

축산 돈사에서 온실가스 측정 방법에 대한 연구

감동환 · 박규현* · 최동윤* · 정만순* · 민병로** · 이대원** · 김진경

아이티에스 기술연구소

Measurements of Greenhouse Gas from the Manure in the Piggery

Kam, D. H., Park, K. H.*, Choi, D. Y.*, Jung, M. S.*, Min, B. R.**, Lee, D. W. and Kim, J. K.

R&D Center, Information Technology System, 445-881, Korea

Summary

This study was conducted to suggest the measurement procedure and to build up national greenhouse gas inventory database of animal agricultural sector by assessing methane and nitrous oxide emissions according to IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory report in order to correspond to the Climate Change Convention.

Ten house-made steady-state Half dome floating chambers were used to collect air samples emitted from slurry stored in the pit under the slat. Those chambers were spread out in order that air samples might represent the whole area of slurry under the slat. Fresh air was pumped into the chambers by 5~9 ℓ/min and air inside the chambers was sampled by 1 ℓ/min. Surplus air by the higher flow rate of fresh air than sampling flow rate was passed through a hole on the top of chambers. Nitrous oxide fluxes measured from 10 locations would be negligible as concentrations between background air and sampled air from the chambers were within the error range. However, mean CH₄ fluxes were 0.15~1.02 mg/m² · s. The application of continuous greenhouse gas measurement techniques would be preferred if the patterns of greenhouse gas emissions are considered.

(Key words : Measurement procedure, Assessing methane, Slurry stored, Nitrous oxide)

서 론

지구온난화를 유발하는 온실가스의 배출량은 인류가 산업사회를 맞이한 시점부터 지속

적으로 증가해 왔다. 축산농가의 온실가스 문제는 또 하나의 환경문제로 해결을 해야 되는 주요 사안으로 이슈화되고 있다. 1997년 일본 교토에서 온실가스 감축의무를 규정

이 논문은 농촌진흥청 아젠더과제 기후변화대응연구 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

* 국립축산과학원 (National Institute of Animal Science R.D.A.)

** 성균관대학교 (Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan Univ.)

Corresponding author : Kim, Jin, Kyeong, R&D center, Information Technology System, 445-881, Korea.

e-mail: galvany@empal.com

2011년 10월 13일 투고, 2011년 12월 16일 심사완료, 2011년 12월 19일 게재확정

한 교토의정서 (Kyoto Protocol)에 따라 EU 등 선진국은 2010년까지 1990년도 온실가스 대비 평균 5.2%를 줄이는 목표아래 현재 각 나라별 온실가스 감축현황을 IPCC에 보고하고 있다. 2002년 우리나라 온실가스 배출량은 세계 9위 국가이며 (IPCC, 2000) OECD 회원국임을 감안할 때 2013년부터 온실가스 배출 규제대상국이 될 가능성이 매우 높아 짧은 시간에 온실가스 발생량 Database를 확립할 필요가 있다.

현재 국내외 적으로 반추 동물의 장내 발효에 의한 CH₄ 발생량 연구 (Mills 등, 2004) 나 퇴비화시설에서의 CH₄ 발생량 조사 등 축산분야에서의 온실가스 발생량에 관한 연구가 대내외적으로 활발히 이루어지고 있다 (USEPA, 2009, Park 등, 2010). 2006 IPCC Guideline중 제 4권을 보면 노처리리에 따른 CH₄와 N₂O 배출량 가이드라인의 방법론에 따른 축산분야의 온실가스 배출량을 평가하고 배출계수 산출을 위하여 본 연구를 진행하였다 (IPCC, 2006).

돈분뇨의 온실가스 배출량 조사 방법은 일반적으로 Closed (or non-steady state) (Hellebrand와 Kalk, 2001)과 Open (or steady state) Chamber 방법 (Husted, 1993, Neter 등, 1996) 구분되어진다. 기존의 가스 샘플링 후 기기분석법은 분뇨의 상부에서 흡입식으로 샘플을 채취하는 방법으로 주변 환경의 영향을 받는다. 따라서 플로팅 챔버를 이용하는 경우 챔버를 이용하여 외부영향을 최소화한 후 측정하기 때문에 정확한 배출량 정보를 획득 할 수 있다. 본 연구에서는 축산분야 중 양돈농가의 온실가스 배출량을 조사하기 위하여 돈사 슬러리 피트에서 발생하는 온실가스를 샘플링 하기 위한 반구형태의 플로팅 챔버 (Open chamber method or flow-through steady-state)를 고안하여 CH₄ 및 N₂O의 발생량 및 돈분뇨의 성상에 대하여 분석하는 것이다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용되어진 공시 재료는 경기도 화성시 향남읍 요리에 위치한 성진축산으로 봄철부터 겨울철(6월~12월)까지 연구를 수행하였으며 육성돈 사육두수가 연 평균 350두를 유지하고 있으며 육성돈사의 환기방식은 윈치커튼 방식을 채택하고 분뇨 처리방식은 슬러리 피트형태로 분뇨를 저장하고 있는 양돈농가로써 가스 샘플링 및 분뇨 분석을 수행하였다.

2. 실험장치

본 연구에 사용된 플로팅 챔버 시스템은 온실가스 샘플링 기법의 하나인 Open chamber (flow-through steady-state) 방법으로 신선한 가스를 플로팅 챔버에 일정하게 공급할 수 있도록 설계하였으며 플로팅 챔버에 포집되어진 온실가스를 유량 조절이 가능하게 외부 샘플링을 할 수 있도록 설계하였다. Fig. 1은 플로팅 챔버와 가스 샘플링 시스템의 모식도이다. 플로팅 챔버에 공급되어지는 신선한 가스는 Oilless-compressor에 의해 공급되어지고 유량계를 통하여 조절 할 수 있도록 설계하였다. 플로팅 챔버 시스템에 의해 포집된 공기는 감압형태의 Oilless-compressor 의해 공기혼합장치를 이용하여 일정유량으로 배출

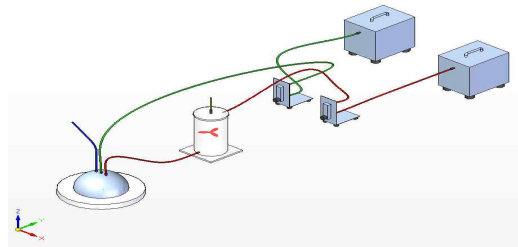


Fig. 1. Schematic diagram of floating chamber and sampler system.

되게 설계하였다. Fig. 2의 제작된 플로팅 챔버는 슬러리 피트에 설치되어지는 관계로 분뇨위에 띄울 수 있도록 설계 제작하였고 습공기에 의한 부식을 방지하기 위하여 스테인리스 재질을 사용하여 반구 형태로 제작하여 사용하였다. 축산분뇨에서 온실가스 발생 특성상 10 set의 플로팅 챔버를 제작하여 데이터의 신뢰성을 갖출 수 있게 하였다. Fig. 3에 나타난 Air mixer는 포집된 온실가스를 균일한 농도로 포집하기 위하여 제작 하였으며 상부에 혼합용 팬을 장착하였다.



Fig. 2. Floating chamber.



Fig. 3. Air mixer.

3. 실험방법

본 연구에서 제작된 가스 샘플링 시스템을

이용하여 시료를 채취 할 수 있었으며 가스 시료 채취를 위하여 플로팅 챔버 시스템의 정상상태 조건을 유지하기 위하여 분사 외부의 신선한 공기를 5~9 l/min의 조건으로 포집 전에 1시간 동안 공급한 후 1 l/min의 조건으로 감압 Oilless-compressor를 이용하여 5분 동안 테들러백에 포집하였다. 포집되어진 시료는 GC/ECD (Varian, CP3800)를 이용하여 CH₄와 N₂O를 분석하였다. 분석된 CH₄와 N₂O의 농도로 온실가스 발생량을 Open chamber method의 단위시간당 단위면적당 발생량 (Flux, mg/m² · s)을 계산하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$Flux = Flowrate \times \frac{C_{output} - C_{input}}{Area} \times \frac{P \times M}{R \times T}$$

here,

Flow rate: m³/s

C_{output} : concentration of chamber [ppm]

C_{input} : concentration of fresh air [ppm]

Area : area of chamber

P : pressure [Pa = kg/(m*s²)

M : molecular weight [kg/kmol]

R : gas constant [J/kmol °k]

K : absolute temperature [°k]

온실가스 발생원인 분뇨의 성분 및 특성 변화가 온실가스 발생량과의 상관관계를 알아보기 위하여 분뇨 시료를 피트 밑에서 500 ml 폴리프로필렌 포집병에 채취하였다. 현장에서 분뇨시료의 온도, pH, ORP를 측정하였다. 분뇨 시료를 냉장 보관하여 시료의 변질을 최소화 하였으며 국립축산과학원의 분석 장비인 1035 Analyzer, 1038 Sampler(암모니아태, 질산태), 원자흡광분석기 (Varian, US/AA280FS), 분광광도계 (Varian AUST, AU/CARY 300) 등을 이용하여 TKN, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, VS, TC, TS, BOD, COD_mn, SS의 분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 시스템의 현장설치 운용

돈 분뇨의 특성상 분뇨점도에 따라 발생 온실가스가 점도가 낮은 쪽으로 모여 일정농도 이상이 되면 한쪽으로는 방출되는 Channelling 현상을 대비하기 위하여 같은 위치에 3개 또는 4개를 설치하였고 돈 분뇨를 배출하기 위하여 슬러리 피트가 한쪽 방향으로 흐르게 설계되어 있으므로 돈사 위치별로 제작된 플로팅 챔버 시스템을 Fig. 4와 같이 육성돈사에 10지점을 선정하여 설치하였다.

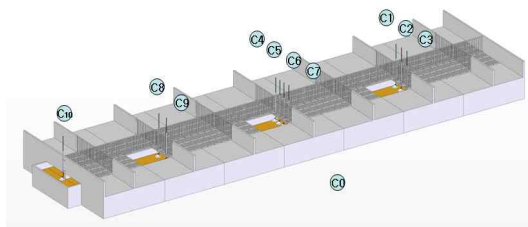
Fig. 5는 설계에 의해 실제 설치된 상태를 나타내었으며 육성돈이 샘플링 라인의 훼손을 방지하기 위하여 제작 설치된 모습을 나타내었다.

가스 샘플링 시스템은 돈사 외부에 설치하

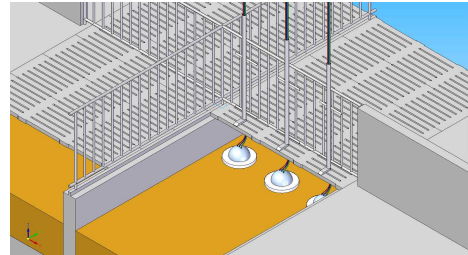
였으며, 신선한 가스의 일정량을 제어하여 투입할 수 있도록 각 플로팅 챔버에 유량계를 설치하였다. 플로팅 챔버로 부터 돈사 내부에서 연결된 샘플링 라인은 돈사 외부에서 샘플링을 할 수 있도록 Oilless-compressor와 유량계로 구성하였다. 실제 설치된 모습을 Fig. 6에 나타내었다.

2. 분뇨성분 분석 및 고찰

분뇨시료를 채취한 후 현장에서 분석한 pH, ORP, 분뇨시료온도, 대기온도 및 대기 상대습도를 측정하여 Table 1에 나타내었다. 시료의 온도는 주변 온도변화에 둔감하게 나타났으며 상대 습도가 높은 날 즉, 비오는 날에도 pH, ORP, 시료온도에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. pH는 분석 일 동안 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 분뇨시료 온



(a) position



(b) setting in manu

Fig. 4. Schematic diagram of Floating chamber position in piggyery.



(a) under slat



(b) sampling line

Fig. 5. Floating chamber in piggyery.



(a) setting



(b) sampling systems

Fig. 6. Gas sampling system of external piggyery.

Table 1. Measurement of swine manure

일 자 \ 항목	pH	ORP (mv)	시료Temp. (°C)	외부Temp. (°C)	외부상대습도 (%)
7월 28일	6.89	-315	28.4	32.5	54
8월 05일	6.92	-308	28.1	33.2	48
8월 11일	6.88	-306	28.2	30.0	72
8월 18일	6.77	-299	29.4	31.2	55
8월 25일	6.93	-334	27.9	29.1	63
9월 01일	6.93	-320	27.3	29.5	42
9월 08일	6.85	-318	27.6	29.8	47
9월 16일	6.81	-296	26.2	28.9	43
9월 23일	6.85	-257	26.5	29.5	37
9월 30일	6.87	-306	25.9	22.3	72
10월 07일	6.93	-287	26.1	27.5	35
10월 14일	6.97	-259	24.0	20.6	54
10월 21일	6.80	-265	25.4	24.0	21
10월 28일	6.82	-247	23.8	22.5	32
11월 04일	6.92	-260	22.3	16.5	53

도와 ORP의 거동을 Fig. 7에 나타내었다. ORP 농도는 산화전위가 점점 낮아짐을 볼 수 있으며 -247 ~ -344mV까지 변화되었다. 이는 분뇨 중에서 호기성 미생물에 의한 질 산화 반응이 이루어지고 있음을 추정할 수

있으며 ORP 분석 결과 탈질화 반응은 매우 미미한 상태로 추측되어지며 N₂O의 발생은 거의 이루어지지 않았다. TKN은 주변 환경에 관계없이 8,000 ppm을 중심으로 안정적으로 유지하고 있으며 Fig. 8에 나타내었다. 주

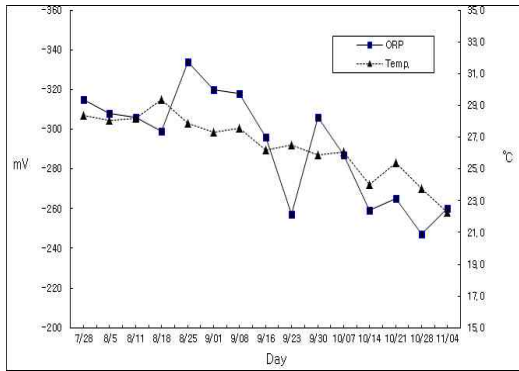


Fig. 7. Behavior of ORP vs Temperature.

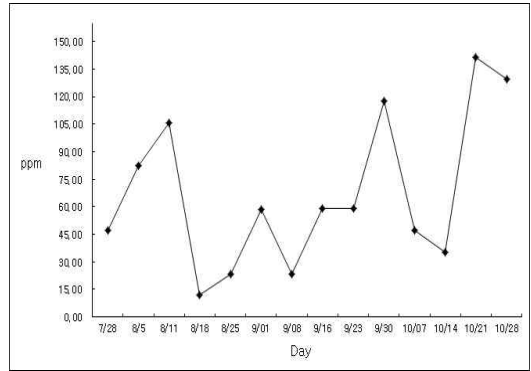


Fig. 10. Behavior of NO₃⁻-N.

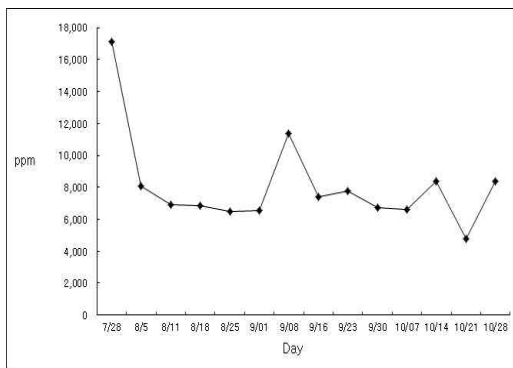


Fig. 8. Behavior of TKN.

남을 알 수 있었다. TC (건물중)는 44% 대에서 일정한 값을 유지하였다. 각각 Fig. 11, 12에 나타내었다.

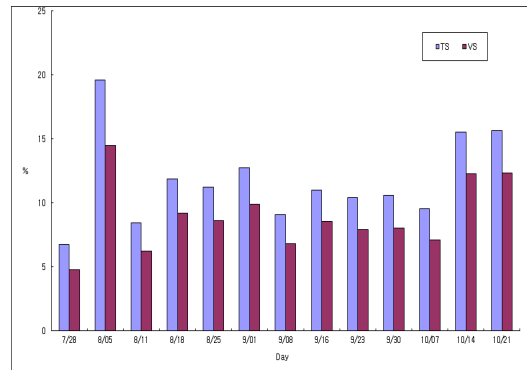


Fig. 11. Behavior of TS vs. VS.

변온도와 분뇨시료의 온도 변화에 NH₄⁺-N 와 NO₃⁻-N 농도가 크게 변동되지 않는 것을 알 수 있었으며 Fig. 9, 10에 각각 나타내었다. 시료 온도에 따라 ORP 변화가 나타났다.

분뇨 시료중의 TS는 약 10%대에서 나타났으며 그중 VS의 함량은 일정한 비율로 나타

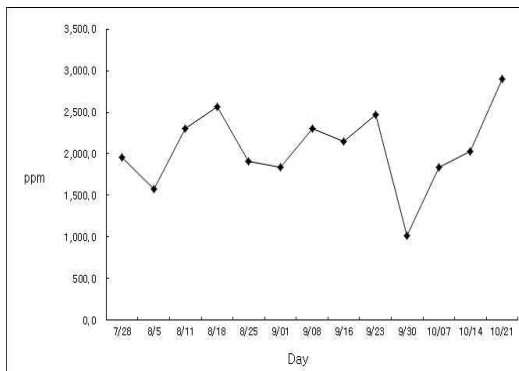


Fig. 9. Behavior of NH₄⁺-N.

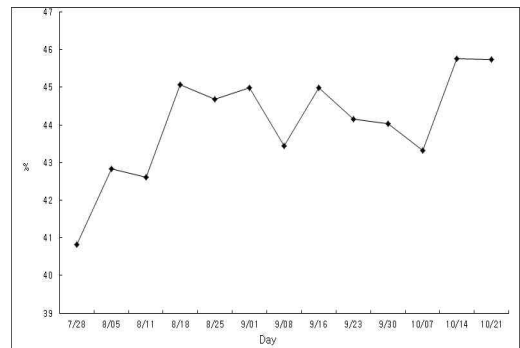


Fig. 12. Behavior of TC.

3. 가스성분 분석 및 고찰

가스성분 분석은 N₂O의 농도가 ppb 단위

로 낮게 나타나기 때문에 정밀도를 높이기 위하여 GC/ECD와 TGA로 병행해서 분석하였다. N₂O의 농도의 분석결과를 Fig. 13에 나타내었다. 대기 중의 신선한 공기에 포함된 N₂O의 농도는 약 300 ppb를 나타내고 있으며 육성돈사 10곳에서 샘플링 한 가스 시료의 농도를 볼 때 오차 범위 안의 농도가 나타남을 알 수 있었다. 이 결과는 분뇨분석에서 예측한 값과 일치하였다. 슬러리 돈사에서의 N₂O는 대기 중의 신선한 공기에 포함되어 있는 농도와 오차 범위 안의 농도수치로 발생이 거의 없다고 판단되어진다.

채취한 시료의 CH₄ 농도를 7월 28일부터 8월 25일까지 5회 샘플링 한 결과를 발생량으로 환산하여 돈사 내 각 위치별 산출한 결과를 Fig. 14에 나타내었다. 발생량을 산출한 결과 돈사 내 각 위치별 농도 편차가 크게

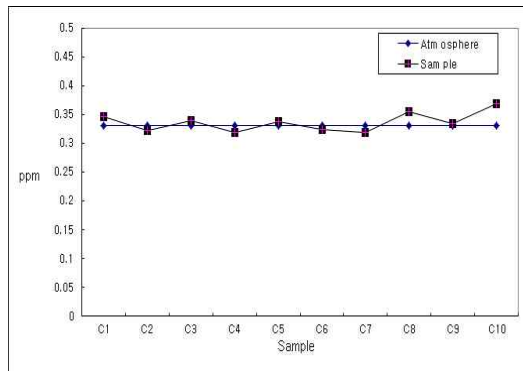


Fig. 13. Concentration of N₂O.

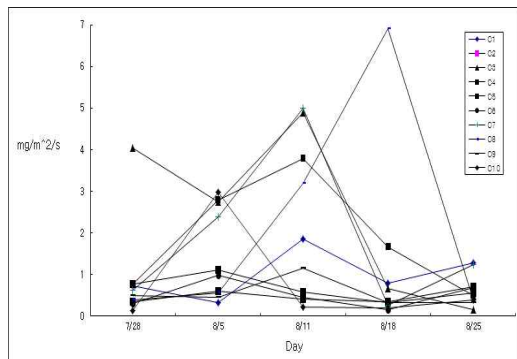


Fig. 14. Emission of CH₄ (7/25~8/5).

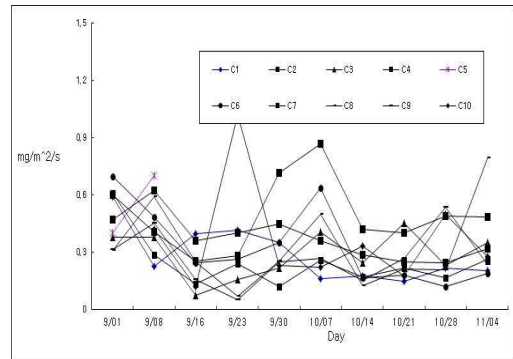


Fig. 15. Emission of CH₄ (9/1~11/4).

나타남을 알 수 있었으며 플로팅 챔버의 최적화 조건 및 Steady-state가 이루어지지 않은 것으로 판단되어졌다. 돈사 피트 내 모든 챔버를 분리 후 발생가스가 정체되는 현상을 방지하기 위하여 챔버 상부에 추가 홀을 가공하고 유입되는 신선한 공기가 분뇨를 직접 접촉하지 않게 하기위하여 T형 유니온을 부착하여 제 설치하고 가스를 샘플링한 후 발생량을 산출하였으며 안정적인 결과를 얻을 수 있었다. 산출 결과는 Fig. 15에 나타내었다. 육성돈 슬러리 돈사에서의 CH₄ 발생량은 0.15~1.02 mg/m²·s을 구할 수 있었다.

적 요

기후변화협약 대응을 위해 IPCC 온실가스 인벤토리 가이드라인에 따라 축산분야 온실가스인 CH₄, N₂O가스의 배출량을 평가하고 배출계수를 산출하여 국가 Database 확보 및 측정기준을 제시하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 돈사 슬러리 피트에 샘플링 챔버를 설치 운영하기 위해 돈분뇨 위에 띄울 수 있는 반구형태의 플로팅 챔버 (Open chamber method or flow-through steady-state)를 고안 제작하였다. Open chamber method의 특성상 외부의 공기를 일정한 제어를 통해 챔버내로 유입시켜 돈사 슬러리에서 발생된 가스를 희석하고 정상상태의 최적조

건에서 발생된 가스의 일정량을 제어하여 포집하는 장치로 시스템을 구성하였다. 돈분뇨 슬러리에서 온실가스 발생 특성상 돈사 내부에 위치에 따라 10개의 챔버를 투입하여 Data의 신뢰성을 갖출 수 있게 하였다. 유입 유량을 5~9 l/min, 포집유량을 1 l/min으로 변경하면서 포집된 가스를 GC/ECD를 통해 분석하였고 챔버로 유입되는 공기가 슬러리 표면을 직접 접촉하지 않는 방법으로 기구를 구성하고 잉여 공급공기는 챔버 상부를 통해 외부로 배출하는 방법으로 최적조건의 정상 상태 온실가스를 샘플링 할 수 있었다. 포집 가스를 GC/ECD 분석결과 N₂O 가스의 배출 형태는 대기중의 신선한 공기에 포함된 N₂O 농도와 돈사 10곳의 샘플링 가스 시료의 농도를 볼 때 오차 범위 안의 농도로 슬러리 돈사내 분뇨에서는 N₂O의 발생은 없다고 판단된다. CH₄ 가스 발생량은 0.15~1.02 mg/m²·s 로 나타났다.

인 용 문 헌

- Hellebrand, H. J. and Kalk, W. D. 2001. Emission of methane, nitrous oxide, and ammonia from dung windrows. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 60, 83-87.
- Husted, S. 1993. An open chamber technique for determination of methane emission from stored livestock manure. *Atm. Environ.* 27, 1635-1642.
- IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainly Management in National Greenhouse Gas Inventories
- IPCC, Revised 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook
- Mills, J. A. N., E. Kebreab, C. M. Yates, L. A. Crompton, S. B. Cammell, M. S. Dhanoa, R. E. Agnew, and J. France. 2003. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *J. Anim. Sci.* 81:3141-3150.
- Neter, J., M. H. Kutner, C. J. Nachtsheim, and W. Wasserman. 1996. Applied linear statistical models. 4th ed. McGraw-Hill Publishing, Boston, MA, USA.
- Park, K. H., Claudia, W. R. and Robert, J. G. 2010. Comparing methane fluxes from stored liquid manure using micro- meteorological mass balance and floating chamber methods, *Agricultural and Forest Meteorology* 150, 175-181.
- USEPA, 2009. 2009 U.S. Greenhouse Gas Inventory Report, Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2007 [Online]. Available at <http://epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html> (verified July 10, 2009).