

Research Article

Open Access

## 볃짚 시용에 따른 벼 재배 논에서의 메탄 배출계수 개발에 관한 연구

주옥정,<sup>1\*</sup> 원태진,<sup>1</sup> 조광래,<sup>1</sup> 최병열,<sup>1</sup> 서재순,<sup>1</sup> 박인태,<sup>1</sup> 김건엽<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경기도농업기술원, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립농업과학원

### New Estimates of CH<sub>4</sub> Emission Scaling Factors by Amount of Rice Straw Applied from Korea Paddy Fields

Okjung Ju,<sup>1</sup> Tae-Jin Won,<sup>1</sup> Kwang-Rae Cho,<sup>1</sup> Byoung-Rourl Choi,<sup>1</sup> Jae-Sun Seo,<sup>1</sup> In-tae Park<sup>1</sup> and Gun-Yeob Kim<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, <sup>2</sup>National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration)

Received: 17 July 2013 / Revised: 30 July 2013 / Accepted: 11 September 2013

© 2013 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### Abstract

**BACKGROUND:** Accurate estimates of total direct CH<sub>4</sub> emissions from croplands on a country scale are important for global budgets of anthropogenic sources of CH<sub>4</sub> emissions and for the development of effective mitigation strategies. 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.

**METHODS AND RESULTS:** Rice (*Oryza sativa L. Japonica type, var Samkwangbyeon*) was cultivated in four plots: (1) Nitrogen-Phosphorus-Potassium (NPK) (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:90-45-57 kg/ha); (2) NPK plus 3 Mg/ha rice straw (RS3); (3) NPK plus 5 Mg/ha rice straw (RS5); (4) NPK plus 7 Mg/ha rice straw (RS7) for 3 years (2010-2012) and the rice straw incorporated in fall (Nov.) in Gyeonggi-do Hwaseong-si. Gas samples were collected using the closed static chamber which were installed in each treated plot of 152.9 m<sup>2</sup>. According to application of 3, 5, 7

Mg/ha of rice straw, methane emission increased by 46, 101, 190%, respectively, compared to that of the NPK plot.

**CONCLUSION(S):** We obtained a quantitative relationship between CH<sub>4</sub> emission and the amount of rice straw applied from rice fields which could be described by polynomial regression of order 2. The emission scaling factor estimated by the relationship were in the range of IPCC GPG (2000).

**Key words:** Greenhouse gas inventory, Methane emission, Organic amendment, Paddy fields, Rice straw

#### 서 론

인간 활동으로 인한 온실가스 배출의 증가는 기후변화 및 지구온난화를 야기하는 주된 원인으로 지목되었으며, 이에 온실가스 저감을 위한 범지구 차원의 노력이 필요하다는 인식이 확산되었다. 우리나라의 경우 온실가스 감축을 적극 주도하기 위한 노력의 일환으로써 지난 2009년 덴마크 코펜하겐 기후회의에서 '2020년 전량치 대비 30% 감축' 목표를 제시한 바 있다. 이러한 국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 무엇보다 국가의 온실가스 인벤토리를 정확하게 구축하는 것이 필수적이며 국가 고유의 온실가스 배출계수 등의 개발과 구축이 필요하다.

농업부문의 온실가스 배출량은 지구 전체 온실가스 배출

\*교신저자(Corresponding author)

Phone: +82-31-229-5787; Fax: +82-31-229-5962;

E-mail: okjung3@gg.go.kr

량의 10~14%를 차지하며, 농업부문에서 배출되는 메탄 배출량이 전체 메탄 발생량 중 40%로 농업이 가장 큰 배출원으로 평가되고 있다 (농진청, 2010). 농경지에서의 온실가스 배출은 IPCC Guidelines (1997)의 분류체계에 의해 크게 벼 재배에 의한 메탄 배출, 농경지의 아산화질소 배출, 작물잔사소각에 의한 온실가스 배출로 분류되며, 각종 영농활동은 다양한 경로를 통해 온실가스 배출에 관여한다. 벼 재배 논에서의 연 메탄 배출량 산정은 배출계수(일일배출량)에 재배기간과 수확면적을 곱해서 계산하며, 배출계수는 유기물을 사용하지 않은 상시담수 조건에서의 일일 메탄 배출량에 물관리(작기 중, 작기 전) 보정계수, 유기물 사용 보정계수(사용량 및 종류), 토성과 품종 등의 보정계수 곱으로 구한다 (IPCC Guidelines, 2006).

메탄의 생성기작은 메탄 생성균의 기질이 되는 유기물, 토양의 산화환원전위, 토양온도, 토양의 물리적 성질, 작부되는 식물 등에 의해 영향을 받는다고 알려져 있다 (Minami, 1993). 메탄 배출량은 지역과 측정시기에 따라 변동이 크며, 토양 특성과 온도, 물 관리 방법, 유기물이나 무기질 비료의 사용량, 벼 품종 및 재배기간에 따라서도 큰 차이가 있다 (Neue and Sass, 1994). 논에 담수토양에서 벼짚을 사용하면 혐기성 미생물인 메탄 생성균에 의한 유기물 분해과정에서 메탄이 발생하므로 유기물 사용은 메탄 배출에 큰 영향을 주는 인자 중 하나이다 (Jeong *et al.*, 2010). Yagi와 Minami (1990)는 논토양에서 약 6~9 Mg/ha의 벼짚을 사용한 경우 NPK 구에 비해 1.8~3.5배의 메탄 배출량이 증가되었다고 하였으며, 국내의 경우는 5 Mg/ha의 벼짚을 사용한 경우 NPK 구에 비해 약 1.4~1.9배 메탄 배출량이 증가되었다고 하였다 (Shin *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2002). 메탄 배출 특성에 영향을 미치는 유기물 사용방법 및 장기연용, 녹비작물 종류, 물관리 등에 관한 연구는 있으나 (Kwun *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2012; Jeong *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2002; Lim *et al.*, 2012; Roh *et al.*, 2010; Shin *et al.*, 1995; Shin *et al.*, 2003) 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 유기물 사용량에 따른 메탄 배출량 산정을 위한 연구결과는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 벼 재배 논에서 발생하는 온실가스 인벤토리 작성을 위하여 벼짚 사용량 4 수준의 처리구별 메탄 배출 특성을 3년 (2010~2012년)간 조사하여 벼짚 사용에 따른 벼 재배 논에서의 우리나라 국가 고유 온실가스 배출계수를 개발하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시험장소 및 시험방법

본 연구는 경기도 화성시 기산동에 위치한 경기도농업기술원의 벼 재배시험 포장 (37° 13' 16. 45" N, 127° 2' 21. 23" E) 에서 3년 (2010년~2012년) 동안 수행하였다. 시험 전 토양 중의 유기물 (OM) 함량은 Table 1에서와 같이 20 g/kg으로 벼 재배에 적당한 OM 함량 25~30 g/kg (농진청, 2006)에 비해 다소 낮았으며, 배수가 약간 불량인 식양토

이었다 (Table 1).

**Table 1. Physico-chemical properties of paddy soils before the experiment in 2010**

pH (1:5)	OM (g/kg)	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Exch. Cation (cmolc/kg)			Avail. SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	Soil texture
			K	Ca	Mg		
6.5	20	50	0.21	7.8	1.8	88	Clay loam

시험에 처리한 유기물은 생볏짚 (rice straw)으로 0 Mg/ha (RS0), 3 Mg/ha (RS3), 5Mg/ha (RS5), 7 Mg/ha (RS7)을 3년간 (2010년~2012년) 연용하였으며, 화학비료는 3요소를 벼 재배 표준시비량인 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=90-45-57 kg/ha을 공통으로 사용하였다. 볏짚은 시험년도 전년도에 수확된 생볏짚을 가을 (11월)에 콤바인으로 절단하여 토양에 사용 후 경운하였으며, 볏짚의 전질소 함량은 0.7 %, 전탄소 함량은 47.7 %로 탄소 대 질소 비(율)는 68.1이었다. 화학비료 처리의 경우 N는 요소, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>은 용과린, K<sub>2</sub>O는 염화加里로 각각 사용하였으며, N는 기비 50 %, 분얼비 20 %, 수비 30 % 분시하였고, 인산은 전량 기비, 칼리는 기비 70 %, 수비 30 % 각각 분시하였다.

시험구의 면적은 5.6 m × 27.3 m = 152.9 m<sup>2</sup>로 단구제로 배치하였으며, 구 당 메탄 포집용 챔버는 3반복으로 설치하였다. 시험에 사용한 벼 품종은 삼광벼로써 30 cm × 14 cm의 이앙거리로 증묘를 기계이앙 하였다. 물관리는 수확 2 주전까지 상시담수를 유지하였다.

### 메탄채취 및 분석방법

메탄 채취용 챔버는 Acryl로 제작된 가로, 세로, 높이가 각각 60 cm, 60 cm, 120 cm 이었으며 챔버내에는 묘가 정확히 3분씩 8주가 식재되도록 조절하였다. 메탄시료는 주 2회, 매회 오전 10시 30분부터 11시까지 Mininert valve가 장착된 60 mL Polypropylene syringe로 채취하였다. 채취 방법은 챔버의 윗 뚜껑을 단자마자 1차로 채취하고 다시 30 분경과 후 2차로 채취하였다. 그리고 시료 채취시 마다 온도와 눈물로부터 챔버 상단까지의 유효높이를 조사하였다. 메탄 분석은 6개 포트 가스 채취 밸브 (6 Port gas sampling valve)가 장착된 GC-FID (450GC, Varian)로 분석하였으며, column은 Porapak N (80/100 mesh)이 충전된 1/8" × 2 m의 stainless steel tubing column 이었고 운반기체 (carrier gas)는 N<sub>2</sub>로 유속을 분당 30 mL로 조절하였다 (Table 2).

**Table 2. Gas chromatographic analysis conditions for CH<sub>4</sub> measurement**

Detector		FID
Column	Packing material	Porapak 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°C
	Injector	120°C
Retention time		1.68 min

**메탄 배출량 계산**

메탄 배출량 (flux, F)은 아래 식 (1)에 의하여 계산하였다. 계산된 메탄 배출량을 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 당량으로 표시하기 위해서는 23을 곱하여 계산한다 (IPCC, 2001).

$$F = \rho \times V / A \times \Delta c / \Delta t \times 273 / T \text{ 또는 } F = \rho \times h \times \Delta c / \Delta t \times 273 / T \quad (1)$$

F : 단위시간 당 단위면적에서 배출되는 CH<sub>4</sub>의 양 (mgCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/hr)

ρ : 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>)

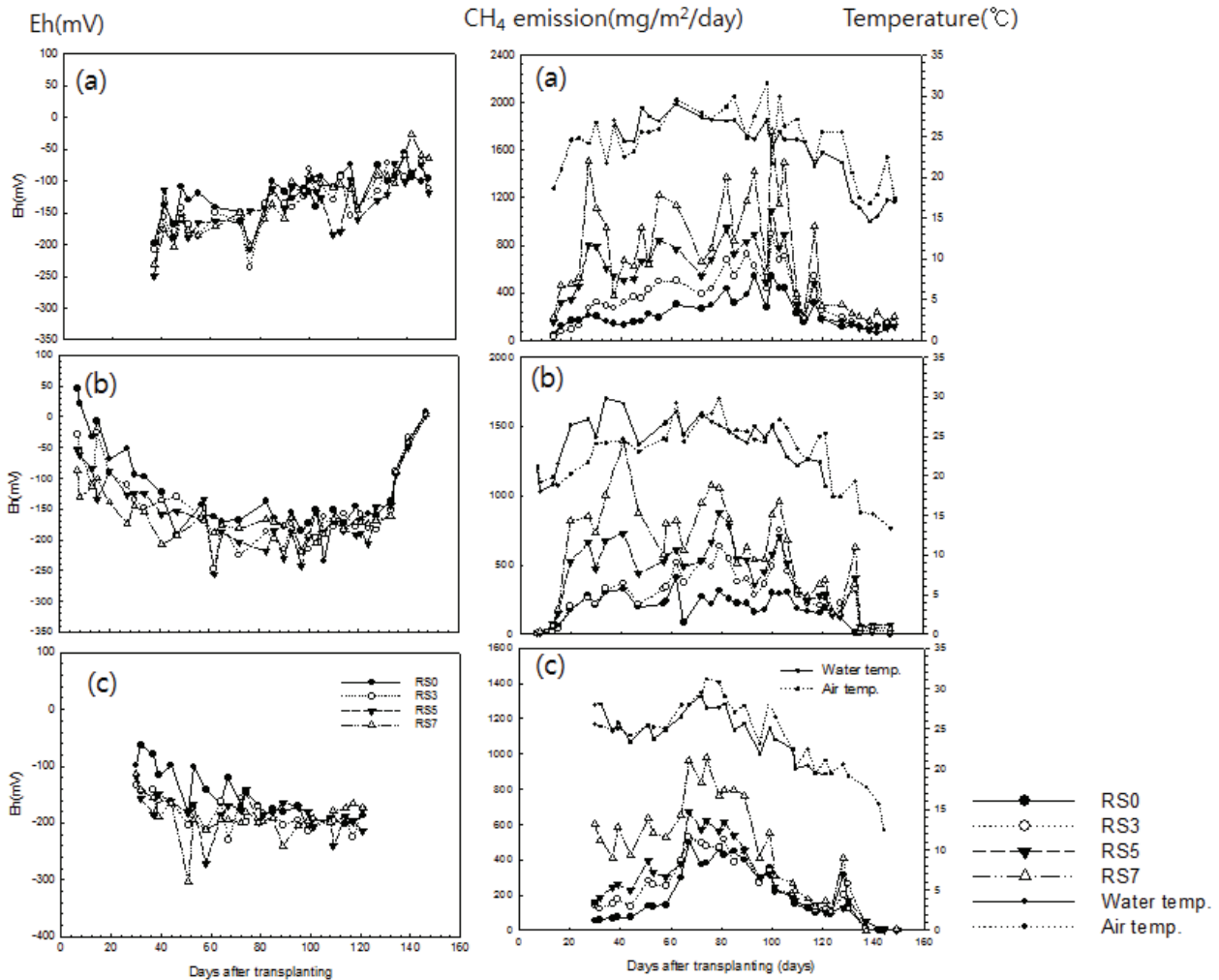
h : 가스포집장치내 유효높이 (논물로 부터의 높이, m)

Δc/Δt : 가스포집장치내 CH<sub>4</sub> 농도의 평균증가속도 (ppmv/hr)

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

**토양분석 및 기타 조사방법**

토양분석은 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하였다. 토양 산화환원전위 (Eh)는 백금전극을 토심 15 cm 깊이에 묻고 Eh 미터 (Ecoscan, Eutech)을 이용하여 측정하였다. 토양 pH와 EC는 초자전극법에 의하여 pH meter (Orion 370, ATI)와 EC meter (Orion 170, ATI)로 각각



**Fig. 1. Variations of soil Eh at a depth of 15 cm and daily changes of CH<sub>4</sub> flux, water and air temperature from flooded rice field in (a)2010, (b)2011, and (c)2012.**

측정하였으며, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다 (국립농업과학원, 2010). 치환성양이온은 1 N- NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 유도결합플라즈마 발광광도계 (Integra XMP, GBC)로 정량하였고, 유효규산은 1 N-NaOAc (pH 4.0) 완충용액으로 침출하여 비색계 (Cintra 40, GBC)를 이용하여 분석하였다. 벼의 생육 및 수량조사는 농사시험연구 조사기준 (RDA, 2003)에 준하여 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### 유기물 시용량별 메탄 배출량

Fig. 1은 벼 재배기간 동안 벼짚 시용량에 따른 토양 산화 환원전위 (Eh) 변화와 메탄 배출량과 수온 및 기온의 변화를 연도별로 나타낸 것이다. 담수토양에서 산소의 공급이 중단되면 혐기성 세균은 유기물 분해와 호흡을 위해 전자 수용체로서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mn<sup>4+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>2</sub> 순으로 이들을 이용하는데 메탄은 -100 mV 이하부터 생성된다고 한다 (Lindau *et al.*, 1991). 본 시험에서도 토양 Eh는 벼 이앙 후 16일부터 (2011년) 음의 값을 보임에 따라 메탄 배출이 시작되었으며, 벼 이앙 후 약 120일 (9월 중순)까지는 토양 Eh가 낮고 수온, 기온이 높을 때 메탄 배출량이 증가하였으며, 토양 Eh가 높고 수온, 기온이 낮으면 메탄 배출량은 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 1). 벼 생육시기별 메탄 배출량은 이앙 후 약 30일 (6월 중순)까지는 완만히 상승하다가 그 이후부터는 급격히 증가하여 고온기인 이앙 후 약 90일부터 110일 (8월 중순~하순)까지는 최대에 달하였으며, 이후 기온이 감소에 따라 배출량도 감소하는 경향이였다. 녹비 및 벼짚 등을 이용한 유기물 시용에 따른 메탄 배출 변화에 관한 다른 연구 (Denier and Nene, 1995; Kim *et al.*, 2002)에서도 이앙 후 약 40일부터

약 100일까지 메탄 배출량이 증가하는 등의 비슷한 양상을 보였다. 벼짚 시용에 따른 메탄 배출량은 벼짚 무시용구인 RS0 (0 Mg/ha rice straw)에 비해 RS3, RS5, RS7 처리구 순으로 벼짚의 시용량이 증가할수록 CH<sub>4</sub> 배출량이 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 1). 벼 재배 논에서 벼짚이 평균 10 a 당 500 kg 발생한다고 보고, 발생한 벼짚을 모두 논으로 환원한다면, 벼짚을 시용하지 않은 벼 재배 논 (RS0, 272.4 kg/ha)에 비해 메탄 배출량 (554.7 kg/ha)이 약 104 % 증가하는 결과를 보였다. Kim 등 (2002)도 벼짚 5 Mg/ha 시용 시 발생한 메탄 배출량 (622.2 kg/ha)이 벼짚을 무시용 (321.7 kg/ha)한 경우에 비해 약 93% 많이 배출되었다고 보고한 바 있다. 3개년 평균 일일 메탄 배출량은 RS0에 비해 RS3, RS5, RS7 처리구에서 각각 46 %, 101 %, 190 % 증가하였으며, 벼 이앙 후 약 140일 동안 측정된 연도별 메탄의 일일 발생량은 Table 3과 같다. 연도별 메탄의 배출량은 해마다 감소하는 경향이였으며, 벼짚 무시용 처리구에서의 메탄 배출량으로 나눈 벼짚 시용량에 따른 처리별 메탄의 배출량 변화율 (fractional increase; CH<sub>4</sub> emission from RS treated plots/CH<sub>4</sub> emission from RS0 plots)은 현저한 차이가 없었다. 벼짚 시용과 메탄 배출량 사이의 상관관계 분석을 위해 3년 평균 메탄 배출량과 벼짚 시용량과의 회귀분석 (Fig. 2)에서 도출한 식은 식 (2)와 같으며, 결정계수 (R<sup>2</sup>)가 0.999로 높은 상관관계를 보였다. IPCC GPG (2000)에서 제시한 유기물 시용에 따른 보정계수는 벼짚 시용량에 따른 처리별 메탄 배출량 변화율 (fractional increase)로 구할 수 있으며, IPCC GPG (2000)에서 제시한 보정계수와 본 연구 결과를 비교한 결과는 Table 4와 같다. 본 연구에서 구한 유기물 시용에 따른 보정계수는 IPCC GPG (2000)에서 제시한 보정계수 범위 안에 드는 것으로 나타났으나, 2010년 우리나라 벼

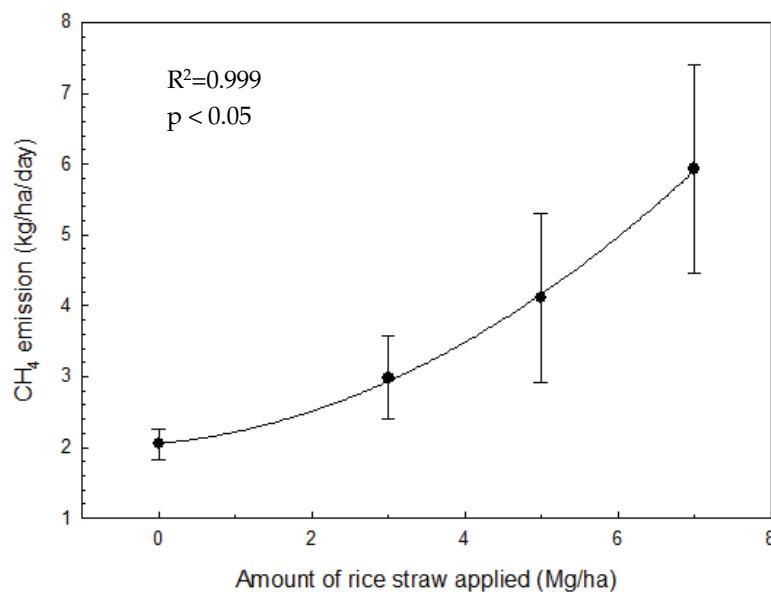


Fig. 2. Relationships between the daily CH<sub>4</sub> emissions and the amount of rice straw incorporation. Data points are means of three replicates with standard deviation of the mean.

**Table 3. Daily amount of CH<sub>4</sub> emitted in paddy fields and the fractional increase**

Year	2010		2011		2012	
	CH <sub>4</sub> emission (kg/ha/day)	fractional increase*	CH <sub>4</sub> emission (kg/ha/day)	fractional increase*	CH <sub>4</sub> emission (kg/ha/day)	fractional increase*
RS0	2.29	1.0	1.85	1.0	1.99	1.0
RS3	3.59	1.6	2.95	1.6	2.41	1.2
RS5	5.16	2.3	4.33	2.3	2.81	1.4
RS7	7.31	3.2	6.09	3.3	4.39	2.2

\*Fractional increase : CH<sub>4</sub> emission from rice straw treated plots/CH<sub>4</sub> emission from RS0 treated plots

재배 면 620,365 ha (농림어업총조사, 통계청)에서 평균 10 a 당 볏짚이 500 kg 발생한다고 보고, 발생한 볏짚을 모두 논으로 환원한다면, 우리나라 벼 재배 논에서 발생하는 메탄 배출량은 IPCC GPG (2000)에서 제시한 보정계수로 구한 경우 보다 약 5 % 낮게 산정되는 것으로 나타났다.

$$y = 0.0650x^2 + 0.0947x + 2.0613 \quad (2)$$

y : CH<sub>4</sub> emission (kg/ha/day)  
x : rice straw added (Mg/ha)

**Table 4. Comparison between IPCC and this study of scaling factors for amount of organic matter applied**

Reference	Amount applied as dry matter (Mg/ha)	Scaling factor (SFo)	Range
IPCC (2000)	1-2	1.5	1-2
	2-4	1.8	1.5-2.5
	4-8	2.5	1.5-3.5
	8-15	3.5	2-4.5
	15+	4	3-5
This study (2013)	1-3	1.2	1-1.4
	3-5	1.7	1.4-2.0
	5-7	2.5	2.0-2.9
	7+	3.4	2.9-4.0

**메탄 총배출량과 지구온난화잠재력 (GWP)**

볏짚 사용량별로 메탄 총 배출량을 지구온난화잠재력 (Global Warming Potential, GWP)으로 환산하여 비교한 결과는 Table 5와 같다. IPCC (2001)에서는 메탄의 배출과 축적에 대한 순수지 (Net balance)를 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 당량으로 표시하기 위하여 23을 곱하였다. GWP는 RS0 처리구 6,601 kg CO<sub>2</sub>에 비해 RS3 사용구 9,596 kgCO<sub>2</sub>, RS5 사용구 13,202 kgCO<sub>2</sub>, RS7 사용구에서는 19,095 kgCO<sub>2</sub>으로 나타났으며, 일일 메탄 배출량으로 나타낸 배출계수는 RS0 처리구 2.05 kgCO<sub>2</sub>에 비해 RS3, RS5, RS7 처리구에서 각각 46 %, 101 %, 190 % 증가하였다.

**Table 5. Total emission of CH<sub>4</sub> concerted by global warming potential (GWP)**

Treatments	Emission factor (kg/CH <sub>4</sub> /ha/day)	Total emission (kg/CH <sub>4</sub> /ha)	GWP (kgCO <sub>2</sub> )
RS0	2.05	287.0	6,601
RS3	2.98	417.2	9,596
RS5	4.10	574.0	13,202
RS7	5.93	830.2	19,095

**생육 및 수량**

이앙 후 60일의 초장과 분얼수 및 등숙기의 간장, 수장 등은 볏짚 사용량별로 차이 없이 대등한 수준이었으며 (Table 6), 찧수량과 천립중 등숙율 등도 생육과 같은 경향으로 볏짚 사용량간에 현저한 차이가 없으나 볏짚을 5 Mg/ha 사용한 RS5 처리구에서 수량이 가장 많이 나타나는 경향을 보였다 (Table 7).

**Table 6. Effects of rice straw on growth parameters of paddy rice**

Treatments	60 DAT*		Ripening period		
	Plant height (cm)	Tiller number	Culm height (cm)	Ear length (cm)	Ear number
RS0	62.9	19.3	73.3	20.8	15.0
RS3	60.5	20.7	72.8	21.0	15.5
RS5	61.0	20.8	72.0	22.2	15.0
RS7	62.8	21.0	75.1	21.3	16.0

\*DAT: Days after transplanting

**요 약**

벼 재배 논에서 발생하는 온실가스 인벤토리 작성을 위해 볏짚 사용량에 따른 메탄 배출 특성을 3년 (2010~2012년) 동안 조사하여 우리나라 국가 고유의 배출계수를 개발하였다. 볏짚은 ha당 0 Mg, 3 Mg, 5 Mg, 7 Mg 4수준을 3년 (2010~2012)간 가을에 연용하여 추경하였다. 화학비료는 3요소

**Table 7. Yield and yield components by application of rice straw**

Treatments	No. of panicle	No. of spikelets	1000 grain weight (g)	Ripened grain rate (%)	Milled rice yield (kg/ha)
RS0	10.7	103	22.6	95.8	4,928
RS3	11.0	106	22.6	94.4	4,773
RS5	10.7	112	22.9	94.9	5,053
RS7	11.0	103	22.9	95.8	4,654

(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 90-45-57 kg/ha)를 공통으로 사용하였으며, 물관리는 수확 2주전까지 상시담수를 유지하였다. 벼 생육시기별 메탄 배출량은 이양 후 약 30일까지 (6월 중순)는 완만히 상승하다가 그 이후부터는 급격히 증가하여 고온기인 이양 후 약 90일부터 110일 (8월 중순~하순)까지는 최대에 달하였으며, 이후 기온이 감소에 따라 배출량도 감소하는 경향이었다. 벼 생육기간 중 ha당 메탄 배출량은 볏짚 사용량이 증가됨에 따라 많아져 무시용구 2.05 kg/ha/day 대비 3 Mg/ha, 5 Mg/ha, 7 Mg/ha 시용구에서는 46 %, 101 %, 190 % 각각 메탄 배출량이 증가하였다. 볏짚 사용량에 따른 메탄 배출량 증가로 구한 상관관계를 통해 유기물 사용에 따른 메탄배출 보정 계수를 구하였다. 본 연구에서 구한 보정계수를 이용하여 벼 재배 논에서 평균 10 a 당 볏짚이 500 kg 발생한다고 보고, 발생한 볏짚을 모두 논으로 환원한다면, 우리나라 벼 재배 논에서 발생하는 메탄 배출량은 IPCC GPG (2000)에서 제시한 보정계수로 구한 경우 보다 약 5 % 낮게 산정될 수 있는 것으로 나타났다.

### Acknowledgment

This work was supported by Rural development administration (Project number: PJ00931501).

### References

Denier, H.A.C., Neue, H.U., 1995. Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field, *Global biogeochemical cycles*. 9(1), 11-22.

Jeong, J.H., Sin, B.W., Yoo, C.H., 2001. Effect of the successive application of organic matters on soil properties and rice yields, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(2), 129-133.

Jeong, H.C., Kim, G.Y., So, K.H., Shim, K.M., Lee, S.B., Lee, D.B., 2010. Assessment on Greenhouse Gas (CH<sub>4</sub>) Emissions in Korea Cropland Sector from 1990 to 2008, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6), 911-916.

Kim, G.Y., Park, S.I., Song, B.H., Shin, Y.K., 2002. Emission characteristics of methane and nitrous oxide by management of water and nutrient in a rice paddy soil, *Korean J. Envir. Agri.* 21, 136-143.

Kim, H.K., Kim, B.H., Kim, S.K., Kim, H.W., Park, J.D., Choi, K.J., 2012. The evaluation of methane emitted at paddy soil applied to organic matter while rice cultivated organically, *Korean J. Soil Sci. Fert. fall conference*. 273p.

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

Lim, S.S., Choi, W.J., Kim, H.Y., 2012. Fertilizer and Organic inputs effects on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> Emission from a Soil under Changing Water Regimes, *Korean J. Environ Agric.* 31(2), 104-112.

Lindau, C.W., Bollich, P.K., Delaune, R.D., Patrick, W.H., Law, V.J., 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.

Roh, K.A., J.H. Jeong, G.Y. Kim, K.H. So, K.M. Shim, D.B. Lee and Y.H. Kim., 2010. Estimation of Carbon Sequestration and Methane Emission with Organic Amendment Application at Agricultural Soil in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert. fall conference*. 156p.

Shin, Y.K., Lee, Y.B., Suh, J.S., 1995. Influence of Soil and Air Temperature on the Diel Change of Methane Emission in a Korean Paddy Soil incorporated with Rice Straw, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 28(3), 266-269.

Shin, Y.K., Lee, Y.S., Ahn, J.W., Koh, M.H., Eom, K.C., 2003. Seasonal Change of Rice-mediated Methane Emission from a Rice Paddy under Different Water Management and Organic Amendments, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(1), 41-49.

Shin, Y.K., Kim, G.Y., Ahn, J.W., Koh, M.H., Eom, K.C., 2003. Effect of rice vegetation and water management on turnover of incorporated organic materials to methane in a Korean paddy soil, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(1), 50-56.

Yagi, K., Minami, K., 1990. Effect of organic matter application on methane Emission from some Japanese paddy fields, *Soil Sci. Plant Nutr.* 36, 599-610.