



## 봄철 산란계사 사육형태별 미세먼지 및 암모니아 농도 비교

홍의철<sup>1\*</sup> · 강보석<sup>2</sup> · 강환구<sup>1</sup> · 전진주<sup>1</sup> · 유아선<sup>1</sup> · 김현수<sup>1</sup> · 손지선<sup>1</sup> · 김희진<sup>3</sup> · 윤연서<sup>4</sup>

<sup>1</sup>국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, <sup>2</sup>국립축산과학원 가금연구소 농업연구관,  
<sup>3</sup>국립축산과학원 가금연구소 박사후연구원, <sup>4</sup>국립축산과학원 가금연구소 연구원

### Comparison of Particulate Matter and Ammonia Emission in Different Types of Laying Hen Poultry Houses during Spring

Eui-Chul Hong<sup>1\*</sup>, Bo-Seok Kang<sup>2</sup>, Hwan-Ku Kang<sup>1</sup>, Jin-Joo Jeon<sup>1</sup>, Are-Sun You<sup>1</sup>, Hyun-Soo Kim<sup>1</sup>,  
 Jiseon Son<sup>1</sup>, Hee-Jin Kim<sup>3</sup> and Yeon-Seo Yun<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

<sup>2</sup>Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

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

<sup>4</sup>Field Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

**ABSTRACT** This study was conducted to determine the concentrations of particulate matter (PM) and NH<sub>3</sub> emissions from different types of laying hens poultry houses during spring. The concentrations of PM and NH<sub>3</sub> were measured three times (2-week intervals; March to May) in Floor-pen-, Aviary-, and Cage-type poultry houses. Overall, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations were found to be low from 22:00 to 04:00. The PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations in Floor-pen and Cage houses were similar with no significant daily deviation. NH<sub>3</sub> concentrations measured over 24 h at the center and end of Floor-pen house were relatively constant. Irrespective of measurement location, NH<sub>3</sub> concentrations were the lowest in Floor-pen house. Moreover, NH<sub>3</sub> concentrations were higher at the end of Floor-pen and Aviary houses than that at the center; however, lower concentrations of NH<sub>3</sub> were detected at the end of Cage house. The concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> around the poultry houses were 57.5 and 34.0 µg/m<sup>3</sup>, respectively, with the daily average PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations (4,730 and 447.7 µg/m<sup>3</sup>, respective) being the highest in Aviary house. The concentrations of NH<sub>3</sub> at the center and end of Cage house were the highest at 12.0 and 9.31 ppm, respectively. Furthermore, in Cage house, the emission factor of NH<sub>3</sub> was the lowest, whereas there was no significant difference on that of NH<sub>3</sub>. In conclusion, among the three types of poultry houses assessed, PM (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) concentrations were higher in Aviary house, whereas NH<sub>3</sub> concentrations were higher in Cage house.

(Key words: laying hen, rearing type, particulate matter, ammonia, spring)

## 서론

우리나라의 봄철은 가끔씩 뿌연 하늘을 볼 정도로 황사나 미세먼지(particulate matter, PM)가 심하게 발생하는 계절로써, 정부의 대기오염 대책 마련에도 불구하고 여전히 황사나 PM 발생은 지속되고 있다. PM은 입자 크기에 따라 직경이 100 µm 이하인 총 부유 입자(TSP, total suspended particles), 직경이 10 µm 이하인 PM<sub>10</sub> 그리고 직경이 2.5 µm 이하인 PM<sub>2.5</sub>으로 정의할 수 있다(Bonifacio et al., 2015).

축사에서 배출되는 PM의 성분은 발생원이 다양하기 때

문에 대기의 PM 수준과 차이가 있으며(Shen et al., 2018), 주로 사료, 분변, 깃털 및 피부에서 생성되는 고농도의 유기 화합물이 포함되어 있다(Mostafa, 2012; Mostafa et al., 2016). Donham et al.(1986)과 Radon et al.(2001)은 축사 내부의 PM(특히 PM<sub>2.5</sub>)는 호흡기를 통해 폐포로 침투하기 때문에 가축과 관리자의 호흡기 건강에 좋지 않다고 하였다. 또한, Yang et al.(2017)은 계사 내부에서 배출되는 PM에는 수많은 병원성 박테리아가 번식하고 있다고 하였다. PM<sub>10</sub> 농도가 높아지면 가축뿐만 아니라 관리자들에게도 만성 기관지염, 천식 유사 증상, 심혈관 질환, 폐렴 및 폐암의 위험

\* To whom correspondence should be addressed : drhong@korea.kr

을 높일 수 있다(Cambra-López et al., 2010; Michiels et al., 2015).

따라서, 축사 내 PM이 가축과 관리자의 건강에 미치는 영향과 주요 배출원을 조사할 필요가 있으며, 조사된 내용들은 가축 생산 과정에서 PM 발생을 제어하기 위한 이론적 기반을 제공하게 된다(Shen et al., 2018). 축사 주변 대기오염의 또 다른 주요 원인은 미생물에 의한 분변의 분해로 생성되는 NH<sub>3</sub>이며, 호흡기, 눈, 비강 및 피부 등의 건강을 해칠 수 있다(Kearney et al., 2014; Nemer et al., 2015). 또한, 계사에서 배출되는 NH<sub>3</sub>는 가금류의 생산성과 복지를 저하시키며(Kristensen and Wathes, 2000; Fabbri et al., 2007), 25 ppm 이상일 때, 일일 증체량이 감소하고 사료요구율이 증가한다(Becker et al., 2004; Miles et al., 2006). 다량의 NH<sub>3</sub>는 습도가 높은 환경 조건에서 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 같은 2차 무기 입자를 형성할 수 있다(Robarge et al., 2002).

NH<sub>3</sub>가 중간생성물과 반응 인자와 결합하여 PM<sub>2.5</sub>로 생성되는 기전에 대한 연구는 대략 5년 전부터 수행되어 왔다(ME, 2016). Shin et al.(2017)은 계사 외부로 배출된 NH<sub>3</sub>가 대기 중의 이황산가스, 이산화황, 질소산화물 및 오존과 반응하여 황산암모늄이나 질산암모늄과 같은 PM<sub>2.5</sub>를 생성한다고 하였다. MAFRA(2019)에서는 NH<sub>3</sub> 가스의 82.3%가 농업 분야(특히 축산 분야)에서 배출된다고 하였다. 국외 연구에서도 집약적 축사가 증가함에 따라 축사에서 배출되는 NH<sub>3</sub> 및 PM가 대기 오염에 영향을 준다는 보고가 있으며(Roumeliotis and Van Heyst, 2007; Shen et al., 2018), Takai et al.(1998)과 Kaasik and Maasikmets(2013)은 유럽의 축산 농가에서 배출되는 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>는 각각 8%와 4%를 차지하고 있고, 집약적 양계장은 총 농업용 PM 배출량의 약 50%를 차지한다고 하였다.

외국의 경우, 다양한 축산 분야에서 발생하는 NH<sub>3</sub> 농도에 대하여 연구가 진행되어 왔다. 특히, 미국과 유럽에서는 계사의 사육형태별로 발생하는 NH<sub>3</sub> 및 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 농도의 연구가 진행되어 왔으나(David et al., 2015; Shepherd et al., 2015; Zhao et al., 2015; Shepherd et al., 2017), 국내에서는 악취 방지를 위하여 양돈 슬러리에서 발생하는 NH<sub>3</sub> 농도 연구에 집중되어 있다(Lee et al., 2006). 최근, 정부에서는 국내 축산 분야에서 축종별 및 사육형태별로 NH<sub>3</sub> 농도나 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 농도를 측정하고 있으며, 이를 바탕으로 국내 배출되는 NH<sub>3</sub>와 PM의 인벤토리(inventory) 구축을 추진 중이다(MAFRA, 2019).

본 연구는 산란계사 사육형태별 PM 및 NH<sub>3</sub>의 발생특성

구명을 위한 추가적인 연구로서, 환절기(가을)와 동절기에 이어 봄철의 NH<sub>3</sub>와 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 농도를 조사하여 산란계사 사육형태별로 비교하기 위해 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험설계 및 방법

본 연구는 국립축산과학원 가금연구소의 세 가지 사육시스템(평사, Aviary, 케이지) 계사 내부 및 계사 주변(5 m 이내)에서 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>)과 NH<sub>3</sub> 농도를 측정하였다. 계사 내부의 온도는 각각 16.4℃, 18.9℃ 및 17.5℃로 관리되었으며, 습도는 46.4%, 46.5% 및 25.3%로 케이지에서 낮게 관리되었다. 계사의 환기 시스템은 모두 터널식 환기 시스템을 이용하였다. 계사 주변의 PM 농도는 계사의 옆 벽을 기준으로 5 m 위치에서 측정하였다.

사육형태별 계사의 사육 환경과 환기 시스템에 대한 자세한 사항은 Table 1에 나타내었다.

### 2. PM 및 NH<sub>3</sub> 측정

본 연구에서 PM과 NH<sub>3</sub> 농도는 봄(3~4월)에 2주 간격으로 3회씩(24시간/회) 측정되었다. PM 측정은 Environmental Dust Counter (EDM164, GRIMM Aerosol Technik Co., Germany)를 이용하였으며, NH<sub>3</sub>는 암모니아 가스 측정기(MultiRAE, RAE Systems Inc., USA)로 측정하였다. 측정 위치는 Hong et al.(2021a)의 연구와 같이 PM은 계사의 끝에서, NH<sub>3</sub>는 계사의 중앙과 끝에 1 m 높이에서 측정하였다. 세 가지 사육시스템별 계사의 환경과 사육 형태는 Table 1과 2에 나타내었다.

### 3. PM 및 NH<sub>3</sub>의 배출계수 산정

본 연구에서 측정된 PM 및 NH<sub>3</sub>의 배출계수는 계사의 끝에서 측정된 PM 및 NH<sub>3</sub> 농도를 이용하여 다음 공식에 의해 산정되었으며, 1년 동안 산란계 1수가 배출하는 값으로 나타내었다.

$$\text{배출계수(g/yr)} = \frac{\text{측정 농도} \times \text{환기량}}{\text{사육수} \times 365(\text{일})}$$

### 4. 자료분석 및 배출계수

본 연구의 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>)과 NH<sub>3</sub> 농도는 30분 간격으로 그래프에 나타내었으며, 일일 평균값을 산출하였다. 측정 지

**Table 1.** Information on in-house birds and environmental conditions in different types of poultry houses where air measurements were performed in spring season

Items	Floor-pens	Aviary	Cage
House size in meters (W × L × H)	10 × 42 × 5	15 × 39 × 3.5	8 × 106 × 8
Population (birds)	293	2,411	3,000
Age (wk)	48-54	48-54	48-54
Temperature (°C)			
Max	17.3	20.0	19.3
Min	15.4	17.7	15.7
Average	16.4	18.9	17.5
Humidity (%)			
Max	50.7	53.7	25.0
Min	42.0	39.3	25.0
Average	46.4	46.5	25.0

**Table 2.** Ventilation systems in different types of poultry houses where air measurements were performed in spring season

Items	Floor-pens	Aviary	Cage
Ventilation type	Tunnel	Tunnel	Tunnel
Fan numbers (Total / operation)			
First	4/2	4/2	7/5
Second	4/2	4/3	7/5
Third	4/2	4/3	7/6
Operation time (Operation / stop)			
First	20/280	35/265	100/200
Second	25/275	70/230	100/200
Third	25/275	70/230	120/180
Capacity (cfm)			
First	5,066	8,866	7,066
Second	6,333	12,666	12,666
Third	6,333	12,666	20,266

역 대기의 미세먼지 농도는 ME(2021)에서 제시한 미세먼지 농도로 제시하였다. 일평균 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>)과 NH<sub>3</sub> 농도를 계사 주변 측정값 및 대기 농도와 비교하였다.

배출계수 자료는 SAS(2019)의 Generation Linear Model (GLM) procedure을 이용하여 분석하였으며, Duncan의 다중 검정(Duncan, 1955)을 이용하여 각 처리구 간의 평균값을

95% 신뢰수준에서 검정하였다.

## 결 과

### 1. 사육형태별 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 농도

본 연구에서 24시간 동안 측정된 산란계사 사육형태별

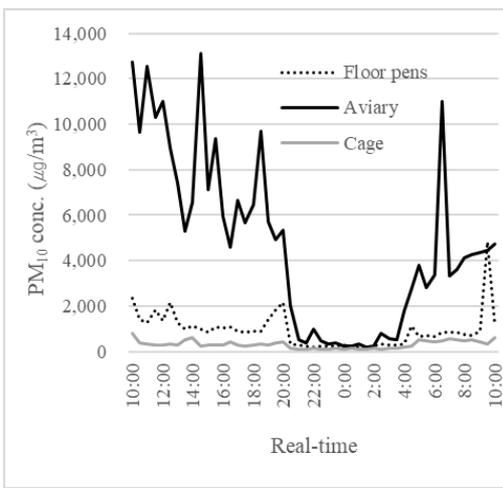
PM( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) 농도는 Fig. 1에 나타내었다.  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도는 24시간 동안 유사한 경향을 보였으며, 특히, 22:00부터 04:00까지 낮게 나타났다. Aviary 계사의 경우, 22:00~04:00 외의 시간대에서는  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도의 편차가 심하게 나타났다. 평사와 케이지 계사의  $PM(PM_{10}, PM_{2.5})$  농도는 유사하게 나타났으며, 일일 편차도 심하게 보이지 않았다.

2. 사육형태별  $NH_3$  농도

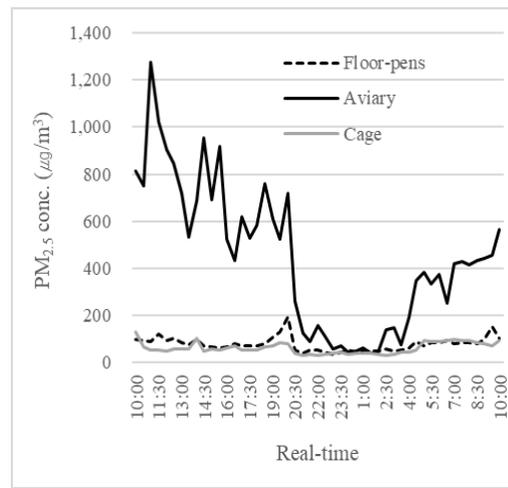
본 연구에서 24시간 동안 측정된 산란계사 사육형태별

$NH_3$  농도는 Fig. 2에 나타내었다. 평사에서는 계사 중앙과 끝에서 24시간 동안 측정된  $NH_3$  농도가 일정하게 나타났다. Aviary 계사에서는 24시간 동안 중앙에서 측정된 값과 끝에서 측정된 값이 유사한 경향을 보였으며, 14:00부터 20:00까지 낮게 나타났다. 계사의 중앙과 끝에서 측정된 값을 사육형태별로 비교하였을 때, 측정 위치와 관계없이 평사 계사에서  $NH_3$  농도가 가장 낮게 나타났으며, Aviary 계사에 비해 케이지 계사에서 높게 나타났다.

사육형태별로 계사의 중앙과 끝의 24시간  $NH_3$  농도 변화

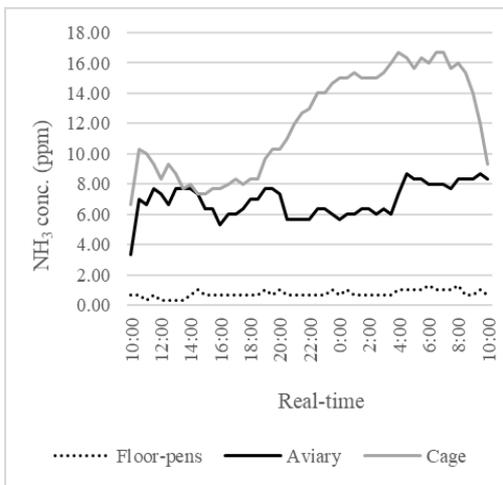


(a)

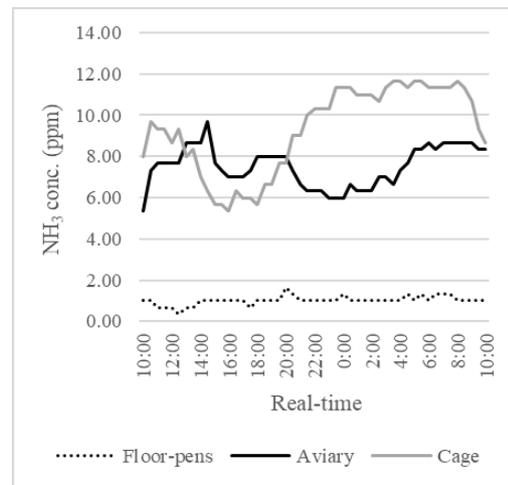


(b)

Fig. 1. Aspects of PM concentrations by different rearing types for 24 h (average of 3 times) in spring; (a)  $PM_{10}$ , (b)  $PM_{2.5}$ . PM concentrations were measured with the PM counter at the end of three rearing types of laying hen house.



(a)



(b)

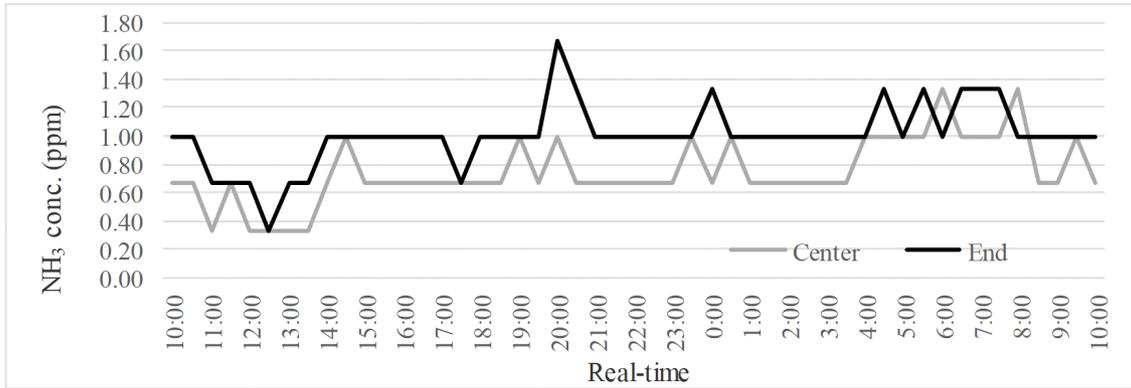
Fig. 2. Aspects of  $NH_3$  concentrations by different rearing types for 24 h (average three times) in spring; (a) Center, (b) End (Near of the ventilation fan).  $NH_3$  concentrations were measured with the  $NH_3$  analyzer in the center and at the end of three rearing types of laying hen house.

는 Fig. 3에 나타내었다. 세 가지 계사 모두 중앙과 끝에서 측정된 값은 유사한 경향을 보였다. 평사와 Aviary 계사에서는 중앙보다 끝에서 측정된 농도가 더 높았으나, 케이지 계사에서는 중앙에서 측정된 NH<sub>3</sub> 농도가 더 높은 값을 나타

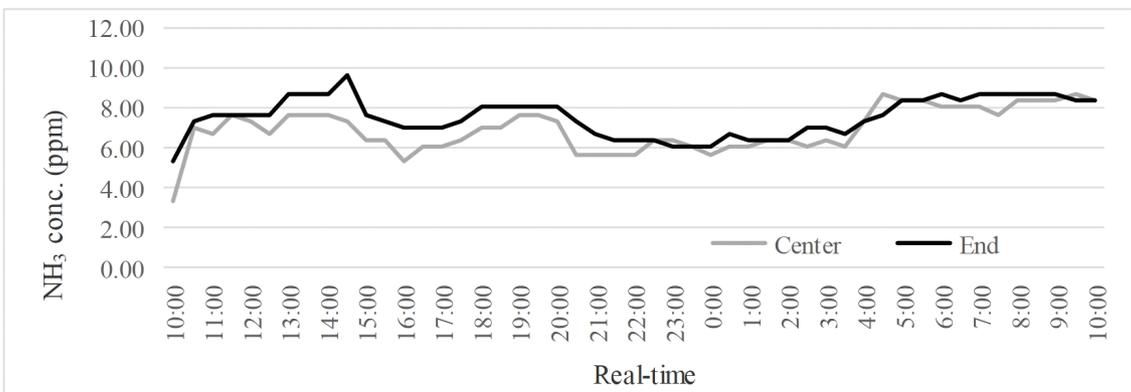
내었다.

3. 일평균 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 및 NH<sub>3</sub> 농도

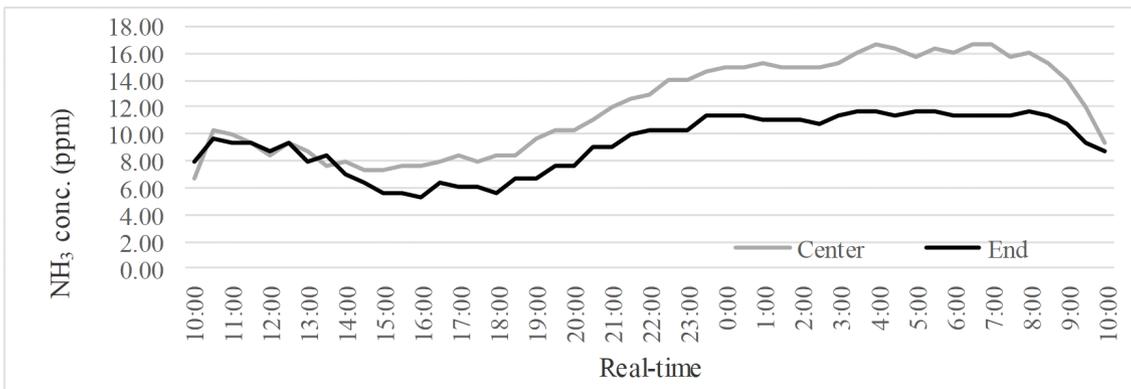
본 연구에서 측정된 산란계 사육형태별 일평균 PM(PM<sub>10</sub>,



(a)



(b)



(c)

**Fig. 3.** Comparison of NH<sub>3</sub> concentrations between center and end of poultry houses by different rearing types for 24 h in spring; (a) floor-pen, (b) aviary, (C) cage. NH<sub>3</sub> concentrations were measured with the NH<sub>3</sub> analyzer in the middle and at the end of three rearing types of laying hen house.

PM<sub>2.5</sub>)과 NH<sub>3</sub> 농도는 Table 3에 나타내었다. ME(2021)에서 제시한 봄철 대기의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도는 각각 44.6 µg/m<sup>3</sup>과 13.2 µg/m<sup>3</sup>이었으며, 본 연구에서 측정된 계사 주변의 농도는 각각 57.5 µg/m<sup>3</sup>와 34.0 µg/m<sup>3</sup>이었다.

일평균 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도는 Aviary 계사에서 4,730 µg/m<sup>3</sup>와 447.7 µg/m<sup>3</sup>로 가장 높고, 케이지 계사에서 311.8 µg/m<sup>3</sup>와 61.9 µg/m<sup>3</sup>로 가장 낮았다. 반면, 계사 중앙과 끝의 NH<sub>3</sub> 농도는 케이지 계사에서 12.0 ppm과 9.31 ppm으로 가장 높고, 평사 계사에서 0.71 ppm과 1.01 ppm으로 가장 낮았다.

#### 4. PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 및 NH<sub>3</sub> 배출계수

본 연구에서 산정된 PM 및 NH<sub>3</sub>의 배출계수는 Table 4에 나타내었다. PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 배출계수는 케이지에서 높게

나타난 반면, NH<sub>3</sub>의 배출계수는 케이지에서 가장 낮게 나타났다( $P>0.05$ ). 평사와 Aviary 시스템 사이의 배출계수는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

## 고 찰

본 연구는 봄철에 계사 내 발생하는 PM 농도를 측정하고, 계사 외기의 농도와 비교하였다. 특히, 2018년과 2019년에 축사에서 발생하는 NH<sub>3</sub>가 국내 PM<sub>2.5</sub> 발생에 영향을 미친다는 언론 보도로 인하여 계사 내 발생하는 PM(특히 PM<sub>2.5</sub>)과 NH<sub>3</sub> 농도의 중요성이 더욱 커졌다. NH<sub>3</sub>는 질산이나 황산과 결합하여 PM<sub>2.5</sub>를 생성하기 때문에 계사 내 NH<sub>3</sub>와 PM<sub>2.5</sub>의 상관관계를 파악하는 것도 상당히 중요하다. Hong et al.(2021b)은 같은 시간대의 NH<sub>3</sub>와 PM<sub>2.5</sub> 농도는 상

**Table 3.** Daily emission of particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) and ammonia (NH<sub>3</sub>) in different types of poultry houses

Poultry Houses	PM (µg/m <sup>3</sup> )		NH <sub>3</sub> (ppm) <sup>1</sup>	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	Center	End
Atmosphere <sup>2</sup>	44.6	13.2		
Outside	57.5	34.0	-	-
Floor-pens				
First	1,147	94.3	0.51	1.08
Second	796.6	75.5	0.82	0.96
Third	866.3	65.6	0.92	0.98
Means	936.7	78.5	0.75	1.01
Aviary				
First	2,964	353.5	5.31	5.76
Second	7,225	600.8	8.65	9.20
Third	4,001	388.6	6.76	7.59
Means	4,730	447.7	6.90	7.52
Cage				
First	274.2	53.1	14.0	10.1
Second	350.1	71.4	19.4	12.9
Third	311.0	61.2	2.67	4.88
Means	311.8	61.9	12.0	9.31

<sup>1</sup> Measurement location of NH<sub>3</sub>.

<sup>2</sup> Daily PM concentration of atmosphere (ME, 2021).

PM, particulate matter; PM<sub>10</sub>, particulate matter with a diameter of less than 10 µm; PM<sub>2.5</sub>, particulate matter with a diameter of less than 2.5 µm.

**Table 4.** Emission factor (EF) of particulate matter (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) and ammonia (NH<sub>3</sub>) in different types of poultry houses

Poultry houses	PM <sub>10</sub> (kg/y/bird)	PM <sub>2.5</sub> (g/y/bird)	NH <sub>3</sub> (kg/y/bird)
Floor-pen	0.19 <sup>a</sup>	15.62 <sup>a</sup>	0.20
Aviary	0.24 <sup>a</sup>	20.93 <sup>a</sup>	0.35
Cage	0.03 <sup>b</sup>	6.17 <sup>b</sup>	0.43
SEM <sup>1</sup>	0.041	3.755	0.131
P-Value	<0.05	<0.05	0.1854

<sup>1</sup> Standard error of means.

<sup>a,b</sup> Means with different superscripts in the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ).

관관계가 없다고 하였다. 그러나, Hong et al.(2021a, b) 및 본 연구의 일일 평균값을 보았을 때, NH<sub>3</sub> 농도가 높을수록 PM<sub>2.5</sub> 농도도 높게 나타나 하루 기준으로는 상관관계가 있는 것으로 추정되며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

온도, 상대습도, 환기율 및 점등과 같은 변수들은 축사에서 PM 및 NH<sub>3</sub> 농도와 분포에 영향을 미친다(Puma et al., 1999). 계사의 환기는 PM의 형성, 농도, 배출, 분포뿐만 아니라, 내부의 온·습도, 닭의 체감 온도에도 영향을 미치는 주요 요인으로(Shen et al., 2018), 온·습도 조절 및 유해가스(PM, NH<sub>3</sub> 등)를 계사 외부로 배출하는 기능을 한다. 본 연구에서도 3차례 측정 시에 환기량이 변화되면서 측정되는 PM 및 NH<sub>3</sub> 농도도 같이 변화되었다. 이는 겨울철에서 봄철로 계절이 바뀌면서 계사 내부의 온·습도도 변화됨에 따라 환기량이 조절되기 때문이라 사료된다.

현장 조건에서 계사의 환기 평가는 실내 환경뿐 아니라, 정부 규정에 따른 오염 물질 배출에도 중요하다. 예를 들어, 동물보호법에서는 국내 축사에서 발생하는 암모니아 농도를 25 ppm이 넘지 못하도록 규정하고 있다. 환기 관리에 영향을 주는 요인은 계사의 방향과 크기, 단열재, 닭의 수, 최소 환기 등이다. 특히 최소 환기는 겨울철에 차가운 공기가 계사 안으로 들어오는 것을 감소시켜 호흡기 등의 질병을 예방하는 효과가 있으나, 환기량이 적어 환기 불량에 되는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 평사와 Aviary 계사의 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 및 NH<sub>3</sub> 농도의 1차 측정 시에는 봄철의 꽃샘추위로 인하여 최소 환기를 유지하였으나, 2, 3차 측정 시 날씨가 풀리면서 환기량을 늘려주어 PM<sub>2.5</sub> 농도가 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한 평사에서는 3회 측정 시 모두 NH<sub>3</sub> 농도가 계사의 중앙보다 끝(환기팬 근처)에서 높아 환기가 잘 되는 것으로 나타났다. 케이지 계사에서는 1차 측정 이전부터 환기량을 늘려주어 3차까지 유지시켰다. 그러나

케이지 계사에서 1회와 2회 측정 시에 중앙에서 측정한 NH<sub>3</sub> 농도가 환기팬 근처에서 측정한 값보다 높았다. Yao et al.(2017)에 의한 정상적인 환기 상태에서는 계사 내 환기팬과 가까울수록 PM 배출농도가 더 높다는 보고에 따라 본 연구에서는 환기가 불량했던 것으로 사료된다. 반면, 3차 측정 시에는 중앙보다 환기팬 근처에서 측정한 NH<sub>3</sub> 농도가 높아 환기가 정상인 것으로 보이며, 이에 따라 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 농도도 감소된 것으로 보인다.

배출계수는 환경이 다른 세 가지 사육 형태의 PM 및 NH<sub>3</sub> 농도를 비교 가능하도록 산정한 것이다(Roumeliotis and Van Heyst, 2008). 배출계수는 배출량 농도를 기준으로 산정하는 것이기 때문에 계사의 끝(환기팬 근처)에서 측정된 농도를 이용한다. 본 연구의 배출계수는 Xin et al.(2011)이 조사한 산란계사의 배출계수와 유사한 것으로 나타났다. 본 연구에서 평사와 Aviary 시스템의 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 배출계수는 케이지 시스템에 비해 낮게 나타났으나, NH<sub>3</sub> 배출계수는 반대되는 현상을 보였다. 이는 평사나 Aviary 계사에서는 닭의 활동성이 높아 분변이 깔짚과 섞이면서 깔짚에 NH<sub>3</sub>이 흡착되고, 이렇게 계사 내에 잔류하게 된 NH<sub>3</sub>는 PM<sub>2.5</sub>의 발생 원인이 되어 환기 시에 외부로 배출되는 PM 농도가 높아지는 것이라고 사료된다.

Shen et al.(2018)은 PM<sub>10</sub>과 TSP 농도가 첫 사료 급여 시간인 07:00에 가장 높게 나타났다고 하였다. 본 연구에서도 24시간 동안 측정된 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 농도의 변화를 살펴본 결과, 관리자가 사료를 주기 위해 출입하는 시간(AM 05:00~06:00, AM 10:00~12:00, PM 14:00~16:00)에 높게 나타났으며, 닭들이 쉬는 시간인 22:00부터 04:00까지는 세 가지 사육형태 모두 낮게 나타났다. 그러나 NH<sub>3</sub> 농도는 관리자의 출입과 관계없이 시간이 지날수록 높아졌으며, 이는 계사 내부의 계분이나 깔짚 상태로 NH<sub>3</sub> 농도가 결정되기 때문이

라 사료된다.

축사 및 계사에서 배출되는 대기 오염 물질은 주변 환경, 생태계 및 주변 지역에 사는 주민들에게 부정적인 영향을 미칠 수 있다(NRC, 2003). Shin et al.(2017)은 황산암모늄과 질산암모늄과 같은 에어로졸은 대기 중 체류시간이 약 15일 정도로 장기간 대기 중에 머무르면서 오염원이 된다고 하였다. 본 연구에서 일 평균 PM( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ )과  $NH_3$  농도를 살펴본 결과, 계사 내부에 비해 계사 주변에서 측정된 농도는 훨씬 낮았으며, ME(2021)에서 제시한 PM( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ )의 정상 범위로 나타났다. 본 연구의 결과는 이전의 연구들과는 다르게 계사에서 발생하는 PM( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ )은 계사 주변에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

## 적 요

본 연구는 산란계사 사육형태별 봄철의 미세먼지(PM) 및 암모니아( $NH_3$ ) 배출 농도를 측정하기 위해 수행하였다. 평사, Aviary 그리고 Cage 계사에서 미세먼지 및 암모니아 농도를 3~5월 동안 2주 간격으로 3회(24시간/회) 측정하였다.  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도는 24시간 동안 유사한 경향을 보였으며, 22:00부터 04:00까지 낮게 나타났다. 평사와 케이지 계사의 PM( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) 농도는 유사하게 나타났으며, 일일 편차도 심하게 보이지 않았다. 평사 계사에서는 중앙과 끝에서 24시간 동안 측정된  $NH_3$  농도가 일정하게 나타났다. 측정 위치와 관계없이 평사에서  $NH_3$  농도가 가장 낮게 나타났다. 평사와 Aviary 계사에서는 중앙보다 끝에서 측정된  $NH_3$  농도가 더 높았으나, 케이지 계사에서는 끝에서 측정된  $NH_3$  농도가 더 낮았다. 계사 주변의  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도는 각각  $57.5 \mu g/m^3$ 와  $34.0 \mu g/m^3$ 이었다. 일평균  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$  농도는 Aviary 계사에서  $4,730 \mu g/m^3$ 와  $447.7 \mu g/m^3$ 로 가장 높았다. 계사 중앙과 끝의  $NH_3$  농도는 케이지 계사에서 12.0 ppm과 9.31 ppm으로 가장 높았다.  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 배출계수는 케이지에서 가장 낮았으며,  $NH_3$ 의 배출계수는 가장 높았다( $P>0.05$ ). 결론적으로, PM( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) 농도는 Aviary 계사에서,  $NH_3$  농도는 Cage 계사에서 각각 높게 나타났다. (색인어: 산란계, 사육형태, 미세먼지, 암모니아, 봄철)

## 사 사

본 연구는 2021년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업과 농촌진흥청의 공동연구사업(과제번호:

PJ01529103)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## ORCID

Eui-Chul Hong	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1982-2023">https://orcid.org/0000-0003-1982-2023</a>
Bo-Seok Kang	<a href="https://orcid.org/0000-0002-3438-8379">https://orcid.org/0000-0002-3438-8379</a>
Hwan-Ku Kang	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4286-3141">https://orcid.org/0000-0002-4286-3141</a>
Jin-Joo Jeon	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7585-4746">https://orcid.org/0000-0001-7585-4746</a>
Are-Sun You	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7258-2626">https://orcid.org/0000-0001-7258-2626</a>
Hyun-Soo Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8887-1318">https://orcid.org/0000-0001-8887-1318</a>
Ji-Seon Son	<a href="https://orcid.org/0000-0002-5285-8186">https://orcid.org/0000-0002-5285-8186</a>
Hee-Jin Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6959-9790">https://orcid.org/0000-0002-6959-9790</a>
Yeon-Seo Yun	<a href="https://orcid.org/0000-0001-6950-0415">https://orcid.org/0000-0001-6950-0415</a>

## REFERENCES

- Becker A, Vanhooser S, Swartzlander J, Teeter R 2004 Atmospheric ammonia concentration effects on broiler growth and performance. *J Appl Poult Res* 13(1):5-9.
- Bonifacio HF, Maghirang RG, Trabue SL, McConnell LL, Pruegar JH, Bonifacio ER 2015 TSP,  $PM_{10}$ , and  $PM_{2.5}$  emissions from a beef cattle feedlot using the flux-gradient technique. *Atmos Environ* 101:49-57.
- Cambra-López MA, Torres AG, Aarnink AJA, Ogink NWM 2011 Source analysis of fine and coarse particulate matter from livestock houses. *Atmos Environ* 45(3):694-707.
- 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.
- Donham KJ, Scallon LJ, Popendorf W, Treuhaff MW, Roberts RC 1986 Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 47(7):404-410.
- Fabbri C, Valli L, Guarino M, Costa A, Mazzotta V 2007 Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. *Biosyst Eng* 97(4):441-455.
- Hong EC, Kang BS, Kang HK, Jeon JJ, You AS, Kim HS, Son J, Kim HJ, Kim KY, Yun YS 2021a Concentration of particulate matter and ammonia emitted by breeding type of laying hen houses in winter. *Kor J Poult Sci* 48(1):23-30.

- Hong EC, Kang HK, Jeon JJ, You AS, Kim HS, Son JS, Kim HJ, Yun YS, Kang BS, Kim JH 2021b Studies on the concentrations of particulate matter and ammonia gas from three laying hen rearing systems during the summer season. *J Environ Sci Health B* 56(8):753-760.
- Kassik A, Maasikmets M 2013 Concentrations of airborne particulate matter, ammonia and carbon dioxide in large scale uninsulated loose housing cowsheds in Estonia. *Biosyst Eng* 114(3):223-231.
- Kearney GD, Shaw R, Prentice M, Tutor-Marcom R 2014 Evaluation of respiratory symptoms and respiratory protection behavior among poultry workers in small farming operations. *J Agromed* 19(2):162-170.
- Kristensen HH, Wathes C 2000 Ammonia and poultry welfare: a review. *World's Poult Sci J* 56(3):235-245.
- Lee SH, Yun NK, Kim KW, Lee IB, Kim TI, Chang JT 2006 Study on ammonia emission characteristic of pig slurry. *J Lives Hous & Env* 12(1):7-12.
- MAFRA 2019 "By 2022, the emission of PM and NH<sub>3</sub> on the agricultural and livestock sector will be reduced by 30%." Announcement of measures to reduce PM in each agricultural and livestock sector. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- ME 2016 "You will see it right away. PM, what on earth is?" Ministry of Environment.
- ME 2021 Particulate Matter Detailed Measurement Information. Ministry of Environment.
- Michiels A, Piepers S, Ulens T, Van Ransbeeck N, Sacristán RDP, Sierens A, Haesebrouck F, Demeyer P, Maes D 2015 Impact of particulate matter and ammonia on average daily weight gain, mortality and lung lesions in pigs. *Prev Vet Med* 121(1-2):99-107.
- Miles D, Miller W, Branton S, Maslin W, Lott B 2006 Ocular responses to ammonia broiler chickens. *Avian Dis* 50(1):45-49.
- Mostafa E 2012 Air-Polluted with Particulate Matters from Livestock Buildings. Pages 287-312 in *Air Quality-New Perspective*. Intech, Winchester, England.
- Mostafa E, Nannen C, Henseler J, Diekmann B, Gates R, Buescher W 2016 Physical properties of particulate matter from animal houses-empirical studies to improve emission modelling. *Environ Sci Pollut Res* 23(12):12253-12263.
- Nemer M, Sikkeland LI, Kasem M, Kristensen P, Nijem K, Bjertness E, Skare Ø, Bakke B, Kongerud J, Skogstad M 2015 Airway inflammation and ammonia exposure among female Palestinian hairdressers: a cross-sectional study. *Occup Environ Med* 72(6):428-434.
- Puma M, Maghirang R, Hosni M, Hagen L 1999 Modeling of dust concentration distribution in a simulated swine room under non-isothermal conditions. *T ASAE* 42(6):1823-1832.
- Radon K, Weber C, Iversen M, Danuser B, Pedersen S, Nowak D 2001 Exposure assessment and lung function in pig and poultry farmers. *Occup Environ Med* 58(6):405-410.
- Robarge WP, Walker JT, McCulloch RB, Murray G 2002 Atmospheric concentrations of ammonia and ammonium at an agricultural site in the southeast United States. *Atmos Environ* 36(10):1661-1674.
- Roumeliotis TS, Van Heyst BJ 2007 Size fractionated particulate matter emissions from a broiler house in Southern Ontario, Canada. *Sci Total Environ* 383(1-3):174-182.
- Shen D, Wu S, Dai PY, Li YS, Li CM 2018 Distribution of particulate matter and ammonia and physicochemical properties of fine particulate matter in a layer house. *Poult Sci* 97(12):4137-4149.
- 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):229-236.
- 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.
- Takai H, Pedersen S, Johnsen JO, Metz J, Koerkamp PG, Uenk G, Phillips V, Holden M, Sneath R, Short J 1998 Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 70(1):59-77.
- Xin H, Gates RS, Green AR, Miloehner FM, Moore Jr PA, Wathes CM 2011 Environmental impacts and substantiality of egg production system. *Poult Sci* 90(1):263-277.

Yang W, Guo M, Liu G, Yu G, Wang P, Wang H, Chai T  
2018 Detection and analysis of fine particulate matter and  
microbial aerosol in chicken houses in Shandong province,  
China. *Poult Sci* 97(3):995-1005.

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 Aug. 25, 2021, Revised Aug. 31, 2021, Accepted Sep.  
23, 2021