

## 밀폐식 산란계사의 미세먼지, 암모니아 배출농도 및 배출계수 조사

홍의철<sup>1\*</sup>, 김현수<sup>1</sup>, 손지선<sup>1</sup>, 김희진<sup>1</sup>, 이우도<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>국립축산과학원 가금연구소, <sup>2</sup>국립축산과학원 동물복지팀

### Investigation of Particulate Matter and Ammonia Emission Concentrations and Emission Factors from Closed-Type Laying Hen House

Eui-Chul Hong<sup>1\*</sup>, Hyun-Soo Kim<sup>1</sup>, Jiseon Son<sup>1</sup>, Hee-Jin Kim<sup>1</sup>, Woo-Do Lee<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science  
<sup>2</sup>Animal Welfare Research Team, National Institute of Animal Science

**요약** 본 연구는 산란계사를 대상으로 계절별 미세먼지(PM) 및 암모니아(NH<sub>3</sub>) 배출 농도를 실시간으로 측정하고 이들의 배출계수를 산정하기 위하여 수행되었다. PM 및 NH<sub>3</sub> 농도는 Vera test protocol에 따라 측정되었다. 측정 기간은 1년 동안 월 1회씩(연속 168시간/회) 5분 간격으로 측정되었으며, 측정 위치는 계사의 입기구와 환기팬 근처에서 측정하였다. PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도는 여름철에 각각 80.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 11.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮게 나타나는 경향이였으며, 여름에서 가을로 혹은 겨울에서 봄으로 계절이 바뀌는 환절기에 PM 농도가 변화되었다. 11월부터 1월까지 입기구의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 농도는 각각 PM<sub>10</sub> 346.1~581.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM<sub>2.5</sub> 79.8~128.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 시기에 비해 높았으며, 이 시기에는 입기 농도와 배출농도가 큰 차이를 보이지 않았다. NH<sub>3</sub>의 입기 농도는 모든 시기에서 0 ppm 이었으며, 배출농도는 8월에 가장 높았다. PM<sub>10</sub> 배출계수는 11~1월에 낮게 나타났으며, PM<sub>2.5</sub> 배출계수는 12월과 6~8월에 낮게 나타났다. NH<sub>3</sub> 배출계수는 6월에 낮게 나타났다. 본 연구의 연간 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub>의 배출계수는 각각 0.014 kg/head/y, 0.0021 kg/head/y, 0.158 kg/head/y로 나타났다.

**Abstract** This study measured the seasonal particulate matter (PM) and ammonia (NH<sub>3</sub>) emission concentrations of laying hen houses to calculate the emission factors. The PM and NH<sub>3</sub> concentrations were measured according to the Vera test protocol. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations tended to be low in the summer at 80.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 11.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively, and the concentrations changed when the season changed from summer to fall or winter to spring. From November to January, the PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations at the inlet were 346.1-581.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 79.8-128.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively, which was higher than at other times, and there was no significant difference in concentration between the inlet and exhaust during this period. The inlet NH<sub>3</sub> concentration was 0 ppm in all periods, and the emission concentration was highest in August. The PM<sub>10</sub> emission factor was low from November to January, and the PM<sub>2.5</sub> emission factor was low in December and from June to August. The NH<sub>3</sub> emission factor was low in June. The annual emission factor of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and NH<sub>3</sub> in this study were 0.014 kg/head/y, 0.0021 kg/head/y, and 0.158 kg/head/y, respectively.

**Keywords** : Laying Hen House, Particulate Matter, Ammonia, Emission Concentration, Emission Factor

본 논문은 2023년 전문연구원 지원사업 및 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01670802)의 지원에 의해 이루어진 것임.

\*Corresponding Author : Eui-Chul Hong(Nationa Institute of Animal Science)

email: drhong@korea.kr

Received February 6, 2024

Revised March 11, 2024

Accepted April 5, 2024

Published April 30, 2024

## 1. 서론

계사에서 발생하는 미세먼지(PM) 및 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 닭과 관리인의 건강에 영향을 미칠 수 있다. NH<sub>3</sub>은 분변 및 요산이 미생물에 의해서 분해되면서 생성되며, 호흡기와 눈 등의 건강을 손상시킨다. 특히, 계사 내부의 NH<sub>3</sub> 수준이 25 ppm 이상인 경우, 증체량과 사료효율이 감소한다[1]. PM은 지름이 10 μm 이하인 PM<sub>10</sub> 그리고 직경이 2.5 μm 이하인 PM<sub>2.5</sub>으로 구분된다[2]. 계사에서 발생하는 PM은 닭과 관리자의 호흡기 질병을 유발시키며, 특히, PM<sub>2.5</sub>는 호흡기를 통해 폐포까지 침투한다[3,4].

환경부의 대기오염물질 배출량 보고서를 보면, NH<sub>3</sub> 배출량의 76.5% 정도가 농업에서 유래되고 있으며, 중분류 수준에서 비료사용농지, 분뇨관리로 구분되나, PM 배출량에 대해서는 자료가 없다[5].

‘분뇨관리’는 가축의 분뇨관리 시에 발생하는 암모니아 배출량을 산정하는 부문이다. 환경부의 대기정책지원 시스템(CAPSS: Clean Air Policy Support System, 이하 CAPSS)에서는 ‘분뇨관리’에서 총 9개의 배출원으로 구분하고 있으며, 이 중 소와 돼지는 국내에서 개발된 배출계수를 사용하고 있다. 반면, 닭의 경우에는 측정된 사례가 거의 없으므로, 유럽의 CORINAIR(Core Inventory AIR)[6] 자료를 그대로 사용하고 있다[7].

국내와는 다르게 해외에서는 PM 및 NH<sub>3</sub>의 배출농도에 관한 연구가 꾸준히 이어져 왔다[1,9-14]. 특히, 네덜란드, 독일, 덴마크에서 축산시설 및 부대시설의 배출계수의 산정을 위한 가이드라인으로 제작한 Vera test protocol은 시험 대상 시설의 선정 기준, 오염물질별 측정 방법, 배출계수 산정 수식을 담고 있다[7,8].

본 연구는 국내 산란 농가의 계사를 대상으로 계절별 PM 및 NH<sub>3</sub> 배출 농도를 실시간으로 측정하고 이들의 배출계수를 산정하여 국내 실정에 맞는 산란계 배출계수를 정립하고자 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 PM 및 NH<sub>3</sub> 배출농도 측정

현재 국내에서는 계사 내부의 PM이나 NH<sub>3</sub>의 배출농도를 측정하기 위한 실험방법이 확립되지 않아 PM 및 NH<sub>3</sub>의 배출농도 측정 농가 선정과 실험방법은 VERA test protocol에 따라 수행되었다[7,8].

### 2.1.1 측정 대상

측정을 위한 산란 농가는 강원도 횡성에 있는 18만 수 규모의 농가를 선정하였으며, 측정에 이용된 계사는 4열 8단 케이지 계사로 사육 수수는 약 50,000수였다. Table 1은 VERA test protocol에서 제시하는 산란계사의 선정 조건을 나타낸 것이다.

Table 1. Agronomic requirements for laying hens

Criterion	Vera protocol	This study
Animal occupation rate of test compartment at all measurement days (%)	80-100 %	80-100 %
Minimum number of animals in test compartment	750	50,000
Minimal period of use of housing system before testing	2 months	more than 2 months

(International VERA Secretariat, 2018)

### 2.1.2 PM 및 NH<sub>3</sub> 측정

Vera test protocol에서는 PM 및 NH<sub>3</sub> 농도를 시간 대별로 24시간 측정되어야 한다고 제시하였다[8]. 따라서, 본 연구에서는 24시간 연속으로 측정할 수 있도록 PM 농도는 광산란 방식인 Environmental Dust Counter (EDM164, GRIMM Aerosol Technik Co., Germany)를 이용하였으며, NH<sub>3</sub> 농도는 전기화학식 센서를 이용한 암모니아 가스 측정기(MultiRAE, RAE Systems Inc., USA)로 측정하였다. 측정 기간은 1년 동안 월 1회(연속 168시간/회) 5분 간격으로 측정되었으며, 측정 위치는 계사의 입기구와 환기팬 근처에서 높이에 맞춰 측정하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 계사 내부의 PM 및 NH<sub>3</sub> 농도의 측정 위치와 측정 방법을 나타낸 것이다. NH<sub>3</sub> 측정 농도의 단위를 환산하기 위해 온도 및 습도를 측정하였으며, 배출계수 산정을 위해 5분 간격으로 환기량을 측정하였다.

- Measured location for PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub>
- ▲ Measure location for Air temperature, Relative humidity

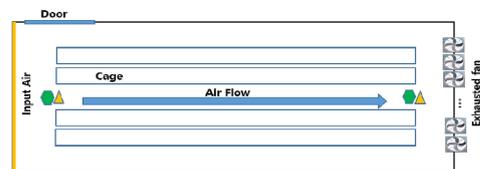


Fig. 1. Schematic of measure points in layer house



Fig. 2. Measurement of PM and NH<sub>3</sub> emissions  
(a) Input Air measuring (b) Output Air measuring (near exhausted fan)

국내에서 12~2월은 조류 인플루엔자나 구제역 등으로 인하여 특별 방역 기간으로 지정한 시기이다. 본 연구의 시험 기간에는 농장주와 상의하여 1월까지의 농가의 측정이 가능하였으나, 조류 인플루엔자 발생으로 특별 방역 기간이 4월까지 연장이 되면서 방역 문제로 출입자 통제를 엄격히 하므로 PM 및 NH<sub>3</sub> 농도 측정을 할 수 없었다. 따라서, 특별 방역 기간 전후에 측정 횟수를 늘려 산란계사의 데이터 수집이 충분하게 하였다.

2.1.3 PM 및 NH<sub>3</sub> 배출계수 산정

본 연구의 PM 및 NH<sub>3</sub> 배출계수는 측정된 배출농도를 이용하여 Eq. (1)에 의해 산정되었으며, 1년 동안 산란계 1수가 배출하는 값으로 나타내었다.

$$E_i = \Sigma \frac{(C_{in} - C_{out}) \times Q}{1,000 \times n} \quad (1)$$

Where, E<sub>i</sub> emissions factor (g/head/y), C<sub>in</sub> input pollutant concentration (mg/m<sup>3</sup>), C<sub>out</sub> output pollutant concentration (mg/m<sup>3</sup>), Q ventilation amount (m<sup>3</sup>/h), n a number of laying hens

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 계절별 온습도 및 환기량

Table 2는 측정 농가의 계절별 온습도 및 환기량을 나타낸 것이다. 봄철에서 여름철로 전환되는 5~8월 사이에는 온도가 높아지고 습도가 상승하였으며, 이에 따라 이 시기에는 농가에서 환기량을 최대로 증가시켰다. 반면, 겨울철(12~1월)은 온도가 낮고 습도도 다른 계절에 비해 낮음에 따라 계사의 환기는 최소 환기로 관리되었다.

Table 2. Measurement results of temperature, humidity, and ventilation amount (V.A.)

Date (yy.mm.)	Season	Temp. (°C)	Hum. (%)	V.A. (cfm)
'22.9.	Autumn	23.2	68.9	17.733
10		18.6	61.2	17.733
11		18.0	55.5	12.666
12	Winter	17.7	57.4	7.600
'24.1.		15.6	56.2	7.066
5	Spring	25.1	75.8	20.266
6	Summer	27.4	78.3	94.577
7		27.8	79.3	121.600
8		28.4	80.5	121.600

V.A., ventilation amounts.

2.2.2 PM 및 NH<sub>3</sub> 배출농도

본 연구에서 측정된 월별 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 농도는 Table 3과 4에 나타내었다. 여름철(6~8월) PM<sub>10</sub>의 입기 농도는 17.6~33.7 μg/m<sup>3</sup>로 3달 동안 유사하였으나, 배출 농도는 80.0~330.8 μg/m<sup>3</sup>로 월별로 차이가 크게 나타났다. PM<sub>2.5</sub>의 농도 또한 PM<sub>10</sub> 농도입기는 16.8~23.5 μg/m<sup>3</sup>로 유사하지만, 배기는 11.3~73.5 μg/m<sup>3</sup>로 큰 차이를 보였다. 월별 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 농도는 환절기에 환기량이 조절되면서 변화되었다. 최소 환기로 관리되는 11~1월의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 입기 농도는 각각 346.1~581.1 μg/m<sup>3</sup>과 79.8~128.0 μg/m<sup>3</sup>이였으며, 배출농도는 각각 336.0~634.3 μg/m<sup>3</sup>과 54.7~141.4 μg/m<sup>3</sup>이었다. 이 시기에는 PM의 입기 농도와 배출농도 사이에서 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 3. Measurement results of PM<sub>10</sub> at the experimental layer house (Unit: μg/m<sup>3</sup>)

Date (yy.mm.)	Season	Input	Output
'22.9.	Autumn	24.0	742.1
10		103.4	514.4
11		581.1	634.3
12	Winter	346.1	402.5
'24.1.		348.7	336.0
5	Spring	46.9	624.9
6	Summer	33.7	330.8
7		19.3	141.8
8		17.6	80.0
Average		168.9	423.0

Table 4. Measurement results of PM<sub>2.5</sub> at the experimental layer house (Unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Date (yy.mm.)	Season	Input	Output
'22.9.	Autumn	13.3	212.5
10		31.9	78.5
11		128.0	141.4
12		79.8	62.7
'24.1.	Winter	84.4	54.7
5	Spring	20.8	86.1
6	Summer	23.5	73.5
7		12.9	42.4
8		16.8	11.3
Average		45.7	84.8

환기는 계사 내외부의 공기를 교환하는 중요 관리방식이다. 환기는 일반적으로 음압 시스템으로 조절되며, 배기 팬으로 공기를 내보내면 계사 내에서 부분적인 진공이 생성되면서 외부의 신선한 공기가 내부로 들어오게 된다[15]. 본 연구에서 11월에서 1월까지의 배출농도가 큰 차이를 보이지 않는 것은 최소 환기로 사육하기 때문으로 사료된다. 즉, 최소 환기를 이용하면 외부로 나가는 공기가 적어져서 내부로 들어오는 공기도 적어지게 된다.

여름철(6~8월) PM<sub>10</sub>의 입기 농도에 비해 배출 농도의 차이가 크게 나타난 이유는, 계사 내부의 온도가 상승하기 시작하는 6월부터 환기량을 늘려주어 PM<sub>10</sub>의 배기 농도가 높아지지만, 시간이 지남에 따라 계사 내부에 잔류하는 PM<sub>10</sub> 함량이 줄어들어 배기 농도가 낮아지기 때문으로 사료된다.

본 연구의 연간 평균 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 배출 농도는 각각 423.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 84.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, [1]의 결과 (590  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )와 차이를 보였다. PM<sub>2.5</sub> 배출 농도는 배출원에서 직접 배출될 뿐만 아니라 황산화물, 질소화합물 등이 암모니아 또는 오존과 반응하여 발생한다[16]. 이런 이유로 본 연구의 결과에서 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 배출 양상이 달라지는 것이라 사료된다.

PM를 측정하는 방법으로는 증량법과 간접적인 광산란법이 있다. 최근까지 PM을 측정하는 일반적인 방법은 증량법을 사용하는 것이었다. 증량법은 PM의 무게를 직접 칭량하기 때문에 정확한 질량을 알 수 있는 장점이 있으나, 오랜 시간 동안 시료를 포집해야 해서 실시간으로 측정할 수 없는 단점이 있다[17]. 반면, 광산란법은 대기 중 농도를 실시간으로 파악할 수 있으나, 입자의 밀도에 따라 측정 결과가 큰 차이를 보인다[18]. 또한, 광산란법

이 증량법에 비해 높게 측정된다는 연구 결과도 있다 [17,19]. 이들의 결과는 도시의 대기를 대상으로 한 연구로서 축사에서 발생하는 PM 농도와는 차이가 있을 수 있으나, 추후 증량법을 추가로 측정하여 본 연구의 결과를 보정할 필요가 있다고 사료된다.

본 연구에서 측정된 월별 NH<sub>3</sub> 농도는 Table 5에 나타내었다. 입기 농도는 연평균 0 ppm으로 외부에서 계사 내부로 들어오는 암모니아는 없었으며, 이런 결과는 암모니아 가스가 계사 내부에서 발생하는 것으로 추정된다. NH<sub>3</sub> 배출농도는 8월에 12.1 ppm으로 가장 높았다. 이는 여름철에 계사 내부의 고온으로 인하여 환기량이 많아지면서 공기 중 암모니아 가스가 다량 배출되기 때문으로 사료된다.

Table 5. Measurement results of NH<sub>3</sub> at the experimental layer house (Unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Date (yy.mm.)	Season	Input	Output
'22.9.	Autumn	0.0	5.49
10		0.0	6.38
11		0.0	6.21
12		0.0	4.90
'24.1.	Winter	0.0	4.47
5	Spring	0.0	3.52
6	Summer	0.0	1.58
7		0.0	7.36
8		0.0	12.1
Average		0.0	5.78

### 2.2.3 PM 및 NH<sub>3</sub> 배출계수

본 연구에서 산정된 PM(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 및 NH<sub>3</sub> 배출계수는 Table 6에 나타내었다. PM<sub>10</sub> 배출계수는 11~1월에 낮게 나타났으며, PM<sub>2.5</sub> 배출계수는 12월과 6~8월에 낮게 나타났다. NH<sub>3</sub> 배출계수는 6월에 낮게 나타났다.

배출계수는 입기와 배기 시의 농도 차이로 결정된다 [8]. 배출계수가 낮게 나타난 것은 입기와 배기의 농도가 크지 않기 때문으로 사료된다. 그러나, PM<sub>2.5</sub>는 앞에서 언급한 바와 같이, 배출원에서 배출될 뿐만 아니라 황산화물, 질소화합물 등이 암모니아 또는 오존과 반응하여 발생하므로[15], 입기에 비해 배기 농도가 높아지며, NH<sub>3</sub>의 배출계수는 입기 시의 농도가 0 ppm이므로, 배기 농도가 입기 농도의 영향을 받는 PM<sub>10</sub> 배출계수와는 다른 유형을 보이고 있다. 또한, 앞에서 언급한 바와 같이 PM<sub>2.5</sub>은 배출원에서 배출될 뿐만 아니라 황산화물,

질소화합물 등이 암모니아 또는 오존과 반응하여 발생하므로[16] PM<sub>10</sub>과는 다른 유형을 보이는 것으로 사료된다.

Table 6. Emission factors of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and NH<sub>3</sub> at the experimental layer house

(Unit: kg/head/y)

Date (yy.mm.)	Season	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
'22.9.	Autumn	0.028	0.0018	0.150
10		0.016	0.0014	0.174
11		0.002	0.0079	0.169
12	Winter	0.002	-0.0015	0.134
'24.1.		0.000	0.0078	0.122
5	Spring	0.016	0.0018	0.096
6	Summer	0.008	0.0005	0.043
7		0.033	-0.0005	0.201
8		0.017	-0.0008	0.331
Average		0.014	0.0021	0.158

CORINAIR에서는 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub>의 배출계수를 각각 0.04 kg/head/y, 0.003 kg/head/y, 0.2 kg/head/y로 제시하고 있으며, US EPA에서는 NH<sub>3</sub> 배출계수를 0.25로 제시하고 있다. 본 연구의 연간 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub>의 배출계수는 각각 0.014 kg/head/y, 0.0021 kg/head/y, 0.158 kg/head/y로 이들 결과보다 낮게 나타났다. 이런 결과들은 국내 산란계 농가의 환기량이 외국에 비해 많기 때문으로 사료된다.

### 3. 결론

본 연구에서는 국내 산란계사를 대상으로 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub>의 입기 농도와 배출농도를 측정하고 배출계수를 산정하였다. 배출농도에 관한 결과를 보면, PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub>의 배출 양상이 다르게 나타났다. 이는 PM<sub>2.5</sub>가 배출원에서 배출되는 것 외에 암모니아에 의해 생성되기도 해서 발생하는 결과라고 사료된다. 또한, 외국의 연구 사례와 비교하여도 차이가 나타났는데 PM<sub>2.5</sub>의 배출 양상 뿐만 아니라 환기량에서 차이가 있기 때문이라고 사료된다.

본 연구에서는 동절기(11~1월)에 입기와 배기의 농도 차이가 적었다. 이는 겨울철에 최소 환기로 사육하기 때문으로 사료된다. 우리나라와 같이 4계절이 뚜렷한 경우 계절마다 환기 관리가 달라지기 때문에 외국의 자료와 차이를 보일 수 있다.

현재 국내에서는 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 및 NH<sub>3</sub> 배출계수의 고

유값이 부재하며, CORINAIR 값을 그대로 사용하고 있다. 본 연구의 PM<sub>10</sub> 및 NH<sub>3</sub> 배출계수는 CORINAIR 값보다 낮게 나타났으며, PM<sub>2.5</sub> 배출계수는 유사하게 나타났다. 추후 추가적인 배출농도 측정을 통하여 국내 고유 배출계수 산정이 이루어질 것으로 기대된다.본문의 내용 중 연구의 핵심 결론과 논점을 기술한다.

### References

- [1] Y. Zhao, T. A. Shepherd, H. Li, H. Xin, "Environmental assessment of three egg production systems-Part I: Monitoring system and indoor air quality", *Poultry Science*, Vol.94, No.3, pp.518-533, March 2015. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/peu076>
- [2] H. F. Bonifacio, R. G. Maghirang, S. L. Trabeu, L. L. McConnell, J. H. Pruegar, E. R. Bonifacio, "TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> emission from a beef cattle feedlot using the flux-gradient technique", *Atmospheric Environment*, Vol.101, pp.49-57, Jan. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.017>
- [3] K. J. Donham, L. J. Scallon, W. Pependorf, M. W. Treuhaft, R. C. Roberts, "Characterization of dusts collected from swine confinement buildings", *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol.47, No.7, pp.404-410, Jun. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/15288668691389955>
- [4] K. Radon, C. Weber, M. Iversen, B. Danuser, S. Peterson, D. Nowak, "A functional failure reasoning methodology for evaluation of conceptual system architecture", *Research in Engineering Design*, Vol.21, No.4, pp.209-234, Oct. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00163-010-0086-1>
- [5] National Institute of Environmental Research, National air pollutant emissions calculation method manual(V), 2022.
- [6] CORINAIR, EMEP/CORINAIRAtmospheric emission inventory guidebook - second edition 1999, group 10.
- [7] International VERA Secretariat, "VERA test protocol for livestock housing and management systems", Version 3, 2018-09.
- [8] D. H. Jang, K. Y. Yang, K. S. Kwon, J. B. Kim, T. H. Ha, Y. N. Jang, "Investigation on generation and emission of particulate matters and ammonia from mechanically-ventilated layer house", *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.64, No.1, pp.99-110, Jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5389/KSAE.2022.64.1.99>
- [9] B. F. Pain, T. J. van der Weerden, B. J. Chambers, V. R. Phillips, S. C. Jarvis, "A new inventory for ammonia emissions from U.K. agriculture", *Atmospheric Environment*, Vol.32, No.3, pp.309-313, Feb. 2010. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00352-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00352-4)

[10] T. S. Roumeliotis, B. J. Heyst, "Summary of ammonia and particulate matter emission factors for poultry operations", *Journal of Applied Research*, Vol.17, No.2, pp.305-314, July 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00073>

[11] H. Li, H. Xin, R. T. Burns, S. J. Hoff, J. D. Harmon, L. D. Jacobson, S. L. Noll, "Effects of bird activity, ventilation rate and humidity on PM<sub>10</sub> concentration and emission rate of a turkey barn. In proceedings of Livestock Environment VIII, Iguassu Falls, Brazil, the 31 August - 4 Sep. 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.25487>

[12] T. A. Shepherd, Y. Zhao, H. Li, J. P. Stinn, M. D. Hayes, X. Xin, "Environmental assessment of three egg production systems - Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions", *Poultry Science*, Vol.94, No.3, pp.534-543, March 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/peu075>

[13] M. Prodanov, M. Radeski, V. Ilieski, "Air quality measurements in laying hens housing", *Macedonian Veterinary Review*, Vol.39, No.1, pp.91-95, March 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1015/macvetrev-2016-0071>

[14] D. Shen, S. Wu, P. Y. Dai, Y. S. Li, C. M. Li, "Distribution of particulate matter and ammonia and physicochemical properties of fine particulate matter in a layer house", *Poultry Science*, Vol.97, No.12, pp.4137-4149, Dec. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pey285>

[15] D. A. Alchalabi, "Ventilation System", University of Baghdad, 2015, pp.5-6.

[16] D. W. Shin, H. Joo, E. Seo, C. Y. Kim, "Management strategies to reduce PM-2.5 emissions: Emphasis-ammonia, Korea Environ. Inst., Report No., WP 2017-09, 2017.

[17] J. H. Kim, J. Oh, J. S. Choi, J. Y. Ahn, G. H. Yoon, J. S. Park, "A study on the correction factor of optic scattering PM<sub>2.5</sub> by gravimetric method", *Poultry Science*, Vol.14, No.1, pp.41-47, June 2014.

[18] B. J. Lee, S. S. Park, "Evaluation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations from online light scattering dust monitors using gravimetric and beta-ray absorption methods", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol.35, No.3, pp.357-369, June 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.5573/KOSAE.2019.35.3.357>

[19] L. A. Wallace, A. J. Wheeler, J. Kearney, K. Van Ryswyk, H. You, R. H. Kulka, P. E. Rasmussen, Jeff R. Brook, X. Xu, "Validation of continuous particle monitors for personal, indoor, and outdoor exposures", *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, Vol.21, pp.49-64, Jan. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/jes.2010.15>

홍 의 철(Eui-Chul Hong)

[정회원]



• 2019년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청  
국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

단위가축영양, 축산환경, 동물복지

김 현 수(Hyun-Soo Kim)

[정회원]



• 2016년 10월 ~ 현재 : 농촌진흥청  
국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

가금영양, 가금사양

손 지 선(Jiseon Son)

[정회원]



• 2018년 9월 ~ 현재 : 농촌진흥청  
국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

가금영양, 가금사양

김 희 진(Hee-Jin Kim)

[정회원]



• 2020년 8월 ~ 현재 : 농촌진흥청  
국립축산과학원 박사후연구원

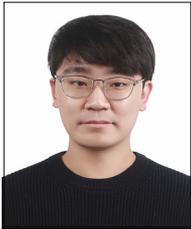
<관심분야>

가금영양, 가금사양, 축산물이용

---

이 우 도(Woo-Do Lee)

[정회원]



• 2022년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청  
국립축산과학원 박사후연구원

<관심분야>

가금영양, 가금사양