

Geosynthetics를 이용한 地中설치형 친환경 Bio-Filter Cell 시스템 시공사례



여 상 식 |

삼성건설 기반기술연구소 기반환경파트
sangsik.yeo@samsung.com



민 수 홍 |

삼성건설 기반기술연구소 기반환경파트
soohong.min@samsung.com

초록

미국 캘리포니아 주 어바인 시에 위치한 피터스 캐년 셋강(Peters Canyon Creek) 수중에 과포함되어 있는 셀레늄(Dissolved Selenium)과 질산성 질소(Nitrate-N)를 제거하려는 목적으로 바이오 필터셀 시스템을 시범 시공하였다. 바이오 필터셀 시스템은 3m(높이) x 65m(길이) x 14m(폭) 크기를 가진 상자형태의 셀을 기준으로 취수 및 전처리 시스템과 후처리 시스템으로 구성되었으며, 셀은 여러 종류의 지오신세틱스와 거친 표면을 가지고 있는 자갈을 이용하여 건설되었다. 특히, 지오신세틱스가 가지고 있는 장점인 유연성(flexibility)과 화학적 안정성으로 인한 무반응성(non reactive material)등은 성공적인 시스템 구축에 큰 영향을 주었다.

서론

지난 25년 동안 미국 남부 캘리포니아 오렌지 카운티에 위치한 샌디에고 셋강(San Diego Creek)의 수질은 과도한 침전물과 영양염류에 의해 많은 영향을 받아왔다. 이에 캘리포니아 주와 미국 환경청(US EPA)은 샌디에고 셋강 하류, 뉴포트 만(Newport bay)으로 흘러 나오는 오염물질의 양을 개개의 오염물질에 대하여 일최대오염부하량(total maximum daily loads, TMDL)으로 규제하도록 하였다. 이러한 규정에 따라 캘리포니아 얼바인 시의 수도국(Irvine Ranch Water District, IRWD)은 지역수질 개선을 위한 계획을 세웠고, 샌디에고 셋강의 지류 중 하나인 피터스 캐년 셋강에 과포함되어 있는 셀레늄과 질산성 질소를 제거하기 위한 “라 씨에네가(La Cienega) 필터링 프로젝트”를 추진하였다.

셀레늄의 일최대오염부하량(TMDL)은 갈수기 유량에 대한 뉴포트만의 해양 생태계를 위해 “캘리포니아 유독화학물질에 대한 규칙” (California Toxics Rule, CTR)을 기준으로 5ppb로 정해졌다. 현재 피터스 캐년 강의 갈수기 유량에 대한 셀레늄의 일반적인 농도범위는 약 30 ~ 50ppb 정도지만, 인근지역의 지하수에서의 농도는 더 높게 측정될 수 있었다. 이 셀레늄의 농도는 인체에 해로운 수준은 아니지만 생물학적으로 축적될 가능성이 있는

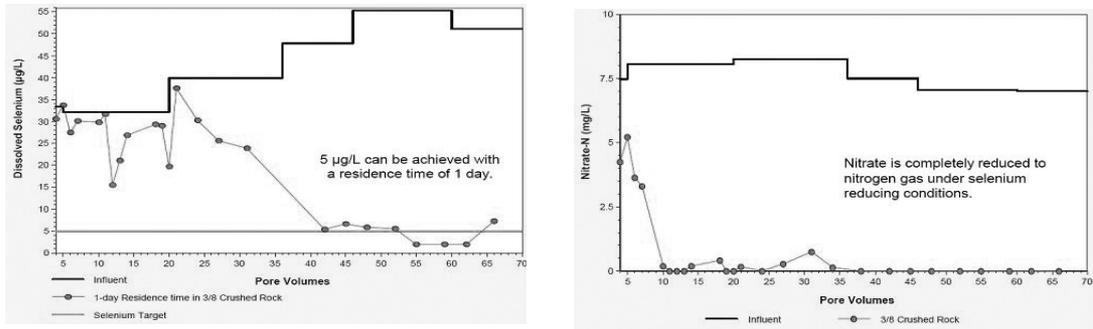


그림 1. 컬럼실험 중 셀레늄과 질산성 질소의 농도 변화

수준으로 이러한 환경을 개선하기 위하여 바이오 필터셀 시스템이 건설되었다. 다음 그림 1은 바이오 필터셀 시스템을 건설 하기 전 산화환원반응을 이용한 실험실 규모의 컬럼 테스트 결과를 보여준다. 셀레늄의 농도는 약 하루만에 일최대오염부하량인 5ppb이하를 만족시켰고, 질산성 질소 역시 완전히 기체상태로 전환됨을 알 수 있었다.

자가 청소 여과기 (self-cleaning strainer), 필터, 전자도너 주입 탱크로 이루어져 있다.

- 바이오 필터셀 (Bio-filter cell): 바이오 필터셀은 지오신세틱스와 거친 표면을 가진 자갈형태의 매개물을 이용하여 건설되었다.
- 후처리 시스템 (Finished water system): 후처리 시스템은 재산소공급기 (Re-oxygenation system)와 펌프로 구성되었다.

바이오 필터셀 시스템의 기본개념

지중 바이오 필터셀 시스템은 그림 2와 같이 구성되어 있고, 다음과 같이 크게 세가지 요소로 분리할 수 있다.

그 중 바이오 필터셀은 이번 프로젝트를 수행하는데 있어 가장 중요한 요소였다. 다양한 종류의 지오신세틱스를 이용하여 건설된 바이오 필터셀은 갈수기에 피터스 캐년 강 수중에 과포함 되어있는 셀레늄과 질산성 질소를 제거할 수 있도록 설계되었다. 지오신세틱스의 주요 장점은 구조물의 형태나 크기에 제약을 받지 않는 유연성(flexibility)과 외부환경과 단절시킬 수 있는 무반응(non-reactive) 차수벽의 재료로 사용할 수 있다는 점이다.

- 취수 및 전처리 시스템 (Intake and pre-treatment system): 취수 및 전처리 시스템 (pre-treatment system)은 취수정과 펌프,

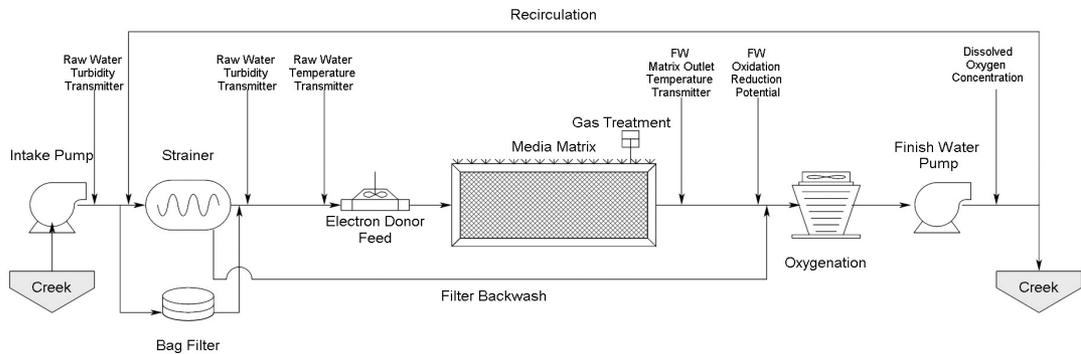


그림 2. 지중 바이오 필터셀 시스템의 구성

바이오 필터셀의 기본적인 개념은 오염된 강물이 유기물질의 양이 증가된 바이오 필터셀을 거쳐가면서 정화된다는 것이다. 피터스 캐년 셋강으로 부터 취수된 강물은 전자도너(electron donor)를 공급 받게 되고, 파이프 시스템을 통해 바이오 필터셀로 주입되게 된다. 전자도너를 공급받은 강물은 풍부한 탄소 화합물을 함유하게 되고, 이 상태는 바이오 필터셀 내의 활발한 생물학적 반응으로 박테리아 개체의 증가를 도와주게 된다. 이렇게 과도하게 증가된 박테리아는 물 분자가 함유하고 있는 모든 산소를 소모하게 되는데, 이러한 생물학적인 활동으로 인해 바이오 필터셀 내부는 무산소 공간(anoxic condition - oxygen deficient)으로 바뀌게 된다. 그 후 박테리아는 무산소 공간에서 용해가능한 셀레늄 (일반적인 형태의 셀레늄, 즉 셀레나이트 (selenate, SeO_4^{2-})와 셀레네이트 (selenite, SeO_3^{2-}))과 질산 화합물의 전자를 소모하기 시작한다. 이러한 반응을 통해 용해가능한 셀레늄과 질산 화합물은 불용해성의 콜로이드와 침전물로 전환된다. 이 불용해성의 침전물은 미생물막에 흡착하게 되고 바이오 막(bio-film)을 형성하며, 바이오 필터셀 내에 격리된다. 이렇게 전자(electron)를 잃은 셀레늄은 용해가능한 셀레늄보다 상대적으로 인체에 낮은 독성을 갖게 된다. 바이오 필터셀 내에서 이러한 프로세스를 진행하기 위해 수리학적 지연시간 (hydraulic retention time)과 전자도너의 공급시간과 양은 상황에 따라 변화가능하며, 가장 적합한 환경 조건이 가능하도록 설계되었다. 아래 표 1에서 요약된 것처럼, 바이오 필터셀 내부는 표면이 거친 자갈로 이루어져있고, 외부는 차수막 기능을

가진 지오신세틱스로 구성되어 있다.

바이오필터셀의 시공

위에서도 언급한 것처럼, 이 프로젝트의 구성 요소는 피터스 캐년 셋강에서 강물을 유입시킬 수 있는 지하 통로의 건설, 地中 바이오 필터셀의 건설, 그리고 정화된 물을 강으로 다시 방류시키기 전에 산소를 공급할 수 있는 재산소공급 시스템 건설 등으로 구성되었다. 이 중에서 바이오 필터셀은 지오신세틱스를 이용해 건설되었으며, 시공 후 약1.5m 높이의 흙으로 덮어 지중 구조물이 될 수 있게 하였다. 이후 이 지역은 시민을 위한 공원이나 아이들의 레크리에이션 공간으로 다양하게 이용할 수 있도록 하였다. 바이오 필터셀을 건설하는 데 사용한 주요 지오신세틱스의 종류는 다음과 같다.

- 고밀도 폴리에틸렌 지오멤브레인 (HDPE Geomembrane): 바이오 필터셀이 다른 외부적인 환경에 영향을 받지 않고, 내부에서 생물학적 반응이 원활하게 이루어질 수 있도록 하는 차수막 역할을 하였다.
- 부직포 지오텍스타일 (Nonwoven Geotextile): 분리와 쿠션 기능을 가진 지오텍스타일은 지오멤브레인이 원활한 기능을 할 수 있도록 외부 환경으로 부터 보호해 주는 역할을 하였다.
- 지오넛과 지오넛 컴파짓 (HDPE Geonet and Geonet Composite): 고밀도 폴리에틸렌 지오넛과 부직포 지오텍스타일을 이용해 지오넛을 감싼 “지오넛 컴파짓”은 바이오 필터셀 내부의 박테리아에 의해 생성된 가스를 이동시키는 역할과 지표수 배수를 위한 역할을 하였다.
- 양방향성 폴리프로필렌 지오그리드 (Biaxial Polypropylene Geogrid): 양방향성 지오그리드는 직육면체 형태의 바이오 필터셀의 수직 벽(약 3m)을 세우기 위해 이용되었다.

표 1. 바이오 필터셀 요약

구성요소	수 치
크기	61 m (길이) x 12 m (폭) x 3 m (높이)
내부요소	표면이 거칠고 둥근 형태의 자갈
전체 부피	2265 m ³
대략적 유효간극률	23%
대략적 수량	521 m ³
설계 흐름	8.5 x 10 ⁻³ m ³ /sec

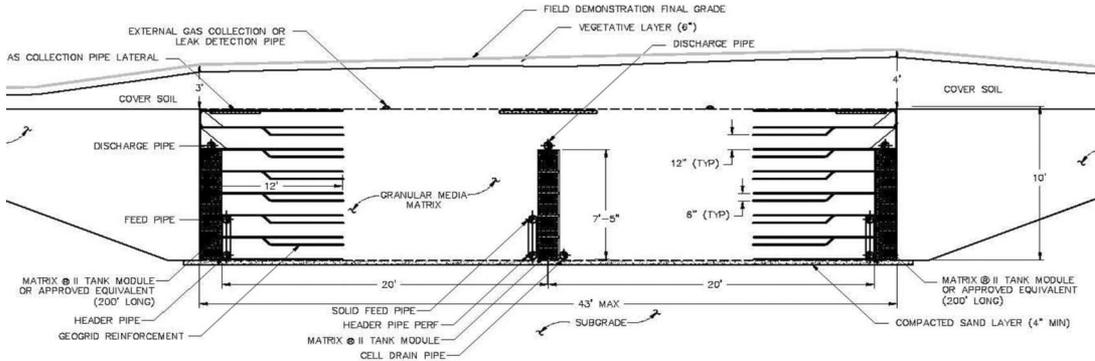


그림 3. 바이오 필터셀의 단면도

그림 3은 바이오 필터셀의 상세 단면도를 보여주고 있다.

사진 1~7을 통해 시공단계를 볼 수 있으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 매끈한 면의 노상(Subgrade) 설치 및 바이오 필터셀 밑부분을 위한 1.5mm 두께의 거친 고밀도 폴리에틸렌 지오멤브레인의 배치(사진 1)
2. 표면이 거칠고 둥근 형태의 자갈을 바이오 필터셀에 투입 후 다짐(사진 2)
3. 다짐을 시행하는 동안 지오그리드와 매트릭스 탱크 모듈(Matrix Tank Module)을 이용하여 바이오 필터셀의 수직벽 건설(사진 3)
4. 지오멤브레인(차수막) 설치(사진 4)
5. 외부환경으로부터 지오멤브레인을 보호하기 위하여 지오텍스타일 설치 (사진 5)
6. 채움토 시공(사진 6)
7. 바이오 필터셀을 마무리 복토하여 지중 구조물로 완성 (사진 7)

결론

본 기술기사에서는 수중에 과포함되어 있는 셀레늄과 질산성 질소의 제거를 위한 바이오 필터셀이 여러 종류의 지오신세틱스를 이용하여 건설되는 시

공사례를 소개하였다. 기술한 바와 같이 지오신세틱스가 가지고 있는 장점인 유연성(flexibility)과 화학적 안정성으로 인한 무반응성(non reactive material)등을 통해 바이오 필터셀을 성공적으로 건설할 수 있었다. ☺



사진 1. 지오멤브레인 라이너 설치



사진 2. 표면이 거칠고 둥근 형태의 자갈을 바이오 필터셀에 투입후 다짐(Compaction)



사진 3. 수직벽을 위한 지오그리드와 매트릭스 탱크 모듈 설치



사진 6. 채움토 시공



사진 4. 지오멤브레인 (차수막) 설치



사진 7. 임시 복토 완성



사진 5. 외부환경으로부터 지오멤브레인을 보호하기 위한 지오텍스타일 설치

참고문헌

1. Johnson, R.S., Yeo, S.-S, and Sundberg, R. (2009). Geosynthetics in the construction of a southern California subsurface biofilter cell system, *Geosynthetics*, 27(4), 24-34.