

돈분뇨 액비의 폭기수준에 따른 여름철 온실가스 배출량 비교

최동윤 · 박규현 · 조성백 · 양승학 · 황옥화 ·곽정훈 · 안희권 · 유용희

농촌진흥청 국립축산과학원

Comparison of Greenhouse Gas Emission from Liquid Swine Manure According to Aeration Levels in Summer

Choi, Dong-Yoon, Park, Kyu-Hyun, Cho, Sung-Back, Yang, Seong-Hak, Hwang,

Ok-Hwa, Kwag, Jung-Hoon, Ahn, Hee-Kwon and Yoo, Yong-Hee

National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, 441-706, Korea

Summary

This study was carried out to investigate greenhouse gas (GHG), CH₄ and N₂O, emission from liquid swine manure according to aeration levels in summer. To evaluate the influence of operation methods on GHG emissions, liquid swine manure were applied with different rates of aeration (store without aeration, 1 m³/ton/h, 2.5 m³/ton/h, and 5 m³/ton/h). Following are the results of this study.

The liquid swine manure applied no aeration, 1 m³/ton/h, 2.5 m³/ton/h, and 5 m³/ton/h aeration rates released 315.6, 13.9, 17.9 and 9.6 µg/m²/s of CH₄ and 0.173, 0.157, 0.131, and 0.241 µg/m²/s of N₂O, respectively. Liquid swine manure applied no aeration released the most amount of GHG (6,681.4 µg/m²/s CO₂-Eq.) and followed by 5 m³/ton/h (276.4 µg/m²/s CO₂-Eq.), 2.5 m³/ton/h (416.0 µg/m²/s CO₂-Eq.), and 1 m³/ton/h (340.8 µg/m²/s CO₂-Eq.). Our results reveal that the aerated system may reduce GHG emissions compared to no aeration.

Consequently, aeration and mixing were effective at reducing GHG emissions during liquid swine manure storage.

(Key words : GHG, Emission, Liquid swine manure, Methane, Nitrous oxide)

서 론

지난 100년간 지구의 평균기온은 점점 증가하는 추세를 보이면서 지구온난화(global warming) 현상이 나타나고 있다. 이와같은 현상은 온실가스(greenhouse gas)의 증가로 대기의 온도가 상승하는 온실효과(greenhouse

effect)에 의한 것으로, 지구의 자동온도조절 능력(natural temperature control system)이 한계에 도달하고 있음을 보여준다. 전 세계의 산업화 과정에서 발생하는 온실가스 중에서, 가축으로부터 유래하는 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O 등이며, 이 중에서 가축의 호흡으로 배출되는 CO₂ 발생량의 경우에는 가축이 이

Corresponding author : Choi, D. Y., Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, R.D.A. 77 Chuksangil, Suwon, Korea. Tel : 031-290-1715, E-mail : cdy5760@korea.kr
2011년 10월 24일 투고, 2011년 12월 12일 심사완료, 2011년 12월 14일 게재확정

용하는 초지 또는 사료작물이 흡수한다고 보기 때문에 온실가스로 고려하지 않는다. 지구상에서 메탄가스 배출량은 총 500 Tg (Teragram, 1 Tg = 1012 g)이며 이중 동물의 장내 발효에 의해서는 65~100 Tg이고 분뇨에 의해서는 20~30 Tg가 배출되는 것으로 추정되며(IPCC⁶), 반추가축에 의해 방출되는 메탄가스는 연간 78 Tg으로 추정된다(Moss¹¹). 가축으로부터의 메탄생성량의 약 97%가 반추가축에 의해 생성되며, 그 중에서 젖소가 75%를 차지하고, 젖소는 약 200~400, 육우는 70~100, 산양은 10~30g/일의 메탄을 방출한다(Crutzen²). 가축분뇨로부터 발생하는 온실가스도 지구 대기환경문제의 원인으로 지목되었으며 그로 인해 자연생태계의 균형을 무너뜨리는 요소 중 하나로 간주되어왔다. 메탄가스뿐만 아니라 일반적으로 질화 또는 탈질화로부터 발생하는 N₂O는 지구온난화에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며(Houghton 등³), 성층권의 오존의 감소와 관계가 있다(Cicerone¹). N₂O는 지구온난화에 CO₂ 보다 296배 이상 잠재적 영향을 미치며 매년 0.25% 증가하고 있다고 보고했다(IPCC⁷). 퇴비, 액비화과정에서 발생하는 N₂O는 동물 배설물 처리에 있어 심각한 문제를 일으키는 것이 보고되었으며 교토의정서에서 언급된 감소되어야 할 온실가스 중의 하나라고 하였다(Houghton 등⁴). CH₄과 N₂O를 측정하기 위해 많은 연구들이 수행되었으며(Kebreab 등⁸, 2006 ; McGinn¹⁰), 가축분뇨로부터 배출되는 온실가스를 측정하기 위한 방법으로 챔버를 이용한 방법을 많이 사용하고 있다(Hustead⁵; Pattey 등¹³). 챔버법은 steady state 방법과 non-steady state 방법으로 나눌 수 있으며(Livingston and Hutschinson⁹), 이러한 챔버법은 처리 방법에 따른 차이점을 알아보는 데 장점이 있으므로 온실가스 저감 방법들에

대한 비교 시험 등에 사용할 수 있다(McGinn¹⁰). 일본에서는 퇴비화과정에 있어서 가스발생을 시험하기 위한 소규모의 퇴비장치를 고안하여 시험을 진행했으며, 돈분 퇴비화에 있어 높은 통기율이 CH₄와 N₂O의 발생을 낮춘다고 하였다(Osada 등¹²). 혐기상태의 액비는 CH₄ 발생에 유리하며 통기방법에 의해 벗짚과 섞은 액비과정 중 CH₄와 N₂O의 발생이 영향을 받는다고 했다(Thompson 등¹⁴). 본 연구는 돈분뇨 액비화 처리과정에서 발생하는 온실가스(CH₄, N₂O) 발생량을 조사하고, 액비화 처리과정 중에서 가장 적용하기 쉬운 온실가스 저감기술을 개발하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험장소 및 공시재료

돈분뇨 액비화 처리과정에서 폭기 여부에 따라 발생하는 온실가스 배출량을 구명하기 위하여 경기 화성시 향남읍에 소재한 사육규모 4,500두의 양돈농가를 선정하여 슬러리 돈사에서 배출되는 돈분뇨를 공시하여 수행하였다.

2. 시험구 설치

돈분뇨는 10톤 규모의 간이 원형저장조(직경 3.1 m × 높이 1.2 m)를 이용하여 저장하였으며, 폭기량별로 단순저장(대조구), 폭기 1.0m³/톤/hr, 2.5m³/톤/hr, 5.0m³/톤/hr 등 4처리구를 두고 연속폭기 방식으로 처리하였다. 폭기는 콤프레서를 이용하여 각각의 처리구별 폭기 용량에 맞게 조정된 공기분배기를 통하여 공급하였다.

3. 온실가스 샘플링장치 제작

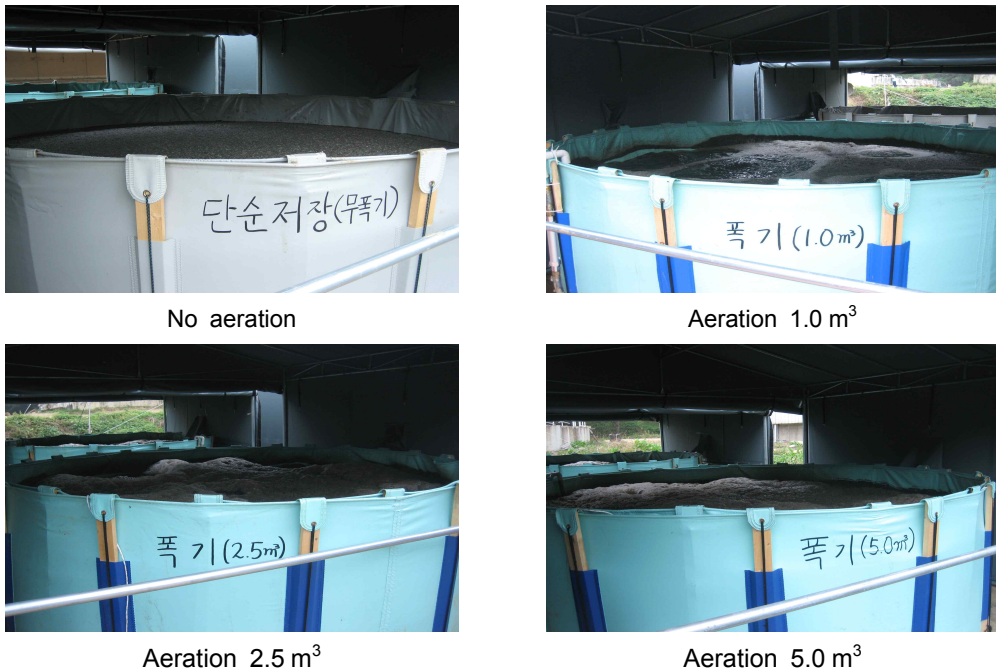


Fig. 1. Photo of liquid manure tanks.

온실가스 배출량 측정을 위해 온실가스 샘플링 장치를 제작하였다. 샘플링 장치는 돈분뇨를 대상으로 측정하기 때문에 10톤 용량 규모의 간이저장조에서 활용하기 쉽도록 floating chamber 방식의 온실가스 샘플링 장치를 제작하였다.

4. 공기분배기 제작

공기분배기는 각 처리구별로 공기량 조절

이 가능하도록 제작하였으며, 공기(폭기)는 콤프레서를 이용하여 각각의 처리구별 폭기 용량(1.0, 2.5, 5.0 m³/톤/시간)에 맞게 조정된 공기분배기를 통하여 공급하였다.

5. 온실가스 시료채취

온실가스 시료는 처리구별로 설치된 배출관을 통해 배출되는 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)를 샘플링하였으며, 샘플링 방법은 샘



Fig. 2. Photo of floating chamber.



Fig. 3. Photo of greenhouse gas sampling.

플링 감압 소형 콤프레서를 이용하여 1L/min으로 5분간 배출 후 5L 테들러 백에 포집하였다.

6. 온실가스 분석

5L 테들러 백에 포집된 온실가스는 국립축산과학원 축산대기환경연구실 온실가스분석실에서 GC (Gas Chromatography)를 이용하여 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)를 분석하였다. 메탄과 아산화질소 분석에 사용된 GC는 CP3800 (Varian, USA) 모델을 이용하였으며, 이 기기는 FID와 ECD의 두 개의 검출기가 설치되어 있어서 두 물질을 동시에 분석할 수 있으며, 기기의 Injector와는 별도로 관을 빼서 만든 주입관과 테들러 백에 포집된 시료를 연결한 뒤, 펌프를 이용해 약 20 ml/min 유량으로 약 1분간 주입 시켜 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 돈분뇨 성분 분석

시험에 공시된 돈슬러리의 성분을 분석한 결과, 원물기준으로 Dry matters는 1.43%, T-N은 0.165%, T-P는 0.025%, 암모니아성 질소는 454.9 mg/kg이었고 유기물 함량은 50.4%였다 (Table 1). 이는 최 등¹⁵⁾이 캐나다 구엘프대학 부속목장의 돈사에서 배출되는 돈슬러리의 총질소, 유기물을 성분 분석한 결과와 비슷한 경향을 보였다.

2. 돈분뇨 액비 폭기처리시 CH₄ 및 N₂O의 초기 배출량 변화

돈분뇨 액비화 과정에서 발생하는 초기 온실가스 배출량을 처리구별로 조사한 결과, 폭기처리 후 2시간까지의 메탄(CH₄) 발생량은 단순저장일 때 1.81 μg/m²/s, 폭기 1.0 m³/톤/시간 처리구 3.19 μg/m²/s, 폭기 2.5 m³/톤/시간 처리구 7.97 μg/m²/s, 폭기 5.0 m³/톤/시간 처리구에서 13.54 μg/m²/s로 조사되어 폭기량이 많을수록 온실가스 배출량이 증가하는 것으로 나타났다. 아산화질소(N₂O) 발생량은 단순저장일 때 0.00064 μg/m²/s, 폭기 1.0 m³/

Table 1. The nutrient contents of liquid swine manure

Dry matter	T-N	T-P	NH ₄ -N	Organic matter
1.43%	0.165% wet	0.025% wet	454.9mg/kg wet	50.4% dry

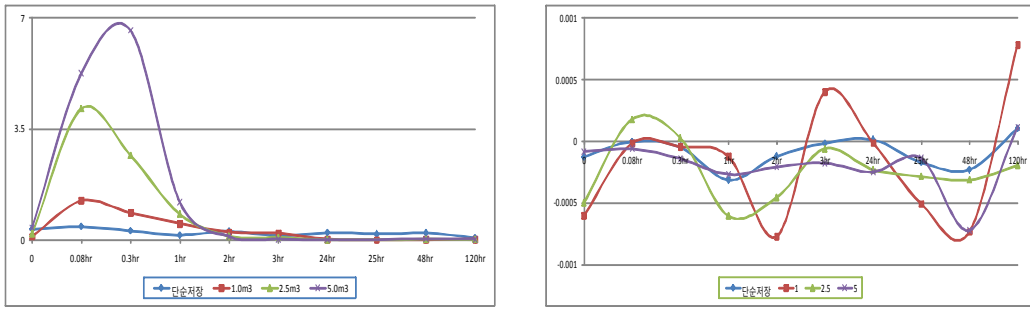


Fig. 4. Variation of CH₄ (left) and N₂O (right) emissions during aeration of liquid swine manure.

톤/시간 처리구 0.00118 µg/m²/s, 폭기 2.5m³/톤/시간 처리구 0.00166 µg/m²/s, 폭기 5.0m³/톤/시간 처리구에서 0.0012 µg/m²/s로 조사되어 메탄과 마찬가지로 초기에는 단순저장 처리구에 비해 폭기처리구의 폭기량이 많을수록 배출량이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 메탄과 아산화질소 모두 폭기처리 후 2시간 이상이 경과하면 배출량이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 볼 때, 초기에는 폭기처리에 의해 돈분뇨 액비 중에 이미 생성되어 있는 메탄과 아산화질소가 배출되기 때문인 것으로 추정된다.

3. 돈분뇨 액비 폭기수준에 따른 메탄 발생량

돈분뇨 액비화 과정에서 발생하는 메탄량

Table 2. Methane emissions during aeration of liquid swine manure according to aeration levels

Item	CH ₄ (µg/m ² /s)	Ratio
No aeration	315.6	1.00
Aeration (1.0m ³)	13.9	0.04
Aeration (2.5m ³)	17.9	0.06
Aeration (5.0m ³)	9.6	0.03

을 조사한 결과, 단순저장일 경우 315.6 µg/m²/s이 배출되었으며, 폭기 1.0 m³/톤/시간에서는 13.9 µg/m²/s, 폭기 2.5 m³/톤/시간은 17.9 µg/m²/s, 폭기 5.0 m³/톤/시간은 9.6 µg/m²/s로 나타났다. 이와같은 결과는, 혐기상태의 액비는 CH₄ 발생에 유리하며 통기방법에 의해 벗짚과 섞은 액비는 처리과정 중 CH₄의 발생에 영향을 받는다고 한 보고와 유사한 경향을 보였다(Thompson 등¹⁴). IPCC⁷⁾도 열대 환경에서 액체 상태로 장시간동안 관리된 분뇨는 메탄형성을 촉진시키며 분뇨관리환경에 따라 65~80% 정도의 높은 메탄변환계수(MCF) 값을 가질 수 있다고 하였다. 따라서 돈분뇨 액비화시 폭기처리를 하게 되면 무폭기 단순저장에 비해 메탄 발생량이 3.0~5.7%에 불과한 것으로 나타났다.

Table 3. Nitrous oxide emissions during aeration of liquid swine manure according to aeration levels

Item	N ₂ O (µg/m ² /s)	Ratio
No aeration	0.173	1.00
Aeration (1.0 m ³)	0.157	0.91
Aeration (2.5 m ³)	0.131	0.76
Aeration (5.0 m ³)	0.241	1.39

Table 4. Carbon dioxide emissions during aeration of liquid swine manure according to aeration levels

Item	CO ₂ emissions from energy use (g/m ² /day)	CO ₂ equivalent			Total CO ₂ emissions (g/m ² /day)	Ratio
		CH ₄ (μg/m ² /s)	N ₂ O (μg/m ² /s)	(g/m ² /day)		
No aeration	0	315.6	0.173	577.3	577.3	1.00
Aeration (1.0m ³)	81.6	13.9	0.157	29.4	111.0	0.19
Aeration (2.5m ³)	204.0	17.9	0.131	35.9	239.9	0.42
Aeration (5.0m ³)	407.9	9.6	0.241	23.9	431.8	0.75

* Global warming potential : CH₄ (21), N₂O (310).

4. 돈분뇨 액비 폭기수준에 따른 아산화질소 발생량

돈분뇨 액비화시 폭기수준에 따라 발생되는 아산화질소 배출량을 조사한 결과, 단순저장(대조구)인 경우 0.173 μg/m²/s이 배출되었으며, 폭기 1.0 m³/톤/시간에서는 0.157 μg/m²/s, 폭기 2.5 m³/톤/시간은 0.131 μg/m²/s, 폭기 5.0 m³/톤/시간은 0.241 μg/m²/s로 나타났다. 그러나 아산화질소는 메탄과 달리 돈분뇨 액비화시 단순저장과 폭기처리 모두 비슷한 발생량을 보이는 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 혐기처리 조건에 관계없이 돈분뇨 중 질소함량과 질화 및 탈질화 작용에 의한 것으로 추정된다. Houghton 등⁴⁾은 액비화 과정에서 발생하는 N₂O는 동물배설물 처리에 있어 심각한 문제를 일으키는 것으로 보고하였으며 교토의정서에서 언급된 감소되어야 할 온실가스 중의 하나라고 하였다. 또한 가축분뇨로부터 발생하는 온실가스 중 메탄가스 뿐만 아니라 질소로부터 발생하는 N₂O는 지구온난화에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 (Houghton 등³⁾), 성층권의 오존의 감소와 관계가 있다고 보고하였다 (Cicerone¹⁾).

5. 돈분뇨 액비 폭기수준에 따른 이산화탄소 발생량

가축의 호흡으로 배출되는 CO₂ 발생량의 경우는 초지 및 사료작물이 흡수한다고 보기 때문에 온실가스로 고려하지 않지만 화석연료의 사용 등에 의한 CO₂ 발생량은 인간의 경제활동으로 발생하는 것이기 때문에 온실가스로 고려한다. 이에 따라 돈분뇨 액비화 처리과정에서 폭기처리에 사용된 전기사용량에 따른 이산화탄소 발생량은 단순저장(대조구), 폭기 1.0 m³/톤/시간, 폭기 2.5 m³/톤/시간, 폭기 5.0 m³/톤/시간 처리구에서 각각 0, 81.6, 204.0, 407.9g/m²/일로 나타났다. 또한 돈분뇨 액비화 과정에서 발생하는 메탄과 아산화질소를 이산화탄소로 환산한 결과, 단순저장(대조구)에서는, 폭기 1.0 m³/톤/시간, 폭기 2.5 m³/톤/시간, 폭기 5.0 m³/톤/시간 처리구에서 각각 577.3, 29.4, 35.9, 23.9 g/m²/일로 나타났다. 따라서 전기사용량을 고려한 돈분뇨 액비화 과정의 폭기처리 수준에 따른 총 이산화탄소 발생량은 단순저장(대조구)인 경우 577.3g/m²/일이 배출되었으며, 폭기 1.0 m³/톤/시간에서는 111.0g/m²/일, 폭기 2.5 m³/톤/시간은 239.9g/m²/일, 폭기 5.0 m³/톤/시간은 431.8

g/m²/일로 나타났다.

적 요

본 시험은 돈분뇨 액비에서 발생하는 온실가스(CH₄, N₂O) 발생량을 조사하기 위해 수행하였으며, 처리구별로 메탄 및 아산화질소의 발생량을 비교한 결과는 다음과 같다.

돈분뇨 액비에서 발생하는 메탄량은 단순 저장, 폭기 1.0, 폭기 2.5, 폭기 5.0 m³/톤/시간 처리구에서 각각 315.6, 13.9, 17.9, 9.6 μg/m²/s, 아산화질소량은 각각 0.173, 0.157, 0.131, 0.241 μg/m²/s로 나타났으며, 이를 이산화탄소 발생량으로 환산하면, 각각 6,618.4, 340.8, 416.0, 276.4 μg/m²/s였다. 또한 폭기처리 시 전기 사용에 따른 이산화탄소 발생량은 각각 0, 81.6, 204.0, 407.9 g/m²/일로 나타났다. 따라서 전기사용량을 고려한 돈분뇨 액비화 과정의 폭기처리 수준에 따른 총 이산화탄소 발생량은 각각 577.3, 111.0, 239.9, 431.8 g/m²/일로서 돈분뇨 액비화 처리과정 시 호기적 처리를 하게 되면 단순저장에 비해서 메탄 및 아산화질소 등의 온실가스 발생량이 저감되는 것으로 조사되었으며 적절한 폭기량은 1.0~2.5 m³/톤/시간으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. Cicerone, R. J. 1987. Changes in stratospheric ozone. *Science* 237:35-42.
2. Crutzen, P. J. 1995. On the role of CH₄ in atmospheric chemistry: Sources, sinks and possible reductions in anthropogenic sources. *Ambio* 24:52-55.
3. Houghton, J. T., Callander, B. A. and Varney, S. K. 1992. The Supplementary

Report to the IPCC Scientific Assessment, Climate Change. Cambridge University Press, New York.

4. Houghton JT., Meira Filho LG., Bruce J., Lee H., Callander BA., Haites E, Harris N. and Maskell K. 1995. Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Senarios. Cambridge University Press, Cambridge.
5. Hustead, S. 1993. An open chamber technique for determination of methane emission from stored livestock manure. *Atmospheric Environment* 27, 1635-1642.
6. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Guidelines for national greenhouse gas inventory. Green House Gas Inventory Workbook. 2.
7. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Guidelines for national greenhouse gas inventory.
8. Kebreab, E., Clark, K., Wagner-Riddle, C. and France, J. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from canadian animal agriculture: a review. *Canadian Journal of Animal Science* 86, 135-158.
9. Livingston, G. P. and Hutchinson, G. L. 1995. Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK., Ch. Enclosure-based measurement of trace gas exchange : Applications and sources of error, pp. 14-51.
10. McGinn, S. M. 2006. Measuring greenhouse gas emissions from point sources in agriculture. *Canadian Journal of Soil Science* 86, 355-371.

11. Moss, A. R. 1993. Methane: global warming and production by animals. Chalcombe Publications, Kingston, UK.
12. Osada, T., Kuroda, K. and Yonaga, M. 2000. Determination of nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from a swine waste composting process. *J. Mater. Cycles Waste Mgmt.* 2:51-56.
13. Pattey, E., Trzcinski, M. K. and Desjardins, R. L. 2005. Quantifying the reduction of greenhouse gas emissions as a result of composting dairy and beef cattle manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72, 173-187.
14. Thompson, A. G., Wagner-Riddle, C. and Fleming, R. 2004. Emissions of N₂O and CH₄ during the composting of liquid swine manure. *Environ. Monit. Assess.* 91: 87-104.
15. 최동윤, 박규현, 광정훈, 조성백, 양승학, 황옥화, 안희권, 강희설, 유용희. 2010. Pail내 돈슬러리의 메탄 발생량에 관한 연구. *한국축산시설환경학회지* 16(3):175-180.