

## 국내 계사(鷄舍) 작업장 유형에 따른 분진 농도 및 발생량 분포

김기연†

부산가톨릭대학교 산업보건학과

### Distribution of Concentration and Emission of Dust according to Types of Poultry Buildings in Korea

Ki Youn Kim†

Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan

#### ABSTRACT

**Objectives:** An on-site study was conducted in order to quantify indoor exposure levels and the emission rate of particulate matter for domestic poultry buildings.

**Materials and methods:** Three types of poultry building (caged layer house, broiler house, and layer house with manure belt) as classified by mode of manure treatment and ventilation were investigated in this study. Nine sites per each poultry building were selected and visited for measuring exposure levels and emission rate of particulate matter. Total dust and respirable dust among the particulate matter were analyzed based on the weight method. Emission rates were estimated by dividing emission amount, which was calculated through multiplying indoor concentration ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), by the ventilation rate ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), into indoor area ( $\text{m}^2$ ) and number of poultry reared in the poultry building.

**Results:** Mean exposure levels for total dust and respirable dust in the poultry buildings were  $3.91 (\pm 1.99) \text{ mg}/\text{m}^3$  and  $1.99 (\pm 0.89) \text{ mg}/\text{m}^3$ , respectively. The emission rates of particulate matter in the poultry buildings were estimated as  $4.75 (\pm 1.22) \text{ mg head}^{-1}\text{h}^{-1}$  and  $64.39 (\pm 24.95) \text{ g m}^{-2}\text{h}^{-1}$  for total dust and  $0.58 (\pm 0.23) \text{ mg head}^{-1}\text{h}^{-1}$  and  $7.52 (\pm 2.51) \text{ mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$  for respirable dust, respectively. The distribution patterns for total dust and respirable dust were similar regardless of poultry building type. Among poultry buildings, broiler house showed the highest exposure level and emission rate of total dust and respirable dust, followed by layer house with manure belt and caged layer house.

**Conclusions:** The finding that the broiler house showed the highest exposure level and emission rate of particulate matter can be attributed to sawdust utilized as bedding material, which can be dispersed into the air by movements of the chickens. Thus, a work environmental management solution for optimally reducing dust concentrations is necessary for broiler houses.

**Key words:** Poultry building, dust, exposure level, emission rate

#### I. 서 론

최근 양계 산업의 경우 한정된 공간에서 집약적이고 기업화된 형태로 전환됨에 따라 발생하는 환경오

염과 건강보건학적 문제들에 대한 관심과 규제가 국내외적으로 한층 증가되고 있는 실정이다. 특히 본 연구과제에서 다루고자 하는 계사(鷄舍) 유래 공기 오염물질은 매우 광범위한 분야에 걸쳐 영향을 미칠

†Corresponding author: Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan, 57 Oryundae-ro Geumjeong-gu, Busan 46252, Tel: +82-51-510-0635, E-mail: kky5@cup.ac.kr

Received: 06 February 2017, Revised: 10 June 2017, Accepted: 15 June 2017

수 있기 때문에 그에 대한 대책이 어렵고 시급한 상황이라 할 수 있다.

계사에서 방출된 공기오염물질은 거시적 관점에서 오존층파괴에 의한 지구 온난화의 가속 (Wathes 등, 1997; Hospido와 Sonesson, 2005; Adrizal 등, 2008), 조류독감 바이러스 등의 질병 유발 인자의 공기 전염 확산 (Alexander 2000; Kim 등, 2006; Karlsson 등, 2007; Mayer 등, 2008)을 야기할 수 있다. 미시적 관점에서는 닭의 생산성 저하 (Demmers 등, 2003; Carey 등, 2004; Rodenburg 등, 2005), 인근 주변 지역의 악취 민원 증가 (Hilliger 등, 1971; Hayes 등, 2006; Tymczyna 등, 2007), 양계업 종사자의 흡입 노출로 인한 천식, 비염, 기관지염 등의 호흡기계 질환 등을 유발할 수 있다 (Wathes 등, 1997; Chang 등, 2001; Venter 등, 2004).

공기오염물질 중 계사 작업장에서 발생하는 분진은 사료나 건조화된 분뇨에서 유래하는 유기성 입자로 실내 환기 상태나 사료 투입 작업 방식에 따라 차이는 있지만, 5  $\mu\text{m}$  이하의 입자들의 수가 전체 입자 수의 70~95%를 차지한다는 연구 보고가 있다 (Ullman 등, 2004). 그리고 고농도의 분진 노출은 양계업 종사자들에게 유기분진 독성 증후군(Organic dust toxic syndrome, ODTs), 농부폐증, 직업성 알레르기 등 여러 유형의 호흡기계 질환을 유발하는 것으로 국외 많은 역학 연구들에 의해 이미 보고된 바 있다 (Thelin 1984; Radon et al., 2001; Pavicic et al., 2010). 따라서 양계업 종사자들은 상당한 양의 호흡성 분진에 노출되고 있음을 추정할 수 있으며, 호흡기 질병의 발병 가능성을 동시에 내포하고 있다.

하지만 기존에 수행되었거나 보고된 축산업 관련 작업환경 평가에 관한 국내 연구들은 대부분 돈사 작업장을 대상으로 수행되었다 (김 등, 2005; 김 등, 2006). 또한 우리나라의 사계절 기후 특성을 고려하지 못하고 일부 계절에만 국한하여 수행되었기 때문에 계사 작업장 유형에 따른 공기오염물질의 농도 분포를 객관적으로 파악하기에는 어려움이 있다.

따라서 본 연구의 목적은 입자상 오염물질 중 분진을 대상으로 현장 조사를 통해 우리나라의 계사 작업장 유형에 따른 실내 농도 및 발생량 수준을 분석하여 국내 계사 작업자의 분진 노출 수준을

평가하기 위한 기초 연구 자료를 제공하기 위함이다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

국내 계사 작업장 유형은 닭의 사육 목적(육용 & 산란), 분뇨처리 시스템, 환기 방식에 따라 무창계사 (Caged layer house), 간이계사 (Broiler house), 완전계사 (Layer house with manure belt)로 분류된다. 무창계사는 닭을 케이지(cage)에 가두어 사육하면서 달걀만을 생산하도록 제작된 밀폐형 계사 작업장이고, 간이계사는 치킨 등의 식용 닭을 생산하는 목적으로 톱밥이나 왕겨 등의 깔개 재료(bedding material)을 펼친 바닥 위에 닭들을 방사하여 사육하는 비닐 하우스 형태의 계사 작업장이며, 완전계사는 달걀만을 생산하는 산란계를 입식하여 사육하는 대신 배설되는 분뇨를 벨트 이송으로 처리하는 첨단 방식의 계사 작업장을 말한다. 조사대상 사업장은 전국 9도(경기, 강원, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 제주)에 위치한 계사 작업장을 대상으로 유형별로 각 1개소를 임의로 선정하였다. 조사 시기는 우리나라의 계절 조건을 반영하기 위해 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 설정하여 각 계절별로 현장 방문 조사를 수행하였다. 연구대상 계사 작업장들의 세부 정보는 <Table 1>에 제시한 바와 같다.

### 2. 연구방법

#### (1) 측정 및 분석

분진의 계사 작업장내 농도는 지역시료 형태로 조사대상 각 작업장 중앙에서 1.2 m 상부 지점을 시료 채취 위치로 설정하였다. 시료 채취 전 유리섬유 여과지(37 mm diameter, 0.8  $\mu\text{m}$  pore size, Nuclepore Corp. Pleasanton, CA, U.S.A.)를 데시케이터에서 24 시간 동안 건조시킨 후 미세질량측정기(Ohaus model AP250D, Switzerland)를 통해 여과지의 무게를 측정된 다음 카세트 필터(Nuclepore Corp., Pleasanton, CA, U.S.A.)에 장착한 후 현장에서 작업자의 장기간 노출기간(TWA)인 8시간 동안(오전 9시~오후 5시) 채취하였다. 채취 후 실험실로 운반한 후 채취 여과지를 다시 데시케이터에 24시간 동안 방치한 다음 여과지의 무게를 측정, 시료 채취 전후 여과

**Table 1.** Overview of poultry buildings investigated in this study

No.	Workplace type	Manure treatment	Ventilation		Poultry type	Area (m <sup>2</sup> )	No. of poultry	No. of worker
			mode	mean rate (m <sup>3</sup> /h)				
1	Caged layer house	Scraper	Forced ventilation	0.84	Layer	253	5,060	2
2				1.26		287	5,244	2
3				1.09		239	5,167	2
4				0.77		246	4,934	3
5				1.57		267	5,528	2
6				1.08		292	6,420	2
7				1.43		276	6,517	2
8				1.68		271	6,923	3
9				1.21		284	6,389	2
1	Broiler house	Bedding	Natural ventilation	1.34	Broiler	125	2,503	1
2				0.78		107	2,428	1
3				0.91		132	2,598	1
4				1.16		148	2,706	2
5				1.19		153	2,643	1
6				1.43		161	2,832	2
7				0.86		171	2,734	2
8				1.37		113	2,528	1
9				1.92		128	2,637	1
1	Layer house with manure beltconveyor belt	Manure	Forced/Natural ventilation	0.51	Layer	274	5,853	2
2				1.24		261	5,921	3
3				0.73		243	5,506	3
4				1.06		288	6,238	3
5				0.69		251	5,846	2
6				1.31		264	6,108	2
7				0.89		237	5,347	3
8				1.35		273	6,784	2
9				1.07		231	5,724	2

지의 무게 차이를 이용하여 농도값을 산출하였다. 농도값의 보정을 위해 매 시료 채취마다 2개의 공 시료를 위와 같은 방법으로 측정 후 최종 농도 값을 산정하였다. 공기 흡입 펌프(Model 71G9, Gilian Instrument Corp., Wayne, NJ, U.S.A.)의 유량은 총분진은 2.0 l/min, 호흡성분진은 1.7 l/min로 설정하며, 호흡성 분진의 경우 여과지가 장착된 카세트 앞에 싸이클론(Gillian, Gilian Instrument Corp., Wayne, NJ, U.S.A.)을 부착한 후 시료를 채취하였

다. 또한 측정 전후의 공기 펌프의 유량을 측정하여 시료 채취로 인해 발생하는 유량의 변이를 보정하였다.

(2) 배출계수 산정

총분진과 호흡성분진의 발생량은 계사 작업장의 중앙 1.2 m 상부 지점에서 측정된 농도값에 공기 유량을 곱하여 산출하였다. 유량은 강제환기 방식의 밀폐형 계사의 경우 배기팬 면적에 유속을 곱하여 측정하고, 자연환기 방식의 개방형 계사의 경우 작업

장 내부와 외부의 온도 차이를 근거로 한 열 평형 방법을 적용하여 산출하였다. 배출계수 산정을 위해 조사 대상 각 계사 작업장의 면적과 사육되는 닭의 총 무게를 조사하였다. 계사의 사육 면적은 출자를 가지고 직접 측정하거나 병원균에 의한 공기 전염 확산을 우려할 농가의 경우 농장주에 협조를 의뢰하였다. 닭 무게의 경우 현실적으로 사육되는 닭들의 총 무게를 측정한다는 것은 불가능하기 때문에 이 또한 농장주로부터 자료를 받아 1.5 kg을 닭 한 마리의 무게로 설정한 후 산정하였다. 닭 한 마리의 무게를 1.5 kg으로 설정한 근거는 사양표준에서 동물 단위(Animal Unit; AU) 개념으로 제시하고 있는 기준 수치를 적용하였다. 이러한 조사 결과를 근거로 총분진과 호흡성분진의 배출계수를 단위 마리(수) 및 단위 면적(m<sup>2</sup>) 기준으로 최종 산정하였고, 적용된 산출식은 식 (1)과 (2)와 같다.

○ 강제환기(forced ventilation) 시스템이 적용된 밀폐형 계사 작업장 (식1)

- 배출량 (mg/h) : 시설 내부 농도 (mg/m<sup>3</sup>) × 환기량 (m<sup>3</sup>/h)
- 배출계수 (mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> 또는 mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)  
: 배출량 (mg/h) ÷ 면적 (m<sup>2</sup>) 또는 사육두수 (head)

○ 자연환기 시스템(natural ventilation)이 적용된 개방형 계사 작업장 (식2)

- 배출량 (mg/h)  
: 시설 내부 농도 (mg/m<sup>3</sup>) × 공기 전달율(air transfer rate; m/h) × 시설 면적(m<sup>2</sup>)
- ※ 공기 전달율(air transfer rate; m/h)  
= 1.44 × 10<sup>-4</sup> m/sec
- : based on mass transfer theory, by Reference  
: Cussler, E.L.
- 배출계수 (mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> 또는 mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)  
: 배출량 (mg/h) ÷ 면적 (m<sup>2</sup>) 또는 사육두수 (head)

(3) 통계 처리

계사 작업장에서 지역시료 형태로 측정된 총분진과 호흡성분진 농도에 대해 기하평균 (Geometric mean: GM), 기하표준편차 (Geometric Standard Deviation: GSD), 범위 등을 산출하고, 정규성 검정을 실시하였다. SAS package 프로그램을 이용한

ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법을 통해 계사 작업장 유형에 따른 총분진과 호흡성분진의 실내농도 및 배출계수의 통계적 차이를 입증하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 실내농도 분포

<Fig. 1>에 나타난 바와 같이 계사 작업장 유형별 입자상 오염물질의 농도는 대수 정규분포를 보여 대푯값으로 기하평균과 기하표준편차로 제시하였다. 총분진의 경우 무창계사 3.18(GSD:1.77) mg/m<sup>3</sup>, 간이계사 4.63(GSD:2.24) mg/m<sup>3</sup>, 완전계사 3.92(GSD:1.95) mg/m<sup>3</sup>의 평균 농도 분포를, 호흡성분진의 경우 무창계사 1.53(GSD:1.61) mg/m<sup>3</sup>, 간이계사 2.36(GSD:1.92) mg/m<sup>3</sup>, 완전계사 2.08(GSD:1.74) mg/m<sup>3</sup>의 평균 농도 분포를 나타냈다. 계사 작업장 유형에 상관없이 종합적으로 볼 때 총분진의 평균 농도는 3.91(GSD:1.99) mg/m<sup>3</sup>, 호흡성분진의 평균 농도는 1.99(GSD:1.57) mg/m<sup>3</sup>인 것으로 조사되었다.

분석 결과 계사 작업장 유형별 총분진과 호흡성분진의 농도 분포 양상은 유사한 경향을 나타냈고, 간이계사>완전계사>무창계사 순서로 통계적 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다 (p<0.05). 이와 같이 입자상 오염물질인 총분진과 호흡성분진의 농도가 계사 작업장 유형 중 간이계사에서 가장 높게 나타난 이유는 간이계사의 경우 작업장 바닥에 톱밥을 깔아 육계를 사육하는 방식으로 닭이 움직일 때마다 분뇨가 혼합된 톱밥이 공기 중으로 비산되기 때문이라 추정된다. 따라서 톱밥을 깔개로 사용하지 않는 열립식 케이지형 시스템으로 산란계를 사육하는 무창계사와 완전계사에 비해 상대적으로 분진의 발생

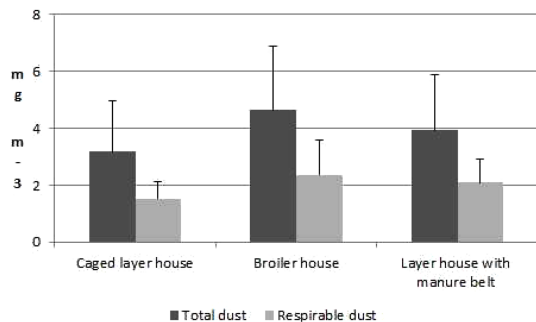


Fig. 1. Mean concentration of total and respirable dust in poultry building

**Table 2.** Seasonal levels of total and respirable dust in poultry building

		Spring		Summer		Autumn		Winter	
		GM <sup>*</sup>	GSD <sup>**</sup>	GM	GSD	GM	GSD	GM	GSD
Total dust (mg/m <sup>3</sup> )	Caged layer house (n=9)	3.23	2.34	2.71	1.82	2.92	1.61	3.86	1.94
	Broiler house (n=9)	4.68	2.03	4.23	1.74	4.34	2.37	5.26	1.51
	Layer house with manure belt (n=9)	3.91	1.51	3.68	1.73	3.85	2.12	4.41	2.36
	Mean (n=27)	3.94	1.63	3.54	2.18	3.65	1.84	4.51	1.83
Respirable dust (mg/m <sup>3</sup> )	Caged layer house (n=9)	1.49	1.58	1.04	1.68	1.33	1.92	2.27	1.82
	Broiler house (n=9)	2.32	1.83	1.66	1.75	2.19	1.86	3.25	1.78
	Layer house with manure belt (n=9)	1.98	1.64	1.32	1.54	1.83	1.73	3.17	2.15
	Mean (n=27)	1.93	1.66	1.34	1.55	1.78	1.56	2.90	1.69

\* : Geometric mean

\*\* : Geometric standard deviation

수준이 높다고 할 수 있다.

<Table 2>는 계절에 따른 계사 작업장 유형별 총분진과 호흡성분진 농도의 대수 정규분포 양상을 보여주고 있다. 총분진과 호흡성분진의 농도 분포는 봄철의 경우 3.23~4.68 mg/m<sup>3</sup>과 1.49~2.332 mg/m<sup>3</sup>, 여름철의 경우 2.71~4.23 mg/m<sup>3</sup>과 1.04~1.66 mg/m<sup>3</sup>, 가을철의 경우 2.92~4.34 mg/m<sup>3</sup>과 1.33~2.19 mg/m<sup>3</sup>, 겨울철의 경우 3.86~5.26 mg/m<sup>3</sup>과 2.27~3.25 mg/m<sup>3</sup>로 조사되었다.

본 연구를 통해 얻어진 측정 데이터 근거서 계절별 총분진과 호흡성분진의 평균 실내 농도는 계사 작업장 유형에 관계없이 겨울철이 가장 높았고 여름철이 가장 낮은 반면(p<0.05), 봄철과 가을철은 유사한 수준(p>0.05)인 것으로 분석되었다. 계절별로 계사 작업장 내 입자상 오염물질 농도에 차이가 나타난 이유는 적용되는 환기량에 의한 것으로 계절별로 총분진과 호흡성분진의 작업장 내부 발생 수준은 유사하나 닭의 적정 사육 온도 및 상대습도를 유지하기 위해 상대적으로 여름철은 높은 환기율, 겨울철은 낮은 환기율, 봄철과 가을철은 중간 수준의 환기율이 적용되어 운용되었기 때문이라 사료된다.

현재 산업안전보건법에서 기타 분진 항목으로 총분진에 대해 10 mg/m<sup>3</sup>의 노출기준을 권고하고 있다. 본 연구를 통해 측정된 계사 작업장의 총분진의 농도 수준은 작업장 유형 및 계절에 상관없이 측정 대상 모두 노출기준 이하인 것으로 조사되었다. 하지만 Donham 등 (2000)은 분진 노출과 계사 작업자들의 호흡기계 질환 발생과의 상관성을 연구하여

이들의 건강 예방을 위해서는 2.4 mg/m<sup>3</sup>의 관리기준이 적용되어야 한다고 제안한 점을 고려한다면 우리나라 계사 작업자의 분진 노출에 따른 호흡기계 질환 발병 위험성은 낮다고 할 수는 없다.

계사 작업장에서 발생하는 입자상 오염물질 중 총분진과 호흡성분진의 실내 농도를 현장 조사한 선행국의 자료를 살펴보면 다음과 같다. 총분진의 경우 Wathes 등 (1997)은 간이계사에 대해 흡입성 분진이 10.1(7-11) mg/m<sup>3</sup>, Guarino 등 (1999)은 무창계사에 대해 흡입성 분진이 0.74-1.94 mg/m<sup>3</sup>, Ellen 등 (2000)은 계사 유형 전체에 대해 흡입성 분진이 0.02-81.33 mg/m<sup>3</sup>, Redwine 등 (2002)은 간이계사에 대해 총분진이 7.4-11.4 mg/m<sup>3</sup>인 것으로 보고하고 있으며, Takai 등 (1998)은 유럽 나라들에 위치한 간이계사와 흡입성 분진에 대해 조사하였는데, 영국의 경우 평균 9.92 mg/m<sup>3</sup>, 네덜란드의 경우 평균 10.36 mg/m<sup>3</sup>, 덴마크의 경우 평균 3.83 mg/m<sup>3</sup>, 독일의 경우 평균 4.49 mg/m<sup>3</sup>인 것으로 보고하였다. 호흡성분진의 경우 Willis 등 (1987)은 간이계사에 대해 평균 7.57 mg/m<sup>3</sup>, Conceicao 등 (1989)은 간이계사에 대해 0.6-1.63 mg/m<sup>3</sup>, Guarino 등 (1999)은 무창계사에 대해 0.22-0.31 mg/m<sup>3</sup>, Ellen 등 (2000)은 계사 유형 전체에 대해 0.01-6.5 mg/m<sup>3</sup>인 것으로 보고하고 있으며, Takai 등 (1998)은 유럽 나라들에 위치한 간이계사에 대해 조사하였는데, 영국의 경우 평균 1.14 mg/m<sup>3</sup>, 네덜란드의 경우 평균 1.05 mg/m<sup>3</sup>, 덴마크의 경우 평균 0.42 mg/m<sup>3</sup>, 독일의 경우 평균 0.63 mg/m<sup>3</sup>인 것으로 보고하였다.

국의 자료 고찰 결과 계사 작업장 유형 중 간이계

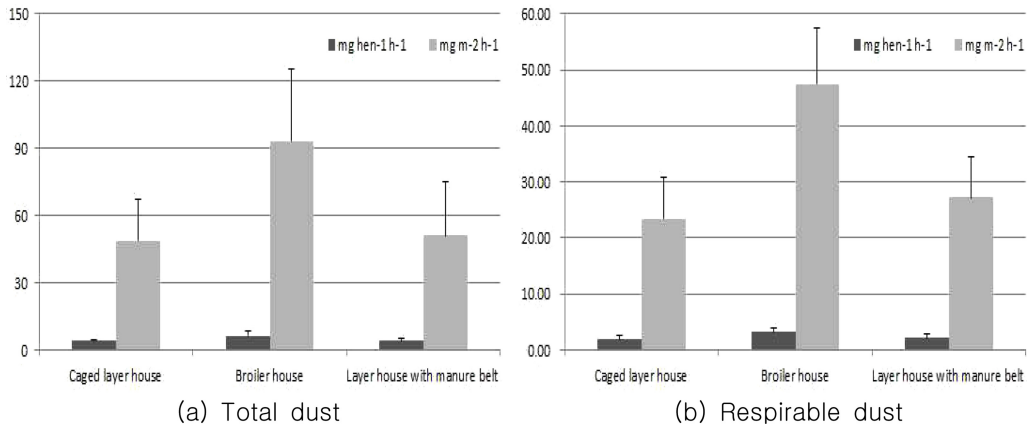


Fig. 2. Mean emission rate of total and respirable dust in poultry building

사를 중심으로 대부분 조사되었고, 총분진 대신 이에 상응하는 흡입성분진 항목에 대해 연구가 주로 수행되었음을 알 수 있었다. 또한 국외 선행 연구 결과들의 경우 입자상 물질의 측정 및 분석을 서로 상이한 방법으로 적용하였고, 흡입성 분진 등 본 연구에서 측정된 입자상 오염물질의 항목과 다르기 때문에 본 측정 결과와 단순하게 수치 비교하는 것은 객관성이 결여되는 점을 고려할 필요가 있다.

2. 배출계수 분포

<Fig. 2>에 제시된 바와 같이 계사 작업장 유형별 입자상 오염물질의 배출계수는 총분진의 경우 무창계사는 3.93(±0.68) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>과 48.68(±18.34) mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, 간이계사는 6.23(±1.95) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>과 93.26(±32.42) mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, 완전계사는 4.09(±1.03) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>과 51.23(±24.10) mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>로 나타났다. 호흡성분진의 경우 무창계사는 1.89(±0.74) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>과 23.42(±7.32) mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, 간이계사는 3.18(±0.75) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>과 47.54(±10.01) mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, 완전계사는 2.17(±0.70) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>과 27.18(±7.21) mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>로 나타났다. 계사 작업장의 유형에 상관없이 총분진의 평균 배출계수는 4.75(±1.22) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>과 64.39(±24.95) g m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>, 호흡성분의 평균 배출계수는 2.42(±0.73) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>과 32.77(±8.18) mg m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>인 것으로 조사되었다.

분석 결과 실내농도 분포와는 달리 배출계수의 경우 측정 데이터가 정규분포를 나타내고 있어 산술평균과 산술표준편차로 대표치를 제시하였다. 계사 작

업장 유형별 총분진과 호흡성분진의 배출계수 양상은 유사한 경향을 나타냈고, 간이계사>완전계사>무창계사 순서로 조사되어(p<0.05) 실내 농도 분포 양상과 동일하였다. 총분진과 호흡성분진의 배출계수가 간이계사에서 상대적으로 가장 높게 측정된 이유는 실내 농도 조사 결과와 동일하게 본 작업장의 경우 바닥에 톱밥을 깔아 육계를 사육하므로 닭의 움직임시 깔개로 사용되는 톱밥 입자가 공기 중으로 비산되기 때문이라 판단된다.

<Table 3>은 계절에 따른 계사 작업장 유형별 총분진과 호흡성분진의 배출계수 분포 양상을 보여주고 있다. 측정 결과 계절별 총분진과 호흡성분진의 평균 배출계수는 계사 작업장 유형에 관계없이 여름철이 가장 높았고 겨울철이 가장 낮은 반면(p<0.05), 봄철과 가을철은 유사한 수준(p>0.05)인 것으로 분석되었다. 계사 작업장 내 실내농도 분포와는 달리 여름철이 겨울철보다 상대적으로 높은 배출계수를 보인 이유는 환기량 차이에 의한 것으로 여름철의 경우 실외 기온의 상승으로 작업장 내 적정 온도 유지를 위해 상대적으로 높은 환기율이 적용되어 총분진과 호흡성분진의 외부 배출량이 증가되는 반면, 겨울철의 경우 실외 기온의 저하로 상대적으로 낮은 환기율이 적용되어 총분진과 호흡성분진의 외부 배출량도 함께 저감된 것으로 판단된다.

계사 작업장에서 발생하는 입자상 오염물질 중 총분진과 호흡성분진의 배출계수를 현장 조사한 선행 국외 자료를 살펴보면 상대적으로 많이 조사된 실내농도의 경우와는 달리 Redwine 등 (2002)이 미국에

**Table 3.** Seasonal emission rates of total and respirable dust in poultry building

		Spring		Summer		Autumn		Winter	
		AM*	ASD**	AM	ASD	AM	ASD	AM	ASD
Caged layer house (n=9)	mg head <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	1.99	0.42	4.77	0.82	1.38	0.58	1.01	0.49
	mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	19.45	8.23	59.09	7.58	17.07	8.06	12.55	4.14
Broiler house (n=9)	mg head <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	2.30	0.74	7.08	1.69	2.07	0.62	1.67	0.76
	mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	34.27	12.18	105.95	28.37	30.97	5.15	24.98	6.26
Total dust	mg head <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	2.38	0.83	4.60	1.48	1.95	0.75	1.43	0.52
	mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	31.24	7.21	57.63	9.61	28.56	5.26	17.90	7.18
Mean (n=27)	mg head <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	2.79	0.93	5.48	1.42	2.24	0.49	1.37	0.43
	mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	42.94	9.07	74.22	15.29	38.20	8.36	18.48	6.24
Caged layer house (n=9)	mg head <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	1.84	0.46	2.80	0.39	0.91	0.34	0.42	0.19
	mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	22.81	5.24	34.75	7.14	17.50	4.27	5.20	1.89
Broiler house (n=9)	mg head <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	3.13	0.78	4.38	1.36	2.20	0.61	0.77	0.28
	mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	36.73	11.20	65.47	12.51	27.93	8.19	11.48	4.22
Respirable dust	mg head <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	2.07	0.49	3.31	0.82	1.63	0.57	0.46	0.16
	mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	23.87	7.24	41.42	8.76	19.91	7.17	5.75	1.37
Mean (n=27)	mg head <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	2.14	0.72	3.50	0.92	1.81	0.63	0.55	0.22
	mg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	28.81	9.86	47.21	9.47	23.16	4.07	7.48	3.37

\* : Arithmetic mean

\*\* : Arithmetic standard deviation

위치한 간이계사를 대상으로 총분진이 0.58-99 g h<sup>-1</sup> '로 조사한 경우 이외에는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구를 통해 산정된 국내 계사의 총분진과 호흡성분진 배출계수에 대한 국외 자료와의 비교 평가는 현재로서는 불가능하다.

### 3. 본 연구의 한계점

계사 작업장을 대상으로 입자상 오염물질의 노출 및 발생 수준을 조사한 국외 연구 결과들과 비교시 입자상 오염물질의 측정 및 분석 방법의 상이, 조사 항목에 대한 불일치, 실내농도 대비 배출계수 자료에 대한 선행 연구 결과의 부족으로 본 연구 결과와의 상대적 비교가 불가능한 점이 본 연구의 한계이며, 이에 대한 향후 검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한 각 계사 작업장별로 한 지점에서 측정된 값을 전체 농도로 가정된 점과 환기팬이 설치되어 있는 강제환기 계사의 경우나 윈치커튼이 설치되어 있는 자연환기 계사 모두 환기 효과가 전 작업장에 동일하게 미친다고 가정된 점을 고려하여 본 측정 데이터를 해석할 필요가 있다.

## IV. 결 론

계사 작업장 내 총분진과 호흡성분진의 평균 실내 농도는 각각 3.91(SD:1.99) mg/m<sup>3</sup>와 1.99(SD:0.89) mg/m<sup>3</sup>인 것으로 측정되었다. 총분진과 호흡성분진의 평균 배출계수는 각각 4.75(±1.219) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, 64.39(±24.95) mg m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>와 2.42(±0.73) mg head<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, 32.77(±8.18) mg m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>인 것으로 산출되었다. 분석 결과 계사 작업장 유형별 총분진과 호흡성분진의 실내 농도 및 배출계수의 분포 양상은 유사한 경향을 나타냈고, 간이계사>완전계사>무창계사 순서로 조사되었다 (p<0.05). 계절별 측면에서는 계사 작업장 유형에 관계없이 실내 농도는 겨울철, 배출 계수는 여름철이 가장 높았고 (p<0.05), 가장 낮은 수준을 나타냈던 계절은 반대로 실내 농도는 여름철, 배출 계수는 겨울철이었으며 (p<0.05), 봄철과 가을철은 실내농도와 배출계수 모두 중간 수준을 나타내었으며, 두 계절간 유의한 차이는 없었다 (p>0.05). 총분진과 호흡성분진의 실내농도가 간이계사에서 상대적으로 가장 높게 측정된 이유는 본 작업장의 경우 바닥에 톱밥을 깔아 육계를 사육하므로 닭의 움직임시

갈개로 사용되는 틈밥 입자가 공기 중으로 비산되었기 때문이다. 배출계수의 계절별 차이는 계사 작업장에 적용되는 환기량의 차이인 것으로 조사되었다. 따라서 계사 작업장 유형 중 간이계사의 경우 입자상 물질의 노출 농도를 저감시키기 위한 작업환경 관리 대책의 수립이 요구되는 바이다.

### 감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호 : 315031-03-2-HD030)

### References

1. Adrizal A, Patterson PH, Hulet RM, Bates RM, Myers CA, Martin GP, Shockey RL, van der Grinten M, Anderson DA, Thompson JR. Vegetative buffers for fan emissions from poultry farms: 2. ammonia, dust and foliar nitrogen. *Journal of Environmental Science and Health B* 2008;43:96-103.
2. Alexander DJ. A review of avian influenza in different bird species. *Veterinary Microbiology* 2000; 7:43-13.
3. Carey J. B, Lacey R. E, Mukhtar S. A Review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 2. flock and house management factors. *Journal of Applied Poultry Research* 2004;13:509-513.
4. Chang CW, Chung H, Huang CF, Su HJJ. Exposure assessment to airborne endotoxin, dust, ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide in open style swine houses. *Annals of Occupational Hygiene* 2001;45:457-465.
5. Demmers TGM, Wathes CM, Richards PA, Teer N, Taylor LL, Bland V, Goodman J, Armstrong D, Chennells D, Done SH, Hartung J. A facility for controlled exposure of pigs to airborne dusts and gases. *Biosystems Engineering* 2003;84:217-230.
6. Hayes ET, Curran TP, Dodd VA. Odour and ammonia emissions from intensive pig units in Ireland. *Bioresource Technology* 2006;97:940-948.
7. Hilliger HG, Langner HJ, Hilbig V, Heckel U. Experiments for characterization of odour stuffs contained in the air of the interior of a laying-hen house. *Zentralbl Bacteriology* 1971;155:87-92.
8. Hospido A, Sonesson U. The environmental impact of mastitis: a case study of dairy herds. *Science of the Total Environment* 2005;343:71-82.
9. Kim JA, Cho SH, Kim HS, Seo SH. H9N2 influenza viruses isolated from poultry in Korean live bird markets continuously evolve and cause the severe clinical signs in layers. *Veterinary Microbiology* 2006;118:169-176.
10. Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim YS, Roh YM, Lee CM, Kim CN. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of Environmental Management* 2008;88:195-202.
11. Kim KY, Ko HJ, Kim YS, Kim CN. Assessment of Korean farmer's exposure level to dust in pig buildings. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2008;15:51-58.
12. Malin Karlsson, Anders Wallensten, Ake Lundkvist, Bjorn Olsen, Maria Brytting. A real-time PCR assay for the monitoring of influenza A virus in wild birds. *Journal of Virological Methods* 2007;144:27-31
13. Mayer D, Reiczigel J, Rubel F. A lagrangian particle model to predict the airborne spread of foot-and-mouth disease virus. *Atmospheric Environment* 2008;42:466-479.
14. Radon K, Weber C, Iversen M, Danuser B, Pedersen S, Nowak D. Exposure assessment and lung function in pig and poultry farmers. *Occupational and Environmental Medicine* 2001;58:405-410.
15. Rimac D, Macan J, Varnai VM, Vucemio M, Matkovic K, Prester L, Orct T, Trosic I, Pavicic I. Exposure to poultry dust and health effects in poultry workers: impact of mould and mite allergens. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 2010;83:9-19.
16. Rodenburg TB, Tuytens FA, Sonck B, De Reu K, Herman L, Zoons J. Welfare, health, and hygiene of laying hens housed in furnished cages and in alternative housing systems. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 2005;8:211-226.
17. Thelin A, Tegler O, Rylander R. Lung reactions during poultry handling related to dust and bacterial endotoxin levels. *European Journal of Respiratory Diseases* 1984;65:266-271.
18. Tymczyna L, Chmielowiec-Korzeniowska A, Drabik A, Skórska C, Sitkowska J, Cholewa G, Dutkiewicz J. Efficacy of a novel biofilter in hatchery sanitation: II. Removal of odorogenous pollutants. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2007;14:151-157.



19. Ullman J. L, Mukhtar S, Lacey R. E, Carey J. B. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 4. remedial management practices. *Journal of Applied Poultry Research* 2004;13:521-531.
20. Venter P, Lues JFR, Theron H. Quantification of bioaerosols in automated chicken egg production plants. *Poultry Science* 2004;83:1226-1231.
21. Wathes CM, Holden MR, Sneath RW, White RP, Phillips VR. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *British Poultry Science* 1997;38:14-28.