

Assessment of Nitrous Oxide (N₂O) Emissions from Farmland in 2011 with IPCC Guideline Methodology

Hyun Cheol Jeong, Gun Yeob Kim*, Jong Sik Lee, Eun Jung Choi, Jee Yeon Ko¹, and Kyu Ho So

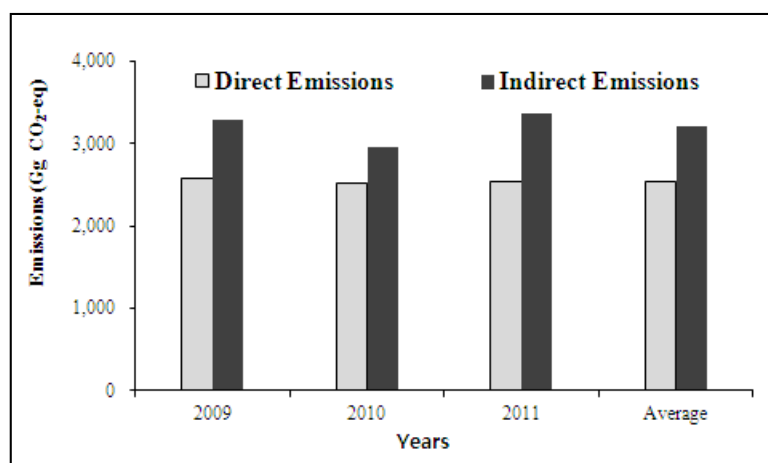
National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707, Korea

¹*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, 627-803, Korea*

(Received: November 13 2013, Accepted: November 28 2013)

This study was conducted to assess N₂O emissions in agricultural soils of Korea under the 1996 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) methodology. N₂O emissions in agricultural soils were calculated the sum of direct emission and indirect emission by the N sources and emissions by field burning of crop residues. N₂O emission was highest in animal manure as 1,547 CO₂-eq Gg. Indirect emissions by atmospheric deposition and leaching and runoff were 1,463 and 1,753 CO₂-eq Gg, respectively. N₂O emission by field burning of crop residues was highest in pepper due to the residue/crop ratio and field burning ratio.

Key words: Nitrous oxide (N₂O), Farmland, Crop residues, Field burning



The total N₂O emissions by direct emission and indirect emission from the farm land in 2011.

*Corresponding author : Phone: +82312900240, Fax: +82312900206, E-mail: gykim1024@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the cooperative research program (PJ0089862013), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

산업혁명 이후 대기 중 아산화질소 농도는 약 275 ppbv에서 310 ppbv로 매년 0.2~0.3%씩 증가하고 있다 (Beauchamp, 1997). 세계 온실가스 중 아산화질소 배출량의 64%가 인간 활동에 의해 배출되며, 그 중 92%가 농업활동에 의해 배출되는 것으로 보고되고 있다 (Duxbury et al., 1993). 우리나라의 경우 농업부문에서 발생하는 아산화질소 배출량은 약 6.9 백만 톤 CO₂-eq으로 우리나라 아산화질소 총 배출량의 약 36%를 차지한다 (NIR, 2012).

경중부문에서 아산화질소 배출은 IPCC 가이드라인에 따라 농경지 토양에서의 배출과 작물잔사 소각 과정에서의 배출로 구분하여 산정한다 (IPCC, 1996). 농경지 토양에서 아산화질소 배출에 영향을 미치는 N 투입원은 화학비료, 질소 고정 작물, 유기 분뇨, 녹비, 수확 후 작물잔사 등이다 (Chang et al., 1998, Eichner, 1990, Kilian and Werner 1996, Mckenney et al., 1993). IPCC 가이드라인에서는 농경지 토양에서의 아산화질소 배출원 분류에 따라 논에서 화학비료 투입에 따른 아산화질소 배출, 밭에서 화학비료 투입에 따른 배출, 작물 잔사 환원에 따른 배출 및 두과 작물에 의한 배출로 산정하며, 배출 경로에 따라 직접 배출과 간접배출로 구분하여 산정하도록 규정하고 있다 (IPCC, 1996, GPG 2000, IPCC, 2006). 농경지 토양에서 배출원에 따른 아산화질소 배출경로 및 배출량 연구는 지금까지 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다 (Bouwman, 1996). 그러나 국가 단위에서 우리나라 농업 환경과 활동자료, 배출계수를 고려한 배출량 평가 및 개선 연구는 미비한 실정이다 (Jeong, et al., 2011). 우리나라는 2009년 제정된 '저탄소 녹색성장 기본법' 및 '온실가스 산정·보고·검증 지침'에 따라 분야별 산정기관이 매년 배출량을 산정하며, 산정 결과를 매년 12월 말에 공표하도록 규정하고 있다.

본 연구는 우리나라 농경지 토양에서의 아산화질소 배출량을 IPCC 가이드라인의 방법론에 준하여 산정하고 국가 공식 배출량으로 확정코자 수행하였다.

Materials and Methods

농경지 토양에서 발생하는 아산화질소 배출량은 IPCC 가이드라인에 따라 활동자료 (Activity data)에 배출계수 (Emission factor)를 곱하여 산정하였고, 직접배출과 간접배출로 구분하여 산정하였다. 2011년 배출량은 2009년, 2010년, 2011년의 3년 평균값으로 하였고, 아산화질소 배출량을 CO₂로 환산하기 위한 지구온난화지수 (Global Warming Potential)는 310을 적용하였다.

활동자료 (Activity data) 화학비료 생산량과 작물 생산량은 농림축산식품부 농림통계연보 (MIFAFF, 2012)를 이용하였다. 가축 분뇨 투입량 산정을 위한 가축 사육두수는

젖소, 한·육우, 돼지, 닭의 경우 통계청의 농업통계정보 및 가축동향조사 자료를 이용하였고, 염소, 말, 면양, 오리, 사슴의 경우는 농림수산식품부의 농림수산식품통계연보 자료를 이용하였다. 화학비료 사용량의 10%, 가축분뇨 사용량의 20%는 대기 휘산량으로 간접배출량 산정 시 적용하였다. 작물잔사 환원에 따른 아산화질소 배출량 평가는 벼, 맥류, 밀, 감자, 고구마, 옥수수, 고추, 마늘, 참깨, 양파 등 10개 작물은 대상으로 하였고, 작물잔사 환원율은 2011년 통계청 조사자료 및 전문가 판단을 이용하였다.

작물잔사 환원에 따른 배출량 산정 시 감자, 고구마, 옥수수의 경우는 전량 환원하는 것으로 하였고, 나머지 작물에 대해서는 2011년 통계청 조사자료와 전문가 판단을 이용하였고 잔사/곡식 비율은 GPG 2000의 기본값과 국립농업과학원의 '기후변화협약 관련 농업분야 탄소 흡수원 연구' 보고서 자료를 활용하였다.

배출계수 (Emission factor) 아산화질소 배출계수는 IPCC 가이드라인의 Default값을 사용하였다. Table 1은 아산화질소 배출량 산정 시 적용한 배출계수를 나타낸다. 화학비료 사용에 따른 아산화질소 배출계수는 논 (EF_{IFR})의 경우 2006 IPCC 가이드라인의 기본 배출계수를 사용하였고, 밭 (EF₁)의 경우 1996 IPCC 가이드라인의 기본 배출계수를 사용하였다. 간접 배출계수 중 대기 침적에 의한 배출계수 (EF₄)와 수계 유출에 의한 배출계수 (EF₅)는 1996 IPCC 가이드라인의 기본계수를 적용하여 산정하였다.

아산화질소 직접 배출량 계산 농경지 토양에서의 아산화질소 배출량은 1996 IPCC 가이드라인에 따라 직접배출과 간접배출 및 작물잔사 소각으로 구분하여 산정하였고 간접배출은 다시 대기 휘산에 의한 배출과 수계 유출에 의한 배출로 구분하여 산정하였다. 아산화질소 배출량 산정은 농경지 질소 공급원 (화학비료 사용, 가축분뇨 사용, 작물잔사 환원 및 두과 작물에 의한 질소고정)에 배출계수를 곱하여 산정하였다 (식 1).

Table 1. The N₂O emission factors.

	EF _{IFR} ¹⁾	EF ₁ ²⁾	EF ₄ ³⁾	EF ₅ ⁴⁾
	----- Kg N ₂ O-N/N Kg -----			
Emission Factor	0.003	0.0125	0.01	0.025

- 1) EF_{IFR}: N₂O emission Factor for direct soil emissions as the fertilizer input in paddy rice
- 2) EF₁: N₂O emission Factor for direct soil emissions as the N input
- 3) EF₄: N₂O emission Factor for indirect soil emissions as the N deposition
- 4) EF₅: N₂O emission Factor for indirect soil emissions as the leaching or runoff

$$N_2O-N_{DIRECT} = (F_{SN} + F_{AW} + F_{BN} + F_{CR}) \times EF \quad (1)$$

$$N_2O_{DIRECT} \text{ Emission} = N_2O-N_{DIRECT} \times 44/28$$

- EF₁ = N₂O 직접 배출계수
- F_{SN} = 화학비료로 농경지로 투입되는 총 질소량에서 NH₃나 NO_x로서 대기 중 휘산되는 부분을 제외한 질소량 (논과 밭 구분)
- F_{AW} = 가축분뇨로 농경지로 투입되는 총 질소량에서 NH₃나 NO_x로서 대기 중 휘산되는 부분을 제외한 질소량 (우리나라는 사용되는 경우가 없기 때문에 계산에서 제외)
- F_{BN} = 질소고정작물에 의해 투입되는 질소량
- F_{CR} = 작물 잔사로서 농경지에 재투입되는 질소량

작물잔사 환원에 의한 아산화질소 배출량은 작물별 생산량에 잔사/곡식 비율, 건물물, 토양 환원율, 잔사 중 질소 함량을 곱하여 산정하였다.

작물잔사 소각에 의한 배출량 계산 작물잔사 소각에 의한 아산화질소 배출량은 작물별 생산량에 잔사/곡식 비율, 건물물, 소각률, 산화율, 질소 함량, 가스 배출률을 곱하여 산정하였다. 2011년 (3년 평균)을 기준으로 작물생산량은 벼는 4,600,158톤으로 가장 높았고 양파는 1,304,856톤, 고추는 346,683톤이었다.

아산화질소 간접 배출량 계산 대기 침적에 의한 배출은 농경지에 유입된 질소가 NH₃나 NO_x의 형태로 대기 중으로 휘산되어 다른 지역으로 이동·침적되는 것을 말하며 수계 유출에 의한 배출은 농경지로 투입된 질소가 수계로 유출되어 다른 지역으로 이동·배출되는 것을 말한다.

대기 침적에 의한 N₂O 간접 배출량 산정을 위한 농경지 질소 투입량은 농경지 화학비료 투입량 중 대기 휘산량 (10%), 농경지 가축분뇨 투입량 중 대기 휘산량 (20%) 그리고 가축분뇨 처리과정중의 휘산량에 배출계수를 곱하여 산정하였다 (IPCC 1996).

수계유출에 의한 N₂O 간접 배출량 산정은 화학비료 및 축산분뇨 농경지 전체 투입량 중 대기 휘산을 제외한 질소량의 30%를 적용하여 산정하였다.

Results and Discussion

농경지 토양에서의 아산화질소 배출량 Table 2는 우리나라 농경지에서 배출되는 질소 공급원별 아산화질소 직접 배출량을 나타낸다. 가축분뇨 농경지 투입에 따른 아산화질소 배출량이 1,547 Gg CO₂-eq으로 가장 많았고, 밭에서 화학비료 사용에 따른 아산화질소 배출이 743 Gg CO₂-eq, 논에서 화학비료 사용에 따른 아산화질소 배출이 152 Gg CO₂-eq 순으로 나타났다. 2011년 (3년 평균) 농경지 토양에 사용된 화학비료의 양은 논은 118,316톤, 밭은 153,902톤이며, 축산분뇨는 310,774톤이다. 농경지 토양에서의 아산화질소 배출량은 가축분뇨에 의한 배출량이 화학비료에 의한 배출량 보다 약 1.7배 높게 배출되는 것으로 분석되었고 논과 밭에서의 화학비료 사용량에 따른 배출량 차이는 투입된 질소량 및 적용된 기본 배출계수의 차이 때문인 것으로 분석되었다. 질소 고정 작물에 의한 아산화질소 배출량 및 작물잔사 환원에 의한 아산화질소 배출량은 각각 51과 52 Gg CO₂-eq으로 전체 아산화질소 배출량에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

Table 3은 농경지 토양에서의 2009~2011 3년간의 아산화질소 간접배출량을 나타낸다. 수계유출에 의한 아산화질

Table 2. Direct emission of N₂O according to emission source.

	Chemical fertilizer		Livestock manure	N-fixing crops	Crop residues returned to soils
	Paddy	Upland			
	----- Gg CO ₂ -eq -----				
2009	157	782	1,522	57	56
2010	152	656	1,619	44	51
2011	146	780	1,499	52	50
Mean (2011)	152	743	1,547	51	52

Table 3. Indirect emission of N₂O by atmospheric deposition and leaching and runoff.

	Atmospheric deposition	Leaching and runoff
	----- Gg CO ₂ -eq -----	
2009	1,447	1,776
2010	1,518	1,745
2011	1,423	1,738
Mean (2011)	1,463	1,753

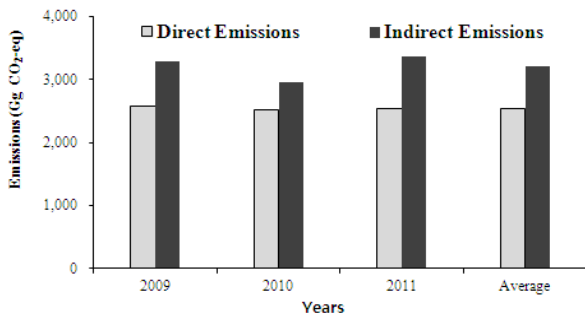


Fig. 1. The total N₂O emissions by direct emission and indirect emission.

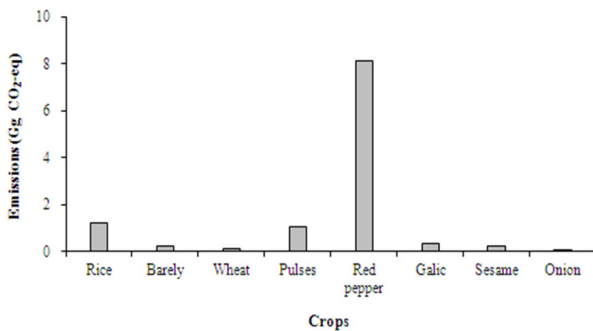


Fig. 2. The N₂O emissions by field burning of crop residues from farm land in 2011.

소 간접 배출은 1,753 Gg CO₂-eq으로 대기 침적에 의한 아산화질소 간접 배출량 1,463 Gg CO₂-eq보다 약 20% 많았다. 이는 대기 침적에 의한 아산화질소 공급원을 화학비료 10%, 가축분뇨에 의해 20%를 적용한 반면 수계 유출에 의한 아산화질소 공급원으로 30%를 적용했기 때문이며, 배출 계수 또한 대기 침적의 경우 0.01을, 수계 유출의 경우 0.025를 적용했기 때문인 것으로 분석되었다.

Fig. 1은 2011년 우리나라 농경지에서의 질소 공급원에 따른 3년간 아산화질소 직접배출량 및 간접 배출량을 나타낸다. 2011년 아산화질소 직접배출량은 2,544 Gg CO₂-eq으로 N₂O 간접배출량 3,205 Gg CO₂-eq보다 약 21% 배출량이 적었다.

작물잔사 소각에 의한 작물별 아산화질소 배출량은 Fig. 2와 같다. 작물별로는 고추 잔사 소각 시 8.2 Gg CO₂-eq으로 가장 많은 아산화질소 배출량을 나타냈고 그 다음이 벼짚, 두과 작물 소각 시 배출량이 많은 것으로 나타났다. 고추 잔사 소각 시 배출량이 높았던 이유는 다른 작물에 비해 잔사/곡식 비율 (고추 2.67)이 높고 고추대가 관목으로 이루어졌기 때문에 작물 잔사 소각률 (벼 0.010, 고추 0.631) 또한 다른 작물에 비해 월등히 높은 것으로 분석되었다

배출량 산정 개선 국가 온실가스 배출량은 활동자료, 매개변수 및 배출계수 변화 등으로 인해 매년 재계산을 하며, 2011년 배출량 산정 시에도 재계산이 이루어졌다. 가축

분뇨 농경지 투입량의 경우 지금까지는 4/4분기 통계 자료를 활용하였으나 2011년의 경우 4분기 자료를 평균하여 적용하였다. 작물잔사 환원에 의한 아산화질소 배출량 산정 시 신규 활동자료 조사로 인해 고추, 마늘, 참깨, 양파가 추가 산정하였으며 작물잔사 소각에 의한 아산화질소 배출량 산정 시 맥류, 두류 및 고추의 소각비율도 신규 활동조사 자료를 적용하여 신뢰도를 높였다.

Conclusions

IPCC 가이드라인의 방법론에 따라 농경지 토양에서의 아산화질소 배출량을 국가 단위에서 산정하였다. 배출량 계산은 질소 투입원에 따른 직접배출, 간접배출 및 작물잔사 소각에 의한 배출로 구분하여 산정하였다. 농경지 토양의 경우 질소 투입원에 따른 배출량은 가축분뇨 투입 시 아산화질소 배출이 가장 높은 것으로 분석되었고, 그 다음이 화학비료 사용에 의한 아산화질소 배출이 높은 것으로 분석되었다. 배출 경로로는 직접배출 보다 간접배출에 의한 아산화질소 배출량이 많은 것으로 분석되었다. 작물 잔사 소각에 의한 아산화질소 배출량은 고추 잔사 소각 시 가장 높은 것으로 분석되었다.

신뢰도 높은 배출량 산정을 위해 활동자료 및 산정 방법 개선을 통해 우리나라 경종부문 아산화질소 배출량을 산정하였으며, 이러한 결과는 2011년 경종부문 국가 공식 배출량으로 승인·공표 될 예정이다.

References

- Beuachamp, E.G. 1997. Nitrous oxide emission from agricultural soils. *Canadian J. of Soil Science*. 77:113-123.
- Bouwman, A.F. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46:53-70.
- Chang C., C.M. Cho and H.H. Janzen. 1998. Nitrous oxide emission from long-term manured soils. *Soil Science Society of America J.* 62:677-682.
- Duxbury, J.M., L.A. Haper and A.R. Mosier. 1993. Contributions of agroecosystems to global climate change. p. 1-18. In: D.E. Rolston et al. (ed.) *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*, ASA special Publication 55. ASA, CSSA and SSSA. Madison. USA.
- Eichner M.J. 1990. Nitrous oxide emission from fertiliser source on denitrification and nitrous oxide emissions in a maize-field. *J. of Environmental Quality*. 19:272-280.
- GPG. 2000. *Good Practice Guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories*.
- IPCC. 1996. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*.
- IPCC. 2006. *IPCC guidelines for national greenhouse gas*

inventories.

Jeong, H.C., G.Y. Kim, D.B. Lee, K.M. Shim, S.B. Lee and K.K. Kang. 2011. Assessment on nitrous oxide (N₂O) emissions in Korea agricultural soils in 2011. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1207-1213.

Kilian S. and D. Werner. 1996. Enhanced denitrification in plots of N₂-fixing faba beans compared to plots of a non-fixing legume and non-legumes. *Biology and Fertility of Soils.* 21:77-83.

McKenny D.J., S.W. Wang, C.F. Drury and W.I. Findlay. 1993.

Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass and corn residues. *oil Science Society of America J.* 57:1013-1020.

MIFAFF. 2012. Food, agricultural, forestry and fisheries statistical yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Seoul Korea.

NIR. 2012. National greenhouse gas inventory report of Korea. Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea.