

# 식생피도가 식생여과대의 질소 및 인 처리효율에 미치는 영향

이병수 · 길경익<sup>†</sup>

서울산업대학교 토목공학과

## Effect of Plant Coverage on the Treatment Efficiency of Nitrogen and Phosphorus in Vegetative Filter Strips

Byungsoo Lee · Kyungik Gil<sup>†</sup>

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Technology

(Received 12 September 2007, Accepted 17 July 2008)

### Abstract

In order to control the non-point source pollution, a vegetative filter strips (VFS) was set up and the site-monitoring was performed. The objective of this study is to investigate the influence of the plant coverage on treatment efficiency of total nitrogen (T-N) and total phosphorus (T-P) using vegetative filter strips. According to the results, it seemed that the treatment efficiencies of T-N and T-P were closely related with the plant coverage ratio. The results showed that treatment efficiency of T-P average 50% at higher than 50% of the plant coverage and 20~23% at lower than 50% of the plant coverage. Also, the treatment efficiency of T-N increased with the increase of the plant coverage ratio.

**keywords** : Non-point source (NPS), Plant coverage, Total Nitrogen (T-N), Total Phosphorus (T-P), Vegetative Filter Strips (VFS)

### 1. 서론

정부는 하천의 수질관리에 있어 공장폐수 및 생활하수와 같은 일정한 배출경로를 가지고 있는 점오염원 처리에 중점을 두어 왔으며, 산업도시를 중심으로 점오염원의 처리에 많은 성과가 있었다. 그러나 이러한 정부의 노력에도 불구하고 하천의 수질은 지속적으로 악화되고 있다. 이러한 수질악화의 원인은 비점오염원(Non-point source)이 호소 및 하천에 유입되기 때문이다(함중화 등, 2005). 비점오염원은 강우시 발생되어지며, 불특정한 경로로 유출되어지기 때문에 제어하는데 많은 어려움이 발생된다. 환경부가 조사한 바에 의하면 98년 4대강 물관리 종합대책의 수립 당시 이미 비점오염원으로 인한 배출 부하량은 수계별로 22~37%에 달했으며, 팔당상수원의 비점오염 배출 부하량은 44.5%('00년), 금강과 영산강·섬진강 수계의 비점오염배출 부하량은 각각 36.8%, 48.5%('04년)에 달한다고 한다(환경부, 2005). 점오염원인 공장폐수와 도시하수는 처리장을 통하여 쉽게 처리할 수 있는 반면, 비점오염원은 강우시 농경지, 산림 등의 불특정한 지역에서 유출되어지기 때문에 처리하기 어렵다. 이러한 문제에 대한 대안으로 수변구역이 확보된 지역에 한하여 식생여과대를 적용할 경우 하천의 부영양화를 유발시키는 인과 질소 등을 경제적으로 제거할 수

있다. 식생여과대를 이용한 수질관리는 유지관리비가 비교적 적게 든다는 장점과 오염물질의 제거가 효과적으로 이루어지기 때문에 이와 관련된 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다(김성원 등 2006; Abu-zreig et al., 2003; Dillaha et al., 1989).

식생여과대는 식생과 그 식생을 지지하는 토양, 그리고 오염물질을 분해시키는 미생물로 구성되어지며(Mitsch and Gosselink, 2000), 오염물질을 저감시키는 주요 영향인자에는 여과대길이(Filter strip length), 기울기(Slope), 식생 종류(Vegetation type) 등이 있다(Abu-zreig et al., 2003; Dillaha et al., 1988; Dorioz et al., 2006).

식생여과대의 메커니즘은 유입된 강우유출수를 여과대면을 통해 흐르게 하여 유출속도를 감소시켜 토사 및 협잡물 등을 물리적으로 침전, 흡착, 희석시키는 작용을 하며, 호소의 부영양화 요인인 질소와 인 등의 오염물질을 식물체 내로 흡수시킨다(정용준과 임기성, 2006; Kadlec and Knight, 1996; Osborne and Kovacic, 1993).

정부는 1995년 비점오염원 조사연구사업(환경부, 2005)을 시작으로 비점오염원관리를 위한 장기적 계획을 세워 2004년 3월 정부기관 합동으로 『4대강 비점오염관리 종합대책』을 수립한 가운데, 비점오염에 대한 다양한 저감시설이 개발되었다. 그러나 국내 적용에 있어서 시설의 설계 및 운전 인자와 처리효율에 대한 기초자료가 미미한 실정이다. 따라서 환경부는 경안천 유역의 비점오염 저감시설들에 대한 모니터링을 수행 중에 있다.

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
kgil@snut.ac.kr

본 논문에서는 자연형 식생여과대를 통한 현장모니터링 수질결과를 바탕으로 식생피도가 처리효율에 미치는 영향에 대해 연구한 것이며, 이와 같은 연구 성과는 본 시설과 같은 비점오염 저감시설의 식생 조성과 유지관리 방안에 있어 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 조사구역의 토지이용 현황

비점오염원 처리효율을 알아보기 위해 2005년에 용인시 경안천 유역에 식생여과대를 설치하였다. 대상 시설은 2006년 5월부터 현재까지 운영하고 있으며, 본 논문에서는 2006년 6월부터 2007년 8월까지의 모니터링 결과를 이용하여 분석하였다.

식생여과대의 시설면적은 2,205 m<sup>2</sup>이고, 여과대의 평균길 이와 기울기는 20 m와 3.6%로 각각 조성되었다. 처리 대상은 산림 및 농경지이며, Table 1은 배수구역의 면적을 나타낸 것으로 산지 및 논·밭의 점유율은 70.4%, 3.6%, 26.0%로 각각 구성되어 있다. 대상 유역의 유출수는 대부분이 농경지에서 발생되었으며, 비강우시에도 농업용수 및 지하수 등에 의하여 기저유출이 빈번히 발생함을 현장점검을 통해 알 수 있었다.

### 2.2. 식생조사 및 관리

식생여과대가 설치된 지역은 경안천 최상류 지역으로 시설을 조성하는 과정에서 기존에 우점하고 있던 육상 식물을 제거하였으며, 잔디를 인위적으로 식재하였다(환경부,

2004). 2006년 5월 최초 여과대 내의 식생조사를 실시한 결과 주식종인 잔디(*Zoysia japonica*)를 비롯한 바랭이(*Digitaria sanguinalis*), 환삼덩굴(*Humulus japonicus*) 및 기타 육상 식물이 번성하였고, 평균 피도는 약 45% 정도였다. 이후의 현장 조사에서는 개망초(*Erigeron annuus*)와 토끼풀(*Trifolium repens*) 등이 추가로 발견되었으며, 여과대 가장자리 부분에는 바랭이 군락이 우세하게 출현하였다. 이렇듯 잔디 이외의 육상 식물이 번성하여 잔디의 성장을 억제시키는 현상을 초래하였다. 따라서 2006년 7월초에는 잔디를 제외한 대부분의 육상 식물을 제거한 후, 잔디의 성장을 극대화시켰다. 식생여과대 내의 식생피도를 측정하기 위해 식물상을 잘 반영할 수 있는 위치를 선택하여 고정 방형구(2 m × 2 m)를 2006년 6월에 설치하였다.

설치된 방형구의 위치는 Fig. 1과 같으며, 식생조사는 5~10월 사이 현장 모니터링시 관측하였다. 식물의 조사방법은 조사지역 내에 출현하는 식물종을 기록하고 야생화 쉽게 찾기(윤주복, 2003)를 참고하였다.

식생의 피도는 Braun-Blanquet 방법에 의한 7계급으로 구분하여 측정하였으며(0: 0%; 1: 0~20%; 2: 20~40%; 3: 40~60%; 4: 60~80%; 5: 80~100%; 6: 100%), 방형구의 피도를 평균하여 식생피도를 결정하였다(함종화 등, 2005).

### 2.3. 시료채취 및 분석방법

수질분석을 위한 시료 채취는 강우량에 따라 농도곡선이 상이하게 되어 지속적으로 탁도를 측정하여 농도변화에 따라 채취 여부를 결정하였다. 대부분 침투 유량을 기점으로 20분 간격으로 채취하였으며, 강우가 소강상태를 보인 이

Table 1. Characteristics of this study watershed

Watershed	Area (m <sup>2</sup> )	Land use (%)		
		Paddy field	Crop field	Mountainous
Haegok-dong Yonginsi	25,300	900 m <sup>2</sup> (3.6)	6,600 m <sup>2</sup> (26.0)	17,800 m <sup>2</sup> (70.4)

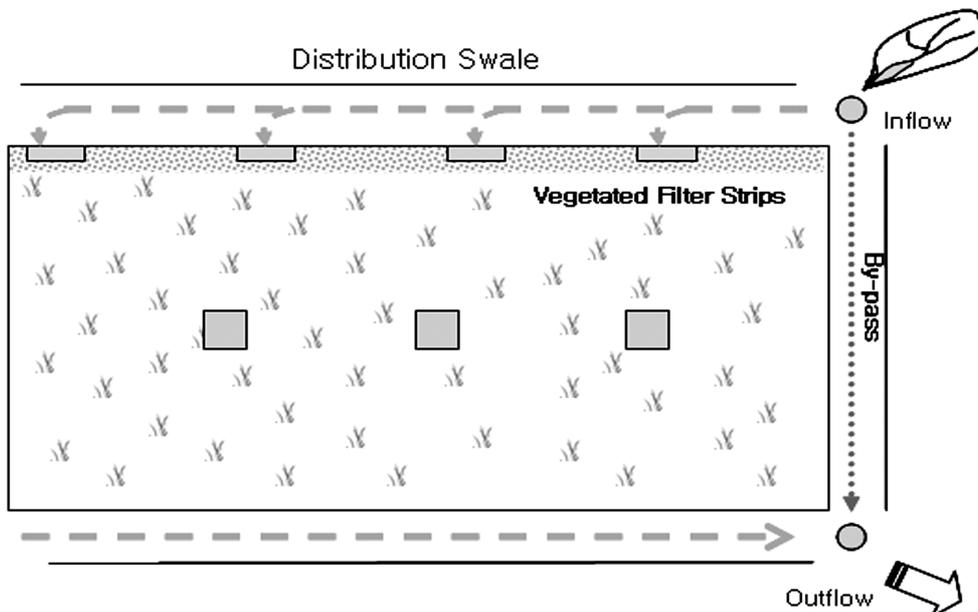


Fig. 1. Vegetation monitoring and sampling point of vegetative filter strips.

후부터는 1시간 간격으로 측정하였다. 수질분석은 pH, TSS, Turbidity, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, DOC, T-N, TKN, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, T-P, PO<sub>4</sub><sup>-</sup> 이었고, 모든 수질항목은 수질오염공정시험법(환경부, 1998)과 Standard Methods 20th(APHA, 1998)에 기초하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 강우사상 개요

Table 2는 경안천 상류지역의 강우 사상에 따른 모니터링 수행 결과이며, 발생일자(Event date), 강우 전 건기일수(Antecedent Dry Days, ADD), 전체 강우량(Total rainfall), 유출률(Runoff rate)등이 정리되어 있다. 각 Event의 ADD는 1~45일의 범위, 총 강우량은 6.5~72.3 mm의 범위, 평균 강우강도는 0.70~8.98 mm/hr, 유출률은 0.02~0.24의 범위로 나타났다.

#### 3.2. 식생여과대를 이용한 수처리 결과

2006년 5월부터 2007년 8월까지 식생여과대에서 실측한 유입수 및 유출수의 농도는 Fig. 2와 같으며, 생장기와 동절기 동안의 유입수, 유출수 및 제거율에 대한 평균값 및 표준 편차는 Table 3과 같다. 유입수의 T-N농도 변화는 2007년 3월에 높게 나타나고 5~6월에는 낮게 나타났으며, 유출수는 2006년 11월을 제외하면 유입수와 거의 유사한 경향을 보였다. 3월의 유입수 농도가 높게 나타난 것은 비교적 강수량이 적은 동절기에 오염물질이 지표면에 축적되어 있다가 강우 발생시 고농도의 오염물질이 일시에 배출되었기 때문이라 생각된다. 또한, 2006년 11월의 유출수 농도가 높게 나타난 것은 식생이 고사하기 시작하여 식물에 의한 질소 제거가 취약했기 때문으로 사료된다(함종화 등, 2005).

TN의 유출수 농도는 생장기와 동절기에 각각 1.62 mg/L와 3.15 mg/L로 나타났으며, 제거율은 51.6%와 45.1%로 각각 나타났다.

Table 2. Event table for monitored event

Event No.	Event date	ADD (days)	Total rainfall (mm)	Runoff duration (hr)	Avg. rainfall intensity (mm/hr)	Runoff rate
E-1	2006/06/29	2	13.5	8.5	1.59	0.06
E-2	2006/08/17	18	6.5	4.3	1.51	0.22
E-3	2006/10/22	45	22	14.9	1.48	0.03
E-4	2006/11/06	13	7	3.28	2.13	0.02
E-5	2007/03/04	1	34	11.25	3.02	0.04
E-6	2007/05/17	3	60.5	10.75	5.63	0.02
E-7	2007/05/24	4	48	10.33	4.65	0.24
E-8	2007/06/27	3	10.2	14.66	0.70	0.07
E-9	2007/07/19	2	72.3	8.05	8.98	0.20

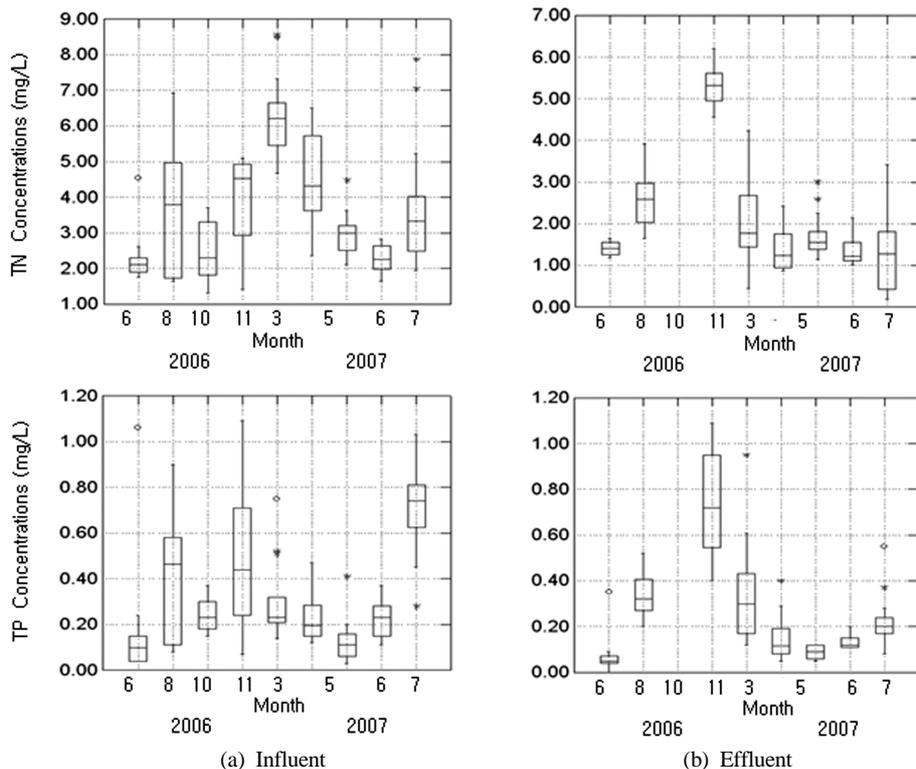


Fig. 2. Influent, effluent and monthly mean concentration.

**Table 3.** Seasonal variation of TN and TP concentration

Constituents		Concentration (mean±S.D. <sup>a</sup> )		n
		Growing season	Winter season	
T-N (mg/L)	Inf.	3.14±1.415	5.34±1.625	114
	Eff.	1.62±0.76	3.15±1.760	99
	Removal (%)	51.6±22.6	45.1±16.60	9
T-P (mg/L)	Inf.	0.31±0.260	0.37±0.252	114
	Eff.	0.17±0.124	0.47±0.280	99
	Removal (%)	47.30±24.300	0±35.7	9

TP의 유입수 농도는 TN과 유사한 경향을 보이다가 2007년 7월에 농도가 높게 나타났는데, 이는 농경지로부터 비료성분이 다량 유출되었기 때문이라 판단된다. 유입수와 유출수의 TP 평균 농도는 0.33 mg/L와 0.24 mg/L로 각각 나타났으며, 제거효율은 생장기 47.3%와 동절기 0%로 나타났다.

**3.3. 식생피도에 따른 처리효율**

Table 4는 식생피도와 질소, 인의 처리효율 각각 나타낸 것이다. 본 시설의 식생피도(Plant coverage)는 2006년 E-1(6월) 55%, E-3(10월) 90%, 2007년 E-6(5월) 45%, E-8(6월) 75%, E-9(7월) 70%로 각각 관측되었고, Event-4, 5는 비생장기의 처리효율로서 식생피도를 비교함에 있어 부적합하므로 제외시켰다. 여기서 E-8보다 E-9의 식생피도가 더 낮게 측정되었는데 이는 잔디 이외 식물의 제거 작업중에 식생이 훼손됨으로 인하여 피도가 감소된 것이다. 각각의 Event에 따른 처리효율을 살펴보면, TN의 경우 처리효율은 30~100% 범위로 나타났고, 식생피도에 따라 저감효율이 점차 증가함을 알 수 있었다. 그러나 약 50 mm 이상의 비교적 높은 강수량을 보인 Event-6, 7, 9의 경우는, 처리효율이 감소하는 경향을 보였다. 이는 높은 강수량을 나타낼 경우 상대적으로 유출량이 증가하여 체류시간을 앞당기기 때문에 이로 인해 식생의 뿌리 및 토양에 의한 흡착 등의 작용이 저해받기 때문인 것으로 판단된다.

TP의 경우는 20~100% 범위를 보였으며, 식생피도 50%를 기준으로 이보다 낮은 경우 평균 22%, 높은 경우는 50%의 처리효율을 보이는 것으로 나타났다. Thompson 등(1978)의 연구와 본 연구를 비교해 보면, 인과 질소의 제거효율이 55%와 45%로 나타나 본 시설과 매우 유사한 처리효율을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 2006년 10월의 경

우는 강우유출수가 시설로의 유입은 있었으나 유출이 발생되지 않아 오염물질이 100% 처리되었다고 가정하였다.

**4. 결론**

본 연구에서는 농촌지역에 비점오염물질 저감시설을 설치하여 강우시 현장 모니터링 결과를 바탕으로 식생피도가 식생여과대의 처리효율에 미치는 영향에 대해 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 생장기와 동절기에 따른 평균 유입농도를 비교한 결과 TN의 경우 생장기 및 동절기는 3.14 mg/L, 5.34 mg/L, TP의 경우는 0.31 mg/L, 0.37 mg/L로 각각 나타났으며, 생장기보다 동절기의 유입 농도가 더 높은 것으로 조사되었다.
- 2) 생장기와 동절기의 평균 제거효율을 살펴본 결과, TN의 경우는 생장기 52%와 동절기 45%의 비슷한 제거효율을 보인 반면, TP의 경우는 생장기 47%와 동절기 0%로 나타나 동절기에는 제거효율이 거의 없는 것으로 나타났다.
- 3) 식생피도에 따른 처리효율을 비교해본 결과 TN의 경우는 식생피도의 증가에 따라 처리효율이 높게 나타났으며, TP의 경우는 식생피도가 50% 이상일 경우, 처리효율이 평균 50%로 거의 변동이 없다가 50% 미만의 식생피도에서는 20~23% 범위의 낮은 처리효율을 보였다.

**참고문헌**

김성원, 손창선, 우효섭, 오종민(2006). 비점오염 부하 저감과 수변구역의 효율적 조성을 위한 연구조사. *공동천계 학술발표회* 논문집, 한국물환경학회 · 대한상하수도학회, pp. 1,015-1,058.

윤주복(2003). *야생화 쉽게 찾기*, 진선출판사.

정용준, 임기성(2006). 한강 수계 비점오염원관리 시범시설 모니터링 및 유지관리 방안 II. *공동천계 학술발표회* 논문집, 한국물환경학회 · 대한상하수도학회, pp. 1,081-1,084.

함종화, 윤춘경, 김형철, 구원석, 신현범(2005). 식생피도가 인 공습지의 질소 및 인 처리효율에 미치는 영향과 습지식물의 조성 및 관리. *Korean J. Limnol.*, **38**(3), pp. 393-402.

환경부(1998). *수질오염공정시험법*.

환경부(2004). *관계부처합동 [물관리 종합대책]의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책*.

환경부(2005). *비점오염원 업무편람*.

**Table 4.** Trapping efficiency with vegetation coverage ratio.

Event	Vegetation coverage (%)	Trapping efficiency (%)	
		T-N	T-P
E-1	55	36.5	44.9
E-2	70	58.7	44.2
E-3	90	100	100
E-6	45	54.6	19.9
E-7	48	30.3	23.4
E-8	75	56.3	56.6
E-9	70	30	46.2

- Abu-Zreig, M., Rudra, R. P. and Whiteley, H. R. (2003). Surface Water Quality Phosphores Removal in Vegetated Filter Strips. *J. Environ. Qual.*, **32**, pp. 613-619.
- APHA, AWWA and WEF (1998). *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, Washington D.C., U.S.A.
- Dillaha, T. A., Reneau, R. B., Mostaghimi, S. and Lee, D. (1989). Vegetative Filter Strips for Agricultural Nonpoint Source Pollution Control. *American Society of Agricultural Engineers*, **32**(2), pp. 513-519.
- Dillaha, T. A., Sherrard, J. H., Mostaghimi, S., Lee, D. and Shanholtz, V. O. (1988). Evaluation of vegetative filter strips as a best management practice for feed lots. *J. Water Pollution Control Fed.*, **60**(7), pp. 1231-1238.
- Dorioz, J. M., Wang, D., Poulenard, J. and Trevisan, D. (2006). The effect of grass buffer strips on phosphorus dynamics A critical review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **117**, pp. 4-21.
- Kadlec, R. H. and Knight, R. L. (1996). *Treatment Wetlands*, CRC press, FL.
- Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G. (2000). *Wetlands*, John Wiley & Sons, New York.
- Osborne, L. D. and Kovacic, D. A. (1993). Riparian vegetated buffer strips in water quality restoration and stream management. *Freshw. Biol.*, **29**, pp. 243-258.
- Thompson, D. B., Loudon, T. L. and Gerrish, J. B. (1978). *Winter and spring runoff from manure application plots*. ASAE paper No. 78-2032.