한국농업기계학회 2005 동계 학술대회 논문집 pp.315-322

돈사악취저감을 위한 바이오필터시스템의 개발
- Pilot-scale 바이오필터시스템의 제작 및 성능 실험 -

Development of Biofilter System for Reducing Odor from Livestock Facilities
- Pilot-scale Biofilter System -

이승주* 장동일* 임송수*
정회원 정회원 정회원
S. J. Lee D. I. Chang S. S. Lim

1. 서론

현재 우리나라는 축산물 소비증가에 따른 양돈업의 기업화, 대형화와 지역적 집중현상으로 인한 돈사로부터 대량으로 방출되는 고농도 악취가스는 인근 지역주민의 생활에 피해를 주는 문제를 야기하고 있다. "대기환경보전법 제66조 제1항 별표 19"와 "악취방지법 제2조 제3호 별표 2"에서 축산시설도 악취배출시설로 분류되어 악취처리를 위한 환경기반 시설의 설치가 필수불가결 하게 되었으며, 이에 따라 우리나라에서도 정책적 뒷받침과 농가현실에 맞는 악취제거시설의 기술개발을 위한 노력이 필요로 한 실정이다. 이러한 미생물 담체의 경우 목탄, Peat moss, 토탄, 소나무껍질, 활성탄 등의 천연재료에서부터 최근 Glass, 알루미나 등의 세라믹 담체에 이르기까지 광범위하에 개발되어 있다.

특히 다공성 세라믹의 경우 흡수성과 기공률이 높으며, 내화학성이 우수하다. 또한 악취물질의 농도가 낮은 경우에도 악취물질을 제거할 수 있으며, 물리·화학적 처리 기술보다 경제적이고 대규모의 처리용량을 갖는 장점이 있다. 반면 이러한 담체의 경우 제작단가가 고가이며, 담체를 대량으로 사용시에는 경제성이 매우 떨어지게 된다. 이로 인해 축산시설에는 처리장비의 고정비와 변동비가 경제적으로 많은 부담이 되어 실질적인 현장적용이 어렵다고 판단되어진다. 반면 일반적인 천연재료는 흡착성과 보습성이 좋아서 효율적이고, 제작단가가 저가이기 때문에 대량 사용시에도 경제성이 높지만 접종미생물에 의한 자체분해와 무기화로 인하여 압밀이 진행되고 유속이 저하하는 단점이 있다. 이러한 천연 충전재의 단점을 개선하여 혼합충전재를 선발하여 바이오필터를 운영한다면 고정비와 변동비가 낮아져 경제성이 높아지게 된다. 악취가스로 인한 피해를 최소화하고, 돼지의 생산능력을 향상시켜 양돈산업의 국제경쟁력 강화를 위해 고정비와 변동비가 적은 바이오필터 시스템의 개발이 요구되는 시점에 이르렀다.

이에 본 연구는 pilot-scale 바이오필터 시스템을 설계·제작하고, 악취가스제거 미생물균주를 접종한 혼합충전재를 pilot-scale 바이오필터 시스템에 충전하여 바이오필터 시스템의 악취가스제거 성능을 구명하기 위하여 수행하였고, 그 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

1. Pilot-scale 바이오필터 시스템을 설계·제작하고, 시스템의 작동특성을 구명한다.
2. 제작한 pilot-scale 바이오필터 시스템에 악취가스제거 미생물 균주를 접종한 혼합충전재를 충전하여 실제돈사에서 바이오필터 시스템의 악취가스제거 성능을 구명한다.

2. 재료 및 방법

가. Pilot-scale 바이오필터시스템의 설계·제작

본 연구에서는 lab-scale 바이오필터 시스템에서 실시한 미생물균주를 접종한 혼합충전재의 악취가스제거 성능실험을 수행한 결과 미생물의 생육조건 중의 하나인 충전재의 함수율 유지가 중요한 것으로 판단되었다. Lab-scale 바이오필터 시스템을 보완하여 소용량의 pilot-scale 바이오필터 시스템을 설계하였으며, 바이오필터 본체에 계측 및 부수장비를 설치하고, 제어프로그램을 개발하여 pilot-scale 바이오필터 시스템을 설계·제작하였다.

바이오필터 충전될 혼합충전재에 정착할 균주로는 암모니아 저감균 A4-2와 유황산화균 S5-5.2이다. 이 미생물을 28 ℃의 항온에서 순치한 후 충전재료에 접종시켜 Pilot-scale 바이오필터에서 악취제거실험을 수행할 예정이다. 따라서 다음과 같은 미생물의 생육조건을 충족시켜 주어야 한다.

① 충전재의 함수율 : 60 ~ 80 %
② 악취제거가능 소요시간 : 10초 이상
③ 생육 가능 온도 : 10 ~ 34 ℃

혼합충전재에 접종할 미생물균주의 생육조건 및 부숙수피를 이용한 혼합충전재의 특성을 고려하여 다음과 같은 조건으로 pilot-scale 바이오필터 시스템을 설계·제작하였다.

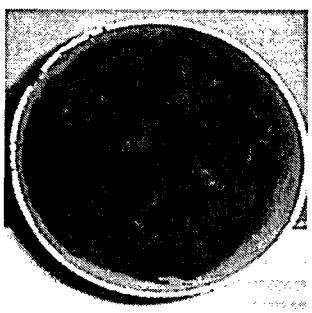
① 충전층의 악취가스 예상통과시간은 10초 이상을 유지한다.
② 충전층에 공급할 예상 급수량 측정은 충전부의 하단부에 설치할 중량측정시스템으로 바이오필터 본체의 무게를 측정하였고, 측정된 무게값의 변화로 급수량을 산출하여 물을 공급한다.
③ 흡기부와 배기부에 풍온·풍속 sensor를 장착하여 각 부의 풍온, 풍속 변화를 측정한다.
④ 충전층 상·하부에 차압계를 장착하여 흡기와 배기의 음압차를 측정한다.
⑤ 충전층을 통과하는 공기의 풍속 변화는 Turbo Blower에 공급되는 전원의 주파수변화에 의해 조절한다.

나. 공시재료

본 연구에 있어서 바이오필터에 사용될 충전재가 기본적으로 가져야 할 조건들은 흡착능력이 우수하고, 다공성을 가지며, 미생물이 생육할 수 있는 재료여야하며, 개발된 바이오필터의 산업화를 위하여 충전재의 구입이 용이하고, 가격이 저렴하여야 한다. 이에 본 연구에서 사용한 충전재는 문헌연구를 통해 얻어진 자료에 의거, 일반수피에 비해 악취가스 제거율이 높을 것으로 사료되는 10 mm 내외의 부숙수피를 사용하였고, 선행된 혼합충전재의 선발 실험에서 선발된 펄라이트를 사용하였다(J.J. Classen et al., 2000; 한원석, 2002).

부숙수피의 경우 충북 청원군 강외면에 위치한 (법)금정원영농조합으로부터 해당 크기에 맞는 제품을 구매하였고, 펄라이트의 경우 5 mm 이하의 (주)삼손 제품을 표준망체를 이용하여 2.4~5.0 mm로 선별하여 사용하였다(최우영, 2004).

혼합충전재의 혼합비율은 부숙수피와 펄라이트의 밀도가 상이함으로 인하여 부피를 기준으로 혼합하였고, 70%:30%의 혼합비율로 혼합하여 사용하였다. 그림 2.1은 사용한 부숙수피의 모습이고, 그림 2.2는 펄라이트의 모습이다. 또한 표 2.1은 사용된 부숙수피, 펄라이트 및 혼합충전재의 물성이다.



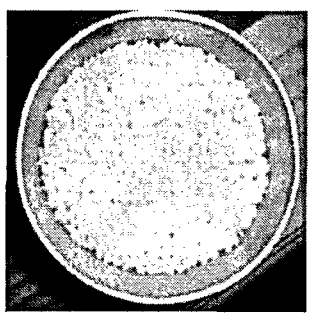


Fig. 2.1 Picture of chaffs of pine. Fig. 2.2 Picture of perlites.

Table 2.1 Characteristics of the composted chaffs of pine and perlites, and the material mixture

Characteristics	Chaff of pine*	Perlite	Mixture materials
Bulk density (g/㎤)	0.36	0.25	0.32
Moisture content (%w.b.)	61.6	16.3	57.2
Porosity (%)	57.3	66.5	63.5
Water absorption (vol%)	13.8	11.2	28.6
Pore size (mm)	10.3	2.4~5.0	-

*Chaffs of pine, composted.

다. Pilot-scale 바이오필터시스템의 실제돈사 내 악취가스제거 성능실험

Pilot-scale 바이오필터 시스템을 이용한 실제돈사에서의 악취가스제거 성능실험은 돈분뇨 저장조의 공기를 흡입하여 충전칼럼에 통과시켜 악취가스제거 성능실험을 실시하였으며, 모형돈사에서의 악취가스제거 성능실험과 동일하게 충전부 상·하층의 풍속·풍압차변화, 악취가스 제거율, 미생물 생균수 및 중량을 측정하며 시스템을 운용하였다.

실제돈사에서의 실험은 혼합충전재를 충전 후 72시간동안 상온에서 순치하여 10일동안 24시간마다 풍속·풍압변화 및 중량변화 측정을 실시하였으며, 미생물 생균수의 경우 24시간마다 시료를 채취하여 충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과에 측정을 의뢰하였으며, 3회 반복실험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. Pilot-scale 바이오필터시스템의 작동특성

Pilot-scale 바이오필터 시스템은 설계조건 및 내용을 고려하여 소용량으로 설계·제작하였고, 공급되는 전원의 주파수 조절이 가능한 Turbo Blower를 사용하여 양압식, 상향류 방식으로 악취가스를 공급하였다. 혼합충전재의 초기 함수율을 측정하여 중량하한치를 입력하고, 일정시간마다 중량측정시스템으로 무게변화를 측정 후 물 공급 예상량을 자동적으로 산출하여 Solenoid Valve를 제어하여 물 공급량을 제어하였다. 그림 3.1은 설계·제작된 pilot-scale 바이오필터시스템의 사진이다.

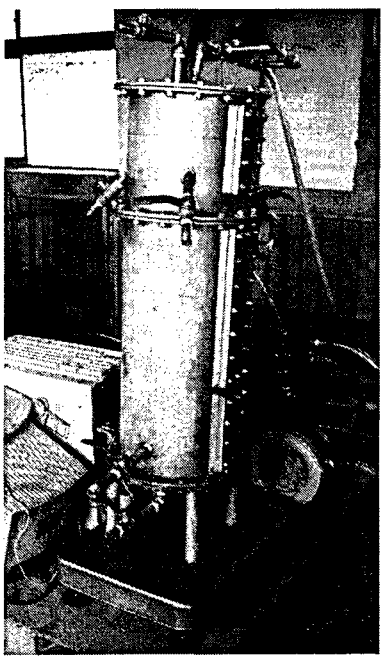


Fig. 3.1 Pilot-scale biofilter system operating for the pigsty.

나. Pilot-scale 바이오필터시스템의 실제돈사 내 악취가스제거 성능실험의 결과

실제돈사에서 pilot-scale 바이오필터 시스템을 이용한 혼합충전재의 악취가스제거 성능을 구명하기 위하여 부숙수피와 펄라이트의 혼합비율을 70%:30%로 한 혼합충전재에 미생물균주를 접종한 후, 층별로 충전하여 초기함수율을 65% (w.b.)로 조절한 다음 72시간동안 상온에서 순치한 후 실험을 실시하였다. 흡입되는 공기는 실제돈사 내에서 발생하는 공기를 흡입시켰고, 풍속은 Turbo Blower의 속도를 조절하여 입·출구에서는 평균 0.03~0.05 m/s로 유지시켜 미생물의 악취가스제거 가능시간인 10 s를 유지하였다. 실험은 한번 충전 후 10일 동안 진행하였고, 3반복 실험을 하였으며, 악취가스 제거율 및 풍속과 중량변화는 24시간 단위로 측정하여 산술평균값으로 나타내었다.

그림 3.2와 그림 3.3은 pilot-scale 바이오필터 시스템의 운전시에 암모니아가스와 황화수소가스의 유입농도와 배출농도를 나타난 그림이다. 가스의 유입농도는 암모니아가스의 경우 18.0~28.0 ppm 이였고, 황화수소가스의 경우 4.0~9.0 ppm 이였다. 또한 가스의 배출농도는 암모니아가스의 경우 1.0~4.0 ppm 이였고, 황화수소가스의 경우 1.0~3.0 ppm이였다.

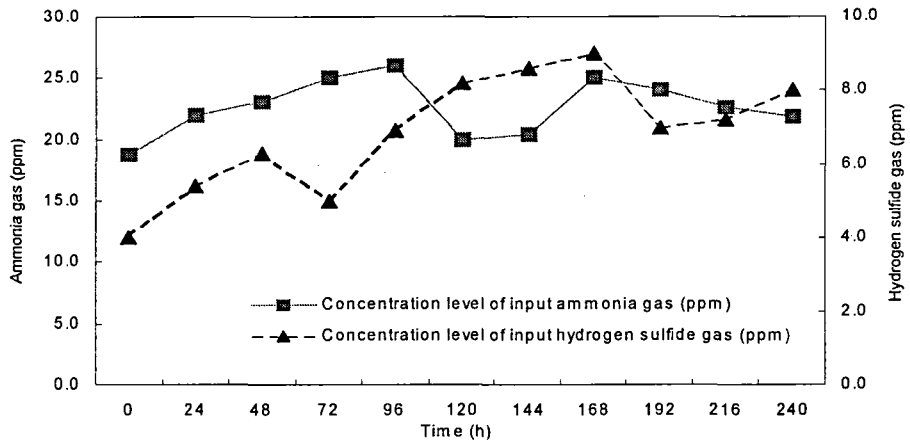


Fig. 3.2 Changes in inlet concentrations of NH_3 and H_2S gases during operation of the pilot-scale biofilter system for the pigsty. The column material was the mixture of composted chaffs of pine and perlites which inoculated by the selected bacterial strains.

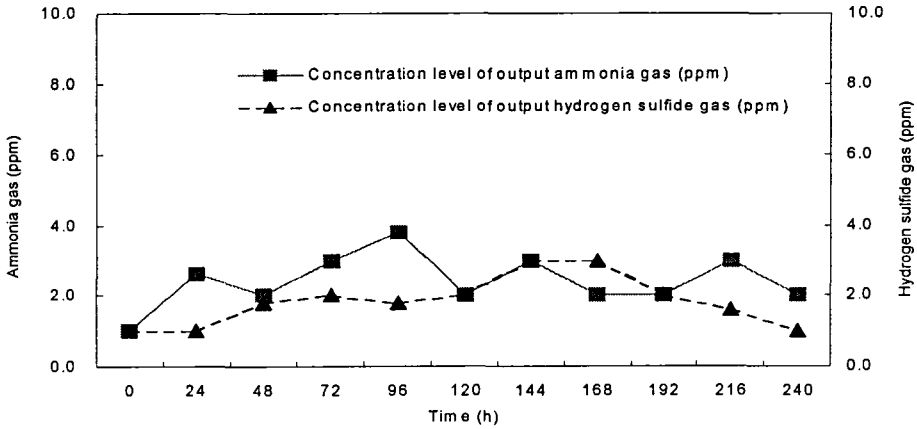


Fig. 3.3 Changes in outlet concentrations of NH_3 and H_2S gases during operation of the pilot-scale biofilter system for the pigsty. Notes refer to the previous figure 3.2.

그림 3.4는 혼합충전재를 충전한 상태에서의 pilot-scale 바이오필터 시스템에서 운전하였을 때의 악취가스 제거율을 나타낸 것이다. 실험기간 동안 암모니아가스의 제거율은 85.3~94.7% 이었으며, 평균제거율은 89.5%로 우수하였으며, 황화수소가스의 제거율은 71.4~88.4%로 암모니아가스의 제거율보다 조금 낮았으나 평균제거율은 78.2%로 비교적 우수한 수준이었다.

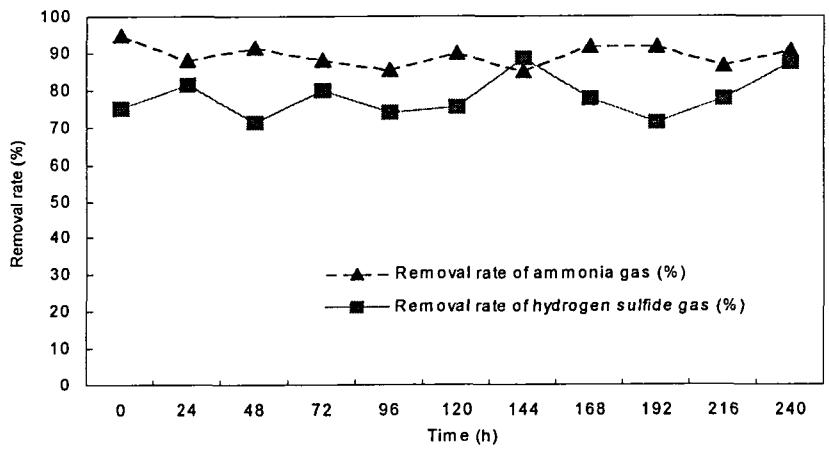


Fig. 3.4 Changes in removal rates of NH_3 and H_2S gases during operation of the pilot-scale biofilter system for the pigsty. Notes refer to the previous figure 3.2.

그림 3.5는 실험기간 중의 충전재의 함수율 변화 상태를 나타냈는데, 함수율은 60~80%의 범위로서 미생물의 생육에 적합한 조건이 유지되는 것으로 나타났다. 그림 3.6은 실제돈사에서 pilot-scale 바이오필터 시스템을 이용하여 악취가스제거 성능실험을 실시하였을 때의 미생물 생균수의 변화를 나타내었는데, 이로써 실제돈사에서 pilot-scale 바이오필터 시스템이 미생물에 대하여 적절한 생육환경이었다고 사료된다.

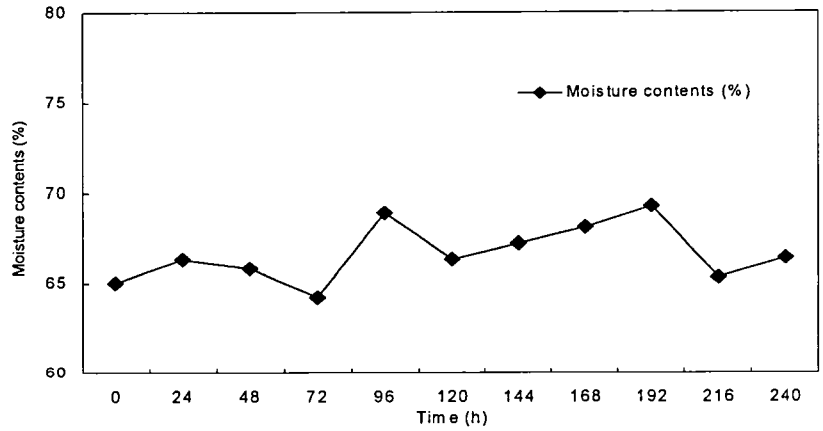
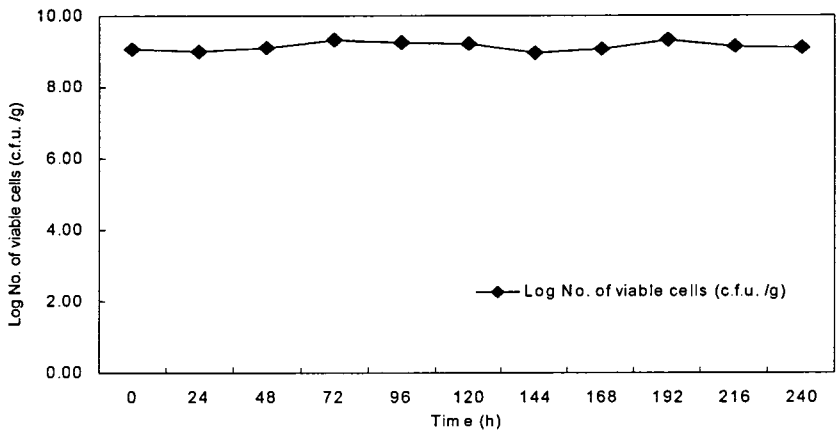


Fig. 3.5 Changes in moisture contents of the column materials during operation of the pilot-scale biofilter system for the pigsty. Notes refer to the previous figure 3.2.



(c.f.u. : colony forming units)

Fig. 3.6 Changes in total bacterial counts of the column materials during operation of the pilot-scale biofilter system for the pigsty. Notes refer to the previous figure 3.2.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 미생물의 생육조건과 혼합충전재의 특성을 고려하여 pilot-scale 바이오필터 시스템을 설계·제작하였으며 작동특성을 구명하였다. 그리고, 부숙수피와 펄라이트를 혼합하여 만든 혼합충전재에 미생물균주를 접종하여 제작된 pilot-scale 바이오필터 시스템에 충전하고, 실제돈사에서 미생물의 생육조건에 맞게 pilot-scale 바이오필터 시스템을 운전하여 악취가스제거 성능 실험을 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 미생물의 생육조건과 설계 조건 등을 만족한 pilot-scale 바이오필터 시스템을 설계·

제작하였다. 제작된 pilot-scale 바이오필터 시스템은 설계시 설정과 같이 일정시간마다 바이오필터의 중량을 측정, 함수율변화량을 산출하여 급수량을 자동으로 산정·공급할 수 있었고, turbo blower에 공급되는 전원의 주파수 변화를 통해 충전칼럼내의 풍속을 조절할 수 있었다.

2) 부숙수피를 이용한 혼합충전재에 미생물균주를 접종하여 실시한 실제돈사에서 혼합충전재의 악취가스제거 성능실험을 24시간마다 측정하여 10일 동안 실시하였다. 이 때 흡입되는 공기 중에 암모니아가스 농도는 18.0~28.0 ppm이였고, 황화수소가스 농도는 4.0~9.0 ppm이였다. 또한 배출 공기중의 암모니아가스 농도는 1.0~4.0 ppm이였고, 황화수소가스 농도는 1.0~3.0 ppm이였다. 본 실험에서 암모니아가스의 제거율은 85%~95%이였으며, 평균제거율은 89.5%로 우수하였으며, 황화수소가스의 제거율은 71%~89%로 암모니아가스 제거율보다 조금 낮았으나 평균제거율 78.2%로 비교적 우수한 것으로 나타났다.

3) Pilot-scale 바이오필터 시스템으로 모형돈사, 실제돈사에서 악취가스제거 성능실험을 실시하였을 때의 미생물 생균수 변화가 크게 없는 것으로 나타났고, 이는 pilot-scale 바이오필터 시스템이 미생물 생육 환경조절에 성공하였다고 분석되었다.

5. 참고 문헌

1. 김시동 외 9인. 2002. 축산연구를 위한 통계자료집. 농촌진흥청 축산기술연구소.
2. 대기환경환경법령집. 2003. 환경부.
3. 박상진. 1999. 악취공해저감을 위한 생물학적 유황계 혼합취기물질 제거기술 개발. 환경부.
4. 악취방지법. 2004. 환경부.
5. 최우영. 2004. 축산악취 경감을 위한 친환경적 생물학적 시스템의 개발. 농림부.
6. Classen, J. J., J. S. Young, R. W. Bottcher. and P. W. Westerman. 2001. Design and analysis of a pilot scale biofilteration system for odorous air. Transactions of the ASAE. 43(1):111-118.
7. Garlinski, E. M., and D. D. Mann. 2002. Design and evaluation of a horizontal airflow biofilter on a swine facility. The ASAE Paper No. 034051.
8. Hirai, M., Ohtake, M., and Shoa, M. 1990. Removal kinetics of hydrogen sulfide, methanethiol and dimethyl sulfide by peat biofilter. J. Ferment. Bioeng, 70, 334-339.
9. J. J. Classen, J. S. Young, R. W. Bottcher and P. W. Westerman. 2001. Design and analysis of a pilot scale biofiltration system for odorous air. Transaction of the ASAE Vol 43(1) : 111-118.
10. Martnec. M., E. Hartung, T. Jungbluth, F. Schneider. and P. H. Wieser. 2001. Reduction of gas, ordor and dust emissions from swine operations with biofilter The ASAE paper No. 014075.
11. Midwest Plan Service. 1998. Swine Housing and Equipment Handbook, Fourth edition. MWPS-8. Iowa State University.