

## 오리 사육장의 공기 중 부유 미생물 및 내독소 노출 농도

이윤근<sup>†</sup> · 김 원 · 김효철\* · 박동욱\*\*

노동환경건강연구소, \*국립농업과학원, \*\*한국방송통신대학교 환경보건학과  
(2010. 4. 15. 접수/2010. 5. 5. 수정/2010. 6. 19. 채택)

## Concentrations of Airborne Microorganisms and Endotoxins in Duck Houses

Yun Keun Lee<sup>†</sup> · Won Kim · Hyo Cher Kim\* · Dong Uk Park\*\*

Wonjin Institute of Occupational and Environmental Health, Seoul, Korea

\*National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea

\*\*Department of Environmental Health, Korea National Open University, Seoul, Korea

(Received April 15, 2010/Revised May 5, 2010/Accepted June 19, 2010)

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the concentrations of air-borne microorganisms (bacteria, fungi, gram negative bacteria (GNB), endotoxins, and respirable suspended particles (RSPs), and their correlation with environmental parameters (temperature, humidity, and carbon dioxide levels) in duck houses. The mean concentrations of bacteria, fungi, and GNB were very high ( $>10^6$  CFU/m<sup>3</sup>), and endotoxin levels exceeded  $10^3$  EU/m<sup>3</sup>. Among the various work stages, in the task of receiving ducks, bacteria were  $6.2 \times 10^6$  CFU/m<sup>3</sup>, and GNB were  $5.4 \times 10^6$  CFU/m<sup>3</sup>, while RSPs levels were 397.6  $\mu$ g/m<sup>3</sup> and endotoxin levels were  $47.2 \times 10^3$  EU/m<sup>3</sup> in the task of dividing the ducks, and fungi were  $4.9 \times 10^6$  CFU/m<sup>3</sup> in the task of shipping the ducks. The concentrations of RSPs and endotoxins were significantly higher in tasks involving greater movement of ducks in the house, relative to tasks involving little movement of ducks ( $p < 0.05$ ). Further, with progression in growth of the ducks, the concentrations of bacteria, GNB, endotoxins, and RSPs were significantly increased. There was significant correlation between levels of GNB with bacteria ( $r=0.75$ ) and fungi ( $r=0.86$ ), endotoxins with RSPs ( $r=0.75$ ), bacteria with fungi ( $r=0.39$ ), and carbon dioxide with RSPs ( $r=0.38$ ), bacteria ( $r=0.33$ ), and endotoxins ( $r=0.31$ ). These results suggest considerable respiratory hazard for farmers in these environments.

**Keywords:** duck houses, airborne bacteria, fungi, gram negative bacteria, endotoxins

### I. 서 론

동물 사육 과정에서 문제되는 유해환경 요인은 바이오에어로졸(세균, 곰팡이, 내독소, 바이러스, 마이코톡신 등), 무기분진, 기타 유기화합물(암모니아, 황화수소, 메탄가스 등) 등이 가장 대표적인 인자로 알려져 있다.<sup>1-3)</sup> 이 중 공기 중 미생물 노출은 호흡기질환과 아토피 피부염과 같은 과민성질환의 원인이 되기도 한다.<sup>4,5)</sup>

공기 중 미생물은 대부분이 분진 형태(유기분진)로 흡입되어 건강장해를 일으키게 되는 데 노출 후 4-12시간 후에 나타나는 발열, 무기력감, 두통, 근육통, 기침,

숨 막힘 등의 급성장해와 혹은 비염, 천식, 폐렴 등의 만성적인 호흡기질환을 유발하기도 한다. 이러한 장해를 통칭해서 유기분진독성증후군(Organic dust toxic syndrome, ODTS)으로 부르고 있으며, 미국흉부학회에서는 호흡기질환을 농업인의 중요한 건강문제로 지적하고 있다.<sup>6)</sup> 특히, 이러한 환경요인은 어린 아이나 노인들에게 더 심각한 건강상 악영향을 미치고 있으며, 축산 농업인은 물론이고 농장 인근에 사는 면역결핍이 있는 지역 주민들에게도 영향을 미친 사례도 보고되고 있다.<sup>3)</sup>

Radon 등<sup>7)</sup>의 연구에 의하면 알려지성 비염의 경우 일반 인구에 비해 농업인의 유병을 위협비는 3.9배 정도 높고, 특히 돼지와 가금류 사육 농민들에게서 더 높은 것으로 보고하였다. Warren 등<sup>8)</sup>은 곡물 및 가축 농장 농업인의 7.5-23%의 만성적인 기관지염 증상을 보

<sup>†</sup>Corresponding author : Wonjin Institute of Occupational and Environmental Health  
Tel: 82-2-490-2088, Fax: 82-2-490-2099  
E-mail : lyk4140@hanmail.net

고하였고, Terho 등<sup>9)</sup>은 3년 동안의 추적연구를 통해 매년 농업인의 기관지염 증상 호소율이 2.3%씩 증가하고 있다고 하였다.

미생물은 주로 토양이나 식물 자체에 존재하며, 그 발생 농도는 온도, 습도, 환기 상태와 같은 물리적 환경 요인과 인간 및 동물에 의해 발생하는 이산화탄소와 같은 화학적 요인에 영향을 받는다.<sup>10)</sup> 농작업의 경우 사일로우(silo) 관련 작업, 곡물 저장 작업, 가축 사육 작업 등이 가장 위험한 작업으로 보고하고 있다.<sup>6)</sup> 특히, 동물을 사육하는 곳에서 주로 문제되고 있으며, 돼지, 가금류(닭, 오리 등), 소 등과 같은 가축 사육장이 대표적이다.

가축 사육장에서 문제되는 바이오에어로졸에 대한 연구는 대부분이 세균, 곰팡이 등의 부유미생물과 그람음성세균이 사멸 혹은 번식할 때 발생하는 내독소(endotoxins)에 대한 공기 중 노출 농도, 그리고 이들 미생물들의 동정에 대한 연구들이다. 돼지 사육장에서의 공기 중 세균과 곰팡이 노출농도는 각각  $1.12-5.17 \times 10^5$  CFU/m<sup>3</sup>,  $1.12-2.79 \times 10^3$  CFU/m<sup>3</sup>, 내독소는  $3.25-3.10 \times 10^3$  EU/m<sup>3</sup>, 총분진은  $1.4-1.91$  mg/m<sup>3</sup> 등으로 발생농도가 매우 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>11-14)</sup> 특히, Martin 등<sup>15)</sup>의 연구에 의하면 오리 농장에서의 세균 농도는  $0.4-3.0 \times 10^6$  CFU/m<sup>3</sup>의 범위를 나타내 대부분이 권고기준( $10^4$  CFU/m<sup>3</sup>)을 초과할 뿐만 아니라 동정 결과 폐에 부정적 영향을 미치는 미생물 그룹(Risk group 2)으로 보고하였다.

반면, 국내에서의 가축 사육장에 대한 연구는 극히 제한적이다. Kim 등<sup>16)</sup>의 연구에 의하면 세균농도는 양계농장( $5.6 \times 10^7$  CFU/m<sup>3</sup>)이 돼지농장( $2.7 \times 10^5$  CFU/m<sup>3</sup>)에 비해 높았고, 곰팡이는 돼지농장( $4.9 \times 10^3$  CFU/m<sup>3</sup>)이 양계농장( $2.1 \times 10^3$  CFU/m<sup>3</sup>)에 비해 높게 나타났다. 또한 Jo와 Kang의 연구<sup>17)</sup>에 의하면 내독소의 경우 돼지 사육장이 3.48-943.1 EU/m<sup>3</sup>, 양계농장이 15.43-1430 EU/m<sup>3</sup>로 양계농장이 높게 나타났고, 대부분이 국내 실내오염 노출 기준인 800 CFU/m<sup>3</sup>을 초과하는 것으로 보고하였다. 이와 같이 국내에서 연구된 동물 사육장의 공기 중 미생물 노출 농도는 대부분이 양계와 양돈 농장을 대상으로 한 결과들이며, 오리 사육장을 대상으로 한 결과는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구는 오리 농장을 대상으로 사육 단계 및 작업 특성에 따른 호흡성분진, 미생물, 그리고 내독소에 대한 공기 중 노출농도를 비교 분석하였다. 또한 측정 인자와 환경요인들 간의 상관관계를 분석함으로써 오리 사육 농가의 미생물 노출 실태 파악 및 호흡기질환 예방을 위한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

측정 대상이 된 오리 사육장은 충북 충주시 인근에 위치하였다. 사육 두수는 2개 농가에서 연간 약 70,000 마리 정도이며, 사육장 내부는 천정에 환기팬이 설치되어 있고, 측면은 개방이 가능하도록 되어 있으나 여름철을 제외하고는 전염병 예방을 위해 거의 개방하지 않고 있었다.

오리의 사육주기는 약 45일로 연간 입하와 출하가 반복하여 이루어진다. 이 기간 동안 주된 작업은 처음 부화된 오리가 사육장으로 들어오는 '입하작업', 약 15일 정도 성장 후 오리 개체수를 나누어 다른 사육장으로 분리하는 '분동작업', 그리고 다시 30일 정도의 사육기간을 거쳐 입하 후 약 45일 이후에 '출하작업'이 이루어진다. 기타 사육기간 동안 일상적인 상시작업으로 먹이 주기, 바닥에 왕겨나 톱밥을 깔아주는 작업(3-4회), 사육장 소독작업(3회), 분뇨 청소작업(연 1-2회) 등이 있다. 이러한 작업 주기 및 특성을 반영하여 측정 대상 작업을 크게 입하작업, 분동작업, 출하작업, 상시작업으로 나누어 측정하였고, 매 작업 단계를 관찰하기 위하여 2006년 6월부터 2007년 10월까지 해당 작업 단계에 대해 반복 측정하였다.

### 2. 측정 및 분석방법

미생물은 Button aerosol sampler(SKC)에 gelatin filter를 조립하여 3 l/min의 유속으로 3시간-4시간 정도 측정하였다. 내독소는 3단 카세트에 180°C에서 2시간 동안 멸균된 glass fiber filter를 조립하여 2 l/min의 유속으로 4-6시간 정도 시료를 채취하였다. 측정은 작업자 개인시료와 사육장 내 지역시료로 나누어 작업 단계별로 반복 측정하여 총 92개의 시료를 채취하였다. 지역시료(n=77)는 사육장 내부를 입구, 중앙, 출구 등 3개 지점으로 나누어 동시에 측정하였다. 개인시료(n=15)는 지역시료와 동일한 시간대에 측정되었으며, 작업자의 작업 장소는 주로 축사 내부였고, 간혹 축사 주변(창고 및 축사 외부) 지역에서 작업이 수행되었다.

모든 포집된 시료들은 세균, 그람음성세균, 그리고 곰팡이류의 배양을 위해 각각 Tryptic Soy Agar(TSA), MacConkey Agar(MAC), Sabourand Dextrose Agar(SDA) 배지에 접종하여 배양하였다. 배양 후 배지에 형성된 집락(colony)을 계수한 값에 공기량(m<sup>3</sup>)으로 나누는 방법으로 부유세균과 곰팡이 농도(CFU/m<sup>3</sup>)를 계산하였다. 내독소는 활성을 측정하는 Kinetic LAL (Limulus Amebocyte Lysate) 검사<sup>18)</sup>를 이용하여 정량

하였다. 또한 오리 사육 농장의 미생물과 내독소의 오염도를 비교하기 위하여 오리농장에서 약 100 m 떨어진 곳을 대조군으로 선정하여 동시에 측정하였다. 호흡성 분진 및 온도, 습도, 이산화탄소는 사육장 내에서 PAS(Portable Aerosol Spectrometer, Grimm 1.108, Germany)를 이용하여 실시간 측정하였다.

모든 측정 결과는 SPSS package(SPSS Inc., USA, Version 12.0)를 이용하여 측정방법, 작업단계, 생육기간에 따른 공기 중 노출농도의 차이(t-검정 및 ANOVA 분석)와 측정인자들간의 상관관계(Spearman rank correlation) 분석을 통해 통계적인 유의성을 검정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 개인시료와 지역시료 비교

전체 측정 시료를 개인시료와 지역시료로 나누어 각각의 측정 인자에 대한 공기 중 노출 농도의 평균값을 비교한 결과는 Table 1과 같다. 전체적으로 보면 모든 항목에서 두 측정 방법 간의 통계적인 유의한 차이는 없었다.

호흡성 분진의 경우 개인시료는  $145.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 지역시료는  $183.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 지역시료가 높게 나타났으나 통계적인 유의한 차이는 없었다. 총세균 및 곰팡이, 그람 음성세균의 노출 농도는 개인 및 지역시료 모두  $10^6 \text{CFU}/\text{m}^3$ 을 초과하는 높은 농도를 보여주고 있다. 이러한 결과는 공기 중 세균 권고기준( $10^4 \text{CFU}/\text{m}^3$ ) 및 곰팡이 권고기준( $10^3 \text{CFU}/\text{m}^3$ )을 초과하는 매우 높은 농도이다. 내독소의 경우는 개인시료가  $3.5 \times 10^3 \text{EU}/\text{m}^3$ , 지역시료가  $7.2 \times 10^3 \text{EU}/\text{m}^3$ 로 모두 권고기준( $10^2 \text{EU}/\text{m}^3$ )을 초과하였으며, 지역시료가 개인시료에 비해 높게 나타났으나 통계적인 유의한 차이는 없었다.

이러한 결과를 타 연구 결과와 비교해보면 미생물 중

류에 따라 비슷하거나 높은 경향을 보이고 있다. 국내에서 양계 농장을 대상으로 보고<sup>16)</sup>된 세균 농도( $5.6 \times 10^7 \text{CFU}/\text{m}^3$ ) 및 곰팡이( $2.1 \times 10^3 \text{CFU}/\text{m}^3$ ) 농도와 비교할 때 세균은 비슷한 수준이었으나 곰팡이 농도는 높은 수준을 보이고 있다. 돼지 사육장에서 측정된 결과<sup>19)</sup>와 비교해 보면 세균( $1.3 \times 10^4 \text{CFU}/\text{m}^3$ ) 및 곰팡이( $1.3 \times 10^3 \text{CFU}/\text{m}^3$ ) 노출농도에 비해 모두 높게 나타났다. 또한 돼지 사육장을 대상으로 연구된 Pavicic 등의 결과<sup>20,21)</sup>와 비교해도 높게 나타났다.

내독소의 경우는 Kim 등<sup>16)</sup>이 양계농장을 대상으로 연구한 결과( $1.43 \times 10^3 \text{EU}/\text{m}^3$ )와 비슷한 수준으로 나타났다. Clark 등<sup>22)</sup>이 양계( $1.2-5.0 \times 10^3 \text{EU}/\text{m}^3$ ) 및 양돈 농장( $0.4-2.8 \times 10^3 \text{EU}/\text{m}^3$ )을 대상으로 보고한 결과, 그리고 Morris 등<sup>23)</sup>이 가축 도살장에서 보고한 결과( $2.5 \times 10^3 \text{EU}/\text{m}^3$ )와도 비슷한 수준을 보이고 있다.

일반적으로 부유 미생물은 온도와 습도, 기류 등 물리적 환경요인과 인간 및 동물들의 활동에 의해 발생되는 이산화탄소와 같은 화학적 요인에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다.<sup>10)</sup> 또한 사육하는 동물의 개체 수가 많아질수록 통계적으로 유의하게 미생물 농도가 높아진다.<sup>20)</sup> 더 중요한 것은 사육하는 가축의 행동학적 특성에 따라 움직임이 많은 동물의 경우 공기 중 부유 분진 발생을 유발할 수 있고, 결국 토양이나 기타 부유물에 존재하는 미생물이 공기 중으로 비산될 가능성이 높아질 수 있다. 예를 들어 산란용 닭의 경우 대부분이 제한된 공간 내에서 운동성이 거의 없는 상태로 사육되며, 오리는 넓은 공간에서 운동성이 제한되지 않는 반면 닭에 비해 움직임이 많지 않은 행동학적 특징을 가지고 있다. 따라서 공기 중 미생물 농도를 타 연구 결과와 비교할 때는 이러한 환경 조건과 동물의 행동학적 특징 등을 고려해야 하기 때문에 직접 비교하는 데는 많은 한계가 있을 수 있다.

축사 내부에서 측정된 지역시료를 위치에 따라 축사

**Table 1.** Comparison of airborne microorganisms, endotoxins, and environmental factors by sampling methods in duck house

Items	Sampling methods (Mean±SEM)		p-values
	Personal samples (n=15)	Area samples (n=77)	
Respirable dust ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	145.9±34.7	183.0±22.6	0.525
Total bacteria ( $10^6 \text{CFU}/\text{m}^3$ )	1.1±0.5	1.2±0.6	0.938
Total fungi ( $10^6 \text{CFU}/\text{m}^3$ )	7.0±6.8	0.8±0.4	0.060
Gram(-)bacteria ( $10^6 \text{CFU}/\text{m}^3$ )	3.1±2.9	1.4±0.7	0.931
Endotoxin ( $10^3 \text{EU}/\text{m}^3$ )	3.5±2.6	7.2±3.1	0.613
Temperature (°C)	15.3±1.9	18.9±0.9	0.114
Relative humidity (%)	64.4±5.6	67.4±2.1	0.532
Carbon dioxide (ppm)	560.6±99.7	682.6±46.6	0.277

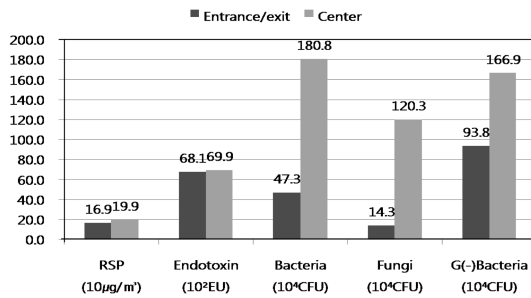


Fig. 1. Comparison of airborne microorganisms and endotoxins by sampling position of area samples in duck house.

중앙과 입구(혹은 출구)로 구분하여 공기 중 노출 농도의 평균값을 비교한 결과는 Fig. 1과 같다. 전체적으로 보면 모든 항목에서 측사 중앙 부위가 입구 및 출구 쪽의 노출 농도에 비해 높게 나타났으나 통계적인 유의한 차이는 없었다. 중앙 부위에서 공기 중 노출 농도가 높게 나타난 것은 사료 및 수분 공급대가 주로 중앙지점에 위치해 있고, 따라서 오리의 개체밀도가 상대적으로 높은 것과 관계되어 있을 것으로 사료된다.

## 2. 작업특성에 따른 비교

오리의 전체 사육기간 동안 이루어지는 작업을 크게 4단계로 구분하여 각각의 노출농도를 비교한 결과는 Table 2와 같다.

전체 작업 단계를 ① 입하작업(부화된 오리가 사육장으로 처음 들어오는 작업), ② 분동작업(입하 후 15일 전후에 개체수를 나누는 작업), ③ 출하작업(생육 후 45일 정도에 오리를 출하하는 작업), ④ 상시작업(사육기간 동안 일상적으로 이루어지는 먹이주기, 청소, 기타 사육장 관리 등)으로 분류하였다.

호흡성 분진은 분동작업이 397.6 µg/m<sup>3</sup>로 다른 작업 단계에 비해 가장 높게 나타났고(p<0.05), 그 다음으로 출하, 입하, 상시작업 순이었다. 세균은 입하작업(6.2×10<sup>6</sup> CFU/m<sup>3</sup>), 곰팡이는 출하작업(4.9×10<sup>6</sup> CFU/m<sup>3</sup>), 그리고 그람음성세균은 입하작업(5.4×10<sup>6</sup> CFU/m<sup>3</sup>)에서 가장 높은 농도를 보였으나 작업 단계별로 통계적인 유의한 차이는 없었다. 내독소 농도는 분동작업(47.2×10<sup>3</sup> EU/m<sup>3</sup>)이 가장 높았으며, 다른 작업군에 비해 통계적인 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

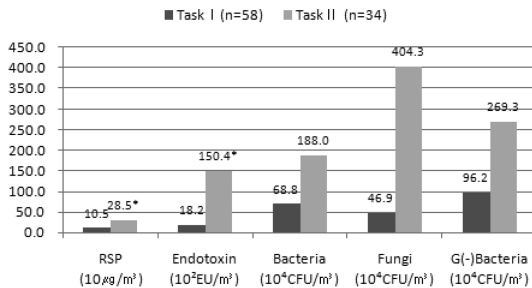
전체적으로 보면 호흡성 분진과 내독소는 분동작업에서 높은 농도를 보이고 있고, 나머지 부유미생물은 입하작업, 출하작업, 분동작업, 상시작업 순으로 노출농도가 높은 경향을 보이고 있다. 입하작업과 출하작업, 그리고 분동작업은 개체들의 움직임이 많은 작업이다. 즉, 처음 오리가 사육장으로 투입되는 입하작업이나 다른 사육장으로 강제로 분리되는 분동작업, 그리고 작업자들이 오리 물이를 통해 2-3마리씩 손으로 잡아 수송차에 옮기는 출하작업은 오리의 움직임이 많고, 그 과정에서 바닥에 상존해 있는 유기분진이 입자 상태로 부유할 가능성이 높아지게 된다. 반면, 상시적인 작업은 작업자가 사육장 내에서 이동하면서 먹이를 주거나 톱밥 및 왕겨를 깔아주는 작업으로 상대적으로 오리의 움직임이 적다고 할 수 있다. 물론 작업자가 사육장 내에서 이동할 때 오리도 같이 움직임에 따라 부유분진이 발생할 수 있으나 이러한 과정은 입하, 분동, 출하 작업시의 움직임보다는 적으리라 사료된다. 즉, 처음 입하 작업 및 분동, 그리고 출하시기에는 오리의 움직임이 가장 많은 시기이고, 이러한 오리의 활동성 증가와 같은 행동학적 특징이 공기 중 부유미생물 및 내독소 농도에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

이러한 작업특성에 따른 노출 농도의 차이는 Fig. 2

Table 2. Comparison of airborne microorganisms, endotoxins, and environmental factors by the work stages in duck house

Items	Work stages (Mean±SEM)				p-values
	Receiving ducks (n=8)	Dividing ducks (n=7)	Shipping ducks (n=21)	General works (n=40)	
Respirable dust (µg/m <sup>3</sup> )	209.8±53.4	397.6±164.8	234.3±21.1	109.6±17.6	0.001
Total bacteria (10 <sup>6</sup> CFU/m <sup>3</sup> )	6.2±4.4	0.3±0.1	1.1±0.3	0.9±0.7	0.077
Total fungi (10 <sup>6</sup> CFU/m <sup>3</sup> )	4.1±3.4	0.1±0.1	4.9±4.6	0.6±0.5	0.579
Gram(-)bacteria (10 <sup>6</sup> CFU/m <sup>3</sup> )	5.4±3.9	0.04±0.01	2.5±2.2	1.4±0.9	0.484
Endotoxin (10 <sup>3</sup> EU/m <sup>3</sup> )	15.8±5.2	47.2±29.7	2.1±0.7	2.1±0.5	<0.001
Temperature (°C)	19.4±0.3	22.3±2.2	10.6±0.3	21.9±1.0	<0.001
Relative humidity (%)	73.9±4.1	47.7±7.7	84.8±1.1	60.1±2.5	<0.001
Carbon dioxide (ppm)	1185.3±43.9	1178.0±12.5	859.4±51.6	761.6±41.6	<0.001

\*General works : The tasks for keeping a house and ducks (ex: spreading chaff and saw dust, removing night soil, cleaning house, and feeding).



**Fig. 2.** Comparison of airborne microorganisms and endotoxins by the task characteristics in duck house (\*: p<0.05 by t-test).

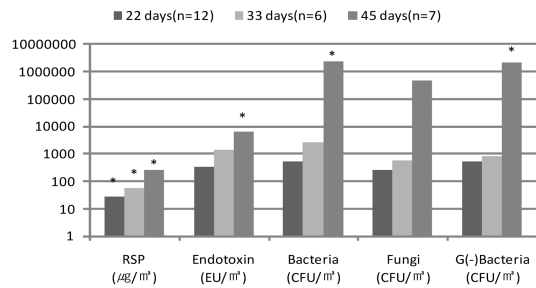
Task I have few movement of ducks in house (for examples, spreading chaff and sawdust, removing night soil, cleaning a house ground, and feeding. Task II have a lot of movement of ducks in house (for example, putting new duckies in a house, moving ducks to devide another house, and shipping ducks to sell.

의 결과에서도 확인할 수 있다. 사육장 내에서의 오리의 이동성이 많은 작업군(Task II : 입하작업, 분동작업, 출하작업)과 오리의 이동성이 상대적으로 적은 작업군(Task I: 먹이주기, 톱밥 및 왕겨갈기, 청소작업 등)과의 부유미생물 및 내독소 농도를 비교하였다,

작업군에 따른 비교 분석 결과 호흡성 분진 및 세균, 곰팡이, 그람음성세균, 내독소 등 모든 측정항목이 오리의 이동성이 많은 작업군(Task II)에서 상대적으로 이동성이 적은 작업군(Task I)에 비해 높게 나타났다. 특히 호흡성 분진 및 내독소 농도는 통계적인 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 이러한 결과는 전자에서 토의 했듯이 오리의 활동성이 공기 중 부유분진 발생에 영향을 준 것과 관계되어 있을 것으로 보인다. 상시작업 중 바닥 청소작업의 경우 부유 분진 발생이 많을 것으로 추정할 수 있다. 그러나 측정이 이루어진 사육장의 경우 청소작업을 할 때 사육장 측면을 개방한 상태에서 습식작업을 하기 때문에 이러한 작업 형태가 공기 중 분진 및 미생물 발생 농도에 영향을 주었을 것으로 사료된다. 가축 사육장 내에서 스프레이 방법을 이용한 습식작업을 수행하면 노출농도의 51-53%를 감소시키는 효과가 있다고 한다.<sup>24)</sup> 또한 밀폐된 환경이 미생물 증식과 공기 중 비산에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.<sup>22,25-27)</sup>

**3. 성장 시기에 따른 비교**

동일한 작업조건 내에서 오리 성장 시기에 따라 미생물 발생 농도가 어떻게 달라지는지를 분석한 결과는



**Fig. 3.** Geometric mean of airborne microorganisms and endotoxins by growing period in duck house (\*: p<0.05, compared with another work stages).

Fig. 3과 같다. 앞선 분석(Table 2, Fig. 2)에서 오리의 운동성과 관련된 작업조건 특성이 미생물 발생 농도에 영향을 준다는 사실과 선행 연구<sup>21)</sup>에서 동물의 개체 수 증가가 미생물 농도에 유의한 영향을 미치는 점을 고려하여 상시작업 중 먹이주기 등과 같은 동일한 작업만을 대상으로 성장 시기만 달리하여 분석하였다. 또한 동일한 개체 수를 적용하기 위하여 입하 후 15일 정도에 이루어지는 분동작업 이후의 성장 단계인 생후 22일, 33일, 출하 직전 시기인 45일을 기준으로 각각의 노출농도를 비교하였다.

그 결과 성장 시기가 증가할수록 모든 측정 항목의 농도도 증가하는 것으로 나타났다. 특히 생후 45일의 경우 곰팡이를 제외한 호흡성 분진, 내독소, 세균 및 그람음성세균의 발생농도가 생후 22일 및 33일에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(p<0.05). 이러한 결과는 오리가 점차 성장함에 따라 공급되는 사료도 많아지게 되고, 또한 배설물도 증가함은 물론 운동성도 점차 증가하고, 그리고 단위 면적당 생육 밀도가 높아짐에 따라 이러한 결과들이 영향을 주었을 것으로 판단된다. 따라서 공기 중 노출 농도를 낮추기 위해서는 작업 단계별로 사육장 내 개체 수 조정 등의 관리 대책이 필요할 것으로 보인다.

**4. 상관관계**

호흡성분진 및 부유 미생물, 내독소 등의 측정인자와 온도, 습도, 이산화탄소와 같은 환경요인들 사이의 상관관계를 분석한 결과는 Table 3, 4와 같다.

그람음성세균은 총세균(r=0.75) 및 총곰팡이(r=0.86)와 강한 상관성이 있는 것으로 나타났다(p<0.01). 내독소는 호흡성 분진과 중간 정도의 상관성(r=0.66)이 있었고, 총곰팡이와 총세균은 약한 상관성(r=0.39)이 있었다. 기타 나머지 측정 인자들 간의 유의한 상관성은 없었다.

**Table 3.** Correlation coefficients for airborne microorganisms and endotoxins in duck house

	Respirable dust	Total bacteria	Total fungi	Gram(-)bacteria	Endotoxin
Respirable dust	1.00				
Total bacteria	0.07	1.00			
Total fungi	0.05	0.39**	1.00		
Gram(-)bacteria	0.01	0.75**	0.86**	1.00	
Endotoxin	0.66**	0.13	0.11	0.11	1.00

\*\*p-value<0.01 by Spearman rank correlation.

**Table 4.** Correlation coefficients between airborne microorganisms/endotoxins and environmental factors

	Respirable dust	Total bacteria	Total fungi	Gram(-)bacteria	Endotoxin
Temperature	-0.04	-0.19	-0.19	-0.24	-0.11
Relative humidity	0.21	0.28*	0.12	0.20	0.07
Carbon dioxide	0.38**	0.33**	0.04	0.20	0.31**

\*p-value<0.05, \*\*p-value<0.01 by Spearman rank correlation.

Oh 등<sup>28)</sup>은 자동차 엔진공장에서 공기 중 내독소와 일 반세균 간의 상관성( $r=0.64$ )을 보고하였고, Kim 등<sup>16)</sup>은 돼지 사육장에서 내독소와 세균( $r=0.7$ ) 및 곰팡이 ( $r=0.5$ ), 세균과 분진( $r=0.6$ ) 및 곰팡이( $r=0.4$ )와의 상 관관계를 보고하였다. 반면, 양계 농장에서는 분진과 세 균( $r=-0.57$ ) 및 곰팡이( $r=-0.39$ ), 내독소( $r=-0.57$ )와는 음의 상관성이 있다고 하였다. Lee 등<sup>29)</sup>은 병원 내에서 총세균과 곰팡이는 양의 상관계수( $r=0.34$ )를 나타내고 있으나 유의한 상관성은 없었다고 하였다. 이와 같이 공기 중 미생물 상호간의 관련성에 대한 연구 결과들 은 일관된 결과를 보이고 있지는 않으나 세균과 곰팡 이와의 양의 상관성이 있다는 결과가 일반적이다. 내독 소의 경우 그람음성세균(특히, *Escherichia coli*, *Neisseria sp.*, *Haemophilus sp.*, *Pseudomonas sp.*)의 외부 세포막의 구성 요소로서 세포가 사멸할 때 주로 발생되기 때문에 상호 관련성에 대한 보고<sup>22)</sup>가 있으나 일반적인 결과는 아니며, 연구자 및 그람음성세균의 종 류에 따라 달라지고 있다.<sup>30)</sup> 본 연구 결과에서는 내독 소와 그람음성세균과의 유의한 관련성은 없었다. 한편, 공기 중 세균에는 68-96%의 그람양성세균과 7-53%의 그람음성세균이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다.<sup>31)</sup> 따라서 총세균과 그람음성세균과의 관련성은 양의 상 관성이 있는 것이 일반적인 연구 결과들이며, 본 연구 결과도 이와 동일한 결과( $r=0.75$ )를 나타내고 있다.

공기 중 부유미생물과 환경요인들 간의 상관성을 보 면(Table 4), 온도는 모든 측정 인자들과 음의 상관계 수를 보여주고 있으나 통계적인 유의성은 없었다. 상대 습도는 총세균과 약한 상관성( $r=0.28$ )이 있었고 ( $p<0.05$ ), 나머지 요인들과는 유의한 상관성이 존재하지

않았다. 이산화탄소는 호흡성 분진( $r=0.38$ ), 총세균 ( $r=0.33$ ), 내독소( $r=0.31$ )와 약한 상관성이 있었다 ( $p<0.01$ ).

물리적 환경 조건인 온도 및 상대습도와 부유 미생물 발생과의 관련성은 연구자들마다 상이한 의견을 제시 하고는 있지만, 대체로 상대습도가 높으면 부유 미생물 의 생존 및 증식이 증가된다는 경향이 지배적이다.<sup>32,33)</sup> 반면, Hadina 등<sup>30)</sup>은 미생물 농도와 환경 인자와의 관 계 분석에서 온도( $r=-0.34$ ), 습도( $r=-0.33$ ), 이산화탄소 ( $r=-0.32$ )와는 음의 상관성을 보여 상반된 결과를 제시 한 바 있다. 또한 공기 중 이산화탄소는 여러 대사 과 정을 통해 배출될 수 있다. 특히 가축의 호흡 과정을 통해 이산화탄소가 발생되며, 따라서 개체수가 많아지 게 되면 공기 중 이산화탄소는 높아지게 되고, 이러한 이산화탄소 농도는 공기 중 미생물 농도에 유의한 영 향을 미치는 것으로 알려져 있다.<sup>34)</sup> Lee 등<sup>29)</sup>의 연구에 의하면 병원 내 공기 중 미생물 농도와 환경 요인과의 상관성을 분석한 결과 부유 세균과 곰팡이는 환경 요 인 중 이산화탄소와 환기 횟수에 대해 유의한 상관성 을 나타냈으나 온도, 상대습도와는 전반적으로 유의하 지 않은 상관성을 보고하였다. 반면, Song 등<sup>35)</sup>의 연 구에서는 병원 내 곰팡이 농도는 온도와 습도와 양의 상관성이 있었다고 하였다. 본 연구에서는 이산화탄소 는 호흡성 분진( $r=0.38$ ), 총세균( $r=0.33$ ), 내독소 ( $r=0.31$ )와 약한 상관성이 있었다( $p<0.01$ ). 상대습도는 총세균과의 약한 상관성( $r=0.28$ ,  $p<0.05$ )이 있었으나 온도와는 관련성이 없어 Lee 등<sup>29)</sup>의 결과와 비슷한 경 향을 보이고 있었다.

이와 같이 환경요인과 부유 미생물간의 관련성이 적

거나 혹은 일관된 결과가 확인되지 않는 것은 온도, 습도 등의 환경적 요인보다는 가축의 개체수 혹은 이동성과 관련된 행동학적 특징과 환기 조건 등이 미생물 발생에 더 많은 영향을 주기 때문일 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 오리 사육장을 대상으로 사육 단계 및 작업 특성에 따른 공기 중 유기분진, 미생물, 내독소에 대한 노출 농도와 환경요인들과의 상관관계를 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 측정 방법에 따른 비교 결과 개인시료와 지역시료 간의 통계적인 유의한 차이는 없었으며, 총세균 및 곰팡이, 그람음성세균의 노출 농도는 개인 및 지역시료 모두  $10^6$  CFU/m<sup>3</sup>을 초과하는 높은 농도로 나타났다. 내독소는 개인시료( $3.5 \times 10^3$  EU/m<sup>3</sup>) 및 지역시료( $7.2 \times 10^3$  EU/m<sup>3</sup>) 모두 권고기준을 초과하는 높은 농도로 나타났다.

2. 작업특성에 따른 비교 결과 입하작업은 세균( $6.2 \times 10^6$  CFU/m<sup>3</sup>) 및 그람음성세균( $5.4 \times 10^6$  CFU/m<sup>3</sup>), 분동작업은 호흡성 분진( $397.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 내독소( $47.2 \times 10^3$  EU/m<sup>3</sup>), 그리고 출하작업은 곰팡이( $4.9 \times 10^6$  CFU/m<sup>3</sup>)의 노출 농도가 가장 높게 나타나( $p < 0.05$ ) 주로 오리의 이동성이 많은 작업군이 이동성이 적은 작업군에 비해 노출농도가 높은 것으로 나타났다( $p < 0.01$ ).

3. 오리의 성장 시기에 따른 비교 결과 성장 시기가 증가할수록 모든 측정 항목의 농도도 증가하는 것으로 나타났다. 특히 생후 45일의 경우 곰팡이를 제외한 호흡성 분진, 내독소, 세균 및 그람음성세균의 발생농도가 생후 22일 및 33일에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다( $p < 0.05$ ).

4. 측정인자 및 환경요인과의 관련성을 분석한 결과 그람음성세균은 총세균( $r=0.75$ ) 및 총곰팡이( $r=0.86$ )와 강한 상관성이 있었고( $p < 0.01$ ), 내독소는 호흡성 분진과 중간 정도의 상관성( $r=0.66$ )을, 그리고 총곰팡이와 총세균은 약한 상관성( $r=0.39$ )이 있었다. 부유미생물과 환경요인과의 관련성에서 상대 습도는 총세균과 약한 상관성( $r=0.28$ )이 있었고( $p < 0.05$ ), 나머지 요인들과는 유의한 상관성이 존재하지 않았다. 이산화탄소는 호흡성 분진( $r=0.38$ ), 총세균( $r=0.33$ ), 내독소( $r=0.31$ )와 약한 상관성이 있었다( $p < 0.01$ ).

이러한 결과들로 볼 때 오리 사육장의 공기 중 부유 미생물 및 내독소 농도는 권고기준을 매우 높은 수준으로 초과하고 있으며, 공기 중 발생 농도는 오리의 이동성 및 단위 면적당 생육 밀도가 중요한 영향을 미치

는 것으로 판단된다. 따라서 작업 중 보호구 착용 및 습식작업과 환기, 그리고 작업 단계별로 사육장 내 개체수 조정 등의 관리 대책이 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Cole, D., Todd, L. and Wing, S. : Concentrated swine feeding operations and public health: a review of occupational and community health effects. *Environmental Health Perspectives*, **108**, 685-699, 2000.
2. Douwes, J., Thorne, P., Pearce, N. and Heederik, D. : Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *The Annals of Occupational Hygiene*, **47**, 187-200, 2003.
3. Millner Patricia, D. : Bioaerosols associated with animal production operations. *Bioresource Technology*, **100**, 5379-5385, 2009.
4. Owen, M. K., Ensor, D. S. and Sparks, L. E. : Airborne particle sizes and sources found in indoor air. *Atmospheric Environment*, **26A**, 2149-2162, 1992.
5. Arturo, B., Gwen, W., Alan, M. D., Catherine, L. G. and Cristina, L. H. : School based identification of asthma in a low-income population. *Pediatric Pulmonology*, **30**(4), 297-301, 2000.
6. American Thoracic Society (ATS) : Respiratory health hazards in agriculture. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **158**(5), S1-S76, 1998.
7. Radon, K., Danuser, B., Iversen, M., Jörres, R., Monso, E., Opravil, U., Weber, C., Donham, K. J. and Nowak, D. : Respiratory symptoms in European animal farmers. *European Respiratory Journal*, **17**, 747-754, 2001.
8. Warren, C. P. W. and Manfreda, J. : Respiratory symptoms in Manitoba farmers: association with grain and hay handling. *Canadian Medical Association Journal*, **122**, 1259-1264, 1980.
9. Terho, E. O. : Work-related respiratory disorders among Finnish farmers. *American Journal of Industrial Medicine*, **18**, 269-272, 1990.
10. Mancinelli, R. L. and Shulls, W. A. : Airborne bacteria in an urban environments. *Applied and Environmental Microbiology*, **35**, 1095-1113, 1978.
11. Predicala, B. Z., Urban, J. E., Maghirang, R. G., Jerez, S. B. and Goodb, R. D. : Assessment of bioaerosols in swine barns by filtration and impaction. *Current Microbiology*, **44**, 136-140, 2002.
12. Hađina, S., Pinter, L. J., Uhitil, S., Vućemilo, M. and Jakšić, S. : The assessment of gram-negative bacteria in the air of two swine nursery buildings. *Veterinarski Arhiv*, **79**(3), 219-227, 2009.
13. Agranovski, V., Ristovski, Z., Patrick, P. J., Blackall, J. and Morawska, L. : Size-selective assessment of airborne particles in swine confinement building with the UVAPS. *Atmospheric Environment*, **38**(23), 3893-3901, 2004.

14. Peter, T., Anne, A. and Spencer, P. S. : Concentrations of bioaerosols, odors, and hydrogen sulfide inside and downwind from two types of swine live-stock operations. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, **6**(4), 211-220, 2009.
15. Martin, E., Kämpfer, P. and Jäckel, U. : Qualification and identification of culturable airborne bacteria from duck houses. *Annals of Occupational Hygiene* Advance Access published online on December **30**, 2009.
16. Kim, Y. H., Suh, H. J., Kim, J. M., Jung, Y. H. and Moon, K. W. : Evaluation of environmental circumstance within swin and chicken houses in South Korea for production of safe and hygienic animal food products. *Korea Journal of Food Science and Animal Resources*, **28**(5), 623-628, 2008.
17. Jo, W. K. and Kang, J. H. : Exposure levels of airborne bacteria and fungi in Korean swine and poultry sheds. *Archives of Environmental and Occupational Health*, **60**(3), 140-146, 2005.
18. Remillard, J. F., Gould, M. C., Roslansky, P. F. and Novitsky, T. J. : Quantitation of endotoxin in products using the LAL kinetic turbidimetric assay. *Progress in Clinical & Biological Research*, **231**, 197-210, 1987.
19. Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., Kim, C. N. and Kim, Y. S. : Assessment of airborne bacteria and fungi in pig buildings in Korea. *Biosystem Engineering*, **99**, 565-572, 2008.
20. Pavicic, Z., Balenovic, H., Tofant, M., Kabalin, A. E., Popovic, M., Balenovic, M., Matkovic, K. and Valpotic, A. : Influence of porcine housing density on species diversity and number of airborne microorganisms at fattening facilities. *Acta Veterinaria Brunensis*, **75**, 533-540, 2006.
21. Pavicic, Z., Balenovic, T., Kabalin, A. E., Matkovic, K., Popovic, M., Biuk-Rudan, N., Potocnjak, D. and Gracner, G. G. : Influence of number of piglets per unit of space on microbiological quality of air in rearing unit. *Tierarzt Umschau*, **63**, 30-35, 2008.
22. Clark, S., Rylander, R. and Larsson, L. : Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust in poultry and swine confinement buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **44**, 537-541, 1983.
23. Morris, P. O., Lenhart, S. W. and Service, W. S. : Respiratory symptoms and pulmonary function in chicken catchers in poultry confinement units. *American Journal of Industrial Medicine*, **19**, 195-204, 1991.
24. Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T. and Kim, C. N. : Effect of spraying biological additives for reduction of dust and bioaerosol in a confinement swine house. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, **13**(1), 133-138, 2006.
25. Thorne, P. S., Niekhaefer, M. S., Whitten, P. and Donham, K. J. : Comparison of bioaerosol sampling methods in barns housing swine. *Applied and Environmental Microbiology*, **58**(8), 2543-2551, 1992.
26. Griffiths, W. D. and Decosemo, G. A. L. : Assessment of bioaerosols: a critical review. *Journal of Aerosol Science*, **25**, 1425-1458, 1994.
27. Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., Kim, Y. S., Roh, Y. M., Lee, C. M. and Kim, C. N. : Influence of extreme seasons on airborne pollutant levels in a pig-confinement building. *Archives of Environmental and Occupational Health*, **62**(1), 27-32, 2007.
28. Oh, S. W., Kim, J. H., Lee, W. K., Lee, Y. S., Joung, H. C., Cco, I. H., Kim, Y. W. and Byeon, S. H. : Environmental assessment of oilmist, endotoxins and microbes in a machining plant. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, **14**(1), 1-7, 2004.
29. Lee, C. R., Kim, K. Y., Kim, C. N., Park, D. U. and Roh, J. H. : Investigation on concentrations and correlations of airborne microbes and environmental factors in the general hospital. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, **15**(1), 45-51, 2005.
30. Hađina, S., Pinter, L. J., Uhitil, S., Vučemilo, M. and Jakšić, S. : The assessment of gram-negative bacteria in the air of two swine nursery buildings. *Veterinarski Arhiv*, **79**, 219-227, 2009.
31. Hederik, D., Brouwer, R., Biersteker, K. and Boleij, J. S. M. : Relationship of airborne endotoxine and bacteria levels in pig farms with the function and respiratory symptoms of farmers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, **62**, 595-601, 1991.
32. Marthi, B. and Lighthart, B. : Effects of betaine on the enumeration of airborne bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, **56**, 1286-1289, 1990.
33. Walter, M. V., Marthi, B., Fieland, V. P. and Ganio, L. M. : Effect of aerosolization on subsequent bacterial survival. *Applied and Environmental Microbiology*, **56**, 3468-3472, 1990.
34. Seedorf, J., Hartung, J., Schröer, M., Linkert, K. H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P. W. G., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P. and Wathes, C. M. : A survey of ventilation rates in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **70**, 39-47, 1998.
35. Song, J. H., Min, J. Y., Jo, K. A., Yoon, Y. H. and Paik, N. W. : A study on airborne microorganisms in hospitals in Seoul, Korea. *Journal of Environmental Health Science*, **33**(2), 104-114, 2007.