



# 지역특성과 산정식 변화를 고려한 시군단위 축산부문 온실가스 배출량 분석

## Implications of Guideline Improvements for Regional GHGs Changes on Livestock

정찬훈\* · 박진선\*\* · 이종식\*\*\* · 김건엽\*\*\* · 정현철\*\*\* · 서 교\*\*\*\*,†

Jung, Chan Hoon · Park, Jin Seon · Lee, Jong Sik · Kim, Gun Yeop · Jeong, Hyeon Cheol · Suh, Kyo

### Abstract

The equations and emission factors for estimating national GHGs are developed based on IPCC guidelines. The GHGs on livestock sector has been calculated using methodologies following 1996 IPCC guideline in South Korea although 2006 IPCC guideline was announced in 2006. The purpose of this study is to understand the implications of guideline updates for national GHGs changes in the livestock sector and analyze the effect of regional major livestock characteristics using KOSTAT time series data (1990 ~ 2014). The results show a new guideline makes GHGs reduce in the livestock sector up to 11 % with subdivided emission factors and the livestock characteristics affect regional GHGs. Gyeonggi-do, the top emitter among 16 states, records 784 thousand tons CO<sub>2</sub>eq. and Daejeon has the highest potential (82 %) of GHGs reduction. Swine is the most contributor for regional GHGs except Seoul and Gwangju, but the share of GHGs for chickens is less than 12 % in spite of the largest livestock population (87 %).

**Keywords:** IPCC guideline, Climate change, Greenhouse gas emissions, Livestock sector

### 1. 서 론

2015년 12월 프랑스 파리에서 신기후체제에 관한 ‘파리협정 (Paris Agreement)’이 채택됨에 따라 온실가스 배출량 감축에 대한 중요성이 더욱 부각되고 있다 (Kim, 2010; Bae et al., 2014). 전 세계 196개 당사국이 합의한 파리협정은 2020년 이후 교토의정서 (Kyoto Protocol)를 대체할 신기후체제의 출범을 의미하고, 단순한 감축목표 제시를 넘어서 기후변화 대응을 통해 지속가능한 발전을 요구한다 (Park, 2016). 이에 따라 정부는 에너지, 산업, 농업 등의 부문에서 2030년 배출전망치 (BAU) 대비 37 % 감축 목표를 이행해야 하는 실정이다 (Kim and Lee, 2016). 우리나라는 2013년 총 694.5 백만 톤 CO<sub>2</sub>eq.의 온실가스를 배출하였으며 2012년 대비 에너지,

산업공정, 농업, 폐기물 분야에서 각각 1.5 %, 2.1 %, 0.006 %, 1.2 %씩 증가했다. 또한 LULUCF (토지이용, 토지이용 변화 및 임업) 분야는 흡수량이 2012년보다 4.4 % 감소하여 2013년도 총배출량이 2012년도 총배출량 684.3 백만 톤 CO<sub>2</sub>eq.보다 1.5 % 증가한 결과를 가져왔다 (GIR, 2015). 따라서 국가 온실가스 37 % 감축 목표 달성을 위해서는 배출원별 (에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 등) 정확한 배출량 산정이 필요하며 이를 위해서는 국가고유배출계수의 개발이 필수적이다 (Kim et al., 2008; Bae et al., 2013; Yang et al., 2014).

농업 분야는 온실가스의 배출원이면서 동시에 흡수원이 될 수 있기 때문에 중요한 의미를 가진다. 농업 분야는 축산 부문과 경종 부문이며 축산 부문은 농업 분야 온실가스 배출의 약 48 %를 차지하고 있다 (IPCC, 1996; Jeong et al., 2012; GIR, 2015). 그러나 1990년 대비 2013년 경종 부문 온실가스 배출량은 26 % 감소한 반면 축산부문은 61.8 % 증가하여 2012년 대비 온실가스 감축을 효과적으로 실현하지 못했다 (Jeong and Kim, 2015). 농업 분야는 우리나라 온실가스 총 배출량의 약 3 %를 차지하고 있지만 다른 분야에 비해 적은 투자로 온실가스 배출 관리에 기여할 수 있기 때문에 축산부문 또한 온실가스 배출량 감축을 위한 지속적인 관심과 감축 노력이 필요하다 (Yi, 2009; Bellarby et al., 2013).

축산부문 온실가스 배출량은 IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 산정방법론과 배출계수를 적용해 산정한다. IPCC는 보다 정확한 온실가스 배출량 산정을 위해 GPG 2000, 2006 IPCC 등 개선된 가이드라인을 제공하여 축산부문 배출량을

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

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

\*\*\* National Institute of Agricultural Science(NIAS), RDA

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

† Corresponding author

Tel.: +82-33-339-5810 Fax: +82-33-339-5830

E-mail: kyosuh@snu.ac.kr

Received: May 22, 2017

Revised: July 17, 2017

Accepted: July 17, 2017

산정하도록 권장하고 있다 (Caro et al., 2014). 정부는 2012년부터 국가 온실가스 인벤토리 (National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, GIR)를 매년 발간하면서 국가 온실가스 배출량 산정에 정확성을 더하기 위하여 산정식과 배출계수 등에서 지속적인 개선 노력을 하고 있다. 그러나 축산부문은 타 분야에 비해 방법론이 복잡할 뿐만 아니라 국가통계자료 및 배출계수 개발에 있어 많은 어려움이 있기 때문에 현재 우리나라 축산부문 온실가스 산정을 위해 필요한 산정식과 배출계수는 1996 IPCC 가이드라인에서 제공하는 자료를 대부분 사용하고 있다 (Ji et al., 2012).

하지만 IPCC 가이드라인이 개정되고 국가온실가스 산정기준이 개정되면 동일한 시계열 활동자료를 사용하더라도 잠재적으로 축산부문 온실가스 산정값이 달라질 것으로 예상된다. 2006 IPCC 가이드라인에서는 산정식을 이루는 배출계수를 세분화하였으며 Tier 2, Tier 3 수준의 배출계수를 산정할 수 있는 방법을 제시함으로써 1996 IPCC 가이드라인에 비해 보다 현실적이고 국가 상황을 반영할 수 있도록 개선되었다. 따라서 향후 2006 IPCC 가이드라인을 적용하여 축산부문 국가 온실가스 배출량을 산정하는 경우 산정결과가 크게 변화할 수 있다. 특히, 1996 IPCC 가이드라인과 달리 2006 IPCC 가이드라인의 경우 연평균 기온 등에 따라 배출계수가 달라지게 되어 지역별 특성이 반영되기 때문에 우리나라의 경우에도 지역별 온도 차이에 따라 배출량 산정 결과도 달라질 것으로 전망된다.

IPCC 가이드라인을 포함하여 축산부문 온실가스 배출량 산정과 관련된 연구는 지속적으로 이루어지고 있다. Yang et al. (2014)은 1996 IPCC 가이드라인을 이용하여 우리나라 축산부문 온실가스 배출량의 증감 추이에 대해 연구하고자 하였으며, 축산부문 배출량이 가축사육두수의 변동과 밀접한 관계가 있다고 했다. Ji et al. (2012)는 우리나라 온실가스 감축 목표를 이행하기 위해 2000~2008년 축산부문 온실가스 배출량과 2006 IPCC 지침의 국내 적용성과 그에 대한 방법론적 접근을 분석하고자 하였으며, 활동자료가 부족한 축산부문에 2006 IPCC 가이드라인을 효과적으로 적용하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 설명하고 있다. 하지만 산정식의 개선에 따른 실질적인 변화를 보여주는 연구는 찾아보기 어려우며, 2006 IPCC 가이드라인을 적용하여 배출량을 산정한 연구의 경우에도 가이드라인의 Tier 1 수준의 자료를 사용하였지만 장내발효와 가축분뇨처리의 세분화된 배출량은 제시하지 않고 있다 (Ji et al., 2012). 따라서 시계열적 자료를 바탕으로 가이드라인 변화가 실질적으로 국가온실가스 배출량에 미치는 영향과 이러한 결과가 지역별 온실가스 배출량 산정에 어떠한 영향을 주는지에 대한 분석이 필요할 것

로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 지역별 특성을 고려하여 IPCC 가이드라인의 산정방법 개선에 따른 시군단위 축산부문 온실가스 배출량을 산정하고, 이를 바탕으로 산정방법 개선이 배출량 산정결과에 미치는 영향을 동일한 시계열 활동자료를 바탕으로 분석하고자 한다. 또한, 지역별 축종과 연평균 기온을 이용하여 지역별 온실가스 배출량 변화와 축종별 배출특성을 파악하고자 한다.

## II. 연구자료 및 방법

### 1. 축종 범위

본 연구에서는 축산부문 온실가스 배출량을 산정하기 위해 축종을 우리나라 온실가스 인벤토리에서 축산부문 배출원으로 정의한 젓소, 한우, 돼지 (번식용 돼지, 판매용 돼지), 닭 (산란계, 육계), 오리, 염소, 양, 말, 사슴으로 구분한다.

### 2. 축산부문 IPCC 가이드라인 산정식

국가 온실가스 인벤토리에서는 현재 축산부문 온실가스 배출량 산정을 위해 1996 IPCC 가이드라인에서 제시하는 산정식과 배출계수를 사용하고 있다. 하지만 2006 IPCC 가이드라인에서는 개선된 산정식을 새롭게 제시하고 있어, 본 연구에서는 1996 IPCC 가이드라인 산정식과 2006 IPCC 가이드라인의 개선된 산정식을 이용하여 각각 축산부문 온실가스 배출량을 산정하고 산정기준 개정에 따른 배출량 영향을 비교 분석한다.

축산부문의 온실가스 배출량은 장내발효와 가축분뇨처리로 구성된다. 장내발효는 가축의 소화기관 내의 발효 과정에서 발생하는 메탄 (CH<sub>4</sub>) 배출량 산정을, 가축분뇨처리는 가축분뇨의 혐기적 분해를 다루기 때문에 CH<sub>4</sub>와 아산화질소 (N<sub>2</sub>O) 배출량 산정을 통해 이루어 진다 (IPCC, 2006; O'mara, 2011; GIR, 2015; Kim et al., 2016). 특히 CH<sub>4</sub>는 지구온난화에 두 번째로 크게 영향을 미치는 주요 온실가스 중 하나로 개선된 산정식을 통한 보다 정확한 산정이 필요하다 (Bhatta et al., 2007).

#### 가. IPCC 가이드라인에 따른 장내발효 산정식

장내발효 산정식의 경우 1996 IPCC 가이드라인에서 정의된 가축에 대한 산정식을 Tier 1 수준으로 제시한 반면 2006 IPCC 가이드라인에서는 Tier 2 수준의 배출계수를 개발할 수 있도록 새로운 산정식을 제시함으로써 국가별로 상황에 맞는 장내발효 온실가스 배출량을 산정하도록 유도한다.

$$Emissions = EF_{(T)} \times N_{(T)} \times 10^{-6} \quad (1)$$

식 (1)은 IPCC 가이드라인에서 제시한 장내발효 기본 산정식이다. 여기서 Emissions (Gg CH<sub>4</sub> Yr<sup>-1</sup>)는 가축의 소화기관 내에서 일어나는 발효에서 발생하는 CH<sub>4</sub>의 총량으로 축종별 배출계수, 가축 사육두수의 곱으로 산정한다. 하지만 2006 IPCC 가이드라인에서 기본값으로 제시했던 축종별 배출계수 (EF<sub>(T)</sub>)를 구체화하여 각 나라의 상황에 맞는 배출계수를 개발하도록 권장하며 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$EF = \left[ \frac{GE \times \left( \frac{Y_m}{100} \right) \times 365}{55.65} \right] \quad (2)$$

EF<sub>(T)</sub>는 총 에너지 섭취량 (GE)과 사료에서 CH<sub>4</sub>로 환산된 총 에너지의 비율을 뜻하는 CH<sub>4</sub> 환산계수 (Y<sub>m</sub>), 그리고 CH<sub>4</sub>의 에너지 함량 계수 55.65를 이용하여 산정이 가능하다. 특히 Y<sub>m</sub>은 사료의 에너지가 메탄으로 전환되는 정도는 다른 사료와의 상호작용과 동물 요인에 따라 다르기 때문에 사료의 품질에 따라 배출계수가 달리 개발될 수 있다 (IPCC, 2006). 2006 IPCC 가이드라인에서는 Y<sub>m</sub>을 Tier 1 수준에서 사육지에서 사육된 소는 3.0%±1.0%, 젖소와 물소는 6.5%±1.0%로, 1살 미만의 양은 4.5%±1.0%, 어른 양은 6.5%±1.0%로 제시하고 있다 (IPCC, 2006).

#### 나. IPCC 가이드라인에 따른 가축분뇨처리 산정식

##### 1) CH<sub>4</sub> 배출량 산정방법

가축분뇨처리의 혐기적 분해 과정에서 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량에 대한 산정식은 식 (3)과 같다. 1996 IPCC 가이드라인에서는 배출계수 (EF<sub>(T)</sub>)를 Tier 1 수준에서 제시하였지만 2006 IPCC 가이드라인의 경우 EF<sub>(T)</sub>를 Tier 2 수준에서 각 나라 상황에 맞도록 배출계수 개발을 위한 산정식을 제시하고 있다.

$$CH_{4manure} = EF_{(T)} \times N_{(T)} \times 10^{-6} \quad (3)$$

여기서 CH<sub>4manure</sub> (Gg CH<sub>4</sub> Yr<sup>-1</sup>)은 가축분뇨의 혐기적 분해 과정에서 발생하는 CH<sub>4</sub>의 총량으로 장내발효 산정식과 동일하게 축종별 배출계수와 가축 사육두수의 곱으로 산정이 되지만 제시한 배출계수인 EF<sub>(T)</sub>에서 차이를 보이고 있다. 2006 IPCC 가이드라인에서 제시하는 EF<sub>(T)</sub> 산정식은 식 (4)와 같다.

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[ B_{0(T)} \cdot 0.67kg/m^3 \cdot \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \cdot MS_{(T,S,k)} \right] \quad (4)$$

EF<sub>(T)</sub>는 가축의 일간 배설 휘발성 고형물 (VS<sub>(T)</sub>), 분뇨의 최대 CH<sub>4</sub> 발생량 (B<sub>0(T)</sub>), 기후 지역별 분뇨처리시설에 대한 CH<sub>4</sub> 변환 계수 (MCF<sub>(S,k)</sub>), 기후 지역별 분뇨처리시설을 이용해 관리되는 가축의 분뇨 비율 (MS<sub>(T,S,k)</sub>)을 이용하여 산정하고, 부피를 무게로 환산하는 계수 (CH<sub>4</sub> 발생량 (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>)을 무게 (kg CH<sub>4</sub>)로 환산) 0.67을 적용한다. 2006 IPCC 가이드라인에서는 분뇨의 특성을 바탕으로 분뇨에서 발생 가능한 휘발성 고형물의 양과 CH<sub>4</sub>의 최대 양을 고려하였다. 또한 식 (5)와 같은 VS 산정식을 제시하여 국가별 분뇨특성이 드러날 수 있는 배출계수의 산정을 권장하고 있다.

$$VS = \left[ GE \cdot \left( 1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE \cdot GE) \right] \cdot \left[ \frac{(1-ASH)}{18.45} \right] \quad (5)$$

VS는 사료의 소화율 (DE), 소변 에너지 (UE·GE), 분뇨의 회분 함량 (ASH)과 건조사료 kg 당 소화할 수 있는 GE에 대한 환산계수 18.45를 이용하여 산정된다. 2006 IPCC 가이드라인에서는 돼지, 소와 타 반추동물, 그리고 가금류에 대한 Tier 1 수준의 DE 자료를 제시하고 있다. 또한 UE·GE에 대해 Tier 1 수준의 수치를 제시하고 있는데, 대부분의 반추 동물들은 0.04 GE, 85% 이상 곡물 사료를 먹인 돼지 혹은 돼새 김질 동물은 0.02 GE로 산정하도록 권하고 있다. ASH는 Tier 1 수준에서 소의 경우 0.08을 제시하고 있지만 분뇨의 회분 함량에 대해서는 축종에 따라 실질적으로 변동이 있을 수 있어 국가 환경을 반영한 국가 고유의 값을 사용하도록 권장하고 있다 (IPCC, 2006).

##### 2) N<sub>2</sub>O 배출량 산정방법

가축분뇨처리과정에서는 장내발효에서 발생하지 않는 N<sub>2</sub>O가 배출되며, 이를 산정하는 식은 식 (6)과 같다. 1996 IPCC 가이드라인에서는 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량을 Tier 1 수준에서 제시한 반면, 2006 IPCC 가이드라인에서는 각 나라의 상황에 맞는 배출계수의 개발을 위한 산정식을 제시한다.

$$N_2O_{manure} = \left[ \sum_S \left[ \sum_T (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \times EF_{3(S)} \right] \times \frac{44}{28} \quad (6)$$

여기서 N<sub>2</sub>O<sub>manure</sub> (kg N<sub>2</sub>O Yr<sup>-1</sup>)은 가축분뇨처리 과정에서 배출되는 아산화질소의 총량으로 가축 사육두수 (N), 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량 (Nex<sub>(T)</sub>), 가축분뇨처리시설

이용비율( $MS_{(T,S)}$ ), 가축분뇨처리시설의 직접적인 아산화질소 배출계수( $EF_{3(S)}$ ), 그리고  $N_2O-N$ 을  $N_2O$ 로 환산하는 계수 44/28을 이용하여 산정된다. 하지만 2006 IPCC 가이드라인에서는 국가 현실을 반영할 수 있는  $Nex_{(T)}$  산정을 위해 축종별 질소 배출률( $N_{rate(T)}$ )을 제시했고, 식 (7)과 같다.

$$Nex_{(T)} = N_{rate(T)} \cdot \frac{TAM}{1000} \cdot 365 \quad (7)$$

식 (7)에서 연평균 질소량은 질소 배출률( $N_{rate(T)}$ )과 가축의 질량(TAM)을 이용하여 산정할 수 있다. 질소 배출률은 매일 가축 1,000kg 당 배출되는 질소의 단위로 표시되는 것으로서 2006 IPCC 가이드라인에서는 Tier 1 수준의 기본값을 제공하고 있다. TAM 또한 기본값을 제공하고 있지만 다른 체중 카테고리에 따른 질소 배출율의 민감성 때문에 나라에 따라 고유한 TAM 값을 수집하는 것이 바람직하다(IPCC, 2006).

이처럼 2006 IPCC 가이드라인은 각 나라의 축산부문 온실가스 배출량 산정에 정확성을 높이기 위해 배출계수를 개발할 수 있는 여러 산정식을 제시하였다. 하지만 산정식에는 많은 통계자료를 요구하는데 모든 자료가 수록되어있지 않고 국가 고유의 자료가 단지 일부분의 변수에 대해서만 사용이 가능하다 할지라도 2006 IPCC 가이드라인에서는 제시한 Tier 1 수준의 자료와 함께 이용하여 국가고유의 배출계수를 산정할 것을 권장하고 있다(IPCC, 2006).

### 3. 축산부문의 배출계수

1996, 2006 IPCC 가이드라인에서는 Tier 1 수준에서 대륙, 해당 나라의 발전 정도, 그리고 연평균 기온에 따라 포괄적으로 사용할 수 있는 배출계수를 기본값으로 제시하고 있다. 온실가스 배출량 산정의 복잡성 및 정확성은 Tier 3 수준으로 갈수록 높아지지만 현재 국가온실가스 인벤토리에서는 장내발효와 가축분뇨처리의 온실가스 배출량 산정을 위해 1996 IPCC 가이드라인에서 제시한 Tier 1 수준의 배출계수를 사용하고 있다(Kim, 2009). 우리나라는 비록 아시아 대륙에 속하는 국가이지만 1996 IPCC 가이드라인에서 제시한 각 지역별 Tier 1 수준의 배출계수에 대한 설명을 참조해 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택하여 온실가스 배출량을 산정하였다(GIR, 2015). 본 연구에서는 산정기준 변화에 따른 축산부문 온실가스 배출량을 분석하고자 하였으므로 2006 IPCC 가이드라인에서도 동일한 범주에 있는 배출계수를 사용하였다.

#### 가. 장내발효 배출계수

IPCC 가이드라인에서는 장내발효에 대해 대륙, 나라의 발전 정도에 따른  $CH_4$  배출계수를 제시한다. 우리나라가 1996 IPCC 가이드라인에서 선택한 장내발효 축종별  $CH_4$  배출계수를 살펴보면 젖소와 한육우는 북미, 돼지는 선진국, 그 외 염소, 양, 말은 개발도상국 카테고리를 선택한 배출계수를 사용하고 있다. 특히 사슴에 대해서는 1996 IPCC 가이드라인에서 따로 제시를 하고 있지 않기 때문에 산정 시 염소의 배출계수를 사용하고 있다(GIR, 2015).

#### 나. 가축분뇨처리 배출계수

IPCC 가이드라인에서는 가축분뇨처리에 대해 대륙, 나라의 발전 정도로 나누어 축종별 N 배출계수를 제시하고 있고 연평균 기온 카테고리를 추가하여 축종별  $CH_4$  배출계수를 제시한다.

국가 온실가스 인벤토리에서는 1996 IPCC 가이드라인에서 축종별  $CH_4$  배출계수를 선택하기 위해 연평균 기온에서 한대 지역( $14^\circ C$ )을 선택하였으며 젖소와 한육우는 북미, 돼지는 서유럽, 닭과 오리는 선진국, 그 외 염소, 양, 말은 개발도상국 범주를 선택했다. 장내발효와 마찬가지로 1996 IPCC 가이드라인에서는 사슴의  $CH_4$  배출계수가 제시되어있지 않으므로 염소의 배출계수를 사용한다.

2006 IPCC 가이드라인에서는 해당 국가의 온실가스 배출 특성을 나타내기 위해 가축분뇨처리  $CH_4$  배출계수를 연평균 기온에 따라 세분화했다. Table 1은 연평균 기온에 따른 축종별 가축분뇨처리  $CH_4$  배출계수를 나타낸다. 젖소, 한육우, 판매용 돼지, 그리고 번식용 돼지의 배출계수는 매  $1^\circ C$ 마다 제시하고, 그 외 축종들의 배출계수는 한대지역과 온대지역으로 나누어 제시한다. 대체적으로 연평균 기온이 상승할수록 축종별 배출계수가 상승하기 때문에 지역별 특성을 잘 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

가축들의 분뇨를 처리하기 위한 시설을 이용할 때 배출되는  $N_2O$ 를 고려하기 위해 1996 IPCC 가이드라인에서는 액비화시설, 퇴비화시설, 기타시설 등으로 나누어 배출계수를 Tier 1 수준에서 제시하였지만 2006 IPCC 가이드라인에서는 퇴비화시설을 고체 저장, 건조 부지로 나누어 제시하였고 기타 시설을 덮개 유무, 가금류 분뇨 처리 시설 등으로 구체화한다. 우리나라의 젖소, 한육우, 돼지 및 가금류의 퇴비화시설 이용 비율은 산정이 가능하지만 고체 저장, 건조 부지의 이용 비율의 자료가 구비되어있지 않음에 따라 각각 퇴비화시설 이용 비율의 50%씩 이용한다고 가정한다.

**Table 1** CH<sub>4</sub> emission factors of manure management with average annual temperature change

Livestock species	Average annual temperature (°C)					
	Cool			Temperate		
	12	13	14	15	16	17
Dairy Cows	53	55	58	63	65	68
Other Cattle	1	1	1	2	2	2
Market Swine	7	7	8	9	9	10
Breeding Swine	10	11	12	13	14	15
Layers	0,03			0,03		
Broilers	0,02			0,02		
Ducks	0,02			0,03		
Goats	0,11			0,17		
Sheep	0,1			0,15		
Horses	1,09			1,64		

CH<sub>4</sub> emission factors of dairy cows, other cattle, market swine, and breeding swine are selected by average annual temperature. CH<sub>4</sub> emission factors of layers, broilers, ducks, goats, sheep, and horses are selected by the temperature zones. CH<sub>4</sub> emission factor of deer does not consider the average annual temperature. Daegu, Gwangju, Ulsan, Busan, and Jeju belong to the temperate region. The others belong to the cool region.

**4. 국가통계자료**

축산부문 온실가스 배출량 산정을 위해 활동자료로 가축 사육두수와 가축분뇨처리시설 이용 비율이 사용된다. 한육우, 젖소, 돼지 그리고 닭의 가축사육두수는 통계청의 가축동향조사에서 제시한 분기 자료를 사용한다. 오리의 가축사육두수에 대해서는 1990년에서 2010년은 농림수산통계연보 자료를 사용하고 2011년에서 2014년은 통계청의 분기 자료를 사용한다. 염소, 양, 말, 사슴의 사육두수는 분기 자료가 없으므로 해당 년도의 사육두수를 이용해 3년 평균값을 당해 년도 자료로 사용한다. 가축분뇨처리시설 이용 비율은 농림어업조사보고서에서 가축 분뇨 처리방법별 농가 자료를 이용해 산출한다. 조사 결과가 없는 1990~2010년 활동자료는 가장 근접한 2011년도 값을 일괄 적용하고, 염소, 양, 말, 사슴 등 기타 가축의 분뇨는 따로 수거하는 시설이 없어 토지에 방치되기 때문에 전량 퇴비로 활용된다고 가정한다.

**III. 결과 및 고찰**

온실가스 산정기준 변화에 따른 축산부문 온실가스 배출량 변화를 알아보기 위해 배출계수의 변화를 살펴보고 1996 IPCC 가이드라인, 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 산정식과 배출계수를 이용하여 1990~2014년 장내발효 및 가축분뇨처리 온실가스 배출량을 산정하였다. 또한 축산부문 총량을 시도별로 나누어 배출량 특성을 평가하였다.

**1. 축산부문 온실가스 배출계수 비교 분석**

산정기준 개정에 따른 온실가스 배출량의 변화를 보기 위해 GIR에서 선택한 지역, 연평균 조건을 1996, 2006 IPCC 가이드라인에 동일하게 적용하여 배출계수를 선택하였다. Table 2는 축종별 장내발효 CH<sub>4</sub> 배출계수다. 가금류를 제외한 축종별 장내발효 배출계수를 살펴보면 젖소, 한육우, 그리고 사슴의 배출계수가 증가한 것을 알 수 있었으며 특히 사슴의 배출계수가 5에서 20으로 300 % 증가했지만 사슴의 사육두수가 2014년 기준 0.02 %를 차지하여 산정기준 변화에 따른 장내발효 온실가스 배출량의 차이는 적을 것으로 사료된다.

Table 3은 가축분뇨처리 배출량 산정에 필요한 CH<sub>4</sub>, N, 그리고 가축분뇨처리시설 N<sub>2</sub>O 배출계수다. 두 가이드라인에서 제시한 CH<sub>4</sub> 배출계수를 비교해보면 2006 IPCC 가이드라인

**Table 2** Enteric Fermentation CH<sub>4</sub> Emission Factors

	1996 IPCC	2006 IPCC
Dairy Cows <sup>1)</sup>	118	121
Other Cattle <sup>1)</sup>	47	53
Swine <sup>2)</sup>	1,5	1,5
Goats <sup>3)</sup>	5	5
Sheep <sup>3)</sup>	5	5
Horses <sup>3)</sup>	18	18
Deer <sup>3)</sup>	5	20

<sup>1)</sup>: North America; <sup>2)</sup>: Developed countries; <sup>3)</sup>: Developing countries

에서 제시한 젓소, 돼지의 배출계수가 증가하였고 가금류인 닭과 오리의 배출계수가 감소하였다. 특히 돼지와 닭은 각각 판매용 돼지, 번식용 돼지와 산란계, 육계로 세분화하여 제시했으며 각각의 배출계수가 모두 증가한 것으로 나타났다.

2006 IPCC 가이드라인에서 축종별 N 배출계수는 Tier 1 수준의 자료를 제공하는 것이 아닌  $N_{rate}$ 와 TAM을 이용하는 구체화된 산정식을 통해 산정할 것을 권장하고 있다. 염소, 양, 말의 TAM은 국가의 발전 정도에 따라 세분화했고,  $CH_4$

Table 3 Manure Management Emission Factors

		1996 IPCC	2006 IPCC
Manure Management $CH_4$ Emission Factors	Dairy Cows <sup>1)</sup>	36	58
	Other Cattle <sup>1)</sup>	1	1
	Market Swine <sup>2)</sup>	3	8
	Breeding Swine <sup>2)</sup>		12
	Layers <sup>3)</sup>	0,078	0,03
	Broilers <sup>3)</sup>		0,02
	Ducks <sup>3)</sup>	0,078	0,02
	Goats <sup>4)</sup>	0,11	0,11
	Sheep <sup>4)</sup>	0,10	0,10
	Horses <sup>4)</sup>	1,09	1,09
	Deer <sup>4)</sup>	0,11	0,22
Nitrogen Factors	Dairy Cows <sup>a)</sup>	100	97
	Other Cattle <sup>a)</sup>	70	44
	Market Swine <sup>b)</sup>	20	9,3
	Breeding Swine <sup>b)</sup>		30,4
	Layers <sup>b)</sup>	0,6	0,36
	Broilers <sup>b)</sup>		
	Ducks <sup>c)</sup>	0,6	0,82
	Goats <sup>c)</sup>	40	15
	Sheep <sup>c)</sup>	12	12
	Horses <sup>c)</sup>	40	21,5
	Deer <sup>c)</sup>	40	15
Animal Waste Management System $N_2O$ Emission Factors	Liquid system	0,001	0,005
	Solid storage	0,02	0,005
	Drylot	0,02	0,02
	Other system	0,005	0,001

<sup>1)</sup>: North America, Cool; <sup>2)</sup>: Western Europe, Cool; <sup>3)</sup>: Developed countries, Cool; <sup>4)</sup>: Developing countries, Cool

<sup>a)</sup>: North America; <sup>b)</sup>: Western Europe; <sup>c)</sup>: Asia, Developing countries

Manure management  $CH_4$  emission factors in 2006 IPCC guideline was set at 14 degrees which is the 2016' average temperature in South Korea.

Table 4 Average annual temperature by region of South Korea in 2016

Average annual temperature (°C)							
Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Gwang-ju	Daejeon	Ulsan	Gyeong-gi
14	16	15	13	15	14	15	13
Gang-won	Chung-buk	Chung-nam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeong-buk	Gyeong-nam	Jeju
12	13	13	14	14	13	14	17

**Table 5** Regional manure management CH<sub>4</sub> emission factors by average annual temperature

Livestock species	GW	IC·GG·CB·CN·GB	SU·DJ·JB·JN·GN	DG·GJ·US	BS	JJ
Dairy Cows	53	55	58	63	65	68
Other Cattle	1	1	1	2	2	2
Market Swine	7	7	8	9	9	10
Breeding Swine	10	11	12	13	14	15
Layers	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Broilers	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Ducks	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Goats	0.11	0.11	0.11	0.17	0.17	0.17
Sheep	0.1	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15
Horses	1.09	1.09	1.09	1.64	1.64	1.64

SU: Seoul, BS: Busan, DG: Daegu, IC: Incheon, GJ: Gwangju, DJ: Daejeon, US: Ulsan, GG: Gyeonggi, GW: Gangwon, CB: Chungbuk, CN: Chungnam, JB: Jeonbuk, JN: Jeonnam, GB: Gyeongbuk, GN: Gyeongnam, JJ: Jeju

배출계수와 같이 개발도상국 자료를 사용하였다. 동일한 지역 범주를 적용하여 비교했을 때 번식용 돼지, 오리, 양을 제외한 다른 축종의 배출계수가 모두 감소한 것으로 나타났다.

가축분뇨처리시설 N<sub>2</sub>O 배출계수를 비교해보면 액비화시설의 배출계수가 0.001에서 0.005로 증가했다. 또한 1996 IPCC 가이드라인에서는 고체저장과 건조부지 배출계수를 통합하여 제시했으나 2006 IPCC 가이드라인에서는 세분화하여 고체저장 배출계수를 0.005로 낮은 배출계수를 제시했다.

## 2. 지역별 장내발효 온실가스 배출량 산정

Fig. 1은 1996, 2006 IPCC 가이드라인으로 산정한 1990~2014년 장내발효 온실가스 배출량이다. 현재 GIR에서는 1996 IPCC 가이드라인에서 제시한 산정식과 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하고 있지만 2006 IPCC 가이드라인을 적용하여 산정한 배출량과 비교해보면 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 젓소, 돼지, 사슴의 배출계수가 높아짐에 따라 장내발효 온실가스 배출량이 약 8~10 % 증가한 것으로 나타났다. 특히 1998년부터 장내발효 온실가스 배출량이 급감하는 이유로는 한육우의 사육두수와 관련이 있다. 한육우의 배출계수는 젓소에 이어 두 번째로 높다. 하지만 한육우의 사육두수가 젓소보다 많아 한육우 사육두수의 증감에 따라 장내발효 온실가스 배출량이 달라진다. 축종 중 사육두수가 높은 세 축종은 닭,

돼지, 오리지만 각각의 장내발효 배출계수가 작아서 온실가스 배출량의 변화에 영향을 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다. 또한 1996, 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 배출계수의 차이가 크지 않아 같은 기간에서 배출량의 차이 또한 245-429 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 산정되었다.

Fig. 2는 1996, 2006 IPCC 가이드라인으로 산정한 2014년 지역별 장내발효 배출량이다. 장내발효에서는 관련 배출계수를 연평균 기온으로 세분화하지 않았기 때문에 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 기본값을 사용하였다. 배출량 산정 기준 개선으로 인해 경상북도의 장내발효 배출량이 78 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 시군구 중 가장 많이 증가한 것으로 나타났다. 이는 1996 IPCC 가이드라인으로 산정한 배출량 723 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.의 11 %에 해당하는 양이다. 경상북도에서 사육하는 축종 중 한육우의 장내발효 배출량이 산정기준 개선에 따라 74 천 톤 CO<sub>2</sub>eq. 증가한 것이 원인으로 작용했다. 반면 가장 적은 변화량을 나타낸 지역은 0.06 천 톤 CO<sub>2</sub>eq. 증가한 서울특별시이고, 특별시와 광역시를 제외하면 강원도의 배출량이 26 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 가장 적게 나타났다.

## 3. 지역별 가축분뇨처리 온실가스 배출량 산정

Fig. 3은 1996, 2006 IPCC 가이드라인으로 산정한 1990~2014년 가축분뇨처리 온실가스 배출량이다. 동일한 방법으로 배출량을 비교했을 때 2006 IPCC 가이드라인으로 산정한 가축분뇨처리 온실가스 배출량이 16~29 % 감소하는 것으로 나타났다. 산정방법이 개선됨에 따라 배출계수가 높아진 축종도 있지만 한육우의 N 배출계수가 70에서 44로 37 % 감소하면서 한육우 분뇨처리 온실가스 배출량이 59 % 감소한 점이 가장 큰 요인으로 나타났다. 또한 2011년 가축분뇨처리 온실가스 배출량이 2006 IPCC 가이드라인 기준 12 % 급감하였다. 이는 사회 및 경제적으로 큰 문제가 되었던 2010~2011년도에 발생한 구제역으로 인해 2011년 돼지의 사육두수가 2010년 대비 23 % 감소한 것이 주된 원인으로 나타났다 (Hwang and Oh, 2014). 또한 산정기준 변화에 따른 배출량 차이는

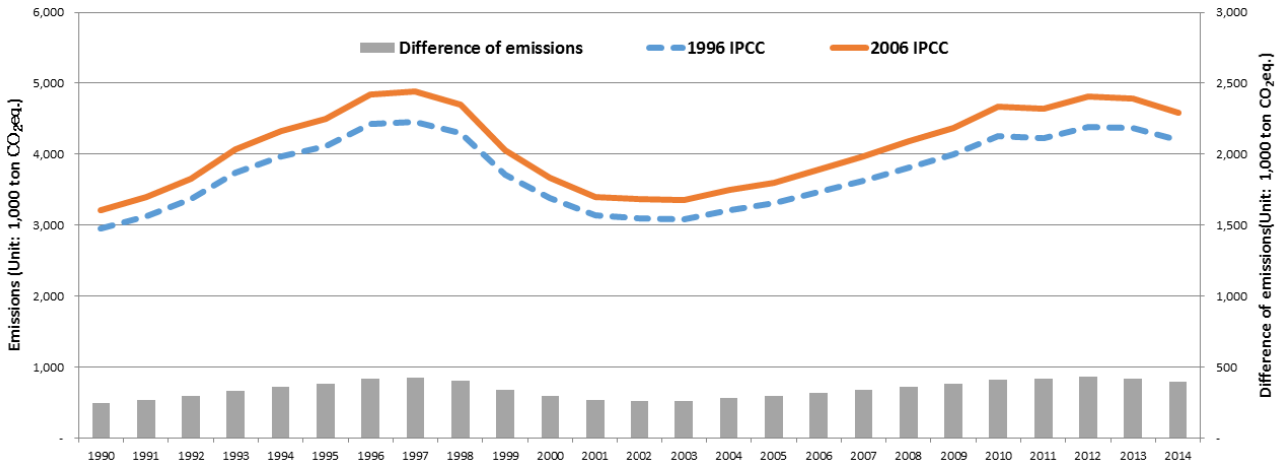
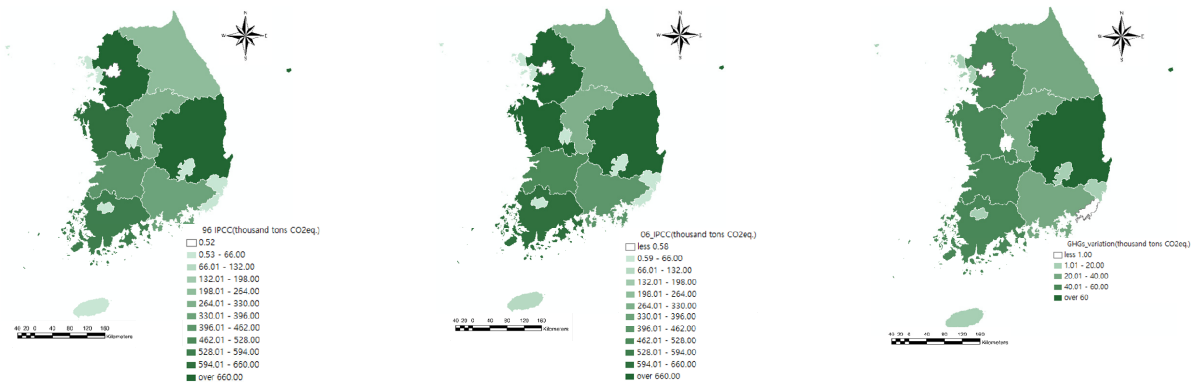


Fig. 1 The comparison of GHGs from enteric fermentation with 1996 and 2006 IPCC guideline



(a) GHGs from enteric fermentation based on the 1996 IPCC guideline by region (b) GHGs from enteric fermentation based on the 2006 IPCC guideline by region (c) GHGs variation from enteric fermentation

Fig. 2 The GHG emissions and variation from enteric fermentation with 1996 and 2006 IPCC guideline by region

678~1,468 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 장내발효에 비해 변화 폭이 큰 것으로 나타났다.

Fig. 4는 1996, 2006 IPCC 가이드라인으로 산정한 2014년 지역별 가축분뇨처리 배출량이다. 2006 IPCC 가이드라인에서는 지역별 특성을 반영하기 위해서 지역별 연평균 기온을 적용한 배출계수를 사용하여 배출량을 산정하였다. 배출량 산정기준 개선됨에 따라 경상북도 가축분뇨처리 배출량이 289 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 시군구 중 배출량이 가장 많이 감소한 지역으로 나타났다. 경상북도는 한육우의 사육두수 약 59만 마리로 시군구 중 가장 많아서 산정기준 개선이 온실가스 배출량 증감에 영향을 많이 주는 것으로 사료된다. 반면 제주특별시의 가축분뇨처리 배출량은 32 천 톤 CO<sub>2</sub>eq. 증가했다. 제주 특별시는 타 시군구에 비해 돼지 사육 비중이 27%로 가장 높다. 이에 따라 판매용 돼지와 번식용 돼지의 분뇨처리 온실가

스 배출량이 상승해 시군구 중 유일하게 가축분뇨처리 온실가스 배출량이 증가한 지역으로 나타났다.

#### 4. 지역별 축산부문 온실가스 배출량

Fig. 5는 1996, 2006 IPCC 가이드라인으로 산정한 장내발효와 가축분뇨처리를 합한 우리나라 축산부문 온실가스 배출량이다. 산정기준이 개선됨에 따라 장내발효 온실가스 배출량은 증가하였고 가축분뇨처리 온실가스 배출량은 감소하였지만, 가축분뇨처리에서 나타난 배출량 변화량이 더 많음에 따라 축산부문 배출량은 1990~2014년 기간 동안 6~11% 감소한 것으로 나타났다.

Fig. 6은 1996, 2006 IPCC 가이드라인과 2014년 통계자료를 이용하여 산정한 지역별 축산부문 온실가스 배출량과 변화량이다. 두 산정기준에 의해 산정된 배출량을 살펴보면 배



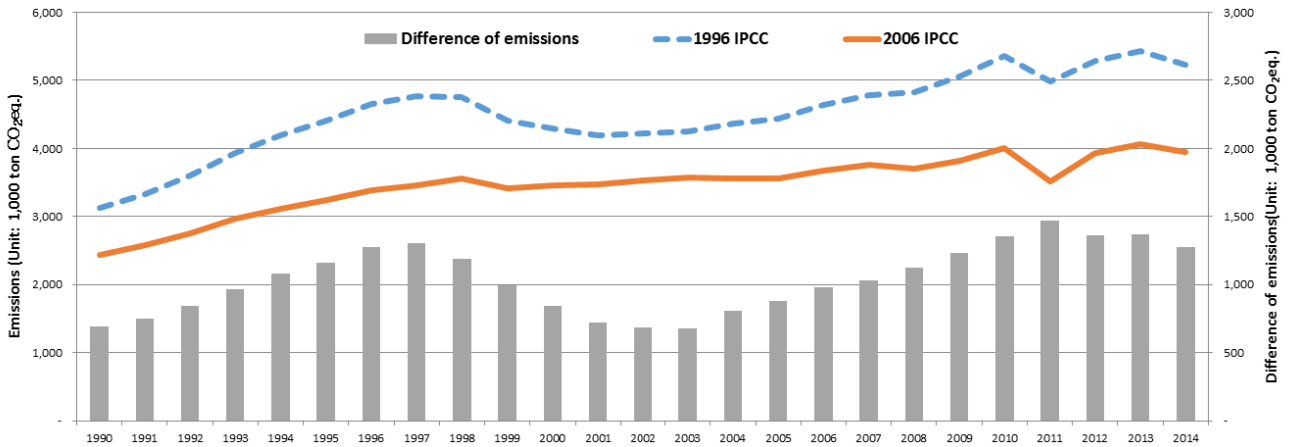
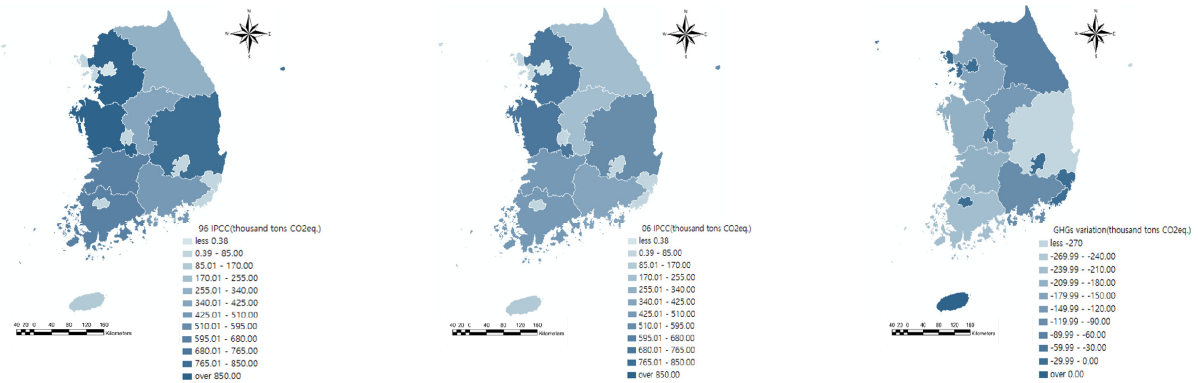


Fig. 3 The comparison of GHGs from manure management with 1996 and 2006 IPCC guideline



(a) GHGs from manure management based on the 1996 IPCC guideline by region (b) GHGs from manure management based on the 2006 IPCC guideline by region (c) GHGs variation from manure management

Fig. 4 The GHG emissions and variation from manure management with 1996 and 2006 IPCC guideline by region

출량이 가장 많은 지역은 경기도로 나타났다. 경기도는 각각 1,674와 1,540 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 산정되었고 산정기준 개정에 따른 배출량이 8% 감소한 것으로 나타났다. 배출량이 가장 적은 지역은 서울특별시로 각각 0.9와 0.8 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 산정되었다. 이러한 차이는 축종별 사육두수의 차이에서 비롯된 것으로 경기도는 주요 축종인 한육우, 젖소, 돼지, 산란계, 육계의 사육두수가 각각 전국의 9%, 39%, 18%, 29%, 16%를 차지하고 있다. 특히 장내발효와 가축분뇨처리에서 배출계수가 가장 높은 젖소의 비율이 높아 젖소의 온실가스 배출량이 타 지역에 비해 높게 산정되었다. 서울특별시는 한육우, 젖소, 말, 사슴의 사육두수만 통계자료에서 이용이 가능하고 사육두수 또한 적어 축산부문에서 가장 적은 온실가스 배출량을 기록했다.

산정기준 개정에 따른 배출량의 차이를 살펴보면 경상북도의 배출량 차이가 -211 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 가장 크고 서울특별시

의 배출량 차이가 -0.07 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 가장 작은 것으로 나타났다. 경상북도의 배출량 차이가 가장 큰 이유는 경상북도의 한육우 사육두수가 가장 많고 가축분뇨처리에서 축종별 질소 배출계수에서 한육우의 배출계수가 70에서 44로 26 감소함에 따라 배출량 감소 영향을 가장 많이 받은 것으로 사료된다. 배출량의 차이는 경상북도가 가장 큰 것으로 나타났지만 배출량 감소 변화율을 살펴보면 대전광역시가 17%로 가장 많이 감소하였고 제주특별시는 19% 증가한 것으로 나타났다.

Fig. 7은 2006 IPCC 가이드라인에서 제시하는 산정기준에 2014년 활동자료를 사용하여 지역별 축산부문 온실가스 배출량을 축종별로 배출하는 비중을 보여준다. 지역별 배출량이 1,540 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 가장 높았던 경기도는 축종 중 젖소가 온실가스를 가장 많이 배출하며 배출량이 712 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 경기도 배출량의 약 46%를 차지한다. 다음으로 비중이 높은 축종은 한육우로 352 천 톤 CO<sub>2</sub>eq.를 배출하고 이는 경기

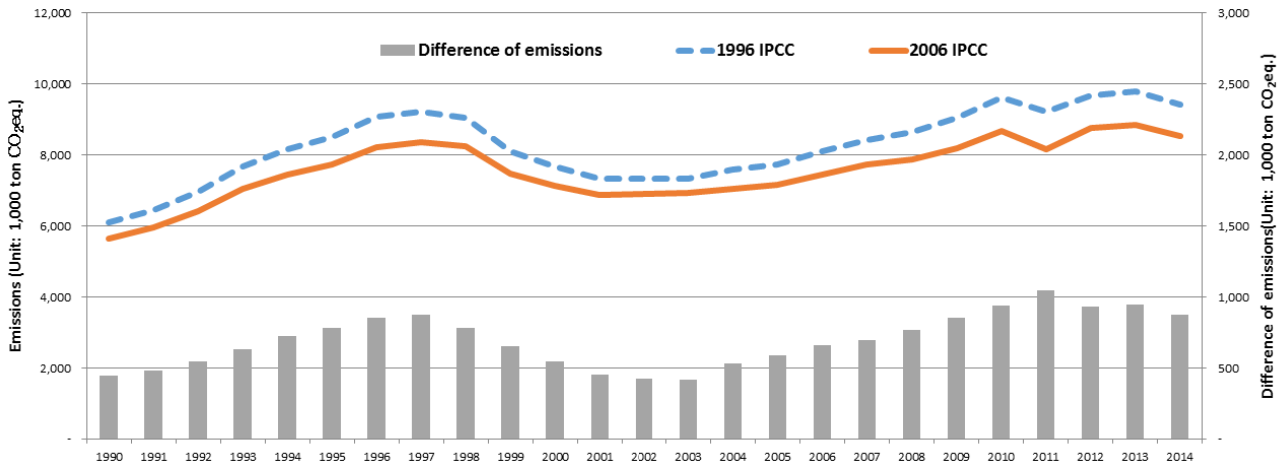
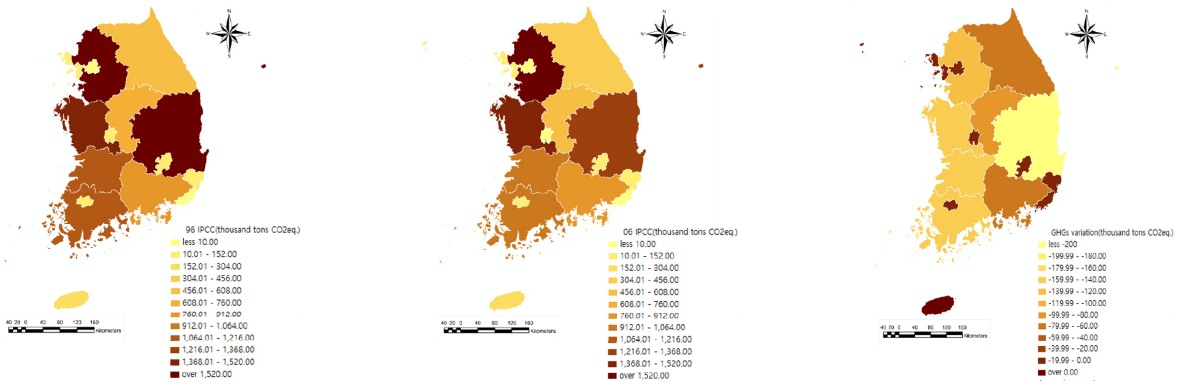
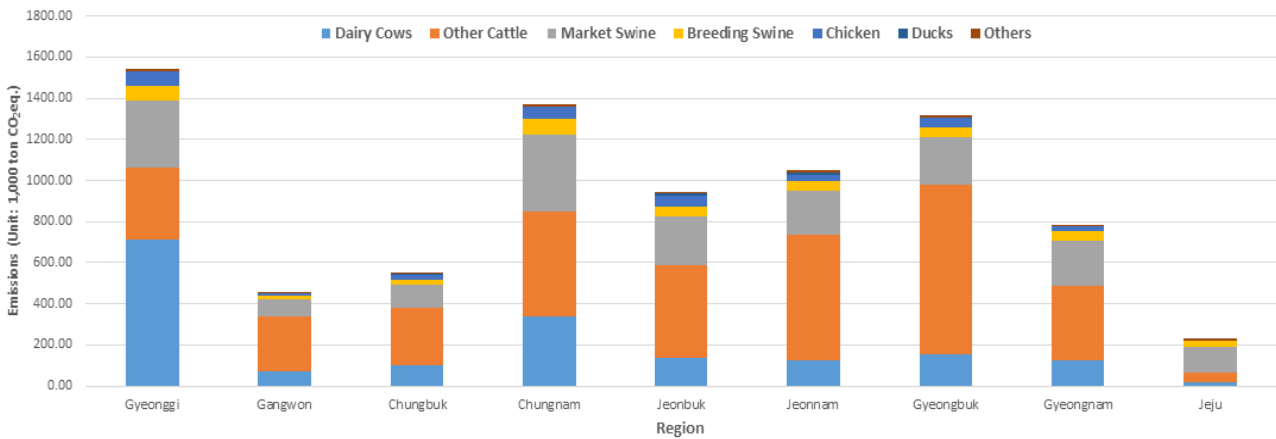


Fig. 5 The comparison of GHGs emissions from livestock sector with 1996 and 2006 IPCC guideline



(a) GHGs from livestock sector based on the 1996 IPCC guideline by region (b) GHGs from livestock sector based on the 2006 IPCC guideline by region (c) GHGs variation from livestock sector

Fig. 6 The GHG emissions and variation from livestock sector with 1996 and 2006 IPCC guideline by region



Livestock GHGs of Seoul and six metropolitan cities (Busan, Daegu, Incheon, Gwangju, Daejeon, Ulsan) are excepted since emissions of them are less than 1 % of total emissions. Chicken category includes layers and broilers. Other category includes sheep, goats, horses, and deer.

Fig. 7 Regional GHGs from livestock sector with 2006 IPCC guideline by species

도 배출량의 약 23%에 해당한다. 또한 배출량 중 젖소의 비중이 높은 경기도와 돼지의 비중이 높은 제주특별시를 제외한 다른 시군구에서는 한육우의 비중이 충청남도 37%에서 경상북도 63%로 가장 높게 나타났다. 닭은 본 연구에서 사용된 축종 중 사육두수가 가장 높은 축종으로 전체 사육두수의 87%를 차지하지만 배출계수가 다른 축종들에 비해 작아 지역별 배출량으로 살펴보면 0~5%에 그치는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 산정기준 변화에 따른 우리나라 축산부문 온실가스 배출량의 변화를 시계열 활동자료를 바탕으로 분석하고 지역별 특성을 고려하여 시군단위로 배출량을 파악하고자 하였다. 1996 IPCC 가이드라인에서 2006 IPCC 가이드라인으로 산정기준이 변화함에 따라 1990~2014년 장내발효 배출량은 8~10% 증가하였고 경상북도 장내발효 배출량이 78천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 가장 많이 증가한 것으로 나타났다. 또한 가축분뇨처리 배출량은 16~29% 감소하였고, 경상북도 가축분뇨처리 배출량이 289천 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 가장 많이 줄어든 것으로 나타났다.

하지만 이는 1996, 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 Tier 1 수준의 배출계수를 이용하여 산정한 결과값이다. IPCC 가이드라인에서는 활용할 수 있는 국가통계자료를 바탕으로 해당 국가의 상황을 반영할 수 있는 Tier 2 수준의 배출계수를 산정하여 온실가스 배출량을 산정하도록 권장하고 있다. 현재 정부에서도 국가고유배출계수를 개발하려는 노력이 이어지고 있다. 지자체 온실가스 배출량 산정지침에 따르면 장내발효는 젖소와 한육우의 국가고유배출계수가 명시되어 있다. 장내발효에서는 젖소의 소분류로 육성우, 착유우로, 한육우의 소분류로 송아지, 번식우, 비육우로 세분화되어 배출계수가 개발되어 있다. 하지만 세분화된 소분류에 대한 과거의 국가통계자료가 없어 현재까지의 온실가스 배출량 변화를 분석하는데 한계가 있다. 또한 젖소와 한육우를 제외한 돼지, 말, 양, 염소, 사슴에 대해서는 국가고유배출계수가 개발되어 있지 않아 정확한 배출량을 산정하는 데에 어려움이 존재한다. 따라서 소분류의 가축사육두수의 지속적인 통계자료의 축적과 기타 축종들의 장내발효 국가고유배출계수 개발을 하여 정확한 장내발효 온실가스 배출량 산정이 필요하다.

가축분뇨처리에서는 젖소, 한육우, 돼지, 닭의 국가고유배출계수가 제시되어 있다. 하지만 가축분뇨처리에는 젖소와 한육우의 배출계수가 소분류로 제시되어 있지 않고 양, 염소, 말, 오리, 사슴의 배출계수가 개발되어 있지 않아 정확한 가축분뇨처리 온실가스 배출량을 산정에 적용하는 것에 한계가

있다. 또한 2006 IPCC 가이드라인에서는 돼지를 판매용 돼지와 번식용 돼지로 세분화하여 배출계수를 제시하였지만 온실가스 산정지침에는 돼지의 배출계수만 개발되어 있어 추후 각각의 배출계수가 개발될 필요성이 있다. IPCC 가이드라인에서 제시한 Tier 1 배출계수와 현재까지 개발되어 있는 국가고유배출계수를 비교해보면 국가고유배출계수의 값이 더 낮게 개발되었다. 따라서 각 축종에 맞는 국가고유배출계수가 개발이 되어 산정이 이루어진다면 지금보다 더 정확하고 지역특성을 반영하는 결과값을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

지속적으로 개선되는 산정방법에 따라 축산부문 온실가스 배출량을 산정할 때 필요한 통계자료가 많아지고 있다. 1996 IPCC 가이드라인에서는 축산부문 온실가스 배출량을 산정할 때 사용하는 배출계수에 대해 Tier 1 수준의 자료만 제시한다. 하지만 산정기준이 개선되면서 2006 IPCC 가이드라인에서는 국가와 지역의 특성을 반영하고 정확한 산정을 유도하고 있다. 다음 IPCC 가이드라인에서 개선이 더 이루어진 산정식과 배출계수를 제시한다면, 그에 맞는 국가 통계자료를 필요로 하지만 현재 관련 통계가 많지 않은 상황이다. 또한 GIR에서 보고되고 있는 축산부문 온실가스 배출량은 아직 1996 IPCC 가이드라인에서 제시하는 Tier 1 배출계수를 사용하고 있는 실정이다. 따라서 축산 관련 통계자료 수집과 개선된 산정기준 사용을 통해 지속적으로 변화하는 가이드라인에 대응하여 배출량을 산정할 필요가 있다고 생각된다.

지역별 축산부문 온실가스 배출량은 2006 IPCC 가이드라인 산정기준과 2014년 국가통계자료를 바탕으로 산정한 결과 경기도가 배출량이 가장 많은 지역으로 나타났다. 또한 지역별 축종별 배출량을 산정했을 때 경기도는 젖소의 배출량 비중이, 제주특별시는 돼지의 배출량 비중이, 그 외 지역은 한육우의 배출량 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. 현재 이러한 지역별 배출량 산정은 국가에서 각 지역별로 같은 배출계수를 적용하는 Top-down 방식을 채택하고 있다. 하지만 우리나라 시도별로 가축 사육환경이 다르고 축종별 사육두수가 적은 특별시와 광역시, 사육두수가 많은 제주특별자치도와 도 지역에서는 그에 따른 가축분뇨처리 방법도 다양하고 대규모 사육으로 인한 온실가스에 미치는 영향이 다를 것으로 생각된다(Chung, 2009). 지역별 상황을 반영할 수 있는 배출계수가 추후에 개발이 된다면 지역별 축산부문 온실가스 배출량을 Bottom-up 방식으로 정확히 산정할 수 있고 지역별 특성에 맞는 정책을 제시하여 온실가스 저감을 효과적으로 실천할 수 있을 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 정부 (농촌진흥청)의 재원으로 국립농업과학원의 지원을 받아 수행되었습니다. (과제번호: PJ009134).

## REFERENCE

- Bae, J. and H. Kang, 2014. An Empirical Study on Impacts of Overlapping Climate and Energy Policies on Mitigation of Greenhouse Gas Emissions, *Environmental and Resource Economics Review* 23(4): 747-784.
- Bae, Y., S. Bae, I. Seo, K. Seo, J. Lee, and G. Kim, 2013. Estimation of Uncertainty on Greenhouse Gas Emission in the Agriculture Sector, *Journal of Korean Society of Rural Planning* 19(4): 125-135.
- Bellarby, J., R. Tirado, A. Leip, F. Weiss, J. Lesschen, and P. Smith, 2013. Livestock Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Potential in Europe, *Global Change Biology* 19: 3-18.
- Bhatta, R., O. Enishi, and M. Kurihara, 2007. Measurement of Methane Production from Ruminants, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 20(8): 1305-1318.
- Caro, D., S. Davis, S. Bastianoni, and K. Caldeira, 2014. Global and Regional Trends in Greenhouse Gas Emissions from Livestock, *Climatic Change* 126: 203-216.
- Chung, H., 2009. A Comparative Study on IPCC Guidelines through GHG Emission Assessment (Focused on Dangjin-gun), Ms., Hoseo University.
- Hwang, J. and C. Oh, 2014. A Study on the Spread of the Foot-and-Mouth Disease in Korea in 2010/2011, *Journal of the Korean Data & Information Science Society* 25(2): 271-280.
- IPCC, 1996. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC, 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Jeong, H. and C. Kim, 2015. Greenhouse Gas Reduction Targets and Response Strategies in Agricultural Sector, *Korea Rural Economic Institute* 115: 1-19.
- Jeong, H., G. Kim, S. Lee, J. Lee, J. Lee, 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.
- Ji, E., S. Yang, S. Cho, O. Hwang, and K. Park, 2012. Application of 2006 IPCC Guideline to Improve Greenhouse Gas Emission Estimation for Livestock Agriculture, *The Korean Society for Livestock Housing and Environment* 18(2): 75-84.
- Kim, H., 2009. National Greenhouse Gas Inventory System, Statistical Research Institute.
- Kim, H., 2010. Improving National Greenhouse Gas Inventories and Management System, Korea Environment Institute.
- Kim, H., D. Kim, H. Kim, and S. Yi, 2008. Sensitivity and Uncertainty Analysis of Greenhouse Gas Emission from Landfills in Korea, *Korean Society of Environmental Engineers* 257-262.
- Kim, M., S. Yang, Y. Oh, and K. Park, 2016. Estimation of Greenhouse Gas Emissions from Korean Livestock During the Period 1990-2013, *Journal of Climate Change Research* 7(4): 383-390.
- Kim, S. and J. Lee, 2016. The Inter-Regional Economic Effects of Greenhouse Gas Emissions Reduction Policies: Focusing on Carbon Taxes, *Korea Environmental Policy and Administration Society* 24(2): 137-171.
- Ministry of Environment, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR), 2015. 2015 national greenhouse gas inventory report of Korea.
- O'Mara, F., 2011. The Significance of Livestock as a Contributor to Global Greenhouse Gas Emissions Today and in the Near Future, *Animal Feed Science and Technology* 166: 7-15.
- Park, S., 2016. Post-2020 Climate Regime and Paris Agreement, *Environmental Law and Policy* 16: 285-322.
- Yang, S., D. Choi, S. Cho, O. Hwang, and K. Park, 2014. Estimation of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Livestock Agriculture in Korea, *The Korean Society for Livestock Housing and Environment* 20(4): 139-146.
- Yi, I., 2009. The Strategy and Tasks of Green Growth in Agriculture and Rural Sector as a Countermeasure of Climate Change, *Journal of The Korean Regional Development Association* 21(4): 41-70.