

바이오 필터를 이용한 비육돈사 배기덕트 시설의 악취저감 효과

송준익 · 최홍림* · 최희철 · 권두중 · 유용희 · 전중환

농촌진흥청 축산과학원

Odor Removal Efficiency of Biofilter Ducting Systems in Indoor Pig House

Song, J. I., Choi, H. L.*, Choi, H. C., Kwon, D. J., Yoo, Y. H. and Jeon, J. H.

National Institute of Animal Science, R.D.A.

Summary

Management of odors is essential to swine industry in the Republic of Korea. This study was conducted to evaluate the odor removal efficiency of biofilter ducting systems. Rice straw and auto clave concrete (ALC) were used as filter medium. The ventilation fans (5 units, diameter: 500 mm) at the side wall of a growing pig housing were connected to a biofilter using a duct. The size of a biofilter is 2.5×2×1.2 (W×L×H). The air velocities at the 300 mm above rice straw and ALC were 0.77 and 0.56 m/s, respectively. Ammonia concentration at the outlet of rice straw and ALC media were 2 and 3 ppm, respectively. Dust concentrations were also measured. The dust concentrations of rice straw and ALC were 93, 32 mg/m³, respectively. There was no significant difference between filter mediums in terms of carbon dioxide concentrations (rice straw: 320, ALC: 270 mg/l). The concentration of hydrogen sulfide was stable over the experimentation. The actual concentrations of hydrogen sulfide were 4, 3 and 3 ppm at the days of 7, 21 and 36, respectively. These results suggest that biofilter ducting systems may remove odors from pig house effectively.

(Key words : Pig house, Ventilation system, Enclose, Duct)

서 론

돈사에서 발생하는 악취에 대한 연구는 악취에 대한 민원의 발생이 증가함에 따라 미국을 중심으로 연구되어져 왔다. 적은 압력차를 이용하여 세립먼지를 제거할 수 있으며, 관리가 매우 쉬운 공기역학적 먼지제거기(aerodynamic deduster)를 개발하여 먼지제

거기를 공기순환시스템에 부착한 결과 공기중 먼지의 약 50%를 감소하였다고 보고하였다(Richard Hussey. 1999). 미국 사우스 다코타(South Dakota) 대학의 연구에서 바이오필터(Biofilter)에 의한 악취감소율은 89.5~97.4%로 효과적이었다. 시험결과 지속성의 감소 효과는 77.3%~91.7%로 전체의 평균은 85.0%로 바이오필터는 악취의 강도를 90% 이상

* 서울대 농생명공학부(School of Agricultural Biotechnology Engineering, Seoul National University)
Corresponding author : J. I. Song, National Institute of Animal Science, R.D.A. Suwon 441-350, Korea.
Tel: +82-31-290-1713 E-mail : sjunik@rda.go.kr

감소시킬 뿐만 아니라 악취의 성질을 지속성이 적은 상태로 변화시켜 바이오필터(Biofilter)가 강제환기 돈사의 악취감소에 효과가 있는 것으로 나타났다. (Greg. 2000). 그러나 돈사에서 발생하는 악취물질을 전부 없애는 것은 현실적으로 불가능하며 특히 발생하는 악취물질 자체 외에도 기온, 습도, 풍속, 돈사와 주거지의 위치와 풍향 등 자연환경에 의해서도 악취제거 효율은 영향을 받는다. 악취물질에 대한 물질별 탈취기술은 최근 다양한 연구 및 일반 산업시설에 적용한 여러 가지 보고가 나오고 있다. 따라서 돈사로부터 발생하는 복합취인 악취물질을 동시에 저감시킬 수 있는 방법은 아직 개발되어 있지 않지만 본 실험에서는 현재 적용 가능한 방법으로 제시되고 있는 바이오필터를 배기팬과 연결하여 저감 효과를 구명하였다.

재료 및 방법

1. 실험장소

본 실험은 무창 육성·비육돈사에서 여름철에 실시하였으며, 돈사 현장실험은 서울대학교 농업생명과학대학 부속동물목장 축산환경실의 무창실험돈사에서 실시하였다.

2. 실험설계

본 실험에 사용된 육성·비육돈사는 Fig. 1과 같이 설계·시공하였으며, 제원은 20m(W)×12m(L)로 건축하였고, 무창 육성·비육돈사는 외부의 영향을 적게 주기 위하여 마감을 철저히 하였다. 또한 돈사내 습도유지

는 돈사내부의 습도에 미치는 영향을 최소화시키기 위하여 돈사 측벽에 분무노즐을 부착하였다. 돈방의 크기는 MWPS-8(1988)의 권장값을 기준으로 하여 건축하였으며, 돈군의 크기는 돈방 5.4m×2m의 돈방당 10~11두씩, 총 19돈방에서 완전임의 배치법으로 설계하였다.

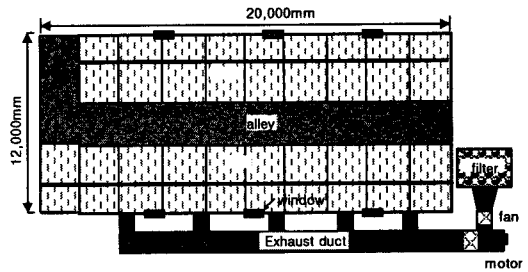


Fig. 1. Plane view of the growing finishing pig house.

가. 환기덕트의 설계

일반적으로 공기 입구(inlet)의 설계는 ① 힌지 배플(hinged baffle), ② 중앙 천장 슬롯 입구(center-ceiling, slotted inlet), ③ 덕트를 따라 일정한 공간을 두고 천공 환기관이나 덕트의 세 가지 형태로 나눌 수 있지만 우리나라의 현장에 적용할 수 있는 무창육성·비육돈사의 환기시스템을 대상으로 겨울철과 여름철로 나누어 설계하였으며 개발된 환기시스템의 효율을 검증하고자 하였다. 각 시스템 별 환기형태는 Table 1, Fig. 2, 3과 같이 여름철, 겨울철을 위한 시스템으로 구분하였고 환기율은 MWPS-8의 사육단계별 추천환기율에 사육두수를 환산하여 최소 1,440 m³/h, 최대 24,000 m³/h를 기준으로 하였으며 환기량의 조절은 온도변화에 따라 자동적으

Table 1. Experimental design for the ventilation system in the growing-finishing pig houses

Ventilation system*	Ventilation type	Inlet	Exhaust
Duct	Negative pressure	Outside planar slot inlet entering wall	Duct exhaust fan in exiting wall

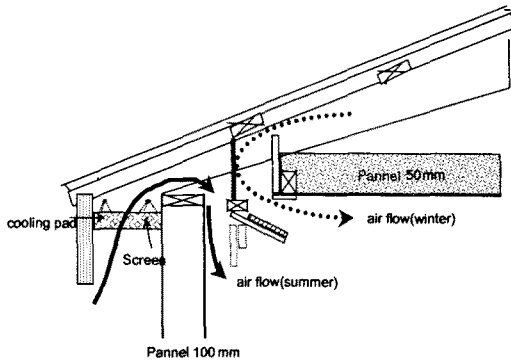


Fig. 2. Continuous duct of the growing-finishing pig house.

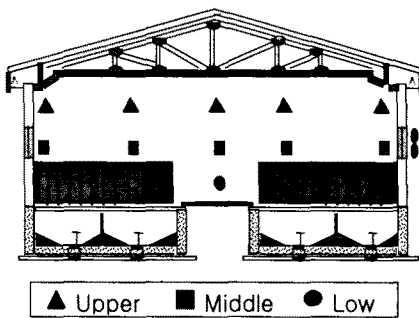


Fig. 3. Measurement locations in the growing-finishing pig house.

로 조절되도록 하였다. 환기는 여름철은 측벽에서 겨울철은 돈사측벽 입기구를 통하여 들어온 공기가 Fig. 3처럼 천정의 배플을 통하여 유입되는 입기시스템으로 하였으며, 배기는 한쪽 측벽의 덕트로 연결된 팬으로 배출하는 음압방식으로 하였다.

예상되는 공기유동은 겨울철은 Fig. 2, 여름철은 Fig. 3과 같이 들어오는 입기구의 차이로 인하여 다음 그림과 같이 돈사내로 유입되어 환기시스템 구성체로는 ① 양측벽의 슬롯 입기구 ② 양측벽 슬롯입기구에 연한 증발냉각시스템 ③ 원형돈사 출구벽 상부의 20 cm × 2,000 cm의 장방형 슬롯입기구 ④ 남측벽의 5개의 창을 통하여 외부에서 연결한 덕트를 통하여 하나의 팬으로 최소 50 m³/hr, 최대 28,800 m³/hr 용량 배기팬으로 구성되어 있다.

본 실험에 공시된 무창돈사의 크기는 12 m (W) × 20 m (L)이며, 육성·비육돈사 내부는 MWPS-8에서 권장하고 있는 사육돈방을 중앙의 복도를 중심으로 좌우에 9~10 돈방씩 총 19개의 돈방을 배치하였다.

나. 바이오필터의 설계

바이오필터의 구조는 가로(2.4 m) × 세로(2.4 m) × 높이(1.5 m)로 구성되었으며 내부 구조는 바닥으로부터 70 cm 지점에 바이오필터 하부 및 바이오필터 상부가 충전될 수 있도록 스틸 철망으로 지지하였다. 이때 바이오필터의 두께는 벧짚은 60 cm 전후였으며 ALC는 30 cm 내외로 하였다. 여재의 악취제거 효율을 높이기 위하여 벧짚은 수분 함량이 낮아 물을 분무하여 30% 전후를 유지시켰으며 ALC의 수분 함량은 25% 전후였다.

3. 실험동물 사육

본 실험에 공시된 육성돈은 자돈기를 거친 삼원교잡종(Landrace × Yorkshire × Duroc)으로 평균체중 27 kg인 육성돈을 돈방당 10~11두씩 19돈방에 200두를 배치하여 체중 110 kg/두(출하시)까지 사육하였다.

4. 실험동물의 사양관리

사료는 시판중인 육성돈사료(D사)를 무제한 급여하였고 급수는 급이기와 같은 공간에 니플을 설치하여 사료섭취시 자유롭게 음수토록 하였으며 분뇨는 슬러리 방식으로 처리하였으며 기타 사양관리는 서울대학교 농업생명과학 대학의 일반관행에 준하여 실시하였다.

5. 조사방법

각 측정방법에 사용된 기기의 모델 및 사양은 Table 2와 같다.

Table 2. Specifications of measurement instrument

Environmental factors	Model	Specification
Temperature	NEC 3500	64 channels
Air speed (recoder)	Kanomax 6242	64 channels
Air speed	Solmat 510e, Kanomax 6112	0~12 m/s, 0~50 m/s
Gas (NH ₃)	Gastec	0~30 mg/ℓ
Dust	Sibata 8000-01	0.001 ~9.999 mg/m ³
Ventilation fan	EMI Φ500	5,580~8,510 m ³ /hour

6. 측정지점

측정지점은 Fig. 3과 같이 각 조사항목의 측정지점은 육성·비육사 내부 좌우돈방 및 중간 통로의 중앙부위의 바닥 70 cm, 중앙 120 cm, 상부 200 cm에서 총 27개소에서 측정하였다.

배출 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 돈사내부의 공기순환에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

결과 및 고찰

1. 바이오필터 공기속도

바이오필터에 부자재를 충전하여 여름철 최대배기시 바이오필터 외부로 배출되는 공기속도를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 벧짚(.0.77 m/s), ALC(0.56 m/s)으로 측정되었다. 그러나 필터외부에서의 적합하지 않은 공기

2. 악취가스 및 먼지농도

실험기간 동안 초기 5일째 부자재에 따른 가스 및 먼지의 변화는 Table 4에 나타나 있다. 가스검지기(GV-100)에 의한 간이측정시 암모니아(NH₃) 농도는 벧짚(2 mg/ℓ), ALC(3 ppm)로 측정되어 부자재 사이의 공극율이 높은 벧짚이 높게 나타났다. 부자재에 따른 필터외부에서의 먼지측정 결과 벧짚(93 mg/m³), ALC(32 mg/m³)으로 측정되어 벧짚은 벧짚 간

Table 3. Results of Air velocity for biofilter media

(unit : m/s)

Items	Indoor Air velocity		
	Upper	Middle	Lower
Outdoor biofilter, 30cm			
Rice straw	0.77	0.22	0.09
ALC*	0.56	0.18	0.09

* Autoclaved Lightweight Concrete

Table 4. Gas and dust concentration changes after passing biofilter media at 5 days after beginning at the experiment

Items	NH ₃ , ppm	H ₂ S, mg/ℓ	Dust, mg/m ³	CO ₂ , mg/ℓ
Indoor pig house	17	5	183	930
Rice straw	3	N.D.	193	320
ALC	2	N.D.	32	270

* Measured by gas chromatography

의 넓은 공간에서 발생하는 먼지 및 돈사내부의 먼지가 혼합되어 필터 외부로 배출되어 돈사내부보다 높게 측정되었다. 이산화탄소의 측정결과 필터외부에서의 부자재별 변화 (270~320 mg/ℓ)는 큰 차이가 없었다.

Gastec을 이용하여 암모니아 악취가스 농도변화를 측정한 결과 Table 5에 나타내었다. 암모니아 가스농도 변화는 돈사내부에서는 측정일이 7일(12 ppm), 21일(17 ppm) 및 36일(19 ppm)로 측정되어 기간이 경과함에 따라 암모니아 가스농도는 아주 많이 증가하는 경향이였다. 그러나 바이오필터의 여재를 거쳐서 배출되는 암모니아 가스 농도는 실험기간이 경과함에 따라 일률적으로 증가하지 않고 어느 일정시점을 기준으로 균일하게 배출되는 현상이 나타났다. 특히 볏짚과 ALC는 7일(3(2) ppm), 21일(3(2.5) ppm) 및 36일(3.5(3.0 ppm)을 유지한 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 가스농도 저감물질로 우수한 것으로 판단

되었다.

따라서 미국의 미네소타주와 마찬가지로 Iowa주에서도 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.

Gastec을 이용하여 황화수소 악취가스 농도변화를 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 돈사내부에서는 측정일 7일(6 ppm), 21일(5 ppm) 및 36일(7 ppm) 경과함에 따라 어느 일정 시점에서 황화수소 가스농도는 증가하지 않았으나 다른 필터여재에서는 일정한 경향은 보이지 않았다. 예를 들면 볏짚과 ALC의 경우는 7, 21일 및 36일(2(1), 2(1), 2(1) ppm)에도 지속적으로 유지하는 경향을 보였다.

Table 5. Changes of NH₃ concentration after biofilter media penetration

(Unit : mg/ℓ)

Items	Experiment periods		
	7 days	21 day	36 day
Indoor pig house	12	17	19
Rice straw	3	3	3.5
ALC	2	2.5	3.0

* Measured by gas chromatography

Table 6. Changes of H₂S concentration after biofilter media penetration

(Unit : mg/ℓ)

Items	Experiment periods		
	7 days	21 day	36 day
Indoor pig house	6	5	7
Rice straw	2 ▼	2 ▼	2 ▼
ALC	1 ▼	1 ▼	1 ▼

* ▼ : 검지수 이하

적 요

무창 육성·비육돈사에 대한 악취 제어 효율 비교분석을 위하여 Biofilter 덕트에 의한 악취 제어 연구를 수행하였다. 본 실험은 서울대 부속목장 실험돈사에서 실시하였으며 실험결과는 다음과 같다.

1. 무창 육성비육돈사에서 여름철 최대 배기시 바이오필터 외부로 배출되는 공기속도는 벧짚(.0.77 m/s), ALC(0.56 m/s)으로 측정되었다.

2. 실험시작 5일 후 가스검지기(GV-100)에 의한 간이측정시 암모니아(NH₃) 농도는 필터 통과 후 벧짚(2 mg/ℓ), ALC(3 ppm)로 측정되어 부자재 사이의 공극율이 높은 벧짚이 높게 나타났다. 부자재에 따른 필터외부에서의 먼지측정 결과 벧짚(93 mg/m³), ALC(32 mg/m³)으로 측정되어 벧짚은 벧짚 간의 넓은 공극에서 발생하는 먼지 및 돈사내부의 먼지가 혼합되어 필터 외부로 배출되어 돈사내부보다 높게 측정되었다.

3. 황화수소(H₂S) 가스농도 변화는 돈사내부에서는 측정일 7일(6 ppm), 21일(5 ppm) 및 36일(7 ppm) 경과함에 따라 어느 일정 시점에서 황화수소 가스농도는 증가하지 않았으나 다른 필터여재에서는 일정한 경향은 보이지 않았다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때 무창 육성비육·돈사에서 Biofilter를 이용한 악취저감 효과를 확인할 수 있었다.

인 용 문 헌

1. Esmay, Merle. L. 1987. Principles of Animal Environment. AVI Publishing company, Inc.
2. Goodband, R. D., Tokach, M. D. and Nessen, J. L. 1993. Vision 2000 : Business and economic factors nessary for a successful swine enterprise. Advances in

- Pork Production. 4 : 123.
3. Gvaryahu, G., Cunningham, D. L. and VAn Tienhoven, A. 1989. Filial imprinting, environmental enrechment and music application effects on behaviour and performance of meat-strain chickens. Poultry Science. 68. 211-217.
4. Jones, R. B., Harvey, S., Hughes, B. O. and Chadwick, A. 1980. Growth and the plasma concentrations of growth hormone and production in chicks : Effects of environmental enrichment, sex and strain. British Poultry Science. 21. 457-462.
5. Kaul, P., Maltry, W., Muller, H. J. and Winter, V. 1975. Scientific-Technical Principles for the Control of Environment in Livestock Houses and Stores. Translation Number 430. National Institute of Agricultural Engeering. Silsoe. 47pp
6. Randall. J. M. 1975. The prodiction of airflow patterns in livestock buildings. Journal of Agricultural Engineering Research. 20. 199-215.
7. Reece RN, Lott BD. 1982. Mathematical model of broiler houses. Livestock Environment II(Proceedings 2nd International Livestock Environment Symposium). 193.
8. Wathes, C. M., Howard, K., Jones, C. D. R. and Webster, A. J. F. 1983. Ventilation, air hygiene and animal health. Veterinary Record 113. 554-559.
9. Whitehead, C. C. 1992. Bone Biology and Skeletal Disorders in Pathology. Butterworth Heinemann, London.
10. 장동일. 1994. 육계 사육시설의 적정 환기시스템 설계 연구. 한국가금학회지. 21 (3):207- 217.
11. 최희철, 서옥석, 이덕수, 한정대, 강보석, 이상진, 김상호. 1999. 육계의 계사 형태와 시설수준이 사육환경과 생산성에 미치는 영향. 축산시설환경학회지. 5(2):87-92.