

1990년부터 2013년까지 농업 분야 국가 온실가스 배출량 평가 - 경종부문 중심으로 -

최은정[†] · 정현철 · 김건엽 · 이선일 · 이종식

국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

Estimation of National Greenhouse Gas Emissions in Agricultural Sector from 1990 to 2013 - Focusing on the Crop Cultivation -

Choi, Eun Jung[†], Jeong, Hyun Cheol, Kim, Gun Yeob, Lee, Sun-il and Lee, Jong Sik

Climate Change & Agroecology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT

The major greenhouse gases (GHGs) in agricultural sector are methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), carbon dioxide (CO₂). GHGs emissions are estimated by pertinent source category in a guideline book from Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) such as methane from rice paddy, nitrous oxide from agricultural soil and crop residue burning. The methods for estimation GHGs emissions in agricultural sector are based on 1996 and 2006 IPCC guideline, 2000 and 2003 Good Practice Guidance. In general, GHG emissions were calculated by multiplying the activity data by emission factor. The total GHGs emission is 10,863 Gg CO₂-eq. from crop cultivation in agricultural sector in 2013. The emission is divided by the ratio of greenhouse gases that methane and nitrous oxide are 64% and 34%, respectively. Each gas emission according to the source categories is 7,000 Gg CO₂-eq. from rice paddy field, 3,897 Gg CO₂-eq. from agricultural soil, and 21 Gg CO₂-eq. from field burning, respectively. The GHGs emission in agricultural sector had been gradually decreased from 1990 to 2013 because of the reduction of cultivation. In order to compare with indirect emissions from agricultural soil, each emission was calculated using IPCC default factors (D) and country specific emission factors (CS). Nitrous oxide emission by CS applied in indirect emission, as nitrogen leaching and run off, was lower about 50% than that by D.

Key words: GHGs Emission, Agricultural Sector, Crop Cultivation

1. 서 론

2010년 칸쿤에서 개최된 제 16차 기후변화당사국총회(COP-16)에서 국가온실가스인벤토리, 감축행동 등의 내용이 포함된 개도국들의 격년갱신보고서(Biennial Update Report; BUR) 제출이 결정되었다(KEEI, 2015). 이러한 국제적 요구에 대응하기 위해 우리나라는 매년 국가온실가스인벤토리 보고서를 발간하고 있으며, 온실가스 감축목표를 계획하고 이행하기 위해서도 주요 온실가스 배출원에 대한 정확한 배출량 조사는 중요하다(Kim, 2007).

농업부문에서 배출되는 온실가스로는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)가 있으며, 이 중 이산화탄소는 작물의 광합성 작용에 의해 온실가스 배출이 상쇄되므로 다른 산업분야와 달리 온실가스 배출량 계산에 포함되지 않는다(Jeong *et al.*, 2010). 따라서 농업부문의 온실가스 배출량은 메탄과 아산화질소에 의한 것만 계산한다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 발간한 가이드라인에서는 농업부문의 온실가스 배출원을 크게 축산과 경종으로 나누며, 축산부문은 장내발효(Enteric fermentation)와 가축분뇨 처리과정(Manure management)으로 경종부문은 벼 재배(Rice cultivation),

[†] Corresponding author: choiej1@korea.kr

Received October 17, 2016 / Revised November 2, 2016 / Accepted November 7, 2016

농경지 토양(Agricultural soil) 및 작물잔사소각(Field burning of agricultural residue)으로 구분한다(IPCC, 1996).

배출원에 따라 발생하는 온실가스로 분류하면 벼 재배 부분에서는 주로 메탄이 발생하고, 농경지 토양에서는 아산화질소, 작물잔사소각에서는 메탄과 아산화질소가 모두 발생한다. 메탄은 담수 상태의 논에서 유기물이 혐기적으로 분해되면서 발생하는데(Naser *et al.*, 2007), 유기물 사용 유무와 작기 중 물 관리 방법에 의해 배출량이 크게 좌우된다(Khalil and Shearer, 2006). 농경지 토양에서 발생하는 아산화질소는 직접배출과 간접배출로 구분되며, 직접배출은 농경지에서 작물을 재배하는 과정에 투입되는 화학비료, 가축분뇨, 작물잔사 환원으로 인해 발생하는 부분과 질소고정작물에 의해 발생하는 부분으로 구분하여 산정한다. 간접배출은 토양에 질소 투입 시 휘산되는 대기 휘산량과 강우 등에 의해 수계로 유출되는 유출량으로 구분하여 산정한다(IPCC, 1996; Moiser *et al.*, 1998). 전세계 아산화질소 배출량의 60~70%가 토양으로부터 배출되며(Sascha *et al.*, 2005), 화학비료 투입량에 따라 아산화질소 배출량이 크게 좌우되지만(Karen and Keith, 2003), Freney(1997)는 재배환경(온도, pH, 강우, 토성 등)과 경작방법 등의 요인에 의해서도 배출량이 달라진다고 하였다.

온실가스 배출량은 IPCC 가이드라인에서 제시하는 산정 방법에 따라 산정되는데, 산정 방법은 IPCC 기본 배출계수(default emission factor)를 사용하는 Tier 1, 국가 고유 배출계수(country-specific emission factor)나 보정계수(scaling factor)를 사용하는 Tier 2, 직접 측정이나 모델을 이용한 Tier 3으로 구분한다(IPCC, 1996). 온실가스 배출량은 어떤 산정 수준을 적용하여 산정하느냐에 따라 달라지며, 배출계수 및 보정계수를 적용하는 방법에서도 배출량의 차이가 크다(Jeong *et al.*, 2011). 그 이유는 산정 방법이 고도화 될수록 국가의 환경이나 특성이 반영되므로 배출량의 정확도는 증가하고, 불확도는 저감되기 때문이다(Bouwman *et al.*, 2002). 따라서 IPCC는 각국의 특성을 고려한 Tier 2 수준에서 배출량을 산정하도록 권고하고 있으며(IPCC, 2006), 농촌진흥청은 농업부문의 정확한 배출량 산정을 위하여 현재까지 메탄 배출/보정계수 5종과 아산화질소 배출계수 6종, 수계유출 간접배출계수 1종을 개발 및 등록하였다. 국가 온실가스 배출량은 신뢰도 향상을 위해 산정 방법과 활동자료를 개선하여 매년 재계산되고 있으며, 농업부문도 이를 반영하여 온실가스 배출량을 산정하였다(GIR, 2015). 1996 IPCC 가이드라인을 기본으로 우수실행지침서(Good practice Guidance; GPG) 2000을 적용하였으며, 일부 산정식에 대해서는 2006 IPCC 가이드라인을 적용하여 산정하였다(GIR, 2015).

본 연구는 1990년부터 2013년까지 재계산된 우리나라 농업부문의 온실가스 배출량 변화를 살펴보고, 신규 개발된 수계유출 간접배출계수를 적용했을 때와 기본계수를 적용했을 때의 배출량 차이를 비교하고자 수행되었다.

2. 자료 및 방법

농업부문 온실가스 배출량은 매년 온실가스종합정보센터에서 발행하고 있는 「산정·보고·검증지침」, 1996과 2006 IPCC 가이드라인, GPG 2000을 활용하여 산정하였다. 배출원에 따라 각각의 배출량이 산정되며, 배출량은 활동자료(Activity data)와 배출계수(Emission factor)를 곱하여 산정하였다.

산정 방법은 Tier 2 수준을 중심으로 Tier 1 방법과 자국의 환경적 특성을 고려한 전문가 판단을 일부 적용하였다. 배출량은 시계열을 적용하여 해당연도 및 직전 2개년의 자료를 평균한 3년 평균값을 사용하였으며, 메탄과 아산화질소 배출량을 이산화탄소로 환산하기 위해 지구 온난화지수(Global Warming Potential) 21과 310을 각각 적용하였다. 온실가스 배출량 산정기간은 1990년부터 2013년까지 총 24년간이다.

2.1 활동자료

온실가스 배출에 영향을 미치는 활동자료인 작물별 재배면적, 작물 생산량 및 화학비료 사용량 등은 국가 승인 통계자료인 농림축산식품부의 농림축산식품통계연보를 활용하였다. 벼 재배 메탄 배출량 산정을 위해 물관리 방법 및 유기물 사용 여부별 벼 재배 면적 비율은 통계청의 농림어업총조사(2010)를 통해 산출하였다. 농경지 토양에 투입되는 작물별 화학비료 사용량은 통계청의 농산물생산비조사(2014)를 통해 논과 밭으로 구분한 뒤, 한국비료공업협회의 비료연감(2013)을 활용하여 재배 면적당 질소 투입량을 산정하였다. 국가고유 배출계수 적용을 위해 밭 작물중별 화학비료 사용량 구분은 농촌진흥청의 작물별 시비처방기준(2010)을 기준으로 세분화하였다. 농경지에 투입되는 가축분뇨 질소량은 가축사육두수와 축종별 분뇨 배출량의 활동자료인 통계청의 가축동향조사, 농림축산식품부의 농림축산식품통계연보를 활용하였다. 농경지 토양 부문 작물잔사 환원 및 소각의 온실가스 배출량 산정에 필요한 매개변수는 통계청의 농림어업총조사(2010)를 활용하여 산출하였으며, 작물 잔사의 소각율은 2011년 통계청 농림어업조사 결과를 활용하였다.

2.2 배출계수 및 보정계수

온실가스 산정을 위해 개발된 배출원별 국가 고유 배출계수와 보정계수는 Table 1과 같다. 벼 재배 논에서의 메탄 기본 배출계수(EFC)는 2014년 국가고유 배출계수로 승인받은 2.32 kg CH₄ ha⁻¹ day⁻¹를 적용하였고, 유기물 시용(SF₀)과 작기 중 물관리 방법에 따른 보정계수(SF_w) 역시 2014년에 승인받은 계수를 적용하여 벼 재배 부문의 메탄 배출량을 산정하였다. 작기 중 물관리 방법별 보정계수 중 친수답에 의한 보정계수는 GPG 2000의 기본계수를 사용하였다. 농경지 토양의 직접배출에서는 화학비료 투입에 따른 작물별(고추, 콩, 감자, 봄배추, 가을배추) 아산화질소 배출계수(EF_i) 5종과 이외의 작물에 적용된 아산화질소 통합배출계수 1종을 적용하여 아산화질소 배출량을 산정하였다. 2015년에 등록된 수계 유출에 의한 아산화질소 간접배출계수(EF_s)를 적용하여 농경지 토양 간접배출량을 계산하였다.

2.3 온실가스 배출량 산정

경중부문 온실가스 배출량은 배출원에 따라 벼 재배, 농경지 토양 직접배출 및 간접배출, 작물잔사소각으로 나누어 산정하였다. 벼 재배 부문에서는 메탄 배출량, 농경지 토양에서는 아산화질소 배출량만 산정하며, 작물잔사소각에서는 메탄과 아산화질소를 모두 산정하였다.

2.3.1 벼 재배 메탄 배출량

벼 재배에 의한 메탄 배출량은 2006 IPCC 가이드라인을 적용하여 산정하였으며, 식 (1)과 같이 기본 배출계수에 물관리

및 유기물 보정계수를 곱하여 일 배출계수를 산출한 후, 연간 벼 재배면적(A)과 재배일수를 곱하여 산정하였다.

$$\cdot \text{CH}_4 \text{ Emission} \tag{1}$$

$$\text{CH}_4 \text{ Rice} = \sum(\text{EF}_i \times t \times A \times 10^{-6}) \text{ (kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ day}^{-1})$$

$$\text{EF}_i = \text{EF}_C \times \text{SF}_W \times \text{SF}_0$$

EF_i : 벼 재배 메탄 배출계수

EF_C : 상시답수, 유기물 무시용 조건의 기본 배출계수

SF_w : 벼 재배기간 중 물관리 보정계수

SF₀ : 유기물 시용 보정계수

A : 벼 재배면적(ha yr⁻¹)

t : 재배일수(day)

2.3.2 농경지 토양 아산화질소 배출량

농경지 토양에서의 아산화질소 직접 배출량은 2006 IPCC 가이드라인에 따라 농경지에 투입된 질소량에 배출계수를 곱하여 산정하였다[식 (2)]. 농경지 토양의 질소투입원은 1996 IPCC 가이드라인에 따라 화학비료, 가축분뇨, 질소고정작물, 작물잔사 환원으로 구분되며, 각각의 질소투입원에 따른 배출량을 계산하여 직접 배출량을 산정하였다. 우리나라는 유기질 토양이 거의 존재하지 않고, 방목지에 공급되는 가축분뇨량의 활동자료가 수집되지 않아 유기토양의 직접 배출량(N₂O-N_{OS})과 방목지에 가축분뇨로 투입되는 직접 배출량(N₂O-N_{PRP})은 산정에서 제외되었다.

Table 1. Summary of applied country specific factors for estimation of greenhouse gases (GHGs) emission in 2015

Emission sources	Factors	Unit	Country specific factor
Rice cultivation (CH ₄)	Emission factor (EF _C)	kg ⁻¹ ha ⁻¹ day ⁻¹	2.32
	Scaling factor (SF _w)	-	2.50
	Scaling factor (SF ₀)	-	0.66
Agricultural soils - direct (N ₂ O)	Emission factor (Integration)	kg N ₂ O-N kg ⁻¹ N	0.0059
	Red pepper	kg N ₂ O-N kg ⁻¹ N	0.0086
	Soybean	kg N ₂ O-N kg ⁻¹ N	0.0119
	Potato	kg N ₂ O-N kg ⁻¹ N	0.0049
	Chinese cabbage (Spring)	kg N ₂ O-N kg ⁻¹ N	0.0056
	Chinese cabbage (Autumn)	kg N ₂ O-N kg ⁻¹ N	0.0058
Agricultural soils - indirect (N ₂ O)	Leaching and runoff (EF _s)	kg N ₂ O-N kg ⁻¹ N	0.0135

· N₂O Direct Emission (2)

$$N_2O_{DIRECT} = \sum_i (F_{SN} + F_{ON})_i \times EF_{ii} + (F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_{ii} + N_2O-N_{OS} + N_2O-N_{PRP} \times 44/28$$

F_{SN} : 연간 화학비료로 투입되는 질소량(NH₃, NO_x 대기 휘산량 제외) (kg N yr⁻¹)
 F_{ON} : 연간 유기질소로 투입되는 질소량(kg N yr⁻¹)
 EF_{ii} : 작물별 N₂O 직접배출계수(kg N₂O-N(kg N 투입량)⁻¹)
 F_{CR} : 연간 작물 잔사로서 농경지에 재투입되는 질소량(kg N yr⁻¹)
 F_{SOM} : 농경지 토양 토지이용 및 관리 변화에 따른 토양탄소 손실로 인해 광물화된 질소량(kg N yr⁻¹)
 N₂O-N_{OS} : 연간 관리되는 유기토양의 직접 배출량(kg N₂O-N yr⁻¹)
 N₂O-N_{PRP} : 연간 방목지에 가축분뇨로 투입되는 N₂O-N 직접 배출량(kg N₂O-N yr⁻¹)

아산화질소 간접 배출량은 대기 휘산(N₂O_(G))에 의한 배출과 수계 유출(N₂O_(L))에 의한 배출로 구분하여 식 (3)과 같이 산정하였다.

· N₂O Indirect Emission (3)

$$N_2O_{(G)} = [(N_{FERT} \times Frac_{GASF}) + \sum_T (N_{(T)} \times NEX_{(T)}) \times Frac_{GASMM}] \times EF_4 \times 44/28$$

N₂O_(G) : 대기 휘산에 의한 N₂O 발생량(kg N yr⁻¹)
 N_{FERT} : 토양의 화학비료 사용량(kg N yr⁻¹)
 ∑_T(N_(T) · NEX_(T)) : 연간 가축분뇨 발생총량 내 질소량(kg N yr⁻¹)
 Frac_{GASMM} : 전체 가축분뇨 중 퇴비화 과정에서 대기로 손실되는 N의 비율(0.4)
 Frac_{GASF} : 화학비료 내의 질소 중 농경지 사용 시 대기로 휘산되는 NH₃, NO_x 비율(kg NH₃-N/kg N, NO_x-N/kg N)
 Frac_{GASM} : 축산분뇨 내의 질소 중 농경지 사용 시 대기로 휘산되는 NH₃, NO_x 비율(kg NH₃-N/kg N, NO_x-N/kg N)
 EF₄ : 대기휘산에 의한 N₂O 배출계수(kg N₂O-N/kg NH₃-N, kg N₂O-N/kg NO_x-N)

$$N_2O_{(L)} = [(N_{FERT} + \sum(N_{(T)} \times NEX_{(T)})) \times Frac_{LEACH} \times EF_5 \times 44/28$$

N₂O_(L) : 수계유출에 의한 N₂O 발생량(kg N yr⁻¹)

N_{FERT} : 토양의 화학비료 사용량(kg N yr⁻¹)

Frac_{LEACH} : 수계로 유출되는 질소량(kg N/kg N 비료나 분뇨)
 EF₅ : 수계유출에 의한 N₂O 배출계수(kg N₂O-N/kg NH₃-N, kg N₂O-N/kg NO_x-N)

2.3.3 작물잔사소각에 의한 온실가스 배출량

작물잔사소각은 우리나라에서 생산되는 주요 작물 중 벼, 보리, 밀, 고추, 두류 등을 대상으로 잔사소각 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정한다. 작물잔사소각에 의해 발생하는 온실가스는 주로 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)이며, 온실가스로 분류되지는 않았지만, 대기오염 물질인 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x) 등도 배출된다. 작물 잔사의 연소 과정에서 발생하는 이산화탄소(CO₂)는 다시 작물로 흡수되기 때문에 1996 IPCC 가이드라인에서 탄소 중립으로 간주하여 온실가스 배출량 산정에서 제외하고, 메탄과 아산화질소 배출량만 산정하였다(GIR, 2015)[식 (4)].

· Field burning of agricultural residue (4)

Emission CH₄ = 연간작물생산량 × 잔사/곡식비율 × 건물비율 × 잔사소각비율 × 산화율 × 건물중탄소함유율 × CH₄ 배출율 × 16/12

Emission N₂O = 연간작물생산량 × 잔사/곡식비율 × 건물비율 × 잔사소각비율 × 산화율 × 건물중질소함유율 × N₂O 배출율 × 44/28

Emission CH₄, N₂O (ton CH₄, N₂O)
 연간작물생산량(ton 바이오매스 yr⁻¹)
 잔사 중 건물비율(ton d.m./ton 바이오매스)
 탄소함유율(ton C/ton d.m.)
 질소함유율(ton N/ton d.m.) = 탄소함유율 × 질소/탄소비율

3. 결 과

3.1 벼 재배 논에서의 메탄 배출량

1990년부터 2013년까지 우리나라 벼 재배 논에서의 메탄 배출량은 Fig. 1과 같다. 1990년 이후 쌀 생산량은 증가해온 반면, 쌀 소비량은 지속적으로 감소함에 따라 벼 재배면적이 축소되고 있어(Sung *et al.*, 2004), 이에 따른 메탄 배출량도 감소하는 추세이다. 2013년 벼 재배에 의한 메탄 배출량은 약 700만 톤 CO₂-eq.으로 경중부문 전체 배출량인 1,086만 톤 CO₂-eq.의 70%로 경중부문에서 큰 비중을 차지하고 있다.

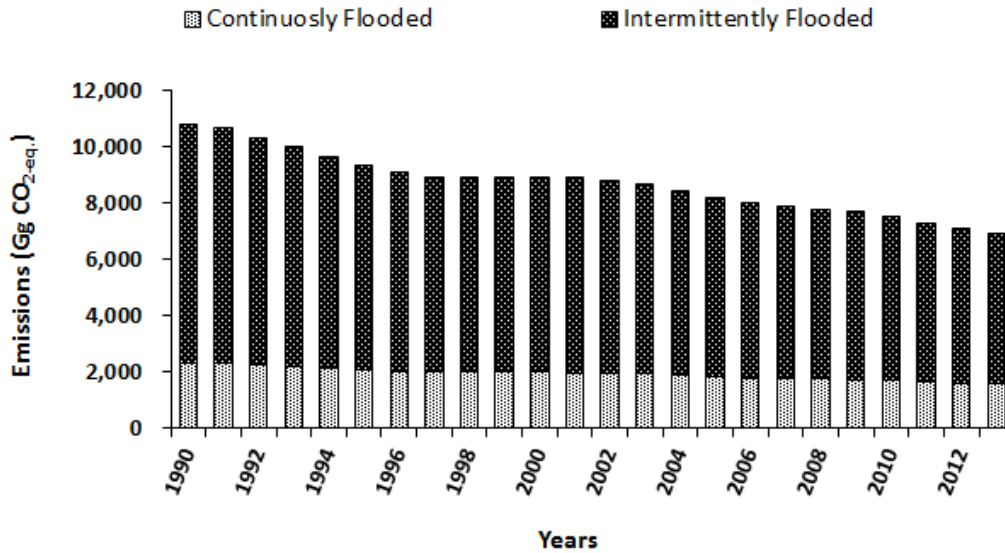


Fig. 1. Annual methane emission according to irrigation methods in paddy field from 1990 to 2013.

상시담수와 간단관개에 따른 배출량을 살펴보면, 1990년부터 간단관개 면적 비율이 증가하여 간단관개에 따른 배출량이 상시담수에 의한 것보다 높음을 알 수 있다(Jeong *et al.*, 2014). 1990년 기준으로 상시담수에 의한 배출량은 240만 톤 CO₂-eq.이었고 간단관개에 의한 배출량은 850만 톤 CO₂-eq.이었으며 2013년에는 상시담수 160만 톤 CO₂-eq., 간단관개 540만 톤 CO₂-eq.으로 벼 재배에 의한 메탄 배출량이 감소하

듯 각 물관리에 의한 배출량도 감소되었다.

3.2 농경지 토양에서의 아산화질소 배출량

농경지 토양의 아산화질소 직접 배출량은 연도별로 큰 차이가 없지만, 질소 투입원별로는 뚜렷한 차이를 나타냈는데 (Fig. 2), 화학비료에 의한 배출은 1990년 대비 47.2% 감소한 반면, 가축분뇨에 의한 배출은 1990년 대비 88.68% 증가하였

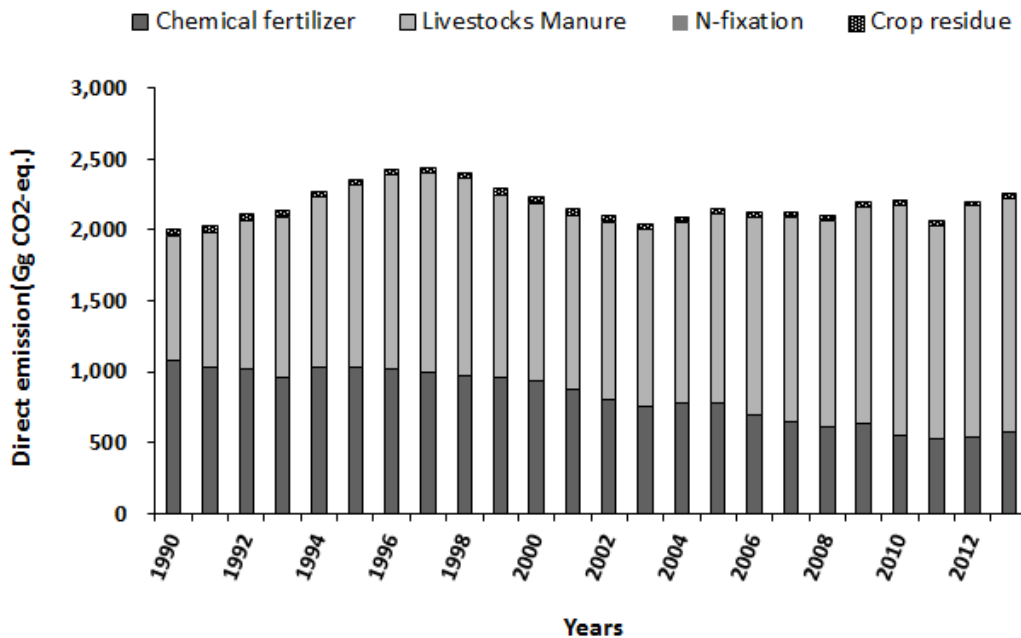


Fig. 2. Changes of direct N₂O emission according to nitrogen sources in agricultural soil from 1990 to 2013.

다. 이러한 변화는 농경지 재배면적 감소로 인해 화학비료 투입량은 감소하였지만 육류 소비 증가와 더불어 가축 사육이 증대되면서 가축분뇨에 의한 배출량이 증가하였기 때문이다 (KREI, 2012). 2013년 농경지 토양 직접 배출량은 전년 대비 2.33% 증가한 230만 톤 CO₂-eq.으로 배출량 중 가축분뇨에 의한 배출량이 170만 톤 CO₂-eq.으로 가장 많았으며 질소고정작물에 의한 배출량이 0.3만 톤 CO₂-eq.으로 가장 적었다.

2013년 대기취산과 수계유출에 의한 아산화질소 간접 배출량은 160만 톤 CO₂-eq.이며, 수계유출에 의한 배출량이 110만 톤 CO₂-eq.으로 간접 배출량의 72%를 차지하였다(Fig. 3).

특히 2015년에는 수계유출에 대한 국가 고유 간접 배출계수를 개발 및 등록하여 산정에 적용하였으며 Fig. 4는 국가 고유계수(CS)인 0.0135 kg N₂O-N/kg N을 적용했을 때와 가이드라인 기본계수(D) 0.025 kg N₂O-N/kg N을 적용했을 때의

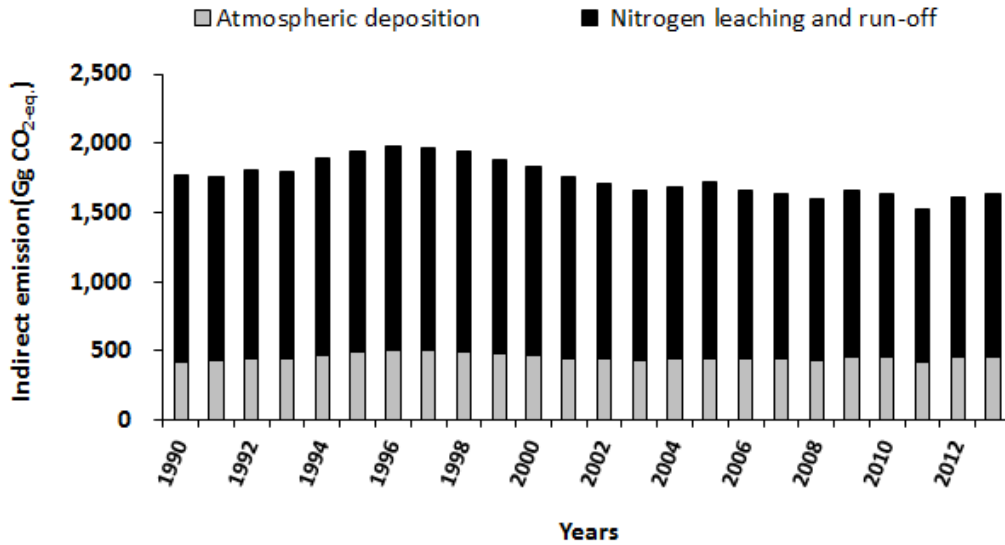


Fig. 3. Changes of indirect N₂O emission according to nitrogen sources in agricultural soil from 1990 to 2013.

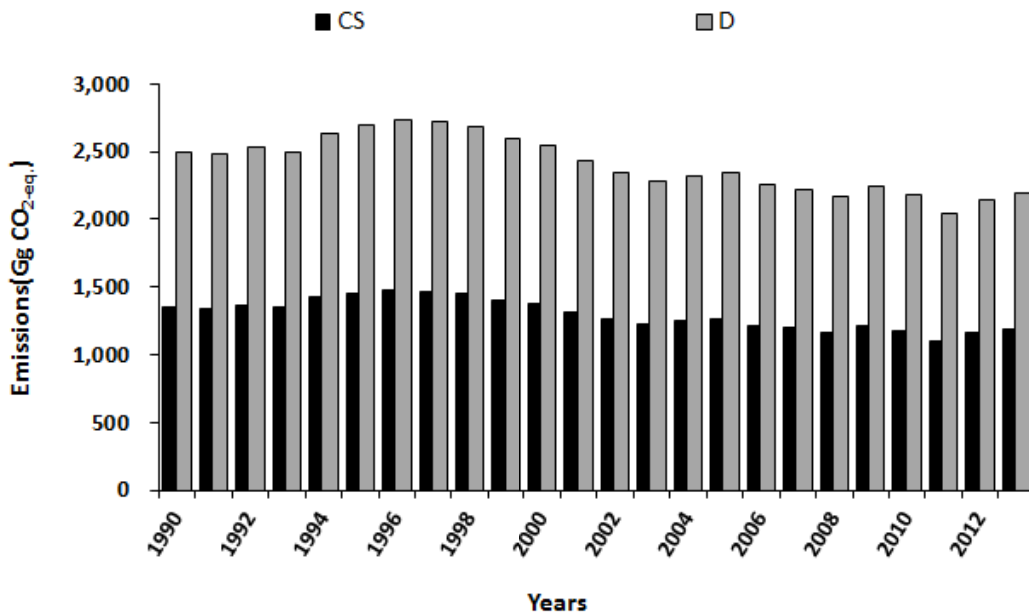


Fig. 4. Annual indirect N₂O emission from nitrogen leaching compared with estimates applied CS (country-specific) emission factor and D(default) emission factor.

배출량 차이를 나타낸다. 기본계수를 사용했을 때보다 국가고유계수를 사용하였을 때 배출량의 약 50%가 감소되는 것으로 분석되었다.

3.3 작물잔사소각에 의한 온실가스 배출량

작물잔사소각에 의한 메탄과 아산화질소 배출량은 2013년 2.1만 톤 CO₂-eq.으로 경중부문 배출량의 약 0.2%를 차지하였다. 이는 1990년 3.3만 톤 CO₂-eq.대비 약 36% 감소한 양으로 작물생산량 감소와 함께 배출량도 감소한 것으로 분석된다.

3.4 경중부문 온실가스 총 배출량

2013년 경중부문 온실가스 배출량은 약 1,100만 톤 CO₂-eq.으로 농업부문 온실가스 총배출량인 2,100만 톤 CO₂-eq.의 약 52%에 해당된다. 배출원별로 살펴보면 벼 재배-농경지 토양-작물잔사소각 순으로 온실가스 배출량이 높았으며, 온실가스 종류별 비율로는 메탄이 64%, 아산화질소가 36%를 차지하였다. 2013년 경중부문 배출량은 배출량 산정 첫해인 1990년 배출량 1,466만 톤 CO₂-eq. 대비 25.9% 감소하였고, 전년 배출량인 1,094만 톤 CO₂-eq. 대비 0.7% 감소하였다. 경중부문의 온실가스 배출량은 1990년 이후로 점차 감소하는 추세이며, 최근 3년간은 큰 변화 없이 서서히 감소하는 것으로 분석되었다(Fig. 5).

4. 결 론

본 연구는 1990년부터 2013년까지 국가 온실가스 배출량 산정을 목적으로 농업부문 중 경중분야를 중심으로 배출원별에 따른 온실가스 배출량을 살펴보고자 수행되었다.

산정에 사용된 활동자료는 국가 승인 통계자료를 활용하였으며 산정에 사용된 활동자료와 배출계수, 배출량은 온실가스 종합센터의 검·인증 과정을 거친 뒤 통계위원회의 심의를 받아 최종 확정되었다. 경중분야 온실가스 배출량에 큰 영향을 미치는 작물 재배면적의 감소로 1990년부터 배출량은 감소되는 추세이나, 식량안보를 위한 경지면적 확보로 인해 감소량은 더딜 것으로 예상된다. 간접 배출에서 수계 유출의 경우, 국가 고유계수 적용 시 온실가스 배출량이 50% 이상 감소되었는데, 전체 배출량에 미치는 영향은 비록 작지만 우리나라 농업 환경을 반영한 계수 적용을 통해 배출량이 감소하는 효과를 볼 수 있었다.

2013년 농업 분야의 온실가스 배출량은 국가 전체 배출량의 약 3.0%로 폐기물 부문 다음으로 적은 비중을 차지했지만 (GIR, 2015), 2020년까지 배출전망치(BAU, Business as usual) 대비 5.2%인 148만 5천 톤 CO₂-eq.을 감축해야하므로 온실가스를 줄이기 위한 기술 개발 및 사업 추진에 노력이 필요할 것으로 생각된다(Jeong and Kim, 2015).

앞으로 정확하고 신뢰도 높은 배출량 산정을 위해 국가고유계수 개발 및 산정방법 고도화 연구가 수행되어야 하며, 이를 위해 우리나라 농업 여건 및 국내외 선행 연구 분석 등의 노력이 필요할 것이다. 또한 개발된 계수가 적용될 수 있도록 활동자료(통계자료)가 함께 구축되어야 하며, 이러한 여건이 개선되도록 산정기관을 포함한 온실가스 배출량 관계부처와 통계청과의 업무협약이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구

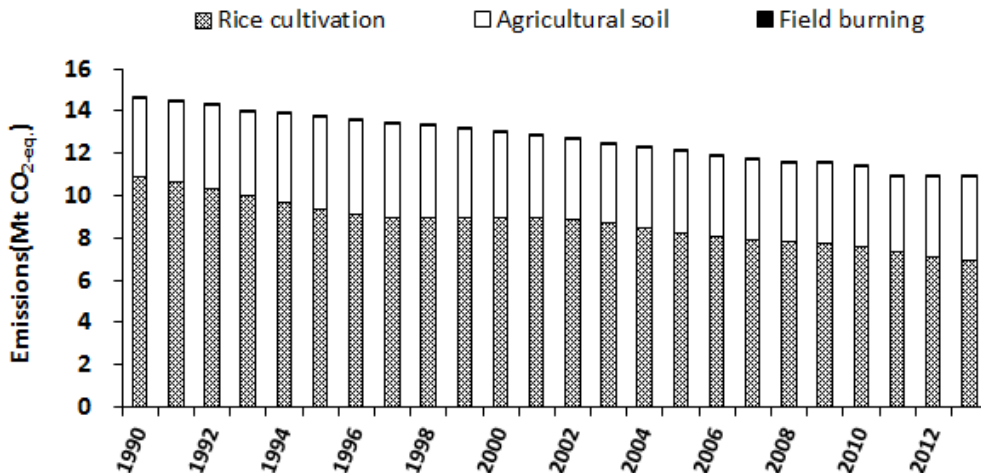


Fig. 5. Change of greenhouse gases emission from crop cultivation in agricultural sector from 1990 to 2013.

개발사업(PJ01003003)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

- Bouwman AF, Boumans LJM, Batjes NH. 2002. Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available data. *Global Biogeochem. Cycles* 16(4):6-16-13.
- Freney JR. 1997. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49:1-6.
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center(GIR). 2015. 2015 national greenhouse gas inventory report of Korea.
- IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. 2000. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. Penman J, Kruger D, Galbally I, Hiraishi T, Nyenzi B, Emmanuel S, Buendia L, Hoppaus R, Martinsen T, Meijer J, Miwa K, Tanabe K. (Eds). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Jeong HC, Kim GY, Lee DB, Shim KM, Kang KK. 2011. Assessment of greenhouse gases emission of agronomic sector between 1996 and 2006 IPCC Guidelines. *Kor J Soil Sci Fert* 44:1214-1219.
- Jeong HC, Kim GY, So KH, Shim KM, Lee SB, Lee DB. 2010. Assessment on greenhouse gas (CH₄) emissions in Korea cropland sector from 1990 to 2008. *Korea J Soil Sci Fert* 43(6):911-916.
- Jeong HC, Lee JS, Choi EJ, Kim GY, Seo SU, So KH. 2014. A comparison of the changes of greenhouse gas emissions to the develop country-specific emission factors and scaling factors in agricultural sector. *Journal of Climate Change Research* 5(4):349-357.
- Jeong HK, Kim CG. 2015. Goals and strategies to reduce greenhouse gas emissions in the agriculture sector. *Agric-Policy Focus* 115:1-19.
- Karen ED, Keith AS. 2003. Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: The impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. *Global Change Biology* 9(2):204-218.
- Khalil MAK, Shearer MJ. 2006. Decreasing emissions of methane from rive agriculture. *International Congress Series* 1293:33-41.
- Kim DS. 2007. Greenhouse gas (CH₄, CO₂, N₂O) emissions from estuarine tidal and wetland and their characteristics. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 23(2):225-241.
- Korea Energy Economics Institute(KEEI). 2015. To find the effective preparation plan for review procedure of the Korea's 2020 mitigation target: multilateral assessment (MA) of Annex Parties' progress in achieving the mitigation target. Research paper.
- Korea Fertilizer Association. 2013. Fertilizer yearbook.
- Korea Rural Economic Institute(KREI). 2012. *Agricultural Outlook 2012 Korea*, pp. 821-890.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural affairs Republic of Korea. 2014. *Agriculture, food and rural affairs statistics yearbook*.
- Moiser A, Kroeze C, Nevison C, Oenema O, Seitzinger S, Van Cleemput O. 1998. Closing the global N₂O budget: Nitro oxide emission through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52:225-248.
- Naser HM, Nagata O, Tamura S, Hatano R. 2007. Methane emissions from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central Hokkaido, Japan. *Soil Science and Plant Nutrition* 53(1):95-101.
- National Academy of Agricultural Science(NAAS). 2010. Fertilizer recommendation for each crop in soil testing. NAAS, Suwon, Korea.
- Sascha R, Hentschel K, Drosler M, Falge E. 2005. DenNit-Experimental analysis and modelling of soil N₂O efflux in response on changes of soil water content, soil temperature, soil pH, nutrient availability and the time after rain event. *Plant and Soil* 272:349-363.
- Statistics Korea. 2010. *Census of agriculture, forestry and fisheries*.
- Statistics Korea. 2011. *Census of agriculture, forestry and fisheries*.
- Statistics Korea. 2014. *Crop production survey*.
- Sung KI, Hong SM, Kim BW. 2004. Plant height, dray matter yield and forge quality at different maturity of whole crop rice. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science* 24(1):53-60.