한국농업기계학회 2005 동계 학술대회 논문집 pp.42-46

옥수수강을 이용한 양돈슬러리 발생 암모니아 탈취성능

Ammonia Removal Performance of the Corncob Emitted from Growing-finishing Pig Slurry

이성현* 조한근** 김경원* 이인복* 최광재* 오권영* 유병기*
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
S.H. Lee H.K. Cho I.B. Lee K.W. Kim K.J. Choi K.Y. Oh B.K. Yu

1. 서 론

돈사에서 발생하는 악취 가스는 인체에 유해하고 대기 또는 환경오염을 일으키는 동시에 불쾌감이나 혐오감을 유발시켜 이의 제거에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 대기오염 방지를 위한 악취가스의 처리는 응축처리, 세정처리, 소각처리, 촉매산화법, 흡착법, 바이오필터 및 바이오 살수여상법 등의 생물학적 산화처리 방법 등이 있다. 축사로부터 발생하는 악취를 제거하기 위해 물리·화학적인 방법이 적용될 수 있으나 이러한 방법은 환경오염의 잠재성 때문에 거의 이용되지 않는다. 바이오필터 시스템은 그 구조가 간단하고, 비용이 저렴하여 일반 산업에서 많이 이용되어 왔으나 축산시설에서의 이용에 관한 연구는 환경보전형 축산, 쾌적한 삶의 추구 등이 요구됨에 따라 최근 각광을 받고 있는 기술이다. Zeisig(1987)는 바이오필터를 이용하여 효율적으로 악취를 제거하기 위한 빈 베드 접촉시간(EBCT)을 돼지의 경우 5초, 닭은 3초로 보고하였다. Hartung(1997, 2001) 등은 낙농과 양돈의 경우 적합한 탈취를 위한 EBCT를 5초, 재료의 충전 깊이를 15~30㎝로 권장하였다. 축산시설에서의 악취탈취를 위한 EBCT를 미네소타 대학의 Janni 등은 5초, 미시간 대학의 Von Bernuth(1999) 등은 10초를 제안하였다. Pearson(1990)은 돈사와 육계사의 탈취를 위해 20초의 EBCT를 사용하였으며 Wright(1989)는 10초에서 60초 사이의 시간을 사용하였다. 박상진(2004)은 축분처리장의 악취를 대상으로 EBCT를 7.2초로 하여 시험한 결과 악취제거효율을 95~98% 얻었다고 보고하였다. 차진명(2003) 등은 섬유상 바이오필터를 이용하여 고농도의 톨루엔, 황화수소 등 혼합물 제거를 위해 EBCT를 60~10초로 했을 때 100% 탈취효율을 보였으며, 8초에서 97.8%, 5초에서 90%의 제거효율을 보였다고 보고하였다.

본 연구에서는 양돈시설에서 발생하는 악취를 탈취하기 위한 기초기술 개발로 양돈슬러리에서 발생하는 악취가스를 대상으로 버섯재배 농가에서 배지재조용 재료로 많이 사용하고 있는 옥수수강을 이용하여 양돈슬러리에서 발생하는 악취가스의 탈취효율을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

(1) 공시재료

시험에 사용한 악취제거 재료인 옥수수강은 현재 버섯재배 농가에서 버섯재배를 위한 배지 재료를 많이 사용되고 있는 것으로 국내생산량이 적어 대부분 중국 등으로부터 수입된 재료를 사용한다. 본 시험에 사용된 옥수수강은 버섯재배 농가에서 구입하여 사용을 하였고, 재료의

* 농촌진흥청 농업공학연구소 농업시설공학연구실 ** 충북대학교 농업생명환경대학 바이오시스템공학과

함수율은 KSM-7086 시험방법인 105℃ 24시간 공기오븐법을 이용하여 분석하였다.

(2) 탈취재료의 공극률

탈취재료의 공극률은 재료의 전체부피에 대한 공극의 부피의 비율을 말하며 식 (1)을 이용하여 구하였다. 식에서 P는 공극률, V는 공극을 포함한 재료의 전체부피, V_t는 고체부분만의 부피, V_v는 공극의 부피이다. 탈취재료를 선정하는 데는 재료의 공극률과 산물밀도, 통기저항 등을 고려하여 동력이 적게 소요되면서도 소기의 목적을 달성할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

$$P(\%) = \frac{V - V_t}{V} \times 100 = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad \cdots\cdots(1)$$

(3) 탈취재료의 입도분석

탈취재료의 입도분석은 농업과학기술 연구조사분석기준의 표준체분석법을 이용하였다. 재료의 입도를 분석하기 위하여 재료를 건조오븐에 넣어 중량의 변화가 없을 때까지 건조한 후 입도를 분석하였으며, 입도분석을 위하여 체의 눈금 크기가 5.6㎜, 4.75㎜, 4.00㎜, 3.35㎜, 2.00㎜, 1.19㎜인 것을 사용하였다. 분석은 체를 크기별로 쌓은 후 맨 위에 100g의 재료를 얹어 놓고 체가름기계(Ro-Tap)를 10분간 가동한 후 전체 무게에 대한 각체별 무게 비를 구하여 입도분석을 하였다.

(4) 탈취재료의 통기저항

아무리 우수한 탈취재료라 하더라도 악취를 탈취재료에 송풍했을 때 악취가스가 재료를 통과하는 저항이 크면 그만큼 동력소요가 많아지게 되어 이용할 수 없다. 따라서 탈취효과도 좋고 통기저항도 작은 재료의 선택은 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 탈취재료의 통기저항을 측정하기 위하여 그림 1과 같은 시험장치를 제작하였다. 탈취재료에 공급되는 공기의 풍량은 속도조절기를 이용하여 송풍기의 회전수를 조절함으로써 탈취재료에 일정한 양의 공기가 공급되도록 하였다. 악취가스가 탈취재료를 통과하는데 걸리는 시간 즉 체류시간은 탈취재료의 용적을 공급 악취량으로 나눈 값(빈 베드 접촉시간, Empty Bed Contact Time)으로 표현되며 식 (2)와 같다.

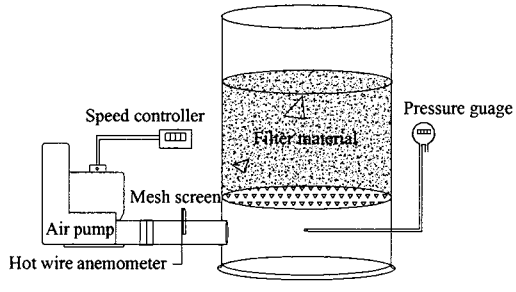

Fig. 1. Schematic diagram of the measurement system for the air flow resistance.

$$EBCT = \frac{V_m}{V_a} \quad \cdots\cdots(2)$$

여기서, $EBCT$(Empty Bed Contact Time)는 빈 베드 접촉시간(s), V_m은 탈취재료의 용적(㎥), V_a는 탈취재료에 공급되는 악취량(㎥/s)이다.

(5) 탈취시험 장치

악취제거를 위한 충전재료의 종류에 따라 양돈 슬러리에서 발생하는 악취의 탈취효율을 규명하기 그림 2와 같은 Pilot-scale의 시험 장치를 설계 제작하였다. 시험장치는 악취가스를 공급하는 송풍기, 송풍기의 회전수를 조절하여 탈취재료에 공급되는 송풍량을 조절하기 위한 인버터, 탈취재료의 통기저항을 측정하기 위한 압력게이지, 악취가스를 측정하는 센서로 구성하였다. 탈취재료의 충전깊이는 30㎝로 하였다.

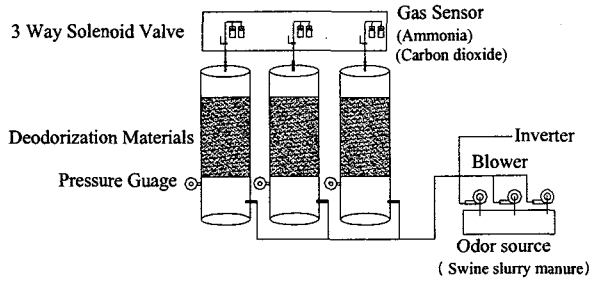

Fig. 2. A schematic diagram of reducing system for odor gases generated in swine production facilities.

(6) 탈취시험 방법

탈취장치는 내경이 38㎝인 PVC 원통을 이용하였다. 원통의 아래쪽은 완전히 밀폐를 시켰고 악취가스는 원통의 아래쪽 옆에서 유입되도록 하였다. 재료는 원통에 30㎝ 깊이로 충전을 하였다. 충전된 재료의 전체부피는 34,000㎤ 이었다. 탈취재료는 사용 전에 물속에 침수시켜 재료에 물이 충분히 흡수되도록 한 후 메시 스크린 위에 올려놓고 중력수가 모두 빠진 것을 확인한 후 시험장치에 충전하였다. 탈취재료에 공급되는 악취가스는 악취 발생조에 PVC 덕트를 연결하고 블로워(Blower)를 통해 탈취재료로 공급되도록 하였다. 악취가스가 탈취재료를 거쳐 외부로 배출되는 시간, 즉 빈베드접촉시간(EBCT)은 5초, 7초, 9초로 하였다. 또한 탈취재료의 수분함량이 40~60% 범위를 유지하며 시스템이 가동되도록 하루에 한번 1ℓ 내외의 물을 탈취시험장치내 재료의 상부에 가수를 하였다.

3. 결과 및 고찰

(1) 공시재료의 물리적 특성

옥수수강을 105℃ 24시간 공기오븐법으로 건조하여 산물밀도를 측정한 결과 옥수수강 0.328g/㎤으로 나타났다. 옥수수강은 유통을 위해 보통 건조된 상태로 공급이 되기 때문에 옥수수강을 탈취재료로 사용하기 위해서는 가수를 하여 적정수분 함량으로 알려진 40-60% 유지해 주어야 하나 현장에서 수분함량을 적합하게 조절하는 것이 어렵다. 따라서 경험적으로 탈취재료를 손으로 꽉 쥐었을 때 손에 수분이 촉촉이 배어나올 정도로 수분을 공급한 다음 사용하면 적절한 수분상태라고 할 수 있다. 재료의 공극율은 81.5%로 나타났다.

(2) 탈취재료의 입도분포

그림 3은 시험재료의 입도분포를 나타낸 것이다. 시험재료의 입도분포는 2.00~3.35㎜ 사이의 크기가 50.81%, 3.35~4.00㎜ 사이의 크기가 24.86%로 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 그림 4는 시험에 사용한 옥수수강의 모습을 보여준 사진이다.

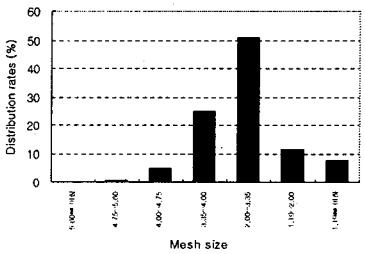

Fig. 3. The distribution rates of the bed material by size.

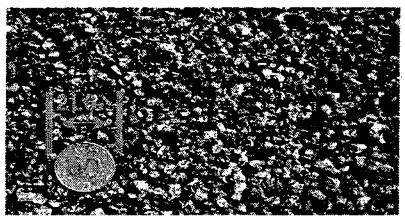

Fig. 4. The picture of the corncob

(3) 탈취재료의 충전 높이에 따른 통기저항

그림 5는 재료의 충전깊이를 30㎝, 50㎝, 70㎝로 했을 때 재료의 EBCT 변화에 따른 통기저항을 나타낸 것이다. 탈취재료의 통기저항은 먼저 재료의 충전 높이를 일정하게 한 다음 EBCT를 조절하면서 측정을 하였다. 탈취재료로 사용하고자 하는 재료를 물에 침수를 하여 메시 스크린위에 건져 올린 후 재료속의 중력수를 모두 제거시키고 사용하였다. 시험시 재료의 수분함수율은 49.0%이었다. 그림에서 볼 수 있듯이 EBCT가 늘어나면 통기저항이 작은 것으로 나타났으며 EBCT가 짧아지면 통기저항이 크게 걸리는 것으로 나타났다. 빈 베드 접촉시간이 5초 이하로 짧아지면 통기저항이 급격히 커지는 것으로 나타났다.

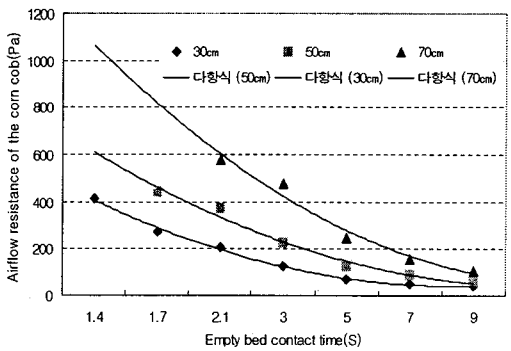

Fig. 5. Air flow resistance of the bed materials for the various empty bed contact time at the medium bed depth of 30㎝, 50㎝ and 70㎝.

(4) EBCT변화에 따른 탈취효과

그림 6은 EBCT를 각각 5초, 7초, 9초로 했을 때의 암모니아가스에 대한 옥수수강의 탈취효율을 나타낸 것이다. 탈취재료에 공급되는 악취가스 중의 암모니아 가스농도는 시험기간 동안 평균 8.7ppm이었고, 일평균 4.5ppm에서 14.5ppm까지 변화하였다. 탈취재료를 통과하여 외기로 배출되는 암모니아 가스농도는 빈 베드 접촉시간이 5초, 7초, 9초일 때 각각 평균 2.4±0.9ppm, 0.9±0.9ppm, 1.0±0.6ppm이었다. 탈취재료를 통과하고 외기로 배출되는 암모니아 가스 농도변화는 빈 베드 접촉시간에 따라 일평균 0~5.1ppm, 0~2.5ppm, 0~2.3ppm이었다. 옥수수강을 탈취재료로 사용했을 때 탈취효율은 빈 베드접촉시간이 5초, 7초, 9초일 때 각각 70.8%(21.6~100%), 98.9%(97~100%), 99.0%(97.6~100%)로 나타났다. 또한 악취가스가 탈취재료를 통과하면서 걸리는 통기저항은 시험 시작시와 시험 종료시 변함이 없이 일정한 것으로 나타났다.

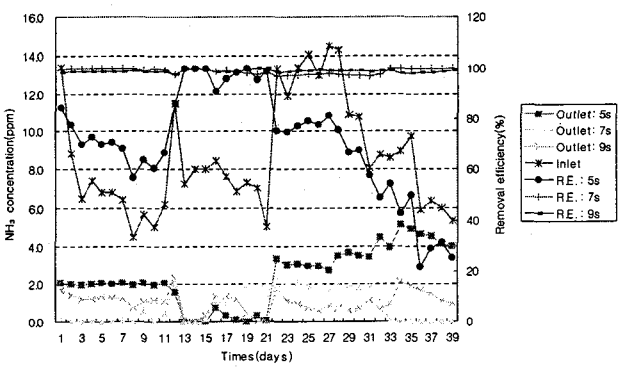

Fig. 6. The variation of ammonia concentration at inlet and outlet, and the removal efficiency of the corncob materials in various empty bed contact time.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 양돈시설에서 발생하는 악취를 탈취하기 위하여 버섯재배 농가에서 배지재조용 재료로 많이 사용하고 있는 옥수수강을 이용하여 양돈슬러리에서 발생하는 악취가스의 탈취효율을 분석하기 위하여 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 탈취재료를 효율적으로 사용하기 위하여 재료의 충전높이별 함수율별 통기저항을 측정한 결과 동일 재료의 경우 충전높이가 높아지면 악취가스의 통기저항이 많이 걸리는 것으로 나타났다.

나. 악취가스 탈취를 위해서는 수분함수율이 40~60%가 일반적인 것으로 제시되고 있으나 현장에서 수분함수율을 적절하게 조절하는 것은 쉽지 않다. 시험수행 과정중의 경험으로 볼 때 탈취재료를 손으로 꽉 쥐었을 때 수분이 촉촉이 배여 나올 정도로 가수를 하여 사용하면 적절할 것으로 판단되었다.

다. 육성·비육돈의 슬러리에서 발생하는 악취가스를 대상으로 시험한 결과 빈 베드 접촉시간 7초 이상에서는 평균 탈취효율이 98.9%(97~100%)로 매우 우수한 것으로 나타났다.

라. 축사와 같이 저 농도로 대량 발생하는 악취 탈취를 위한 시스템은 빈 베드 접촉시간과 재료의 통기저항 등을 고려한 시스템 설계가 이루어 져야 할 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

1. Hartung, E., T. Jungbluth, and W. Buscher. 2001. Reduction of ammonia and odor emission from a piggery with biofilters. Transactions of the ASAE 44(1): 113-118.
2. Pearson, C.C. 1990. A cost-effective biofilter for odour reduction in livestock buildings. Farm Buildings Development Centre, ADAS Bridgets Coley Park, Reading RG16DE, UK.
3. von Bernuth, R.D., K. Vallieu, and H. Xin. 1999. Experiences with a biofilter on a slatted floor hog barn. A 1999 ASAE meeting, Paper No. 994148.
4. Wright, R. 1989. Biofiltration in odour control. Investigation of air pollution standing conference, Paper IAPSC 7/3, London, England.
5. 박상진. 2004. 악취 및 VOCs 제거를 위한 G-7 Biofilter의 개발 및 실용화사례소개. http://myhome.hanafos.com/down1/75/68/18/01/1/sp1.htm.
6. 차진명, 신광섭, 최광재, 최영채, 정성록, 최환석, 장정균, 장영선, 박주영, 김유경, 김태원. 2003. 섬유상 바이오필터를 이용한 VOCs 혼합물 제거기술 개발. (주)환경과 생명.