$

각 조사지역간의 유사도지수는 (A와 B 지역의 공통종)/(A+B 지역의 모든 출현종)으로 하여 유사도를 파악하였다. 그리고 belt 조사결과를 활용하여 MVSP(Multi Variate Statistical Package) 프로그램으로 UPGMA(Unweighted Pair Group Method using Arithmetic algorithm) 식물군집을 구하였다. 비가중산술평균법(UPGMA)은 연결그룹사이의 평균거리를 적용하여 clustering의 균형을 도모하고 연결그룹의 중심점 사이를 계산하는데 있어서 가중치를 두지 않는 방법이다. 이것은 가중치를 두는 방법에 비하여 중심점의 위치가 그룹이 더 많이 모여 있는 쪽에 놓이게 된다. 식물군집의 판별은 식물종 구성과 상대 우점도가 유사한 표본조사구별로 수집된 조사구를 하나의 군락으로 판별하고 상층 식생의 우점종과 하층식생의 공통종을 확인하여 군락의 명칭을 정하였다. 아울러 저수로 물로부터의 거리 및 수환경 인자(BODs, T-N, T-P, DO)와 식물출현과의 CCA(Canonical Correspondence Analysis) 분석을 실시하였다. 모든 조사내용은 공사 전·중·후로 나누어 지점별(W1~4)로 비교하고 비교대상구간(W0)과도 비교분석하였다.

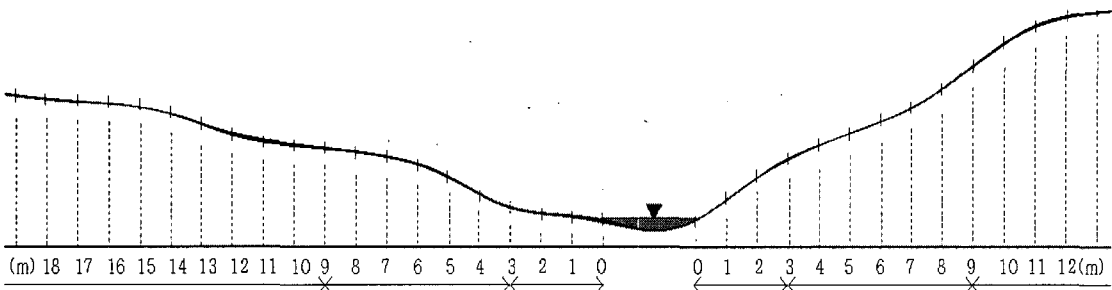


Figure 2. Cross-section of belt-transect

결과 및 고찰

1. 수질

W0지점(비교대상구간)은 공사와 무관한 지역이며 2005년도에도 2004년에 이어 BOD₅ 기준 수질 I등급으로 조사지점 중 가장 양호한 수질을 나타내었다(Table 1). 특이사항은 전기전도도와 색도의 농도가 2005년에 들어서 2003년보다 크게 감소하였으나 나머지 항목은 대부분 2003년과 비슷하거나 다소 증가한 것으로 나타났다.

W1지점(세운상가 부근)은 공사전과 중에 하천수가 없어서 하수를 채취한 장소로서 2005년 7월 이후 하천수를 처음으로 채수하기 시작한 곳이다. 공사 후의 수질 조사결과를 종합하면 BOD₅ 기준 수질 II등급이다. 그 밖의 대부분의 항목에서 아래의 표에서처럼 공사 후 농도가 크게 감소하여 수질이 향상되어진 것으로 나타났다.

W2지점(성북천 합류점)은 공사후 BOD₅ 기준 수질 II등급으로 평가되며, W1지점에서와 유사한 값을 보였다. 그리고 공사 전이나 공사 중에 비하여 공사 후에 BOD₅, 전기전도도, 대장균, 색도, T-N 등의 농도가 크게 낮아져서 수질이 공사 전이나 중보다 향상되어진 것으로 나타났다(Table 1).

W3지점(정릉천 합류점)도 공사후 BOD₅에 따른 수질 등급이 II등급이며 특히 대장균, 색도, COD 등은 공사 전에 비하여 매우 큰 폭으로 그 농도가 감소하였다. 그러나 아래의 표에서 보이는 바와 같이 온도, Fe, NH₃-N 등의 경우 공사 후에 약간 증가한 것으로 나타났다.

W4지점(중랑천 합류점)은 공사후 BOD₅ 기준으로 수질 V등급에 해당되어 다른 조사지점에 비하여 수질

이 불량하였으나 공사전의 경우에는 등급외에 해당하였으므로 수질등급은 공사 후 한 단계 상승하였다. 각 항목 별로 보면 대장균, 전기전도도, Cl⁻, COD, T-N, 탁도, PO₄-P 등은 공사 후에 감소하였고, 색도, 온도, NH₃-N, SS, VSS, Fe의 농도는 공사전보다 그 수치가 다소 증가하였다(Table 1).

복원공사후의 W1, 2, 3, 4지점의 수질측정결과를 종합하면 BOD₅가 평균 3.3(mg/L)으로 수질등급 III이다. 그리고 아래 그림에서처럼 공사전과 중에 비하여 크게 향상된 항목은 전기전도도, 대장균수, Cl⁻, T-N, 색도 및 탁도 등이다. 그러나 이를 비교대상구간인 W0과 비교하면 BOD₅를 비롯한 대장균, SS, Fe, PO₄-P, DO 등의 농도는 W0에서 보다 높은 값을 나타내고 있다. 반면에 색도, T-N, VSS 등은 W0지점에서의 값과 서로 유사하고, COD는 W1~W4지점에서 오히려 W0에서 보다 낮았다.

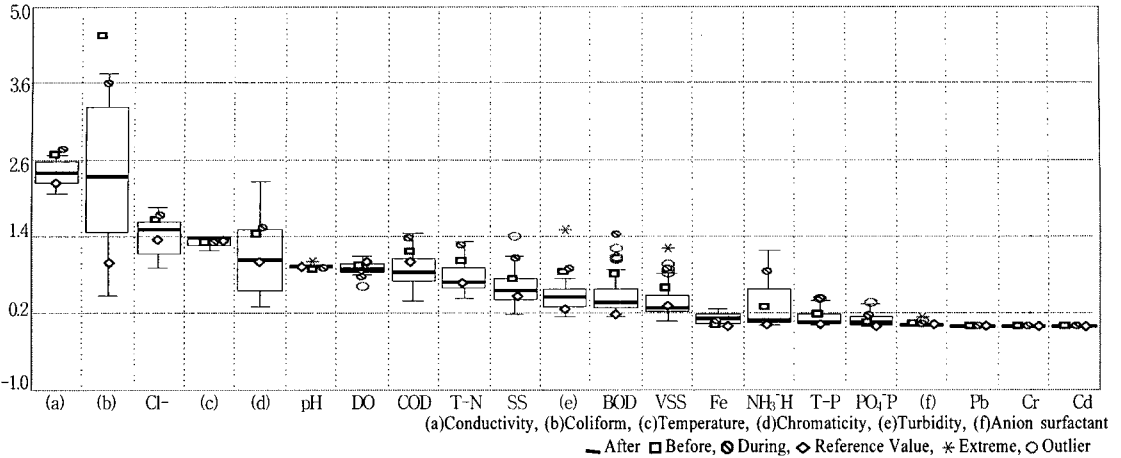
2. 식물상

2005년 W0에서 확인된 출현종은 총 59과 154종이다(Appendix 1). 그 중 상위 5개 그룹에 속하는 과는 장미과(9.7%), 벼과(9.75%), 국화과(9.1%), 콩과(7.1%), 마디풀과(3.9%)의 순이었다. 그리고 출현종 중에서 목본식물은 70종으로 전체의 45%이며 1, 2년생 초본류는 46종으로 29.9%이었다. 이렇게 목본식물이 많이 출현한 것은 조사지역이 산지라는 특성을 반영하는 결과이나 인접 지역에 주택단지가 밀집되어 있어서 식재수종이 증가한 것이기 때문에 자연적인 산림생태계의 식생구조를 보이고 있다고 할 수는 없다. 한편, 2003년도 및 2004년도에 비하여 2005년에는 식재종이 증가하고, 귀화종의 비율은 다소 감소세를 보이고 이와 관련하여 도시화지수도

Table 1. Result of water sampling

	pH	COD	BOD	DO	SS	VSS	T-N	T-P	NH ₃ -N	PO ₄ -P	(a)	(b)	Fe	Cl ⁻	(c)	(d)	(e)	Cd	Pb	Cr	(f)
2003	6.7	5.1	1.0	8.3	0.5	0.3	2.56	0.06	0.41	0.06	11.1	0.4	0.02	14.8	160	18	6,009	0	0	0	0.027
W0 2004	6.8	8.9	0.8	8.5	1.6	1.0	2.78	0.07	0.11	0.12	9.2	0.8	0.12	16.6	170	20	7	0	0	0	0.037
2005	6.9	6.3	0.8	8.9	4.6	2.4	2.27	0.05	0.18	0.01	5.6	1.7	0.21	16.0	105	19	26	0	0	0	0.079
Before	6.8	292.0	187.0	3.5	193.5	123.8	32.23	4.01	14.57	1.82	361.8	114.2	0.51	76.7	740	21	432000	0	0	0	2.298
W1 During	7.4	351.9	203.5	0.9	138.1	89.6	37.10	4.35	19.44	2.20	304.5	118.8	1.30	109.2	822	21	339000	0	0	0	4.583
After	8.2	4.9	1.1	8.6	4.0	1.8	3.02	0.16	0.23	0.10	5.3	2.2	0.35	8.9	146	21	78	0	0	0	0.042
Before	8.0	12.5	4.6	8.2	6.6	3.9	5.84	0.16	0.44	0.13	22.8	6.4	0.08	35.7	420	22	44260	0	0	0	0.091
W2 During	7.8	34.8	11.3	6.4	10.0	6.1	7.70	0.53	2.02	0.36	70.1	10.3	0.33	47.8	520	21	70,009	0	0	0	1.023
After	7.3	7.3	1.3	7.3	2.1	1.0	4.03	0.12	0.75	0.09	13.7	1.3	0.27	25.6	232	21	1,312	0	0	0	0.046
Before	8.0	6.0	1.5	8.0	2.5	1.5	3.17	0.14	0.20	0.09	20	2	0.25	42	500	19	11,380	0	0	0	0.069
W3 During	7.7	11.8	2.6	7.1	8.5	5.2	4.67	0.19	1.28	0.19	23	9	0.17	41	474	20	3,016	0	0	0	0.052
After	7.7	4.4	1.1	7.7	1.2	0.7	3.83	0.14	0.20	0.08	11	1	0.29	35	324	20	699	0	0	0	0.07
Before	7.2	21.3	11.1	6.7	5.1	3.1	17.42	1.29	9.53	1.35	30.9	5.3	0.10	60.8	560	19	38,400	0	0	0	0.369
W4 During	7.4	23.7	24.3	4.9	9.7	6.2	18.02	1.52	10.62	1.11	37.5	6.2	0.08	61.6	586	20	6,820	0	0	0	0.078
After	7.4	17.2	9.4	6.0	10.4	6.7	14.29	1.18	9.45	0.96	92.1	8.2	0.37	46.9	357	21	4,073	0	0	0	0.065

(a)Chromaticity, (b)Turbidity, (c)Conductive, (d)Temperature, (e)Coliform, (f)Anion surfactant



Average Value	Before	During	After	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	pH	DO	COD	T-N	SS	BOD	VSS	Fe	NH ₄ -H	T-P	PO ₄ -P	Pb	Cr	Cd
Before	555	131,510	53.7	20	108.9	7.5	6.6	83.0	14.67	51.9	31.9	51.1	33.1	0.24	6.19	1.40	0.85	0.707	0	0	0	0	0
During	605	106,538	65.8	20	110.7	7.5	4.7	109.3	17.36	43.2	37.5	63.0	27.9	0.48	8.67	1.71	0.99	1.455	0	0	0	0	0
After	270	1,604	29.9	21	31.7	7.6	7.4	8.6	6.44	4.4	3.3	3.3	2.6	0.32	2.76	0.41	0.32	0.056	0	0	0	0	0

Figure 3. Comparison between the project and reference water quality: Jun.~Nov. 2005, the result of water sampling at W1 section as of June 2005 was excluded, for sewage water was taken as sample: the result was transformed by common log.

다소 낮아졌다(Table 2).

W1은 완전 복개구간이었던 곳으로 2005년 공사완료 후 최초로 8과 9종이 관찰되었으나 모두 귀화식물과 식재종만이 출현하였다(Table 2). 그리고 조사지역의 대부분이 공사 후에도 콘크리트 또는 거석으로 이루어져 있어서 식물의 서식환경이 매우 열악하고 식생정착이 어려운 것으로 보인다.

W2에서는 공사후 15과 34종이 출현하였는데 1, 2년생 초본식물이 전체의 21종인 61.8%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 이는 공사 전 23종인 65.7% 보다는 낮은

수치이나 Table 2에서처럼 공사 중과는 유사한 비율이다. 귀화식물의 비율은 공사전과 중에 비하여 공사 후에 낮아졌으나 전체 출현종의 29.4%를 차지하여 여전히 매우 높은 비율을 보이고 있기 때문에 이 지점의 생태적 안정성이 향상된 것으로 보기는 어렵다. 자생종의 비율은 공사로 인하여 이 지역의 자생식물이 사라지고 그 자리에 식재종이 도입되면서 크게 감소하였다.

W3의 경우 2005년도 출현종은 22과 46종이며 그 중 1, 2년생 초본식물류가 24종으로 전체의 52.2%로 가장 높았고, 그 다음은 다년생초본으로 15종으로 32.6%를

Table 2. Changes in flora before(A), during(B) and after(C) restoration

Classify	Year	Reference Section			Project Sections														
		W0			W1			W2			W3			W4			W1 ~ W4		
		2003	2004	2005	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Family		55	57	59	×	×	8	19	23	15	26	37	22	36	37	38	44	48	43
Total Species		128	151	154	×	×	9	35	49	34	47	69	46	100	106	111	121	136	132
		Species(%)			Species(%)			Species(%)			Species(%)			Species(%)			Species(%)		
Life Form	T	37(28.9)	39(25.8)	46(29.9)	×	×	2(22.2)	23(65.7)	30(61.2)	21(61.8)	22(46.8)	33(47.8)	24(52.2)	64(64.0)	60(56.6)	62(55.9)	65(53.7)	68(50.0)	68(51.5)
	H	33(25.8)	49(32.5)	38(24.7)	×	×	4(44.4)	11(31.4)	17(34.7)	9(26.5)	7(14.9)	15(21.7)	15(32.6)	26(26.0)	34(32.1)	39(35.1)	30(24.8)	41(30.1)	47(35.6)
	P	29(22.7)	29(19.2)	34(22.1)	×	×	0(0.0)	1(2.9)	2(4.1)	1(2.9)	13(27.7)	19(27.5)	1(2.2)	5(5.0)	7(6.6)	7(6.3)	17(14.0)	20(14.7)	7(5.3)
	NP	27(21.1)	30(19.6)	28(18.2)	×	×	1(11.1)	0	0	1(2.9)	5(10.6)	2(2.9)	3(6.5)	5(5.0)	4(3.8)	3(2.7)	10(8.3)	6(4.4)	6(4.5)
	C	2(1.6)	4(2.6)	8(5.2)	×	×	2(22.2)	0	0	2(5.9)	0	0	3(6.5)	0	1(0.9)	0(0.0)	0	1(0.7)	4(3.0)
Classification	Immigrated	22(17.2)	22(14.6)	20(13.0)	×	×	2(22.2)	13(37.1)	17(34.7)	10(29.4)	12(25.5)	20(29.0)	12(26.1)	34(34.0)	30(28.3)	35(31.5)	35(28.9)	35(25.7)	38(28.8)
	Planted	27(21.1)	27(17.9)	37(24.0)	×	×	7(77.8)	0	1(2.0)	12(35.3)	15(31.9)	17(24.6)	20(43.5)	9(9.0)	8(7.5)	11(9.9)	23(19.0)	22(16.2)	25(18.9)
	Native	79(61.7)	102(67.5)	97(63.0)	×	×	0(0.0)	22(62.9)	31(63.3)	12(35.3)	20(42.6)	32(46.4)	14(30.4)	57(57.0)	68(64.2)	65(58.6)	63(52.1)	79(58.1)	69(52.3)
Urbanization Index(%)		7.7	7.7	7.0										11.9	10.5	12.2	12.2	12.2	13.2

나타내었다(Table 2). 두드러진 현상으로는 1, 2년생 초본류의 비율이 공사 후에도 계속 증가하고 있는 것이다. 아울러 출현종 중에서 귀화식물의 비율은 공사 중에 전체의 29%에 비하여 공사 후에 26.1%로 다소 낮아졌지만 여전히 높은 비율을 차지하고 있다. 자생종의 비율은 이입식물로 인하여 상대적으로 감소하여 이는 W2지점에서의 추세와 유사하다.

2005년도 W4에서 출현한 식물은 모두 38과 111종으로 청계천 본류구간의 조사지점 중에서는 가장 많은 식물종이 출현한 곳이다. 전체 출현종 중에서 가장 높은 비율을 차지한 식물의 생활형은 1, 2년생 초본류로 62종 55.9%이며 그 다음은 다년생 초본류로서 39종 35.1%이었다. 1, 2년생 초본류의 비율은 공사 중과 공사 후가 유사하였으나, 다년생 초본류의 비율은 모니터링 기간 동안 점차 증가하는 것으로 나타났다. 귀화식물의 비율은 모든 조사지점 중에서 가장 높은 31.5%를 나타내었다. 그리고 자생종의 비율은 공사 중에 비하여 감소한 반면에 식재종은 상대적으로 다소 증가한 것으로 조사되었다(Table 2).

공사 후 W1, 2, 3, 4지점에서 출현한 모든 식물은 총 43과 132종으로(Appendix 1) 상위 5개 그룹의 과는 국화과(24.2%), 비과(15.9%), 십자화과(5.3%), 마디풀과(4.5%), 매꽃과(3.8%)의 순으로서 국화과가 가장 상위 그룹을 차지하였다. 그리고 출현 종의 생활형을 보면, 1, 2년생 초본식물의 비율이 68종인 51.5%로 다년생 초본식물의 47종인 35.6%에 비해 매우 높으며, 귀화식물의 비율 또한 W0의 경우 13%이나 공사구간에서는 28.8%로 매우 높게 나타나 도시하천에서 볼 수 있는 특징을 보였다. 이를 공사전과 비교하면 전체적인 종수는 큰 차이가 없었으나 다년생 초본류가 두드러지게 증가하였다(Table 2). 그리고 비교대상구간과 비교하면 W0지점의 자연파괴도(도시화지수)는 7.0%이었으나 W1, 2, 3, 4지점에서는 13.2%로 나타나 공사구간의 생태성은 비교

구간보다 매우 불량한 수준으로 평가할 수 있다.

식물의 출현종수가 생태적 질을 대변하는 것이 아니라 조사지점의 식물 총 종수를 서로 비교하여 보면 비교적 오염되지 않은 W0지점에서 가장 많은 종이 출현하였고, 복개되었던 W1지역에서 식물의 서식환경이 열악하여 가장 적은 종이 출현하였다. 또한 이들 W0과 W1지점은 식물상이 크게 달라 유사도 지수가 0.012로 조사지점 중 가장 낮았다. 반면에 거리가 가까운 W2와 W3지역은 서로 매우 비슷한 환경으로 조사되어 유사도 지수가 0.446으로 가장 높았다(Table 3). 한편 W4지점은 중랑천 합류지점으로 하천의 크기가 크고 고수부지가 발달해 있어 W2, W3지역보다 많은 종이 출현하였다.

Table 3. Similarity ratio among investigation sections

Sections	W0	W1	W2	W3	W4
W0	0				
W1	0.012	0			
W2	0.074	0.162	0		
W3	0.093	0.122	0.446	0	
W4	0.216	0.043	0.198	0.227	0

3. 식생

W0은 인왕산에 인접하여 있기 때문에 산지 계곡의 특성을 가지며 수목의 출현빈도가 높았다. 교목층과 관목층에는 주로 아까시나무가 우점하며, 초본층에는 주로 담쟁이덩굴, 환삼덩굴, 주름조개풀 등이 분포하였다. 전체적으로는 계곡을 중심으로 아까시나무가 교목층에서 초본층까지 고루 분포하는 것으로 보아 아까시나무 군락이 한동안 이 지역의 대표 군락을 이룰 것으로 보인다. W0의 belt-transect 구간에서 2005년 확인된 종은 모두 34종이며, 방형구당 평균 출현 종수는 11.8종/m²이다. 주요 출현 종에는 개여뀌, 닭의장풀, 환삼덩굴 등이

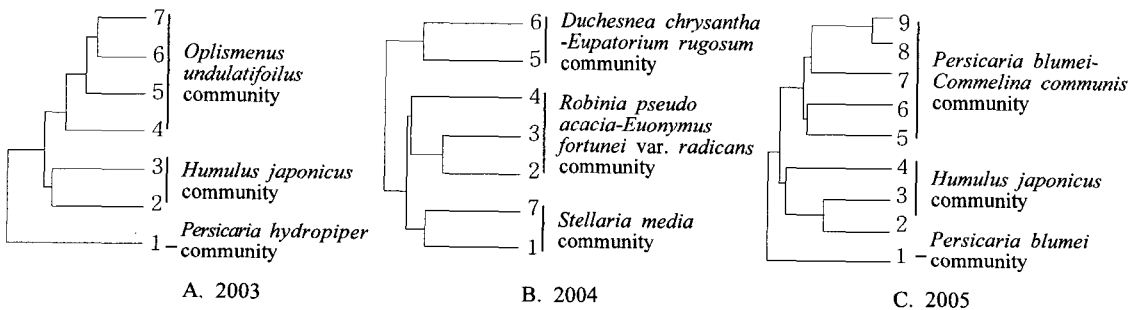


Figure 4. UPGMA cluster analysis at W0

있다(Appendix 4-A).

belt 조사결과를 이용하여 2005년도 W0지점의 UPGMA 식물 군집 분석을 하면 저수로 물로부터 가장 가까운 방형구 1m 이내의 지역에서는 개여뀌가, 2~4m 사이에서는 환삼덩굴이 군락을 이루고 있었다. 그리고 5~9m 사이의 지역에서는 개여뀌-닭의장풀이 우점군락을 형성하였다. 이러한 군집분석결과를 2003년, 2004년과 서로 견주어보면 물과 가까운 방형구에서 여뀌, 환삼덩굴, 별꽃군락이 우점하고 있었으며, 이러한 호습성 식물 및 환삼덩굴은 2005년에도 유지되고 있었다(Figure 4).

W1지역은 대부분 콘크리트와 거석으로 정비되어 식생이 매우 단순하였다. 한편, belt-transect 조사결과 출현종은 모두 식재종으로 갈대와 갯버들을 비롯한 5종이었으며 방형구당 평균 출현종수는 2.2종/m²이었다

(Appendix 4-B). 대상지점의 UPGMA 군집 분석 결과는 Figure 5와 같이 물과 가까운 방형구 1~3m 사이에는 갯버들-갈대가 식재되어 있었으며, 4~5m 지역에는 부처꽃-잔디가 군락을 이루었다. 공사 전-중에는 식생이 없었으므로 비교할 수 없었다.

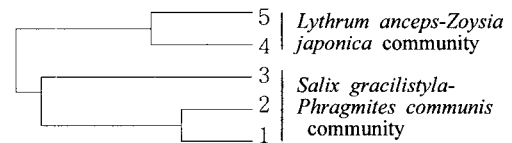


Figure 5. UPGMA cluster analysis: after stream restoration at W1

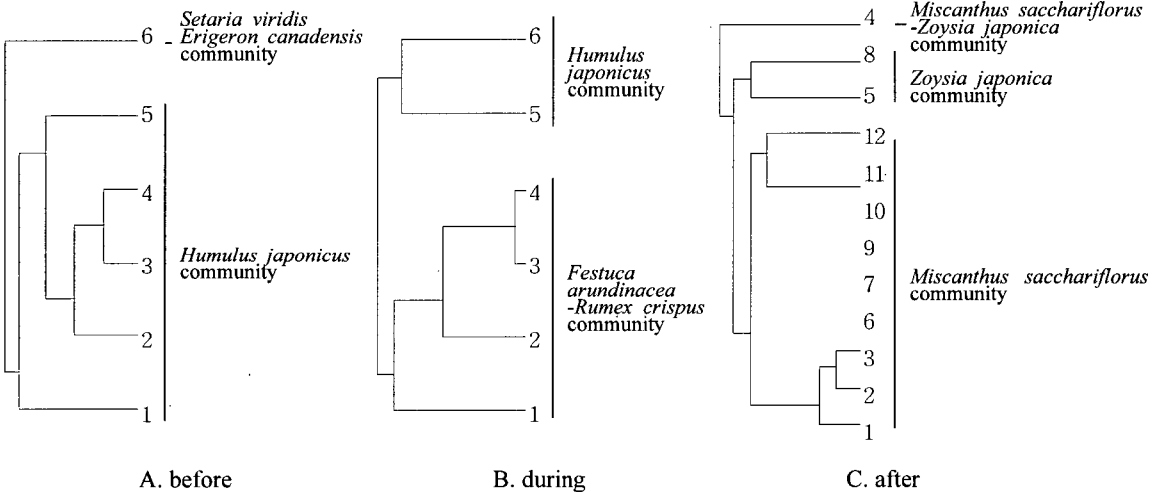


Figure 6. UPGMA cluster analysis at W2

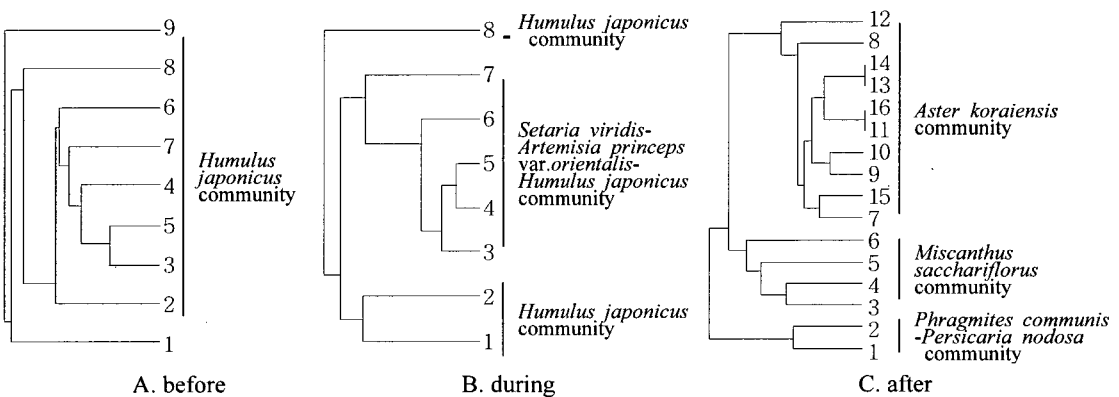


Figure 7. UPGMA cluster analysis at W3

W2의 공사후 출현 종은 물억새와 잔디를 비롯한 9종이며, 방형구당 평균 출현종수는 1.4종/m²이다(Appendix 4-C). UPGMA 군집분석 결과 저수로 물가에서 부터제방 끝까지 식재된 물억새 군락이며, 기타 물억새-잔디군락은 4번 방형구에서, 잔디군락은 5번과 8번 방형구에서 보이고 있다. 이것을 공사 전중의 결과와 비교하면 공사전과 중에는 저수로 주변에서 우점하였던 환삼덩굴과 큰김의털, 소리쟁이 군락이 공사 후에는 도입종인 물억새와 잔디군락으로 변화되었다(Figure 6).

W3지역에는 공사후 물억새, 갈대, 벌개미취 등의 28개종이 출현하였으며 방형구당 평균 출현종수는 4.8종/m²이었다(Appendix 4-D). 이 지점의 식물 군집분석 결과, 저수로 물과 가장 가까운 곳에는 갈대-큰개여뀌군락

이, 물로부터 3~6m에는 물억새군락, 물로부터의 거리 7m 이상에서는 벌개미취군락을 이루었다. 공사전과 비교하여 보면 환삼덩굴과 강아지풀 등과 같은 자생종들이 사라진 것이 공사 후의 가장 큰 변화이다. 그리고 물과 거리가 먼 방형구에도 식재종으로 담쟁이덩굴 및 벌개미취 등이 공사 후에 새롭게 군집을 이루어 공사전이나 중의 환삼덩굴 우점군락과는 대조를 보이였다(Figure 7).

공사후 W4지점의 방형구에서는 환삼덩굴, 강아지풀, 망초 등을 비롯한 56종의 식물이 확인되었으며, 방형구당 평균 출현 종수는 9.3종/m² 이다(Appendix 4-E). 식물군집의 분포는 Figure 8과 같이 물 가까이에는 환삼덩굴군락(d)과 그 외의 구간에서는 환삼덩굴-강아지풀군락(e)이 발달하고 있는데 이는 공사 전이나 중과 비교하

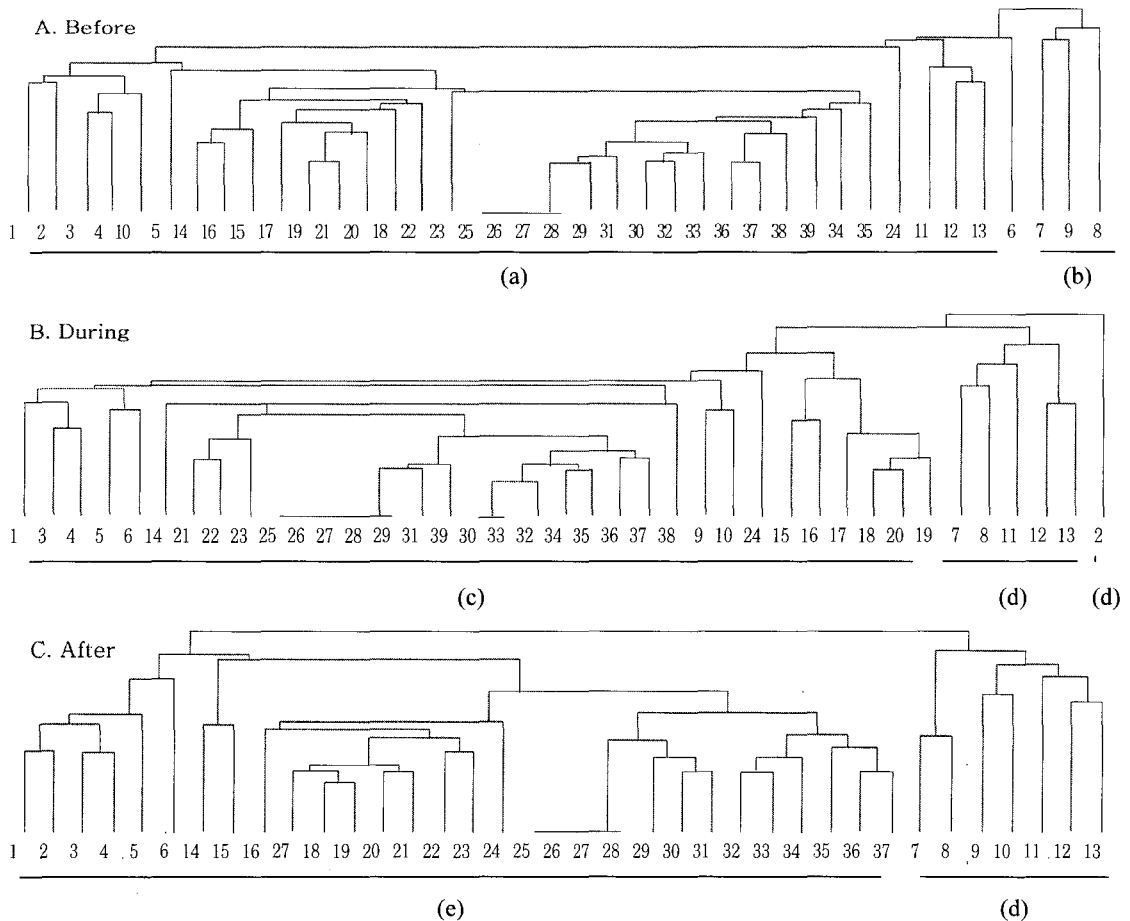


Figure 8. UPGMA cluster analysis at W4

(a)*Humulus japonicus*-*Erigeron canadensis* community, (b)*Erigeron canadensis* community, (c)*Humulus japonicus*-*Phragmites communis* community, (d)*Humulus japonicus* community, (e)*Humulus japonicus*-*Setaria viridis* community

Table 4. Changes in belt-transect results before, during and after restoration

Section / Year	Dominance Species	Total Species	Average Species Number	Immigrated Species(%)	Principal Species		
W0	2003	<i>Humulus japonicus</i>	23	6.9/m ²	3(13.0)	<i>Humulus japonicus</i> , <i>Oplismenus undulatifolius</i> , <i>Persicaria hydropiper</i> , <i>Duchesnea chrysantha</i>	
	2004	<i>Eupatorium rugosum</i>	23	4.9/m ²	3(13.0)	<i>Eupatorium rugosum</i> , <i>Duchesnea chrysantha</i> , <i>Robinia pseudo-acacia</i> , <i>Euonymus fortunei</i> var. <i>radicans</i>	
	2005	<i>Persicaria blumei</i>	34	11.8/m ²	7(20.6)	<i>Persicaria blumei</i> , <i>Commelina communis</i> , <i>Humulus japonicus</i> , <i>Stellaria aquatica</i>	
W1	Before	×	×	×	×	×	
	During	×	×	×	×	×	
	After	<i>Phragmites communis</i>	5	2.2/m ²	0(0)	<i>Phragmites communis</i> , <i>Salix gracilistyla</i>	
W2	Before	<i>Setaria viridis</i>	20	5.0/m ²	8(40.0)	<i>Setaria viridis</i> , <i>Stellaria aquatica</i> , <i>Eleusine indica</i>	
	During	<i>Humulus japonicus</i>	20	4.0/m ²	8(40.0)	<i>Humulus japonicus</i> , <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> , <i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	
	After	Main Channel	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	9	1.4/m ²	0(0)	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> , <i>Zoysia japonica</i>
		Tributary	×	×	×	×	×
W3	Before	<i>Humulus japonicus</i>	14	3.0/m ²	8(57.1)	<i>Humulus japonicus</i> , <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> , <i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	
	During	<i>Humulus japonicus</i>	28	5.1/m ²	9(32.1)	<i>Humulus japonicus</i> , <i>Echinochloa crus-galli</i> , <i>Setaria viridis</i> , <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	
	After	Main Channel	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	14	3.2/m ²	3(21.4)	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> , <i>Zoysia japonica</i> , <i>Phragmites communis</i>
		Tributary	<i>Aster koraiensis</i>	24	3.0/m ²	10(41.7)	<i>Aster koraiensis</i> , <i>Phragmites communis</i> , <i>Trifolium pratense</i>
W4	Before	<i>Humulus japonicus</i>	42	4.4/m ²	16(38.1)	<i>Humulus japonicus</i> , <i>Erigeron annuus</i> , <i>Erigeron canadensis</i> , <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i> , <i>Oenothera odorata</i>	
	During	<i>Humulus japonicus</i>	45	4.8/m ²	17(37.8)	<i>Humulus japonicus</i> , <i>Erigeron annuus</i> , <i>Erigeron canadensis</i> , <i>Setaria viridis</i> , <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	
	After	<i>Humulus japonicus</i>	26	9.3/m ²	21(37.5)	<i>Humulus japonicus</i> , <i>Setaria viridis</i> , <i>Erigeron canadensis</i> , <i>Digitaria sanguinalis</i> , <i>Erigeron annuus</i> , <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	

여 큰 변화가 없는 것이다. 특히 이 지역은 저수로 하안 공사는 새로 실시하였으나 새로운 하천식물을 도입시키지는 않았기 때문에 다른 공사구간과 다르게 도입된 하천식물류가 우점하지 않고 휴경지 및 길가식생으로 식생보전등급 1인 환삼덩굴이나 망초가 우점하는 특색을 계속 유지하고 있다.

전체 공사구간(W1~4)을 비교대상구간(W0)과 비교하면 W1, 2, 3지점은 방형구당 평균 출현 종수가 3.2/m² 이하로 W0의 11.8/m²이나 W4지점의 9.3/m²에 비하여 종 다양성이 매우 빈약하였다. 또한 W1, 2지점의 경우 아직까지 유입된 귀화식물이 없었으나, W3지점은 전체 출현종 중에서 21.4%가 본류에, 지류에서는 41.7%가 귀화종으로 나타났고, W4지점은 전체 종의 37.5%가 귀화종으로 분류되어 비교대상구간의 20.6%에 비하여 높은 귀화식물의 비율을 나타내었다. 특이사항으로는 W2, 3, 4지점의 공사 전과 중의 우점종은 주로 환삼덩굴

이었으나, 공사가 완료된 후에는 갈대, 물억새, 벌개미취와 같은 식재종으로 변화되었다. W4지점은 작년에 이어 올해도 환삼덩굴이 우점하고 있었으며 W0지점은 개여뀌가 우점종으로 나타났다(Table 4).

아울러 비교대상구간(W0)과 공사구간(W1~W4)의 UPGMA 군집 분석결과를 서로 비교하면 W0의 경우 저수로 가까이 형성된 군집은 2003년에서 2005년도에 걸쳐 변화가 미미하나 물과 거리가 멀어지는 방형구에서 2005년도에 들어 습한 곳을 지시하는 개여뀌-닭의장풀로 변화되었다(Figure 4). 한편, 공사구간의 경우는 공사전이나 중에는 환삼덩굴군락이 우점하였으나 공사 후에는 식재종인 잔디와 갈대군락으로 바뀌었다. 그러나 환삼덩굴군락이 여전히 넓게 분포하는 것으로 나타나 비교대상구간(W0)과 비교하여 공사구간이 보다 더 인위적 간섭이 심하다는 것을(황경부, 2004) 시사하고 있다(Figure 9).

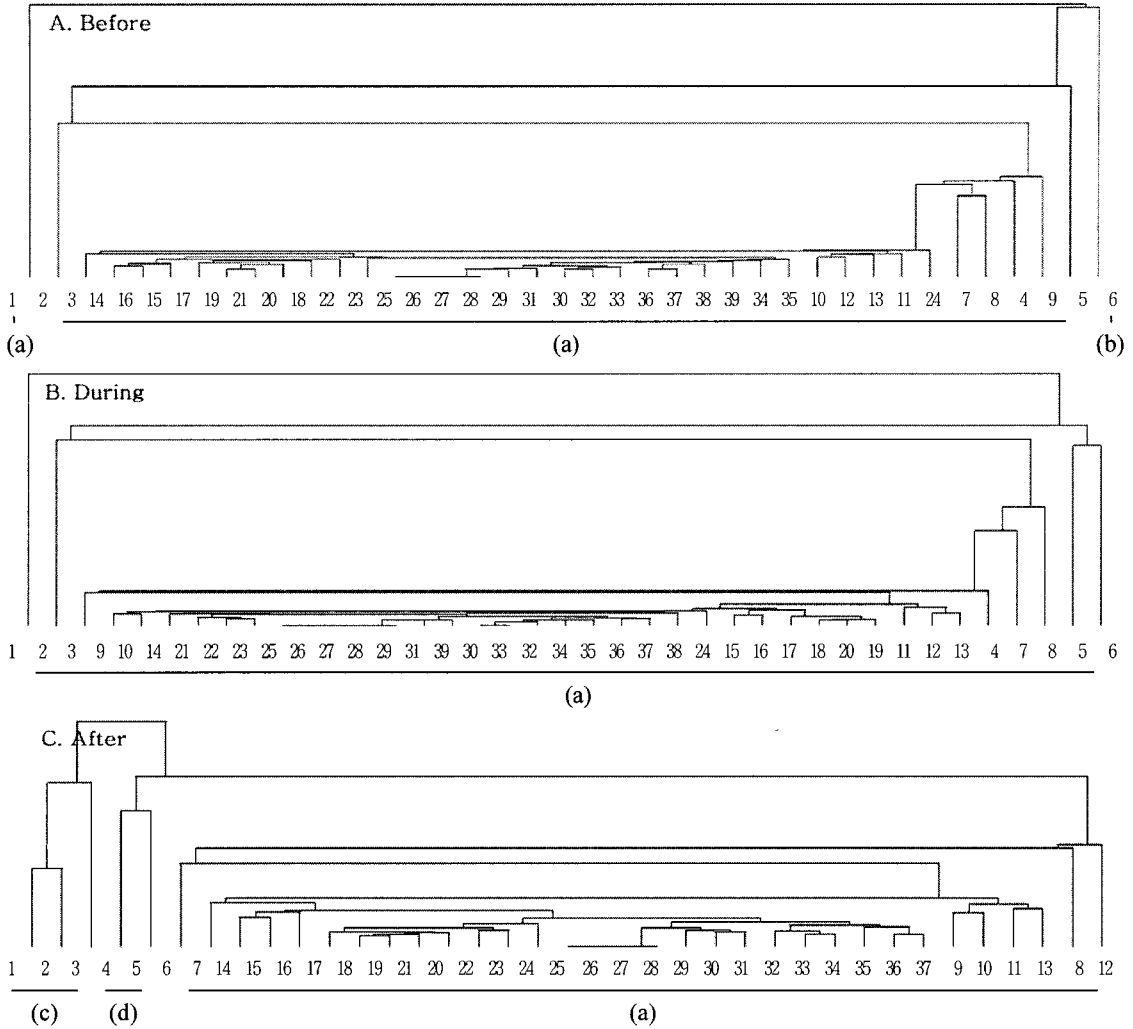


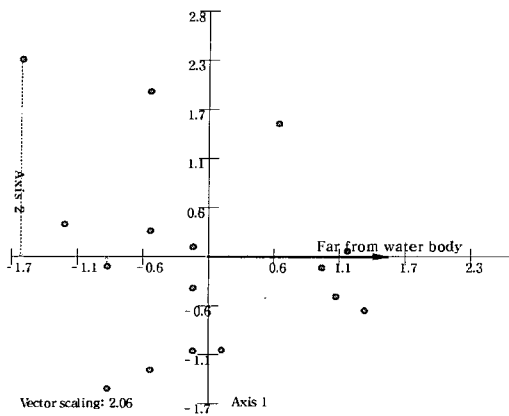
Figure 9. UPGMA cluster analysis at W1, W2, W3, W4

(a)*Humulus japonicus* community, (b)*Erigeron canadensis-Setaria viridis* community, (c)*Phragmites communis* community, (d)*Zoysia japonica* community

4. 저수로 물로 부터의 거리와 식물출현

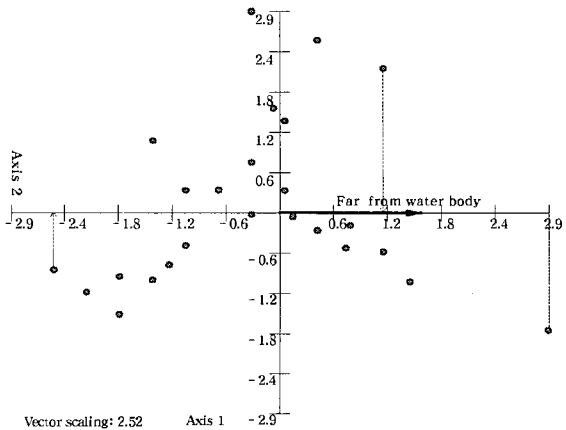
저수로 물로부터의 거리가 점차 멀어지면서 하천출현식물이 변하는 것을 분석하기 위하여 belt내의 출현종을 이용하여 상관성 분석을 실시하였다. 그 결과 비교대상구간(W0)의 경우 2003년이나 2005년에 저수로 물과 거리가 가까운 곳(좌표의 왼쪽)에서 더 많은 출현종이 있었으며, 그 순서는 주름조개풀, 국수나무, 돼지풀, 닭의장풀,.....줄사철, 뿌리뽕이 순이었다(Figure 10). 반면에 W1~4의 경우는 Figure 11에서와 같이 공사 전에는 냉이, 벌꽃, 개쑥갓 등의 호습성 자생식물들의 순서로 출현

하였고, 저수로 물과 가장 먼 곳에서는 나팔꽃, 실새삼, 개비름 등으로 나타났는데, 물과 거리가 멀어지면서(좌표 중앙에서 오른쪽) 종수가 증가하는 경향을 볼 수 있다. 또한 공사전에는 하천의 횡단상에서 식물의 횡적연속성이 단절되었으나, 공사 후에 종과 종의 거리는 넓은 폭이 나마 횡적인 연속성을 나타내고 있다. 비교대상구간과 공사구간의 두드러진 차이점은 공사구간의 경우 비교대상구간 보다 출현종은 많으나, 물가종 보다 오히려 물과 거리가 먼 종의 출현이 더 많았다.



Near water body(Left of the graph): *Ambrosia artemisiifolia* var. *elatio*>*Commelina communis*>*Microstegium vimineum*>*Perilla frutescens* var. *japonica*>*Setaria viridis*>*Stellaria media*>*Cardamine flexuosa*>*Euonymus japonica*>*Dioscorea batatas*>*Stephanandra incisa*>*Forsythia koreana*>*Viola verecunda*>*Eupatorium chinense* var. *simplicifolium*>*Persicaria hydropiper*>*Rhus chinensis*>*Duchesnea chrysantha*>*Robinia pseudo-acacia*>*Erigeron canadensis*>*Galium spurium*>*Asplenium incisum*>*Callicarpa japonica*>*Humulus japonicus*>*Parthenocissus tricuspidata*>*Oplismenus undulatifolius*>*Sedum sarmentosum*>*Ipomoea purpurea*>*Euonymus fortunei* var. *radicans* :**Far from water body(Right of the graph)**

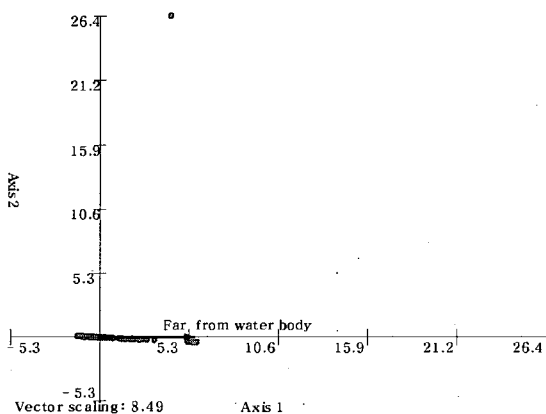
A. in 2003



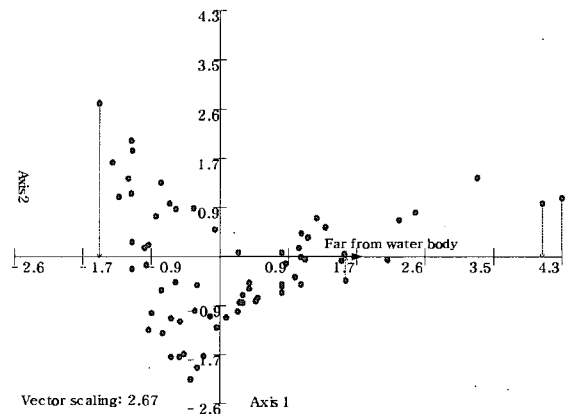
Near water body(Left of the graph): *Oplismenus undulatifolius*>*Stephanandra incisa*>*Dioscorea tokoro*>*Persicaria hydropiper*>*Rorippa indica*>*Pilea mongolica*>*Eupatorium rugosum*>*Erigeron annuus*>*Digitaria sanguinalis*>*Viola verecunda*>*Cardamine flexuosa*>*Robinia pseudo-acacia*>*Parthenocissus tricuspidata*>*Setaria viridis*>*Microstegium vimineum*>*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatio*>*Callicarpa japonica*>*Chelidonium majus* var. *asiaticum*>*Erigeron canadensis*>*Ipomoea purpurea*>*Humulus japonicus*>*Commelina communis*>*Galinsoga ciliata*>*Duchesnea chrysantha*>*Persicaria blumei*>*Weigela subsessilis*>*Perilla frutescens* var. *japonica*>*Rhus chinensis*>*Stellaria aquatica*>*Chenopodium album*>*Clematis aptifolia*>*Euonymus fortunei* var. *radicans*>*Persicaria perfoliata*>*Youngia japonica* :**Far from water body(Right of the graph)**

B. in 2005

Figure 10. Reference section(W0): Changes in plant species, depending on the distance from the low-flow channel to the levee



A. Before restoration



B. After restoration

Figure 11. Project sections(W1, 2, 3, 4): Changes in plant species, depending on the distance from the low-flow channel to the levee

Figure 11. (Continued)

Near water body(Left of the graph): *Capsella bursa-pastoris*>*Stellaria media*>*Senecio vulgaris*>*Rumex longifolius*>*Viola verecunda*>*Echinochloa crus-galli*>*Eleusine indica*>*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*>*Plantago asiatica*>*Lycium chinense*>*Cardamine flexuosa*>*Phalaris arundinacea*>*Aster subulatus*>*Lactuca scariola*>*Digitaria sanguinalis*>*Stellaria aquatica*>*Chenopodium album* var. *centrorubrum*>*Artemisia selengensis*>*Persicaria hydropiper*>*Potentilla paradoxa*>*Galium spurium*>*Callicarpa japonica*>*Calystegia japonica*>*Commelina communis*>*Sedum sarmentosum*>*Taraxacum officinale*>*Veronica persica*>*Agropyron tsukushiense* var. *transiens*>*Ambrosia trifida*>*Sonchus oleraceus*>*Dactylis glomerata*>*Rorippa indica*>*Trigonotis peduncularis*>*Setaria viridis*>*Chelidonium majus* var. *asiaticum*>*Acalypha australis*>*Metaplexis japonica*>*Artemisia princeps* var. *orientalis*>*Rumex crispus*>*Lolium perenne*>*Youngia sonchifolia*>*Youngia japonica*>*Galinsoga ciliata*>*Cyperus amuricus*>*Corydalis speciosa*>*Festuca ovina*>*Ailanthus altissima*>*Platanus occidentalis*>*Salix koreensis*>*Humulus japonicus*>*Avena fatua*>*Festuca arundinacea*>*Erigeron annuus*>*Agropyron ciliare*>*Oenothera odorata*>*Erigeron canadensis*>*Phragmites communis*>*Coreopsis lanceolata*>*Euonymus japonica*>*Trifolium repens*>*Robinia pseudo-acacia*>*Potentilla fragarioides* var. *major*>*Miscanthus sinensis* var. *purpurascens*>*Lepidium apetalum*>*Persicaria perfoliata*>*Cuscuta australis*>*Amaranthus lividus*>*Cosmos bipinnatus*>*Bidens bipinnata*>*Eragrostis curvula*>*Pharbitis nil* :Far from water body(Right of the graph)

Near water body(Left of the graph): *Solanum nigrum*>*Veronica linariaefolia*>*Perilla frutescens* var. *japonica*>*Iris pseudoacorus*>*Panicum dichotomiflorum*>*Phalaris arundinacea*>*Salix gracilistyla*>*Persicaria nodosa*>*Aster subulatus* var. *sandwicensis*>*Chenopodium album*>*Portulaca oleracea*>*Bidens frondosa*>*Miscanthus sacchariflorus*>*Bromus japonicus*>*Amaranthus retroflexus*>*Lythrum anceps*>*Cuscuta australis*>*Lactuca indica* var. *laciniata*>*Stellaria aquatica*>*Echinochloa crus-galli*>*Zoysia japonica*>*Phragmites communis*>*Trifolium pratense*>*Artemisia selengensis*>*Rumex crispus*>*Commelina communis*>*Campsis grandiflora*>*Metaplexis japonica*>*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*>*Cucurbita moschata*>*Rosa multiflora*>*Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*>*Sonchus oleraceus*>*Agropyron ciliare*>*Youngia sonchifolia*>*Lycium chinense*>*Oxalis corniculata*>*Equisetum arvense*>*Taraxacum officinale*>*Aeschynomene indica*>*Parthenocissus tricuspidata*>*Aster koraiensis*>*Digitaria sanguinalis*>*Galinsoga ciliata*>*Parthenocissus quinquefolia*>*Oenothera odorata*>*Ailanthus altissima*>*Bidens bipinnata*>*Acalypha australis*>*Setaria glauca*>*Abutilon avicennae*>*Cyperus amuricus*>*Aster pilosus*>*Chelidonium majus* var. *asiaticum*>*Trifolium repens*>*Youngia japonica*>*Erigeron annuus*>*Artemisia princeps* var. *orientalis*>*Erigeron canadensis*>*Coreopsis lanceolata*>*Humulus japonicus*>*Lactuca scariola*>*Cosmos bipinnatus*>*Setaria viridis*>*Lepidium apetalum*>*Persicaria perfoliata*>*Festuca arundinacea*>*Pharbitis nil*>*Amaranthus lividus*>*Quamoclit angulata*>*Pennisetum alopecuroides*>*Viola mandshurica*>*Forsythia koreana* :Far from water body(Right of the graph)

5. 식물출현과 수질과의 상관성

저수로 물로부터 3m 이내의 모든 출현종과 수질조사 결과 중에서 총질소(T-N), 총인(T-P) 및 용존산소(DO), BOD₅의 농도(2003년 6월~2005년 11월 사이의 측정치)를 CCA 분석에 이용할 결과 대입한 요소 중 DO가 식물의 분포에 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다. 특히

가시상치, 가중나무, 갈풀, 구기자나무, 물쭉, 실새삼, 작살나무, 참새귀리, 털별꽃아재비의 9종이 속한 A그룹은 T-N과 T-P가 높고, DO가 낮은 것과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 그러나 대부분의 종은 상관성이 약한 것으로 분석되었다. 따라서 수질과 조사구간의 식물 출현성은 일반적으로 밀접한 관련성을 나타낸다고 보기는 어렵다(Figure 12).

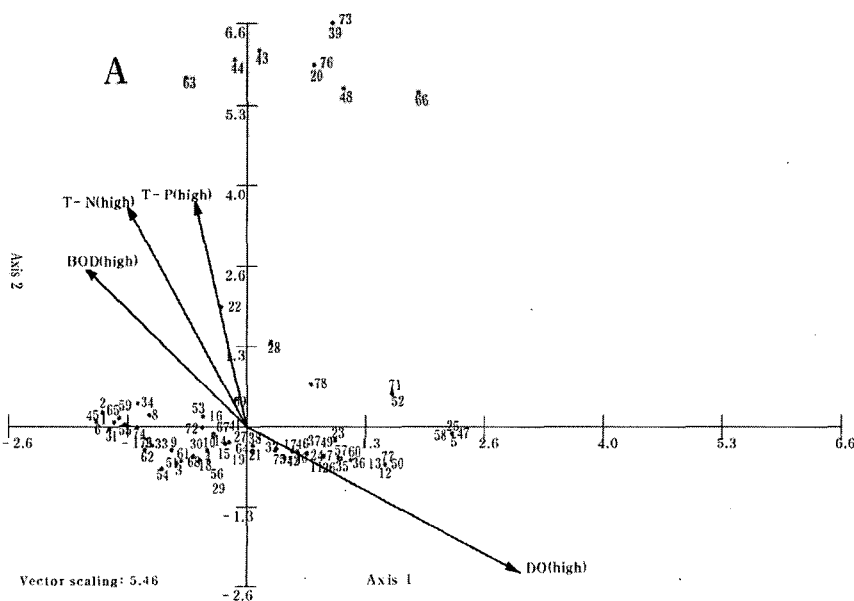


Figure 12. Relations between emerged plants and water quality variables, which was obtained from CCA

Figure 12. (Continued)

A: 20: *Phalaris arundinacea*, 39: *Callicarpa japonica*, 43: *Artemisia selengensis*, 44: *Lycium chinense*, 48: *Bromus japonicus*, 63: *Galinsoga ciliata*, 66: *Cuscuta australis*, 73: *Ailanthus altissima*, 76: *Lactuca scariola*

Others: 1: *Capsella bursa-pastoris*, 2: *Senecio vulgaris*, 3: *Rumex longifolius*, 4: *Solanum nigrum*, 5: *Veronica linariaefolia*, 6: *Eleusine indica*, 7: *Physocarpus amurensis*, 8: *Persicaria nodosa*, 9: *Panicum dichotomiflorum*, 10: *Iris pseudoacorus*, 11: *Carex humilis*, 12: *Pilea mongolica*, 13: *Xanthium strumarium*, 14: *Cardamine flexuosa*, 15: *Perilla frutescens* var. *japonica*, 16: *Stellaria media*, 17: *Dioscorea batatas*, 18: *Ambrosia artemisiifolia* var. *elatiior*, 19: *Eupatorium chinense* var. *simplicifolium*, 21: *Persicaria hydropiper*, 22: *Aster subulatus*, 23: *Viola verecunda*, 24: *Weigela subsessilis*, 25: *Salix gracilistyla*, 26: *Microstegium vimineum*, 27: *Asplenium incisum*, 28: *Aster subulatus* var. *sandwicensis*, 29: *Portulaca oleracea*, 30: *Bidens frondosa*, 31: *Plantago asiatica*, 32: *Galium spurium*, 33: *Echinochloa crus-galli*, 34: *Chenopodium album* var. *centrorubrum*, 35: *Eupatorium rugosum*, 36: *Rorippa indica*, 37: *Robinia pseudo-acacia*, 47: *Lythrum anceps*, 38: *Duchesnea chrysantha*, 40: *Oplismenus undulatifolius*, 41: *Euonymus japonica*, 42: *Commelina communis*, 45: *Potentilla paradoxa*, 46: *Rhus chinensis*, 49: *Euonymus fortunei* var. *radicans*, 50: *Persicaria blumei*, 51: *Sedum sarmentosum*, 52: *Chenopodium album*, 53: *Stellaria aquatica*, 54: *Lactuca indica* var. *laciniata*, 55: *Rumex crispus*, 56: *Amaranthus retroflexus*, 57: *Parthenocissus tricuspidata*, 58: *Zoysia japonica*, 59: *Taraxacum officinale*, 60: *Eupatorium rugosum*, 61: *Miscanthus sacchariflorus*, 62: *Acalypha australis*, 64: *Forsythia koreana*, 65: *Artemisia princeps* var. *orientalis*, 67: *Digitaria sanguinalis*, 68: *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*, 69: *Humulus japonicus*, 70: *Amaranthus lividus*, 71: *Phragmites communis*, 72: *Setaria viridis*, 74: *Festuca arundinacea*, 75: *Erigeron annuus*, 77: *Persicaria perfoliata*, 78: *Erigeron canadensis*

결론

청계천 공사 전·중·후에 대한 수질과 식물 및 식생에 대한 규칙적인 모니터링결과 청계천의 수질은 공사 후에 한강수와 지하철 역사의 물을 흘리면서 BOD₅가 공사 전 평균 51.1mg/L에서 공사 후 3.3mg/L로 BOD₅기준의 청계천 수질등급은 공사 전 등급 외에서 3등급으로 상승되었다. 아울러 다른 주요 수질항목에서도 예를 들면 용존산소량(DO)은 증가하고, 부유물질(SS)을 비롯한 대장균수, COD의 농도들이 크게 감소한 것으로 나타났다. 식물상 조사결과는 공사구간(W1~4)에서 공사 전 121종에서 공사 후에는 132종으로 다소 증가한 것으로 관찰되었다. 그리고 이 종들의 51.5%는 1, 2년초이였으며, 다년생 초본류는 35.6%, 목본류는 12.8%로서 초본류의 출현이 많았다. 특히 공사후 다년초의 비율이 공사 전 24.8%에서 35.6%로 10.8% 증가한 것이 큰 변화라고 할 수 있다. 이는 공사후 도입된 식재종이 조사에 포함된 까닭이다. 식생의 경우는 식재된 갈대군락과 잔디군락이 공사전과 비교하여 달라진 것이나, 공사 후에도 여전히 식생보전등급 1에 해당하는 환삼덩굴과 망초군락(환경부, 2004)이 가장 큰 군락을 형성하고 있었다. 따라서 공사후의 식물과 식생으로 본 하천의 생태성은 수질에서처럼 아직까지 양호하다고 평가하기 어렵다. 그리고 공사구간의 수질과 식물 및 식생조사결과를 비교대상구간(W0)과 비교하여 보면 비교대상구간은 BOD₅기준 수질 1등급이며 식물종은 총 154종이 관찰되어 공사구간 보다 출현종이 많았으며 전체의 45.5%가 목본류이였으며, 귀화종의 비율도 비교대상구간은 13%로 낮은 편이나 공사구간은 28.8%로서 큰 대조를 이루고 있다. 따라서 아직까지는 공사구간이 비교대상구간 보다 생태적으로 떨어지는 것으로 볼 수 있다. 그러나 하천공사의 경우

다른 조경이나 토목공사와 다르게 하천의 발전성이 일반적으로 매우 더디게 진행되어지기 때문에 그 효과도 더디게 나타나서(Krause, 2000) 현재와 같이 단기적 조사만으로는 아직은 그 효과성을 평가하기 어렵다고 본다. 아울러 하천의 유지관리나 인위적, 자연적 교란 등도 조성효과를 정확하게 파악하는데 큰 어려움으로 작용할 것으로 예상된다. 따라서 공사의 효과성에 대하여는 좀 더 많은 시간이 흐른 후에야 평가가 가능할 것으로 생각하며 다른 종류의 모니터링도 병행되어야 할 것으로 사료된다.

인용문헌

- 건교부(2002) 자연친화적 하천정비기법의 개발, 494쪽
고경식, 김윤식(1989) 원색한국식물도감. 아카데미서적, 500쪽
국립환경과학원(2006) 한국의 외래식물 종합검색시스템. <http://alienplant.nier.go.kr/kor/html/intro01.html>
박수현(1999) 한국귀화식물원색도감. 일조각, 371쪽.
이영노(1996) 원색한국식물도감. 교학사, 1237쪽.
이창복(1985) 대한식물도감. 향문사, 990쪽.
이창복(2003) 원색대한식물도감, 상·하. 향문사, 1928쪽.
임양재와 전의식(1980) 한반도의 귀화식물분포. 한국식물분류학회지 11: 43-52.
서울특별시(2003) 청계천복원하천정비기본계획(복개구간), 427쪽.
수자원의 지속적확보기술개발사업단(2006) 청계천 복원공사 모니터링 및 물순환 해석 기술적용. 연차점검보고서, 182쪽.
환경부(1999) 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발 Vol. II, 410쪽.
환경부(2002) 국내여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발, 583

- 쪽,
 환경부(2004) 생태자연도 활용에 있어서 식생보전 등급 적용 방안 연구, 165쪽.
- Boewing, F., Doerfer, K., Gerken, B., Leushacke, C.(1995) Foerderung dynamischer Vorgaenge in einer Flussaeue dargestellt am Beispiel des Erprobungs-Entwicklungsvorhabens "Oberweserniederung". In: Niedersaechsisches Landesamt fuer Oekologie(Hrsg.), Fliessgewaesserrenaturierung in der Praxis. 157-172.
- Bunzel-Drucke, M. & Scharf, M.(2000) Oekologisches Monitoring in der Klostermensch am Beispiel der Fischfauna. In: Bundesamt f. Naturschutz(Hrsg.): Angewandte Landschaftsoekologie. H. 37. 163-175.
- Harnischmacher, S., Zepp, H.(2000) Der Bokumer Lottenbach-Renaturierung und morphologische Eigendynamik. In: BfN. 187-197.
- Kappus B., Maier S., Langer H., Rahmann H.(2000) Effizienzkontrollen der Biotopmassnahmen in der Jagsttal-Aue zwischen Berlichtungen und Mulfingen (Landkreis Hohenlohe, Baden-Wuerttemberg)-Erste Ergebnisse. In: Bundesamt f. Naturschutz (Hrsg.): Angewandte Landschaftsoekologie. H. 37. 295-299.
- Kovach Computing Services(2003) MVSP(Multi Variate Statistical Package) Ver. 3.1.
- Krause A.(2000) Ueber Motive fuer die oekologische Verbesserung von Wasserlaeufen. In: Bundesamt f. Naturschutz(Hrsg.): Angewandte Landschaftsoekologie. H. 37: 9-11.
- LAWA(=Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser(2000) Gewaesserstrukturguetekartierung in der BRD. 1. Auf. Schwerin, 145pp.
- LfU(Landesanstalt f. Umweltschutz Baden-Wuerttemberg) (1995) Naturnahe Umgestaltung von Fliessgewaessern. Handbuch Wasser 2. Teil III: Dokumentation der Entwicklung ausgewaehlter Pilotvorhaben. Erste Zwischenergebnisse der Erfolgskontrolle. Karlsruhe, 130pp.
- Reich, M.(1994) Dauerbeobachtung, Leitbilder und Zielarten-Instrumente fuer Effizienzkontrollen des Naturschutzesches -Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz 40: 103-111.
- Reusch, H., Otto, C-J., Peters, A.(1995) Kontrolluntersuchungen zur oekologischen Effizienz von Sohlgleiten. In: Niedersaechsisches Landesamt fuer Oekologie (Hrsg.), Fliessgewaesserrenaturierung in der Praxis. 139-156.
- SPSS Inc.(2004) SPSS 13.0 for Windows Release 13.0.
- Traxler, A.(1997) Handbuch des Vegetationsoekologischen Monitoring. Methoden, Praxis, angewandteProjekte. Teil A: Methoden. Wien, 393pp.
- Tremp, H.(2005) Aufnahme und Analyse vegetationsoekologischer Daten. Stuttgart, 141pp.
- www.sfwmd/gov/kissimmee

Appendix 1. List of flora in investigation sections (2005)

Scientific Name	Reference Section			Project Sections							Life Form	Note					
	W0			W1		W2		W3		W4			Integration (W1,2,3,4)				
	Jun.	Aug.	Total	Jun.	Aug.	Total	Jun.	Aug.	Total	Jun.			Aug.	Total	Jun.	Aug.	Total
속새과 Equisetaceae																	
쇠뜨기 <i>Equisetum arvense</i>										•	•	•	•	•	•	H	
고사리과 Pteridaceae																	
고사리 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	•	•	•														H
은행과 Ginkgoaceae																	
은행나무 <i>Ginkgo biloba</i>	•	•	•													P	•
주목과 Taxaceae																	
주목 <i>Taxus cuspidata</i>	•	•	•													P	•
소나무과 Pinaceae																	
소나무 <i>Pinus densiflora</i>	•	•	•													P	•
잣나무 <i>Pinus koraiensis</i>	•	•	•													P	•
리기다소나무 <i>Pinus rigida</i>	•	•	•													P	
스트로브잣나무 <i>Pinus strobus</i>	•	•	•													P	
측백나무과 Cupressaceae																	
편백 <i>Chamaecyparis obtusa</i>	•	•	•													P	*
가이스카향나무 <i>Juniperus chinensis</i> var. <i>kaizuka</i>	•	•	•													P	*
버드나무과 Salicaceae																	
갯버들 <i>Salix gracilistyla</i>				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	NP	•
버드나무 <i>Salix koreensis</i>							•	•	•	•	•	•	•	•	•	P	
자작나무과 Betulaceae																	
물오리나무 <i>Alnus hirsuta</i>	•	•	•													P	
오리나무 <i>Alnus japonica</i>	•	•	•													P	
참나무과 Fagaceae																	
밤나무 <i>Castanea crenata</i>	•	•	•													P	*
갈참나무 <i>Quercus aliena</i>	•	•	•													P	
상수리나무 <i>Quercus acutissima</i>	•	•	•													P	
굴참나무 <i>Quercus variabilis</i>	•	•	•													P	
느릅나무과 Ulmaceae																	
느티나무 <i>Zelkova serrata</i>	•	•	•							•	•	•	•	•	•	P	*
뽕나무과 Moraceae																	
뽕나무 <i>Morus bombycis</i>	•	•	•													NP	
삼과 Cannabinaceae																	
환삼덩굴 <i>Humulus japonicus</i>	•	•	•							•	•	•	•	•	•	T	
쐨기풀과 Urticaceae																	
모시물통이 <i>Pilea mongolica</i>	•	•	•													T	
마디풀과 Polygonaceae																	
닭의정갈 <i>Bilderdykia dumetora</i>			•			•										T	○
개여뀌 <i>Persicaria blumei</i>	•	•	•													T	
여뀌 <i>Persicaria hydropiper</i>	•	•	•			•			•						•	T	
큰개여뀌 <i>Persicaria nodosa</i>	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T	
머느리베풀 <i>Persicaria perfoliata</i>	•	•	•							•	•		•	•	•	T	
마디풀 <i>Polygonum aviculare</i>	•	•	•							•	•	•	•	•	•	T	
소리쟁이 <i>Rumex crispus</i>	•	•	•						•	•	•	•	•	•	•	H	○
참소리쟁이 <i>Rumex japonicus</i>	•	•	•							•	•	•	•	•	•	H	
개대황 <i>Rumex longifolius</i>	•	•	•													H	
명아주과 Chenopodiaceae																	
흰명아주 <i>Chenopodium album</i>	•	•	•			•				•	•	•	•	•	•	T	○
명아주 <i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	•	•	•							•	•	•	•	•	•	T	
좁명아주 <i>Chenopodium ficifolium</i> Smith						•	•	•		•	•	•	•	•	•	T	○
비름과 Amaranthaceae																	
쇠무릎 <i>Achyranthes japonica</i>	•	•	•							•	•	•	•	•	•	H	
개비름 <i>Amaranthus lividus</i>						•	•	•		•	•	•	•	•	•	T	○
털비름 <i>Amaranthus retroflexus</i>									•	•	•	•	•	•	•	T	○

Appendix 1. (Continued)

Scientific Name	Reference Section			Project Sections												Life Form	Note			
	W0			W1			W2			W3			W4					Integration (W1,2,3,4)		
	Jun.	Aug.	Total	Jun.	Aug.	Total	Jun.	Aug.	Total	Jun.	Aug.	Total	Jun.	Aug.	Total			Jun.	Aug.	Total
질경이과 Plantaginaceae																				
질경이 <i>Plantago asiatica</i>	●	●	●													●	●	●	H	
꼭두서니과 Rubiaceae																				
갈퀴덩굴 <i>Galium spurium</i>		●	●																T	
인동과 Caprifoliaceae																				
인동 <i>Lonicera japonica</i>	●		●																C	
떡콩나무 <i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>	●	●	●																NP	
병꽃나무 <i>Weigela subsessilis</i>	●	●	●																NP	
물피 Echinochloa crus-galli var. <i>oryzicola</i>																				
왕바랭이 <i>Eleusine indica</i>							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	T	
큰김의털 <i>Festuca arundinacea</i>													●	●	●	●	●	●	H	○
김의털 <i>Festuca ovina</i>	●		●																H	
나도바랭이새 <i>Microstegium vimineum</i>	●	●	●																T	
물억새 <i>Miscanthus sacchariflorus</i>							●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	H	*
억새 <i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i>	●	●	●																H	
주름조개풀 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	●	●	●																H	
미국개기장 <i>Panicum dichotomiflorum</i>							●	●		●	●		●	●		●	●		T	○
수크령 <i>Pennisetum alopecuroides</i>										●	●		●	●		●	●		H	*
갈풀 <i>Phalaris arundinacea</i>													●	●		●	●		H	
갈대 <i>Phragmites communis</i>				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	H	
새포아풀 <i>Poa annua</i>	●		●																T	
금강아지풀 <i>Setaria glauca</i>	●	●					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	T	
강아지풀 <i>Setaria viridis</i>	●	●					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	T	
기름새 <i>Spodiopogon cotulifer</i>	●		●																H	
큰기름새 <i>Spodiopogon sibiricus</i>		●	●																H	
솔새 <i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i>		●	●																H	
줄 <i>Zizania latifolia</i>							●	●		●	●					●	●		H	*
잔디 <i>Zoysia japonica</i>				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	H	*
사초과 Cyperaceae																				
산거울 <i>Carex humilis</i>	●		●																H	
괭이사초 <i>Carex neurocarpa</i>													●	●	●	●	●	●	H	
방동사니 <i>Cyperus amuricus</i>		●	●										●	●		●	●		T	
개구리밥과 Lemnaceae																				
좁개구리밥 <i>Lemna paucicostata</i>													●	●	●				H	
닭의장풀과 Commelinaceae																				
닭의장풀 <i>Commelina communis</i>	●	●	●							●	●	●	●	●	●	●	●	●	T	
백합과 Liliaceae																				
참나리 <i>Lilium tigrinum</i>	●	●	●				●	●								●	●		H	*
맥문동 <i>Liriope platyphylla</i>	●	●	●																H	*
비비추 <i>Hosta longipes</i>	●	●	●																H	*
옥잠화 <i>Hosta plantaginea</i>										●	●	●				●	●	●	H	*
마과 Dioscoreaceae																				
마 <i>Dioscorea batatas</i>	●	●	●																H	
도꼬로마 <i>Dioscorea tokoro</i>		●	●																H	
붓꽃과 Iridaceae																				
노랑꽃창포 <i>Iris pseudoacorus</i>							●	●	●	●	●	●				●	●	●	H	*
홍초과 Musaceae																				
홍초 <i>Canna generalis</i>													●	●		●	●		H	◎

* Life form: T; Annual/Biennial Plant, H; Herbaceous Perennial Plant, P; Tree, NP; Shrub, C; Woody-Stemmed Climber, Note: ◎; Immigrated, ●; Planted

Appendix 4. Results from belt-transect in investigation sections (2005)

