

Research Paper

매노천에서 생태적수질정화비오톱(SSB)으로 창출된 생태어도 및 홍수터 배후습지의 생태계 복원과 생태적 수질정화효과

변찬우* · 김용민**

상명대학교* · (주)삼안**

The Effect of Ecological Restoration and Water Purification of Ecological Fish-way and Floodplain Back Wetland Created as Sustainable Structured Wetland Biotope at Maeno Stream

Byeon, Chan-Woo* · Kim, Yong-Min**

Sangmyung University*, Saman Co.**

요약 : 본 연구는 매노천 생태하천복원을 위한 생태적수질정화비오톱 시스템과 생태어도(Fish-way) 등의 적용 대상지를 중심으로 생태하천 복원 전·후를 모니터링하였다. 어류는 복원전 서식이 확인되지 않았던 생태적수질정화비오톱 습지에서 총 11종 191개체가 창출복원된 것으로 조사되었다. 특히 복원목표종인 돌마자과 참중개가 생태적수질정화비오톱 습지에서 서식함이 모니터링되어, 미소서식처와 건전한 Fish-way가 창출되었음을 확인할 수 있었다. 양서류는 복원후 활동성이 높은 3차 조사시기에 습지와 그 주변에서 다수의 참개구리 서식으로 복원되었음이 확인되었다. 포유류는 수달이 습지와 Fish-way를 서식영역으로 활용하는 것이 확인되어 환경부 멸종위기 제1급이자 천연기념물인 수달 서식지가 복원된 것으로 조사되었다. 식물상의 경우 조사지역에 출현하는 관속식물은 복원 전 총 7과 13종, 복원직후 15과 19종, 복원후 총 22과 33종으로 증가되었다. 복원후 식생은 달뿌리풀 군락 등의 다양한 생태계의 기초생산자이자 수질정화에 기여하는 식재종인 정수식물군락이 형성된 것으로 조사되었다. 수질 모니터링 결과, 평균적으로 BOD 64.3%, T-N 47.2%, T-P 80.7%의 처리효율을 나타내었다. 생태계를 교란하는 제한요인(limiting factor)이 되는 비점오염원이 성공적으로 처리됨으로써 I, II등급수질에 서식하는 목표종이 창출적으로 복원되었다.

주요어 : 생태적수질정화비오톱, 생태어도, 수질정화, 생태복원

Abstract : This study monitored the changes before and after restoration of ecological stream focusing on the places which are applied Sustainable Structured wetland Biotop (SSB) system and ecological Fish-way for restoration of Maeno stream. A total of 11 species and 191 individuals of

fishes were founded out which were not verified inhabitation before restoration at SSB wetlands. Especially, it was could identified that micro habitat and healthy Fish-way was created because the restored target species, *Microphysogobio yaluensis* and *Iksookimia koreensis* were identified that habitation was monitored in SSB wetland. Amphibian have been restored to a number of *Rana nigromaculata* found in and around wetlands at the time of the third survey, which is highly active after restoration. Specified endangered species class 1 and natural monuments designated by the Ministry of Environment, *Lutra lutra lutra*, as a Mammalian, uses the wetlands and ecological Fish-way as habitat areas, and the his habitat is restored. In the case of Flora, vascular plants emerging in the survey area were increased to 7 and 13 species before restoration and 15 and 19 species directly after restoration, and 22 species and 33 species after restoration. Vegetation after restoration was found to be a basic producer of various ecosystems and a plant community that contributes to the purification of water quality such as *Phragmites japonica* communities. As the result of water quality monitoring, the average of treatment efficiencies were BOD 64.3%, T-N 47.2%, T-P 80.7%. Successful treatment of the nonpoint pullution source, which is a limiting factor to disturb the ecosystem, creatively restored the target species in the water quality class I, II.

Key Words : Sustainable Structured wetland Biotop, Ecological Fish-way, Water Purification, Ecological Restoration

I. 서론

최근 각 지역별 생태하천 복원사업의 환경영향평가 업무가 활발히 추진되고 있다. 1990년 제정·시행되었던 “수질환경보전법”은 2006년부터 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”라는 새로운 이름으로 바뀌었다. 이는 BOD 등 유기물질 중심의 수질관리뿐만 아니라 수생태계 복원과 수질 위해성 관리에 대한 제도적 틀을 마련하게 된 계기가 되었다(Ministry of Environment 2007). 하지만, 생태환경복원의 수생태계 복원을 통한 수질정화, 어도와 습지 조성으로 해당지역의 전반적인 생태 서식처 복원 등 융합적 목적을 달성할 수 있는 연구 개발이나 실제 성공적인 복원은 독일의 광업매립 복원(Wiegleb et al 2013), 경안천 습지복원(Byeon 2012)등 사례가 있으나 극히 드물다.

일본의 자연재생추진법 제3조제4항은 자연재생사업의 착수 이후 자연재생 상황을 모니터링 해야 한다고 명시하고 있다. 우리나라의 경우 생태하천 복원사업의 모니터링 항목은 “주로 복원사업을 통한 수질 개선, 생물다양성 증대, 생태계건강성 등에 초점을 맞춤(Ministry of Environment 2011)” 또한 사후관리의 사후모니터링 항목을 육안 검사, 물리적 요인,

수질 요인, 생물 요인, 수생태계 건강성 요인 등으로 제시(Ministry of Environment 2014)하고 있으므로, 생태하천 사업의 환경영향평가에서도 가장 중요한 부분은 수생태계 및 수질환경 복원의 모니터링이라고 볼 수 있다.

대부분 통합관리가 아닌 재해방지나 수질정화등 특정목적에 중점을 두는 토목공사방식 및 설계와 시공을 분리 발주하는(Ji et al, 2006; Choi et al 2008) 일반적 건설방식에 따라 생태하천을 조성하기에 수생태계 복원기능이나 생태적 수질정화 효율이 모니터링되기 어렵다. 이러한 상황에서 국내 하천 특성에 맞게 개발된 생태적수질정화비오톱 시스템이나 산발식어도여울 등은 국내 풍토에 맞는 생태환경 복원 기술을 토대로 만들어졌다. 약 15년여 동안, 이를 연구 개발하여 실제 다양한 하천, 저류지 등의 현장에 적용하고 모니터링 함으로써 국내여건에 맞는 생태하천 복원 방안을 제시해왔다(Byeon 2006; 2010a; 2010c; 2014). 생태하천의 구조나 그 배후습지는 수질정화기능이 정량적으로 검증되어야 한다. 생태적 수질정화비오톱을 통해 창출된 하천의 배후습지는 자연습지와 유사한 기능과 구조를 가지도록 현장 맞춤형 설계를 통해 적용해야 한다. 이는 자연습지와

달리 거의 모든 장소에서 조성이 가능하다(Mitsch 1993; Kadlec & Knight 1996; US EPA 1999). 또한, 목표종 복원이나 생물다양성을 증진시키기 위해서는 생태복원기능의 향상은 물론 치수와 친수 기능까지 충족시킬 수 있는 구조와 기능으로 복원되어야 한다. 이러한 복합 기능을 수행하기 위해서 생태·환경 공학(Ecological Environmental Engineering)에 기초하여 계획, 설계 및 시공을 수행하여야 한다. 이 때 생태·환경공학적 접근을 통해 공간을 다루려면 풍토와 대상지의 장소성을 고려하여 조성해야 한다(Byeon 2006; 2010a; 2010b; 2012; 2014). 이러한 결과는 우리나라 생태하천 보전과 복원의 효과에 관한 환경평가의 기준이 될 수 있다.

어도는 “하천에 어류의 이동을 곤란 또는 불가능하게 하는 장애물이 있을 경우 이를 해소할 수 있도록 만들어진 수로 또는 장치(Ministry of Homeland and Maritime Affairs 2009; 2011, <http://www.fishway.go.kr>)”로 정의하고 있다. 과거의 어도는 경제성 우선 어도였으나 현재는 어류, 저서동물 등의 수생생물과 양서·파충류, 포유류 등이 서식공간 역할 등 모든 동물을 위한 생태환경보전어도가 적용되고 있다(Kim et al. 2015). 최근 어도나 생태통로 등에 생물을 위한 시설물의 도입이 생태공학적 측면에서 지속적으로 연구되고 있다. 하천설계기준(2009)에 의하면 어도의 형식은 풀형식, 수로형식, 조작형식으로 구분된다. 세부적으로 풀형식은 계단식, 버티컬슬롯식, 아이스하버식으로 구분되고, 수로형식은 도벽식, 인공하도식, 데널식, 조작형식은 갑문식, 리프트식, 트럭식으로 구분된다(Ministry of Homeland and Maritime Affairs 2009). 본 연구의 Zigzag형태의 Fish-way는 이들 형식중 수로형식 어도를 현장조건에 적합하도록 고안된 자연형 어도의 한 유형이다. 본 연구에서도 어도를 이용하는 어류의 이동 패턴과 어도의 구조, 기능 등에 주안점을 둔 것뿐만 아니라, 치수, 이수 등의 공학적 측면을 고려함으로써 생태공학적인 관점에서 접근하였다.

순응관리란 생태계의 형성과정에 순응하여 관리하는 방식(Gwangju Development Institute, 2009). 생태계의 시간적인 변화와 공간적인 변화의 유연성

을 고려하여 어느 정도의 변화를 허용한 구조(Lee JH & Sung HC, 2013)라 하고 있어 공사후 현지의 생태계 변화를 허용하는 관리방식이다.

건설분야에서 통합관리의 필요성은 주로 건축분야에서 활발히 추진되고 있는데, “초기에 설정된 목표를 설계-시공-운영-철거 단계까지 지속적, 구체적으로 적용해야 함”(Kang S.H. & Kim W. 2013)을 주장하고 있다. 일본의 경우 건설프로젝트를 기획 및 설계단계부터 건설사업관리를 도입하여 수행(Yoon et al. 2015)하고 있다. 우리나라의 경우 생태하천복원 등 계획-설계-시공-유지관리에 이르기까지 모니터링하여 필요한 생태·환경공학적인 지식과 기술을 통합관리해야 함을 강조하고 있다(Byeon 2010b, c; 2012; 2014).

이에 본 연구는 계획, 설계, 복원시공 및 모니터링 과정의 통합관리 체계를 통해, 매노천 중하류에서 생태적 수질정화비오톱(Sustainable Structured wetland Biotop:SSB)으로 창출된 홍수터 배후습지 및 생태적 Fish-way(산발식어도어울:Sustainable Structured Fish-way)의 생태계 복원 및 생태적 수질정화효과를 모니터링하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

1) 일반 현황

매노천은 대전광역시 서구 일원에 위치하며, 금강수계의 갑천 지류에 해당되는 하천으로 갑천(국가하천)의 하구로부터 약 32 km 상류지점에 위치하고 있다. 유역면적 17.64 km², 유로연장 10.27 km로 동경 127°19'38"~127°21'59", 북위 36°10'58"~36°15'36" 사이에 위치하며 유향은 북서방향으로 흐른다. 또한 유역형상은 수지상 유역으로 유역평균폭 1.72 km, 형상계수 0.17이다. 본 매노천 유역의 평균고도는 EL.198.2 m, 유역평균경사는 중·상류 46.04~49.49%, 하류 39.03%로 급한 편이고, 하상경사는 중류부 1/72, 하류부 1/119 정도이다.

연구대상인 매노천 연장은 3.82 km이며 그 중 생태공학적인 복원을 위한 주요 시설(습지, Zigzag형태

Fish-way, 자연형어도여울)이 위치한 구간은 중류 부이다(Figure 1).

2) 자료수집

본 연구 대상지인 매노천의 기초자료는 “매노·성전·삼성천 하천기본계획보고서, 2011, 대전광역시”를 토대로 하천의 연장, 하폭, 하상의 상태, 하천 횡단형, 수질 및 생물 서식현황과 주변 여건 등에 관해 조사하였다.

본 대상지인 매노천은 한때 갑천 상류의 생태적 네트워크와 거점이 될 수 있는 참중개, 돌마자, 참갈겨니, 쉬리 등 우리나라 특산종 및 자생종이 서식하는 주요공간이었다. 그러나 1960-1970년대 하천 내에 기 조성된 인공 콘크리트 보를 비롯한 토목 구조물이 다수 설치되고, 좁아진 하도 형상을 지니게 되었다.

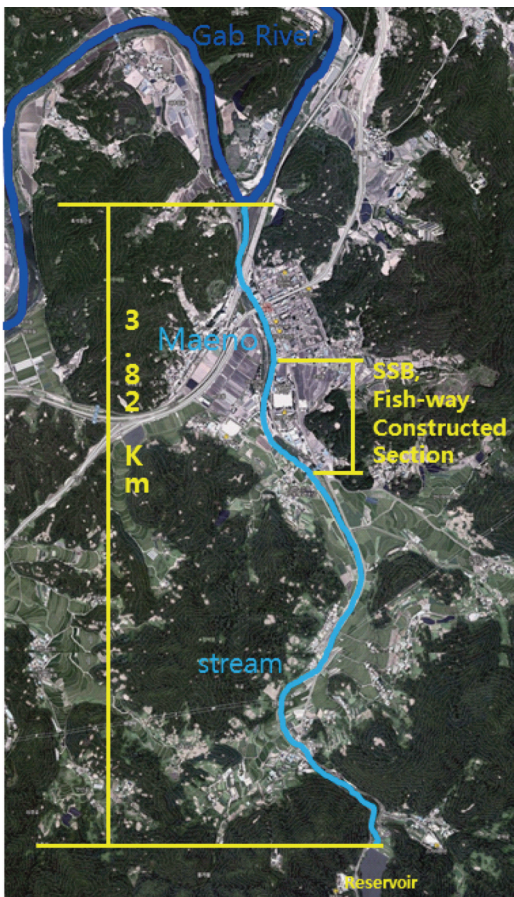


Figure 1. Location of Maeno Stream

또한 계획 착수기에 상류 개발로 인해 본 대상지 우안 홍수터에는 토사 퇴적이 극심하게 이루어져 좌안 일부에 편향된 물 흐름을 보이는 하상구조를 지녀, 생태적으로나 치수적으로 매우 불안정한 상태였다. 게다가 대상지역인 중하류부는 주변에서 불규칙하게 방류되는 생활하수 및 농경지 비점오염원 등으로 인해 III등급 이상의 하천 수질 악화 및 생물서식처 훼손이 이루어지는 하천이었다. 수리·수문적으로는 갈수기 및 홍수기 유동적으로 유량이 유입되며, 수질 환경적으로는 비점오염원 유입 등 수질 I~Ⅶ등급 변동이 있었다. 따라서 매노천 유역의 수리수문을 고려한 생태적 수질정화습지 및 친환경 어도여울을 설치하고자 하였다. 생태적 수질정화비오톱의 습지를 통해 II등급 이상의 맑은 수질로 개선하고 사라진 돌마자, 참중개가 되돌아오는 생태적 구조와 기능을 지닌 미소서식처를 창출적으로 복원하고, 상·하류간의 단절을 방지하는 Fish-way를 조성하였다.

2. 생태하천복원 및 통합 모니터링 과정

1) 계획·설계 및 복원시공

2013년 본 연구의 대상지인 매노천에 문헌조사 및 현장조사 결과를 토대로 하천의 생태·환경공학적 특성의 고려하고, 수리·수문 검토 통한 타당성 조사를 기초로 치수·이수를 보장하는 범위 내에서 계획, 설계 및 복원시공을 통합적인 모니터링을 통해 시행하였다.

2) 생태 모니터링

매노천 생태하천복원을 위한 Fish-way 및 생태적수질정화비오톱의 생태복원효과를 분석하기 위해서 복원 공사 착공시(2013년 11월), 복원공사 준공직후(2014년 4월), 복원공사 6개월후(2014년 9월) 등 총 3회에 걸쳐 모니터링을 시행하였다. 각 분류군별 서식환경 및 반경, 조사방법을 고려하여 대상지를 중심으로 Figure 2의 습지조성 지점(B-w)과 하천의 상류지점(B-us), 하류지점(B-ds), 어도지점(B-fw) 등에 대해 현장조사를 시행하였다(Ministry of Environment 2002).

(1) 포유류

조사지역의 포유류는 직접관찰 방법(성체목측)과 야생동물의 서식이나 이동흔적을 찾는 간접조사방법(굴 흔적, 족적, 사체, 먹이섭식 흔적, 배설물, 은신처, 털) 등을 분석하여 서식종을 판단하였다.

(2) 양서·파충류

양서·파충류의 생태특성을 고려하여 파충류의 경우 초지, 하천주변, 돌 밑 등을 확인하였고, 양서류는 습지와 저수로, 주변의 웅덩이, 경작지 등을 조사하였다.

(3) 어류

담수어류의 채집은 족대(망목 3 mm×3 mm, 4 mm×4 mm), 투망(망목 10 mm×10 mm) 등을 이용하여 채집하였고, 채집한 어류는 동정, 촬영, 개체수 확인 후 방류하였다.

(4) 식물상

식물상은 하천구역 및 습지조성 지역을 도보로 이동하면서 종을 조사하여 종을 동정하였으며, 식재에 의한 식재종 과 자연정착에 의한 침입종 등 수질정화

등에 기여하는 정수식물류의 서식여부를 모니터링하였다.

(5) 식생

식생은 2015년에 생태하천 복원공사 후 수변식물 군락의 안정적 형성 여부를 파악하고자 연구 대상지역에서 Figure 3과 같이 3개소를 선정하여 하천단면의 식물군락 분포현황을 조사하였다.

3)수질 모니터링

매노천 생태적수질정화비오톱의 수질처리효과를 분석하기 위해서 Figure 2에 제시된 습지의 유입부(W-i)와 유출부(W-o)를 채수지점으로 선정하여 정화효과를 분석하였다. 수질분석을 위한 샘플링은 2013년 10월, 12월, 2014년 6월, 9월에 걸쳐 총 6회 모니터링을 통해 조사하였고, 수처리 효과를 분석하기 위해서 주요 수질 측정항목인 BOD₅, T-N, T-P 등을 수질오염공정시험기준에 따라 분석하였다 (Ministry of Environment 2012).

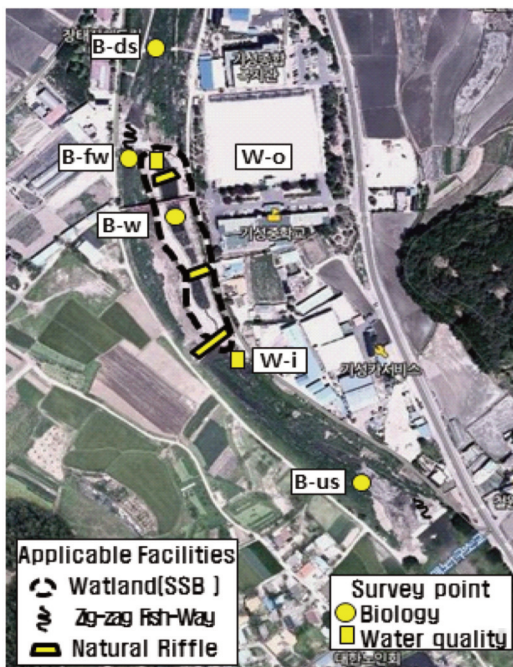


Figure 2. Status and characteristics of the site

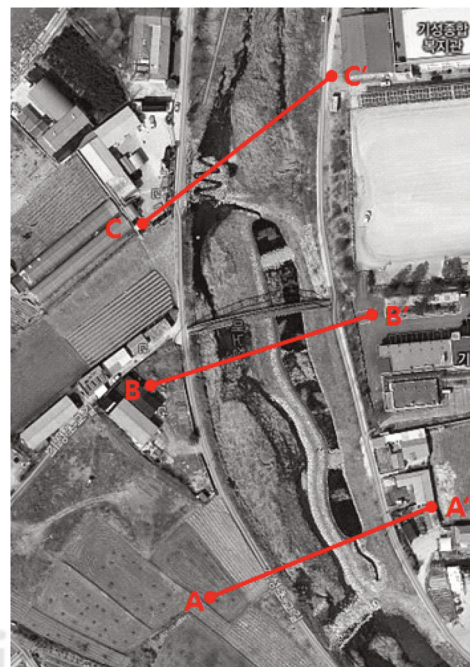


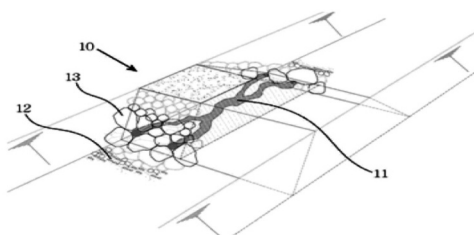
Figure 3. Location map of vegetation survey

3. 생태적수질정화비오톱 및 Fish-way의 구조와 기능

생태적수질정화비오톱(SSB)은 자연수면형 인공습지로서 다양한 특허들로 구성되어 있고 환경신기술(제258호)로 수치리 효율과 생태복원 기능이 검증되었다(Byeon 2006; 2010a). 생태적수질정화비오톱의 구조는 침강지(forbay Retention)와 습지(wetland), 연못(pond)이 반복되는 다단계 셀(multi-cell) 및 침전지(micropool-Retention)으로 이루어진다(Byeon 2006; 2010a). 본 연구대상지와 같이 생태적으로 교란된 하천의 경우도 맞춤형 설계로 적용될 경우 자유수면형 습지에서 도출될 수 있는 고효율의 생태계복원기능과 수질처리효율이 창출·복원될 수 있다(Byeon 2010a; 2010b ; 2012).

일반적인 어도가 대부분 콘크리트 구조물로 형성된 것과 달리 Zigzag형태 Fish-way는 기존 보의 기능을 유지시키면서 보의 일부분에 어류의 이동이 가능하도록 경사로를 형성하고 자연재료인 돌을 활용하여 매노천 현장여건에 최적의 형상으로 설계한 생태공학적 구조물이다.

자연형어도여울(산발식어도여울 : Sustainable Structured Fish-way)은 대상하천의 장소적 특성(site-specific)에 맞게 설계·시공됨으로써 보나 여울소의 기능을 충족시키면서 이수·치수적, 생태적, 경관적으로 향상시킨 생태공학적 시설물이다(Figure 4). 전면부에 보에 의한 소(pool)를 조성하여 생태계 안정성 보장을 위한 갈수기 유지용수 확보와 홍수발생시 하천 구조적 안정성을 강화하기 위한 구조로 되어있다.



10:Sustainable Structured Barrage,
11:Scattered Fish-way, 12:Pebble, 13:Megalith

Figure 4. Ecological Fish-way of Structured with Riffle, Pool (Byeon 2013, patent No. 10-0839660)

본 자연형어도여울의 경우 접촉산화법, 폭기 작용을 활용한 수질환경 개선 및 갈수기조차도 저서성 어류의 통로를 위한 생태적 연결성, 소생물 서식처를 확보하였다. 또한, 하천구조에 맞춰 다양한 규격의 자연재료를 활용함으로써 경관성이 높은 하천시설이다.

III. 결 과

1. 통합관리를 통한 계획·설계·복원시공 및 모니터링 과정

1) 통합관리(integrated management) 구축

통합관리는 생태복원 목표를 고려하여 계획부터 설계, 시공까지 모니터링하여 필요한 생태·환경공학 지식과 기술을 통합적으로 진행하는 것이다(Byeon 2010b, c ; 2012 ; 2014). 따라서 Figure 5에 제시한 바와 같이 전통적인 건설방식에서는 단절된 계획, 설계, 시공, 유지관리, 모니터링 등의 단계를 통합적으로 연계하여, 시공과정에서도 개별현장의 생태적 변화과정에 순응적으로 대처하면서 통합적으로 관리하였다.

즉, 자연 스스로가 대상지의 주변 환경과 동화되어 적응하게 하는 순응관리를 시행하고, 현장에서 발생하는 다양한 환경변화(강우, 유량, 수질, 생물상 등)에 대응하여 시간적, 공간적 여건에 따라 생태공학적 측면의 공정, 공종 등을 조정하며 공사를 통합적으로 시행하였다. 이는, 생태공학 시스템으로 개발한 특허들을 상업적 목적으로만 활용함을 지양하고, 모니터링을 목적으로 통합관리의 수단으로 활용함으로써 성공적인 통합관리가 될 수 있었다(Byeon 2012).

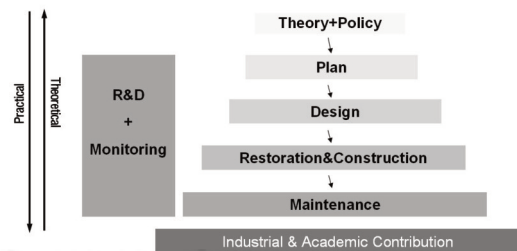


Figure 5. Holistic process for environmental and ecological restoration(Byeon 2010 c).

2) 계획 및 설계 과정

본 연구대상지인 매노천의 생태공학 및 환경공학 적 접근으로 체류시간, 겨울철 처리효율, 식재밀도, 토양 등을 철저히 고려하여, 홍수터 퇴적부에 생태 습지 조성과 하도내 보를 개선하는 계획을 수립하였다. 주요 복원대상지의 생태하천복원 계획은 생태적 수질정화비오톱 구역, 자연형어도여울 구역과 생태하천복원 구역, 기존하천보전구역으로 구분하였다.

Zigzag형태 Fish-way는 하천설계기준에서 제시하는 어도의 설계기준(경사 1/20 이하, 수심 0.2 m 이상, 유속 0.5 m/s~1.0 m/s)로 제시하고 있는 내용을 준수하며 설계 및 시공하였다. Figure 6과 같이 보의 상단 표고 El. 73.73 m, 하단 표고 El. 71.44 m로 단차가 2.29 m이므로 1/20 경사에 의한 어도 설치시 연장 45.8 m의 장대 어도를 조성하여야 하나, 현지여건상 실제 조성하고자 어도의 위치조건은 기존 설치되어 있는 어도와 같이 약 21 m 정도였다. 이러한 현지의 한계 조건을 극복하여 현장을 생태공학 적 접근방식에 의한 Zigzag형태 어도를 설계하여 어도내 수로 연장을 49 m로 하여 1/20보다 완만한 경사의 어도를 시공하였다.

하천 생태 네트워크를 보강하기 위한 Fish-way의 일반적 기준이 되는 재현성(再現性) 높은 부분은 국가적으로 공인된 자연형 어도여울(산발식어도여울; 특히 제10-0839660호(자연형 어도보를 갖는 하천))을 설치하여 생태하천으로 복원설계를 진행하였다.

한편 생태적으로 지속가능하고, 높은 수처리 효율이 도출되는 생태적수질정화비오톱(SSB) 시스템을 도입

Table 1. Residence time of the facility

Division	Volume (m ³)	Residence time (hr)	Flow rate (m/hr)	Depth (m)
Forebay	409	4.6	9.9	0.6
Wetland/ Pond	1,145	7.7	14.9	0.2~0.8
Micropool	242	2.3	10.4	0.6

하여 습지를 조성하였다. 하천 우안 홍수터의 상습 침사 퇴적 지역에 습지 면적 1,800 m²(부지면적 10,000 m²), 체류시간 약 14.6 hr(0.6 day)규모의 생태적수질정화비오톱 시스템을 현지 맞춤형 설계를 통해 조성하였다. Table 1과 같이 본 시스템의 다단계 셀 구성은 침강저류지(forebay), 습지/연못(wetland /pond), 침전지(micropool) 등 크게 세개의 영역으로 나뉘며, 각각의 체류시간은 4.6 hr, 7.7 hr, 2.3 hr로 설계하였다.

3) 시계열적 생태환경 복원시공과정

2013년에 생태습지와 Zigzag형태 Fish-way를 조성하고, 2014년 이후에 생태하천 복원 공사와 Fish-way(자연형어도여울)를 중심으로 생태환경복원시공을 수행하였다. 복원시공 중 현장의 수질, 수위, 토양, 동식물상 등 생태공학·환경공학적인 요소의 변화를 모니터링하면서 복원공사를 시행하였다. 특히 통합관리 방식으로 모니터링 과정을 통하여 복원 시공 중에도, 특히 하천의 수리·수문적 변화를 고려한 미지형, 수생태, 수질환경 등의 자연형성과정(natural process)를 반영하여 최적의 복원이 되도록 지속적으로 습지와 Zigzag형태 Fish-way 및 자연형어도여울의 구조 및 형태를 모니터링·조정하였다.

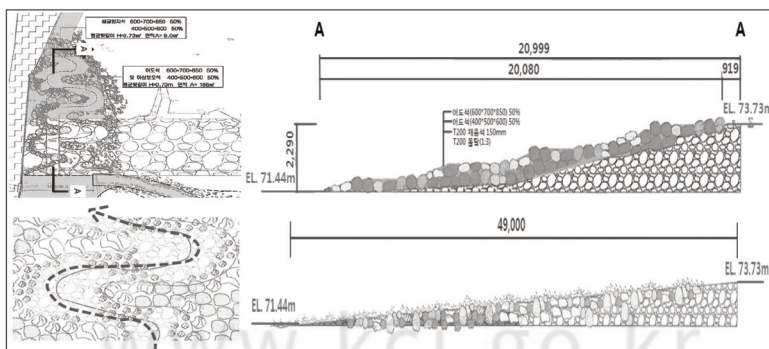


Figure 6. Design and Master Plan Process of Zigzag type Fish-way (Byeon 2012)

또한 Zigzag형태 Fish-way는 2017년까지 3년 동안 홍수기를 거쳤음에도 어도의 퇴적, 붕쇄 등으로 인한 어도기능 상실은 나타나지 않아 수리적으로 안정성이 확보된 상태이다(Figure 7). 어도 관리는 해당 시설물의 관리기관에서 하천시설물 유지관리시 전체적인 유지관리를 시행하도록 하였다.

생태적수질정화비오톱 복원시공을 통해, 기존 복원전 망초, 썩, 소리쟁이 등이 무성한 퇴사지였으나, 복원이후 맑은 물 확보를 통해 달뿌리풀, 창포, 수련 등 다양한 수생식물이 자리잡고 참종개, 수달 등 자생종들이 서식하는 주요 생태환경거점으로 복원하였다. 2014년이후 기존 퇴사부 현황을 고려하여 하천 중심을 흘렀던 중심 수로를 창출적으로 복원하여 친환경적으로 생태하천 생태계를 창출하였다. 또한, 기존 하천흐름을 보전하면서 여울, 소 등을 활용하여 하천 흐름 및 통수를 원활히 하고, 수질 및 생태계를 개선하는 생태하천 복원을 시행하였다.

공사중 및 공사 직후 시운전 및 모니터링 수행을 통해 생태적수질정화습지가 안정적으로 운영되도록 유지관리 측면의 유입 수위, 유량 등에 대한 시설물의 보완을 시행하였다. 이러한 과정으로 생태적, 환경공학적인 측면의 생물종 서식환경 형성과 안정적 수환경 개선이 이루어질 수 있도록 조정하고 통합관리를 시행하였다.

2. 생태계 복원 및 수질정화효과 결과분석

1) 동물상

(1) 목표종 복원인 어류

복원 전·후 현지 조사시 조사지역에서 관찰된 어류는 Table 2와 같이 매노천 생태적수질정화비오톱 복원 구역과 Fish-way(Zigzag형태 Fish-way, 자연형어도여울)가 조성된 하천구역으로 구분하여 조사

하였다. 그 결과, 매노천 생태적수질정화비오톱 구역의 경우, 공사 착공시 습지 예상구간에서 어류는 확인되지 않았고, 복원후 조사에서 총 11종 191개체가 조사되었다. 특히 복원후 6개월 경과 시점의 조사결과 습지의 대부분 지역(침강지, 습지/연못, 침전지 등)에서 다양한 종의 담수어류가 서식하는 것으로 조사되었다. 또한 Table 2에서 보는 바와 같이 하천구역에서도 복원시공 이전보다 총 출현 개체수가 90개체에서 142개체로 증가되었다. 이는 생물의 상·하류 연속성 확보를 위해 조성된 Zigzag형태 Fish-way 및 자연형어도여울을 통해 다양한 어류들의 이동이 활발한 것으로 모니터링되었다.

돌마자(*Microphysogobio yaluensis*)의 경우 본 연구와 관련한 복원사업의 복원 목표종으로써 2010년 하천기본계획 수립시 탐문조사에서 서식하고 있던 것으로 기록되고 있으나(Daejeon Metropolitan City 2011), 복원사업 시행전(2013.3) 현장조사에서 서식이 확인되지 않았다. 이는 농촌형 비점오염원과 단절된 생태통로 부재가 주된 원인이었다. 또한 복원사업 공사착공시 및 복원직후에도 서식이 확인되지 않았다. 하지만, 복원사업 완료 6개월후 매노천 본류와 생태적수질정화비오톱 구역에서 서식이 확인되며 목표종이 성공적으로 복원되어¹⁾, 생태적인 수질정화기능은 물론 목표종의 미소서식처가 성공적으로 조성됨이 모니터링되었다.

1) 환경부, 2014.08. 생태하천 복원사업 기술지침서, p64
 - 환경부 생태하천의 복원의 기본방향 중 하나로 깃대종 등 생물종 복원 중심의 하천사업을 명시하고 있음.
 - 이에 대한 방침으로, 사업계획 단계부터 깃대종 선정 및 지표종 복원방안 강구함
 - 또한, 사업완료후, 지속적인 모니터링을 통해 깃대종 복원 여부를 확인하여 생태하천 복원의 효과를 확인하여 생물종 변화, 서식처 훼손 실태 등을 파악하는 시스템구축요망



Figure 7. Before and After Site Views of Restoration at FishWay

Table 2. Survey of fish fauna

No.	Family	Species	2010	2013. 3	Primary (Under construction of restoration) 2013.11		Secondary (Immediately after restoration) 2014.4		Third(Six months after restoration) 2014.9					Note	
					Maeno mid stream	Wetland Planned place (Sediment)	Maeno mid stream	SSB	Maeno midstream				SSB		
									Fish- way	Up stream	Down stream	Sum			
1	Cyprinidae	<i>Pseudorasbora parva</i>			8					2		2			
2		<i>Carassius auratus</i>	○	1	5	1					4	4			
3		<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	○												
4		<i>Pseudogobio esocinus</i>	○	12	4				3	6		9	22		
5		<i>Hemibarbus longirostris</i>		9	1								3		
6		<i>Pungtungia herzi</i>	○	23	13			13	4		7	14	21	19	
7		<i>Squalidus gracilis majimae</i>	○	14											
8		<i>Microphysogobio yaluensis</i>	○							6			6	52	특
9		<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>				4			2	4			4	5	
10		<i>Zacco koreanus</i>		78	27			42	8	22	14	25	61	37	특
11		<i>Zacco temminckii</i>	○	23											
12		<i>Zacco platypus</i>	○	24	9			10				7	7	15	
13	Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		1	1								1		
14		<i>Iksookimia koreensis</i>	○	13	3			1			4		4	14	특
15	Bagridae	<i>Pseudobagrus koreanus</i>		3	3					1			1	특	
16	Odontobutidae	<i>Odontobutis platycephala</i>	○	7	4						2	2	1	특	
17	Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i>										9		외, 교	
18	Gobiidae	<i>Rhinogobius brunneus</i>		4	7			2		4	3	5	12	8	
Total	Species				13	6	3	13	11						
	Individuals				90	68	14	142	177						

주1) 특 : 한반도 고유종(특산종), 외 : 외래종

주2) 교 : “생물다양성보전·이용에 관한법률” 제23조(환경부고시 2013-12호) 환경부지정 생태계교란생물

주3) 2010년 조사는 매노천 하천기본계획에 수록된 자료로써 당시 탐문조사된 내용임(Daejeon Metropolitan City 2011; Maeno stream·Seongjeon stream·Samseong stream River basics plan)

주4) 2013.3 조사는 공사착공전 실시설계시 조사된 내용임

주5) 2014.9 조사는 (Daejeon seogu, 2014.09, Ecological river Fish-way Restoration business(Secondary) Restoration construction monitoring report p106)에 수록된 내용임

Table 3. Survey of Amphibians and Reptiles

No.	Family	Species	Primary (Under construction of restoration) 2013.11		Secondary (Immediately after restoration) 2014.4	Third (Six months after restoration) 2014.9	Note
			Maeno midstream	Wetland Planned place (Sediment)			
1	Ranidae	<i>Rana nigromaculata</i>				Adult	
2		<i>Rana rugosa</i>	Adult		Adult	Adult, tadpole	
3		<i>Rana temporaria dybowskii</i>	Adult				
4	Colubridae	<i>Rhabdophis tigrinus lateralis</i>				Adult	
Total		Families	1		1	2	
		Species	2		1	3	

Table 4. Survey of Mammalian Fauna

No.	Family	Species	Primary (Under construction of restoration) 2013.11		Secondary (Immediately after restoration) 2014.4	Third (Six months after restoration) 2014.9	Note
			Maeno midstream	Wetland Planned place(Sediment)			
1	Canidae	<i>Nyctereutes procyonoides koreensis</i>	pad	pad	pad	pad	
2	Mustelidae	<i>Lutra lutra lutra</i>	animal dung		animal dung	animal dung	천, 멸
3	Felidae	<i>Felis catus</i>			watch	watch	
4	Cervidae	<i>Hydropotes inermis argynopus</i>	pad	animal dung	pad, animal dung	pad, animal dung	
5	Muridae	<i>Mus musculus yamashinai</i>	watch				
Total		Families	4		4	2	
		Species	4		4	3	

주) 천: 문화재청 지정 천연기념물 제330호, 멸 I: 환경부지정 멸종위기야생생물 I급

이번 연구에서 Zigzag형태 Fish-way를 이용하는 어류의 이동성에 대한 조사는 이루어지지 않았다. 하지만 Fish-way지점을 비롯한 전체적인 하천구간과 습지조성구역에 대한 조사를 시행하여, 돌마자, 참종개의 미소서식처 비오톱의 창출여부를 모니터링하였다. 향후 Fish-way 어류 이용 현황에 대한 추가 조사를 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

(2) 양서·파충류

양서·파충류 모니터링 결과, 복원 전·후 관찰된 양서류는 Table 3과 같이 공사착공시(2013.11) 양서류는 1과 2종이 조사되었고, 복원 후(2014. 4 및 2014. 9) 조사에서 참개구리, 옹개구리 등 양서류 2종과 파충류 1종이 각각 조사되었다. 1, 2차 조사기간 모두 비교적 기온이 낮은 시기로서, 변온동물의 생태특성상 활동성이 낮아 옹개구리, 북방산개구리 2종이 조

사되었지만 많은 개체가 확인되지는 않았다. 그러나 3차(2014. 9)조사 시기에는 양서류의 활동성이 높은 시기로 다수의 참개구리가 생태적수질정화비오톱 등 창출·복원된 습지를 중심으로 그 주변지역까지 폭넓게 서식하는 것이 확인되었다.

(3) 포유류

포유류의 모니터링 결과, 복원 전·후 관찰된 포유류는 Table 4와 같이 1차조사(복원 전)에서 4과 4종, 2차, 3차 (복원 후) 4과 4종으로 종수는 동일하나 복원전에 관찰되었던 생쥐가 복원후에는 관찰되지 않았고, 추가로 야생화된 고양이의 서식이 확인되었다. 한편 복원 후 매노천을 따라 이동하는 수달, 고라니, 너구리 등이 습지를 활동영역으로 이용하는 것으로 조사되었다. 또한 2013년 1차 조사에서 매노천 수변부에서 확인된 수달(환경부지정 멸종위기야생생물

I급, 천연기념물 제330호)이 2014년 2~3차 조사결과, 습지내 바위와 Fish-way 주변에서 수달의 배설물이 생태적수질정화비오톱 습지를 거점으로 확인되었다. 특히, 수달의 먹이원이 되는 어류가 유입되었고 서식환경이 안정화되면서 수달의 휴식 및 먹이 공급처로 이용된 것으로 분석된다.

2) 식물상 및 식생

(1) 식물상

Table 5와 같이 생태적수질정화비오톱 및 생태하

천 복원지역내 식재종과 유입종을 조사하였다. 식물상의 경우 복원전후 모니터링 결과를 분석하였다. 현장조사결과 조사지역에 출현하는 관속식물은 1차 복원전(2013.11) 총 7과 13종, 2차 복원직후(2014.4) 총 15과 19종, 3차 복원후(2014.9) 22과 33종으로 조사되었고, 법정보호종은 확인되지 않았다. 대상지내 생태적수질정화비오톱을 중심으로 복원된 식재종인 갈대, 부들, 줄, 노랑꽃창포 등이 우점하며 초장이 거의 1.5 m이상으로 생육상태가 양호하고 뿌리 활착율도 높아 적응이 아주 잘 되어있는 상태였다. 유입종

Table 5. Survey of Flora

No.	Family	Species	Primary (Under construction of restoration; 2013.11)		Secondary (Immediately after restoration; 2014.4)		Third (Six months after restoration; 2014.9)	
			Flora Species	Inflow Dropsy	Flora Species	Inflow Dropsy	Flora Species	Inflow Dropsy
1	Gramineae	<i>Phragmites communis</i>			◎		◎	
2		<i>Zizania latifolia</i>			◎		◎	
3	Iridaceae	<i>Iris pseudoacorus L.</i>			◎		◎	
4		<i>Iris ensata var. spontanea</i>			◎		◎	
5	Menyanthaceae	<i>Nymphoides peltata</i>			◎		◎	
6	Typhaceae	<i>Typha orientalis</i>			◎		◎	
7		<i>Typha angustata</i>			◎		◎	
8	Nymphaeaceae	<i>Nymphaea tetragona</i>			◎		◎	
9	Polygonaceae	<i>Persicaria thunbergii</i>			◎		◎	
10	Cyperaceae	<i>Scirpus triqueter</i>			◎		◎	
11	Gramineae	<i>Phragmites japonica</i>		◎		◎		◎
12	Ginkgophyta	<i>Ginkgo biloba</i>				◎		◎
13	Labiatae	<i>Leonurus sibiricus</i>				◎		◎
14		<i>Orthodon punctulatum</i>						◎
15	Asteraceae	<i>Erigeron annuus</i>		◎		◎		◎
16		<i>Erigeron canadensis</i>		◎				
17		<i>Tagetes patula</i>				◎		◎
18		<i>Artemisia princeps var. orientalis</i>		◎		◎		◎
19		<i>Tagetes erecta</i>						◎
20		<i>Cosmos bipinnatus</i>						◎
21		<i>Bidens bipinnata</i>		◎				◎
22		<i>Bidens frondosa</i>		◎				
23		<i>Ambrosia artemisiifolia</i>		◎				
24		<i>Lactuca indica</i>						◎
25	Fabaceae	<i>Pueraria thunbergiana</i>		◎		◎		◎
26		<i>Trifolium pratense</i>						◎

Table 5. Continue

No.	Family	Species	Primary (Under construction of restoration; 2013.11)		Secondary (Immediately after restoration; 2014.4)		Third (Six months after restoration; 2014.9)	
			Flora Species	Inflow Dropsy	Flora Species	Inflow Dropsy	Flora Species	Inflow Dropsy
27	Equisetaceae	<i>Equisetum arvense</i>		◎		◎		◎
28	Amaranthaceae	<i>Chenopodium album</i>		◎				
29	Cannabaceae	<i>Humulus japonicus</i>		◎		◎		◎
30	Polygonaceae	<i>Persicaria thunbergii</i>		◎				
31		<i>Rumex crispus</i>		◎				
32		<i>Polygonum longisetum</i>						◎
33	Primulaceae	<i>Trientalis europaea L.</i>						◎
34	Convolvulaceae	<i>Ipomoea nil</i>						◎
35	Commelinaceae	<i>Commelina communis</i>						◎
36	Amaranthaceae	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>						□
37	Balsaminaceae	<i>Impatiens balsamina</i>						◎
38	Poaceae	<i>Pennisetum alopecuroides</i>						◎
39		<i>Arthraxon hispidus</i>						◎
Total		Families		7	8	7	8	14
		Species		13	10	9	10	23

은 주로 식재된 정수식물인 고마리, 달뿌리풀 군락 등이 우점하고 있다.

(2) 식생

연구 대상지는 복원이전 만곡부에 반복적이고 연속적인 토사 퇴적에 의해 고수부로 형성된 지역이며, 식생군락은 주로 제방부의 환삼덩굴로 단순한 식생이며, 고수부지의 경작활동으로 자연식생군락이 빈약하여 생물서식 공간으로 기능을 다하지 못한 상태였다.

생태적수질정화비오톱 복원이후 식생군락의 분포를 확인한 결과 식재시스템의 식재 의도대로 습지에 산소를 공급하는 통기조직을 가지고 있는 정수식물

인 달뿌리풀, 부들, 창포, 연꽃 등이 군락을 이루어 우점하고 있다. 특히 이는 하천의 종다양성에 지대한 역할을 미치는 기초 생산자로서 하천 배후습지 생육의 안정적 기반형성은 물론, 매노천 중류의 생태적 제한요인인 하천 비점오염원에도 회복력(resilient)을 갖춘 수질정화기능에 절대적으로 기여하고 있는 것으로 조사되었다.

St.1 지점은 Figure 8과 같이 달뿌리풀군락이 우점하고 있으며, 유로를 따라 개방수역이 형성되어 있으며, 제방사면은 주기적인 영향을 받는 것으로 판단되는 단경혼생초지가 형성되어 있다.

St.2 지점은 Figure 9와 같이 인공습지가 조성된

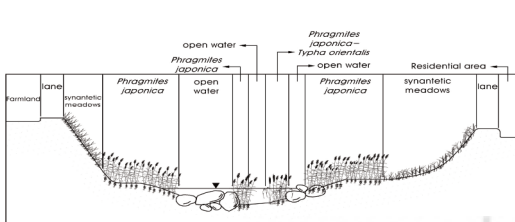


Figure 8. Vegetation cross section of after restoration (St.1 A-A')

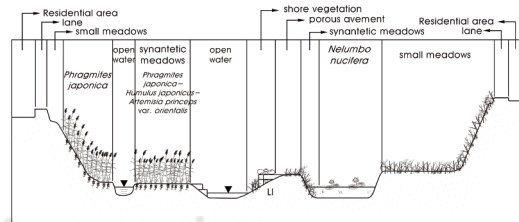


Figure 9. Vegetation cross section of after restoration (St.2 B-B')

구간으로 기존에 형성되어 있던 좌안의 유로를 따라 달뿌리풀군락과 달뿌리풀-환삼덩굴-쑥이 우점하는 혼생군락이 분포하고 있다. 또한 인공습지 호안부는 줄, 창포류, 부들 등의 수변식생군락이 형성되어 있으며, 습지내부 수련과 검정말과 같은 수생식물이 밀생하고 있어 수생동물의 서식지를 제공하고 있다.

St.3 지점은 곡류형태의 완경사의 수로로 하상은 큰돌 등을 이용하여 여울이 형성되어 물속에 산소의 공급을 원활히 하고, Figure 10과 같이 수로 끝 지점에 형성된 정체수역의 개방수면의 유속을 자연적으로 조절하여 수변부를 따라 달뿌리풀군락이 발달하였고, Salix류가 점상의 형태로 분포하고 있다. 또한 곡류형 수로는 물의 흐름을 다양하게 하여 공기와의 접촉 단면적을 증가시키는 기능을 수행하고 있다.

3) 수질

매노천은 계절별 유량차이는 물론 수질오염의 정도가 심한 지방하천으로써 일시적으로 유입되는 비점오염원은 어류 생태계 등의 제한요인(limiting factor)이다. 유입수로에서 생태적수질정화비오톱 시스템으로 유입된 BOD 농도 범위와 평균농도는 각각 1.2 mg/L~120 mg/L (23.8 mg/L), T-N 농도 범위와 평균농도는 각각 1.470 mg/L~12.388 mg/L(4.911 mg/L), T-P 농도 범위와 평균농도는 각각 0.020 mg/L~5.319 mg/L(1.152 mg/L)로 측정되었다.

매노천의 수질은 BOD 기준으로 수질 Ib등급에서 VI등급 사이로 조사시기별로 수질 변화가 심한 것이 특징이다. 특히 2013년 12월 23일에는 유입수질농도가 비정상적으로 높은 것은 해당 조사시기에 주변 여전에 따른 일시적 고농도 오염원이 유입된 것으로 판

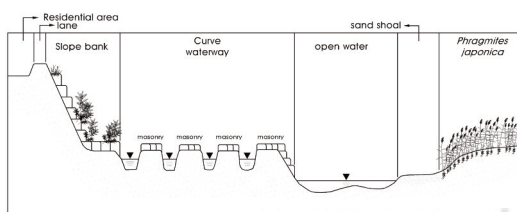


Figure 10. Vegetation cross section of after restoration (St.3 C-C')

단된다.

매노천의 점·비점오염원을 내포한 평수량에 대한 매노천 생태적수질정화비오톱의 처리효율은 BOD의 경우 평균 유입농도가 23.8 mg/L, 평균 유출농도가 1.2 mg/L로 처리효율의 평균치는 64.3%를 보였다. 또한 T-N은 평균 유입농도가 4.911 mg/L, 평균 유출농도가 2.070 mg/L로 처리효율 평균치는 47.2%를 보였고, T-P는 평균 유입농도가 1.152 mg/L, 평균 유출농도가 0.414 mg/L로 처리효율 평균치는 80.7%의 처리율을 보였다.

(1) BOD

BOD 평균 제거효율은 64.3%이며, 조사기간 동안 제거효율은 2013년 12월 23일에 99.3%로 가장 높았으며, 2013년 12월 16일에 25.0%로 가장 낮았다.

(2) T-N

T-N 평균 제거효율은 47.2%이며, 조사기간 동안 2013년 12월 24일에 제거효율이 79.8%로 가장 높았으며, 2013년 12월 16일에는 유입수질보다 유출수질이 더 높게 나타나 시설물 초기에 습지내 침전되었던 오염부하가 함께 유출된 것으로 추정된다.

(3) T-P

T-P 평균 제거효율은 80.7%이며, 조사기간 동안 제거효율은 2013년 12월 23일에 94.2%로 가장 높았으며, 조성직후 2013년 10월 31일 및 2013년 12월 16일에 유입수질보다 유출수질이 더 높게 나타나 시설물 초기에 습지내 침전되었던 오염부하가 함께 유출된 것으로 분석된다.

매노천 생태적수질정화비오톱의 모니터링 결과, 시설물 설치후 초기에는 T-N, T-P가 일시적으로 악화된 조사결과도 나타났으나, 이후 안정적으로 수질 처리효율을 보여 처리습지가 안정화 단계로 가고 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

계획, 설계, 시공, 모니터링의 통합관리 시행을 통해 조성된 금강 수계 매노천 생태하천복원을 위한 Fish-way 및 인공습지의 생태환경 효과를 모니터링

Table 6. Annual Water Purification Rate Monitoring Results of Sustainable Structured Wetland biotop System at Maeno midstream (2013~2014)

Year	BOD ₅ (mg/L)			T-N (mg/L)			T-P (mg/L)		
	Influent	Effluent	Efficiency	Influent	Effluent	Efficiency	Influent	Effluent	Efficiency
2013년 10월 31일	1.2	0.8	33.3%	1.470	1.420	3.4%	0.025	0.080	-
2013년 12월 16일	1.2	0.9	25.0%	2.319	2.367	-	0.020	0.021	-
2013년 12월 23일	120	0.8	99.3%	6.249	2.196	64.9%	0.447	0.026	94.2%
2013년 12월 24일	6.8	1.0	85.3%	12.388	2.499	79.8%	5.319	2.219	58.3%
2014년 06월 13일	4.8	1.6	66.7%	4.011	2.190	45.4%	0.721	0.113	84.3%
2014년 09월 12일	8.8	2.1	76.1%	3.031	1.745	42.4%	0.156	0.022	85.9%
Average	23.8	1.2	64.3%	4.911	2.070	47.2%	1.152	0.414	80.7%

하였다.

통합관리를 통하여 계획, 설계시의 의도와 시공시 현장여건의 변화에 적절하게 대응하는 등, 선진사례에서 언급된 순응관리를 한국적 상황에 맞게 시행함으로써 생태환경 복원의 목표를 달성할 수 있었다.

생태적수질정화비오톱 시스템과 Zigzag형태 Fish-way 및 자연형어도여울 등이 적용된 대상지를 중심으로 시행한 생태하천 착공시(2013. 11), 복원직후(2014. 4), 복원 6개월 후(2014. 9) 생태환경 변화에 관한 모니터링 결과는 다음과 같다. 우선, 어류의 경우 공사 착공시(2013. 11)에는 총 13종 90개체로써 대부분은 매노천 본류에서 관찰되고 습지 예정지에서는 어류가 관찰되지 않았다. 하지만, 복원직후(2014. 4)에는 생태적수질정화비오톱 습지에서 총 11종 191개체가 창출복원된 것이 조사되었다. 특히 생태적수질정화비오톱 습지 지역에서 한국특산종인 돌마자, 참종개 등 다양한 종의 담수어류가 높은 종 풍부도를 보임으로써 건전한 Fish-way와 미소서식지가 창출된 것을 모니터링하였다. 특히 돌마자 (*Microphysogobio yaluensis*)의 경우 본 연구와 관련한 복원사업의 복원 목표종으로써 복원사업 시행전, 복원공사 착공시 및 복원 직후에도 서식이 확인되지 않았다가, 복원사업 완료 6개월후 매노천 본류와 생태적수질정화비오톱 구역에서 서식이 확인되었다. 맑은물 지표종의 모니터링을 통해 생태적인 수질정화기능은 물론, 참마자, 참종개 등 목표종의 미소서식처 조성으로 생태환경 복원의 성공을 확인하였다. 양서류는 복원공사 착공시(2013. 11) 조사에서 1과

2종이 조사되었고, 복원 6개월후(2014. 9) 조사에서 양서류 1과 2종, 파충류 1과 1종이 각각 조사되었다. 특히 3차 복원후 조사시기에는 양서류의 활동성이 높은 시기로 습지와 주변에서 다수의 참개구리가 습지를 중심으로 서식하는 것으로 확인되었다. 복원이후 포유류는 수달(환경부지정 멸종위기야생생물 I급, 천연기념물 제330호)을 포함한 고라니, 너구리 등 총 5과 5종이 서식하는 것으로 조사되었다. 식물상의 경우 조사지역에 출현하는 복원 공사착공시(2013. 11)은 총 7과 13종, 복원직후(2014. 4)는 총 15과 19종, 복원6개월 후(2014. 9)는 총 22과 33종으로 증가되었다.

수질모니터링 결과, 복원전후 매노천의 점·비점오염원을 내포한 평수량에 대한 생태적수질정화비오톱의 처리효율은 BOD의 경우 평균 유입농도 23.8 mg/L, 평균 유출농도 1.2 mg/L이며 처리효율 평균 64.3%의 처리효율을 보였다. 또한 T-N은 평균 유입농도 4.911 mg/L, 평균 유출농도 2.070 mg/L로 처리효율 평균 47.2%을 보였고, T-P는 평균 유입농도 1.152 mg/L, 평균 유출농도 0.414 mg/L 평균 처리효율은 80.7%로 조사되었다. 2013년 12월 조성직후부터 2014년 9월까지 높고 안정적인 수처리 효율을 보이고 있다.

결론적으로 생태적수질정화비오톱 복원을 통해 본 대상지역은 일시적으로 유입되는 고농도의 농촌비점오염원을 생태적으로 정화함과 동시에 과거 I, II등급 수질에서 서식하던 참종개, 돌마자, 참갈겨니, 동사리 등 다양한 담수어류의 서식기반 이 조성되고 생태

적 수질정화 습지를 기반으로 하는 미소서식처가 창출·복원된 것으로 모니터링되었다. 이상과 같이 생태환경적 복원이 가능한 것은 홍수시 3 m/sec 이상의 유속에도 견딜 수 있는 생태공학적 접근 때문이다. 특히, 생태적수질정화비오톱 구간 상단에는 홍수기의 토사를 일시 완충할 수 있는 산발식어도여울이 조성되어 복원후 일시적인 홍수기에도 상습퇴사가 방지 되었다. 물과 흙과 돌과 습지식물, 생태계 모두가 대상지 특성(site-specific)에 맞게 설계, 시공됨으로써 에너지 투입이 최소화되면서 치수적으로도 매우 안정적인 상태를 유지할 수 있었다.

References

- Byeon CW. 2006. A Study on Constructed Wetland Ecological Park Design with Multiple-cell FWS Layout : focus on Structural Design of Sustainable Structured wetland Biotop(SSB) Park. Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology. 9(5) : 1-9. [Korean Literature]
- Byeon CW. 2010a. Water Purification and Ecological Restoration Effects of the Keumeo Stream Sustainable Structured wetland biotop(SSB) System Established on the Floodplain of Kyungan Stream. Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology. 13(3) : 1-13. [Korean Literature]
- Byeon C.W. 2010b. Ecological River Restoration. Gyeonggi-do: Namudosi Publishers.
- Byeon CW. 2010c. Water Quality Purification and Ecological Restoration Effects of Sustainable Structured wetland Biotope (SSB) System Established in the Habitat of the Endangered Species, Goldspotted Pond Frog : Exemplified by An-teo Reservoir Ecological Park. The Korea Society of Environmental Restoration Technology. 13(6): 145-159. [Korean Literature]
- Byeon CW. 2012. Ecological Restoration of the Rivers and Wetlands with Sustainable Structured Wetland biotop (SSB) System. KSCE Journal of Civil Engineering. 16(2): 255-263. [Korean Literature]
- Byeon CW. 2014, An Ecological Restoration of Treatment Wetland and Urban Upper Stream for Reusing Sewage Treatment Water : In the case of Sustainable Structured wetland Biotop system at Upper part of Jaemin stream in Gongju-si, Korea. Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology. 17(5): 65-77. [Korean Literature]
- Choi EA, Kim H, Park SY, Cho HJ, Lee SB. 2008. The Improvement Plan of Project Delivery Systems in the Public Construction Projects, Proceedings of the Korean Institute Of Construction Engineering and Management. 509-512. [Korean Literature]
- Daejeon Metropolitan City, 2011. Maeno stream·Seongjeon stream·Samseong stream River basics plan
- Ecological river restoration project technical guidebook; 2011, Ministry of Environment Chapter 6.5.1 Post-monitoring. p. 253-256.
- Ecological river restoration project technical guidebook; 2014, Ministry of Environment Chapter 6.5.3 Post-monitoring. p. 353-366.
- Gwangju Development Institute, 2009, A Study on the Maintenance and Management of Gwangju River. p. 129
- Ji SH, Lee HS, Park MS, Song SH, 2006,

- Improvement of Public Construction Delivery System & Award Method in Korea ; Comparison with Cases of U.S., U.K., Japan, Proceedings of the Korean Institute Of Construction Engineering and Management. 367-372. [Korean Literature]
- Kadlec RH, Knight RL. 1996. Treatment wetlands, CRC Press/Lewis publishers. Florida, USA.
- Kang SH, Kim W. 2013. Integrated construction management plan for eco-friendly buildings. Construction Engineering and Management. 14(3): 38-43. [Korean Literature]
- Kim YD, Paek KO, Park MH, Ku YH, 2015 Fish-way design standard, Water for Future. 48(4): 65-73. [Korean Literature]
- Korea Rural Community Corporation 2010. National Fishway Information System in Korea (<http://www.fishway.go.kr>).
- Lee JH, Sung HC. 2013. A Study on the Post-management and Improvement of Ecosystem Conservation Fund Return Projects. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 16(2): 1-12. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2002. Research on River Restoration Guideline. Chapter 7.
- Ministry of Environment. 2012. Environmental Standard for Water Quality.
- Ministry of Homeland and Maritime Affairs, 2009, River design standard, Chapter 29 Fish-way. p. 431-453.
- Ministry of Homeland and Maritime Affairs, 2011, Dam design standard, Chapter 10 Attached hydraulic structure. p. 193.
- Mitsch W.J. 1993. Landscape design and the role of created, restored, and natural riparian wet-lands in controlling nonpoint source pollution, In Olson R. K.(ed). Created and NaturalWetlands for controlling nonpoint source pollution.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 1999. Storm water technology fact sheet : storm water wetlands. Washington, D.C. : Office of Water. EPA 832-F-99-025.
- Wiegleb G, Broring U, Choi GW, Dahms HU, Kanongdate K, Byeon CW, Ler LG, 2013, Ecological restoration as precaution and not as restitutional compensation. Biodiversity and Conservation. 22: 1931-1948.
- Yoon KC, On JK, Jang HS. 2015. Status of construction and construction management in Japan. Construction Engineering and Management. 16(4): 24-26. [Korean Literature]