축산시설환경 : 9(1) 1~8, 2003 J. L. H. E., 9(1) 1~8, 2003

가축분뇨로부터 아산화질소 배출량 산출

전병수* · 정종원 · 김태일 · 유용희 · 최동윤 · 곽정훈 · 박치호 · 이현정
축산기술연구소

Nitrogen Dioxide Emission from Livestock Manure Management

B. S. Jeon*, J. W. Jeong, T. I. Kim, Y. H. Yoo, D. Y. Choi, J. H. Kwag, C. H. Park, and H. J. Lee
Daekwanryeong Branch, National Livestock Research Institute, RDA, Phyongchang, Gangwon-do, 232-952, Korea

Summary

This study was conducted to calculate the amount of N_2O emission from livestock manure management in Korea. N_2O is considered a greenhouse gas emitted from livestock manure treatment. In order to calculate N_2O emission, a percentage of nitrogen from livestock manure, livestock manure treatment facilities, and the number of livestock were collected. The amount of annual N excretion from beef cattle, dairy cattle, pigs, laying hen, and broiler were 37.00, 20.42, 12.37, 0.56, and 0.29kg, respectively. Calculated N_2O emission in 1990, 2005, 2010, 2015, and 2020 were 3.71, 5.84 6.07, 6.23, and 6.53Gg, respectively. Increased N_2O percentage in 2005, 2010, 2015, and 2020 compared to 1990 were 57.4, 63.6, 67.9, and 76.0%, respectively.
(**Key words** : Greenhouse gas, Dinitrogen oxide, Livestock manure)

서 론

기후변화에 관한 협약은 1992년 「Rio 환경회의」에서 온실가스 배출감축을 위해 채택되었으며 우리나라는 1993년 12월 세계에서 47번째로 가입하였다. 그 후 1997년 12월 일본 교토에서 선진국의 온실가스 배출 감축의무를 규정한 교토의정서가 채택되었다. 교토의정서(Kyoto Protocol)에 의하면 미국, 일본, EU 등 선진국들은 2010년까지 1990년도 온실가스 배출대비 평균 5.2% 줄이기로 하였다. 교토의정서 이행방안이 최종 타결됨으로써 선진국들(Annex I 국가)의 온실가스 감축의무 부담이 확정되어 우리나라와 같은 개도국들 (Non-Annex I 국가)은 일단 의무부담에서 제외되었으나 우리나라가 온실가스배출 세계 10위 국가이자 OECD 회원국임을 감안할 때 조기 의무부담 압력이 가중될 전망이다. 우리나라는 기후변화협약 관련시책을 종합 추진하기 위하여 국무총리를 위원장으로

관계부처, 학계, 산업계, 연구기관 등이 광범위하게 참여하는 범정부대책기구를 구성하여 대응하고 있다.

가축분뇨로부터 배출되는 온실가스에는 메탄 (CH_4)과 아산화질소 (N_2O)가 있으며 메탄 발생에 관한 연구는 국내에서 많이 보고되고 있으나(김 등, 1987; 박 등, 2001; 정과 김, 1993; 축산기술연구소, 1995) 최근에는 CO_2보다 250배 정도 온실효과를 초래하는 N_2O에 대한 관심이 높아지고 있다. 축산기술협회 (1996)는 돈분이 퇴비화 과정에서 방출되는 최고농도는 1,800ppm에 달하며 퇴비화 전 기간을 통하여 방출되는 아산화질소의 총량은 톤당 0.35~34g 정도라고 하였으며, 전 등 (2002)은 돈분의 호기성 퇴비화과정에서 발생하는 아산화질소의 양은 T-N g당 0.043g이 발생하였다고 보고하였다. 가축분뇨 처리과정에 발생되는 아산화질소는 미생물의 작용과 혐기 또는 호기적인 처리조건에 따라 차이가 있다. 활성오니법과 같은 정화처리나 강제통풍식과 같은 고속퇴비화 처리과정에서는 질소화합물이 빠르게 무기화되어 암모니아로 되고 가스로 휘발한다. 호기상태로 처리하면 NO_2를 경유하여 NO_3로 산화되지만 그 과정에서 N_2O가 생성된다 (축산기술협회, 1996). NO_3는 호기상태에서는 안정하지만 무산소상태에서는 N_2O나 N_2를 생성한다. 특히 퇴비화 과정에서 초기에 고농도의 아산화질소가 발생하고 그 후 급감하는 것이 일반적인 추세이며 통기량이 부족하면 교반직후에 다시 발생한다.

본 연구에서는 가축분뇨 처리과정에서 발생하는 아산화질소 배출량을 산출하기 위하여 국내외 기본 자료를 수집하여 이를 바탕으로 국내 아산화질소 배출량 및 전망치를 추정하였다.

재료 및 방법

1. 기초자료

가축분뇨 분해에 의한 아산화질소를 추정하기 위해서는 가축분뇨에 포함되어 있는 질소 함량, 분뇨처리 시설유형별 점유율, 가축 사육두수의 파악이 선행되어야 한다.

축산업의 여건에 따라 증감하는 변동인자에는 가축사육두수, 분뇨처리시설 유형별 점유율이 있다. 가축 사육두수는 농림부 가축통계(2001)를 위주로 하였으며 전망치인 2002~2012년까지는 한국농촌경제연구원(2002) 자료를 인용하였다. 젖소, 한육우, 돼지의 경우 2015년 및 2020년의 전망치는 2002~2012년의 평균 가축 증가율을 반영하였으며, 산란계는 연간 0.5%, 육계는 연간 1% 증가를 기준으로 전망하였으며 전체 닭 마릿수에서 산란계를 제외한 마리수를 육계로 계산하였다.

분뇨처리 시설 유형별 점유율은 농림부 가축분뇨처리시설 설치현황(1997)을 근거로 계산하였고, 가축분뇨 질소 함유율은 농림부 (2000) 자료를 사용하여 산출하였다.

2. 아산화질소 산출 공식

가축분뇨 처리시 발생되는 N_2O 배출량 산출은 IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000)에서 제시한 아래의 공식에 의해 산출하였다.

$$(N_2O\text{-}N)_{(MM)} = \Sigma(S)\{[\Sigma(T)(N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T\,S)})] \times EF_{3(S)}\}$$

여기에서:

$(N_2O\text{-}N)_{(MM)}$ = 그 나라의 가축분뇨 처리시 N_2O-N 발생량(kg N_2O-N/년)

$N_{(T)}$ = 그 나라의 가축 종/범주 T의 두수
$Nex_{(T)}$ = 그 나라의 가축 종/범주 마리당 연평균 질소배설량(kg N/가축/년)
$MS_{(T,S)}$ = 그 나라의 가축분뇨처리 시스템 S에 대한 각각의 가축 종/범주 T의 전체 연간 배설량의 비율
$EF_{3(S)}$ = 그 나라의 가축분뇨처리 시스템 S의 N_2O emission factor(가축분뇨처리 시스템 S의 kg N_2O-N/kg N)
S = 가축분뇨처리 시스템
T = 가축 종/범주
$N_2O_{(MM)} = N_2O\text{-}N_{(MM)} \times 44/28$

결과 및 고찰

1. 분뇨 배설량

가축분뇨로부터 배출되는 분뇨 배설량은 Table 1에 나타낸 바와 같다. 일본 축산기술협회 (1996)에서 보고한 분뇨 배설량 중 젖소 35.3kg, 돼지 20.3kg, 닭은 0.12kg으로 우리나라(농림부, 2000)에서 보고한 자료와 비슷한 수치였으나 화우의 경우에는 20.3kg으로 우리나라 농림부에서 보고한 수치인 14.6 kg보다 28% 많은 결과를 보였다.

2. 가축 사육두수

가축 사육두수는 Table 2에서와 같이 한육우의 경우 1990년 대비 2005, 2010 및 2015년도에 각각 14.2, 17.9 및 21.9% 증가할 것으로 예상되며, 돼지의 경우에는 103.9, 109.2 및 114.6% 증가할 것으로 전망된다.

3. 분뇨처리 시설 유형별 점유율

젖소와 한육우의 경우 톱밥축사가 40.9 및 36.1%를 차지하고 있으며 돼지의 경우에는 분뇨 혼합상태인 슬러리의 강제발효 시설이 48%로서 가장 많은 비중을 차지하고 있다 (Table 3). 닭은 깔짚축사 및 건조방법을 많이 사용하고 있으며 처리된 분의 대부분을 유기질 비료로 자원화하고 있다.

4. 기준배출계수

IPCC에서 제시한 N_2O를 계산하기 위한 기준배출계수 (default emission factor)는 Table 4에 표시된 바와 같다. 고형분의 emission factor 0.02는 슬러리 0.001보다 20배 높다. 또한 깔짚이 있는 계분은 깔짚이 없는 계분보다 4배 높다. 이러한 경향은 메탄발생과는

Table 1. Daily excreta from livestock in Korea

Item	Daily excreta (kg/head(bird))		
	Feces	Urine	Sum
Dairy cattle	24.6	11.0	35.6
Beef cattle	10.1	4.5	14.6
Pig	1.6	2.6	4.2
Laying hen	0.13	-	0.13
Broiler	0.09	-	0.09

* source : Ministry of Agriculture & Forestry (2000).

Table 2. Change of the number of livestock in Korea

(Unit : 1,000 heads(birds))

Item	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Dairy cattle	503.9 (100)	553.5 (109.8)	543.7 (107.9)	575.4 (114.2)	594.1 (117.9)	614.1 (121.9)	639.4 (126.9)
Beef cattle	1,621.7 (100)	2,295.0 (141.5)	1,590.0 (98.0)	1,511.4 (93.2)	1,647.7 (101.6)	1,670.4 (103.0)	1,836.2 (113.2)
Pig	4,528.0 (100)	6,461.2 (142.7)	8,214.4 (181.4)	9,234.1 (203.9)	9,473.3 (209.2)	9,717.9 (214.6)	10,072.8 (222.5)
Poultry	74,463.1 (100)	85,799.7 (115.2)	102,546.8 (137.7)	113,695.6 (152.7)	118,156.5 (158.7)	122,811.2 (164.9)	127,668.6 (171.5)

* source : Korea Rural Economic Institute (2002), Ministry of Agriculture & Forestry (2002).

Table 3. The type of livestock manure treatment in Korea

(Unit : %/OM)

Item	Slurry			Feces			Urine	
	Aerated fermentation	Long term storage	Sawdust bedding	Aerated fermentation	Pile up	Dry	Purification	storage
Dairy cattle	-	17.8	40.9	-	41.3	-	29.7	11.6
Beef cattle	-	0.6	36.1	-	63.3	-	62.0	1.3
Pig	48.0	-	18.7	1.1	32.2	-	32.1	1.2
Poultry	-	-	40	17.2	12.1	30.7	-	-

* source : Ministry of Agriculture & Forestry (1997).

양상이 다른 결과를 보여주고 있는데 메탄의 경우에는 혐기 상태에서 발생량이 많아지는 반면 아산화질소는 호기상태에서 많아지는 경향이 있다.

5. 축종별 질소 배설량

축종별 분뇨의 질소 함유량은 Table 5에 나타낸 바와 같으며 젖소, 연간 1두 (수)당 발생하는 질소의 량은 한육우, 돼지, 산란계 및 육계 순으로 37.0, 20.42, 12.37, 0.56 및 0.29kg이었다 (Table 6). 연도별 가축분뇨 중 질소 배설량은 1990년도 기준 (140.8천톤)으로 볼 때 2000년도 (197.7천톤) 및 2010년도 (221.5천톤)에 각각 57.3 및 69.0% 정도 증가할 것으로 예측되었다 (Table 7).

6. 아산화질소 배출량 및 배출전망

아산화질소 배출량은 1990년도 기준 대비 1995년 및 2001년도에 각각 40.4% 및 47.2% 증가하였다(Table 8). 가축사육 두수가 많았던 1995년과 비교하면 약 4.8% 증가하였다.

특히 돼지 분뇨처리 과정에서 타 축종에

Table 4. Default emission factor of N_2O

Livestock manure treatment	Emission factor (kg N_2O-N/kg excreted N)
Solid storage	0.02
Drylot	0.02
Liquid/slurry	0.001
Lagoon	0.001
Pit under livestock house	0.001
Anaerobic digestion	0.001
Bedding for Cattle and pig	0.05 <1month 0.02 >1month
Aerated fermentation	0.02
Pile up and turning up	0.02
Poultry manure with bedding	0.02
Poultry manure without bedding	0.005
Slurry with aeration	0.02

* source : IPCC (2000).

Table 5. The percentage of nitrogen from livestock manure

(Unit : %)

Item	Feces	Urine
Dairy cattle	0.26	0.34
Beef cattle	0.34	0.48
Pig	0.77	0.83
Laying hen	1.21	-
Broiler	0.89	-

* source : Ministry of Agriculture & Forestry (2000).

Table 6. The amount of annual N excretion from beef cattle, dairy cattle, pigs, laying hen, and broiler

Item	N excretion (kg/head/year)		
	Feces	Urine	Sum
Dairy cattle	23.35	13.65	37.00
Beef cattle	12.53	7.88	20.42
Pig	4.50	7.88	12.37
Laying hen	0.56	-	0.56
Broiler	0.29	-	0.29

Table 7. The amount of annual N excretion from livestock

(Unit : 1,000 M/T)

Item	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Dairy cattle	18.6	20.5	20.1	21.3	22.0	22.7	23.7
Beef cattle	33.1	53.0	32.5	30.9	33.6	34.1	37.5
Pig	56.0	79.9	101.6	114.2	117.2	120.2	124.6
Laying hen	23.8	25.9	28.6	29.1	29.8	30.6	31.4
Broiler	9.3	11.4	14.9	17.9	18.8	19.8	20.8
Sum	140.8	190.8	197.7	213.4	221.5	227.4	237.9

Table 8. Calculated N_2O emission from livestock manure management

(Unit : Gg/year)

Item	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Dairy cattle	1.03	1.12	1.28	1.43	1.52	1.65	1.80	1.74	1.51	1.24	1.01	0.89
Beef cattle	0.46	0.45	0.46	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.49	0.50
Pig	1.75	1.95	2.11	2.29	2.30	2.50	2.52	2.74	2.92	3.04	3.18	3.37
Laying hen	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.21	0.20	0.23	0.23	0.22
Broiler	0.29	0.30	0.27	0.28	0.33	0.36	0.33	0.37	0.36	0.39	0.47	0.48
Sum	3.71	4.01	4.31	4.69	4.84	5.21	5.36	5.55	5.48	5.38	5.37	5.46

Table 9. Forecast of N_2O emission from livestock manure management

(Unit : Gg)

Item	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Dairy cattle	0.46	0.50	0.49	0.52	0.54	0.55	0.58
Beef cattle	1.03	1.65	1.01	0.96	1.05	1.06	1.16
Pig	1.75	2.50	3.18	3.57	3.66	3.76	3.89
Poultry	0.48	0.56	0.69	0.79	0.83	0.86	0.90
Sum	3.71	5.21	5.37	5.84	6.07	6.23	6.53

비해 상대적으로 많이 발생하는 결과를 보이고 있으며 육계에서 가장 낮은 수치를 보이고 있다.

아산화질소 배출량은 기준년도인 1990년도에 비해 2005, 2010, 2015 및 2020년도에 각각 57.4, 63.6, 67.9 및 76.0% 증가할 전망이

다 (Table 9). 이는 각 축종별 사육두수의 증가에 기인한 것으로 돼지에서 타축종에 비해 많이 발생하고 있다.

7. 저감 전망

아산화질소를 감소시키기 위해서는 해결해야 할 연구과제가 많이 산재해 있다. 분뇨처리 종류별 아산화질소 발생기구의 해명, 발생율의 측정, 제어기술의 개발 등이 선행되어야 한다. 메탄 배출을 기준으로 가축분뇨를 처리할 경우 호기적 방법에 의한 분뇨처리가 혐기적인 처리 방법보다는 적게 배출되는 반면 아산화질소는 이와 반대로 혐기적인 조건 또는 혐기와 호기의 반복적인 처리조건에서 많이 발생하기 때문이다. 따라서 분뇨슬러리 저장시에는 메탄이 많이 발생하나 아산화질소는 적은반면 슬러리를 호기발효시에는 메탄은 적게 발생하나 아산화질소는 많이 발생한다. 실례로 돈분뇨 슬러리의 저장중에는 질소량당 0.75%의 아산화질소가 생성되나 슬러리의 호기적 퇴비화시에는 거의 9배가 많은 6.7%의 아산화질소가 발생한다고 한다. 따라서 적정 호기발효 기술 등 메탄과 아산화질소를 동시에 저감할 수 있는 기술적인 처리방법을 찾아나가는 것이 금후 해결해야 할 과제이다.

적 요

우리나라는 1998년도에 가축 사육두수가 감소되고 축산물 소비가 둔화되는 등 어려운 점이 많았으나 2012년까지 장기전망으로는 가축 사육두수가 축종에 관계없이 완만하게 상승될 전망이다. 분뇨분해에 의한 아산화질소 배출량은 고유의 분뇨처리시설 유형 점유형태에 대한 자료를 가지고 IPCC (2000)에서 제시하는 조건별 N_2O emission factor 적용하여 산출하였으며 기준년도인 1990년도에 3.71 Gg이었으며 2005, 2010, 2015 및 2020년도에 5.84, 6.07, 6.23 및 6.53Gg으로 각각 추정되었고 기준년도에 비해 2005, 2010, 2015 및 2020년도에는 각각 57.4, 63.6, 67.9 및 76.0% 증가할 것으로 전망되었다.

아산화질소 배출을 줄이면 메탄배출이 오히려 증가하는 특성이 있어 아직까지는 아산화질소 배출저감을 위한 수단이 미약한 실정이며 추후 기술적인 검토가 필요하며 IPCC의 고정값을 사용한 것을 고유의 값으로 교체해야 하는 등 배출계수 (emission factor)의 정확도를 제고시켜나가야 한다는 과제를 안고 있다.

인 용 문 헌

1. 김성필, 정광용, 주영희, 박영대. 1987. 메탄균 고정판을 이용한 가스발생량 증대에 관한 연구. 농사시험연구논문집(식환·균이·농가) 29(1):191-195.
2. 농림부. 1997. 가축분뇨 처리시설 설치현황.
3. 농림부. 2000. 가축분뇨 자원화 및 이용기술 개발.
4. 농림부. 2001. 가축통계.
5. 농촌진흥청 축산기술연구소. 1995. 기후변화 협약 관련국가보고서 작성 및 대응방안 연구 (축산부문).
6. 농촌진흥청 축산기술연구소. 2002. 기후변화 협약에 따른 축산부문 국가보고서.
7. IPCC. 1995. Greenhouse gas inventory reference manure.
8. IPCC. 2000. Guidelines for national green house gas inventory. Green house gas inventory workbook.
9. 박치호, 윤태한, 김재환. 2001. 슬러리 발

효증발 시스템의 온실가스 배출량 측정. 한국축산시설환경학회지, 7(2):111-118.

10. 전병수, 김태일, 유용희, 박치호, 곽정훈, 최동윤, 김형호, 이현정, 신용광, 김건엽. 2002. 돈분 퇴비화가 아산화질소 발생에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지. 8 (2):115-118.
11. 정광용, 김재정. 1993. 농축산 폐기물 처리를 위한 저온내성 메탄 생성균의 특성에 관한 연구 1. 저온조건에서 시료별 메탄 생성기작 연구. 한국환경농학회지: 12 (1):41-49.
12. 畜産技術協會. 1995. 地球溫暖化とわが國の畜産.
13. 畜産技術協會. 1996. 畜産における溫室效果ガスの發生制御.
14. 한국농촌경제연구원. 2002. 농업전망 2002.