

# 세라믹 미생물 담체와 바이오필터 시스템을 이용한 퇴비공장의 악취 제거

## Deodorization in an organic fertilizer factory using ceramic microbial media and a biofilter system

남 상 일\*      김 창 일\*      이 재 호\*      정 준 희\*      최 용 삼\*  
S. I. Nam      C. I. Kim      J. H. Lee      C. H. Chung      Y-S. Choe  
동양물산기업(주) 중앙기술연구소

### 1. 서론

축산분야에서의 악취문제<sup>1)</sup>는 환경민원 중 중요한 사안이며, 최근 정부에서는 대기환경보전법으로 배출허용기준을 설정하여 오염물질 배출사업장의 관리 강화 및 시설개선을 강력히 추진하고 있다.<sup>2)</sup> 탈취기술은 1990년대까지는 주로 활성탄 흡착이나 약액세정과 같은 물리·화학적 방법이 주를 이루었으나 약품·재료비 등의 소비가 많아 최근에는 유지관리 측면에서 유리한 생물학적 탈취방법이 주목받고 있다.<sup>3)4)</sup> 특히 생물학적 탈취방법 중 충전탑식 생물탈취(Biofilter)는 운영비가 저렴하고 사용조작이 간단하며, 경제성 대비 탈취성능이 우수한 것으로 평가받고 있다.

바이오필터의 탈취특성은 탈취 미생물, 미생물 담체, 운영시스템에 의해 큰 영향을 받는다.<sup>5)</sup> 따라서 탈취효과가 우수한 특정미생물을 고집적으로 담지할 수 있는 담체의 개발을 통해 바이오필터의 탈취능이 크게 향상될 것으로 기대된다.

1980년대 이후 퇴비, 피트모스 등의 유기성 재료들이 악취 및 VOC의 처리용 바이오필터의 담체로 이용되었다.<sup>6)7)</sup> 유기성 담체는 높은 물리적 흡착, 양호한 수분보수력이 있으나, 미생물에 의한 담체 자체의 분해 및 무기화로 인해 압밀현상이 발생되고 편류가 발생되기 때문에 1년미만내에 교환하거나 재배치하여야 처리효율을 유지되는 단점이 있다.<sup>8) - 10)</sup>

따라서 본 연구에서는 유기성 담체의 단점을 보완하기 위해 미생물 부착능이 우수한 세라믹 미생물 담체를 개발하고자 하였으며, 이를 자체

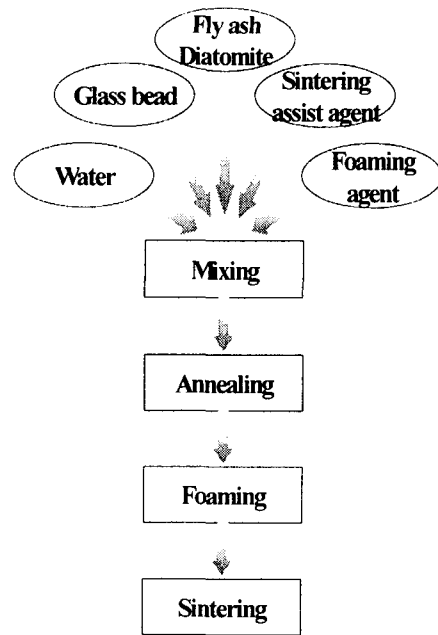


Fig. 1. Flow chart for fabrication of TYM's media

\* 동양물산기업(주) 중앙기술연구소

적으로 설계·제작한 바이오필터 반응기에 충전하여 축산분뇨의 유기성퇴비화 공장에 적용하였으며, 그에 대한 탈취효과를 분석하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 미생물 담체의 제조 및 분석 방법

세라믹 미생물 담체(이하 TYM 담체로 지칭)를 제조하기 위해 플라이애쉬와 규조토 및 유리분말 등의 세라믹 혼합분말을 주원료로 하고, 여기에 발포제와 소결조제 및 미량의 물을 혼합하였으며, 이를 Fig. 1과 같은 공정으로 제조하였다.<sup>11)</sup> 제조된 담체에 대해서는 비표면적, 밀도, 기공율, 기공분포 및 압축강도 등 기본적인 물리적 특성을 분석하였으며, 전자현미경(SEM)을 이용하여 미생물의 부착특성에 대해서 조사하였다.

### 나. 바이오필터의 설치와 운전 및 악취가스의 제거특성

상기의 담체가 충전된 바이오필터 반응기는 가축분뇨 퇴비공장에서 발생하는 악취가스를 제거하기 위해 아래 Fig. 2와 같은 형태로 설계, 제작 및 설치되었다. 퇴비공장에서 발생오디는 가스는 유황계 및 질소계의 가스검지관(Gastech, 일본)을 이용하여 바이오필터의 입·출구의 가스농도를 측정하였으며, 원취의 농도는 암모니아 20~150ppm,

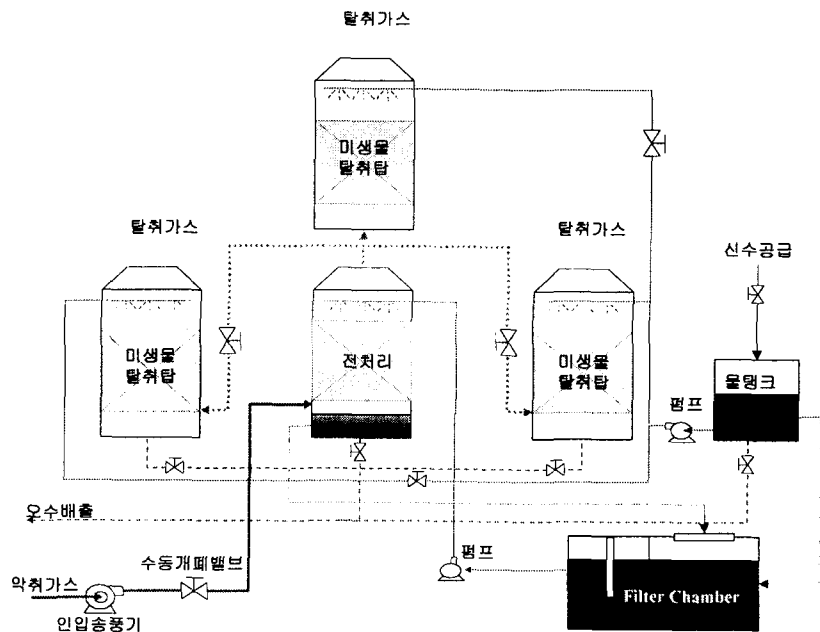


Fig. 2. Diagram of full-scale biofilter system in compost factory  
아민 25~150ppm, 황화수소 1~10ppm 및 메틸메르캅탄 0~2 ppm였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 바이오필터용 TYM 담체의 특성 평가

#### (1) 담체의 물성

제조된 담체의 물성 및 형태를 분석한 결과를 Fig. 3과 Table 1에 나타내었다.

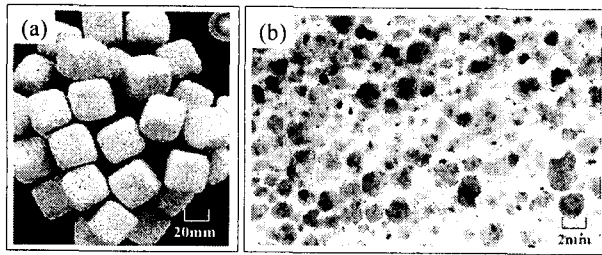


Fig. 3. Photographs of TYM's media, (a) appearance, (b) enlarged surface image

Table 1. Characteristics of TYM's ceramic microbial media

Component	SiO <sub>2</sub> base
Process	Foaming
Bulk density	0.52 g/cm <sup>3</sup>
Water absorption	76.35 %
Porosity	76.06 %
Compressive strength	37.0 kg/cm <sup>2</sup>
Specific surface area	0.08 m <sup>2</sup> /g
Average pore size	57.84 μm

기존에 개발된 담체들은 기공율이 낮으며, 높더라도 흡수율이 낮았다. 이는 폐기 공이나 흡수율이 낮은 1μm미만의 미세기공, 200μm이상의 거대기공들이 주로 분포되는 경우 상대적으로 흡수율이 낮아졌다.

반면에 TYM 세라믹 담체는 표면에 약 2mm내외의 기공들이 균일하게 분포하고 내부로 연속기공을 형성하여 상대적으로 우수한 기공율과 흡수율을 보였으며, 이는 기공크기 분포가 적당하며, 개기공(open pore)를 형성하였기 때문으로 판단된다.

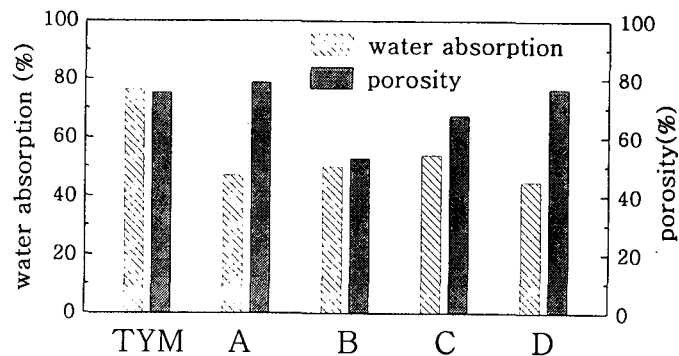


Fig. 4. Porosity and water absorption( $V_{\text{water}}/V_{\text{media}}$ ) for TYM's media with commercial media in domestic(A, B) and foreign markets(C, D)

## (2) 미생물 부착특성

탈취 미생물과 상기의 특성을 가진 담체에 대한 미생물의 부착상태를 전자현미경으로 조사한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5의 (a)와 같이 타원 형태를 가진 탈취미생물들은  $2.74 \times 10^6$  cells/g(건조상태)의 농도분포로 담체표면에 (b)와 같이 균일하게 부착되었음을 알 수 있었다. Bench-scale의 관리가 철저히 이루어

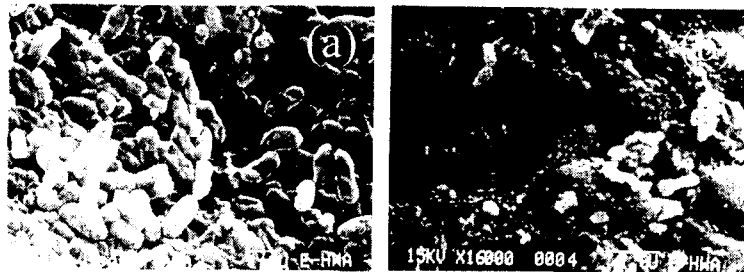


Fig. 5. SEM images of (a) deodorization microbe acclimated with sulfur compounds, (b) microbes adhered on TYM's media.

어진 바이오필터내 피트모스 담체에 부착된 미생물들이 약  $2.67 \times 10^5 \sim 6.49 \times 10^7$ 의 농도분포<sup>12)</sup>인 점을 감안하면 full-scale의 현장에서 순치된 미생물의 농도분포는 작은 양은 것으로 판단되며, 이러한 TYM 세라믹 담체에 대한 미생물들의 부착특성은 담체 표면에 분포된 실라놀(silanol: -OH)기와의 공유결합에 의한 것으로 판단된다.

### (3) TYM 담체와 유기성 담체의 시간경과에 따른 압력손실 변화 비교

세라믹 담체와 유기성 담체 충전층의 탈취시간 경과에 따른 압력손실의 변화를 조사하기 위해 TYM 세라믹 담체가 충전된, 그리고 유기성 담체(wood bark)가 충전된 바이오필터를 각각 음식물발효기에 설치하여 약 20일간 실험한 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

유기성 담체가 충전된 바이오필터의 경우 공간속도(SV:Space Velocity)가 초기  $300\text{h}^{-1}$ 에서  $500\text{h}^{-1}$ 로 변화되는 조건에서 압력손실은 5~20mmAq.의 범위에서 상대적으로 빠르게 증가되었다. 이는 미생물에 의한 유기성 담체들의 분해생성물 생성속도가 세라믹에서 발생하는 생성물의 생성속도보다 더욱 빠르기 때문으로 사료된다.

반면에 TYM 세라믹 담체가 충전된 바이오필터의 경우 20일간의 지속적인 탈취실험에서 유기성 담체에 비해 압력손실의 변화는 크지 않았다. 따라서 세라믹 담체로 충전된 바이오필터의 경우 장기적으로 안정적인 운전을 행할 수 있을 것으로 기대된다.

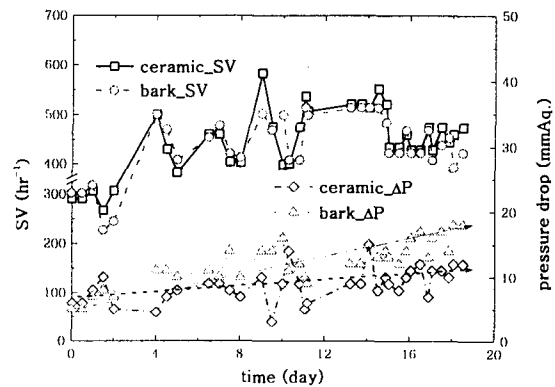


Fig. 6. Variation of pressure drop between inorganic and organic media packed in a biofilter for food waste fertilizer

## 나. TYM바이오필터의 탈취능 및 경제성

### (1) 장기간 탈취효과 안정성

약 100일간 유기성 퇴비공장에서 가동된 바이오필터의 실험 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 암모니아 및 황화수소에 대한 미생물들의 순치기간은 30일이었다. 일반적인 바이오필터의 황화수소에 대한 미생물 순치기간은 약 10일내외라고 보고<sup>13)</sup>되었으나, 본 연구의 바이오필터에서는 퇴비공장에서 발생하는 원취의 농도변화가 큰 폭으로 변화하였기 때문에 질소계 및 유황계 악취를 제거하기 위한 미생물의 순치기간이 길어진 것으로 판단된다. 그러나 30일간의 순치기간 이후에는 원취농도에 상관없이 암모니아 및 황화수소에 대해 각각 95%, 97% 이상의 안정적인 탈취효율이 지속적으로 유지되었다.

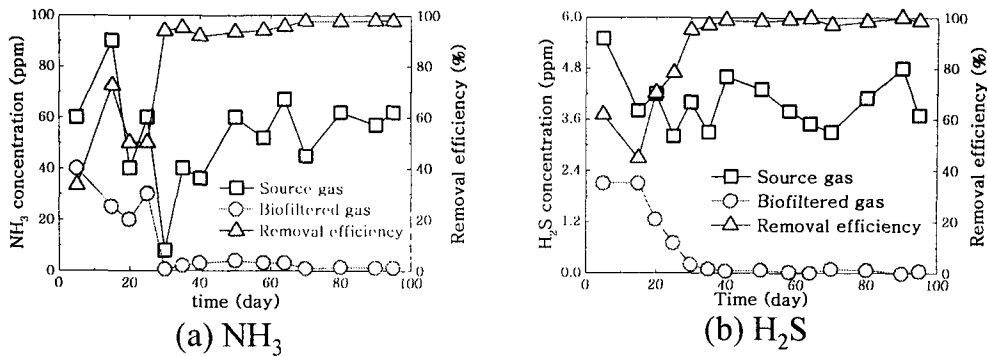


Fig. 7. Deodorization stability of biofilter in compost factory for 100 days (SV = 500h<sup>-1</sup>)

(2) TYM 바이오필터 시스템의 운전중의 에너지 효율

본 연구에서 퇴비공장에 적용한 바이오필터(150m<sup>3</sup>/min)의 운전에 소요되는 비용은 거의 송풍기의 가동에 필요한 전력비이며, 타 비용이 거의 발생되지 않았다. 즉 24시간동안 지속적으로 가동되었을 경우 전력 소비는 약 210 kW의 전력에 불과하였으며, 이는 Fig. 8에서와 같이 동일풍량(100m<sup>3</sup>/min)의 혼합악취가스를 제거하기 위한 탈취방법 중 가장 저렴한 방법임을 알 수 있었다.

또한 바이오필터 시스템은 지속적으로 가동되는 전처리조의 살수시스템을 재활용함으로써 소비 용수를 최소화하여 하루 소비물량을 약 80~100 l로 줄임과 동시에, 이차적으로 배출되는 폐수의 양을 최소화하여 배출수에 의한 토양오염을 최소화하는 이중효과를 얻을 수 있었다.

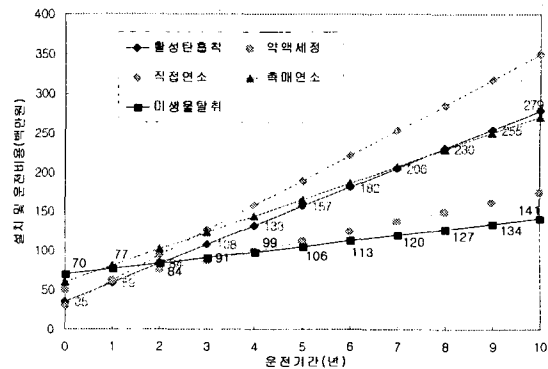


Fig. 8. comparison of construction and running cost between several deodorization methods (Gas flow = 100m<sup>3</sup>/min)

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 우수한 물성을 지닌 TYM 세라믹 담체를 개발하였으며, 이를 충전한 바이오필터를 축산분뇨의 유기성 퇴비공장에 설치하여 혼합악취가스를 제거하는 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) TYM 세라믹 담체는 2mm내외의 개기공(open pore)들이 균일하게 분포하였으며, 일부 폐기공, 적정범위(5~100 $\mu$ m)외의 미세기공, 과도한 거대기공들이 주로 분포된 기존 담체에 비해 유사한 기공을 조건에서 상대적으로 높은 흡수율을 나타내었다.

- (2) TYM 세라믹 담체는 미생물들의 부착력이 우수하고 부착량이 많아 미생물 친화적 소재인 것으로 판명되었다.
- (3) 탈취 미생물이 부착된 TYM 세라믹 담체로 충전한 바이오필터는 통기성이 우수하여 압력손실 및 그 변화폭이 유기성 담체보다 작아 압력손실과 담체 안정성 측면에서 우수한 것으로 나타났다.
- (4) 축산분뇨 퇴비공장에 설치한 바이오필터는 안정화이후 일정한 풍량조건( $SV=500h^{-1}$ )하에서 암모니아는 95%이상, 황화수소는 97%이상의 장기적인 탈취 안정성을 얻을 수 있었다.
- (5) 본 연구에서 개발된 바이오필터는 축산분뇨의 퇴비공장에 적용할 경우 유지관리비용이 타 탈취방법에 비해 매우 경제적인 것으로 입증되었다.

## 5. 참고문헌

- 1) 최홍림, 우리나라 가축분뇨의 처리기술 현황, 한국농공학회지, 40(2), p.18-28 (1998)
- 2) 휘발성유기화합물질의 규제제품 및 물질(환경부고시 제1998-77호, '98. 7. 16)
- 3) Shoda, M., Environment & Biotechnology-Biological Deodorization, *Bioindustry*, 7, 1990, pp.56-62
- 4) Ned Ostojic, Albin P. Les and Robert Fobes, Activated sludge treatment for odor control, *Biocycle*, April 1992, pp.74-75
- 5) G.A. Sorial, F.L. Smith, M.T. Suidan, A. Pandit, P. Biswas, and R.C. Brenner (1997) Performance of peat biofilter: impact of the empty bed residence time, temperature and toluene loading, *J. Hazardous materials*, 53, 19-33
- 6) Tang, H.M. and S.J. Hwang, (1996) Waste gas treatment in biofilters, *J. Air & Waste manage. Assoc.*, 46, 349-354
- 7) Frusawa, 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(6), 589-594
- 8) Van Lith, C., G. Leson, and R. Michelsen (1997) "Evaluation design operation for biofilters," *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 47, 37-48
- 9) G.A. Sorial, F.L. Smith, M.T. Suidan, A. Pandit, P. Biswas, R.C. Brenner (1997) Evaluation of trickle bed air biofilter performance for BTEX removal, *J. Environmental Engineering*, 6, 530-537
- 10) Deshusses, M. A. 1994) Biodegradation on mixtures of ketone vapors in biofilters for the treatment of waste air, PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich
- 11) 우송산업대 산업연구소, 악취공해저감을 위한 생물학적 유허계 혼합취기물질 제거기술 개발, 환경부 G-7 최종보고서, 1998
- 12) K S. Cho et. al, Enhanced removal efficiency of malodorous gases in a pilot-scale peat biofilter inoculated with *Thiobacillus thioparus* DW44, *J. of Fermentation and Bioengineering*, 73(1), 1992, pp.46-50
- 13) 張亮 외, 下水處理場の硫黄系臭氣に對するピートバイオフィルター長期運轉, 臭氣の研究, 제21권, 1호, (1990), p.1-9