

2011년도 축산부문 온실가스 인벤토리 산정 연구

양승학^{1*} · 최동윤¹ · 조성백¹ · 황옥화¹ · 박규현²
¹국립축산과학원, ²강원대학교 동물생명시스템학과

Estimation of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Livestock Agriculture in Korea

Seung-Hak Yang^{1*}, Dong-Yoon Choi¹, Sung-Back Cho¹, Ok-Hwa Hwang¹,
Kyu-Hyun Park²

¹National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon 441-706, Korea,

²Department of Animal Life System, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

ABSTRACT

This research was conducted to examine the temporal methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emission trends in livestock agriculture from year 1990 to 2011 with Tier 1 national greenhouse gas (GHG) inventory reporting method, which was related to efforts of decreasing GHG emissions and to achievement of voluntary GHG mitigation target. Methane emissions from enteric fermentation were calculated with default CH₄ emission factors of IPCC. Methane and N₂O emissions from manure treatment processes were calculated with Tier 1 and mixture of Tier 1 and Tier 2 including N₂O emission factors of manure treatment systems and nitrogen excretion rate of livestock, respectively. According to 2013 National GHG Inventory Monitoring, Reporting, and Verification report, GHG emission fluctuations from enteric fermentation and manure treatment processes were similar to livestock head fluctuation. GHG emissions from enteric fermentation were mainly affected by beef cattle including Hanwoo, while manure treatment processes were affected by various livestock.

(Key words : Livestock, National, Greenhouse gas, Inventory, Report)

서 론

최근 이슈화되고 있는 기후변화는 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 이산화탄소(CO₂)의 증가에 의해 발생하는 것으로 알려져 있으며 인류의 화석연료 사용 및 경제활동에 의해 온실효과

(greenhouse gas effects)가 가속화되는 것으로 알려져 있다(IPCC, 2006). 가속화되는 것을 방지하기 위해 온실가스배출량을 의무적으로 감축하는 부속서 국가가 아니더라도 전세계적으로 2020년까지 자발적인 감축목표를 설정하고 이행하기 위해 노력하고 있다. 그러

*Corresponding author : Seung-Hak Yang, National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon 441-706, Korea.
Tel: +82-31-290-1714, E-mail: y64h@korea.kr

2014년 9월 25일 투고, 2014년 10월 15일 심사완료, 2014년 10월 16일 게재확정

므로, 우리나라는 저탄소 녹색성장 기본법에 의거 매년 국가 온실가스 인벤토리 보고서를 작성하며 지속적인 감축노력을 위한 정책자료로 활용하고 있다. 또한 국가간 온실가스 협의체 (IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 작성한 ‘국가 온실가스 배출량 인벤토리 지침 (Guideline, 이후 지침)’을 이용하여 정확한 온실가스 배출량을 조사하여야 한다 (IPCC, 2006).

우리나라의 2020년 기준 온실가스 감축 목표는 2020년 온실가스 배출전망치 (BAU; Business As Usual) 대비 국가 전체 30%, 농림어업부문은 5.2%이다. 이러한 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 국내 각 부문별 온실가스 배출량 조사가 정확히 이루어져야 하고 감축노력이 필요한 실정이다 (Kim, 2007). 축산분야에서도 온실가스가 배출되고 있으며, 이는 국민의 단백질 공급원으로서 중요한 역할을 하는 축산물 생산에 기인한다. 현재 우리나라는 1996 IPCC 지침 (IPCC, 1996)을 기준으로 온실가스 배출량이 산정되고 있는데, 국가 온실가스 배출량의 3.3%를 차지하는 농업 중 축산부문이 38.4%를 차지하고 있으며 점차 증가하는 추세이다 (GIR, 2011). 그러므로, 본 연구는 축산분야 온실가스 배출량의 산정 및 배출량 증감 추이에 대해 조사하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 배출원 분류

장내발효 배출원과 가축분뇨처리 배출원으로 대분류하고 젓소, 한·육우, 돼지, 닭, 염소, 면양, 말, 사슴, 오리별 배출량을 산정하였다.

2. 산정방법

1990~2011년동안 국가단위의 대표성을 나

타내는 활동자료를 이용하여 1996 IPCC 지침의 Tier 1 방법을 적용하여 산정하였다.

(1) 장내발효

1) 산정방법론

섭취된 사료가 소화되는 과정 중 미생물에 의한 메탄 (CH₄) 발생이 일어나는 것을 전제로 하여 1996 IPCC 지침의 Tier 1 기본 메탄 배출계수에 활동자료를 곱하여 산정하였으며, 활동자료는 각 축종의 통계자료를 사용하는 해당연도 및 직전 2개년까지 자료를 포함한 총 3년간 (2009~2011년)의 평균 사육두수를 활동자료로 이용하여 산정하였다.

<Enteric fermentation CH₄ emission equation>

$$E_i = EF_i \cdot population_i (10^6 kg/Gg)$$

E_i = CH₄ emission of livestock type i
(1000t CH₄/year)

EF_i = emission factor of livestock type i
(kg CH₄/head/year)

Population _{i} = head of livestock type i
(head)

2) 배출계수

배출계수는 IPCC (1996)의 각 지역별 Tier 1의 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택하였는데, 젓소와 한·육우의 경우 북미의 배출계수를 이용하였으며 돼지는 선진국 (developed countries), 기타 그 외의 축종은 개발도상국 (developing countries)의 값을 이용하였다. 사슴 (sika deer)의 경우 염소의 배출계수를 사용하였다 (Table 1).

3) 활동자료

장내발효 배출량 및 가축분뇨처리 배출량 산정에 가축사육두수가 사용되었는데, 젓소, 한·육우, 돼지, 닭의 가축사육두수 통계는 통계청의 가축동향조사 자료 중 1988년 1분기부터 2011년 4분기까지의 자료를 이용하여

Table 1. Enteric fermentation CH₄ emission factors.

Livestock type	Emission factor (kg CH ₄ /head/year)	Regional characteristics	Inventory methods
Dairy cattle	118	IPCC default (North America)	IPCC, Tier 1
Non-dairy cattle	47	IPCC default (North America)	IPCC, Tier 1
Swine	1.5	IPCC default (Western Europe)	IPCC, Tier 1
Chicken, duck	†NE	IPCC default	IPCC, Tier 1
Goats, deer, Sheep	5	IPCC default (developing countries)	IPCC, Tier 1
Horses	18	IPCC default (developing countries)	IPCC, Tier 1

† NE : Not Estimated.

Source : IPCC (1996).

연도별 평균값을 계산한 후 3년 평균 값을 계산하였다. 오리의 경우 농림축산식품부의 통계자료를 이용하여 계산하였다. 염소, 사슴, 면양, 말의 경우 분기별 자료를 조사하지 않기 때문에 연평균 자료를 이용하였다. 1990년부터 2011년까지의 3년 가축사육두수 평균

을 사용하고 있다 (Table 2).

4) 불확도 및 시계열 일관성

장내발효의 CH₄ 배출량의 불확실성은 주로 활동자료와 배출계수에 의한 것이며 모든 축종의 장내발효 배출계수는 IPCC (1996)의

Table 2. Population of major livestock in Korea between year 1990 and 2011.

(Unit : 1000s)

Year	dairy cattle	Non-dairy cattle	Swine	Chicken	Goats	Sheep	Horses	Duck	Deer
1990	493	1,609	4,746	64,706	169	3	4	605	45
1991	501	1,621	4,788	69,472	238	3	5	834	53
1992	499	1,746	4,862	74,754	353	3	5	984	61
1993	512	1,952	5,282	77,371	468	3	5	1,089	69
1994	531	2,167	5,640	78,087	554	2	5	1,178	77
1995	548	2,360	5,927	81,162	614	2	6	1,615	87
1996	554	2,559	6,196	85,413	653	2	6	2,426	98
1997	552	2,717	6,501	89,742	653	2	7	2,844	113
1998	553	2,757	6,945	89,565	606	1	8	3,114	126
1999	546	2,527	7,319	92,419	549	1	8	3,555	135
2000	544	2,155	7,769	96,552	498	1	9	4,363	143
2001	540	1,767	8,090	103,534	465	0.9	10	5,545	149
2002	544	1,540	8,516	107,972	445	9.8	12	6,557	153
2003	542	1,439	8,849	108,258	456	0.9	14	7,852	151
2004	529	1,490	9,007	107,294	484	0.9	16	8,368	146
2005	510	1,603	9,012	111,434	511	1	18	8,557	136
2006	489	1,781	9,029	118,620	505	1	21	8,680	125
2007	472	1,961	9,204	126,795	454	1	23	9,429	111
2008	458	2,172	9,281	128,466	369	2	25	9,867	96
2009	448	2,382	9,314	134,863	296	3	27	10,983	84
2010	441	2,618	9,414	142,298	253	4	29	12,278	73
2011	426	2,813	8,899	150,229	247	4	30	13,165	64

기본 배출계수를 이용하였으므로 불확실성인 ±50%로 예상된다. 1990년부터 2011년까지의 매년 활동자료는 연속적 통계자료를 이용하였으므로 시계열적으로 일관성을 유지하였다.

(2) 가축분뇨처리과정

1) 산정방법론

가축분뇨 처리과정 중 배출되는 온실가스는 CH₄와 N₂O이며, 1996 IPCC 지침의 구분과 맞추기 위해 퇴비화, 액비화, 기타처리(정화처리 및 기타자체처리, 위탁처리)로 구분하여 산정했다.

가. CH₄

가축분뇨 처리과정의 CH₄ 배출량 산정은 1996 IPCC 지침의 Tier 1 기본 메탄 배출계수에 활동자료를 곱하여 산정하였으며, 활동자료는 각 축종의 통계자료를 사용하는 해당 연도 및 직전 2개년까지 자료를 포함한 총 3년간 (2009~2011년)의 평균 사육두수를 활동자료로 이용하여 산정하였다.

<Manure management CH₄ emission equation>

$$E_i = EF_i \cdot population_i (10^6 kg / Gg)$$

E_i = CH₄ emission of livestock type *i* (1000t CH₄/year)

EF_i = emission factor of livestock type *i* (kg CH₄/head/year)

Population_i = head of livestock type *i* (head)

나. N₂O

가축분뇨처리 중의 N₂O 배출량은 Tier 1 방법을 이용하여 산정했는데, N₂O 배출량은 가축분뇨처리시설의 비율, 가축당 배출하는 연평균 질소량, 가축분뇨처리시설의 N₂O 배출계수를 이용하여 산정하였다.

<Manure management N₂O emission equation>

$$N_2O_D = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} \cdot N_{ex(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \right] \cdot EF_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28}$$

N₂O_D(mm) = direct N₂O emissions from Animal Waste Management Systems (kg N₂O/year)

N_(T) = number of animals of type T in the country
N_{ex(T)} = N excretion of animals of type T in the country (kg N/head/year)

MS_(T,S) = use ratio of Animal Waste Management Systems *s*

EF_{3(S)} = N₂O emission factor for S (kg N₂O-N/kg N)

S = type of Animal Waste Management Systems (AWMS)

T = type of animal category

44/28 = N₂O-N to N₂O conversion

2) 배출계수

가축분뇨처리 부분의 CH₄ 배출계수는 1996 IPCC 지침의 기본값을 적용하였다 (Table 3). 젓소와 한·육우의 경우, IPCC 기본값에서 북미 배출계수를 이용하였으며, 돼지는 서유럽의 배출계수, 닭, 오리는 선진국의 배출계

Table 3. Manure management CH₄ emission factors.

Livestock type	Emission factor (kg CH ₄ /head/year)	Regional characteristics	Inventory methods
Dairy cattle	36	IPCC default (North America)	IPCC, Tier 1
Non-dairy cattle	1	IPCC default (North America)	IPCC, Tier 1
Swine	3	IPCC default (Western Europe)	IPCC, Tier 1
Chicken, duck	0.078	IPCC default	IPCC, Tier 1
Goats, deer	0.11	IPCC default (developing countries)	IPCC, Tier 1
Horses	1.09	IPCC default (developing countries)	IPCC, Tier 1
Sheep	0.10	IPCC default (developing countries)	IPCC, Tier 1

Source : IPCC(1996).

수를 적용하였다. 기타 축종은 개발도상국의 기본값을 사용하였다.

축종별 분뇨처리에서 발생하는 N₂O 배출량을 산정하기 위한 배출계수는 1996 IPCC 지침의 가축분뇨처리시설별 배출계수를 사용하였다 (Table 4).

Table 4. Emission factors for animal waste management systems.

Type of animal waste management systems	Emission factor (kg N ₂ O-N/kg N)
Liquid system	0.001
Solid storage and drylot	0.02
Other system	0.005

3) 활동자료

가축분뇨처리 배출량 산정에 가축사육두수가 사용되었는데, 젖소, 한·육우, 돼지, 닭의 가축사육두수 통계는 통계청의 가축동향조사 자료 중 1988년 1분기부터 2011년 4분기까지의 자료를 이용하여 연도별 평균값을 계산한 후 3년 평균 값을 계산하였다. 오리의 경우 농림축산식품부의 통계자료를 이용하여 계산하였다. 염소, 사슴, 면양, 말의 경우 분기별 자료를 조사하지 않기 때문에 연평균 자료를

이용하였다. 1990년부터 2011년까지의 3년 가축사육두수 평균은 장내발효에서 사용된 Table 2과 같다. 가축분뇨처리 부문의 활동자료는 연평균 질소량, 축종별 가축분뇨처리시설의 이용비율이며, 통계청의 2011년 농림어업조사의 가축분뇨 처리방법별 농가통계를 이용하였다(Table 5, 6).

4) 불확도 및 시계열 일관성

가축분뇨 처리 과정의 배출계수는 IPCC (1996)의 기본 배출계수를 이용하였기 때문에 가축분뇨 처리 과정의 CH₄ 배출계수의 불확실성은 IPCC (1996)의 불확실성인 ±20%로 예상된다. 가축분뇨 처리과정의 N₂O 배출량에 대한 불확실성은 가축분뇨 처리과정의 CH₄ 배출량의 불확실성과 마찬가지로 가축사육두수와 사용한 배출계수의 불확실성에 따라 발생하며, 가축분뇨처리시설의 CH₄ 배출량과는 달리, 가축분뇨처리시설의 종류 및 비율 통계의 불확실성도 발생한다. IPCC (1996)에서는 배출계수의 불확실성이 가축분뇨 처리시설의 불확실성에 따라 -75%~50%까지 존재했다. 가축분뇨 처리시설의 종류 및 비율 데이터는 통계청의 2011년 농림어업조사

Table 5. Percentage of animal manure waste management systems.

(Unit : %)

Type of animal waste management systems	Dairy cattle	Non-dairy cattle	Swine	Chicken	Duck	Goats, Sheep, Horses, Deer
Liquid system	0.1	0.3	16.2	0.3	0.6	—
Solid storage and drylot	86.2	92	45.6	68.8	67.8	100
Other system	13.7	7.7	38.2	30.9	31.6	—

Table 6. Tentative default values for nitrogen excretion per head of animal.

Livestock type	N excretion of animal manure (kg N/head/year)	Sources
Dairy cattle	100	IPCC default (North America)
Non-dairy cattle	70	IPCC default (North America)
Swine	20	IPCC default (Western Europe)
Chicken, Duck	0.6	IPCC default (developed countries)
Goats, Deer, Horses	40	IPCC default (developing countries)
Sheep	12	IPCC default (developing countries)

자료 중 ‘가축 분뇨 처리방법별 농가’의 자료를 이용하였다.

결과 및 고찰

매년 축산부문 온실가스 통계가 당해년도 국가온실가스 통계 산정·보고·검증(MRV; Measurement, Reporting and Verification) 지침에 준해 산정한다(보고연도는 2013, 산정연도는 2011년). 1990년부터 2011년까지의 3년 가축사육두수의 증감추이를 볼 때 전체적으로 최초산정연도인 1990년 대비 돼지(1.9배)와 가금류(닭 2.3배, 오리 21.8배)의 증가폭이 컸으며, 젖소가 한·육우보다 1990년 1/3 수준에서 2011년 1/7 수준으로 차이가 발생했다(Fig. 1). 이는 2000년~2002년 수입자유화, 사료비 상승, 가격 하락 등 대내외적인 사육환경 악화에 따른 번식우의 두당 소득감소에 따라 암소도축이 증가하였기 때문이라고 하였다(KREI, 2009). 또한 2003년 미국에서 광우병 발생에 의해 한우 산지가격은 하락하였으며, 당해년도 사육두수가 최저치를 기록하였다. 이에 반하여 돼지 생산 두수는 지속적으로 증가한 것으로 관찰되었다.

축종별 장내발효 온실가스배출량을 비교해 볼 때 젖소의 배출량이 한·육우 보다 적으며 지속적으로 감소되는 경향을 보였다(Fig. 2). 장내발효에서의 온실가스 배출은 대동물인 젖소, 한·육우가 주된 결정요인인 것으로

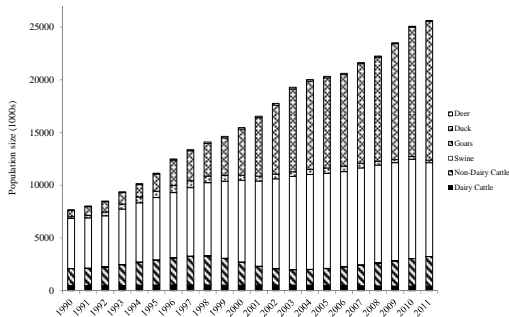


Fig. 1. Population of livestock in Korea from 1990 to 2011 (chicken excepted).

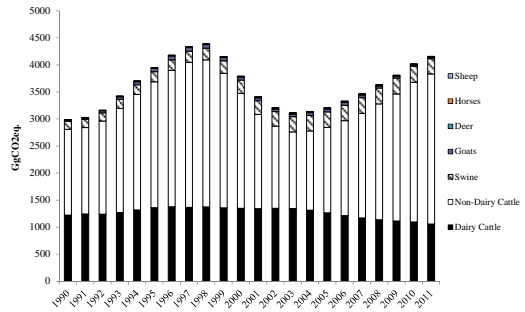


Fig. 2. The enteric fermentation CH₄ emissions from livestock in Korea from 1990 to 2011.

로 나타났다. 반추동물은 반추위의 특성상 반추위미생물들이 이산화탄소, CH₄을 24시간 배출하고 있으며 배출하지 않으면 생명을 유지할 수 없다. 에너지대사면에 있어서는 섭취한 사료부산물로서 총 에너지 섭취량의 2~12%가 CH₄으로 전변되고 있다(Johnson and Johnson, 1995). 그러므로, CH₄로의 전변을 담당하는 미생물의 활동을 억제하여 장내발효에 있어서의 온실가스를 낮추는 것이 사료효율면에서도 유리할 것으로 사료되며 여러 연구가 시도되었다(Bhatta et al., 2007; Lee et al., 2009).

한편, 축종별 가축분뇨처리 부문 온실가스 배출량 결과로부터 장내발효에서 산정되지 않은 가금(닭, 오리)의 배출량이 전체 배출량의 약 20%를 차지하고 있었으며 한·육우와 돼지의 배출량 합이 가축분뇨처리 부문의 64%를 차지할 정도로 비율이 높았다(Fig. 3). 가축분뇨처리 부문 온실가스 배출량은 젖소, 한·육우, 돼지, 가금의 4대 축종에 의해 결정된 것으로 보였다.

장내발효 및 가축분뇨처리부문의 배출량 모두 현재 산정방법에 있어 가축사육두수를 활동자료로 사용하고 있으므로 가축사육두수의 변화에 따라 전체적으로 좌우되는 경향을 보였다. 축종별 메탄배출계수를 곱하는 Tier 1 산정방법을 사용하는 장내발효 유래 온실가스배출량의 변화가 젖소와 한·육우의 사

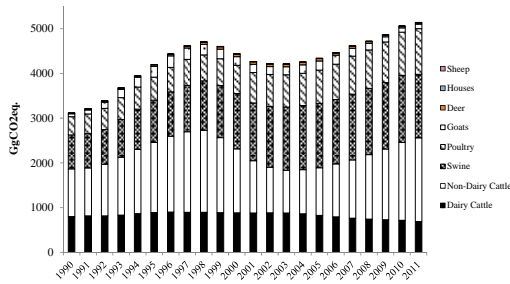


Fig. 3. The Green house gases (CH₄ and N₂O) emissions from manure management of livestock in Korea from 1990 to 2011.

육두수의 변동과 거의 유사하였으며, 축산분야 전체 온실가스 발생량에 영향을 끼쳤을 것으로 사료된다. 반면에 가축분뇨처리부문의 온실가스 발생량은 여러 축종의 사육두수의 영향을 복합적으로 받는 것으로 보인다. 축산분야의 전체 CH₄ 배출량이 N₂O 보다 34% 더 많으며, 가축분뇨처리부문 온실가스 배출량이 장내발효 온실가스배출량보다 23% 더 많았다 (Fig. 4).

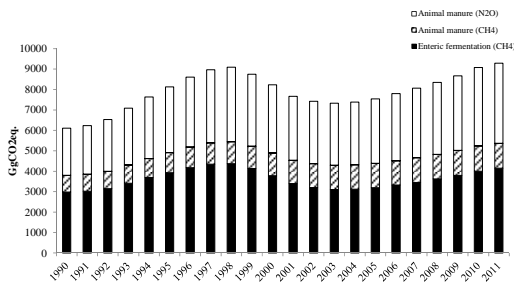


Fig. 4. The CH₄ and N₂O emissions from livestock agriculture in Korea from 1990 to 2011.

결 론

본 연구는 국제적인 온실가스 감축노력과 자발적인 목표량 달성과 관련하여 축산분야에 있어서 온실가스 산정방법론과 1990~2011년까지의 온실가스 배출량의 추이에 대해 조

사하였다. 산정방법론에 있어서 배출원을 장내발효와 가축분뇨처리로 분류하여 대표적인 가축인 젖소, 한·육우, 돼지, 닭, 염소, 면양, 말, 사슴, 오리별 배출량을 산정하였다. 국가단위의 대표성을 나타내는 활동자료를 이용하여 1996 IPCC 지침의 Tier 1 방법을 적용하여 산정하였다. 장내발효 배출량 산정은 IPCC (1996) Tier 1 기본 메탄배출계수에 활동자료를 곱하여 산정하였으며 활동자료는 각 축종의 통계자료를 사용하는 해당연도 및 직전 2개년까지 자료를 포함한 총 3년간 (2009~2011년)의 평균 사육두수를 이용하여 산정하였다. 가축분뇨처리과정에서 발생하는 온실가스 배출량 산정에서 CH₄는 Tier 1 배출량 산정방법론에 준하여 산정하였고 N₂O는 퇴비화, 액비화, 기타처리로 구분하여 처리시설별 이용비율 및 N₂O 배출계수, 가축당 배출하는 연평균 질소량을 이용하여 산정하였다. 2013년 국가온실가스 통계 산정·보고·검증지침에 준해 산정한 결과 (보고연도는 2013년, 산정연도는 2011년), 장내발효 및 가축분뇨처리부문의 배출량이 가축사육두수의 변동과 거의 유사하게 변화하였는데, 장내발효의 온실가스 배출량은 주로 한·육우의 사육두수에 영향을 받으며 가축분뇨처리부문은 여러 축종의 사육두수의 영향을 받은 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청연구사업 (세부과제명: 축산부문 생산흐름별 온실가스 배출량 산정 도구 개발, 세부과제번호: PJ00931104)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. Bhatta, R., Enishi, O. Kurihara., M., 2007. Measurement of methane production from ruminants. Asian-Aust. J. Anim Sci. 20(8),

- 1305-1318.
2. Choi, D.Y., Yang, S.H., 2010. Research on greenhouse gas emissions from livestock manure treatment processes. Research Report (PJ006713). Rural Development Administration, Suwon, Korea.
 3. GIR, 2011. 2009 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea. Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea, Seoul, Korea.
 4. IPCC, 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J., Callender, B.A. (Eds.), UK Meteorological Office, Brackbell, UK.
 5. IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, T, (Eds.), The Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.
 6. Johnson, K.A., Johnson, D.E., 1995. Methane emissions from cattle. J. Anim. Sci. 73, 2483-2492.
 7. Kim, D.S., 2007. Greenhouse gas (CH₄, CO₂, N₂O) emissions from estuarine tidal and wetland and their characteristics. J. Korean Soc. Atmospheric Environ. 23, 225-241.
 8. KREI (Korea Rural Economic Institute), 2009. A Study on Beef Industry and Development Strategy. Research Report R599, Seoul, Korea.
 9. Lee, S.Y., Yang, S.H., Lee, W.S., Kim, H.S., Shin, D.E., Ha, J.K., 2009. Effect of 2-Bromoethanesulfonic Acid on *In vitro* Fermentation Characteristics and Methanogen Population. Asian-Aust. J. Anim Sci. 22(1), 42-48.