

1996년과 2006년 IPCC 가이드라인별 경종부문 온실가스 배출량 평가

정현철* · 김건엽 · 이덕배 · 심교문 · 강기경

농촌진흥청 국립농업과학원

Assessment of Greenhouse gases Emission of Agronomic Sector between 1996 and 2006 IPCC Guidelines

Hyun-Cheol Jeong*, Gun-Yeob Kim, Deog-Bae Lee, Kyo-Moon Shim, and Kee-Kyung Kang

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

This study was conducted to compare of greenhouse gas emissions between 1996 and 2006 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) guidelines change. Greenhouse gas emissions were calculated separately by rice cultivation, agricultural soils and field burning of agricultural residues from 2000 to 2008 according to 1996 and 2006 IPCC guidelines. To calculate greenhouse gas emissions, emission factor and activity data were used IPCC default value and the food, agricultural, forestry and fisheries statistical yearbook of MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries). The greenhouse emissions by 1996 IPCC guidelines were highest in rice cultivation as 4,008 CO₂-eq Gg of 2000 and 3,558 CO₂-eq Gg of 2008. The emissions by N-fixing crops, crop residues returned soils and field burning did not much affect the total emissions. CO₂ emissions by urea and lime were calculated by adding in 2006 IPCC guidelines and its emissions were 157 and 82 CO₂-eq Gg in 2008 respectively. The emissions by N-fixing crops, crop residues returned to soils and field burning, in common with 1996 IPCC guidelines, did not have a significant impact on total emissions. The total emissions in agronomic sector was decreased continuously from 2000 to 2008 and annual emissions by 2006 IPCC guidelines were approximately 26-29% less than the 1996 IPCC guidelines.

Key words: Greenhouse gas, Emission factor, IPCC guideline, GPG

서 언

범 지구적 기후변화 문제가 국제적으로 인식되면서 1998년 세계기상기구 (International Meteorological Organization; WMO)와 유엔환경계획 (United Nations Environment Programme; UNEP)은 기후변화에 관한 정부간 협의체 (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)를 공동 설립하였다. IPCC 활동 중 하나는 국가 온실가스 인벤토리의 방법론에 관한 작업을 추진하여 UNEP를 지원하는 것이다.

IPCC는 1996 가이드라인을 비롯하여 GPG (Good Practice Guidance) 2000과 GPG 2003 LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry)를 발간하였다 (GPG, 2000; GPG, 2003; IPCC, 1996). 또한, 이를 통합한 2006 IPCC 신규 가이드라인을 발표하였으며, 농업부문은 산림 및 토지이용과 통합하여 AFOLU (Agriculture, Forestry, and Other Land-Use)

로 새롭게 발간하였다. (IPCC, 2006). 우리나라는 온실가스 배출량 산정에서 1996 IPCC 가이드라인을 기본으로 GPG 2000과 2003을 적용토록 권고하고 있으며, 향후 2006 IPCC 가이드라인을 적용하기 위한 방안을 마련 중에 있다. 또한, 산업 부문별로 2006 가이드라인을 적용하기 위한 사전 분석과 적용성 검토 연구가 활발히 진행되고 있다.

기본적으로 경종부문에서의 온실가스 배출량 평가는 벼 재배에 의한 CH₄ 배출량, 농경지 토양에서의 N₂O 배출량, 작물잔사 소각에 의한 온실가스 배출량으로 구분하여 산정한다 (Cai et al., 2000; Huang et al., 2004; Stehfest and Bouwman, 2006). 2006 IPCC 가이드라인과 1996 IPCC 가이드라인의 기본적인 차이점은 일부 신규 배출원이 추가, 기존 배출원 삭제 그리고 일부 배출량 방법론의 세분화 또는 기본 배출계수 및 보정계수의 변화 등에 있다 (Dentener and Crutzen, 1994; Neue and Sass, 1994; Yagi and Minami, 1990). 본 연구는 해외 선진국의 2006 IPCC 가이드라인 배출량 평가 방법론 및 배출계수 적용사례를 살펴보고, 1996 IPCC와 2006 IPCC 가이드라인 간의 차이점을 분석하여, 2000년부터 2008년까지 경종부문 온실가스 배출량을 비교

접수 : 2011. 11. 14 수리 : 2011. 11. 25

*연락처 : Phone: +82312900238

E-mail: taiji152@korea.kr

산정하였다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 경중부문의 적용성 여부를 검토하는 한편, 문제점을 파악하여 신규 가이드라인 적용 방안 및 개선방법을 찾아보고자 연구를 수행하였다.

자료 및 방법

경중부문 온실가스 배출량 산정은 1996 IPCC와 2006 IPCC 가이드라인에 따라 2000년부터 2008년까지 MIFAFF (2008)의 국가 공식 활동자료 (Activity data)와 가이드라인에서 제시하고 있는 기본 배출계수 (Emission factor) 및 보정계수 (Scaling factor)를 활용하여 산정하였다. 농업부문 온실가스 배출량 산정은 3년 평균값을 사용하도록 가이드라인에서 규정하고 있어 당해년도 값은 당해년도, 전년도, 전전년도의 평균값으로 하였다.

해외 사례 분석 2006 가이드라인을 적용하고 있는 Annex I 국가의 동향을 분석하기 위해 UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)에 공개되어 있는 미국과 일본의 국가 인벤토리 보고서 (National Inventory Report)와 공통보고양식 (Common Report Format)을 활용하였다.

배출원 구분 및 온난화지수 경중부문 온실가스 배출원은 벼재배에 의한 CH₄ 배출량, 농경지 토양에서의 CO₂ 및 N₂O 배출량, 작물잔사 소각과정에서의 온실가스 배출량으로 구분하여 산정하였다. CH₄와 N₂O 배출량을 CO₂ 당량으로 환산하기 위한 지구온난화지수는 21과 310을 각각 적용하였다.

활동자료 (Activity data) 및 배출계수 (Emission factor) 2000년부터 2008년까지 활동자료는 국가 공식통계인 MIFAFF (2008)를 활용하였다. 배출량 평가에 사용한 활동자료는 작물별 재배면적, 생산량, 가축사육두수, 화학비료 사용량, 요소 및 석회 사용량 등이다. 일부 활동자료가 없는 경우는 국가 인벤토리 보고서 작성 시 공식적으로 적용한 자료를

활용하였다. 벼 재배에 의한 CH₄ 배출량 산정 시 사용한 활동자료는 벼 재배면적, 유기물 사용 유·무, 물 관리 방법 등이다. 농경지 N₂O 배출량 산정 시 사용한 활동자료는 논과 밭에서의 화학비료 사용량, 축산분뇨 사용량, 작물잔사 환원에 의한 질소 투입량 및 콩과작물에 의한 질소 고정량 등을 활용하였다. 또한, 질소 투입량을 산정하기 위해서 화학비료 총 생산량, 가축 사육두수, 작물 재배면적 및 생산량 등의 기초 활동자료를 활용하였다.

배출량 산정에 사용된 배출계수와 보정계수는 1996 IPCC와 2006 IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 default 값을 적용하였으며, 국가 고유의 배출계수는 적용하지 않았다 (Table 1).

벼 재배에 의한 CH₄ 배출량 평가 CH₄ 배출량은 벼 재배 면적에 기본 배출계수를 곱하고 여기에 상시담수와 간단관계, 유기물 사용 유·무의 보정계수를 곱하여 산정하였다. 배출량 평가에서 사용된 기본계수와 보정계수는 1996 IPCC와 2006 IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 값을 각각 적용하여 비교하였다.

농경지에서의 N₂O 직접배출량 평가 1996 IPCC 방법론에 따른 N₂O 직접배출량은 식 1과 같이 N₂O 배출원을 농경지 화학비료 사용에 의한 질소량 (F_{SN}), 축산분뇨 사용에 의한 질소량 (F_{AW}), 콩과작물에 의한 질소 고정량 (F_{BN}) 및 작물잔사 환원에 의한 질소량 (F_{CR})으로 구분하고 논과 밭에 관계없이 기본 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였다. 유기질 토양 (F_{OS})에서의 N₂O 배출량은 우리나라의 경우 해당되지 않아 계산에서 제외하였다.

2006 IPCC 가이드라인에 따른 N₂O 직접배출량은 식 2와 같이 N₂O 배출원에서 콩과 작물에 의한 배출을 제외하고 산정하였으며, 화학비료 사용에 의한 N₂O 배출량은 논과 밭을 구분하여 2006에 제시된 기본계수를 적용하였다. 또한, 하수 슬러지 (N₂O-N_{OS})나 방목에 의한 가축분뇨 유입 (N₂O-N_{PRP})의 N₂O 배출은 해당되지 않아 계산에서 제외하였다.

Table 1. Emission factor for calculation of N₂O emission.

Division	Emission factor	Default value	Methodology
Direct emission factor	EF ₁	0.01	2006 GL
	EF _{1FR}	0.003	2006 GL
Indirect emission factor	EF ₄	0.01	1996 GL
	EF ₅	0.0075	2006 GL
	Frac _{GASF}	0.1	1996 GL
	Frac _{GASM}	0.2	1996 GL
	Frac _{LEACH}	0.3	1996 GL
	Frac _{NCRBF}	0.03	1996 GL

〈1996 IPCC 가이드라인에 따른 N₂O 직접배출량 계산〉

$$N_2O - N_{DIRECT} = [(F_{SN} + F_{AW} + F_{BN} + F_{CR}) \times EF_1] + F_{OS} \times EF_2$$

$$N_2O_{DIRECT} = N_2O - N_{DIRECT} \times 44/28 \quad (1)$$

〈2006 IPCC 가이드라인에 따른 N₂O 직접배출량 계산〉

$$N_2O - N_{DIRECT} = N_2O - N_{N INPUT} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP}$$

$$N_2O - N_{N INPUT} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_{1ER}]$$

$$N_2O_{DIRECT} = N_2O - N_{N INPUT} \times 44/28 \quad (2)$$

농경지에서의 N₂O 간접배출량 평가 농경지 토양에서의 N₂O 간접배출량 평가에서는 1996 IPCC와 2006 IPCC 가이드라인 간에 큰 차이가 없으며, 다만 수계 유출에 의한 기본 배출계수의 차이가 있어 각각의 가이드라인에서 제시하고 있는 배출계수를 적용하였다. 배출량 산정은 N₂O 직접배출량 계산에서 활용한 질소 투입원 활동자료를 활용하여 대기 침적에 의한 배출 (N₂O_(G)) (식 3)과 수계 유출에 의한 배출 (N₂O_(L)) (식 4)로 구분하여 산정하였다.

〈N₂O 간접배출량 계산〉
 대기 침적에 의한 N₂O 간접배출

$$N_2O - N_{(G)} = [(F_{SN} \times \text{Frac}_{GASF}) + (F_{ON} \times \text{Frac}_{GASM})] \times EF_4$$

$$N_2O_{(G)} = N_2O - N_{(G)} \times 44/28 \quad (3)$$

수계 유출에 의한 N₂O 간접배출

$$N_2O - N_{(L)} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR}) \times \text{Frac}_{LEACH}] \times EF_5$$

$$N_2O_{(L)} = N_2O - N_{(L)} \times 44/28 \quad (4)$$

작물잔사 소각에 의한 온실가스 배출량 평가 작물잔사 소각에 의한 온실가스 배출량은 작물 생산량, 작물잔

사 비율, 건물물, 소각률, 산화율 및 탄소함량 등을 활용하여 산정하였다.

결과 및 고찰

ANNEX 1 국가의 2006 IPCC 가이드라인 적용 사례 분석 Table 2는 한국, 미국, 일본의 농경지 온실가스 배출량 평가 방법 및 배출계수 현황을 국가별 인벤토리 보고서와 공통보고양식을 이용하여 분석한 결과이다.

일본의 경우, 경종부문의 온실가스 배출량은 우리나라와 같이 벼재배, 농경지 토양, 작물잔사 소각의 세 가지 배출원으로 구분하여 평가한다. 벼 재배의 경우 CH₄ 배출량 평가 방법론과 배출계수는 기본적으로 1996 IPCC 가이드라인을 따르며, 특히 CH₄ 배출계수의 경우는 5개의 토성 및 3개의 유기물 종류별로 구분하여 15개의 국가 고유배출계수를 개발하여 사용하고 있다. 농경지 N₂O 배출량 산정시 기본 방법론은 1996 IPCC 가이드라인의 방법론을 사용하나 논에서의 N₂O 배출계수는 2006 IPCC 가이드라인의 기본 배출계수인 0.003 kg N₂O-N / kg N을 적용하며, 질소고정 작물에 의한 농경지 질소고정량 계산 방법은 2006 IPCC 가이드라인을 적용하고 있다.

미국의 경우, 벼 재배 논에서의 CH₄ 배출량 평가 시 2006 IPCC 가이드라인을 적용하고 있으며, Tier 2 수준의 국가 고유배출계수를 개발하여 배출량 산정에 활용하고 있다. 농경지 N₂O 직접배출량의 산정 시 2006 IPCC 가이드라인을 적용하고, 주 배출원의 경우 Tier 3 수준의 모델링 방법 (DAYCENT model), 소면적 재배작물의 경우 Tier 1 수준에서 배출량을 산정하고 있다. 또한, 주요 작물에 대한 국가 고유 배출계수를 개발하여 사용하고 있으며, 소면적 재배작물의 경우 2006 IPCC의 기본계수 값을 적용하고 있다. N₂O

Table 2. The comparison of emission factor and methodology on Annex I countries and Korea.

Greenhouse gas source and sink category		CH ₄		N ₂ O	
		Methodology	Emission factor	Methodology	Emission factor
Korea	Rice cultivation	D [†]	CS	-	-
	Agricultural soil	NA	NA	D,T1	D
	Field burning of agricultural residues	D	D	D	D
USA	Rice cultivation	D	CS	-	-
	Agricultural soil	NA	NA	CS,D,T1,T3	CS,D,M
	Field burning of agricultural residues	T2	CS	T2	CS
Japan	Rice cultivation	CS	CS	-	-
	Agricultural soil	NA	NA	CS,T1,T1b	CS,D
	Field burning of agricultural residues	D	D	D	D

[†]D, Default; T, Tier; M, Modeling; CS, Country specific; NA, Not applicable.

Table 3. The comparison of emission factor and unit according to IPCC guideline change.

Division	1996 IPCC		2006 IPCC	
	Factor	Unit	Factor	Unit
CH ₄ Emission factor	20	CH ₄ g m ⁻²	1.30	CH ₄ kg ha ⁻¹ day ⁻¹
N ₂ O Indirect emission factor	0.0125 (EF ₁)	kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹	0.003 (EF _{1ER}) 0.01 (EF ₁)	kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹ kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹
EF ₅ (Leaching/run off)	0.025	kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹	0.0075	kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹
EF _{Limestone}	-	-	0.012	tonne C (tonne Limestone input) ⁻¹
EF _{Dolomite}	-	-	0.013	tonne C (tonne Dolomite input) ⁻¹
EF _{Urea}	-	-	0.20	tonne C (tonne Urea input) ⁻¹

Table 4. Emission factors to assess emission of livestock manure.

IPCC Guideline	Dairy	Korean native cow	Pig	Chicken	Goat	Sheep	Horse	Duck	Deer
	----- Mg yr ⁻¹ -----								
1996	100	70	20	0.6	40	12	40	0.6	40
2006	67.9	39.6	17.4	0.51	19.4	23.5	62.1	0.51	62.1

간접배출량의 경우는 2006 IPCC 가이드라인에 준하여 Tier 1 과 Tier 3를 적절히 혼합하여 산정하고 있다. 작물잔사 소각에서도 2006 IPCC 가이드라인을 적용하여 Tier 2 수준의 온실가스 배출량을 산정하고 있다.

1996과 2006 IPCC 가이드라인의 방법론 및 배출계수 비교 분석 벼 재배 논에서 CH₄ 배출량 산정은 1996 IPCC 가이드라인의 경우, 물 관리 방법과 유기물 시용 유·무만을 고려하였으나, 2006 IPCC 가이드라인에서는 작기 전후의 물 관리 방법, 유기물 시용량 및 종류 등의 세부 항목이 추가되었고 계수값과 단위도 일부 변경되었다.

N₂O 배출량 산정은 신규 배출원이 추가 혹은 삭제되고, 기본 배출계수가 변경되었다. N₂O 직접배출계수의 경우, 1996 IPCC 가이드라인에서는 논과 밭의 구분없이 0.0125 kg N₂O-N / kg N 였으나, 2006 IPCC 가이드라인에서는 논과 밭을 구분하여 논에서는 0.003 kg N₂O-N / kg N, 밭에서는 0.01 kg N₂O-N / kg N을 기본 배출계수로 변경하였다. 또한, 요소비료나 석회시용 시 발생하는 CO₂ 배출량이 신규 배출원으로 추가되었고, 질소고정 작물에 의한 N₂O 직접배출이 2006 IPCC 가이드라인에서는 삭제되었다. N₂O 간접배출계수 중 수계 유출에 의한 계수는 1996 IPCC 가이드라인의 경우는 0.025 kg N₂O-N / kg N 였으나, 2006 IPCC 가이드라인의 경우에는 0.0075 kg N₂O-N / kg N로 변경되었다 (Table 3).

Table 4는 가축분뇨에 의한 농경지 질소 투입량 계산을 위한 가축 당 질소 배출량의 기본계수를 분석한 결과이다. 1996 IPCC 가이드라인에서는 젓소가 100 Mg yr⁻¹로 가장 많았고, 그 다음이 한우로 70 Mg yr⁻¹이었다. 염소, 말, 사슴은 40 Mg yr⁻¹으로 기본 배출계수가 같았고, 가장 적은 배출 계수는 닭과 오리 0.6 Mg yr⁻¹로 나타났다. 2006 IPCC

가이드라인에서는 젓소가 67.9 Mg yr⁻¹로 가장 많았고, 그 다음이 말과 사슴으로 질소 배출량은 62.1 Mg yr⁻¹, 닭과 오리는 0.51 Mg yr⁻¹로 가장 낮게 나타났다. 가축 당 질소 배출은 1996 IPCC 가이드라인 보다 2006 IPCC 가이드라인에서 전반적으로 더 낮았다.

1996과 2006 IPCC 가이드라인을 적용한 온실가스 배출량 비교 평가 1996 IPCC 가이드라인에 따라 경종부문 온실가스 배출량을 산정한 결과는 Table 5와 같다. 전체 온실가스 배출량에서는 벼 재배에 의한 온실가스 배출량이 2000년 4,008,329 CO₂-eq Mg에서 2008년 3,558,150 CO₂-eq Mg으로 가장 많은 양을 차지했다. N₂O 직접배출에서는 가축분뇨 농경지 투입에 의한 배출량이 2000년 1,270,998 CO₂-eq Mg에서 2008년 1,417,520 CO₂-eq Mg으로 가장 많은 양을 차지했다. N₂O 간접배출의 경우, 대기 침적에 의한 배출량 보다는 수계 유출에 의한 배출량이 조금 더 많았다. N₂O 직접배출에서 질소고정 작물에 의한 배출과 작물잔사 환원에 의한 배출, 그리고 작물잔사 소각에 의한 배출량은 그 양이 미미하여 전체 배출량에 큰 영향을 미치지 않았다.

Table 6은 2006 IPCC 가이드라인에 따라 경종부문 온실가스 배출량을 산정한 결과이다. 전체 온실가스 배출량에서는 벼 재배에 의한 온실가스 배출량이 2000년 3,851,959 CO₂-eq Mg에서 2008년 3,416,957 CO₂-eq Mg으로 가장 많은 양을 차지했다. N₂O 직접배출에서는 밭에서 화학비료 시용에 의한 배출량이 2000년 1,317,394 CO₂-eq Mg에서 2008년 750,896 CO₂-eq Mg으로 2006년까지는 가축분뇨 시용에 따른 N₂O 배출량 보다 많았으나, 2007년부터는 가축분뇨에 의한 배출량보다 적게 나타났다. 가축분뇨 시용에 따른 N₂O 배출량은 2000년 751,214 CO₂-eq Mg에서

Table 5. Greenhouse gas emission according to 1996 IPCC methodology.

Year	Rice cultivation	Direct emission					Indirect emission		Field burning
		Paddy	Upland	Livestock manure	N-fixing crops	Crop residues returned to soils	Atmospheric deposition	Leaching and runoff	
----- CO ₂ -eq Mg -----									
2008	3,558,150	669,894	938,620	1,417,520	54,193	14,695	1,371,497	1,815,621	78,336
2007	3,607,370	679,136	1,025,317	1,381,363	60,509	15,602	1,348,688	1,851,490	81,401
2006	3,659,920	688,971	1,124,617	1,334,195	63,863	15,868	1,317,510	1,888,669	82,666
2005	3,731,008	702,322	1,320,544	1,289,497	57,913	15,498	1,297,374	1,987,417	80,540
2004	3,822,632	719,390	1,320,353	1,261,018	50,124	14,892	1,274,193	1,980,457	77,327
2003	3,915,332	736,565	1,267,150	1,238,237	48,156	15,075	1,251,247	1,945,172	78,054
2002	3,983,000	749,298	1,370,888	1,226,833	49,766	15,917	1,251,716	2,008,211	80,413
2001	4,007,906	754,051	1,514,053	1,236,974	50,269	16,436	1,273,654	2,103,047	83,376
2000	4,008,329	754,225	1,646,743	1,270,998	53,320	15,968	1,314,951	2,203,179	77,701

Table 6. Greenhouse gas emission according to 2006 IPCC methodology.

Year	Rice cultivation	Direct emission						Indirect emission		Field burning
		Chemical fertilizer (Paddy rice)	Chemical fertilizer (Upland)	Livestock manure	Crop residues returned to soils	Lime	Urea	Atmospheric deposition	Leaching and runoff	
----- CO ₂ -eq Mg -----										
2008	3,416,957	160,775	750,896	846,766	11,756	81,506	156,824	1,060,309	480,055	78,336
2007	3,464,384	162,993	820,254	829,117	12,481	96,426	158,117	1,049,717	493,353	81,401
2006	3,515,221	165,353	899,693	803,521	12,694	106,585	176,272	1,031,688	507,238	82,666
2005	3,583,694	168,557	1,056,435	781,147	12,399	115,772	207,097	1,026,053	539,874	80,540
2004	3,672,834	172,654	1,056,283	768,616	11,914	129,300	228,524	1,013,978	540,092	77,327
2003	3,763,610	176,776	1,013,720	757,653	12,060	133,138	227,028	998,899	531,141	78,054
2002	3,828,640	179,831	1,096,710	747,923	12,733	127,775	249,003	998,711	549,916	80,413
2001	3,852,154	180,972	1,211,243	745,093	13,149	114,640	276,852	1,008,793	575,905	83,376
2000	3,851,959	181,014	1,317,394	751,214	12,775	111,333	304,420	1,027,235	601,197	77,701

Table 7. The comparison of greenhouse gas emission according to 1996 and 2006 IPCC guidelines.

IPCC guideline	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
----- CO ₂ -eq Gg -----									
1996 (A)	11,345	11,035	10,723	10,478	10,503	10,469	10,166	10,042	9,914
2006 (B)	8,236	8,062	7,872	7,692	7,672	7,572	7,301	7,168	7,044
A-B	3,109	2,973	2,852	2,786	2,832	2,897	2,866	2,873	2,870
%	27.4	26.9	26.6	26.6	26.9	27.7	28.2	28.6	28.9

2008년 846,766 CO₂-eq Mg으로 약간 증가하였으며, 2007년 이후는 간접배출에 의한 N₂O 배출량 중 가장 많은 부분을 차지하였다. N₂O 간접배출의 경우, 대기 침적에 의한 배출량이 수계 유출에 의한 배출량보다 약 두배 정도 더 높았다. N₂O 직접배출에서 작물잔사 환원에 의한 배출량과 작물잔사 소각에 의한 배출량은 그 양이 미미하여 전체 배출량에 큰 영향을 미치지 않는 것이다. 2006 IPCC 가이드라인 신규 산정 항목인 석회시용과 요소비료 시용에 의한 CO₂ 배출량은 2008년 51,506 CO₂-eq Mg과 156,824 CO₂-eq Mg을 각각 차지했다.

2000년부터 2008년까지 경종부문 온실가스 총 배출량을 비교한 결과는 Table 7과 같다. 가이드라인에 상관없이 전체적인 배출량은 조금씩 감소하였으며, 각 연도별 배출량은 1996 IPCC 가이드라인 보다 2006 IPCC 가이드라인을 적용했을 때 약 26~29% 적게 배출됨을 확인할 수 있었다 (Table 7).

배출량 차이에 대한 원인 분석 벼 재배에 의한 온실가스 배출량 차이의 주요 원인은 적용된 배출계수가 다르기 때문이다. 1996 IPCC 가이드라인의 경우 벼재배에 의한 CH₄

기본 배출계수는 $20 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이고, 간단관개 시 50%가 저감된다는 가이드라인에 따라 $10 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 을 적용하였다. 반면에 2006 IPCC 가이드라인의 경우, 벼재배에 의한 CH_4 기본 배출계수는 $1.30 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 이고, 간단관개 시 40%가 저감된다는 가이드라인에 따라 $0.78 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 을 적용하였기 때문에 배출량에 차이가 발생하였다.

N_2O 직접 배출량에 의한 차이는 화학비료 사용량에 대한 N_2O 기본 배출계수가 다르기 때문이다. 1996 IPCC 가이드라인의 경우 논과 밭의 구분 없이 화학비료 사용량에 대한 기본 배출계수가 $0.0125 \text{ kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N}$ 이다. 반면에 2006 IPCC 가이드라인의 경우, 논은 $0.003 \text{ kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N}$, 밭은 $0.01 \text{ kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N}$ 의 기본 배출계수를 적용하였다. 또한 2006 IPCC 가이드라인의 경우 질소고정 작물에 의한 N_2O 배출량이 삭제되었고, 석회와 요소비료 사용에 따른 CO_2 배출량이 추가로 산정되었다.

N_2O 간접 배출량에 의한 차이는 수계 유출에서 1996 IPCC 가이드라인의 경우는 $0.025 \text{ kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N}$, 2006 IPCC 가이드라인의 경우는 $0.0075 \text{ kg N}_2\text{O-N} / \text{kg N}$ 로 기본 배출계수를 적용하였기 때문이다.

문제점 및 개선방안 향후 신규 가이드라인인 2006 IPCC 가이드라인을 적용할 경우, 일부 통계자료만 확보된다면 Tier 1 수준에서의 온실가스 배출량 평가는 가능한 것으로 분석되었다. 그러나 신규 항목을 적용하기 위한 활동자료의 부재, 국가 고유 배출계수가 아닌 기본 배출계수 적용은 자국의 온실가스 배출량을 평가하는데 불확실성이 크다고 볼 수 있다. 특히, 2006 IPCC 가이드라인의 경우는 배출항목의 세분화, 신규 항목 추가 등으로 인해 좀 더 많은 연구와 배출계수 개발, 활동자료 구축이 필요한 실정이다.

향후 신뢰성 있는 온실가스 배출량을 평가하기 위해서는 자국의 농업환경에 맞는 국가 고유 배출계수와 공식 활동자료 확보를 통한 Tier 2 수준의 정확한 온실가스 배출량 산정은 필수적이다. 이러한 우리나라 고유의 정확한 온실가스 배출량 산정으로 국가 간 기후변화 문제에 대응하는 한편, 국가 온실가스 저감에도 기여할 수 있을 것이다. 따라서, 국가 고유 배출계수 개발에 대한 지속적인 연구와 활동자료 구축을 위한 범 정부 차원의 노력이 필요하다고 하겠다.

요 약

본 연구는 국가 온실가스 배출량 평가에서 향후 적용될 2006 IPCC 신규 가이드라인의 적용성을 검토하고자 해외 사례를 분석하고, 기존 가이드라인과의 방법론 및 배출계수 차이점을 분석하여 실제 배출량을 산정해 보고자 수행하였다. 해외 ANNEX I 국가들의 적용성을 검토한 결과 우리나라와 농업여건이 비슷한 일본의 경우 일부는 2006 IPCC 가

이드라인의 방법론과 배출계수를 적용하고 있었으며, 미국의 경우는 대부분이 2006 IPCC 가이드라인을 적용하여 배출량을 산정하였다.

1996 IPCC와 2006 IPCC 가이드라인의 방법론과 기본계수를 적용하여 경종부문 온실가스 배출량을 평가한 결과, 신규가이드라인을 적용했을 때 약 26~29%의 배출량이 감소되었다. 이러한 배출량 차이에 대한 주요 원인은 일부 배출원 항목에 대한 삭제 및 배출계수의 차이에 있음을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 공동연구사업 (과제번호: PJ006782010)과 환경부 온실가스종합정보센터의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝힙니다.

인 용 문 헌

Cai, Z.C., H. Tsuruta and K. Minami. 2000. Methane emission from rice fields in China: measurements and influencing factors. *J. of Geo. Res.* 105(D13):17231-17242.

Dentener, F.J. and P.J. Crutzen. 1994. A three-dimensional model of the global ammonia cycle. *J. Atmos. Chem.* 19:331-369.

Huang, Y., W. Zhang, X.H. Zheng, J. Li, and Y.O. Yu. 2004. Modeling methane emission from rice paddies with various agricultural practices. *J. of Geo. Research-Atmospheres.* 109:D08113.

Neue, H.U. and R. Sass. 1994. Trace gas emissions from rice fields. In: *Global atmospheric-biospheric chemistry.* R.G. Prinn(ed.) Plenum Press. New York.

Stehfest, E. and L. Bouwman. 2006. N_2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emission. *Nutr. Cycl. Agroecosystem.* 74:207-228.

Yagi, K. and K. Minami. 1990. Effect of organic matter applications on methane emissions from Japanese paddy fields. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36:599-610.

IPCC. 1996. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.

IPCC. 2000. Good Practice Guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories.

IPCC. 2003. Good Practice Guidance for land use, land-use change and forestry.

IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.

MIFAFF, 2008, Food, agricultural, forestry and fisheries statistical yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry, and Fisheries. Seoul Korea.