

전과정평가를 이용한 가축분뇨 처리시설의 온실가스 배출량 평가 : 사례 연구

박규현 · 최동윤 · 조성백 · 양승학 · 황옥화

농촌진흥청 국립축산과학원

Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from Animal Manure Treatment Systems with Life Cycle Assessment : A Case Study

Park, K. H., Choi, D. Y., Cho, S. B., Yang, S. H. and Hwang, O. H.

National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

Summary

Korean Government announced 'The Roadmap to realize a low carbon green society on year 2020' on July 12, 2011 in order to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions. Non-energy category of Food, Agriculture, Forestry and Fishery (FAFF) should mitigate 1,349 kilo CO₂-equivalent (CO₂-eq.) tonnes which is 7.1% of Business-As-Usual on year 2020. The mitigation from animal manure treatment system (AMTS) comprises ca. 45% of the total mitigated amount of Non-energy category of FAFF. Hence, the precise evaluation of GHG emissions from AMTS is important to find effective mitigation measures. Life cycle assessment was used to evaluate GHG emissions from AMTS. The most GHG emitter was a composting/liquid fertilizer/activated sludge system (1,649.45 kg CO₂-eq./head/year) and the least GHG emitter was a activated liquid fertilizer system (1,024.46 kg CO₂-eq./head/year). Thermophilic oxic process showed the highest ratio (34.9%) of GHG emissions by the use of electricity to total GHG emissions from systems. Energy efficiency should be considered to mitigate GHG emissions from AMTS.

(Key words : Climate change, Greenhouse gases, Life cycle assessment, Manure)

서 론

기후변화협약에 의해 경종 및 축산 분야 온실가스 인벤토리에서 고려하는 온실가스는 CH₄과 N₂O이다. 메탄의 경우 가축의 장내발효 및 가축분뇨 처리과정에서 발생하며 N₂O의 경우 가축분뇨 처리과정에서 발생한다. IPCC

(1996)에 따르면 이산화탄소의 온실효과를 1이라 할 때 CH₄는 21, N₂O는 310의 효과를 보인다. 이를 반영하여 이산화탄소 환산량 (CO₂-equivalent, CO₂-eq.)을 계산하게 된다. 온실가스종합정보센터 (2010)에 따르면, 2008년 축산부문의 온실가스 배출량 (CO₂-eq.)은 국가 전체 배출량의 1.1%를 차지했다. 축산에

Corresponding author : Kyu-Hyun Park, Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, 77 Chuksan-gil, Gwonsun-gu, Suwon, 441-706, Korea.

Tel: +82-31-290-1718, E-mail: kpark74@korea.kr

2011년 10월 4일 투고, 2011년 12월 30일 심사완료, 2011년 12월 30일 게재확정

서 배출된 CH₄의 양 (4.8백만CO₂-eq.톤)은 국가 전체 CH₄ 배출량 (23.4백만CO₂-eq.톤)의 약 20.5%에 해당했으며, 축산의 아산화질소 배출량 (1.5백만CO₂-eq.톤)은 국가 전체 N₂O 배출량 (11.1백만CO₂-eq.톤)으로 약 7.4%를 차지했다.

정부는 온실가스 감축을 위해 2011년 7월 12일 산업별 감축목표를 담은 ‘2020년 저탄소 녹색사회 구현을 위한 로드맵’을 발표하였으며 농식품 부문의 경우 2020년 Business-As-Usual (BAU) 대비 5.2% 감축을 목표로 하였다. 하지만 농식품 부문의 에너지 사용을 제외한 비 에너지 부문의 경우 2020년 BAU 대비 1,349천CO₂-eq.톤 (7.1%)을 감축해야 한다. 이를 위한 축산부문의 온실가스 배출량 감축 방법은 양질의 조사료 및 사료첨가제 공급을 통한 장내발효 CH₄ 감축, 가축분뇨 처리기술 향상을 통한 CH₄ 및 N₂O 감축, 가축분뇨 에너지화를 통한 CH₄ 감축으로 나눌 수 있다. 이 중 가축분뇨에 관련한 감축량이 큰 부분 (약 45%)을 차지한다. 따라서 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 온실가스 양을 정확히 평가하는 것이 중요하다. 이번 연구는 농촌진흥청 국립축산과학원에서 2006년부터 2009년까지 발간한 가축분뇨 처리시설 및 관련기술 평가 책자의 시스템 중 처리방법 별 5개 시스템에 대한 전과정평가 (life cycle assessment)를 통해 가축분뇨 처리과정의 온실가스 배출원을 판단하고자 한다.

재료 및 방법

1. 기능 및 기능단위

본 연구의 대상 시스템은 젓소 분뇨 처리 시설이며 기능은 분뇨의 처리, 기능단위는 하루 한 마리로 하였다. 따라서 온실가스 배출원단위는 분뇨 처리시설에서 분뇨처리 과정에서 한 마리당 배출되는 kg CO₂-eq.로 계

산하였다.

2. 시스템 경계

본 연구는 젓소의 분뇨 배설부터 시작하여 분뇨 처리시설의 설계에서 분뇨처리가 완료되는 시점까지로 하였다. IPCC (1997)에 따라, 분뇨 처리 과정에서 직접적으로 배출되는 CH₄과 N₂O는 포함하였으나, CO₂의 경우는 축산의 온실가스로 평가하지 않기 때문에 제외하였다. 하지만 분뇨 처리시설의 가동에 중심적 역할을 하는 전기 생산에 따른 온실가스 배출량은 포함하였다. 젓소의 경우 착유실의 액상물도 분뇨처리시설을 통해 처리가 되므로 시스템 경계에 포함된다. 분뇨 처리시설에서 사용되는 약품, 미생물제 등의 부자재 생산 과정에서 배출되는 온실가스는 제외하였다. 분뇨처리과정의 시스템 경계는 Fig. 1에서 볼 수 있다.

3. 데이터 수집

분뇨 처리시설의 종류는 다양하며 공정에 따른 온실가스 배출량에도 차이가 있다. 농협중앙회 (2007)의 조사에서 밝힌 낙농가의 분뇨처리 방법은 Table 1에서 볼 수 있다. 본 연구의 가축분뇨 처리시설에 대한 자료는 농촌진흥청 국립축산과학원에서 2006년부터 2009년까지 발간한 가축분뇨 처리시설 및 관련기술 평가 책자의 분뇨처리방법 중 5개 시스템 - 퇴비/폭기형 액비 (A), 폭기형 액비 (B, E), 고온호기발효 (C), 퇴/액비 및 정화처리 (D) - 을 선택하여 그 자료를 토대로 하였으며 필요 시 사업체에게 보충 자료를 전화 및 팩스로 요청하여 자료를 보완하였다.

4. 배출량 계산

가축분뇨 처리과정에서 배출되는 온실가스

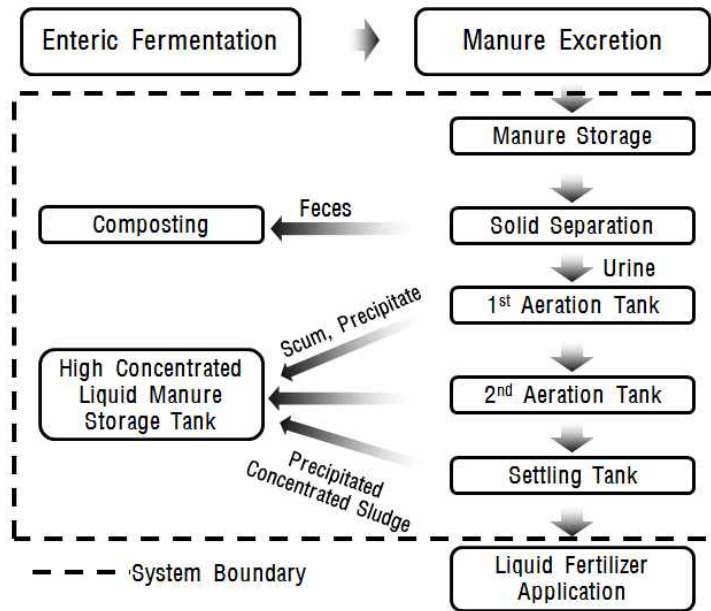


Fig. 1. The example of system boundary for greenhouse gas emissions from composting/liquid fertilizer system.

Table 1. The allocation of dairy manure treatment

Systems	Solid storage	Septic tank	Liquid storage	3 stage retainment	Others
Frequency	1,906	957	376	171	56
Proportion(%)	54.2	27.2	10.7	4.9	1.6

Systems	Aerated liquid fertilizer	Aerated composting	Activated sludge process	Mechanical turnover	Heat-dry
Frequency	27	12	6	4	1
Proportion(%)	0.8	0.3	0.2	0.1	0

는 IPCC (1997)의 가축분뇨 처리과정에서 직접적으로 배출되는 Tier 1 CH₄ 및 N₂O 배출량 계산법을 이용하였다. 전기 사용에 따른 CO₂-eq.는 지식경제부와 국가청정생산지원센터의 전과정평가 지원 소프트웨어인 PASS (v4.0.0)의 데이터베이스 자료를 참조하여 계산하였다. 분뇨처리 시설의 경우 돼지 사육두수에 따라 처리용량이 보고되었으므로 젖소의 사육두수는 젖소 및 돼지 한 마리당 분

뇨량인 각각 37.7ℓ/일 및 5.1ℓ/일의 비율로 계산하였다.

결과 및 고찰

젖소 분뇨처리과정에서 직접적으로 배출되는 CH₄과 N₂O의 양은 사용 시스템에 따라 다르게 나타난다. IPCC (1997)에서는 분뇨처리시설을 세부적으로 구분하지 않고 있다.

이번 연구에서 분석하는 시스템을 IPCC (1997)의 기준으로 N₂O 배출량을 계산할 경우 A, D 시스템은 solid storage and drylot과 other system을 이용하는 것으로 구분하며 B, C, E 시스템은 other system으로 구분이 가능하다. A, B, C 시스템의 경우 135두의 분뇨 처리가 가능한 시설이었으며 D 시설은 2706두, E 시설은 947두의 분뇨를 처리할 수 있는 시설이었다. 메탄의 경우는 Tier 1의 기본 배출계수를 사용하였다. 젖소 한 마리의 연간 CH₄, N₂O 배출량 및 CO₂-eq. 배출량은 Table 2에서 볼 수 있다.

PASS의 데이터베이스에 사용된 수치는 전력 생산을 위한 연료로 무연탄, 역청탄, 중유, 가스, 가스복합, 경유복합, 내연력, 수력, 원자력을 사용한 것을 고려하였고, 1 kwh 기준으로 CO₂는 0.487218kg, CH₄는 0.0003530674 kg, N₂O는 1.53000164×10⁻⁶ kg가 배출되었다. 이를 이용한 전기 1 kwh 생산 시 배출되는 CO₂-eq.의 양은 495.1067g CO₂-eq./kwh이었다. 전기 사용량 역시 시스템 구성에 따라 다르

게 나타났다. A, B, C, D, E 시스템의 연간 전기 사용량은 각각 63,218 kwh, 6,424 kwh, 146,000 kwh, 1,562,286 kwh, 300,547 kwh이었으므로 가축분뇨 처리시설 별 전기 사용에 따른 온실가스 배출량은 Table 3에서 볼 수 있다.

가축분뇨 처리과정에서 가장 많은 온실가스를 배출하는 시스템은 퇴/액비 및 정화처리 시스템(D)이었고 가장 적은 온실가스를 배출하는 시스템은 폭기형 액비 시스템(B)이었다. 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 온실가스 중 전기 사용에 의해 가장 많은 영향을 받는 시스템은 고온호기발효 시스템(C)이었다. 이러한 결과는 에너지 사용량이 높은 시설일수록 더 많은 온실가스를 배출할 수 있다는 것을 보여준다. 이는 같은 폭기형 액비 시스템인 B와 E를 비교할 경우 더 확실해 나타난다. 농가형 시스템인 B 보다 공동자원화 시스템인 E의 경우 에너지 사용량이 더 많으므로 E 시스템이 배출량에 있어 13% 더 많이 배출되었다. 따라서 향후 온실가스 감

Table 2. Direct greenhouse gas emissions from animal manure treatment systems (kg/head/year)

	A [†]	B [‡]	C [‡]	D [†]	E [‡]
CH ₄	36	36	36	36	36
N ₂ O	1.96	0.79	0.79	1.96	0.79
CO ₂ -eq.	1363.6	1,000.9	1,000.9	1,363.6	1,000.9

System categories according to IPCC (1997)

[†] 'Solid storage and drylot' and 'other system'

[‡] 'other system'

Table 3. Greenhouse gas (GHG) emissions due to the use of electricity during animal manure treatment

	A	B	C	D	E
GHG emissions per kwh (g CO ₂ -eq/kwh)	495.1067	495.1067	495.1067	495.1067	495.1067
The use of electricity (kwh/year)	63,218	6,424	146,000	1,562,286	300,547
GHG emissions (kg CO ₂ -eq/head/year)	231.85	23.56	535.45	285.85	157.13

Table 4. Total greenhouse gas emissions from animal manure treatment systems
(kg CO₂-eq/head/year)

Source	A	B	C	D	E
Manure treatment (A)	1,363.6	1,000.9	1,000.9	1,363.6	1,000.9
Electricity (B)	231.85	23.56	535.45	285.85	157.13
A+B	1,595.45	1,024.46	1,536.35	1,649.45	1,158.03
B/(A+B)×100 (%)	14.5	2.3	34.9	17.3	13.6

측을 위해서는 가축분뇨 처리시스템을 선택할 경우 에너지 효율성도 고려해야 할 것이다. 가축분뇨처리시스템의 전체 온실가스 배출량은 Table 4에서 볼 수 있다.

이번 연구는 국가 온실가스 배출량 계산을 위해 사용하는 IPCC (1997) 계산법을 이용하였고 방법론은 Tier 1 수준을 사용하였기 때문에 불확실성(uncertainty)이 높다고 할 수 있다. 하지만 현재 Tier 2 방법을 사용하기 위해 진행되는 기반 연구들의 성과가 나타나면 불확실성을 많이 줄일 수 있다. 이번 연구를 통해 가축분뇨 처리 시스템의 온실가스 배출원에 대한 보다 자세한 자료를 얻을 수 있었지만 향후 달성될 결과들을 반영한 연구를 지속적으로 수행할 필요가 있다.

적 요

정부는 온실가스 감축을 위해 2011년 7월 12일 산업별 감축목표를 담은 ‘2020년 저탄소 녹색사회 구현을 위한 로드맵’을 발표하였다. 농식품 부문의 에너지 사용을 제외한 비 에너지 부문의 경우 2020년 BAU 대비 1,349천CO₂-eq.톤 (7.1%)을 감축해야 한다. 비 에너지 부문의 온실가스 감축에서 큰 부분(약 45%)을 차지하는 것이 가축분뇨에 관련한 감축량이다. 따라서 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 온실가스 양을 정확히 평가하여 효율적 감축방안을 찾아내는 것이 중요하다. 이번 연구는 전과정평가를 통해 가축분뇨 처

리과정의 온실가스 배출원을 판단하였다. 가축분뇨 처리과정에서 가장 많은 온실가스를 배출하는 시스템은 퇴/액비 및 정화처리 시스템(1,649.45 kg CO₂-eq./head/year)이었고 가장 적은 온실가스를 배출하는 시스템은 폭기형 액비 시스템(1,024.46 kg CO₂-eq./head/year)이었다. 전체 배출량 중 전기 사용에 의해 배출되는 온실가스의 비중이 가장 높은 시스템은 고온호기발효 시스템(34.9%)이었다. 향후 온실가스 감축을 위해서는 가축분뇨 처리 시스템을 선택할 경우 에너지 효율성도 고려해야 한다.

인 용 문 헌

1. IPCC. 1996: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. J. T. Houghton, L. G. M. Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenburg and K. Maskell. (Eds.). Cambridge University Press, U.K.
2. IPCC. 1997: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. J. T. Houghton, L. G. M. Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D. J. Griggs and B. A. Callender(Eds.). Cambridge University Press, UK.
3. IPCC. 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

4. 기상청. 2010: 2010 이상기후 특별보고서. 미래미디어.
5. 농협중앙회. 2007: 2007 낙농·양돈 분뇨 처리 현황조사. 농협중앙회
6. 온실가스종합정보센터장. 2010: 1990-2008년 국가 온실가스 인벤토리 보고서. 온실가스종합정보센터.