

이산화염소 가스분무에 의한 퇴비장 악취저감 효과

송준익 · 전중환 · 이준엽 · 박규현 · 조성백 · 황옥화 · 김두환*

농촌진흥청 국립축산과학원

Conducted to Verify the Effect of Chlorine Dioxide (ClO₂) on Odor Reduction at a Compost Facility

Song, J. I., Jeon, J. H., Lee, J. Y., Park, K. H., Cho, S. B., Hwang, Y. H. and Kim, D. H.*

National Livestock Research Institute, R.D.A.

Summary

This study was conducted to verify the effect of chlorine dioxide (ClO₂) on odor reduction at a commercial swine facility consisting of a compost facility. Compost facility in NH₃ concentration was around 550 ppm and less than 78 ppm before and after the ClO₂ spraying, respectively, which was over 86% reduction. There was no H₂S detection. NH₃ concentration was around 420 ppm and less than 35 ppm before and after the ClO₂ spraying, respectively, which was over 83% reduction. H₂S concentration was around 210 ppb and less than 32 ppb before and after the ClO₂ spraying, respectively, which was over 85% reduction. Hence, ClO₂ spraying at windowless barns was compost facility decreased malodor such as NH₃.

(Key words : Compost facility, Gas, ClO₂, NH₃)

서 론

축사에서 발생한 악취를 탈취하기 위한 생물학적 여과기(일명 : 바이오필터) 기술은 악취가스를 미생물, 산소, 수분 및 영양물질 등이 충족되어 있는 충전물질에 통과시켜 물과 ClO₂ 등 무해성분으로 전환시키는 공정으로써 1960년대 후반에 독일의 축사에서 최초로 이용되었고, 1984년에 스웨덴에서 사용되었다(Bohn, 1996). 악취제거 방법은 물리적, 화학적, 생물학적 처리방식으로 분류되며, 최

근 새로운 생물탈취 방법(bio-technology)을 이용한 악취제거 연구가 심도있게 진행(Janni 등, 2000)되고 있으며 국가시험연구사업 중 악취에 대한 부분적인 모니터링 및 모델 개발 사업은 추진되고 있으나, 현장에서 악취확산 방지를 위한 시스템 확립 연구는 미흡한 편이다.

가축을 사육하는 농가 및 가축분뇨 처리시설은 배설된 분뇨에 의해 심한 악취가 발생하게 된다. 이로 인해 악취는 2차 오염원으로써 주요 민원을 발생시키며, 특히 기존의

* 경남과학기술대학교(Gyeongnam National University of Science and Technology)
Corresponding author : Doo Hwan Kim, Department of Animal Resources Technology, Gyeongnam National University of Science and Technology, 660-758 33 Dongjin-ro, Jinju, Korea.

Tel : 055-751-3284, E-mail : dhkim@gntech.ac.kr

2012년 11월 14일 투고, 2012년 12월 2일 심사완료, 2012년 12월 10일 게재확정

대기오염물질과는 달리 악취 발생 지역 인근 주민의 경제적, 사회적, 심리적 파급 효과를 가져와 최근 심각한 대기오염문제로 인식이 되고 있는 실정이다. 악취에 대한 민원은 지속적으로 증가하고 있는 추세이며, 2003년 이후 연평균 19.2%씩 증가하고 있다. 환경부는 2005년 악취방지법을 시행하여 2011년 현재 복합악취와 22종류의 악취물질을 지정하여 규제하고 있다.

가축농가에서는 발생하는 악취를 최소화하고 악취에 대한 민원을 감소시키기 위해 생균제나 탈취제 등을 사용하고 있으며, 가축분뇨 처리시설에서는 악취방지시설을 이용하여 악취의 저감을 위해 노력하고 있다.

하지만 주요 악취물질에 대한 사전조사가 이루어지지 않은 채 이용되는 악취 방지시설 및 탈취제는 악취저감에 대해 효과적이지 못할 뿐만 아니라 경제적 부담과 지자체의 예산 소비로 이어지고 있다. 아직 우리나라에서는 악취에 대한 연구가 미비한 실정이며, 특히 대규모의 가축농가 및 가축분뇨 처리시설에서 발생하는 악취 물질에 대한 연구가 부족한 상황이다. 이에 가축분뇨에서 발생하는 주요 악취물질에 대한 조사를 실시하여, 효과적인 탈취제 사용 및 악취방지시설의 설치가 필요하다.

축사에서 나는 냄새가 공중으로 배출되는 것을 최소화할 수 있는 Biofilter를 이론적으로 확립(Yuwono 등, 2004)되어 있고 무창돈사의 악취확산 방지용 배기팬형 Biofilter에 퇴비를 필터로 재활용하는 연구가 수행되었다(Richard Nicolai 등, 2002). 또한 무창축사 측벽에 벚짖 등을 부착하여 악취를 포집하거나 축사에서 거리를 두고 차단벽을 설치하여 물을 분무하여 악취를 포집할 수 있다고 하였다(Bottcher 등, 2000).

일반적으로 악취 저감을 위해 사용하는 방법은 양돈장의 시설 특징에 따라 달라지지만 제어 시점을 기준으로 구분해 보면 악취 원

인 물질을 근원적으로 제어하는 방법과 생성된 악취를 감소시키는 방법이 있다(Chastain, 1997, 2000). 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).

악취제거 방법으로는 크게 악취물질을 분리 또는 파괴시키는 방법으로 산화법, 효소분해법 및 흡착법 등이 있고 단순히 악취를 은폐시키는 방법인 소위 마스킹법이 있는데 첫째, 산화법은 악취물질을 산화, 분해하고 박테리아, 곰팡이, 바이러스 등에 대한 광범위한 살균효과로 악취를 근원적으로 제거하는 방법. 이 산화제의 종류로는 이산화염소, 차아염소산소다(락스) 및 이산화염소산염 등이 있고 둘째로, 효소분해법은 식물엑기스를 추출하여 만든 탈취제로 냄새를 분해하는 작용이 있다고 하나 구체적인 성분 및 작용원리는 정확히 밝혀지지 않고 있다. 다음으로 흡착법은 활성탄 등 표면적이 큰 흡착제를 이용하여 악취물질을 흡착시켜 제거하는 방법이며 마스킹법은 천연 또는 인공향을 메틸알콜 등 휘발성이 강한 용제에 녹인 후 대기 중에 휘산시켜 악취를 은폐시키지는 못하나 감각적인 악취문제는 해결할 수 있다. 축산 악취 중에서도 돈분뇨는 가장 심한 악취가 발생되며 이산화질소, 아민 및 암모니아, 황화합물, 탄소화합물로부터 저급휘발성지방산이 저농도로 지속적으로 발생하는 특성이 있다. 그러나 국내 양돈장에서 발생하는 악취 제어를 위한 현장연구 기초자료가 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 축산에서의

악취 확산방지와 축산농가에서 쉽게 적용할 수 있는 퇴비사 악취확산 저감 시스템 보급이 필요하여 연구를 하였다.

재료 및 방법

퇴비장에서 발생하는 악취를 저감하고자 이산화염소 가스분무 발생장치를 만들었다. 퇴비장에서의 이산화염소 가스분무에 의한 악취저감 효능을 평가하기 위하여 퇴비공장(S사)의 도움을 받아 현장에 설치를 하였다. 시험 퇴비장은 밀폐형으로 약 272평 (10×90 m)의 시설이다. 실험기간동안 이산화염소 가스의 살포 방법은 현장에서 가스를 제조하여 제조된 원액의 10배 희석액을 사용하였으며 약 17 L를 안개분사 시스템으로 24시간 on 및 간헐적 방법 30 분간 on, 10분간 off 살포하였다.

악취농도 측정은 퇴비사 내에서의 측정으로 악취농도가 가장 높을 것으로 판단되는 퇴비사의 중앙지점에서 매일 오후 12시에 측정하는 것을 원칙으로 하였으며 입구와 후단에서는 검지관으로 분석하였다. 측정 대상 물질은 축산업에서 주로 발생하는 악취물질에 대하여 황화합물 (H_2S , CH_3SH , DMS , $DMDS$) 4가지 물질, 암모니아 (NH_3), 휘발성 지방산인 프로피온산, 이소부틸산, 부틸산, 이소발레르산, 발레르산 5가지 물질로 총 10가지 물질을 대상으로 측정하였으며, 기기분석과 공기희석관능법으로 분석하였다.

암모니아 시료의 포집은 악취공정시험방법에 따른 봉산흡수액을 사용하였으며, 인도페놀법을 사용하여 분석하였다. 추가적으로 현장에서 간이 측정법인 검지관을 사용하여 분석하였다. 황화합물과 복합악취 시료는 감압박스를 이용한 시료채취용 1 L 테들러 백을 사용하여 포집하였으며, 황화합물 시료는 GC/FPD (Hewlett Packard 5890 II Series)를 사용하여 분석하였고 복합악취는 공기희석관능법으로 분석하였다. 휘발성 지방산 시료의 포

집은 유리관에 $Sr(OH)_2$ 의 알카리비즈가 충전된 농축관으로 하였으며 열탈착장치가 부착된 GC/FID (Hewlett Packard 5890 II Series)를 이용하여 분석을 실시하였다.

1. 실험장소 및 기간

본 실험은 일반적인 관행 퇴비를 제조하고 있는 퇴비공장(가로 10 m, 세로 70 m)를 선정하여 실시하였다. 실험기간은 퇴비가 많이 생산되고 악취가 많이 발생하는 여름철 (7월 1일~8월 30일)에 실험을 실시하였다

2. 실험설계

본 실험에 사용된 퇴비사는 Fig. 1과 같이 건축되었으며, 퇴비사의 제원은 10 m (W) × 70 m (L)로 건축하였고, 퇴비사의 외부는 외부로 배출되는 악취를 밀폐하기 위하여 지붕은 FRP로 시공을 하였고 측벽은 원치 시설로 마감을 철저히 하였다.



Fig. 1. Plane view of the compost facility.

가. 악취저감 장치

퇴비사에 설치된 이산화염소 가스 분무장치의 제원은 1 m (W) × 60 cm (L) × 1 m (L)이며 이산화염소 가스 분무는 24시간 지속적으로 분무를 한 것과, 간헐적 (30 min/off, 5 min/on)

분무 2가지로 실시하였다. 분무노즐은 퇴비사 상부 천장(2열) 및 측벽 상부(2열)에 설치하여 분무하였다.



Fig. 2. Gas spary systems of ClO₂.

4. 조사방법

시료채취 및 분석방법은 Table 1에 나타내었는데, 이들 채취시료들에 대한 화학적 분석은 시료 채취가 종료된후, 신속하게 실험실로 이동하여 시료채취 시점으로부터 24시

간 이내에 신속하게 진행하였다. 채취된 시료는 각 화합물간의 특성에 따라 전처리 과정을 거친 후 기기 분석을 수행하였으며 그 조건은 다음과 같다.

가. GC-PFPD를 이용한 황화합물 성분 분석

흡착트랩에 시료를 저온농축한 후 분석대상 성분을 열탈착 시키고, 이들을 GC의 분리관으로 주입하여 분석하며 실제분석 조건은 Table 2와 같다.

5. 측정지점

이산화염소 가스 분무에 의한 환경 측정지점은 퇴비사 입구(10 m), 중앙(35 m), 출구(60 m)에서의 퇴비사 상부 30 cm, 중앙 200 cm, 상부 300 cm에서 측정하였고, 퇴비사 외부 악취 가스는 퇴비사 바로 측벽 옆에서 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 악취가스 및 먼지농도

가. 퇴비사 내외부 가스 농도 변화

Table 1. Sampling and analytical methods

Compounds	Sampling methods	Test techniques
Carbonyl compounds	DNPH cartridge	HPLC
Reduced S compounds	air sample stored in tedler bag	GC-PFPD
Total and individual VOC	air sample stored in tedler bac	GC-FID
Ammonia	boric acid trap	spectrophotometry
TMA	sulfuric acid trap	GC-NPD

Table 2. GC-PFPD condition

CF/TD Unity		GC-PFPD	
cold trap Temp. (low)	-15°C	oven Temp. (initial)	100°C (5 min hold)
cold trap Temp. (high)	320°C	rate	6°C/min
cold trap Time	5 min	oven Temp. (final)	200°C (2 min hold)
Minimum Psi	15 psi	Detector Temp	230°C
valve Temp.	120°C	column	DB-1 (0.32 min × 60 m, 5 μm)
transfer Temp	120°C	Detector	PFPD

퇴비사 내부 및 외부에서의 이산화염소 가스 분무 전후 악취 등 측정 결과는 Table 3 과 같다. 퇴비사 내부 퇴비화 기계위에서의 암모니아 가스는 이산화염소 가스를 분무하기 전에는 550 ppm 전후로 측정되었으나, 이산화염소 가스 분무후 퇴비화 기계위에서의 암모니아 농도는 78 ppm 이하로 나타나 86% 이상 저감되었으며, 퇴비사 외부는 20 ppm → 5 ppm으로 저감되어 75% 저감되었다. 황화수소는 퇴비사 내부에서 3 ppm 검출되었으나 이산화염소 가스 분무후(1▼)는 거의 검출되지 않았으며 퇴비사 외부는 거의 검출되지 않았다.

나. 퇴비사 내부 가스 농도 변화

시험기간 중 퇴비화 기계가동시 퇴비사 내부에서의 이산화염소 가스분무 전후의 변화는 암모니아(NH₃)는 분무전 420 ppm → 분무후는 35 ppm로 감소(83% 감소)하였고, 황화수소(H₂S)는 분무전 210 ppb → 분무후 32 ppb로 감소(85% 감소)효과가 있었다.

* 황화합물 : 황화수소(H₂S), 메틸메르캅탄(MM), 황화메틸(DMS), 이황화메틸(DMDS)(CH₃)₂S₂

퇴비사내의 유해가스(암모니아)의 농도를 분석한 결과로써, 퇴비사 내부는 기계를 가동하지 않을때는 15 mg/l로 유지되어 사람이 작업하는데 미치는 허용농도인 20 mg/l(MWPS-8, 1990) 이하로 나타나 안정적이었으나, 기계가동시는(Donham 등, 1997)이 보고한 13 mg/l 보다 높게 나타나 안전한 작업공간은 아닌 것으로 판단된다. 그러나 퇴비사 외부로 배출된 가스는 이산화염소 가스

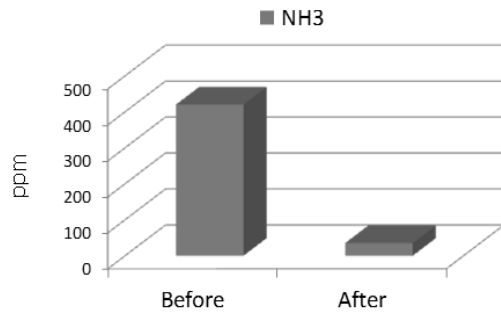


Fig. 3. NH₃ concentration changes Indoor in compost facility.

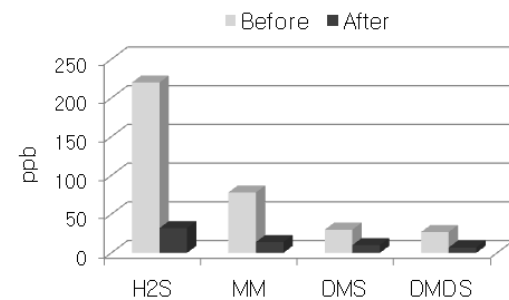


Fig. 4. H₂S concentration changes Indoor in compost facility.

와 혼합되어 5 ppm 이하로 감소되었으며 퇴비사에서 조금 떨어진 지점(20 m) 외부에서의 측정 결과 1 ppm 이하로 측정되어 모니아가스가 거의 측정되지 않았다.

그렇지만 우리 나라에 건축되어 있는 퇴비사의 대부분은 건물의 폭과 길이 및 환기시스템의 조화가 되어 있지 않아 가스농도는 대부분 30 mg/l을 상회하고 있으며 또한 기계를 가동하는 작업자에 많은 영향을 미치고 심지어는 호흡기 질환을 유발할 수가 있게 하는데, 특히 유해가스(암모니아)의 농도는

Table 3. Gas concentration changes after Inside and outside of ClO₂ spary

Items	NH ₃ , ppm		H ₂ S, mg/l	
	Before	After	Before	After
ClO ₂ spary				
Inside	550	78	3▼	1▼
Outside	20	5	1▼	N.D

* Data of average oder

미국의 NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)에 의하면 암모니아 농도의 허용기준을 25mg/ℓ 까지라고 하였다. 따라서 이산화염소 가스분무에 의한 퇴비사 내의 악취가스 농도를 줄일 수 있는 것으로 판단되었다.

IV. 적 요

본 연구는 양돈분뇨처리 퇴비사에서 발생하는 악취 제어를 위하여 이산화염소 가스를 이용한 악취 제어 효율을 검증하고자 하였다. 본 실험은 일반농장에서 실시하였으며 실험결과는 다음과 같다.

1. 퇴비사 내부 퇴비화 기계위에서의 암모니아 가스는 이산화염소 가스를 분무하기 전에는 550 ppm 전후로 측정되었으나, 이산화염소 가스 분무후 퇴비화 기계위에서의 암모니아 농도는 78 ppm 이하로 나타나 86% 이상 저감되었으며, 퇴비사 외부는 20 ppm → 5 ppm 으로 저감되어 75% 저감되었다. 황화수소는 퇴비사 내부에서 3 ppm 검출되었으나 이산화염소 가스 분무후(1▼)는 거의 검출 되지 않았으며 퇴비사 외부는 거의 검출 되지 않았다.

2. 퇴비화 기계 가동시 퇴비사 내부에서의 이산화염소 가스분무 전후의 변화는 암모니아(NH₃)는 분무전 420 ppm → 분무후는 35 ppm로 감소(83% 감소)하였고, 황화수소(H₂S)는 분무전 210 ppb → 분무후 32 ppb로 감소(85% 감소) 효과가 있었다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때 퇴비사에 있어서 이산화염소 가스 분무에 의한 돈사 내 외부에서 암모니아 등의 악취를 외부에 휘산시키는 농도를 저하시킬 수 있음을 알 수 있었다.

V. 인 용 문 헌

1. Bohn, H. L. 1996. "Biofilter Media", Air Waste Manage. Assoc., 89th Annual Meeting & Exhibition, June 23-28,

96-WP 87A.01.

2. Chastain, J., "Odor control", Agr. Biolog. Eng., Clemson Univ. 1997.
3. Chastain, J. P. and F. J. Wolak. 2000. Application of a Gaussian Plume Model of Odor Dispersion to Select a Site for Livestock Facilities. Proceedings of the Odors and VOC Emissions 2000 Conference, sponsored by the Water Environment Federation, April 16-19, Cincinnati, OH., 14 pages, published on CD-ROM.
4. Donham, K. J. 1997. Human health and safety for workers in livestock housing. In: Latest developments in livestock housing. Proceedings of Commission Internationale du Genie Rural, Section 2 Seminar. 22-26.
5. Janni, K., Jacobson, L. D., Bicudo, J. R., Schmidt, D. and Guo, H. (2000). Livestock and poultry odor workshop II. biofilters, covers, OFFSET, and odor management plans. Dept. of Biosystems and Agricultural Engineering, University of Minnesota, St. Paul, MN. 100 pp.
6. MWPS. 1990. Mechanical ventilating systems for livestock housing, MWPS-32, Midwest Plan, Iowa State University, Ames.
7. Nicolai, R. E., C. J. Clanton, K. A. Janni. 2002. Ammonia Removal and Nitrogen Accumulation in Biofilter Media. In Proceedings of USC-TRG Conference on Biofiltration, 119-129. Newport Beach, California. October 31 - November 1.
8. NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health). 2010. Centers for Disease Control and Prevention 1600 Clifton Rd. Atlanta, GA 30333, USA
9. Yuwono, A. and P. Schulze Lammers. 2004. Odor pollution in the environment and the detection instrumentation. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Invited Overview Paper. Vol. VI.
10. 류희욱, 조경숙, 이태호, 허 목. 2004. 양돈 시설 악취 관리: III. 악취제어 기술. 한국냄새환경학회지. 3(1):1-11.