

## 악취 발산감소를 위한 필터의 이용 효과

김원영 · 정광화 · 노진식 · 김원호 · 전병수 · 류호현 · 전영륜

축산기술연구소

## Effect of Biofilter on Reducing Malodor Emission

Kim W. Y., Jeong K. H., No J. S., Kim W. H., Jeon B. S.,

Ryu H. H. and Jeon Y. R.

National Livestock Research Institute, Chunbug 590-830, Korea

### Summary

Controlling malodor originating from livestock feces has become a major issue, due to its influence on the health of man and livestock, together with its influences on atmospheric pollution. In this study, Five types of biofilters filled with saw-dust, night soil, fermented compost, leaf mold and a mixture(a compound of night soil, fermented compost and leaf mold at the same rates, respectively) were manufactured and tested. To study the effect of the biofilter on reducing malodor in a composting facility and swine building, a pilot scale composting facility enclosed with polyethylene film was constructed. Swine feces was composted in the facility and malodorous gas generated from the decomposition of organic matter in the feces was gathered by vacuum pump. Each biofilter achieved 87~96% NH<sub>3</sub> removal efficiency. This performance was maintained throughout 10 days of operation. The highest NH<sub>3</sub> removal efficiency was achieved by leaf mold on the first day of operation period. It reduced the concentration of NH<sub>3</sub> by about 96%. Night soil and fermented compost showed nearly equal performance of 93 to 94% for 10 days from the beginning of operation. The mixture achieved the lowest NH<sub>3</sub> removal efficiency. It reduced NH<sub>3</sub> concentration by about 89~94% for 10 days from the beginning of operation. However NH<sub>3</sub> removal efficiency of each biofilter declined with the passage of operational time. After 30 days from the beginning of operation, NH<sub>3</sub> removal efficiency of each biofilter was below 60%, respectively. The concentration of H<sub>2</sub>S and CH<sub>3</sub>-SH originating from compost were equal to or less than 5mg/l and 3mg/l, respectively. After passing throughout the biofilter, the concentration of H<sub>2</sub>S and CH<sub>3</sub>-SH were not detected.

(Key words: Biofilter, Malodor, Composting, Swine feces, Ammonia)

### 서 론

가축분뇨로 인한 환경오염이 사회적 관심사로 대두되면서 환경친화적 축산경영의 필요성이 강하게 요구되어지고 있다. 지금까지는 가

축분뇨가 오염원으로서 토양과 수질에 미치는 영향에 관심의 초점이 맞추어져 왔으나, 축사 시설 및 퇴비사에서 발생하는 휘발성 유기탄소를 비롯한 각종 가스 또한 향후 많은 연구검토가 이루어져야 할 문제를 안고 있는 분야이다.

냄새발생 물질로 인한 악취는 다양한 민원을 야기시킬 우려가 있고, 대기오염의 원인물질로도 작용할 수 있기 때문에 적절한 처리방법을 이용하여 악취가스 방출을 줄여야 할 필요가 있다. 지구상에는 약 200만 종의 화합물질이 있는데 이 중에서 냄새를 발생시킬 수 있는 물질은 약 40만여 종으로 추정된다. 축사 및 퇴비장에서 발생하는 악취 물질은 가축의 호흡기 질병을 비롯한 각종 질환을 야기하여 가축의 생산성을 저하시키고 특히 어린 가축에 더 많은 피해가 우려된다. Cole D. J. A. 등(1996)은 체중 37~90kg 사이의 비육돈을 50mg/l 농도의 암모니아 가스에 1일 20분씩 노출시킨 결과, 5 mg/l의 농도에 노출시킨 대조구에 비해 약 8.1% 정도의 일당 증체량 손실이 있었고, 폐렴 등의 질병에 대한 저항성도 낮아진다고 보고하였다. 발생한 악취는 인근 주민들의 생활환경에도 영향을 미치기 때문에 축사나 퇴비사의 신축시 주민의 반대로 인한 어려움을 초래하기도 한다. 악취가스를 제거하기 위해 활성탄을 사용하여 냄새를 흡착시키거나 화학적 중화방법을 이용하기도 하나, 이러한 방법들은 원료가 격의 부담이 크고 악취 제거과정에서 2차 오염물질 생성가능성의 문제점이 있다(박 등, 1993). 악취물질 제거방법으로 박테리아와 다공성 세라믹을 이용한 방법 등이 사용되었고, 국외에서도 토양탈취상을 이용한 악취 제어방법 등과 같은 악취관련 보고가 활발히 이루어지고 있다(Todd O. Williams 등, 1995). Bio-filter를 이용한 악취 제거방법은 운전이 간단하고 운영비용이 저렴하며 다양한 화합물을 동시에 처리할 수 있다는 이점이 있으므로 이 방법의 운영효율을 높일 수 있는 연구가 이루어져야 할 필요가 있다. 본 시험에서는 주변에서 쉽게 구할 수 있고 경제적 부담이 적은 재료인 부엽토와 분변토(지렁이 분변) 그리고 부숙퇴비(활엽수피 이용 부숙퇴비)를 이용한 Bio-filter를 제작하여 돈분 퇴비장에서 발생하는 악취가스를 필터에 통과시킨 후 악취물질 농도의 감소

정도를 비교 연구하였다.

### 재료 및 방법

Bio-filter 충전용 재료로서는 톱밥, 분변토, 부숙퇴비, 부엽토 그리고 퇴비와 분변토와 부엽토를 각각 1:1:1로 충전한 혼합구 등 5가지 처리구를 설정하였다.

처리구에 대한 내역은 표 1과 같다.

Table 1. Filling materials of biofilter used in this Experiment

Item	Treatment
T1	Sawdust
T2	Night soil
T3	Fermented compost
T4	Leaf mold
T5	Mixture

\* T5 : Mixture of Night soil, Fermented compost and Leaf mold.

각 처리구의 필터 충전재료는 혼합구인 T5를 제외하고는 모두 단일성분으로 충전하였고, 충전재료의 수분 함량을 50% 내외로 조절하였다. 바이오필터는 용적 9,000cm<sup>3</sup> (0.3m × 0.2m × 0.15m)의 용기에 표 1에 기술된 처리구별 재료를 균일하게 충전하여 제작하였다. 악취가스 발생원으로서 습윤돈분 700kg을 용적 9m<sup>3</sup>(2.0m × 3.0m × 1.5m)의 밀폐된 비닐하우스 내에 퇴적하고, 이 퇴적단의 수분 함량을 65% 내외로 조절한 후 발효를 실시하였다. 이 때 발생하는 악취가스를 36l/min 용량의 진공펌프로 흡입하여 Bio-filter를 통과시킨 후의 악취가스 농도를 가스 검지키트(Gastec)로 측정하여, 필터 통과전의 가스농도와 대비하는 방법으로 바이오필터에 의한 가스농도의 감소정도를 판정하였다. 가스 측정은 타이머를 설치하여 6시간 간격으로 1일 4회 실시하였다. 시험시설의 개략도는 그림 1과 같다.

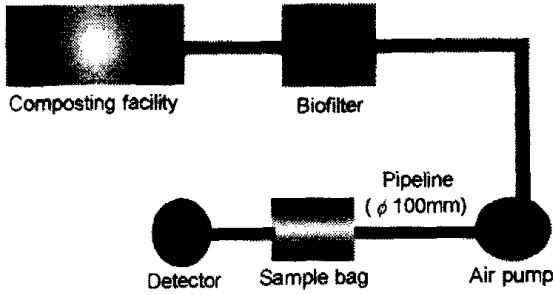


Fig. 1. The scheme of the experimental facility.

결과 및 고찰

1. 가스발생원에서의 악취 가스 농도

용적 9m<sup>3</sup>(2.0 × 3.0 × 1.5m)의 가스 발생원에서의 필터 통과전 가스 발생량을 측정한 결과는 표 2와 같다.

Table 2. Concentration of malodorous gas generated from composting facility

Substance	Mass Concentration (mg/ℓ)
Ammonia	300.0 ± 43.3
Hydrogen Sulfide	5.0 ± 1.2
Methyl Mercaptan	3.0 ± 0.6

퇴비장내에서의 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 농도는 발효온도가 상승함에 따라 점차 증가하는 양상을 보이다가 퇴비단의 온도가 60℃에 달했을 때 300ppm으로 최고 발생량을 나타낸 후 퇴비단

의 온도가 하강함에 따라 발생농도는 점차 감소하는 결과를 보였다. 이 결과는 윤 등(1992)이 보고한 암모니아가 3일째 가장 높은 농도를 나타낸 후 서서히 증감하다 12일째 이후 감소하였다는 내용과 비슷한 경향으로 판단할 수 있다. 본 시험에서 퇴비단의 온도에 따른 암모니아 발생량 측정결과는 표 3과 같다.

이러한 결과는 돈분 중의 질소가 암모니아 가스로 탈기되는데 있어서 높은 온도와 높은 pH가 암모니아 탈기의 교호 촉매역활을 하는데 기인한 것으로 판단되며, 이 사실은 Dewse 등 (1995)이 보고한 퇴비단의 온도가 높아질수록 암모니아 탈기율이 높아진다는 내용과 비슷한 결과를 보였다. 반면에 황화수소(H<sub>2</sub>S)는 40℃에서 5.0ppm, 메틸-멜캅탄(CH<sub>3</sub>-SH)은 30℃에서 3.0ppm으로 비교적 낮은 온도에서 최고 농도를 보였다. 이 두 가지 가스는 중온대를 유지하는 혐기적 발효에 의한 유기물의 분해산물인 관계로 중온, 혐기발효 조건에서 최고 농도를 보인 것으로 판단된다. 본 시험에서도 퇴비단이 본격적인 호기발효에 의해 유기물 분해가 활발하게 이루어지고, 발효온도가 올라가기 시작하면서 황화수소와 메틸-멜캅탄은 발생되지 않았다. 황화수소는 가축과 작업자 모두의 건강을 위협하는 가스로서 15mg/ℓ 이상의 농도에 노출되는 것을 예방하여야 한다(Ontario Ministry of Labour, 1980). 200mg/ℓ 정도의 농

Table 3. Changes of NH<sub>3</sub> concentration with temperature of compost

Item	Temperature (°C)				
	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
NH <sub>3</sub> (mg/ℓ)	30 ± 5.5	60 ± 12.4	120 ± 32.7	300 ± 43.3	280 ± 34.2

Table 4. Changes of H<sub>2</sub>S and CH<sub>3</sub>-SH concentration during composting time

Item	Time (Hour)				
	1 Hour	3 Hour	6 Hour	12 Hour	24 Hour
H <sub>2</sub> S (mg/ℓ)	2 ± 0.4	5 ± 1.2	3 ± 0.5	ND*	ND*
CH <sub>3</sub> -SH (mg/ℓ)	3 ± 0.6	2 ± 0.6	1 ± 0.4	ND*	ND*

\* ND : Not Detectable

도에 노출되면 인축에 치사량이 된다(Skarp, 1975). 본 시험에서 퇴비단의 황화수소와 메틸-멜캅탄의 발생내역을 표 4에 기술하였다.

## 2. Biofilter별 가스 제거효과

### 가. 암모니아 제거효과

필터의 종류에 따라 약간의 차이는 있으나 각각의 필터 모두 사용기간이 경과함에 따라 가스 제거효율은 감소하였다. 필터의 사용기간 경과에 따른 암모니아의 제거효율 변화를 그림 2에 도시하였다.

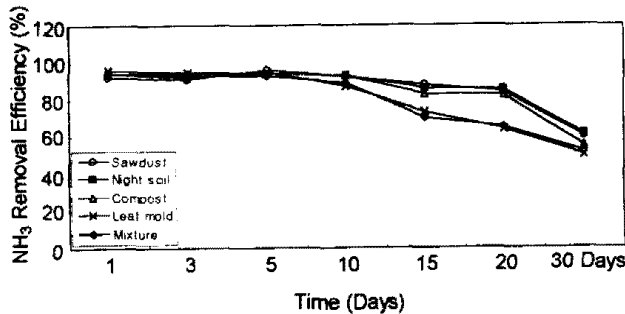


Fig 2. Changes of NH<sub>3</sub> Removal Efficiency by Each Biofilter During Operation Period.

각 필터별 암모니아 제거효율은 최초 5일간은 큰 차이를 보이지 않았으나 10일이 경과한 후 부터는 제거 효율이 낮아지기 시작하여 30일 이후에는 50% 내외로 제거효율이 급격히 낮아지는 결과를 보였다. Tood O. Williams 등(1995)은 Biofilter의 처리효율이 나빠지는 이유는 가스의 과다 유입에 의한 부하량의 증가에 원인이 있다고 하였고, 5 cfm/sf의 가스가 필터에 45초 이상 체류하였을 경우에는 90% 이상의 높은 암모니아 제거효율을 보인다고 보고하였다. 본 시험에서는 톱밥을 충전한 필터의 경우 최초 운전 1일째부터 10일째까지의 암모니아 제거효율이 92% 정도였으나 15일째부터는 88%로 낮아지기 시작하여 30일 이후에는 60% 미만의 암모니아 제거수준을 보였다. 분변토

충진구와 부숙퇴비 충전구의 필터는 암모니아 제거효율이 운전 1일째부터 10일째까지는 각각 94~93%의 제거효율을 보였으나 15일째부터는 83~86%로 낮아지기 시작하여 30일 이후에는 톱밥구와 비슷한 50% 내외의 제거수준을 보였다. 부엽토 충전구의 필터는 최초 1일째부터 5일째까지의 제거효율이 96~95%로 본 시험 처리구 중 가장 우수한 결과를 나타냈으나 6일 이후로 제거효율이 낮아지기 시작하여 10일째는 87%로 낮아졌고 15일째는 73%, 30일 이후에는 50% 이하로 낮아져 필터의 이용기간이 가장 짧았다. 혼합(분변토 + 부숙퇴비 + 부엽토)필터의 경우 최초 1일째부터 5일째까지의 제거효율은 94~93%로 다른 처리구와 비슷한 제거효과를 나타냈으나 부엽토와 마찬가지로 운전 6일째 이후로부터 제거효율이 낮아지기 시작하여 10일째는 89%로 낮아졌고 15일째는 70%, 30일 이후에는 50% 이하로 낮아져 필터의 이용기간이 짧고 암모니아 제거효율도 부엽토를 제외한 기타 처리구보다 낮았다. 이상의 결과를 종합해 보면 최초 처리효율에 있어서는 부엽토를 충전한 필터가 가장 우수하였으나 효과적인 이용기간이 타 처리구보다 5일정도 짧았고, 톱밥과 분변토 그리고 부숙퇴비구는 처리효율과 이용기간에 있어 비슷한 수준을 보였다. 혼합구의 경우는 제거효율이나 이용기간 측면에서 볼 때 타 처리구에 비해 상대적으로 낮은 처리효과를 보였다. Biofilter는 적당한 수분을 가진 충전재에 가스가 흡착되고 이 흡착 가스를 필터중의 미생물이 산화시켜 악취를 감소시키는 기작으로 설명할 수 있는데, 이용기간이 길어짐에 따라 충전재의 물리성이 악화되어 가스 흡착 능력이 떨어지고, 악취 가스를 산화, 분해 시키는 미생물의 활력 감소로 인해 가스 제거효율이 나빠지는 것으로 판단된다. 본 시험에서 보인 암모니아 제거효율 96~92%는 Tood O. Williams 등(1995)이 보고한 미국지역의 퇴비장에서 얻은 제거효율 97~86%와 비슷한 성적을 나타냈다.

나. 황화수소 감소 효과

Coleman 등(1991)은 황화수소나 메르캅탄 등의 황 함유물과 암모니아를 가축분의 퇴비화시 악취 발생물질로 분류하였다. 유기물의 혐기적 분해시 발생되며 계란 썩는 냄새를 가진 H<sub>2</sub>S는 돈분발효 개시 3시간 후에 5mg/l 내외의 농도를 보였으나, 이 가스를 Biofilter에 통과시킨 후 측정된 결과 필터의 종류에 관계없이 각 처리구에서 공히 검출되지 않았다. 이는 원료 퇴비단에서의 H<sub>2</sub>S 발생농도가 5mg/l 이하로 낮은 수치를 보였고 발생지속시간 또한 6시간 이내로 짧았기 때문에 Biofilter에서 이 가스를 흡착하기에 충분했던 것으로 판단된다. 일반적으로 황화수소는 호기 발효과정에서는 검지되지 않았다.

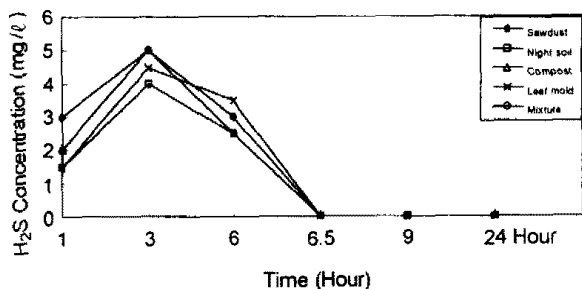


Fig. 3. Changes of H<sub>2</sub>S Concentration by Each Biofilter During Operation Period.

다. 메틸-메르캅탄 제거 효과

유기물의 혐기적 분해시 발생되는 메틸-메르캅탄은 돈분발효 개시 1시간 후에 3mg/l의 농도를 나타냈으나 Biofilter를 통과한 후 농도는 H<sub>2</sub>S와 마찬가지로 처리구 모두에서 공히 검출되지 않았다. 이는 원료 퇴비단에서의 메틸-메르캅탄의 발생농도가 3mg/l 이하로 낮았고 발생지속시간 또한 6시간 이내로 짧았기 때문에 Biofilter에 충분히 흡착되었기 때문으로 판단된다.

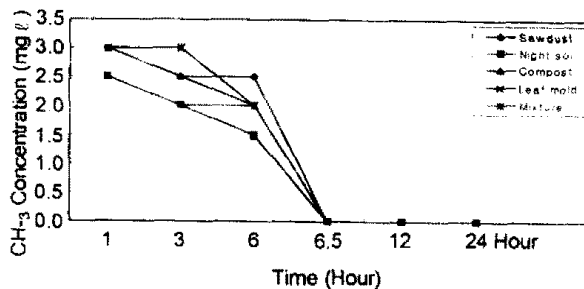


Fig. 4. Changes of CH<sub>3</sub>-SH Concentration by Each Biofilter During Operation Period.

적 요

돈분의 퇴비화시 발생하는 암모니아와 황화수소 그리고 메틸-메르캅탄 등의 악취가스의 대기로의 방출량을 감소시키기 위하여 9,000cm<sup>3</sup> 용량의 Biofilter를 제작하였다. 필터용 충전재로써 톱밥, 분변토, 부숙퇴비, 부엽토 등을 설정하였고 분변토와 부숙퇴비 그리고 부엽토를 동일부피로 혼합한 혼합재 등 총 5가지 재료를 선정하였다. 밀폐된 퇴비사에 돈분 700kg을 바닥에 송풍시설이 설치된 발효틀 위에 퇴적하고 수분 함량을 65% 내외로 조절한 후 퇴비화를 실시하였다. 퇴비단에서 발생하는 가스를 진공 흡입 펌프로 수집한 후 필터를 통과시키는 방법으로 암모니아와 황화수소 그리고 메틸-메르캅탄의 농도 감소정도를 측정된 후 필터를 통과하기 전의 농도와 대비하는 방법으로 악취가스의 제거효과를 판정하였다. 측정부위는 필터 유입부와 유출부 두 군데의 위치를 선정하였다. 필터 이용기간에 따른 암모니아 제거효과는 최초 1일째부터 10일까지는 톱밥과 분변토, 퇴비구에서 90% 이상의 감소효과를 보였다. 반면에 부엽토와 혼합구에서는 10일째에 87~89%의 제거효과를 나타내었고 이용기간이 길어짐에 따라 제거효율 감소정도도 타 처리구에 비해 더 커지는 경향을 나타냈다. 30일 이상 이용시에는 처리구 모두가 50~60%의 제거효율을 나타내었다. 황화수소와 메틸-메르캅탄은 필터를 통과한 후 검지한계 이하의 농도를 보였

다.

### 인 용 문 헌

1. Coleman, R. N., Feddes, J. J. R. and West, B. S. 1991. What is odour and the potential for its control? In: Proceedings Western Branch Meeting. Canadian Society of Animal Production, Chilliawck (abstract).
2. Cole, D. J. A., Schuerink, G. and Koning, W. J. 1996. Ammonia in pig buildings in the Netherlands. Pig News and Information. Vol. 17. pp. 53-56.
3. Dewes, Th. 1995. Nitrogen losses from manure heaps. pp. 309~317 in : Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture. A B Academic Publishers, Grate Britain.
4. Ontario Ministry of Labour. 1980. Regulation respecting control of exposure to biological or chemical agents made under the occupational Health and Safety Act. Revised statutes of Ontario. 1980. Chapter 321. Ontario Regulation 654/86 as amended.
5. Skarp, S. U. 1975. Manure gases and currents in livestock house. *Proc. 3rd International symposium on Livestock Wastes*. SAAE, St. Josheph, Mich.
6. Todd, O. Williams. 1995 Odors and VOC emissions control methods. *Biocycle*.(May). pp. 49-56.
7. 박상진. 1993. 활성탄 섬유와 Peat Biofilter 를 이용한 암모니아 및 황화합물 악취 제거에 관한 연구. 고려대학교 박사논문.
8. 윤세영, 이상규. 1992. 가축분뇨 발효시 악취가스 생성 억제제 시용효과에 관한 연구. *한토비지* 25(1):62-69.