



동절기 산란계사 사육형태별 배출되는 미세먼지 및 암모니아 농도

홍의철^{1†} · 강보석² · 강환구¹ · 전진주¹ · 유아선¹ · 김현수¹ · 손지선¹ · 김희진³ · 김광렬⁴ · 윤연서⁴

¹국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, ²국립축산과학원 가금연구소 농업연구관,
³국립축산과학원 가금연구소 박사후연구원, ⁴국립축산과학원 가금연구소 연구원

Concentration of Particulate Matter and Ammonia Emitted by Breeding Type of Laying Hen Houses in Winter

Eui-Chul Hong^{1†}, Bo-Seok Kang², Hwan-Ku Kang¹, Jin-Joo Jeon¹, Are-Sun You¹, Hyun-Soo Kim¹,
 Jiseon Son¹, Hee-Jin Kim³, Kwang-Yeol Kim⁴ and Yeon-Seo Yun⁴

¹Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

²Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

³Post-Doctor Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

⁴Field Researcher, Post-Doctor Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

ABSTRACT In this study, we measured the concentration of particulate matter (PM) and ammonia (NH₃) emission in the winters according to the breeding type of laying hen houses. Measurements were performed thrice in Barn, Aviary, and Cage houses every 2 weeks from December to January. The changes in the PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations were similar in all three breeding types. The PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations, measured three times, were the highest in the Aviary house. In the results measured by time, the PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations were the lowest during the dark period (22:00 to 4:00) of the day. The NH₃ concentration was the highest in the Cage house and the lowest in the Barn house. Regarding emissions over time, the results of the three measurements showed different patterns and differed from those of the PM. In addition, with passage of time from the 1st (december) to 3rd (january), the NH₃ concentration gradually increased. The daily PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations in the Aviary house, which were higher than those of the other houses, were 4,787 µg/m³ and 388.6 µg/m³, respectively, while, the PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations outside the poultry houses were 226.0 µg/m³ and 39.3 µg/m³, respectively. The daily NH₃ concentration was 7.70 ppm and 9.20 ppm at the center and end of the Cage house, respectively. This was higher than that in the other houses. In conclusion, the concentrations of PM (PM₁₀, PM_{2.5}) and NH₃ were the highest in the Aviary and Cage laying hen houses, respectively.

(Key words: laying hen house, winter season, particulate matter, ammonia)

서 론

최근 정부 및 연구 기관들은 축사에서 배출되는 오염 물질에 대한 심각성을 인지하고, 이를 저감시키기 위한 연구를 추진하였다. 축사에서는 대기 중으로 여러 오염물질이 방출되지만, 대부분의 연구는 대기 오염 및 인간의 건강과 환경에 해로운 영향을 주는 NH₃ 및 미세먼지(PM, particulate matter) 배출에 초점을 맞추고 있다. 특히, 밀폐식 시설의 이용이 증가하고 있는 가금 분야에서 NH₃와 미세먼지

(PM)가 많이 배출된다고 알려져 있어 가금류의 배출량 산정에 대한 연구가 추진되고 있다(Roumeliotis and Van Heyst, 2008).

계사에서 배출되는 NH₃ 농도는 사육형태, 기후 및 사양 관리에 따라 달라진다. NH₃ 배출은 일반적으로 가금 분뇨의 분해로 인해 발생하기 때문에, 계분 벨트가 있는 케이지 계사에서 사육하는 경우에는 평사나 다단식 계사보다 NH₃ 배출량이 적다(Roumeliotis and Van Heyst, 2008). 계사에서 배출되는 NH₃는 대기 환경 및 닭이나 관리자에게 직접적으로 부정적인 영향을 주기도 하지만, 2차 미세먼지(PM_{2.5})를 생

[†] To whom correspondence should be addressed : drhong@korea.kr

성하는 전구물질로 알려져 있다(Shin et al., 2017). 즉, $PM_{2.5}$ 의 주요 성분인 질산암모늄과 황산암모늄은 배출된 암모니아 가스가 아황산가스나 질소산화물 등과 반응하여 생성된다(MSIT-EM-MOHV, 2017; Shin et al., 2017).

미국과 유럽에서는 이미 산란계의 사육형태별 PM 및 NH_3 배출량에 대한 연구가 이루어져 왔으나(David et al., 2015; Shepherd et al., 2015; Zhao et al., 2015; Shepherd et al., 2017), 배출량에 대한 정보가 명확히 제시되지 않고 추정되는 경우가 많다(Roumeliotis and Van Heyst, 2008). 국내에서는 암모니아로 인한 $PM_{2.5}$ 배출에 대하여 중요하게 인식되면서 정부에서는 축종별 미세먼지 및 암모니아 배출량 조사를 착수하였으며, 관련 데이터를 수집하고 있다(Shin et al., 2017).

계사의 대기오염은 짧은 시간 안에 변화하기 때문에 이런 오염 현상을 정확히 파악하기 위해서는 온라인-또는 실시간으로 측정이 되어야 한다. 최근 국내에서는 대기 중 PM 및 NH_3 농도를 실시간으로 측정할 수 있는 장치들을 도입하여 대기와 축사 대기의 오염 정도 조사가 가능하도록 하였다. 특히 미세먼지의 측정방법 중 광산란법은 대기 중 입자상

물질을 흡인하여 빛을 조사(照射)하였을 때, 산란(散亂)되는 빛의 세기를 측정하여 입자의 농도를 구하는 방법으로(Bae et al., 2016; Park et al., 2016a), 초단위로 측정이 가능하므로 실시간으로 측정할 수 있으며, 측정기의 소형 및 경량화가 가능해 휴대가 용이하다(Park et al., 2016a,b)

본 연구는 산란계 사육형태별 동절기의 PM(PM_{10} , $PM_{2.5}$) 및 NH_3 배출 농도를 실시간으로 측정하고, 측정 결과들을 국내 계사 환경 개선을 위한 기초자료로 이용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험설계

본 시험은 평창에 위치한 국립축산과학원 가금연구소 계사에서 수행하였다. 세 가지 사육시스템(Aviary 및 케이지) 계사를 이용하였으며, 각각의 사육시스템을 처리구로 하였다. 계사들은 모두 터널식 환기를 이용하고 있으며, 온도는 각각 16.5, 15.6 및 15.4°C로 관리되었으며, 습도는 44.1, 42.3 및 25.3%로 케이지에서 낮게 관리되었다. 사육형태별 계사에 대한 자세한 사항은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Information on environment and ventilation system about the different types of poultry houses where air measurements were performed

Items	Barn	Aviary	Cage
House size in meters (W × L × H)	10 × 42 × 5	15 × 39 × 3.5	8 × 10.6 × 8
Population (birds)	800	3,900	4,000
Age (wk)	34~40	34~40	34~40
Stocking density (birds/m ²)	7	9	13
Ventilation method	Tunnel	Tunnel	Tunnel
Temperature (°C)			
Max	21.4	20.2	14.8
Min	12.6	9.6	16.3
Average	16.5	15.6	15.4
Humidity (%)			
Max	55.0	52.0	25.0
Min	30.0	42.0	26.0
Average	44.1	42.3	25.3
Fan numbers (total/operation)	4/2	4/2	7/2
Operation time (operation/stop)			
First	25/275	50/250	50/250
Second	25/275	45/255	30/270
Third	20/280	35/265	30/270
Capacity (m ³ /h)			
First	6,333	12,666	12,666
Second	6,333	11,400	7,600
Third	5,066	8,866	7,600

2. 미세먼지 및 암모니아 농도 측정

미세먼지와 암모니아 가스의 농도는 12~1월 동안 2주 간격으로 3회 측정하였다. 시간대별 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) 농도는 계사 끝부분(환기팬 부분)에 GRIMM Environmental Dust Counter(Model: EDM164, GRIMM Aerosol Technik Co., Germany)를 설치하여 6초 간격으로 24시간 자동측정하였다. 시간대별 암모니아 가스 농도는 계사 중앙과 끝부분에 암모니아 측정기(MultiRAE, RAE Systems Inc., USA)를

1 m 높이로 설치하였으며, 1분 간격으로 24시간 측정하였다. Fig. 1과 2는 미세먼지와 암모니아 가스 농도의 측정 방법 및 위치를 보여주고 있다.

3. 자료 분석

본 시험에서 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5}, 그리고 환기 팬 근처의 NH₃ 농도는 30분 간격으로 그래프에 나타내었다. 사육형태별 계사 내외부 일일 PM 농도와 계사 내 NH₃ 배출 농도는 세 차

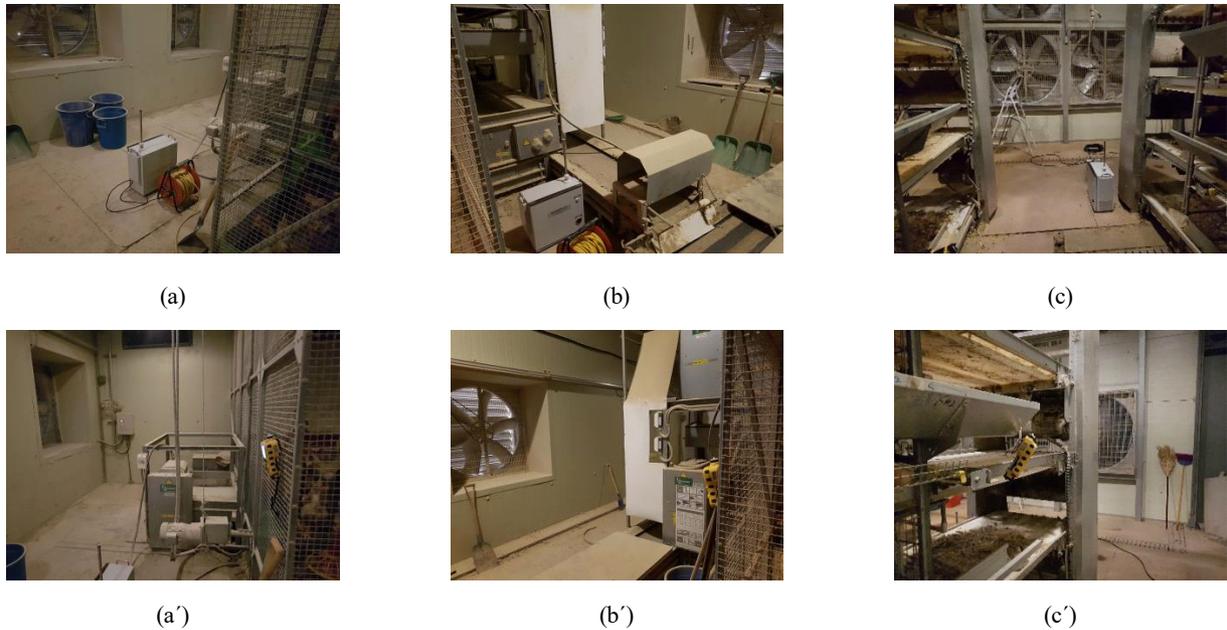


Fig. 1. Evaluations of PM emission using EDM (environmental dust monitor) counter (a: barn, b: aviary, c: cage) and of NH₃ emission using ammonia gas counter (a': barn, b': aviary, c': cage).

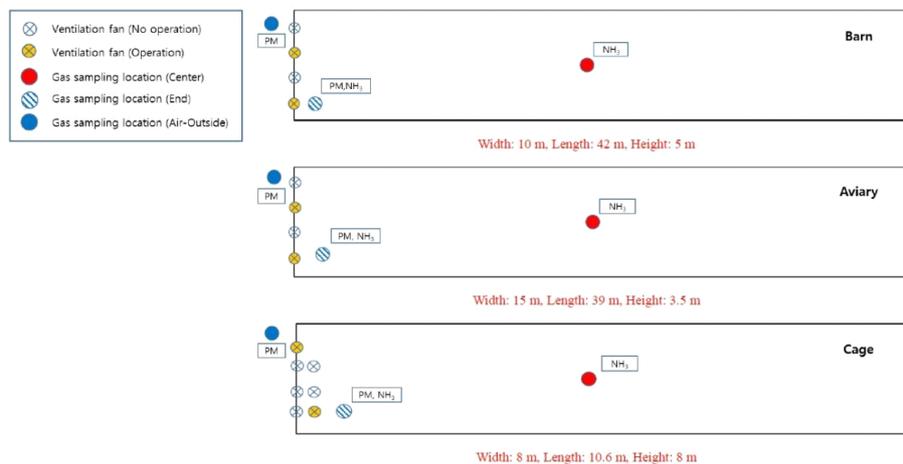


Fig. 2. Gas sampling locations for the environmental monitoring of the poultry house with barn (10 × 42 × 5), aviary (15 × 39 × 3), and cage (8 × 10.6 × 8) system.

래 측정된 자료들을 일일 평균값으로 산정하여 나타내었다.

결 과

1. 실시간 미세먼지 농도

본 연구에서 세 차례 측정된 24시간 동안의 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 의 농도는 Fig. 3과 4에 나타내었다. 세 가지 사육형태에서 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 의 농도 변화 양상은 유사하였다. 측정 결과를 사육형태별로 보면, 세 번 측정된 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 농도는 모두 Aviary 계사에서 가장 높게 나타났으며, 평사와 Cage 계사 사이에서는 유사하게 나타났다. 시간대별로 측정된 결과를 보면, 계사의 암기(22:00~4:00)에 가장 낮았으며, 다시 점등된 후(4:00이후)에 높아지기 시작하였다.

2. 실시간 암모니아 가스 농도

본 연구에서 세 차례 측정된 24시간의 NH_3 농도(환기 팬 근처) 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 사육형태별 측정 결과를 보면, Cage 계사의 NH_3 배출 농도가 가장 높았으며, 평사에서 가장 낮게 나타났다. 측정 결과를 시간대별로 보았을 때, 1차, 2차 및 3차 측정 결과들이 모두 다른 양상을 보여 PM 배출 양상과는 다른 결과를 보여주었다. 또한 1차(12월)에서

3차(1월) 측정까지 시간이 경과함에 따라 NH_3 농도가 점점 높아지고 있었다.

3. 일일 PM 및 NH_3 배출 농도

본 연구에서 측정된 일일 PM_{10} , $PM_{2.5}$ 및 NH_3 배출 농도는 Table 2에 나타내었다. 일일 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 농도는 Aviary 계사에서 각각 $4,787\mu g/m^3$ 와 $388.6\mu g/m^3$ 로 다른 계사에 비해 높게 나타났다. 계사 외부의 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 농도는 각각 $226.0\mu g/m^3$ 와 $39.3\mu g/m^3$ 로 평사나 Cage 계사와 유사하였다.

일일 NH_3 농도는 다른 계사들에 비해 Cage 계사의 중앙과 끝에서 각각 7.70 ppm과 9.20 ppm으로 높았으며, 평사에서 가장 낮게 나타났다. 평사와 Aviary 계사의 비교에서는 Aviary 계사에서 평사에 비해 높게 나타났다.

고 찰

본 연구는 산란계의 사육형태에 따른 동절기 미세먼지 농도를 광산란법으로 실시간 측정하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 해외에서는 산란계 사육형태별 PM과 NH_3 배출량에 대한 연구가 이루어져 왔으나(David et al., 2015; Shepherd et al., 2015; Zhao et al., 2015; Shepherd et al., 2017), 이들 오염

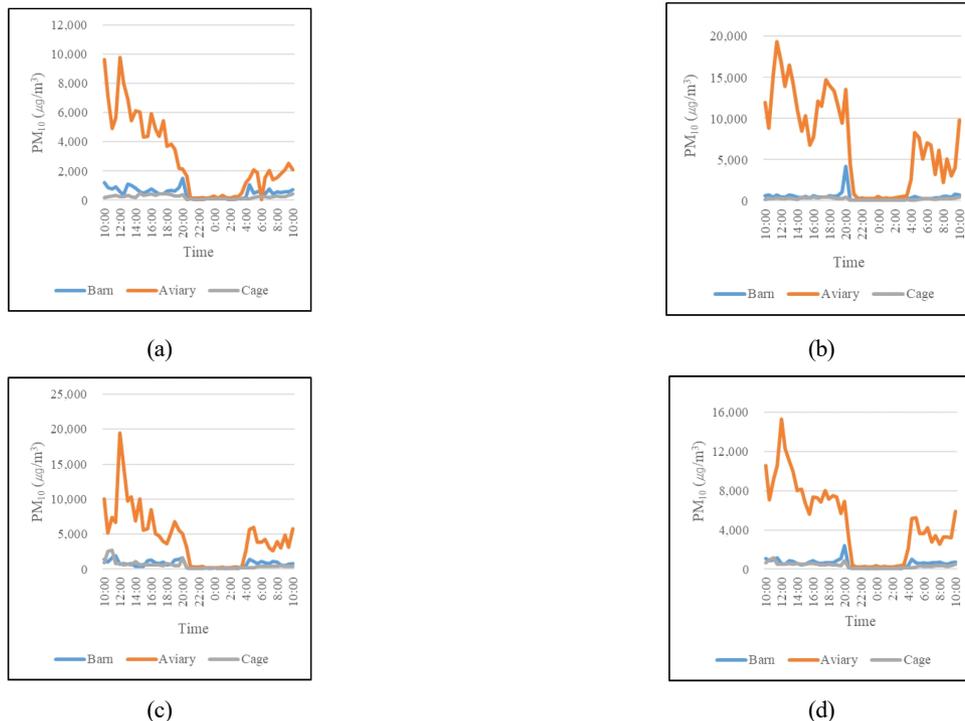


Fig. 3. Temporal variations (24 h) of PM_{10} emission in three poultry houses with barn, aviary, and conventional cage system (a: first, b: second, c: third, d: average).



Fig. 4. Temporal variations (24 h) of PM_{2.5} emission in three poultry houses with barn, aviary, and conventional cage system (a: first, b: second, c: third, d: average).

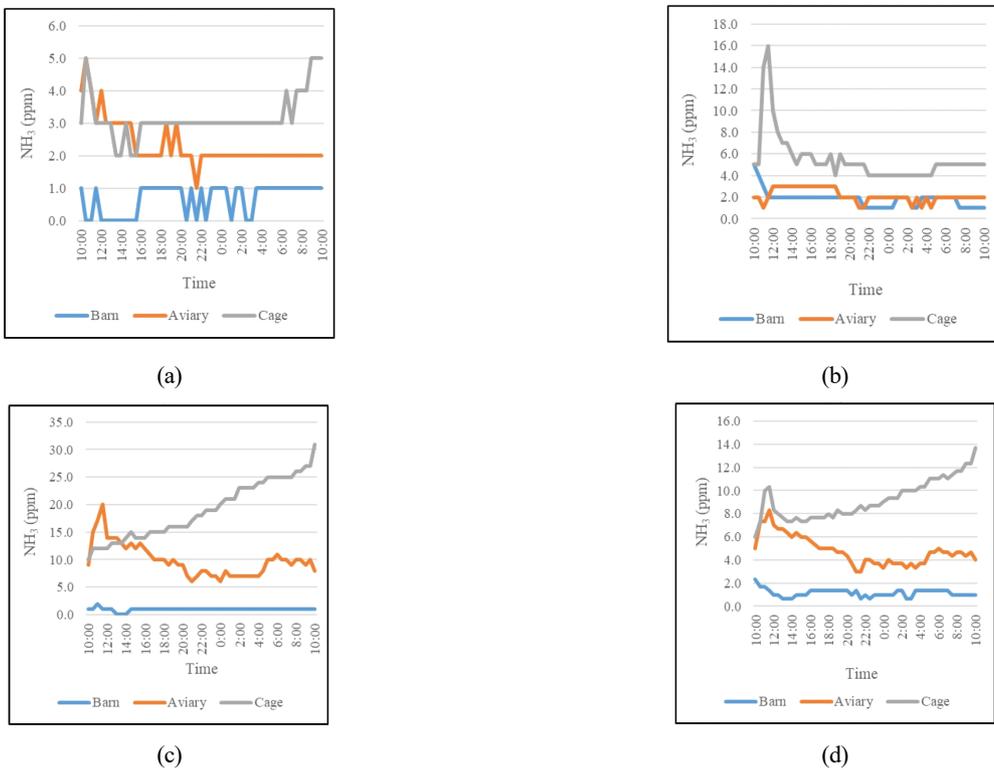


Fig. 5. Temporal variations (24 h) of NH₃ emission at the end of three poultry houses with barn, aviary, and conventional cage system (a: first, b: second, c: third, d: average).

Table 2. Daily emission of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) and ammonia (NH₃) in different types of poultry houses

Poultry Houses	PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		NH ₃ (ppm)*	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	Center	End
Outside (Means)	226.0	39.3	-	-
First	54.2	34.6	-	-
Second	137.9	23.2	-	-
Third	486.0	60.1	-	-
Barn (Means)	557.1	77.5	0.99	1.15
First	445.1	38.4	0.01	0.67
Second	513.4	85.8	2.02	1.82
Third	712.8	108.2	0.96	0.96
Aviary (Means)	4,786.7	388.6	3.00	4.80
First	6,995.8	503.0	0.12	2.35
Second	2,873.9	232.1	0.01	2.16
Third	4,490.3	430.8	8.88	9.88
Cage (Means)	414.8	52.4	7.70	9.20
First	229.7	40.0	0.01	3.18
Second	528.8	57.0	4.73	5.47
Third	486.0	60.1	18.4	18.9

* Measurement location of NH₃.

물질 농도를 실시간으로 조사한 연구는 미비한 실정이다.

실시간 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 오전에 높은 경향이었으며, 밤에는 낮게 나타났다. Aviary 계사의 경우, 1차와 2차 측정 시보다 3차 측정 시에 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도가 높아졌으며, 평사 계사의 경우, 세 번 측정된 PM 농도가 24시간 동안 거의 유사하였다. 또한, Cage 계사에서는 2차와 3차 측정 시에 환기량을 감소시켰음에도 불구하고, 세 번 측정값은 24시간 동안 일정한 농도를 유지하였다. NH₃의 실시간 측정 농도는 시간대에 따른 특정 유형은 보이지 않았으나, 1차 측정에서 3차 측정까지 환기량 감소에 따라 증가하는 경향을 보이고 있었다. 특히 Cage 계사에서의 3차 측정 시에 NH₃은 시간이 흐름에 따라 점차 증가하였다.

계사 내 상태는 물리적(온·습도, 점등, 환기 등) 및 화학적(NH₃, CO₂ 등) 요인에 의해 결정된다(Kocaman et al., 2005; Liang et al., 2005). 환기는 PM와 NH₃의 배출 농도에 영향을 미치지만(Prodanov et al., 2016), 이외에도 사육수수, 온·습도 및 사육형태 등이 계사 내 PM와 NH₃의 배출 농도에 영향을 준다(Roumeliotis and Van Heyst, 2008). 특히, 평사

의 NH₃ 수준은 닭들이 바닥의 깔짚에서 활동하는 동안 상승하게 된다(Zhao et al., 2015).

본 연구에서 산란계사들은 동절기에 호흡기 질병 발생을 억제하기 위해 환기량을 감소시켜 최소 환기량으로 조절하였다. 1차 측정 시에 Aviary와 Cage 계사의 환기량은 평사의 2배이지만, Aviary 계사의 PM 배출 농도는 평사와 Cage 계사에 비해 높게 나타났으며, 평사와 Cage 계사 사이에서는 유사하게 나타났다. 2, 3차 측정 시에는 평사, Aviary 및 Cage 계사의 환기량을 감소시켰음으로써 평사와 Aviary 계사의 PM 농도가 증가하였다. 반면, NH₃ 배출 농도는 Cage 계사에서 가장 높게 나타났으며, 이는 Cage 계사의 환기량이 부족하다는 것을 나타내는 것이라 사료된다.

본 연구의 일일 미세먼지 및 암모니아의 배출 농도는 평사와 케이지 사이에서는 유사하게 나타났고, Aviary에서는 높게 나타났다. 주령에 따른 미세먼지 및 암모니아 농도는 일관성이 없게 나타났는데, 이는 계사의 청소 상태, 관리자의 방문 횟수 등에 따라 농도가 달라지기 때문이라고 사료된다.

본 연구의 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도는 각각 4,787 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와

388.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 Zhao et al.(2015)의 결과(3,950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 유사하였다. 또한 Cage 계사에서도 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도는 본 연구와 Zhao et al.(2015)의 결과가 유사하게 나타났다(414.8 vs. 590.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 52.4 vs. 35.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 그러나 NH₃ 농도는 본 연구의 Cage 계사(중앙)에서 높게 나타났다(7.7 vs. 4.0 ppm). 이러한 결과는 본 연구에서 동절기 특성상 계사 내 환기량을 최소 환기로 조절하였기 때문이라고 사료된다.

적 요

본 연구는 산란계사 사육형태별 동절기의 미세먼지(PM) 및 암모니아(NH₃) 배출 농도를 측정하기 위해 수행하였다. 배출 농도는 12~1월 동안 2주 간격으로 3회 평가, Aviary 그리고 Cage 계사에서 측정되었다. PM(PM₁₀, PM_{2.5}) 및 NH₃ 배출 농도 변화는 세 가지 사육형태에서 유사하였다. 세 번 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 Aviary 계사에서 가장 높게 나타났다. 시간대별로 측정한 결과는 계사들의 암기(22:00~4:00)에 가장 낮았다. NH₃ 농도는 Cage 계사에서 가장 높았으며, 평가에서 가장 낮게 나타났다. 시간대별 NH₃ 배출 농도에 대한 세 번의 측정 결과는 모두 다른 양상을 보여 PM과는 다른 결과를 보여주었다. 또한 1차(12월)에서 3차(1월) 측정까지 시간이 경과함에 따라 NH₃ 농도가 점점 높아지고 있었다. 일일 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 Aviary 계사에서 각각 4,787 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 388.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 계사에 비해 높게 나타났다. 계사 외부의 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 각각 226.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 39.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 일일 NH₃ 농도는 Cage 계사의 중앙과 끝에서 각각 7.70 ppm과 9.20 ppm으로 다른 계사들에 비해 높았다. 결론적으로, PM(PM₁₀, PM_{2.5})과 NH₃ 농도는 Aviary와 Cage 계사에서 각각 가장 높게 나타났다.

(색인어: 산란계사, 동절기, 미세먼지, 암모니아)

사 사

본 연구는 2021년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업과 농촌진흥청의 공동연구사업(과제번호: PJ01529103)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

ORCID

Eui-Chul Hong <https://orcid.org/0000-0003-1982-2023>

Bo-Seok Kang <https://orcid.org/0000-0002-3438-8379>
 Hwan-Ku Kang <https://orcid.org/0000-0002-4286-3141>
 Jin-Joo Jeon <https://orcid.org/0000-0001-7585-4746>
 Are-Sun You <https://orcid.org/0000-0001-7258-2626>
 Hyun-Soo Kim <https://orcid.org/0000-0001-8887-1318>
 Jiseon Son <https://orcid.org/0000-0002-5285-8186>
 Hee-Jin Kim <https://orcid.org/0000-0002-6959-9790>
 Kwang-Yeol Kim <https://orcid.org/0000-0002-3723-2978>
 Yeon-Seo Yun <https://orcid.org/0000-0001-6950-0415>

REFERENCES

- Bae MS, Park DJ, Lee J, Ahn JY, Lee YJ 2016 Source analysis of size distribution and density estimation in PM_{2.5} - Part II. J Korean Soc Atmos Environ 32(2):158-166.
- David B, Mejdell C, Michel V, Moe RO 2015 Air quality in alternative housing systems may have an impact on laying hen welfare. Animals 5(3):886-896.
- Kocaman B, Yaganoglu AV, Yanar M 2005 Combination of fan ventilation system and spraying of oil-water mixture on the levels of dust and gases in caged layer facilities in Eastern Turkey. J Appl Anim Res 27(2):109-111.
- Liang Y, Xin H, Li H, Wheeler EF, Zajackowski JL, Topper PA, Gates RS, Casey KD, Behrends BB, Burnham DJ, Zajackowski FJ 2005 Ammonia emissions from U.S. laying hen houses in Iowa and Pennsylvania. Trans ASAE 48(5):1927-1941.
- MSIT-EM-MOHV 2017 Comprehensive measures for particulate matter (PM) management. Ministry of Science and ICT- Ministry of Environment- Ministry of Health and Welfare. Korea.
- Park DJ, Lee KY, Park K, Bae MS 2016a Diurnal size distributions of black carbon by comparison of optical particulate measurements- Part I. J Korean Soc Atmos Environ 32(1):1-8.
- Park SS, Yu GH, Kim YJ, Rho SG, Ryu JH 2016b Field evaluation of real-time fine particle monitor using light scattering technique. J Korean Soc Environ Anal 19(1):44-53.
- Prodanov M, Radeski M, Ilieski V 2016 Air quality measurements in laying hens housing. Mac Vet Rev 39(1):91-95.
- Roumeliotis TS, Van Heyst BJ 2008 Summary of ammonia and

- particulate matter emission factors for poultry operation. *J Appl Poult Res* 17(2):305-314.
- Shepherd TA, Xin H, Stinn JP, Hayes MD, Zhao Y, Li H 2017 Ammonia carbon dioxide emissions of three laying-hen housing systems as affected by manure accumulation time. *Trans ASABE* 60(1):229-2236.
- Shepherd TA, Zhao Y, Li H, Stinn JP, Hayes MD, Xin H 2015 Environmental assessment of three egg production systems - Part II: Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions. *Poult Sci* 94(3):534-543.
- Shin DW, Joo H, Seo E, Kim CY 2017 Management strategies to reduce PM-2.5 emissions: Emphasis-ammonia. Korea Environment Institute. Report No.: WP 2017-09.
- Zhao Y, Shepherd TA, Li H, Xin H 2015 Environmental assessment of three egg production systems - Part I: Monitoring system and indoor air quality. *Poult Sci* 94(3):518-533.
-
- Received Jan. 28, 2021, Revised Feb. 15, 2021, Accepted Feb. 22, 2021

