

자연환기식 육성·비육돈사와 동절기 암모니아 발생특성

이성현·조한근*·김경원·이인복**·최광재·오권영·유병기

농촌진흥청 농업공학연구소

Ammonia Emission Characteristics of the Naturally Ventilated Growing-finishing Pig Building in Winter

Lee, S. H., Cho, H. K.*, Kim, K. W., Lee, I. B.**, Choi, K. J., Oh, K. Y., Yu, B. K.

National Institute of Agricultural Engineering, RDA,

#249, Seodun-dong, Gweonsun-Gu, Suwon-city, R. O. Korea

Summary

The study was carried out to develop the real time measuring technique of ammonia and carbon dioxide concentration emitted from growing-finishing pig house in winter and estimate ammonia emission rate emitted from the pig house. As the study was carried out, environmental management technique for the pig house and odor abatement skill could be properly developed to reduce the residence's annoyance. The room temperature of the growing-finishing pig house was 10°C higher than outdoor air temperature in spite of additional heating, because of heat emitted from body temperature of the pigs. The daily variation pattern of room temperature in the pig house shows the similar tendency with outdoor air temperature. The daily mean ventilation rate per head was 16 m³/h and ranged from 12 m³/h to 22.4 m³/h. The difference of day and night for ventilation rate was about 2 times. The ammonia emission rate was 208±28 mg/h · pig per daily basics calculated with ventilation rate and ammonia concentration.

(Key words : Ammonia concentration, Carbon dioxide, Growing-finishing pig house, Ventilation rate)

서 론

2005년 6월 기준으로 우리나라에는 12,153호의 농가에서 약 8,786천 두의 돼지를 사육하고 있다. 1,000두 미만을 사육하는 농가가 전체의 76.1%에 달한다. 그러나 1,000두 미만

소규모 농가에서 사육되는 돼지는 전체의 22.9%에 불과하다. 단순한 통계로만 보더라도 우리나라 양돈 산업이 얼마나 그 규모 확대가 이루어졌는지 알 수 있다. 양돈사육 규모가 확대되는 것은 양돈산업이 생산성이 있다는 것과 규모 확대를 통한 생산비 절감이

* 충북대학교 농업생명환경대학 바이오시스템공학과

** 서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부

Corresponding Author : Lee, S. H., National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, Korea 441-857. E-mail : leesh428@rda.go.kr

가능했기 때문이다(장동일 등, 1997). 그러나 이러한 규모의 확대도 대기환경오염과 관련하여 많은 어려움에 직면하고 있다. 즉 2005년 2월 악취방지법이 시행되면서 축산시설에서 발생하는 암모니아 가스 등의 악취가 양돈산업을 압박하고 있다. 악취방지법의 시행으로 규제농도가 2 ppm에서 1 ppm으로 크게 강화가 되었다. 따라서 앞으로의 양돈업은 악취문제의 해결이 안 된다면 많은 어려움을 겪게 될 것이다. 양돈사에서 발생하는 악취는 여름철 고온기에 많이 발생하는 것으로 알려져 있다. 이것은 여름철에 악취에 의한 민원이 많이 발생하는 것과 밀접한 관련이 있는 것으로 여겨지고 있다. 그러나 겨울철의 경우 외부로 배출되는 암모니아의 농도는 여름철과 비교하여 상대적으로 적지만 돈사 내부의 경우는 보온을 위한 밀폐사육으로 인해 그 농도가 높게 올라갈 것으로 판단되었다. 암모니아 농도가 20~50 ppm에서 눈, 코, 목을 자극하는 것으로 보고하고 있다(Verdoes 등, 1977). 그러나 현재 국내 양돈농가에서 발생하는 암모니아 가스 등에 관한 연구 자료가 거의 없는 실정이다. 이 연구의 목적은 겨울철 양돈농가의 육성·비육돈사를 대상으로 돈사내부의 암모니아 가스와 이산화탄소 가스 농도를 측정하여 양돈시설에서 얼마만큼의 암모니아 가스가 발생하는가를 분석하기 위한 것이다. 이와 함께 외기의 환경변화가 내부의 환경에 어떠한 영향을 주는가를 분석하였다. 이렇게 함으로써 겨울철 육성·비육돈사의 생산성 향상을 위한 환경관리 기술을 개발할 수 있고, 육성·비육돈사에서 발생하는 악취량을 추정함으로써 발생한 악취를 제거하기 위한 기술을 개발 하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

1. 공시돈사

자연환기식 육성·비육돈사에서 발생하는 암모니아가스 등의 악취를 분석하기 위하여 경기도 포승면 안중에 있는 일팔사육 양돈농장의 육성·비육돈사를 이용하였다. 환경분석을 위하여 이용한 육성·비육돈사는 우리나라에서 가장 일반적으로 이용되고 있는 양측벽면에 설치된 윈치커튼의 개폐에 의해서 내부의 환경을 조절하는 완전 개방형 돈사로서 돈방의 바닥에는 중앙부분을 중심으로 전체돈방 면적의 1/3 정도를 분뇨의 배출을 원활하게 하기 위해 틈바닥으로 설치하였다. 돼지가 배설한 분뇨는 틈바닥을 통해 틈바닥 아래에 설치된 슬러리 저장조에 모이게 되고 이를 20일에 한번(약 53m³)씩 외부 슬러리 저장조로 배출하는 형태로 운영을 하였다. 그림 1은 시험에 이용된 육성·비육돈사의 구조를 나타낸 것이다. 동절기에는 돈사내부의 보온유지를 위하여 그림 1의 양쪽 측벽으로 설치된 윈치커튼을 닫은 상태로 관리를 하였다. 돈사 내부와 외기의 공기교환은 추녀 바로 밑에 설치된 개구부를 통해 이루어지게 하였다. 따라서 돈사내부의 환기는 열부력과 외기의 바람에 의해서 들어오는 공기의 교환에 의해 이루어지는 것으로 판단되었다.

2. 환경측정 장치구성

측정한 돈사의 환경은 내부의 온도 및 습도, 암모니아가스 농도, 이산화탄소가스 농도와 외부의 온도 및 습도이다. 표 1은 돈사의 환경측정을 위해 사용한 센서를 나타낸 것이다.

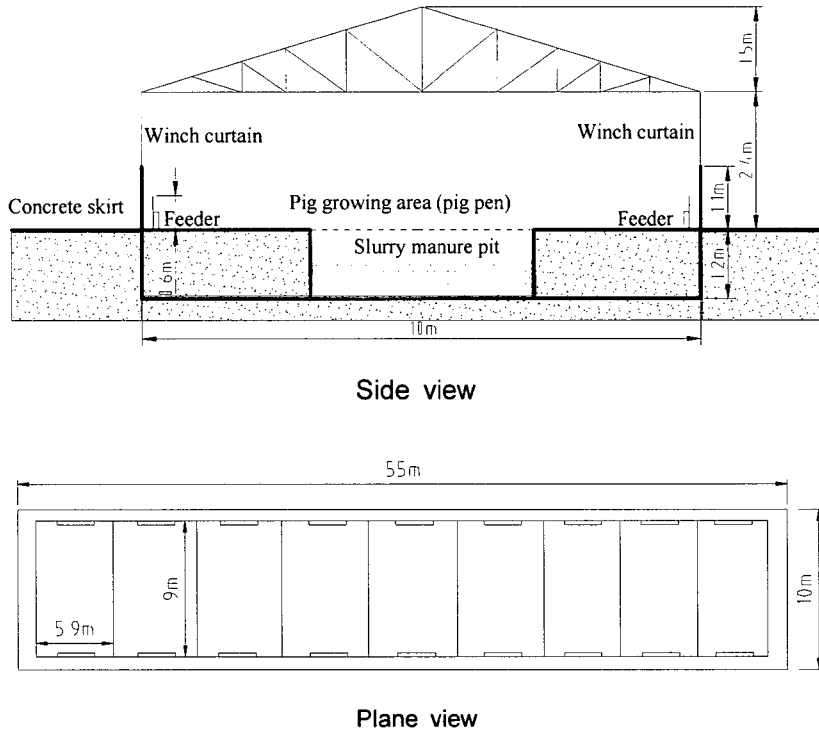


Fig. 1. Side view and plane view of the growing-finishing pig house for odor gas measurement.

Table 1. Specification of measurement systems

Items	Measuring device
Temperature and Relative humidity	TR-72S (T and D Corporation, Japan)
Temperature	TMC6-HA (Onset Computer Corporation, Bourne)
NH ₃	PACIII Single gas monitor (Drager, Germany)
H ₂ S	PACIII Single gas monitor (Drager, Germany)
CO ₂	GMT222 (Vaisala, Germany)
Data recorder	HOBO H8 4 channel external (Onset Computer Corporation, Bourne)
Airflow meter	PA-20 (Korea Flowmeter, Ind. Co. Ltd.)
Air sampling pump	N820.3 FT18, Germany

내부의 온도 및 습도는 돈사의 중앙부에서 측정을 하였으며 사용한 온·습도 센서는 TR-72S(T and D Corporation, Japan)와 TMC6-HA(Onset Computer Corporation, Bourne)이다.

암모니아가스 농도는 PAC III Single gas monitor(Drager, Germany)를 사용하여 측정하였다(Xin 등, 202). 암모니아가스 측정센서는 측정시의 오차를 줄이기 위하여 사용 전에

50.1 ppm, 103 ppm 표준가스(Korea Standard Gas Co., Ltd.)를 이용하여 보정하였다. 측정 장치는 암모니아 가스의 지속적 노출에 의한 측정오차를 줄이기 위하여 돈사내부의 가스를 공기펌프(N820.3 FT 18, Germany)를 이용하여 센서감지부로 10분간 샘플링하였고, 샘플링이 끝난 후 10분 동안 돈사외부의 대기를 센서감지부로 송풍하도록 구성하였다. 센서의 샘플링과 퍼징 시간은 듀얼타입 타이머를 이용하여 3방향 솔레노이드 밸브를 On/Off 함으로써 이루어지도록 하였다. 센서에서 측정한 모든 데이터는 매 2분 간격으로 데이터 레코더에 기록을 하였다. 돈사의 암모니아 발생량은 축사내부의 암모니아 농도와 시간당 환기율을 알아야 분석이 가능하다. 강제환기식 축사에서의 환기율은 환기팬의 풍속을 측정하여 풍속을 환기팬의 유효 단면적과 곱하여 추정 할 수 있다(Gates 등, 2002; Lally 등, 2001). 그러나 자연환기식 축사의 환기율을 분석하는 것은 매우 어려운 일이다(Heiden-de 등, 1994). 따라서 본 연구에서는 돈사의 환기율을 분석하기 위하여 Liang 등이 사용한 이산화탄소 평형법을 이용하였다. 환기율을 분석하기 위하여 암모니아 가스 측정과 동시에 이산화탄소 농도를 측정하였다(Feddes 등, 1984). 이산화탄소 농도의 측정은 GMT222 (Vaisala, Finland)를 이용하였다. 이산화탄소의 센서는 사용전 이산화탄소 4,015 ppm 표준가스(Korea Standard Gas Co., Ltd.)를 이용하여 보정하였다. 모든 센서의 보정시 제로가스로는 질소가스를 사용하였다. 이산화탄소의 농도는 4-20 mA의 전류로 출력된다. 따라서 센서에서 출력되는 전류값을 기록계(Data logger)에 저장되도록 하였다. 저장간격은 암모니아 가스의 저장기록시간과 동일하게 2분 간격으로 하였다. 이산화탄소 농도를 기록하기 위한 데이터 기록계는 HOBO H8(4 Channel external)을 사용하였다. HOBO H8은 각 채널당 온도, AC 전류, 4-20 mA,

0-2.5V DC를 저장할 수 있다. 센서로 공급되는 가스양을 일정하게 유지하기 위하여 공기유량계 PA-20(Korea Flowmeter Ind. Co., Ltd.)을 사용하였다.

3. 시험장치 구성

돈사의 암모니아 가스와 이산화탄소 가스 농도는 3방향 솔레노이드 밸브와 유량계 등을 이용하여 돈사내부의 가스를 샘플링하여 실시간에서 가스 농도가 측정되도록 구성하였으며, 내부의 온도와 습도는 돈사의 중앙에서, 외기 온도와 습도는 건물 북쪽에 햇빛이 들지 않는 곳에 설치하여 측정하였다.

그림 2는 양돈농장에 설치하여 실시간에서 축사 내·외부 온도 및 습도환경과 가스 환경을 측정하기 위해 설치한 시험장치의 전체적인 구성을 나타낸 것이다. 축사내부의 암모니아 가스 농도와 이산화탄소 가스 농도를 측정하기 위한 내부 공기의 샘플링은 축사 중앙부 1지점과 중앙부를 중심으로 축사 길이방향으로 양쪽에 각각 1지점씩 3지점에서 공기를 샘플링하여 센서로 보내도록 설치하였다.

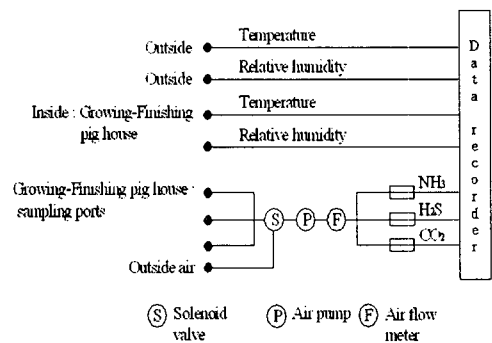


Fig. 2. Configuration of the measurement setup for environmental monitoring of the growing-finishing pigs pen.

4. 시험기간 및 암모니아 발생량 분석

육성·비육돈사에서 발생하는 암모니아 발

생량을 정량화하기 위한 시험시기는 2003년 7월 1일부터 2004년 1월까지 수행하였다. 분석을 위한 데이터는 격주로 2일씩 측정하였다. 본 연구에서 분석한 데이터는 겨울철에 측정한 1일간(2003. 12. 21. 00:00~24:00)의 것이었다. 암모니아 발생량은 돈사로부터 대기중으로 배출된 암모니아의 양을 나나낸 것으로 돈사내부의 암모니아 농도와 돈사의 환기율을 이용하여 아래 식으로 분석을 하였다(Xin 등, 2002). 돈사에서 암모니아 발생량 분석을 위해 육성·비육돈의 경우 돼지 한 마리당 90 kg을 기준 무게로 규정하였다. 육성·비육돈의 호흡지수는 낮 시간(07:00~18:00)에는 1.02, 밤 시간(18:01~06:59)대는 1.14로 하였다(Ouwerkerk 등, 1994).

$$ER = V \times (NH_{3i} - NH_{3o}) \times 10^{-6} \frac{\frac{17g}{mol}}{0.0224m^3} \frac{mol}{mol}$$

여기서, ER: 암모니아 발생량(mg/h·pig), V: 돈사의 환기량(m³/h·pig), NH_{3i}: 돈사내부의 암모니아 농도(ppm), NH_{3o}: 외기의 암모니아 농도(ppm)이다.

$$V = \frac{CO_{2pro} \times 10^6}{CO_{2i} - CO_{2o}}$$

여기서, CO_{2pro}: 돼지에 의해 생산된 이산

화탄소의 양(mL/s·kg), CO_{2i}: 돈사내부의 이산화탄소 농도(ppm), CO_{2o}: 외기의 이산화탄소 농도(ppm)이다.

결과 및 고찰

1. 온도 및 습도변화

그림 3은 겨울철에 외기온도와 습도변화에 따른 육성·비육돈사 내부의 하루 중 온도 및 습도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 겨울철에는 돈사의 대부분의 개폐부를 돈사 내부의 온도관리를 위하여 밀폐한 상태로 운영을 하여 돼지에게서 호흡에 의해 발생한 수분에 의해 돈사내부의 상대습도는 외기의 상대습도 변화와 관계없이 변화하며 그 변화 폭은 크지 않은 것으로 나타났으며, 일반적으로 돈사의 상대습도는 60~80% 범위로 유지해 주는 것이 적합하다고 하는데(정태영 등, 1997) 겨울철 돈사의 상대습도는 일중 이 범위 안에서 유지되어 돈사내부의 상대습도는 돼지의 성장에 적합한 범위를 갖는 것으로 분석되었다. 또한 내부의 온도는 최소 6.4℃, 최대 18.9℃, 일중 평균 12.4±4℃로 나타났다. 돈사내부의 온도는 외기의 온

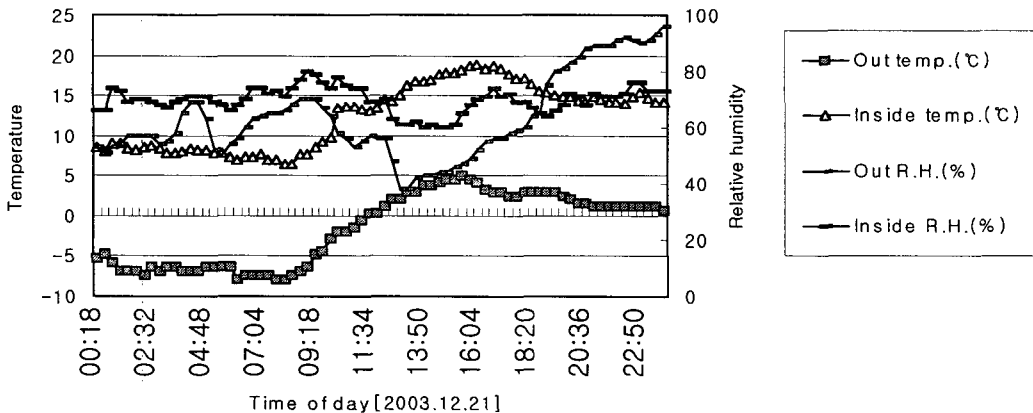


Fig. 3. Temperature and relative humidity variation of the growing-finishing pig house in Winter.

도가 $-7.9\sim 5^{\circ}\text{C}$ 인 것을 고려하면 돼지의 체열에 의한 온도상승으로 가온을 하지 않았음에도 불구하고 외기온도 보다 약 10°C 높게 유지 되었으며, 외기온의 변화와 같은 경향으로 변화하는 것으로 나타났다. 그러나 전면다공 콘크리트 바닥에서 무제한 급이하는 30 kg 이상 육성·비육돈의 적합온도가 $17\sim 25^{\circ}\text{C}$ 임을 고려하면(장동일 등, 1997) 육성·비육돈사의 경우도 겨울철 내부환경관리를 위한 난방의 필요성이 있는 것으로 나타났다.

2. 암모니아 농도 및 환기율

그림 4는 겨울철에 육성·비육돈사 내부의 암모니아 농도 및 돈사의 환기율을 나타낸 것이다. 내부의 일중 평균 암모니아 농도는 17.2 ± 2.9 ppm으로 나타났다. 겨울철 돈사 내부의 암모니아 농도는 여름철 고온기와 비교하여 다소 높은 것으로 나타났으며 돈사의 환기율 변화에 따라 내부의 암모니아 농도가 변화하는 것으로 나타났다. 즉 돈사의 환기율이 많아지면 암모니아 농도가 낮아지고 환기율이 적어지면 암모니아 농도가 높아지는

것으로 나타났다. 그러나 암모니아 농도가 돼지의 성장에 미치는 영향에 대해서는 아직 밝혀지지 않아 암모니아 농도변화와 돼지의 성장에 관해서는 연구의 필요성이 제기되었다. 겨울철 육성·비육돈사의 환기율을 분석한 결과 돼지 한 마리당 일평균 $16\text{ m}^3/\text{h}$ 로 나타났으며, 최소 $12\text{ m}^3/\text{h}$, 최대 $22.4\text{ m}^3/\text{h}$ 로 최대환기율과 최소환기율에 2배 정도 차이가 있는 것으로 나타났다.

3. 암모니아 발생량 및 이산화탄소 농도 변화

그림 5는 겨울철 육성·비육돈사의 암모니아 발생량과 돈사내부의 이산화탄소 농도를 나타낸 것이다. 겨울철에는 돈사를 밀폐하여 기르기 때문에 내부의 이산화탄소 농도가 높은 것으로 나타났다. 겨울철 이산화탄소 농도는 일중 평균 $1,775\pm 230$ ppm으로 나타났으며, 환기율과 암모니아 농도를 고려하여 분석한 암모니아 발생량은 일중 평균 $208\pm 28\text{ mg/h}\cdot\text{pig}$ 내외로 나타났다. 겨울철에는 다른 계절과 달리 돈사내부의 온도관리를 위해 돈사의 윈치커튼을 닫아 내부의 암모니아

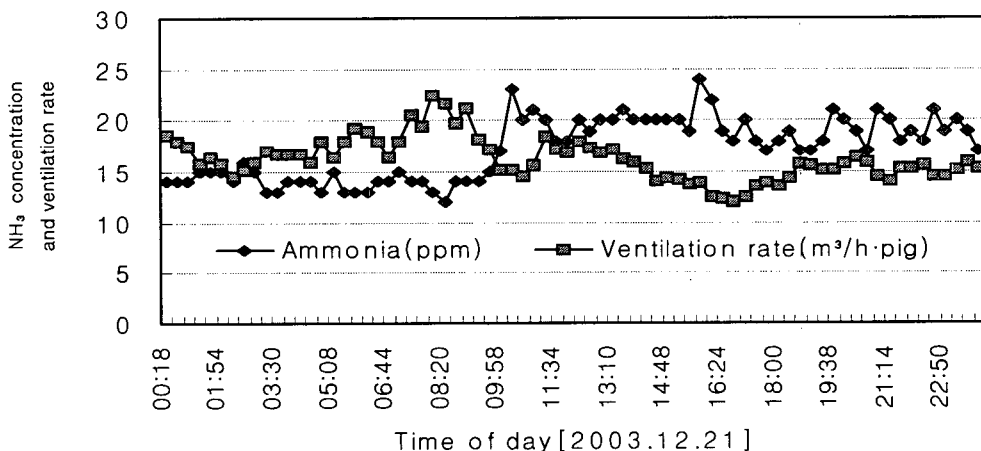


Fig. 4. Ammonia concentration and ventilation rate of the growing·finishing pig building in a winter day.

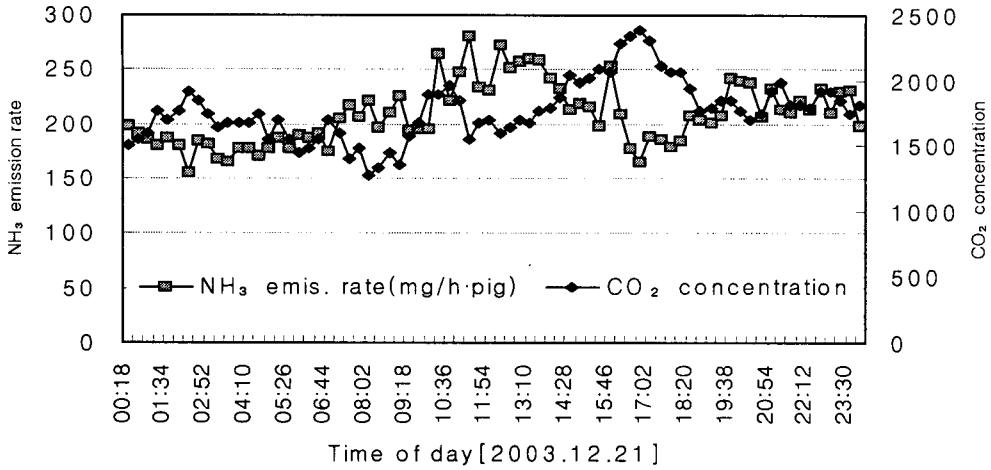


Fig. 5. Ammonia emission rate and carbon dioxide concentration of the growing·finishing pig building in a winter day.

농도는 높으나, 환기율이 상대적으로 낮아 암모니아가스 발생량은 다른 계절과 비교하여 상대적으로 적은 것으로 분석되었다(이성현 등, 2005). 돼지의 마리당 암모니아 발생량을 구하기 위하여 육성·비육돈의 평균무계를 90 kg으로 하였다.

적 요

이 연구의 목적은 겨울철 양돈농가의 육성·비육돈사를 대상으로 돈사내부의 암모니아 가스과 이산화탄소 가스 농도를 측정하여 양돈시설에서 얼마만큼의 암모니아 가스가 발생하는가를 분석하기 위한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 육성·비육돈사의 내부의 온도는 최소 6.4℃, 최대 18.9℃, 일중 평균 12.4±4℃로 나타났다. 돈사내부의 온도는 외기의 온도가 -7.9~5℃ 인 것을 고려하면 돼지의 체열에 의한 온도상승으로 가온을 하지 않았음에도 불구하고 외기온도 보다 약 10℃ 높게 유지되었으며, 외기온도의 변화와 같은 경향으로 변화하는 것으로 나타났다.

2. 겨울철 육성·비육돈사의 환기율을 분석한 결과 돼지 한 마리당 일평균 16 m³/h로 나타났으며, 최소 12 m³/h, 최대 22.4 m³/h로 최대환기율과 최소환기율에 2배 정도 차이가 있는 것으로 나타났다.

3. 겨울철 이산화탄소 농도는 일중 평균 1,775±230 ppm으로 나타났으며, 환기율과 암모니아 농도를 고려하여 분석한 암모니아 발생량은 일중 평균 208±28 mg/h·pig 내외로 나타났다. 겨울철에는 다른 계절과 달리 돈사내부의 온도관리를 위해 돈사의 윈치커튼을 닫아 내부의 암모니아 농도는 높으나, 환기율이 상대적으로 낮아 암모니아가스 발생량은 다른 계절과 비교하여 상대적으로 적은 것으로 분석되었다.

인 용 문 헌

- Gates, R. S., Simmons, J. D., Casey, K. D., Greis, T., Xin, H. and Wheeler, E. F. 2002. Fan assessment numeration system (FANS) design and calibration specifications.

2. Heiden-de Vos, J. J. C. van der., Scholtens, R. and van't Ooster, A. 1994. Mass balance methods for measuring ventilation rates and ammonia emission from naturally ventilated livestock houses. Poster XII CIGR World Congress and AgEng '94 Conference on Agricultural Engineering, Milan, Italy.
3. Lally, J. J. and Edwards, W. M. 2001. Performance difference swine finishing facilities with natural and tunnel ventilation. Applied Engineering in Agriculture 17(4): 521-526.
4. Liang, Y., Xin, H., Tanaka, A., Lee, S. H., Li, H., Wheeler, E. F., Gates, R. S., Zajackowski, J. S., Topper, P. and Casey, K. D. 2003. Ammonia emission from layer houses in IOWA. International Symposium on Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities, Horsens, Jutland, Denmark.
5. Ouwerkerk, E. N. J. van and Pedersen, S. 1994. Application of the carbon dioxide mass balance method to evaluate ventilation rates in livestock buildings. XII World Congress on Agricultural Engineering, Milano, August 29 - September 1, Proceedings 516-529.
6. Verdoes, N. and Ogink, N. W. M. 1997. Odour emission from pig houses with low ammonia emission. Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities. Proceeding of the International Symposium. Vinkeloord, The Netherlands. October 6-10, pp. 317-325.
7. Xin, H., Tanaka, A., Wang, T., Gates, R. S., Wheeler, E. F., Casey, K. D., Heber, A. J., Ni, J. and Lim, T. 2002. A portable system for continuous ammonia measurement in the field. A 2002 ASAE Annual International Meeting Presentation. Paper No. 02-4168.
8. Xin, H., Liang, Y., Gates, R. S. and Wheeler, E. F. 2002. Measurement of ammonia emissions from laying hen houses. Proc. of Iowa Egg Industrial Symposium, November 2002. Ames, IA 50011, USA.
9. 이성현, 조한근, 최광재, 오권영, 유병기, 이인복, 김경원. 2005. 하절기 육성·비육 돈사와 분만돈사의 암모니아 발생특성 및 환경변화. 축산시설환경학회지 11권 1호.
10. 장동일, 윤진하, 김두환, 김홍표. 1997. 양돈자동화 시스템. 도서출판 (주)현측
11. 정태영, 홍지형, 오인환, 김동균, 연정웅, 이주배, 강창원, 이주삼, 조익환, 이만신. 1997. 축산시설·기계학. 향문사.