

IV. 새로운 충전탑식 생물탈취장치, P/K Biofilter의 개발

4. 1 생물탈취의 증가 및 P/K Biofilter의 개발 배경

생물처리는 자연계에서 일어나는 분해 및 생성 즉, 물질의 순환과정을 인간들이 처리장치에서 재현시킨 것으로서 오수처리에서는 옛날부터 산화지, 활성슬러지, 실수여과상 등의 형태로 사용되어 왔다. 생물탈취는 가스를 처리대상으로 하기때

최신정보

Gas Chromatograph를 이용한 악취분석과 새로운 충전탑식 생물탈취장치에 대하여

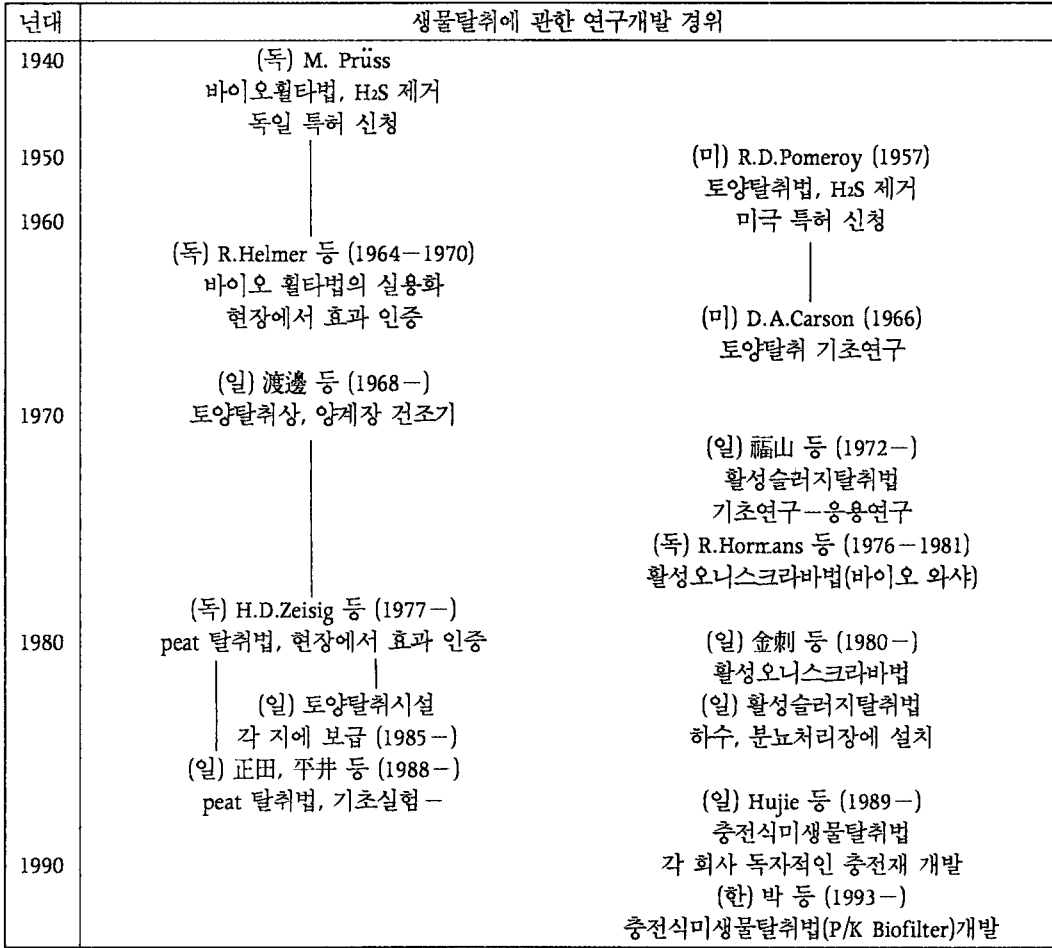


박상진 / 수석연구원

박상진 · 김이태
한국건설기술연구원 환경연구실
수석연구원 · 연구원

문에 생물매체와 취기가스를 효율적으로 접촉시켜 취기물질을 생물매체로 이동시킬 수 있는 장치와 구조, 가스성분이 충분히 용해, 흡착될 수 있는 체류시간의 검토가 필요하다. 악취는 취기가 갖고 있는 특성으로 인해 90% 이상의 높은 효율 하에서라도 ppb 단위의 저농도에서 불쾌감이 조성되므로 폐수처리와는 다른 어려움이 많다. 그러나 물리화학적 처리에 비해 운전비용이 매우 저렴하기 때문에 최근에는 대부분 생물탈취가 반영되고 있다. 생물탈취에 대한 연구는 1941년 독일의 M. Prüss의 연구를 기점으로 바이오필타, 토양, 콤포스트, peat 등의 천연재료를 이용한 탈취 시설이 실용화되었으며 계속 개량되고 있다. 한편 1970년대 전반부터 활성오니를 이용한 탈취법이 연구개발되었으며, 포기방식 뿐만아니라 스크라바 방식도 개발되어 실용화되어 있다. 최근에는 compact하며 고효율의 생물탈취장치 개발을 위해 합성소재 등 미생물담체에 미생물을 식종시킨 충전탑식 탈취장치에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한 아직은 연구단계이긴 하나 Bio-technology를 이용하여 추출한 악취물질 분해균을 이용하여 탈취능을 강화시키는 연구도 활발하게 진행되고 있다³⁾.

〈그림 -5〉 생물탈취법의 연구개발 경위



우리나라에서는 생물탈취로서 대부분 토양탈취가 반영되고 있으나, 전술한 바와 같이 토양탈취는 소요부지 면적이 과다하고, 토양층 통과에 따른 압력손실이 과다하여 동력비가 많이 소요되며, 단락류 발생에 따른 유입취기의 노출 등 운전시 발생하는 많은 문제점에 대하여 유지관리지침이 결여되어 있어, 대체 생물탈취 기술의 개발이 필요한 실정이다. 본 고에서 제시하는 P/K Biofilter는 이러한 최근의 추세를 고려하여 소요부지 면적이 작고 대풍량의 처리가 가능하도록 통기성이 양호한 재료를 이용하여 장치형태를 충전탑식으로 제작하는 한편, 유지관리의 용이성을 고려하여 탈취장치에 문제점 발생시 현장에서 대처하기 쉽도록 국내에서 취득이 용이한 탈취재료와 미생물원을 이용하여 제작하였다. 〈그림 -5〉는 생물탈

취의 연구개발 경위를 간단하게 요약한 것이다.

4. 2 연구방법

(1) 충전재의 선정을 위해 활성탄을 포함하여 탈취능 및 통기성이 우수한 6~7개의 탈취재료에 대해 Batch test로서 각 탈취재료의 악취물질 흡착능을 조사하였다. 악취시료가스는 H₂S, 황화메틸(DMS)의 2종류를 사용하였다.

(2) (1)에서 우수한 탈취효과를 보인 활성탄, 목탄, Peat의 3개 재료에 대해 연속주입실험을 통해 운전기간, 공탑속도(SV), 유입가스농도 등 운전조건을 바꾸어가며 각 탈취재료의 제거특성 및 물리화학적 흡착제거능을 조사하였다. 이때 악취시료 가스는 H₂S를 사용하였다.

(3) (2)에서 사용된 탈취재료의 생물학적 탈취가
 능성을 조사하기 위하여 탈취미생물원으로서 활
 성슬러지를 식종하여 4종류의 Bio-filter를 제작한
 후 연속주입으로 실험을 진행하였다. 실험조건은
 (2)와 동일하며 반응생성물의 동정을 위해 칼람유
 출수에 대해 SO_4^{2-} 와 pH를 조사하였다.

(4) 현장에서 악취는 단일성분이 아닌 복합취기
 로 발생하므로 현장복합악취에 대한 제거능을 확
 인하기 위하여, (3)의 실험결과를 토대로 가장 우
 수한 제거효과를 보인 Bio-filter를 pilot규모로 제
 작한 후 1시 하수처리장에 설치하여 P/K Bio-filter
 의 실용화 가능성을 조사하였다. 대상악취는 현장
 에 설치된 토양탈취상에 유입되고 있는 고농도취
 기로서, 현장악취 발생원은 밀폐된 정화조슬러지
 저류조와 농축조 상부이다. 장치의 운전은 처리장
 내 토양탈취상에 유입되고 있는 송기관에 지관을
 설치하여 P/K Biofilter에 24시간 연속적으로 공급
 하였으며, 운전기간 경과에 따른 현장악취의 제거
 능력, 유입부하량 및 온도의 변화에 따른 제거율
 변화, 장치내 pH 및 SO_4^{2-} 농도변화 그리고 처리
 량 증가에 따른 정압의 변화를 관찰하였다.

(5) 실험실 및 현장에서 채취된 악취시료 가운
 데 황화합물 악취는 3절에서 기술한 Gas
 Chromatograph에 의해 분석하였으며, 암모니아는
 검지관을 이용하여 현장에서 분석하였다. 무취백
 에 채취된 현장시료는 실험실로 운반된 즉시 분석
 하였으며, 분석항목은 NH_3 , H_2S , 황화메틸(DMS),
 이황화메틸(DMDS), pH, SO_4^{2-} 등이다.

4. 3 연구결과

4. 3. 1 P/K Biofilter 선정 및 현장운전조건 설정 을 위한 실험실 규모의 기초실험

4. 3. 1. 1 물리화학적 흡착에 의한 각 탈취재료의 악취물질 제거특성

(1) 활성탄

활성탄의 흡착능은 이미 알려져 있으나 탈취재
 료로서 타 재료와 경제성 및 제거능력을 비교하기
 위하여 황화합물악취 제거실험을 수행하였다. 악
 취물질별로 보면, 활성탄은 H_2S 에 대해서는 안정

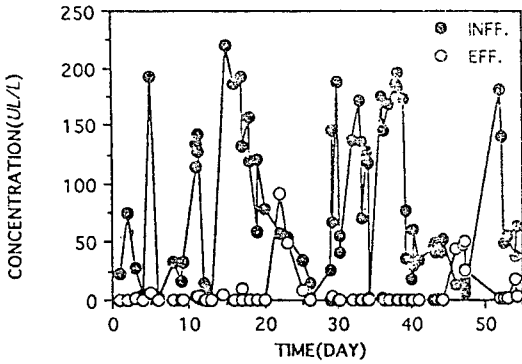
된 흡착제거특성을 보였으나 DMS에 대해서는 불
 안정한 흡착특성을 보였다. 함수율에 대하여는 습
 윤·건조 활성탄 모두 제거효율에 큰 차이를 보
 이지 않았으나 건조상태가 약간 더 우수한 것으로
 나타났으며, 흡착, 탈착 등 전형적인 흡착제거 특
 성을 보였다. 실험결과로부터 계산된 활성탄의
 악취물질 흡착능은 $0.839g H_2S/kg dry A.C$, $0.0104g DMS/kg dry A.C$ 였다.

(2) 목탄

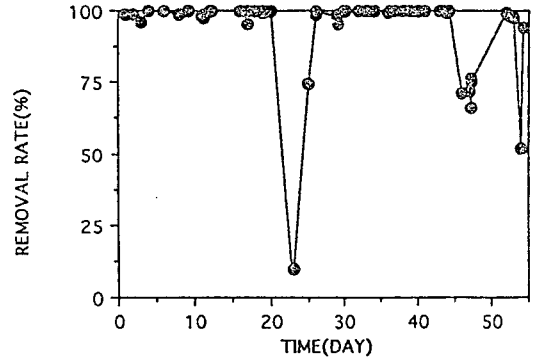
두 종류의 목탄에 대하여 황화합물 악취에 대
 한 batch 및 연속주입실험을 수행한 결과, 목탄은
 종류에 따라 악취물질 제거능력에 현저한 차이를
 보였다. 목탄A는 거의 제거능을 보이지 않은 반
 면, 목탄B는 H_2S 뿐만아니라 DMS에 대해서도 활
 성탄과는 달리 안정된 흡착제거특성을 보였다. 실
 험결과로부터 계산된 목탄의 악취물질 흡착능은
 $0.326g H_2S/kg dry W.C$, $0.218 DMS/kg dry W.C$
 였다.

(3) Peat Moss

batch test 실험결과 peat moss는 H_2S 에 대하여
 목탄A 정도의 제거효과는 보였으나 흡착에 의한
 제거효과는 그다지 크지 않았다. 그러나 2회에 걸
 친 연속주입실험은 운전기간의 경과에 따라 매우
 다른 제거양상을 나타내었는데 약 15일간 운전했
 던 실험-1의 경우 제거율이 30%이하로 매우 낮았
 다. 그러나 40일간 운전했던 실험-2의 경우에는
 실험개시 후 30일 이후에는 제거율이 80% 이상
 으로 상승하였다. 이는 peat moss에 자연서식하고
 있던 미생물이 H_2S 가스에 순치되면서 물리화학
 적 흡착이 아닌 생물학적 산화분해에 의해 제거되
 기 시작한 때문으로 생각된다. 이러한 실험결과로
 부터 peat moss를 이용하여 H_2S 를 제거하는 경우
 약 30일 정도의 순치기간이 필요하다는 것을 알
 았으며, 전형적인 물리화학적 흡착제거 특성을 보
 인 목탄B에 비해 순치 후 생물학적 산화제거 특
 성을 보인 peat moss가 미생물 담체로서 더 효율
 적일 것으로 생각된다.



〈그림-6〉 실험실 규모의 P/K Biofilter를 이용한 H₂S 제거실험시 입출구 농도변화



〈그림-7〉 시간경과에 따른 실험실 규모의 P/K Biofilter의 H₂S 제거율 변화

(4) 기타 재료

국내에서 채취한 토탄과 부식토 그리고 목탄A 및 PVA에 대하여 batch test에 의한 H₂S의 제거실험을 수행한 결과, 제거효과는 전술한 활성탄, 목탄B 및 peat moss에 비해 매우 작았다.

4. 3. 1. 2 생물학적 산화분해에 의한 각 탈취재료의 악취물질 제거특성

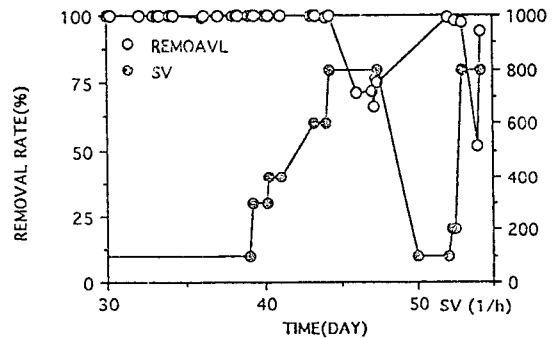
본 실험은 4종류의 Biofilter에 대해 실험을 진행하였으나, 본 고에서는 지면관계상 P/K Biofilter로 선정된 Biofilter-3의 실험결과에 대해서만 간단히 소개하기로 한다.

(1) 시간의 경과에 따른 제거율변화

peat moss와 목탄B에 활성슬러지를 혼합하여 제작한 Biofilter에 H₂S를 연속적으로 주입한 결과, 4. 3. 1. 1의 실험에서 Peat가 보였던 순치기간이나 활성탄 및 목탄이 보였던 파과점 후의 탈착현상이 없이, 주입된 H₂S는 운전초기 부터 실험개시 후 40일 이상 안정적인 제거능을 보였다. 〈그림-7〉에서 23일차와 45일차에 제거율이 저하된 것은 pH의 급격한 저하와 SV의 증가에 의한 것이며 이에 대해서는 뒤에서 언급하기로 한다(그림-6, 그림-7 참조).

(2) 가스주입량 증가에 따른 제거율변화

SV 100 h⁻¹으로 운전하였을 때에는 40일 이상 98% 이상의 안정된 제거율을 나타내었으므로, 40

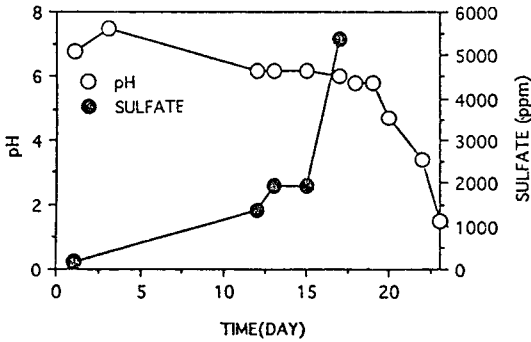


〈그림-8〉 가스주입량 증가에 따른 P/K Biofilter의 H₂S 제거율 변화

일차 이후에 가스주입량을 SV 800 h⁻¹까지 단계적으로 상향·조정하면서 P/K Biofilter의 제거율을 관찰하였다. 그 결과 SV를 800h⁻¹까지 증가시켰던 45일차에는 제거율이 60%까지 감소되었으나, SV 600h⁻¹까지는 SV의 증가에 따른 일시적인 제거율의 감소도 보이지 않고 안정된 제거율을 나타내었다. 따라서 P/K Biofilter를 이용하여 H₂S를 처리하는 경우 SV 600 h⁻¹까지는 안정된 처리가 가능한 것을 알았다(그림-8 참조).

(3) 운전기간 중 drainage의 pH, SO₄²⁻ 농도 변화 및 제거율과의 관계

실험이 진행되는 동안 Biofilter에서 유출된 drainage의 pH는 운전초기 중성에서 1.5 정도까지 저하되었고 SO₄²⁻ 농도는 0에서 5500 mg/l까지 증가된 것으로 나타났다. 또한 pH가 1.5이하로 저하



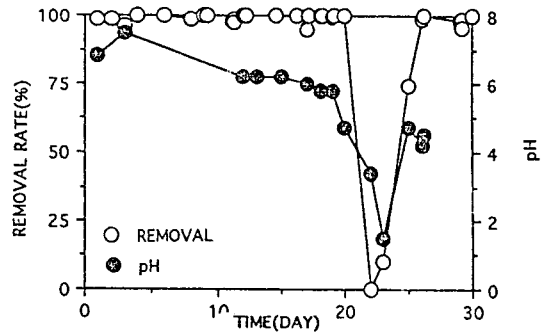
〈그림-9〉 운전기간 중 P/K Biofilter drainage의 pH 및 SO_4^{2-} 농도의 변화

된 23일차에는 제거능력이 10% 정도로 감소되었으나, pH의 중화와 함께 제거율은 다시 원상으로 회복되었다. 따라서 유입된 H_2S 는 Biofilter내의 미생물에 의해 SO_4^{2-} 로 산화제거됨을 알 수 있었으며, Biofilter의 안정된 제거능 유지를 위해서는 pH를 4이상 유지하는 것이 바람직하다는 것을 알았다.

4. 3. 2 pilot 규모의 P/K Biofilter에 의한 현장 악취제거 인증실험

(1) 각 취기물질에 대한 P/K Biofilter의 제거효율

현장악취내 NH_3 는 운전기간 중 최종출구 및 중간출구에서도 검출되지 않고 전량 제거되었는데, 이는 물에의 용해 그리고 H_2S 의 미생물산화에 의해 생성되는 SO_4^{2-} 와의 중화반응에 의해 $(NH_4)_2SO_4$ 형태로 제거되는 것으로 생각된다⁸⁾. H_2S 와 MT 역시 탑내 온도저하, 처리풍량의 증가에 따라 충전탑 출구간에 제거율의 변동을 보이긴 하였으나 실험기간 중 99% 이상의 높은 제거효율을 나타내었다. 그러나 DMS는 정상상태하에서도 제거율의 변동이 심하였으며, 평균 40% 이하의 낮은 제거율을 보였다. 따라서 실험실 실험 및 현장실험을 통하여 DMS는 물리화학적 흡착이나 생물학적인 처리에 의해서는 제거가 매우 어려운 반면, NH_3 와 H_2S 그리고 MT는 효율적인 제거가 가능하다는 것을 확인하였으며, 황화합물의 생물학적인 분해도는 $(H_2S) > (MT) > (DMS)$ 인 것으로 생각된다.



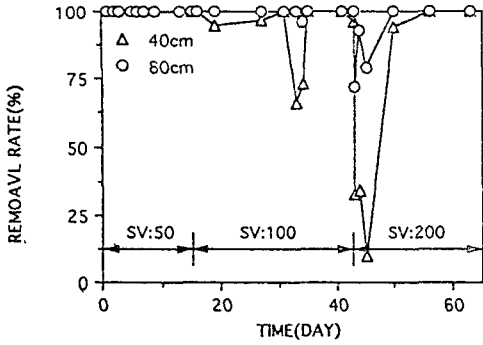
〈그림-10〉 운전기간 중 pH 변화와 P/K Biofilter의 제거율과의 관계

(2) 처리풍량의 증가에 대한 P/K Biofilter의 제거효율

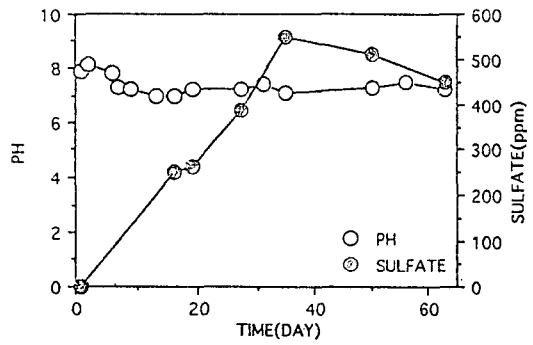
SV를 운전초기 $50 h^{-1}$ 부터 $200 h^{-1}$ 까지 증가시켜 가며 각 악취물질의 제거율을 측정된 결과, 운전개시 후 42일차에 SV 증가시 각 취기물질 모두 제거율이 일시적으로 감소되긴 하였으나 미생물이 순치된 이후에는 98%이상의 높은 제거율을 나타내었다. 악취물질별로 보면 DMS의 경우 SV $50 h^{-1}$ 에서는 거의 대부분 제거되었고 SV $100 h^{-1}$ 으로 증가시 30% 이하의 낮은 제거율을 나타내었으나, H_2S 는 순치기간 3일(중간출구에서는 5일) 후 98% 이상의 제거율을 보여 실험실 실험결과와 마찬가지로 SV $400 h^{-1}$ 이상 처리가 가능함을 확인하였다. MT 역시 SV $200 h^{-1}$ 에서 98% 이상의 높은 제거효율을 보였으나 약 10일 정도의 순치기간이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 P/K Biofilter를 이용하여 현장취기내 H_2S 를 처리하는 경우 SV $400 h^{-1}$ 까지, MT를 처리하는 경우 SV $200 h^{-1}$ 까지는 실용화가 가능하다는 것을 확인하였다. SV가 $200 h^{-1}$ 이라 함은 체류시간 18초로서 탈취장치내에 유입된 취기가스의 처리가 가능함을 의미한다(그림-11~그림-13 참조).

(3) 온도변화에 대한 P/K Biofilter의 제거효율

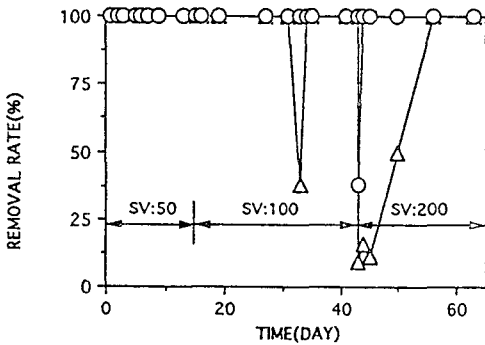
P/K Biofilter의 탑내온도가 $9 \sim 16^\circ C$ 의 범위를 유지하는 동안에는 98% 이상의 높은 제거효율을 보였다. 그러나 운전개시 후 32일차 가운데장치의 고장으로 인해 탑내온도가 $4^\circ C$ 로 저하되었을 때



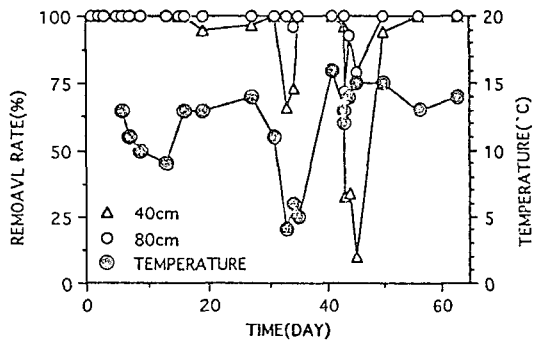
〈그림-11〉 처리풍량 증가시 P/K Biofilter에 의한 현장악취내 H₂S 제거효율



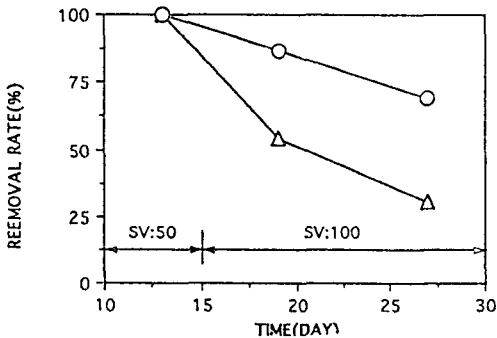
〈그림-14〉 온도변화에 따른 P/K Biofilter의 H₂S 제거효율



〈그림-12〉 처리풍량 증가시 P/K Biofilter에 의한 현장악취내 MT 제거효율



〈그림-15〉 온도변화에 따른 P/K Biofilter의 H₂S 제거효율



〈그림-13〉 처리풍량 증가시 P/K Biofilter에 의한 현장악취내 DMS 제거효율

는 H₂S와 MT의 제거효율이 감소되었으며, 가온장치의 수리와 함께 제거율이 회복되었다. 따라서 P/K Biofilter는 미생물을 이용한 생물학적 탈취방법이므로 온도가 낮은 동절기에는 탕내 온도를 10℃ 정도로 유지해야할 필요가 있으며, 이에 따른

가온은 그다지 문제가 되지 않을 것으로 예상된다(그림-14참조).

(4) pH와 SO₄²⁻ 농도의 변화에 따른 P/K Biofilter의 제거효율

운전기간 동안 pH는 7~8로 유지되었으며, 실험실에서 보였던 pH에 의한 제거율 감소 현상은 보이지 않았는데, 이는 현장실험의 경우 유입되는 황화합물 악취의 부하가 실험실실험에 비해 현저하게 낮기 때문이다. 그러나 SO₄²⁻ 농도는 운전개시와 함께 점차 증가하여 실험종료시에는 450~500 mg/l 까지 증가되어, 현장악취 역시 P/K Biofilter에 식중독 미생물의 산화분해에 의해 제거되고 있음을 확인할 수 있었다(그림-15 참조).

V. 결 론

이제까지 수행한 연구결과와 악취관련 연구경험을 토대로 몇가지의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 실험실 및 현장에서 채취한 황화합물 악취는 FPD가 부착된 Gas Chromatograph를 이용하여 정량적인 분석이 가능하였으며 본 연구에서도 효율적으로 활용되었으므로, 향후 환경영향평가시 악취현황 조사, 환경기초시설의 탈취시설 설계시 악취물질 분석에 충분히 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

(2) 황성탄은 H_2S 에 대해 높은 흡착능을 보였으나 DMS에 대해서는 목탄보다도 낮은 제거능을 보였다. 그러나 DMS가 H_2S 에 비해 훨씬 제거가 어려운 악취물질이라는 점을 감안할 때, 탈취방식으로서 황성탄흡착법에 대한 무조건적인 신뢰보다는 제거하고자 하는 악취물질의 성분에 따라 충분한 제거특성의 검토를 거친 후에 적용되어야 할 것으로 생각된다.

(3) 6~7 종류의 탈취재료에 대해 Batch test 및 연속주입실험을 수행한 결과, 여러 재료 가운데 peat moss는 미생물담체로서 영양소가 풍부하며, 목탄은 황성탄에 비해 가격이 훨씬 낮은 반면 황성탄에 못지 않은 흡착제거능을 갖고 있고 두 재료 모두 통기성이 매우 양호하여, 이 두재료는 타 재료에 비해 나름대로의 장점을 갖고 있는 우수한 탈취재료인 것으로 생각된다.

(4) peat moss, 목탄 등을 포함한 4종류의 Bio-filter에 대해 물리화학적 흡착제거능과 생물학적 제거능을 비교한 결과, 각 재료만을 충전하여 흡착에 의해 제거하는 것보다는 탈취미생물원으로서 황성슬러지를 식종하여 생물학적으로 탈취하는 것이 제거능 지속기간 및 경제성 면에서도 훨씬 더 우수한 것으로 나타났다.

(5) 본 연구에서 현장에 설치 운전한 pilot 규모의 P/K Biofilter는 실험실에서 뿐만 아니라 하수처리장에서 발생하는 고농도의 현장복합취기에 대해서도 운전조건의 변화에 관계없이 안정적인 제거능력을 보였으므로, 현장에서 많은 문제점을 안고 있는 토양탈취상의 대체 생물탈취 기술로서

국내에서 충분히 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

(6) 또한 본 연구는 하수처리장에서 실용화 인 증실험을 수행하였으나 이외에도 분뇨처리장 그리고 제지펄프공장 등 황화합물 악취가 주요 악취물질인 산업시설에서는 별다른 문제없이 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 추가적인 연구가 필요하겠으나, P/K Biofilter는 여러 종류의 미생물이 혼재된 황성슬러지를 식종하였기 때문에 황화합물 이외의 악취물질에 대해서도 일정한 순치기간이 지나면 Biofilter내 탈취미생물이 순치되면서 유입되는 악취물질에 대해 효율적인 제거가 가능할 것으로 예상된다.

参 考 文 献

1. 韓國建設技術研究院, “下水處理場惡臭의 經濟的인 除去方案—惡臭現況 實態調査를 中心으로—”, (1989)
2. Sang-Jin Park, Mitsuyo Hirai and Makoto Shoda, “Removal of exhaust gases from a nightsoil treatment plant by a combined deodorization systems of activated carbon fabrics reactor with peat biofilter inoculated with *T. thioparus* DW 44”, J. Ferment. Bioeng., Vol.76, No.5, pp.423-426 (1993)
3. 岩部秀樹; 小島千之, “充填塔式生物脫臭裝置による下水處理場臭氣物質의 除去”, 環境衛生工學研究誌, 5卷, pp.23-31 (1991)
4. 朴商珍, 吳鉉濟, 岡田誠之, “韓國의 下水處理場及 びし尿處理場의 惡臭特性”, 臭氣의 研究, 23, pp. 9-15 (1992)
5. 환경처고시 1994-3호, 대기오염공정시험법중 악취분석방법 개정, '94년 1월 8일
6. 韓國建設技術研究院, “曝氣槽 및 土壤脫臭床을 利用한 下水處理場의 惡臭除去에 關한 研究”, (1992-1993)
7. 加勝龍夫, 石黑智彥, 重田芳廣, “惡臭의 機器測定”, 清談社 (1984)
8. Sang-Jin Park, Kyoung-Suk Cho, Mitsuyo Hirai and Makoto Shoda, “Removability of a nightsoil treatment plant by pilot-scale peat biofilter inoculated with *T. thioparus* DW 44”, J. Ferment. Bioeng., Vol.76, No.1, pp. 55-59(1993)