

## 논에서 물과 양분관리에 따른 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O)배출 특성

김건엽\* · 박상일<sup>1)</sup> · 송범현<sup>1)</sup> · 신용광\*

농업과학기술원, <sup>1)</sup>충북대학교 농과대학 농학과  
(2001년 9월 3일 접수, 2002년 6월 11일 수리)

### Emission Characteristics of Methane and Nitrous Oxide by Management of Water and Nutrient in a Rice Paddy Soil

Gun-Yeob Kim\*, Sang-Il Park<sup>1)</sup>, Beom-Heon Song<sup>1)</sup>, and Yong-Kwang Shin\* (National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea, <sup>1)</sup>Department of Agronomy, College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)

**ABSTRACT:** Emission of methane and nitrous oxide affected by nitrogen fertilizer materials were measured simultaneously in rice paddy fields under flooding and intermittent irrigation in 2000. Studies focused on mitigating CH<sub>4</sub> emission from rice paddy fields are summarized and the possibilities and limits applied to world's rice cultivation are discussed. The mitigation options are water management, soil amendments, organic matter management, different tillage, rotation, and cultivar selection. Altering water management, in particular promoting midseason aeration by short-term drainage, is one of the most promising strategies, although these practices may be limited to the rice paddy fields where the irrigation system is well prepared. The test site was divided into two water managements: a continuously flooded plot which was maintained flooded by constant irrigation from May to September, and an intermittently drained plot in which short-term (20days) draining practices were performed one times during the flooding period. By total emission of GHGs converted by global warming potential (GWP), flooding plots were higher 170~208% than intermittent irrigation plots. For emission of GHGs in fertilizer materials, it was high in the order of Swine slurry>Urea+Rice straw>Urea>LCU. Basing on GHGs emission of urea fertilization under flooding as baseline GWP of urea fertilization and Latex-coated urea under intermittent irrigation showed lower GHGs emission by 41.4% and 55.8%, respectively. In this case fertilizer use efficiency (kg unhulled rice/kg of applied N) were 18.2~20.2 and 18.7~19.0 and 9.3 and 5.8~6.6 for Swine slurry and LCU and Urea+Rice straw and Urea in the continuously flooded and intermittently drained plot.

**Key words:** methane, nitrous oxide, water and nutrient management, rice paddy

## 서 론

온실가스의 대기 중 농도는 18C 이후 중요한 문제로 대두 되었으며, 현재 온실가스의 농도증가는 지구온난화와 기후변화를 주도하고 있다. 지구온난화는 인간의 각종 활동으로 배출되는 온실가스에 의해 지구의 평균기온이 상승하는 현상이다. 지구는 태양의 복사에너지를 흡수하고 이를 다시 우주로 방출하는데, 대기중의 온실가스 등은 지구복사에너지를 흡수하여 지구복사로 인한 열의 직접적인 방출을 막음으로 해서 대기내 여러 물리적운동 등을 통해 대기의 온도를 조절하는

기능을 한다. 그러나 산업활동으로 인한 이산화탄소를 비롯한 온실가스들이 다량 배출되고, 그로 인하여 대기 중 적절한 기온조절에 필요한 정도 이상의 가스량에 의해 지구기온이 상승하게 되는 것이다. 이러한 기온상승에 영향을 주는 가스는 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>), 메탄 (CH<sub>4</sub>), 아산화질소 (N<sub>2</sub>O) 등이 있으며 휘발성 유기화합물 (Volatile organic compounds)과 질소산화물 (NOx)의 대기 중 광화학 과정을 통해 생성되는 오존 (O<sub>3</sub>) 등을 들 수 있다.

대기 중 메탄에 대한 다양한 배출원의 하나인 논은 최근 세계적으로 그 재배면적이 늘어나고 있으므로 지구 온난화의 주요 잠재적 배출원으로 간주되고 있다<sup>1,2)</sup>. 여러 학자들에 의해 세계 논 면적의 90%이상을 차지하는 아시아를 포함한 여러 비농사 국가에 대한 메탄 배출량 추정<sup>3,5)</sup>이 이루어진 바 있다. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)는

\*연락처:

Tel: +82-31-290-0290 Fax: +82-31-90-0277

E-mail: gykim@rda.go.kr

벼논에서 배출되는 메탄의 지구규모의 양은 20~150 Tg/년으로 평균 60 Tg/년인데, 이 양은 모든 배출원 중 약 5~30%에 해당한다고 하였다<sup>6,7)</sup>.

대기에서 아산화질소의 이동 기작은 성층권의 오존과 해로운 자외선을 흡수·반응하여 NO를 광분해적으로 산화시켜 성층권으로 이동한다<sup>8)</sup>. 대기중 아산화질소 증가는 오존층을 10% 감소시키는 결과를 가져왔고, 자외선은 20%까지 증가하였다. 농업부문 배출 온실가스 가운데 지구온난화잠재력 (Global Warming Potential)이 가장 큰 아산화질소는 농경지에 사용된 질소질 화학비료나 가축분뇨 중 질소에서 배출된다. 토양 유기물과 광물에 함유되어있는 질소, 생물학적 질소고정, 질소질 비료 등에서 정확한 아산화질소배출량 추정은 어렵지만 지구상의 아산화질소 배출량 중 농업생태계에서 질소사용 증가로 인한 영향 (Impact)이 무엇인지 정확한 평가가 이루어질 필요가 있다. 농경지에 사용되는 질소질 비료의 절반은 N의 형태로 유실되고 있으며<sup>9)</sup>, Houghton 등<sup>10)</sup>은 질소비료를 사용한 토양으로부터 아산화질소배출 지구규모의 양은 연간 10-17 Tg이라고 하였다. 아산화질소의 대기 중 농도는 1995년 현재 312 ppb이지만 지구온난화잠재력은 이산화탄소의 310배 (메탄은 21배)<sup>11)</sup>에 이르러 무시할 수 없는 온실가스이다. 따라서 최근, 논에서 배출되는 아산화질소에 대한 연구가 활성화되고 있다.

벼논에서 물관리에 따른 메탄과 아산화질소의 관계는 상시담수 상태에서 NO<sub>3</sub>→N<sub>2</sub>O→N<sub>2</sub> 전환과정 중 N<sub>2</sub>O는 신속히 N<sub>2</sub>로 전환되고 그리고 상당량의 N<sub>2</sub>O가 물에 녹기 때문에 N<sub>2</sub>O배출량이 적었다고 하였으며<sup>12,14)</sup>, 간단관개시 산화환원 조건 및 호기적 상태에서 메탄배출량은 줄어든다 아산화질소의 배출은 증가한다고 하였다<sup>15)</sup>. Neue 등<sup>16)</sup>은 유기물을 사용하면 벼 생육 초기에 메탄배출이 증가하고 생육 후기에는 화학비료를 처리한 구와 메탄배출이 유사한 것으로 보고하였으며, Iserman<sup>17)</sup>은 농경지 토양에서 대기로 배출되는 아산화질소의 양 가운데 81%가 질소비료에 의해 배출된다고 하였다. 농경지 토양에서 아산화질소 배출은 질산화작용이나 탈질작용 등 생물화학적 과정이 가장 중요하며, 토양에 요소를 사용할 때 요소의 가수분해로 방출되는 NH<sub>4</sub>는 화학적 자급영양생물인 질화균에 의해 N<sub>2</sub>O와 NO<sub>3</sub>로 산화되고 이러한 질산화작용의 여러 과정을 통한 생화학적 경로를 통해 N<sub>2</sub>O와 NO를 배출한다<sup>18)</sup>. 탈질균은 호흡내에 전자 수용체가 질산화 과정을 통해 질소산화물을 이용하고 N<sub>2</sub>O와 NO를 생산한다. 그러므로 토양내 무기태 질소 공급을 조절하기 위해 완효성비료를 사용하여 아산화질소 배출을 줄일 수 있는 효과를 기대하고 있다<sup>19)</sup>.

벼논에서 온실가스 배출은 물관리 뿐만 아니라 유기물 또는 질소 비종의 종류에 따라 저감할 수 있다. 그러나 유기물 또는 질소비료 종류에 대한 메탄과 아산화질소 배출 연구가 미흡한 실정이므로 이들에 대한 온실가스 배출의 평가가 필요하다. 따라서 본 연구는 유기물 및 질소비료 종류별 온실가스 배출저감을 위한 기초자료로 이용하고자 시험하였다.

Table 1. Physico-chemical properties of soil used

pH	OM	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T-N	Exch. cations			Av. SiO <sub>2</sub>	Clay
				K	Ca	Mg		
(1:5)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	---	cmol <sup>+</sup> /kg	---	(mg/kg)	(%)
5.8	17	30	1.2	0.6	6.6	2.2	210	32.0

Table 2. Treatments and application levels of fertilizer material for experiment during cultivation

Treatment	application level			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	compost or sludge
	----- kg/ha -----			
PK	0	70	30	
Urea	160	70	30	
Urea+Rice straw	160	70	30	5,000
LCU	160	107	116	
Swine slurry				34,800

Table 3. Gas Chromatographic analysis conditions for CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O measurement

Detector		FID	ECD
Column	Packing material	Porapak N(80/100)	Porapak Q(80/100)
	Materials	Stainless steel	Stainless steel
	O.D. x length	1/8" x 2 m	1/8" x 2 m
Carriger gas		N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Flow rate		30 mL/min	30 mL/min (Carrier+make up)
Temperature	Column	70°C	70°C
	Injector	80°C	80°C
	Detector	200°C	320°C
Retention time		0.63 min	3.2 min
Concentration of calibration gas		9.6 and 100 ppmv CH <sub>4</sub> in N <sub>2</sub>	0.5 and 1.0 ppmv N <sub>2</sub> O in N <sub>2</sub>
Loop		2 mL	2 mL

## 재료 및 방법

본 시험은 2000년 한해 동안 실시하였으며 공시품종은 대진벼, 공시 토양은 농업과학기술원 시험포장인 화동통으로서 유기물이 17 g/kg 점토함량이 32%로 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 물관리 방법으로는 상시담수 (이앙~출수 35일까지 담수)와 이앙 35일 이후 중간낙수한 간단관개 (중간낙수기간 20일), 그리고 시비방법으로는 Table 2에서와 같이 토양검정한 요소 시비구 (Urea)와 유안 시비구 (Ammonium sulfate) 그리고 요소 시비량에 5000 kg/ha 수준으로 생뽕짚을 사용 (Urea+Rice straw)하였다. 돈분액비 (Swine slurry)와 Latex Coated Urea (이하 LCU 완효성비료)는 토양 검정시비량 중질소 적정 시비량의 100%, 대조구 (PK)는 인산과 칼리만 검

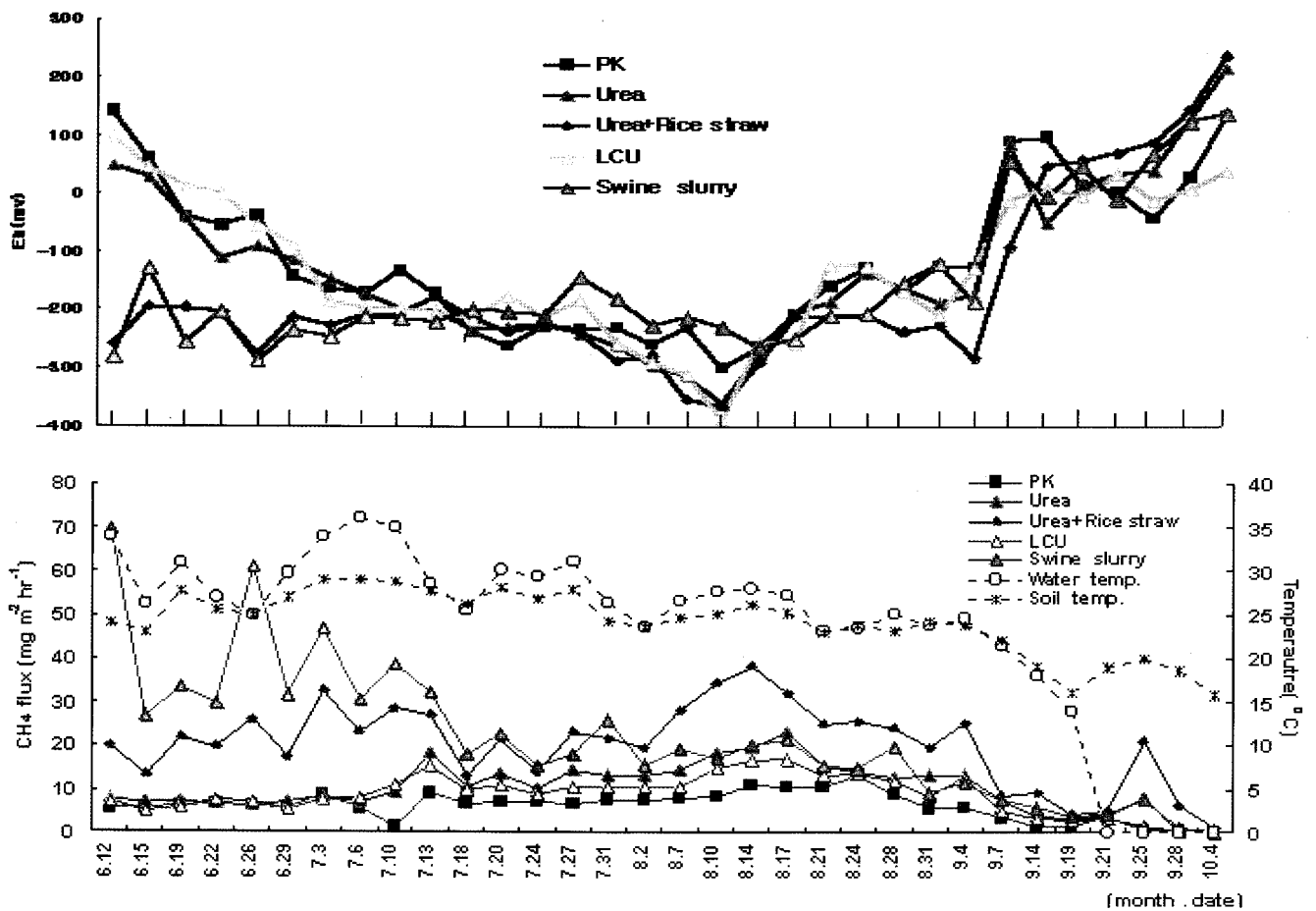


Fig. 1. Seasonal changes of CH<sub>4</sub> flux, soil and water temperature from flooded rice field and of soil Eh at a depth of 5 cm.

정시비 기준으로 사용하였으며, 질소는 사용하지 않았다. 벼는 5월 25일에 재식거리 15×30 cm, 주당 3~4본을 이앙하였다.

**CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O 분석 방법**

포장에서 메탄과 아산화질소 flux를 조사하기 위해 簡易閉鎖靜態 chamber법<sup>20)</sup>을 이용하였으며, 설치된 chamber는 밑면적이 0.36 m<sup>2</sup> (0.6×0.6 m)이고 높이가 1 m인 투명한 polyacrylic plastic의 소재로 제작하였다. 메탄과 아산화질소 배출을 측정하기 위한 시료는 주 2회, 오전 9시~12시에 60 mL 주사기로 채취하여 분석하였다. 시료 채취는 시료 채취를 시작할 때와 시료 채취가 끝날 때 chamber내 기온 및 지온을 기록하였고, chamber내의 유효채적은 물높이 따라 변하므로 시료를 채취할 때마다 유효높이를 기록하였다. 채취한 공기 시료의 메탄 농도는 6 port gas sampling valve가 장착된 GC-FID (Varian 3400)로 분석하였으며, column은 Porapak N (80/100 mesh)을 충전한 1/8" × 2 m의 stainless steel tubing column이었고 carrier gas는 N<sub>2</sub>로 유속을 분당 30 mL로 조절하였다. 아산화질소 기체농도는 10 port와 4 port valve를 장착한 GC-ECD (Varian 3800)를 사용하였고 column은 Porapak Q (80/100 mesh)를 충전한 1/8" × 2 m의 stainless steel tub-

ing column, 그리고 Detector의 온도는 320 °C로 하였다. CH<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O 분석 조건은 Table 3과 같다.

**CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O 플럭스 계산**

토양-대기간 플럭스는 주로 확산에 의하므로 일반적으로 Chamber내 가스성분의 농도변화는 시간에 따라서는 크지 않으나, 토양과 대기간 농도차가 큰 경우에는 Chamber내 가스농도는 거의 직선적으로 증가했다. 이런 경우의 시료 가스농도의 정량계산은 data set를 직선회귀하여 플럭스를 계산하였다. 직선회귀법에서 플럭스 (F: mg/m<sup>2</sup>/hr)는 다음 식으로 구했다.

$$F = \rho \cdot V/A \cdot \Delta c/\Delta t \cdot 273/T$$

ρ는 가스밀도 (mg/m<sup>3</sup>),

A는 Chamber 바닥면적 (m<sup>2</sup>),

V는 Chamber 내 공기체적 (m<sup>3</sup>),

Δc/Δt는 Chamber내 가스농도의 평균 증가속도 (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/hr), T는 Chamber 내 평균기온 (K)이다.

아산화질소 ρ값 (T=273 K)은 다음과 같다.

$$\rho_{N_2O} = 1.96, \quad \rho_{N_2O-N} = 1.25$$

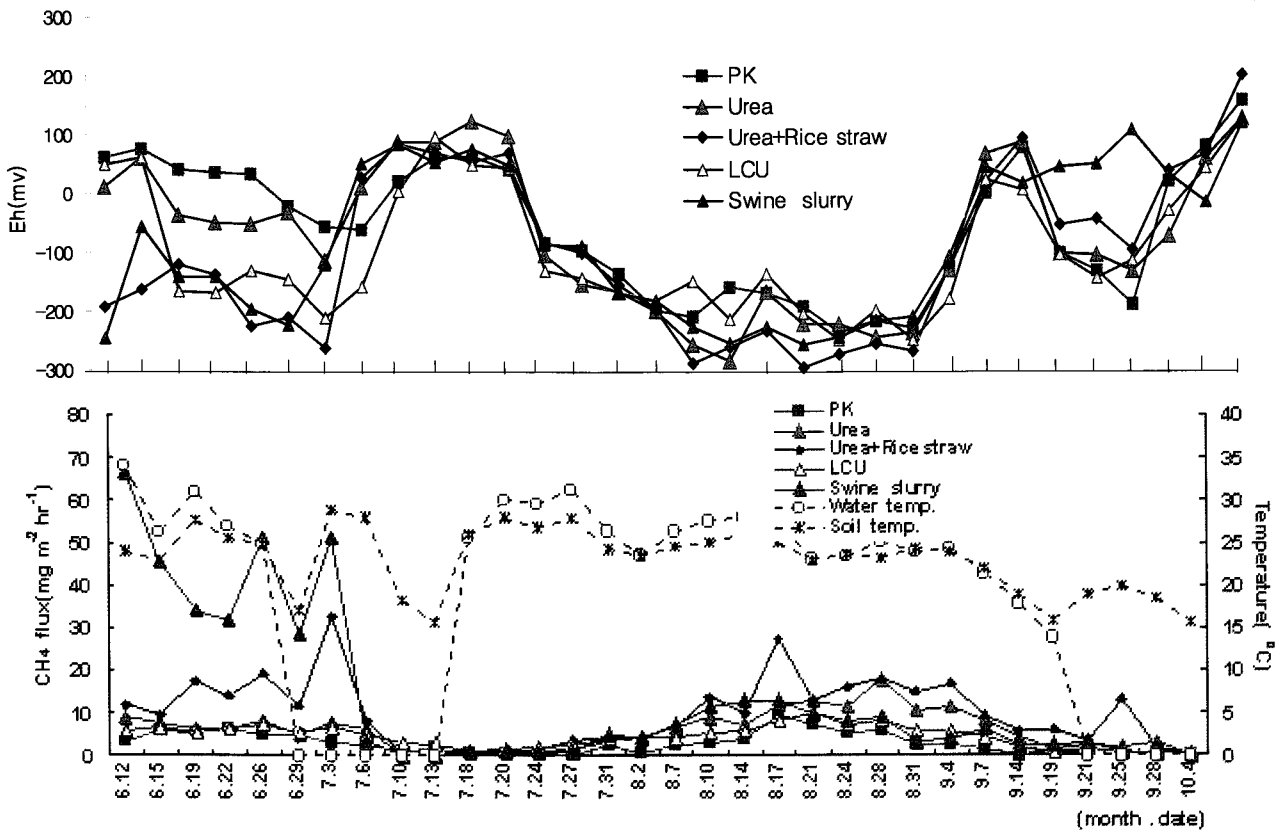


Fig. 2 Seasonal changes of CH<sub>4</sub> flux, soil and water temperature from intermittently irrigated rice field and of soil Eh at a depth of 5 cm

### 결과 및 고찰

물관리방법을 달리한 상시담수와 간단관개에서 메탄 (CH<sub>4</sub>) 과 아산화질소 (N<sub>2</sub>O)의 배출 양상과 서로 다른 종류의 유기물원 및 질소비료 사용에 따른 메탄과 아산화질소 배출을 비교한 결과는 다음과 같다.

#### 유기물 및 질소 비종별 메탄 (CH<sub>4</sub>) 배출 flux

상시담수시 메탄 배출의 주요인자로 알려진 유기물원에 의한 차이와 질소비료에 대한 메탄 배출에 대한 경시적 변화는 Fig. 1에서와 같이 재배 기간 중 상반기 (7월 20일 전)에는 액비구에서, 그 이후에는 요소+생분질구에서 높은 배출을 보였다. 토양에 액비를 사용한 후, 담수시에 혐기상태에서 혐기성균에 의해 유기물을 분해하여 메탄이 발생된다. 액비는 볏짚에 비해 분해가 빠르기 때문에 초기에 메탄 배출이 증가하고 분해가 느린 볏짚은 생육기간 중 중반기에 다른 처리구에 비해 요소+생분질구에서 높은 배출을 보였다. Yagi<sup>21)</sup>와 Minami<sup>22)</sup>는 이러한 차이는 유기물의 C/N율에서 기인된 것이라고 해석하였다. 토양검정시비와 LCU 완효성비료구는 전 생육기간 중 비슷한 양상을 보였으나 질소를 요소로 사용한 요소구가 LCU 완효성비료구에 비해 메탄 배출이 낮았으며, 이는 유<sup>23)</sup>와 비슷한 경향이었다. LCU 완효성비료구는 메탄과 아산

화질소 배출량이 낮았는데, 이는 완효성 질소비료는 질소의 유실 및 탈질을 경감시키고 생육 초기에 질소의 과잉 흡수를 억제하며 질소의 고농도 장해를 경감할 뿐만 아니라 보다 비효를 증진시키는 것으로 사료된다<sup>23)</sup>.

물관리를 간단관개로 처리한 곳에서 7월 3일부터 7월23일까지 20일 동안 중간낙수 하여 메탄을 측정할 당시의 경시적 변화의 결과는 Fig. 2와 같다. 전 기간을 통해 메탄 배출량 변화의 양상은 상시담수와 유사하나, 중간낙수 기간동안에는 메탄이 거의 배출되지 않았다. 이는 간단관개시 산화환원 조건 및 호기적 상태에서 메탄배출량은 줄어든다는 보고와 일치하였으며<sup>15)</sup>, 중간낙수 후 수확기까지의 메탄 배출량도 상시담수에서와 같이 동일한 기간에 비해 전반적으로 낮게 나타났다. 메탄 플럭스의 전체적인 배출 양상과 토양온도는 관계가 크게 높지 않았으며(Fig. 1, Fig. 2), 이는 Cai<sup>24)</sup>와 Chen 등<sup>25)</sup>에서 분석된 결과와 일치하였다. 그러나 Yagi 등<sup>26)</sup>은 일본 벼 시험포의 메탄배출의 경시적 변화에서 간단관개 처리시 메탄배출은 토양 온도변화에 따라 영향을 미친다고 하였다.

Fig. 1에서 상시담수처리의 토양Eh는 벼의 전 생육기간 중 마지막 물떼기 9월4일까지 요소+생분질구 (-175~-366 mV)와 액비구 (-129~-288 mV)가 다른 처리구에 비해 낮았으며, 모든 처리에서 토양Eh가 낮으면 메탄배출이 높은 것으로 나타났다. Fig. 2는 중간낙수 이후인 7월 3일 이후 20일간 토양

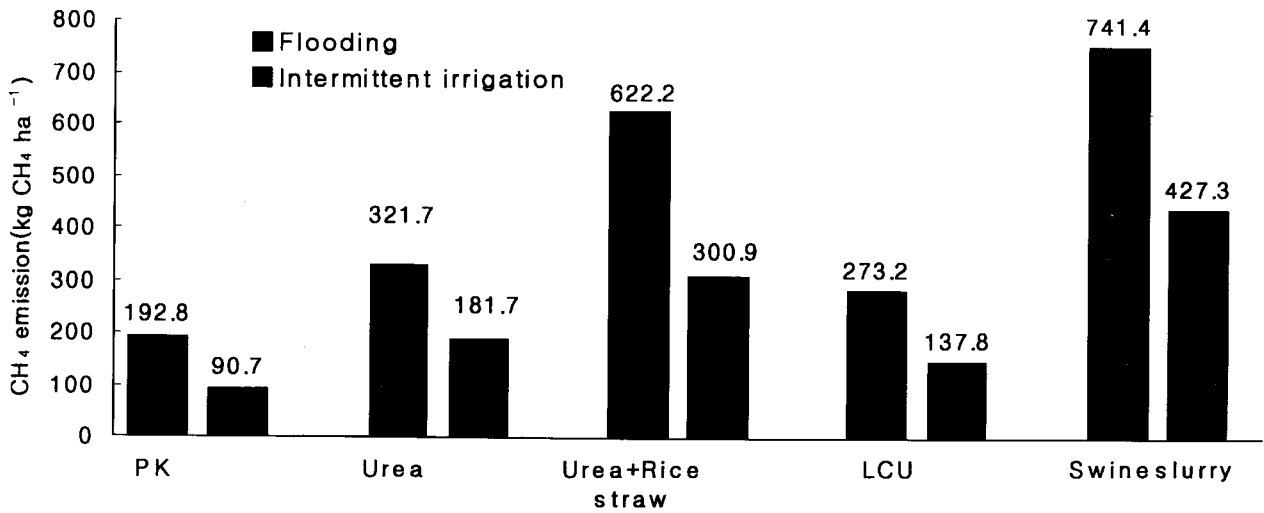


Fig. 3. Integrated methane emission from paddy field under different water management.

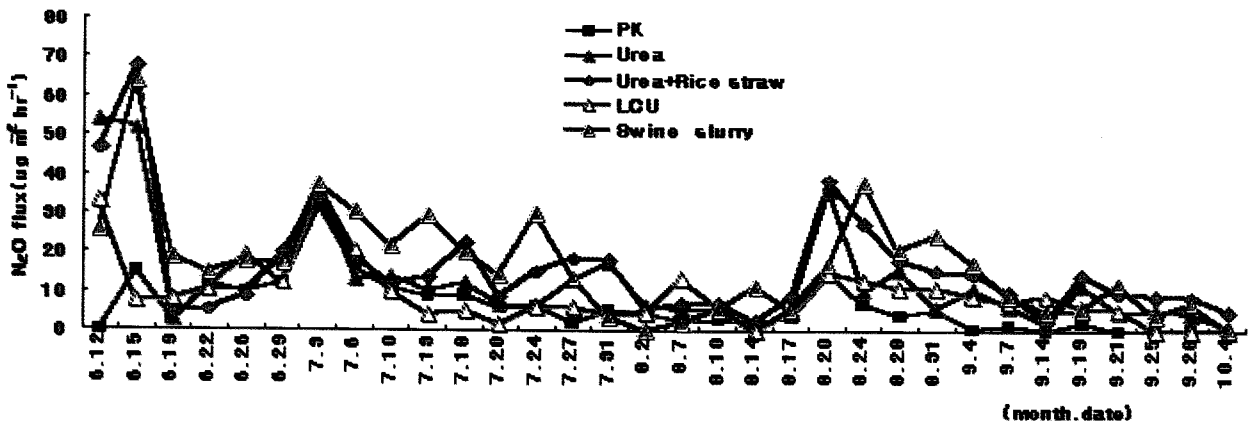


Fig. 4. Seasonal changes in nitrous oxide emissions from flooded rice field.

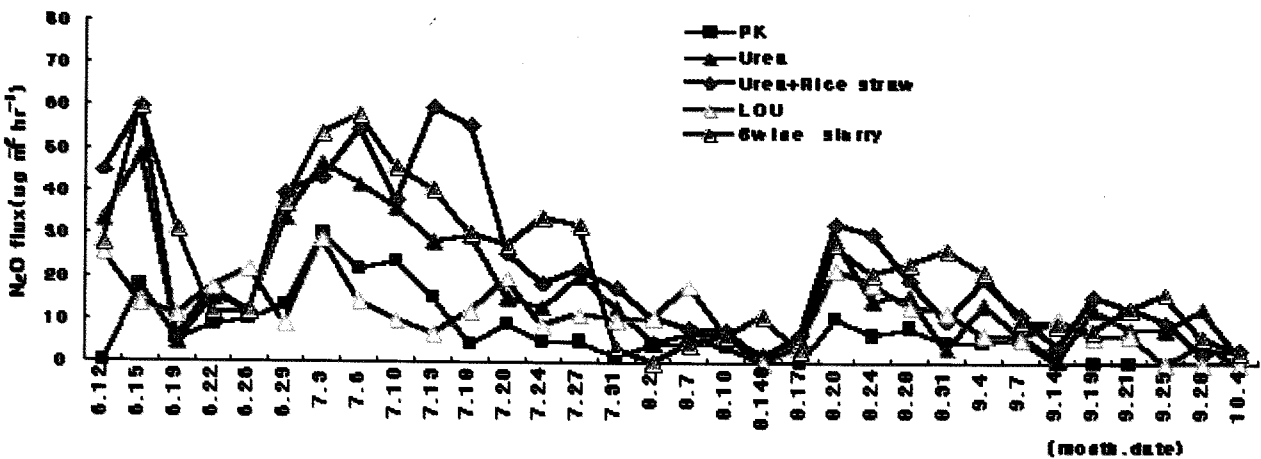


Fig. 5. Seasonal changes in nitrous oxide emissions from intermittently irrigated rice field.

벼 생육기간 중 이앙에서 출수 후 45일 (완숙기)까지 메탄의 작기종합배출량을 물관리에 따라 처리별로 비교한 결과 (Fig. 3), 메탄 배출량은 어느 시비조건에서나 상시답수가 간

단관개에 비해 174~212% 많이 배출되었고, 시비조건에 따라서는 액비 또는 생볏짚이 사용된 경우에 상시답수에서 메탄 배출량이 높고, 요소 시비구는 LCU 완효성비료구에 비해 높

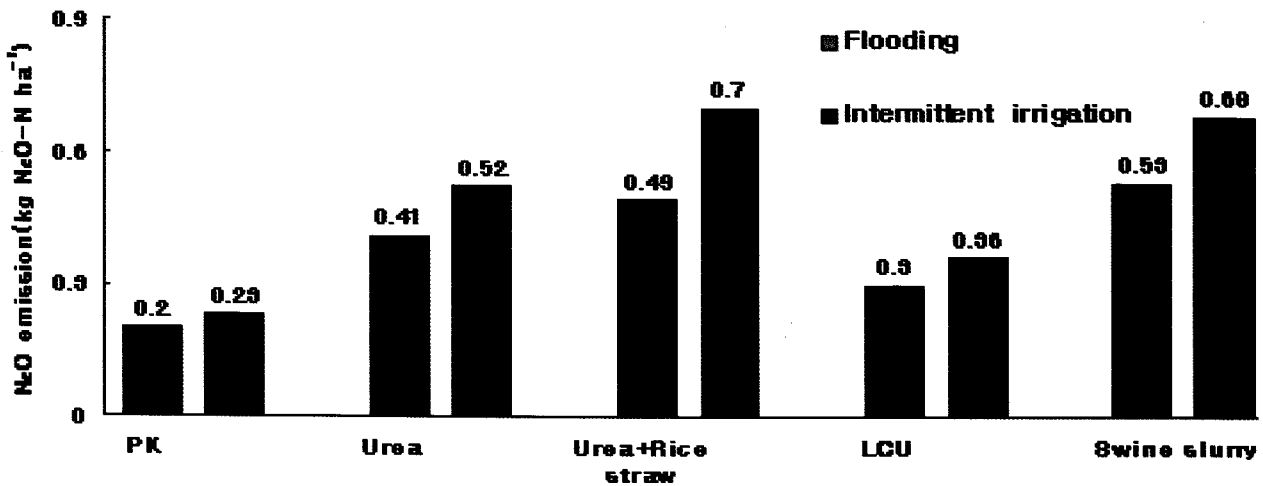


Fig. 6. Integrated nitrous oxide emission from paddy field under different water management.

Table 3. Total emission of GHGs converted by global warming potential (GWP)

Treatments	Methane emission (kg CH <sub>4</sub> /ha)	GWP <sup>(a)</sup> (kg CO <sub>2</sub> )	Nitrous oxide emission (kg N <sub>2</sub> O/ha)	GWP <sup>(b)</sup> (kg CO <sub>2</sub> )	GWP <sup>(a+b)</sup> (kg CO <sub>2</sub> )
<b>PK</b>					
Flooding	192.0	4,032.0	0.31	97.3	4,129.3
Intermittent irrigation	90.7	1,904.7	0.36	111.9	2,016.6
<b>Urea</b>					
Flooding	321.7	6,755.7	0.64	198.4	6,954.1
Intermittent irrigation	181.7	3,815.7	0.82	253.3	4,069.0
<b>LCU</b>					
Flooding	273.2	5,737.2	0.47	146.0	5,883.2
Intermittent irrigation	137.8	2,893.8	0.57	175.2	3,069.0
<b>Urea + Rice straw</b>					
Flooding	622.2	13,066.2	0.77	238.7	13,304.9
Intermittent irrigation	300.9	6,318.9	1.10	341.0	6,659.9
<b>Swine slurry</b>					
Flooding	741.4	15,569.4	0.83	258.2	15,827.6
Intermittent irrigation	427.3	8,973.3	1.07	331.4	9,304.7

은 것으로 나타났다.

**유기물 및 질소 비종별 아산화질소 (N<sub>2</sub>O) 배출 flux**

상시담수 (Fig. 4)와 간단관개 (Fig. 5) 처리의 아산화질소 배출 플럭스는 재배기간중 간단관개시 전체 처리구에서 중간낙수 기간 (7월3일부터 7월23일)을 제외한 그 외 기간의 배출양상은 거의 비슷한 흐름을 보였다. LCU 완효성비료구는 전생육기간을 통해 메탄 및 아산화질소 배출량이 낮았는데, 이는 완효성 질소비료는 질소의 유실 및 탈질을 경감시키고 생육 초기에 질소의 과잉 흡수를 억제하며 질소의 고농도 장해를 경감할 뿐만 아니라 보다 비료효율을 증진시키는 것으로 사료된다(Table 4). 완효성비료 시용과 아산화질소 배출에 대한 연구가 진행되고 있지 않아 앞으로 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. Firestone 등<sup>18)</sup>은 액비는 pH가 높고 NO<sup>3-</sup> 농도가 낮고 유기탄소를 공급하기 때문에 전량을 사용하면 탈질을 일으키며 N<sub>2</sub>O가 증가한다고 하였고, 그리고 McKenney 등<sup>30)</sup>은 혐기상태에서 생밀짚 사용량과 아산화질소배출량의 상

관관계에서 유의성이 높다고 하였다.

중간낙수기간 아산화질소 배출양상은 상시담수처리 (Fig. 4)보다 간단관개처리 (Fig. 5)에서 높았고 또한, 간단관개시 메탄배출량 (Fig. 2)에 비해서도 높은 배출을 보였다. 이는 Ogawa 등<sup>16)</sup>이 벼논의 물관리시 아산화질소 배출량은 메탄배출량과 부의 상관관계가 있다는 보고와 일치하였다. 아산화질소의 작기종합배출량을 물관리에 따라 처리별로 비교한 결과 (Fig. 6)를 보면, 메탄에 비해 아산화질소는 상시담수보다 간단관개에서 115~143%로 많이 배출되는 경향을 보여 메탄배출과는 반대현상이었다. 시비조건에 따라서는 상시담수와 간단관개에서 요소+생분질, 액비 그리고 요소 시비구에서 0.49~0.7, 0.53~0.68, 0.41~0.52 kg N<sub>2</sub>O-N/ha 순으로 많았고 완효성비료는 이들보다 배출량이 적었다 (0.3~0.36 kg N<sub>2</sub>O-N/ha).

**처리별 지구온난화잠재력 (GWP)과 비료이용효율**

메탄과 아산화질소의 총 배출량을 지구온난화잠재력 (GWP)으로 환산하여 비교한 결과는 Table 3에서 보는바와 같다.

Table 4. Yield and fertilizer use efficiency of rice from treatments

Treatments	N source (kg/ha)	Yield of unhulled rice(kg/ha)	*Fertilizer use Efficiency (FUE)
<b>P K</b>			
Flooding	0	4,605	-
Intermittent irrigation		4,646	-
<b>Urea</b>			
Flooding	160	5,525	5.8
Intermittent irrigation		5,694	6.6
<b>LCU</b>			
Flooding	160	7,603	18.7
Intermittent irrigation		7,685	19.0
<b>Urea + Rice straw</b>			
Flooding	185	6,276	9.3
Intermittent irrigation		6,312	9.3
<b>Swine slurry</b>			
Flooding	160	7,510	18.2
Intermittent irrigation		7,876	20.2

\*Fertilizer use efficiency (kg unhulled rice/kg of applied N):  
(Yield in respective treatment-Yield in PK) ÷ N fertilization rate.

IPCC에서 메탄은 21, 아산화질소에는 310을 곱하여 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등의 배출과 축적에 대한 순수지 (net balance)를 모두 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 상당량으로 표시하였다<sup>11)</sup>. 지구온난화잠재력은 물관리 조건에서 상시담수가 간단관개보다 171~208% 많았으며, 시비조건에 따라 배출량은 액비>요소+생볏짚>요소>LCU 완료성비료 순이었다. 그리고 일반적으로 간단관개가 메탄배출 저감에 크게 기여하나 간단관개시 아산화질소의 배출이 늘어난다고 보고되고 있고<sup>29)</sup> 또한 아산화질소는 이산화탄소의 310배에 이르러 무시할 수 없는 온실가스이지만 메탄과 아산화질소 배출량을 지구온난화잠재력으로 비교하면 벼논에서는 아산화질소가 메탄배출량 (1,904.7~15,569.4 kg CO<sub>2</sub>)에 비해 적게 배출 (97.3~331.4 kg CO<sub>2</sub>)되는 것으로 나타났다. IPCC 보고에 의하면, 온실가스배출을 비교할 때 각국의 벼 재배 당사국에서 가장 보편적으로 사용하는 비료와 상시담수를 기준으로 정하고 있으므로<sup>11)</sup> 요소를 사용하고 물관리를 상시담수로 한 것과 간단관개로 물관리하여 각 처리에 따라 온실가스 배출을 비교하면, 요소는 41.4%, LCU 완료성비료 55.8%로 온실가스 배출을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. Table 4는 각 처리별로 비료이용효율을 나타낸 것이다. 대조구에 비해 비료이용효율이 가장 높은 처리구는 LCU 완료성비료와 액비로 나타났으나, 온실가스 배출 저감차원에서 보면 LCU 완료성비료가 가장 좋은 것으로 나타났다.

## 요 약

물관리방법을 달리한 상시담수와 간단관개에서 메탄과 아산화질소의 배출 양상과 서로 다른 종류의 유기물원 및 질소

비료 시용에 따른 메탄과 아산화질소 배출을 비교하고 저감할 수 있는 방법을 찾기 위해 본 시험을 실시하였다. 물관리 방법으로는 상시담수 (이앙~출수 35일까지 담수)와 이앙 35일 이후 중간낙수한 간단관개 (중간낙수기간 20일), 그리고 시비방법으로는 토양을 검정한 시비량인 토양검정, 토양 검정시비량+벧짚, 돈분액비, LCU 완료성비료, 그리고 N을 사용하지 않은 대조구 등을 처리하여 메탄 및 아산화질소 배출량을 측정하였다. 메탄 배출량은 간단관개보다 상시담수에서 높았고, 아산화질소 배출량은 이와 반대로 나타났다. 유기물과 비료시용 종류에 따른 메탄과 아산화질소 배출량은 액비와 검정시비+벧짚시용구에서 가장 높았으며, LCU 완료성비료구에서 가장 낮았다. 지구온난화잠재력으로 환산한 온실가스 배출은 물관리 조건에서 상시담수가 간단관개보다 170~208% 높았으며, 요소를 사용하고 상시담수를 기준 한 것과 간단관개로 물관리하여 각 처리에 따라 온실가스 배출을 비교하면, 요소는 41.4%, LCU 완료성비료 55.8%로 온실가스 배출을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 비료이용효율은 LCU 완료성비료, 액비>검정시비+벧짚>검정시비 순이었다.

## 참고문헌

- Bronson, K. F. and Mosier, A. R. (1991) Effect of encapsulated calcium carbide on dinitrogen, nitrous oxide, methane and carbon dioxide emissions in flooded rice, *Biology and Fertility of Soils* 7, 116-120.
- Dickinson, R. E. and Cicerone, R. J. (1986) Future global warming from atmospheric trace gases, *Nature* 319, 109-114.
- Bachelet, D. and Neue, H. U. (1993) Methane emissions from wetland rice areas of Asia, *Chemosphere* 26, 219-237.
- Matthews, E., Fung, I. and Lemer, J. (1991) Methane emission from rice cultivation: Geographic and seasonal distribution of cultivated areas and emissions, *Global Biogeochem. Cycles* 5, 3-24.
- Yagi, K. and Minami, K. (1990) Estimation of global methane emission from paddy fields, *Res. Div. Environ. Planning* 6, 132-142, NIAES.
- Houghton, J. T., Callander, B. A. and Varney, S. K. (Eds) (1992) Climate change 1992 : The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge: Cambridge University Press.
- Houghton, J. T., Jenkin, G. J. and Ephraums, J. J. (Eds) (1990) Climate change : the IPCC scientific assessment. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crutzen, P. J. (1981) Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In *Denitrification, Nitrification, and Atmospheric Nitrous Oxide*, ed. C.C. Delwiche, p.17-44. John Wiley, New York.

9. CAST (1992) Preparing US agriculture for global climate change, Task Force Report. No. 119. P.E. Waggoner. Chair. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, IA, USA. p.96.
10. Houghton, J. T., Meira, Filho, L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg, A. and Maskell, K., (1996) Climate Change 1995 - The Science of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
11. IPCC (1996) Revised IPCC guideline for national greenhouse gas inventories : Reference Manual , revised in 1996. IPCC.
12. Freney, J. R., Denmead, O. T., Watanabe, I. and Craswell. E. T. (1981) Ammonia and nitrous oxide losses following application of ammonium sulphate to flooded rice, *Australian Journal of Agricultural Research* 32, 37-45.
13. Minami, K. (1987) Emission of nitrous oxide(N<sub>2</sub>O) from agro-ecosystems, *Japan Agricultural Research Quarterly* 21, 22-27.
14. Smith, C. J., Patrick, Jr. W. H. (1983) Nitrous oxide emission as affected by alternate anaerobic and aerobic conditions from soil suspensions enriched with ammonium sulfate, *Soil Biology & Biochemistry* 15, 693-697.
15. Partrick, Jr., W. H. and Reddy, C. N. (1977) Chemical changes in rice soils, In *IRRI Symposium on Soils and Rice*. International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines. p.361-379.
16. Ogawa, Y. and Minami, K. (1988) Effect of nitrogen enrichment in irrigation water on nitrogen balance in paddies, *Paddy soil Fert.* p.497-509
17. Iserman, K., (1994) Agriculture's share in the emissions of trace gases affecting the climate and some cause oriented proposals for reducing this share, *Environ. Pollut.* 83, 95-111.
18. Firestone, M. K., Davidson, E. A. (1989) Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil, In: Andreae, M. O., Schimel, D. S.(Eds.), *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. Wiley, New York, p.7-21.
19. Shin, Y. K. (1998) Green house gases, *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 31(S. 1), 133-136.
20. Shin, Y. K., Lee, Y. S., Yun, S. H. and Park, M. E. (1995) A simplified closed static chamber method for measuring methane flux in paddy soils, *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 28(2), 183-190.
21. Yagi, K., Tsuruta, H., Kanda, K., and Minami, K. (1996) Effect of water management on methane emission from a Japanese rice field : Automated methane monitorin, *Global Biogeochem. Cycles*, 10, 255-267.
22. Minami, K. (1994) Methane from rice production, *Fert. Res.* 37, 167-180.
23. 유철현 (1999) 벼 재배환경과 Latex과복요소 사용이 시비 효율에 미치는 영향. 원광대학교 박사학위 논문.
24. Cai, Z., Xing, G., Shen, G., Xu, H., Yan, X., Tsuruta, H., Yagi, K., and Minami, K., (1999) Measurements of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O Emissions from Rice Paddies in Fengqiu, China. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45(1), 1-13.
25. Chen, Z., Li, D., Shao, K. and Wang, B. (1993) Features of CH<sub>4</sub> emission from rice paddy fields in Beijing and Nanjing. *Chemosphere* 26, 239-246.
26. Yagi, K. (1991) Emission of biogenic gas compounds from soil ecosystem and effect of global environment. 2. Methane emission from paddy fields, *Soil and Fert. Japan* 62(5), 556-562.
27. Takai, Y., Koyama and Kamura, T. (1956) Microbial metabolism in reduction process of paddy soil(Part 1), *Soil and Plant Food* 2, 63-66.
28. Wang, Z. P., Delaune, R. D., Masscheleyn, P. H. and Patrick, Jr., W. H. (1993) Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil, *Soil Soc. Am. J.* 57, 382-385.
29. Lindau, C. W., Bollich, P. K. Delaune, R. D. and Law, V. J. (1991) Effect of urea fertilizer and environmental on CH<sub>4</sub> emissions from a Louisiana USA rice field, *Plant and Soil* 136, 195-203.
30. McKenney, D. J., Wang, S. W., Drury, C. F. and Findlay W. I. (1993) Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass, and corn residues, *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 57, 1013-1020.