

## 비점오염 부하 저감을 위한 수변완충지대의 최적 인자 도출을 위한 연구

Deduction of Best Design Factor of Riparian Buffer Zone for Reduction  
of Non-Point Pollutants

김성원\*.최이송\*\*정상준\*\*\*우효섭\*\*\*\*오종민\*\*\*\*\*

Sung Won Kim-I Song Choi-Sang Jun Jung-Hyo Seop Woo-Jong Min Oh

### 요    지

한강 “수변구역”에서 비점오염물질의 공공수역 유입을 억제하기 위한 다양한 방법들 중에서 보편적이고 자연친화적인 방법은 다양한 생물의 서식공간이며, 동시에 본류로 유입되는 과정에서 수질을 정화시키는 수질개선 공간인 수변완충구역, 또는 지대를 설정하여 관리하는 것이다. 그러나 이러한 수변완충지대 효과 분석 및 설정에 관한 연구는 국내에서 아직 수행되지 않았다. 본 연구의 목적은 수변구역의 자정능력을 높이는 것은 물론 그 밖의 하천 연안에서 비점오염물질의 차단과 처리능력을 증진시키고 수변 생태계의 서식처 보전 및 복원을 위해서 수변완충지대의 수질정화 기술개발과 생물다양성을 창출하는 수변완충지대 조성 기법을 개발하는데 있다. 본 연구에서는 기존 수변완충지의 추가적인 조성과 보완, 시험완충지 생태구조 및 기능 기초조사, 시험완충지 오염부하 저감효과의 실험 및 분석, 수변완충지대 설치 구상 등의 연구를 수행하여 수변완충지대 조성 시 설정 폭을 산정할 수 있게 하였다. 수행 지역은 한강수계 지역으로 남한강 수변인 경기도 양평군 병산리에서 실시하였으며, 잔디와 갈대, 갯벌, 혼합지역, 자연그대로의 상태(대조지역)의 5 구역으로 구분하였고, 거리별, 깊이별 샘플을 채취하여 유입수에 대한 오염물질 제거효율을 도출하고, 이를 이용하여 수변완충지대의 설계 시 필요한 유역의 폭, 면적, 길이 등과 같은 설계인자를 도출할 수 있도록 하였다.

핵심용어 : 수변완충지대, 비점오염, 한강수계, 하천 폭

### 1. 서 론

비점오염원이란 점오염원이 특정한 배출경로를 가진 것과는 달리 도시노면배수나 농경지 배수와 같이 불특정한 배출경로를 통해 비점오염물질을 발생시키는 장소 또는 지역을 가리킨다. 수질환경보전법상의 ‘특정시설’에서 ‘기타수질오염원’으로 명칭이 변경된 수산물양식시설, 골프장시설, 운수장비·정비 또는 폐차장시설, 농축산물 단순가공시설, 사진처리시설 등과 여기에 추가된 농지, 하역장, 토지형질변경지역 등의 기타시설이 해당된다. 특히, 이 비점오염원 형태로 경우 시 가축분뇨, 농약, 비료 및 토양의 침식으로 인한 부유물질과 인·질소 등 하천의 오염 부하량에 있어서 점오염원 못지않게 비점오염원에 의한 수질오염 영향이 매우 큰 것으로 알려지고 있다.

그럼에도 불구하고 그 동안 우리나라에서 수질오염에 대한 규제는 주로 하수, 공장폐수 등 점오염원 중심으로 관리되어 왔기 때문에 경우 시 비점오염원에서 유출되는 오염물질로 인하여 하천

\* 김성원·경희대학교 환경공학 전공 석사과정 E-mail : 2ksw213@naver.com

\*\* 최이송·경희대학교 환경연구센터 선임연구원

\*\*\* 정상준·한국건설기술연구원 연구원

\*\*\*\* 우효섭·한국건설기술연구원 선임연구부장

\*\*\*\*\*오종민(corresponding author)-경희대학교 환경·응용화학부 교수

및 호소의 수질은 크게 개선되지 않고 있다. 따라서 수질개선을 위해서는 점오염원의 규제와 병행하여 비점오염원에 대한 관리도 시급한 설정이다.

본 논문에서는 이러한 비점오염원의 관리방안 중 하나인 수변완충지대를 하천 유역에 설치하는 데 있어 최적의 효과를 얻기 위해 pilot실험을 통하여 수변완충지대 설치시에 필요한 설계인자인 수변완충지대 설정 폭의 길이를 도출하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험지

현장 실험지는 식생종별로 잔디지역, 갈대지역, 갯버들지역, 혼합지역, 대조지역으로 나누어 조성하였다. 각 지역별로 하천으로의 폭 약 20 m, 하천변의 길이 약 15 m로 조성되었으며, 실험 시 유입수를 조제할 수 있는 반응조를 약 50 ton 규모로 설치하였다(Figure. 1 참고).

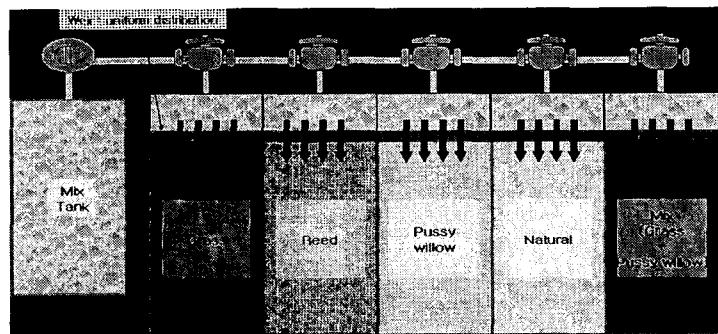


Fig. 1. The Field Formation

### 2.2. 시료 채취 및 실험조건

시료 채취는 유입부의 유량 균등조와 수변완충지 내부에 설치된 깊이별 시료 채취봉과 유출부에서의 표면유출부에서 채취하였다. 시료 채취 지점은 토양표층으로부터 15 cm, 30 cm, 50 cm, 80 cm에서 채취하였으며, 폭의 길이에 따라 2 m, 5 m, 8 m, 11m에서 채취하였다. 세부적인 시료 채취 지점은 Fig. 2에 나타내었다.

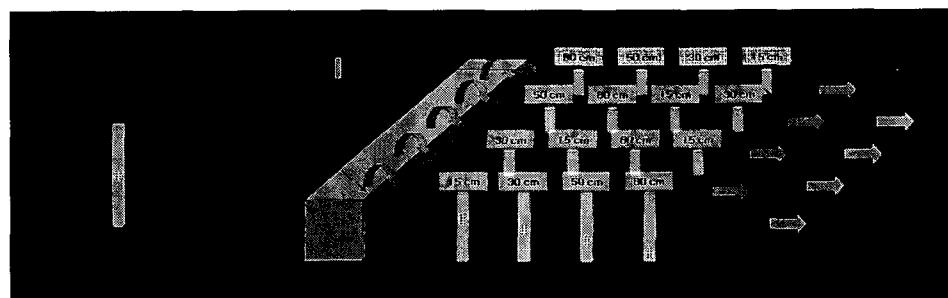


Fig. 2. Sampling Pipe & Sampling Point

본 실험에서는 식생종과 폭 길이에 따른 오염부하 저감효과 분석을 위하여 폭의 길이별, 식생별로 나누어 평균값을 비교·분석 하였다. 유입수의 농도 변화는 저농도와 고농도로 나누어 실험

하였으며, 유입농도 조절을 위하여 질소성분의 경우에는  $\text{KNO}_3$  시약을, 인 성분은  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  시약을 사용하여 농도를 임의로 조절하여 실시하였다. 유입수의 농도는 SS 80.9~129 mg/L, T-N 11.7~36.1 mg/L, T-P 8.8~13.5 mg/L, TOC 9.1~9.9 mg/L 이었으며, 유입유량은 10~13 ton/hr로 하였다. 시료 채취는 자체 제작한 장치(시료채취봉) 및 Lysimeter를 이용하여 1일 1회로 1 L 폴리에틸렌 병에 시료를 채취하였고 신속히 실험실로 운반하여 냉장·보관한 후 가능한 빠른 시일 내에 분석하였다.

### 2.3. 실험 방법

현장에서 시료를 채취한 후에 실험실로 운반하여 분석하였다. 본 실험에서는 채수량이 미량인 경우가 많아 일부 항목의 경우 Ion Chromatograph를 이용하여 분석하였다. 분석항목 및 분석방법은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Analysis and Method

Item	Analysis Method	Item	Analysis Method
SS	Vacuum Filtration(Glass Fiber Filters, GF/C)	$\text{NO}_3\text{-N}$	I.C.(Metrohm, 792 Basic IC)
T-N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method (SHIMADZU, UV-1601PC)	T-P	Ascorbic Acid Method(SHIMADZU, UV-1601PC)
$\text{NH}_3\text{-N}$	I.C.(Metrohm, 792 Basic IC)	$\text{PO}_4\text{-P}$	I.C.(Metrohm, 792 Basic IC)
$\text{NO}_2\text{-N}$	I.C.(Metrohm, 792 Basic IC)	TOC	TOC meter (Shimadzu, TOC 5000A)

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1. 폭의 길이에 따른 오염물질 제거효율의 상관관계

수변완충지대의 폭의 길이에 따른 오염물질 제거효율과 상관관계식을 식생종 별로 나누어 Fig. 3와 Table 2에 나타내었다. 실험 data는 현장실험의 결과를 통합하여 사용하였으며, 오염물질 제거효율은 유입수와 폭의 길이별 부하량을 계산하여 유입수에 따른 거리별 오염물질 제거효율로 나타내었다.

11 m 거리에서 잔디지역의 경우 오염부하량 제거효율은 SS 83.6%, T-N 57.7%, T-P 60.6%, TOC 59%로 나타났으며, 갈대지역의 경우는 SS 64.2%, T-N 55.1%, T-P 53.4%, TOC 59%이었으며, 갯벌들지역은 SS 65%, T-N 56.8%, T-P 53.3%, TOC 56.9%로 나타났으며, 혼합지역은 SS 49.8%, T-N 56.3%, T-P 53.2%, TOC 60.9%이었으며, 대조지역의 경우는 SS, T-N, T-P, TOC 각각 48.5%, 57.2%, 57.3%, 65.8%로 나타났다. 5개의 구간 모두에서 폭의 길이가 길어질수록 오염부하량 제거효율이 높아지는 것으로 나타났다. SS, T-N, T-P의 제거효율은 각각 83.6%, 57.7%, 60.6%로 잔디지역에서 가장 높게 나타났으며, 이는 초본류인 잔디의 퍼복율이 가장 높기 때문으로 사료된다. TOC의 경우에는 대조지역에서 제거효율이 65.8%로 가장 높게 나타났다.

각각의 상관관계식에서 모두 양의 상관관계로 나타났으며, 상관계수( $R^2$ )의 평균은 0.9492로 나타났다. SS의 상관관계식에서 잔디, 갈대, 갯벌들, 혼합, 대조 지역에의 기울기는 잔디부터 5.8, 4.5, 7, 3.7, 4.2로 나타났으며 갯벌들 지역에서의 기울기가 가장 높았지만 제거효율이 잔디 구간에서 가장 높게 나타났다.

5개의 구간에서 모두 SS의 제거효율은 폭의 길이가 길어질수록 SS의 제거효율이 급격하게 높아지는 것으로 나타났으나, 그 외 T-N, T-P, TOC의 경우에는 SS의 경우보다는 제거효율이 폭의 길이에 따라 점증적으로 증가하였다.

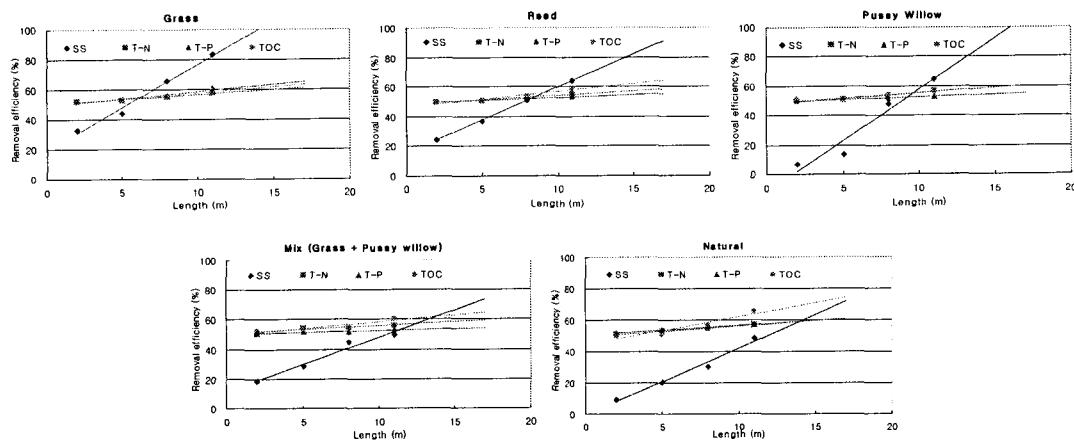


Fig. 3. Removal Efficiency Follow Width by Five Case

Table 2. Correlation between Width and Removal Efficiency

	SS	T-N	T-P	TOC
Grass	$y=5.8x+19$ ( $R^2=0.9855$ )	$y=0.6x+51$ ( $R^2=0.9569$ )	$y=0.9x+50$ ( $R^2=0.9012$ )	$y=0.8x+50$ ( $R^2=0.9826$ )
	$y=4.5x+15$ ( $R^2=0.9993$ )	$y=0.6x+48$ ( $R^2=0.9948$ )	$y=0.4x+49$ ( $R^2=0.9506$ )	$y=1.0x+47$ ( $R^2=0.9427$ )
Reed	$y=7.0x-12$ ( $R^2=0.9455$ )	$y=0.7x+48$ ( $R^2=0.9252$ )	$y=0.3x+50$ ( $R^2=0.9432$ )	$y=0.7x+49$ ( $R^2=0.8108$ )
	$y=3.7x+12$ ( $R^2=0.961$ )	$y=0.5x+51$ ( $R^2=0.9398$ )	$y=0.2x+51$ ( $R^2=0.9374$ )	$y=0.9x+50$ ( $R^2=0.9058$ )
Pussy Willow	$y=4.2x-0.42$ ( $R^2=0.9794$ )	$y=0.7x+50$ ( $R^2=0.9832$ )	$y=0.6x+51$ ( $R^2=0.977$ )	$y=1.8x+45$ ( $R^2=0.9015$ )

\* (x : Width (m), y : Removal Efficiency (%), Total Measurement : 4, n : 4개)

### 3.2. 설계용량을 이용한 수변완충지대의 규모 산정방법

현장 적용 시 위에서 제시한 자료를 이용하여 다음과 같은 작업 및 흐름을 이용하여 수변완충지의 조성에 필요한 폭을 산정할 수 있다.

- 적용 지역의 목표수질을 결정
- 적용 지역에 대한 기초 조사 실시
- 적용 지역의 목표수질에 대한 오염도 산정
- 오염 부하량 저감 효율계산
- 상관관계식을 이용한 수변완충지대의 폭 계산

### 4. 결 론

본 논문은 비점오염 부하 저감을 위한 수변완충지대의 최적 폭의 길이 산정을 위해 남한강 수변에서의 현장실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 잔디, 갈대, 갯벌들, 혼합, 대조 지역 중 오염물질 제거효율은 잔디지역에서 SS 83.6%로 가장 높게 나타났다. 이는 입자성물질인 SS는 표면에서의 스크린 효과에 의해 제거되는 것으로 실험을 위해 갈대, 갯벌들, 혼합, 대조 지역은 환삼덩굴과 같은 잡초를 모두 제거하였기 때문에 상대적으로 잔디의 퇴복율이 다른 4개의 지역에서 보다 높게 나타났기 때문으로 판단된다.
2. 5개의 지역 중 TOC의 제거효율은 대조지역에서 65.8%로 가장 높게 나타났다. 이는 대조지역은 자연상태 그대로인 지역으로 여러 가지의 초본류와 관목류인 뽕나무가 혼재하고, 다른 4개 지역에서는 실험지를 조성함에 이어 본래 서식하고 있던 생물들의 교란이 일어나 이로 인해 생물들이 다른 4개 지역에서 보다 대조 지역에 많이 서식하고 있어 유기물인 TOC의 분해가 잘 일어나기 때문으로 사료된다.
3. 수변완충지대의 조성 시 필요한 폭의 길이는 본 논문에서 제시한 식생종별 폭의 길이에 따른 오염물질 제거효율의 상관관계식을 이용하여 산정 할 수 있다. 수변완충지대의 조성 시 SS, T-N, T-P 만을 고려한다면 잔디가 가장 효율적이지만 TOC의 경우 대조지에서 높게 나타나 초본과 관목류가 적절하게 혼합되고 식물의 정착기간을 충분히 둔다면 효율적으로 조성할 수 있을 것으로 사료된다.
4. 본 논문에서 제시한 상관관계식을 이용하여 수변완충지대의 현장 적용 시 필요한 수변완충지대의 폭을 산정 할 수 있을 것이다.  
본 논문에서 제시한 결과는 남한강변 현장실험에서의 결과로 타 지역과의 토양성분, 강우사상, 비점오염유입농도와 같은 여러 인자들이 다를 수 있다. 따라서 수변완충지대의 조성 시에는 철저한 사전 모니터링이 중요하며, 그에 따라 수변완충지 조성에 필요한 폭의 길이는 본 논문에서 제시한 것과 다를 수 있다. 본 논문에서 제시한 토양구성, 유입부하, 유입유량 등이 유사한 지역에서의 수변완충지대 조성 시에는 위에서 제시한 방법으로 필요한 폭의 길이 산정에 유용할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 국립 환경 과학원 한강물환경연구소의 지원으로 이루어 졌으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 권순국, 1998, 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안, 대한환경공학회지, 대한환경공학회 20(11), 1497-1590.
2. 국무조정실, 행정자치부, 농림부, 산업자원부, 환경부, 건설교통부, 산림청, 『물관리 종합대책』의 추진 강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책,
3. 나승렬, 1999, 미국의 농지 보전정책, 직무파견활동 결과보고서, 농림부, 300-351
4. 환경부, 2003, 한강수변구역 변경, 환경부 고시 제2003-125호
5. Daniels, R.B. and J.W. Gilliam, 1996, Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters, Soil Science Society of America Journal 60: 246-251
6. Dillaha, T.A. et al., 1998, Evaluation of vegetative filter strips as a best management practice for feed lots, Journal of the Water Pollution Control Federation 60(7): 1231-1238
7. Fennessy, M.S. and J.K. Cronk, 1997, The effectiveness and restoration potential of riparian ecotones for the management of nonpoint source pollution, particularly nitrate, Critical Reviews in Environmental Science and Technology 27(4): 285-317