

토양여과대의 침투능 향상을 통한 비점오염물질 저감 효과에 관한 실험적 연구

우 수 혜 · 최 이 송¹ · 오 종 민^{1,*}

(국립환경과학원 한강물환경연구소, ¹경희대학교 환경응용과학과)

Experimental Study on Reduction Effects of Non-Point Pollutants by Improvement of Infiltration Capacity of Soil Filter Strip. Woo, Suhye, Isong Choi¹ and Jongmin Oh^{1,*} (Han River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Yangseo-myeon, Yangpyeong-gun, Gyunggi-do 476-823, Korea; ¹Department of Environment Science and Engineering, Kyunghee University, Seocheon-dong, Giheung-Gu, Yongin 449-701, Korea)

Runoff of non-point pollutants has affected bad influence to water quality of river as reaching within short time. For this reason, reducing them prior to reaching aquatic systems or treating them after collection from discharge process of pollutants are desirable for efficient treatment of pollutants. This study was carried out to develop an ecotechnological method to prevent further aggravation of water quality by non-point source through vegetation filter strips. This study has placed a focus on improving infiltration capacity of soil for the optimum condition of vegetation filter strips. Therefore, we used titled soil filter strips instead of vegetation filter strips in this study. The three types of soil filter strips were used in a bench scale experiment before applying to the field. The reduction efficiency of pollutants in soil filter strips (SS 84.5~92.5%, BOD 67.9~80.6%, T-N 43.4~76.6%, T-P 40.6~87.4%, Cu 28.3~48.1%, Fe 92.1~97.7%, Pb 81.4~97.3%) was much higher than that of the controled group. And non-point pollutants reduction efficiency by soil filter strip's forms was estimated to be distinguishing in order of bio material, mixture of sand and gravel and lastly the whole gravel. In the event, the whole reduction efficiency of pollutants on the soil filter strips disclosed good results.

Key words : non-point pollutants, soil filter strips, infiltration capacity, reduction efficiency of pollutants

서 론

집약적 토지이용의 증가로 상수원의 수질에 영향을 미치는 오염원은 단순한 점오염원에서 벗어나 비점오염원으로 확대되고 있다. 점오염원에 대한 처리 기법이나 규제 정도는 이미 상당한 수준에 도달해 있으나, 하천으로

흘러들어가는 비점오염원에 대해서는 구체적인 법적 규제가 없는 상황이다. 따라서 비점오염원을 최소화하는 것이 상수원 수질개선에 있어서 중요한 요인임을 인식하고 비점오염원의 하천에 미치는 영향에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 가운데, 비점오염원을 제어하고 공공수역의 수질개선 방안을 마련하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 비점오염원을 저감할 수 있는 가장 확

* Corresponding author: Tel: 031) 201-2461, Fax: 031) 203-4589, E-mail: jmoh@khu.ac.kr

실한 방법은 수변에 식생을 되살림으로써 직접적인 오염원이 하천으로 유출되는 것을 사전에 방지할 수 있는 유역관리기법을 들 수 있다.

비점오염원의 저감을 위한 최적관리기법 (best management practices, BMPs) 중 식생여과대 (vegetation filter strips)는 침전물, 영양물질, 농약 등이 지표수로 유입하는 것을 감소시킬 수 있는 유용한 BMP이다. 식생여과대의 효과는 토양특성, 배수면적, 지형과 지면경사, 식생의 품질과 토지이용 등에 의해 지배되며, 주기적인 식생여과대의 관리는 비점오염원을 관리하는데 중요한 요소이다 (정 등, 2002). 그러나 식생여과대는 수질조절을 위한 저류와 침투가 충분하지 못할 경우 효율이 떨어질 수 있는 단점이 있고 (정 등, 2002), 퇴적물, 유기성 물질 그리고 일부 미량 중금속 따위의 오염물질 제거에 효과적이지만 영양염류 등의 오염물질 제거에는 효과가 낮은 편이며 (장, 2006), 최근 연구 결과에서도 식생여과대에 의한 유기물 및 영양물질의 제거 효율은 50% 이하로 낮은 제거 효율을 보인다 (길 등, 2006). 또한 오염물의 특성에 있어서도 Daniels *et al.* (1996)은 강우 시 형성되는 하천에서의 침식물 포집에 있어서 식생여과대가 비효과적이었다고 하는 연구결과를 제시하였으며, 녹지대 내 표면 유출수에서 나오는 용존성 인의 제거는 미립자 인의 제거보다 덜 효과적이며 그 효과가 매우 다양한 것으로 나타났다 (National Research Council, 2000). 총질소의 제거율도 유동적인 것으로 나타났으며 (Wenger, 1999), 질산염의 경우 물에 잘 녹고 얇은 지하수로 쉽게 이동하며, 대부분 지표하 흐름을 통해 수변지대로 유입되는데 질소 감소량은 이러한 경로의 특성에 상당히 의존한다 (최, 2003). 따라서 식생여과대의 실제 조성 시 토양 투수성이 낮은 지역에서는 녹지대로 통과되는 수로를 설치하거나, 모래 등을 이용하여 토양침투성을 개선시키도록 조성하는 것이 바람직하다 (최, 2003).

본 연구에서는 앞에서 제기된 단순한 식생여과대의 단점을 보완하고 비점오염 저감효과를 높이기 위하여 토양의 침투능력을 향상시킬 수 있는 형태의 식생여과대를 제시하였고, 이를 한강 상수원 수변지역에 실제 적용하기에 앞서 Bench scale의 비교실험을 통해 오염저감효과를 입증하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는, 식생여과대의 보다 효율적인 활용 방안을 마련을 위한 것이지만, 식생은 배제하고 토양의 침투능력 향상에 그 목적을 두고 있으므로 식생여과대 (vegetation filter strips)라는 용어 대신 토양여과대 (soil filter strips)라는 용어를 사용하여 본 연구의 목적에 부합시키고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험 장치

실내 Bench Scale의 토양여과대는 강우 시 유출수의 침투 능력에 따라 오염물질 저감효과에 영향을 미칠 것으로 판단하여 토양층 변화에 초점을 맞추었다. 따라서 토양여과대는 대조군 (Control group)과 각각 띠의 형태로 이루어진 모래+자갈 (Sand+gravel), 여재 (Bio Filter Material), 자갈 (gravel) 층으로 침투부의 형태에 변화를 주어 실험하였다.

대조군 및 각각의 토양여과대를 조성하기 위해 사용된 토양은 실제 토양여과대가 적용될 지역인 경기도 양평군 강상면 병하리의 한강 수변 내에 위치한 토양을 채취하여 사용하였으며, 입도분포는 점토 35.6%, 실트질 49.3%, 가는 모래 15.1%, 굵은 모래 0.02%로 국제법의 기준에 의해 토성을 판별한 결과, SiC (Silty clay) 형태의 실트질로 나타났고 공극률은 27.6%이었다.

토양침투부에 사용된 재료는 모래의 경우 직경 0.05~2.00 mm의 Sand를 사용하였으며, 자갈은 직경 10 mm 이상의 Gravel을 사용하였다. 여재는 발포프로필렌 (J-P)으로 여재의 크기는 1.0~3.0 mm이며, 발포프로필렌은 소수성 소재로 배수능이 원활하여 통수능 및 처리효과가 좋고, 재질은 폴리프로필렌으로 공극률은 약 80%, 비표면적은 $800 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ 이하인 소재이다 (김 등, 2004).

반응조는 아크릴 (두께: 10 mm)로 제작되었으며, 재원은 1,000 mm (L) × 150 mm (W) × 300 mm (H) 이었다. 실험장치는 유입부와 유출부로 나누어져 있으며, 유출부는 표면, 단면, 하부로 유출되는 유출수의 체수가 가능하도록 하였고, 시료의 유입은 미량유량펌프를 이용하였다. Fig. 1은 Bench scale의 토양여과대 실험장치를 나타내고 있으며, 토양여과대는 침투능 향상을 위해 이용된 재료에 따라 네 가지 종류로 조성하였다. 첫 번째 반응조는 대조군으로서 침투부를 조성하지 않고 토양만으로 채웠으며, 두 번째 반응조는 시험지 중반부 (150 mm) 및 중후반부 (450 mm)에 모래와 자갈층의 침투부를 조성, 오염물질의 토양 내 침투가 보다 용이하도록 조성하였다. 세 번째 반응조는 시험지 중반부 및 중후반부에 여재층을 조성하였으며, 위치는 첫 번째 반응조와 같았다. 여재는 발포프로필렌 (J-P)으로 여재에 의한 토양 내 침투기능 향상뿐만 아니라 여재를 통한 오염물질 정화작용의 극대화를 유도하고자 하였으며, 일정기간 후 교체가 용이하도록 투입하였다. 네 번째는 시험지의 초입부와 중반부 (300 mm)에

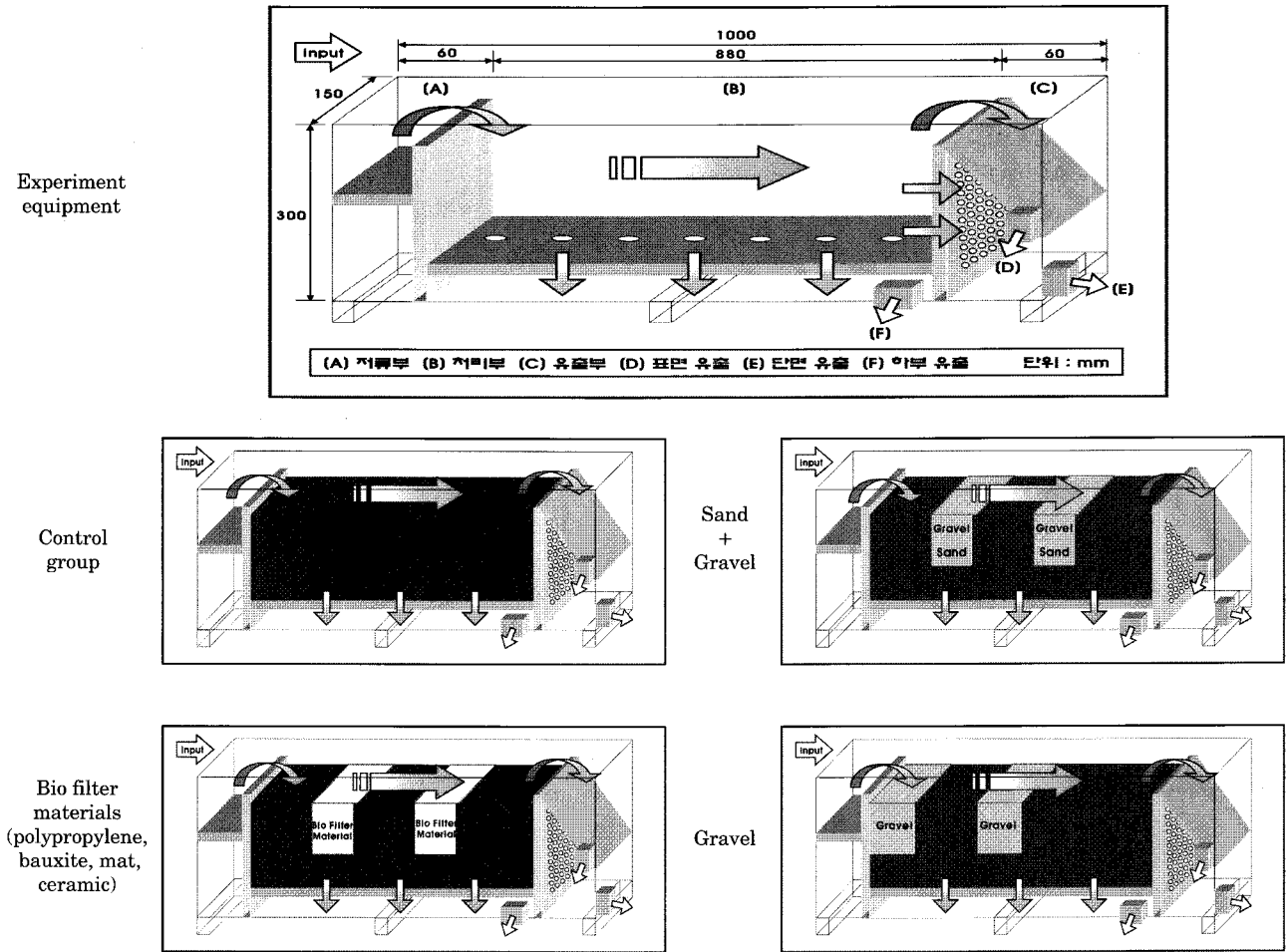


Fig. 1. Experimental design and forms of soil filter strips used in this study.

자갈층을 조성하였으며, 자갈층을 통해 토양 내 오염물질의 침투기능을 극대화하고자 하였다. 각 반응조 내 침투부의 폭은 100 mm, 깊이는 130 mm로 구성하였다. 각 반응조의 침투부 조성 목적은 차후 현장 적용 시 모래와 자갈로 구성된 침투부의 경우 모래층과 자갈층의 두께 조절로 침투부에도 식생의 자생이 가능하도록 하여 침투부와 식생에 의한 오염물질 정화효과가 상호작용을 통해 보다 효과적으로 이루어지도록 하는 것이며, 자갈만으로 구성된 침투부는 식생의 자생 가능성은 적지만 오염물질의 침투기능 극대화를 통해 토양 내에서의 오염물질 정화작용을 최대화 할 수 있도록 하는 것이다.

2. 실험 방법

각각 토양여과대에서의 시료채취는 24시간 동안 30분~4시간 간격을 두고 총 16회에 걸쳐 실시하였으며, 샘플

채취 간격은 초기에는 30분 간격으로 3시간 동안 채취하였고, 그 후 6시간까지는 1시간, 12시간까지는 2시간 간격으로 채취하였다. 그 후 24시간까지는 4시간 동안 채취하여 24시간 동안 총 16회에 걸쳐 탄력적으로 진행하였다. 채수 방법은 유입 후 반응조를 통과한 유입수에 대한 표면 (Surface runoff), 단면 (Subsurface runoff), 하부 (Ground runoff) 유출수를 채수하였으며, 실험항목은 SS, BOD, T-N, T-P, 중금속 (Cu, Fe, Pb)이었으며, 유량은 100 mL · min⁻¹으로 일정하게 유지하였다. 분석항목은 Standard methods (Lenore *et al.*, 1998) 및 수질공정시험법 (최 등, 2004)에 준하였으며, SS는 Drying oven에서 105~110°C로 두 시간 동안 건조시켜 TSS를 측정하였고, BOD는 5일 BOD Test로 실험하였다. 영양물질은 각각 자외선 흡광광도법 (T-N)과 아스코르빈산법 (T-P)을 이용해 UV로 측정하였고, 중금속은 전처리 후 원자흡광광도법을 이용하였다. 오염물질의 유입 농도는 실제 강우 시 경

기도 용인시 기흥구 서천동 경희대학교 일대 도로유출수를 분석하여 평균한 결과와 선행 연구된 강우 시 발생되는 도시 지역의 유출수 농도를 참고하여 결정하였으며(박, 2000), 유입조건 및 분석 항목은 Table 1에 나타내었다.

결 과

1. 대조군 및 토양여과대의 유출형태에 따른 부하량 비교

토양여과대에서 유출형태에 따른 부하량은 비점오염물질의 저감 효과를 연구하는데 있어 매우 중요한 요소이며, 하부로 갈수록 오염물질의 저감 농도는 커지기 때문에 단면 및 하부로의 유출율을 높여 유출부하량을 증가시키는 것이 하천으로 유입되기 전 비점오염물질을 저감시키는데 있어서 매우 중요하다. 각 토양여과대에서 유출형태에 따라 표면 (Surface Runoff), 단면 (Subsurface

runoff), 하부(Ground Runoff)로 나누어 오염물질의 부하량과 차지하는 비율을 Table 2에 나타내었다. 침투부를 조성하지 않은 대조군은 대부분의 항목에서 표면 유출의 차지하는 비율이 50% 이상으로 나타났으며, Fe는 약 98%를 차지하였고, 영양물질은 질소와 인 모두 80% 이상이 표면에 의한 유출로 나타나 침투부를 조성한 토양여과대와 비교하여 볼 때 표면 유출의 차지하는 비율이 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 부하량의 비율로 나타낸 것으로써 하부로 갈수록 오염물질 저감 농도는 높지만 침투부를 조성하지 않아 표면으로 유출되는 양이 대부분을 차지함으로써 표면 유출부하량이 높은 것으로 판단된다.

모래와 자갈로 구성된 토양여과대는 BOD와 Fe를 제외한 항목에서 단면과 하부에서의 유출부하량이 50% 이상 차지하는 것으로 나타났으며 특히, T-N과 T-P의 경우 단면에서의 유출부하량이 각각 전체 중 58.3%, 76.1%를 차지하여 단면과 하부로의 침투가 매우 잘 일어났음을 알 수 있다. 이는 여재를 사용한 토양여과대에서도 비슷한 결과를 보여, 대부분의 항목에서 단면과 하부에 의한 유출부하량이 전체의 23.9~95.1%를 차지한 것으로 나타났다. 자갈만을 사용한 토양여과대에서는 다른 여과대에 비해 표면 유출부하량의 차지하는 비율이 매우 컸으며, 모든 항목에서 표면 유출부하량이 50% 이상인 것으로 나타나 다른 여과대와 비교하여 볼 때 침투율이 비교적 낮은 것 같았다. 이는 자갈을 사용할 경우 초기침투는 매우 잘 일어나지만 자갈층이 유입수에 의해 포화되는

Table 1. Influent condition used in this study and analytical methods of pollutants.

Items		Methods	
Conditions of influent	N	5 mg · L ⁻¹ (NH ₄ Cl, KNO ₃)	
	P	1 mg · L ⁻¹ (KH ₂ PO ₄)	
	BOD	10 mg · L ⁻¹ (C ₆ H ₁₂ O ₆)	
	Heavy metals	Cu	0.5 mg · L ⁻¹ (Cu)
		Fe	10 mg · L ⁻¹ (FeCl ₃ · 6H ₂ O)
Pb		0.5 mg · L ⁻¹ (Pb)	

Table 2. Loading and ratio of pollutants with runoff forms through Soil Filter Stirps.

(unit : mg · hr⁻¹, %)

		Control group				Sand+gravel				Bio Filter Materials				Gravel			
		SR*	SSR**	GR***	Total	SR	SSR	GR	Total	SR	SSR	GR	Total	SR	SSR	GR	Total
SS	Loading	2,943	681	203	3,827	340	640	710	1,690	251	701	667	1,620	2,863	365	114	3,342
	Ratio	76.9	17.8	5.3	100	20.1	37.8	42.0	100.0	15.5	43.3	41.2	100.0	85.7	10.9	3.4	100.0
BOD	Loading	448.4	168.1	55.8	672.3	160.6	74.2	55.5	290.3	106.5	99.5	73.6	279.6	302.8	100.4	59.0	462.2
	Ratio	66.7	25.0	8.3	100	55.3	25.6	19.1	100.0	38.1	35.6	26.3	100.0	65.5	21.7	12.8	100.0
TN	Loading	440.0	65.8	42.8	548.6	44.5	212.6	107.5	364.6	19.7	310.1	77.4	407.3	133.5	25.3	9.8	168.6
	Ratio	80.2	12.0	7.8	100	12.2	58.3	29.5	100.0	4.8	76.1	19.0	100.0	79.2	15.0	5.8	100.0
TP	Loading	91.8	7.5	4.2	103.5	12.1	65.1	8.4	85.6	8.7	7.5	2.0	18.2	41.6	5.9	2.0	49.5
	Ratio	88.7	7.2	4.1	100	14.2	76.1	9.8	100.0	47.6	41.1	11.2	100.0	84.0	11.9	4.1	100.0
Cu	Loading	39.46	12.80	5.94	58.20	9.01	17.41	15.08	41.50	10.51	20.93	5.89	37.33	30.78	14.45	6.39	51.62
	Ratio	67.8	22.0	10.2	100	21.7	42.0	36.3	100.0	28.2	56.1	15.8	100.0	59.6	28.0	12.4	100.0
Fe	Loading	344.54	3.86	2.10	350.50	27.89	5.03	0.39	33.31	30.01	13.25	13.84	57.10	105.71	4.83	3.72	114.26
	Ratio	98.3	1.1	0.6	100	83.7	15.1	1.2	100.0	52.6	23.2	24.2	100.0	92.5	4.2	3.3	100.0
Pb	Loading	32.29	1.98	0.52	34.80	0.62	0.95	0.39	1.95	3.92	1.04	0.19	5.15	12.00	0.87	0.54	13.41
	Ratio	92.8	5.7	1.5	100	31.5	48.4	20.1	100.0	76.1	20.2	3.7	100.0	89.5	6.5	4.1	100.0

*SR: Surface Runoff, **SSR: SubSurface Runoff, ***GR: Ground Runoff

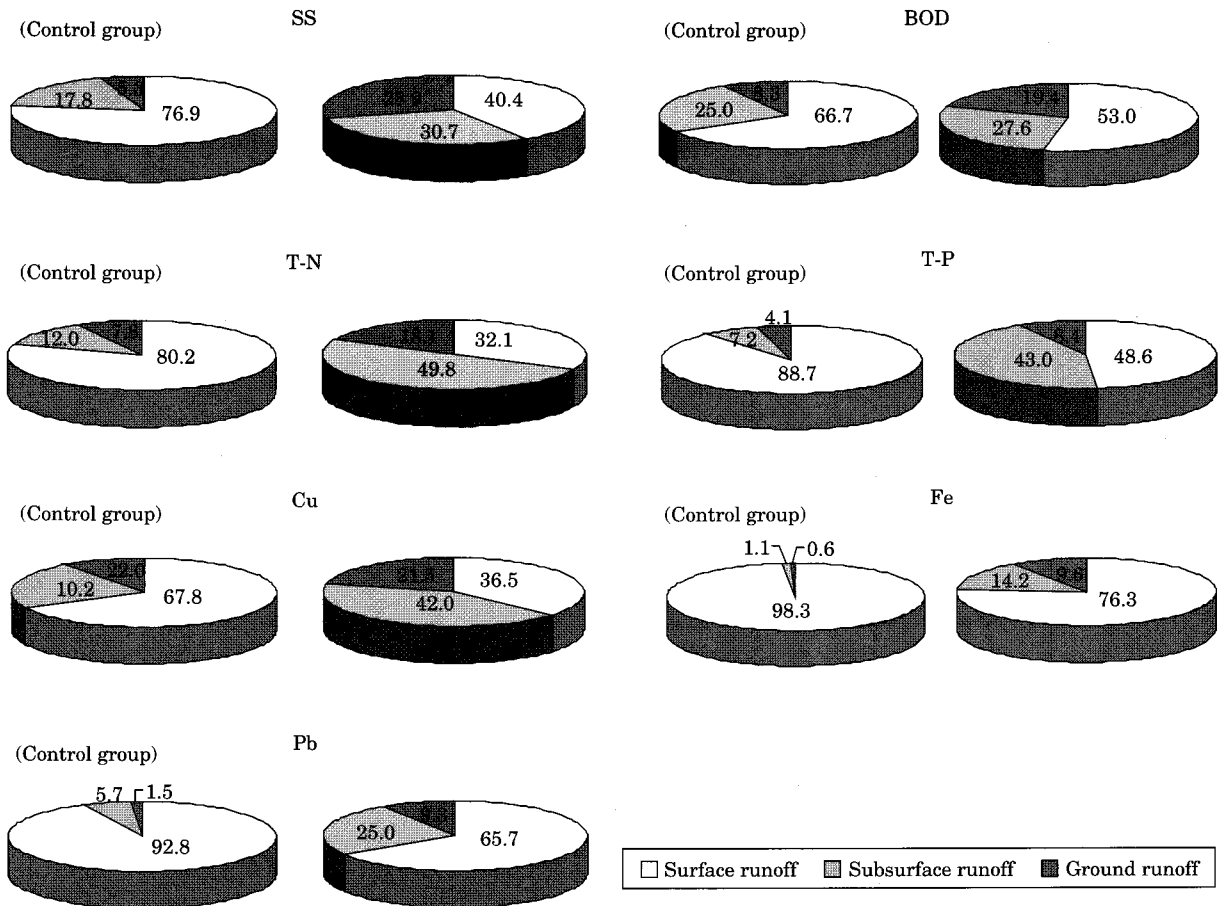


Fig. 2. Comparison of pollutants loading ratio with runoff forms between control and soil filter strips.

속도가 다른 여과대에 비해 빠르고, 포화상태 이후에는 거의 표면 유출로 발생하기 때문에 자갈을 사용한 여과대에서의 단면 및 하부 유출율이 낮은 것으로 판단된다.

각각의 토양여과대의 유출부하량을 평균하여 대조군과 비교한 유출형태에 따른 오염물질 유출부하율을 Fig. 2에 나타내었다. 유출특성에 따른 부하율을 오염물질별로 살펴보면, SS의 경우 표면 유출부하량이 40.4%를 나타내었으며, 단면 및 하부 유출부하량은 각각 30.7%와 28.9%로 나타나 표면에서의 유출부하량이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 대조군에서의 표면 SS부하율이 약 77%를 나타낸 것과 비교해 본다면, 침투부 조성을 통한 SS의 저감효율이 매우 높다는 것을 알 수 있다. BOD는 각각의 토양여과대를 평균한 결과, 표면에서의 유출부하량이 53%로 나타나 표면 유출부하량이 매우 큰 비율을 차지하였으며, 단면 및 하부 유출부하량은 각각 27.6%, 19.4%로 나타나 SS와 마찬가지로 표면에 비해 상대적으로 그 비율이 적었다. 그러나 대조군에서의 BOD의 표면 유출부

하량은 전체의 66.7%를 차지하였으며, 이와 비교하여 볼 때 토양여과대의 변화에 의한 표면 유출부하량의 감소효과가 나타난 것을 알 수 있다.

영양물질은 T-N의 경우, 단면에서의 유출부하량이 50% 정도를 차지하였고 하부에서의 유출부하량도 18.1%로 나타나 단면 및 하부에서의 유출부하량이 전체의 약 70%를 차지하였다. T-P 또한 단면 및 하부 유출부하량이 전체의 50% 이상을 차지하였으며, 특히 단면에서의 유출부하량이 43%를 차지하는 것으로 나타나 단면에서의 유출부하량이 매우 높은 것을 알 수 있었다. 영양물질은 대조군과 비교하여 볼 때 다른 오염물질보다 비교적 뚜렷한 차이를 보여주었다. 대조군에서의 영양물질 표면 유출부하량은 T-N과 T-P가 각각 80.2%, 88.7%를 차지하였으나, 토양여과대에서는 T-N과 T-P가 각각 49.8%, 48.6%만이 표면 유출로 발생하는 것으로 나타나 거의 50%에 가까운 표면 유출 감소효과를 보였다.

중금속은 Cu, Fe, Pb 모두 표면에서의 유출부하량이 매

우 높았으며, 그 중 Cu의 단면 및 하부에서의 유출부하량이 전체의 63.5%를 차지하였으며, Fe와 Pb는 표면 유출부하량이 각각 전체의 76.6%, 65.7%를 차지해 표면 유출부하량이 매우 큰 것을 알 수 있었다. 중금속 역시 대조군과 비교하여 볼 때 표면 유출부하량이 22~31.3% 정도 감소한 것으로 나타나 토양여과대에 의한 중금속의 표면 유출부하량의 감소효과도 비교적 양호한 것으로 판단된다.

2. 유입부하에 따른 총유출부하량 비교

토양여과대의 경우 기존에 연구되어 온 식생여과대의 장점인 오염물질 제거, 부유성 침전물 제거, 하천의 충격 효과 완화, 자연환경개선 등의 장점도 가지고 있을 뿐만

아니라 지표면 유속감소, 하천 유달시간 증가 및 침투 증가에 의한 유출량 감소가 이루어지기 때문에 본 연구에서는 각각의 토양여과대에 대해 유입부하에 따른 오염물질별 총유출부하량을 비교하여 보았다. 그 결과는 Fig. 3에 나타내었으며, 각각의 토양여과대에서 모든 항목별로 유입부하량에 따른 총유출부하량은 매우 낮았고 총유출부하량을 대조군과 비교하여 볼 때에도 오염물질 저감이 양호하게 이루어진 것으로 나타났다. 모래와 자갈로 이루어진 토양여과대의 경우 Fe와 Pb에서 총유출부하량이 다른 여과대에 비해 가장 적은 것으로 나타났으며, T-P는 다른 여과대에 비해 총유출부하량이 가장 많은 것으로 나타났다. 여재를 사용한 토양여과대는 T-N을 제외하고 대부분의 항목에서 다른 여과대에 비해 가장 적은 총

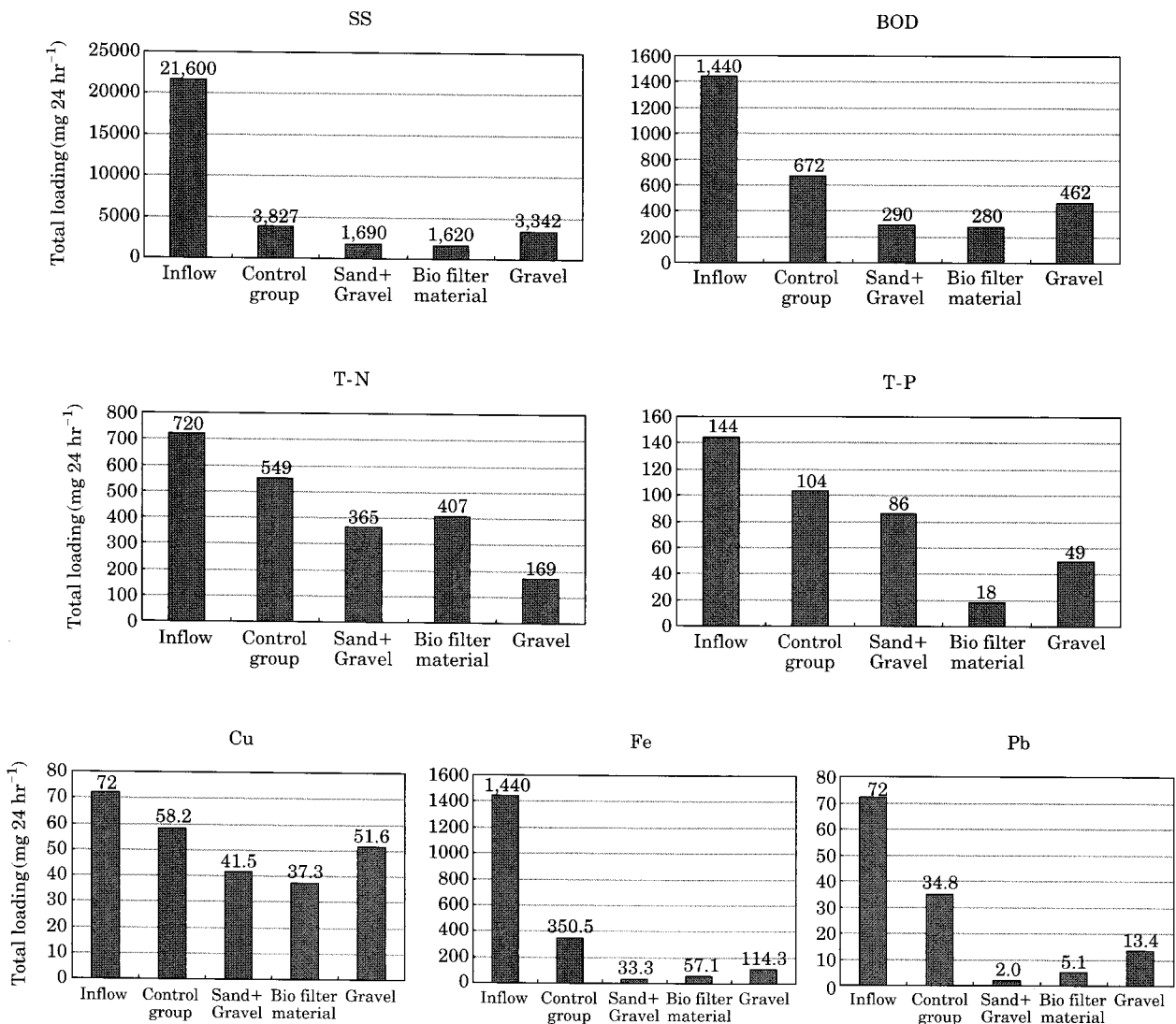


Fig. 3. Total pollutants loading in influent and effluent for each soil filter strip.

유출부하량을 나타내었으며 특히, T-P 및 중금속 등에서 양호한 결과를 나타내었다. 자갈을 사용한 토양여과대는 세 가지의 여과대 중 가장 높은 총유출부하량이 나타났지만, 영양물질의 경우에는 다른 여과대에 비해 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 전체적인 결과를 종합해 보면, 침투부를 조성한 토양여과대의 유입부하량에 따른 총유출부하량은 여재, 모래+자갈, 자갈을 사용한 순으로 총유출부하량이 나타나 단면 및 하부부의 유출율이 높은 여재와 모래+자갈이 총유출부하량에 있어서도 양호한 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

3. 오염물질 저감 효과 비교

토양여과대를 통한 실험 결과를 종합하여 각각의 종류

에 따라 오염물질 항목별로 제거율을 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 대조군의 경우 고형물과 유기물 및 Fe와 Pb의 제거효율은 50% 이상으로 비교적 양호하였지만, 영양물질과 Cu에서는 제거율이 매우 미비한 것으로 나타났다. 영양물질의 제거는 선행된 식생여과대의 연구 결과에서도 제거율이 낮은 것은 조사되었는데(길 등, 2006; 이, 2006), 이번 대조군에서도 그와 비슷한 결과를 보였다. 그러나 침투효과를 높인 모래와 자갈을 사용한 토양여과대는 Fe와 Pb의 제거에 탁월한 효과를 나타내었으며, SS를 포함하여 90% 이상의 제거율을 보였다. 또한, 유기물에 있어서도 약 80%의 제거율을 보여 저감효과가 좋은 것으로 나타났으며, 영양물질은 다른 오염물질에 비해 제거율이 높지 않았지만, 기존의 연구결과와 비교하여 불

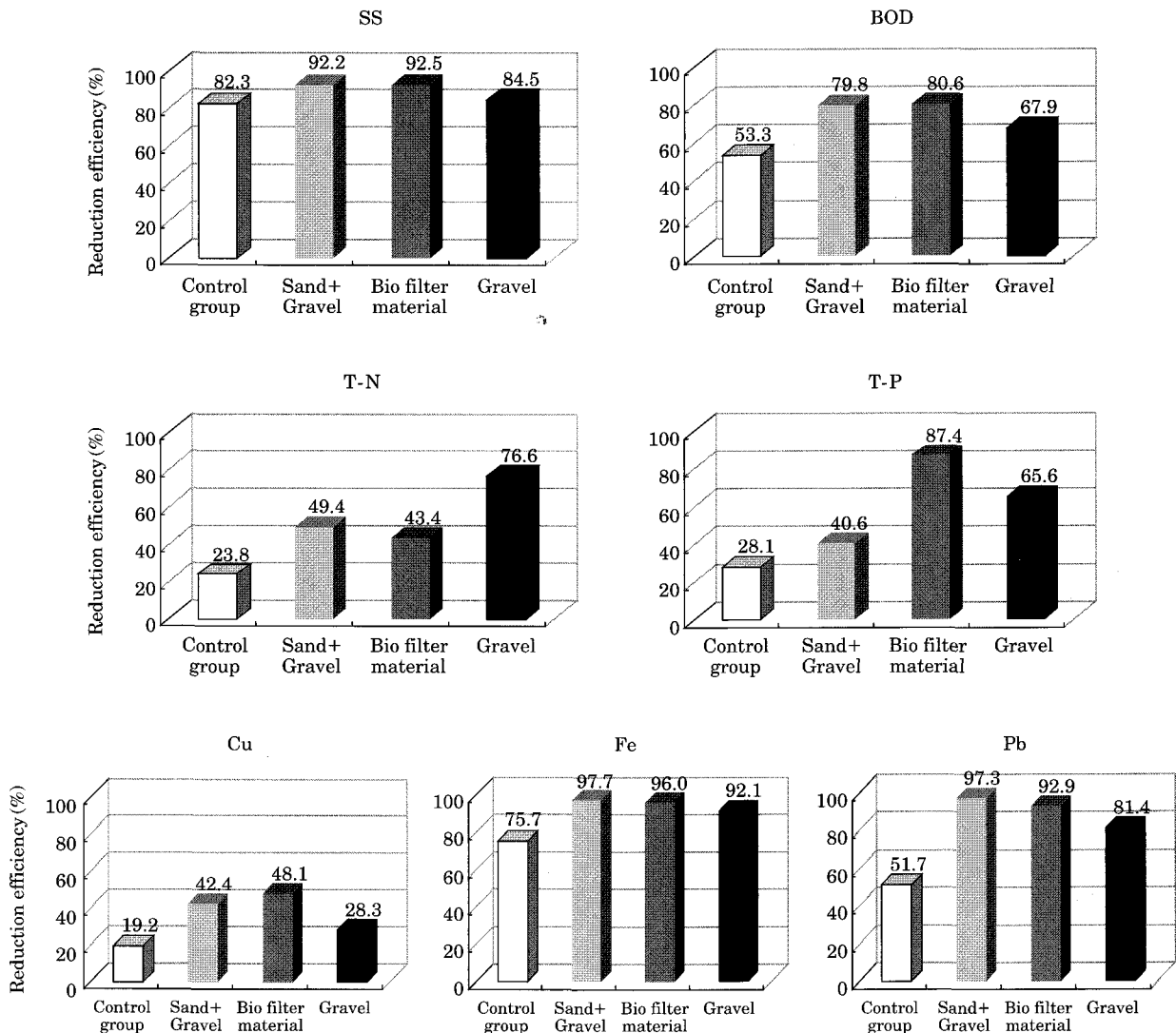


Fig. 4. Total reduction efficiency of pollutants by each soil filter strip.

때 비교적 안정된 제거율을 나타내는 것으로 판단된다. 여재를 사용한 토양여과대에서는 대부분의 항목에서 높은 제거율을 보였으며, SS, Fe, Pb는 모래+자갈을 사용한 여과대와 마찬가지로 90% 이상의 매우 높은 제거율을 보였다. 유기물의 경우에는 세 종류의 토양여과대 중 가장 높은 제거율을 보였고, 특히 T-P는 87.4%의 제거율을 보여 가장 뛰어난 저감 효과를 나타내었다. 자갈을 사용한 여과대는 다른 여과대에 비하여 제거율이 높지 않은 것으로 나타났지만, 전체적인 제거율은 Cu를 제외하고 대부분의 항목에서 65.6~92.1%의 제거율을 보여 저감 효과 자체는 양호한 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 하천의 수변지역이 확보된 곳에서 하천의 생태계를 유지하면서 강우 시 비점오염원에 의한 수질 악화를 방지할 수 있는 생태공학적인 기술의 개발을 위해 수행되었다. 현장에서의 실제적인 연구를 시행하기에 앞서 Bench scale의 실내 실험을 통해 대조군, 모래+자갈, 여재, 자갈의 침투부를 가진 각각의 토양여과대에 의한 오염물질의 저감효과에 대해 연구한 결과 조사 항목별로 제거율에 차이를 보였으나, 부유물질은 약 90%의 높은 제거율을 보였으며, 유기물도 약 70% 이상의 높은 제거율을 나타내었다. 영양물질에서도 총질소와 총인 모두 평균 60% 이상의 제거율을 보이며 비교적 안정된 저감 효과를 나타낸 것으로 판단된다. 대조군과의 비교 결과, 제거율의 증가가 뚜렷하게 나타났으며, 특히 기존의 식생 여과대에서 효율이 낮았던 영양물질의 경우 2~3배에 이르는 제거율 향상 결과를 나타냄으로써 침투부를 조성하지 않은 대조군과 비교하여 제거율의 향상이 월등히 증가된 것으로 조사되었다.

각각의 토양여과대에 대한 오염물질 저감효과를 비교해 본 결과 여재, 모래+자갈, 자갈의 순으로 저감효과가 뛰어난 것으로 나타났지만, 전체적인 저감효과를 보면 세 종류의 토양여과대 모두 양호한 저감효과를 보인 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 기존의 식생여과대에 비해 토양층을 변화시켜 토양의 침투능을 향상시킨 토양여과대가 비점 오염물질 저감에 보다 효과적이며, 하천에 가해지는 오염 부하량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되기 때문에 차후 현장 적용 시 보다 실효성 있는 비점오염 저감대책이 될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 연구 결과를 토대로 비점오염물질 저감 효율을 보다 증가시키기 위한

토양의 세부 메커니즘, 적정 부하량 및 유입 유량의 결정 등에 대한 추가 연구가 필요하며, 토양여과대의 기능을 강화할 수 있는 방안과 기능성 저류조 등 식생여과대와 함께 접목시킬 수 있는 연구도 필요할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 한강 상수원 수변지역의 실제 적용에 앞서 Bench scale의 실험을 통해 식생여과대의 단점을 보완하고 보다 효율적인 비점오염물질 저감을 위해 대조군, 모래+자갈, 여재, 자갈의 토양여과대를 조성하여 토양의 침투능력을 향상시키고 효율을 비교하고자 하였다.

실험 결과 토양여과대에서 단면 및 하부로의 침투를 증가시킨 결과 대조군과 비교하였을 때 토양여과대의 평균 표면 유출부하량과 비교하여 8.2~40.1%까지 감소한 것으로 나타나 토양여과대 조성을 통한 표면 유출부하량의 감소 효과가 비교적 양호하게 나타난 것으로 판단된다. 오염물질의 유입부하에 따른 총유출부하량을 통해 각각의 토양여과대에 대한 저감 효과를 비교해 본 결과, 전체적인 제거율은 SS 84.5~92.5%, BOD 67.9~80.6%, T-N 43.4~76.6%, T-P 40.6~87.4%, Cu 28.3~48.1%, Fe 92.1~97.7%, Pb 81.4~97.3%인 것으로 조사되었고, 각각의 토양여과대에 대한 오염물질 저감효과를 비교해 본 결과, 여재, 모래+자갈, 자갈의 순으로 저감효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 기존의 식생여과대에 비해 토양층을 변화시켜 토양의 침투능을 향상시킨 토양여과대가 비점오염물질 저감에 보다 효과적이며, 하천에 가해지는 오염부하량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되기 때문에 차후 현장 적용 시 보다 실효성 있는 비점오염 저감대책이 될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부의 지원으로 차세대 핵심환경기술개발사업의 10대 중장기 프로젝트 중 상수원 수질 안정성 확보를 위한 수질관리기술 개발 프로젝트의 일환으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

길경익. 2006. 식생여과대에 의한 비점오염 물질의 처리효율 분석, 대한상수도학회·한국물환경학회 추계학술발표회 논문

- 문집, P1119-P1125.
- 김석구, 윤상린, 김영임, 이용재, 김이호, 김종오. 2004. 강우강도에 따른 노면유출수의 유출특성. *한국물환경학회지* **20**(5): 494-499
- 이영아. 2006. 비점오염원의 효과적인 저감을 위한 식생여과대의 역할: 돌미나리와 잔디를 중심으로. 석사학위논문. 경희대학교 교육대학원.
- 장은미. 2006. 물관리정보화에 관한 현황 및 개선방안에 관한 기초연구. 2003년 제1차 물관리정책토론회 연구발표보고 p.15-16.
- 정상욱. 2002. 비점원 오염관리를 위한 식생여과대의 적용. *한국개배수* **9**(1): 103-111.
- 최규철, 권오억, 김동욱, 김용환, 박광하, 이우식, 이지연, 전세진, 정수경. 2004. 수질공정시험방법주해. 동화기술.
- 최지용. 2003. 4대강 유역 수변녹지대 조성방안 및 적용우선순위 산정. *한국환경정책·평가연구원* p.86-170.
- Daniels, R.B. and J.W. Gilliam. 1996. Sediment and chemical load reduction by trass and riparian filters, *Soil Science Society of America Journal* **60**: 246-251.
- Lenore S. Clescerl, Arnold E. Greenberg and Andrew D. Eaton. 1998. Standard Methods for the examination of water and wastewater, 20th ed.. APHA AWWA WEP.
- National Research Council. 2000. Watershed Management for Potable Water Supply.
- Park, J.Y., Y.M. Jo and J.M. Oh. 2000. Characterization of nonpoint source from urban runoff. *Water Engineering Research. Korea Water Resources Association* **1**(1): 39-48.
- Seth Wenger. 1999. A Review of the Scientific Literature on Riparian Buffer Width, Extent and Vegetation. University of Georgia.

(Manuscript received 17 April 2007,
Revision accepted 7 June 2007)