

식생대에 따른 비점오염원 관리 및 처리 연구

Study on the non-point source control and treatment by vegetation zone

최이송*, 김성원**, 김석구***, 오종민****

I Song Choi, Sung Won Kim, Soeg Ku Kim, Jong Min Oh

요 지

본 연구는 비점오염원에 의한 수질오염현상을 억제하기 위한 수변지역의 관리기법 중 하나인 식생여과대를 효과적으로 설치하기 위하여 식생에 의한 오염물질의 저감능력을 파악하고 효율적 설치방안을 모색하기 위하여 수행되었다. 연구결과 T-N과 T-P의 깊이별 오염물질 저감효과는 나대지에서 표면유출이 각각 17.6%, -23.9%, 단면유출이 각각 51.7%, 91.0%, 하부유출이 각각 38.4%, 89.3%인 것으로 나타나 표면층을 통한 유출보다는 토양층에 침투될수록 오염물질의 저감효과가 높아지는 것으로 나타났다. 잔디로 표면층을 식재한 실험에서는 표면, 단면, 하부유출에서의 T-N이 각각 16.0%, 57.1%, 38.4%의 오염물질 저감효과를 보였고, T-P의 저감효과는 각각 -9.7%, 83.6%, 88.8%인 것으로 조사되었다. 또한 돌미나리로 표면층을 식재한 실험에서는 표면, 단면, 하부유출에서의 T-N 처리효율이 각각 -2.6%, 62.1%, 71.2%로 나타났으며, T-P는 각각 -7.2%, 94.5%, 84.5%인 것으로 조사되었다. 결론적으로 식생을 한 경우 전체적으로 오염물질의 저감효율이 비교적 안정되게 유지되는 것으로 나타났으나, T-P의 표면층을 제외하면 전체적인 저감효과에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 그러나 일반적으로 알려져 있는 식생에 따른 오염물 저감효과에 대한 순기능 즉 토양입자의 침식방지, 토양용액의 저류작용 및 공극확대에 따른 침투능력 증대, 토성의 개량 등과 같은 기능을 무시할 수 없으므로 오염저감효과를 극대화하기 위해서는 처리대상이 되는 하천유역의 자생적 식생을 보다 효과적으로 활용할 수 있는 방안마련이 비용적 측면이나 생태 보존적 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

핵심용어: 비점오염원, 식생대, 오염저감효과

1. 서론

비점오염은 일정한 오염원 없이 광범위한 지역에 쌓여 있는 오염물질이 강우 등에 의해 산발적으로 유출되는 비정형적 오염을 말한다. 대표적으로 도시지역의 도로, 대지, 지붕 등에 쌓인 오염물질과 농경지 및 골프장에 시비한 비료, 농약, 토사, 축산분뇨 성분 등이 강우와 함께 수계로 유출되는 오염형태이다. 정부합동 조사 자료에 의하면, 팔당수계에서 발생하는 BOD 부하량 중 비점오염발생량이 전체의 12%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다(정부합동, 1998). 이러한 비중은 비점오염의 특성상 해빙기나 강우시에 집중적으로 발생되기 때문에 수계에 미치는 영향은 훨씬 높다고 할 수 있으며, 따라서 비점오염 관리의 중요성도 여기에 있다고 하겠다.

그간 정부에서는 4대강에 대한 물관리종합대책을 마련하여 체계적으로 관리하려는 노력을 진

* 경희대 환경연구센터 선임연구원
** 경희대 환경응용과학과 석사과정
*** 한국건설기술연구원 수석연구원
**** 경희대 환경응용화학부 교수

행하여 왔고, 그에 대한 성과로 상당한 수질의 향상을 가져왔다(환경부, 1995). 그러나 수질오염원의 분류상 비점오염원으로 구분되고 있는 강우 시 유출수에 대한 개선노력은 필요 시 산발적으로 수행되어 왔고 체계적이고 종합적인 관리대책 마련이 소홀한 관계로 수질에 미치는 기여도가 상대적으로 증가하고 있어 이들의 개선방안 및 관리방안이 마련되지 않으면 더 이상의 수질개선에 한계가 있을 것으로 예상되고 있다.

비점오염물질의 유출은 강우나 해빙에 의해 일시에 다량으로 발생되어 수계로 빠른 시간 내에 도달하게 되므로 인근 수계환경의 수질에 악영향을 미치게 되며, 이러한 오염물질을 효율적으로 처리하기 위해서는 발생원 가까이에서 수계에 도달하기 전에 저감하거나 유출과정에서 집수 처리하는 것이 가장 바람직하다. 따라서 비점오염원의 저감대책을 수립하기 위해서는 발생원의 특성 및 유역의 특성 등을 종합적으로 검토할 필요가 있다. 특히 하천의 수변지역이 확보된 지역에서는 하천의 생태계를 유지하면서 비점오염원에 의한 수질악화를 방지할 수 있는 생태공학기술의 개발도 필요하다. 이러한 생태공학기술 처리방법으로는 식생여과대가 유력한 방법으로 판단되며, 이에 대한 적용기술의 개발을 위해서는 필요한 인자들(식생종, 식생대의 크기, 저감작용의 메커니즘, 적정 부하량, 유출특성 등)에 대한 연구가 현장에서 확보될 필요가 있다.

본 연구는 비점오염원에 의한 수질오염현상을 억제하기 위한 수변지역의 관리기법 중 하나인 식생여과대를 효과적으로 설치하기 위하여 실내실험을 통하여 식생에 의한 오염물질의 저감능력을 파악하고 효율적 설치방안을 모색하기 위하여 수행되었다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

다음의 그림 1은 실내실험장치를 나타내고 있다. 실내실험장치는 아크릴(두께: 10 mm)로 제작되었으며, 제원은 1,000 mm (L) × 150 mm (W) × 300 mm (H)였다. 유입은 미량유량펌프(Masterflex, Model 7529-00)를 이용하여 500 mL/min의 속도로 유입하였다. 유출수는 표면유출과 표면하유출을 나타내는 단면유출, 지하유출에 대하여 각각의 수질정화능력을 평가해 볼 수 있도록 채취하였다.

2.2 실험방법 및 분석방법

토양층위의 식생종에 따라 유출수 중 오염물의 저감효과는 각각 달라질 수 있다. 이는 식생에 의한 뿌리부에서의 오염물의 흡수, 식생에 의한 토양표층의 입자성 물질의 침식방지 능력, 표면유출수의 유속저감효과 등의 차이로 인하여 발생하게 된다. 본 실험에서는 식생에 따른 유출수 중 오염물의 저감능력을 평가하고자 대조지로서 식생을 하지 않은 경우(나대지)와 초본류인 잔디가 표면을 덮고 있는 경우, 그리고 현장실험에 적용 예정으로 있는 돌미나리를 대상으로 반응조의 토양표면에 식재하여 실험을 실시하였다.

실험조건은 유량을 분당 500 mL로 조절하였고, 실험시간은 4시간, 시료채취는 30분 간격으로 실시하였다. 이러한 실험조건은 강우유출량을 한번 강우에 대해 50 ton으로 상정하여 산정된 값이다. 유입수는 일반 시약을 이용하여 강우의 특성에 맞게 조제하였으며, 각 측정대상 항목의 농도는 TOC의 경우 50 mg/L, T-N은 10 mg/L, T-P는 1 mg/L로 조제하였다.

실험항목은 기본 항목으로 수온, pH, EC를 측정하였고, 유기물은 TOC를 대상으로 측정하였으며, 영양물질인 N, P 계열의 농도저감 및 이동특성을 파악하기 위하여 T-N, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P에 대한 유입 및 유출수의 농도를 분석하였다. 이들 항목에 대한 분석방법은 표 1에 자세히 나타내었다.

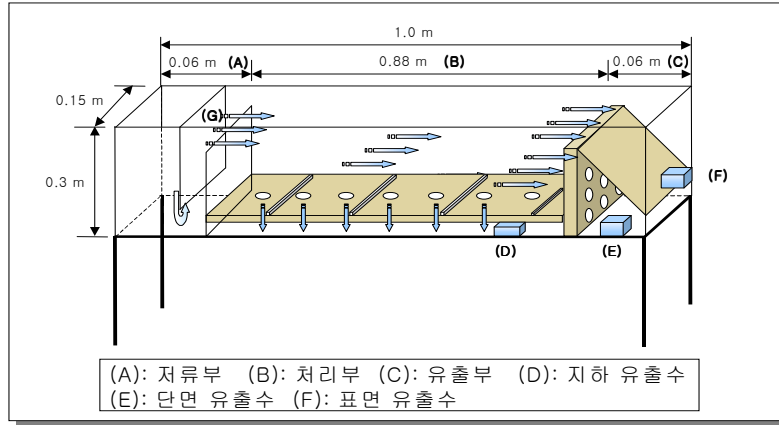


그림 1. 실험장치 개요도

표 1. 수질분석 항목 및 방법

항목	분석 방법
수온	pH meter (ORION, 520A)
pH	pH meter (ORION, 520A)
EC	EC meter (ISTEC, 430C)
TOC	TOC meter (Shimadzu, TOC 5000A)
T-N	자외선 흡광광도법 (220nm) (UV 1601PC, Shimadzu, Japan)
NH ₃ -N	흡광광도법 (인도페놀법 - 630nm) (UV 1601PC, Shimadzu, Japan)
NO ₃ -N	흡광광도법 (부르신법 - 410nm)
NO ₂ -N	흡광광도법 (디아조화법-540nm)
T-P	흡광광도법 (아스코르빈산 환원법 - 880nm)
PO ₄ -P	흡광광도법 (아스코르빈산 환원법 - 880nm)

3. 결과 및 고찰

다음의 표 2는 일반 측정항목인 수온 pH, EC의 측정값에 대한 범위 및 평균값을 나타낸 것이다. 유입수 수온은 16.4~19.8℃의 범위에 평균 약 18.1℃인 것으로 조사되었고, 유출수는 표면, 단면, 하부유출이 16.1~20.5℃의 범위에, 전체 평균 수온이 평균 18.0℃인 것으로 나타났다. pH는 유입수 평균이 6.70, 표면이 7.07, 단면이 7.31, 하부가 7.66으로 나타나 토양을 통과하면서 점차 증가한 것으로 나타났다. 또한 EC에 있어서는 유입이 평균 727 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 표면이 718 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 단면이 812 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 하부는 1,067 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 인 것으로 조사되었다.

식생종에 따른 오염물질의 저감효과와 유입수 및 유출수의 농도변화를 다음의 표 3 및 그림 2, 3, 4에 나타내었다. 유출수의 각 측정항목의 저감효율에 대한 결과에서, TOC는 나대지에서 표면 유출의 경우 9.1% 감소되는 것으로 나타난 반면, 잔디와 돌미나리에서 각각 -0.6, -1.5%인 것으로

나타나 식생을 한 경우 오히려 유출수 중 농도가 증가한 것으로 나타났다. 단면유출에 있어서도 나대지가 잔디와 돌미나리에 비하여 저감효과가 큰 것으로 나타났으나, 하부유출에 있어서는 식생을 한 경우 거의 100% 가까이 저감되는 것으로 나타났다. 또한 T-N에 있어서도 표면이 단면 및 하부유출에 비하여 나대지에서 높은 저감효과를 보였으나, 단면 및 하부유출에 있어서는 반대로 식생을 한 경우 더 크게 저감되는 것으로 나타났다. 그러나 T-P에 있어서는 표면유출에서 나대지에 비하여 잔디 및 돌미나리가 더 크게 저감되는 것으로 나타났다.

그림 2에 나타난 식생에 따른 시간대별 유출수의 TOC 농도변화는 나대지의 경우 표면유출수의 농도변화가 크게 나타난 반면, 식생을 한 경우 유출수의 농도가 안정적인 것을 볼 수 있다. 또한 단면 및 하부유출에서는 나대지의 경우 초기에 큰 폭의 오염물질 저감효과를 보이나 이후 시간이 경과함에 따라 유출농도가 크게 증가하는 반면, 식생을 한 경우 나대지 보다 초기 저감효과는 낮으나 시간이 경과한 후 유출농도의 증가는 나대지보다 적은 것을 볼 수 있다. 따라서 평균적인 처리효율에서는 나대지가 일부 좋은 것으로 나타났지만, 안정적인 저감효과 측면에서는 식생을 한 경우가 유리한 것으로 판단된다. 특히 단면유출의 경우, TOC는 모두 유출 초기에 농도가 크게 감소하였고, 일정 시간경과 후 유출농도가 다시 크게 증가하는 특징을 보인다.

표 2. 식생종에 따른 실험에 있어서 수온 pH, EC 측정결과

구분	수온(°C)		pH		EC	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
유입	16.4 ~ 19.8	18.1	6.52 ~ 6.99	6.70	683 ~ 778	727
표면유출	16.2 ~ 19.8	17.9	6.80 ~ 7.46	7.07	668 ~ 774	718
단면유출	16.1 ~ 20.5	18.2	7.07 ~ 7.93	7.31	652 ~ 1,193	812
하부유출	16.1 ~ 20.2	18.2	7.39 ~ 8.01	7.66	725 ~ 1,451	1,067

표 3. 식생에 따른 유출수별 저감효율

구분	TOC (%)	T-N (%)	NO ₃ -N (%)	NH ₄ -N (%)	T-P (%)	PO ₄ -P (%)	
나대지	표면유출	9.1	17.6	4.9	41.3	-23.9	25.4
	단면유출	71.1	51.7	40.2	95.0	91.0	92.9
	하부유출	90.4	38.4	38.3	78.5	89.3	97.0
잔디	표면유출	-0.6	16.0	-0.4	57.0	-9.7	23.1
	단면유출	48.8	57.1	39.1	97.3	83.6	75.6
	하부유출	100.0	43.8	56.4	84.0	88.8	73.6
돌미나리	표면유출	-1.5	-2.6	14.4	21.3	-11.0	-7.2
	단면유출	61.6	62.1	42.4	95.8	91.9	94.5
	하부유출	100.0	71.2	64.1	85.5	88.0	84.5

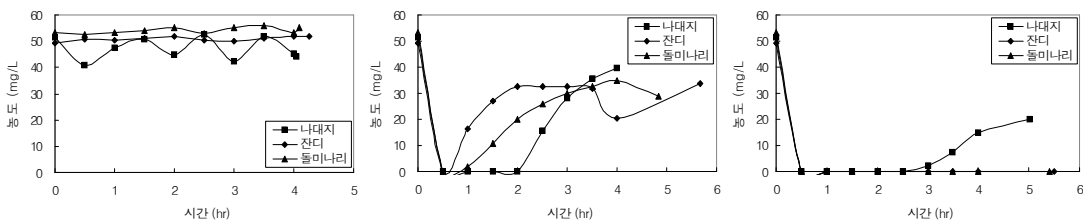


그림 2. 식생종에 따른 TOC의 유출농도변화 (왼쪽부터 표면, 단면, 하부유출)

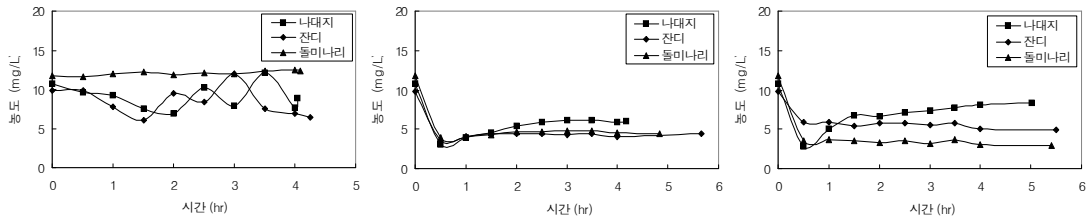


그림 3. 식생종에 따른 T-N의 유출농도변화 (왼쪽부터 표면, 단면, 하부유출)

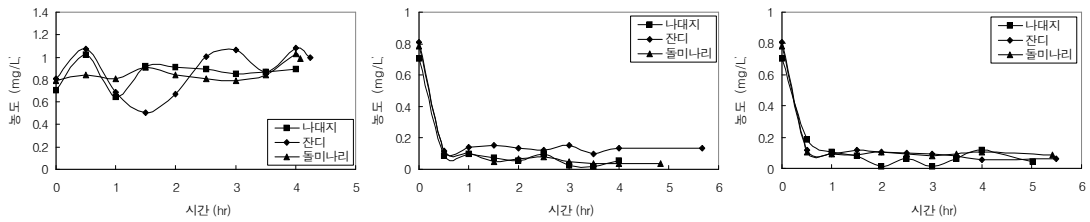


그림 4. 식생종에 따른 T-P의 유출농도변화 (왼쪽부터 표면, 단면, 하부유출)

4. 결론

결론적으로 식생이 된 경우 측정항목의 저감효율이 안정되게 유지되는 것은 볼 수 있었으나, 오염물의 저감효과가 크다고 판단할 정도로 유의적 차이는 보이지 않았다. 또한 표면 및 단면이나 하부유출의 저감효과를 비교해 보면 토양층에 침투되어 지속적으로 유출되는 단면이나 하부유출에서 오염물질의 저감효과가 큰 것으로 나타나 오염물질의 주된 저감작용은 토양의 다양한 자정 작용일 것으로 판단된다. 그러나 일반적으로 알려져 있는 식생에 따른 오염물 저감효과에 대한 순기능, 즉 토양입자의 침식방지, 토양용액의 저류작용 및 공극확대에 따른 침투능력 증대, 토성의 개량 등과 같은 기능을 무시할 수 없고, 오염저감효과를 극대화하기 위해서는 처리대상이 되는 하천유역의 자생적 식생을 보다 효과적으로 활용할 수 있는 방안마련이 비용적 측면이나 생태 보존적 측면에서 보다 유리할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업의 “상수원 수질안전성 확보를 위한 수질관리기술개발” 사업으로부터 연구비를 지원받아 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 정부합동 (1998) 팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리 특별 종합대책 보고서
2. 환경부 (1995). 비점오염원 조산연구사업 보고서