

개방형 축사의 암모니아 배출량 산정 방법 및 배출 특성 분석

노준영* · 강성민** · 김고은*** · 전의찬****†

*세종대학교 대학원 기후환경융합학과 박사과정생, **세종대학교 기후환경융합센터 선임연구원,
세종대학교 대학원 기후에너지융합학과 석박사통합과정생, *세종대학교 대학원 기후에너지융합학과 교수

Method and Characterization of Ammonia Emission Estimation in Open Houses

Rho, Joon Young* · Kang, Seong Min** · Kim, Go Eun*** · Jeon, Eui-Chan****†

*Ph.D. Student, Department of Climate and Environment, Sejong University Graduate School, Seoul, Korea
**Senior Researcher, Department of Climate and Environment, Sejong University Graduate School, Seoul, Korea
***Ph.D. Student, Department of Climate and Energy, Sejong University Graduate School, Seoul, Korea
****Head Professor, Department of Climate and Environment, Sejong University Graduate School, Seoul, Korea

ABSTRACT

In this study, methods for estimating ammonia emissions in livestock houses were reviewed, and ammonia concentrations were measured and characteristics analyzed in chicken house. There are three major methods of calculating ammonia emissions of livestock houses, the Portable Monitoring Units (PMU) method, the Saraz Method for Determination of Ammonia Emissions (SMDAE), and the Tracer gas method. Comparing the average ammonia concentration of laying hen and broiler houses, that of broilers was higher than that of laying hens, but the effect of open winch curtain was greater than that of measurement time. The concentration of ammonia emission differed over time for laying hens and for broilers, and no consistent trend was found. The internal ammonia concentration of the closed operation type was higher than that of the open operation type, and the ammonia concentration increased with age of the chickens.

Key words : Open Poultry Houses, Ammonia Emissions, Broilers, Laying Hens

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

초미세먼지는 발생원에서부터 고체 상태로 배출되는 직접배출과 암모니아(NH₃), 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 휘발성유기화합물(VOCs) 등의 화학적 반응으로 생성되는 간접배출(2차 생성)로 구분할 수 있다. 간접배출은 초미세먼지 전체 배출량의 약 72%를 차지하는 것으로 나타났다(MOE, 2016; MOE, 2017). 암모니아는 대기오염물질인 동시에 단기체류성기후변화유발물질(Short-lived Climate Forcers, SLCF)로, 기후변화 측면에서도 관리가 중요하다.

국내에서는 초미세먼지 2차 생성 물질에 관여하는

NO_x, SO_x를 실시간으로 모니터링하여 관리하고 있다. 그러나 암모니아의 경우, 악취 및 대기오염물질로 관리되고 있으며 배출 허용 규제 농도가 높고, 배출량 관리 및 연구 등이 미비한 실정이다.

2018년 국가 대기오염물질 배출량 통계에 따르면, 암모니아 배출량 중 79%가 농업에서 배출되며, 이 중 약 92%가 축산에서 배출되는 것으로 나타났다(MOE, 2020). 축산 분야의 암모니아 배출량을 산정하기 위하여 일반 소, 돼지 부문에서는 국내 배출계수를 사용하고 있지만, 아직 젓소나 가금류 등의 배출계수는 EPA (Environmental Protection Agency), EEA (European Environment Agency)의 배출계수를 사용하고 있어 배출계수 개발이 필요하다(MOE, 2020).

국내에서는 무창 돈사 및 계사의 배출계수 산정 연구가 진행

†Corresponding author : ecjeon@sejong.ac.kr (209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05006, Republic of Korea, Tel. +82-2-3408-4353)

ORCID 노준영 0000-0002-3066-3230 김고은 0000-0002-3070-7467
강성민 0000-0001-8628-8241 전의찬 0000-0003-2783-4550

되고 있다(National Institute of Animal Science, 2020), 그러나 개방형 측사가 더 많은 국내 배출특성을 반영하기 위해서는 개방형 측사에 대한 연구가 많이 진행되어야 할 것으로 판단된다. 이와 관련하여 Verification of Environmental Technologies for Agricultural Production (VERA) test protocol에는 개방형 측사의 암모니아 배출량 산정 방법에 대한 지침들을 제시하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 개방형 측사에 적용 가능한 암모니아 배출량 산정 방법들을 검토하고, 이를 기반으로 암모니아 주요 배출원 중 하나인 개방형 계사를 대상으로 암모니아 배출 특성을 알아보고자 한다.

1.2. 개방형 측사에 적용 가능한 암모니아 배출량 산정 방법 조사

본 연구에서는 개방형 측사의 암모니아 배출량 산정을 위해 적용할 수 있는 방법들을 검토하였다. 선행연구 조사 결과, Portable Monitoring Unit (PMU) 방법, Saraz Method for the Determination of Ammonia Emissions (SMDAE) 방법, Tracer gas 방법이 있는 것으로 조사되었다(Hogewi, 2003; Wheeler, 2003; Gates, 2005; Jairo Alexander, 2013; Jairo Alexander, 2015).

1.2.1. PMU (Portable Monitoring Unit) 방법

PMU (Portable Monitoring Unit) method는 전기화학 (Electronic chemical, EC) 센서를 이용하여 암모니아 농도의 연속 측정이 가능하며, 이산화탄소 농도 측정기와 함께 운용되기 때문에 계사 내·외부의 암모니아 발생량을 측정할 수 있다.

PMU로 측정된 가축의 이산화탄소 생산량과 이산화탄소 균형식(CO₂ Balance)에 의해 산정한 산소 소비량, 호흡률(대표값), 환기율, 시설 내 조류의 총 질량, 대변에서 발생하는 이산화탄소 생산량, 열과 수분의 생성 관계를 고려하여 지속적으로 모니터링 시스템을 구성하여 측정하는 방법이다.

초기 투자비용이 싸고 쉽게 휴대가 가능하며, 타 분석 방법에 비해 상대적으로 간단한 방법으로 측사에서의 암모니아 및 이산화탄소를 측정할 수 있다. 기계환기식 시설 측정시에 적합하며, 다수의 모니터링 지점을 확보하면 자연환기식 시설에도 적용 가능하다.

1.2.2. SMDAE (Saraz Method for the Determination of Ammonia Emissions) 방법

SMDAE 방법은 폴리우레탄 스폰지를 측정 위치에 균등하게 설치하여 암모니아를 흡착시키고, 암모니아농도를 킬달법

(Kjeldhal method)으로 분석하여 암모니아 플럭스(flux)를 산정하는 방법이다. 스폰지를 설치할 때에는 주풍향을 고려해야 하며, 농도 5 ppm 이상에서 정확도가 높은 것으로 나타났다. 암모니아 플럭스(flux)를 산정하는 식은 다음과 같다.

$$SMDAE(gNH_3 m^{-2} S^{-1}) = \frac{NH_3}{At} \quad (1)$$

여기에서,

SMDAE : ammonia flux ($gNH_3 m^{-2} S^{-1}$)

NH₃ : mass of building output air (g NH₃) as measured by average of all sponges.

A : 스폰지 면적(m²)

t : 스폰지가 노출된 시간(s)

1.2.3. 추적가스법(Tracer gas) 방법

추적가스법은 측정공간에 외부 요인의 영향을 받지 않는 추적가스를 주입하고, 추적가스와 측정 대상 물질의 환기율을 고려하여, 암모니아의 배출량을 측정하는 방법이다.

VERA protocol에서는 대표적으로 CO₂, SF₆를 추적가스로 사용하고 있으며, 추적가스로 CO₂를 사용할 시, 측사 동물들의 신진대사와 분노에 의해 의한 발생량을 고려해야 한다.

추적가스법은 측사 유형(밀폐형/개방형)에 관계없이 사용할 수 있으며, 식 (2)와 같이 암모니아 배출량을 산정하고 있다.

$$E_{NH_3} = P_{tracer} \times \frac{[C_{NH_3}]_{\in side} - [C_{NH_3}]_{\in outside}}{[C_{tracer}]_{\in side} - [C_{tracer}]_{\in outside}} \quad (2)$$

여기에서,

E_{NH_3} : NH₃ 배출량(kgNH₃)

P_{tracer} : 추적가스 주입량(m³ h⁻¹)

$[C_{NH_3}]_{\in side}$: 시설 내부의 암모니아 농도(ppm)

$[C_{NH_3}]_{\in outside}$: 시설 외부의 암모니아 농도(ppm)

$[C_{tracer}]_{\in side}$: 시설 내부의 추적가스 농도(ppm)

$[C_{tracer}]_{\in outside}$: 설 외부의 추적가스 농도

2. 연구방법

2.1. 연구절차

본 연구에서는 가축 시설 중 주요 암모니아 배출원 중

하나인 계사를 대상으로 연구를 진행하였으며, VERA test protocol에서 제시하는 개방형 축사의 측정 방법 및 기준에 근거하여 계사를 선정하였다(International VERA Secretariat, 2018). 암모니아 농도는 CRDS (Cavity Ring-Down Spectroscopy, PICCARO, USA) 장비를 이용

하여 측정하였다.

본 연구에서는 개방형 계사에서의 암모니아 배출 특성을 확인하기 위하여 계종별 시간에 따른 암모니아 배출특성과 운영 형태에 따른 특성을 분석하였다. 연구 절차는 다음 Fig. 1과 같다.

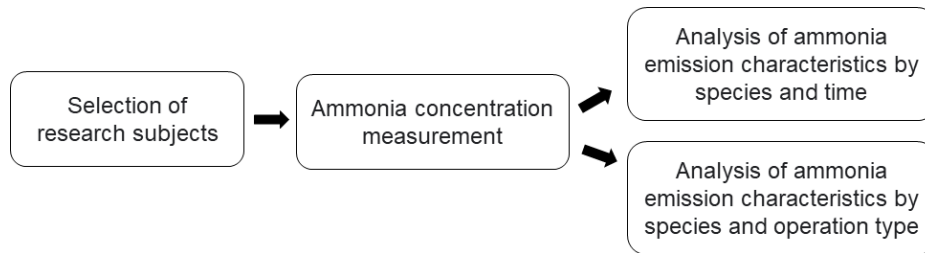


Fig. 1. Schematic of research procedure

2.2. 연구대상 선정

본 연구에서는 Table 1에 나타난 것과 같이 VERA test protocol에서 제시한 측정 조건을 충족하는 개방 형태의 산란계와 육계사에서 각각 2회씩 암모니아 농도를 측정하였다(International VERA Secretariat, 2018).

Table 1에서 보는 바와 같이, 산란계의 사육규모는 4,000마리이며, 닭의 중량을 1.8 kg으로 나타냈다. 육계사의 사육규모는 7,600마리이다. 닭의 생애주기를 고려하여 2주령과 4주령으로 나누어 암모니아 농도를 측정하였으며, 2주령 닭의 무게는 0.5 kg, 4주령 닭의 무게는 1.97 kg으로 나타냈다.

Table 1. Agronomic requirements for poultry

Criterion	Laying hens		Broilers	
	Vera protocol	This study	Vera protocol	This study
Permitted weight range (kg)	-	1.8	0.05-3	0.5 (2 weeks) 1.97 (4 weeks)
Minimum number of animals in test compartment	750	4,000	1,000	7,600
Minimal period of use of housing system before testing	2 months	more than 2 months	1 batch	more than 1 batch

2.3. 암모니아 측정 방법

본 연구에서는 계사의 암모니아 농도를 측정하기 위하여 연속 측정 장비인 CRDS (Cavity Ring-Down Spectroscopy, PICCARO (USA)) 장비를 이용하였다. CRDS는 분석하고자 하는 기체의 흡수 파장대를 조사한 후 기체의 흡수 강도와 파장이 소멸하는 시간을 이용하여 기체의 농도를 분석하는 장비이다. CRDS의 검출한계는 0.03 ppb이며, 유효 측정 범위는 0 ~ 10 ppm이다.

암모니아 농도는 주풍향을 고려하여 5개 지점 이상에서 측정하였으며, 하나의 장비로 여러 곳을 동시에 측정하기 위해 멀티샘플러를 이용하였다. 내·외부 지점을 번갈아가며 각 지점 당 3분 동안 측정하였으며, 암모니아 성분에 영향을 주지 않는 테프론 재질의 시료채취라인을 사용하였다. 내부 농도는 3 m 간격을 두고 5곳을 측정하였으며, 외부 농도는 내부 암모니아 농도의 영향을 최소화하기 위해 Vera test protocol에서 권고하는 외부 농도 측정 거리인 5 m 떨어진 곳에서 측정하였다.

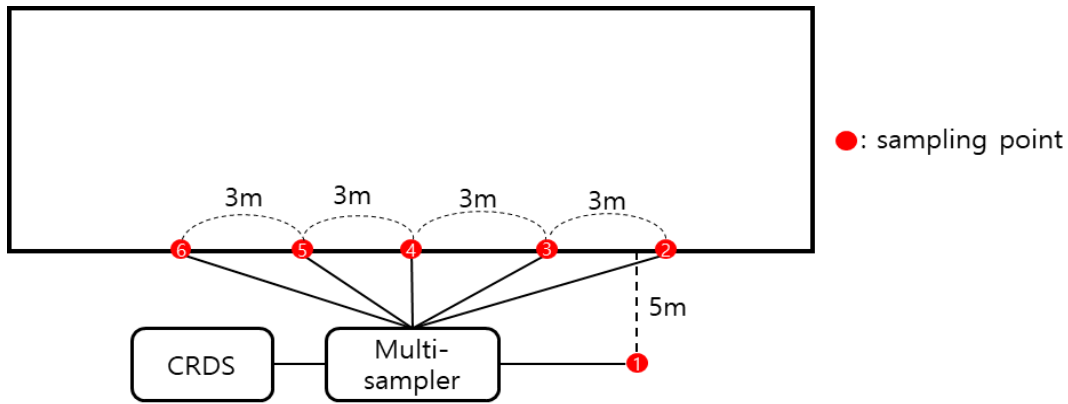


Fig. 2. Schematic view of sampling points (red dots) in the length of the barn

3. 연구결과

3.1. 암모니아 농도 측정 결과

3.1.1. 육계사의 암모니아 농도 측정 결과

2주령 시기 육계사는 측정 기간동안 윈치커튼이 닫힌 상태로 운영되었으며, 내/외부의 암모니아 농도 측정 결과

는 Table 2에 나타내었다. 3번 지점에서의 평균 농도값이 4.24 ppm으로 가장 높게 나타났고, 1번 지점(5 m)인 외부에서 0.29 ppm으로 가장 낮게 나타났다.

4주령 시기 육계사는 측정 기간동안 윈치커튼이 열린 상태로 운영되었으며, 내/외부의 암모니아 농도 측정 결과는 Table 3에 나타내었다. 2번 지점에서의 평균 농도값이 1.17 ppm으로 가장 높게 나타났고, 1번 지점(5 m)인 외부에서 0.59 ppm으로 가장 낮게 나타났다.

Table 2. Ammonia concentration in broiler house (2 weeks)

Sampling point	Mean (ppm)	Minimum (ppm)	Maximum (ppm)	Standard deviation (ppm)	Condition
1 (Outside)	0.29	0.15	0.42	0.06	Winch curtain closed
2 (Inside)	3.59	1.48	7.39	1.37	
3 (Inside)	4.24	2.13	7.54	1.33	
4 (Inside)	3.41	1.27	7.85	1.26	
5 (Inside)	3.65	1.40	7.36	1.40	

Table 3. Ammonia concentration in broiler house (4 weeks)

Sampling point	Mean (ppm)	Minimum (ppm)	Maximum (ppm)	Standard Deviation (ppm)	Condition
1 (Outside)	0.59	0.11	1.07	0.21	Winch curtain opened
2 (Inside)	1.17	0.19	2.59	0.48	
3 (Inside)	0.73	0.24	1.92	0.36	
4 (Inside)	0.69	0.16	1.57	0.33	
5 (Inside)	0.67	0.16	1.52	0.32	
6 (Inside)	1.05	0.25	1.85	0.33	

측정시기에 따른 암모니아 평균 농도 비교 결과, 2주령 일 때의 내부 평균농도는 3.73 ppm, 외부 평균농도는 0.29 ppm으로 나타났으며, 4주령일 때의 내부 평균농도는 0.79 ppm, 외부 평균농도는 0.59 ppm으로 나타났다. 이는 주령

에 따른 차이보다, Table 4에 제시된 바와 같이 2주령 측정 시기에 윈치 커튼이 닫힌 상태였기 때문에 이와 같이 큰 농도 차이를 보이는 것으로 판단된다.

Table 4. Average concentration of internal/external ammonia by week age in broiler house

Week age	Internal ammonia average concentration (ppm)	External ammonia average concentration (ppm)	Condition
2 weeks	3.73±1.38	0.29±0.06	Winch curtain closed
4 weeks	0.79±0.37	0.59±0.21	Winch curtain opened

3.1.2. 산란계사의 암모니아 농도 측정 결과

산란계사 1차 실험시, 내/외부의 암모니아 농도 측정 결과를 Table 5에 나타내었다. 4번 지점에서의 평균 농도값이 0.25 ppm으로 가장 높게 나타났고, 6번 지점에서 0.16 ppm으로 가장 낮게 나타났다.

산란계사 내/외부의 2차 암모니아 농도 측정 결과는 Table 6에 나타내었다. 5번 지점에서의 평균 농도값이 0.90 ppm으로 가장 높게 나타났고, 1번 지점에서 0.31

ppm으로 가장 낮게 나타났다.

산란계사의 암모니아 평균 농도 비교 결과, 1차 현장 조사 때보다 2차 현장조사 시기가 더 높게 나타났다. 1차 실험의 경우 외부 농도와 내부 농도가 큰 차이가 없음을 확인할 수 있었으며, 2차 실험의 경우, 외부 평균농도 보다 다소 높게 나타났다. 이는 Table 7에 나타난 것과 같이, 2차 실험 시 윈치 커튼을 간헐적으로 운영하여 계사가 밀폐되는 시간이 있었기 때문에 1차 실험보다 평균 암모니아 농도가 높았던 것으로 판단된다.

Table 5. Ammonia concentration in laying hen house (1st measurement)

Sampling point	Mean (ppm)	Minimum (ppm)	Maximum (ppm)	Standard deviation (ppm)	Condition
1 (Outside)	0.21	0.08	0.45	0.08	Winch curtain opened
2 (Inside)	0.20	0.09	0.58	0.11	
3 (Inside)	0.18	0.07	0.38	0.07	
4 (Inside)	0.25	0.11	0.56	0.09	
5 (Inside)	0.21	0.12	0.44	0.07	
6 (Inside)	0.16	0.08	0.27	0.05	

Table 6. Ammonia concentration in laying hen house (2nd measurement)

Sampling point	Mean (ppm)	Minimum (ppm)	Maximum (ppm)	Standard deviation (ppm)	Condition
1 (Outside)	0.31	0.17	0.62	0.10	Intermittent operation of winch curtains
2 (Inside)	0.77	0.23	2.20	0.43	
3 (Inside)	0.59	0.25	1.23	0.23	
4 (Inside)	0.52	0.16	1.63	0.32	
5 (Inside)	0.90	0.21	2.12	0.43	
6 (Inside)	0.70	0.18	2.92	0.57	

Table 7. Average concentration of internal/external ammonia in laying hen house

Measurement	Internal ammonia average concentration (ppm)	External ammonia average concentration (ppm)	Condition
1st	0.20±0.02	0.21±0.01	winch curtain opened
2nd	0.70±0.54	0.31±0.25	Intermittent operation of winch curtains

3.1.3. 계층에 따른 암모니아 농도 비교

산란계와 육계사의 암모니아 평균 농도를 Table 8에 나타내었다. 육계사의 내부 암모니아 평균 농도는 3.73±1.38 ppm과 0.79±0.37 ppm으로 나타났으며, 산란계사의 내부 암모니아 평균 농도는 측정 시기 별로 각각 0.20±0.02

ppm, 0.70±0.54 ppm으로 나타났다. 산란계사와 육계사의 암모니아 평균 농도 비교 결과, 육계사의 암모니아 농도가 산란계사보다 더 높았던 것으로 나타났다. 본 실험 결과, 측정 시기보다 윈치 커튼 개방 유무에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

Table 8. Comparison of internal and external ammonia concentrations in laying and broiler houses

Criterion	Internal ammonia average concentration (ppm)	External ammonia average concentration (ppm)	Condition
Broiler house (2 weeks)	3.73±1.38	0.29±0.06	winch curtain closed
Broiler house (4 weeks)	0.79±0.37	0.59±0.21	winch curtain opened
Laying hen house (1st)	0.20±0.02	0.21±0.01	winch curtain opened
Laying hen house (2nd)	0.70±0.54	0.31±0.25	Intermittent operation of winch curtains

3.2. 암모니아 배출 특성

3.2.1. 시간에 따른 계층별 암모니아 배출 특성

본 연구에서는 시간에 따른 계층별 암모니아의 배출 특성을 비교하였으며, 시간에 따른 암모니아 평균 농도는 Table 9에 나타내었다.

육계사 2주령의 경우 밤 시간대(3.25 ppm)보다 낮 시간대(4.19 ppm)의 농도가 더 높게 나타났으며, 4주령의 경우 낮 시간대(0.73 ppm)보다 밤 시간대(0.73 ppm)의 농도가 더 높게 나타났다.

산란계사의 경우, 1차 실험시기에 밤 시간대(0.18 ppm)

보다 낮 시간대(0.24 ppm)의 농도가 더 높게 나타났으며, 2차 실험시기의 경우 낮 시간대(0.67 ppm)보다 밤 시간대(0.73 ppm)으로 더 높게 나타났다. 본 연구에서는 시간에 따른 암모니아 농도의 경향성을 확인할 수 없었다.

축분에서의 암모니아 발생은 온도에 의존하는데 (Jae-Hwasn Sa, 2010), 윈치 커튼이 닫힌 상태인 육계사 2주령의 경우, 온도가 높은 낮 시간의 암모니아 농도가 밤 시간의 암모니아 농도보다 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 하지만 육계사(4주령), 산란계사의 경우, 윈치 커튼이 열린 상태로 축사가 운영되었기 때문에 바람의 영향으로 이와 같은 온도 특성이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Table 9. Ammonia concentration internal and external the house over time

Criterion		Internal ammonia average concentration (ppm)	External ammonia average concentration (ppm)	Condition
Broiler house (2 weeks)	Night time (PM 6:00 ~ AM 6:00)	3.25	0.32	winch curtain closed
	Day time (AM 6:00 ~ PM 6:00)	4.19	0.26	winch curtain closed
Broiler house (4 weeks)	Night time (PM 6:00 ~ AM 6:00)	0.94	0.68	winch curtain opened
	Day time (AM 6:00 ~ PM 6:00)	0.73	0.50	winch curtain opened
Laying hen house (1st)	Night time (PM 6:00 ~ AM 6:00)	0.18	0.20	winch curtain opened
	Day time (AM 6:00 ~ PM 6:00)	0.24	0.24	winch curtain opened
Laying hen house (2nd)	Night time (PM 6:00 ~ AM 6:00)	0.73	0.30	Intermittent operation of winch curtains
	Day time (AM 6:00 ~ PM 6:00)	0.67	0.33	Intermittent operation of winch curtains

3.2.2. 운영 형태에 따른 계층별 암모니아 배출 특성

운영 형태에 따른 계층별 암모니아 배출 특성을 알아보기 위하여 개방형과 밀폐형 계사의 암모니아 농도를 비교하였다. 밀폐형 계사 측정 자료는 선행연구로 진행되고 있는 “양계시설 미세먼지, 암모니아의 발생 및 배출특성 구명 및 인벤토리 구축” 연구의 자료의 측정 값을 협조 받았다.

육계사의 경우, Table 10에 나타난 것과 같이 밀폐형의 내부 암모니아 농도가 개방형보다 비교적 더 높게 나타났

다. 밀폐형의 경우, 닭의 주령이 높을수록 암모니아 농도가 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 측정한 개방형 계사는 2주령 측정 시기에 윈치 커튼을 닫은 상태에서 측정하였기 때문에 밀폐형 계사의 암모니아 농도대와 유사하게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

특이사항을 제외(윈치커튼 닫은 상태)하고는 개방형의 경우에도 2주령보다 4주령의 암모니아 농도가 비교적 더 높게 나타는 것을 확인할 수 있었다.

Table 10. Comparison of ammonia concentration in broiler house by operation type

Criterion	Weeks	External concentration	Internal concentration	Concentration of exhaust vent
This study (Opened house)	2	0.29±0.06	3.73±1.38	-
	4	0.59±0.21	0.79±0.37	-
Rural Development Administration (2020) (Closed house)	2	0.00±0.00	1.92±0.06	1.91±0.07
	2	0.00±0.00	4.97±0.41	6.15±1.83
	4	0.00±0.00	7.87±1.34	6.47±1.81
	4	0.00±0.00	2.07±0.14	2.40±0.47
	4	0.00±0.00	2.13±0.39	3.07±0.69
	4	0.09±0.29	4.16±2.52	3.12±0.39

산란계사의 경우에도 Table 11에 나타난 것과 같이 밀폐형 산란계사의 내부 암모니아 농도가 개방형의 암모니아

농도보다 상대적으로 더 높게 나타났다.

Table 11. Comparison of ammonia concentration in laying hen house by operation type

Criterion	External concentration	Internal concentration	Concentration of exhaust vent
This study (Opened house)	0.18±0.38	3.89±1.12	2.40±0.71
	0.01±0.12	0.57±0.44	1.78±0.18
	0.03±0.18	6.65±7.13	9.51±2.04
Rural Development Administration (2020) (Closed house)	0.21±0.01	0.20±0.02	-
	0.31±0.25	0.70±0.54	-

4. 결론

본 연구에서는 암모니아의 주 배출원 중 하나인 계사를 대상으로 측사에 적용 가능한 암모니아 배출량 산정 방법들을 검토하고, 암모니아의 농도를 측정하고 특성을 분석하였다.

본 연구에서는 Vera protocol에서 제시하고 있는 측정 조건을 고려하여 개방형 산란계사와 육계사를 연구대상으로 선정하였으며, CRDS 연속측정장비를 이용하여 내부 5지점, 외부 1지점으로 총 6지점에서 암모니아 농도를 측정하였다. 이를 기반으로 계종에 따른 암모니아 농도 비교와 시간과 운영 형태에 따른 암모니아 배출 특성을 확인하였다.

산란계와 육계사의 암모니아 평균 농도를 측정한 결과, 육계사의 내부 암모니아 평균 농도는 3.73±1.38 ppm(2주령)과 0.79±0.37 ppm(4주령)으로 나타났으며, 산란계사의 내부 암모니아 평균 농도는 0.20±0.02 ppm, 0.70±0.54 ppm으로 나타났다. 윈치커튼을 닫은 상태로 운영했던 육계사 2주령에서 암모니아 농도가 가장 높게 나타났으며, 윈치커튼이 열렸을 경우, 육계사의 암모니아 농도가 산란계사보다 더 높게 나타났다.

시간에 따른 계종별 암모니아 배출 특성을 비교한 결과, 육계사 2주령의 경우 밤 시간대(3.25 ppm)보다 낮 시간대(4.19 ppm)의 농도가 더 높게 나타났으며, 4주령의 경우 낮 시간대(0.73 ppm)보다 밤 시간대(0.94 ppm)의 농도가 더 높게 나타났다.

산란계사의 경우, 1차 실험시기에 밤 시간대(0.18 ppm)

보다 낮 시간대(0.24 ppm)의 농도가 더 높게 나타났으며, 2차 실험시기의 경우 낮 시간대(0.67 ppm)보다 밤 시간대(0.73 ppm)으로 더 높게 나타났다.

축분에서의 암모니아 발생은 온도에 의존하므로 윈치 커튼이 닫힌 상태인 육계사 2주령의 경우, 온도가 높은 낮 시간의 암모니아 농도가 밤 시간의 암모니아 농도보다 높게 나타났으며, 윈치커튼이 열린 상태로 운영된 육계사(4주령), 산란계사의 경우, 바람의 영향으로 시간에 따른 농도 차이가 다르게 나타나 일정한 경향성을 찾을 수 없었다. 암모니아는 온도, pH, 습도 등과 같은 요인들에 영향을 받으므로(Sa, 2010) 향후 연구에서 온도, pH, 습도 등을 함께 측정하여 개방형 계사의 암모니아 배출 특성을 파악하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

운영 형태에 따른 계종별 암모니아 배출 특성을 비교한 결과, 밀폐형의 내부 암모니아 농도가 개방형보다 비교적 더 높게 나타났다. 밀폐형의 경우, 닭의 주령이 높을수록 암모니아 농도가 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었고 윈치 커튼을 닫았을 때의 개방형 계사의 암모니아 농도는 밀폐형 계사의 암모니아 농도대와 유사하게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 개방형의 경우에도 2주령보다 4주령의 암모니아 농도가 비교적 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

개방형 축사의 경우, 윈치커튼과 같은 유동적인 방식의 환기 형태와 풍향·풍속에 따라 암모니아 농도 영향이 크므로 이 부분을 고려해야 할 필요가 있다. 개방형 축사의 암모니아 배출량 산정을 위해 Vera test protocol에는 CO₂ 농도 및 발생량, 호흡률 등을 고려하고 있는데, 향후 연구에

서는 CO₂ 농도도 함께 측정하고자 하며 이에 따라 국내 실정에 맞는 암모니아 배출계수 개발이 가능할 것이다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 「자연환기식 계사, 한우사 유래 암모니아 배출량 평가」 (과제번호: PJ01499301)와 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

References

- EF Wheeler, KD casey, JS Zajaczkowski, PA Topper, RS Gates, H. Xin, Y. Liang. 2003. Ammonia emissions from US poultry houses: part III-broiler houses. Proceedings of the 3rd International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations
- Hongewi X, Yi L, Akihiro T, Richard S.G, Eileen F.W. 2003. Ammonia emissions from US poultry houses: Part I-Measurement system and techniques. Air Pollution from Agricultural Operations III: 106-115.
- International VERA Secretariat. 2018. VERA TEST PROCOTOL for Livestock Housing and Management Systems Veersion 3:2018-09. Netherlands: Vlinderweg
- Jairo Alexander OS, Ilda De Fatima FT, RS Gates, et al. 2013. Evaluation of Different Methods for Determining Ammonia Emissions in Poultry Buildings and Their Applicability to Open Facilities. DYNA 178: 51-60
- Jairo Alexander OS, Ilda De Fatima FT, RS Gates, et al. 2013. Adaptation and validation of a methodology for determining ammonia flux generated by litter in naturally ventilated poultry houses. DYNA 81(187): 137-143.
- Jairo Alexander OS, Ilda De Fatima FT, RS Gates, et al. 2015. A simple methodology to measure ammonia flux generated in naturally ventilated poultry houses. Rev Colomb Ciene Pecu 28: 3-12.
- Sa J-H. 2010. Ammonia Flux from Cow Manure in Relation to the Envirionmental Factors in Livestock Facilities. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 26: 432-442
- Ministry of Environment. 2016. Fine Dust, What is It?. Korea: Incheon
- Ministry of Environment. 2017. Management Strategies to Reduce PM-2.5 Emission. Korea: Incheon
- Ministry of Environment National Fine Dust Infromation Center. 2020. 2018 Air Pollutant Emissions. Korea: Chungbuk
- Ministry of Environment National Fine Dust Infromation Center. 2020. National Air Pollutant Emission Calculation Method Handbook (IV). Korea: Chungbuk
- National Institute of Animal Science. 2020. Investigation and analysis of particulate matters and ammonia concentrations in mechanically ventilated broiler house according to seasonal change, measurement locations, and age of broilers; National Institute of Animal Science. Korea: Jeonbuk
- RS Gates, H. Xin, K.D. casey, Y. Liang, EF Wheeler. 2005. Method for Measuring Ammonia Emissions from Poultry Houses. The Journal of Applied Poultry Research 14: 622-634.