

황화수소 제거를 위한 Biofilter에 관한 연구

빈 정 인^{*} · 이 병 현^{*} · 김 중 균^{**} · 권 성 현^{***} · 감 상 규^{****} · 이 민 규^{*}
부경대학교 화학공학부 · 환경시스템공학부 · 식품생명공학부
^{***}경상대학교 토목환경공학부(해양산업연구소) · ^{****}제주대학교 환경공학과
(2001년 4월 16일 접수)

A Study on Biofilter for Hydrogen Sulfide Removal

Jung-In Bin^{*}, Byung-Hun Lee^{*}, Joong-Kyun Kim^{**}, Sung-Hyun Kwon^{***},
Sang-Kyu Kam^{****} and Min-Gyu Lee

^{*}Division of Chemical Engineering, ^{**}Division of Environmental System Engineering and

^{***}Division of Food and Life Engineering, Pukyong National University

^{****}Institute of Marine Industry, Department of Marine Environmental Engineering, Gyeongsang National University

^{****}Department of Environmental Engineering, Cheju National University

(Manuscript received 16 April, 2001)

A packed bed of volcanic rock was used as deodorizing material to remove hydrogen sulfide(H₂S) from air in a laboratory-scale column, and was inoculated with *Thiobacillus* sp. as H₂S oxidizer. The effects of volcanic rock particle size distribution on system pressure drop were examined. Various tests have been conducted to evaluate the effect of H₂S inlet concentration and EBCT(Empty Bed Contact Time) on H₂S elimination. The pressure drop for particles of size range from 5.6 to 10 mm was 14 mmH₂O/m at a representative gas velocity of 0.25m/s. Biofilter using scoria and *Thiobacillus* sp. could get the stable removal efficiencies more than 99.9% under H₂S inlet concentrations in the range from 30 to 1,100ppm at a constant gas flow rate of 15.2 l/min. H₂S removal efficiencies greater than 99% were observed as long as EBCT was longer than 8sec at the 250ppm of H₂S inlet concentration. When EBCT was reduced to 5.5 sec, H₂S removal efficiency decreased by about 12 percent. The maximum H₂S elimination capacity was determined to be 269g-H₂S/m³·hr.

Key words : Hydrogen sulfide, odor, biofilter, scoria, *Thiobacillus* sp.

1. 서 론

중래의 환경규제는 매연, 먼지, 가스상 물질 등 인간에게 직접적인 피해를 주는 물질의 규제에 초점을 맞추고 있었으나 현재는 2차 오염물질인 휘발성유기오염물질, 오존이나 소음진동 및 악취 등 감각공해에 의한 피해 감소 쪽으로 옮겨가고 있는 실정이다. 특히 우리나라와 같이 인구밀도가 높고 주거지역과 공업지역이 혼재하고 있는 현실에서는 악취 등 감각공해에 의한 민원 발생의 가능성이 한층 높으며 실제로 민원발생빈도도 증가하는 추세에 있다.¹⁾

악취는 소음진동 등과 함께 감각공해를 유발함으로써 최근 민원발생의 주요 원인이 되고 있다. 이러한 악취 제거를 위한 기존의 물리·화학적 처리법인 습식세정, 연소, 활성탄흡착, 오존접촉 등의 방법은 낮은 처리효율과 고비용의 문제점으로 인하여 최근에는 생물학적 탈취법이 주목을 받고 있다.^{2,3)} 생물학적 탈취법은 주로 미생

물의 활동에 의한 산화작용으로 악취를 제거하는 방법으로 1960년대 이후 미국과 유럽을 중심으로 대표적인 생물학적 탈취법으로 알려져 있는 biofilter에 관한 많은 연구가 진행되었으며, 현장 적용 결과 높은 효율성이 인정되어 비용이 저렴하고 환경적으로 건전한 처리방법으로 인정받고 있다.^{2,4)}

토양상에 의한 악취제거는 1957년 미국의 Pomeroy⁵⁾가 H₂S 함유가스를 토양층에 통과시켜 악취를 제거하는 연구를 비롯하여, 1966년에 Carlson과 Leiser⁶⁾가 Loam 토양층 탈취탑을 설치하여 설계인자와 운전인자에 대한 실험을 하였다. 충전탑식 탈취방식은 1960년에 캘리포니아의 Palm Springs에서 맨 먼저 제안되었다.⁷⁾ 초기 biofilter는 1960년대 토양층, 1970년대 퇴비/피트/나무 등 유기성 담체층에 하부로부터 악취 가스를 분산 주입하여 자생 미생물에 의해 분해되는 단순한 구조를 이용하였으나, 담체 자체의 분해에 의한 편류현상이나 막힘현상을

초래함으로써 압력손실이 증가하고 pH와 제거효율이 감소하는 등의 문제점이 대두되었다.²⁻⁴⁾ 실제로 토양상과 퇴비상의 장점을 고르게 갖추고 있는 토탄에 의한 악취 제거실험은 독일에서 비롯되어 최근 일본에서 많이 수행되고 있다. 1980년 이후에는 미생물에 의한 암모니아 및 유황계 악취제거에 관한 연구가 계속 진행되고 있다.^{8,9)} 최근에는 밀폐형시스템과 자동화시스템의 도입과 더불어 물리적 특성이 뛰어나고 미생물 성장에 적합한 환경을 제공하는 담체의 개발과 악취 물질에 대한 제거능이 뛰어난 특정 미생물을 담체에 부착성장시킴으로써 장치의 소형화로 부지면적과 비용을 절감하면서도 높은 제거효율을 가지는 biofilter 개발이 진행되고 있다. 1990년부터는 각 악취성분에 활성조건이 맞는 미생물을 추출하기 시작하여 현재 유전자 조절을 통해 여러 악취성분을 동시에 분해시킬 수 있는 슈퍼박테리아의 생산단계에까지 이르렀다.^{3,4)}

국내의 경우 악취로 인한 민원발생이 증가하고 있는 추세에 있으며, 휘발성유기물질(VOCs) 및 악취 배출 규제에 관련된 법이 강화되고 있는 실정이다. 하지만 배출원 관리 및 배출농도 저감 방안 등에 대한 대책이 미흡하며, 또한 기존 배출시설의 경우 외국기술의 도입으로 인한 비용적 측면에서 업체의 부담이 가중되고 안정된 처리가 어려운 문제점이 대두되고 있다. 따라서 국내 환경에 적합한 탈취기술의 개발이 시급한 실정이다.¹⁾

본 연구에서는 미생물 부착능이 우수하면서도 다공성인 제주도 화산석을 biofilter용 충전담체로서의 사용 가능성을 검토하기 위하여 대표적인 악취물질 중의 하나인 황화수소를 대상으로 생물학적 분해과정을 통해 제거하는 부분으로 직경(ID) 9cm, 높이 150cm의 원형아크릴관으로 제작하였다. 건조중량 6.1kg의 화산석을 120cm의 높이로 다공판 위에 충전하였다. 각 반응기는 상부로 유입되어 하부로 유출되는 하향식으로 운전하였으며, 상부 유입부에는 nutrient 공급을 위한 분무기를 설치하고 하부에는 드레

인수의 저장 및 배출이 가능한 구조로 되어 있다. 충전층에 30cm의 간격으로 나누어 5개의 시료채취구와 3개의 담체 시료채취구를 장착하였다.

다음으로 증습기는 반응기로 유입되는 가스의 상대습도를 높임으로써 반응기에 적절한 수분을 공급하기 위하여 설치하였다. 하부에는 대기중의 공기가 송풍기로 유입되며, 상부에는 펌프를 이용하여 물을 분무함으로써 증습되도록 하였고, 증습기 내에는 플라스틱 담체를 충전하여 접촉면적의 증가로 인한 효과적인 증습이 이루어지도록 하였다. 증습된 실내 공기와 황화수소를 일정 유량비로 혼합기에서 혼합함으로써 운전에 필요한 농도의 황화수소를 반응기로 유입시켰다. 반응기로 유입되는 혼합가스의 유량은 보정된 유량계를 사용하여 조절하였으며, 황화수소(>99%)는 뷰배(>99%)로부터 니틀벨브로 그 유량을 조절하여 혼합기로 공급하였다.

미생물은 1대학에서 분양 받은 균주를 배양한 *Thiobacillus* sp. 배양액 2ℓ를 반응기 상부로부터 분무하여 충전담체인 화산석에 부착시켰으며, 미생물에 필요한 영양물질은 펌프를 이용하여 각 반응기의 상부로 일정량 연속적으로 공급하였다. 공급된 영양물질은 Yeast extract 2g, KH₂PO₄ 2g, K₂HPO₄ 2g, NH₄Cl 0.5g, KNO₃ 0.5g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5g, CaCl₂ · 2H₂O 0.05g, FeSO₄ · 7H₂O 0.03g, EDTA 0.02g/ℓ 로 구성되었다.

H₂S 가스는 검지관(GASTEC, Japan)을 이용하여 충전높이별 시료채취구로부터 직접 분석하였으며, 메틸렌블루법과 FPD가 장착된 Gas Chromatography(HP6890, U.S.A.)를 이용하여 대조 분석하였다. 온도 및 습도는 습도계(Cole-pamar, U.S.A.)를 이용하여 측정하였으며, 압력손실은 마노메타(DWER, U.S.A)를 이용하여 측정하였다.

드레인수는 매일 회수하여 H₂S 산화에 의한 생성물과 pH 변화를 각각 Ion Chromatography(DX-120, U.S.A.)와 pH-meter(ORION, 420A)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 화산석의 특성 및 압력손실

본 연구에서 담체로 사용된 제주도 화산석의 주요 구성 성분은 Si, Al, Fe이며, 상대적으로 macro-pore가 잘 발달되어 있어 표면적이 넓은 특성을 가지고 있다. 또한 충전밀도가 낮고 약 47%의 함수율을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 특성들은 화산석의 충전담체로서 가능성을 제시하고 있다.

압력손실(Pressure drop)이란 바이오필터의 유입부와 유출부사이의 압력차를 의미하며, 압력손실은 탈취상의 표면적, 깊이 투수계수, 가스유량에 따라 달라진다. 바이오필터 운전상에서 담체 자체의 분해에 의한 압밀현상, 미생물의 과도한 성장이나 수분의 과포화로 인한 공극의 폐쇄 그리고 시스템 자체의 공극이 작은 경우 압력손실은 증가하게 된다. 압력손실의 증가는 제거효율의 감소와 동력비 즉 운전비용의 증가를 초래한다.^{3,4,10)} 따라서 압력손실을 낮게 유지하는 것은 중요한 설계 및 운전인자 중의 하나이다. 화산석 충전담체 자체의 압력손실의

2. 재료 및 방법

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 실험장치의 구성을 나타낸 그림으로 주요장치는 반응기, 증습기, 혼합기로 구성되며, 먼저 반응기는 미생물과 담체를 충전하여 황화수소를 생물학적인 분해과정을 통해 제거하는 부분으로 직경(ID) 9cm, 높이 150cm의 원형아크릴관으로 제작하였다. 건조중량 6.1kg의 화산석을 120cm의 높이로 다공판 위에 충전하였다. 각 반응기는 상부로 유입되어 하부로 유출되는 하향식으로 운전하였으며, 상부 유입부에는 nutrient 공급을 위한 분무기를 설치하고 하부에는 드레

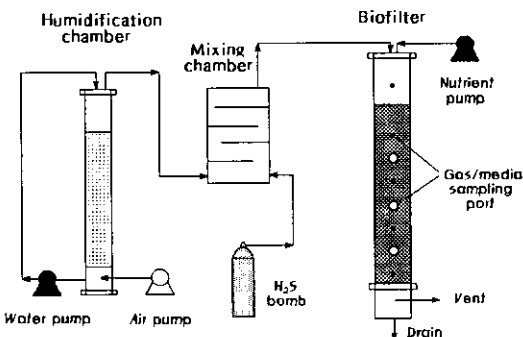


Fig. 1. Schematic diagram of the biofilter.

측정을 위하여 직경 5cm, 높이 70cm의 간이칼럼을 제작하여 입경 크기별로 유입선속도를 변화시키면서 압력손실을 측정하였다. 화산석을 먼저 표준체로 입경별로 A~D (A : 10~5.6mm, B : 5.6~3.35mm, C : 3.35~2mm, D : 2~1mm)의 4개 그룹으로 분류한 다음 칼럼에 충전한 후 물로 수회 세척하여 미세 입자들을 제거하였으며, 최대함수율의 조건에서 실험하였다.

가스의 유입유량을 2~30 l/min의 범위로 변화시켜가면서 충전높이 50cm에 대한 압력손실을 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었으며, D 그룹의 경우 충전높이별 압력손실을 Fig. 3에 나타내었다. 입경 크기가 작은 D 그룹의 경우 유입선속도의 증가에 따라 급격한 압력손실을 나타내었으며, 층높이에 따라 압력손실은 직선적으로 증가하였다. 반면 입경 크기가 작은 그룹 A의 경우 최대 유입선속도인 0.25m/s, 즉 EBCT 2초에서 압력손실이 약 7mmH₂O로 아주 작은 것으로 나타났다. 따라서 이후의 바이오필터 실험에서는 압력손실을 가능한 줄일 수 있게 하기 위하여 입자크기가 12~17mm인 것을 사용하였으며, 이는 실제 반응기에서 장기간 연속운전이나 고유량의 폐가스를 처리시 압력손실에 의한 동력소요 증가 등의 문제는 없을 것으로 판단된다.

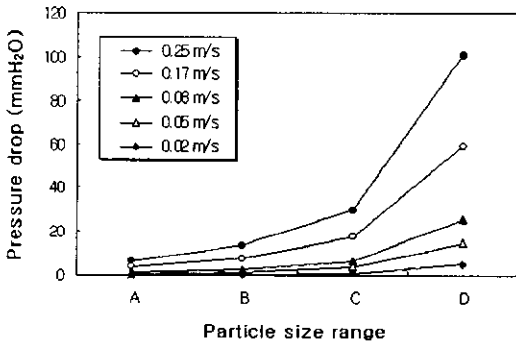


Fig. 2. Pressure drop as a function of particle size range for different gas velocities.

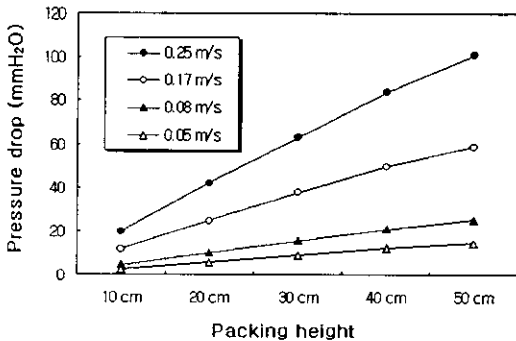


Fig. 3. Pressure drop as a function of bed depth for different gas velocities(D group).

이러한 결과는 Yang과 Allen¹⁰⁾이 콤포스트를 담체로 사용한 연구에서도 나타났다. 또한 콤포스트에 대한 유입선속도 0.03 m/s에서 압력손실은 500~1000 Pa/m으로 측정되었으며, 압력손실의 증가는 channeling 현상의 발생으로 효율의 저하가 우려되므로 압력손실이 2.5 KPa 이상 되었을 때 재충전하거나 교환하도록 제시하고 있다.

3.2. Thiobacillus sp.의 황산화 특성

현재까지 보고된 여러 종의 미생물들이 원소황이나 티오황산 등 여러 형태의 황을 이용한 황산화 반응에 관여하는 것으로 알려져 있으며, 미생물 종이나 성장조건에 따라 특성은 조금씩 차이를 보이고 있다.¹¹⁾ 본 연구에서 탈취탑에 식중한 *Thiobacillus* sp.의 황산화 특성을 알아보기 위해 먼저 *Thiobacillus* sp. 배양액 200ml을 원심분리하여 얻은 미생물을 티오황산나트륨 3g/l를 추가로 주입한 기본 배지 150ml에 혼합하여 shaking incubator에서 30℃, 180rpm으로 배양시켰다. 배양시간에 따른 pH, OD(Optical Density), SO₄²⁻ 및 S₂O₃²⁻ 농도 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

Thiobacillus sp.의 경우 빠른 황산화 속도로 약 2일 후에 황산화가 거의 완료되었으며, 첨가된 티오황산은 약 95% 이상 황산이온으로 산화되는 결과를 나타내었다. 660nm에서 측정된 OD는 초기 12시간만에 급격히 증가하였다가 점차 감소하였으며, pH는 초기에 다소 증가하다가 황산화에 의해 감소하였다.

Cha 등¹²⁾에 의하면 *Thiobacillus* sp. IW를 사용하여 3.6g/l의 티오황산을 초기에 첨가한 경우 약 2~3일만에 산화되었으며, Lee 등¹¹⁾의 연구에 의하면 *Thiobacillus* sp. ASWW-2를 사용하여 5.4g/l의 티오황산을 첨가한 경우 약 2일 만에 모두 산화시키는 결과를 얻었다. 또한 pH 1 이하인 경우에도 황산화는 계속 진행되는 것으로 보고하였다.

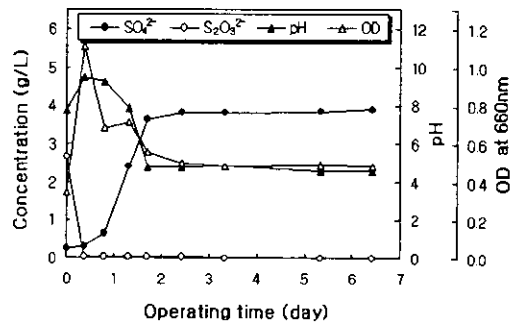


Fig. 4. Cell growth and thiosulfate oxidation by *Thiobacillus* sp..

3.3. 유입농도 변화에 따른 제거 특성

반응기에 입자크기가 12~17mm인 제주도 화산석을 선별하여 담체로 충전하였으며, 충전높이는 1.2m, 충전부피는 7.6 l, 충전층의 공극율은 49.6%로 측정되었다. *Thiobacillus* sp. 배양액을 식중한 후 유입유량 7.6 l/min

의 조건에서 유입농도를 30~280ppm의 범위로 조절하면서 실험한 결과를 Fig. 5에 유입농도(Inlet)와 유출농도(Outlet)를 나타내었으며, 약 30일 간의 연속 운전 결과 농도변화에 대해 순응되면서 99% 이상의 안정된 제거효율을 유지하였다.

다음으로 유입유량을 15.2 l/min으로 증가시킨 조건에서 유입농도를 400~1,500ppm의 범위로 증가시키면서 운전하여 유입·유출농도 및 제거효율(Removal Efficiency, RE) 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 유입농도 1,100ppm까지는 유출농도가 1ppm 이하로 나타났으며, 1,300과 1,500 ppm에서는 각각 96과 90%의 제거효율을 보였다. 이때의 제거용량은 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 최대 유입부하량 300g-H₂S/m³·hr의 조건에서 약 269g-H₂S/m³·hr로 산정되었다.

대체적으로 고농도의 황화수소가 유입되는 경우 미생물 순응기간이 운전조건에 따라 3~4일 정도 소요되는 것으로 알려져 있지만, 본 연구에서는 순응기간이 필요치 않았다. 이는 담체로 사용한 화산석의 뛰어난 미생물 부착력과 미생물 성장에 양호한 환경을 제공하고 더불어 주입한 미생물의 빠른 순응력에 의한 결과인 것으로 판단된다. 추가적으로 갑작스런 농도 변화에 대한 제거효율의 회복특성을 알아보기 위해 200ppm의 저농도 조건에서 5일간, 10,000ppm 이상의 고농도 조건에서 5시간 운전한 후 각각 1,100ppm으로 유입농도를 조절하여 운전한 결과 대체로 2~3일 후에 제거효율이 회복되었다.

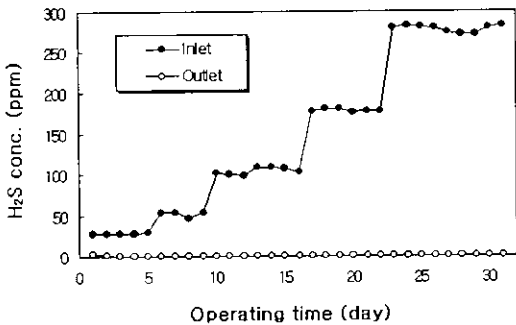


Fig. 5. Removal pattern of H₂S with inlet concentration of 30~280ppm(Flow-rate : 7.6 l/min).

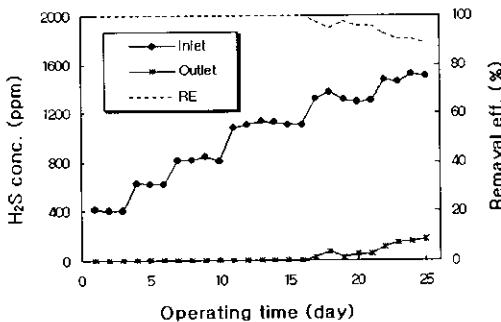


Fig. 6. Removal pattern of H₂S with inlet concentration of 400~1,500ppm(Flow rate : 15.2 l/min).

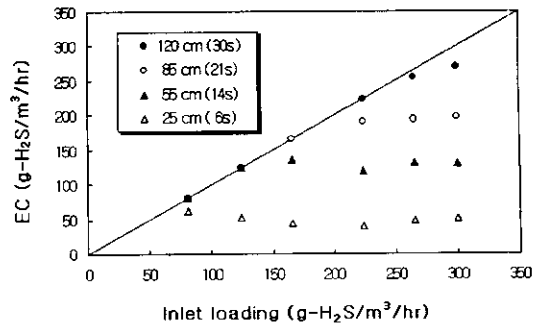


Fig. 6. Relation between inlet loading and elimination capacity.

3.4. EBCT 변화에 따른 제거 특성

탈취공정에 있어서 운전인자에는 여러 가지가 있지만 일반적으로 최대제거용량을 결정하는 유입농도와 체류시간을 주요인자로 할 수 있다. 현장에서 발생하는 악취성분의 농도와 유량은 다양하며, 고농도의 저유량으로 발생하는 경우에는 생물학적인 처리방법 뿐만 아니라 물리·화학적인 처리방법도 안정된 처리효율과 경제성을 갖는다. 그러나 저농도의 고유량으로 발생하는 경우에는 기존의 물리·화학적인 방법으로 처리시에는 처리효율이 불안정하며, 효율에 비해 비용의 급격한 증가를 초래한다. 또한 고유량에 대해 어느 정도의 농도 변화에 무관하게 안정된 처리효율을 가지며, 경제적인 탈취를 위해서는 짧은 체류시간을 갖는 소용량의 처리장치를 이용하는 것이 유리하다. 이러한 체류시간은 일반적으로 수리학적 체류시간(HRT)과 공탑접촉시간(EBCT)을 사용한다. 같은 처리장치를 사용하더라도 충전재의 종류와 충전방법 등에 의해 공극율이 달라지며 따라서 HRT도 변하게 된다. 따라서 상대적인 비교를 위해서는 공극율과 무관하게 반응기의 체적만을 고려하는 EBCT를 사용하는 것이 적합할 것이다.⁴⁾

따라서 본 연구에서는 유입농도를 250 ppm으로 일정하게 유지하고 유입유량을 변화시킴으로써 EBCT를 60~5.5 초로 조절하면서 H₂S 제거실험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 8과 9에 나타내었다. 먼저 Fig. 8은 운전기간에 따른 H₂S의 농도 변화 및 제거효율을 나타낸 그림으로써 EBCT 8초 이상의 경우 유입유량의 증가에 대해 안정된 처리가 가능하고 유출가스 내에 황화수소가 검출되지 않았다. 또한 EBCT 5.5 초에서도 유출농도가 약 30ppm으로 88%의 높은 제거효율을 나타내었다. 이때의 제거용량은 유입부하량 281g-H₂S/m³·hr의 조건에서 약 247g-H₂S/m³·hr로 산정되었으며, 농도변화 실험 결과보다 약 22g-H₂S/m³·hr 낮은 값으로 이는 빠른 유입신속도로 인하여 가스확산의 제한으로 인한 결과로 사료된다. 또한 Fig. 9는 반응기의 충전높이별 농도변화를 나타낸 그림으로써 EBCT 11 초까지는 중간부 이전에서의 제거됨을 알 수 있으며, EBCT 5.5 초의 경우 직선적인 농도감소를 보이는데 이는 충전층 전체의 효과적인 이용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

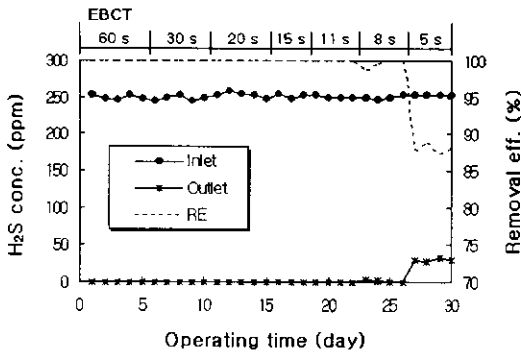


Fig. 8. H₂S removal patterns with the different EBCT (Inlet concentration : 250 ppm).

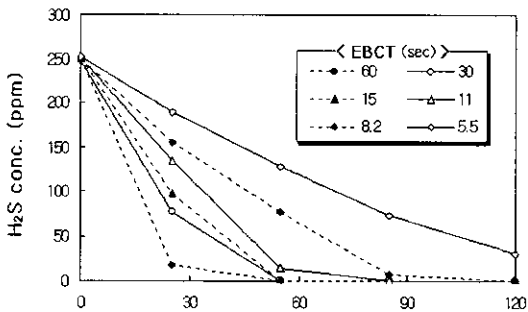
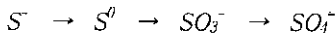


Fig. 9. H₂S concentration profiles with the different EBCT and bed depth.

3.5. 드레인수의 pH 및 SO₄²⁻ 농도 변화

황산화 미생물들은 그 종과 환경에 따라 여러 형태의 황을 이용하여 성장할 수 있으며, 그 최종생성물도 다소 차이가 있는 것으로 보고되고 있다. Chung 등¹³⁾의 보고에 의하면 *Thiobacillus* sp.에 의한 황의 호기적 조건에서의 생화학적 제거 경로는 다음과 같다.



대부분의 황산화 미생물의 경우 황화합물을 원소황의 중간 경로를 거쳐 최종적으로 황산 이온으로 산화시키는 것으로 알려져있다. 따라서 최종적으로 생성된 황산이온으로 인한 pH 저하가 야기되며, 이의 주기적인 측정과 적절한 조절은 안정된 H₂S 제거효율을 얻는데 필수적인 요소이다.¹¹⁾

본 연구에서는 EBCT 변화 실험에서 미생물의 nutrient 공급으로 인해 발생하는 반응기 하부의 드레인수를 매일 회수하여 이를 분석하였다. 이러한 분석결과는 Fig. 10에 pH 변화와 생성된 SO₄²⁻-S의 양(g-S/day)을 제거된 H₂S의 양(g-S/day)과 비교하여 나타내었다. 드레인수의 pH 경우 초기에 약 2정도로 유지되었으나, 유입부하량이 증가함으로써 pH는 점차 감소하여 약 1.2 정도로 유지되었다. 대부분의 황화수소 제거 실험 결과에 의하면 중성영역에서 최대 제거효율을 나타내고 일반적으로 낮은 pH에서 제거효율이 급격히 감소하는 경향을 가지는 것으로 알려져있다. 하지만 본 연구에서는 pH

1~2의 산성 조건에서도 안정된 황화수소 제거효율을 유지하였다.

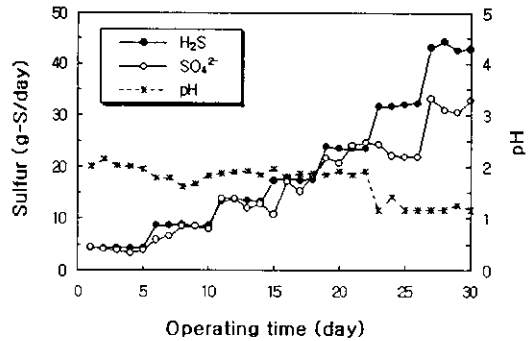


Fig. 10. pH and SO₄²⁻ concentration variation with the different EBCT.

기상으로 유입된 황화수소는 biofilter내에서 흡착이나 세정 등에 의해 제거될 수도 있으나, 미생물의 산화작용에 의해 제거되고 있음을 알 수 있는 것은 최종생성물인 황산이온의 양을 드레인수의 황산이온 농도를 측정함으로써 계산하여 기상으로부터 제거된 황화수소의 양과 비교하면 가능하다. Fig. 10에 나타난 바와 같이 저부하 조건으로 운전된 초기에는 제거된 황화수소의 양과 생성된 황산이온의 양이 거의 유사함을 알 수 있으며, 상대적으로 고부하 조건에서는 생성되는 황산이온의 양이 적어지는 결과를 얻었다. 이는 미생물에 의한 황산화 반응기작에서 고농도의 황이 존재할 때 완전한 산화반응이 일어나지 못한다는 Chung 등¹⁴⁾의 연구 결과로 설명되어질 수 있을 것이다. 또한 탈취탑 내에 생성된 흰색 침전물을 원소분석(Leco corporation, SC-132, U.S.A.)한 결과 중량비로 약 31.4 %의 황이 검출되었다.

4. 결 론

충진담체로서 제주도 화산석을 사용하고, 탈취미생물로서 *Thiobacillus* sp.를 주입한 바이오필터에 의한 황화수소 제거특성에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 화산석은 물리적 강도와 넓은 표면적 등 담체로서 적합한 특성을 가지며, 입경이 5.6~10mm인 경우 0.25 m/s의 빠른 유속에도 불구하고 약 14mmH₂O/m의 압력 손실을 나타내었다.
2. 탈취미생물로 사용된 *Thiobacillus* sp.는 빠른 황산화 속도로 3g/l의 티오황산을 첨가한 배지에서 2일만에 산화가 완료되었다.
3. EBCT 30 초의 조건에서 유입농도 1,100ppm까지 99.9% 이상의 안정된 제거효율을 보였으며, 유입농도 1,500ppm의 경우 90%의 제거효율과 269g-H₂S/m³·hr의 제거용량을 가졌다.
4. 유입농도 250ppm의 경우 EBCT 변화에 따른 H₂S 제거특성을 살펴 본 결과 EBCT 8 초까지 유출가스 내에 H₂S가 검출되지 않았다. EBCT 5.5 초에서도 88%의

높은 제거효율을 가졌으며, 이 때의 제거용량은 247 g-H₂S/m³·hr으로 산정되었다.

5. 드레인수의 분석결과 높은 황산이온 농도와 1~2 정도의 낮은 pH를 가졌으나 이로 인한 황화수소의 제거 효율 감소는 없는 것으로 관찰되었다.

참고 문헌

- 1) Ahn, K. I., 1996, A comparative study on malodor regulatory standards and control methods, The J. of IHS, 25, 141~149.
- 2) Park, S. J. and D. S. Kim, 1999, A compaison study on the removal of hydrogen sulfide using ceramics as microbial carrier, J. KSWES, 16(1), 36~45.
- 3) Namkoong, W., S. J. Park, and N. S. Lee, 2000, Principle and application of biofiltration, J. of KOWREC, 8(1), 60~68.
- 4) Warren, J. S. and C. L. Raymond, 1997, Biofiltration : Fundamentals, design and operations principles, and applications, J. of Environmental Engineering, 123(6), 538~546.
- 5) Richard, D. Pomeroy, 1957, Deodorizing gas streams by the use of microbiological growths, U. S. Patent No. 2, 793, 096.
- 6) Carlson, D. A. and C. P. Leiser, 1966, Soil beds for the control of sewage odors, J. WPCF, 38, 829.
- 7) Richard, D. Pomeroy, 1982, Biological treatment of odorous air, J. WPCF, 12, 1541~1545.
- 8) Furusawa, N., I. Togashi, M. Hirai, M. Shoda, and H. Kubota, 1984, Removal of hydrogen Sulfide by a biofilter with fibrous peat, J. Ferment. Technol., 62, 589~594.
- 9) Togashi, I., M. Suzuki, M. Hirai, M. Shoda, and H. Kubota, 1986, Removal of NH₃ by a peat biofilter without and with nitrifier, J. Ferment. Technol., 64, 425~432.
- 10) Yang, Y. and E. R. Allen, 1994, Biofiltration control of hydrogen sulfide. 1. Design and operation parameters, J. of The Air & Waste Mange. Assoc., 44, 863~868.
- 11) Lee, E. Y., K. S. Cho, and H. W. Ryu., 2000, Characterization of sulfur oxidation by an autotrophic sulfur oxidater, *Thiobacillus* sp. ASWW-2, Biotechnol. Bioprocess Eng., 5, 48~52.
- 12) Cha, J. M., Y. Park, and I. W. Lee, 1994, Effects of cultivation condition of growth of the hydrogen sulfide degradating *Thiobacillus* sp. IW isolated from waste coal mine water, Korean J. Biotechnol. Bioeng., 9, 287~293.
- 13) Chung, Y. C., C. Huang, and C. F. Li, 1997, Removal characteristics of H₂S by *Thiobacillus novellus* CH3 biofilter in autotrophic and Mixotrophic environments, J. Environ. Sci. Health, A32(5), 1435~1450.
- 14) Chung, Y. C., C. Huang, and C. P. Tseng, 1996, Operating optimization of *Thiobacillus thioparus* CH11 biofilter for hydrogen sulfide removal, J. of Biotechnology, 52, 31~38.