

피트모스 투입에 따른 양돈 퇴비 유래 암모니아 및 황화수소 저감 효과 평가

강유진 · 김호연 · 신지호 · 임진현 · 정서윤 · 김태호 · 최용준*

한경국립대학교 동물생명융합학부

Effects of peat moss on ammonia and hydrogen sulfide reduction in swine manure compost

Yoojin Kang, Hoyeon Kim, Jiho Shin, Jinhyeon Lim, Seoyoon Jeong, Taeho Kim, Yongjun Choi*

School of Animal Life Convergence Science, Hankyong National University, Anseong 17564, Korea



Received: Dec 2, 2025

Revised: Mar 25, 2026

Accepted: Mar 25, 2026

*Corresponding author

Yongjun Choi
 School of Animal Life Convergence
 Science, Hankyong National
 University, Anseong 17564, Korea
 Tel: +82-31-670-5093
 E-mail: cyj2114@hknu.ac.kr

Copyright © 2026 Korean Society of
 Animal Science and Technology.
 This is an Open Access article
 distributed under the terms of the
 Creative Commons Attribution
 Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)
 which permits unrestricted
 non-commercial use, distribution,
 and reproduction in any medium,
 provided the original work is properly
 cited.

ORCID

Yoojin Kang
<https://orcid.org/0009-0001-9377-7278>
 Hoyeon Kim
<https://orcid.org/0009-0008-6339-682X>
 Jiho Shin
<https://orcid.org/0009-0001-0428-9054>
 Jinhyeon Lim
<https://orcid.org/0009-0007-8433-5316>
 Seoyoon Jeong
<https://orcid.org/0009-0007-1228-1603>

Abstract

This study investigated the effects of peat moss application on reducing ammonia (NH₃) and hydrogen sulfide (H₂S) emissions from swine manure compost. Peat moss, characterized by low pH and high humic substance content, has the potential to mitigate odor emissions derived from livestock manure. The experiment was conducted at a mechanical composting facility within a swine farm housing approximately 2,500 pigs in Icheon, Gyeonggi Province. The NH₃, H₂S, and odor intensity levels were compared before and after peat moss application. Treatments were categorized by compost discharge timing (1, 3, 5, and 7 days), and sampling was performed four times at seven-day intervals from the same location within the pile. Gas samples were collected using a flux chamber within six hours of compost collection, and concentrations of NH₃, H₂S, and odor intensity were measured using detector tubes and gas sensors. H₂S was not detected before or after treatment. However, NH₃ concentrations decreased significantly following peat moss application, as indicated by both detector tube ($p = 0.021$) and gas sensor ($p = 0.003$) results. These findings demonstrate that peat moss application effectively reduces ammonia emissions from swine manure compost, supporting its efficacy as an odor mitigation agent in livestock composting processes.

Keywords: Peat moss, Ammonia, Hydrogen sulfide, Swine manure, Mechanical composting

서론

국내 가축분뇨 총 발생량은 연간 50,871천 톤으로, 이 중 돼지 분뇨가 19,210천 톤(약 39%)으로 가장 높은 비중을 차지하고 있다[1]. 특히, 양돈농가에서 발생하는 악취 물질 민원은 사회적

Taeho Kim
<https://orcid.org/0009-0004-7537-0417>
 Yongjun Choi
<https://orcid.org/0000-0002-5759-4108>

Competing interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Funding sources

This work was supported by a research grant from Hankyong National University in the year of 2024.

Acknowledgements

Not applicable.

Availability of data and material

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authors' contributions

Conceptualization: Kang Y, Choi Y.
 Data curation: Kang Y, Kim H, Choi Y.
 Formal analysis: Kang Y, Kim H.
 Methodology: Shin JS, Choi Y.
 Software: Kang Y, Choi Y.
 Validation: Kang Y, Kim H, Shin J.
 Investigation: Lim J, Jeong S, Kim T.
 Writing - original draft: Kang Y, Choi Y.
 Writing - review & editing: Kang Y, Kim H, Shin J, Lim J, Jeong S, Kim T, Choi Y.

Ethics approval and consent to participate

This article does not require IRB/ IACUC approval because there are no human and animal participants.

문제로 인식되고 있다. 가축분뇨에서 발생하는 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)는 악취의 주요 원인 물질이다[2]. 국내 양돈장에서 발생한 가축분뇨는 주로 퇴·액비화를 통해서 자원화하고 있으며, 발생한 돈분 슬러리를 고형분과 액상으로 분리하여 액상은 액비화로 고형분은 퇴비화로 처리하고 있다. 퇴·액비화는 공기를 공급하여 호기성 미생물의 활동을 촉진하고 유기물을 분해하여 안정화하는 과정이다. 이러한 호기성 처리 과정에서 미생물은 암모니아성 질소(ammonia nitrogen)의 생성을 촉진하고 이는 암모니아 발생의 주요 원인이다[3]. 가축분뇨에서 발생하는 황화수소는 주로 혐기성 미생물에 의해서 생성되며, 돈분 슬러리 유래 황화수소는 슬러리를 저장하는 기간에 혐기화가 지속됨에 따라 만들어진다[4]. 퇴비화 과정에서는 미생물이 유기물을 분해하면서 퇴비 더미 내부 온도가 고온 상태로 유지되는데 이러한 고온은 암모니아를 포함한 다양한 악취물질의 배출을 촉진시키는 요인으로 작용한다[5]. 특히 퇴비화 초기에는 미생물 활성이 증가하고 온도가 급상승함에 따라 암모니아의 휘발이 촉진되어 배출량이 급격히 증가하는 것으로 보고하였다[6].

피트모스는 오랜 기간 동안 퇴적된 유기물이 혐기 조건에서 분해되어 생성된 유기물이며, 다양한 휴믹물질(humus)을 함유하고 있어 일반 토양보다 기능을 갖는 유기물 함량이 높다[7]. 피트모스에 함유되어 있는 휴믹물질은 pH 용해도에 따라 휴민, 휴믹산, 풀빅산으로 분류하고 있으며[8], 피트모스 내 휴믹물질은 휴민 76%, 휴믹산 18% 및 풀빅산 3%의 비율로 보고하고 있다 (Table 1)[9]. 피트모스의 pH는 평균 3.5-5.0으로 산성을 나타내며, 다공성 및 미세공극 구조를 가지고 있어 보수력과 흡착력이 뛰어난 것으로 알려져 있다[10]. 피트모스의 높은 양이온 교환 능력과 그에 따른 수분 흡수력 및 낮은 pH 등의 특성은 암모늄 이온의 기체 전환을 억제하여 유해가스 발생을 감소시키는 등 악취 저감에 효과적인 것으로 보고하고 있다[11]. 돈분의 pH를 낮게 조절하면, 돈사의 암모니아 발생량을 감소시킬 수 있으며[12], 휴믹물질의 투입이 돈분 슬러리 유래 악취물질을 21% 감소했다고 보고하였다[13]. 퇴비화 과정에서 풀빅산 투입할 경우 암모니아 발생량이 감소하였고 악취 발생량 평균값에서 유의적으로 낮은 결과를 나타냈다[14]. 피트모스는 다양한 기능성으로 많은 분야에서 활용하고 있으나 주로 원예 및 토양 개량제로 이용되고 있으며 가축 분뇨 악취 저감에 연구는 다소 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구는 양돈 퇴비에 피트모스를 투입하여 퇴비 유래 암모니아와 황화수소의 저감 효과를 평가하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

피트모스 및 퇴비화 시설

본 연구에서 사용된 피트모스는 블랙 피트모스이며, 피트모스의 화학적 성분을 Table 2에 제시하였다. 본 연구는 2025년 4월 21일부터 6월 9일까지 경기도 이천에 위치한 약 2,500두 규모의 양돈장의 기계식 퇴비화 시설에서 총 8주간 진행하였다(Fig. 1). 처리구는 퇴비화 기간에 따

Table 1. Distributions of different organic fractions extracted from peat moss

Item	p -Humin ¹⁾	p -HA	p -FA ²⁾	Lipids
g/kg Peat moss ³⁾	724 ± 45	176 ± 11	30 ± 4	27 ± 5
% of TOM	75.7	18.4	3.1	2.8

¹⁾As pure p -Humin (humin extractant, g × organic content %).

²⁾By differences [Tom - (p -Humin + p -HA + lipid)].

³⁾By performing triplicate experiments.

Adapted from Lee et al. [9] with permission of the copyright holder.

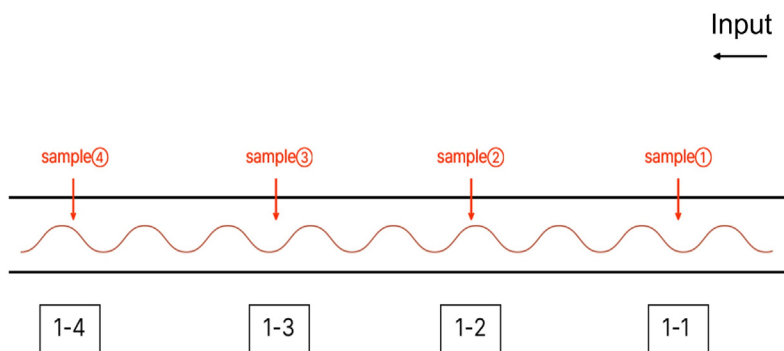
Table 2. Chemical composition of the peat moss on both a wet basis and a dry matter basis

Item	Wet basis	Dry basis
DM (%)	73.94	100.00
CP (%)	10.29	13.92
EE (%)	0.54	0.73
NDF (%)	32.3	43.69
ADF (%)	23.68	37.43
Ash (%)	27.1	36.65
Calcium (%)	0.38	0.51
Phosphorous (%)	0.06	0.07
Magnesium (%)	0.24	0.32
Potassium (%)	0.00	0.00
Sulfur (%)	0.06	0.09
Chloride (%)	0.46	0.62
Sodium (%)	0.02	0.03
Iron (ppm)	6,438.15	8,706.69
Cobalt (ppm)	0.00	0.00
Copper (ppm)	14.67	19.84
Manganese (ppm)	81.95	110.83
Zinc (ppm)	21.88	29.59

DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; NDF, neutral detergent fiber; ADF, acid detergent fiber.



(a)



(b)

Fig. 1. Experimental mechanical composting facility and sampling points. (a) Mechanical composting facility; (b) sampling method (each sampling point means 1, 3, 5, 7 days of composting period).

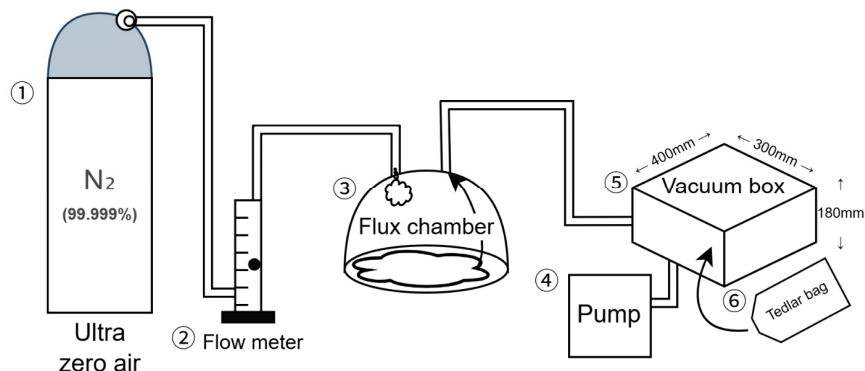


Fig. 2. Flux chamber used in this study. ① High-purity nitrogen, nitrogen with 99.999% purity was used; ② Flow meter (RMA-14-SSV, Dwyer Instruments, Michigan, IN, USA), with a capacity of 200-2,500 cc/min; ③ Flux chamber, which had a volume of 15 L; ④ Pump (VP-18D, Astek, Anyang, Korea); ⑤ Vacuum box (21.6 L, Astek); the pressure-regulating pump and vacuum box were custom-made; ⑥ Tedlar bag (3 L or 5 L, HS Korea).

라 형성된 퇴비단을 기준으로 1, 3, 5 및 7일로 구분하였으며, 퇴비장의 처리일수에 따라 동일한 위치에서 7일 간격으로 4회 반복하여 시료를 채취하였다(Fig. 2). 피트모스는 돈분 퇴비화 시작 과정에 전체 퇴비량의 10%를 혼합하고, 기계식 퇴비화 시설에서 퇴비단은 하루 1회 교반하였다. 모든 시료는 채취 후 지퍼백과 아이스박스에 밀폐하여 이동 중 악취 물질이 새어나가지 않도록 하였으며, 6시간 이내에 실험실 내에서 악취 물질 포집을 진행하였다.

악취물질 포집

본 실험에서는 국립환경과학원에서 고시한 악취공정시험기준[15]에 따라 악취물질을 포집하였다. 균일하게 악취물질 포집하기 위해 초고순도 질소(99.999%)를 2.0 L/min으로 플러싱 하여 악취 물질이 농도 평형을 이룬 상태에서 포집하였다. 악취물질 포집을 위한 플러싱 시간은 5분 간격으로 검지관 및 가스 센서를 통해 암모니아 및 황화수소의 측정하여 악취물질이 농도평형을 이루는 최소 시간으로 결정하였으며(Fig. 3), 매 포집마다 최소 20분 플러싱 후 1분 30초 동안 악취 물질 포집을 진행하였다. 악취 물질의 포집은 주문 제작한 진공박스(Fig. 2; vacuum box, 21.6 L, Astek, Anyang, Korea)를 이용하였다. 본 실험에서는 환경 변화 요소를 최소화 하기 위해 플렉스 챔버를 이용하였으며 사용한 플렉스 챔버는 반구형으로 용량은 15 L이다. 균일한 악취 물질의 포집을



Fig. 3. Picture of ammonia detector tube and vacuum box used in this study. (a) The measuring range of the detector tube (GASTEC) was 5-100 ppm, and when the concentration exceeded this range, a 50-500 ppm detector tube was used; (b) Vacuum box (21.6 L).

위해 플러싱 전 채취한 샘플을 평탄화 하고 악취 물질의 포집에 영향을 미치지 않도록 챔버를 밀폐하였다(Fig. 2). 악취 물질 포집 장비인 진공 박스의 용량은 약 21.6 L를 사용하였으며 테플러 백을 진공 박스 안에 넣고 펌프를 이용하여 악취 물질이 유입되도록 하였다. 테플러백으로 포집한 악취물질은 검지관과 가스 센서를 이용하여 암모니아, 황화수소 및 악취 강도를 측정하였다.

화학성분 및 악취물질

채취한 시료는 AOAC의 방법[16]에 따라 건물(dry matter, DM) 및 조회분(ash)을 측정하였다. 건물은 열풍 건조기(WFO-700, EYELA, Tokyo, Japan)를 사용하여 60℃에서 48시간 동안 건조하였으며, 원소 분석기(FLASH EA 1112, Thermo Fisher Scientific, MA, USA)를 이용하여 탄소(C), 질소(N), 황(S)을 분석하였다. 조회분은 회화로(LEF-112P-1, LABTECH, Namyangju, Korea)를 사용하여 600℃에서 3시간 동안 회화한 후 계산된 무게를 건물 함량에서 감하여 유기물(organic matter, OM) 함량을 계산하였다.

암모니아 및 황화수소는 가스(GV-100, GASTEC, Kanagawa, Japan) 및 복합가스측정기(SKY2000-M4, SAFEGAS, Shenzhen, China)를 사용하여 측정하였다. 암모니아 농도 측정을 위해 사용한 검지관의 눈금 범위는 50-500 ppm(Fig. 3; 3M, GASTEC) 및 5-100 ppm(Fig. 3; 3La, GASTEC)이며, 황화수소 농도 측정을 위해 사용한 검지관의 눈금 범위는 0.1-2.0 ppm(Fig. 3; 4LT, GASTEC)이다.

통계분석

본 실험의 결과는 SAS 패키지 프로그램(9.4 version, SAS, Cary, NC, USA)의 PROC MIXED procedure 및 Microsoft Excel(Microsoft, Redmond, WA, USA)를 사용하여 분석하였다. 디자인 모델은 다음과 같다.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij} \quad (1)$$

μ 는 평균값, T 는 피트모스 투입 효과, B_j 는 블록효과, E_{ij} 는 실험 오차이며, 실험 단위는 양돈 퇴비이다. 처리구 간의 유의성은 TTEST 옵션을 사용하여 쌍체 비교(pairwise comparison)를 수행하고, 유의 수준 $p < 0.05$ 에서 검정하였으며 경향성은 $0.05 \leq p < 0.10$ 수준에서 검정하였다. 모든 처리구의 평균은 최소자승평균(least square means)으로 표시하였다.

결과 및 고찰

피트모스 투입 및 퇴비화 시간에 따른 양돈 퇴비 유래 암모니아 배출량을 Table 3 and Fig. 4에 나타내었다. 대조구와 처리구 모두 퇴비화 시간이 경과함에 따라 암모니아 배출량이 유의적으로

Table 3. Comparison of ammonia emissions between control and treatment during composting period

Item	Composting time (d)				SEM	<i>p</i> -value	
	1	3	5	7		Linear	Quadratic
Control	196.6 ^a	199.4 ^a	177.6 ^{ab}	66.4 ^{ab}	33.4	0.011	0.101
Peat moss	204.0 ^a	100.1 ^{ab}	63.9 ^{ab}	38.8 ^b	32.1	0.002	0.250

^{a,b} Means in the same row with different superscripts differ significantly $p < 0.05$.

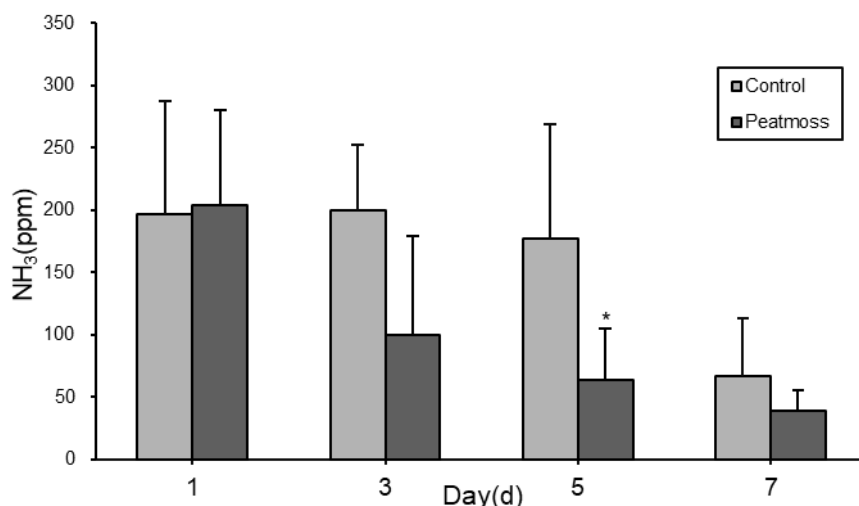


Fig. 4. Ammonia emissions before and after peat moss application. Control, before peat moss application; peatmoss, treatment after peat moss application; NH_3 , ammonia; ppm, part per million (detector tube unit); Day (d), composting period (days); *significant difference between control and peatmoss treatment at each time. Error bar means standard deviation.

감소하는 것으로 나타났으며(Table 3, $p < 0.05$), 피트모스 투입에 따른 암모니아 배출량이 대조구 대비 5일차에 유의적으로 낮게 나타났다(Fig. 4, $p < 0.05$). 피트모스 투입 전 암모니아 농도는 퇴비 배출일수에 따라 투입 전에는 196.6, 199.4, 177.6 및 66.4 ppm이었으며, 투입 후에는 204.0, 100.1, 63.9 및 38.8 ppm 으로 나타나 시간이 지나면서 악취배출량이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 전체 실험 기간 동안 황화수소(H_2S)는 ppm 단위에서 검출되지 않았다(Table 4).

양돈 분뇨의 퇴비화 초기에는 유기태 질소가 호기성 미생물의 분해 작용에 의해 암모니아성 질소로 전환되며, 이는 pH 상승과 고온 조건에서 휘발성 암모니아로 변환된다[17]. 일반적으로 퇴비화 과정에서 암모니아 발생량은 미생물 활성이 가장 왕성한 고온기에 급격히 증가하여 정점에 도달한 후, 부숙이 진행되어 안정화 단계에 이르면 점차 감소하는 경향을 보인다[18]. 본 연구에서 피트모스를 투입하지 않은 돈분 퇴비유래 암모니아는 3일차에 최대 발생량에 도달한 후 점차 감소하였고(Fig. 4), 피트모스 투입 처리구의 경우 1일차에 최대 발생량을 나타낸 후 3일차부터 감소가 시작하였다(Fig. 4). 본 연구에서 대조구 및 피트모스 처리구 모두 시간이 지남에 따라 암모니아 발생량이 감소하는 결과는 이전 연구와 동일하지만 피트모스 처리구의 암모니아 감소량이 더 높게 나타났다. 피트모스는 다양한 휴믹물질의 영향으로 낮은 pH를 나타내며, 낮은

Table 4. Detector and sensor measurements before and after peat moss application

Items	Control	Peat moss	SEM	<i>p</i> -value
Detector (ppm)				
NH_3	160.0	101.7	16.7	0.021
H_2S	0.0	0.0	–	–
Sensor (ppm)				
NH_3	101.4	57.6	9.3	0.003
H_2S	0.0	0.0	–	–
Odor intensity	0.8	0.4	0.4	0.480

Control, before peat moss application; peat moss, treatment, after peat moss application; *p*-value, statistical significance was tested at $p < 0.05$, and $0.05 \leq p < 0.10$ was considered as a tendency.

pH 상태에서는 암모니아성 질소가 암모늄이온으로 전환하여 대기중으로 배출이 억제된다[19]. 또한, 피트모스는 높은 양이온 치환 능력(cation exchange capacity, CEC)을 가지고 있어 전기적으로 암모늄이온을 강하게 끌어당겨 고정하는 역할을 한다[11]. 본 연구에서 나타난 피트모스의 퇴비 유래 암모니아 발생 저감 효과는 낮은 pH와 양이온 치환 능력으로 설명할 수 있다.

피트모스 투입 유무에 따라 검지관과 악취 센서를 통해 측정된 암모니아, 황화수소 및 악취강도를 Table 4에 나타냈다. 검지관과 악취 센서를 통해 측정된 암모니아 발생량은 피트모스 처리구가 대조구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($p < 0.05$). 전체 실험기간 동안 퇴비에서 발생한 황화수소는 ppm 수준에서 검출되지 않았다. 악취 센서를 활용하여 측정된 퇴비의 악취강도는 피트모스 투입 유무에 따라 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 피트모스 투입 유무에 따라 퇴비 유래 암모니아 발생 저감 효과는 검지관과 악취 센서에서 모두 동일하게 감소하는 결과를 나타낸 부분은 피트모스의 낮은 pH와 양이온 치환 능력으로 동일하게 설명할 수 있다[11,19]. 본 연구에서 전체 실험기간 동안 황화수소의 발생량이 ppm 수준에서 검출되지 않았다. 양돈 분뇨에서 생성되는 황화합물(황화수소 포함)은 혐기조건에서 성장하는 미생물에 의해서만 들어지며, 높은 수분함량을 가지고 있는 슬러리의 수압에 의해 슬러리 내에 축적된다[20]. 일반적으로 돈분 슬러리에서 발생한 황화합물은 고액분리 과정이나 퇴비화 과정에서 공기 중으로 배출되는 특성을 보인다[20]. 본 연구에서 사용한 돈분은 슬러리 피트에 장기간 저장하지 않았으며, 배출된 지 짧은 시간이 지난 돈분을 톱밥과 혼합하여 퇴비화를 수행하였다. 따라서, 본 연구에서 사용한 돈분은 혐기화 과정에서 생성되는 황화수소가 높은 농도로 생성되지 않아 배출 농도가 낮았을 것으로 추측할 수 있다. 또한, 돼지의 장내 소화 과정에서 메틸메르캅탄(methyl mercaptan), 황화수소(hydrogen sulfide) 등 휘발성 황화합물(volatile sulfur compounds, VSCs)이 생성되나, 배출 초기 농도는 대개 수-수십 ppb 수준으로 매우 낮은 것으로 보고되고 있다[21]. 그러나 본 연구에 사용된 검지관 및 가스 센서의 검출 한계(detection limit)는 ppm 단위이므로, 이러한 미량의 황화합물을 정량적으로 감지하는 데 한계가 있었다. 본 연구에서 대조구와 처리구 간 악취 강도에 유의적인 차이가 나타나지 않은 것은 각 실험군 내 측정값의 편차가 컸기 때문으로 판단된다. 또한, 측정 센서의 악취 강도가 4종의 황화합물을 기준으로 모델링된 점을 고려할 때, 황화수소 외에도 메틸메르캅탄(methyl mercaptan), 다이메틸설파이드(dimethyl sulfide), 다이메틸다이설파이드(dimethyl disulfide) 등의 기타 황화합물이 복합적으로 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 또한, 본 연구에서는 샘플의 초기 황화합물의 농도가 낮아 피트모스 투입이 돈분 퇴비에서 발생하는 황화수소 저감 효과에 대해서 평가하기는 다소 어려운 것으로 사료된다.

돈분 퇴비의 수분함량, pH, 질소(N), 탄소(C), 황(S) 함량 및 탄질비(C/N ratio)를 Table 5에 제시하였다. 대조구와 처리구를 퇴비 배출일수(day)에 따라 비교한 결과, 피트모스 처리구의 수분함량($p = 0.030$)과 황 함량($p = 0.035$)이 유의하게 낮게 나타났으며, 질소(N) 함량 또한 감소하는 경향을 보였다($p = 0.065$). 처리구와 대조구의 퇴비 배출일수에 따른 pH 수치의 변화에서는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 원소 분석 결과에서 탄소(C) 함량은 유의한 차이를 나타내지 않았으며, 탄질비(C/N ratio)는 평균적으로 증가하는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 확인되지 않았다. 피트모스 처리구의 퇴비 내 질소 함량이 실험기간 동안 더 높은 경향을 보였으며, 선행 연구에 따르면 암모니아 질소 농도는 탄소 함량보다 질소 함량에 더 민감하게 반응하는 것으로 보고되어 있으며[22], 본 연구에서 관찰된 암모니아 저감 효과는 미생물 대사에 의한 생물학적 고정보다는 피트모스의 다공성 구조에 의한 흡착과 낮은 pH에 따른 암모니아 배출 억제가 주요 악취 저감 기전으로 작용한 결과로 판단된다.

본 연구를 통해 피트모스 투입에 따른 암모니아 저감 효과를 확인하였으나, 시료 채취 시점의

Table 5. Moisture, pH, elemental composition and C/N ratio of compost samples before and after peat moss application

Item	Day	Moisture	pH	Elemental compositions			C/N ratio
				N	C	S	
Control	1	57.37 ± 4.15	6.38 ± 0.09	2.02 ± 0.52	41.51 ± 2.58	0.14 ± 0.15	21.84 ± 7.24
	3	57.51 ± 5.24	6.29 ± 0.13	2.31 ± 0.20	41.41 ± 0.58	0.36 ± 0.20	18.00 ± 1.63
	5	55.96 ± 4.86	6.27 ± 0.18	2.17 ± 0.24	41.19 ± 0.78	0.21 ± 0.14	19.15 ± 2.28
	7	53.93 ± 4.88	6.39 ± 0.14	2.29 ± 0.25	40.45 ± 1.29	0.30 ± 0.23	17.83 ± 2.47
Peat moss	1	57.35 ± 2.93	6.37 ± 0.64	2.47 ± 0.78	42.51 ± 3.09	0.30 ± 0.18	18.45 ± 5.36
	3	53.68 ± 5.38	6.23 ± 0.46	2.50 ± 0.71	39.68 ± 2.48	0.31 ± 0.25	16.78 ± 4.38
	5	52.98 ± 3.65	6.16 ± 0.21	2.60 ± 0.34	40.80 ± 3.59	0.60 ± 0.25	15.74 ± 0.91
	7	50.76 ± 5.74	6.16 ± 0.16	2.53 ± 0.53	41.91 ± 5.75	0.91 ± 0.83	16.88 ± 2.72
p-value	TRT	0.030	0.288	0.065	0.920	0.035	0.112
	Day	0.089	0.717	0.879	0.654	0.191	0.397
	TRT × Day	0.757	0.888	0.920	0.528	0.286	0.863

Significant difference between the control and peatmoss treatment; values are expressed as mean ± SD (n = 4) on a dry matter basis. TRT, treatment effect; Day, time effect; TRT × Day, interaction between treatment and time effect.

불일치와 퇴비화 공정의 주요 인자인 pH 및 온도 데이터의 부재는 한계점으로 남는다. 또한 단일 실험 시설로 인한 공간적 범위 및 환경 조건에 따른 재현성 확보가 미흡하여 향후 다양한 규모의 시설을 대상으로 한 보완 연구가 필요할 것으로 보인다. 아울러 피트모스의 최적 투입 비율 산정과 기존 수분조절제(톱밥, 왕겨 등) 대비 경제성 분석이 병행된다면 현장적용성을 높여 악취 저감 소재로서 피트모스의 활용 범위를 크게 확장할 수 있을 것으로 사료된다.

결론

본 연구에서는 피트모스 투입에 따른 양돈 퇴비 유래 암모니아 및 황화수소 저감 효과를 평가 함으로써 향후 가축 분뇨 악취 저감 분야에서 피트모스의 활용성을 알아보고자 하였다. 양돈 퇴비에서 피트모스 투입 후 발생하는 암모니아 농도는 검지관($p = 0.021$)과 가스 센서($p = 0.003$)에서 유의하게 감소하였다. 황화수소는 ppm 단위에서 검출되지 않았으며, 가스 센서를 통한 악취 강도 측정에서 평균적으로 감소하였으나 유의성을 나타내지 않았다($p = 0.480$). 피트모스 투입 전 암모니아 농도는 퇴비 배출일수에 따라 투입 전에는 196.6, 199.4, 177.6 및 66.4 ppm이었으며, 투입 후에는 204.0, 100.1, 63.9 및 38.8 ppm으로 나타나 시간이 지나면서 악취배출량이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 피트모스 투입 시 양돈 퇴비장의 암모니아 저감 효과가 나타났으며, 이는 양돈 퇴비의 부숙 과정에서 발생하는 암모니아의 배출량 감소에 기여할 수 있음을 시사한다. 그러나 본 연구의 결과는 단기적인 암모니아 모니터링에 국한되어 있어, 퇴비단 내부의 온도 변화 추이나 정밀 분석을 통한 복합 악취 물질의 검증이 이루어지지 않았다는 한계를 지닌다. 이는 피트모스가 양돈 퇴비화 공정에 미치는 다각적인 효과를 설명하기에 다소 제약이 될 수 있다. 이를 보완하기 위해, 향후에는 장기적인 퇴비화 공정 모니터링과 더불어 다양한 환경 인자 및 악취 물질을 종합적으로 분석하는 후속 연구가 요구된다.

REFERENCES

1. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Livestock environment survey. Sejong: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; 2023.
2. Kim JH, Yoo KS, Oh JB, Jung JY. Study on the characteristics of odor emitted from swine facilities. *J Korean Soc Environ Eng*. 2012;34:439-44.
3. Huang Y, Chen Y, Huang H, Shah GM, Lin J, Yan M, et al. Hyperthermophilic pretreatment composting can reduce ammonia emissions by controlling proteolytic bacterial community and the physicochemical properties. *Bioresour Bioprocess*. 2023;10:37. <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00659-y>
4. Blunden J, Aneja VP, Overton JH. Modeling hydrogen sulfide emissions across the gas-liquid interface of an anaerobic swine waste treatment storage system. *Atmos Environ*. 2008;42:5602-11. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.03.016>
5. Fukumoto Y, Osada T, Hanajima D, Haga K. Patterns and quantities of NH₃, N₂O and CH₄ emissions during swine manure composting without forced aeration—effect of compost pile scale. *Bioresour Technol*. 2003;89:109-14. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00060-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00060-9)
6. Tan-long Z, Bin S, Hong-min D, Zhi-ping Z, Xiu-ping T, Wan-qin Z. Emission characteristics of ammonia and greenhouse gas during the low C/N ratio swine manure composting. *Chin J Agrometeorol*. 2017;38:689-98. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6362.2017.11.001>
7. Babel S, Kurniawan TA. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *J Hazard Mater*. 2003;97:219-43. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00263-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00263-7)
8. Waksman SA. What is humus? *Proc Natl Acad Sci*. 1925;11:463-8. <https://doi.org/10.1073/pnas.11.8.463>
9. Lee CH, Hyun-Sang S, Kang KH. Chemical and spectroscopic characterization of peat moss and its different humic fractions (Humin, Humic acid and fulvic acid). *J Soil Groundwater Environ*. 2004;9:42-51.
10. Rezanezhad F, Price JS, Quinton WL, Lennartz B, Milojevic T, Van Cappellen P. Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: a review update for geochemists. *Chem Geol*. 2016;429:75-84. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.03.010>
11. Nugrahaeningtyas E, Park KH. Improving sustainability of peat moss through its application in reducing livestock emissions. *J Clim Change Res*. 2024;15:153-62. <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2024.15.2.153>
12. Hwang O, Park S, Jung M, Han D, Nho W, Cho S. Effects of pH modulation on the concentrations of odorous compounds from pit slurry of a pig operation building. *J Odor Indoor Environ*. 2018;17:1-10. <https://doi.org/10.15250/joie.2018.17.1.1>
13. Fabian-Wheeler EE, Brandt RC, Hile ML, Mikesell RE. Humic manure additive reduces odor from Pennsylvania swine finishing operation. American Society of Agricultural and Biological Engineers; 2015.
14. Bae SY, Song YS, Lee SR, Kim BG, Song JI. Malodor-reducing effects of providing fulvic acid to growing pigs in drinking water and spraying fulvic acid in swine barns. *Anim Ind Technol*. 2022;9:53-63. <https://doi.org/10.5187/ait.2022.9.2.53>
15. National Institute of Environmental Research. Odor standard method. Incheon: NIER; 2024.
16. AOAC. Official methods of analysis. 18th ed. Gaithersburg, MD: AOAC International; 2005.
17. Xu Z, Li R, Zhang X, Liu J, Xu X, Wang S, et al. Mechanisms and effects of novel

- ammonifying microorganisms on nitrogen ammonification in cow manure waste composting. *Waste Manag.* 2023;169:167-78. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.07.009>
18. Ma Q, Li Y, Xue J, Cheng D, Li Z. Effects of turning frequency on ammonia emission during the composting of chicken manure and soybean straw. *Molecules.* 2022;27:472. <https://doi.org/10.3390/molecules27020472>
 19. Lee SY, Kim EG, Park JR, Ryu YH, Moon W, Park GH, et al. Effect on chemical and physical properties of soil each peat moss, elemental sulfur, and sulfur-oxidizing bacteria. *Plants.* 2021;10:1901. <https://doi.org/10.3390/plants10091901>
 20. Ni JQ, Heber AJ, Kelly DT, Sutton AL. Mechanism of gas release from liquid swine wastes. In: 2001 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers; 1998; St. Joseph, MI.
 21. Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim YS, Roh YM, Lee CM, et al. Sulfuric odorous compounds emitted from pig-feeding operations. *Atmos Environ.* 2007;41:4811-8. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.02.012>
 22. Choi Y, Ryu J, Lee SR. Influence of carbon type and carbon to nitrogen ratio on the biochemical methane potential, pH, and ammonia nitrogen in anaerobic digestion. *J Anim Sci Technol.* 2020;62:74-83. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.1.74>