생물여과(Biofilter) 기술을 이용한 휘발성 유기화합물 (VOCs, Volatile Organic Compounds) 및 악취제거 기술

1. 생물학적 처리 시스템

생물여과(Biofilter) 기술은 가스형태로 대기중에 방출되는 VOCs나 HAPs(Hazardous air pollutants)를 처리하는 방법들 중의 하나로, 오염된 공기를 생물막이 형성된 담체(퇴비나 이탄(Peat), 흙, 다공성 인공담체(Engineered material) 등)를 통과하도록 하여, 생물막에 존재하는 미생물이 오염물을 생장에 이용하는 방법으로 공기를 정화하는 기술이다.

Biofilter는 생물막과 물의 관계정도에 따라 ① 생물포집 시스템(Two phase systems, Bioscrubbers), ② Trickling filters, ③ 자연담체상 생물여과(Natural medium biofilters), ④ 인공담체상 생물여과(Engineered medium biofilters)의 4가지로 크게 구분된다.

① 생물포집 시스템(Two phase systems, Bioscrubbers)

생물포집은 포집단계와 처리조의 2가지 단계로 구분할 수 있다. 포집단계에서는 작은 물방울과 오염된 가스를 같이 흐르게 하여 오염물과 산소가 물방울에 포집되도록 하며, 처리조에서는 하수처리장의 활성슬러지법과 동일하게 생물학적 산화반응으로 VOCs를 처리한다. 하나의 처리조로 구성할 경우에는 공기를 처리조로 포기시키는 방법을 사용하기도 한다.

물고기 사료생산 과정에서 방출되는 질소성분 가스의 경우 생물처리조를 무산소 상태로 운전하여 탈질반응(Denitrification)을 유도하므로써 40,000m^3/hr의 오염공기의 95%를 처리한 사례가 있다.

② Trickling filters

본 필터는 생물막이 형성된 담체를 채운 반응조(Column)로 구성된다. 영양염이 함유된 물은 반응조 상부에서 공급하고, 오염공기는 하부에서 공급하는 방식을 취하며, 담체로는 활성탄, Stoneware rings, 진흙 알갱이(Clay granule), 다공성 유리 등이 사용된다. 담체는 미생물의 고정상 역할과 영양분을 공급하는 역할을 하며, 장기간 운전시 노후화되므로 재충진해 주어야 한다. Trickling filter는 물에 용해도가 높은 오염물질에 대해 적용되어야 하며, 오염물질에 의한 산성화 등에 대비하여 pH, 영양염 등의 조절이 필요하다.

③ 자연담체상 생물여과(Natural medium biofilters)

자연담체상 생물여과는 여재층(Filter bed)을 모래, 이탄, 퇴비, 수피(Bark) 종류를 사용하며, 충분한 양의 수분을 공급하여 적정 습도를 항상 유지하여야 한다.

모래여과 시스템인 토양탈취상은 주로 하수처리장의 악취처리에 많이 적용되고 있으며, 닭똥 퇴비장의 냄새처리, 도살장 냄새처리, SO_2, H_2S 가스, 프로판 가스, 이소부탄, n-부탄, 메르캅탄(Mercaptan) 등의 처리에 적용된 경우도 있다. 퇴비/목편(wood chip) 생물여과 시스

템을 적용하여 포름알데히드(Formaldehyde)의 처리나 유리섬유 코팅과정의 스프레이 부스에서 발생되는 스티렌(Styrene) 등의 처리에 적용사례가 있으며, 수피(樹皮)를 이용하여 알데히드, 황화물(sulfide), 암모니아를 처리한 사례도 있다.

퇴비를 이용한 생물여과시스템도 많이 활용되고 있으며, 정유공장에서 황화합물이 함유된 폐가스의 처리나 플라스틱 생산공정에서 발산되는 VOCs 성분의 처리에 적용되며, 수분과 영양분을 공급하여 금속제련공장에서 발산되는 VOCs의 처리에 활용되기도 하였다.

④ 인공담체상 생물여과(Engineered medium biofilters)

인공담체상 생물여과는 자연담체상 생물여과의 장점과 Trickling filter의 장점을 조합한 것으로, 발포플라스틱(Foam), 탄소, 플라스틱 튜브 등의 담체를 사용한다. 자연담체에 비해 가격이 비싸지만, 고농도 오염공기를 보다 많이 처리할 수 있고 과대증식된 생물량을 기계적 방법으로 제거할 수 있어 수명이 길다는 장점이 있다.

글리콜(Glycol) 재생과정에서 발산되는 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes)의 처리에 적용되며, 정유공장의 기름저장탱크의 누출로 오염된 토양을 정화하는데 적용되기도 한다.

2. 적용사례

다음은 생물여과 기술을 적용한 몇가지 기술사례를 제시하였다.

가. 미 공병단 CERL(Construction Engineering Research Laboratory)의 생물여과 시스템

군수공장의 경우 군수품 생산 공정에서 가스형태의 VOCs나 HAPs가 발생되며, 이를 처리할 수 있는 기술로 생물여과 기술을 적용하였다.

생물여과의 용량은 1,000ft^{3}였으며, 수분량, pH 등을 자동조절(Feed-back pump)하도록 장치하였고, 원격모니터링 시스템을 구축하기 위해 PID(Photo Ionization Detector)를 생물여과 시스템에 설치하여 처리효율을 파악할 수 있도록 하였다.

발생되는 가스 농도는 12.5g/m^3-hr(216μg/L)였고, 구성성분은 에틸아세테이트가 50% 이상이었으며, 그외 n-부틸아세테이트, 톨루엔, 이소부틸아세테이트, 자일렌(Mixed xylenes), 에탄올 등이 혼합되어 있었다. 가스의 공칭체류시간(Empty bed retentiontime)은 1분 정도였다.

시스템에 사용된 담체는 폴리우레탄으로 제작된 원뿔형(Cylindrical annulus)이었으며, 처리결과 에틸아세테이트 및 기타 오염물질들이 90% 이상 제거되었다.

적정 pH유지를 위해서는 7g-$CaCO_3$(equivalents)/100g-에틸아세테이트 비율이 산출되었으며, 미생물 성장에 필요한 다량영양소(Macronutrients)의 비율은 $C_{100}N_{10}P_{1.5}$로 나타났다.

나. (주)한기실업의 BIO-CAT

BIO-CAT 기술은 미생물을 이용하여 하수·분뇨처리장 및 산업현장에서 발생하는 악취와 휘발성유기화합물을 동시에 제

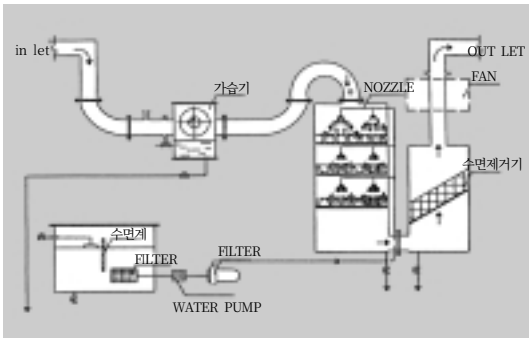

그림1. BIO-CAT의 Pilot plant의 구성도

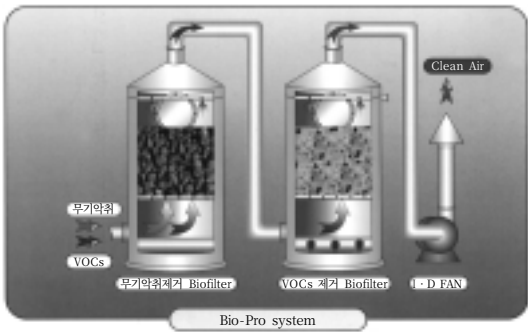

그림2. Bio-Pro System의 구성도

거하는 기술로서 미생물의 활동성을 증식시키기 위한 온도, 습도, pH 및 공기량의 자동조절 장치를 갖추었다. BIO-CAT의 개괄적 구성은 그림1과 같으며, 적용여재는 나일론 계통의 고분자 물질로서 섬유상 형태로 되어 있으며 단위부피당 여재의 충진율을 높일 수 있고 동시에 미생물 농도를 극대화 시켰다. 반응기 체류시간은 9 sec/m 1.2sec/m였으며, 적용농도 범위는 0 2,000㎎/L이었고, 최적운전은 온도 20℃ 30℃, 습도 80 85%, pH 6 8의 조건이었다.

본 기술을 현장에 적용한 결과 용인지구 수지하수종말처리시설의 포기조 발생 악취를 98% 이상, 분뇨악취는 99% 이상 제거하였으며, 식품가공공장에 적용한 결과 악취발생물질의 주성분인 Metyl ester of linolenic acid, Dibuthyl phtalate, 2,6-ditrebuthyl-4-methyl phenol을 비롯한 다양한 성분들을 대부분 제거하였다.

다. (주)카보텍의 Bio-Pro 시스템

Bio-Pro 시스템은 무기성 악취와 VOCs 가스의 혼합으로 발생되는 악취물질을 효과적으로 제거할 수 있는 Biological Trickling Filter이다.

Bio-Pro 시스템은 2단으로 구성(그림2 참조)되며, 전단은 독립영양세균(Autotrophic bacteria)이 자랄 수 있도록 하여 암모니아 및 유황계와 같은 헨리상수가 큰 무기성 악취를 제거하도록 하였고, 후단은 종속영양세균(Heterotrophic bacteria)이 자라도록 하여 VOCs 제거가 가능하도록 하였다.

또한, 과잉으로 부착된 미생물 제거를 위하여 공기방울을 이용한 역세척 장치를 내장하였다. 생물여과 여재층은 다공성 세라믹 담체로 구성되어 역세척 후에도 세라믹의 기공 안에 미생물이 부착되어 있어 24시간 안에 VOCs 농도(톨루엔 기준) 450ppmv 이하에서는 90% 이상의 제거효율을 나타내었다.

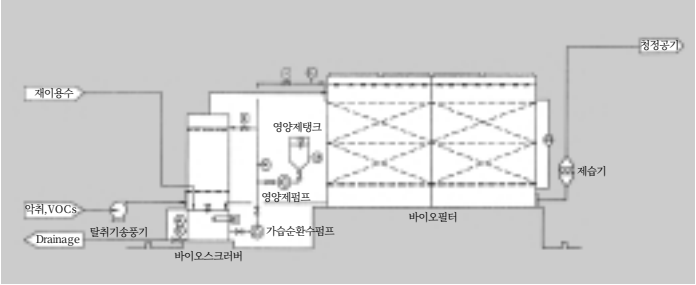

그림3. Air-Tech™ 바이오필터 탈취 공정도

라. (주)인바이오넷의 Air-Tech™ 바이오필터

Air-Tech™ 바이오필터 기술은 음식물쓰레기 처리장, 하수처리장, 분료처리장, 쓰레기 매립장, 화학공장, 정유공장, 식품공장 등의 취기가 발생하는 장소에서 분리한 탈취능력이 우수한 미생물을 분리하여 적용장소의 취기성분이나 농도에 따라 미생물을 선택적으로 적용하는 기술이다. 미생물담체는 *Bacillus*속, *Pseumonas*속, *Acinetobacter*속 등의 탈취미생물이 1×10^8CFU/g 이상 흡착되어 있으며, 유무기복합 바이오메디아의 사용으로 유기성 담체와 무기성 담체의 장단점을 보완하여 압력손실이 적고 Fouling 현상이 없으며, 종균배양 초기부터 악취 및 VOCs에 안정화된 탈취 미생물을 첨가하여 초기적응시간을 최소화한 고효율의 바이오필터 시스템이다. 또한 바이오스크러버 방식 및 바이오트리클링 방식과 병합하여 고농도 취기 및 유입농도 부하에 적응력이 뛰어난 탈취 방식이다.

■ 자료

1. US Army Corps of Engineers CERL Technical Report 99/57 June 1999 "Biofiltration of Solvent Vapors from Munitions Manufacturing Operations", http://www.cecer.army.mil/td/tips/pub/details.cfm?PUBID=334&TOP=1, 2000/08/29
2. (주)한기실업 건설신기술 제160호, "미생물 담체 및 간헐식 순환용액을 이용한 악취 및 VOCs 제거장치(BIO-CAT)", 1999
3. (주)카보텍 기술자료집, "VOCs & Odor Control, Biofilter(Biological Trickling Filter), BIO-PRO SYSTEM", 2000. 11월
4. (주)인바이오넷 "악취 및 VOCs 제거 바이오필터 기술설명서" 2001. 1월

■ 자료제공 : 신현옥<건설기술품질센터 기술관리그룹 연구원>

TBM 탑재형 터널 막장전방 조사기술

1. 터널 막장전방 조사기술

터널 굴착시 막장전방의 지반상태변화를 사전에 파악한다는 것은 안전성 및 시공성을 향상시킬 수 있음을 의미하므로 가치가 높은 연구개발분야라 할 수 있다. 터널 막장전방의 지반조사기술은 대표적으로 지구통계학적 접근 방법과 지구물리학적 접근 방법으로 양분할 수 있으며, 지구통계학적 방법은 막장의 face mapping 자료를 이용하여 통계적으로 분석, 전방을 예측하는 방법이며, 지구물리학적 방법은 본 건설기술정보(1994. 10. 통권131호)에도 이미 소개된 바 있는 터널내 수평탄성파 검측법(Tunnel Seismic Predict-ion : TSP, Horizontal Seismic Profiling : HSP)이 그 대표적인 예라 할 수 있다.

지구물리학적 방법에 의한 막장전방 지반조사 기술은 NATM 터널뿐만 아니라 특히, open TBM, 쉴드TBM 등 막장