

## 가을철 강제환기식 모돈사 내 암모니아 배출계수 산정 연구

박소연\* · 정민웅\*\* · 서시영\*\*\* · 우샘이\*\*\* · 황옥화\*\*\* · 박준수\*\*\*†

\*국립축산과학원 축산환경과 전문연구원, \*\*국립축산과학원 축산환경과 연구관,  
\*\*\*국립축산과학원 축산환경과 연구사

### Estimation of Ammonia Emission Factors for a Mechanically-Ventilated Sow Facility in Fall

Park, Soyean\* · Jung, Min-Woong\*\* · Seo, Si-Young\*\*\* · Woo, Saem-Ee\*\*\* · Hwang, Okhwa\*\*\* and Park, Junsu\*\*\*†

\*Research associate fellow, Department of Animal Biotechnology and Environment, National Institute of Animal Science (NIAS), Jeonju, Korea

\*\*Research officer, Department of Animal Biotechnology and Environment, National Institute of Animal Science (NIAS), Jeonju, Korea

\*\*\*Researcher, Department of Animal Biotechnology and Environment, National Institute of Animal Science (NIAS), Jeonju, Korea

#### ABSTRACT

Among the 316,299 tons of ammonia emissions in Korea, the highest emission is from livestock manure. Therefore, ammonia emission control in the pig industry is an urgent priority. In this study, the ammonia concentration of a mechanically-ventilation sow house and diurnal patterns were analyzed to calculate ammonia emission factors. This study was carried out for 91 days from September to November 2021 in a pig house located in Danyang, Chungcheongbuk-do. For repeated experiments, three pig rooms with the same environmental conditions were selected and monitored for the same period. The average ammonia concentration in each room was measured to be 11.09 ppm, 13.30 ppm, and 12.73 ppm, and the ventilation rates were 50.14, 61.88, and 66.82 m<sup>3</sup>/h/pig. The ammonia emission factor was 8.2 ± 1.3, 12.7 ± 2.7, and 12.8 ± 2.2 g/day/pig in rooms 1 to 3, respectively. In this study, the average value of 11.2 g/day/pig was calculated as the final ammonia emission factor for a sow house in fall.

*Key words: Ammonia, Gestation Sow, Mechanically-Ventilation, Ammonia Emission*

### 1. 서론

대기 중 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 독성을 가진 알칼리성 기체로써 악취방지법상 22종의 지정악취물질 중 하나이다. 암모니아는 인체에 장시간 노출 시 눈과 호흡기에 자극성 물질로 작용하여 만성 폐자극, 기관지염 등을 유발할 수 있으며 (Brunekreef and Holgate, 2002; Kristensen and Wathes, 2000; Kriz et al., 2021), 대기 중에서 황산화물(SO<sub>x</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 반응을 일으켜 황산암모늄((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 질산암

모늄(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) 등의 2차 생성 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)를 생성하는 주요 전구물질 중 하나이다(Behera and Sharma, 2012; Holt et al., 2015; Wang et al., 2011; Zhang et al., 2018). 또한 암모니아는 토양 산성화나 수생태계의 부영양화와도 관련이 있으며, 간접적인 N<sub>2</sub>O 배출에도 기여할 수 있기 때문에 생태계 전반에 걸쳐 위협이 될 수 있다(IPCC, 2006; Krupa, 2003; Zong et al., 2015). 이러한 유해성으로 인해 암모니아 배출량 관리 및 연구에 대한 필요성이 점차 강조되고 있다.

암모니아는 산업, 자동차, 농업 및 축산업에서 발생하며 특히, 농업의 비료 시비, 축산업의 가축 사육 및 분뇨처리 등에

†Corresponding author : karmon2@korea.kr (1500, Kongjwipatjwi-ro, Iseo-myeon, Wanju\_Gun, Jeollabuk-do 55365, Korea. Tel. +82-63-238-7403)

ORCID 박소연 0000-0002-1313-8418  
정민웅 0000-0002-8923-0034  
서시영 0000-0003-4692-7541

우샘이 0000-0003-4829-6323  
황옥화 0000-0003-0681-4577  
박준수 0000-0001-6283-6047

해 주로 배출된다(Artiñano et al., 2018; Lee and Lee, 2010; Lee et al., 2022; Sommer and Hutchings, 2001). 국가미세먼지 정보센터 자료에 따르면 2019년 국내 암모니아 배출량은 316,299 톤이었으며, 그 중 농업부문 배출량은 252,444 톤으로 약 80%를 차지했다. 특히 농업부문의 분뇨관리에 해당하는 암모니아 배출량은 233,644 톤(전체의 74%)으로 축산업에서 발생하는 암모니아 배출량이 높은 것으로 나타났다. 분뇨관리의 세부 항목으로 돼지가 차지하는 암모니아 배출량 비율이 약 45%로 타 축종에 비해 높은 것으로 나타나 암모니아 배출 관리 시 양돈업에 대한 우선적인 고려가 시급한 실정이다.

국내 암모니아 배출량 인벤토리 내에서 돼지는 사양단계에 따라 모돈, 자돈, 육성돈 및 비육돈의 4가지로 구분되고 다시 돈사 내, 퇴비장, 축산폐수 처리 및 토양시비로 나누어진다. 현재 돈사 내 각 사양단계 별 암모니아 배출계수는 모돈 30.1 g/day/pig, 자돈 5.2 g/day/pig, 육성돈 12.3 g/day/pig, 비육돈 14.2 g/day/pig로 산정되어 있다(MOE, 2007). 하지만 현행 돈사 내 암모니아 배출계수는 공인된 암모니아 배출계수 산정 프로토콜이 전무한 상황에서 측정이 이루어졌으며, 후속 연구의 부족과 장기 모니터링 데이터의 부재로 인해 대표성이 다소 부족하다는 한계점이 존재한다. 이러한 한계점을 보완하기 위해서는 공인된 방법론을 준수하여 암모니아 배출계수 측정을 실시해야 한다. 또한, 기온, 습도 등 기상조건에 따른 영향을 고려한 계절별 장기간 모니터링이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국내 암모니아 배출량 인벤토리 개선을 위해 가을철 강제 환기식 모돈사의 암모니아 농도를 장기간 모니터링 하였고, 시간별 환기량, 온·습도 데이터 수집을 통해 일변화 패턴을 분석한 후 최종적으로 ‘모돈’의 ‘돈사 내’ 암모니아 배출계수를 산정하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실험 돈사 구조 및 사육조건

본 연구는 충청북도 단양에 소재한 강제환기식 모돈사에서 2021년 9월 1일부터 11월 30일의 기간 동안 수행하였다. 국내에는 확립된 암모니아 배출계수 산정방법이 존재하지 않기 때문에 실험 조건 및 산정방식은 유럽의 Verification of Environmental Technologies for Agricultural production (VERA) test protocol에 근거하여 연구를 수행하였다(VERA, 2018).

해당 돈사의 각 돈방은 임신돈을 사육하는 26개의 고정형 스톨(stall)로 구성된 5개 구역과 후보모돈을 사육하기 위한 Pen이 있으며, 돈방 바닥이 콘크리트와 plastic slatted floor로 이루어진 피트 구조를 가지고 있다(Fig. 1). Plastic slatted floor 아래의 피트에 저장되는 가축분뇨 슬러리는 전체 체적의 약 70~80% 수준을 유지하며 매주 1회 정기적으로 배출되었다. 돈방의 환기는 돈사 외벽 측면의 입기구에서 외부공기가 중천장을 통해 유입된 후, 내부 천장에 설치된 4개의 배기팬(fan)을 통해 배출되는 방식으로 이루어졌다. 반복 실험을 위해서 구조가 같은 돈방 3곳(Room 1~3)을 선정하여 동일한 기간 동안 모니터링 하였다. 각 돈방의 사육두수는 Room 1에서 154두, Room 2에서 154두, Room 3에서 156두였으며, 분만이 임박한 돼지는 26마리씩 분만사로 이동한 후 분만과 포유를 위해 약 한 달간 사육한 뒤 다시 모돈사로 이동하였다. 이 과정에서 모돈사의 사육두수는 VERA test protocol 기준(사육 면적 대비 상시 90~100%)을 준수하도록 유지되었다. 또한 두당 약 2.2 m<sup>2</sup>의 사육밀도를 확보하여 축산법에 제시된 임신돈 적정 사육기준(두당 1.4 m<sup>2</sup>)을 만족하였다. 임신돈 공급 사료는 VERA 프로토콜에 따른 임신돈 사료의 조단백 함량기준(11~14%)을 충족하였고, 공급사료 주성분 및 함량은 다음과 같다. 조단

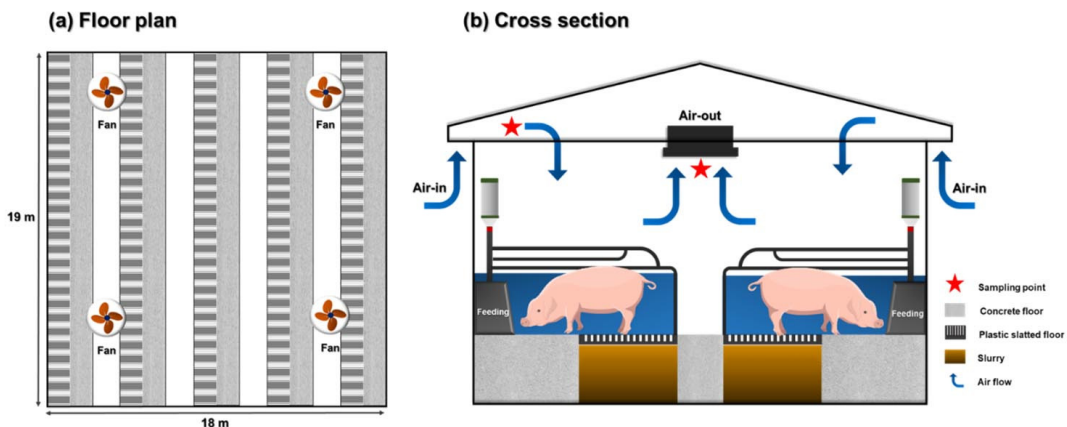


Fig. 1. Schematic of swine farm structure

백 ≤ 13.5%, 조지방 ≥ 3%, 칼슘 ≥ 0.65%, 인 ≤ 1.5%, 조섬유 ≤ 8%, 조회분 ≤ 8%, 라이신 ≥ 0.6%.

**2.2. 암모니아 농도, 환기량 및 온·습도 모니터링**

돈사 내 암모니아 농도는 광음향분광법을 기반으로 한 실시간 암모니아 측정장치(LumaSense Technologies INNOVA 1512i, Ballerup, Denmark) 및 멀티샘플러(LumaSense Technologies INNOVA 1412i, Ballerup, Denmark)를 이용하여 각 돈방에서 실시간으로 모니터링 되었다. 기기를 통해 측정된 암모니아 농도는 1 ppm 이하의 소수점까지 확인이 가능하며 측정값의 1% 내외로 재현성이 우수하다(LumaSense Technologies Inc., 2022). 멀티샘플러 흡기구 전단에는 수분 필터와 glass wool 이 고르게 분포된 아크릴 원통을 설치하여 현장에서 발생하는 분진 등 이물질이 흡인되지 않도록 하였다. 측정 지점은 증천장 입기구와 돈방 내 배기팬 3곳으로 총 12곳이며(Room 1~3), 돈사로 유입되는 암모니아 배경 농도의 영향을 최소화 하기 위해 입기구와 배기구의 암모니아 농도 차를 계산하여 순수 암모니아 농도를 산출했다. VERA test protocol에서 준하는 연속 측정 시 최소 샘플 개수는 시간당 1회지만, 현장 상황과 기기 과부하 등 실제현장 조건들을 고려하여 매 2시간 간격으로 측정을 진행하였다. 이때 수집된 데이터는 매 2시간당 6회로, 최소흡인횟수를 고려해 4~6번째에 해당하는 데이터의 평균을 대푯값으로 사용하였다(Jo et al., 2020a). 현장 측정 전 질소 가스(Rigas 99.999%, Daejeon, Korea)와 NH<sub>3</sub> 표준가스(Rigas 12.5, 25, 50 umol/mol, Daejeon, Korea)를 사용하여 기기 교정 및 검량선 작성을 수행하였다(R<sup>2</sup> = 0.999, MDL = 0.2 ppm).

환기량 측정을 위해 미국 냉난방공조기술자학회(ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 기준에 따라 제작된 소형 환기량 측정 장치를 돈사 내 배기팬(Vostermans ventilation BV Multifan 4E50 (Ø630), Venlo, Netherlands)에 부착하고 각 가동률(30, 50, 70, 100%)에 따른 유량을 측정하였다(AHFS, 1993; Jo et al., 2020b). 결측구간(31~49%, 51~69%, 71~99%)에 해당하는 환기량은 logistic curve를 적용하여 추정하였다(Jo et al., 2020). 돈사 내 환기팬은 돼지 사육에 미치는 영향을 최소화하기 위해 가동률 30% 미만으로는 작동되지 않았으며, 1% 간격으로 조절되며 실시간으로 측정되었다. 최종적으로 Room 1~3에서 측정된 평균 환기량은 각각 7,722 ± 2,661 m<sup>3</sup>/h, 10,424 ± 3,151 m<sup>3</sup>/h, 9,299.1 ± 3,419 m<sup>3</sup>/h로 나타났다.

돈방 내부 온도와 환기팬 가동률은 실시간으로 수집되었고, 상대습도는 INNOVA에서 측정된 이슬점 데이터를

Eq. (1)에 의해 변환하여 산출하였다(Sonntag, 1990).

$$T_{dew} = \frac{\lambda \times \left\{ \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \times T}{\lambda + T} \right\}}{\beta - \left\{ \ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{\beta \times T}{\lambda + T} \right\}} \quad (1)$$

T: Temperature of pig room (-45°C < T < 60°C)

RH: Relative humidity (%)

β: 17.62

λ: 243.12°C

암모니아 배출량은 표준 온도 및 압력상태(Standard ambient temperature and pressure, 25°C 1기압)에서 시간당 암모니아 농도(ppm)를 단위 부피당 암모니아 질량으로 변환하여 환기량을 곱한 후 돼지 사육두수로 나누어 산출하였다. 돈방 내 순수 암모니아 농도를 계산하기 위해 배기구의 암모니아 농도에서 입기 농도를 뺀 값을 적용하였다. 최종적으로 계산된 시간당 암모니아 배출량을 일단위로 환산하고 총 측정기간으로 나누어 돈사 내 돼지 1마리당 암모니아 배출계수(g/day/pig)를 산정하였다(Eq. (2)).

$$\begin{aligned} & \text{Ammonia emission rate (g/h/pig)} \quad (2) \\ & = \frac{(Ammonia_{out} - Ammonia_{in}) \times 17.03 \times V_f}{pig \times 24.45 \times 1000} \end{aligned}$$

Ammonia<sub>out</sub> = 배기구 암모니아 농도(ppm)

Ammonia<sub>in</sub> = 입기구 암모니아 농도(ppm)

V<sub>f</sub> = 환기량(m<sup>3</sup>/h)

pig = 총 돼지 사육두수

**2.3. 통계분석**

측정기간 내 수집된 데이터 중 outlier 제거는 VERA protocol 이상치 제거기준 (Outlierupper > Upper quartile (75th; Q) + (3 × IQR), Outliower > Lower quartile (25th; Q) - (3 × IQR)에 따라 수행되었다. 각 데이터 그룹에 대해 Anderson-darling normality test를 실시하여 정규성 검정을 진행하였으며(Shapiro and Wilk, 1965), 검토 결과 돈방 내 암모니아 농도, 환기량, 암모니아 배출량 및 온·습도 데이터는 비정규분포로 가정되었다. 따라서 데이터 그룹간 상관관계는 spearman correlation efficient를 이용하여 도출되었다. 통계분석은 Jamovi (The Jamovi Project, 2021, Version 2.2) 소프트웨어를 사용하여 수행되었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 가을철 암모니아 농도, 환기량 및 환경요인 모니터링 결과

암모니아 농도, 환기량, 내부온도 및 상대습도를 보여준다. Room 1~3의 평균 암모니아 농도는 각각 11.09 ppm, 13.30 ppm, 12.73 ppm이며 최대 농도는 22.68 ppm, 26.14 ppm, 24.11 ppm으로 측정되었다. 선행연구에 따르면 모돈사 내 평균 암모니아 농도는 11.03~12.77 ppm으로 본 연구에서 측정

Fig. 2는 측정기간(총 91일) 동안 각 돈방에서 모니터링 된

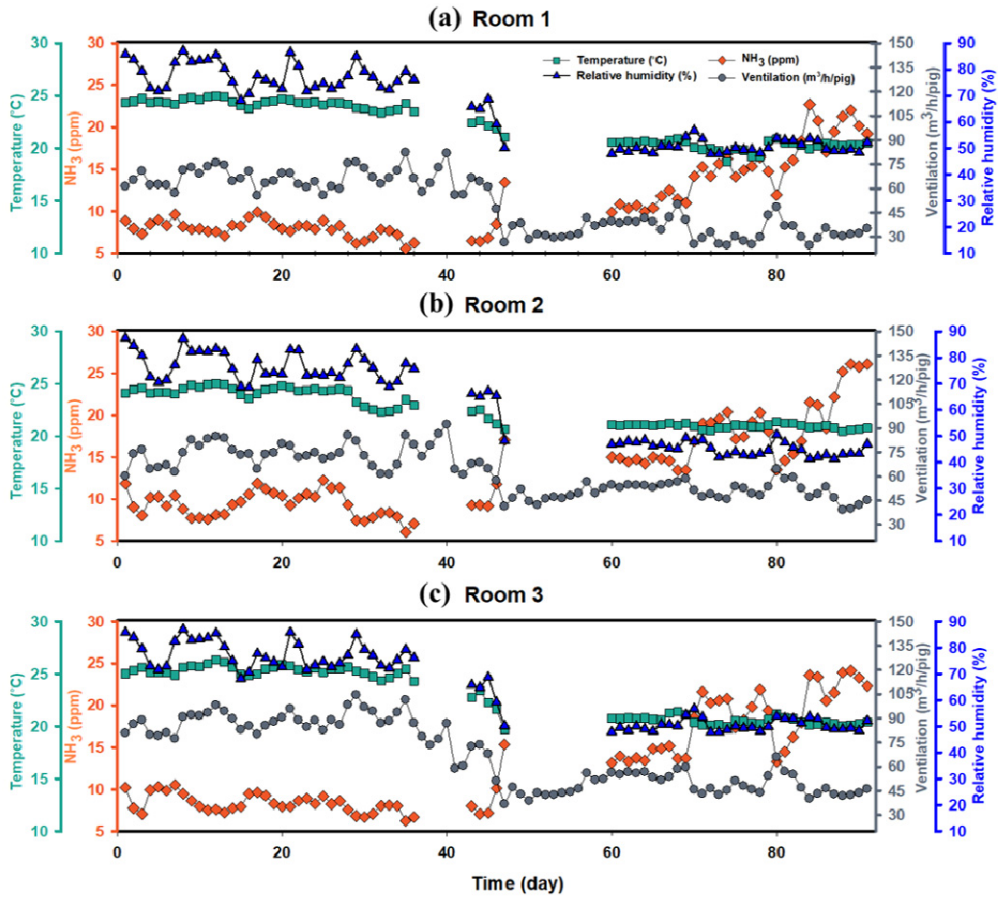


Fig. 2. Daily monitoring results of ammonia concentration, ventilation rate, temperature, and relative humidity. (a) Room 1, (b) Room 2, (c) Room 3

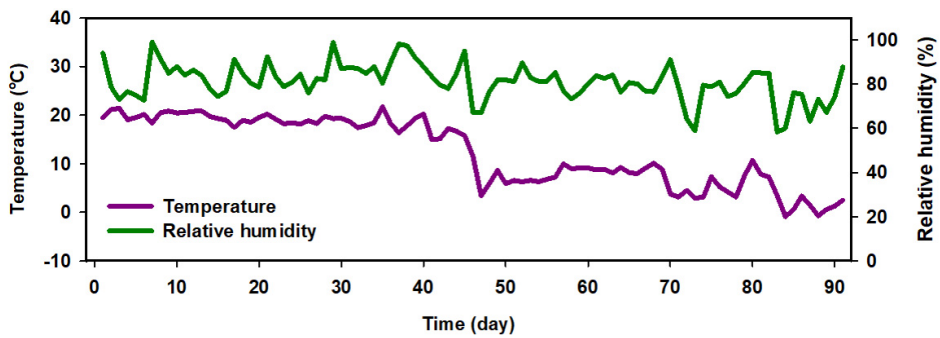


Fig. 3. Temperature and relative humidity of outside condition

된 값과 큰 차이가 없었다(Yang et al., 2022; Philippe et al., 2011). 각 돈방에서 돼지 1마리당 평균 환기량은 Room 1에서 50.14 m<sup>3</sup>/h/pig, Room 2에서 61.88 m<sup>3</sup>/h/pig, Room 3에서 66.82 m<sup>3</sup>/h/pig로 나타났으며, 측정 기간 후반으로 갈수록 계절변화에 따른 기온 감소로 인해 환기량이 점차 감소하였다. 미국 MWPS (MWPS, Midwest Plan Service)에서 권장하는 모돈사 평균 환기량은 각각 낮은 기온에서 20 m<sup>3</sup>/h/pig, 온화한 기온에서 68 m<sup>3</sup>/h/pig, 높은 기온에서 255 m<sup>3</sup>/h/pig으로 본 연구에서 측정된 환기량보다 다소 높았다. 돈사 내부의 평균온도는 Room 1~3이 동일하게 약 22℃로 측정되었고 온도 범위는 18~26℃로 나타났다. 돈사 외부온도의 급격한 변화에 비해(Fig. 3) 돈방의 내부 온도는 평이한 수준으로 유

지되는 것을 보아 환기 시스템이 적절하게 이루어지고 있음을 판단할 수 있었다. 상대습도의 경우에도 모든 돈방에서 평균적으로 약 60% 수준으로 측정되어 Room 1~3이 유사한 환경조건으로 유지되었음을 추정할 수 있다.

### 3.2. 일변화 패턴

측정기간 내 Room 1~3의 암모니아 농도, 환기량 및 암모니아 배출량의 일변화 경향성을 Fig. 4에 도시하였다. 시간대별로 각 변수의 뚜렷한 일변화 경향성이 확인되었다. 가을철 각 돈방의 환기량은 일출 이후 기온이 높아짐에 따라 점차 증가하여 오후 2시~4시경 최댓값을 보였고, 일몰 이후 점차 감소하여 오전 12시~2시경 최솟값을

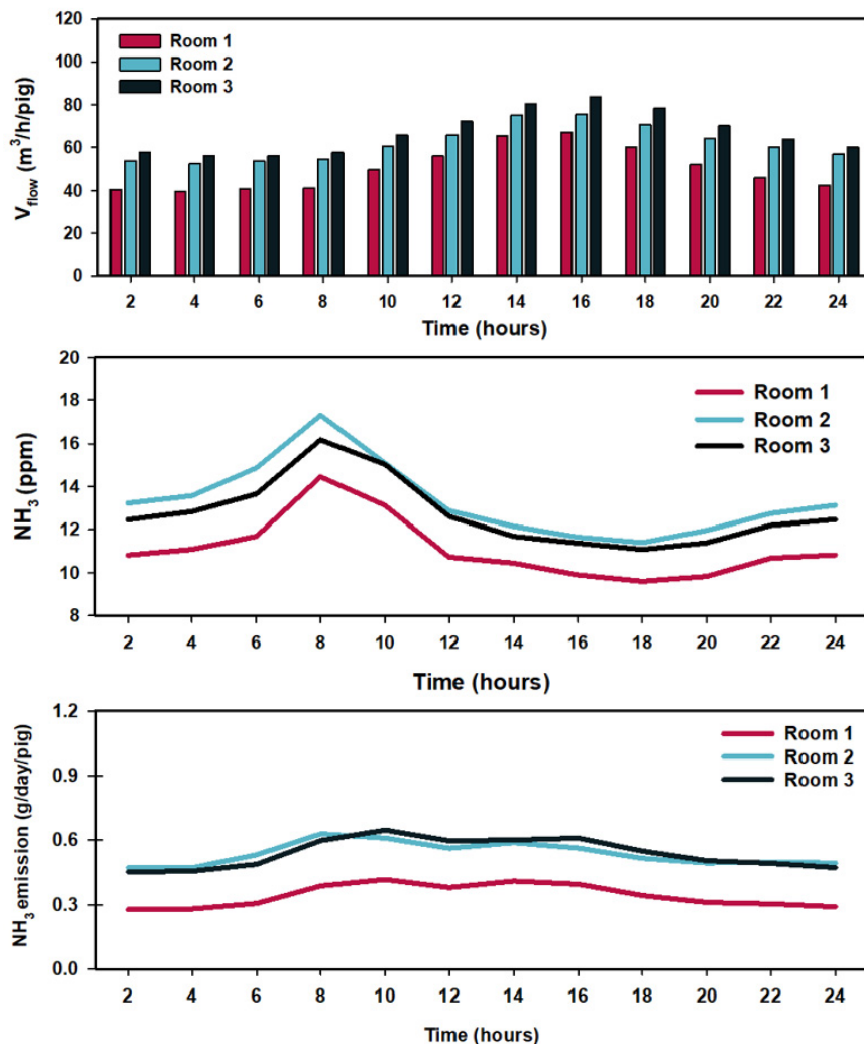


Fig. 4. Diurnal pattern of ammonia concentration, ventilation, and ammonia emission

보였다. 반면 돈사 내 암모니아 농도는 오전 시간 점차 증가하였다가 환기량이 증가하는 시간대부터 급격하게 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 암모니아가 환기량이 낮아지는 일몰 이후부터 돈사 내에 축적되다가 환기량이 증가하는 시점부터는 외부 공기에 혼합되어 더 많이 배출되기 시작하면서 농도가 감소하는 것으로 판단된다.

Room 1~3에서 각 변수의 전체적인 경향성은 모두 비슷한 패턴으로 나타났지만, Room 1에서의 암모니아 배출량은 상대적으로 낮았다. 이는 출입구 부근에 위치한 Room 1에서 작업자의 출입으로 인한 외부공기 유입 등으로 인해 암모니아 농도가 다른 돈방에 비해 낮게 측정되었고, 그에 따라 배출량이 낮게 산정된 것으로 추정된다.

### 3.3. 상관관계 분석

돈방 내 암모니아 농도, 환기량, 배출량, 내부온도 및 상대습도 데이터의 상관관계 분석결과를 Table 1에 나타냈다. Room 1~3에서 수집된 모든 데이터 그룹에 대해 통계분석을 진행한 결과, 모든 변수 간에 유의미한 상관관계가 있었다. 돈방 내 암모니아 농도는 환기량, 내부온도 및 상대습도

와 높은 수준의 음의 상관관계를 보였으며, 환기량은 내부온도와 양의 상관관계를 나타냈다. 돈방 내의 환기량은 돈방 내부의 온도와 외부 온도에 따라 조절되기 때문에 온도 조건과 밀접한 상관성을 나타낸 것으로 판단된다. 돈방 내부의 암모니아의 경우 환기량이 높아질수록 더 많이 유입되는 외부 공기에 섞여 배출되기 때문에 농도가 낮아지게 된다. 반대로 환기량이 낮아질 때는 암모니아가 돈방 내부에 축적되기 때문에 환기량과 암모니아 농도는 음의 상관성을 갖는 것으로 판단된다. 한편 암모니아 배출량의 경우 내부온도 및 습도에 비해 돈방 내 암모니아 농도와 환기량과의 상관성이 높았다. Fig. 5는 암모니아 배출량과 상대적으로 높은 상관성이 있는 농도, 환기량의 시간별 데이터를 도시한 각 돈방별 3차원 그래프이다. Room 1~3에서 유사한 경향성을 나타냈고, 농도와 환기량이 배출량에 미치는 영향이 상이했다. 배출량은 돈방 내 암모니아 농도가 높아질수록 증가하는 경향을 보였지만, 환기량이 높아질수록 감소하는 경향을 보였다. 이는 Table 1에서 도출된 상관계수 분석결과와 같다. 암모니아 배출량은 환기량에 비해 농도와 상대적으로 높은 상관성을 갖기 때문에 배출량 관리 시 환기량을 고려하는 것

Table 1. Correlation analysis (spearman's rank) of each variable

|                       | Ammonia concentration | Ventilation | Emission   | Temperature | Relative humidity |
|-----------------------|-----------------------|-------------|------------|-------------|-------------------|
| Ammonia concentration |                       |             |            |             |                   |
| Ventilation           | -0.735 ***            |             |            |             |                   |
| Emission              | 0.521 ***             | -0.195 ***  |            |             |                   |
| Temperature           | -0.773 ***            | 0.869 ***   | 0.037 **   |             |                   |
| Relative humidity     | -0.721 ***            | 0.687 ***   | -0.058 *** | 0.822 ***   |                   |

\*\*\* p < 0.001, \*\* p < 0.01

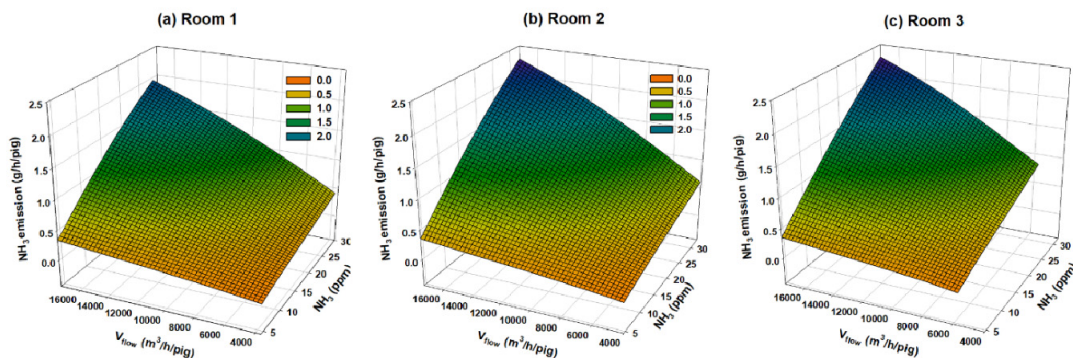


Fig. 5. Scatter plot of ammonia concentration, ventilation rate, and ammonia emission in each room (a) Room 1, (b) Room 2, (c) Room 3

보다 돈방 내에서 발생하는 암모니아 농도 저감에 중점을 두어 통제하는 것이 더 효율적이라고 생각된다.

### 3.4. 암모니아 배출계수 산정

각 돈방에서 수집된 암모니아 농도 및 환기량 데이터를 바탕으로 가을철 모돈사 내 암모니아 배출계수를 산정하였다. Eq. (2)에 따라 계산된 Room 1~3의 암모니아 배출계수는 각각  $8.2 \pm 1.3$ ,  $12.7 \pm 2.7$ ,  $12.8 \pm 2.2$  g/day/pig였으며, 본 연구에서는 평균값인 11.2 g/day/pig를 최종적인 가을철 모돈사 내 암모니아 배출계수로 산정하였다. 한편 국내 현행 암모니아 배출계수 중 ‘모돈’의 ‘돈사 내’ 암모니아 배출계수는 30.1 g/day/pig로, 본 연구에서 산정된 값보다 60% 이상 높았다. 기존 연구에서는 배출계수 산정 시 개방식 및 밀폐식 돈사 구분 없이 측정되었으며, 암모니아 농도 측정 방식에도 차이가 있었다. 밀폐식 돈사는 화학발광법 기반의 암모니아 실시간 측정기를 이용하여 측정되었지만, 개방식 돈사의 경우 열린챔버법 및 인도페놀법을 이용하여 분석이 진행되었다(MOE, 2007). 따라서 대상 농가의 환기 형태 및 암모니아 농도 측정법 등 전반적인 방법론이 상이하기 때문에 본 연구에서 산정된 배출계수 값과 다소 차이가 있는 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 암모니아 배출량은 계절적 차이에 따라 달라질 수 있다. Park et al.(2022)에 따르면 봄철 강제환기식 모돈사 내 암모니아 배출계수는 7.7 g/day/pig로 보고된 바 있다(Park et al., 2022). 해당 문헌에서는 본 연구와 유사하게 VERA protocol에 근거하여 봄철의 암모니아 배출계수를 산정하였지만, 본 연구의 값(11.2 g/day/pig) 보다 다소 낮았다. 따라서 돈사의 암모니아 배출계수는 사양단계별, 계절별로 보다 세분화하여 제시할 필요성이 있다고 판단된다.

## 4. 결론

본 연구는 가을철 강제환기식 모돈사 내 암모니아 농도, 환기량 및 여러 환경요인을 연속적으로 모니터링하여 암모니아 배출 특성을 파악하고 암모니아 배출계수를 산정하였다. 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 동일한 구조의 돈방 3곳에서 반복 실험을 진행하였고, 총 91일의 기간 동안 데이터를 수집하였다. 실험 결과, Room 1~3의 평균 암모니아 농도는 각각 11.09 ppm, 13.30 ppm, 12.73 ppm 수준으로 측정되었으며 환기량은 Room 1에서 50.14 m<sup>3</sup>/h/pig, Room 2에서 61.88 m<sup>3</sup>/h/pig, Room 3에서 66.82 m<sup>3</sup>/h/pig로 나타났다.

암모니아 배출계수의 경우 Room 1~3에서 각각  $8.2 \pm 1.3$ ,  $12.7 \pm 2.7$ ,  $12.8 \pm 2.2$  g/day/pig였으며, 본 연구에서는 평균값인 11.2 g/day/pig를 최종적인 가을철 모돈사 내 암모니아 배출계수로 산정하였다.

수집한 데이터를 바탕으로 시간대별 일변화를 살펴본 결과 뚜렷한 경향성이 확인되었다. 돈방 내 환기량은 일출 이후 기온이 상승함에 따라 점차 증가하였고, 일몰 이후 점차 감소하였다. 반면 돈방 내 암모니아 농도는 오전 시간 점차 증가하였다가 환기량이 증가하는 시간대부터 급격하게 감소하였다. 각 변수의 시간별 데이터로 상관성 분석을 진행한 결과, 암모니아 배출량은 농도 및 환기량과 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 특히 농도와 비교적 높은 상관성을 보였기 때문에 암모니아 배출량 관리를 위해서는 돈사 내 암모니아 농도를 제어하고 통제하는 것이 보다 효과적일 것으로 사료된다.

본 연구에서는 현행 암모니아 배출계수 인벤토리 개선을 위해 해외의 공인된 암모니아 배출량 평가법을 준수하여 비교적 장기간(9월~11월) 수행되었으며, 가을철 모돈의 돈사 내 암모니아 배출계수를 산정하였다. 하지만 보다 종합적인 관점에서 암모니아 배출계수를 평가하기 위해서는 사양 단계, 사양 방법 및 계절에 따른 장기간 데이터 축적이 여전히 필요한 상황이다. 따라서 이에 대한 지속적인 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다.

## 사사

본 연구는 농촌진흥청 연구과제(과제명: 모돈, 자돈 유래 NH<sub>3</sub> 배출량 평가 및 바이오커튼 효능 평가 프로토콜 개발 PJ01601902)와 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## References

- AHFS. 1993. American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers.
- Artiñano B, Pujadas M, Alonso-Blanco E, Becerril-Valle M, Coz E, Gómez-Moreno FJ, Salvador P, Nuñez L, Palacios M, Diaz E. 2018. Real-time monitoring of atmospheric ammonia during a pollution episode in madrid (spain). Atmospheric Environment 189: 80-88.
- Behera SN, Sharma M. 2012. Transformation of

- atmospheric ammonia and acid gases into components of pm<sub>2.5</sub>: An environmental chamber study. *Environmental science and pollution research* 19(4): 1187-1197.
- Brunekreef B, Holgate ST. 2002. Air pollution and health. *The lancet* 360(9341): 1233-1242.
- Holt J, Selin NE, Solomon S. 2015. Changes in inorganic fine particulate matter sensitivities to precursors due to large-scale us emissions reductions. *Environmental Science & Technology* 49(8): 4834-4841.
- IPCC. 2006. Agriculture, forestry and other land use. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 4.1-4.83.
- Jo G, Ha T, Jang Y, Seo S, Jung M. 2020a. A study on ammonia emissions characteristics during growing period of pigs in facility with mechanical ventilation system (in Korean with English abstract). *Journal of Odor and Indoor Environment* 19(1): 1-10.
- Jo G, Ha T, Yoon S, Jang Y, Jung M. 2020b. Comparison of regression models for estimating ventilation rate of mechanically ventilated swine farm (in Korean with English abstract). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 62(1): 61-70.
- Jo G, Jang Y, Ha T, Woo S, Jung M. 2020. Ammonia emission characteristics during the finishing periods of pigs housed with mechanical ventilation system (in Korean with English abstract). *Journal of Agriculture & Life Science* 54(3): 63-71.
- Korea Ministry of Environment (MOE). 2007. Estimating Ammonia Emissions in Atmosphere and Constructing an Inventory.
- Kristensen HH, Wathes CM. 2000. Ammonia and poultry welfare: A review. *World's Poultry Science Journal* 56(3): 235-245.
- Kriz P, Kunes R, Smutny L, Cerny P, Havelka Z, Olsan P, Xiao M, Stehlik R, Dolan A, Bartos P. 2021. Methodology for measurement of ammonia emissions from intensive pig farming. *Agriculture* 11(11): 1073.
- Krupa S. 2003. Effects of atmospheric ammonia (nh<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: A review. *Environmental pollution* 124(2): 179-221.
- Lee E-Y, Lee S-J. 2010. Emission characterization of ammonia produced from swine nightsoil. *Microbiology and Biotechnology Letters* 38(3): 308-314.
- Lee S-L, Lee J-H, Rho J-S, Park Y-J, Choi A-Y, Kim S-S, Lee S-R, Park J-H, Seo D-C. 2022. Ammonia gas emission factor at different application rate of urea in chinese cabbage cultivation (in Korean with English abstract). *Korean Journal of Environmental Agriculture* 41(1): 41-49.
- LumaSense Technologies Inc. 2022. Innova-1512 PD v10.18; [accessed 2022 July 1]. <https://innova.lumasenseinc.com>
- Park J, Park S, Woo S, Hwang O, Jung M, Jo G. 2022. A study on the characteristics of ammonia emission in mechanically-ventilated sow housing during spring in korea (in Korean with English abstract). *Journal of Odor and Indoor Environment* 21(1): 23-31.
- Philippe FX, Laitat M, Wavreille J, Bartiaux-Thill N, Nicks B, Cabaraux JF. 2011. Ammonia and greenhouse gas emission from group-housed gestating sows depends on floor type. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140(3): 498-505.
- Shapiro S, Wilk M. 1965. Testing the normality of several samples. Unpublished manuscript.
- Sommer SG, Hutchings NJ. 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction—invited paper. *European Journal of Agronomy* 15(1): 1-15.
- Sonntag D. 1990. Import new values of the physical constants of 1986, vapour pressure formulations based on the its-90, and psychrometer formulae. *Z Meteorol* 70: 340.
- VERA. 2018. Vera test protocol for livestock housing and management systems. International VERA Secretariat Delft, The Netherlands.
- Wang S, Xing J, Jang C, Zhu Y, Fu JS, Hao J. 2011. Impact assessment of ammonia emissions on inorganic aerosols in east china using response surface modeling technique. *Environmental Science & Technology* 45(21): 9293-9300.
- Yang K, Jang D, Kwon K, Ha T, Kim J, Lee J, Kim



- J-K. 2022. Comparative of welfare level of animal welfare certified farms and general group housing farms (in Korean with English abstract). Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society 23(1): 578-586.
- Zhang L, Chen Y, Zhao Y, Henze DK, Zhu L, Song Y, Paulot F, Liu X, Pan Y, Lin Y et al. 2018. Agricultural ammonia emissions in china: Reconciling bottom-up and top-down estimates. Atmos Chem Phys 18(1): 339-355.
- Zong C, Li H, Zhang G. 2015. Ammonia and greenhouse gas emissions from fattening pig house with two types of partial pit ventilation systems. Agriculture, Ecosystems & Environment 208: 94-105.