

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명	연구분야	수행기간	연구실	책임자	
지구온난화에 따른 농업환경변동 대응 연구	농업환경	'08~'11	농업기술원 환경농업연구과	강창성	
벼 재배시 동계작물 연작에 따른 탄소흡수배출 수지 평가	농업환경	'09	농업기술원 작물개발과	원태진	
색인용어	기후변화, 고온적응, 이앙기				

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the characteristics of methane (CH₄) emission under the application of different type of nitrogen fertilizers, urea(Ur) and manure compost(MC) in paddy soil(Jisan series).

CH₄ emission showed the most in MC due to the faster decomposition, and since July 28 it became similar in every treatment.

CH₄ emission by nitrogen fertilizers showed in the order of MC 210 kg/ha-1 > Ur 199 > Control(No nitrogen) 175.

Total emission of GHGs in terms of global warming potential(GWP) was MC 4,830 kg CO₂/ha, Ur 4,568 and Control 4,036 respectively.

Rice yield showed in the order of Control 455.2 kg/10a > Ur 428.3 > Control(No nitrogen) 393.5.

Key words : Paddy, Methane, Urea, Manure compost

1. 연구목표

우리나라는 2007년 기준 세계 11위 에너지 소비국, 세계 9위 온실가스 배출국, OECD 국가 중 에너지 소비 증가율 1위 국가로서 제2차 온실가스 의무 감축대상국('13~'17)으로 선정될 가능성이 높다(에너지관리공단, 2009). 이제 우리나라의 기후변화대응 정책은 달라질 수 밖에 없어 감축의무를 수행함과 아울러 온실가스 배출에 관한 국가보고서를 매년 IPCC에 제출하여야 한다. 온실가스 배출량은 IPCC의 가이드라인에 의하여 산정될 수 있어 가이드라인에 의해 국가적 공동연구가 필요하다.

우리나라 농업부문 온실가스 배출량은 2007년 기준으로 3.0%를 차지하고 있으며, 이산화탄소의 경우 농경지에서는 토양과 대기사이의 이동은 많지만 flux는 거의 균형을 이루며, 따라서 농업에 의한 이산화탄소의 발생은 무시할 수 있는 정도로 평가되지만 메탄이나 이산화질소는 농업이 가장 큰 배출원이다.

대기 중 메탄에 대한 다양한 배출원의 하나인 논은 최근 세계적으로 그 재배면적이 늘어나고 있으며, 벼논에서 배출되는 메탄의 지구규모의 양은 20~150Tg/년(평균 60Tg/년)으로 이 양은 모든 배출원 중 약 5~30%에 해당한다고 하였다(김 등 2002). 수도체는 메탄배출의 중요한 역할을 한다. 엽신, 엽초, 줄기, 뿌리에 잘 발달된 통기조직은 대기와 혐기 토양 사이에 효율적인 gas 교환이 이루어지는 데 논 토양으로부터 생성된 메탄은 90%까지 수도체를 통하여 대기로 방출된다(Nouchi, 1994).

신 등(1995)이 簡易閉鎖靜態 chamber법(simplified closed static chamber method)을 고안하여 국내에서 실측에 기초한 메탄 배출정량과 외국학자들이 한국의 논토양에 대해 추정된 메탄 배출량을 비교하여 상시담수보다 간단관개시 47~70%까지 줄일 수 있다고 하였으며, 김 등(2002)은 유기물과 비료사용 종류에 따른 메탄과 이산화질소 배출량은 액비와 검정시비+벗짚시용구에서 가장 높았으며, LCU 완효성비료구에서 가장 낮았다고 하였다.

따라서, 본 연구는 논토양에서 화학비료와 대표적으로 많이 사용되고 있는 축분퇴비를 사용하여 메탄발생량을 조사하여 그 결과를 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 2009년 경기도농업기술원 논 포장(지산통)에서 수행하였다. 시험토양은 표 1에서와 같이 전국의 논토양 평균치(농과원, 2007)에 비해 본원포장은 OM, Av. P₂O₅, Ex-K 함량이 낮고 pH, Ex-Ca, Ex-Mg, Av. SiO₂ 함량이 높은 포장이었다. 시험에 사용한 축분퇴비는 돈계분 57%, 톱밥 40%, 광합성미생물 3%로 구성되어 있으며, 그 화학성은 표 2와 같다.

표 1. 시험전 토양화학성

pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cations(cmol/kg)			Av. SiO ₂ (mg/kg)
			K	Ca	Mg	
6.3	17.5	34	0.24	7.63	1.48	160

※ 벼 토양검정 시비량 : N-P₂O₅-K₂O=11.1-5.0-8.9kg/10a

표 2. 시험 재료의 화학성

	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	OM (%)	OM/N	Water content (%)
축분퇴비	1.53	1.22	1.05	37.1	24	46.2

처리내용은 토양검정 무질소, 토양검정 3요소처리, 토양검정 3요소+축분퇴비 등 3처리를 두었고, 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였으며, 축분퇴비는 벼 이앙 2주 전에 포장에 전면 살포하였다. 화학비료 사용량은 표 1과 같고, 축분퇴비의 사용량은 표 3과 같으며, 축분퇴비는 전량 기비로 사용하였다. 화학비료 3요소의 사용량은 작물별 시비처방 기준(농촌진흥청, 1999)에 의거 토양검정에 의한 시비 추천량으로 산출하였으며, N는 요소, P₂O₅은 용과린, K₂O는 염화칼리로 각각 사용하였다. 분시방법으로 질소는 기비 50%, 추비 50% 분시 하였으며, 인산은 전량 기비, 칼리는 기비 50%, 추비 50% 분시 하였다.

표 3. 처리내용 및 사용량 (단위 : kg/10a)

구 분	화학비료			축분퇴비 사용량
	질소	인산	加里	
토양검정 3요소	10.4	6.6	4.1	-
토양검정 3요소 + 축분퇴비	10.4	6.6	4.1	1.6

시험에 사용한 벼 품종은 추청벼로서 2009년 5월 20일에 30 × 14.5cm의 재식거리로 중묘를 이앙하였다. 토양과 혼합유기질비료 및 벼 식물체 분석은 토양 및 식물체 분석법(농과원, 2000)에 준하였다. 토양분석용 시료는 오가를 이용 토양을 채취한 후 음건하여 2mm 체를 통과시킨 것을 사용하였다. 토양분석은 농촌진흥청 토양화학분석법(2000)에 준하였으며, 벼 생육기간 중 표면수의 NH₄-N 함량

은 환경오염공정시험법(환경부, 2000)에 준하여 분석하였다.

벼의 생육 및 수량조사는 농사시험연구 조사기준(농진청, 1995)에 준하여 조사하였다.

벼 수확 후 현미중의 단백질과 아밀로스 함량 등은 비과괴성분분석기(AN-700, Kett, Japan)로 분석하였으며, 식미는 식미계(MA-30A, Toyp, Japan)로 백미를 측정하였다.

CH₄ 분석방법은 포장에서 簡易閉鎖靜態 chamber법을 이용하였으며, 설치된 chamber는 밀면적 0.36m²(0.6×0.6m)이고 높이가 1m인 투명한 polyacrylic plastic의 소재로 제작하였다. 메탄 배출을 측정하기 위한 시료는 주 2회, 오전 9시~12시에 60mL 주사기로 채취하여 분석하였다. 시료채취는 시료 채취를 시작할 때와 chamber 덮개를 닫고 30분 후 시료 채취가 끝날 때 chamber내 기온 및 지운을 기록하였고, chamber내의 유효체적은 물높이 따라 변하므로 시료를 채취할 때마다 유효높이를 기록하였다. 채취한 공기 시료의 메탄 기기분석은 Varian 450-GC로 하였으며, Detector는 메탄은 FID이고 분석조건은 표 4와 같다.

표 4. 메탄의 GC 분석조건

		CH ₄
Detector		FID
Column	Packing material	Porapak N(80/100)
	Materials	Stainless steel
	O.D.×length	1/8"× 2m
Carrier gas		N ₂
Flow rate		30mL/min
Temperature	Column	70°C
	Injector	80°C
	Detector	200°C
Retention time		0.63 min
Concentration of calibration gas		9.6 and 100 ppmv
Loop		2mL

3. 결과 및 고찰

가. 유기물 시용에 의한 메탄(CH₄)과 아산화질소의 flux

상시담수 시 메탄 배출의 주요인자로 알려진 유기물원에 의한 차이와 질소비료에 대한 메탄 배출에 대한 경시적 변화는 그림 1에서와 같다. 재배기간 중 상반기(7월 28일 전)에는 논 온실가스 자동측정

시스템 구축으로 온실가스 측정을 수행하지 못했으며, 7월 29일부터 측정을 시작하였을 때 축분퇴비 구에서 높은 배출을 보였으며, 그 이후에는 3처리 모두 비슷한 배출 경향을 보였다. 축분퇴비는 OM/N비율이 낮아 분해가 빠르기 때문에 메탄이 초기에 발생된 것으로 판단된다. Yagi(1996)와 Minami(1994)는 유기물의 메탄배출의 차이는 C/N율에서 기인된 것이라고 해석하였다.

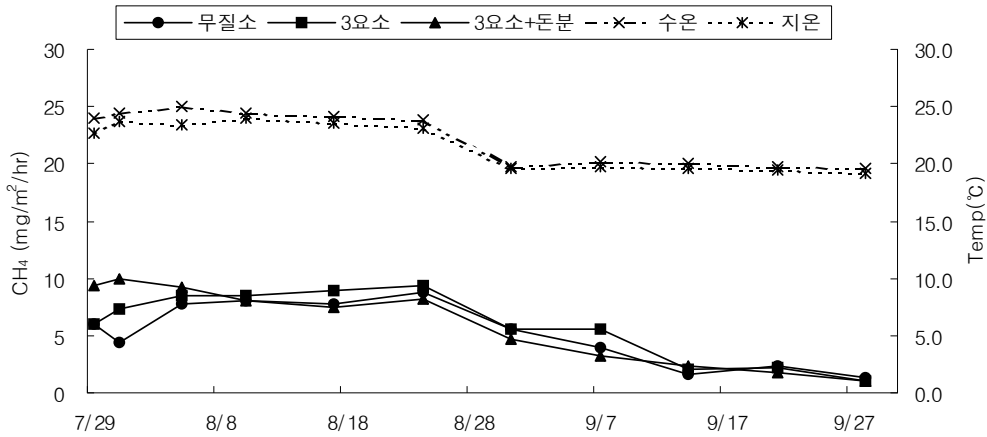


그림 1. 유기물 시용에 의한 수온, 지온 및 CH₄ Flux 변화

생육시기별 생육상황을 조사한 결과는 표 5와 같다. 토양검정 3요소와 축분퇴비 추가처리에서 초기 생육은 대등하였으나 축분퇴비의 분해지연에 의한 후기 생육은 축분퇴비 시용구에서 다소 증가하는 경향을 보였다.

표 5. 질소 시용에 의한 시기별 생육상황

처리내용	최고분얼기		유수형성기		출수기		
	초장 (cm)	경수 (개/주)	초장 (cm)	경수 (개/주)	간장 (cm)	수장 (cm)	수수 (개/주)
무질소	45.8	30.8	61.3	26.3	70.7	16.2	15.5
토양검정 3요소	46.8	33.2	63.3	28.5	75.5	17.8	16.2
토양검정 3요소+축분퇴비	46.8	33.2	63.3	28.5	76.7	17.5	17.2

나. 처리별 메탄/아산화질소 총배출량과 지구온난화잠재력(GWP)

처리별 총메탄배출량은 그림 3과 같이 ha당 무질소 175 kg, 토양검정 3요소 199 kg, 토양검정 3요소+축분퇴비 210 kg 순으로 높았다.

메탄의 총 배출량을 지구온난화지수(GWP)로 환산한 표는 6과 같다. 메탄은 23을 곱하여 이산화탄소 상당량으로 계산시 혼합유박 4,036 kg CO₂/ha, 토양검정시비 4,568 kg CO₂/ha, 축분퇴비 4,830 kg CO₂/ha 순으로 높았다.

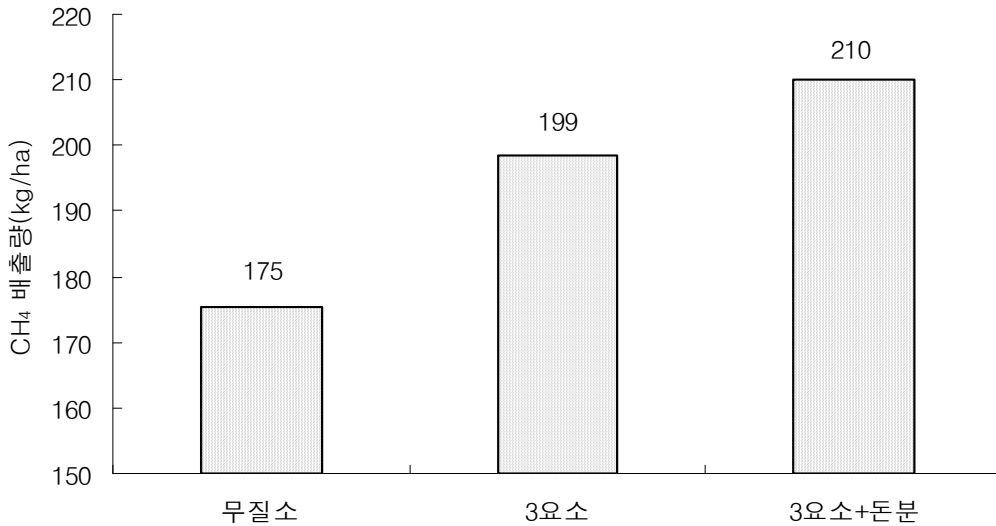


그림 3. 벼 생육기간 중 유기물 사용에 의한 CH₄ 총배출량

표 6. 처리별 메탄배출량을 지구온난화지수(GWP)로 환산한 온실가스 총배출량

처리내용	CH ₄	
	배출량 (kg CH ₄ /ha)	GWP (kg CO ₂ /ha)
무질소	175	4036
토양검정3요소	199	4568
토양검정3요소+축분퇴비	210	4830

다. 질소 시용에 의한 벼 미질, 수량구성요소 및 수량

질소비료 처리별 벼 미질 특성은 단백질함량, 아밀로스함량, 완전립율에서 처리간 통계적 유의차를 보이지 않았으며(표 7), 수량구성요소는 축분퇴비처리구에서 수수, 수당입수, 천립중, 등숙율이 낮아 쌀수량이 토양검정시비 455 kg/10a에 비해 축분퇴비시용구는 6% 감소하였다(표 8).

표 7. 유기물 시용에 의한 벼 미질 특성

처리내용	단백질* (%)	아밀로스 ^{ns} (%)	식미치 ^{ns}
무질소	5.7 b	17.7	75.0
토양검정3요소	6.2 a	18.0	73.6
토양검정3요소 + 축분퇴비	6.0 a	17.9	74.5

표 8. 유기물 시용에 의한 벼 수량구성요소 및 수량

처리내용	수수 (개/주)	수당입수 (개)	천립중 (g)	등숙율 (%)	쌀수량 (kg/10a)
무질소	13.7	56.3	22.6	94.1	393.5
토양검정3요소	17.3	56.5	23.2	94.9	455.2
토양검정3요소 + 축분퇴비	14.7	55.4	22.9	92.0	428.3
LSD(5%)	----- 26.9				
CV(%)	----- 2.8				

4. 적 요

본 연구는 논토양에서 화학비료와 함께 대표적으로 많이 사용되고 있는 축분퇴비를 사용하여 메탄 발생특성을 구명한 결과는 다음과 같다.

- 가. 메탄배출은 축분퇴비처리구에서 토양검정3요소구에 비해 7월 29일~8월 5일 생육초기까지 배출량이 높았으며, 8월 10일 이후에는 처리간 비슷한 배출 경향을 보였다.
- 나. 처리별 총메탄배출량은 ha당 무질소 175 kg, 토양검정 3요소 199 kg, 축분퇴비 210 kg 순으로 높았다.
- 다. 메탄의 총배출량을 지구온난화지수(GWP)로 환산한 결과(메탄배출량에 23을 곱함) 무질소 4,036 CO₂ kg/ha, 토양검정 3요소 4,568 kg CO₂/ha, 축분퇴비 4,830 kg CO₂/ha 순으로 높았다.
- 라. 쌀수량은 토양검정시비 455 kg/10a에 비해 축분퇴비시용구는 428 kg/10a로 6% 감소하였다.

5. 인용문헌

- 김건엽, 박상일, 송범현, 신용광. 2002. 논에서 물과 양분관리에 따른 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O) 배출 특성. 한국환경농학회지. 21(2) : 136-413
- 농촌진흥청. 1995. 3정 농사시험연구 조사기준.
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 1999. 작물별 시비처방 기준.
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법.
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 2003. 농업환경변동 조사사업 보고서.
- 농촌진흥청. 2005. 유기질 및 부산물비료 생산 및 판매현황.
- 농촌진흥청. 2008. 농업부문 기후변화 대응 전략 국제 심포지엄.
- 신용광, 이상수, 윤성호, 박무언. 1995. 논토양의 메탄 배출 측정을 위한 간이폐쇄정태 Chamber법. 한국토양비료학회지. 29(2) : 183-190.
- Ogawa, Y. and Minami, K. 1998. Effect of nitrogen enrichment in irrigation water on nitrogen balance in paddies. Paddy soil Fert. 497-509
- Yagi, K., Tsuruta, H., Kanda, K., and Minami, K. 1996. Effect of water management on methane emission from a Japanese rice field : Automated methane monitoring. Global Biogeochem. Cycles. 10 : 255-267
- Minami, K. 1994. Methane from rice production. Fert. Res. 37:167-180

6. 연구결과 활용제목

- 화학비료 3요소, 축분퇴비 논 시용시 메탄 발생특성 조사(2009, 기초활용)

7. 연구원편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도
						09
1) 재배시 동계작물 연작에 따른 탄소흡수배출 수지 평가	책임자	경기도원 작물개발과	농업 연구사	원태진	시료채취 및 연구총괄	○
	공동연구자	경기도원 작물개발과	농업 연구사	임갑준	생육조사	○
	공동연구자	경기도원 환경농업연구과	농업 연구관	강창성	토양분석	○
	공동연구자	경기도원 작물개발과	농업 연구관	조광래	자료분석	○