

우사깔짚에서 발생하는 온실가스 배출량 산정 : 모의 실험결과

조원실¹ · 이진익¹ · 박규현² · 김정대¹ · 라창식^{1*}

¹ 강원대학교 동물생명과학대학, 춘천시 효자2동 강원대학길 192-1, ²국립축산과학원 수원시 권선구 441-350

Emission Rate of Greenhouse Gases from Bedding Materials of Cowshed Floor: Lab-scale simulation study

Won Sil Cho¹, Jin Eui Lee¹, Kyu Hyun Park², Jeong Dae Kim¹ and Chang Six Ra^{1*}

¹Department of Animal Life System, College of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, South Korea, ²National Institute of Animal Science, RDA, Suwon, 441-350, South Korea

ABSTRACT

To know the emission amount of greenhouse gases from bedding materials of cowshed floor, the emission rates of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) gases from a simulated cowshed floor (SCF) with sawdust that manure loading rate into the bedding material could be accurately controlled were assessed in this study. The manure loading rates of Korean beef and Holstein dairy cattle into the SCF of 0.258 m² surface area with 10 to 15 cm height sawdust were 1.586 kg/m²/d and 3.588 kg/m²/d, respectively, and those were calculated on the basis of “Standard model for sustainable livestock” and “Data for excretion amount of manure from livestock”. All experiments were done in triplicates in three different seasons (May to July, Sep. to Nov., and Feb. to Apr.) using 12 SCFs. The effects of bedding material thickness on CH₄ and N₂O emission from SCFs for both Korean beef cattle and Holstein dairy cattle were not statistically significant (p<0.05). Emission amount of CH₄ and N₂O per square meter of SCF for Holstein dairy cattle was 7.5 and 1.2 times higher than that of Korean beef cattle, respectively. The yearly CH₄ amount per head was 17.7 times higher in Holstein dairy cattle, obtaining 130.4 g/head/year from SCF for Holstein dairy cattle and 7.4 g/head/year from SCF for Korean beef cattle, and N₂O was also 3.8 times higher in Holstein dairy cattle (3,267 g/head/year in Korean beef cattle and 14,719 g/head/year in Holstein dairy cattle). However, the N₂O-N per loaded nitrogen into SCF was higher in Korean beef cattle, having 0.2148 and 0.1632 kg N₂O-N/kg N in Korean beef cattle and Holstein dairy cattle, respectively, and those values were 3.07 and 2.33 times higher than that of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006 guideline (GL) (0.07 kg N₂O-N/kg N).

(Key words : Methane, Nitrous oxide, Emission rate, Cowshed floor)

서 론

온실가스 배출자료는 기후변화 협약과 관련된 국제협약 및 국내 저감대책 수립에 없어서는 안되는 중요한 기초자료이다(Kim 등, 2000 Lim 등, 2011). 산업폐수나 하수처리시설의 경우, 비교적 다양한 공법과 공정에 대하여 온실가스 배출량을 산정하고 배출계수를 꾸준히 개발하여 왔으나, 축산부문에서는 이러한 노력이 미미할 뿐 아니라 각 연구에서 통일된 시료채취 및 분석방법이 적용되지 않아 측정값의 정확성을 확인 할 수 없어 배출계수의 비교분석에 한계가 있다. 따라서 실측에 의한 배출량 산정 연구와 시료 채취 방법 및 수집자료, 자료 해석 방법의 구축이 시급한 실정이다(Yun 과 Yu, 1998 Kim 등, 2000 Wang 등, 2010). 각국의 온실가스 배출량 자료의 신뢰성을 높이고, 얻어진 결과물에 대해 표준화하여

비교 평가하기 위해 1996년 국제 기후변화협약체인 IPPC에서 GL을 마련한 이후, 2000, 2006년에 분야별로 부분 개정되었으며, 만약 국가별로 온실가스 인벤토리 작성방법이 확립되어 있지 않다면 이 GL을 따를 것을 권고하고 있다(IPPC, 2006). IPPC GL (2006)에 따라 산출된 전세계 온실가스 배출/흡수 부문별 추이를 살펴보면(2007년 기준), 에너지 84.7%, 산업공정 9.8%, 농·축산 3.0%, 폐기물 2.5% 순으로(Lim 등, 2011) 다른 분야에 비해 축산부문에서의 온실가스 발생량이 매우 적은 것으로 보고되고 있다. 그럼에도 불구하고 축산부문 온실가스가 주목 받는 이유는 반추가축의 장내발효와 분뇨처리 과정에서 발생하는 메탄가스(CH₄)와 아산화질소가스(NO₂)의 지구온난화 지수가 매우 크기 때문이다(Snyder 등, 2009; Shen 등, 2011). IPPC에서는 CH₄과 N₂O의 잠재적 지구 온난화 지수가 이산화탄소(CO₂)에 비해 각각 31,

* Corresponding author : ChangSix Ra, Dept. of Animal Life System, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea. Tel: (033) 250-8618, Fax: (033) 251-7719, E-mail: changsix@kangwon.ac.kr

310배 높다고 보고하고 있다(IPPC, 2001).

우리나라에서의 축산부문 온실가스 배출원에 대한 인벤토리 구축 및 배출계수 산정, 미세먼지 생성과 관련된 연구는 2000년대 초반부터 진행되어 왔으나(Lim 등, 2011), 축종에 따라 사육환경, 사료, 체중, 분뇨처리 방법 등이 달라 아직까지 축산부문에서의 온실가스 발생량 등에 관한 기본데이터가 매우 부족한 실정이다. 가축이 거주하는 축사로부터 발생하는 CH₄와 N₂O 가스는 깔짚 두께와 가축으로부터 배출되는 분뇨량 및 사양환경 등에 따라 변화하기 때문에 정확한 온실가스 측정 및 산정이 어려우며, 특히 가축으로부터 배출되는 분뇨량 혹은 유기물 및 질소량을 기준으로 온실가스 발생량을 정확하게 산정하기 위해서는 생리적/환경적 여건에 따라 변화하는 일일 분뇨 배설량과 분뇨 성분을 정확히 분석해야 하는데 이는 사실상 현장 실험에서는 불가능하다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 한우와 유우의 깔짚우사에서 발생하는 온실가스 농도를 측정하여 CH₄와 N₂O flux를 정량화하고, 궁극적으로 깔짚우사 바닥에서의 온실가스 배출량 및 배출계수를 산정하고자 깔짚으로 부하되는 분뇨배설량과 분뇨성분을 정확히 산출/분석할 수 있는 실험실 조건에서의 깔짚두께별 CH₄와 N₂O 가스 발생량을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험설계

한우 및 유우를 대상으로 깔짚우사에서 발생하는 온실가스 농도를 측정하기 위하여 농림수산식품부에서 제시한 축종별 ‘친환경축산 표준모델’의 축사 면적을 참고하여 실험실 시험이 가능한 사이즈(L 0.63 m × W 0.41 m × H 0.22 m)의 모의축사바닥을 만들어 시험에 사용하였다. 강화 플라스틱을 이용하여 제작된 총 12개의 모의축사 바닥을 한우, 유우 두 그룹으로 나누고 각각 3개의 모의 축사 바닥에 깔짚을 10, 15 cm 두께로 깔아 모든 실험이 3반복으로 이루어지도록 하였으며 IPPC GL (2006)의 가축분뇨처리 시 CH₄과 N₂O의 배출계수 제시에서와 동일하게 3개월(5~7월, 9~11월, 2~4월)을 기준으로 총 3회 반복 실험하였다.

2. 챔버 제작 및 가스 채취

지면이나 수면으로 발생하는 기체의 발산량을 측정하는데 널리 이용되고 있는 플럭스 챔버(Flux Chamber)를 Fig. 1과 같이 아크릴을 이용하여 제작하였다. 제작된 챔버의 부피는 총 36 L (0.3 m × 0.3 m × 0.4 m)이었으며, 단면적은 0.09 m² 이었다. 챔버는 가스의 흡착 및 방출을 최소화하도록 하였으며, 상부에 소형 fan을 장착하여 챔버 내부 공기의 균질성을 유지하였고, 유입가스와 배출가스가 혼합되어 충분히 안정되는 체류시간 이후 outline에 테일러 백을 연결하여 시료를 채취하였다. 본 연구에서는 챔버 내부의 가스가 연속적인 흐름상태가 유지될 수 있도록 하기 위해 기체용 정량 펌

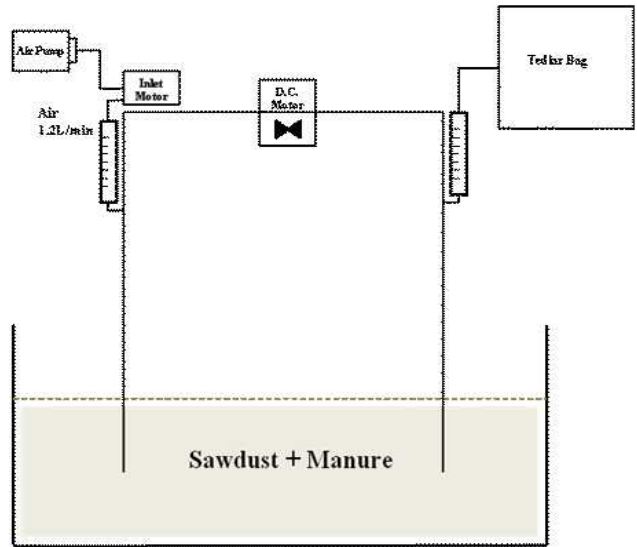


Fig. 1. Schematics of experimental chamber.

프를 이용하여 1.2 L/min의 유속으로 24분간 가스를 유입시킨 후 시료를 포집하였다. 가스 포집은 주 2회 간격으로 오후 2시에 수행되었다.

3. 깔짚 및 분뇨 부하량

우사에서 사용되는 깔짚에는 톱밥, 왕겨 등 여러 가지 재료가 이용 가능하지만, 현장 조사결과 대부분의 농가에서 톱밥을 사용하고 있는 것으로 파악되어 본 연구에서는 깔짚으로 톱밥을 사용하였다. 기존 연구에서 5 cm의 두께로 이용하는 것이 수분 증발량이 많고 톱밥의 이용효율도 높아지는 것으로 나타나고 있으나, 실제농가에서는 이보다 두껍게 깔아서 장기간 활용하는 경우가 많고 또한 우리나라에서는 깔짚 이용 두께 및 주기에 관한 통계가 아직까지 없는 관계로 본 연구에서는 10, 15 cm로 깔고, 이용주기를 3개월로 하여 바닥깔짚 성장변화와 온실가스 발생량을 조사하였다.

톱밥이 10, 15 cm 두께로 깔려있는 각각의 모의우사로의 분뇨 부하량은 ‘친환경 축산 표준모델’의 축종별 사육밀도 (한우 7 m²/두, 젖소 16.5 m²/두)와 ‘가축분뇨 발생량 및 주요 성분 채질정’ 자료 (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2008)의 축종별 일일 분뇨 배설량 자료를 참고하여 한우분뇨 410 g/d, 젖소분뇨 927 g/d로 결정하였다. 실제 우사에서 소에 의해 깔짚과 분뇨가 밟히고 섞이는 효과를 주기 위해 매일 동일한 양의 분뇨를 투입한 후 인위적으로 깔짚과 혼합하였다. Table 1은 시험에 사용된 젖소 및 한우 분뇨와 깔짚(톱밥)의 성분 및 축사 단위면적당 질소와 volatile solid (VS)의 평균 부하량을 나타낸 것이다. 한우사의 경우 깔짚으로의 평균 질소와 VS의 부하율은 각각 5.93 gN/m²/d, 489.5 gVS/m²/d 이었으며 유우사의 경우에는 각각 11.45 gN/m²/d, 475.57 gVS/m²/d 이었다.

Table 1. Characteristics of manure and sawdust

Parameters	Korean beef Cattle	Dairy Cattle	Sawdust
Moisture (%)	69.15 ± 0.44	86.74 ± 0.15	23.29 ± 0.75
TS (g/kg)	250.48 ± 8.13	119.37 ± 1.72	767.06 ± 0.44
VS (g/kg)	308.45 ± 4.40	132.55 ± 1.53	716.43 ± 0.13
TKN (g/kg)	3.74 ± 0.36	3.19 ± 0.60	—
VS loading (g/m ² /d)	489.51	475.57	—
N loading (g/m ² /d)	5.93	11.45	—

4. 시료분석 방법

(1) CH₄ 및 N₂O 분석방법

테들러 백을 이용하여 포집한 가스 시료는 가능한 24시간 이내에 분석하였다. N₂O와 CH₄ 농도 분석은 총 부피가 60 mL인 플라스크 재질의 Syringe를 사용하여 일정량(50 mL)을 취하여 직접 주입하였고 전자포획검출기(ECD)와 불꽃 이온화 검출기(FID)가 장착된 가스크로마토그래피(GC, Varian Co.)로 분석하였다. 분석에 사용된 컬럼은 Hayesep-Q (80/100, 0.5 m × 1/8" SS), Poropak Q (80/100; 2 m × 1/8" SS), Poropak Q (80/100; 0.5 m × 1/8" SS), Poropak Q (80/100; 3 m × 1/8" SS), Poropak Q (80/100; 0.5 m × 1/8" SS)이며, 오븐 온도는 70℃, FID와 ECD의 디텍터 온도는 각각 250, 300℃로 설정 하였다. Carrier gas는 N₂를 사용하였고 유속은 30 mL/min이며, Makeup gas로 FID는 He, 10 mL/min ECD는 N₂을 이용하였고 이때 유속은 10 mL/min로 설정하였다. CH₄와 N₂O의 Calibrations gas standards (Research Institute of Gas Analytical Science)는 CH₄(2.1 μmol/mol)과 N₂O(1.0 μmol/mol)를 사용하였으며, CH₄와 N₂O의 반응 시간은 1.15와 4.4분이었다. 분석된 가스 샘플의 반응계수 값은 ppm으로 계산하여 나타냈다.

(2) 시험에 사용된 분뇨 채취 및 성분 분석 방법

시험에 사용된 한우 및 유우 분뇨는 중부지방에 위치한 농가로부터 채취한 후 매일 깔짚에 혼합할 양만큼씩 용기에 분주하여 -20℃ 냉동고에 보관하면서 깔짚에 혼합하기 직전에 용해시켜 사용하였다. 분뇨와 톱밥 및 분뇨 깔짚 혼합물 샘플의 총고형물(Total Solid, TS)과 VS의 함량은 Standard Method (APHA: American Public Health Association, 1998)에 준하여 분석하였으며 시료의 입자 크기에 따른 분석오차를 방지하기 위하여 모든 시료를 분석 전에 grinder로 분쇄한 후 분석하였다.

깔짚과 분뇨 혼합물 내 NO_x-N의 농도는 분쇄된 시료 2g을 증류수(pH 7.0) 100 ml에 넣어 50배(w/v) 희석한 다음 4시간 교반하고 filter paper (Watman No. 1541.110)로 여과한 후 자동수질 분석기(Zellweger: LACHT, QuikChem 8000)를 사용하여 분석하였다. Total Kieldahl Nitrogen(TKN)은 분쇄된 시료를 block digester(BD46, LACHAT)를 이용하여 소화시킨 다음 자동수질

분석기를 이용하여 분석하였다. 모든 시료의 수분함량은 105℃에서 24시간 건조한 후 측정하였다.

5. CH₄ 및 N₂O 배출농도 계산

온실가스 배출량을 산정하기 위해서 채취한 가스의 측정 결과를 외부 공기의 측정값에 보정하고, 측정된 CH₄와 N₂O 가스 농도는 표면발산량으로 환산하였으며, 시료채취지점의 CH₄와 N₂O 유출속도 계산식은 다음과 같다(Oh 등, 2009).

$$E_i = \frac{C_i \times M_w \times P \times F_r}{R \times T \times A}$$

E_i: CH₄, N₂O emission rate of component I (μg/m² · min)

C_i: CH₄, N₂O concentration of component I (ppmv)

M_w: CH₄, N₂O molar mass (16 g/mole, 44 g/mole)

P: internal pressure in chamber (atm)

F_r: gas flow rate within chamber (L/min)

R: gas constant (0.082 atm · L/mole · K)

T: average temperature in the chamber (k)

A: surface area enclosed by of the chamber (m²)

6. 통계분석방법

본 실험에서 얻어진 데이터의 통계분석은 Excel program (Microsoft Office, 2007)을 이용하였으며 일원배치분산분석법(One Way ANOVA)으로 95% 신뢰수준에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 깔짚 성상 변화

모의축사바닥에 톱밥을 10, 15 cm 높이로 깔고 한우와 유우의 분뇨를 매일 투입/혼합하면서 시간 경과에 따른 수분함량과 VS 함량 변화를 관찰하였다(Fig. 2). 수분함량의 경우, 실험 초기에는

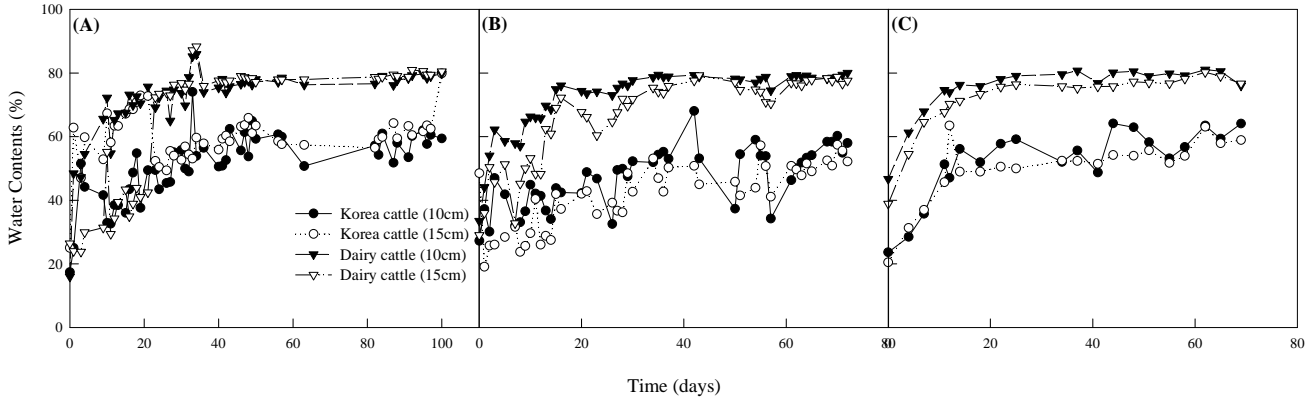


Fig. 2. Monitoring of water contents in bedding material.

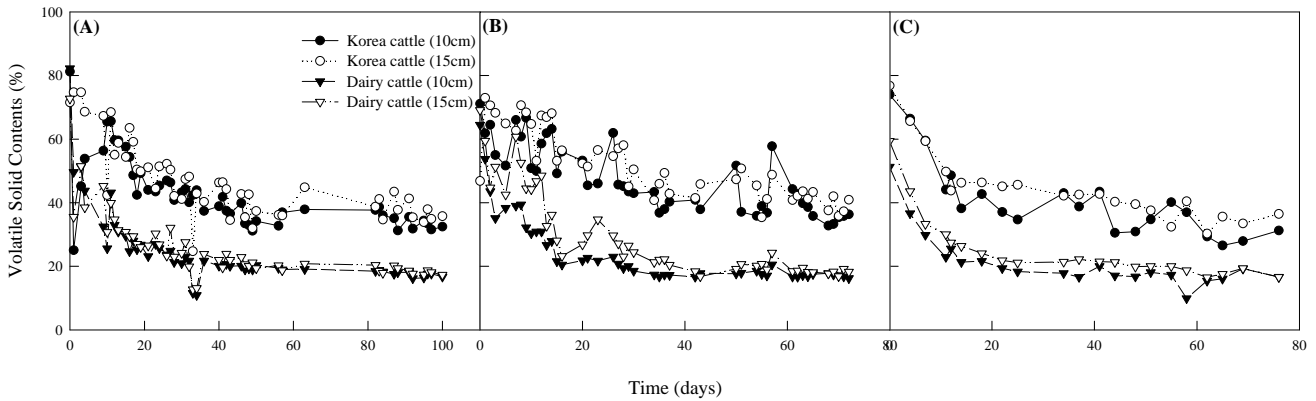


Fig. 3. Monitoring of volatile solid content in bedding material.

약 20%였으나 실험 종료시점에서는 한우사 60%, 유우사에 80% 수준으로 증가함을 관찰 할 수 있었다. 깔짚 두께별 수분함량을 살펴보면 10 cm 보다는 15 cm 두께에서 다소 낮았으나 그 차이가 크지 않았으며 깔짚두께와 상관없이 30일까지 수분함량이 빠르게 증가하다가 그 후 점차 둔화되면서 한우의 경우 50~60%, 유우의 경우 약 80%의 수준을 유지함을 알 수 있었다. 한우 및 유우 분뇨의 수분함량이 각각 69%와 87%임을 고려할 때 유우의 경우에는 계절에 관계없이 약 40일 이후에 한우의 경우에는 5~7월 및 2~4월에는 약 50~60일, 9~11월에는 약 70일 이후에 깔짚내 수분함량이 서서히 포화상태에 도달함을 의미한다 할 수 있다.

휘발성 고형물질 함량의 경우, 한우사와 유우사 모두 실험 초기에는 70~80 %였다가, 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였다(Fig. 3). 한우와 유우를 비교할 때 유우의 경우에는 약 20~30일 이후에 VS 함량이 20% 수준 이하로 감소한 반면, 한우의 경우에는 약 60일 이후에 35% 수준 이하로 감소하는 것으로 나타나 VS 함량의 감소율은 한우에 비해 유우가 높음을 알 수 있었다. 수분함량과 마찬가지로 VS 함량의 변화는 깔짚 높이보다는 축종에 따라 차이를 보였는데 이는 온도가 동일한 조건에서 한우사에 비해 유우사에 유입된 분뇨 내 수분함량이 높고 또한 유우의 분뇨 배설량이 단위면적당 2.3배 많아 유우사 바닥 깔짚물질의 수분

함량이 유기물의 분해가 활발하게 일어나는 65% 수준으로 빠르게 증가하였기 때문으로 판단된다.

2. CH₄와 N₂O 발생량 및 가스 배출 특성

Fig. 4는 시간이 경과함에 따라 발생하는 메탄가스의 농도 변화를 나타낸 것이다. 5~7월 실험군에서 한우사와 유우사 모두 80일 이후에 높은 농도의 CH₄가 발생하면서(Fig. 4A) 유우사에서는 깔짚 두께 10, 15 cm에서 각각 최고 443, 633 mg/m²/d까지 발생한 것으로 분석되었다. 이때 메탄가스의 배출량이 높게 나타난 것은 깔짚 물질이 시간이 경과함에 따라 점차 분해되면서 통기성이 낮아지고 계속되는 분뇨혼합으로 수분함량이 80% 이상으로 높아짐에 따라 혐기적 상태가 형성되었기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 9~11월 및 2~4월에 수행된 시험구에서는 5~7월 시험구에서의 같은 특이적인 경향이 관찰되지 않았다(Fig. 4 B,C).

N₂O의 경우(Fig. 5), 5~7월에는 모든 실험구에서 20일 이후 급격히 증가했다가 50일경부터 감소하는 경향을 보였으나(Fig. 5A), 9~11월과 2~4월 시험에서는 일정한 경향이 관찰되지 않았다(Fig. 5B,C). N₂O는 일반적으로 호기적 질산화과정에 의해 생성된 NO₃와 NO₂가 탈질 과정에서 N₂ 가스로 전환되는 과정 중에 생성되는

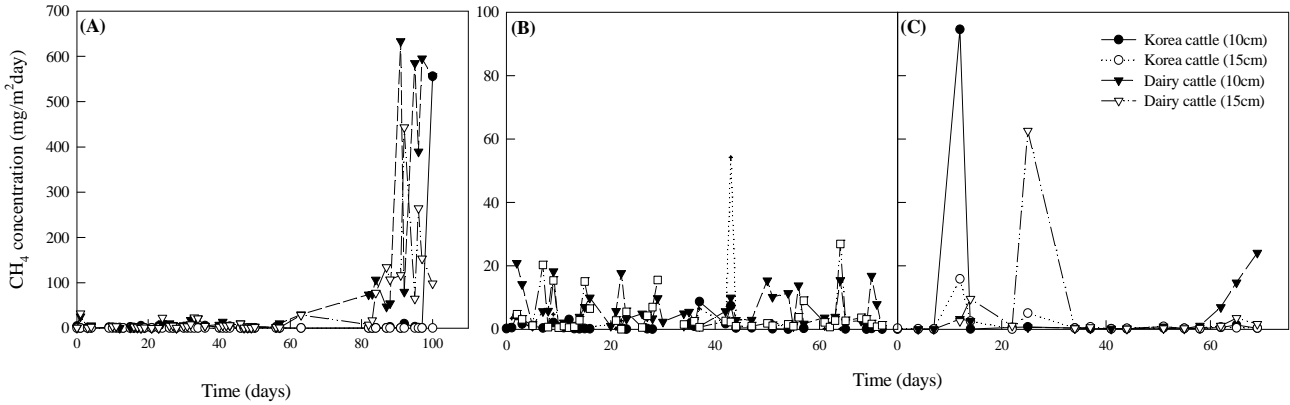


Fig. 4. Emission of CH₄ from bedding material.

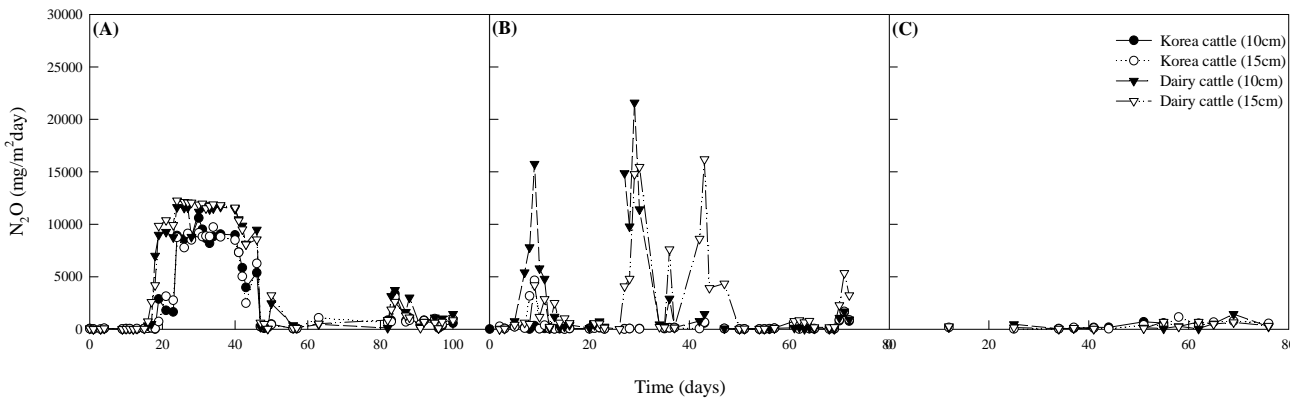


Fig. 5. Emission of N₂O from bedding material.

데 정확한 생성 이유에 대해서는 정확히 알려져 있지 않다. 그러나 문헌 등에 의하면 N₂O 배출에 영향을 미치는 인자로는 산소농도, 온도, pH, 암모니아 농도(500 mg/L), 아질산 축적 등이 있다(Lim 등 2011). 한우사에 비해 유우사에서 N₂O 배출이 많은 이유는 유우의 분뇨배설량과 분뇨 수분함량이 한우보다 높기 때문인 것으로 판단되며, 수분함량이 높아질수록 건조한 상태에서 활동이 제한되었던 미생물의 활동이 충분한 수분 조건하에서 활성됨에 따라 질화/탈질화 과정의 진행이 촉진되었기 때문으로 판단된다(Su 등, 2003). 또한 수분함량이 증가함에 의해서 미생물 활동에 필요한 기질성분들이 분뇨와 깔짚 사이에 용해됨에 따라 미생물의 활동을 증가시키게 되고 결과적으로 대사생성물인 가스생성을 촉진시킨 것으로 판단된다. 또한 지속적인 수분량 증가는 공극을 감소시켜 기체 확산과 이동에 제한을 줌은 물론 혐기상태를 보다 가속화시켜 깔짚 내 질소성분들은 탈질화 과정의 N₂로 전환되게 된다(Amon 등, 2006; Gupta 등, 2007). 토양의 경우 함수량이 60%에서 질산화과정과 탈질화과정이 서로 공존하여 최대 N₂O 배출을 보이며, 위와 같은 조건에서 온도가 증가되면 탈질화 과정을 촉진시킬 수 있기 때문에 N₂O 배출을 가속화시킬 수 있는 것으로 알려지고 있다(Kim 등, 2003).

깔짚내 NO_x-N의 농도 변화를 보면(Fig. 6), 시간이 경과함에

따라 한우사 깔짚에서는 농도가 증가하는 반면 유우사 깔짚에서는 큰 변화가 관찰되지 않았는데 이는 유우 분뇨의 수분 함량이 높고 또한 배설량이 많아 깔짚의 수분함량이 한우에 비해 비교적 빠른 시기에 높게(80% 이상) 증가함에 따라 깔짚내에 부분적인 혐기 혹은 무산소 상태가 형성되고 그 결과 질산화과정 중에 생성된 NO₂ 및 NO₃가 N₂O 혹은 N₂ 가스로 전환되어 배출되었기 때문으로 판단된다(Yamulki 등, 2006; Gupta 등, 2007). Table 2는 실험에서 얻은 결과값을 이용하여 측사단위면적 당 일일 온실가스 발생량을 산정한 것이다. 단위면적당 CH₄ 발생량은 한우에 비해 유우에서 높았는데 Kaparaju (2011) 등에 의하면 이는 유우의 분뇨 내 유기물 함량이 높고 수분 함량이 높기 때문으로 실제 CH₄ 발생량이 다른 축종(육우 혹은 돈분, 계분)에 비해 1.5~2배 가량 많이 발생하는 것으로 보고되고 있다. Sa (2010)와 Shen (2011) 등은 또한 계분을 대상으로 공기 유입량에 따른 메탄가스 방출량을 조사한 결과, 메탄가스 발생량은 유입되는 유기물 농도에 절대적으로 영향을 받으며, 공기량이 적으면 적을수록 혐기적 상태로 되면서 메탄가스 발생량이 많다고 보고하였다. 깔짚 두께별 CH₄ 발생량을 보면 한우 및 유우 모두에서 깔짚이 두꺼운 경우 발생량이 적은 경향을 보였으나 통계분석 결과 2~4월 실험을 제외하곤 유의적인 차이를 보이지 않았으며(p<0.05), N₂O의 경우에도 깔짚두께에 따른

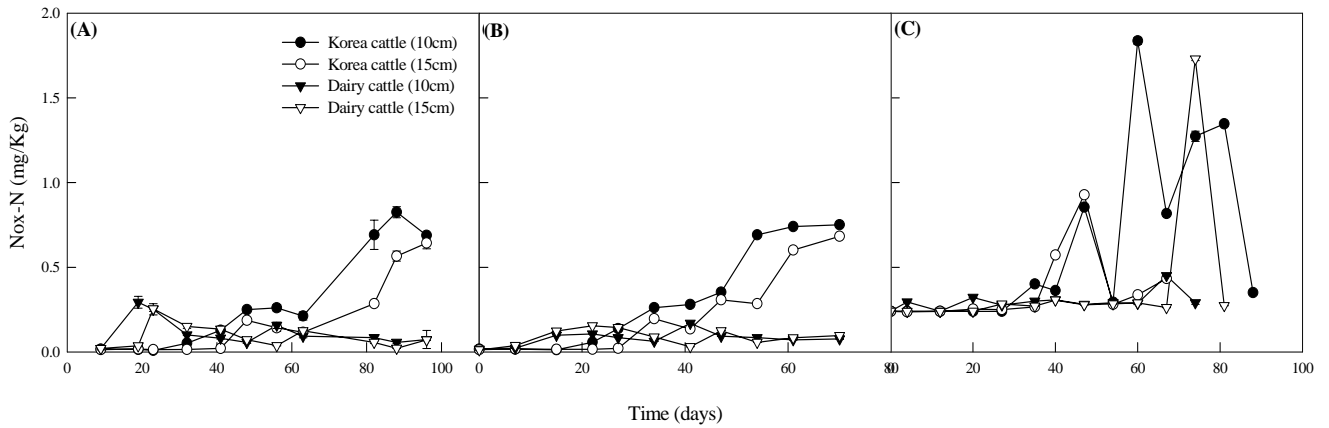


Fig. 6. Monitoring of NOx-N in bedding material.

Table 2. Greenhouse gas emissions from cowshed floor with sawdust

(a) Methane gas (CH₄ concentration: mg/m²/d)

Sawdust thickness (cm)		1*	2**	3***	AVG
Korean beef cattle	10	1.534 ^a	0.325 ^a	8.700 ^a	3.520 ^a
	15	1.057 ^a	0.914 ^a	4.715 ^b	2.229 ^a
					2.875
Dairy Cattle	10	62.517 ^c	2.286 ^c	28.437 ^c	31.081 ^c
	15	26.174 ^c	1.518 ^c	6.491 ^d	12.238 ^c
					21.645

(b) Nitrous Oxide gas (N₂O concentration: mg/m²/d)

		1*	2**	3***	AVG
Korean beef cattle	10	2,936.256 ^a	57.510 ^a	1,228.082 ^a	1,407.283 ^a
	15	2,889.122 ^a	134.611 ^a	397.898 ^a	1,140.544 ^a
					1,273.913
Dairy Cattle	10	3,859.720 ^c	934.945 ^c	286.484 ^c	1,693.717 ^c
	15	3,928.421 ^c	926.040 ^c	2,326.166 ^d	2,393.543 ^c
					2,043.629

*1: May~July, 2011, **2: September~November, 2011, ***3: February~April, 2012.

^{a,b,c,d} Means in the same column of each animal category with the same superscript are statistically insignificant at 5% level of significance.

차이가 관찰되지 않았다. 한우사의 경우 깔짚으로부터의 CH₄ 평균 배출량은 깔짚두께 10 cm에서 3.520 mg/m²/d, 깔짚두께 15 cm에서 2.229 mg/m²/d 이었으며, N₂O는 깔짚두께 10, 15 cm에서 각각 1,407.3, 1,140.5 mg/m²/d 발생하였다. 유우사의 경우에는 깔짚으로부터의 평균 CH₄ 배출량은 깔짚두께 10, 15 cm에서 각각 36.869과 14.517 mg/m²/d 이었으며 N₂O의 평균 발생량은 각각 2,009.2와 2,839.3 mg/m²/d 이었다.

N₂O 발생량이 CH₄에 비해 무려 444배 정도, 유우의 경우에는 94배 정도 많음을 알 수 있었으며 한우와 젓소를 비교할 때 단위면적당 온실가스 발생량은 한우에 비해 젓소가 CH₄는 7.5배, N₂O는 1.2배 많음을 알 수 있었다.

3. CH₄와 N₂O 배출계수 산정

깔짚으로부터의 CH₄와 N₂O 발생량을 비교할 때 한우의 경우

Table 3은 본 연구의 결과를 토대로 친환경축사규정에 준하여

Table 3. Greenhouse gas emissions rate from cowshed floor with sawdust

Animal species / category	Sawdust (cm)	Season	CH ₄ (g/head/yr)	N ₂ O (g/head/yr)	N ₂ O (kg N ₂ O-N/kg N)	
Korean beef cattle	10	1*	3.919	7,502.134	0.4952	
		2**	0.866	154.899	0.0097	
		3***	22.229	3,137.749	0.2071	
		AVG	9.004	3,598.260	0.2373	
	15	1*	2.700	7,3817	0.4872	
		2**	2.397	336.173	0.0227	
		3***	12.047	1,059.163	0.0671	
		AVG	5.715	2,935.680	0.1923	
	AVG	7.360	3,266.970	0.2148		
	Dairy cattle	10	1*	376.508	23,245.164	0.3371
			2**	13.767	5,630.706	0.0817
			3***	171.262	1,725.350	0.0250
AVG			187.185	10,200.411	0.1479	
15		1*	157.633	23,658.915	0.3431	
		2**	9.142	5,577.076	0.0809	
		3***	39.092	14,009.335	0.2032	
		AVG	73.703	14,415.113	0.1785	
AVG		130.357	12,307.756	0.1632		

* 1: May~July, 2011, ** 2: September~November, 2011, *** 3: February~April, 2012.

한우와 젓소를 사육할 때 깔짚으로부터 연간 배출되는 CH₄ 및 N₂O 배출량을 산정한 결과를 요약한 것이다. 깔짚두께 10, 15 cm 평균 CH₄ 발생량은 한우 7.4 g/head/year, 젓소 130.4 g/head/year로 젓소가 17.7배 많았으며, IPCC 2006 GL의 깔짚에서 발생하는 CH₄ 배출계수는 현재 국가 배출량 산정 시 북아메리카 값을 적용하고 있으나 축종별로 구분만 하고 있을 뿐 분뇨처리 혹은 관리에 방법에 대한 고려가 없어 본 연구에서 얻어진 배출계수와 직접적으로 비교할 수는 없을 것으로 판단된다. 깔짚으로부터의 연간 N₂O 발생량은 한우 3,267 g/head/year, 젓소 14,719 g/head/year로 젓소가 한우에 비해 약 4.5배 많음을 알 수 있었으며 깔짚으로부터 발생하는 온실가스는 CH₄ 보다 N₂O가 많음을 알 수 있었다. IPCC 2006 GL의 깔짚에서 발생하는 직접적 N₂O 배출계수는 깔짚 혼합이 없을 경우 0.01 kg N₂O-N/kg N, 혼합을 해주는 경우 0.07 kg N₂O-N/kg N로 제시하고 있는데 본 연구에서는 한우 0.2148 kg N₂O-N/kg N, 젓소 0.1632 kg N₂O-N/kg N으로 깔짚 혼합이 있을 경우의 IPCC값 0.07 kg N₂O-N/kg N 과 비교할 때 한우는 약 3.07배 젓소는 약 2.33배 정도 높은 것으로 나타났다. 사실 IPCC 2006 GL에 수록되어있는 N₂O 배출계수는 축종에 따른 구별 없이 깔짚에서의 발생 정도만을 대략적으로 제시하고 있다.

요 약

우사바닥깔짚으로부터의 온실가스 배출량을 산정하기 위해 깔짚으로의 분뇨부하량을 정확히 조절할 수 있는 모의우사바닥에서의 깔짚두께별 CH₄와 N₂O 가스 발생량을 조사하였다. 톱밥이 10, 15cm 높이로 깔린 0.2583 m² (L 0.63 m×W 0.41 m) 크기의 우사바닥으로의 한우와 젓소의 분뇨부하는 친환경 축사표준모델의 축사면적과 축종별 일일 분뇨배설량 자료를 기준으로 한우는 1.586 kg/m²/d, 젓소는 3.588 kg/m²/d로 정하고 24시간 주기로 분뇨를 투입/혼합하면서 깔짚으로부터 발생하는 온실가스 발생량을 조사하였다. 총 12개의 모의우사바닥을 이용하여 모든 실험은 3반복으로 3회에 걸쳐 수행되었다(5~7월, 9~11월, 2~4월). 그 결과 단위면적당 CH₄ 발생량은 한우, 젓소 모두에서 깔짚이 두꺼운 경우 적게 발생하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의적인 차이가 없었으며 (p<0.05), N₂O 발생량의 경우에도 깔짚두께에 따른 차이가 없는 것으로 나타났다. 한우와 젓소를 비교할 때 단위면적당 온실가스 발생량은 젓소가 CH₄는 약 7.5배, N₂O는 약 1.2배 많았으며 연간 배출되는 CH₄는 한우 7.4 g/head/year, 젓소 130.4 g/head/year로 젓소가 한우에 비해 21배 높은 것으로 나타났다. 또한 N₂O는 한우 3,267 g/head/year, 젓소 14,719 g/head/year로 젓소가 약 4.5

배 많았으나 배설된 N 대비 N_2O-N 은 한우 0.2148 kg N_2O-N/kg N, 젓소 0.1632 kg N_2O-N/kg N으로 오히려 한우가 높았으며 IPCC 2006 GL값 0.07 kg N_2O-N/kg N과 비교시 한우는 약 3.07배, 젓소는 약 2.33배 높은 것으로 나타났다.
(주제어: 메탄, 아산화질소, 배출율, 우사바닥)

사 사

본 연구는 농촌진흥청 “기후변화대응 미래농업기술 개발” 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- Amon, M., Kryvoruchko, V., Amon, T. and Zechmeister-Boltenstern, S. 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112:153-162.
- APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. WPCF.
- Gupta, P. K., Jha, A. K., Koul, S., Sharma, P., Pradhan, V., Gupta, V., Sharma, C. and Singh, N. 2007. Methane and nitrous oxide emission from bovine manure management practices in India. *Environ. Pollut.* 146:219-224.
- IPCC, 1996. Climate change 1995: the science of climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- IPCC. 2001. Climate change 2001: the scientific basis. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wgl/index.htm Accessed Apr. 11, 2007.
- IPCC. 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch1_N2O & CO2.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch1_N2O_CO2.pdf) 14 Apr. 2008.
- Kaparaju, P. and Rintala J. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow, and pig farms in Finland. *Renewable energy.* 36:31-41
- Kim, D. S. and Oh, J. M. 2003. N_2O emissions from agricultural soils and their characteristics. *J. Kor. Atmo. Environ.* 19:529-540.
- Kim, D. S., Jang, Y. K. and Jeon, E. C. 2000. Surface flux measurements of methane from landfills by closed chamber technique and its validation, *J of Kor. Atmo. Environ.* 16: 499-509.
- Lim, B. R., Cho, K. J., Jung, E. H., Yang J. K. and Lee, S. G. 2011. Estimation of greenhouse gas emission from livestock wastewater treatment plants. *J. Kor. Waste management.* 28: 175-183.
- Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries. 2008. Eco-friendly Agricultural Standard Model. 11-1541000-000005-01. KOREA. Pp. 44-45.
- Oh, W. K., Chu, Y. Y., Juong, Y. M. and Kim, K. G. 2009. Estimating the Greenhouse Gases Emission Rates and their Emission Factors of a wastewater treatment plant with an MLE Process, *J. Kor. Environ. Analy.* 12:87-95.
- Sa, J. H. 2010. Ammonia flux from cow manure in relation to the environmental factors in livestock facilities. *J. Kor. Atmo. Environ.* 26:432-442.
- Shen, Y., Ren, L., Li, G., Chen, T. and Guo, R. 2011. Influence of aeration on CH_4 , N_2O and NH_3 emissions during aerobic composting of a chicken manure and high C/N waste mixture waste management. 31:33-38.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L. and Fixen P. E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133:247-66.
- Su, J., Liu, B. Y. and Chang, Y. C. 2003. Emission of greenhouse gas from livestock waste and wastewater treatment in Taiwan. *Agric. Ecosyst. Environ.* 95:253-63.
- Wang, J., Duan, C., Ji, Y. and Sun, Y. 2010. Methane emissions during storage of different treatments from cattle manure in Tianjin. *J. Environ. Sci.* 22:1564-69.
- Yamulki, S. 2006. Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112:140-145.
- Yun, S. and Yu, D. 1998. Quantitative valuation of greenhouse gas of a agriculture livestock production using LCA technique. *J. Kor. Organic Agric.* 7:17-34.

(Received Jan. 2, 2013; Revised Feb. 18, 2013; Accepted Feb. 19, 2013)