

## IPCC 온실가스 산정지침 변화에 따른 농촌지역 벼 재배부문 배출량 및 배출특성 분석

박진선 · 정찬훈\* · 정현철\*\* · 김건엽\*\* · 이종식\*\* · 서교\*\*\*†

서울대학교 그린바이오과학기술연구원

\*서울대학교 국제농업기술대학원

\*\*국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

\*\*\*서울대학교 국제농업기술대학원, 서울대학교 그린바이오과학기술연구원

## Analysis of Changing for GHG Emissions and Regional Characteristics on Rice Cultivation by IPCC Guideline Improvements

Park, Jinseon · Jeong, Chanhoon\* · Jeong, Hyuncheol\*\* · Kim, Gunyeop\*\* · Lee, Jongsik\*\* · Suh, Kyo\*\*\*

*Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University*

*\*Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University*

*\*\*Division of Climate Change & Agroecology, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science*

*\*\*\*Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University, Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University*

**ABSTRACT** : IPCC Guidelines have been updated after the first official announcement to get more precise estimation of GHG emissions. The goal of this study is to evaluate the implications of the IPCC Guidelines improvements including equations of country-specific parameter values for estimating GHG emissions for rice cultivation on the agricultural sector. In addition, we analyze the effects of emission factors associated with organic amendment applications. The results of this study are as follows; (1) the total GHG emissions of rice cultivation based on 1996 IPCC GL are 28% lower than those estimated by 2006 IPCC GL with the same year data; (2) GHGs can be reduced up to 60% through the assumption of organic fertilizer applications; (3) Jeonnam and Chungnam are the worst regions for GHG emissions on rice cultivation and Chungbuk shows the highest reduction rate of GHG emissions, about 40%.

**Key words** : Rice Cultivation, Guideline Change, Regional Emission

### 1. 서 론

우리나라는 1993년 기후변화협약에 가입한 이래 비부속국가(non-Annex 1)로 분류되어 기후변화 적응에 관한

보고, 계획 수립, 이행과 같은 구체적인 감축 의무는 부여되지 않았으나, OECD 가입 이후 국제적 위상이 높아짐에 따라 온실가스 감축 의무에 대한 부담이 증대되고 있는 실정이다(Jeong et al., 2011). 또한 우리나라는 신기후체제(Post-2020)에서 2030년 BAU(Business As Usual) 대비 37%(UNFCCC, 2015) 감축 목표를 제시하고, 목표 달성을 위해 국가 산업을 총 7개 부문으로 분류하여 각 감축량을 할당하였으며, 2020년까지 농림어업부문도

Corresponding Author : Suh, Kyo  
Tel : 033-339-5810  
E-mail : kyosuh@snu.ac.kr

5.2%(1,484 천 톤 CO<sub>2</sub>-eq.)의 의무 감축량을 할당받아 온실가스 감축에 노력을 기울이고 있다(Ministry of Environment, 2014).

농업부문에서 배출되는 온실가스는 국가 전체 배출량의 약 3.2%로 온실가스 배출에 미치는 영향은 미미한 수준이나(Ministry of Environment, 2014), 식량 및 곡물 자급률 확보라는 국가 안보적 문제와 직결된 농업의 특성상 규모는 축소되더라도 지속되어야 할 산업이므로 온실가스 감축에 능동적으로 대응할 필요가 있다. 또한 농업부문 온실가스 배출량 중 가장 큰 비중을 차지하는 항목은 전체 배출량의 약 30%를 차지하는 벼 재배에 의한 부분으로(Ministry of Environment, 2015) 이에 대한 모니터링과 관리가 필요하다.

온실가스 산정에 기본이 되는 IPCC Guideline(GL)은 배출원을 구체화 하고, 산정 방법을 세분화 하여 1996 IPCC GL, Good Practice Guideline 2000, 2006 IPCC GL 등 지속적으로 산정 지침을 개선시켜 왔다. 이 중 1996 IPCC GL과 2006 IPCC GL의 궁극적인 차이는 배출원의 추가 또는 삭제, 기본 배출계수의 변화, 물 관리 단계 및 유기물 사용에 따른 보정계수의 추가 등을 들 수 있다. 하지만 모든 국가의 환경이 유사하지 않으므로 작물 재배 과정에서 나타나는 국가 및 지역적 특성을 반영한 보정계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산정한다. 따라서 보정계수가 달라짐에 따라 동일한 활동자료를 이용하여 온실가스 배출량을 산정하더라도 가이드라인 별로 상이한 값을 보일 수 있어 GL의 비교·분석이 필요하고, 지역적 특성을 반영하기 위한 연구가 요구되는 실정이다.

이에 따라 IPCC GL을 분석하고 가이드라인별 온실가스 배출량을 산정한 연구가 수행되었다. Jeong et al.(2010)은 우리나라 경종분야에서 발생하는 메탄가스 배출량을 1996 IPCC GL을 기반으로 산정하였다. 기본 배출계수는 농촌진흥청에서 개발한 2.37 CH<sub>4</sub> kg ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>를 적용하여 국내 실정을 반영하고자 하였으나, IPCC GL과 비교가 없어 GL의 차이를 분석하는데는 한계가 있었다. Lee et al.(2012)은 벼 생산 단계에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하고, 메탄 저감 기술을 비교 평가하였다. 온실가스 배출을 전과정 평가 기법을 이용하여 분석하였는데 의의가 있고, 벼의 품종에 따른 메탄 발생량을 제시하고, 메탄 배출계수가 낮은 품종을 육성할 것을 개진하였다. 이후 Jeong et al.(2015)는 2020년 이후 농업부문의 온실가스 배출량을 전망하고, 국가 온실가스 감축목표에 기여하기 위한 감축 잠재량 산정 연구를 수행하여 감축기술 적용에 대해 제고하였다. 지자체별 경종부문 온실가스 배출량 평가를 위한 연구도 수행되었다(Jeong et al., 2012). 지역별 배출량을 산정하

고, 1996 IPCC GL과 2006 IPCC GL을 비교 분석하였는데 의의가 있으나, 도단위 분석을 수행하여 지역별 특성을 구체화하는데 다소 한계가 있다.

이와 같이 농업부문 온실가스 배출량 평가에 대한 다양한 관점의 연구가 수행되었고, 감축기술에 대한 논의도 지속적으로 이루어지고 있다. 이와 같은 선행연구는 IPCC GL을 기반으로 농업부문의 온실가스 배출량 산정하고, 물 관리 및 시설 보안을 통한 감축방향을 논의하였고, GL의 변화에 따른 분석 및 주요 보정계수의 민감도 분석 등의 수행이 미비한 점이 있다. 또한 농경지를 다수 포함하고 있는 농촌지역의 발생 특성에 따른 현황 분석이 미흡하다는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 IPCC GL의 산정식과 계수 변화에 따른 벼 재배 부문 온실가스 배출량의 시계열적 변화를 분석하고 이를 바탕으로 농촌 지역의 벼 재배에 의한 온실가스 배출량 변화를 군 단위로 산정하였다. 분석 결과를 통해 산정방법의 변화가 온실가스 배출량 산정결과에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고 이를 통해 지역적 배출 특성에 대해 살펴보았다. 또한 배출계수 변화에 따른 온실가스 배출량 변화에 대한 민감도를 분석하여 벼 재배 부문의 온실가스 감축을 위한 대응 방안을 검토해 보았다.

## II. 연구자료 및 방법

### 1. 연구의 범위

농업부문은 축산과 경종 분야로 구성되며, 본 연구에서는 축산과 관련된 배출원을 제외한 벼 재배로 인한 메탄 발생량을 대상으로 온실가스 배출량을 산정한다.

지역별 배출가스 발생량 평가를 위해 도농 지역을 구분하였고 농촌지역은 군 지역으로 정의하였다. 광역시에 포함된 군 지역은 농촌지역으로 가정하여 배출량 산정에 포함한다. 본 연구에서 고려한 지역은 총 84개 군 지역으로, 재배면적은 통계청 제공 시군별 벼 재배면적 자료를 이용하였다. 물 관리에 따른 구분은 국가온실가스인벤토리 보고서에 수록된 분석 해당 연도의 상시담수 및 간단관개 비율과 면적의 곱으로 일괄 산정하였다.

### 2. 벼 재배에 의한 온실가스 배출량 산정방법

#### 가. IPCC 가이드라인에 따른 산정 방법

벼 재배에 의한 온실가스 배출량은 측정 지역과 물

관리 기법과 같은 영농 현황, 벼의 품종, 유기물 사용 유무 및 재배 기간 등에 차이가 커(Neue and Sass, 1994) IPCC에서는 벼 재배에 의한 메탄 배출량 평가를 위해 농경지 조건과 물 관리 기법에 따라 농지를 구분하고 그에 따른 배출계수를 제공하고 배출계수에 재배면적의 곱으로 산정한다.

1) 1996 IPCC 가이드라인에 따른 배출량 산정방법

1996 IPCC 가이드라인 산정식은 식(1)과 같이 배출계수에 재배면적의 곱으로 구성된다. 식(1)에서 EF는 기본 배출계수로 20g CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>로 정의하였고(IPCC, 1996), A는 재배면적으로 상시담수, 간단관개, 천수담 면적을 포함한다. 배출계수는 물 관리 방법 및 유기물 사용에 따른 보정계수를 적용하여 산정한다. 물 관리 방법은 상시담수, 중간 낙수(落水, aeration) 시행, 또한 유기물 사용에 관한 보정계수는 유기물 사용량과 상관없이 2.0으로 정의하여 적용한다.

$$CH_4 Rice_{1996} = EF \times A \times 10^{-12} \quad (1)$$

2) 2006 IPCC 가이드라인에 따른 배출량 산정방법

2006 IPCC GL은 1996 IPCC GL에 비해 보정계수가 구체화 되었고, 식(2)와 같이 재배면적에 수확횟수를 곱해 벼 재배 부문 메탄 배출량 산정식을 제시하고 있다.

$$CH_4 Rice_{2006} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-6}) \quad (2)$$

여기서, CH<sub>4</sub> rice는 연간 발생하는 메탄의 총량으로 기본 배출계수, 재배일수, 재배면적의 곱으로 산정한다. i, j, k는 각각 상시담수, 간단관개, 천수담에 대한 구분으로 물관리 방식을 의미한다. 식(2)에서 EF는 일간 발생하는 배출량 산정을 위한 배출계수로 기본 배출계수(EFC)에 농경지 조건에 따른 보정계수의 곱으로 산정되고 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$EF_i = EF_c \cdot SF_w \cdot SF_p \cdot SF_o \cdot SF_{s,r} \quad (3)$$

2006 GL에 따르면 기본배출계수 EFC는 1.30kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>로 개정 후 제시되어 있다(IPCC, 2006).

SFw는 작기 중 물 관리(Water regime during the cultivation period)에 따른 보정계수로, 담수를 하지 않는 밭(Upland)과 작물 재배 시 물에 잠기는 농경지(Lowland)로 구분한다. 밭은 담수로 인한 혐기성 미생물의 메탄

발생이 없는 지역으로 온실가스 산정에서 배제하고, 논은 물 관리 기법에 따라 용수의 유입 및 유출이 관리 가능한 관개지역과 용수 이용을 자연강우에 의존하는 천수담 지역으로 세분한다. 관개 지역은 상시담수지역과 작기 중 낙수를 시행하는 지역으로 구분하고, 다시 1회 시행 지역과 2회 이상 시행 지역으로 나뉜다. 천수담 지역은 재배 기간 중 50cm까지 담수하는 지역과(Regular rainfed) 상시 가뭄이 우려되는 지역(Drought prone), 50cm 이상 담수하는 지역(Deep water)으로 구분하여 각각의 보정계수를 적용한다.

SFp는 2006 IPCC GL에 처음 적용되는 개념으로 작기 전 물 관리 기법에 관한 보정계수로(Water regime before the cultivation period) 180일을 기준으로 작기 전 배수를 통한 건조 시행 여부와 작기 전 30일 이상 담수를 시행할 경우로 세분하여 각각 보정계수를 적용한다.

SFo는 유기물 사용(Organic amendments)에 따른 보정계수로 볏짚과 같은 유기물의 부숙기간과 퇴비, 가축분뇨, 녹비작물 사용에 따라 재분류 되고 식(4)와 같이 투입량과 계수의 조합으로 구성되어 있다.

$$SF_o = \left(1 + \sum_i ROA_i \cdot CFOA_i\right)^{0.59} \quad (4)$$

여기서 ROA(Rate of Organic Amendments)는 단위면적당 유기물 사용량을 의미하고, CFOA(Conversion Factor for Organic Amendments)는 유기물 종류에 따른 보정계수이며, 여러 종류의 유기물을 사용할 경우 각각의 곱을 합산하여 산정한다. 1996 IPCC GL에 따르면 SFo는 산정시 권고 사항으로 언급되고 있으나 구체적인 값이 제시된 바는 없고 2000년 IPCC에서 제안한 GPG 2000에서 유기물 사용에 따른 보정계수를 새로이 제시하고 있다.

SFs,r은 토양의 특성(Soil type)과 벼의 품종(Rice cultivar)에 따라 발생할 수 있는 온실가스 배출 특성을 고려한 보정계수이다. 2006 IPCC GL에서도 두 보정계수의 중요성을 강조하고 적용을 권고하고 있으나, 구체화된 계수를 제시하지 못하고 있는 실정이다.

나. 국가 온실가스 인벤토리에 따른 산정 방법

NIR에서 제시하는 벼 재배 부문 메탄 배출량은 2006 IPCC GL을 기반으로 산정된다. 작기 중 물 관리 방법에 따른 보정계수는 국가고유계수와 GPG 2000에서 제시하는 기본 계수를 적용하며, 유기물 사용량에 따른 보정계수는 국가고유계수를 적용하여 산정된다. 기본 산정식은 식(2)와 같이 기본 배출계수와 재배면적, 수확횟수의 곱으로 결정되나, 배출계수는 식(5)와 같이 작기 중 물 관

리 보정계수(SFw)와 유기물 시용에 따른 보정계수(SFo)만을 고려한다.

$$EF_i = EF_c \cdot SF_w \cdot SF_o \quad (5)$$

또한 기본 배출계수인 EFc의 값을 2014년 국가고유 배출계수로 승인받은 2.32kg CH<sub>4</sub> ha-1d-1을 적용하여 산정한다(NIR, 2015). 작기 중 물 관리에 따른 농경지 구분은 2006 IPCC GL과 동일하나 보정계수(SFw)는 국립농업과학원에서 개발하여 2014년 국가고유계수로 승인받은 값을 적용하고, 천수답은 상습가뭄으로 구분하여 GPG 2000에서 제시한 기본 계수를 산정에 반영한다. 유기물 시용에 따른 보정계수(SFo)는 국립농업과학원이 제공하는 우리나라 표준 볏짚 시용량인 6ton/ha를 적용하여 2014년 국가 고유 계수로 승인받은 2.5를 적용하도록 제시하고 있다.

### 3. 보정계수 적용에 따른 민감도 분석 방법

IPCC GL에서 제시하는 보정계수는 물 관리(SFw), 작기 전 물 관리(SFp), 유기물 시용(SFo), 벼 품종 및 토양 특성(SFs,r)에 따른 보정계수로 구성된다.

물 관리 보정계수(SFw) 민감도 분석은 상시담수와 간단관개에 대해 수행한다. 계수는 상시담수일 경우 1.00, 간단관개의 경우 0.60을 적용하고, 물 관리에 따른 면적이 주요 변수로 작용하여 면적 변화에 대한 민감도를 분석하였다. 면적 변화는 상시담수 면적이 10%-30%가 간단관개로 전환될 때를 가정하여 온실가스 배출량의 변화를 살펴보았다. 작기 전 물 관리 보정계수(SFp)는 국내 활동자료가 미 구축된 실정이기 때문에 IPCC에서 제공하는 범용적으로 적용 가능한 계수와 180일 이상 물떼기를 시행할 경우를 비교해본다. 유기물 시용에 따른 보정계수(SFo)는 유기물 종류 및 시용량에 따라 개별 산정식이 주어지 작기 전 30일 미만 볏짚 시용을 온실가스 배출량이 가장 많은 경우(Worst)로 가정하고, 녹비 시용의 경우(Normal)와 배출계수가 가장 작은 퇴비 시용의 경우(Best)로 나누어 민감도 분석을 수행하였다.

### 4. 농촌지역 온실가스 배출 특성 분석 방법

벼 재배에 의한 농촌지역 온실가스 배출량을 군단위로 산정하여 도시하고, 2000년과 2015년의 배출량을 바탕으로 배출량 감소속도를 식(6)과 같이 산출하였다.

$$Reduction\ Velocity = \frac{Emission_{2000} - Emission_{2015}}{\Delta T} \quad (6)$$

### 5. 활동자료 구축

벼 재배 부문 온실가스 배출량 산정을 위해 1990년부터 2014년까지 벼 재배 면적을 이용하였으며, 유기물 시용 면적은 농림수산식품통계연보(MIFAFF, 2014)와 국가 온실가스인벤토리 보고서(Ministry of Environment, 2015)에 수록된 유기물 시용 여부 별 벼 재배 면적 3년 평균치를 적용하였다. 또한 벼 재배면적은 물 관리 기법에 따라 상시담수, 간단관개, 천수답으로 세분되어 있고, 이를 기반으로 물 관리에 따른 보정계수를 산출하여 온실가스 배출량 산정에 반영하였다.

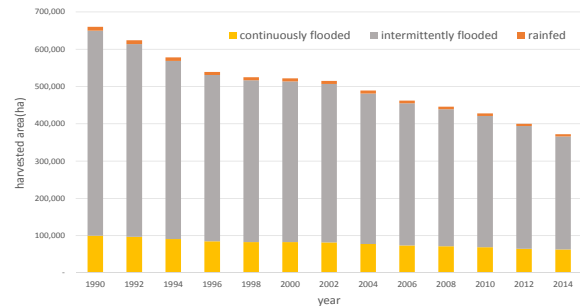


Figure 1. Rice harvest area from 1994 to 2014

## III. 결과 및 고찰

### 1. IPCC 가이드라인 및 국가온실가스 인벤토리 비교 분석

#### 가. IPCC 가이드라인 변화

1996 IPCC GL과 2006 GL은 기본 배출계수를 비롯하여 물 관리 계수에서도 큰 차이를 보이며 세부 내용은 Table 1과 같다. 1996 GL에서 제시한 기본 배출계수는 20 g CH<sub>4</sub> m-2yr-1으로 연간 발생하는 배출량을 고려하였으나, 2006 GL은 기본 산정식에서 재배일수를 적용하므로 일 단위 산정기준인 1.30kg CH<sub>4</sub> ha-1day-1을 제시하였다.

또한 2006 GL에서는 작기 전 경작지 담수여부에 따라 건조 기간이 180일 이하의 경우 1.00, 180일 이상일 때 0.68, 재배 개시 30일 이전에 담수할 경우 1.90을 적용하

도록 제안하고 있다. 또한 작기 전 물 관리 상태를 판단하기 곤란할 때 적용 가능한 계수는 1.22로 제시되어 있다. 논을 건조한 상태로 180일 이상 유지할 경우 적용되는 보정계수인 0.68보다 기본 계수인 1.22가 약 1.5배가량 큰 값으로 배출량 산정 시 과다한 결과를 보일 수 있다. 우리나라는 작기 전 물 관리 계수를 적용하지 않고 있으나, 향후 2006 IPCC GL을 기반으로 온실가스 배출량 산정을 위해서 작기 전 물 관리 방법에 따른 재배면적 통계가 요구되고, 그에 따른 보정계수의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

작기 중 물 관리에 따른 계수 변화는 1996 IPCC GL은 상시담수, 중간 낙수 1회, 중간 낙수 1회 이상으로 구분되고 물 관리 기법과 상관없이 범용적으로 적용 가능한 기본 계수는 제공되지 않는다. 2006 IPCC GL은 1996 GL에서 제시한 값보다 중간 낙수 1회의 경우 0.1, 1회 이상 시행의 경우 0.32가 크게 산정되어 제공된다.

또한 유기물 시용에 따른 배출계수의 변화는 1996 IPCC GL에서는 유기물을 시용할 경우 일괄적으로 2.0을 적용하도록 제시하였으나, 2006 IPCC GL에서는 볏짚 시용 기간에 따라 구분하고, 퇴비화 및 자급비료, 녹비 시용에 따라 배출계수를 달리 적용하도록 제시하고 있다. 작기

시작 30일 이전 볏짚 시용에 대한 계수가 1.0으로 메탄 배출이 가장 큰 것으로 제시되었고, 자급 비료 시용에 따른 계수가 0.14로 메탄 배출에 가장 적은 영향을 미치는 항목으로 제시되어 1996 GL에서 제안한 계수에 비해 세분화 되고 작은 값으로 제시되어 있다. 따라서 유기물 시용에 따른 배출량은 2006 GL을 따라 산정 할 경우 1996 GL에 의한 값보다 구체적이고 과다하게 평가된 부분을 개선할 수 있으나, 해당 지역의 시비하는 유기물 종류와 시비량에 따라 조사된 활동자료가 구축되어야 한다.

**나. 국가온실가스 인벤토리 보고서 변화**

국가온실가스 인벤토리 보고서(NIR)는 1996 IPCC GL을 기반으로 하고 있으나, 기본 배출계수는 국가고유배출계수를 개발하여 2013년까지 2.37Kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>을 적용하였고, 2014년 개정하여 2.32Kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하고 그 내용은 Table 2와 같다.

SFp는 작기 전 경작지 담수에 대한 보정계수로 2006 IPCC GL에서 처음 제시한 값이다. NIR에서는 아직 마련되지 않은 항목이나 차후 온실가스 배출량 산정이

Table 1. Categorical Factor Changing IPCC Guideline between 1996 and 2006

Category	Sub-category		Scaling Factors				
			1996 IPCC	2006 IPCC			
CH <sub>4</sub> Baseline emission factor			20 <sup>1)</sup>	1.30 <sup>2)</sup>			
Water regime before the cultivation period	Non Flooded pre-season <180d		NA	1.00	1.22 <sup>3)</sup>		
	Non Flooded pre-season >180d			0.68			
	Flooded pre season( >30d)			1.90			
Water regime during the cultivation period	Upland		None	None			
	Irrigated	Continuously flooded		1.00	1.00	0.78	
		Intermittently flooded	Single aeration		0.50		0.60
			Multiple aeration		0.20		0.52
	Lowland	Rainfed		0.80		0.27	
		Drought prone		0.40	0.25		
		Deep water	Water depth 50-100cm		0.80		0.28
Water depth>100cm			0.60	0.31			
Organic amendments	Straw incorporated shortly (<30d) before cultivation		2.00	1.00			
	Straw incorporated shortly (>30d) before cultivation			0.29			
	Compost			0.05			
	Farm manure			0.14			
	Green manure			0.50			
Soil type and Rice cultivar			NA				

1) unit: g CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>  
 2) unit: kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>day<sup>-1</sup>

Table 2. Categorical Factor Changing National Inventory Report from 2012 to 2016

Category	Sub-category	Scaling Factors						
		2012 NIR	2013 NIR	2014 NIR	2015 NIR	2016 NIR		
CH4 Baseline emission factor		2.37	2.37	2.32	2.32	2.32		
Water regime before the cultivation period	Non Flooded pre-season <180d	NA	NA	NA	NA	NA		
	Non Flooded pre-season >180d	NA	NA	NA	NA	NA		
	Flooded pre season( >30d)	NA	NA	NA	NA	NA		
Water regime during the cultivation period	Upland							
	Lowland	Continuously flooded	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		Intermittently flooded	Aeration (< 7d)	0.60	0.60	0.66	0.83	0.83
			Aeration (≤7d<14d)				0.66	0.66
			Aeration (>14d)				0.49	0.49
Drought prone	0.28	-	-	0.40	0.40			
Organic amendments	Straw incorporated shortly (<30d) before cultivation	2.00	2.50	2.50	2.50	2.50		
	Straw incorporated shortly (>30d) before cultivation							
	Compost							
	Farm manure							
	Green manure							
Soil type and Rice cultivar		NA	NA	NA	NA	NA		

2006 IPCC GL 기반으로 전환 될 때를 위해 적용 방안 에 대한 연구가 필요하다. 보정계수 개발 및 적용을 위 해서는 구체적인 활동자료의 수집이 필수적이며, 현재 수집되는 자료 중 이와 관련된 활동자료는 농림어업총 조사 지역조사표의 항목인 ‘모내기 준비기 물 관리’ 및 ‘수확 이후 논 관리’의 조사 내용을 근거로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

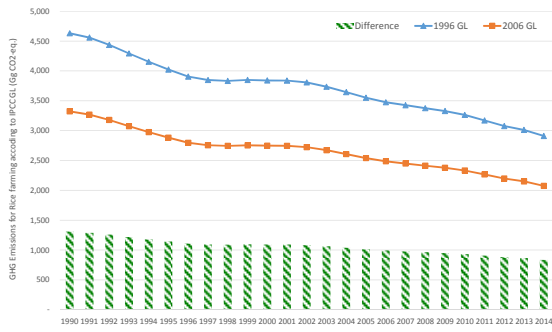
SFw는 작기 중 물 관리에 대한 내용으로 IPCC GL와 마찬가지로 상시답수, 간단관개, 천수답에 대한 계수를 제공하고 있다. NIR은 2013년까지 상시답수와 작기 중 1 회 낙수에 대한 값만 제시하였으나 2014년 개정 후 2015 년부터 IPCC와 동일한 기준으로 항목을 구분하고, 구체 적인 계수를 제시하여 온실가스 배출량 산정에 이용하고 있다.

SFo는 유기물 시용에 관한 보정계수로 2012년 산정식 에 1996 IPCC GL과 동일한 2.00을 제시하였고, 2013년 부터 2.50을 일괄 적용하여 산정하도록 제안하고 있다. NIR에서 제공하는 보정계수 2.00은 GPG 2000에서 제안 하는 유기물 시용에 따른 보정계수 산정식에 우리나라 농경지 유기물 표준 시용량인 6ton/ha를 적용하여 산출 하였고, 2013년부터는 표준 유기물 시용량을 증가시켜 보정계수를 산출하여 2.50을 적용하도록 개정되었다. 유 기물 시용에 따른 보정계수는 기타 보정계수에 비해 벼 재배에 의해 발생하는 온실가스 배출량 산정에 큰 영향

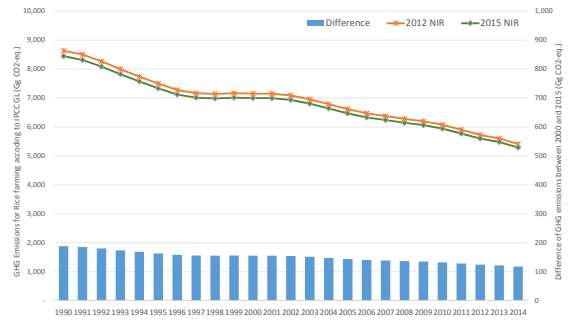
을 미칠 수 있는 항목이다. 하지만 유기물 시용은 생산 량 증대 및 토양 특성 개선과 같이 벼 재배에 유익한 영 향을 미치는 부분이므로 농가에 유기물 무시용을 제안하 기보다 유기물 종류 및 녹비작물 재배, 퇴비화와 같은 유기물 생성 과정의 적극적 관리를 통해 원활한 작물 생 산과 온실가스 감축 목표 달성을 위한 연구가 필요할 것 으로 판단된다. 또한 유기물의 종류 및 시용량에 따라 세분화 된 항목에 구체적 기준이 마련되지 않아 단일값 을 적용해 배출량이 과다 또는 과소하게 산정될 우려가 있어 국가 고유 계수 개발이 필요할 것으로 사료된다. 이와 관련한 활동 자료는 농림어업총조사에 2010년 신 설된 ‘논벼 유기비료’항목을 들 수 있다.

그러나 현행 조사 자료는 유기비료 시용 유무를 전제 로 시용 면적 조사에 국한되기 때문에 전체 농경지 중 유기물 시용 면적 비율을 정밀하게 산정하는데 효과적일 수 있으나, 단위 면적 당 시용량 조사가 이루어지지 않 고 있기 때문에 향후 2006 IPCC GL 기반의 온실가스 배출량 산정에는 다소 한계가 있을 것으로 보인다. 따라 서 농림어업총조사 항목에 현행 조사 중인 유기물 종류 와 시용 면적을 포함하여 시용량 및 유기물 생성 방법에 대한 항목을 추가 조사한다면 활동 자료의 활용성을 더 욱 증대시킬 수 있을 것으로 기대하며, 벼 재배에 의한 온실가스 배출량 산정의 불확실성을 더욱 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## IPCC 온실가스 산정지침 변화에 따른 농촌지역 벼 재배부문 배출량 및 배출특성 분석



(a) GHG emissions for rice cultivation according to IPCC GL



(b) GHG emissions for rice cultivation according to NIR

Figure 2. Results of GHG emissions for rice cultivation according to IPCC GL and NIR

벼 품종 및 토양 특성에 따른 보정계수(SFs,r)는 재배 지역의 기상 및 토양의 물리·화학적 특성이 직접적으로 반영되는 계수이므로 국가고유배출계수의 정립이 필요하다.

### 2. 벼 재배에 의한 온실가스 배출량 산정 결과

#### 가. IPCC 가이드라인에 따른 산정 결과

우리나라 벼 재배 부문 온실가스 배출량을 IPCC 가이드라인에 따라 산정하여 Fig. 2(a)와 같이 변화 추이를 살펴보았다. 1996 IPCC GL과 2006 IPCC GL의 계수 변화를 반영하여 산정하였다.

1996 GL에 따른 벼 재배에 대한 온실가스 발생 산정 결과는 1990년 4,630Gg CO<sub>2</sub>-eq.로 산정되었고, 온실가스 배출량은 지속적으로 감소하여 2000년 3,841Gg CO<sub>2</sub>-eq. 2014년 2,911Gg CO<sub>2</sub>-eq.까지 감소된 것으로 나타났다. 이는 기존 연구 결과에서 제시된 바와 같이 벼 재배 면적 감소에서 기인한 것으로 생각된다.

2014년 온실가스 배출량 산정 결과는 1990년 대비 약 37% 감소된 것으로 벼 재배 면적 감소율 34.6%와 비슷한 경향을 보였다. 1996 IPCC GL은 벼 재배 면적과 배출계수의 곱으로만 산정하고 있기 때문에 온실가스 배출량은 재배 면적 변화에 절대적인 영향을 받고 있으나, 2006 IPCC GL은 물 관리 기법 및 유기물 시용에 따른 보정계수를 조건에 따라 달리 제시하고 있어 재배 면적 감소뿐만 아니라 영농 기법 관리에 따라 온실가스 감축을 견인할 수 있을 것으로 사료된다.

2006 IPCC GL에 따라 벼 재배 부문 온실가스 산정 결과는 1990년 3,323Gg CO<sub>2</sub>-eq.에서 2000년 2,749Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 감소하였고, 2014년 2,076Gg CO<sub>2</sub>-eq.까지 감

소하였다. 이는 2006 IPCC GL에 따른 배출량은 천수답에 대한 물 관리 보정계수가 0.40에서 0.25로 감소하였고, 작기 전 물 관리에 따른 보정계수를 새로이 도입하여 재배 전 180일 이상 물대기를 시행하지 않는 경우를 적용할 때 작기 전 물 관리를 고려하지 않을 때 보다 0.32 감소한 0.68을 적용함으로써 온실가스 배출량이 감소하는 경향을 보였다.

IPCC GL 변화에 따라 산정한 자료를 비교하면 동일한 면적에 대해 2006 IPCC GL이 약 28.2% 감소하였고, 이는 1996 IPCC GL에 비해 보정계수가 세분화되고 정밀해짐에 따라 과도하게 산정되었던 온실가스 배출량이 감소되어 산정 결과의 정확도를 증대시킬 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 새롭게 도입된 작기 전 물 관리 및 유기물 시용과 관련한 보정계수의 원활한 적용을 위해서는 활동자료의 수집이 바탕이 되어야 하고, 영농 기법에 따라 보정계수의 편차가 크게 나타나기 때문에 온실가스 저감을 위한 영농 방향을 설정하여 농민의 참여를 유도할 필요가 있다.

#### 나. 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 따른 산정 결과

NIR을 기반으로 산정한 벼 재배 부문 온실가스 배출량 변화는 Fig.2(b)와 같이 도시하였다. 2012년과 2015년 NIR산정 지침의 변화는 Table 2에서 살펴 본 바와 같이 기본 배출계수가 소폭 감소하였고, 작기 중 물 관리 계수가 세분화 된 점을 들 수 있으나, 간단 관개에 의한 벼 재배 면적이 증가하고, 물 관리에 대한 활동 자료 또한 구체화되어 2012년 간단관개에 적용한 보정계수 0.60이 2015년에는 같은 항목인 0.83을 적용하는 것이 아니라 2회 이상 낙수일 때 값인 0.66을 반영하여 실제 산정에 적용한 값에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이

에 따라 온실가스 배출량 변화 추이는 벼 재배 면적 감소 추이와 유사하게 나타났고, 벼 재배 면적이 온실가스 배출량 산정에 절대적인 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

2012년 NIR을 기준으로 산정한 온실가스 배출량은 1990년 논 면적에 대해 8,635Gg CO<sub>2</sub>-eq.로 산정되었고, 2014년 5,410Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 감소한 것으로 나타났다. 2015년 NIR 기준으로 살펴보면 1990년 논 면적에 대해 8,447Gg CO<sub>2</sub>-eq.로 산정되었고, 2014년 5,292Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 감소하였다.

현행 NIR은 1996 IPCC GL을 기반으로 산정식이 마련되어 있으나, 향후 2006 IPCC GL을 기반으로 한 산정 방법으로 전환될 때를 대비해 작기 전 물 관리에 대한 보정계수 마련과 유기물 시용에 관한 보정계수의 세분화가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 유기물 시용에 관한 보정계수는 농림어업총조사 등 활동자료를 기반으로 유기물 시용 유무에 따른 논 면적의 정량적 평가가 선행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 유기물 생성방법과 시용량에 관한 지역별 활동자료 수집을 통해 산정한다면 해당 지역의 특성 반영과 현실 설명력을 개선시킨 온실가스 배출량 산정 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

### 3. 보정계수 적용에 따른 민감도 분석

#### 가. 물 관리 보정계수에 따른 민감도 분석

작기 중 물 관리에 따른 보정계수(SFw)의 민감도를 분석하기 위해 2014년을 기준으로 상시답수 면적 중 일부를 간단관개로 전환하여 온실가스 배출량 변화를 살펴 보았다. 상시답수 면적의 10%를 간단관개로 전환할 경우 2,076Gg CO<sub>2</sub>-eq.에서 2,055Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 1.02% 감소하였으며, 상시답수 면적이 20% 전환 될 경우 2.04%의 감소율을 보여 면적 변화에 따른 직관적인 감소율을 예측할 수 있었다. 본 연구에서는 동일한 면적이 전환된 것으로 가정하여 감소율이 일정한 비율로 변동하지만, 물 관리 정책 또는 기반시설의 활용에 따라 감소율은 다양하게 나타날 수 있을 것으로 보인다. 또한 간단관개를 1회 물떼기와 2회 물떼기에 따른 세분화된 활동자료가 구축된다면 더욱 정밀한 온실가스 배출량을 산정 할 수 있을 것으로 판단된다.

작기 전 물 관리에 따른 보정계수(SFp)는 2006 IPCC GL에서 처음 제시한 보정계수로 국내 관련 활동자료는 아직 미 구축 상태이다. 본 연구에서는 계수의 민감도 분석을 위해 작기 전 180일 이상 논을 건조시키는 경우

보정계수 0.68과 범용적 계수 1.22를 적용하여 분석을 수행하였다. 그 결과 범용적 계수를 적용할 경우 3,125Gg CO<sub>2</sub>-eq.가 발생하여 작기 전 180일 이상 논을 건조시키는 경우 발생하는 2,076Gg CO<sub>2</sub>-eq.보다 66% 증가하는 것으로 나타났다. 벼 재배에 의한 온실가스 배출량이 과중되 지 않도록 작기 전 물 관리에 따른 보정계수의 개발이 시급할 것으로 판단된다.

#### 나. 유기물 시용 보정계수에 따른 민감도 분석

유기물 시용에 관한 배출계수의 경우 1996 IPCC GL은 유기물 시용 유무에 따라서 일괄적인 값을 적용하였으나, GPG 2000에서 배출계수 산정식을 제안하여 유기물 종류 및 생성 방법에 따라 계수를 별도로 설정 할 수 있게 되었다. Fig.3은 2006 IPCC GL에서 제안한 유기물 시용에 관한 배출계수 산정에서 유기물 생성 방법과 종류의 따른 계수의 변화를 반영한 온실가스 배출량의 차이를 보여준다. 2006 IPCC GL에 제시된 유기물 시용에 관한 배출계수는 식(3)과 같이 산정되고, 유기물 시용량은 NIR에서 제시한 5ton/ha를 적용하여 산출하였다.

가장 많은 온실가스를 배출하는 경우(Worst)는 작기 시작 30일 미만에 유기비료를 사용한 경우로 유기물 종류에 따른 계수인 CFOA값이 1.00인 경우이며, 이 때 유기물 시용 배출계수(SFo)의 값은 2.88로 산출되었다. 다음으로 관행인 경우(Normal)에 대한 배출계수는 녹비작물을 시용할 때로 가정하여 CFOA 0.50 값을 적용하였고, 이때 배출계수는 2.09로 산출되었다. 마지막으로 온실가스 배출량 산정에서는 최적 영농 방안으로 생각되는 퇴비 시비에 대한 경우(Best)이며, 이 때 CFOA 값은 0.05이고, 산출된 배출계수는 1.14이다. 위와 같은 조건으로 산정한 온실가스 배출량을 Fig.3에 도시하였으며, 가장 많은 온실가스를 배출하는 경우는 2014년 기준 4,612Gg CO<sub>2</sub>-eq.로 나타났고, 최적 환경에서 1,474Gg CO<sub>2</sub>-eq.로 산정되었다. 이는 벼 재배에서 유기물의 퇴비화를 필수적으로 시행하여 최적 환경을 조성할 경우 온실가스 배출량은 가장 많은 온실가스를 배출 할 때에 비해 약 60%이상 절감할 수 있다는 의미를 내포하므로 유기물 생성 방법에 대한 중요성을 상기하는 결과라고 생각된다.

또한 2015 NIR지침과 비교해 보면 Jeong et al.(2012) 등이 수행한 연구에서와 같이 유기물 시용에 따른 보정계수를 2.00을 적용할 경우 5,292Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 산정되고, 2.50을 적용할 경우 6,120Gg CO<sub>2</sub>-eq.에 이른다. 이는 기본 배출계수가 NIR에서 제시하는 값이 2.32kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>로 IPCC에서 제안하는 값에 비해 약 1.6배가량 크기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 전술한 바와 같이



동일한 양의 유기물을 시용한다 하더라도 그 종류와 생성 방법에 따라 온실가스 배출량을 상당 부분 절감할 수 있기 때문에 유기물 시용에 따른 영농 기법의 개선과 농가 교육 등 온실가스 감축을 위한 프로그램과 지침의 마련이 필요하다.

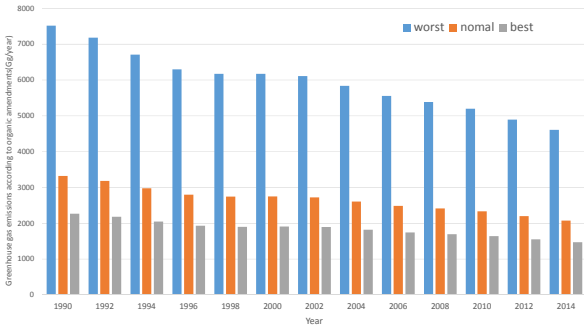


Figure 3. Result of sensitive analysis GHG emissions for rice cultivation according to organic amendments

**다. 벼 품종 및 토양특성 보정계수에 따른 민감도 분석**

벼 품종별 온실가스 배출량의 차이 또한 향후 농업부문 온실가스 배출량 평가 중요한 요인이 될 것으로 판단된다. Parashar et al.(1991)는 인도 뉴델리 인근 지역 재배 환경이 비슷한 지역에서 재배한 8개의 벼 품종에 따라 메탄 배출량을 평가한 결과 최대 10배 정도 차이를 보인다고 보고 된 바 있으며, Erda et al.(1993)은 베이징 부근에서 5개의 벼 품종을 대상으로 메탄 배출량을 측정

한 결과 개화기에 메탄 배출이 품종 간 2배 이상 차이를 보이며 그 원인을 벼 품종의 차이에서 기인한다고 주장한 바 있다. 국내 연구에서 또한 조생종인 남원벼의 경우 128kg ha-1, 중만생종인 만금벼의 경우 207kg ha-1, 장안벼 230kg ha-1, 계화벼가 254kg ha-1로 생육기간이 긴 만생종이 배출량이 많은 것으로 보고 된 바 있다(Lee et al. 2012). 이와 같이 만생종이 담수 기간이 길고 생육에 필요한 투입재의 양이 많아 메탄 배출량 증가로 이어지며, 또한 뿌리에서 분비되는 물질도 메탄 생성에 상당한 영향을 미치고 있으므로, 메탄 배출을 저감할 수 있는 벼 품종 개발에 대한 필요성이 증대되고 있다.

또한 정확한 배출량 산정을 위해 벼 품종에 따른 재배 면적 통계자료 확보가 요구되며, 생육 기간에 따른 배출계수 개발과 맞물려 이루어진다면 벼 재배 부문 국가 온실가스 배출량 산정에 더욱 정확도를 기할 수 있을 것으로 판단된다.

**4. 농촌 지역 벼 재배에 의한 온실가스 배출량 평가**

**가. 농촌지역 온실가스 배출량의 시계열적 변화**

우리나라 농촌 지역에서 벼 재배에 의해 발생하는 온실가스 배출량 변화를 군별로 2000년과 2015년을 비교 분석하여 Fig.4와 같이 도시하였다.

2000년 우리나라 농촌지역 온실가스 배출량은 총 2,124Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 산정되었고, 이 중 전라남도 해남군이 96.13Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 전체 배출량의 4.5%를 차지해 배출량이 가장 큰 지역으로 나타났다. 그 다음으로 충청

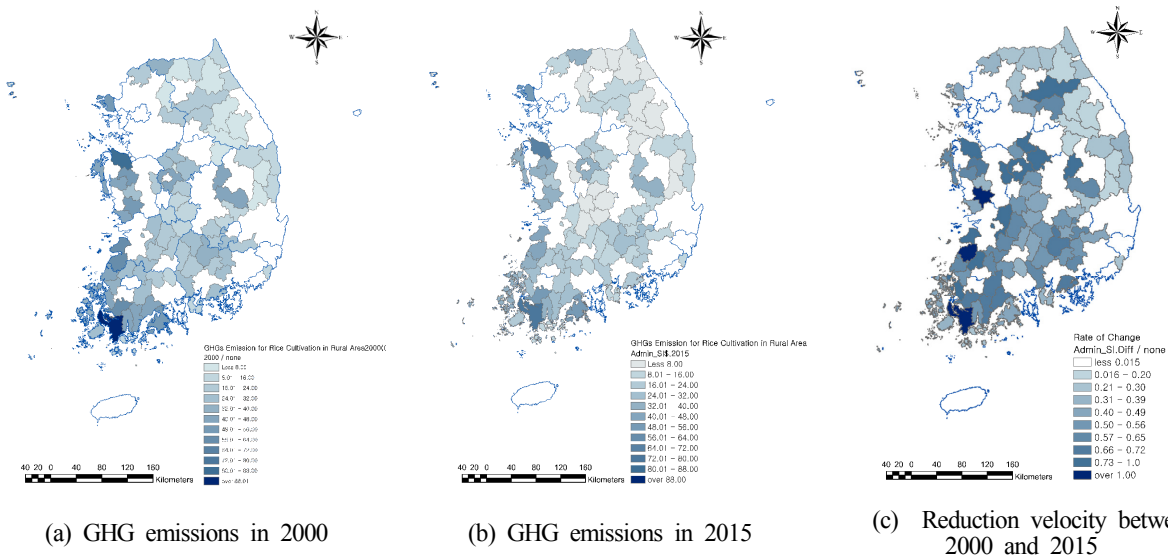


Figure 4. Comparison of GHG emissions changes by time series for rice cultivation in rural area

남도 당진군이 85.19Gg CO<sub>2</sub>-eq.이 발생하였다. 이 두 지역은 2015년에도 각각 76.01Gg CO<sub>2</sub>-eq. 70.72Gg CO<sub>2</sub>-eq.가 발생하여 벼 재배에 의한 온실가스 배출량이 가장 많은 지역으로 분석되었다. 이는 해남군의 논 면적이 24,553ha로 시 지역을 제외하면 가장 큰 지역이기 때문인 것으로 사료된다. 해남군의 벼 재배에 의한 온실가스 배출량은 2000년 농촌 지역 평균 배출량인 26.88Gg CO<sub>2</sub>-eq.에 비해 3.65배에 이르렀으나 2005년 75.32Gg CO<sub>2</sub>-eq.까지 감소하여 5년 간 감소폭이 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 2000년 대비 2015년 온실가스 배출량도 약 21%에 해당하는 20.11Gg CO<sub>2</sub>-eq.이 감소하여 해남군의 감소량이 가장 큰 것으로 분석되었다.

반면 가장 적은 배출량을 보인 지역은 강원도 정선군으로 2000년 벼 재배에 의해 발생한 온실가스 배출량은 2.37Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 산정되었고, 2015년 1.01Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 분석되었다. 이는 강원도의 지리적 여건이 반영된 결과로 판단되고, 행정구역 면적 또한 결과에 영향을 미친 것으로 보인다.

2000년 대비 2015년의 배출량 감소 비율로 살펴보면 50% 이상 감소한 농촌 지역은 총 84개 군 지역 중 15개 군으로 조사되었고, 그 중 가장 큰 폭으로 감소한 지역은 충청북도 단양군으로 2000년 3.71Gg CO<sub>2</sub>-eq.에서 2015년 0.92Gg CO<sub>2</sub>-eq.까지 감소하여 약 75%가 감소하였다.

우리나라 지리적 여건 상 서쪽 해안 지역의 벼 재배에 의한 온실가스 배출량이 큰 것으로 나타났고, 지역별 분포는 2000년 충청남도가 평균 41.74Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 가장 많고, 강원도가 11.99Gg CO<sub>2</sub>-eq.으로 가장 적은 값을

보였다. 2015년은 충청남도과 전라남도가 각각 31.54Gg CO<sub>2</sub>-eq., 30.41Gg CO<sub>2</sub>-eq.로 큰 차이를 보이지 않았으며, 가장 적은 지역은 여전히 강원도로 나타났다. 2000년 대비 감소폭이 가장 큰 지역은 충청북도로 40%가 감소하였고, 충청남도과 전라남도를 제외한 지역이 모두 30% 이상 감소한 것으로 분석되었다.

또한 온실가스 배출량을 기준으로 2000년~2015년의 감소속도는 Fig.4(c)와 같다. 감소속도가 가장 빠른 지역은 전라남도 해남군으로 분석되었고, 전라북도 고창군과 충청남도 부여군 순으로 감소속도가 빠른 것으로 나타났으며, 감소속도는 각각 1.341, 1.018, 1.009로 분석되었다. 배출량 대비 감소율을 기준으로 감소속도를 살펴보면 감소율이 가장 큰 단양군이 0.186, 영월군 0.203, 무주군이 0.475, 평창군 0.178 순으로 나타났다. 단양, 영월, 무주, 평창 모두 지리적으로 산악지형을 많이 포함한 지역으로 벼 재배 면적이 크지 않아 배출량이 작기 때문에 배출량 변화에 감소율은 민감하게 변동하지만 감소속도는 빠르지 않은 것으로 보인다.

#### 나. IPCC GL 변화에 따른 농촌지역 온실가스 배출량 변화 분석

1996 IPCC GL과 2006 IPCC GL의 차이를 지역적 특성을 반영하여 분석한 결과는 Fig.5와 같다.

2015년 벼 재배 면적을 대상으로 가장 많은 배출량을 보이는 전라남도 해남군은 2006 IPCC GL을 기준으로 산정할 경우 76.01Gg CO<sub>2</sub>-eq.이었으나, 1996 IPCC GL을 기준으로 산정할 경우 103.52Gg CO<sub>2</sub>-eq.로 약 26%가 크게 산출되었다. IPCC GL에 따라 배출량의 정량적 차이



(a) GHG emissions for rice cultivation by 1996 IPCC GL

(b) GHG emissions for rice cultivation by 2006 IPCC GL

Figure 5. Results of GHG emissions Changing according to IPCC Guideline improvements

를 보이고 있고, 그에 따라 Fig.5(b)와 같이 전 지역에서 온실가스 배출이 저감된 것을 확인 할 수 있다.

본 연구에서는 농촌 지역의 벼 재배에 의한 온실가스 배출량을 평가하기 위해 군지역으로 지리적 조건을 제한 하였으나, 김제시, 김포시 등 논 면적이 큰 지역을 포함 하여 벼 재배에 의한 온실가스 배출량 분석을 수행할 필요가 있을 것으로 사료된다. 또한 군 지역의 물 관리 기법 및 유기물 사용에 따른 면적 배분에서 자료 구득 등의 문제로 해당 지역의 영농 기법을 반영하지 못하고 NIR에서 제공하는 국가 평균 비율을 일괄 적용하여 산정하였기 때문에 향후 구체적인 활동 자료의 수집을 통해 연구에 반영할 필요가 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 IPCC Guideline과 국가 온실가스 인벤토리 보고서의 산정방법 변화에 따른 농업부문의 대표적인 온실가스 배출원인 벼재배에서 발생하는 온실가스 발생량에 대한 시계열적 변화를 분석하였다. 또한 이를 바탕으로 군단위 지역별 온실가스 배출량을 산정하였다.

분석결과 IPCC GL의 가장 두드러진 변화는 작물 재배 기간을 고려하게 되었고, 작기 전 물 관리에 대한 보정계수와 유기물 사용에 관한 보정계수가 도입된 점이다. 특히 1996 IPCC GL에서 소개된 유기물 사용에 관한 보정계수가 GPG 2000에서 마련되어 2006 IPCC GL에 본격적으로 제공된다는 점이다. 이로써 벼 재배에 따른 온실가스 감축 방안 수립이 좀 더 구체화될 수 있을 것으로 판단한다.

NIR은 2012년부터 2016년까지의 내용을 분석한 결과 기본 배출계수의 소폭 감소와 작기 중 물 관리 보정계수가 세분화 되었다. 물 관리 면적의 변화가 급속히 이루어지고 있어 보정계수 구체화로 온실가스 배출량 산정을 개선 할 수 있다는 점에서 의의가 있다고 판단된다. 유기물 사용에 관한 보정계수는 유기물 종류 및 사용량과 상관없이 일괄 적용하고 있어 세분화를 위한 연구가 지속될 필요가 있다. 향후 2006 IPCC GL을 기반으로 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 유기물 생성방법과 종류, 사용량에 대한 활동 자료 수집이 선행이 요구된다.

IPCC GL 변화에 따라 산정한 자료를 비교하면 동일한 면적에 대해 2006 IPCC GL이 약 28.2% 감소하였고, 이는 1996 IPCC GL에 비해 보정계수가 세분화되고 정밀해짐에 따라 과도하게 산정되었던 온실가스 배출량이 감소되어 산정 결과의 정확도를 보다 증대시킬 수 있는 것으로 판단된다. NIR 산정 결과는 2012년과 2015년의

계수에 큰 차이를 보이지 않아 산정값은 면적의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났다. 또한 유기물 사용에 관한 배출계수 민감도 분석 결과는 동일한 양을 사용할 때 유기물 생성방법과 종류에 따라 최대 60%가량 온실 저감 효과를 거둘 수 있을 것으로 분석되었고, 이를 통해 유기물 사용에 따른 배출계수의 세분화와 국가고유배출계수 마련의 중요성을 제시하였다.

우리나라 벼 재배 부문 온실가스 배출량 분포를 지역별로 살펴본 결과 지리적 여건에 따라 서쪽 해안 지역의 온실가스 배출량이 많은 것으로 분석되었고, 가장 많은 배출량을 보인 지역은 전라남도 해남군, 가장 적은 지역은 강원도 정선군이다. 2000년 대비 2015년 감소량이 가장 많은 지역 또한 전라남도 해남군이며, 감소율이 가장 큰 지역은 충청북도 단양군으로 약 75%가 감소한 것으로 나타났다. 온실가스 배출량 감소 속도는 해남군이 가장 빠른 것으로 분석되었고, 부여군과 고창군도 감소 속도 1.00이상을 보여 상대적으로 빠른 속도로 감소하고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 벼 재배에 의한 농촌 지역 온실가스 배출량 산정을 위해 해당 지역의 물 관리 및 유기물 사용 면적에 대한 세분화 된 활동자료를 구득하지 못해 국가 평균을 적용하여 일괄적으로 배분하였다. 따라서 지역 단위의 활동자료 구축이 요구되며, 향후 구축된 자료를 통해 더욱 정밀한 온실가스 배출량을 산정이 필요하다. 또한 유기물 사용 및 벼 품종과 토양 특성에 대한 계수의 세분화와 국가고유배출계수의 마련이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 농촌진흥청의 재원으로 국립농업과학원의 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호 : PJ009134)

#### References

1. Erda, L., 1993, Agricultural techniques : Factors controlling methane emission, In: L. Gao, L. Wu, D. Zheng and X. Han, ed, Proceedings of International Symposium on Climate Change, Natural Disasters and Agricultural Strategies, May 26-29, 1993, Beijing, China, China Meteorological Press, Beijing, 120-126.
2. IPCC, 1996, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
3. IPCC, 2000, Good Practice Guidance and Uncertainty

- Management in National Greenhouse Gas Inventories
4. IPCC, 2006, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
  5. Jeong, H., Kim, G., So, K., Shim, K., Lee, S. and D. Lee, 2010, Assessment on greenhouse Gas (CH<sub>4</sub>) Emissions in Korea Cropland Sector from 1990 to 2008, Korean Society of Soil Science and Fertilizer, 43(6): 911-916.
  6. Jeong, H., Kim, G., Lee, D., Shim, K. and K. Kang, 2011, Assessment of Greenhouse gases Emission of Agronomic Sector between 1996 and 2006 IPCC Guidelines, Korean Society of Soil Science and Fertilizer, 44(6): 1214-1219.
  7. Jeong, H., Kim, G., Lee, S., Lee, J., Lee, J. and K. So, 2012, Evaluation of Greenhouse Gas Emissions in Cropland Sector on Local Government Levels based on 2006 IPCC Guideline, Korean Society of Soil Science and Fertilizer, 45(5): 842-847.
  8. Jeong, H., Lee, J., Choi, E., Kim, G., Seo, S., Jeong, H. and C. Kim, 2015, Post-2020 Emission Projection and Potential Reduction Analysis in Agricultural Sector, Journal of Climate Change Research, 6(3): 233-241.
  9. Lee, D., Jung, S., So, K., Jeong, J., Jeong, H., Kim, G. and G. Shim, 2012, Evaluation of Mitigation Technologies and Footprint of carbon in Unhulled Rice Production, Climate Change Research, 3(2): 129-142.
  10. MIFAFF, 2014, Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Yearbook, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Seoul Korea.
  11. Ministry of Environment, 2014, A Study for Evaluation Management for Post-2020 and GHGs Mitigation Goal.
  12. Ministry of Environment. Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR), 2012, 2012 national greenhouse gas inventory report of Korea.
  13. Ministry of Environment, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR), 2015, 2015 national greenhouse gas inventory report of Korea.
  14. Naser, H.M., O. Nagata, S. Tamura, and R. Hatano. 2007, Methane emissions from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central Hokkaido, Soil Science and Plant nutrient, 53: 95-101.
  15. Neue, H.U. and R. Sass, 1994, Trace gas emissions from rice fields, In: Prinn RG(ed). Global Atmospheric-Biospheric Chemistry, Environmental Science Research 48: 119-148. Plenum Press, New York.
  16. Parashar, D., Rai, J., Gupta, P. and N. Singh, 1991, Parameters Affecting Methane Emission from Paddy Fields, National Institute of Science Communication and Information Resources, 20(1): 12-17.
  17. UNFCCC, 2015 Climate Action Now: Summary for Policymakers.
- 
- Received 14 April 2017
  - First Revised 25 April 2017
  - Finally Revised 30 May 2017
  - Accepted 30 May 2017