

Eco-Concrete를 이용한 SRT System의 사면수처리부와 평면수처리부의 정화효율분석

Purification Efficiency of Slop & Plane Water Treatment Part of SRT System Using Eco-Concrete

장원근*, 박재영**, 최이송***, 장준영****, 오종민*****

Won Geun Jang, Jae Young Park, I Song Choi, Jun Young Chang, Jong Min Oh

요 지

본 연구는 강우시 발생하는 강우유출수와 합류식하수관거월류수에 의해 하천으로 유입되는 오염부하를 저감시키기 위한 공법으로, 고수부지 및 제방사면부와 둔치부를 형상화하여 pilot를 제작하였고, 연속적으로 시운전을 한 SRTS(Stormwater Runoff Treatment System)에 관한 것이다.

SRT system 내부의 사면수처리부와 평면수처리부에는 다공성 콘크리트를 충전하였다. system 상부에는 식생을 조성하여 뿌리가 수면에 닿아 영양물질을 흡수하는 목적으로 사면수처리부와 평면수처리부에 각각 정육각형과 직사각형인 식생포트를 탈부착이 가능하도록 고안하였다. 내부에서는 토양과 수처리조 사이에 연결관을 부착하였고, 모세관현상에 의해 토양이 수분을 흡수하도록 구성하였다. pilot plant는 유입부, 사면수처리부, 평면수처리부, 유출부로 나누었다. 유입부는 유입펌프와 V-notch로 구성하였고, 유입펌프는 2대를 설치하여 1시간 간격으로 연속적 유입으로 유량조절이 가능하도록 상호교대 운전을 하였다. 평면수처리부(W(1.0 m)×L(2.4 m)×H(0.6 m))는 장방형의 접촉산화조로서 하부에 슬러지 침전 및 저류를 위한 hopper를 설치하여 슬러지의 원활한 수집 및 인발이 가능하도록 하였다. 유출부는 사각weir를 설치하였다.

강우유출수의 pH는 7.27~7.92이고, DO농도는 7.12~7.88 mg/l로 관측되었다. 2차처리수의 pH는 평균 7.4이고 DO농도는 최저 4.5 mg/l에서 최고 8.9 mg/l로 평균 6.8 mg/l로 관측되었다. 또한 강우유출수의 유입수의 T-N, T-P 농도는 각각 17.5~22.5 mg/l, 8.9~11.4 mg/l의 범위이고, 2차 처리수의 유입수의 T-N, T-P 농도와 유사하였다.

핵심용어: 강우유출수, 2차처리수, 사면수처리부, 평면수처리부, 식생

1. 서 론

강우시 발생하는 강우유출수(비점오염물질)와 합류식하수관거월류수(CSOs) 등에는 노면퇴적물 뿐만 아니라 하수, 사업장 배수, 토양침식물 등 다양한 오염원에서 발생된 유기물, 영양물질, 박테리아, 고형물, 기타 독성물질 등에 의해 방류수역(하천과 호소 등)에 미치는 영향은 매우 심각한 것으로 알려져 있다.

종래의 강우유출수 오염 저감기술은 장치형 설비이거나 단순 저류형 시설로서 처리비용에 비해 처리효율이 떨어지고, 정기적인 시스템 교체를 필요로 하여 이로 인한 추가적인 비용이 소요됨으로 투입비용에 대한 처리의 안정성과 효율성에 한계를 갖고 있는 기술이 대부분이다. 또한, 기존의 강우유출수 저감시설은 대형 건축물, 도로, 주차장 등의 매우 한정된 장소에서 시범적으로 운영되어 모니터링이 진행되고 있는 상태로서 아직까지 그 효용성이 미미한 실정이다.

* 비회원 · 경희대학교 환경응용과학과 석사과정 · E-mail : mainuto@hotmail.com
** 정회원 · 환경관리공단
*** 정회원·경희대학교 환경연구센터 선임연구원
**** 정회원·EPS Solution 이사
***** 정회원·경희대학교 환경응용화학부 교수

또한, 오염된 하천수를 정화할 목적으로 자갈접촉산화법 또는 끈상접촉산화공법 등은 다양한 오염원에 대하여 이용될 수 없는 제한성을 지니며, 상부복토 후 대부분 잔디 등의 단일 식생으로 단순생태계를 조성하여 하천생태계와 조화를 이루지 못하고, 심지어 육상생태계와의 단절을 초래하고 있다. 단일생태계로 조성된 지역은 홍수시 과도한 침식 발생 및 토양 침식물에 의한 퇴적, 세굴 등으로 구간별 보수를 필요로 하며, 인근 주민들에게 산책로 등의 친수공간으로서 이용이 제한될 수밖에 없는 문제점을 내포하고 있다. 더불어 자갈 및 쇄석 등을 사용하여 낮은 공극율에 의해 오염물질을 여과, 흡착하는 과정에서 쉽게 공극이 막히는 현상이 발생하여 반응조 내부에 편류가 발생하고, 슬러지 내에서 질소 및 인의 용출 현상으로 수질의 악화와 용존산소 저하에 따른 미생물의 생육 및 증식을 저해하여 정화 효과를 감소시켰다.

본 SRTS(Stormwater Runoff Treatment System)는 강우시에는 강우유출수(비점오염물질)와 비강우시에는 합류식하수관거월류수, 오염하천수, 농업배수, 가정하수 등 하천으로 미처리되어 유입되는 다양한 오염수를 처리대상으로 한다. 또한, 본 수처리시설은 고수부지를 포함하여 제방사면을 이용하여 강우유출수와 여타 오염물질을 처리할 수 있는 수처리 면적을 현저히 증가시켰으며, 홍수소통 및 주민의 민원 발생을 원천적으로 차단하도록 지하에 설치하고, 상부에는 향토 자연식생을 도입하여 연속성 있는 하천생태계를 유지할 수 있도록 하였다. 그리고 여재 사용에 따른 막힘 현상의 기간을 연장하기 위하여 강도가 높은 다공성콘크리트 여재를 통해 65% 이상의 공극율을 유지할 수 있으며, 슬러지 침전을 위한 호퍼와 과도한 슬러지 부착시 배출을 위한 역세장치로 구성하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 SRTS(Stormwater Runoff Treatment System)의 설계

본 Pilot Plant는 유입부, 사면수처리부, 평면수처리부, 유출부로 구성되며, 수처리조 내부에 다공성여재와 수처리조 상부에 식생을 조성하여 연속적으로 운영하였다. 또한, 수처리시설물의 자연 친화성 확보 및 식생에 의한 수질개선 효과를 위해 수처리부 상부에 식생을 조성하였으며, 식생 뿌리에 의한 영양물질의 섭취가 가능하도록 운영하였다. 식생은 부착 및 탈착이 용이하도록 식생포트(사면수처리부-육각형, 평면수처리부-사각형)를 설계하였으며, 최하부에는 야자매트를 채우고, 그 위에 토양을 복토한 후 식재하였다. 유입부는 유입 펌프와 V-notch로 구성하였으며, 유입펌프는 2대를 설치하여 1시간 간격으로 상호교대 운전이 되도록 하여 연속적인 유입과 유량조절이 가능하도록 설치하였다. 사면수처리부(W(1.0 m)×L(1.5 m)×H(0.3 m))는 하천의 제방사면부를 형상화 한 것으로 2:1의 구배를 가지며, 15개의 육각형모듈을 5개씩 3계열로 배치하여 여재의 처리효율 및 현장 적용성 검토를 실시할 수 있도록 배열하였다. 평면수처리부(W(1.0 m)×L(2.4 m)×H(0.6 m))는 장방형의 접촉산화조로서 하부에 슬러지 침전 및 저류를 위한 hopper를 설치하여 슬러지의 원활한 수집 및 인발이 가능하도록 설계하였다. 또한, 사면수처리부와 평면수처리부에는 역세를 위한 배관을 설치하여 여재에 부착된 슬러지의 양 조절이 가능하도록 하였다. 유출부는 수위조절이 가능하도록 사각weir를 설치하였다. 그림 1.은 사면수처리부의 사면접촉조를 보여주고, 그림 2.는 평면수처리부의 접촉산화조를 보여준다.



그림1. 사면수처리부의 전경



그림2. 평면수처리부의 전경

2.2 실험방법

본 SRT System이 설치된 곳은 경희대학교 하수처리장이며, 하수처리장에서는 RBC(rotating biological contactor, 회전원판법)와 담체를 이용하여 경희대학교 내에서 발생하는 하수 및 오수를 처리하고 있다. 유량은 V-notch에서 on/off 밸브를 이용하여 1차 조절하였으며, 유입부로 유입된 후 weir에 수문을 부착하여 개폐 높이에 따라 원하는 유량을 조절하였다. 따라서 유량은 $11.13 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 유입되며, 사면수처리부 중 M-1(물보다 비중이 큰 플라스틱 재질로 만든 여재 공극률 : 85~ 90%)의 체류시간은 12.4min, M-2(세라믹으로 만든 육면체 여재 공극률 : 50~ 55%)는 6.9min, M-3(본 연구를 위해 직접 개발한 여재로서 자갈(20~ 25mm)과 시멘트를 혼합하여 만든 구형의 다공성콘크리트 공극률 : 68~ 75%)은 9.11min으로 평균 9.4min으로 운영하였으며, 평면수처리부를 포함한 전체 체류시간은 평균 90min으로 운영하였다. 유입부 V-notch에서 유입수와 사면수처리부 유출구 그리고 평면수처리부 방류구에서 시료를 채수하였다. 현장에서는 수온, pH, EC, DO를 측정하였으며, 실험실로 신속히 이동하여 BOD, SS, COD_{Mn} , T-N, T-P를 수질공정시험법에 준하여 각각 분석하였다. 콘크리트 여재의 경우, 석회 용출에 의한 미생물에 대한 영향을 검토하고자 지하수를 이용하여 용출특성을 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1 강우유출수를 대상으로 체류시간에 따른 오염물질 처리효과

3.1.1 강우유출수 제조 및 실험방법

처리대상물질인 강우 유출수의 제조는 하수처리장 내 2차 처리하수에 도로노면퇴적물과 산지토양을 혼합하였으며, 도로노면퇴적물과 산지토양의 양을 각각 조절하여 3개의 서로 다른 SS농도, 즉 45.1 mg/l, 92.1 mg/l, 231 mg/l을 저장탱크(용량 : 2m^3)에서 수중펌프를 이용하여 SRT System로 유입하였다. SRT System에서 강우유출수를 처리하는 시간은 본 연구진이 참여하였던 [2001년도 한강수계 환경기초조사사업](한강유역관리청, 2002) 보고서를 참고하여 결정하였다. 보고서에 따르면 각 유역의 토지이용형태에 따라 오염물질의 발생형태 및 농도 등이 다양하고, 고농도 초기강우유출수 발생시간은 서로 차이가 있었으나 대체로 SS농도 등이 다양하고, 고농도 초기강우유출수 발생시간은 서로 차이가 있었으나 대체로 SS농도가 평수기 수질보다

현저하게 높은 초기강우유출수 발생시간은 강우가 내린 후 최대 5~ 8hr 동안 지속되는 것으로 판단되었다. 이에 따라 인공적으로 제조한 강우유출수를 SRT System에 도입하여 1.00~ 1.58hr 동안 사면수처리부와 평면수처리부의 다공성콘크리트 여재에 접촉시켜 연속적으로 7~ 10hr 동안 오염물질 저감효과를 조사 분석하였다.

3.1.2 강우유출수의 유량 및 성상

평균 유입유량은 1, 2, 3차 실험에서 각각 0.430, 0.486, 0.674 m³/hr이었으며, 유입수 pH는 7.27~ 7.92로 약알칼리성의 범위를 나타내었고, DO농도는 7.12~ 7.88 mg/l로 관측되었다. 강우유출수의 BOD농도는 1차에서 23.6 mg/l, 2차에서 15.5 mg/l, 3차에서는 37.9 mg/l이었으며, COD_{Cr}농도는 각각 82.8 mg/l, 77.3 mg/l, 91.8 mg/l로 관측되었다. 또한, 강우유출수의 SS농도는 1차~ 3차에서 각각 45.2 mg/l, 92.1 mg/l, 231 mg/l이며, 유입수의 T-N, T-P농도는 각각 17.5~22.5 mg/l, 8.9~11.4 mg/l의 범위로 관측되었다.

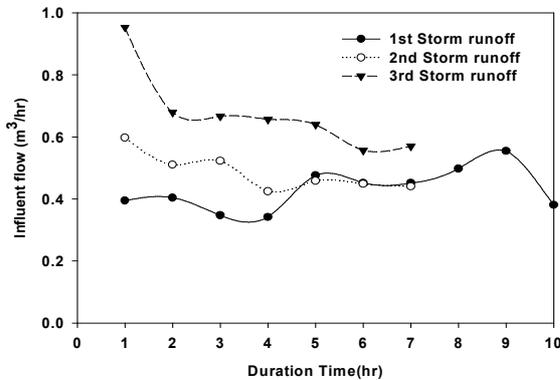


그림3. 강우유출수의 유입유량 변화

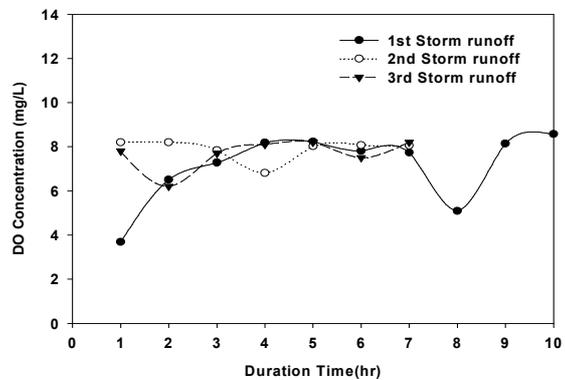


그림4. 강우유출수의 DO농도 변화

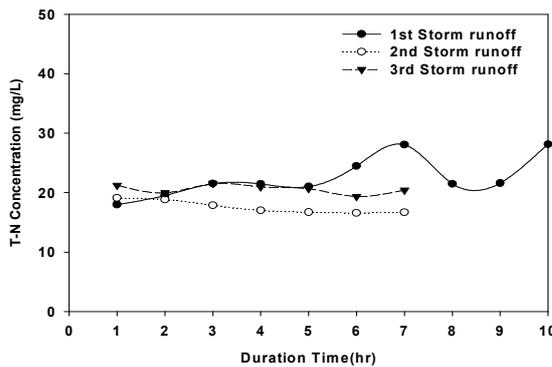


그림5. 강우유출수의 T-N농도 변화

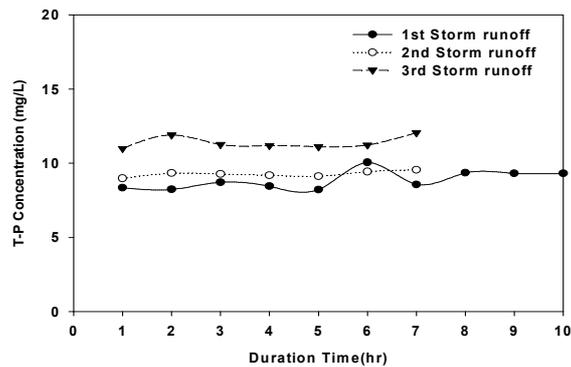


그림6. 강우유출수의 T-P농도 변화

3.2 2차처리하수를 대상으로 체류시간에 따른 오염물질 처리효과

3.2.1 2차처리하수 실험방법

오염수에 대한 SRT System을 장기간 연속적으로 가동시키기 위해 하수처리장에서 담체공법으로 2차 처리된 처리수를 침전지에서 본 처리시설로 유입하였다. 펌프 2대를 교대로 운전하여 연속적으로 2차 처리하

수를 유입하였으며, SRT System의 운전조건은 HRT(hydraulic retention time, 수리학적체류시간)를 기준으로 0.57 hr, 0.98 hr, 1.72 hr으로 SRT System에 2차 처리하수를 도입하여 처리시간에 따른 오염물질 저감효과를 분석하였다. 2005년 1~3월 사이에는 유입유량을 18.9 m³/day(HRT : 0.98hr), 4월 1일~ 5월 23일에는 10.8 m³/day(HRT : 1.72), 5월24일 ~ 6월 24일에는 32.1 m³/day (HRT : 0.57 hr)로 운전하였다.

3.2.2 2차처리하수의 유량 및 성상

유입수의 유량은 8.2 m³/day~ 36.8 m³/day의 범위로 평균 18.9 m³/day이며, 수온 pH, EC는 각각 평균 15.5°C, 7.4, 797 μs/cm, DO농도는 최저 4.5 mg/l에서 최고 8.9 mg/l로 평균 6.8 mg/l로 관측되었다. 유입수의 DO농도와 경사진 사면수처리부의 자연폭기에 의해 SRT System을 운영하였다. 또한, 유입수의 유기물질 평균농도 BOD, COD_{Mn} 각각 19.0 mg/l, 23.3 mg/l SS농도는 9.9 mg/l~ 40.6 mg/l의 범위로 평균 23.1 mg/l 그리고 T-N, T-P는 각각 22.9 mg/l, 10.7 mg/l로 관측되었다.

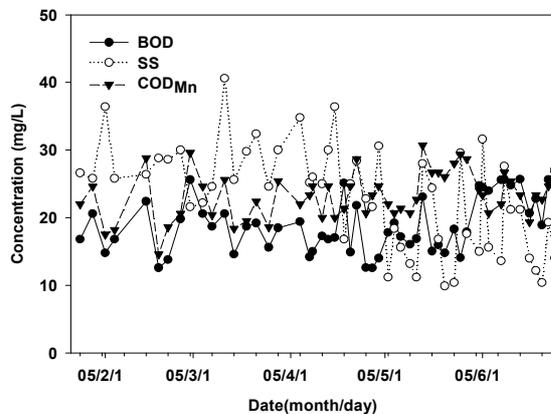


그림7. 2차 처리하수의 BOD, SS, COD_{Mn}농도 변화

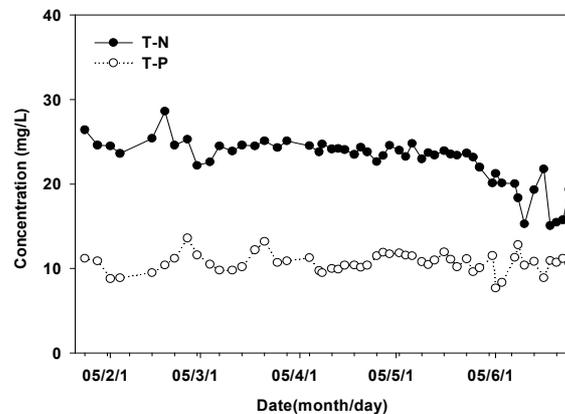


그림8. 2차 처리하수의 T-N, T-P농도 변화

이와 같이 강우유출수와 2차처리하수의 pH와 T-N, T-P의 농도는 매우 유사한 값을 나타내었다. 그에 반해 DO는 2차처리하수에서 조금 낮은 값을 나타내었고, BOD는 강우유출수의 2차에서의 농도 값을 제외하고 강우유출수가 월등히 높았다. COD, SS 역시 강우유출수가 높은 농도 값을 나타내었음을 알 수 있었다.

감 사 의 글

본 연구는 진흥기업(주)의 하천오염부하 저감을 위한 집축성여재를 활용한 수질정화기술 및 공정개발에 대한 연구용역으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 박재영, 오종민, 김영철(2001). 삼교호 유입하천에서 강우시 주요 오염물질의 유출 특성, 한국육수학회지, 제 34권, 제 1호, pp. 62-69.
2. 이혜미(2003). 중소하천의 수질개선을 위한 다공성 하천구조물의 개발 및 적용, 석사학위논문, 경희대학교
3. 환경부(2003). 도시지역 비점오염원 저감시설 개발 및 우선순위 선정, 한국토지공사 토지연구원
4. 海老瀬潛一(1989). 河川汚濁のモデル解析, 國松孝男村岡浩爾 編著, 技報堂出版, pp. 117-124.