한국토양비료학회지 44권 6호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 44, No. 6, 1207-1213 (2011)

보문

# 2009년 우리나라 농경지 토양에서의 $N_2O$ 배출량 평가

정현철* · 김건엽 · 이덕배 · 심교문 · 이슬비 · 강기경

농촌진흥청 국립농업과학원

# Assessment on Nitrous oxide ($N_2O$) Emissions of Korea Agricultural Soils in 2009

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

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

**This study was conducted to assess $N_2O$ emissions in agricultural soils of Korea. According to 1996 and 2006 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) methodology, $N_2O$ emission was calculated the sum of direct emission ($N_2O_{DIRECT}$) and indirect emission ($N_2O_{INDIRECT}$). To calculate $N_2O$ emissions, emission factor was used default of IPCC and activity data was used the food, agricultural, forestry and fisheries statistical yearbook of MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). It was emitted 8,608 $N_2O$ Mg resulted from direct emission by application of chemical fertilizer and animal manure, input in n-fixation crops and input of crop residues and emissions converted $N_2O$ into $CO_2$ equivalent was 2,668 $CO_2$-eq Gg. Indirect emission as $N_2O_{(G)}$ (atmospheric deposition of $NH_3$ and $NO_X$) and $N_2O_{(L)}$ (leaching and runoffs) were 4,567 and 6,013 $N_2O$ Mg and emissions converted $N_2O$ into $CO_2$ equivalent were 1,416 and 1,864 $CO_2$-eq Gg, respectively. Total $N_2O$ emission in Korea agricultural soil in 2009 was 5,948 $CO_2$-eq Gg.**

**Key words:** Greenhouse gas, Nitrous oxide ($N_2O$), Direct emission, Indirect emission

## 서 언

경종부문에서 온실가스 배출량은 벼 재배 (Rice cultivation)에 의한 $CH_4$ 배출, 농경지 토양 (Agricultural soil)에서의 $N_2O$ 배출 그리고 작물잔사 소각 (Field burning of agricultural residue)에 의한 $CH_4$과 $N_2O$ 배출로 구분하여 평가한다 (IPCC, 1996). 이 중 벼 재배 및 작물잔사 소각에 의한 2008년 우리나라 $CH_4$ 배출량은 6,287 $CO_2$ 천 Mg으로 농업부문 전체 배출량의 약 35%를 차지한다고 보고 (Jeong et al., 2010)된 바 있으나, 농경지 토양에서의 $N_2O$ 배출량 평가는 없는 실정이다.

생물권으로부터 대기권으로 배출되는 $N_2O$의 약 70%는 토양으로부터 야기되며 (Bouwman, 1990), 인간 활동에 의한 토양 환경변화는 대기 중 $N_2O$ 증가에 많은 영향을 미친다 (Houghton and Skole, 1990). 인위적인 인간 활동에 의해 총 $N_2O$ 배출량의 64%가 배출되며, 그 중 농업활동에 의해 92%가 배출되는 것으로 보고되고 있다 (Duxbury et al., 1993).

접수 : 2011. 11. 14 수리 : 2011. 11. 25
*연락저자 : Phone: +82312900238
E-mail: taiji152@korea.kr

농경지 토양에서의 $N_2O$ 배출은 직접배출과 간접배출로 구분된다. 직접배출은 화학비료, 축산분뇨, 질소 고정작물 및 작물잔사 환원 등의 질소원에 의해 다른 지역으로 이동하지 않고 그 자리에서 $N_2O$로 배출되는 것을 말하며, 간접배출은 앞에서 언급한 직접배출 질소원에 의해 대기나 수계로 유출되는 것을 말한다 (GPG, 2000; IPCC, 1996; Moiser et al., 1998).

농경지 토양에서의 $N_2O$ 배출은 온도, pH, 강우뿐만 아니라 비료시용량, 경작방법, 토성, 산소 농도, 식생, 경지이용 등 여러 요인에 영향을 받는다 (Freney, 1997). 특히, $N_2O$ 배출에 가장 큰 영향을 미치는 비료의 시용량은 지속적으로 증가하고 있으며, 이렇게 농경지에 투입된 질소는 질소순환이라는 농업환경 시스템을 통해 $N_2O$로 직접 배출되고, 배출량 또한, 지속적으로 증가하고 있다 (Smith et al., 1997). 이러한 화학비료 시용은 직접 배출의 원인이 되기도 하지만, $NH_3$나 $NO_X$의 형태로 대기 중으로 휘발되거나, $NO_3^-$ 형태로 수계로 유출되는 $N_2O$ 간접배출의 원인이 되기도 한다 (Cole et al., 1997).

농경지에서 화학비료, 축산분뇨, 질소고정 작물 및 작물잔사 환원 등에 의한 $N_2O$ 배출경로 및 배출량 연구는 지금까지 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다 (Bouwman, 1996; Jarvis and Pain, 1994; O'hara and Daniel, 1985; Peoples

et al., 1995).

온실가스 배출량을 평가하기 위해서는 배출계수와 활동자료가 필요하며, IPCC에서는 배출량 평가 방법론과 배출계수 (Emission factor)를 제시하고 있다. IPCC에서 제시하고 있는 배출계수는 장기간 시험포장 연구를 통해 산출된 값이긴 하지만 배출량에 많은 영향을 미치는 각 국가의 토양이나 기후 조건 등을 모두 반영하지는 못한다 (Klein et al., 2001). 따라서, IPCC에서는 자국의 환경에 맞는 국가 배출계수 개발을 권장하고 있으며, 더불어 부문별로 정확한 온실가스 배출량을 산정하도록 권고하고 있다.

본 연구는 2009년 우리나라 농업부문에서 발생한 온실가스 중 농경지에서 발생한 $N_2O$ 배출량을 IPCC 방법론에 따라 직접배출과 간접배출로 구분하고 국가 공식 통계자료와 기본 배출계수를 활용하여 산정하였다.

## 재료 및 방법

국가 온실가스 배출량 산정은 IPCC 방법론에 준하며, 지금까지 1996 IPCC, 2000 GPG (Good Practice Guidance), 2003 GPG 및 2006 IPCC 등으로 개정되어 왔다. 현재 우리나라는 1996 IPCC를 기본으로 2000 GPG와 2003 GPG를 적용하고 있으며, 일부 방법론 및 배출계수는 2006 IPCC를 적용하고 있다.

기본적으로 온실가스 배출량은 활동자료 (Activity data)에 배출계수 (Emission factor)를 곱하여 산정한다. IPCC는 국가 온실가스 배출량 산정 시 신뢰성 있는 활동자료 확보와 더불어 국가 환경에 맞는 고유배출계수 (Specific country)를 개발하여 산정하도록 권고하고 있다. 또한, 농업부문 온실가스 배출량 산정은 3년 평균 (당해년도, 전년도, 전전년도)값을 사용하도록 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서 산정한 2009년도 농경지 $N_2O$ 배출량은 3년 (2007, 2008 그리고 2009년) 값을 평균하였다.

농경지 토양에서의 $N_2O$ 배출량 평가는 1996 IPCC와 2006 IPCC 방법론에 따라 직접배출과 간접배출로 구분하여 산정하였다.

**활동자료** (Activity data) 농경지 $N_2O$ 배출량 산정을 위해서는 논과 밭에서의 화학비료 시용량, 축산분뇨 시용량, 작물잔사 환원에 의한 질소 투입량 및 콩과작물에 의한 질소 투입량 등의 활동자료가 필요하며, 이러한 질소 투입량을 산정하기 위해서는 화학비료 총 생산량, 가축사육두수, 작물 재배면적 및 생산량 등의 기초 활동자료가 필요하다. 본 연구에 사용된 활동자료는 MIFAFF (2009)를 활용하였다.

Table 1은 우리나라 농경지에 시용한 총 화학비료 양과 논과 밭에서의 실제 화학비료 시용량을 나타낸다. 농경지에서의 $N_2O$ 직접배출량 산정을 위해서는 논과 밭을 구분한 화학비료 실제 시용량이 필요하나 국내 통계에는 논에서 질소원에 따른 화학비료 시용량만 조사되어 있다. 따라서 이를 활용하여 우리나라 논에서의 ha 당 화학비료 시용량은 130.24 kg으로 산출하였다. 여기에 논 전체면적을 곱하여 논에서의 화학비료 총 시용량을 산출하고, 나머지를 밭에서의 화학비료 시용량으로 하였다. 이렇게 농경지에 투입된 비료 중 10%는 간접배출에서 대기 유출로 계산하므로 직접 배출에 관여하는 실제 비료량은 논에서 109,914 Mg, 밭에서

**Table 1. The total amount of chemical fertilizer in paddy field and upland soil.**

| Year | Total | Paddy field | | | Upland soil | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Input | Atmospheric deposition | Application | Input | Amospheric deposition | Application |
| | | Mg | | | | | |
| 2007 | 334,536 | 122,715 | 12,272 | 110,444 | 211,821 | 21,182 | 190,639 |
| 2008 | 301,655 | 120,862 | 12,086 | 108,776 | 180,793 | 18,079 | 162,714 |
| 2009 | 262,313 | 120,403 | 12,040 | 108,363 | 141,910 | 14,191 | 127,719 |
| Mean (2009) | 299,501 | 121,327 | 12,133 | 109,194 | 178,175 | 17,817 | 160,357 |

**Table 2. Livestock numbers for calculation of manure input at agricultural land.**

| Year | Dairy | Korean native cow | Pig | Chicken | Goat | Sheep | Horse | Duck | Deer |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Head | | | | | | | | |
| 2007 | 453,403 | 2,200,573 | 9,605,831 | 119,365,107 | 372,447 | 1,800 | 24,951 | 10,513,308 | 97,856 |
| 2008 | 445,754 | 2,430,389 | 9,087,434 | 119,783,943 | 266,240 | 2,971 | 27,881 | 9,702,215 | 78,853 |
| 2009 | 444,648 | 2,634,705 | 9,584,903 | 138,767,543 | 249,855 | 3,216 | 28,718 | 12,733,275 | 75,272 |
| Mean (2009) | 447,935 | 2,421,889 | 9,426,056 | 125,972,198 | 296,181 | 2,662 | 27,183 | 10,982,933 | 83,994 |

160,357 Mg이다.

농경지에서의 축산분뇨 시용량은 가축별 사육두수에 가축 당 질소 배출량을 곱하여 산출하였다. 농경지 축산분뇨 투입량 계산을 위해 사용된 가축은 젖소, 한우, 돼지, 닭, 염소, 양, 말, 오리 및 사슴으로 가축사육두수는 Table 2와 같다.

Table 3은 축산분뇨에 의한 농경지 질소 투입량 계산을 위한 가축 당 연간 질소 배출량으로 1996 IPCC에서 제시하고 있는 기본값을 적용하였다. 젖소가 연간 100 Mg으로 가장 많은 질소를 배출하며, 한우가 70, 닭과 오리가 가장 적은 양인 연간 0.6 Mg을 배출한다.

Table 4는 축산에 의한 가축 당 질소 배출량을 나타낸 것이다. 2009년 축산분뇨에 의한 질소 총 배출량은 2009년 501,346 Mg으로 이중 분뇨처리 과정으로 40%가 소실되며 나머지 60%만 농경지로 유입된다. 따라서 실제 농경지 유입량은 300,808 Mg이며, 이중 20%는 간접배출에서 대기 침적에 의한 배출량으로 계산하므로 실제 농경지 질소 투입량은 240,646 Mg이 된다.

Table 5는 두과 작물에 의한 질소 고정량 계산을 위한 두류 총 생산량과 작물잔사 환원에 의한 질소 투입량 계산을 위한 맥류, 밀, 감자, 고구마 및 옥수수의 생산량을 나타낸 것이다.

Table 6은 두과 작물에 의한 질소공급량 ($F_{BN}$)과 작물잔사 환원에 의한 질소 공급량 ($F_{CR}$)을 나타낸 결과이다. 두과 작물에 의한 질소공급량은 IPCC에서 제시하고 있는 방법론에 따라 두과작물 수확량에 IPCC default값인 2와 곡

**Table 3. Emission factors to assess emission of livestock manure.**

| Division | Dairy | Korean native cow | Pig | Chicken | Goat | Sheep | Horse | Duck | Deer |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ---------- Mg $yr^{-1}$ ---------- | | | | | | | | |
| Emission factor | 100 | 70 | 20 | 0.6 | 40 | 12 | 40 | 0.6 | 40 |

**Table 4. N emission per livestock for calculation of manure input.**

| Year | Dairy | Korean native cow | Pig | Chicken | Goat | Sheep | Horse | Duck | Deer | Total emission | Input | Atmospheric deposition | Application |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ---------- Mg $yr^{-1}$ ---------- | | | | | | | | | | | | |
| 2007 | 45,340 | 154,040 | 192,117 | 71,619 | 14,898 | 22 | 998 | 6,308 | 3,914 | 489,256 | 293,554 | 58,711 | 234,843 |
| 2008 | 44,575 | 170,127 | 181,749 | 71,870 | 10,650 | 36 | 1,115 | 5,821 | 3,154 | 489,098 | 293,459 | 58,692 | 234,767 |
| 2009 | 44,465 | 184,429 | 191,698 | 83,261 | 9,994 | 39 | 1,149 | 7,640 | 3,011 | 525,685 | 315,411 | 63,082 | 252,329 |
| Mean (2009) | 44,794 | 169,532 | 188,521 | 75,583 | 11,847 | 32 | 1,087 | 6,590 | 3,360 | 501,346 | 300,808 | 60,162 | 240,646 |

**Table 5. Crop production for calculation of N input.**

| Year | Pulses | Barley | Wheat | Potato | Sweet potato | Corn |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ---------- Mg ---------- | | | | | |
| 2007 | 128,228 | 238,022 | 7,351 | 574,396 | 352,269 | 83,513 |
| 2008 | 146,895 | 241,045 | 10,359 | 604,592 | 329,351 | 92,830 |
| 2009 | 155,102 | 148,624 | 18,782 | 591,053 | 350,661 | 76,975 |
| Mean (2009) | 143,408 | 209,230 | 12,164 | 590,014 | 344,094 | 84,439 |

**Table 6. Amount of N input by crop residues.**

| Year | Pulses | Barley | Wheat | Potato | Sweet potato | Corn |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ---------- Mg ---------- | | | | | |
| 2007 | 7,694 | 638 | 21 | 1,011 | 387 | 374 |
| 2008 | 8,814 | 646 | 30 | 1,064 | 362 | 416 |
| 2009 | 9,306 | 398 | 55 | 1,040 | 386 | 345 |
| Mean (2009) | 8,605 | 561 | 35 | 1,038 | 379 | 378 |

실 중의 질소함량 Frac $_{NCRBF}$ 0.03을 곱하여 산출하였다. 작물잔사 환원에 의한 질소 공급량 또한 IPCC 방법론에 따라 작물생산량에 잔사와 곡실 비율, 건물률, 토양 환원율 및 작물중 질소함량을 곱하여 산출하였다.

**배출계수** (Emission factor) Table 7은 농경지 $N_2O$ 배출량을 계산하기 위한 배출계수를 나타낸 것이다. 질소 투입에 따른 $N_2O$ 직접 배출계수의 경우 1996 IPCC 방법론에서는 논과 밭의 구분이 없으며, 2006 IPCC 방법론에서는 논과 밭을 구분하여 기본계수를 제시하고 있다. 따라서 이번 배출량 평가에서는 2006 IPCC 방법론에 따라 논과 밭을 구분하여 계산하였으며, 논의 경우 2006 IPCC에서 제시된 값 0.03 ($EF_{1FR}$)을 사용하였고, 밭의 경우 1996 IPCC에서 제시된 0.0125 ($EF_1$)의 기본값을 사용하였다.

질소 투입에 따른 $N_2O$ 간접배출계수의 경우 대기유출에 의한 배출계수 ($EF_4$)는 1996 IPCC 기본값 0.01을 적용하였고, 화학비료 시용에 따른 휘발율 (Frac $_{GASF}$)은 0.1, 축산분뇨 시용에 따른 휘발율 (Frac $_{GASM}$)은 0.2를 적용하여 산정하였다. 수계유출에 따른 $N_2O$ 배출계수 ($EF_5$)는 2006 IPCC 기본값 0.0075를 적용하였고, 화학비료 수계 유출율 (Frac $_{LEACH}$)은 1996 IPCC 기본값 0.3을 적용하여 산정하였다. 질소고정 작물에 의한 질소 공급량 계산을 위해 사용된 바이오매스의 질소함량 (Frac $_{NCRBF}$)은 1996 IPCC 기본값 0.03을 적용하여 산정하였다.

**농경지 토양에서의 $N_2O$ 직접배출량 평가** $N_2O$ 직접배출량을 평가하기 위해 1996 IPCC 방법론에 따라 $N_2O$ 배출원을 농경지 화학비료 시용에 의한 질소량 ($F_{SN}$), 축산분뇨 시용에 의한 질소량 ($F_{AW}$), 콩과작물에 의한 질소 고정량 ($F_{BN}$) 및 작물잔사 환원에 의한 질소량 ($F_{CR}$)으로 구분하고 여기에 각각의 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하였다 (식 1). 유기질 토양 ($F_{OS}$)에서의 $N_2O$ 배출량은 우리나라의 경우 해당되지 않아 계산에서 제외하였다. $N_2O$를 $CO_2$로 변환하기 위한 지구온난화지수 (GWP)는 1996 IPCC에서 제시한 310을 사용하였다.

〈$N_2O$ 직접배출량 계산〉

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

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

**농경지 토양에서의 $N_2O$ 간접배출량 평가** 농경지 토양에서의 $N_2O$ 간접배출량 평가는 1996 IPCC 방법론에 따라 대기 침적에 의한 배출 ($N_2O_{(G)}$)과 수계유출에 의한 배출 ($N_2O_{(L)}$)로 구분하여 산정하였다.

대기 침적에 의한 $N_2O$ 간접배출원인 질소 대기 공급량은 농경지 화학비료와 축산분뇨 시용량을 사용하였다. IPCC 방법론에 따라 화학비료 전체 사용량의 10% (Frac $_{GASF}$), 축산분뇨 시용량의 20% (Frac $_{GASM}$)를 대기 공급량으로 산정하였고, 퇴비화 과정 중의 대기 휘산량은 축산분뇨 전체량의 40%를 질소 대기 공급 활동자료로 활용하여 계산하였다. 여기에 대기 침적에 의한 $N_2O$ 간접 배출계수 ($EF_4$) 0.01을 곱하여 대기 침적에 의한 $N_2O$ 간접배출량을 산정하였다 (식 2).

수계유출에 의한 $N_2O$ 간접배출원인 질소 투입량 또한 직접배출량에서 사용한 활동자료인 농경지 질소 공급량을 활용하여 계산하였다. IPCC 방법론에 따라 전체 질소공급량의 30% (Frac $_{LEACH}$)를 수계 유출량으로 계산하였다. 여기에 수계 간접 배출계수 ($EF_5$) 0.0075를 곱하여 대기 유출에 의한 $N_2O$ 간접배출량을 산정하였다 (식 3).

〈$N_2O$ 간접배출량 계산〉

대기 침적에 의한 $N_2O$ 간접배출

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

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

수계유출에 의한 $N_2O$ 간접배출

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

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

**Table 7. Emission factor for calculation of $N_2O$ 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 |

## 결과 및 고찰

**$N_2O$ 직접 배출량 ($N_2O_{DIRECT}$)** Table 8은 2009년 우리나라 농경지에서의 $N_2O$ 직접배출량을 질소 투입원별로 산정한 결과이다. 논과 밭에서 화학비료 시용에 의한 $N_2O$ 배출량은 각각 159,579 $CO_2$-eq Mg과 976,460 $CO_2$-eq Mg이었다. 논과 밭에서 배출량 차이가 나는 원인은 화학비료의 시용량이 다르기 때문이나, 근본 원인은 IPCC에서 제시하는 기본 배출계수가 논에서는 0.003, 밭에서는 0.0125이기 때문이다. 농경지 축산분뇨 시용에 따른 $N_2O$ 배출량은 1,465,363 $CO_2$-eq Mg으로 화학비료 시용에 의한 배출량보다 그 양이 많았다. 두과작물의 질소 고정에 따른 $N_2O$ 배출량은 52,395 $CO_2$-eq Mg이었고, 작물잔사 환원에 의한 $N_2O$ 배출량은 14,562 $CO_2$-eq Mg 이었으나 전체 배출량에 큰 영향을 미치지는 않았다. 농경지에서 직접배출에 의한 $N_2O$ 총 배출량은 2,668,360 $CO_2$-eq Mg으로, 2009년 경종부문 온실가스 총 배출량의 21.6%를 차지하였다.

**$N_2O$ 간접 배출량 ($N_2O_{INDIRECT}$)** Table 9와 10은 우리나라 농경지에서의 $N_2O$ 간접배출량을 질소 투입원별로 산정한 결과이다. 대기 침적에 의한 $N_2O$ 배출량을 질소 투입원별인 화학비료, 축산분뇨 및 축산분뇨 처리과정으로 산정한 결과 그 양은 각각 154,900 $CO_2$-eq Mg, 286,621 $CO_2$-eq Mg 및 976,909 $CO_2$-eq Mg이었고, 총 배출량은 1,415,881 $CO_2$-eq Mg 이었다 (Table 9). 수계유출에 의한 $N_2O$ 배출량을 질소 투입원별인 논과 밭에서의 화학비료 및 축산분뇨로 구분하여 산정한 결과 그 양은 각각 398,948 $CO_2$-eq Mg, 585,876 $CO_2$-eq Mg 및 879,218 $CO_2$-eq Mg이었고, 총 배출량은 1,864,043 $CO_2$-eq Mg 이었다 (Table 10). 대기 침적과 수계유출에 의한 $N_2O$ 총 배출량은 3,279,924 $CO_2$-eq Mg으로, 2009년 경종부문 온실가스 총 배출량의 26.9%를 차지하였다.

Table 11은 우리나라 농경지에서 $N_2O$ 배출량을 간접배출과 직접배출로 나누어 산정한 결과이다. $N_2O$ 총 배출량은 5,948,284 $CO_2$-eq Mg으로 이는 2009년 경종부문 온실가스 총 배출량의 48.7%를 차지하는 양이다. $N_2O$ 총 배출량 중

**Table 8. Direct emission of $N_2O$ according to emission source.**

| Year | Chemical fertilizer (Paddy rice) | | Chemical fertilizer (Upland) | | Livestock manure | | N-fixation crops | | Crop residues returned to soils | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ |
| | ---------- Mg ---------- | | | | | | | | | | | |
| 2007 | 521 | 161,405 | 3,745 | 1,160,854 | 4,613 | 1,430,025 | 151 | 46,849 | 48 | 14,809 | 9,077 | 2,813,943 |
| 2008 | 513 | 158,968 | 3,196 | 990,810 | 4,611 | 1,429,562 | 173 | 53,669 | 49 | 15,336 | 8,543 | 2,648,346 |
| 2009 | 511 | 158,364 | 2,509 | 777,717 | 4,956 | 1,536,502 | 183 | 56,668 | 44 | 13,541 | 8,203 | 2,542,793 |
| Mean (2009) | 515 | 159,579 | 3,150 | 976,460 | 4,727 | 1,465,363 | 169 | 52,395 | 47 | 14,562 | 8,608 | 2,668,360 |

**Table 9. Indirect emission of $N_2O$ by atmospheric deposition.**

| Year | Chemical fertilizer | | Livestock manure | | Manure treatment | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ |
| | ---------- Mg ---------- | | | | | | | |
| 2007 | 526 | 162,967 | 923 | 286,005 | 3,075 | 953,350 | 4,524 | 1,402,322 |
| 2008 | 474 | 146,949 | 922 | 285,912 | 3,075 | 953,042 | 4,471 | 1,385,903 |
| 2009 | 412 | 127,784 | 991 | 307,300 | 3,304 | 1,024,335 | 1,024,335 | 1,459,419 |
| Mean (2009) | 471 | 145,900 | 945 | 293,073 | 3,151 | 976,909 | 4,567 | 1,415,881 |

**Table 10. Indirect emission of $N_2O$ by leaching and runoff.**

| Year | Chemical fertilizer (paddy field) | | Chemical fertilizer (upland) | | Livestock manure | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ |
| | ---------- Mg ---------- | | | | | | | |
| 2007 | 1,302 | 403,514 | 2,247 | 696,512 | 2,768 | 858,015 | 6,316 | 1,958,041 |
| 2008 | 1,282 | 397,420 | 1,918 | 594,486 | 2,767 | 857,737 | 5,967 | 1,849,644 |
| 2009 | 1,277 | 395,911 | 1,505 | 466,630 | 2,974 | 921,901 | 5,756 | 1,784,443 |
| Mean (2009) | 1,287 | 398,948 | 1,890 | 585,876 | 2,836 | 879,218 | 6,013 | 1,864,043 |

**Table 11. Total emission of $N_2O$ in agricultural soil.**

| Year | Direct emission | | Indirect emission | | Total emission | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ | $N_2O$ | $CO_2$ |
| | ---------- Mg ---------- | | | | | |
| 2007 | 9,077 | 2,813,943 | 10,840 | 3,360,363 | 19,917 | 6,174,305 |
| 2008 | 8,543 | 2,648,346 | 10,437 | 3,235,547 | 18,980 | 5,883,893 |
| 2009 | 8,203 | 2,542,793 | 10,464 | 3,243,862 | 18,667 | 5,786,655 |
| Mean (2009) | 8,608 | 2,668,360 | 10,580 | 3,279,924 | 19,188 | 5,948,284 |
| % | 44.9 | | 55.1 | | 100 | |

직접배출량이 2,668,360 $CO_2$-eq Mg으로 총 $N_2O$ 배출량의 44.9%를 차지하였고, 간접배출량이 3,279,924 $CO_2$-eq Mg으로 총 $N_2O$ 배출량의 55.1%를 차지하였다.

이번에 산정한 우리나라 농경지에서의 $N_2O$ 배출량은 국가 활동자료를 활용하였으나, 국가 고유 농업환경을 반영할 수 있는 국가 고유배출계수를 사용하지는 못하였다. 그러나 향후 농촌진흥청에서 2012년을 목표로 개발 중인 아산화질소 배출계수를 적용하고, 신뢰성 있는 국가 통계자료를 확보한다면 좀 더 정확한 배출량 산정이 가능할 것이다. 정확하고 신뢰성 있는 농업부문 온실가스 배출량 산정은 국가간 기후변화에 문제에 적극 대응하고, 국가 온실가스 저감정책에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

우리나라 농경지에서의 $N_2O$ 배출량을 1996과 2006 IPCC 방법론에 준하여 직접배출과 간접배출로 구분하여 산정하였다. 배출량 산정을 위한 활동자료는 농림수산식품부의 농림수산식품통계연보를 활용하였고, 배출계수는 1996 IPCC와 2006 IPCC에서 제시하고 있는 기본계수를 활용하였다.

직접배출량을 질소 투입원별로 산정한 결과 논과 밭에서 화학비료 시용에 의한 $N_2O$ 배출량은 각각 159,579 $CO_2$-eq Mg과 976,460 $CO_2$-eq Mg이었고, 축산분뇨 시용에 따른 $N_2O$ 배출량은 1,465,363 $CO_2$-eq Mg이었다. 두과작물의 질소 고정에 따른 $N_2O$ 배출량은 52,395 $CO_2$-eq Mg이었고, 작물잔사 환원에 의한 $N_2O$ 배출량은 14,562 $CO_2$-eq Mg 이었다. 간접배출에 의한 $N_2O$ 배출량을 대기 유출과 수계 유출로 구분하여 산정된 양은 각각 1,415,881 $CO_2$-eq Mg과 1,864,043 Mg이었다. 우리나라 농경지의 $N_2O$ 총배출량은 5,948,284 $CO_2$-eq Mg으로 직접배출량은 44.9%, 간접배출량은 55.1%를 차지하였으며, 경종부문 온실가스 전체 배출량의 48.7%를 점유하였다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 공동연구사업 (과제번호: PJ0067832010)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 인 용 문 헌

Bouwman, A.F. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. p. 61-127. In: A.F. Bouwman (ed.) Soils and the greenhouse effect. John Wiley and Sons. New York.

Bouwman, A.F. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 46:53-70.

Cole, C.V., J. Duxbury, J. Freney, O. Heinemeyer, K. Minami, A. Mosier, K. Paustian1, N. Rosenberg, N. Sampson, D. Sauerbeck, and Q. Zhao. 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:221-228.

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.

Frency, J.R. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. 1997. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:1-6.

Houghton, R.A. and D.L. Skole. 1990. Change in the global carbon cycle between 1700 and 1985. In: B. L. Turner. (ed.) The earth transformed by human action. Cambridge University Press.

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

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

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

Jarvis, S.C. and B.F. Pain. 1994. Greenhouse gas emissions from intensive livestock system: their emission and technologies for reduction. Climate Change 27:27-38.

Jeong, H.C., G.Y. Kim, K.H. So, K.M. Shim, S.B. Lee, and D.B. Lee. 2010. Assessment on Greenhouse gas ($CH_4$) Emissions in Korea Cropland sector from 1990 to 2008. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6):911-916.

Klein, C.A.M., R.R. Sherlock, K.C. Cameron, and T.J. Weerden. 2001. Nitrous oxide emissions from agricultural soils in New Zealand - a review of current knowledge and directions for future research. J. of The Royal Soc. of New Zealand 31:543-574.

Mosier, A., C. Kroeze, C. Nevision, O. Oenema, S. Seitzinger, and O. van Cleemput. 1998. Closing the global $N_2O$ budget : nitro oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. Nutrient Cycling in Agroecosystems 52:225-248.

O'hara, G.W. and R.M. Daniel. Rhizobial denitrification: a review. 1985. Soil Biol. Biochem. 17:1-7.

Peoples, M. B., D. F. Herridge, and J. K. Ladha. 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. Plant and Soil 174: 3-28.

Smith, K.A., I.P. McTaggart, and H. Tsuruta. 1997. Emissions of $N_2O$ and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture and the potential for mitigation. Soil Use and Management 13:296-304.

MIFAFF, 2009, Food, agricultural, forestry and fisheries statistical yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Seoul Korea.