

2006 IPCC 가이드라인 축산부문 도입에 따른 온실가스 배출량 계산 개선방안 연구

지은숙 · 양승학 · 조성백 · 황옥화 · 박규현

농촌진흥청 국립축산과학원

Application of 2006 IPCC Guideline to Improve Greenhouse Gas Emission Estimation for Livestock Agriculture

Ji, Eun-Sook, Yang, Seung-Hak, Cho, Sung-Back, Hwang, Ok-Hwa and Park, Kyu-Hyun

National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-350, Korea

Summary

Current estimation of greenhouse gas (GHG) emissions from livestock agriculture in Korea was based on Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (1996 IPCC GL) published in 1996 and emission data were published in National Inventory Report. New guideline book, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006 IPCC GL), however, was published in 2006. Hence preparation to apply new guideline for the estimation of GHG emission would be necessary. In this study, 1996 IPCC GL and 2006 IPCC GL for livestock agriculture were compared. Estimated GHG emissions based on Tier 1 methods of 1996 IPCC GL and 2006 IPCC GL between 2000 and 2008 were also compared. Estimated GHG emissions based on 2006 IPCC GL were 1.27~1.33 times higher than those based on 1996 IPCC GL. These results were mainly caused by emission factors of each IPCC GL. More researches should be conducted to decrease uncertainties of national GHG inventories.

(Key words : Climate change, Greenhouse gas, IPCC guideline, Livestock)

서 론

21세기에 들어서면서 산업화와 도시화가 급속히 진행됨에 따라 우리는 물질적인 풍요와 편리함을 제공받는 한편 환경파괴와 자원 고갈의 부작용을 떠안게 되었다. 이에 따라 전세계적으로 환경문제를 심각하게 논의할 대상으로 삼고 특히 지구온난화에 대비하여

온실가스를 줄이기 위한 노력이 펼쳐지고 있다 (백춘열, 2012). 기후변화 협약은 세계 각국이 지속가능한 성장을 위해 공동의 노력을 기울여 대기 중의 온실가스 농도를 안정화시킴으로써 지구의 환경변화를 최소화하는 목표를 갖는다. 그러나 협약 자체에 온실가스 감축량과 그 시기 등이 뚜렷하게 명시되어 있지 않아 혼란이 야기되었다. 이에 기후변

본 연구는 에너지경제연구원의 ‘06 IPCC 가이드라인」 도입에 따른 개선방안 연구」 과제에서 자문한 내용에 바탕을 두었음.

Corresponding author : Kyu-Hyun Park, National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-350, Korea.

Tel: 031-290-1718, Fax: 031-290-1731, E-mail: kpark74@korea.kr

2012년 8월 7일 투고, 2012년 8월 27일 심사완료, 2012년 8월 29일 게재확정

화협약의 실질적인 실천 방법을 명시할 필요가 대두되어 1997년 일본 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국 총회에서 교토의 정서가 채택되었다. 이후 2005년 교토의정서가 발효됨에 따라 온실가스 감축 공약을 이행할 의무가 생겼다. 우리나라는 교토의 정서상 의무감축국은 아니지만 OECD 국가로서 세계 10위 수준의 온실가스 다배출국이고 온실가스 감축을 통해 국제사회의 기후변화 대응노력에 동참하여 녹색기술·산업을 신성장 동력으로 육성하는 저탄소 녹색성장을 달성하기 위해 자발적으로 감축목표를 설정하였다. 우리나라의 2020년 기준 온실가스 감축 목표는 2020년 온실가스배출전망치(BAU; Business As Usual) 대비 국가 전체 30%, 농림어업부문은 5.2%이다. 이러한 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 국내 각 부문별 온실가스 배출량 조사가 정확히 이뤄져야 하고 감축 노력이 필요한 실정이다(Kim, 2007). 이를 위해서 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)에서 작성한 ‘국가 온실가스 배출량 인벤토리 지침(Guideline, 이후 지침)’을 이용하여 정확한 온실가스배출량을 조사하여야 한다(IPCC, 2006). 2006 IPCC 지침은 온실가스 인벤토리 및 계정에 관한 가장 발전된 수준의 통합 지침서이다. 축산부문이 속한 AFOLU 부문은 타 부문에 비해 방법론이 매우 복잡하고 활동자료 및 계수 개발이 한계점이 많기 때문에 불확실성을 낮추기 위한 국가적 노력에 있어서 상대적으로 효율적인 재원의 투자가 어렵고 시간 또한 많이 요구된다. 우리나라는 현재 1996 IPCC 지침(IPCC, 1996)을 기준으로 온실가스 배출량 연구가 이뤄지고 있는데, 향후 더 발전된 2006 IPCC 지침을 적용하기 위해서는 많은 노력이 필요하다.

United Nations Framework on Climate Change Convention에 제출한 뉴질랜드, 미국, 호주, 일본, 캐나다의 2011년도 국가 인벤토

리 보고서의 사용 지침을 보면, 뉴질랜드는 2009년 기준국가 전체 온실가스 배출량 중 장내 발효 과정에서 배출되는 메탄(CH₄)이 차지하는 비율이 31.9%에 달하는 축산 중심 국가로서 축산부문에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 뉴질랜드의 국가 인벤토리 보고서는 1996 IPCC 지침, GPG 2000, GPG 2003, 2006 IPCC 지침을 기본으로 하여 작성되었다. 뉴질랜드는 GPG 2000을 기본으로 온실가스 배출량을 산정하였는데 일부분은 2006 IPCC 지침을 사용하였다. 장내발효 중 알파카는 2006 IPCC 지침의 기본값이 뉴질랜드의 연구를 바탕으로 설정되었기 때문에 그 값을 사용하였다. 또한 국가 고유 자료와 2006 IPCC 지침의 값을 비교하여 뉴질랜드의 국가 고유 배출계수가 2006 IPCC 지침의 오세아니아 지역 기본값 보다 약간 높다는 것을 평가하였다. 뉴질랜드는 가축분뇨 처리 과정에서 배출되는 CH₄에 대한 국가 고유 불확실성 값을 가지고 있지 않고 GPG 2000에도 없기 때문에 2006 IPCC 지침 기본값을 이용하였으나 아산화질소(N₂O) 배출에 대한 값을 GPG 2000의 기본값을 이용하였다.

미국의 농업부문은 2009년 기준 국가 전체 온실가스 배출량 중 6.3%를 차지하고 이 중에서 축산부문이 차지하는 비율은 장내발효 과정과 가축분뇨 처리과정이 각각 33.3%, 16.1%로써 총 49.4%에 달하고 있다. 미국은 장내발효 과정에서 배출되는 CH₄을 계산할 때 2006 IPCC 지침의 CH₄ 전환계수(Y_m)를 사용하였으며 기타 가축의 배출계수 및 배출량 계산법도 2006 IPCC 지침을 사용하였다. 그리고 최근 장내발효 과정과 가축분뇨 처리 과정에서 나온 데이터 연결의 중요성이 대두 되었으며 이를 위해 2006 IPCC 지침의 에너지 밸런스 공식과 배출량 계산 모델을 연결하였다. 가축분뇨 처리과정의 CH₄와 N₂O 배출량의 경우 2006 IPCC 지침을 기본으로 작성하였다.

호주의 농업부문은 2009년 기준 국가 전체 온실가스 배출량 중 15.5%를 차지하는데 이 중 장내발효 과정의 비율은 64.6%에 달한다 (Bamualim and Kartiarso, 1985). 호주는 국가 인벤토리 보고서 작성할 때 국가 고유 배출계수 및 GPG 2000을 사용하고 있으나, 염소, 물소, 낙타 등 기타 가축의 경우 1996 IPCC 지침을 사용하였다. 또한 사슴과 알파카의 경우는 Howden (1991)의 자료를 이용하였다. 불확실성 평가를 위해 GPG 2000을 사용하였으나 CH₄ 전환율 (methane conversion rate) 등 일부에서는 2006 IPCC 지침을 사용하였다. 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 CH₄와 N₂O량을 산정할 경우 국가 고유 배출계수 및 1996 IPCC 지침을 사용하였다. 따라서 호주는 아직 2006 IPCC 지침을 적용하지 않고 있다고 말할 수 있겠다.

일본의 농업부문은 2009년 기준 국가 전체 온실가스 배출량 중 2.1%를 차지하고 이 중 장내발효 과정과 가축분뇨 처리과정의 비율은 각각 27%, 27.8%로, 축산으로 인한 직접적인 배출량이 54.8%에 달한다 (Gibbs et al, 2002). 일본은 국가 인벤토리 보고서 작성을 위해 국가 고유 자료 및 GPG 2000을 사용하였으며 양과 염소 등 기타 가축과 농업부문의 배출량 계산에 있어 3년 평균을 사용하는 등 일부분에서 1996 IPCC 지침을 병행하여 사용하였다. 불확실성 평가를 위해 1996 IPCC 지침 및 GPG 2000을 이용하였다. 따라서 일본의 경우 2006 IPCC 지침은 적용되지 않고 있다고 볼 수 있다.

캐나다의 농업부문은 2009년 기준 국가 전체 온실가스 배출량 중 8.1%를 차지하고 있으며 이 중 장내발효 과정과 가축분뇨 처리과정의 비율은 각각 33.9%, 26.8%로, 축산으로 인한 직접적 배출량은 농업부문의 60.7%에 달한다. 캐나다는 국가 인벤토리 보고서 작성을 위해 장내발효 과정에서 배출되는 온실가스는 국가 고유 배출계수 및 GPG 2000

을 사용하였고 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 온실가스는 국가 고유 배출계수 및 2006 IPCC 지침을 사용하였다. 주요 카테고리 결정을 위해 GPG 2000과 GPG 2003을 사용하였으며 불확실성 평가를 위해 GPG 2000을 사용하였다. 따라서 캐나다는 1996 IPCC 지침, GPG 2000, GPG 2003, 2006 IPCC 지침을 국가환경에 맞도록 복합적으로 사용하고 있다고 볼 수 있다.

본 연구는 우리나라의 자발적 감축목표 실현을 위해 국제적으로 공인될 수 있는 온실가스 보고 검증제도 (MRV) 수준에 도달하기 위한 AFOLU 부문의 통합된 2006 IPCC 지침의 국내 적용성에 대한 방법론적 접근을 통해 분석함으로써 이를 통해 도출되는 문제점과 그에 대한 개선방안을 마련하는 데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 축산부문 온실가스 배출원 및 이용 지침

축산부문에서 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침의 카테고리 분류는 크게 장내발효 과정과 가축분뇨 처리과정의 CH₄와 N₂O 배출로 나뉘지며, 각 과정별로 축종별 구분이 되어 있고 축종은 다시 성장단계 등을 이용한 하부 카테고리로 구분이 된다 (정경화 등, 2008). 2006 IPCC 지침에서는 1996 IPCC 지침과는 달리 주요 카테고리의 결정을 위한 방법을 배출량의 절대적 수준, 배출 경향, 불확실성에 대한 고려를 통해 결정하였다. 주요 카테고리의 결정을 위한 조건은 해당 카테고리가 국가 인벤토리 시스템에 있어서 중요한 영향을 미칠 수 있는 것을 기준으로 판단하였다. 2006 IPCC 지침의 approach 1이 이러한 개념을 이용하였으며 하위 카테고리의 배출량 합이 전체 배출량의 95% 수준을 넘지 않도록 정하고 있다. 2006 IPCC 지침의 approach 2

는 각 하위 카테고리가 불확실성에 미치는 영향에 대한 평가를 통해 하위 카테고리를 정하며 approach 1 이외에 부가적으로 실시하는 분석으로 이 두 과정 모두를 수행할 때 ‘우수실행’이라 일컫는다.

2. 배출량 산정방법

장내발효 과정에서 배출되는 CH₄ 량 계산을 위한 방식은 3단계가 있다. 1단계는 가축을 성장단계 등의 하위 카테고리로 나누고 2단계는 각 하위 카테고리에 해당되는 연간 가축당 배출계수를 구하며 3단계는 하위 카테고리의 배출량을 계산하기 위해서 하위 카테고리의 배출계수와 하위 카테고리의 사육두수를 곱하고 총 배출량을 계산하기 위해서 하위 카테고리의 배출량을 모두 더한다. IPCC에서는 세 가지 방법론(Tier 1, Tier 2, Tier 3)을 제안하고 있다. Tier 1 방법은 이전 연구에서 나온 데이터를 이용하여 만들어진 기본값을 배출계수로 사용하는 방법이다. Tier 2 방법은 총 에너지 섭취량과 하위 카테고리에 속하는 축종에 대한 CH₄ 환산계수 계산을 위해 상세한 국가 고유 자료가 필요하며 장내 발효가 국가 온실가스 배출량에 중요한 부분을 차지하는 국가에서 사용한다. 가축에 의한 온실가스 배출이 국가 온실가스 배출량에서 큰 비중을 차지하는 국가들이 Tier 2 방법보다 더 정확하게 국가 온실가스 배출량을 계산하려 할 경우 Tier 3 방법을 개발하여 사용할 수 있다. 이 방법은 국가 고유의 사료 특성, 축종 하위 카테고리에 따른 사료 급이량과 사료의 질, 계절에 따른 발생량 변화 등 자세한 자료들이 필요하며 이러한 데이터들은 직접 측정을 통해 얻어야 하며 배출계수 산출의 정확성과 정교함을 얻을 수 있도록 높은 수준의 검토가 필요하다. 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 CH₄와 N₂O 량을 계산하기 위해서는 장내발효 과정과 마찬가지로 Tier 1, Tier 2, Tier 3 방법을 사용할 수 있다. Tier 1 방법은 장내발효 과정을 계산할 때와 같이 IPCC에서 정한 기본값을 이용하며 해당 국가의 환경과 각 배출계수의 정의에 적합한 것을 이용해야 한다. Tier 1 방법을 사용할 때 카테고리별 CH₄ 배출계수가 사용되며 IPCC 기본값 배출계수는 연평균 기온, 축종별, 지역별 분류에 따라 해당값을 찾을 수 있다. 2006 IPCC 지침에서는 가금류의 배출계수를 자세히 구분하였고 그 외에 사슴, 순록, 토끼, 모피가축의 배출계수도 명시하였다. 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 온실가스량을 계산하기 위해 Tier 2 방법을 선택하기 위해서는 장내발효 과정의 Tier 2 선택 조건과 마찬가지로 가축분뇨처리과정의 주요한 배출원이고 IPCC의 기본 배출계수 도출을 위해 사용한 자료가 해당 국가의 가축 및 가축분뇨 처리 조건과 잘 일치하지 않은 경우에 적용된다. 소, 물소, 돼지의 특성과 가축분뇨 처리시스템은 국가별로 매우 다양할 수 있으므로 해당 가축 사육 두수가 많은 국가의 경우 배출량 계산을 위해서는 Tier 2 방법을 이용하는 것을 고려해야 한다. Tier 2 방법은 가축분뇨로부터의 배출계수 산정에 영향을 미치는 두 가지 주요한 유형의 입력자료인 가축분뇨 특성과 가축분뇨 처리 시스템의 특성에 따라 배출량이 산정된다.

CH₄ 및 N₂O의 GWP는 각각 21과 310을 사용하였다. 2006 IPCC 지침에서 가축분뇨내의 질소배출량은 가축의 체중 1,000 kg을 기준으로 표시되어 있기 때문에 각 축종별 평균 체중을 사용해야 한다. 가축의 체중은 성장단계 및 품종별로 다르기 때문에 평균값을 계산하기가 어렵다. 하지만 본 연구에서는 환경부 고시 제1999-109 ‘사육두수 및 가축별 배출원단위’를 개정하기 위해 수행된 농촌진흥청 국립축산과학원의 “가축분뇨발생량 및 주요성분재설정 (2008)” 연구 보고서의

환경부 고시 제1999-109 ‘사육두수 및 가축별 배출원단위’를 개정하기 위해 수행된 농촌진흥청 국립축산과학원의 “가축분뇨발생량 및 주요성분재설정 (2008)” 연구 보고서의

축종별 평균 체중 (한우 : 350 kg, 젓소 : 423 kg, 돼지 : 70 kg, 닭 : 1.69 kg)을 이용하였다. 기타가축의 경우 염소는 38.75 kg, 양은 55 kg, 말은 370 kg을 이용하였다. 이를 이용하여 계산한 가축당 질소 배출량은 젓소 (67.9 kg/두/년), 한·육우 (39.6 kg/두/년), 돼지 (17.4 kg/두/년), 닭 (0.51 kg/두/년), 염소 (19.4 kg/두/년), 말 (62.1 kg/두/년), 양 (23 kg/두/년)이었다.

3. 2000~2008년 온실가스배출량 산정 및 비교

현재 우리나라 축산부문 온실가스 배출량 국가 인벤토리 보고서는 1996 IPCC 지침 Tier 1 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서는 1996 IPCC 지침 Tier 1과 2006 IPCC 지침 Tier 1를 이용하여 배출량을 산정하고 비교 분석하였다. 본 연구에서 다루게 될 축종은 소, 한·육우, 돼지, 닭, 염소, 말, 양이다. 소, 한·육우, 돼지, 닭의 2000년부터 2004년까지의 사육두수는 통계청 농업통계 정보의 값을 사용하였고 2005년부터 2008년까지의 사육두수는 통계청의 ‘가축동향조사’의 값을 사용하였다. 염소, 말, 양의 사육두수는 농림수산 식품부의 농림사업통합정보시스템의 기타가축통계의 값을 사용하였다. 모든 축종의 사육두수는 12월의 통계 값을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침차이 분석

가. Tier 1

장내발효과정에서 배출되는 CH₄ 량을 Tier 1 방법을 이용하여 계산하기 위해서는 배출계수와 해당 카테고리의 가축사육두수를 곱한다. 이 방법은 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침 모두 같다. 따라서 현재 축산부문

온실가스 배출량 계산을 위해 사용하는 1996 IPCC 지침의 배출계수 선택 방법과 마찬가지로 2006 IPCC 지침의 배출계수를 선택하여 배출량을 계산할 수 있다. 가축분뇨처리 과정에서 배출되는 CH₄ 량은 장내발효의 CH₄ 발생과 마찬가지로 IPCC의 기본 배출계수를 이용하며 해당 국가의 환경과 각 배출계수의 정의에 적합한 것을 이용해야 한다. Tier 1 방법을 사용할 때 가축 부문 또는 하위부문별 메탄 배출계수가 사용되며 연평균 기온에 의한 IPCC 기본계수는 축종별, 지역별 분류로 구분하여 제시되어 있으며 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침의 자료가 구분되어 있다. 배출계수는 가축분뇨가 처리되는 지역의 기온, 가축분뇨의 휘발성 고형물 함량과 각 지역에서 사용하는 가축분뇨 관리방법의 범위에 따라 다르다. 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침의 배출계수의 차이가 존재하며 2006 지침에서는 가금류의 배출계수를 자세히 구분하였으며 그 외에 사슴, 순록, 토끼, 모피가축의 배출계수도 명시하였다. 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 직접적인 N₂O 량은 가축분뇨처리시스템에서의 N₂O 배출량 예측을 위해 사용된 방법론과 세부사항의 수준은 국가의 상황에 달려있고 그 국가의 상황에 적절한 Tier 수준을 선택해야 한다. Tier 1 방법은 각각의 가축분뇨처리방법의 배출계수를 알아야 하며 IPCC의 N₂O 배출계수, 질소 배출 데이터, 그리고 가축분뇨 처리시스템 데이터의 기본계수를 이용한다. 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침의 차이는 질소배출량을 위한 기본값 단위에 있다. 1996 IPCC 지침은 가축 당 질소 배출량이 표시되어 있으나 2006 IPCC 지침은 가축 체중 1,000 kg을 기준으로 하여 표시되어 있기 때문에 2006 IPCC 지침을 국내에 적용할 경우 축종의 평균적 체중 자료가 있어야 적용이 가능하다. 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 간접적인 N₂O 량은 가축분뇨가 처리되는 장소에

서 다른 형태의 질소(예, 암모니아와 질소산화물)의 손실이 있을 것이다. 휘발성 암모니아 형태의 질소는 가축분뇨처리지역으로부터 바람이 불어가는 지역에 축적되며 간접적인 N_2O 배출을 일으킨다. 배설되고, 가축분뇨처리시설에서 관리되고, 최종적으로 토양에 적용하는 가축분뇨의 질소를 추적하기 위해 질량보존적 접근 방법인 Tier 3을 사용하는 것이 좋다. Tier 1은 가축분뇨 처리시설에서 관리되는 질소량과 가축분뇨 처리시설의 질소산화물과 암모니아의 형태로 휘발되는 질소량에 의해 계산할 수 있다. Tier 1 방법은 질소 배출 데이터 기본계수, 가축분뇨 처리시스템 데이터 기본계수, 그리고 휘발에 의한 가축분뇨 처리시설에서 질소 손실의 분율 기본계수를 이용한다.

나. Tier 2

Tier 2 방법을 이용하여 배출량을 계산할 경우에도 Tier 1과 마찬가지로 배출계수와 가축사육두수가 필요하다. 하지만 Tier 2 방법의 경우 배출계수를 계산하기 위한 과정이 필요하게 된다. Tier 2 방법은 배출계수를 결정하는 식을 구성하고 있는 여러 변수를 각 국가의 축산 환경에 따라 결정하여 그 값을 구한 후 그 값을 대입하여 계산한다. 장내발효 과정의 배출계수를 계산하기 위해 필요한 변수는 섭취 사료의 총 에너지와 섭취 사료의 Y_m 이다. 총 에너지(GE) 요구량은 순 에너지 요구량과 사료 특성에 따른 에너지 이용도의 총합에 기초하여 계산된다. 섭취 사료의 Y_m 는 사료별 상호작용과 축종에 따라 다르다. Y_m 는 IPCC의 해당 기본계수 또는 국가 고유의 값을 사용할 수 있다. 소화율이 높고 높은 에너지 값을 가지는 질 좋은 사료를 급이할 경우 낮은 범위의 계수를 이용하며 저품질의 사료를 급이할 경우 높은 범위를 사용한다. 이유 전 가축의 Y_m 는 0으로 간주한다. 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지

침에서는 Y_m 에서 약간의 차이가 있다. 가축분뇨처리과정에서 발생하는 CH_4 량을 산정할 때, 고유 가축의 종/범주가 국가 배출량의 큰 비율을 차지하는 경우 가축분뇨처리과정의 CH_4 배출계수 산출을 위해서는 좀 더 복잡한 방법을 이용해야 하며 국가의 고유한 환경에 맞는 배출계수를 개발하는데 사용될 가축의 특성과 가축분뇨 처리과정에 대한 자세한 정보를 필요로 한다. Tier 2 방법은 가축분뇨관리가 주요한 배출원이고, IPCC의 기본 배출계수 도출을 위해 사용한 자료가 해당 국가의 가축 및 가축분뇨 처리 조건과 잘 일치하지 않을 때 적용할 수 있다. 소, 물소, 돼지의 특성과 가축분뇨 처리시스템은 국가별로 매우 다양할 수 있으므로 해당 가축 사육두수가 많은 국가의 경우, CH_4 배출을 산정하기 위해서 Tier 2 방법을 이용하는 것을 고려해야 한다. Tier 2 방법은 가축분뇨로부터의 배출계수 산정에 가축분뇨의 특성과 가축분뇨 처리시스템의 특성이 큰 영향을 미친다. 가축분뇨의 특성은 가축분뇨에서 발생된 휘발성 고형물(VS)의 양과 그 가축분뇨로부터 발생될 수 있는 CH_4 최대 발생량(B_0)을 포함한다. 가축분뇨 중 VS량은 Tier 2의 장내 발효 배출계수를 도출하는데 사용되는 변수이기도 한 사료 섭취량 및 사료 소화성에 근거하여 산정되거나 가축분뇨를 실험실에서 분석한 결과에 근거할 수 있다. B_0 은 축종과 사료의 종류에 따라 달라지며, 가축분뇨의 VS의 양에 의거한 이론상의 B_0 이다. 축사의 깔짚(짚, 톱밥, 나무조각 등)은 Tier 2 방법에서 VS에 포함되지 않는데, 이러한 깔짚 재료의 종류와 사용은 국가마다 매우 다양하며 일반적으로 고형물 저장 시스템과 관련이 있으므로 전체 CH_4 발생량에 커다란 영향을 미치지 않을 것이기 때문이다. 가축분뇨 처리시스템의 특성은 가축분뇨관리에 이용된 시스템의 유형과 시스템 고유의 B_0 비율을 반영하는 CH_4 변환계수(MCF)를 포함한다.

젖소와 한·육우의 경우 우리나라가 속하는 한대 및 온대 지역에서는 1996 IPCC 지침과 비교했을 때 2006 IPCC 지침의 MCF 값은 lagoon에서 감소하였으며, 액체/슬러리 및 고형물 저장의 경우에는 증가하였다. 돼지의 경우 1996 IPCC 지침과 비교했을 때 2006 IPCC 지침의 MCF 값은 lagoon에서 감소하였으며, 액체/슬러리 및 고형물 저장의 경우에는 증가하였다. 한 달 미만 저장하는 pit의 경우 한 대와 온대 모두 1996 IPCC 지침과 비교했을 때 2006 IPCC 지침은 감소하였으나 한 달 이상 저장할 경우 일부 온도(15~17°C)를 제외하고는 한대 및 온대에서 모두 증가하였다. Tier 2 배출계수 개발은 각 기후 지역에서 각 가축분뇨처리시설에 의해 처리되는 가축분뇨의 평가를 이용하여 가중평균 MCF 결정을 포함한다. 그 다음 평균 MCF를 VS 배설물과 가축 범주의 B_0 을 이용하여 계산한다. 휘발성 고형물 (VS)은 가축분뇨에서 유기물질이며, 생물분해성 부분과 생물비분해성 부분 두 가지로 구성되어 있다. 1996 IPCC 지침과 비교하였을 때 2006 IPCC 지침은 소변으로 손실되는 에너지를 고려하고 있다. 가축분뇨의 B_0 은 종과 사료에 따라 변동되며 국가 고유의 B_0 측정값을 이용하는 것이 좋다. Tier 2 계산은 총 배설된 VS에 근거를 두고 있으므로 샘플링 방법을 포함해 B_0 측정을 표준화하고, 만약 총 배설된 VS 값이 아니라면 생물분해성 VS에 근거를 두었는지 확인하는 것이 중요하다. 상이한 가축분뇨 처리시스템에 대한 기본값 MCF는 고유 가축분뇨 처리시스템에 대해 결정되고, B_0 가 얻어지는 정도를 나타낸다. 1996 IPCC 지침의 경우 온도 범위를 15°C 미만, 15°C 이상부터 25°C 미만, 25°C 이상으로 세 범위를 지정하였으나, 2006 IPCC 지침의 경우 1°C 변화에 따른 값을 명시하였다. Lagoon의 기본값은 더 긴 계류시간의 효과가 포함되어 그 결과로 대부분의 다른 환경의 시스템보다

높은 수치를 나타낸다. 가축분뇨 처리과정에서 직접적으로 발생하는 N_2O 양은 Tier 2 방법을 사용하여 산정할 때 Tier 1과 같은 계산방법을 따르나 일부 혹은 모든 변수들에서 국가 특성 데이터를 이용한다. 가축분뇨 처리과정에서 간접적으로 발생하는 N_2O 양은 국가 고유의 환경을 반영하여 배출계수 산출의 불확실성을 감소시키기 위해 Tier 2를 개발할 것이다. 가축분뇨 처리로부터의 직접적 N_2O 배출 측정 방법과 같이, Tier 2는 Tier 1과 같은 계산 방법을 사용하지만 부분적 혹은 모든 변수를 위해 국가 고유 데이터를 사용할 수 있다. Tier 2 방법은 국가에서 사용되는 축사와 가축분뇨처리시스템을 통한 질소의 흐름에 대한 자세한 정보가 필요하다.

다양한 가축분뇨 처리시스템에서 침출과 유출 손실에 대한 극히 제한적인 측정 값들이 있다. 일반적으로 가축이 사육장에 있을 때 침출과 유출로 가장 큰 질소 손실을 발생한다. 건조한 기후에서, 유출 손실은 강우량이 많은 곳보다 더 적고 배설한 질소의 약 3~6%로 산출되고 있다 (Eghball and Power, 1994). Bierman et al. (1999)의 연구에서는 유출로 인한 손실은 배설량의 5~19%이고 10~16%는 땅속으로 스며든다고 하였는데, 다른 데이터들은 고형물 저장시 침출을 통한 상대적으로 적은 질소 손실을 보였고 또한 더 많은 손실도 발생했다 (Rotz, 2004). 더 많은 연구가 이러한 손실이 발생하는 환경과 처리법, 그리고 예상되는 손실을 향상시키기 위해 필요하다. 따라서 가축분뇨처리시설에서 침출과 유출로 질소 손실을 산출하는 것은 Tier 2와 3 방법의 변수로 고려된다.

다. Tier 3

Tier3 방법은 방대한 데이터를 이용한 모델을 개발해야 하고 장내발효 과정에서 배출되는 CH_4 량의 직접적인 측정이 요구된다. 또한 계절에 따른 변동성 등 국가의 특성을

반영하는 데이터를 이용하여 만들어야 하기 때문에 그 정확성과 신뢰성을 위해 전문가 집단의 자세한 검토가 필요하다.

2. 2000~2008년 온실가스배출량 산정 및 비교

장내발효과정에서 배출되는 CH₄과 가축분뇨처리과정에서 배출되는 CH₄ 및 N₂O의 양은 Table 1과 같다. 2000년부터 2008년까지의 축산부문 온실가스 배출량은 2006 IPCC 지침을 적용할 경우 축산부문의 온실가스배출량은 1996 IPCC 지침에 비해 증가하는 것으로 나타났다. 2000년부터 2008년까지 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침의 Tier 1 방법을 이용한 축산부문의 장내발효 과정 및 가축분뇨 처리과정에서 배출되는 온실가스의 CO₂ 환산량을 비교할 때 2006 IPCC 지침을 사용할 경우 1996 IPCC 지침과 비교하여

1.27~1.33의 비율을 보이며 2006 IPCC 지침을 이용한 계산에서 더 많은 배출량을 보였다. 이는 배출계수에 의한 영향이라고 볼 수 있다. 가축분뇨의 경우가 축분뇨처리시스템의 종류 및 국가내의 비율에 따라 배출계수를 계산하였다. 장내발효 과정의 CH₄ 배출계수는 2006 IPCC 지침에서 소폭 증가하였다. 가축분뇨 처리과정의 CH₄ 배출계수는 젓소와 돼지의 경우 1996 IPCC 지침에 대한 2006 IPCC 지침의 비율은 각각 1.61과 2.79였으며 닭의 경우는 0.31이었다. 가축분뇨 처리과정의 N₂O 배출계수는 젓소와 한·육우, 돼지, 닭의 경우 1996 IPCC 지침에 대한 2006 IPCC 지침의 비율은 각각 1.01, 0.34, 1.05, 0.91이었다.

3. 제언

현재 국가 인벤토리 보고서 중 축산부문은

Table 1. Comparisons of estimated greenhouse gas emissions based on 1996 guideline and 2006 guideline

Year	1996 GL (A)	2006 GL (B)	B/A
	(CO ₂ -eq, kt) [#]	(CO ₂ -eq, kt) [#]	
2008	6,330	8,249	1.30
2007	6,094	7,997	1.31
2006	5,866	7,736	1.32
2005	5,748	7,526	1.31
2004	5,612	7,411	1.32
2003	5,523	7,330	1.33
2002	5,556	7,321	1.32
2001	5,753	7,465	1.30
2000	6,151	7,812	1.27

[#] CH₄ and N₂O were converted to CO₂-equivalent based on global warming potential (GWP). GWP of CH₄ and N₂O were 21 and 310 times stronger than CO₂ for 1996 guideline and 25 and 298 times stronger than CO₂ for 2006 guideline, respectively.

1996 IPCC 지침을 사용하여 작성하고 있다. 그러나 향후 2006 IPCC 지침을 이용하여 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 1996 IPCC 지침 방법과는 다른 변수들에 대한 정보를 획득해야 한다. Tier 1 방법의 2006 IPCC 지침은 1996 IPCC 지침과 비교하였을 때 장내발효 과정의 경우에는 변화된 축종별 배출계수를 적용하는 것으로 배출량을 산정할 수 있다. 그러나 가축분뇨 처리과정의 경우 2006 IPCC 지침에서는 기온이 1℃ 변할 때마다 해당 변수가 변하므로 지역별 배출량을 계산할 경우 가축분뇨 처리시설의 위치정보 및 축종 등의 정보가 필요하게 된다. Tier 2 방법은 국가 고유 배출계수를 산정하는 과정에 많은 변수들의 데이터가 필요하다 현재 국가 인벤토리 보고서 작성을 위해 1996 IPCC 지침의 Tier 1 방법을 사용하고 있으나 향후 2006 IPCC 지침의 Tier 2 방법을 적용하기 위해서는 가축분뇨 처리시설의 종류와 위치, 해당 축종 등의 정보가 필요하다. 이러한 정보는 통계청과 농촌진흥청에서 수집하기 위한 노력을 하고 있기 때문에 가까운 미래에 획득할 수 있는 것으로 보인다. 또한 가축분뇨 처리시설의 배출계수를 산정하기 위해 가축분뇨 처리시설에 CH₄ 및 N₂O 배출량을 직접 측정하고 있으며 이와 함께 화학적, 물리적 분석을 통해 Tier 2 방법에 사용되는 변수들에 대한 데이터를 축적하고 있다. 장내발효 과정의 경우 이전의 영양학적 연구를 통해 총 에너지에 대한 데이터가 축적되어 있고 현재 축종별 장내발효 과정의 Y_m에 대한 연구를 수행하고 있다. 따라서 제한적인 데이터를 이용하여 Tier 2 방법으로 작성이 가능하다고 할 수 있다. Tier 3 방법을 사용하기 위해서는 국가 고유 데이터가 축적이 되어야 한다. 따라서 현재 Tier 3 방법을 사용하여 새로운 모델을 제시하기는 어렵다. 하지만 현재 연구사업을 통해 데이터가 축적되고 있으며 국제 공동연구 및 협력

사업이 활발히 이뤄지고 있기 때문에 향후 국가 고유 모델을 제시할 가능성이 충분히 있다. 그러나 Tier 2 방법으로 계산한 온실가스 배출량이 국내 축산 환경을 잘 반영하여 현장에서 직접 측정한 온실가스 배출량과 차이가 없다면 Tier 3 방법에서의 전환은 불필요할 것이다. 향후 축종별 기준 체중 데이터를 이용하여 1,000 kg으로 체중 기준을 변환 후 계산할 필요가 있으므로 체중 기준에 대한 논의가 필요하다. 또한 배출계수 계산을 위해 가축분뇨별 국가 고유 휘발성고형물에 대한 활동자료가 필요하다.

따라서 앞으로 우리나라의 축산부문에 2006 IPCC 지침을 원활하게 적용시키기 위해서는 과거부터 최근까지의 연구된 논문 및 보고서 뿐만아니라 추가적으로 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

현재 우리나라 축산부문의 온실가스 배출량 계산은 1996년에 출판된 '1996년 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 지침서(1996 IPCC 지침)'에 따라 계산하고 있으며 그 배출량 데이터는 국가 인벤토리 보고서에 사용하고 있다. 하지만 새로운 지침서, '2006년 IPCC 국가 온실가스 인벤토리 지침서(2006 IPCC 지침)'가 2006년에 출판되었기 때문에 온실가스 배출량 계산을 위한 새로운 지침서를 적용하기 위한 준비가 필요하다. 본 연구에서는 축산에서 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침을 비교하였다. 또한 2000년부터 2008년 사이의 온실가스 배출량을 Tier 1 방법으로 계산하였다. 2006 IPCC 지침으로 계산한 온실가스 배출량은 1996 IPCC 지침을 이용할 때와 비교하여 1.27~1.33배 더 많았다. 이는 배출계수의 차이에 의한 것으로 나타났다. 국가 온실가스 인벤토리의 불확실성을 감소시키기 위해 더 많은 연구가 필요하다.

인 용 문 헌

1. Bamualim, A. and Kartiarso. 1985: Nutrition of draught animals with special reference to Indonesia *In: Draught Animal Power for Production*. J. W. Copland (ed.). Australian Centre for International agricultural Research (ACIAR), Proceedings Series No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.
2. Bierman, S., Erickson, G. E., Klopfenstein, T. J., Stock, R. A. and Shain, D. H. 1999: Evaluation of nitrogen and organic matter balance in the feedlot as affected by level and source of dietary fiber. *Journal of Animal Science*, 77, 1645~1653.
3. Eghball, B. and Power, J. F. 1994: Beef cattle feedlot manure management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49, 113-122.
4. Gibbs, M. J., Conneely, D., Johnson, D., Lassey, K. R. and Ulyatt, M. J. 2002: CH₄ emissions from enteric fermentation. *In: Background Papers: IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, IPCC-NGGIP, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Kanagawa, Japan.
5. Howden, S. M. 1991: Methane production from livestock. *In: Draft Australian Greenhouse Gas Emission Inventory 1987~88*, Greenhouse Study Number 10, Department of the Arts, Sport, the Environment and Territories, Commonwealth of Australia.
6. IPCC. 1996: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D. J. Griggs and B. A. Callender eds.). UK Meteorological Office. Brackbell, UK.
7. IPCC. 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe eds). The Institute for Global Environmental Strategies. Kanagawa, Japan.
8. Kim, D. S. 2007: Greenhouse gas (CH₄, CO₂, N₂O) emissions from estuarine tidal and wetland and their characteristics. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 23, 225-241.
9. Rotz, C. A. 2004: Management to reduce nitrogen losses in animal production. *Journal of Animal Science*, 82 (E. Supplements), E119-E137.
10. 백춘열. 2012: Life cycle assessment of the dairy cow system focused on the global warming impact, reference flow definition and uncertainty analysis. 학위논문(박사). Ajou University.
11. 정경화, 조준행, 김찬규, 이경학, 윤여창, 노기안, 박규현, 왕광익, 진병복. 2008: 기후변화협약 대응 국가온실가스 IPCC 신규 가이드라인 적용을 위한 기획연구 : 총괄보고서 제2권. Korea energy economics institute.