

과제구분	국책기술	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
농경지 메탄 배출계수 개발 및 배출량 평가		농업환경	'09~'12	국립농업과학원	정현철
유기물 시용량에 따른 벼논 메탄 배출계수 개발		농업환경	'09~'12	작물개발과	서재순
색인용어	메탄 배출계수, 벧짚, 논				

## ABSTRACT

Paddy rice cultivation is an important source of CH<sub>4</sub> that accounts for 20~26% of the global anthropogenic methane emissions to the atmosphere. Methane production resulted by the anaerobic decomposition of organic compounds where CO<sub>2</sub> acts as inorganic electron acceptor. This process could be affected by the addition of rice straw, water management and rice variety itself. This study was conducted to evaluate the effects of rice straw and plowing time on methane emissions during rice cultivation in 2010~2012. Rice (*Oryza sativa* L. *Japonica* type, var *Samkvangbyeo*) was cultivated in five plots: (1) Nitrogen-Phosphorus-Potassium (90-45-57 kg ha<sup>-1</sup>); (2) NPK plus Rice straw (3 Mg ha<sup>-1</sup>) (RS3); (3) NPK plus Rice straw (5 Mg ha<sup>-1</sup>) (RS5); (4) NPK plus Rice straw (7 Mg ha<sup>-1</sup>) (RS7). Rice straw was incorporated in last Nov. ; (5) NPK plus Rice straw (5 Mg ha<sup>-1</sup>) Rice straw was incorporated in Apr. CH<sub>4</sub> gas samples were collected using the closed static chamber method (Shin et al., 1995) in which eight rice plants were enclosed in a transparent polyacrylic plastic chamber with inner dimensions of 60x60x100cm. Three chambers were installed in each experimental plot of 152.9 m<sup>2</sup>. Gas samples were collected from 10:30 a.m. till noon, twice a week from June to October. RS7 treatment showed highest methane emission on middle of June and late of August and dropped drastically thereafter. RS5 plot showed a similar trend as a lower rate than RS7 plot. RS3 plot showed a similar trend as a lower rate than RS5 plot. The lowest rate of methane emission was shown in the NPK plot. It was found that incorporation of rice straw 3, 5, 7 Mg ha<sup>-1</sup> increased methane emission by 32, 77, and 157%, respectively, compared to that of the NPK plot. RS5 treatment of spring plowing showed more methane emission by 36% than of autumn plowing. And continuously flooded RS0 increased methane emission by 40% than of 3 weeks aeration. The average methane emission fluxes were 2.63kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> of RS3, 3.60 of RS5, 5.21 of RS7, and 2.03 of baseline emission factor.

**Key word** : Methane emission factor, Rice straw, Paddy rice

## 1. 연구 목표

2007년 기준 우리나라 농업분야 온실가스 발생량은 총 6억2천만톤 CO<sub>2</sub>-eq 중 2.9%인 1천8백만톤 CO<sub>2</sub>-eq을 차지하고 있으며, 이중 벼 재배에 의해 발생하는 양은 6백30만톤 CO<sub>2</sub>-eq으로 전체농업분야 배출의 34%를 차지하고 있다. 특히 논에서 벼 재배시 메탄은 가장 중요한 온실가스 배출원이며 아산화질소 및 이산화탄소 발생은 미미한 수준으로 알려져 있어, 온실가스 감축의 주목표가 메탄가스에 집중되고 있다(노 등, 2010).

한편 우리나라의 벼 재배면적은 2011년 854천ha로 (농식품부, 2012) 벼짚이 논에서 평균 ha당 5톤으로 약 4,270천톤의 벼짚이 생산된다. 논에서 생산되는 벼짚을 가축 조사료로 사용되는 양은 2,272천톤으로 전체 논에서 발생하는 벼짚 4,270천톤 중 약 53%가 조사료로 사용되고 있다 (농식품부, 2011). 벼짚을 토양에 환원하면 경도와 용적밀도가 낮았지고 공극률이 높아지는 등 토양물리성이 개선되는 효과가 있다(Jeong et al., 2001).

그러나 논에서 메탄가스발생의 탄소원이 되는 벼짚은 논토양에 시용하고 담수조건이 형성되면 혐기성 미생물인 메탄(CH<sub>4</sub>) 생성균에 의해 유기물이 분해되는 과정에서 메탄이 배출된다. CH<sub>4</sub>의 발생은 CH<sub>4</sub> 생성균의 기질이 되는 유기물, 토양의 산화환원전위, 토양 온도, 토양의 물리적 성질, 작부되는 식물 등에 의해 영향을 받는다 (Minami, 1993). IEA/OECD보고서(2006)에 의하면 토양의 형태적 분류에 따른 논토양의 CH<sub>4</sub> 배출량은 Entisol, Histosols, Alfisols, Vertisols, Mollisols의 순이었다고 보고하였으며, Ponnampetuma et al. (1972)은 CH<sub>4</sub> 생성이 유도되는 토양의 산화환원전위를 -250~-300 mV 범위라고 하였다. Yagi and Minami (1990)는 논토양에서 유기물이 CH<sub>4</sub> 배출에 미치는 영향 연구에서 약 6~9 Mg ha<sup>-1</sup>의 벼짚을 시용한 경우 화학비료 시용구에 비해 1.8~3.5배의 메탄이 증가된다고 하였다. 현재 우리나라는 IPCC 메탄배출계수를 인용하고 있어, 우리나라 고유의 메탄배출계수를 개발하기 위한 연구가 필요하다. 본 연구는 벼짚 시용량별과 벼짚 시용 후 경운시기별 및 물관리 방법에 따른 CH<sub>4</sub> 배출 특성을 조사한 결과를 보고하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구는 경기도 화성시 병점 중앙로 283-33번지에 위치하고 있는 경기도농업기술원 (위도 : 37°13'10.3", 경도 : 127°2'44.5")에서 수행하였다. 시험토양은 배수가 약간 불량한 지산토 (식양토)으로, 유효인산과 치환성칼륨 함량이 다소 낮은 토양이었다(표 1).

표 1. 시험전 토양의 이화학적 특성

pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. Cation(cmolc kg <sup>-1</sup> )			Av. SiO <sub>2</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Soil texture
			K	Ca	Mg		
6.4	24	53	0.21	9.5	2.3	134	Clay loam

처리내용은 볏짚을 ha당 3, 5, 7 Mg을 가을에 사용하여 추경하고 벼 재배기간중 상시담수한 처리, 볏짚 5 Mg ha<sup>-1</sup>을 가을사용 후 춘경하여 상시담수한 처리, 볏짚을 사용하지 않고 가을 경운한 후 상시담수한 처리와 볏짚 무사용 후 최고분얼기 이후 3주간 중간낙수한 처리 등 6처리를 두었다. 화학비료는 표준시비량인 3요소 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O= 90-45-57 kg ha<sup>-1</sup>)를 공통으로 시비하였다. N는 요소, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>은 용과린, K<sub>2</sub>O는 염화가리로 각각 사용하였고, 질소는 기비 50%, 분얼비 20%, 수비 30%로 분시하였으며, 인산은 전량 기비, 칼리는 기비 70%, 수비 30%로 분시하였다. 시험구 구당 면적은 5.6m×27.3m=152.9m<sup>2</sup> 로 단구제로 하였으며 시험품종은 삼광벼로 5월 19일에 30cm×14cm로 증묘로 기계이양하였다. 물관리는 수확 2주전까지 상시담수를 유지하였으며, 중간낙수 기간은 7월 1일부터 21일까지 이었다. 볏짚은 당해년도에 수확된 생볏짚을 사용량별로 토양에 환원하고 추경은 11월 초순에 경운하였고, 춘경은 이듬해 4월 초순에 실시하였다. 사용된 볏짚의 전질소 함량은 0.7%, 전탄소 함량은 47.7%로 탄질비는 68.1% 이었다.

CH<sub>4</sub> 분석을 위한 시료채취용 챔버는 Acryl로 제조한 가로 60cm, 세로 60cm, 높이 120cm로, 시험구당 3반복으로 설치하여 챔버내에 벼를 8주 이양하였다. CH<sub>4</sub> 분석용 시료는 오전 10시 30분부터 12시에 Mininert valve가 장착된 60 mL Polypropylene syringe를 사용하여 주 2회 채취하였다. 시료채취 방법은 30분간 챔버의 윗뚜껑을 닫자마자 1차로 채취하고 30분 경과 후 2차로 시료를 채취하였으며, 동시에 최초온도와 30분 후 온도를 기록하고 챔버의 유효체적은 논물로부터 챔버상단까지로 계산하였다. CH<sub>4</sub> 분석은 6 Port gas sampling valve가 장착된 GC-FID (Varian 450)로 분석하였다. Column은 Porapack N (80/100 mesh)가 충전된 1/8 "×2 m의 stainless steel tubing column를 사용하였으며, Carrier gas는 N<sub>2</sub>로 유속을 분당 30 mL로 조절하였다. CH<sub>4</sub>의 분석조건은 표 2와 같다.

표 2. 메탄분석을 위한 기기(GC) 분석조건

Detector		FID
Column	Packing material	Porapack N(80/100)
	Materials	Stainless steel
	O.D. × length	1/8" × 2 m
Carrier gas		N <sub>2</sub>
Flow rate		30mL/min
Temperature	Column	70℃
	Injector	120℃
Retention time		1.68 min

CH<sub>4</sub> 배출량은 1차, 2차 시료채취 전후의 가스포집장치내 CH<sub>4</sub> 농도의 변화, 가스포집장치내 기온의 변화, 시료채취에 소요된 시간, 가스포집 장치의 유효높이 등을 조사하여 아래와 같은 식에 준하여 계산하였다.

$$F = p \times V / A \times \Delta c / \Delta t \times 273 / T \quad \text{또는} \quad F = p \times h \times \Delta c / \Delta t \times 273 / T$$

p : CH<sub>4</sub>의 밀도를 고려한 변환계수 (mg m<sup>-3</sup>)

A : 가스포집장치의 바닥면적 (m<sup>2</sup>)

V : 가스포집장치내 공기의 체적 (m<sup>3</sup>)

h : 가스포집장치내 유효높이 (논물로 부터의 높이, m)

$\Delta c / \Delta t$  : 가스포집장치내 CH<sub>4</sub>농도의 평균증가속도 (ppmv hr<sup>-1</sup>)

T : 가스포집장치내 평균기온 (K), pCH<sub>4</sub> = 0.714 (T=273K)

토양분석은 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하였다. 토양의 산화환원전위 (Eh)는 백금전극을 토심 15cm 깊이에 묻고 Eh 미터 (Ecoscan, Eutech)을 이용하여 측정하였다. 토양 pH는 초자전극법에 의하여 pH meter (Orion 370, ATI)로 측정하였으며, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N은 Kjeldahl 법, 유효규산은 비색법으로 분석하였다. 치환성양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAC (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 유도결합플라즈마 발광광도계 (Integra XMP, GBC)를 이용하여 정량하였다. 현미 중의 단백질 함량은 비과괴 성분분석기 (AN-700, Kett)로 분석하였으며, 식미는 식미계 (MA-30A, Toyo)로 백미를 측정하였다. 벼의 생육 및 수량조사는 농사시험연구 조사기준 (RDA, 2003)에 준하여 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 유기물 시용량별 CH<sub>4</sub> 배출량

벼 재배기간중 상시담수 조건하에서 벅짚 시용량별로 토양 산화환원전위 (Eh), 지온, 수온 및 CH<sub>4</sub> 배출량을 경시적으로 조사한 결과는 그림 1과 같다. 토양 Eh는 벼 이앙 후 16일부터 음(-)의 mV값을 나타내어 CH<sub>4</sub> 배출이 시작되었으며, Eh가 낮고 수온과 기온이 높으면 CH<sub>4</sub> 배출량은 증가하고, 반대로 Eh가 높고 수온과 기온이 낮으면 CH<sub>4</sub> 배출량은 낮아지는 경향을 보였다. 벅짚 무시용에 비해 벅짚 시용량이 3, 5, 7 Mg ha<sup>-1</sup>으로 증가할수록 CH<sub>4</sub> 배출량도 증가되었다.

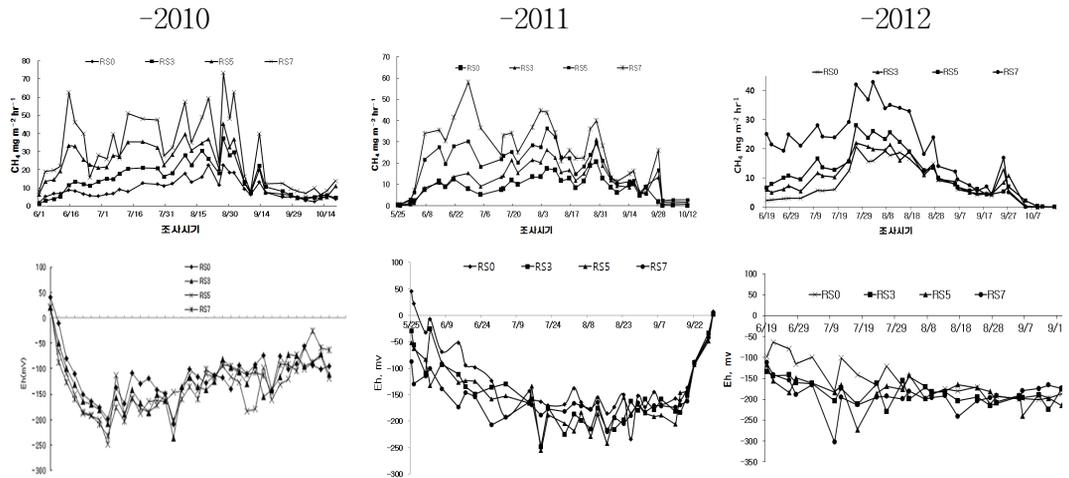


그림 1. 벼 생육기간 중 메탄배출량 및 토심 15cm의 산화환원전위의 변화

벼 생육기간 동안 CH<sub>4</sub> 총 배출량을 조사한 결과는 표 3과 같다. CH<sub>4</sub> 배출량은 벅짚 무시용구 2.03 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>에 비해 벅짚 3 Mg, 5 Mg, 7 Mg ha<sup>-1</sup> 시용구에서는 31.8%, 77.3%, 156.5% 각각 증가하였다. 일반적인 벅짚 시용수준인 5 Mg ha<sup>-1</sup>의 CH<sub>4</sub> 배출량 3.60 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>에 비해 벅짚을 무시용하면 CH<sub>4</sub> 배출량이 43.6% 저감되는 결과를 보였다. Kim et al. (2002)도 벅짚 5 Mg ha<sup>-1</sup>시용시의 CH<sub>4</sub> 배출량은 622.2 kg ha<sup>-1</sup>으로 벅짚을 무시용하면 48% 저감된다고 보고하였다.

표 3. 유기물 시용량별 메탄배출량 변화

Treatments	kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>				
	2010	2011	2012	평균	지수
RS 0M ha <sup>-1</sup>	1.14	2.07	1.99	2.03	100
RS 3Mg ha <sup>-1</sup>	1.87	2.95	2.41	2.68	132
RS 5Mg ha <sup>-1</sup>	3.31	4.39	2.81	3.60	177
RS 7Mg ha <sup>-1</sup>	4.40	6.06	4.36	5.21	256

#### 나. 경운시기별 CH<sub>4</sub> 배출량

당해년에 수확된 벅짚을 11월 초순에 5 Mg ha<sup>-1</sup> 시용하여 가을경운한 처리와 이듬해 4월 초순에 경운한 처리의 CH<sub>4</sub> 배출량을 조사한 결과는 그림 2와 같다. 가을경운 처리의 CH<sub>4</sub> 배출량은 8월 이전까지는 봄경운 처리에 비해 다소 낮은 패턴이었고, 반대로 8월 이후부터는 봄경운 처리에서 다소 증가하는 경향을 보였다. Ko et al. (2000)과 Kwun et al. (2003)은 봄경운에 비해 가을경운시 각각 24.1%, 25.5% CH<sub>4</sub> 배출이 저감되고, Ko et al. (1996)은 건답직파재배에서 파종직전 벅짚처리보다 파종 한 달 전 처리가 약 36% 정도

CH<sub>4</sub> 배출이 저감된다고 보고하였으며, 본 시험에서도 표 4에서 보는 바와 같이 봄경운에 비해 가을경운시 26.7% 감소되었다. 이러한 경향은 시용된 볏짚의 분해정도 및 재배양식의 차이에서 비롯된 것이라 생각된다.

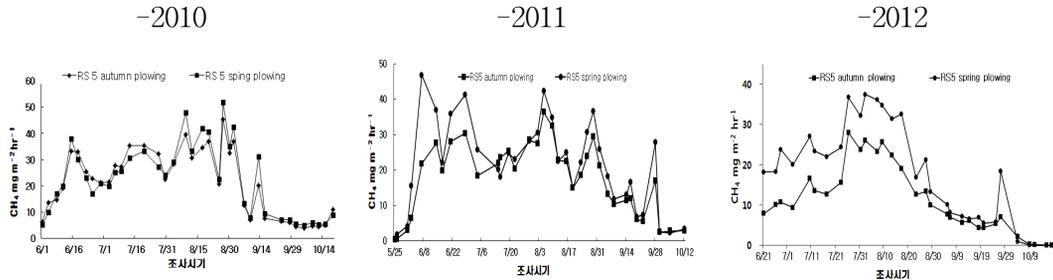


그림 2. 상시담수 논에서의 볏짚시용 후 경운시기에 따른 메탄발생량의 변화  
표 4. 볏짚시용 후 경운시기별 메탄발생량 변화

Treatments	kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>				
	2010	2011	2012	평균	지수
RS 5Mg ha <sup>-1</sup> +autumn plowing	3.31	4.39	2.81	3.60	100
RS 5Mg ha <sup>-1</sup> +spring plowing	3.26	5.45	4.38	4.92	136

#### 다. 물관리 방법별 CH<sub>4</sub> 배출량

볏짚을 시용하지 않고 7월 1일부터 21일까지 3주간 중간낙수한 처리와 상시담수를 유지한 처리구에서의 메탄 배출은 표 5, 그림 3과 같다. 상시담수구의 메탄 배출량은 중간낙수에 비해 다소 높은 경향을 보였다.

Yagi 등(1990)에 의하면 간단관개를 실시하면 상시담수에 비해 메탄 발생이 52~55%까지 줄어들고, Yagi와 Minami(1990)와 Sass 등(1992)은 한번의 물떼기로 배출량이 9.27g m<sup>-2</sup>에서 4.86g m<sup>-2</sup>로 50% 감소되었으며, 벼 성장기 중 여러번씩 단기간(2~3일)의 물떼기는 수량감소 없이 메탄 배출을 1.15g m<sup>-2</sup>로 감소되었으며, 윤 등(1997)은 상시담수에 비해 간단관개로 메탄배출이 37% 경감된다고 하였다. 그러나 본 시험에서는 그림 6에서 보는 바와 같이 3주간의 중간낙수 실시로 메탄발생이 28.4% 낮았다. 이와 같은 저감효과 차이는 벼 재배기간중의 강우가 메탄배출에 관여하지 않았나 생각된다.

표 5. 물관리 방법별 메탄발생량 변화

Treatments	kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>				
	2010	2011	2012	평균	지수
RS 0Mg ha <sup>-1</sup> + continuously flooded	1.14	2.07	1.99	2.03	100
RS 0Mg ha <sup>-1</sup> + 3 weeks aeration	0.97	1.72	1.19	1.46	72

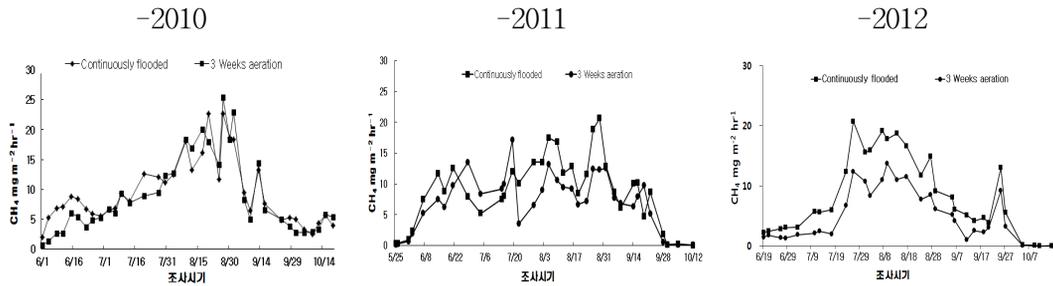


그림 3. 벼 생육기간 중 물관리 방법에 메탄배출량 변화

### 라. 유기물 시용량별 메탄 배출량과 지구온난화잠재력 (GWP)

벼짚 시용량에 따른 CH<sub>4</sub> 총 배출량을 지구온난화잠재력 (GWP, Global warming potential)으로 환산하여 비교한 결과는 표 6에서 보는바와 같다. IPCC에서 CH<sub>4</sub>은 23을 곱하여 CH<sub>4</sub>의 배출과 축적에 대한 순수지 (Net balance)를 모두 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 당량으로 표시하였다. GWP는 벼짚 무시용 6,543kg CO<sub>2</sub>에 비해 벼짚 3 Mg ha<sup>-1</sup>, 5 Mg ha<sup>-1</sup>, 7 Mg ha<sup>-1</sup> 시용구에서는 32%, 77%, 157% 각각 많았으며, 배출계수는 벼짚 무시용구 2.03 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>에 비해 3 Mg ha<sup>-1</sup>, 5 Mg ha<sup>-1</sup>, 7 Mg ha<sup>-1</sup>시용구는 각각 2.63, 3.60, 5.21kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>이었다.

표 6. 유기물 시용량별 메탄 배출량 및 지구온난화잠재력

Treatments	Emission factor (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	Total emission (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	GWP (kg CO <sub>2</sub> )
RS 0Mg ha <sup>-1</sup>	2.03	284.5	6,543
RS 3Mg ha <sup>-1</sup>	2.68	375.0	8,625
RS 5Mg ha <sup>-1</sup>	3.60	504.3	11,600
RS 7Mg ha <sup>-1</sup>	5.21	729.7	16,783

### 마. 경운시기별 CH<sub>4</sub> 배출량과 지구온난화잠재력 (GWP)

경운시기에 따른 CH<sub>4</sub> 총 배출량을 지구온난화잠재력 (GWP, Global warming potential)으로 환산하여 비교한 결과는 표 7과 같다. IPCC에서 CH<sub>4</sub>은 23을 곱하여 CH<sub>4</sub>의 배출과 축적에 대한 순수지 (Net balance)를 모두 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 당량으로 표시하였다. GWP는 춘경 15,842kg CO<sub>2</sub>에 비해 추경시 11,592kg으로 나타나 배출계수, 누적배출량 모두 27% 감소하여 온실가스 감축에 유리하였다.

표 7. 경운시기별 메탄 배출량 및 지구온난화잠재력

Plowing time	Emission factor (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	Total emission (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	GWP (kg CO <sub>2</sub> )
Autumn	3.60	504.0	11,592
Spring	4.92	688.8	15,842

**바. 물관리방법별 메탄 배출량과 지구온난화잠재력 (GWP)**

물관리 방법에 따른 CH<sub>4</sub> 총 배출량을 지구온난화잠재력 (GWP, Global warming potential) 으로 환산하여 비교한 결과는 표 8과 같다. IPCC에서 CH<sub>4</sub>은 23을 곱하여 CH<sub>4</sub>의 배출과 축적에 대한 순수지 (Net balance)를 모두 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 당량으로 표시하였다. GWP는 상시담수 6,537kg CO<sub>2</sub>에 비해 간단관개시 4,701kg으로 나타나 배출계수, 누적배출량 모두 28.4% 감소하여 온실가스 감축에 유리하였다.

표 8. 물관리방법별 메탄 배출량 및 지구온난화잠재력

Treatment	Emission factor (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	Total emission (kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	GWP (kg CO <sub>2</sub> )
Continuously flooding	2.03	284.2	6,537
Every 3weeks aeration	1.46	204.4	4,701

**사. 볏짚 시용량별 쌀 수량**

볏짚 시용량별 벼 수량을 조사한 결과, 유기물 5 Mg ha<sup>-1</sup> 시용구의 백미수량 522kg 10a<sup>-1</sup>에 비하여 무처리구는 3% 감소한 507kg 10a<sup>-1</sup>, 3Mg/ha 처리구는 4% 감소한 501kg 10a<sup>-1</sup>, 7Mg/ha 처리구는 3% 감소한 505kg 10a<sup>-1</sup> 이었으나 처리간 유의성은 없었다(표 9).

표 9. 유기물 시용량별 쌀 수량(2010~2012).

Treatments	Yield of milled rice(kg 10a <sup>-1</sup> )			
	2010 <sup>ns</sup>	2011 <sup>ns</sup>	2012 <sup>ns</sup>	Average <sup>ns</sup>
RS 0Mg ha <sup>-1</sup>	493	506	523	507(97)
RS 3Mg ha <sup>-1</sup>	477	489	536	501(96)
RS 5Mg ha <sup>-1</sup>	505	516	545	522(100)
RS 7Mg ha <sup>-1</sup>	465	519	532	505(97)

<sup>ns</sup> : not significant

## 4. 적 요

벼논에서 벧짚 시용량과 경운시기 및 물관리 방법에 따른 CH<sub>4</sub> 배출량을 평가하여 국가 고유의 CH<sub>4</sub> 배출계수를 개발코자, 2010년부터 2012년까지 3년간 벧 재배 시험한 결과는 다음과 같다.

- 가. 벧 생육시기별 CH<sub>4</sub> 배출량은 이앙 후 6월 중순까지는 완만히 상승하다 그 이후는 급격히 증가하여, 고온기인 8월 중순부터 하순에 최대에 달하였다가 다시 감소하는 경향이였다.
- 나. 벧 생육기간 중 ha당 CH<sub>4</sub> 배출량은 유기물 무시용+상시담수 2.03kg ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup> 대비 벧짚 3, 5, 7 Mg ha<sup>-1</sup> 시용구에서 각각 32%, 77%, 157% 증가하였다.
- 다. 벧짚 5 Mg ha<sup>-1</sup> 시용 후 가을경운시의 CH<sub>4</sub> 배출량 봄경운시 4.92kg ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>에 비해 26.7% 저감되었다.
- 라. 유기물 무시용+상시담수 대비 중간낙수시는 CH<sub>4</sub> 배출이 28.4% 저감되었다.
- 마. 쌀 수량은 벧짚시용량간 대차 없었다.
- 바. 유기물 시용량별 보정계수는 3Mg ha<sup>-1</sup> 시용시 1.32, 5Mg ha<sup>-1</sup> 1.77, 7Mg ha<sup>-1</sup> 2.57으로 IPCC 가이드라인에서 제시한 배출계수보다 낮았지만, 기본 배출량은 2.03kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>로 IPCC 2006 가이드라인에서 제시한 1.30kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> 보다 높았다.

## 5. 인용문헌

- IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- Sass, R.L., F.M. Fisher, Y.B. Wang, F.T. Turner, and M.F. Jund. 1992. Methane emission from rice fields : the effect of flood water management. *Global Biogeochem. Cycles*. 6:249-262.
- Yagi, K. and K. Minami. 1990. Effect of organic matter application on methane emission from some japanese paddy fields. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36:599-610.
- Jeong, J.H., B.W. Sin, and C.H. Yoo. 2001. Effect of the successive application of organic matters on soil properties and rice yields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(2):129-133.
- Kim, G.Y., S.I. Park, B.H. Song, and Y.K. Shin. 2002. Emission characteristics of methane and nitrous oxide by management of water and nutrient in a rice paddy soil. methane emission from rice fields. *Korean J. Envir. Agri.* 21:136-143.
- Ko, J.Y., H.W. Kang, and K.B. Park. 1996. Effect of water management rice straw and compost on methane emission in dry seeded rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(3):212-217.

Ko, J.Y. and H.W. Kang. 2000. The effects of cultural practices on methane emission from rice fields. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58:311-314.

Kwun, S.K., Y.K. Shin, and K.C. Eom. 2003. Estimation of methane emission from rice cultivation in Korea. *J. Envir. Sci. and Health*. 38:2549-2563.

Lindau. C.W., P.K. Bollich, R.D. Delaune, W.H. and V.J. Law. 1991. Effect of urea fertilizer and environmental factors on CH<sub>4</sub> emission from a Louisiana USA. rice field. *Plant and Soil*. 136:195-203.

Minami, K. 1993. Methane from rice production. *Res. Rep. Div. Environ. Planning*. 9:243-258.

Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*. 24:29-96.

노기안, 김건엽, 심교문, 정현철, 소규호, 이덕배, 박규현, 2010. 우리나라 농경지 온실가스 배출량 평가. 농촌진흥청.

농림수산식품부. 2011. 조사료 생산·이용 기술 교본.

윤성호, 신용광, 이경보, 고지연. 1997. 농과원 시험연구사업 보고서.

## 6. 연구결과 활용

- 온실가스 저감 위한 벼논 가을갈이 효과(영농활용)
- 온실가스 저감 위한 벼논 중간물떼기 효과(영농활용)

## 7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
						'09	'10	'11	'12
유기물 사용량에 따른 벼논 메탄 배출계수 개발	책임자	농업기술원 작물개발과	농업연구사	서재순	세부과제총괄				○
	공동연구자	작물개발과	농업연구사	최병열	과제수행				○
		"	농업연구관	조광래	과제수행		○	○	○
		환경농업연구과	농업연구사	원태진	과제수행		○	○	
		작물개발과	"	이진홍	과제수행		○	○	○
		"	농업연구사	임갑준	과제수행		○	○	
환경농업연구과	농업연구관	박중수	과제수행		○				
		작물개발과	"	박인태	시험자문				○