

## 우분 야적시 암모니아 휘산량과 강우에 의한 질소 및 인산 유출량 평가

윤홍배\*\* · 이 연 · 이상민 · 김석철 · 홍승길 · 이용복\*

농촌진흥청 국립농업과학원  
(2009년 12월 9일 접수, 2009년 12월 26일 수리)

### Ammonia Emission and Nitrogen and Phosphorous Loss by Rainfall from Cow Manure Pile

Hong Bae Yun\*\*, Youn Lee, Sang Min Lee, Suk Chul Kim, Seung Gil Hong, and Yong Bok Lee\* (National Academy of Agricultural Science, RDA)

**ABSTRACT:** For the reduction of ammonia (NH<sub>3</sub>) volatilization from the cow manure composting process, a cow manure pile was covered with vinyl (white polyethylene) and the ammonia emissions were evaluated using the dynamic chamber system for 47 days. Nitrogen and phosphorus loss from cow manure pile by rainfall was also measured in this study. In the cow manure pile without covering, the amount of NH<sub>3</sub> emission was 0.78 N kg/Mg which accounted for 9.4% of total nitrogen contents in the cow manure. Eighty nine percent of the total NH<sub>3</sub> emission during experimental period from the cow manure pile without covering was emitted for the first 21 days. The vinyl covering of cow manure pile reduced 91% of NH<sub>3</sub> emission compared to the pile without covering. The amounts of nitrogen and phosphorus loss by rainfall from cow manure pile without covering were 1.27 N kg/Mg and 0.23 P kg/Mg for 47 days, respectively. Results from this study demonstrated that vinyl covering of cow manure pile could reduce NH<sub>3</sub> emission and loss of nitrogen and phosphorus by rainfall during composting.

**Key Words:** Ammonia Emission, Cow Manure, N and P Loss

### 서 론

가축분뇨는 자원으로 활용할 경우 토양 유기물 보충 및 작물의 양분 공급원으로 가치를 가지고 있는 반면, 적절하게 관리되지 않을 경우 자연환경에 악영향을 미치는 오염원으로 작용 한다<sup>1)</sup>. 2008년 우리나라에서 사육된 가축은 소 2,876 천두, 돼지 9,087 천두 그리고 닭은 119,780 천수이다 (<http://kostat.go.kr>). 한편, 이들 가축사육 수와 농촌진흥청에서 발표한 축종별 원단위를 적용하여 분뇨 발생량을 추정할 결과 약 3,960 만 톤 (세정수 포함)에 상당하는 양이다<sup>2)</sup>.

그리고 우리나라의 전체 가축분뇨 발생량을 축종별로 구분하여 보면, 우분이 46.3%로 가장 많은 양을 차지하며, 돈분이 42.6%, 계분 11.1% 순이다.

유럽의 축산 선진국과 미국은 대부분의 가축분뇨를 액비화 과정을 거쳐서 활용하고 있지만, 우리나라는 전통적으로 가축분뇨를 퇴비화 공정을 거친 후 농경지에 활용하고 있다. 일반적으로 퇴비화는 친환경 및 지속적인 가축분뇨 처리 방법으로 널리 이용되고 있지만, 많은 양의 암모니아를 휘산시킨다. 퇴비화 과정에서 휘산되는 암모니아는 작물생산에 이용되는 가축분의 질소 양분가치를 감소시키며<sup>3)</sup>, 환경측면에서는 대기오염, 생태계 교란을 일으키는 한 요인으로 알려져 있다<sup>4,5)</sup>.

지금까지 가축분뇨의 퇴비화 과정에서 발생하는 암모니아 휘산량 평가 및 저감에 관한 다수의 연구가 이루어지고 있다. 예를 들면, 계분과 볏짚 혼합물은 퇴비화 과정에서 초기 질소 함량의 약 44%가 암모니아로 휘산 된다<sup>7)</sup>. 그리고 육계 사육장의 깔개는 퇴비화 과정에서 초기 전 질소 함량의 약

\*연락처:

Tel: +82-31-290-0321, Fax: +82-31-290-0208

E-mail: soiltest@kg21.net

\*\*공동연락처:

Tel: +82-31-290-0319, Fax: +82-31-290-0208

E-mail: hbaeyun@korea.go.kr

**Table 1. Selected properties of sawdust-bedded cow manure used in this experiment**

Moisture (%, wet wt.)	O.M (g/kg)	T-N (g/kg)	P (g/kg)	TAN (mg/kg)
65	730	24.2	15.0	3,570

All values are expressed on a dry weight basis unless otherwise indicated.  
TAN : Total ammoniacal nitrogen, O.M : organic matter

47-62%가 암모니아로 휘산 된다<sup>8)</sup>. 그리고 돈분과 톱밥의 퇴비화 과정에서 Alum 처리는 무처리에 비해 약 78%의 암모니아 휘산량을 저감 시킬 수 있다고 보고하였다<sup>9)</sup>.

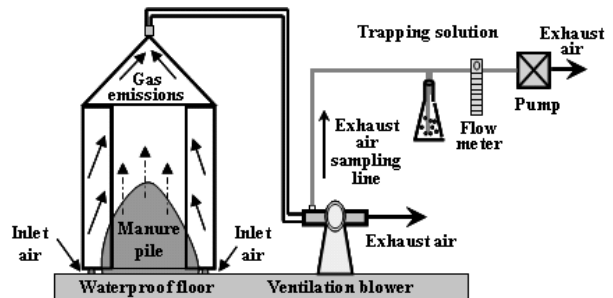
우리나라에서 발생하는 돈분과 계분은 약 80% 이상이 공장형 퇴비화 시설에서 퇴비화 과정을 거친 후 농경지에 활용되고 있는 실정이지만, 우분의 경우는 대부분이 축사 및 농경지 인근에 야적 후 자연 퇴비화과정을 거쳐서 농경지에 활용되는 편이다. 특히, 농경지에 살포되기 전 우분의 관리상태 즉, 피복 유무에 따라 양분손실에 상당한 차이가 예상된다. 이에 본 연구는 우분 야적시 발생하는 암모니아 휘산량을 정량적으로 평가하고 강우차단 시설 없이 야적할 경우 자연강우에 의한 질소와 인의 유출량을 평가하여 향후 농가우분관리방법 개선을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

### 재료 및 방법

#### 우분 야적 방법

본 연구의 공시 우분은 톱밥을 깔짚으로 활용한 경기도 화성시 축산농가에서 운반하여 사용하였으며, 그 화학적 특성은 Table 1과 같다. 우분의 수분함량은 퇴비화 조건에 적합한 65%였으며, 유기물대 질소비는 30.2, TAN (Total Ammoniacal Nitrogen) 함량은 3,570 mg/kg 이었다. 우분야적은 나무 합판 (2 m × 2 m)에 비닐을 깔 후 그 위에 250 kg (fresh weight) 을 쌓아서 더미를 만들었으며, 암모니아 휘산 평가를 위하여 비닐(white polyethylene) 피복과 비닐 무 피복 더미를 두었다. 그리고 강우시 양분유출량 평가를 위해서는 무 피복 상태의 별도 우분더미를 두었으며, 유출수 수거가 용이 하도록 바닥을 약 10도의 경사를 두었다. 우분더미의 교반은 암모니아 휘산량 평가를 위한 처리는 시험개시 후 일주일 간격으로 5회 실시하였으나, 강우에 따른 양분 유출량 평가를 위한 우분더미는 시험기간 동안 교반작업을 하지 않았다.

시험기간은 2007년 6월 6일부터 2007년 7월 23일까지 47일 동안 실시하였다. 조사기간 동안 총 강우량은 318 mm 였으며, 유출수는 800 L 크기의 플라스틱 통에 수집하여 총 4회 칭량하였고, 그 중 일부의 용액을 채취하여 질소와 인산 성분 분석용으로 사용하였다. 퇴비더미의 온도변화는 20 cm 깊이에 온도센서를 묻은 후 데이터 로거(WatchDog, Spectrum Technologies, Inc. 450)를 이용하여 우분 야적 2일 후부터 6시간 간격으로 조사 하였다.



**Fig. 1. The chamber system for trapping ammonia emitted from the cow manure pile.**

#### 암모니아 가스 포집 및 측정방법

우분 더미로부터 휘산되는 암모니아 포집은 Fukumoto 등<sup>10)</sup>이 고안한 장치에 근거하여 약 5 m<sup>3</sup> 크기로 제작하였다 (Fig. 1). 이때 배기량은 56.5 m<sup>3</sup>/h 이 되도록 조절하였으며, 휘산되는 암모니아 포집을 위해 전체 배기량 중 2 L/min 를 0.05 N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액 100 ml 을 넣은 유리 용기를 통과 시켰다. 암모니아 포집 시료채취는 시험개시 후 1일 간격으로 47일 간 동일시간에 실시하였으며, 황산용액에 포집된 암모니아는 Automatic ion analyzer (BRAN-RUEBBE. CO) 를 이용해서 분석하였다.

#### 퇴비 및 유출수 성분분석

퇴비의 총 질소분석은 건조한 퇴비 1 g 을 황산으로 분해시킨 후 킬달법으로 정량하였으며, 인산은 산 가수분해 후 비색정량 하였다<sup>11)</sup>. 퇴비의 유기물함량 정량을 위하여 먼저 105 °C 에서 24시간 건조 후 20 g 내외의 시료를 도가니에 취하여 550 °C 전기로에서 4시간 탄화시킨 다음 데시게이터에서 냉열 후 무게를 달았다<sup>11)</sup>.

퇴비의 침출수 중 질소, 인산함량 분석은 퇴비 중 총 질소와 인산분석 방법과 동일한 방법을 이용하였으며, 야적 기간 중 총 질소와 인산의 유출량은 물의 유출량에 질소와 인산의 농도를 각각 곱하여 산출하였다.

### 결과 및 고찰

#### 우분 야적시 암모니아 휘산량

우분 야적더미의 비닐 피복 유무에 따른 온도 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 두 처리 모두 빠르게 고온기에

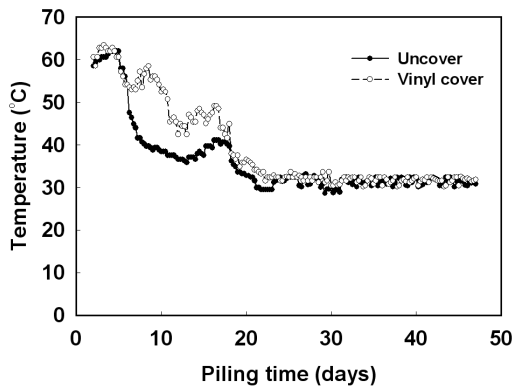


Fig. 2. Changes in temperature of the cow manure pile with or without vinyl covering.

도달하여 최고 약 65 °C 까지 상승하였다. 비닐 무 피복의 온도변화는 퇴적 2-3일째 최고 온도에 도달한 이후 점점 낮아져서 10일째 이후 40 °C 유지하였고, 2차 교반(14일째) 이후 약간 상승하였지만 이후 큰 온도 변화는 없었다. 그러나 비닐피복 처리구의 온도변화는 1차 교반(7일째) 이후 다시 약 60 °C까지 상승하였으며 약 2주간 50 °C 이상을 유지하였으며, 1차 교반 이후에서 3차 교반 전까지 비닐피복 처리구의 온도는 무 피복 처리구에 비해 약 5-10 °C가 높았다. 이는 퇴비화 기간 중 고온기에 발생하는 빠른 수분증발을 비닐 피복이 억제시킴으로써 무 피복에 비해 수분 이용율 향상에 따른 생물학적 활성이 오래 유지된 것으로 생각된다. 그러나 퇴비화 후숙 단계인 퇴비화 3주째 이후 두 처리 모두 온도변화는 없었다.

퇴비화 기간 중 고온기 동안 비닐 무 피복 처리구의 암모니아 휘산은 높은 수준을 유지하였지만, 온도변화가 없는 퇴비화 3주 이후의 암모니아 발생량은 매우 낮은 수준이었다 (Fig. 3). 비닐 무 피복 처리구의 야적 후 3주 동안 암모니아 휘산량은 0.70 N kg/Mg으로 전체 휘산량의 89.6%에 해당된다. 이와 같은 대부분의 암모니아가 퇴비화 초기에 휘산되는 패턴은 Osada 등<sup>12)</sup>과 Kuroda 등<sup>13)</sup>의 연구결과와 일치하는 경향이다. 퇴비화로 인한 우분 야적더미 중의 고온은 미생물에 의한 높은 유기물 분해에서 발생된 것이기 때문에 이 과정에서 많은 양의 NH<sub>3</sub>가 생성된다.

우분더미의 47일 야적기간 동안 비닐 피복처리구의 암모니아 휘산량은 0.07 N kg/Mg(이는 초기 우분 중 T-N의 9.4% 해당량)으로 비닐 무 피복 처리구의 0.78 N kg/Mg에 비하여 약 91%의 저감 효과가 있었다. Berg 등<sup>14)</sup>은 가축 분 액비를 대상으로 액비화 과정 중 발생하는 암모니아 휘산량을 조사한 결과 벧짚을 8 cm 두께로 덮었을 경우 벧짚 무 피복구에 비해 약 75%의 암모니아 휘산 저감효과가 있었다고 하였다. 이러한 결과는 비닐 피복시 대기 중으로 확산되는 가스 억제 효과와 동시에 휘산되는 암모니아가스가 수분에 용해되어 암모니아 휘산량이 적어진 요인이라 생각된다. 따라서 가축분뇨 자원화과정에서 농가에서 비닐 등 간단한 피

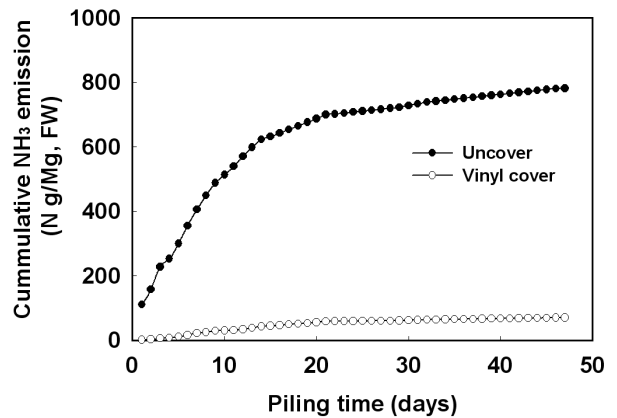
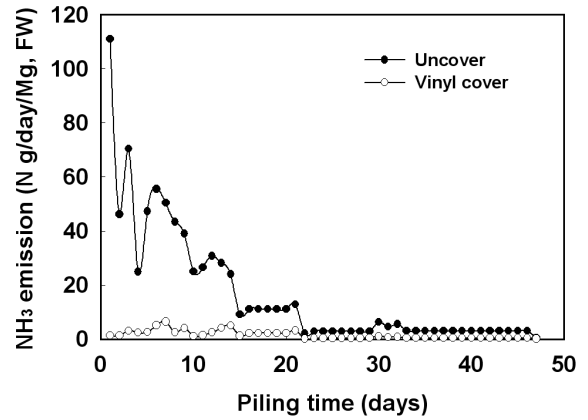


Fig. 3. Comparisons of ammonia emission from the cow manure pile with or without vinyl covering.

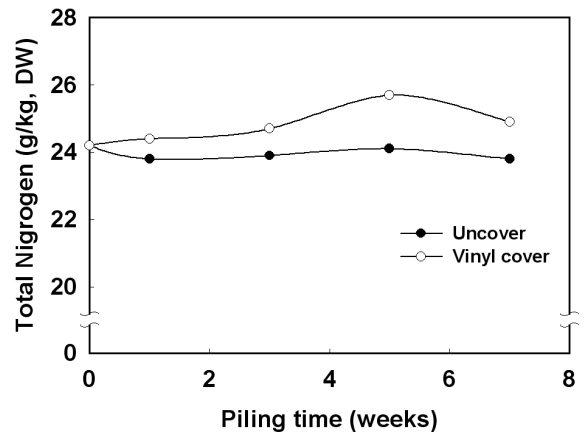


Fig. 4. Changes in total nitrogen content of the cow manure during piling.

복물을 설치함으로써 암모니아 휘산에 의한 질소의 손실을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

우분퇴비의 야적 기간 내 비닐 피복과 무 피복 간의 암모니아 휘산량 차이는 우분 퇴비 중 총 질소 함량의 변화를 가져왔다 (Fig. 4). 시험 종료시 퇴비 중 질소함량은 비닐 무 피복의 경우 23.8 N g/kg이었으며, 비닐 피복은 24.9 N g/kg로 비닐 피복이 비닐 무 피복에 비해 높았다. 이는 비닐 피복에

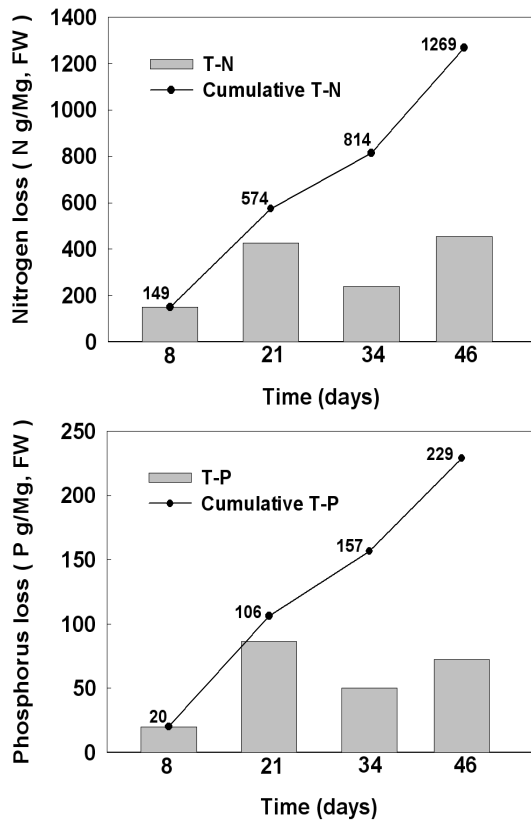


Fig. 5. Nitrogen and phosphorus loss by rainfall from the cow manure pile.

의한 암모니아 휘산량 감소에서 기인된 결과로 판단된다.

**우분 야적시 강우에 의한 질소 및 인 유출량**

우분 야적 후 피복물을 설치하지 않은 채 방치할 경우 강우에 의한 질소와 인산의 유실량을 분석한 결과는 Fig. 5와 같았다. 우리나라에서 강우량이 많은 하절기 (6-7월) 우분 야적더미로부터 총 질소와 인산의 유출량은 각각 1.27 N 및 0.23 P kg/Mg 이었으며, 이는 우분에 포함된 총 질소와 인산의 약 15.2 및 10.1%에 해당되는 양이다. 일반적으로 호수에서 부영양화를 일으킬 수 있는 인산의 농도는 0.01-0.03 P mg/L 이다<sup>15)</sup>. 따라서 우분 야적시 47일 동안 유출된 인산 0.23 P kg/Mg 은 상당히 높은 수준으로 담수에 부영양화를 일으킬 수 있는 가능성을 가지고 있다. 그리고 우분 야적더미 1톤에서 47일간 유실된 인산의 양은 밭 토양의 인산함량에 따라 차이는 있지만 1 ha 에서 일년간 유실된 양과 거의 같은 수준이다<sup>16)</sup>. 위와 같은 결과를 볼 때, 농가에서 발생하는 우분을 야외 야적에 의해 자연 발효시켜 이용 할 경우는 반드시 비닐과 같은 간단한 피복물을 활용하여 인산과 질소 등 양분유출을 감소시킬 필요가 있다고 판단된다.

**요 약**

본 연구는 농가 우분을 야외의 자연조건에서 숙성시키기

위해 쌓아 놓을 경우 비닐피복 유무에 따른 암모니아 휘산에 의한 질소 손실량, 그리고 피복물이 없는 야외 우분더미에서 강우에 따른 질소와 인산 유실량을 정량적으로 평가하였다. 비닐 무피복 우분 야적더미의 누적 암모니아 휘산량은 0.78 N kg/Mg 으로 이는 퇴비 중 총질소량 대비 9.4%에 해당하는 양이었다. 특히, 야적 후 3주 동안 휘산된 암모니아 양은 47일간 휘산된 총 암모니아 양의 약 89.6%에 해당되었다. 반면, 비닐 피복을 한 우분더미에서의 암모니아 휘산량은 무 피복 대비 약 91%의 저감효과가 있었다. 강우시 질소 총 유실량은 1.27 N kg/Mg 으로 이는 퇴비 중 총 질소량의 약 15.2% 에 해당하는 양이며, 인산의 경우는 0.23 P kg/Mg 으로 퇴비 중 총 인산 함량의 약 10.1% 상당하였다. 따라서 농가에서 우분을 야적하여 자연조건에서 퇴비를 발효시킬 경우 비닐 등 간단한 피복 시설을 함으로써 양분손실 방지효과가 매우 크다는 사실을 알 수 있었다.

**감사의 글**

본 연구는 2008년 국립농업과학원 박사후연수과정지원 사업에 의해 이루어진 것임.

**참고문헌**

- Novak, J. M., Walts, D. W., Hunt, P. G. and Stone, K. C. (2000) Phosphorus movement through a Coastal Plain soil after a decade of intensive swine manure application, *J. Environ. Qual.* 29, 1310-1315.
- RDA. (2008) The study to re-establish the amount and major compositions of manure from livestock, National Policy Report, Suwon, Korea. pp.13-107.
- Sommer, S. G. and Hutchings, N. (1995) Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture, *Water, Air Soil pollut.* 85(1), 237-248.
- Schlesinger, W. H. and Hartley, A. E. (1992) A global budget for atmospheric NH<sub>3</sub>, *Biogeochem.* 15, 191-211.
- Seedorf, J. and Hartung, J. (1999) Survey of ammonia concentrations in livestock buildings, *The J. Agric. Sci.* 133, 433-437.
- Sharma, M., Kishore, S. Tripathi, S. N. and Behera, S. N. (2007) Role of atmospheric ammonia in the formation of inorganic secondary particulate matter: A study at Kanpur, India, *J. Atmos. Chem.* 58, 1-17.
- Kirchmann, H. and Witter, E. (1989) Ammonia volatil-

- zation during aerobic and anaerobic manure decomposition, *Plant and Soil* 115, 35-41.
8. Kithome, M., Paul, J.W. and Bomke, A.A. (1999) Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments, *J. Environ. Qual.* 28, 194-201.
  9. Lee, Y. B., Lee, H. B., Yun, H. B. and Lee, Y. (2008) Alum as a chemical amendment for reducing ammonia emission and stabilizing pig manure phosphorus during composting, *Kor. J. Environ. Agric.* 27(4), 368-372.
  10. Fukumoto, Y., Osada, T., Hanajima, D. and Haga, K. (2003) Patterns and quantities of  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{CH}_4$  emissions during swine manure composting without forced aeration-effect of compost pile scale, *Bioresour. Technol.* 89, 109-114.
  11. Peters, J., Comb, S. M., Hoskins, B., Jarman, J., Watson, M. E., Wolf, A. M. and Wolf, N. (2003) Recommended methods of manure analysis. Cooperative Extension Publishing, Madison, WI, USA. pp.18-43.
  12. Osada, T., Kuroda, K. and Yonaga, M. (2000) Determination of nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from a swine waste composting process, *J. Mater. Cycles Waste Manage.* 2, 51-56.
  13. Kuroda, K., Osada, T., Yonaga, M., Kanematu, A., Nitta, T., Mouri, S. and Kojima, T. (1996) Emission of malodorous compounds and greenhouse gases from composting swine feces, *Bioresour. Technol.* 56, 265-271.
  14. Berg, W., Brunsch, R. and Pazsiczki, I. (2006) Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage, *Agric. Ecosyst. Environ.* 112, 129-134.
  15. Sharpley, A. N., Daniel, T. C., Sims, J. T., and Pote, D. H. (1996) Determining environmentally sound soil phosphorus levels, *J. Soil Water Conserv.* 51, 160-166.
  16. Kronvang, B. M. Bechman, M. L. and Flynn, N. (2003) Phosphorus dynamics and export in streams draining micro-catchments: Development of empirical models, *J. Plant Nurt. Soil Sci.* 166, 469-474.
-