

Research Article

Open Access

돈분뇨 시용 후 담수시기가 암모니아 휘산에 미치는 영향

이용복,^{1*} 이연,² 신평균,³ 윤홍배^{2**}

¹경상대학교 농업생명과학원, ²농촌진흥청 국립농업과학원, ³농촌진흥청 국립원예특작과학원

The Effect of Flooding Time on Ammonia Emission after Application of Liquid Pig Manure in Paddy Soil

Yong Bok Lee,^{1*} Youn Lee,² Pyung Gyun Shin³ and Hong Bae Yun^{2**} (¹Institute of Agriculture and Life Science Gyeongsang National University, 900, Gajwa-dong, Jinju, 660-701, Korea, ²National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon, 441-707, Korea, ³National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Suwon, 441-707, Korea)

Received: 22 November 2011 / Accepted: 20 December 2011
© 2011 The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract

BACKGROUND: Ammonia emissions from field-applied livestock manure are considered a threat to the environment worldwide. In Korea, a large amount of liquid manure was applied in the rice field before rice transplanting in order to reduce chemical fertilizer use. This study was conducted to provide the optimal flooding time after liquid manure application in an attempt to minimize ammonia emission. **METHODS AND RESULTS:** Ammonia emission from paddy field applied with liquid pig manure following different flooding time was measured using the dynamic chamber method. The five treatments used were : application of liquid pig manure to paddy field in flooding condition (F0T); one day (F1T) and three days (F3T) after flooding; without flooding (NF), and flooding without the application of liquid pig manure (control). Among the treatment, the highest ammonia emission was observed in F0T. The cumulative ammonia emission of F1T and F3T for 12 days were very similar and were about 4.7 times less than

that of the F0T treatment.

CONCLUSIONS: Ammonia emission in paddy field could be significantly reduced by liquid pig manure application after flooding rather than application of liquid pig manure in flooding condition. Therefore, flooding after liquid pig manure application would provide much more nitrogen for rice growth due to the reduction of ammonia emission.

Key Words: Ammonia emission, Flooding time, Paddy field, liquid pig manure

서론

대기 중의 암모니아(NH₃)는 침적(Deposition)을 통해서 자연생태계의 산성화를 초래하고 수계의 부영양화를 유발하는 것으로 잘 알려져 있다(Fangmeier *et al.*, 1994). 1990년 지구 전체 암모니아 휘산량은 51 Tg N/year으로 추정되며, 이 중 상당 부분을 농축산업이 차지하고 있다(van Aardenne *et al.*, 2001). 특히 유럽의 경우 농업부분 전체 암모니아 휘산량의 80-90%는 축산업에서 발생된다고 하였다(ECETOC, 1994). 그리고 농축산분야 암모니아 휘산량의 약 33%는 가축분을 농경지에 살포하는 과정에서 발생된다(Misselbrook *et al.*, 2002). Klassen(1994)는 가축분뇨 살포과정에서 암모니아 휘산량 감소는 국가단위의 암모니아 휘산량 감축에 있어 가장 경제적이고, 우선되어야 할 것이라고 강조하였다.

가축분뇨 살포과정에서 발생하는 암모니아 휘산량 평가와 저감 방법에 관한 연구는 축산업이 발달된 유럽을 중심으로 활발한

*교신저자 (Corresponding author),
Phone: +82-55-772-1967; Fax: +82-772-1969;
E-mail: yblee@gsnu.ac.kr

**공동교신저자(Corresponding author),
Phone: +82-31-290-0321; Fax: +82-31-290-0208;
E-mail: hbaeyun@korea.kr

연구가 진행되고 있다. 예를 들면, Sommer와 Hutchings(2001), 그리고 Meisinger와 Jokela(2000)는 가축분 슬러리 살포시 대부분의 암모니아 휘산은 살포 후 6-12시간 이내에 총 암모니아 휘산량의 30-70% 휘산된다고 보고하였다. Smith 등(2000)은 가축분 슬러리 살포 방법별 암모니아 휘산량 비교에서 표층살포 대비 shallow injecting (57%) > tailing shoe (43%) > band spread (39%)순으로 암모니아 휘산량 저감효과가 있다고 하였다. 그리고 Yun 등(2009)은 돈분퇴비 사용 시 즉시 경운과 살포 3일 후 경운은 표층살포 후 무경운 대비 약 70% 및 30%의 암모니아 휘산량이 저감하였다고 보고 하였다.

우리나라의 연간 가축분뇨 발생량은 43.7백만 톤이며, 이중 약 86%가 퇴비나 액비로 자원화 처리되고 있다(Kim *et al.*, 2008). 특히, 전체 가축분뇨 발생량의 약 42%를 차지하는 양돈분뇨는 과량의 수분을 함유하고 있기 때문에 액비화를 통한 농경지 이용을 권장하고 있다(Kim *et al.*, 2008). 따라서 양돈분뇨 액비의 농경지 이용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 예를 들면, 벼에 대한 액비의 적정 사용량 및 시용시기 구명(Park *et al.*, 2001), 액비 사용량이 고추(Lim *et al.*, 2010) 및 배추 수량에 미치는 영향(Lim *et al.*, 2009), 그리고 액비사용이 사료 작물 생산성에 미치는 영향(Kim *et al.*, 2011) 등 주로 작물의 생산성과 화학비료 대체 효과에 중점을 두고 있다. 반면, 양돈분뇨 액비 사용이 잉여 양분의 유거 및 용탈, 그리고 암모니아 휘산과 같은 환경에 미치는 영향에 관한 연구는 아직까지 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 현재 우리나라에서 돈분액비 활용이 가장 활발한 수도재배에 있어, 돈분액비 살포 후 담수시기가 암모니아 휘산량에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시 토양 및 돈분액비

본 시험에 사용된 토양은 미사질양토이며, 음건 후 2 mm 체를 통과시켜 이용하였다(Table 1). 돈분액비는 돈사에서 배출되는 돈분뇨를 고액 분리한 다음 저장조에서 일정기간 혐기 발효시킨 것으로 그 화학적 특성은 Table 2에서 보는 바와 같다. 담수 시기가 암모니아 휘산량에 미치는 영향을 조사하기 위해서 돈분액비 사용후 담수 시기는 돈분액비 무사용 담수(Control), 담수 후 돈분액비 사용(F0T), 돈분액비 사용 1일 후 담수(F1T), 돈분액비 사용 3일 후 담수(F3T), 그리고 돈분액비 사용 후 무담수(NF)로 설정하였다. 이때 담수 깊이는 5 cm로 조절하였으며, 돈분액비는 45 ton/ha 해당량을 살포 하여 3반복으로 수행하였다. 공시토양 및 돈분액비의 이화학적 특성은 농촌진흥청 분석법에 준하여 분석하였다(NIAST, 2000).

Table 1. Characteristic of soil used in this study.

pH	OM (g/kg)	T-N (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations (cmol/kg)		
				K	Ca	Mg
6.0	9.0	1.1	5.5	0.25	6.2	1.9

Table 2. Characteristic of liquid pig manure used in this study.

Solid (g/kg)	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N (g/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	T-P (g/kg)
50.2	8.0	6.0	9.0	980	5.5

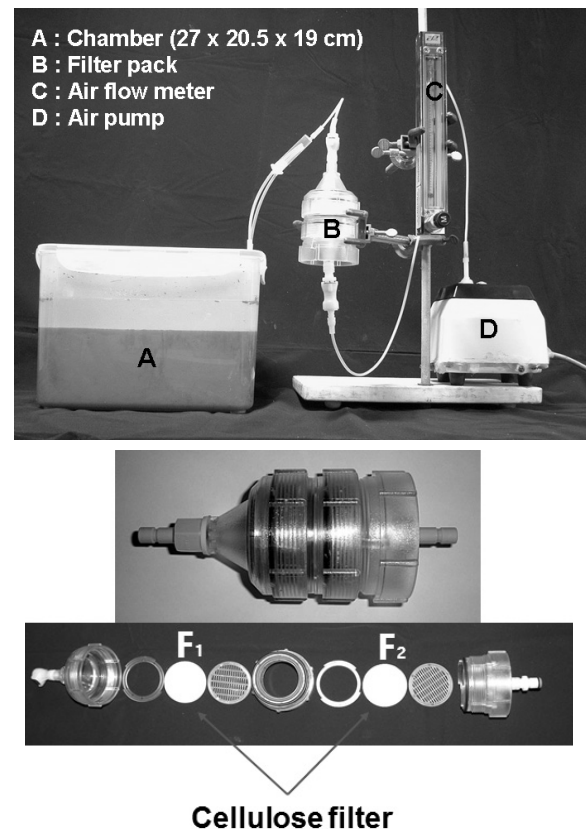


Fig. 1. Diagram of dynamics chamber for trapping ammonia by H₃PO₄ impregnated filter.

암모니아 가스 포집 및 측정

돈분액비 사용후 담수시기에 따른 암모니아 휘산량 측정은 다이믹스 챔버(Dynamics chamber) 방법을 이용하였다. 챔버에서 발생된 암모니아는 Filter pack(NL-1, NILU, Kjeller, Norway)을 이용하여 포집하였으며, 본 시험에 사용된 Filter pack은 암모니아 포집의 안전성을 부여하기 위해서 두층으로 구성되어 있다(Fig. 1). 여기서 사용된 Cellulose filter paper(Whatman, No. 41, Ø 47 mm)는 10% H₃PO₄ 용액과 4% glycerol 용액을 1:1 (v/v) 혼합한 용액에 침지시킨 다음 건조 후 이용하였다(Hayashi *et al.*, 2006). 그리고 챔버 내 수면에서 휘산되는 암모니아가 풍속에

영향을 받지 않게 air pump 의 공기 흡입량을 flow meter(2 m/sec)를 이용하여 조절하였다(Kissel *et al.*, 1977).

챔버에서 발생하는 암모니아 휘산량은 12 일 동안 조사하였으 며, 이때 암모니아가 흡착된 Cellulose filter paper는 10 ml 증류수로 침출한 다음 질소 자동분석기(QUAATRO, Germany)를 이용하여 분석하였고, 동일한 시기에 담수 중 암모니아 농도와 pH 변화를 조사하였다. 그리고 처리 12일 후 표토 3 cm 깊이의 토양 중 NH₄-N 농도를 분석하였다.

결과 및 고찰

돈분액비 시용 후 담수시기 시기별 총 12일 동안 NF, F0T, F1T, F3T 에서 발생된 암모니아 휘산량은 각각 11.8, 142.0, 29.6, 25.4 mg/m² 로서 논토양에서 돈분액비 시용 후 담수시기는 암모니아 휘산량에 큰 영향을 미쳤다(Fig. 2). 특히, 돈분액비 살포 1일(F1T) 및 3일(F3T) 후 담수는 현재 농가에서 많이 사용하고 있는 담수 상태에서 돈분액비 살포에 비해 암모니아 휘산량을 각각 79 및 82% 감소 시켰다. 그리고 전체 NH₄-N 사용량에 대한 F-0T, F-1T, F-3T 의 암모니아 휘산량은 각각 3.2±1.4%, 0.67±0.21%, 0.58±0.22%로 나타났다. Hayashi 등(2006)은 논에서 요소를 기비(50 kg/ha)와 추비(40 kg/ha) 시용시 시비량에서 대한 암모니아 휘산량은 각각 0.2±0.1% 와 3.8±2.2% 이라고 보고하였다. 그리고 기비보다 추비에서 많은 양의 암모니아 휘산된 것은 기비 시용 후 경운에 의한 희석과 토양 교질에 흡착 효과로 설명하고 있다. 추비(40 kg/ha) 시용에 의한 암모니아 휘산량은 경운을 하지 않은 본 연구의 F-0T(암모니아태 질소 시용량 44kg/ha) 와 비슷한 휘산량을 보였다. Yun 등(2009)은 가축분 퇴비 시용 후 즉시 경운은 암모니아태 질소 농도가 희석되고 또한 암모니아태 질소가 토양 교질에 흡착됨으로써 무경운에 비해 암모니아 휘산량이 현저히 감소한다고 하였다.

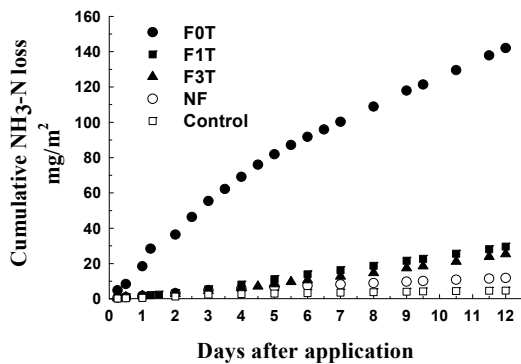


Fig. 2. Cumulative NH₃ emission from flooded soil with different flooding time after liquid manure application. Treatments included a control (flooding without the application of liquid pig manure), NF (application of liquid pig manure without flooding), F0T (application of liquid pig manure in flooding condition), F1T (application of liquid pig manure at one day after flooding), and F3T (application of liquid pig manure at three days after flooding).

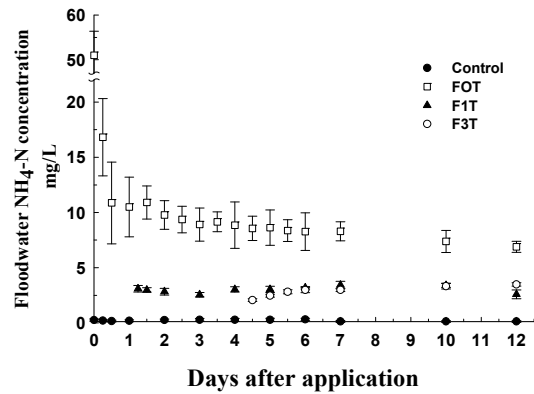


Fig. 3. Changes of NH₄-N concentration in floodwater with different flooding time after liquid manure application. Details of the treatment were provided in the footnote of Fig. 2.

따라서 F-1T 및 F-3T가 F-0T에 비해 암모니아 휘산량이 현저히 감소 된 것은 돈분액비 중의 암모니아태 질소가 토양 교질에 흡착된 효과로 생각된다.

논에서 암모니아 휘산량은 수중 NH₄-N 의 농도, pH, 그리고 담수 깊이에 영향을 받는다(Hayashi *et al.*, 2006). 본 시험에서 처리별 수중 NH₄-N 의 농도는 암모니아 휘산량과 동일한 양상을 보였다. 즉, 12일동안 수중 NH₄-N 농도가 가장 높았던 F0T에서 암모니아 휘산량이 높았고, 수중 NH₄-N 농도가 비슷한 F1T와 F3T는 비슷한 암모니아 휘산량을 보였다(Fig. 3). 그리고 F0T, F1T, 그리고 F3T의 수중 NH₄-N 농도 차이는 토양교질과의 흡착량 차이와 돈분 살포 후 담수 과정에서 하층으로 이동되는 NH₄-N의 양의 차이 때문에 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 실제 포장에서는 투수 속도에 영향을 미치는 토성, 담수 깊이 등의 차이에 따라서 암모니아 휘산량의 차이가 발생 될 수 있을 것으로 생각된다. 한편, 담수 상태에서 돈분 액비 살포 후 1일째 급격한 수중 NH₄-N 농도 감소는 많은 휘산량과 확산에 의한 희석 효과로 생각된다.

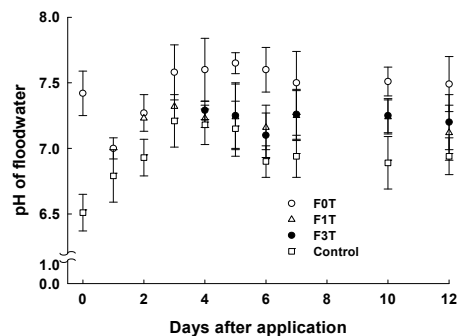


Fig. 4. Changes of pH in floodwater with different flooding time after liquid manure application. Details of the treatment were provided in the footnote of Fig. 2.

Fig. 4는 시험 기간 중 처리별 수중 pH 변화를 나타내고 있다. 담수 상태에서 돈분액비 시용(F0T)은 돈분액비의 높은 pH 영향에 의해서 돈분 무시용(control)에 비해서 약 1정도 높게 나타났다. 그리고 시험 기간 중 F0T 처리구의 pH는 7.5 이상을 유지하였으며, F1T와 F3T 처리구는 7.5 이하를 유지하였고 두 처리간의 차이는 없었다. 액상에서 암모니아 휘산은 pH와 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도에 가장 많은 영향을 받는다고 알려져 있다. Berg (2006)에 의하면 돈분 저장시 lactic acid 처리에 의한 pH 저감은 암모니아 휘산량을 크게 감소시켰다고 보고 하였다. 그리고 Lefcourt와 Meisinger (2001)도 우분에 Alum 처리는 pH 감소에 의해서 암모니아 휘산량을 현저히 감소시킨다고 하였다. 따라서 담수 상태에서 돈분액비 시용은 수중의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도와 높은 pH에 영향을 받아서 돈분 시용 1일, 3일 후 담수(F1T, F3T)에 비해 많은 암모니아 휘산량을 보인 것으로 판단된다.

시험 후 표층 3cm 깊이의 토양 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 함량은 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 돈분 시용 후 무담수(NF)는 처리구 중 가장 높은 수용성 및 치환성 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량을 보였으며, 이는 시용된 돈분의 하층 이동이 거의 없었기 때문이다. 그리고 F1T와 F3T에서 F0T보다 낮은 암모니아 휘산량을 보임과 동시에 시험 후 토양 중 치환성 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량도 낮았다. 이와 같은 결과는 담수 상태에서 돈분 시용시 수중 확산에 의한 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 하층으로 이동량이 돈분 시용후 담수에 의한 이동량보다 적었기 때문으로 생각된다. 특히, 처리구 중 돈분 시용 후 무담수에서 가장 높은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량을 보였지만 가장 낮은 암모니아 휘산량 나타내었다. 이는 낮은 수분함량과 토양교질의 치환자리에 대부분의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 가 존재하기 때문이라 생각된다(Lefcourt and Meisinger, 2001; Smith *et al.*, 2000).

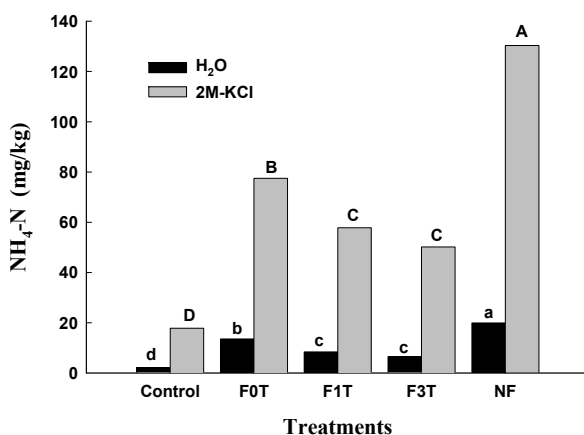


Fig. 5. $\text{NH}_4\text{-N}$ content in soil at 12 days after liquid pig manure application.

Details of the treatment were provided in the footnote of Fig. 2. Means within a same color followed by the same letter are not significantly different ($P=0.05$) by Duncan multiple range test.

요 약

본 연구는 논에서 돈분 액비 활용시 담수 시기에 따른 암모니아 휘산량을 평가하였다. 담수 상태에서 돈분액비 시용은 142.0 mg/m^2 의 암모니아 휘산량을 보인 반면, 돈분액비 시용 1일 및 3일 후 담수시 암모니아 휘산량은 $29.6, 25.4 \text{ mg/m}^2$ 였다. 그리고 담수 상태에서 돈분액비 시용이 돈분액비 시용 후 담수에 비해 높은 암모니아 휘산량을 보인 것은 암모니아가 토양교질에 흡착되지 않고 수중에 높은 농도로 존재하기 때문인 것으로 나타났다. 따라서 논에서 돈분액비 활용시 암모니아 휘산량 저감에 의한 질소 이용도 향상을 위해서는 돈분액비 살포 최소 1일 후 담수하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

감사의 글

This study was supported by Rural Development Administration, Republic of Korea (Project No. PJ906961).

참고문헌

- Berg, G., Brunsch, R., Pazycizki, I., 2006. Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage, *Agric. Ecosyst. Environ.* 112, 129-134.
- ECETOC, 1994. *Ammonia emissions to air in Western Europe-Technical Report No. 62*, p. 196. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Brussels, Belgium.
- Fangmeier, A., Hadwigerfangmeier, A., Vandereerden, L., Jager, H.J., 1994. Effects of atmospheric ammonia on vegetation-A review, *Environ. Pollut.* 86, 43-82.
- Hayashi, K., Nishimura, S., Yagi, K., 2006. Ammonia volatilization from the surface of a Japanese paddy field during rice cultivation, *Soil Sci. and Plant Nutri.* 52:545-555.
- Kim, M.K., Kwon, S.I., Kang, S.S., Jung, G.B., Kang, K.K., 2011. Changes of soil properties in corn (*Zea mays* L.) fields treated with compost and liquid fertilizer, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 473-478.
- Kim, P.J., Lee, Y.B., Lee, Y., Yun, H.B., Lee, K.D., 2008. Evaluation of livestock manure utilization rates as agricultural purpose in developed OECD countries by using nutrient balances, *Korean J. Environ. Agri.* 27, 337-342.
- Kissel, D.E., Brewer, H.L., Arkin, G.F., 1977. Design and test of a field sampler for ammonia volatilization, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 1133-1138.
- Klaasen, G., 1994. Options and costs of controlling ammonia emission in European, *Rev. of Agric.*

- Econ.* 21, 219-240
- Lefcourt, A.M., Meisinger, J.J., 2001. Effect of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition, *J. Dairy Sci.* 84, 1814-1821.
- Lim, T.J., Lee, I.B., Kang, S.B., Park, J.M., Hong, S.D., 2009. Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of Chinese cabbage, *Korean J. Environ. Agri.* 28, 227-232.
- Lim, T.J., Lee, I.B., Kang, S.B., Park, J.M., Hong, S.D., 2010. Effects of fertigation with pig slurry on growth and yield of red pepper, *Korean J. Environ. Agri.* 29, 227-231.
- Meisinger, J.J., Jokela, W.E., 2000. *Ammonia volatilization from dairy and poultry manure*. pp. 334-354. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Ithaca, NY, USA.
- Misselbrook, T.H., Smith, K.A., Johnson, R.A., Pain, B.F., 2002. Slurry application techniques to reduce ammonia emission: results of some UK field-scale experiments, *Biosystems Engineering.* 83, 313-321.
- Misselbrook, T.H., Vander Weerden, T.J., Pain, B.F., Jarvis, S.C., Chambers, B.J., Smith, K.A., Phillips, V.R., Demmers, T.G.M., 2000. Ammonia emission factors for UK agriculture, *Atmos. Environ.* 34, 871-880.
- NIAST, 2000. Method of soil and plant analysis, National Institute of Agriculture Science and Technology. RDA, Suwon, Korea.
- Park, B.K., Lee, J.S., Cho, N.J., Jung, K.Y., 2001. Effect of application time and amount of liquid pig manure on growth of rice and infiltration water quality, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34, 147-152.
- Smith, K.A., Jackson, D.R., Misselbrook, T.H., Pain, B.F., Johnson, R.A., 2000. Reduction of ammonia emission by slurry application techniques, *J. Agric. Engng. Res.* 77(3), 277-287
- Sommer, S.g., Hutchings, N.J., 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction-invited paper, *Eur. J. Agron.* 15, 1-15.
- van Aardenne, J.A., Dentener, F.J., Olivier, J.G.J., Klein Goldewijk, C.G.M., Lelieveld, J., 2001. A 10 x 10 resolution data set of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890-1990, *Global Biogeochem. Cycles.* 15, 909-928.
- Yun, H.B., Lee, Y., Lee, S.M., Kim, S.C., Lee, Y.B., 2009. Evaluation of ammonia emission following application techniques of pig manure compost in upland soil, *Korean J. Environ. Agri.* 28, 15-19.