

# 연안역 교량의 녹색축 연결 및 교량 비점오염원 저감위한 소규모 HSSF 인공습지 개발

이정용\*, 이소영\*, Marla C. M.\*, 최지연\*, 강창국\*, Joan B. G\*, 김이형\*  
\*공주대학교 건설환경공학부 교수  
e-mail:leehyung@kongju.ac.kr

## Development of Small HSSF Constructed Wetlands for treating NPS Pollution and connecting Green Ecosystem on a Bridge

Jeongyoung Lee\*, Soyoung Lee\*, Marla C. M.\*, Jiyeon Choi\*, Changguk Kang\*,  
Joan B. G\*, Lee-hyung Kim\*  
\*Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University

### 요 약

환경부는 2000년대에 들어 수질오염총량관리제의 정책 도입으로 하천과 호소의 수질개선에 노력을 기울이고 있으며, 개발사업과 관련된 비점오염원에서의 비점오염물질 관리를 요구하고 있다. 포장율이 높은 토지이용 변경사업, 즉 교량, 도로, 고속도로 등의 개발 사업은 특히 비점오염원 관리를 요구하고 있다. 그러나 현재 국내에 적용되고 있는 비점오염저감시설은 대부분 소규모 장치형 시설이며, 유지관리가 어렵고 저감효율이 낮은 단점이 있다. 최근에는 장치형 시설보다 생태친화적인 기능을 가지며 녹색 및 생태축 연결이 가능한 자연형 시설을 적용하는 방향으로 정책이 변화하고 있다. 이러한 조건과 더불어 기후변화에 능동적으로 대응하기 위해서는 교량의 경우 소규모 인공습지를 조성하여 녹색축 연결, 비점오염원 관리가 바람직하다. 따라서 본 연구는 도로와 교량의 녹색축을 연결하고 비점오염물질을 저감할 수 있는 소규모 HSSF 인공습지를 개발하고자 한다. 본 연구를 통해 개발된 소규모 HSSF 인공습지는 입자상 오염물질 제거를 위한 침강지, 용존성 및 미립자의 제거를 위한 습지부로 구성되어 있으며, 녹색축 및 생태공간 확보를 위한 습지의 식생부분이 존재하고 있다. 특히 본 기술은 교량내에서 처리하는 site control 방식으로 외부 유도를 통한 처리기술이 아니기에 비용경제적으로 효율성을 가지고 있다.

### 1. 서론

도시지역으로부터의 4대 강 비점오염물질 기여율은 현재 40%에 넘어서고 있으며, 2020년에는 비점오염원 기여율이 60%를 넘어설 것으로 예상되고 있다(김이형 등, 2006a, 2006b; 환경부, 2004; 환경부, 2006). 이러한 영향으로 인하여 도시지역의 비점오염원관리는 국내 4대강 수질관리 및 수생태계 보호 측면에서 매우 중요한 부분이며, 그 중 포장률이 높은 도로나 교량 지역은 오염물질의 축적 및 유출이 매우 높은 토지이용 지역이다(김이형과 이선하, 2005). 이러한 비점오염원 관리를 위하여 환경부는 수질오염총량관리제, 사업장 및 개발사업 비점오염원설치신고제도 등의 제도를 도입하여 비점오염원관리를 추진하고 있다. 그러나 환경분야 고유의 관리방안인 ‘기술개발에 앞선 제도도입’은 적용 가능한 기

술개발에 앞서 관리방안이 수립되기에 적용과정에 다양한 문제점을 나타내고 있다. 문제점으로는 첫째로, 생태계를 고려하지 않은 기술들이 적용되어 수생태계 보전에 기여하지 못하고 있으며, 둘째로 유지관리에 대한 한계성을 보이고 있다. 셋째로 국내 강우특성을 반영하지 못하여 적용성이 낮고 효율이 낮으며, 비용적인 측면에서도 효율적이지 못하다. 마지막으로 소규모 강우에 비하여 고효율 처리를 수행하지 못하고 있는 실정이다.

현재 국내에 적용되고 있는 비점오염저감시설의 기술 분류 및 관리는 환경부의 비점오염원관리 업무편람을 통해 실시하고 있다. 비점오염저감시설은 비점오염원으로부터 배출되는 수질오염물질을 제거하거나 감소시키는 시설로서 크게 자연형 시설과 장치형 시설로 구분할 수 있으며, 자연형 시설은 저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형 시설 등이 있으며, 장치형 시설은 여과형 시설, 와류형 시설, 스크린형 시설,

응집·침전처리형 시설, 생물학적 처리형 시설 등이 있다. 장치형 시설 중 여과형 시설, 와류형 시설, 스크린형 시설 등은 전·후 처리시설로 적용될 수 있다. 그러나 우리나라 교량에 위와 같은 비점오염원 저감시설을 적용하기에는 많은 문제점을 가지고 있다. 우리나라의 기존 교량은 콘크리트로 구성되어 있으며 환경적인 기능을 전혀 하지 못하고 있다. 또한 교량이 설치되는 곳은 주로 계곡이나, 하천 또는 호소를 가로질러 건설되기 때문에 건기시 다량의 비점오염물질이 교량에 축적되어 강우 시 강우유출수와 함께 하천으로 유입되어 수질문제를 야기시키고 있다. 또한 교량의 길이가 점점 길어지면서 배수관을 외부로 유도하여 비점오염원을 관리하기도 어려운 실정이다. 교량 내 부지면적도 적어서 환경적 기능 가지고 있는 시설의 설치 및 녹색축 연결이 어려운 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 교량내에서 직접적으로 비점오염원을 관리하고 녹지 생태축을 연결하는 소규모 HSSF 인공습지 기술을 개발하고자 한다.

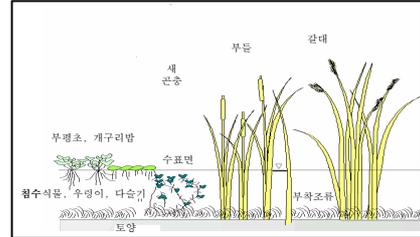
## 2. 연구방법

### 2.1 인공습지

인공습지는 침전 늪, 소택지, 습윤 초지, 조수 습지와 하천을 따라 형성된 습지 등 광범위하게 형성된 습윤 환경을 의미하며, 자연·인공, 담수·염수습지 구분 없이 공통된 특징을 가지고 있다. 이는 물, 토양, 미생물, 식물, 동물들이 유기적으로 상호 반응하는 생태 순환시스템을 형성함으로써 생물학적으로 균형을 이루는 것을 의미한다(환경부 2008).

습지는 크게 물, 토양, 식생, 미생물, 동물 등으로 구성되어 있으며, 습지내 식물의 기능은 미생물에 필요한 서식환경을 제공한다. 또한 물속의 줄기나 잎은 유속을 감소시켜 물리적, 화학적 작용을 할 수 있는 시간을 증가시키며, 침전을 용이하게 한다. 물속의 박테리아, 균류, 원생동물과 같은 미생물들은 오염물질을 영양물질이나 에너지로 변환시켜 그들의 생명의 유지를 위해 활용

하며, 이러한 미생물들은 서식범위가 넓고 대부분의 물속에서 자연적으로 발생하며, 영양염류 또는 에너지원으로 오염된 습지와 물속에서 대규모로 서식하고 있으며, [그림 1]은 이러한 습지의 구성요소를 나타내고 있다.



[그림 1] 습지의 구성 요소

### 2.2 인공습지의 종류

인공습지는 얕은 습지(shallow wetland), 이중목적 얕은 습지(ED shallow wetland), 연못/습지 시스템((Pond/wetland system), 소규모 습지(Pocket Wetland)등의 종류가 있으며, 수문학적 특성에 따라 자유흐름습지(Free water surface wetlands), 수직 지하흐름습지(Vertical subsurface flow wetlands), 수평 지하흐름습지(Horizontal subsurface flow wetlands) 및 혼합 시스템 습지(Hybrid Systems wetlands)로 분류된다.

### 2.3 소규모 HSSF 인공습지의 조건

교량 건설 시 적용가능한 인공습지는 녹색 및 생태축 연결이 가능하여야 하며 좁은 부지에도 적용 가능한 습지이어야 한다. 또한 교량내 발생하는 초기강우를 효과적으로 처리하고 비점오염물질을 현장에서 처리할 수 있어야 한다. [표 1]은 소규모 HSSF 인공습지의 기술을 개발하기 위한 조건을 정리하였다.

## 3. 연구결과

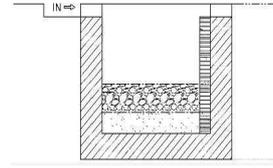
### 3.1 현장조사 결과

소규모 HSSF 인공습지를 적용하기 위하여 2009년 9월 11~12일 동안, 충청남도 태안군에서부터 서천군에 걸

[표 1] 소규모 인공습지(HSSF)의 구비조건

분야	조건
적용기술	생태계를 고려하여 수생태계 보전에 기여하는 기술로 개발해야 함.
유지관리	유지관리가 용이하여야 함.
대민인식	정체수 및 악취에 의하여 주민들에 의해 또 다른 환경 혐오시설로 인식되지 않아야 함.
효율	국내 강우특성을 반영하여 적용성을 높여야 함.
기술료	외국 기술의 적용이 아닌 국내 기술로 저비용 고효율을 만들어야 함.
국내 강우 대응성	소규모 강우에 비하여 고효율 처리를 우선시 함.
녹지축 확대	녹지축 확대를 통해 생태계 연계가 필요함.

처 연안역 지역 중 교량과 방조제, 도로를 중점적으로 현장조사를 실시하였다. 조사 중 조정시설을 살펴본 결과 환경적인 기능이 없고, 단순히 미적 관점을 중점시하여 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 태안군에 위치한 AB방조제의 경우 강우 시 유출수와 함께 비점오염물질이 바다와 하천으로 직접적으로 유입될 가능성이 큰 것으로 나타났다. 또한 태안군에 위치한 간월도의 경우 도로 정비사업 진행 중 다량의 토사가 발생 가능한 것으로 조사되었으며, 강우 시 유출수와 더불어 발생하는 비점오염물질이 저감시설을 거치지 않고 직접 갯벌로 유입되고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 보령시에 위치한 방조제의 경우, 자연습지가 형성되어 있어 도로와 교량에서 강우 시 유출수와 함께 발생하는 비점오염물질이 곧바로 바다로 유입되지 않고 자연습지를 거쳐 처리를 통해 유출되는 것으로 나타났다.

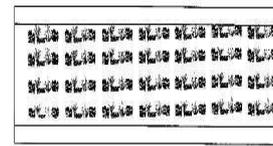
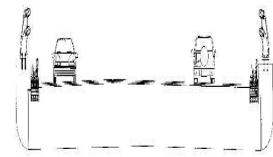
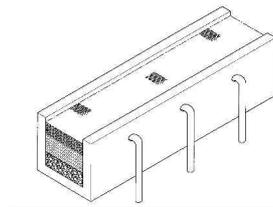


[그림 2] 소규모 HSSF 인공습지의 침강지 설계도면

### 3.2 소규모 HSSF 인공습지의 설계

#### 3.2.1 소규모 HSSF 인공습지의 침강지 설계

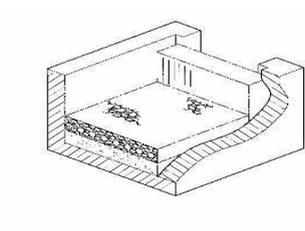
본 연구에서는 국내 교량의 불투수성 포장지역에서 발생하는 비점오염물질을 실용적으로 저감하고, 녹색축을 확대하는 기술을 개발하고자 함이다. [그림 2]는 이러한 목적을 달성하기 위하여 개발된 소규모 HSSF 인공습지의 침강지 설계도면을 나타내고 있다. 본 시설은 교량에 축적된 비점오염물질이 강우 유출수와 함께 침강지로 유입되어 1차적인 처리를 가능케 하는 시설이다. 침강지의 구성은 모래층과 자갈층, 우드칩으로 구성되어 있으며, 강우시 다량의 비점오염물질이 유입될 경우 초기우수를 처리할 수 있도록 설계하였다. 또한 습지부로 유입되기 전 수직으로 설치된 우드칩 카트리지가 존재하며, 2차적으로 비점오염물질을 저감시킨 후 습지부로 유입되도록 한다.



[그림 3] 소규모 HSSF 인공습지의 습지부 설계도면

#### 3.2.2 소규모 HSSF 인공습지의 습지부 설계

소규모 HSSF 인공습지의 침강지로부터 1차 및 2차 처리된 강우유출수를 처리하기 위해 습지부를 설계하였으며, [그림 3]에 나타내었다.



습지부의 구조는 자갈층, 층 매트(layer mat), 식생매트로 구성이 되며, 상부에는 식생을 식재하여 조정시설로도 활용할 수 있다. 침강지로부터 1차 및 2차 처리된 강우유출수가 습지부 자갈층으로 수평 유입되어 비점오염물질이 저감되며, 측면에는 일정 높이로 설치된 배출구가 있어 일정 양의 유출수를 저류시킨다. 표면에 있는 식생을 이용하여 자연적인 생물학적 처리 과정을 유도하여 비점오염물질을 저감시키도록 개발되었다.

## 4. 결론

본 연구에서 개발하고자 하는 소규모 인공습지는 별도로 설치되는 비점오염원저감 시설이 아닌 직접적으로 교량에 설치되어 우수에 포함되어 배출되는 비점오염물질을 효과적으로 제거하기 위해 개발되었다. 소규모 HSSF 인공습지의 구조는 침강부 및 습지부로 구분할 수 있으며, 이는 생태축을 연결하고 비점오염원의 제거가 가능하다. 교량과 같은 제한적 입 조건 및 구조적 특성을 고려하여 개발된 본 기술의 적용시 오염물질을 제거하는 생태축 연결 및 비점오염원 제거를

위한 인공습지가 구비되어, 기존 교량에도 설치 가능하며 설치비용이 절감되는 효과가 있다. 또한 본 기술은 교량 상부에 식물 등을 조성하여 침전, 여과, 식물 뿌리에 의한 흡수, 생물 분해 등의 방법으로 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있도록 개발되었다. 본 기술은 교량의 길이가 길어도 외부유도 처리업원있던 시설 내 현장처리업원가능하도록 개발되어 신개념의 건설환경 기술이며 LID(Low Impact원 Xevelopment) 기술이 될 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 연안역개발사업단의 지원으로 이루어진 것으로 연구비지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] 김이형, 이선하, "강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs", 한국물환경학회지, 제 21권, 제 3호, pp. 248-255, 2005.
- [2] 김이형, 고석오, 이병식, 김설길, "국내 고속도로 강우유출수의 EMCs 및 유출 부하량 산정", 대한토목학회 논문집, 제 26권, 제 2호, pp. 255-231, 2006a.
- [3] 김이형, 이은주, 고석오, 강희만, "아스팔트 포장 고속도로의 강우 지속시간별 유출 경향", 한국도로학회 논문집, 제 8권, 제 1호, pp. 99-106, 2006b.
- [4] 환경부, "관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진 강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책", 2004.
- [5] 환경부, "물환경관리기본계획", 2006.
- [6] 환경부, "비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼", 2008.