

무창 육성 · 비육돈사에서 Biofilter에 의한 악취제어 효과

송준익 · 김태일 · 최희철 · 유용희 · 정종원 · 연구영 · Antonio Barroga · 양창범 · 김두환* · 이진우**
농촌진흥청 축산연구소

Odor Emission Reduction from Enclosed Growing-Finishing Pig House Using Different Biofilter Media

Song, J. I., Kim, T. I., Choi, H. C., Yoo, Y. H., Jeong, J. W., Yeon, K. Y., Antonio Barroga, Yang, C. B., Kim, D. H.* and Lee, J. W.**
National Livestock Research Institute, R. D. A, Suwon 441-350, Korea

Summary

This study was conducted to determine the odor reduction efficiency of a biofilter design using different filter materials.

The summary of results are as follows;

1. The airflow penetration rate of the different filter materials namely; rice straw, woodchips, rice hulls and sawdust were 0.72 m/s, 0.64 m/s, 0.48 m/s and 0.17 m/s, respectively.

2. The elimination of NH₃ gas was fastest in the rice hull at a rate of 4 mg/l followed by sawdust, woodchips and rice straw at 3 mg/l, 3 mg/l and 7 mg/l, respectively.

3. The filter material made of wood chips was able to eliminate the offensive gas known as H₂S at a rate of 2.2 mg/l on the 7th day, 17.6 mg/l on the 21st day but decreased to 10.7 mg/l on the 36th day. In contrast, the filter material composed of sawdust had a continuous increase in the reduction of H₂S at a rate of 12.3 mg/l on the 7th day, 18.3 mg/l on the 21st day and 20.1 mg/l on the 36th day.

The above findings indicated that among the filter materials, sawdust was the most effective in absorbing H₂S. Airflow penetration rate can be related to H₂S odor elimination efficiency as shown by the slowest airflow rate of sawdust which is only 0.17 m/s.

(Key words : Biofilter, 무창돈사, 악취, 가스, 배출)

서 론

축사에서 발생한 악취를 탈취하기 위한 생물학적 여과기(일명 : 바이오필터) 기술은 악취가스를 미생물, 산소, 수분 및 영양물질 등이 충족되

어 있는 충전물질에 통과시켜 물과 CO₂ 등 무해 성분으로 전환시키는 공정으로써 1960년대 후반에 독일의 축사에서 최초로 이용되었고, 1984년에 스웨덴에서 사용되었다(Bohn, 1996). 일반적으로 악취 저감을 위해 사용하는 방법

* 진주산업대학교(Department of Animal Resources Technology, Chinju National University).

** 첨단양돈연구소(Gyeongnam Province Advanced Swine Research Institute).

Corresponding Author : Song, J. I., National Livestock Research Institute, R. D. A, Suwon 441-350, Korea
E-mail : sjunik@rda.go.kr

은 양돈장의 시설 특징에 따라 달라지지만 제어 시점을 기준으로 구분해 보면 악취 원인 물질을 근원적으로 제어하는 방법과 생성된 악취를 감소시키는 방법이 있다(Chastain, 1997). 돈사에서 생성된 악취의 감소 방법으로는 자연배기 혹은 강제배기에 의해 악취원과 대기의 반응속도를 증진시켜 휘발성 악취원을 대기로 급속 배출시키는 물리적 방법, 잠재 악취원부터 악취가 대량으로 발생하지 않도록 미생물 분해 활성을 조절하는 방법, 잠재 악취원에 악취물질을 흡수·흡착 및 고정시키는 물질을 투입하여 발생량을 감소시키는 방법, 발생 악취를 적절한 악취 저감 설비를 이용하여 처리하는 배기가스 처리 방법 등이 있다(류 등, 2004). 그러나 국내 양돈장에서 발생하는 악취 제어를 위한 현장연구 기초자료가 매우 부족한 실정이다. 본 연구는 우리나라에 접목가능한 악취 제어 방법을 모색하고 기계환기식 돈사의 악취 제어 방법에 적합한 제어 방법 개발을 위한 기초자료로 활용할 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험설계

본 실험에 사용된 재료 및 biofilter 여과상은 Fig. 2에서 보는 바와 같으며, 무창 육성·비육 돈사 측벽 배기팬에 부착하여 '04년 7월부터 9월까지 7주간 조사하였다. 바이오필터 주요장치의 모식도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 이때 충전(充填) 물질을 통과하는 악취가스는 확산, 흡착 그리고 생물학적 분해 단계를 거치게 된다. 이러한 특성을 수치로 표현한 것 중의 하나가 헨리상수로써, 악취 물질은 바이오필터를 통과하면서 생물막(biofilm)에 흡착이 되어야 생물학적으로 쉽게 분해될 수 있다. 바이오필터에 의한 효과적인 처리를 위해서 오염 물질의 헨리상수는 최소한 0.01 미만이어야 한다(Webster 등, 1998, Tchobanoglous 등, 1993).

$$C_i = H \times P_i$$

C_i : 확산가스의 농도(kg mol/m³)

H : Herry의 상수((kg mol/atm·m³)

* 이때 H 값은 온도에 따라 변하며, 온도가 높을수록 Herry 상수는 커진다.

P_i : 분압(atm) 이다.

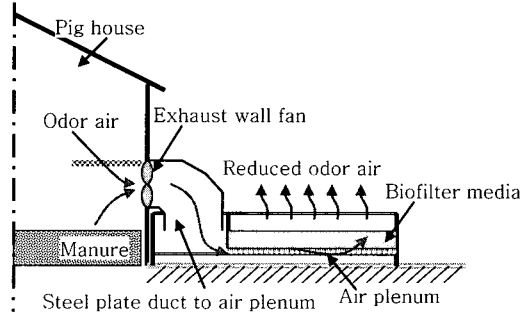


Fig. 1. Schematic diagram for biofilter installation.

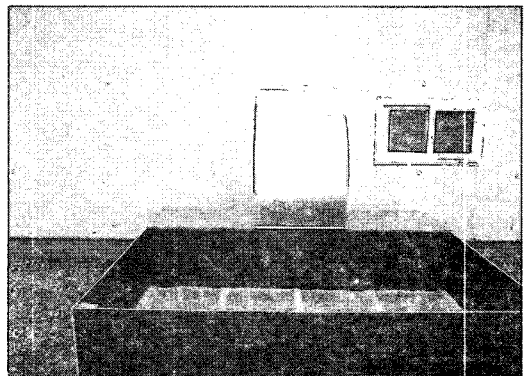
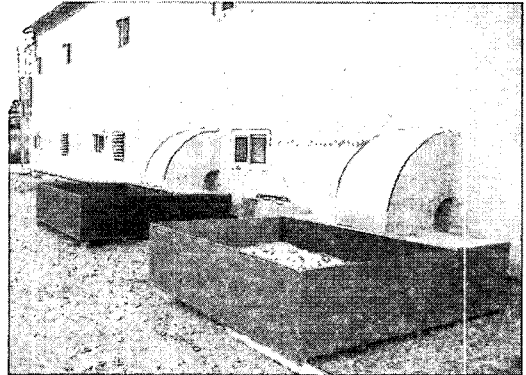


Fig. 2. The biofilter installed on the outside wall of growing-finishing pig house with the different filter media.

시험돈사는 고상식 육성·비육돈사로써 상부 사육공간의 바닥은 전면 콘크리트 슬랏이었으며 하부에 떨어진 분뇨는 돈방 바닥에 살포되어 있는 톱밥 위에 떨어져 자연 발효되도록 하였다. 공기입기는 상부 양쪽 천정슬랏으로 입기되어 하부 분뇨처리장 측벽에 부착된 배기팬으로 배기되도록 하였다< Fig. 3 참조>. 돈사 측벽에 부착된 배기팬 및 바이오필터 여과상 특징은 Table 1과 같다. 필터에 여재는 왕겨, 벼짚, 톱밥 및 우드칩을 사용하였다.

Table 1. Specifications of the biofilter

Item	Specifications	
Air flow capacity (m ³ /h)	7,200	
Exhaust fan size (mm)	630	
Biofilter	Width (mm)	2,000
	Length (mm)	2,400
	Hight (mm)	600
Duct	Size (mm)	730

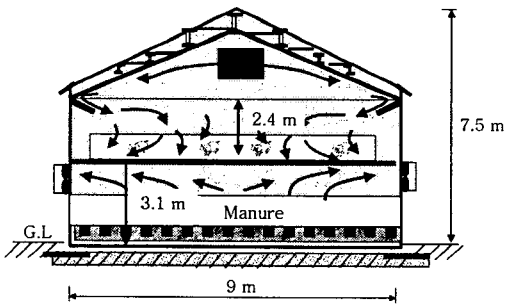


Fig. 3. Schematic diagram of route of airborne contaminants and inflow air.

2. 조사 및 분석방법

돈사 내·외부 온도, 습도, 공기유속, 유해가스 농도(NH₃, CO₂) 조사를 위해 사용한 계측기 모델 및 사양은 Table 2와 같으며, 유해가스 농도(NH₃, CO₂) 조사는 간이적인 방법과 기계적 분석방법을 사용하였으며, 간이 검지방법은 돈사내부 및 바이오필터상의 상부 10cm 지점에서 검지관 양 단면을 절단즉시 검지에 삽입 검지

Table 2. Specifications of measurement instruments

Item	Model	Specification
Air temperature	PXI-NI	64 channels
Dust	Sibata, P-5	0~1,000 mg/m ³
Air velocity	TSI-GB	0~40 m/s
Gas(NH ₃ , CO ₂)	Gastec GV-100	0~30 mg/l 0~1,000 mg/l

기의 공기 흡입기를 뽑아 1분 동안 측정함과 동시에 기계적 분석(G. C.)을 이용한 정밀분석을 위한 샘플채취는 간이 검지방법과 동일한 장소에서 시료를 채취하였다.

가. GC를 이용한 측정 및 분석방법

(1) NH₃ 측정 및 분석

시료의 포집은 Handy sampler를 이용하여 포집하였고, 흡수액은 봉산용액(0.5%) 25ml씩 각각 흡수병에 넣고, 흡입속도는 흡수액의 overflow가 안 일어나는 1.5 l/min로 유지하며, 포집시간은 10분간 실시하였다. NH₃ 분석은 측사시설내 고농도로 인하여 대기공정시험법의 악취편 암모니아 분석의 검출한계 내에 들지 못하여 대기편 배출허용기준시험방법의 암모니아 분석법인 인도페놀법을 사용하여 분석하였다.

(2) 황 계열<H₂S, (CH₃)SH, (CH₃)₂S, (CH₃)₂S₂> 가스포집 및 분석방법

시료의 포집은 시료채취용 백을 이용하여 포집하였다. 시료 채취용 백은 폴리플루오르화비닐 필름제 또는 이것과 동등 이상의 보존성능을 갖는 합성수지 필름제로 내부 부피가 5l~10l 정도의 것을 사용하였다. 이때 감압을 할 수 있도록 밀폐 상자를 사용하였고, 시료의 포집 시간은 10분간 실시하였다. 황 계열 가스 분석은 채취된 현장시료가 들어있는 bag을 저온농축부의 주입구에 연결하였다. 시료를 저온농축 loop에 농축하기 전에 농축관에 연결된

진공펌프를 이용하여 농축관을 진공상태로 만든 후 -196 °C의 액체질소에 담가 저온 상태로 만들었다. 그런 다음 시료용기의 밸브를 열어 40 ml/min으로 7.5분 동안 총 300 ml의 시료를 농축관에 농축시켰다. 이때 2차 농축관인 분리컬럼 선단을 액체질소에 담가 저온 상태를 유지하였다. 1차 농축이 끝난 후, switching valve는 열탈착 위치로 바꾸고, 1차 농축관을 끓는 물에 담가 5분 동안 열탈착 시켰다. 이 과정에서 1차 농축관에 농축한 시료를 열탈착 하여 액체질소에 담겨져 있는 분리컬럼 선단(2차 농축관)에 다시 재농축하였고, 저온 농축한 다음 전환밸브를 분석 위치로 바꾸고 온도 프로그램에 따라 시료를 분리 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 바이오필터 외부 공기속도

바이오필터에 부자재를 충전하여 한여름철 최대 배기시 바이오필터 외부로 배출되는 공기속도를 조사한 결과는 Table 3과 같으며 벧짚

Table 3. Results of Air velocity for biofilter media (unit : m/s)

Items	Air velocity
Rice hulls	0.48
Rice straw	0.72
Sawdust	0.17
Wood chips	0.64

(0.72 m/s), 우드칩(0.64 m/s), 왕겨(0.48 m/s), 톱밥(0.17 m/s) 순으로 측정되었다. 그러나 필터외부에서의 적합하지 않은 공기배출 저항은 돈사의 배기에 역압의 영향을 미치므로 바이오필터를 통과할 때의 공기속도는 초과 수증기압이 없을 때 7×17 cfm(0.5 m/s 전후) 정도가 적당하다고 한(Terry, 2000) 보고로 보아 톱밥은 돈사내부의 공기순환에 영향을 미치는 것이 판단되었다.

2. 악취가스 및 먼지농도

실험기간 동안 초기 5일째 부자재에 따른 가스 및 먼지의 변화는 Table 4에 나타나 있다. 가스검지기(GV-100)에 의한 간이 측정시 암모니아(NH₃) 농도는 벧짚(7 mg/l), 왕겨(4 mg/l), 톱밥(3 mg/l) 및 우드칩(3 mg/l)로 측정되어 부자재 사이의 공극율이 높은 벧짚이 높게 나타났다. 황화수소(H₂S) 측정결과 암모니아와 동일하게 공극율이 높은 벧짚이 1 mg/l로 검출되었으나 나머지 부자재는 검출되지 않았다. 부자재에 따른 필터외부에서의 먼지측정 결과 벧짚(99 mg/m³), 왕겨(53 mg/m³), 톱밥(38 mg/m³) 및 우드칩(41 mg/m³)으로 측정되어 벧짚은 여재 특성상 함유하고 있는 자체 먼지가 벧짚간의 넓은 공극에서 발생하는 먼지 및 돈사내부의 먼지가 혼합되어 필터 외부로 배출되어 돈사내부보다 높게 측정되었다. 이산화탄소의 측정결과 필터 외부에서의 부자재별 변화(380~550 mg/l)는 큰 차이가 없었다.

Table 4. Gas and dust concentration changes after passing biofilter media

Items	NH ₃ , mg/l	H ₂ S, mg/l	Dust, mg/m ³	CO ₂ , mg/l
Indoor pig house	13	4	93	780
Rice hulls	4	N.D.	53	510
Rice straw	7	1	99	550
Sawdust	3	N.D.	38	380
Wood chips	3	N.D.	41	470

* Measured by gas chromatography.

3. G. C.에 의한 악취가스 분석

G. C.를 이용하여 암모니아 악취가스 농도 변화를 측정한 결과 Table 5에 나타내었다. 암모니아 가스농도 변화는 돈사 내부에서는 측정일이 7일(7.6 mg/l), 21일(12.3 mg/l) 및 36일(51.9 mg/l)로 측정되어 기간이 경과함에 따라 돼지에서 배설하는 분뇨량의 증가와 분뇨 자체의 분해에서 생성되는 발효에 의하여 암모니아 가스농도는 아주 많이 증가하는 경향이였다. 그러나 바이오필터의 여재를 거쳐서 배출되는 암모니아 가스 농도는 실험 기간이 경과함에 따라 일률적으로 증가하지 않고 어느 일정 시점을 기준으로 균일하게 배출되는 현상이 나타났다. 특히 우드칩은 7일(2.2 mg/l), 21일(17.6 mg/l)에 암모니아 배출농도가 증가하였다가 36일(10.7 mg/l)에는 감소한 것으로 나타났는데, 이것은 여재 특성상 일정한 돈사의 배기속도 유지 및 미생물이 증식하기 좋은 환경이 형성되어 악취가스를 미생물의 산화분해 과정에 의해 탈취된 것으로 보아 돈사의 암모니아 가스 농도 저감물질로 우수한 것으로 판단되었다.

따라서 미국의 미네소타주와 마찬가지로 Iowa 중에서도 바이오필터를 돈사의 탈취시설로 많이 채택하고 있으며 Iowa 주립대에서 바이오필터 담체로 compost 75%와 wood chip 25%를 혼합한 바이오필터를 사용하여 80~95%의 악취저감 효율을 얻을 수 있다고 보고(ISU, 2003)한 것과 같은 경향을 보였다.

Table 5. Periodic NH₃ concentration changes after biofilter media penetration (Unit : mg/l)

Items	Experiment periods		
	7 days	21 day	36 day
Indoor pig house ¹⁾	7.6	12.3	51.9
Rice hull	2.7	19.2	35.3
Rice straw	4.3	7.5	21.5
Sawdust	1.8	5.5	12.3
Wood chip	2.2	17.6	10.7

* Measured by gas chromatography.

¹⁾ Exhaust gas concentration.

Table 6. Periodic H₂S changes after biofilter media penetration (Unit : mg/l)

Items	Experiment periods		
	7 days	21 day	36 day
Indoor pig house	32.8	52.2	48.8
Rice hull	6.4	5.2	5.7
Rice straw	12.3	18.3	20.1
Sawdust	6.7	12.1	9.9
Wood chip	8.7	4.6	5.2

* Measured by gas chromatography.

G. C.를 이용하여 황화수소 악취가스 농도 변화를 측정한 결과는 Table 6과 같다. 돈사에서 발생하는 악취배출 원인물질로 명확한 물질은 알려져 있지 않지만 대략 복합화합물 중 황(S) 화합물이 주류를 이루기 때문에 황화수소를 분석하였다. 황화수소(H₂S) 가스농도 변화는 돈사 내부에서는 측정일 7일(32.8 mg/l), 21일(52.2 mg/l) 및 36일(48.8 mg/l) 경과함에 따라 어느 일정 시점에서 황화수소 가스농도는 증가하지 않았으나 다른 필터 여재에서는 일정한 경향은 보이지 않았다. 예를 들면 볏짚 같은 경우는 7일(12.3 mg/l), 21일(18.3 mg/l), 36일(20.1 mg/l)에 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 나머지 왕겨, 톱밥 및 우드칩은 돈사 내부와 같은 경향이 나타났다. 이것은 악취물질을 구성하는 C, H, N, S 등의 물질이 미생물에 의해 산화되어 CO₂, H₂O, NO₃, SO₄ 등으로 바뀌어져서 다른 질소계 및 유황계 악취물질과 분해 및 혼합되어 악취가스를 생성함을 유추할 수 있었다.

인 용 문 헌

1. 류희욱, 조경숙, 이태호, 허 목. 2004. 양돈 시설 악취 관리 : III. 악취 제어 기술. 한국냄새환경학회지. 3(1):1-11.
2. Bohn, H. L. 1996. "Biofilter Media", Air Waste Manage. Assoc., 89th Annual Meeting &

- Exhaubition, June 23-28, 96-WP 87A.01.
3. Chastain, J., "Odor control", Agr. Biolog. Eng., Clemson Univ. 1997.
 4. Iowa State University. "Iowa odor control demonstration project". (visited May. 2. 2003). (web:www.ae.iastate.edu/airquality/pubs.html).
 5. Tchbanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. A. 1993. Integrated Solid Waste mangement : Engineering Principles and management Issues, McGraw-Hill Inc.
 6. Terry, L. S. 2000. Bio-filter effectiveness on Ten-Stall Farrowing Building Pet Exhaust a Demostration Project. ISU. ASL-R1785(web:/www.bae.umn.edu/extens/aeu/baeu18.html).
 7. Webster, T. S. and Deviny, J. S. 1998. "Biofiltration" in "Encyclopeda of Environmental Analysis and Remediation" edited by Meyers, R. A., John Wiley & Sons, Inc., Vol. 2, pp. 653-665.