

식생여과대내 침투능력 향상에 따른 오염물질 저감효과에 대한 실험

Experiment for Reduction Effectiveness of Pollutants with the Improvement of Infiltration Ability in Vegetation Filter Strip

이 영 아* / 최 이 송** / 오 종 민***

Lee, Young-A / Choi, I-Song / Oh, Jong-Min

Abstract

Soil layer in vegetation filter strip is one of the very important factor for reduction of non-point pollutants by physical, chemical and biological reactions of it through infiltration process. This study was carried out to prepare more effective vegetation filter strip through modification of soil layer for river water quality improvement. Therefore, the main aims of this study are to compare and evaluate normal (straighten type) and modified (step type) vegetation filter strip, which make artificially change the soil layer to improve infiltration ability, through bench scale experiments. In the results of this study, vegetation filter strip of step type is much more highly reduction effectiveness of pollutants in surface flow compared with normal vegetation filter strip. In case of below effluent, however, it appeared that the vegetation filter strip modified soil layer showed lower reduction effectiveness of pollutants than the general vegetation filter strip. This result was judged because effluent through the vegetation filter strip of step type passed bigger size of aggregate or sand than the vegetation filter strip of straighten type. If we compare it as a definition of pollutant load to estimate total amount of reduced pollutants by vegetation filter strip, reduced pollutants load by step type showed higher than those by straighten type because below effluent amount relied on total effluent amount was higher at step type (4%) than at straighten type (2%). In conclusion, the vegetation filter strip of step type to improve infiltration effect is much more reduction effectiveness of pollutants than vegetation filter strip of straighten type.

keywords : vegetation filter strip, non-point source, soil layer, infiltration effect, water quality

요 지

본 연구에서는 식생여과대에 있어서 토양층의 역할에 주목하였으며, 토양 침투량이 증가될 수 있는 구조로 토양층을 변형하여 일반적인 식생여과대에서의 오염저감효과와 비교·분석하였다. 따라서 연구의 최종 목적은 토양층 변화를 통한 식생여과대의 수질개선효과를 일반적인 토양층으로 구성된 식생여과대와 비교, 검토함으로써 보다 효과적인 식생여과대를 조성하고자 하는 것이다. 실험분석 결과, 토양층 변화를 접목시킨 식생여과대는 일반 식생여과대에 비해 표면유출에서 높은 오염물질 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 표면유출수 일부가 정류벽을 통과한 후 재상승하여 표면으로 유출되었기 때문으로 판단된다. 그러나 계단형에서의 하부유출수의 경우, 입경이 큰 모래와 자갈

* 경희대학교 교육대학원 환경교육대학원생 (e-mail: duddk195@paran.com)

** 경희대학교 환경연구센터 선임연구원

*** 경희대학교 환경응용화학대학 정교수

을 통과하여 유출이 일어나기 때문에 직선형 식생여과대보다 오염저감효율은 다소 낮게 나타났다. 이를 오염물질 유출부하량의 개념으로 파악해 보면, 하부유출량이 전체 유출유량에 대한 기여도가 계단형(4%)에서 직선형(2%)보다 높기 때문에 계단형에서의 오염물질 저감부하량이 직선형에 비하여 매우 높게 나타났다. 따라서 정류벽과 표면층 변화를 통해 침투량을 증가시킨 식생여과대는 일반적인 식생여과대보다 저감효과가 크고 식생여과대 적용에 필요한 여러 조건(토양의 침투성, 여과대의 넓이 및 길이, 유속 등)을 만족하지 않더라도 충분한 저감효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 식생여과대, 수질개선, 토양층, 침투능력, 비점오염물질

1. 서론

비점오염은 일정한 오염원 없이 광범위한 지역에 쌓여 있는 오염물질이 강우 등에 의해 산발적으로 유출되는 비점형적인 오염을 말한다. 대표적으로 도시지역의 도로, 대지, 지붕 등에 쌓인 오염물질과 농경지 및 골프장에 시비한 비료, 농약, 토사, 축산분뇨 등이 강우와 함께 수계로 유출되는 오염형태이다(김병익, 전경수, 2002). 환경부 4대강 비점오염원 정부 합동조사 자료에 의하면, 비점오염원은 4대강 오염부하량의 22~37% 정도 차지하고 있고, 특히 팔당상수원은 44.5%가 비점오염원에서 배출되며, 2020년에는 54.3%까지 증가할 것으로 전망하고 있다(환경부 관계부처합동, 2004). 이러한 비중은 비점오염의 특성상 해빙기나 강우시에 집중적으로 발생되기 때문에 수계에 미치는 영향은 훨씬 높으며, 따라서 비점오염 관리의 중요성도 여기에 있다고 할 수 있다.

비점오염의 방류점은 무수히 많고 빗물과 함께 토지로부터 하천으로 유입하는 형태이므로 오염발생원 관리를 하더라도 제거되지 않기 때문에, 비점원오염 대책은 하천유역 관리가 매우 중요하다. 그러므로 수변선의 연안을 따라 일정거리의 너비를 가진 식생여과대, 인공습지와 같은 일종의 완충지대를 설치하는 것이 바람직하며, 그 역할은 식물정화공정 기능에 의해 지표유출수의 오염물질을 침전, 여과, 흡착시키는 능력을 지닌다(이시진, 2001). 이러한 식생형 시설은 비점오염물질의 제거뿐만 아니라 도시지역의 동식물 서식처 확보와 개발지역의 경관 등 도시 미관을 개선하는데 있어서도 도움을 줄 수 있다. 그러나 식생여과대는 오염물질에 따라 다르기는 하나 유기물질은 40~65%, 질소와 인은 10~20% 정도로 제거효과가 낮은 단점이 있다. 그에 반해 강우 유출수를 지하 토양층으로 침투시키거나 저류시설과 같이 강우유출수를 저류할 수 있는 시설인 침투형 시설은 오염물질을 토양입자에 의한 흡착, 여과 및 침전에 의해 제거시킨다. 강우의 토양 침투는 곧 지하수 함양효과를 높여주므로 지하수량 확보에 도움을 주기도

하며, 오염물질의 제거효과가 60~100%으로 높은 제거효율을 지닌다(이현동, 배철호, 2002).

이러한 연구들의 결과는 식생여과대에 있어서 식생의 오염저감 효과보다는 토양층에 의한 오염저감 효과가 더 크다는 사실을 의미하는 것으로, 식생여과대의 비점오염물질 저감효과에 있어서 토양 침투능력 향상을 통한 오염저감 효과를 높일 수 있는 방안을 마련하기 위한 연구의 필요성을 제공한다.

따라서 본 연구에서는 비점오염원 저감효과를 향상시키기 위하여 식생여과대에 정류벽을 설치하여 강우유출수의 유속을 저감시키고 모래와 자갈층을 쌓아 침투능력을 증가시켜 침투형 시설의 장점을 통한 식생여과대의 오염저감 효과에 대한 한계점을 극복하고자 하였으며, 또한 이 연구를 통하여 토양층을 이용한 식생여과대의 현장 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험장치

실내 실험장치는 아크릴(두께: 10 mm)로 제작되었으며, 제원은 1,000 mm(L) × 150 mm(W) × 300 mm(H)이다. 실험장치는 유입부와 유출부로 나누어져 있고, 유출형태별 오염물질 저감효과를 정량적으로 파악하기 위하여 유출부는 표면·단면·하부 세부분으로 유출이 발생하도록 제작하였다. 시료의 유입은 미량유량펌프(Masterflex, Model 7529-00)를 이용하였고, 실험계획에 맞추어 유입유량(500 mL/min)을 조절한 후 유입하였다. 실험장치의 경사도는 5%로 하였다. 다음의 Fig. 1은 실험장치를 나타내고 있다.

2.2 시료채취 및 실험항목

2.2.1 시료 채취

본 실험에 사용된 토양은 현장규모의 식생여과대가 설치될 예정인 경기도 양평군 양수리지역의 토양으로 표층상부에서 하부 40 cm까지의 깊이로 채취하여 실험장치에 채웠으며, 장치의 구성을 완료한 후 토양속에

포함되어 있는 여러 오염물질을 제거하기 위하여 2일 동안 수돗물을 흘려 보내 주었다.

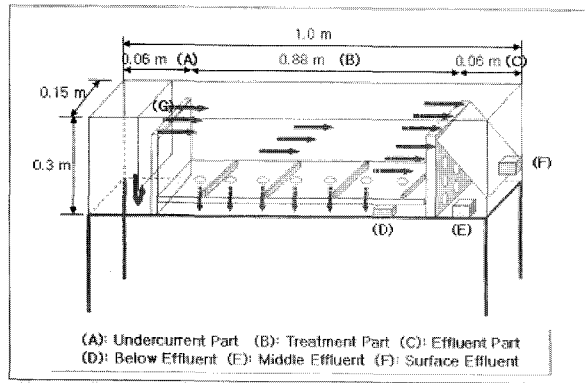


Fig. 1. Bench scale experimental device

또한 실내 실험장치의 유출부는 표면유출과 표면하 유출을 나타내는 단면유출, 지하유출을 나타내는 하부 유출로 나누어져 있으며, 실험은 4시간 동안 실시하였고, 시료채취는 30분 간격으로 실시하였다.

2.2.2 실험 항목

(1) 토양 실험항목 및 방법

수변지역에 설정되는 식생여과대에 의한 비점오염원의 저감기능은 주변토양의 토성에 따라 달라질 수 있으므로 기본적인 토성에 대한 분석을 실시하였다. 실험항목은 pH, EC, 수분함량, 유기물 함량, T-N, T-P, 입도 분포, CEC였으며, 측정방법은 Table 1에 나타내었다.

(2) 수질 실험항목 및 방법

실험항목은 기본 항목으로 수온, pH, EC를 측정하였

고, 유기물은 TOC를 대상으로 측정하였으며, 영양물질인 T-N, T-P에 대한 유입 및 유출수의 농도를 분석하였다. 이들 항목에 대한 분석방법은 Table 2에 나타내었다.

2.3 실험조건 및 내용

2.3.1 실험내용

본 실험은 오염물의 저감효과에 대한 토양 내 기작에 있어서 식물의 기능에 비하여 토양의 오염물 저감기능이 상대적으로 크기 때문에 인위적으로 강우유출수의 토양 내 침투량을 증가시켜 오염물 저감효과를 극대화시키기 위함이다.

따라서 실험은 표면층에 변화를 준 직선형과 계단형으로 나누어 구성되었다. 직선형은 일반적인 토양층의 구조를 의미하며, 계단형은 구간별로 인위적인 정류벽을 설치하고 정류벽 앞에는 자갈과 모래로 층을 쌓아 물의 토양 내 침투량을 증대시킬 수 있는 구조로 조성되었다. Fig. 2는 직선형과 계단형의 형상을 비교한 모습이다.

2.3.2 실험조건

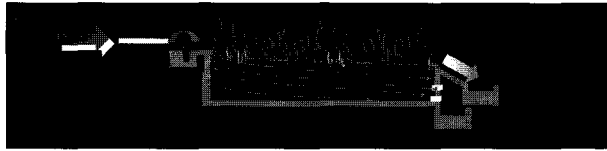
모든 실험의 유입수를 저농도와 고농도로 나누어 실시하였고, 유입수는 시중에 판매되는 시약(KNO₃, NH₄Cl, KH₂PO₄, C₆H₁₂O₆)을 이용하여 질소와 인, 유기물의 농도를 고농도와 저농도로 조절하였으며, 실험에서 저농도는 TOC의 경우 50 mg/L, T-N은 10 mg/L, T-P는 1 mg/L로 조절하였고, 고농도는 TOC를 200 mg/L, T-N은 30 mg/L, T-P는 5 mg/L로 조절하였다.

Table 1. Analytical items and methods of soil properties

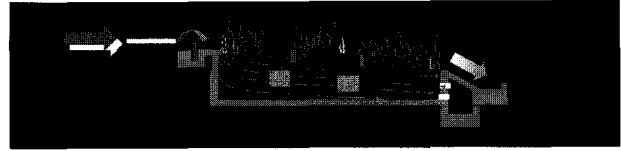
Items	Analysis Methods
Moisture content	Water Content by Weight (105°C)
Organic content	Loss on Ignition (550°C)
pH	pH meter (ORION, 520A)
EC	EC meter (Hanna, HI 0933100)
T-N	Ultraviolet Spectrophotometric Analysis (220nm) (UV 1601PC, Shimadzu, Japan)
T-P	Spectrophotometric Analysis (Ascorbic Acid Method - 880nm)
CEC	Scholenberger
Size distribution	Analyzer for Size Distribution (England, Malvern, Mastersizer S, Ver. 2.19)

Table 2. Analytical items and methods of water samples

Items	Analysis Methods
Temperature	pH meter (ORION, 520A)
pH	pH meter (ORION, 520A)
EC	EC meter (ISTEC, 430C)
TOC	TOC meter (Shimadzu, TOC 5000A)
T-N	Ultraviolet Spectrophotometric Analysis (220nm) (UV 1601PC, Shimadzu, Japan)
T-P	Spectrophotometric Analysis (Ascorbic Acid Method - 880nm)



(a) Straighten Type



(b) Step Type

Fig. 2. Comparison between vegetation filter strips of straighten type and step type

유입유량은 남한강 유역에 위치한 현장실험 부지(300 m²)에 영향을 끼치는 도로 유출수량(50 ton/hr)를 토대로 하여 500 mL/min으로 산정하였다.

식생종은 돌미나리로 식재하였고, 실험시간은 4시간으로 하여 오염물의 유출농도를 관찰하였으며, 시료채취시간은 30분 간격으로 총 9회에 걸쳐 채수하여 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 토양분석 결과

본 실험에 이용된 토양 조사결과를 분석해 보면, pH는 6.63으로 약산성이나 일반적인 토양 pH 범위로 나타났다, EC는 0.078 dS/m로 약간 높은 것으로 평가된다. CEC는 8.8 cmol/kg으로 일반적인 경작지 토양보다는 낮으나 심하게 풍화된 토양보다는 높게 나타났고, 유기물 함량은 5.72%로 조사되었다. T-N과 T-P는 전체적으로 값이 낮은 것으로 파악되었으나, 자연계에서의 일반적 비율인 10:1의 비율을 보이고 있다. 다만 수분 함량이 1.6%로 일반적 토양의 범위에서 크게 벗어난 것으로 조사되었다. 전체적으로 토양은 SiC 토양으로 실트질(49.3%)과 점토질(35.6%)이 주성분으로 나타났으

며, 토양의 공극률은 27.6%로 조사되어 미세한 토성의 영향으로 판단된다. 이러한 토성이나 공극률로부터 판단해 보면, 물의 투수성은 상대적으로 떨어질 것으로 판단된다.

3.2 수질분석 결과

다음의 Table 4는 저농도 및 고농도의 일반 측정항목인 수온, pH, EC의 측정결과를 보여준다. 먼저 저농도 및 고농도에 있어서 유입수의 수온은 7.0~16.4℃의 범위에 평균 11.8℃로 조사되었고, 유출수는 4.7~16.7℃의 범위에 평균 11.2℃인 것으로 측정되었다. pH는 유입수 평균이 6.62이었으며, 유출수의 전체 평균이 7.22로 조사되었다. 또한 EC는 유입수의 평균이 991 μs/cm이었으며, 유출수의 전체 평균은 909 μs/cm인 것으로 나타나 유출과정에서 약간 감소하였다.

3.2.1 오염저감효율

(1) 저농도

직선형과 계단형 반응조의 유출수별 오염물질 저감효과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보면, 직선형의 경우 표면 유출에 대한 TOC 저감효과는 -1.5±1.8%로 나타난 반면, 계단형은 3.3±1.6%인 것으로 나타나, 계단형에서 TOC 저감효과가 더 큰 것으로 나타났다. 이는

Table 3. Analysis results of soil

Items	pH	EC	Moisture content	CEC	Organic content	T-N	T-P
	6.63	0.078 dS/m	1.6%	8.8 cmol/kg	5.72%	640 mg/kg	69.4 mg/kg

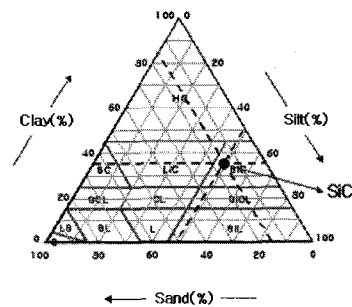
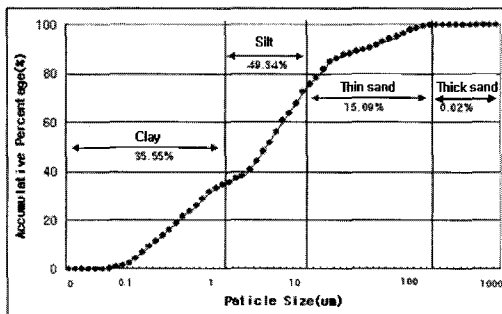


Fig. 3. Particle size distribution of soil bed

Table 4. Characteristics of influent and effluent during experimental period

Items		Temperature(°C)		pH		EC	
		Range	Average	Range	Average	Range	Average
Low Concentration	Influent	7.0~16.4	11.7	6.58~6.67	6.63	778~875	827
	Surface Effluent	6.6~16.4	11.8	6.92~7.02	6.96	770~896	823
	Middle Effluent	5.2~16.7	11.2	7.06~7.36	7.20	670~928	815
	Below Effluent	5.1~16.7	11.3	7.4~7.83	7.54	725~1,043	864
High Concentration	Influent	7.8~16.0	11.9	6.58~6.62	6.60	1,099~1,211	1,155
	Surface Effluent	6.8~15.9	11.7	6.83~7.05	6.94	1,077~1,234	1,144
	Middle Effluent	4.7~15.7	10.7	7.02~7.36	7.11	691~1,085	930
	Below Effluent	4.9~15.6	10.7	7.28~8.01	7.58	716~1,078	880

계단형의 경우 표면의 정류벽에 의한 막힘 현상으로 유속을 반감시키고 침투량의 일부가 정류벽을 통과한 후 재상승하여 표면으로 유출되었기 때문에 저감효과가 직선형이 직선형보다 높게 나타난 것으로 판단된다. 이러한 경향은 T-N 및 T-P에서도 비슷하게 나타나고 있다. T-N과 T-P, 각각의 표면유출에서의 저감효율은 직선형이 $-2.6\pm 1.5\%$, $-11.0\pm 5.1\%$ 인데 반하여, 계단형에서는 $2.4\pm 1.3\%$, $52.9\pm 1.9\%$ 로 저감효율이 월등히 높게 나타났다.

그러나 단면 및 하부에서는 이와 반대로 직선형에서 대체로 측정항목에 대한 저감효과가 높게 나타났다. 이는 토양용액의 물리적, 화학적 자정작용이 토양의 토성이나 공극에 크게 작용을 받기 때문으로, 본 실험에서

인위적으로 공급해준 자갈이나 모래는 일반적으로 공극 및 비표면적, 오염물질에 대한 흡착능력이 토양 중의 실트 및 점토입자에 비하여 떨어지기 때문에 저감효과가 감소한 것으로 판단된다. 따라서 계단형에서는 직선형에 비하여 단면 및 하부유출에서의 오염물질 저감효과가 떨어진 것으로 판단된다.

(2) 고농도

고농도의 오염물질 농도변화에 대한 결과에서, TOC, T-N, T-P의 표면유출에 대한 저감효과는 계단형이 직선형보다 월등히 높은 것으로 나타나 앞서의 저농도와 같은 결과를 보였다. 이는 저농도에서 설명된 것과 마찬가지로 표면유출량의 일부가 토양 하부층을 통과한 후 월류되는 과정에서 오염물질의 일부가 저감되었기

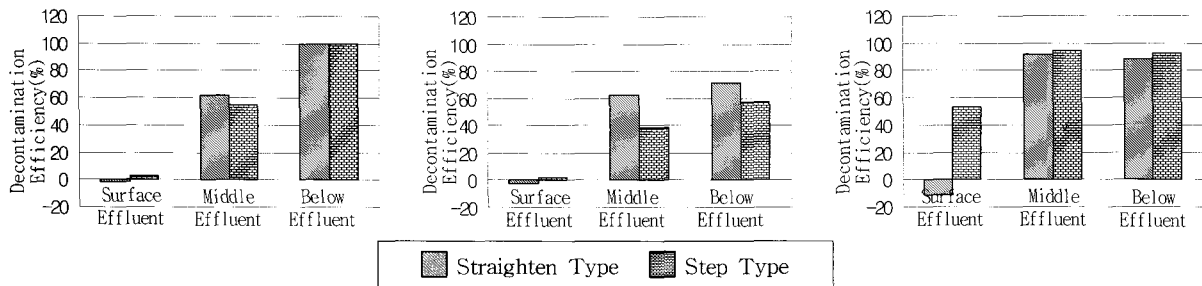


Fig. 4. Decontamination efficiencies of pollutants with soil layer (low concentration)

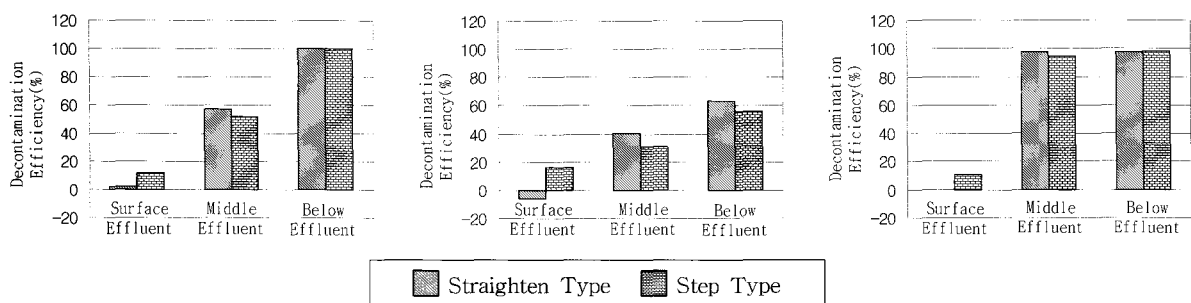


Fig. 5. Decontamination efficiencies of pollutants with soil layer (high concentration)

때문으로 판단된다. 또한 저농도와 마찬가지로 단면 및 하부유출에서는 TOC, T-N 농도가 계단형에서 더 높은 것으로 나타나 저감효율은 떨어졌다. T-P는 계단형과 직선형 모두에서 단면 및 하부유출의 저감효과가 95% 이상으로 나타났다. 이는 T-P 계열에 대한 토양층의 강한 흡착능력에 기인한 것으로 판단되며, 따라서 식생 여과대를 적절히 이용하는 것만으로도 부영양화의 중요한 영향 물질인 T-P의 저감효과는 충분할 것으로 판단된다.

3.2.2 토양 층위별 오염기여율

표면층 변화에 따른 토양 층위별 오염기여율은 Fig 5 와 6에 나타내었다. 저농도에서 직선형 TOC의 표면유출 부하량의 전체 부하량에 대한 기여율은 $83.59 \pm 2.16\%$ 로 대부분 오염물질이 표면유출을 통해 하천에 유입되는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 단면유출은 $1.13 \pm 0.79\%$, 하부유출은 0%로 오염기여율이 미미한 것으로 나타났다. 이로부터 계산되는 토양 내에서 저감된 TOC 부하량은 전체 부하량 중 15.28%인 것으로 계산된다. 그러나 계단형에서는 표면유출량이 직선형에 비하여 기여율 면에서 2.45% 감소한 $81.14 \pm 1.56\%$ 로 나타났고, 단면유출은 $1.37 \pm 0.81\%$ 로 조사되어 토양 내에서 제어된 부하량은 17.49%로 증가된 것을 알 수 있다. 즉 표면유출로부터 저감된 양 만큼 토양 내에서 오염물이 고정되었다는 사실을 알 수 있다. 이러한 경향은 T-N에서도

잘 나타나, 직선형에서는 저감된 부하량의 기여율이 13.69%이었으나 계단형에서는 14.17%로 증가하였다. 특히 T-P는 직선형의 경우 토양 내에서의 T-P 저감효과가 불과 9.23%인데 반하여, 계단형에서는 59.35%인 것으로 조사되어 월등히 높게 나타났다. 이러한 차이는 고농도에서도 마찬가지로 볼 수 있다. 즉 계단형에서 토양 내 TOC, T-N, T-P의 저감효율은 각각 9.33%, 22.20%, 11.98%만큼 직선형보다 증가한 것으로 나타났다. 이는 계단형으로 하였을 경우 오염부하량 제거에 그만큼 효과가 증대된다는 것을 의미한다.

3.2.3 오염부하 제거량

토양층 변화에 따른 오염부하 제거량은 Figs. 8, 9에 나타내었다. 직선형A와 계단형A는 실험에서 도출된 값을 나타내는 것이며, 직선형B와 계단형B는 A값에 TOC는 1 mg/L, T-N과 T-P는 0.1 mg/L 만큼 더 제거되었을 경우를 가정한 값이다.

저농도 직선형A에서의 표면유출 오염부하 제거량을 보면 TOC, T-N, T-P 각각 -2.937 ± 0.434 , -1.216 ± 0.216 , -0.309 ± 0.035 g/m²/day로 오히려 오염부하량이 더 늘어나는 것을 볼 수 있고, 하부유출 오염부하 제거량은 5.992 ± 0.325 , 0.934 ± 0.042 , 0.077 ± 0.004 g/m²/day로 표면유출보다 제거율이 월등히 높다. 따라서 본 연구에서는 하부유출량을 늘려 오염부하 제거율을 높일 수 있도록 표면층을 모래와 자갈로 하여 공극률을 높이고 정류벽

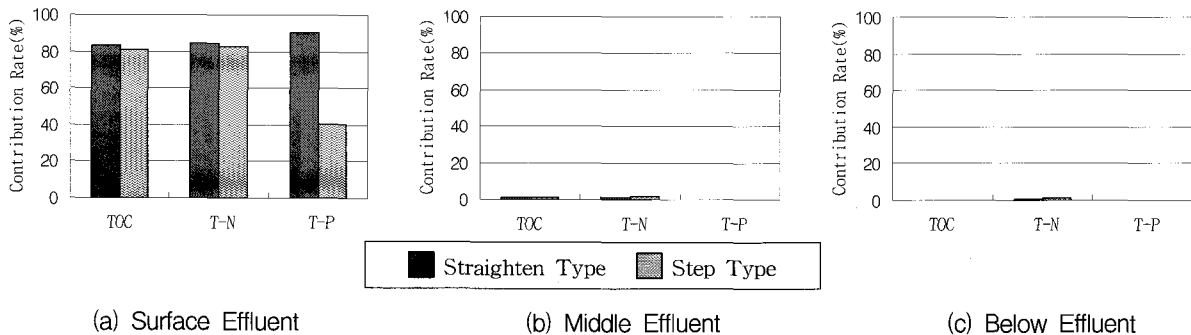


Fig. 6. Contribution rate of pollution with soil layer (low concentration)

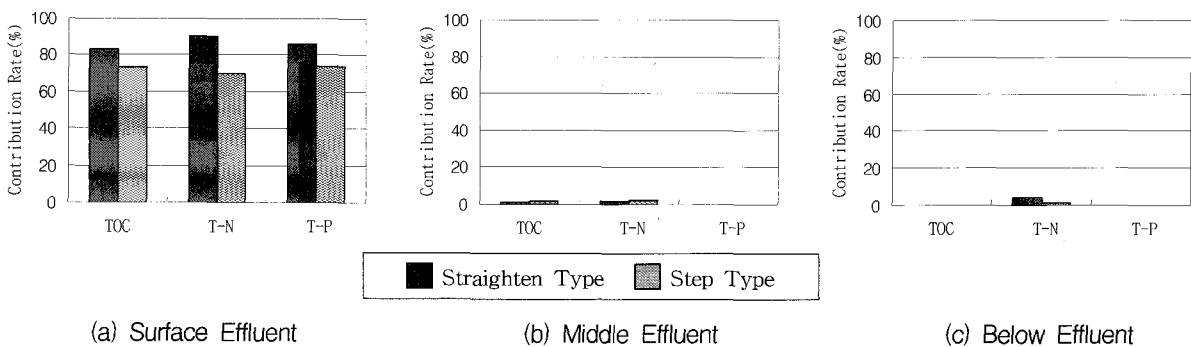


Fig. 7. Contribution rate of pollution with soil layer (high concentration)

을 이용하여 유속을 느리게 한 것에 대한 내용을 앞에서 언급한 바 있다. 저농도 계단형A에서의 표면유출 오염부하 제거량을 보면 T-P는 $2.157 \pm 0.014 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 로, 하부유출의 오염부하 제거량인 $0.141 \pm 0.007 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 보다 높게 나타났다. 계단형A 표면유출에서의 저감효율($52.9 \pm 1.9\%$)이 하부유출에서의 저감효율($92.3 \pm 2.5\%$)에 비해 훨씬 낮음에도 불구하고 오염부하 제거량이 높게 나타난 이유는 표면유출에서 하부유출보다 오염기여율이 더 높기 때문이다. 이런 결과는 정류벽의 높은 표면유출 오염부하 제거능의 가능성을 시사해 주고 있다.

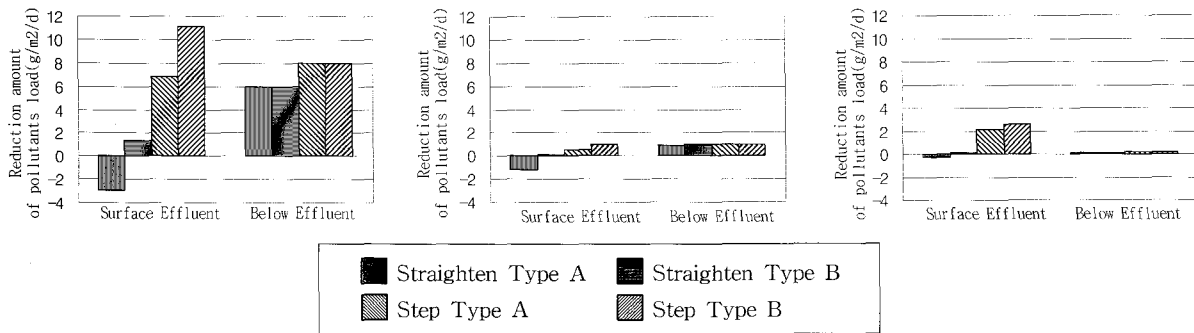
이런 현상은 TOC와 T-N을 통해 더욱 뚜렷하게 볼 수 있다. 계단형A 표면유출의 TOC와 T-N을 보면 각각 6.847 ± 0.689 , $0.567 \pm 0.368 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 로 하부유출의 오염부하 제거량인 8.003 ± 0.229 , $0.954 \pm 0.054 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 보다 낮게 나타났다. 그러나 표면유출, 하부유출 모두 앞선 실험으로 도출한 농도 값에 TOC는 1 mg/L , T-N은 0.1 mg/L 만큼 더 제거되었다고 가정한다면, 표면유출 TOC 오염부하 제거량은 $11.110 \pm 0.689 \text{ g/m}^2/\text{day}$, T-N의 오염부하 제거량은 $0.993 \pm 0.368 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 인데 반해, 하부유출에서의 TOC 오염부하 제거량은 $8.003 \pm 0.229 \text{ g/m}^2/\text{day}$, T-N 오염부하 제거량은 $0.970 \pm 0.055 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 로 나타났다. 이 결과로 계단형A 하부유출에

서 오염제거율이 100%인 이유로 계단형B의 오염부하 제거량은 그대로인데 반해 표면유출에서는 계단형A에 비해 계단형B에서 TOC 오염부하 제거량이 $4.263 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 만큼 더 늘어났다는 것을 볼 수 있다. 따라서 오염부하 제거량이 계단형A에서는 하부유출에서 표면유출보다 높는데 반해 계단형B에서는 표면유출수에서 하부유출에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있다.

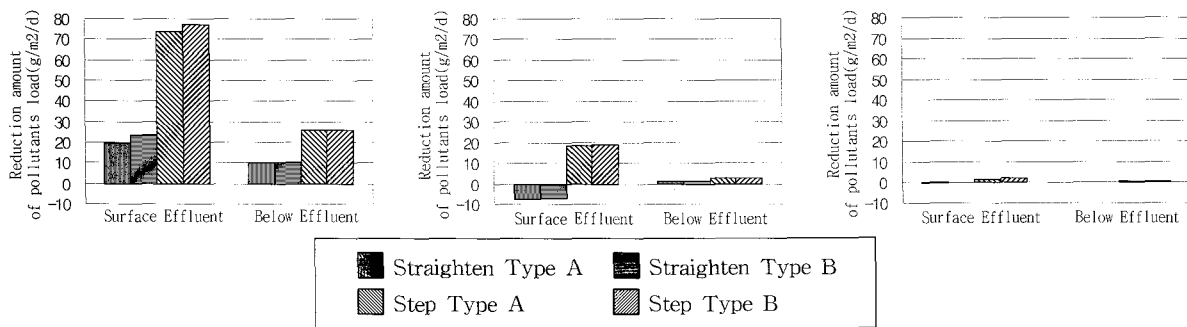
또한 T-N 오염부하 제거량도 마찬가지로 하부유출 오염부하 제거량에서 계단형B($0.970 \pm 0.055 \text{ g/m}^2/\text{day}$)는 계단형A ($0.954 \pm 0.054 \text{ g/m}^2/\text{day}$)보다 $0.016 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 만큼 더 늘어난 반면, 표면유출에서 계단형B($0.993 \pm 0.368 \text{ g/m}^2/\text{day}$)는 계단형A($0.567 \pm 0.368 \text{ g/m}^2/\text{day}$)보다 $0.426 \text{ g/m}^2/\text{day}$ 만큼 더 늘어나 하부유출에 비해 표면유출에서 정류벽의 높은 역할 가능성을 보여주고 있다.

앞선 결과는 표면유출과 하부유출 모두 같은 농도 값이 더 저감된다 하더라도 표면유출에서 제거효과가 더욱 높게 나타난다는 것을 보여주는 것으로, 이 결과를 통해 표면유출의 오염제거에 중점을 두어 비점오염의 제거공정을 실시하여야 한다는 것을 알 수 있다.

고농도 역시 저농도와 마찬가지로 계단형 표면유출의 오염부하 제거량이 하부유출의 오염부하 제거량 보다 더욱 많고 그 경향성이 저농도보다 더욱 뚜렷하다.



(a) TOC (b) T-N (c) T-P
Fig. 8. Reduction effect of pollutants loads with soil layer (low concentration)



(a) TOC (b) T-N (c) T-P
Fig. 9. Reduction effect of pollutants loads with soil layer (high concentration)

4. 결 론

식생여과대의 최대 저감효과를 도출하기 위해 토양 표면층을 계단형으로 설정하여 실내실험을 해 본 결과, 표면유출수의 오염저감효과가 개선되었다. 이는 정류벽 앞에서 하부로 침투되었던 물이 표면으로 유출되면서 오염물질의 저감이 일어났기 때문으로 판단된다. 반면, 단면 및 하부유출수의 오염물질 농도는 증가한 것으로 나타났는데, 이는 토양내의 입경이 작은 silt나 clay보다 입경이 큰 모래나 자갈을 경유하면서 오염물의 저감효과가 감소하였기 때문으로 판단된다. 그러나 직선형에서의 하부유출량은 총 유출량이 $2.08 \pm 0.95\%$ 인데 반해 계단형의 하부유출량은 $3.96 \pm 0.10\%$ 로 직선형보다 약 2배 늘어난 것으로 나타났다. 따라서 하부유출에서 오염저감효율은 계단형이 직선형보다 다소 낮게 나왔으나, 오염부하 제거량으로 보면 계단형에서 더욱 많은 양이 제거되고 있음을 알 수 있었다. 또한 약 85% 이상의 오염물질이 표면유출을 통해 하천에 유입되고 있고, 농도에 따른 저감효과는 TOC, T-N, T-P 모두 농도에 상관없이 비슷한 경향을 보이고 있으며, 고농도에서 그 경향이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. 따라서 정류벽과 표면층 변화를 이용한 식생여과대는 일반 식생여과대보다 저감효과가 크고 식생여과대 적용에 필요한 여러 조건을 만족하지 않더라도 충분한 저감효과를 기대할 수 있으리라 판단된다.

그러나 표면층 변화는 시간의 흐름에 따라 공극이 막힐 우려가 있고 다시 복구하기 위해서는 많은 인력과 공사비가 필요하다. 또한 하부유출량 증가율이 공사에

비해 적은 것으로 볼 때 정류벽을 통하여 표면유출수의 농도를 낮추는 것이 더욱 경제적이라고 판단된다. 따라서 정류벽의 역할뿐만 아니라 시설 관리가 용이하고 여과의 효과를 접목시켜 저감효율을 높일 수 있는 친환경적인 정류벽의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술 개발사업의 10대 중장기 프로젝트 중 상수원 수질 안정성 확보를 위한 수질관리기술 개발프로젝트의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김병익, 전경수 (2002). "유역 비점오염원 수질모델링: 경안천 유역을 중심으로." 방재연구, 제4권, 제12호 통권 14호, 국립방재연구소, pp. 105-111.
- 이시진 (2001). "포플린나무에 의한 비점오염원 처리를 위한 기초 연구." 한국폐기물학회지, 제18권, 제2호, 한국폐기물학회, pp. 203-210.
- 이현동, 배철호 (2002). "비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안." 한국물환경학회지, 제18권, 제6호, 한국건설기술연구원 수자원환경연구부, pp. 569-576.
- 환경부 관계부처합동 (2004). 비점오염원관리 종합대책 (안), 환경부, pp. 5-10.

(논문번호:06-110/접수:2006.11.23/심사완료:2007.01.19)