

# 수변완충지대를 이용한 비점오염물질 유입저감과 수변서식처 조성



우효섭 &gt;&gt;

한국건설기술연구원 연구위원  
hswoo@kict.re.kr



오종민 &gt;&gt;

경희대학교 환경학과 교수  
jmoh@khu.ac.kr

## 1. 머리말

하천과 호소의 자정능력 이상으로 오염물질이 유입하면 하천과 호소의 수질과 생태 서식처 등 하천환경은 악화된다. 더욱이 하천과 호수 주변의 개발과 정비 사업은 이들의 자정능력을 저하시켜 하천환경 기능의 악화를 가속화 시킨다. 그 대표적인 예가 자연 하천과 호수 주변의 습지(marsh)나 회랑(corridor)을 소멸시키고 대신 직강화, 하상정비, 호안공사 등의 하천사업으로 하천이나 호수와 그 주변을 인공화, 반인공화시키는 것이다.

습지와 수변완충지대는 비점오염물질의 하천 유입을 차단, 저감하는 대표적인 방법이다. 습지를 이용한 수 처리와 보호 방법은 구미에서 1980년대에 이른바 “Ecological Engineering”이라는 새로운 생태기술이 정립되는 계기가 되었다. 국내에서 습지를 이용한 정화기술은 1990년대부터 연구 목적을 시작으로(우효섭 등, 1998-2001; 박병훈, 2003; 황순진, 2002), 그 이후 시화호, 주암호 등 대형 호수에 시범

설치, 운영되고 있다.

수변완충 지대(riparian buffer strip), 또는 구역(zone)은 하천을 따라 양안에 폭이 좁은 수변의 띠를 만들어 주변 토지로부터 오염물질, 특히 비점오염물질이 하천으로 직접 유입하는 것을 차단, 저감하는 기능이 있다. 이는 자연하천의 수변, 또는 하천회랑(stream corridor)을 모방하여 하천 변에 인위적으로 조성되는 수림대이다. 수변완충지대의 인, 질소 제거 효과는 분명히 확인되었으나, 1) 이러한 기능이 기후나 유역관리의 변화, 2) 식생 군집의 종 구성과 연령, 3) 언제 어떻게 이러한 기능이 초과되거나 포화되는지에 대한 답은 아직 불확실하다(Correll, 1996).

본 고에서는 먼저 정부에서 정한 법적 용어인 ‘수변구역’과 여기서 제시하는 ‘수변완충지대’에 대해 설명하고, 다음 미국의 수변완충지대 조성 사례, 수변완충지대의 구성 및 기능, 국내 시험완충지의 시험 설치 및 예비실험 성과 등을 제시한다.

## 2. 수변구역과 수변완충지대

2000년대 들어 정부는 이른바 “한강법” 등 특별법을 제정하여 한강유역의 경우 팔당호 상류 북한강, 남한강, 경안천 등 주요 하천 연안 500~1,000m를 “수변구역(水邊區域)”으로 지정하여 행위 규제와 보전을 통해 팔당호에 오염물질의 유입을 저감하도록 하였다. 나아가 2004년 국무총리실 수질개선기획단을 중심으로 환경부에서 제시한 비점오염물질 저감 대책이 수립되어 추진하게 되어 국내에서도 본격적으로 비점오염원에 대한 대책에 관심을 가지게 되었다(관계부처합동, 2004). 이 자료에 의하면 한강 팔당호 등 국

내 주요 공공 수계에 유입하는 오염물질의 1/4 - 1/3 정도가 비점 형태로 유입하는 것으로 나타났다.

한강수변구역의 범위는 팔당호 및 남한강, 북한강, 경안천을 대상으로 특별대책지역 내는 양안 약 1km, 특별대책지역 외는 양안 약 500m폭에 해당하며, 길이방향으로는, 남한강(팔당호부터 충주 조정지댐까지), 북한강(팔당댐부터 의암댐까지 당해 하천 및 호소 경계로부터 양안 1km), 경안천(하천법에 의하여 지정된 구간)에 이른다. 한강수변구역은 한강법에 의해 조성된 물이용부담금을 재원으로 환경부에서 지정·관리하고 있으며, 행정구역상으로는 경기, 강원, 충북지역에 걸쳐 약 191.3km<sup>2</sup>에 이른다.

이와 같은 수변구역 내에서 비점오염물질의 공공수역 유입을 억제하기 위한 다양한 방법들 중에서 보편적이고 자연친화적인 방법이 수변완충지대(riparian buffer strip; RBS), 또는 수변완충구역(riparian

buffer zone, RBZ)을 조성하여 관리하는 것이다.

수변완충지대는 다양한 생물의 서식공간이다. 동시에 주변토지에서 발생한 오염물질이 빗물에 섞여 하천이나 호소로 유입하는 과정에서 수질을 정화시키는 수질개선 공간이다. 그림 1은 수변완충지대의 주요 기능을 도식적으로 보여준다. 이 그림에서와 같이 주거지나 농경지에 인접한 수변완충지대는 우선 물리적 측면에서 식생 뿌리가 강터(bank)을 잡아주어 세굴에 저항하여 강터를 안정화하고, 강가에 그늘을 만들어 적절한 수온을 유지시킨다. 또한 수변완충지대의 시작부에 있는 초본류는 강우 유출수 중의 오염물질과 부유물을 여과시킨다. 생화학적으로 수목의 뿌리는 지하수에 녹아있는 인, 질소 등 영양염류를 흡수 처리한다. 생태적으로 물가의 관목류는 낙엽을 떨어뜨려 수생 생태계의 에너지 공급원이 되고, 물속에 쓰러진 나무 등지는 귀중한 수생 서식처(cover)를 형

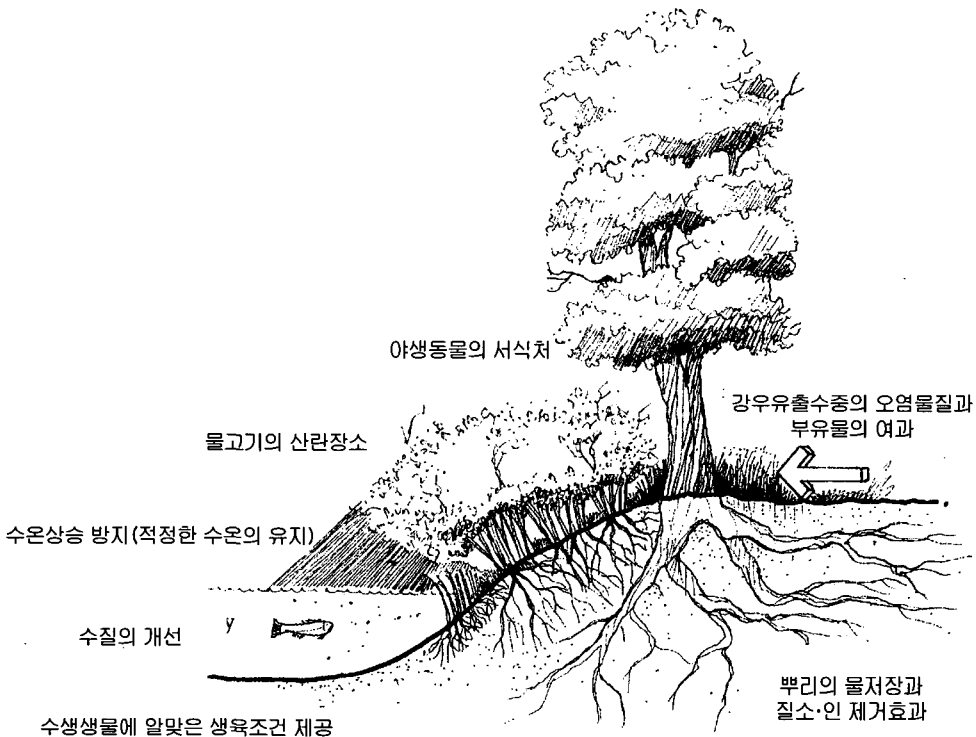


그림 1. 수변완충지대의 주요 기능(USDA, 1998)

성한다. 동시에 이러한 수변림은 야생동물의 귀중한 서식처가 된다.

### 3. 미국의 수변완충지대 조성 사례

미국의 수변완충지대(RBS)는 보통 농경지와 삼림을 대상으로 하기 때문에 연방정부차원에서는 미 농무부 산하 자연자원보전국과 미 내무부 산하 국립

산림청과 같은 부서에서 1990년대부터 관심을 가지고 연구조사를 추진하여 왔다. 미 농무부는 특히 이른바 “Conservation Reserve Program”을 이용하여 전국의 3.2백만km의 완충지대를 조성하는 “Conservation Buffer Initiative”를 추진하고 있다(Schultz 등, 2004). RBS는 도시, 도로 등 개발 지역에서 공공수역으로 들어오는 비점오염물질을 저감하는 기능을 하기 때문에 미 환경청에서도 1990년대부터 각별한 관심을 가지고 관련 매뉴얼 등을 제작하여 보급하고 있다. 이들 연방정부 기관들은 수변완충지대의 설정과 관리를 유역의 비점오염물 관리뿐만 아니라 수변 서식처의 보전을 위한 중요 수단으로 생각하고 있다. 주 정부 각 관련 기관에서도 자체적으로 알기 쉬운 수변완충지대 설정 및 관리 가이드라인을 제작하여 환경단체 및 토지소유자들에게 보급하고 있다. 그림 2는 미국 메릴랜드 주에 조성된 수변완충지대를 보여준다.



그림 2. 미국 메릴랜드 주의 수변완충지대

#### Riparian Buffer Widths

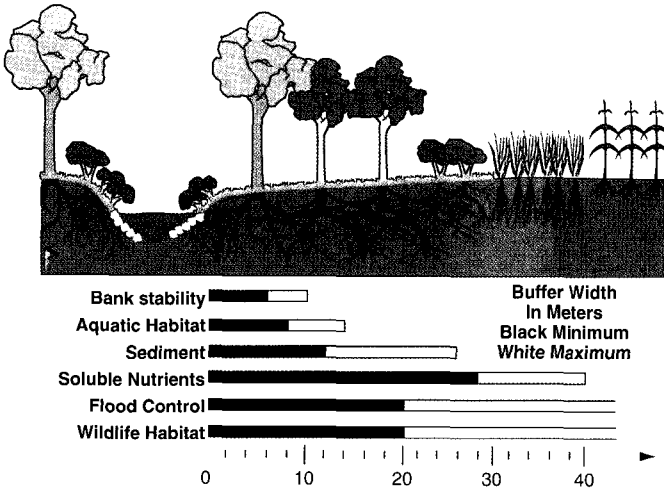


그림 3. 수변완충지대의 기능별 폭(Schultz 등, 2004)

### 4. 수변완충지대의 구성 및 기능

수변완충지대의 최소와 최대 폭은 그림 3과 같이 기대하는 기능에 따라 달라진다. 강택의 안정을 위해서는 15m 이내로 충분하나, 영양염류의 제거를 위해서는 30m 이상의 폭이 요구된다. 나아가 야생동물의 적정한 서식처 조성을 위해서는 100m 정도의 폭이 요구된다.

수변완충지대는 지대 자체를 다시 소구역으로 구분하여 조성, 관리하는 것이 효과적인 것으로 알려졌다. 그림 4는 RBS를 소구역 1, 2, 3으로 세분하여 각 소구역의 기능과 적정 식생을 도

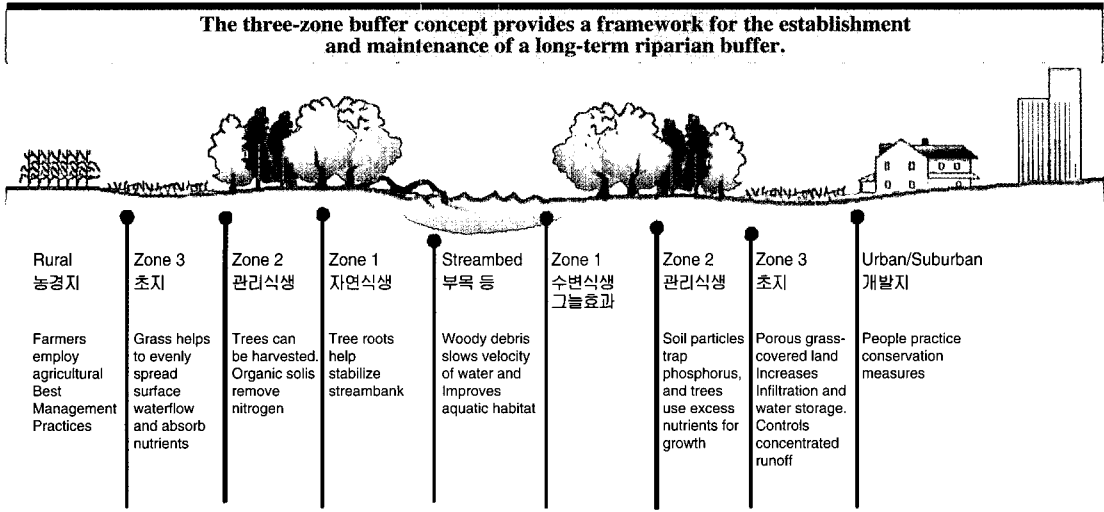


그림 4. 수변완충지대 소구역 구분과 기능(Maryland Cooperative Extension, 2005)

표 1. RBS의 각 소구역별 특징-오클라호마 주(OCES, 2005)

소구역	목적	식생	관리상 고려 사항
구역 1 (강턱에서 최소 4.5m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 물가에 안정된 생태시스템 창출</li> <li>- 유출영양염류 저감</li> <li>- 물에 그늘 제공</li> <li>- 물 속에 유기물과 통나무 부유물 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 습지 환경에 적합한 고유의 수목, 관목, 잎이 넓은 풀, 잔디</li> <li>- 강턱을 안정화시키기 위해 빨리 성장하는 수종 채택</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 중장비 사용 제한</li> <li>- 위험요소의 제거를 위한 경우만 수목제거</li> <li>- 가축의 출입 금지</li> <li>- 물 분산기 등을 이용하여 집중류 억제</li> </ul>
구역 2 (최소 18m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 영양염류의 안정과 저장을 위한 접촉 시간과 탄소/에너지 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지배적으로 고유 수변 수목, 관목, 잎이 넓은 풀, 잔디 풀 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 식생과 경사를 유지하여 고랑 형성 억제</li> <li>- 목재나 야생동물의 관리는 필요하나, 물에 나뭇잎이 떨어지고 그늘이 생기도록 유도</li> </ul>
구역 3 (최소 6m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 집중류를 박층류로 바꾸어 주는 역할</li> <li>- 유사 퇴적, 유출수의 침투, 식생에 의한 영양염류의 흡수 등의 증진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 촘촘한 다년생 잔디와 잎이 넓은 풀</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 식생이 잘 자라도록 유지</li> <li>- 잡초 제거 필요</li> <li>- 고랑 형성을 방지하기 위해 주기적으로 표면 정지 작업 필요</li> </ul>

식적으로 보여준다. 표 1은 이러한 소구역의 조성 목적, 추천 식생, 관리상 유의사항 등을 제시한 것이다.

미 농무부의 지원으로 지난 10년 동안 농경지에서 수변완충지대에 대해 집중적으로 연구한 미 아이오아 대학의 Schultz 교수팀은 초본류, 관목류, 교목류 별 기능을 다음과 같이 제시하고 있다(Schultz 등, 2004).

- 초본류 : 완충지대로 흘러가는 지표수의 유속 저감 유사(sediment) 및 관련 오염물의 차단 토양 깊숙이 유기물 공급(풀 잎, 뿌리 잔재물) 및 토양구조의 개선(물의 침투성 용이)
- 다양한 야생 서식처 제공
- 물가에 그늘 제공 기능 미약

물 속에 유기물 공급 제한(미세한 유기물만 공급 가능)

소 등 가축에 풀 제공

- 관목류 : 뿌리는 강터의 세굴 저항성 제고  
낙엽, 가지 등은 토양 구조 개선  
야생동물의 수직 서식처 구조 제공  
물가에 그늘 제공 기능 불충분  
물 속에 유기물 공급 제한(미세한 유기물만 공급 가능)

야생딸기 수확 등 추가 이익

- 교목류 : 뿌리는 강터의 세굴 저항성 최고로 높임  
낙엽, 가지 등은 지표면 토양 구조 개선  
야생동물의 수직 서식처 구조 제공  
물가 그늘 효과 가장 좋음  
물속에 유기물 공급 및 물속에 쓰러진 나무는 수생 서식처 제공  
목재 부산물 제공

표 2는 위와 같은 식생 종별 기능의 우수성을 표로 제시한 것이다. 따라서 수변완충지대에 도입 가능한 식물종은 우선 그 수변 지역에 자생하는 초본, 관목, 교목 등이 고려되어야 할 것이다. 이중 국내에서 일차적으로 검토할 수 있는 것은 제외지(법적으로 하천구역)의 경우 교목의 식재가 제한적이므로 잔디, 갈대, 달뿌리풀 등의 초본류와 갯버들, 조팝나무 등의 관목류가 추천되며, 제내지의 경우 포플라 등 교목의

식재도 가능하므로 추후 검토되어야 할 것이다.

결론적으로, 일반적으로 수변완충지대를 조성하기 위해서는 가능한 그림 3과 같이 혼합 식재가 바람직하며, 그 배치는 물에서부터 교목류, 관목류, 초본류의 순서가 바람직하다. 다만, 국내 여건상 제외지(하천구역)에서 교목의 식재는 엄격히 제한되어 있기 때문에 수변완충지대의 조성을 통한 편익과 홍수 위험에 대한 문제점 등을 충분히 감안하여야 할 것이다.

### 5. 시험완충지 설치 및 물질순환과 정확효과의 기초 분석

팔자들의 연구에서는 수변완충지대의 오염정화효과와 서식처로서의 기능을 체계적으로 연구하기 위해 경기도 양평군 남한강 좌안 홍수터에 길이 60m, 폭 20m의 시험완충지를 설계하여 설치하였다. 그림 7은 설계 개념도이며, 그림 8은 설치 직후의 전경으로, 아직 식생이 활착하기 전이다.

본 현장 시험에 앞서 실내에서 소규모 벤치 스케일 실험을 수행하였으며, 실험 장치는 그림 9와 같다. 이 실험에서는 식생이 없는 토양과 잔디로 덮인 토양 등 두 가지를 비교 하였다. 유출은 표면유출, 지표하 중간유출, 지표하 하부유출 등 지표면에서 밑으로 3단계로 구분하였다.

표 2. 식생 종별 기능의 우수성-미국 농무부(USDA Forest Service/NRCS, 1997)

기능	초본류(잔디)	관목	교목
강터 침식 안정	낮음	높음	높음
유사 거름(filtering)	높음	낮음	낮음
영양염류, 살충제, 세균 거름 - 유사입자에 흡착된 것 - 물에 녹아있는 것	높음 중간	낮음 낮음	낮음 중간
수생 서식처	낮음	중간	높음
초지/프레리 야생동물 삼림 야생동물	높음 낮음	중간 중간	낮음 높음
경제성 있는 산출물	중간	낮음	중간
경관 다양성	낮음	중간	높음

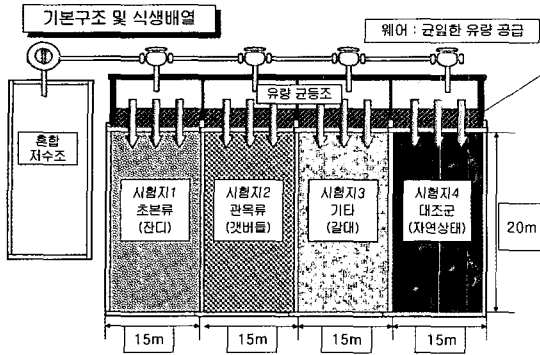


그림 7. 시험완충지 설계 개념도

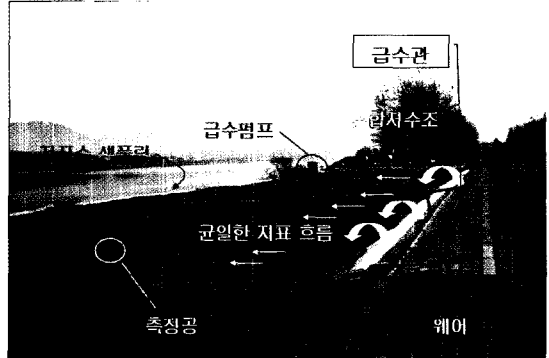


그림 8. 시험완충지 설치 전경

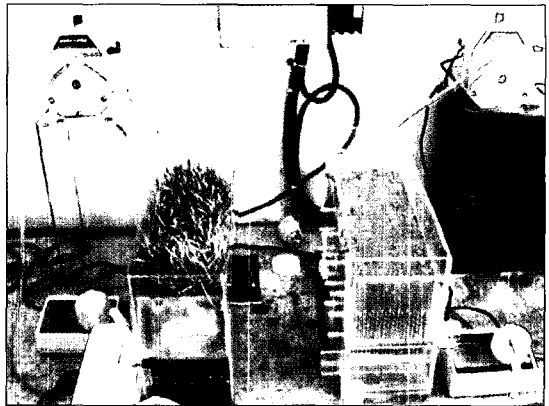
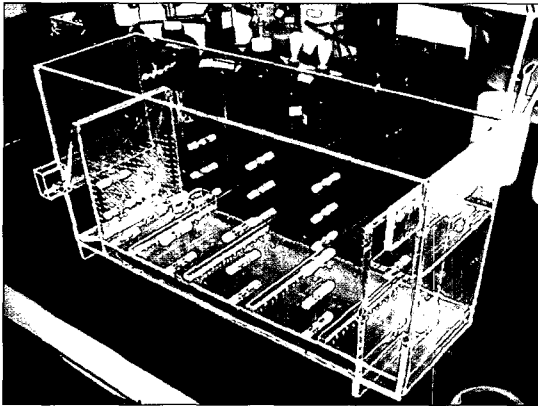


그림 9. 실내실험 장치-토양충진 전(좌), 토양충진 및 잔디 입히기(우)

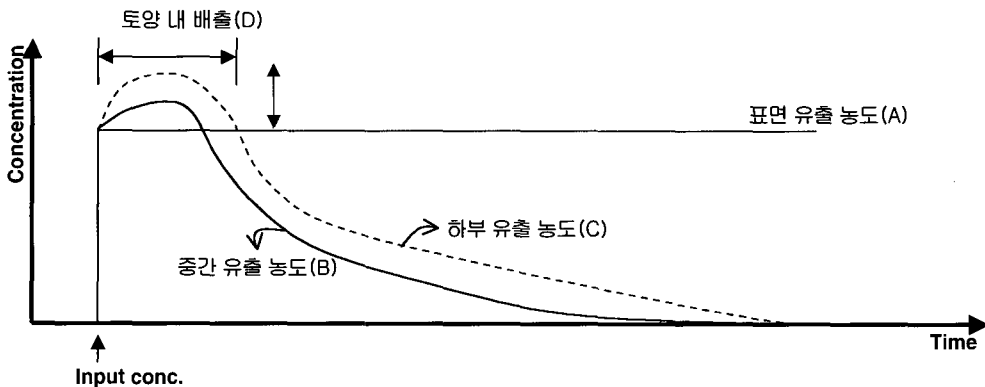


그림 10. 유출형태별 오염물의 농도변화 경향

그림 10은 위와 같은 벤치 실험의 결과를 각 지표면 유출, 지표 중간 유출, 지표하 유출 등 각 유출구에서 시간에 따른 농도 변화를 도식화 한 것이다. 지

표면 유출 농도는 유입수 농도와 큰 차이가 없게 나타났으며, 이는 '맨 땅'이나 잔디 표면은 입자에 묻어 있는 오염물질을 차단시키는 역할은 할 수 있으나

유출수에 녹아있는 오염물질은 저감하지 못한다는 것을 보여준다. 중간 유출과 하부 유출에서 유입수 농도보다 유출수의 농도가 초기에 높게 나타나는 현상은 토양 내 잠재하는 오염 물질의 동반 배출에 의한 것으로 판단된다. 그러나 시간이 가면서 그러한 오염물질을 포함한 유입수는 점차 정화되는 것을 알 수 있다.

남한강 변 시험완충지의 경우 필자들의 1차년 연구 기간(2004년) 중 공사가 11월 말에 완료되어 식생이 활착하지 않았고, 12월 중순 토양이 얼기 전까지 1개월 미만의 실험기간이 가용했기 때문에 예비적인 실험만 수행하였다. 이러한 예비 실험에서는 시료수의 농도가 매우 낮았고(한강 물을 그대로 이용하였기 때문에 총질소, 총인 농도가 각각 1mg/l, ND 임), 실험기간이 짧았기 때문에 오염 정화효과가 나타나지 않았다. 그러나 실내 실험의 결과에서 볼 수 있듯이 현장 실험에서도 농도가 높은 시료를 사용하여 지속적인 유출을 만들면 저감효과가 나타날 것으로 사료된다. 이에 대해서는 2005년 4월 하순부터 다시 계속 될 것이다.

## 6. 맺는말

기존의 습지형 비점오염물 저감시설은 유역에서 비점 형태로 발생하지만 하천에 유입하는 경우 점 오염의 형태로 유입하는 합류식 하수관거 월류수(CSO), 농경지 배수, 도로 측구 배수 등에서의 오염물 저감에 유리하다. 반면에 수변완충지대형은 유역에서 비점 형태로 발생하여 하천 유입시에도 집중류가 아닌 분산류의 형태로 유입하는 구릉지 배수, 도로사면 배수, 하천내 농경지나 주차장 배수 등에서의 오염물 저감에 유리하다. 수변완충지대는 수질정화 기능 이외에 생태 서식처 기능이 있기 때문에 수변 복원의 차원에서 공동 접근할 수 있는 장점이 있다.

현재 법으로 지정된 한강의 수변구역은 대부분 하천과 유역이 제방으로 분리되어 있으며, 제방이 없는

경우 도로나 산기슭이 하천까지 연장되어 있다. 따라서 유역에서 발생한 비점오염물질이 하천으로 유입하는 양상은 크게 배수로, 지천, CSO와 같은 점 유입이며, 이러한 유입 유형의 비점오염물질은 수변완충지대를 이용한 저감 대상이 아니다. 이 점에서 수변완충지대 조성의 대상이 될 만한 곳은 현 법정 '수변구역' 내에서는 매우 제한적이다. 따라서 수변완충지대는 법으로 정한 한강 수변구역 뿐만 아니라 한강 유역 전체에서 분류와 지류 모두를 적용 대상으로 고려하는 것이 필요하다. 특히 강원도 산간지방의 고랭지 채소 재배지나 축산지역에서 강우시 토양유실에 의한 오염된 유사유입을 차단하기 위한 초본류 위주의 완충지대의 조성은 하천 위치에 관계없이 검토할 필요가 있다.

마지막으로, 수변완충지대는 국내 여건 상 하천구역 내에 도입되는 경우가 많을 것이다. 이 경우 하천구역내 나무심기 기준이 문제가 될 것이다. 따라서 하천구역내 수변완충지대의 조성시 가능하면 관목과 초본류 혼합 식재를 고려하여야 할 것이며, 동시에 일정 규모의 교목을 선별적으로 이용하기 위해 나무심기 기준의 선택적 완화책이 필요하다.

## ○ 알림

본고는 환경부 한강유역관리청/한강물환경연구소의 조사연구사업의 하나로서 2004년 초부터 필자들이 연구 중인 "수변완충지대 효율적 조성 및 오염부하 저감효과연구" 사업에서 얻어진 중간성과를 토대로 작성한 것이다.

## 참고문헌

- 관계부처합동(2004). 물관리 종합대책의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책  
 박병훈(2003). 자연형 하천정화를 위한 인공습지 조성 방안, 환경관리공단(미 출간 자료)  
 우효섭 등(1998-2001). 국내여건에 맞는 자연형 하천공

- 법의 개발, 환경부 G-7국가연구개발사업, 환경부/한국건설기술연구원 등
- 황순진(2002). "생태공학의 이해와 전망(1, 2)", 강좌, 한국농공학회지 제44권·제3호, 제4호.
- Correll, D. L.(1995). "Buffer zones and water quality protection: general principles , Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, edited by N. E. Haycock, T. P. Burt, K. W. T. Goulding and G. Pinay, September, pp. 7-20.
- Maryland Cooperative Extension(2005). <http://www.agnr.umd.edu/CES/Pubs/PDF/FS724.pdf#search='riparian%20buffer%20zone>
- Oklahoma Cooperative Extension Service, OCES(2005). <http://osuextra.com/pdfs/F-1517web.pdf>
- Schultz, R. C., T. M. Isenhart, W. W. Simpkins, and J. P. Colletti (2004). "Riparian forest buffers in agrosystems - lessons learned from the Bear Creek Watershed, central Iowa, USA" , Agroforestry Systems, vol. 61, pp. 35-50.
- USDA Forest Service/NRCS(1997). Agroforestry Notes, AF Note-4, January
- USDA Natural Resources Conservation Service Plant Material Service(1998). The Practical Stream Bioengineering Guide, Aberdeen, Idaho, USA.