

도시 하천 양재천에서 복원후 하안식생의 변화

조형진* / 우효섭** / 이진원*** / 조강현****⁺

Changes in Riparian Vegetation After Restoration in a Urban Stream, Yangjae Stream

Hyung-Jin Cho / Hyoseop Woo / Jinwon Lee / Kang-Hyun Cho****⁺

요약 : 서울 남동부에 위치한 도시하천인 양재천의 복원구간에서 7년간 식물상과 식생 분포 및 구조의 변화를 모니터링하였다. 1998년 가을부터 1999년 봄까지 복원구간에서 다양한 친자연 하천복원기법이 채택되어 시공되었다. 복원시공 7년후에 복원구간의 식물종수와 다양도지수는 비복원구간보다 높았다. 그러나 1999-2001년 사이의 복원후 초기단계로부터 복원후 7년까지는 다양도지수는 감소하였다. 우점종은 황무지식물인 환삼덩굴로부터 다년생인 갈대로 변화하였다. 복원공사에 의하여 새로 형성된 교란지에 식재되거나 도입된 종과 외래 혹은 황무지 식물이 복원공사 후 감소됨에 따라서 주요인분석의 결과에서 복원후 초기와 7년후 식물상 구조가 뚜렷이 구분되었다. 복원 시공 후에 시간이 경과함에 따라서 환삼덩굴과 망초 군집의 분포면적은 감소하였고 갈대와 물억새 군집의 면적이 증가하였다. 식물 군집의 DCA(detrended correspondence analysis) 결과에서 복원공사후 교란된 식생에서 안정된 자연식생으로 변화하였다. 복원구간에서 총 7종의 버드나무가 발견되었는데, 이중 2종은 식재된 것이고 나머지는 자연적으로 유입된 것이었다. 모니터링 결과로부터 양재천 복원구간에서 식물상과 식생 구조는 성공적으로 회복이 되었으며 이 구간이 도시하천에서 하천복원의 모델 장소가 될 수 있다고 판단되었다.

핵심용어 : 식물상, 모니터링, 하천복원, 식생도, 식생구조

Abstract : The changes in flora and distribution and structure of vegetation were monitored for seven years at a restored reach of an urban stream, the Yangjae Stream, southeast of Seoul, Korea. In the restored reach, diverse kinds of the close-to-nature stream restoration techniques were adapted and implemented in the winter of 1998-1999. The species numbers and diversity indices of riparian plants at the restored reach were higher than those at the unrestored reach seven years after the restoration implementation. But plant diversity was decreased from the early restoration stage of 1999 - 2001 to seven years after the implementation. The dominant species changed from a ruderal annual, *Humulus japonicus*, to a perennial, *Phragmites australis*. The floral structure was distinctly different between in the early stage and seven years later on the results of principal component analysis (PCA) because of decreasing in numbers of exotic or ruderal species and planted or introduced plants in newly disturbed habitats. The distribution areas of communities of *Humulus japonicus* and *Erigeron annuus* were decreased and those of communities *Phragmites australis* and *Miscanthus sacchariflorus* were increased after the restoration implementation. The results of detrended correspondence analysis (DCA) of plant communities revealed that the community structure were changed from the disturbed vegetations to the stable and natural vegetation after the restoration implementation. Total seven species of willows were found at the restored reach, of which two species were planted and the others were naturally introduced. The monitoring results showed that the stream ecosystem of the study reach were successfully recovered in flora and vegetation and could be used as a model site for the stream restoration in urban streams.

Keywords : Flora, Monitoring, Stream restoration, Vegetation map, Vegetation structure

+ Corresponding author : khcho@inha.ac.kr

* 비회원 · 인하대학교 생명과학과 박사과정

** 정회원 · 한국건설기술연구원 공학박사

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 공학박사

**** 정회원 · 인하대학교 생명과학과 교수

1. 서 론

하안식생(riparian vegetation)은 하천에서 수체와 인접한 곳에서 주기적 혹은 영속적인 범람에 영향을 받는 식물군집으로서 육상생태계와 수중생태계의 전이대에 위치한다(Naiman and Decamps, 1997). 하천생태계에서 식생은 생물다양성 유지, 수문조절, 수질정화, 하안보호, 경관미증대 등의 다양한 기능을 수행하고 있다(Mitsch and Gosselink, 2000). 그러나 지금까지 하천의 자연적 기능을 도외시하고 공학적 기능만을 강조한 하천정비와 토지이용 제고에 의하여 하안식생은 분포면적이 감소되었을 뿐만 아니라 잔존 식생의 구조와 기능도 매우 교란된 상태에 놓여있다(조강현, 2000).

우리나라에서는 경제성장과 국민 생활의 향상으로 점차 하천에 대한 관심이 높아지면서 훼손된 하천을 친자연적으로 정비하려는 노력이 점차 증가하였다. 1990년대에 들어 하천의 환경적 기능을 고려하는 하천 정비와 관리에 대한 연구가 시작되었고, 적극적으로 훼손된 하천의 환경 기능을 회복시킬 수 있는 공법에 대한 연구가 진행되었다(우효섭·박재로, 2000). 서울시 서초구 우면동에 위치한 양재천의 하천 복원구간은 우리나라에서 초기에 하천복원 사업을 시행한 대표적인 장소이다. 1999년에 환경부의 G7과제에 의하여 이 하천 구간에서 다양한 하천복원 공법이 적용되었다(한국건설기술연구원, 2000). 이로부터 7년이 경과하는 동안 이곳의 지형과 식생이 공법적용 직후에 비하여 크게 변화하였다. 현재 이곳은 하천 자연 환경이 회복되어 많은 생물의 서식지가 되고 있을 뿐만 아니라, 시민이 하천을 즐길 수 있는 친수 공간으로서 기능을 훌륭히 수행하고 있다.

하천 복원 사업을 성공적으로 완성하기 위해서는 모니터링, 평가 및 적응관리(adaptive management)가 복원 계획의 실행에 이어 필수적으로 수행되어야 한다(FISRWG, 1998). 역동적인 하천 생태계에 대하여 지속적으로 자료를 축적하는 모니터링은 하천의 적합한 적응관리 방안을 도

출하기 위한 수단을 제공한다(환경부, 2002). 모니터링에서 얻어진 정보를 바탕으로 당초의 복원 계획과 목표에 따라서 시공이 잘 이루어졌는지를 평가하여야 한다. 이 평가에 따라서 예측하지 못했던 문제를 찾아내고 시공 중이나 후에 계획을 중도 수정을 하게 된다. 즉 대부분의 복원과정에서 지소에 적합한 적응관리가 반드시 필요하다(환경부, 2002).

우리나라에서 하천복원에 대한 모니터링, 평가 및 적응관리는 아직 체계적으로 이루어지지 못하고 있다. 하천 복원 시공에 따른 식생 모니터링은 형식적으로는 빈번히 이루어지고 있지만 이에 대한 체계적으로 보고된 경우는 드물다. 양재천의 학여울 구간에서는 다양한 자연형 저수로 호안공법을 적용한 후에 정수식물을 중심으로 모니터링하여 적용 공법을 평가하였다(최정권, 1997). 또한 이곳에서 모니터링을 통하여 하천 복원 후 1년생 식생에서 갈대의 다년생 식생으로 변화하였음이 밝혀졌다(신정이, 1999). 이와 유사하게 다양한 복원 공법이 시행된 양재천의 다른 구간에서 시공 후 1-2년생의 초본류가 번성하지만 시공 후 5-6년이 경과하면 다년생 초본과 목본이 우세하게 된다고 하였다(박진원·마호섭, 2003). 수원의 서호천에서 복원 시공 2년 후 식생 모니터링의 결과 복원 공법의 종류에 따라서 식생의 유형이 달리 나타났으며 모니터링의 결과로부터 적절한 적응관리 방안이 제시되었다(김송이 등, 2004).

본 연구에서는 자연형 하천공법이 적용된 양재천 우면동 구간에서 7년간 식물상, 식생분포 및 식생구조를 모니터링하여 자연형 공법 적용에 따른 하안 식생의 변화를 파악하고 이 결과를 바탕으로 적응관리 방안을 제안하고자 하였다.

2. 조사지 및 연구 방법

2.1 조사지 개황

본 연구는 서울시 서초구 우면동에 위치한 양재천의 도심 구간에서 수행하였다. 조사 대상지는 양재천에서 한국교원단체총연합회와 양재 시민의

숲 사이를 연결하는 무지개다리(와 우면교) 사이의 600 m 구간이다(Fig. 1). 이 구간 중에서 상류 300 m 구간은 1998년에 자연형 하천복원 사업을 시행한 복원구간이고 하류 300 m 구간은 대조지로 선정된 복원 사업을 시행하지 않은 비복원 구간이다. 양재천은 길이 18.5 km로서 경기도 과천시와 관악산에서 발원하여 서울시 서초구와 강남구를 가로질러 탄천으로 합류한다. 양재천 조사구간의 하천폭은 80 m이고 하상은 모래이다. 양재천은 1970년대에 실시한 하천정비로 인하여 복단면으로 직강화되었고, 저수로변은 콘크리트 석축 호안으로 정비되었다.

양재천 복원구간에서 시행된 복원사업은 환경부의 'G-7 환경기술개발사업'의 일환으로 1998년과 1999년 사이의 동절기에 본 공사가 시행되었고, 그 후 2001년까지 보완 및 추가 복원사업이 시행되었다(Fig. 2). 시행된 복원공법의 개요는 다음과 같다(한국건설기술연구원, 2000, 2001, 2002).

■ 저수로 공법

- 저수로 선형 개선: 시공 구간 총 300 m에 2개의 사행 파장을 조성하였고, 저수로의 대칭적 횡단면을 비대칭적으로 조성하였다.
- 자연형 보(징검다리 여울): 하천의 흐름을 감소시키면서 하류부에 소가 형성되도록 징검다리 형태로 돌을 놓았다.
- V형 여울(날개 수제): 물의 흐름이 하천의 중앙으로 집중 되도록 V자 형태로 사석과 거석을 놓아 하폭을 좁혔다.
- 외돌이 거석: 하도 내에 직경 약 1 m의 거석을 놓아서 다양한 유속장이 형성되게 하였다.
- 거석 수제: 길이 2 m의 수제를 8 m 간격으로 수로와의 경사가 110°가 되도록 약 70 cm 이상의 거석을 쌓아서 조성하였다.

■ 저수로 호안 공법

- 윗가지 덮기 호안: 기단부는 나무 말뚝과 버

드나무 가지 엮기로 고정하고 사면에 버드나무의 생가지와 마른 가지를 번갈아 덮고 물억새와 갈대를 식재하였다.

- 섯단 호안: 기단부에 생가지와 죽은 가지로 만든 섯단을 2단으로 누이고 나무 말뚝으로 고정하고 사면에는 사석과 자갈로 채우며 틈새에 갯버들을 식재하였다.
- 사석, 거석 호안: 하도 내에 거석을 1.5 ~ 2 m 간격으로 배치하고 기단부에 사석을 깔고 나무말뚝으로 고정하며 사면에는 사석과 자갈을 쌓고 틈새에 갯버들 가지를 꽂아 넣었다.
- 사석, 돌망태 호안: 기단부에 버드나무 가지 위에 돌망태를 누이고 나무 말뚝으로 고정하며 사면에는 사석을 깔고 갯버들을 식재하였다.
- 녹화마대 호안: 기단부에는 돌망태를 가로로 누이고 사면에 모래나 굵은 토양을 채운 녹색마대를 3단 누인 뒤 말뚝으로 고정시키며 마대 사이에 갯버들과 갈대 등을 식재하였다.
- 돌심기 호안: 기단부에는 사석을 깔고 사면에는 흙이 노출되도록 돌을 심으면서 달뿌리풀을 식재한다.
- 황마망 깔기 호안: 사면에 황마망을 깔고 나무 말뚝으로 고정하며 갈대 등을 식재하였다.
- 모래 호안: 하도에 모래를 평균수심 이상으로 포설하였다.
- 자갈 호안: 하도에 강자갈을 평균수심 이상으로 포설하였다.

■ 고수부지 공법

- 연결형 비오톱: 부수로 형태의 비오톱을 조성하고 평수위시 주수로의 물이 흘러 들고 나가도록 하였으며, 이곳에 각종 수생식물을 식재하였다.
- 폐쇄형 비오톱: 고수부지에 조성한 습지 비오톱으로서 평수위시 주수로와 분리되어 있

으며 애기부들, 창포 등의 정수식물을 식재하였다.

- 식물 식재: 갯버들, 키버들, 달뿌리풀, 갈대, 달뿌리풀, 물억새, 노랑꽃창포, 금불초, 털부처꽃 등의 식물을 군락을 이루도록 식재하였다.
- 수질정화습지: 갈대 혹은 애기부들을 식재한 수질정화습지를 좌안 고수부지에 조성하였다.
- 자갈접촉산화 수질정화장치: 고수부지 지하에 자갈을 채운 콘크리트 박스를 매설하였다.

2002년 이후에는 본 조사구간에서 친수 위주의 하천 사업이 이루어져서, 좌우안의 고수부지에 폭 3 m의 자전거도로가 조성되었고, 무지개다리 상류에 하천수처리시설이 조성되었다. 또한 시민 봉사 활동에 의하여 환삼덩굴과 외래식물이 주기적으로 제거되고 있다.

복원사업 시행 후 7년이 경과한 2006년의 양재천 복원구간에서 대부분의 저수로는 깊이 50

~ 80 cm로 세굴되었으며, 고수부지의 갈대 등의 식생이 무성한 곳에는 유사가 퇴적되어 지표가 상승한 것으로 판단되었다. 특히 연결형 비오름의 연결 수로에는 많은 유사가 퇴적되어 홍수시를 제

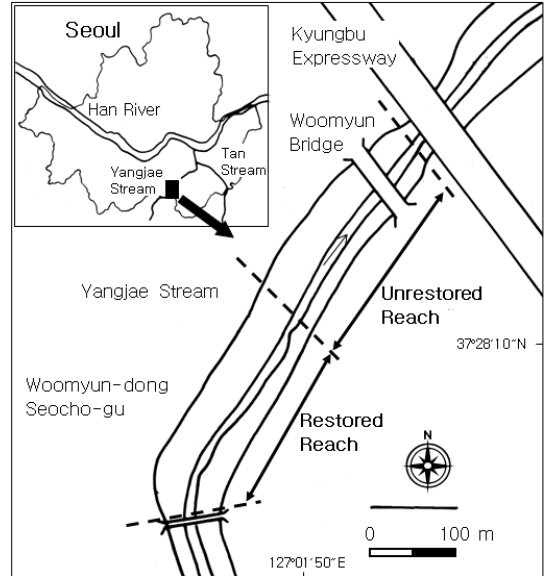


Fig. 1. Map showing the study area

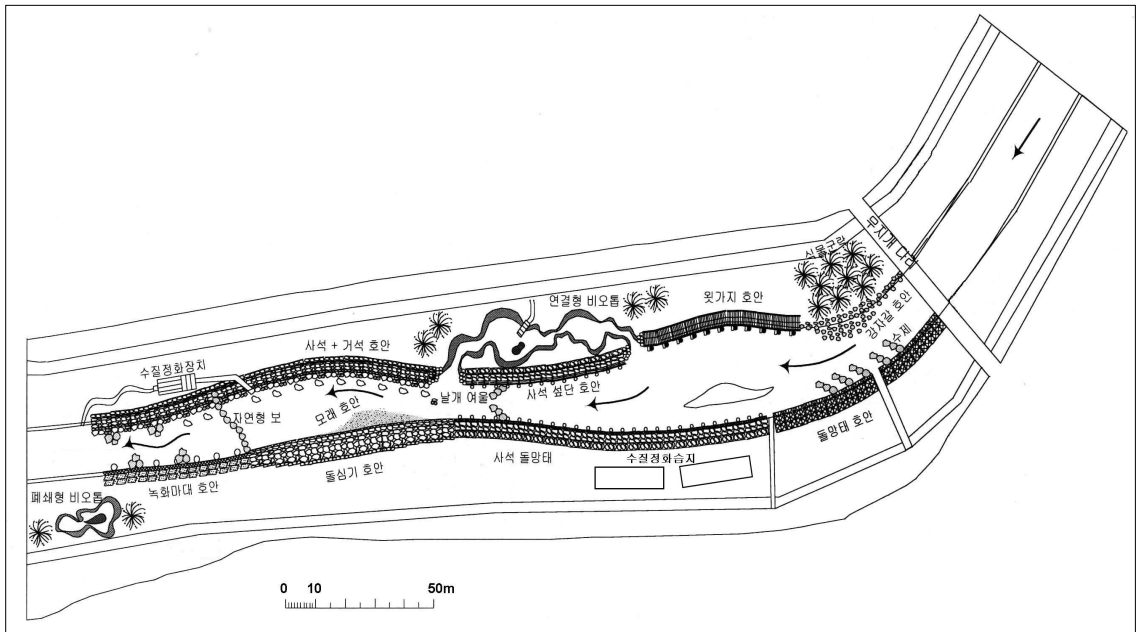


Fig. 2. Map showing the restoration techniques implemented in the study area of the Yangjae Stream (KICT, 2000)

외하고는 수로의 역할을 상실하였다. 처음에 시공되었던 자연형 보의 철거와 강자갈호안 및 모래호안이 세굴되어 유사하면서 우면교 상류부 일부 수심이 깊은 곳에 유사가 퇴적되어 정체구간이 제거되었다. 전반적으로 대상구간에서 유속이 증가한 것으로 보인다.

현장 조사는 양재천에서 자연형하천 공법을 적용한 직후 3년간인 1999년, 2000년 및 2001년과 공사후 7년이 경과한 2006년에 실시하였다. 한편 공사전 자료는 1998년에 실시한 한국건설기술연구원(1999)의 자료를 이용하였다.

2.2 연구 방법

2.2.1 식물상 조사

양재천 조사구간에서 출현한 식물을 이창복(1993), 박수현(1995) 및 최홍근(2000)에 의하여 동정하였다. 출현 식물을 이창복(1993)에 기술된 서식지를 기준으로 수생식물(hydrophytes), 습생식물(hygrophytes) 및 중건생식물(mesophytes and xerophytes)로 나누었고, 특히 수생식물은 정수, 부엽, 부수 및 침수 식물로 생활형을 분류하여 식물목록을 작성하였다(최홍근, 2000). 또한 환경부(2007)의 외래식물종합검색시스템에 따라서 귀화식물을 구분하여 외래식물의 침입 정도를 파악하였다.

2.2.2 하천 횡단 구조에 따른 식생 조사

조사구간의 식생을 대표할 수 있는 장소를 선정하여 좌안에서 우안으로 가로지르는 트랜섹트(transect)를 매년 동일한 지점에 설치하여 하천 단면 구조를 조사하였다. 이 트랜섹트에서 나타나는 주요 식생에 1 m × 1 m의 방형구를 설치하여 출현 식물종의 피도를 기록하고 지형과 식생구조를 식생단면도로 모식화하여 나타내었다.

2.2.3 식생도 작성

조사구간의 제외지에서 나타나는 식물군집을 2배로 확대한 1/5,000 지형도에 식생분포지를 줄

자와 적외선거리측정기(range finder)로 이용하여 지도에 표시하였다. 2006년의 식생도는 콩나물 전자지도의 블루버드(Blue Bird) 인공위성 사진(www.congnamul.co.kr)인 2006년 IKONOS 영상을 이용하여 식생도를 보완하였다. 한편 복원사업 전 식생도는 현장에서 직접 작도하지 못하였고, 1998년에 촬영한 사진과 트랜섹트 조사 자료를 이용하여 식생분포를 추정하여 작도하였다. 손으로 작성된 식생도를 CAD 프로그램에 입력하여 완성된 식생도를 작성하였고, 각 식물군집의 분포 면적을 산출하였다.

2.2.4 버드나무류의 연륜 분석

2006년도에 복원구간에서 분포하는 대표적인 수목인 갯버들, 키버들, 왕버들의 나이테의 수와 폭을 조사하였다. 나이테는 생장추(increment borer)를 이용하여 목편(core)을 추출하거나 톱으로 줄기를 베어 2 ~ 3 cm 두께의 원판(disk)을 떼어내었다. 실내에서 목편과 원판의 나이테 수를 계수하고 버니어캘리퍼스를 이용하여 나이테의 중심부에서 양쪽 방향으로 연도별 나이테의 폭을 측정하여 평균을 구하였다.

2.2.5 자료 처리

조사구간의 식물상 자료에서 종이 출현하였으면 1, 출현하지 않았으면 0으로 하여 자료 행렬을 작성하고, 이 행렬을 이용하여 주성분분석(PCA, principal component analysis)을 실시하였다. 식물 종다양성 산출과 식생의 서열(ordination)을 위한 입력 자료는 트랜섹트 조사 결과에서 종별 상대피도와 상대빈도를 구하고 이들 값의 평균으로 중요치를 산출하여 만들었다. 조사구간의 식물 종다양성은 Shannon-Wiener의 종다양도 지수와 종균등도 지수를 자연로그를 사용하여 계산하였다(여천생태연구회, 2005). 한편 조사구간에서 출현 빈도가 10% 이상이 되는 종을 선별하여 자료 행렬을 작성하여 DCA(detrended correspondence analysis)를 실시하였다. PCA와 DCA에는 PC-

ORD (ver 4.2) 프로그램(McCune and Mefford, 1999)을 이용하였다.

3. 결과 및 논의

3.1 식물상의 변화

1998년에 복원사업이 시행된 양재천의 복원구간에서 출현한 식물은 사업직후인 1999년부터 2001년 사이에는 131 - 141 종류이었으나 사업 후 7년이 경과한 2006년에는 110 종류로 감소하였다(Fig. 3 A). 특히 출현식물 중에서 수생식물은 사업후 초기에 15 종류(총 종수의 11.2%)에서 2006년에는 4 종류(총종수의 3.6%)로 급격히 감소하였다(Fig. 3 B). 특히 1999년부터 2001년 사이에 출현하였던 검정말, 말즘, 붕어마름, 실말의 침수식물, 개구리밥, 좁개구리밥의 부수식물 및 가는가래, 수련, 애기가래의 부엽식물은 2006년에는 관찰되지 않았다. 2006년에는 단지 일부의 정수식물만이 유지되었는데, 사업초기의 출현하였던 미나리, 사마귀풀, 세모고랭이, 질경이택사 및 창포는 사라지고 갈대, 애기부들 및 줄은 유지되었으며 도루박이가 새로이 나타났다. 사업 초기에 출현하였던 대부분의 수생식물은 연결형 및 폐쇄형 비오톱에 식재 또는 유입된 것이었고, 나머지 일부인 말즘, 실말, 가는가래, 애기가래 등은 사업 직후에 저수로에서 비교적 넓게 분포하였던 종류이었다. 사업 후 7년이 경과하면서 토사 퇴적과 하도 세굴에 의하여 폐쇄형 비오톱은 사라졌고, 연결형 비오톱은 물 공급이 홍수시에만 이루어져서 많은 수생식물이 사라졌다. 또한 복원구간의 하류에 설치되었던 자연형 보의 철거와 우면교 상류부 일부 수심이 깊은 곳에 유사가 퇴적되어 정체구간이 제거되었다. 전반적으로 유속이 증가하여 저수로에서 생육하던 침수, 부수 및 부엽 식물이 사라진 것으로 생각된다. 현재 잔존하는 정수식물 중에서 애기부들과 줄은 과거 고수부지에 조성된 수질정화습지와 연결형 비오톱에서만 남아 있었다. 또한 갈대는 지형이 다소 낮은 고수부지에 그 분포면적이 확대되었고 도루박이가 저수로 수변의

모래 하상에 새로이 정착하였다.

양재천의 복원사업 시행 7년 이후에 습생식물 중에서 특히 버드나무류 목본 식물이 다양하게 정착하였는데, 2006년에는 저수로변과 고수부지에 갯버들, 키버들, 능수버들, 선버들, 왕버들, 용버들, 버드나무의 7종류가 출현하였다. 이 중에서 갯버들과 키버들은 주로 복원사업시 식재한 것이고 나머지 종들은 공법 적용 이후 수문학적 환경 변화에 따라서 자연적으로 유입된 것으로 판단된다.

1998년 복원사업 이전의 식물상 조사가 이루어지지 않아서 복원구간 내에서 복원사업 전후 식물상의 변화를 파악할 수 없었다. 복원사업의 영향을 파악하기 위하여 2006년도에 복원구간의 직하류에 위치한 비복원구간에서 식물상을 조사하였다. 2006년에 비복원 구간에서 총출현종수는 67종으로 매우 적었고, 수생식물은 애기가래, 말즘, 갈대 등 3종류에 불과하였다(Fig. 1, A, B). 비복원구간에 나타는 종류도 강아지풀, 돌콩, 딱새풀 등 대부분이 교란지에서 나타나는 식물종이었다.

복원구간에서 나타나는 1, 2년생 식물종수의 백분율은 1999년에 59%로서 높았으나 2000년부터 급격히 감소하여 2006년에는 44%로 낮아졌다(Fig. 3 C). 복원 공사에 따른 교란에 의하여 도입된 교란지 출현종인 1, 2년생 식물은 복원 후 생이 점차 안정화되면서 종수가 감소하는 것으로 생각되었다. 한편 비복원구간에서 1, 2년생 종수비율은 33%로서 복원구간보다 낮았다. 이는 비복원구간에는 저수로변이 콘크리트로 호안으로 조성되어 홍수에 의한 나지가 형성되지 않지만, 복원구간에서는 저수로변에 완만하게 형성된 사주가 있어서 이곳에 홍수 교란 이후에 계속하여 1, 2년생 식물이 도입되기 때문에 이곳에서 1, 2년생 식물종수 비율이 높은 것으로 판단된다(Connell, 1978). 한편 복원구간에서 관찰된 귀화식물은 복원사업 후 2001년까지 29 종류로 증가하였으나 2006년에는 25 종류로 감소하였다. 복원구간에서 흔한 귀화식물은 미국가막사리, 미국개기장, 가시도꼬마리 등이었으며 2006년에는 가시박과 큰비짜루국화가 새로이 발견되었다.

종다양도지수는 공법적용 직후인 1999년에서 가장 높았으며 시간이 경과함에 따라서 점차 감소하여 2006년에 가장 낮았다(Fig. 3 D). 조사연도에 따라 우점종과 차우점종을 비교하면 복원후 3년간은 환삼덩굴(*Humulus japonicus*)이 우점하였고 갈대(*Phragmites australis*), 쇠별꽃(*Stellaria aquatica*) 혹은 갈풀(*Phalaris arundinacea*)이 차우점하였으나 2006년에는 우점종은 갈대로 차우점종은 물억새(*Miscanthus saccharifloru*)로 변화하였다. 결국 복원사업 시행 직후에는 대표적인 교란지 식물인 환삼덩굴이 번성하지만 시간이 경과함에 따라서 하천 고수부지의 대표적인 안정된 다년생 식물인 갈대와 물억새가 우점하게 되었다. 그러나 비복원구간에서는 2006년에 복원구간보다 종다양성이 크게 낮았고 우점종도 대표적인 교란지 식물인 일년생의 강아지풀(*Setaria viridis*)과

쑥(*Artemisia princeps* var. *orientalis*)이었다. 중간교란가설(Sousa, 1984)에 따르면 적당한 중간교란은 생물군집의 종다양성을 증가시키는데, 이곳 양재천에서도 자연형 하천공법 시행으로 인하여 교란이 가해지고 많은 종들이 이입되면서 종다양성은 높아지나, 이후 자연 천이가 일어나고 환경이 안정화되면서 갈대와 물억새 등의 일부 식물이 우점하면서 종다양성이 낮아진 것으로 생각된다(Hejda and Pyšek, 2006).

복원구간에서 식물의 출현여부의 자료를 이용한 주성분분석에서 제1축과 제2축의 고유값(eigen value)의 비율은 각각 58.6%와 22.3%로서 두 축으로서 총변이의 81%를 설명하였다(Fig. 4). 주성분분석에서 연도별 식물상은 제1축에서 1999년부터 2001년 사이의 복원 후 초기 단계와 7년 후 2006년으로 뚜렷이 구분되었다.

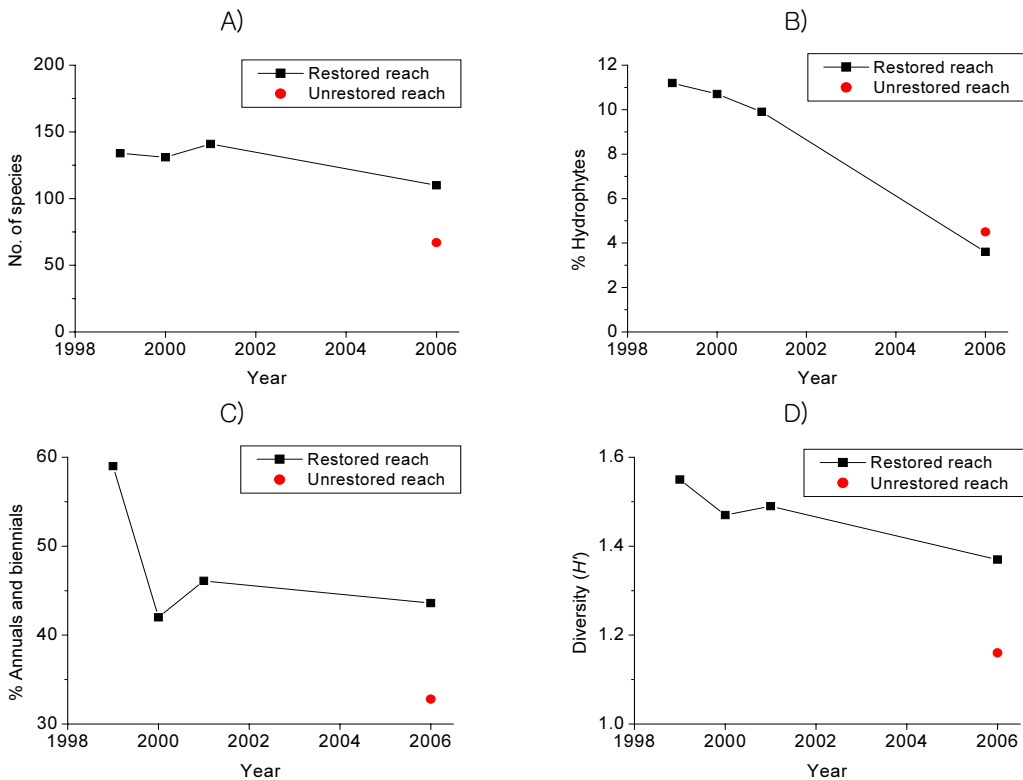


Fig. 3. Changes in number of plant species (A), percentages of hydrophytes (B), percentages of annual and biennial species (C), and diversity index (D) at the restored reach after the restoration implementation in 1998 and at the unrestored reach of the Yangjae Stream

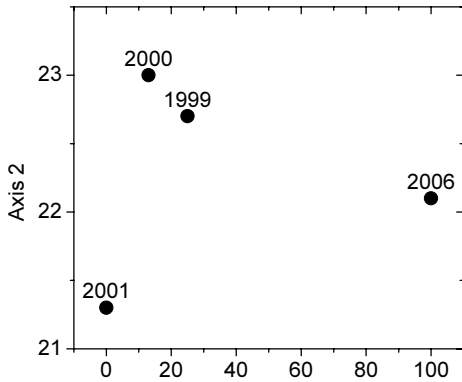


Fig. 4. Biplot of the survey year by principal component analysis using the floral data of the presence/absence of species at the restored reach of the Yangjae Stream

이러한 이유는 복원사업 직후 인위적으로 도입된 종과 공사에 따른 교란으로 도입된 식물종이 점차 사라지고, 시간이 경과함에 따라서 하천 환경이 안정화되면서 하천 고유의 식생구조로 변화하였기 때문인 것으로 판단된다(Aguiar et al, 2001). 그러므로 복원 공사시 미관용으로 식재된 원예종과 하천 환경에 적합하지 않은 식재종은 일정시간 경과 후에는 소멸하여 복원시 환경에 적합한 식물종 선별이 매우 중요하였다(신동훈 등, 2003).

3.2 식생 분포의 변화

자연형 하천 복원 사업을 시행하기 전인 1998년에는 복원구간에서 교란지 1년생 식물인 개밀(Fig. 3의 At), 환삼덩굴(Hj) 및 개망초(Ea) 군집이 개방수면을 제외한 하천구간 면적의 86%를 차지하는 단순한 식생 분포를 나타내었다(Fig. 5). 단지 저수로 물가를 따라서 자연성이 높은 갈대(Pa)와 갯버들(Sg) 군집이 좁게 분포하였다. 복원 사업을 시행한 직후인 1999년에는 하천 지형과 식생의 분포가 크게 변화하였다. 특히 개밀 군집의 분포면적은 줄어들고 역시 대표적인 교란지 식생인 환삼덩굴 군집이 우안 고수부지를 덮고 여뀌(Ph) 군집이 좌안 고수부지에 넓게 분포하였다.

좌안의 폐쇄형 비오톱에는 식재에 의하여 줄(ZI) 군집이 나타났다. 그러나 갈대와 갯버들 군집은 공사에 의하여 파괴되어 오히려 면적이 줄었다. 또한 저수로 선형의 변화와 징검다리 수제, 날개 수제 및 연결형 비오톱의 조성으로 하천수의 유속이 감소되어 말즘(Po) 군집을 비롯한 침수식물이 저수로에 넓게 분포하였다.

복원 시공후 2, 3년이 경과한 2000년과 2001년에는 공사에 따른 교란이 식생 분포에 계속 영향을 미치고 있었다. 즉 환삼덩굴이 우안 고수부지를 덮어서 하천의 자연성이 높은 식생으로 천이되는 것을 방해하고 있었다(Fig. 5). 또한 좌안 고수부지에는 여뀌가 쇠퇴하고 교란지 식생인 개밀, 미국개기장(Pd), 망초(En) 군집이 번성하였다. 2000년에 조성한 좌안 고수부지의 수질정화습지에는 식재된 갈대와 애기부들(Ta)이 분포하였다. 한편 저수로에서는 침수식물의 분포면적이 크게 줄어들었고 좌안 저수로변에는 갯버들이 더욱 번성하였다.

복원 사업후 7년이 경과한 2006년에는 식생의 분포가 크게 변화하였다(Fig. 5). 복원 초기에 번성하였던 환삼덩굴, 개밀, 미국개기장, 망초 등의 교란지 식생은 사라지고 대신 자연성이 높은 갈대와 물억새(Ms) 군집의 전체 식생 면적의 56%를 차지하였다. 또한 버드나무류(*Salix*)는 우안의 저수로변을 중심으로 전체 식생면적의 5%를 차지할 정도로 번성하였다. 그러나 고수부지에 자전거 도로가 조성되면서 시민들의 왕래가 잦아지면서 그 주변으로 교란지 식생인 강아지풀(Sv), 여뀌(Ph), 토끼풀(Tr) 등의 군집이 분포하였다.

복원구간에서 교란지에서 주로 나타나는 1, 2년생 초본식물의 분포면적은 복원전과 복원후 3년간까지는 약 15,000 m²으로 넓었으나, 2006년에는 약 6,000 m²로 크게 감소하였고 갈대 등의 다년생 초본식물이 약 10,000 m²으로 증가하였다(Fig. 6). 버드나무 등의 목본식물의 분포면적은 공사직후에는 다소 감소하였으나 복원공사 이후에 꾸준히 증가하여 2006년에는 약 900 m²에 달하였다. 귀화식물의 분포면적은 복원공사후 3년까지

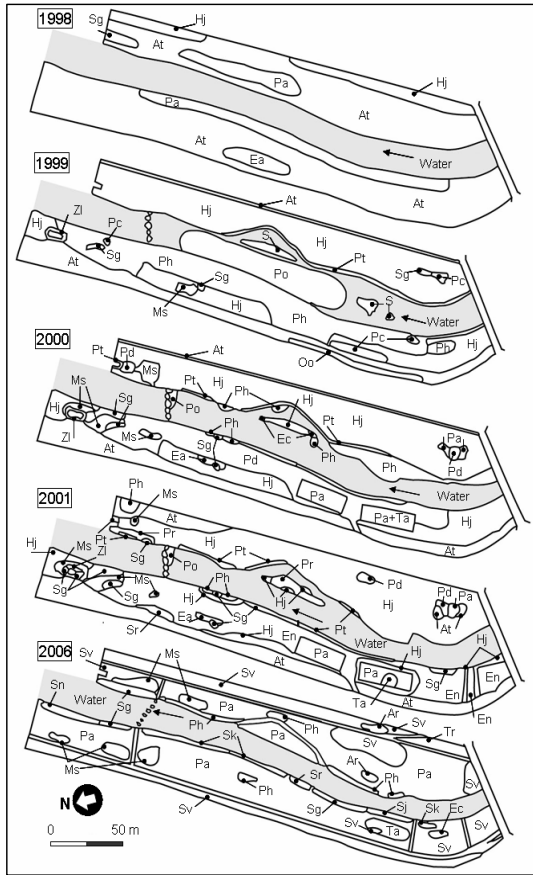


Fig. 5. Changes in vegetation map after the restoration implementation at the restored reach of the Yangjae Stream. (Ar *Ambrosia trifida*, At *Agropyron tsukushiense* var. *transiens*, Ea *Erigeron annuus*, Ec *Echinochloa crus-galli*, En *Erigeron canadensis*, Hj *Humulus japonicus*, Ms *Miscanthus sacchariflorus*, Oo *Oenothera odorata*, Pa *Phragmites australis*, Pc *Persicaria cochinchinensis*, Pd *Panicum dichotomiflorum*, Ph *Persicaria hydro-piper*, Po *Potamogeton crispus*, Pr *Phalaris arundinacea*, Pt *Persicaria thunbergii*, SB sand bar, Sg *Salix gracilistyla*, Sj *Salix purpurea* var. *japonica*, Sk *Salix koreensis*, Sn *Salix nipponica*, Sr *Stachys riederi* var. *japonica*, Sv *Setaria viridis*, Ta *Typha angustifolia*, Tr *Trifolium repens*, Zi *Zizania latifolia*)

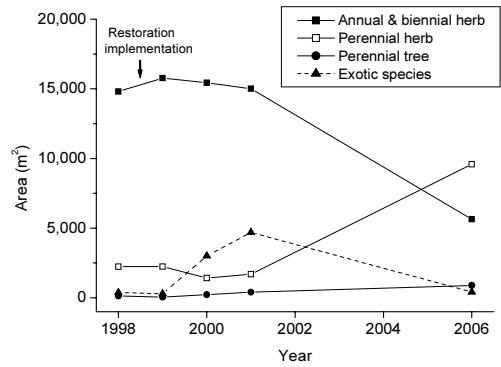


Fig. 6. Changes in vegetation areas at the restored reach of the Yangjae Stream after the restoration implementation

는 증가하였으나 2006년에는 크게 감소하였다. 결국 복원공사후 초기에는 귀화식물을 비롯한 1, 2년생 식물이 급격히 증가하지만 시간이 경과함에 따라서 점차 다년생 초본과 목본식물로 대체되었다. 하천을 따라서 식물 번식체가 쉽게 전파될 수 있고 역동적인 수문현상 때문에 귀화식물을 비롯한 환삼덩굴과 같은 침입식물(invasive plant)이 하천생태계에 침입하기 용이하다(Richardson *et al.*, 2007). 특히 복원공사에 따른 교란이 가해지면 교란지에 이들 식물이 쉽게 정착할 수 있다. 양재천 복원구간에서는 복원공사후 외래종의 분포 면적이 급격히 증가하였으나 그 후 감소하였는데, 감소되는 이유는 생태계의 안정화와 더불어 이들 식물의 제거와 같은 지속적인 관리가 이루어지기 때문인 것으로 생각된다.

3.3 식생 구조의 변화

하천 횡단면의 지형 변화에 따른 식생의 변화에서 복원공사전인 1998년에는 저수로 호안이 큰 크리트 석축으로 직강화되어 있으며 고수부지에는 좌안의 저수로변의 갈대 군집을 제외하고는 개밀과 환삼덩굴 군집이 완전히 덮고 있었다(Fig. 7). 좌안 저수로 호안을 사석돌망태로 시공하고 우안에 연결형 비오터를 조성한 1999년에는 좌안 고수부지에 환삼덩굴, 명아주(*Chenopodium album*

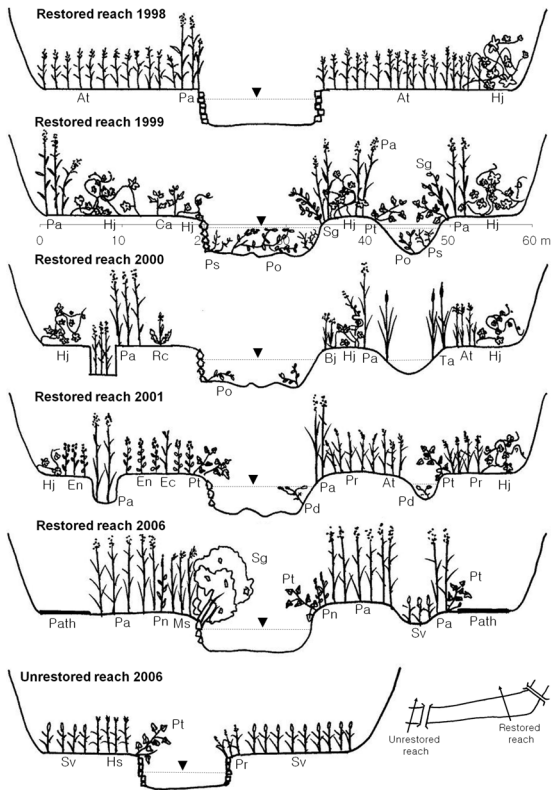


Fig. 7. Changes in bisects at the restored reach before and after the restoration implementation in 1998 and at the unrestored reach of the Yangjae Stream (Ca *Chenopodium album* var. *centrorubrum*, Bj *Bromus japonicus*, Hs *Hemarthria sibirica*, Pn *Persicaria nodosa*, Ps *Potamogeton cristatus*, Rc *Rumex crispus*, and other abbreviations refer to Fig. 4.

var. centrorubrum) 군집이 분포하였고 저수로와 연결형 비오톱의 수로에는 말즘과 가는가래 (*Potamogeton cristatus*)가 번성하였고 우안의 저수로변에는 식재한 갯버들이 분포하였다. 2000년에는 좌안 고수부지에 갈대 수질정화습지가 조성되었고 저수로에는 침수식물이 쇠퇴하였으며 연결형 비오톱에는 식재한 애기부들이 분포하였다. 2001년에는 좌안 고수부지에 망초 군집이 분포하고 우안의 연결형 비오톱의 수로 폭이 좁아졌으며 하중도에는 갈풀이 정착하였다. 2006년에는 좌안

고수부지의 여과습지가 매립되었고 이곳에는 갈대와 물억새 군집으로 안정화되었으며 저수로변에는 갯버들이 왕성하게 성장하였다. 저수로는 깊게 세굴되어 있으며 침수식물도 분포하지 않았다. 우안 연결형 비오톱은 평수위에서는 부수로에 물이 흐르지 않았으며 하중도에도 퇴적으로 지형이 다소 높아졌다. 우안 고수부지에도 갈대 군집이 정착하였다. 이에 반하여 2006년에 비복원구간에서는 교란지 식생인 강아지풀 군집이 고수부지에서 번창하였다.

2006년 양재천 복원구간과 비복원구간의 트랜sect에서 나타난 식물군집의 식생 자료를 이용하여 DCA를 실시하였는데, 전체 변이 중에서 1축과 2축이 각각 18.6%와 17.7%의 변이를 설명하고 있었다(Fig. 8). 1축의 왼쪽에는 복원구간에 분포하는 다년생의 갯버들(Sg), 물억새(Ms) 및 갈대(Pa) 군집 등 자연성이 높은 식생이 위치하였고, 1축의 오른쪽에는 복원구간과 비복원구간에서 분포하는 일년생의 돌피(Ec), 강아지풀(Sv), 여뀌(Ph) 및 고마리(Pt) 군집의 교란이 가해진 하천에서 주로 발견되는 종들이 분포하였다. 즉 1축을 따라서 복원구간의 안정된 식생과 교란된 식생으로 양분되어 하천 식생의 교란상태를 잘 반영하고 있었다.

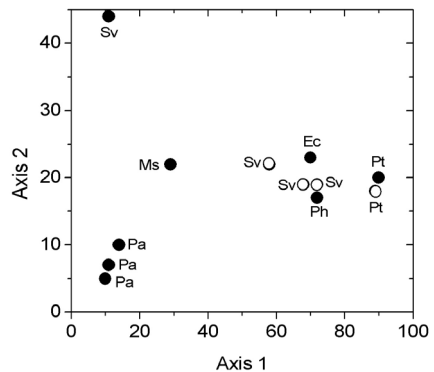


Fig. 8. Biplot of vegetation type by detrended correspondence analysis at the restored reach (closed circle) and the unrestored reach (open circle) of the Yangjae Stream (Abbreviations refer to Fig. 4)

3.4 버드나무류의 성장

2006년에 복원구간에서 분포하는 버드나무속 수목의 나이테 연성장속도는 왕버들(*Salix glandulosa*)이 키버들(*S. purpurea* var. *japonica*)과 갯버들(*S. gracilistyla*)보다 약 3배 빨랐다(Fig. 9). 특히 수목 정착 후 초기에 성장속도가 증가하였으며 2006년에는 성장속도가 감소하였다. 이처럼 왕버들은 갯버들이나 키버들에 비하여 성장속도가 빠르므로 고수부지에서 왕성하게 성장하여 홍수소통에 장애를 발생시킬 우려가 있다고 판단되었다.

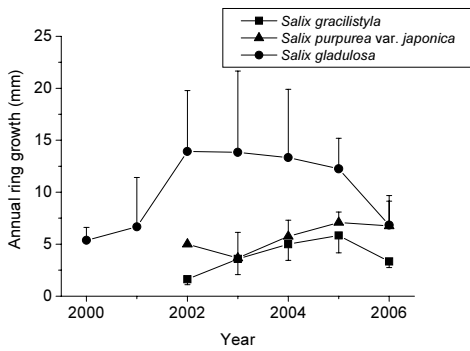


Fig. 9. Annual ring growth of willows at the restored reach of the Yangjae Stream (mean±SD, n=3)

3.5 적용 공법별 식생 변화

양재천 복원구간에서 식생에 영향을 미치는 복원 공법별 식생 변화를 살펴보면 다음과 같다.

- 자연형 보 및 V자 날개 수제: 하도 내에는 설치된 보와 수제의 영향으로 공법적용 직후에는 저수로에 침수식물이 폭넓게 분포하였으나 2000년 이후로 홍수로 인한 지형의 변화로 주로 자연형 보 직상류에서 침수식물이 발견되었다. 더욱이 보의 형태에서 징검다리 형태로 공사를 한 이후인 2006년에는 침수식물이 완전히 사라졌다.
- 윗가지 덮기 호안: 이곳에 식재한 갯버들, 갈대, 물억새는 정착하지 못하였고 공법 적

용 직후부터 환삼덩굴이 번성하였다. 특히 무지개다리 쪽에서는 2000년에 홍수에 의한 토사 퇴적으로 모래사주가 형성되어 여뀌가 번성하였으나 2006년에는 갈대가 우점하고 여뀌는 일부 발견되었다.

- 섯단 호안: 버드나무류 가지로 만든 섯단과 갯버들을 식재한 호안으로서 현재는 저수로 변이 세굴되어 모래 언덕이 형성되어 있고 여기에 갈대 군집이 왕성하게 성장하고 있었다.
- 사석, 거석 호안: 공법적용 직후 환삼덩굴, 고마리, 물피 등이 번성하였고, 식재한 갯버들은 재생률이 매우 저조하였다. 2006년에는 여뀌, 물억새, 갈대 등이 우점하였다.
- 사석, 돌망태 호안: 식재한 갯버들과 키버들의 목본류가 성공적으로 활착하여 호안에 높은 안정성을 제공하였다. 또한 고마리, 개구리자리, 딱새풀 등이 자연적으로 이입되어 정착하였다.
- 녹화마대 호안: 갯버들과 갈대가 식재된 녹화마대 호안에서는 식재된 갯버들이 일부 정착하였고 자연적으로 도입된 선버들이 유입되어 저수로변을 덮었고 고수부지 쪽에는 갈대 군집이 도입되었다.
- 돌심기 호안: 호안에 돌을 심고 갈대를 식재한 돌심기 호안에서는 시공후 초기에는 교란지 식생인 여뀌가 다량 침입하였으나, 점차 토사의 퇴적으로 저수로 변에는 버드나무가 정착하였고 고수부지 쪽으로는 갈대 군집이 정착하였다.
- 황마망 깔기 호안: 황마망 깔기 호안에서 시공 1년 후에는 갈대, 큰개여뀌, 줄포아풀 등 18종이 출현하였으나 2000년부터 침입한 환삼덩굴의 영향으로 종다양도가 급격히 감소하였고 2006년에는 갈대와 여뀌가 우점하였다.
- 모래 호안 및 자갈 호안: 공법 적용 후 홍수에 의하여 모래와 자갈이 유실 혹은 퇴적되어 발견되지 않았다.

- 연결형 비오톱: 연결형 비오톱인 하도 습지 (완도)는 시공후 7년이 경과한 2006년에는 부수로의 토사 퇴적과 주수로 하상의 저하로 인하여 주수로부터 저수로 홍수시에만 물이 공급되어 평수시에는 건조한 환경이 조성되었다. 결국 연결형 비오톱에 식재하였던 애기부들, 창포, 줄 등과 자연적으로 유입되었던 침수식물 등의 수생식물은 거의 사라졌다.
- 폐쇄형 비오톱: 1999년에 줄, 질경이택사, 세모고랭이 등의 수생식물이 정착하여 2001년까지 식생이 안정되어 보였으나, 2006년에는 토사 퇴적으로 완전히 육화되어 그 형태를 찾아 볼 수 없었고 갈대가 이곳에 정착하였다.
- 수질정화습지: 두 개의 수질정화습지 중 하나는 완전히 토사로 매립되어 사라졌고 다른 하나는 크기가 축소되었으나 애기부들, 줄, 갈대 등의 수생식물이 정착한 습지로서 잔존하여 고수부지에서 종다양성을 증가하는데 기여하였다.
- 고수부지 식물 식재: 1999년부터 2000년 사이에 저수로변에는 갯버들과 고수부지에는 갈대, 물억새, 털부처꽃 등을 식재하였던 것은, 좌안에 식재한 갯버들을 제외하고 모두 식재후 초기에 환산덩굴에 의하여 피압되어 정착에 실패하였다. 그 후 2006년에는 갈대, 물억새 등의 식생이 자연적으로 도입되어 지형과 환경에 맞는 식생이 정착되어 있었다.

3.6 적응관리를 위한 제안

우리나라에서 자연형 하천공법을 도입한 초기의 대표적 사례인 양재천 우면동 구간에서 7년간 식생을 모니터링한 결과에 따르면, 복원 전의 단순한 식생 구조에서 복원 후 초기의 교란에 의한 불안정한 식생을 거쳐 7년 후에는 비교적 자연성이 높은 안정된 식생으로 회복되었음을 알 수 있었다. 양재천 복원 과정에서 식생 모니터링으로부

터 얻은 교훈과 적응관리를 위한 제안 사항은 다음과 같다.

1. 식물 기반 환경 조성: 양재천 복원구간에서 다양한 공법이 적용되었으나 사석, 돌망태 호안을 제외한 대부분의 저수로 호안공법과 고수부지의 비오톱 조성이 공사 후 초기에 홍수에 의한 퇴적과 세굴에 의하여 원래 식재하였거나 도입되기를 기대하였던 식생을 초기에 정착시키는데 실패하였다. 그러므로 하천 식생 복원시 식물 생육의 기반이 되는 지형과 수문 등에 대한 기반 환경 조성이 매우 중요함을 알 수 있었고, 하천 지형 변화에 대한 충분한 수리학적 검토가 필요하다는 점을 시사하였다.
2. 황무지식물의 관리: 복원 공사에 따른 교란에 의하여 복원 구간의 전반적으로 환삼덩굴, 망초, 개밀, 여뀌 등의 황무지식물(ruderals)이 급속하게 확산되어 식재하였거나 복원 목표가 되었던 식생을 고사시켰다. 특히 환삼덩굴은 다른 식생을 피복함으로써 식생 복원의 진행에 중단시키고 친수적 가치도 저하시키는 심각한 문제를 야기하였다. 그러나 복원사업 후 7년이 경과한 2006년에는 복원구간에서 환삼덩굴은 완전히 세력이 약화되었다. 이러한 이유는 환삼덩굴이 갈대에 비하여 저항성이 약하여 홍수시 침수시간이 길어짐에 따라서 쇠퇴하였거나 시민의 자원봉사와 서초구청의 노력에 의하여 환삼덩굴 제거가 이루어졌기 때문인 것으로 생각된다.
3. 식생 및 표토의 보존: 본 조사지 복원구간에서는 복원 공사시 고수부지에 전면적인 식생 파괴와 토양 굴착이 이루어졌다. 일단 복원 공사에 따른 교란으로 식생이 제거되고 표토가 소실되는 경우에 즉시 황무지 식물이 침입하여 식생의 안정화를 방해하는 결과를 초래하였다. 그러므로 가능하면 복원 대상의 자연성이 높은 현존 식생과 매도층자를 보유하는 표토를 유지하는 것이 중요

하다고 판단되었다.

4. 퇴사의 고려: 복원구간에서 복원 공사 이후에 여러 번의 홍수로 인해 고수부지에 하천 유사의 퇴적이 발생하였다. 복원구간에서는 식생과 하도 만곡 등으로 와류 발생이 많아 퇴적이 가속되었다. 이 결과로 폐쇄형 비오톱과 수질정화습지의 일부가 매몰되고 적용한 저수로 호안 공법의 특징이 부분적으로 소멸한 구간이 발생하였다(우 및 박, 2000). 그러므로 퇴사를 고려한 식물의 식재와 식물 기반 환경 조성이 요구되었다.
5. 적합한 식재종과 목표종의 선정: 복원구간에서 복원 계획시 줄, 털부처꽃, 금불초 등의 다양한 식생을 목표로 하였으나, 복원 후 7년이 경과한 2006년에는 복원구간에는 갈대, 물억새, 갯버들 등의 버드나무류, 애기부들 등의 매우 제한된 식생들이 분포하였고 이들이 식생에 의하여 도입되었기도 하였으나 자연적으로 유입된 것도 많았다. 그러므로 복원 계획시 장기적인 하천 환경의 변화를 고려한 식생종과 도입목표종을 선정하여야 한다.
6. 수목 관리: 현재 복원구간에서는 다양한 버드나무류가 정착하였다. 이들 버드나무류는 종별 특성을 고려하여 관리할 필요가 있다. 갯버들, 키버들, 선버들은 관목성 목본으로서 홍수 통수능에 큰 장애를 주지는 않지만 버드나무, 수양버들, 왕버들, 용버들은 교목성 목본으로서 통수능에 큰 장애를 줄 수 있다. 그러므로 버드나무류는 종별 특성을 고려하여 주기적으로 관리할 필요가 있다.
7. 장기간의 복원시간 배려: 양재천 복원구간에서 복원후 초기 1-3년 사이에는 식생이 매우 교란된 상태로 남아있었으나 7년이 경과한 후에는 하천 고유의 자연성이 높은 식생으로 복원됨을 확인하였다. 그러므로 식생복원의 효과를 단기간에 평가하기보다는 충분한 시간이 경과한 후에 사업의 성과를 평가하여야 할 것으로 생각된다(Moerke and

Lamberti, 2004; Klein et al., 2007).

8. 성공적 하천복원 사례지로서의 가치: 양재천 우면동 복원구간은 국내에서 선구적으로 친자연적 하천복원 사업을 실시한 곳으로서 사업시행후 7년이 경과한 현재는 자연성이 높은 하천 식생이 비교적 안정적으로 정착되어 있었다. 그러므로 이 복원구간을 자연형하천복원의 대표적 사례지로서 하천복원을 교육하고 홍보하는데 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06 건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다. 현장 조사와 자료 정리에 도움을 주신 이주환, 김자애, 이효혜미 등 인하대학교 생태학연구실 대학원생에게 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 김송이, 김혜주, 이규석, 하천 조성 기법에 따른 서호천 식생 및 식물상의 차이 비교, 한국환경복원녹화기술학회지. 제7권, pp. 26-34, 2004.
- 박수현, 한국귀화식물원색도감, 일조각, 서울, 1995.
- 박진원, 마호섭, 양재천의 식생현황과 하천자연도 평가, 농업생명과학연구 제37권, pp. 57-70, 2003.
- 신동훈, 노태성, 오휘영, 이규석, 자연형 하천공사 후 도시하천의 식물상 변화, 한국조경학회지 31: pp 67-73, 2003.
- 신정아, 자연형 하천 공법 적용후의 식생변화분석-서울시 양재천의 학여울 구간을 중심으로. 한국환경복원녹화기술학회지, vol. 2, pp. 10-17, 1999.
- 여천생태연구회, 현대생태학실험서, 교문사, 서울, 2005.

우효섭, 박재로, 하천 복원의 이해와 국내외 사례, 한국수자원학회지, vol. 33, pp. 15-28, 2000.

이창복, 대한식물도감, 향문사, 서울, 1993.

조강현, 하천 복원을 위한 하안식생의 구조와 기능에 대한 이해, 한국수자원학회지, vol. 33, pp. 29-40, 2000.

최정권, 도시하천에서 자연형 저수로 호안공법의 적용과 식생복원 모니터링: 서울시 양재천의 학여울 구간을 사례지역으로, 환경생태학회지, vol. 11, pp. 201-213, 1997.

최홍근, 수생관속식물, 생명공학연구소, 대전, 2000.

한국건설기술연구원, 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발, 2단계 3차년 연차보고서, 환경부 보고서, 1999.

한국건설기술연구원 (KICT), 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발, 3단계 1차년 연차보고서, 환경부 보고서, 2000.

한국건설기술연구원, 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발, 3단계 2차년 연차보고서, 환경부 보고서, 2001.

한국건설기술연구원, 국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발, 3단계 최종보고서, 환경부 보고서, 2002.

환경부, 하천복원가이드라인, G-7 국내여건에 맞는 자연형 하천공법 개발 연구팀, 환경부 보고서, 2002.

환경부, 한국의 외래식물종합검색시스템, <http://alienplant.nier.go.kr/kor/html/guide01.html>, 2007.

Aguiar, F.C., M.T. Ferreira, I. Moreira, Exotic and native vegetation establishment following channelization of a western Iberian river. Regulated Rivers: Research and Management, vol. 17, pp. 509-526, 2001.

Connell J.H., Diversity in tropical rainforests and coral reefs, Science vol. 199, pp. 1302-1310, 1978.

Federal Interagency Stream Corridor

Restoration Working Group (FISRWG), Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices, GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653, 1998.

Hedja, M., P. Pyšek., What is the impact of *Impatiens glandulifera* on species diversity of invaded riparian vegetation? Biological Conservation, vol. 132, pp. 143-152, 2006.

Klein, L.R., S.R. Clayton, J.R. Alldredge, P. Goodwin., Long-term monitoring and evaluation of the Lower Red River Meadow Restoration Project, Idaho, U.S.A. Restoration Ecology, vol. 15, pp. 223-239, 2007.

McCune, B., M.J. Mefford, Multivariate analysis of ecological data (version 4.2), MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, 1999.

Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink., Wetlands, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.

Moerke, A.H., G.A. Lamberti., Restoring stream ecosystems: lessons from a midwestern state, Restoration Ecology, vol. 12, pp. 327-334, 2004.

Naiman, R.J., H. Decamps, The ecology of interfaces: Riparian zones. Annual Review of Ecology and Systematics, vol. 28, pp. 621-658, 1997.

Richardson, D.M., P.M. Holmes, K.J. Esler, S.M. Galatowitsch, J.C. Stromberg, S.P. Kirkman, P. Pyšek, and R.J. Hobbs, Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects, Diversity and Distributions, vol. 13, pp. 126-139, 2007.

Sousa, W.P., The role of disturbance in natural communities, Annual Review of Ecology and Systematics, vol. 15, pp. 353-391, 1984