축산시설환경 : 21(2) 41~46, 2015

ISSN 1226-0274
J. Anim Environ Sci 21(2) 41~46, 2015
http://dx.doi.org/10.11109/JAES.2015.21.2.41

가축분뇨 자원화시설에서 발생되는 암모니아와 황화수소의 계절별 현장 평가

김 기 연
부산가톨릭대학교 산업보건학과

Seasonal Field Assessment of Odor Emitted from Livestock Manure Composting Facility

Ki Youn Kim
Dep. of Industrial Health, Catholic University of Pusan

ABSTRACT

The objective of this study is to measure the levels of ammonia and hydrogen sulfide in livestock manure composting facility according to seasonal condition. Mean concentrations of ammonia in livestock manure composting facility were 84.3 (±15.2) ppm for spring, 115.2 (±34.7) ppm for summer, 76.2 (±18.9) ppm for autumn, and 38.1 (±10.4) ppm for winter, respectively. Based on the results obtained from this study, the seasonal levels of ammonia in livestock manure composting facility were highest in summer followed by autumn, spring and winterroom ($p<0.05$). Mean concentrations of hydrogen sulfide in livestock manure composting facility were 7.46 (±2.24) ppm for spring, 9.42 (±2.82) ppm for summer, 8.15 (±3.06) ppm for autumn, and 10.18 (±4.11) ppm for winter, respectively. The livestock manure composting facility showed the highest levels of hydrogen sulfide in winter followed by summer, autumn and spring. However, there was no significant difference of hydrogen sulfide concentration among seasons ($p>0.05$).
(**Key words :** Odor, Ammonia, Hydrogen sulfide, Livestock manure, Composting facility)

서 론

녹색기술과 청정에너지를 통한 저탄속 녹색성장을 새로운 국가비젼으로 제시하고 있는 우리나라는 현재 가축분뇨와 같은 유기성 폐기물의 환경부하 최소화 및 에너지원을 효율적으로 활용할 수 있는 신재생 에너지 보급을 확대하고 있다. 이러한 추세에 편승하여 가축분뇨의 경우 고형물은 퇴비화를 통한 자원 재순환, 액상물은 액비화 및 바이오가스의 에너지화 방법으로 처리하고 있다.

하지만 가축분뇨 자원화시 발생되는 여러 형태의 환경오염물질 중 악취는 가축분뇨 자원화시설 종사자 및 인근 주민들에게 두통, 메스꺼움, 현기증 등과 같은 관능적 공해를 유발시켜 이와 관련한 환경 민원이 매년 빈

*Corresponding author : Kim, Ki Youn, Catholic University of Pusan, 46252, Korea. Tel: 051-510-0635, Fax: 051-510-0638, E-mail: kky5@cup.ac.kr
2015년 3월 9일 투고, 2015년 4월 17일 심사완료, 2015년 4월 23일 게재확정

발하고 있다. 이러한 사회적 문제의 심각성을 인식한 환경부에서는 대기오염물질 배출사업장 이외의 시설에서 발생되는 악취를 효율적으로 관리하기 위해 가축분뇨 자원화시설을 생활악취 규제 대상시설로 편입하여 악취 규제 기준을 적용하고 있기 때문에(환경부, 2009) 이에 따른 악취 방지 대책을 반드시 강구해야 하는 실정이다. 또한 가축분뇨 자원화시설이 전국적으로 확대될 경우 환경보건학적 측면에서는 주변 일반 정주민들에게 악취 발생으로 인한 환경 민원 야기, 산업보건학적 측면에서는 고농도 악취 노출에 의한 작업장 근로자들의 건강상 장해를 유발할 수 있는 소지가 있다. 따라서 악취로 인한 환경 및 보건 문제로 가축분뇨 자원화시설 운영시 많은 애로사항을 겪는 것이 지금의 현실이다.

따라서 본 연구의 목적은 가축분뇨 자원화시설에서 배출되는 주요 악취물질을 대상으로 계절별 현장 방문 조사를 통해 전반적인 악취발생 현황을 파악하고 가축분뇨 자원화시설 운용시 효율적으로 적용될 수 있는 악취 저감대책을 설정하기 위한 기초 데이터 구축이다.

재료 및 방법

1. 조사대상 가축분뇨 자원화시설의 선정

본 연구는 제주지역에 소재한 횡형 로터리(Rotary) 교반방식의 퇴비화시설 1개소를 선정하여 2013년 10월부터 2014년 9월까지 총 1년 동안 매달 1회 현장 방문하여 조사를 실시하였다. 본 시설의 경우 퇴비화의 주 재료는 돈분으로 하루 1~2톤 처리를 목표로 운영되었고, 수분 조절제로는 톱밥과 왕겨가 사용되고 있었다. 현장 측정은 맑은 날을 기준으로 오후 시간대 (13:00 pm~17:00 pm)에 수행하였다. 측정 지점은 중앙 지면으로부터 상부 1 m 되는 위치로 하였고, 각 측정시마다 3회 반복으로 공기 시료를 채취하였다. 계절별 구분은 3~5월을 봄철, 6~8월을 여름철, 9~11월을 가을철, 12~2월을 겨울철로 설정하여 그 기간 동안 측정된 데이터의 평균값을 대표치로 하였다.

2. 측정 및 분석 방법

암모니아와 황화수소의 측정 방법은 NIOSH에서 제시한 분석 방법에 근거하였다 (NIOSH, 1998). 암모니아의 경우 황산 흡수액 10㎖를 넣은 impinger를 폴리에틸렌 튜브로 공기 흡입 펌프 (Model 71G9, Gilian Instrument Corp., Wayne, N.J.)에 연결한 후 1.5~2.0 ℓ/min의 유량으로 돈사내 농도 수준에 따라 15~45분 동안 돈사 중앙 바닥으로부터 1 m 상부 지점에서 공기 시료를 포집하였다. 시료 채취 후 분석실로 운반하여 UV-spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu, Japan)를 통해 흡광법으로 측정하였다. 황화수소는 고체 활성탄관으로 시료를 포집한 후 Ion Chromatography (ProfIC, Metrohm, Germany)를 통해 측정하였으며, 그 밖의 분석 과정은 암모니아의 경우와 동일하다. 시료 채취 시간은 오전 10시부터 오후 5시 사이에 3회 반복 측정한 값들의 평균을 대표값으로 하였다. 측정 당시의 퇴비화 시설내 온 / 습도는 직독식 측정기 (P-350, Grey, US)를 이용하여 모니터링하였다.

3. 자료 분석

SAS package (SAS/Stat 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 가축분뇨 자원화시설에서 발생되는 암모니아와 황화수소의 계절별 농도 차이를 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법을 통해 통계적 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 퇴비화 시설 내 온 / 습도

조사대상 횡형 로터리 (Rotary) 교반방식의 퇴비화시설 내부의 측정 당시 계절별 온도와 상대습도는 Table 1과 같다.

2. 암모니아 (NH_3)

Fig. 1에 제시된 바와 같이 횡형 로터리 (Rotary) 교반방식의 퇴비화시설 내부의 암모니아 발생 농도는 봄철은 84.3 (±15.2) ppm, 여름철은 115.2 (±34.7) ppm, 가을철은 76.2 (±18.9) ppm, 겨울철은 38.1 (±10.4) ppm으로 측정되었다. 분석 결과 여름철이 가장 높은 것으로 나타났고, 다음으로 가을철 > 봄철 > 겨울철인 것으로 조사되었으며, 계절별 암모니아의 농도 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다 ($p<0.05$).

3. 황화수소(H_2S) 농도

Fig. 2에서 나타난 바와 같이 횡형 로터리 (Rotary) 교반방식의 퇴비화시설 내부의 황화수소 발생 농도는 봄철은 7.46 (±2.24) ppm, 여름철은 9.42 (±2.82) ppm, 가을철은 8.15 (±3.06) ppm, 겨울철은 10.18 (±4.11) ppm으로

Table 1. Mean seasonal temperature and relative humidity in livestock manure composting facility

	Spring		Summer		Autumn		Winter	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Temperature (℃)	24.2	2.3	38.8	1.8	22.5	1.2	7.6	0.8
R.H. (%)	65.4	5.2	79.3	8.7	60.9	5.3	54.0	5.4

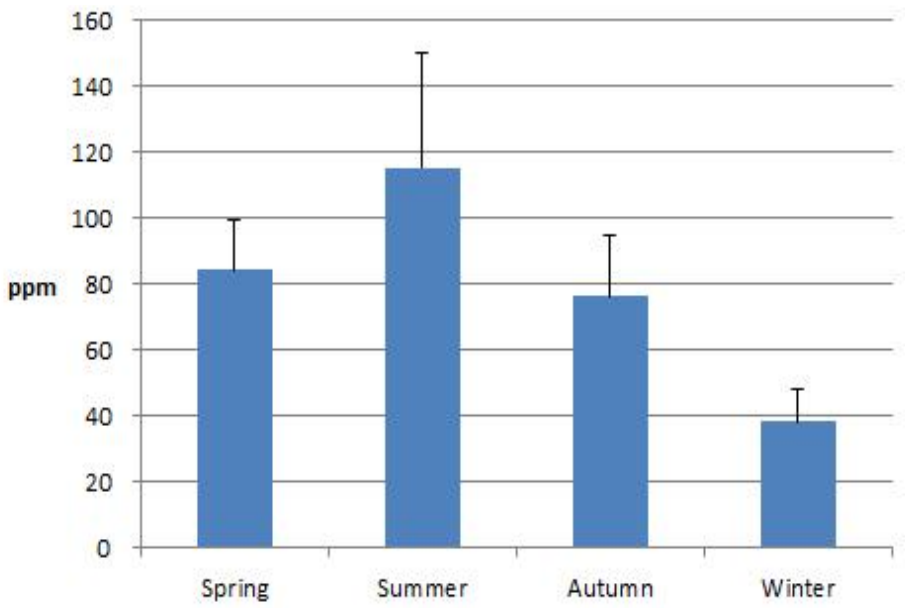

Fig. 1. Mean seasonal concentration of ammonia in livestock manure composting facility.

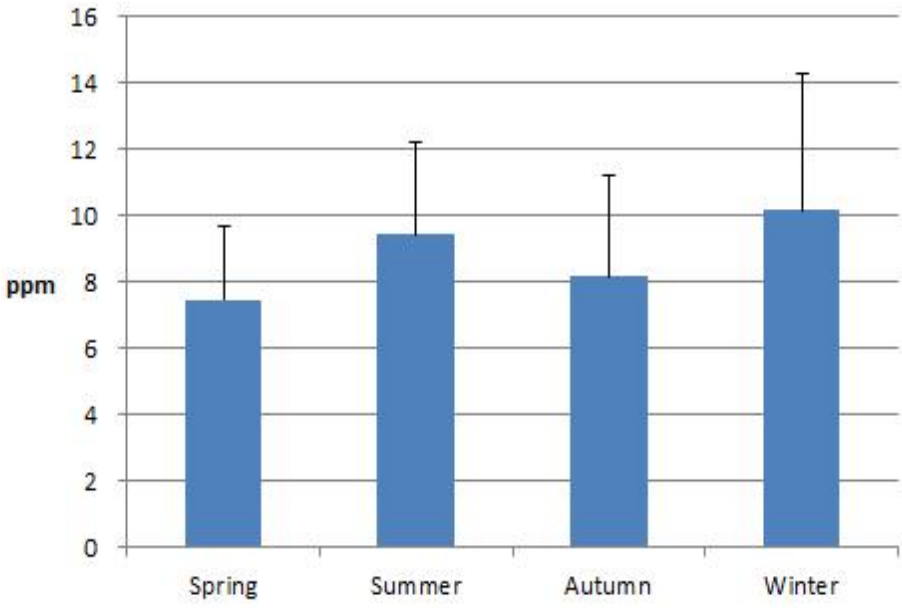

Fig. 2. Mean seasonal concentration of hydrogen sulfide in livestock manure composting facility.

측정되었다. 분석 결과 겨울철이 가장 높은 것으로 나타났고, 다음으로 여름철 > 가을철 > 봄철인 것으로 조사되었으나, 계절별 암모니아의 농도 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다 ($p>0.05$).

4. 고찰

가축분뇨 자원화시설을 대상으로 측정한 본 데이터를 도시 하수 슬러지 (MSW) 퇴비화시 암모니아가 평균 300 ppm 정도가 방출된다는 선행 연구 결과 (James, 1998)와 비교해 본다면 상대적으로 낮은 수준임을 알 수 있다. Kazutaka et al. (1996)은 돈분 퇴비시 암모니아가 최고 1,000 ppm, Tanaka et al. (1983)은 계분 퇴비시 암모니아가 최고 2,500 ppm까지 방출된다는 보고가 있으나, 본 현장 조사 결과는 상당히 미달되는 것으로 조사되었다. 본 측정 결과가 나타난 이유는 축분 퇴비화시 암모니아의 최대 방출은 최적의 유기물 분해와 그에 따른 pH 조건이 7 이상인 알카리 상태 하에서 조성되기 때문에 조사 당일 날 퇴비공장의 운영상황, 즉 공기 주입율 및 기후상황, 측정위치에 따른 결과라 사료된다.

또한 축분의 수분조절재로 사용된 톱밥이나 왕겨, 수피와 같은 보조원료의 성상 및 투입 비율도 축분퇴비시 방출되는 악취발생의 定量·定性적으로 많은 영향을 미쳤으리라 사료된다. 따라서 탄질율 (C/N ratio) 조성에 따라 악취물질의 발생정도가 달라진다는 연구 결과 (Walker, 1991)에 의하면 부숙단계에서 유기물의 C/N ratio가 증가하면 암모니아의 방출이 감소하기 때문에 축분에 비해 상대적으로 탄소함유량이 높은 톱밥이나 왕겨의 투입 비율을 높이게 되면 그만큼 암모니아의 발생량 또한 줄어들게 된다.

계절적 측면에서 악취물질의 발생 패턴을 고찰해 보면 암모니아의 경우 여름철이 가장 높고 겨울철이 가장 낮게 나타났는데, 이는 외부 온도의 상승으로 미생물에 의한 가축분뇨의 분해 속도가 증가됨으로써 나타난 결과

라 사료된다. 반면 황화수소의 경우 통계적으로 유의한 차이는 없지만 오히려 겨울철이 여름철보다 높게 발생되었는데, 이는 겨울철의 경우 가축분뇨의 부숙을 원활히 하기 위해 퇴비더미의 내부 온도를 적정 수준으로 유지한다는 측면에서 교반 횟수가 상대적으로 적어 불충분한 공기 유입으로 혐기성 악취 물질인 황화수소가 높게 발생된 것으로 추정된다. 따라서 가축분뇨 퇴비화 현장에서 가장 문제시되는 악취물질을 S (황) 계열 물질로 제시한 Wilber & Murray (1990)의 연구결과와 ppb 범위의 낮은 최소감지농도 (odor threshold)를 가지고 있어 미량이 대기 중으로 방출되더라도 상당한 악취를 유발한다는 선행 연구 결과 ((WPCF, 1985. Murray & Thompson, 1986)에 근거를 둔다면 이들의 정량평가를 위한 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

요 약

본 연구의 목적은 가축분뇨 자원화시설에서 배출되는 주요 악취물질을 대상으로 계절별 현장 방문 조사를 통해 전반적인 악취발생 현황을 파악하고 가축분뇨 자원화시설 운용시 효율적으로 적용될 수 있는 악취 저감 대책을 설정하기 위한 기초 데이터 구축이다. 횡형 로터리 (Rotary) 교반방식의 퇴비화 시설 내부의 암모니아 발생 농도는 봄철은 84.3 (±15.2) ppm, 여름철은 115.2 (±34.7) ppm, 가을철은 76.2(±18.9) ppm, 겨울철은 38.1 (±10.4) ppm으로 측정되었다. 분석 결과 여름철이 가장 높은 것으로 나타났고, 다음으로 가을철 > 봄철 > 겨울철인 것으로 조사되었다 ($p<0.05$). 반면 황화수소 발생 농도는 봄철은 7.46 (±2.24) ppm, 여름철은 9.42 (±2.82) ppm, 가을철은 8.15 (±3.06) ppm, 겨울철은 10.18 (±4.11) ppm으로 측정되었다. 분석 결과 겨울철이 가장 높은 것으로 나타났고, 다음으로 여름철 > 가을철 > 봄철인 것으로 조사되었으나, 계절별 통계적 차이는 유의하지 않은 것으로 조사되었다 ($p>0.05$).

(검색어 : 악취, 암모니아, 황화수소, 가축분뇨, 자원화시설)

사 사

본 연구는 2013년 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원의 생명산업기술개발사업 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. 환경부. 2009. 악취방지법.
2. James, M., Montgomery, 1988. Compost Facility Odor Control Predesign Report (report to the Denver Metropolitan Waste-water Reclamation District). Consulting Engineers, Inc.
3. Kazutaka, Kuroda, Osada, T., Yonaga, M., 1996. Emissions of malodorous compounds and greenhouse gases from composting swine feces. Bioresource Tech. 56:265-271.
4. Murray, C.M., Thompson, J.L., 1986. Strategies for aerated pile systems. BioCycle. July. 1986:22-26.
5. NIOSH. 1998. Manual of Analytical Methods. 2nd Ed. Vol. 2.
6. Tanaka, H., Haga, K., Yonaga, M., Nakajima, K., 1983. “Control of malodors from swine feces on composting.” Pro- ceedings of New Strategies for Improving Animal Production for Human Welfare - The Fifth World Conference on Animal Production. Tokyo. Japanese Society of Zootechnical Science. 2:835-837.
7. Walker, J.N., 1991. Fundamentals of odor control. BioCycle. 32(9):50-55.

8. Wilber, C., Murray, C., 1990. Odor source evaluation. BioCycle. 31(3):68-72.
9. WPCF. 1985. Odor Control for Wastewater Facilities: Manual of Practice No. 22. Washington, D. C. Water Pollution Control Federation.