

## Pail내 돈슬러리의 메탄 발생량에 관한 연구

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

농촌진흥청 국립축산과학원

## Study on the Methane Emissions from Pails Storing Liquid Swine Manure

Choi, D. Y., Park, K. H., Kwag, J. H., Cho, S. B., Yang, S. H., Hwang, O. H., Kang, H. S. and Yoo, Y. H.

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

### Summary

Many greenhouse gases occur naturally, such as water vapor, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and ozone. Others such as hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), and sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) result exclusively from human industrial processes. Current global warming has been linked to anthropogenic greenhouse gas concentration increases. Methods to quantify greenhouse gas emissions during animal agriculture and the possibility to apply those to circumstance in the world were studied. Various chamber methods with trace gas analyzer (TGA) were used to quantify greenhouse gas emissions from stored manure. Methane fluxes from pails storing liquid swine manure were measured. Methane emissions increased a little with time and mean was  $393.2 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (standard error :  $4 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

**(Key words :** Swine, Liquid manure, Methane, Climate change)

### 서 론

대기를 구성하는 여러가지 기체들 가운데 지구온난화 현상을 유발하는 기체를 ‘온실가스 (Greenhouse Gas)’라 하며, 1997년 UN Framwork Convention on Climate Change (UNFCCC)의 제3차 당사국총회 (Conference of the Parties)에서는 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>), 메탄 (CH<sub>4</sub>), 아산화질소 (N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소 (HFCs), 과불화탄소 (PFCs), 육불화황 (SF<sub>6</sub>)을 당장 저감해야 할 6대 온실가스로 지정하였다. 이중 축산업에 관련된 온실가스는 자연계에서 발생하는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이며, 인위적으로 만들

어진 HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>의 경우 냉매로 사용되는 양을 제외하고는 고려하지 않고 있다. 또한 가축의 호흡으로 배출되는 CO<sub>2</sub> 발생량의 경우는 사료작물이 흡수한다고 보기 때문에 Net 평형을 이루어 온실가스로 고려하지 않는다. 하지만 화석연료의 사용 등에 의한 CO<sub>2</sub> 발생량은 인간의 경제활동으로 발생하는 것이기 때문에 온실가스로 고려한다.

축산에서 배출되는 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O를 측정하기 위한 방법에 대한 많은 연구들이 수행되었다 (Kebreab et al., 2006 ; McGinn, 2006). 가축분뇨에서 배출되는 온실가스를 측정하기 위한 일반적인 방법이 챔버방법이다 (Hustead, 1993;

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

2010년 10월 19일 투고, 2010년 11월 17일 심사완료, 2010년 11월 22일 게재확정

Pattey et al., 2005). 챔버법은 steady state 방법과 non-steady state 방법으로 나눌 수 있다 (Livingston and Hutschinson, 1995). Non-steady state 챔버 방법은 챔버와 그 외부 사이에 가스, 열, 또는 수증기의 교환을 제한할 수 있으며, 챔버 내부에서 시간에 따른 가스, 열, 또는 수증기의 농도 변화를 측정하여 발생량을 계산한다. Steady state 방법은 챔버 내외부의 공기 흐름을 만들어 챔버 내부의 가스, 열, 또는 수증기 농도가 안정적 (steady)이도록 한 후 인입 gas와 배출 gas의 농도차를 측정하여 발생량을 계산한다. 이러한 챔버법은 처리 방법에 따른 차이점을 알아보는데 장점이 있으므로 온실가스 저감 방법들에 대한 비교 시험 등에 사용할 수 있다 (McGinn, 2006). 하지만 챔버법의 일반적 문제점은 챔버를 설치함으로써 배출원의 자연적 조건을 변형시킬 수 있다는 것이다. 특히 Non-steady state 챔버법은 챔버 내부에 가스, 온도, 또는 수증기 농도가 증가하면서 배출원과 챔버 내부 공기의 농도차가 작아지면서 배출량에 영향을 미칠 수 있다는 점이다. Steady state 챔버법은 non-steady state 방법에 비해 이런 영향이 적지만 챔버 자체의 좁은 면적으로 인해 넓은 지역에서 배출되는 양을 하나의 챔버 데이터로 대표하기 어렵다는 챔버법 자체의 문제점을 지니고 있다 (Hutchinson and Mosier, 1981).

본 연구는 폭기없이 저장하는 돈슬러리의 메탄 발생량을 연속 측정하여 배출량 및 시간대 별 배출량 변화를 알아보기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. TGA를 이용한 온실가스 측정기술

본 실험은 캐나다 구엘프대학교 토양자원 과학과의 농업기상학 실험실에서 2008년 2월

11일부터 4월 6일까지 수행하였다. Trace Gas Analyzer (TGA100, Campbell Science Inc., Logan)를 사용하기 위해 압력테스트, 레이저 mapping, 검출기 선형성 (linearity) 테스트를 하였으며, 그 방법은 아래와 같다.

#### 가. 압력 테스트

○ Needle valve를 조절하여 공기 흐름을 0.7 L/min로 맞춤 → 진공펌프를 멈춘 후 압력계를 TGA의 샘플링 가스 연결구에 설치 → 진공펌프 가동 후 TGA 프로그램 실시 → Relay box 스위치를 ‘자동’에 맞춤 후 valve box의 흡입관을 닫은 후 압력 확인

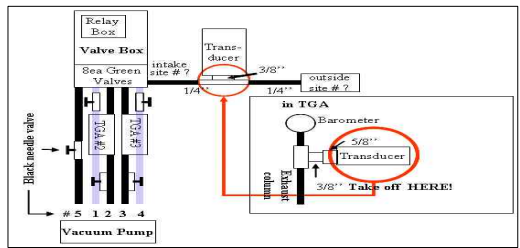


Fig. 1. Scheme of TGA.

#### 나. 레이저 mapping

○ TGA parameter 항목에서 laser의 파장 변화에 따른 laser power의 산란을 점검 → Laser의 spectrum과 비교하여 CH<sub>4</sub>과 N<sub>2</sub>O 측정을 위한 최적의 파장 산출

#### 다. 검출기 선형성 점검

○ TGA parameter 중 sample cell의 길이를 reference cell의 길이로 조정 → Reference 가스를 reference detector와 sample detector에 동

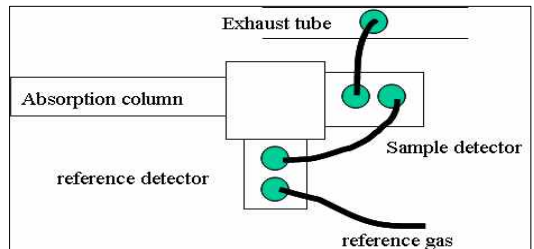


Fig. 2. Scheme of detector linearity test.

시에 연결 → Laser 및 압력 parameter 확인 후 ‘sample detector linearity coefficient’ 조정

18~20℃였고 대기압은 1013 hPa이었으며 들통의 표면적은 66.05 cm<sup>2</sup>였다.

## 2. 돈슬러리의 CH<sub>4</sub> 배출량 측정

### 가. 실험조건

본 실험은 캐나다 온타리오 주의 University of Guelph 부속 Arckell research farm에서 2008년 4월 7일부터 6월 15일까지 10주간 실시하였다. 실험에 사용된 돈슬러리는 육성돈사 옆의 무폭기 액상분뇨 저장조에서 1~2주 정도 경과한 것을 채취하였으며, 들통 (pail)에 넣은 후 밀폐를 하였다. 들통은 blower와 연결되어 있었으며, flow meter를 이용하여 공기 유입 (10 L/min)을 조정하였다. 들통에서 샘플링한 가스는 TGA에 연결하여 1초에 10회 실시간 CH<sub>4</sub> 측정을 하였다. 시험온도는

### 나. Methane Flux Calculation

들통에서 발생하는 메탄발생량은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$Flux = \frac{FR \times \Delta c}{A}$$

$$\Delta c = \frac{(C_{out} - C_{in})_{TGA} \times P \times M}{T \times R}$$

\* FR : Flow Rate (m<sup>3</sup>/s)

Δc : Gas density difference in the air inlet and outlet (kg m<sup>-3</sup>)

A : Surface area of emitting materials (m<sup>2</sup>)

(C<sub>out</sub> - C<sub>in</sub>)<sub>TGA</sub> : Concentration difference measured using TGA (ppm)

P : Atmospheric pressure (Pa)

M : Molecular weight of gas (kg kmol<sup>-1</sup>)

T : Average temperature of the analyzed air (K)

R : Universal gas constant (8314 J kmol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> ; J = N·m)



Fig. 3. Pails storing liquid swine manure and TGA systems.

## 결과 및 고찰

### 1. TGA 운용 시험

TGA 운용시험의 결과는 아래와 같다. TGA는 ppt 단위까지 측정이 가능하지만 ppb 단위까지만 표시하였다. 16 site에서 측정된 값들의 평균값은 2.437 ppm이었으며, 표준편차는 0.024 ppm이었다. 각 site에서 평균값과 비교한 표준편차는 10% 이내였다. 따라서 각 site에서 측정된 값은 일정한 농도를 보인다고 할 수 있다 (Table 1).

TGA의 운용시험을 위하여 실험실의 공기를 4주간 흡입하여 TGA의 안정성을 확인하였다. 이를 위해서 16개의 샘플링 site를 운용

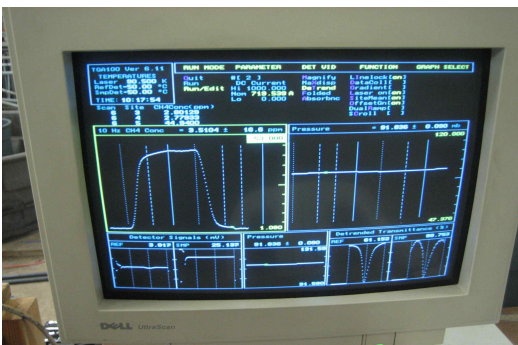


Fig. 4. Results of real time measurement of CH<sub>4</sub> fluxes from pails.

Table 1. Results of CH<sub>4</sub> concentration measurement for TGA precision test

Site	Mean (ppm)	STDEV (ppm)	Max. conc.(A) (ppm)	Min. conc.(B) (ppm)	A-B (ppm)
1	2.412	0.239	2.830	1.917	0.913
2	2.422	0.240	2.850	1.928	0.922
3	2.432	0.241	2.855	1.947	0.908
4	2.476	0.242	2.898	2.048	0.850
5	2.422	0.241	2.843	1.934	0.909
6	2.440	0.239	2.869	1.976	0.893
7	2.437	0.234	2.837	1.917	0.920
8	2.444	0.234	2.846	1.933	0.913
9	2.453	0.235	2.861	1.951	0.910
10	2.501	0.233	2.905	2.053	0.852
11	2.421	0.233	2.835	1.942	0.893
12	2.436	0.231	2.859	1.980	0.879
13	2.416	0.232	2.823	1.942	0.881
14	2.433	0.229	2.848	1.985	0.863
15	2.412	0.231	2.829	1.941	0.888
16	2.430	0.230	2.846	1.980	0.866
Mean (ppm)	2.437	0.235	2.852	1.961	0.891
STDEV (ppm)	0.024	0.004	0.023	0.041	0.024

하였고, 각 site에서 샘플링된 공기의 CH<sub>4</sub> 농도는 TGA에서 1초에 10회 연속적으로 분석되었으며, 12.5초마다 valve box의 solenoid valve 작동으로 다음 site로 변환되었다. 따라서 각 site는 30분간 9 회 분석이 되었으므로 분석 샘플 수는 1,125개였으며, 그 평균값이 매 30분 컴퓨터에 저장되었다 (10 samples/s × 12.5 s/cycle × 9 cycles/30 min = 1,125 samples/30 min).

## 2. 돈슬러리의 CH<sub>4</sub> 배출량 측정

돈슬러리에서 배출되는 CH<sub>4</sub>을 측정하기 위해 돈사 액상분뇨 저장조에서 돈슬러리를 샘플링하여 그것을 들통에 보관하였다. 돈슬러리의 성분분석을 한 결과 원물 기준으로 Dry matter는 0.85%, TKN은 0.18%, Total P는 0.01%, Total C는 35.5%, 암모니아성 질소는 1,620 mg/kg이었고 칼륨은 0.10%였다 (Table 2).

Table 2. The nutrient contents of swine liquid swine manure

Dry Matter	TKN	Total P	Total C	NH <sub>4</sub> -N	K
0.85%	0.18% wet	0.01% wet	35.5% dry	1,620 mg/kg wet	0.10% wet

Table 3. Methane emissions from pails storing swine liquid manure

Item	Number of sample means	Average	SE <sup>†</sup>
		$\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$	
Pail 1	135	413.9	6.3
Pail 2	135	373.8	6.9
Pail 3	135	391.9	7.1
Pail 1+2+3	405	393.2	4.0

<sup>†</sup> Standard Error of the mean.

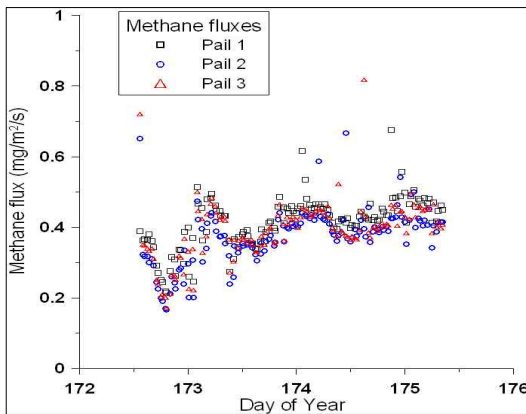


Fig. 5. Methane emissions pattern from pails storing swine liquid manure according to storage time.

돈슬러리를 들통에 저장한 후 시간이 지남에 따라 CH<sub>4</sub> 배출량이 다소 증가하는 경향이 있었다. 이는 들통에 액비를 채울 때 산소가 공급될 수 있었으나 시간이 지남에 따라 혐기적 환경이 안정적으로 유지되었기 때문으로 판단된다. 들통에서 배출된 CH<sub>4</sub>은 연속적으로 실시간 분석되었고 그 배출량은 30분 평균값으로 저장되었다. 총 135개의 30분 평균값들이 계산되었다. 들통 1, 2, 3의 CH<sub>4</sub> 배출량은 각각 413.9, 373.8, 그리고 391.9  $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 였고 세 들통의 평균값은 393.2  $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다 (Table 3).

## 적 요

본 시험은 혐기조건하에서 돈슬러리로부터 발생하는 온실가스 연속측정 기술을 습득하고, 이를 이용해 온실가스의 일종인 메탄 발생량 및 시간대별 배출량 변화를 알아보기 위한 목적으로 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. TGA의 16 site에서 측정된 값들의 평균값은 2.437 ppm이었으며 표준편차는 0.024 ppm이었다. 각 site에서 평균값과 비교한 표준편차는 10% 이내였다. 따라서 각 site에서 측정된 값은 일정한 농도를 보인다고 할 수 있다.

2. 돈분뇨 액비에서 배출되는 CH<sub>4</sub>을 측정하기 위해 돈분뇨 액비 저장조에서 액비를 샘플링하여 그것을 들통에 보관하였고, 들통에서 배출되는 CH<sub>4</sub> 배출량을 측정하였다. 들통 1, 2, 3의 CH<sub>4</sub> 배출량은 각각 413.9, 373.8, 그리고 391.9  $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 였고 세 들통의 평균값은 393.2  $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다.

## 인 용 문 헌

- Hustead, S. 1993. An open chamber technique for determination of methane emission from stored livestock manure.

- Atmospheric Environment 27, 1635-1642.
2. Hutchinson, G. L. and Mosier, A. R. 1981. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. Soil Science Society of America Journal 45, 311-316.
  3. 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.
  4. 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.
  5. McGinn, S. M. 2006. Measuring greenhouse gas emissions from point sources in agriculture. Canadian Journal of Soil Science 86, 355-371.
  6. 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.