

# 터널환기 무창육계사의 분진크기별 분포와 배출농도에 관한 연구

최희철 · 연규영 · 송준익 · 강희설 · 권두중 · 유용희 · 양창범 · 천상석\* · 김용국\*\*  
축산연구소

## Dust Spatial Distribution and Emission of Tunnel Ventilated Windowless Broiler Building

Choi, H. C., Yeon, G. Y., Song, J. I., Kang, H. S., Kwon, D. J., Yoo, Y. H.,  
Yang, C. B., Chun, S. S.\* and Kim, Y. K.\*\*

National Livestock Research Institute, RDA, Suwon, Korea 441-350

### Summary

This study investigated the spatial distribution of dust originating from tunnel-ventilated windowless broiler building measuring 12 m wide, 61 m long, with a side wall height of 3 m and a capacity of 16,982 birds. Dust concentrations in terms of total suspended particles (TSP), and particulate matter of sizes 10  $\mu\text{m}$  (PM10), 2.5  $\mu\text{m}$  (PM2.5), and 1  $\mu\text{m}$  (PM1) were measured at 30 minutes interval by using GRIMM Aerosol Monitor (GRIMM AEROSOL). The spatial distribution of dust showed the lower dust concentration in the inlet than in the outlet of the tunnel ventilation, and dust concentration decreasing as the dust size decreased, as follows: 317.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  TSP; 74.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10; 9.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5; and 6.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM1 in the inlet; and 2,678.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  TSP; 555.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10; 33.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5; and 10.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM1 in the outlet. The dust concentration emitted from the tunnel ventilated fan was 446.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  TSP; 129.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10; 15.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5; and 6.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM1 in the 3 meters from the fan and 25.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  TSP; 8.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10; 5.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5; and 4.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM1 in the 50 meters from the fan.

(Key words : Dust, Particulate matter, Distribution, Windowless, Broiler)

### 서 론

우리나라의 무창형 계사는 90년대 초반부터 도입되기 시작되었으나 초반에는 주로 산란계사 위주로 시설되었고 90년대 후반부터

육계사에도 무창계사가 도입되기 시작하였다. 무창계사의 도입으로 단위면적당 사육수가 급속히 증가하였으며 환기를 통한 계사 환경관리를 하게 되면서 환기량이 많은 계절에 비하여 환기량이 적은 겨울철에 많은 분

\* (주)다인엔지니어링(Dyne Engineering)

\*\* 충남대학교(Choongnam Nat. Univ.)

Corresponding author : Choi, H. C., National Livestock Research Institute, RDA, Omokchun-Dong 564, Suwon, Korea, 441-350. E-mail : choihc@rda.go.kr

진농도를 보이고 있다. 우리나라의 무창계사에서 계절별 먼지농도를 조사한 바에 따르면 환기량이 많은 여름철 무창육계사의 주령별 먼지농도는 TSP(Total Suspended Particles)의 경우 1주령 1,229, 2주령 904.5, 3주령 558.8 그리고 4주령시 1,053  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 반면 겨울철에는 TSP의 경우 1주령시 465.4, 2주령시 1,401, 3주령시 4,497, 4주령시 5,097 그리고 5주령시 6,873  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 겨울철 5주령시 최대 TSP량은 11,132  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 보여 노출기준에 비하여 매우 높게 검출되었다고 보고했다(최 등, 2005). 분진은 특히 계군이나 관리자의 건강에 해로운 부유 분진은 각종 호흡기 질병을 일으키고 눈과 피부 등을 자극하여 알러지와 염증, 궤양을 일으키고 진폐증의 원인이 되기도 하며 중금속이 함유되어 있어 신장 및 조혈장기 등 특정장기에 작용하여 급·만성 장애를 유발하고 각종 바이러스, 세균, 유해가스 등의 운반체로서 질병 전파의 매개체 역할을 한다(Carpenter, 1986). 분진의 농도는 가축의 활동량에 따라 영향을 받으며 계사의 위치에 따라서 매우 다르게 나타난다. 특히, 환기를 하는 계사에서는 입기구와 배기구의 위치에 따라서 먼지의 양은 매우 큰 차이가 있다(Barber 등, 1991). 또한 환기를 하는 계사에서의 먼지농도에 영향을 미치는 요소는 공기의 흐름, 중력에 의한 침강, 확산, 응결 및 재확산 등 여러 가지 요인에 따라 달라질 수 있다. 따라서 이러한 여러 가지 요인들에 의한 계사 내부의 위치별 먼지의 분포와 이동특성을 파악하는 연구들이 수행되고 있다. 계사 내부에서의 먼지 농도 뿐만 아니라 계사에서 배기팬을 통하여 배출되는 배출 먼지에 대한 관심이 많아지고 있다. 왜냐하면 먼지는 각종 바이러스, 세균과 유해가스 등을 운반하는 운반체로서 먼지가 날아가는 곳에 이들도 함께 운반되어져 가기 때문이며 배출되는 먼지는 농장을 오염

시키고 주위의 인근농가에 확산되어 많은 민원을 야기하고 있다(Carpenter, 1986). 특히 2005. 2. 10부터 우리나라에서도 악취방지법이 시행되고 있어 축산농가들이 악취 전파방지를 위하여 많은 노력을 하고 있으며 먼지의 확산 방지가 민원의 방지와 직결된다고 볼 수 있다. 따라서 우리나라 육계농가에 보급되어 있는 터널환기 무창계사 내부의 위치별 분진농도를 알아보고 외부로의 먼지 확산범위를 알아보려 본 연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험계사

본 시험에 공시된 계사는 경기도 화성에 소재한 육계농장의 계사로서 길이 61 m 폭 12 m 벽의 높이가 3 m 이었으며, 16,982수를 사육하여 사육밀도는 23.2 수/ $\text{m}^2$ 인 무창계사에서 분진농도를 조사하였다. 깔짚은 왕겨를 연속이용하는 계사로서 겨울철에는 크로스식 환기를 하고 여름철에는 터널환기를 하는 계사이다. 조사시기는 2003년 9월 초순으로 외부온도는  $27.6 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 이었고 상대습도는  $70.9 \pm 2.3\%$ 이었으며 입기구쪽에서 배기팬 방향으로 초속 0.12 m의 바람이 불었다. 조사당시 계사는 122 cm 대형 터널팬 6대를 가동하고 있었으며, 총 배기용량은 3,482.8  $\text{cm}^3$ 이었다.

### 2. 조사지점 및 방법

1) 계사 내부의 분진농도 분포는 계사를 4등분 한 다음 입기구 방향에서 1/4지점 3지점(좌측, 중앙, 우측), 계사중앙 3지점(좌측, 중앙, 우측), 계사 끝부분 1/4지점(좌측, 중앙, 우측) 및 터널팬 앞 3 m 지점(좌측, 중앙, 우측)의 닭의 높이인 20 cm 지점에서 측정하였다.

2) 계사 외부의 분진의 확산범위 측정은

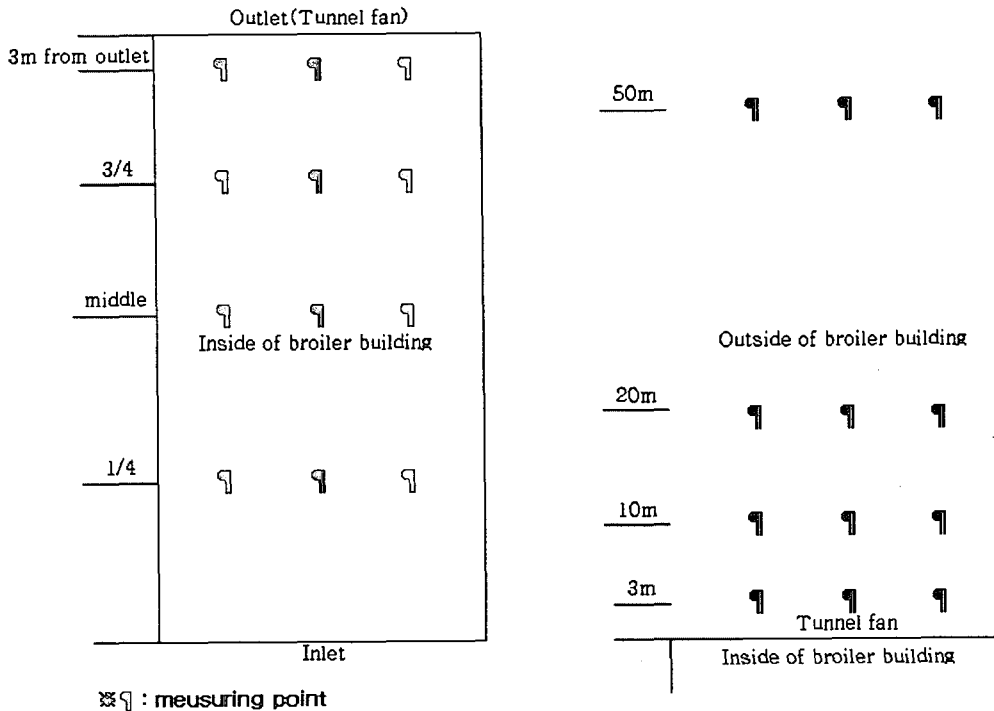


Fig. 1. Dust monitoring point of the inside and outside of broiler building.

배기팬 앞에서 3 m 지점에서 계사 중앙, 좌측, 우측에서 측정하였으며 배기팬으로부터 10 m 지점, 20 m 지점, 50 m 지점에서 각각 3지점씩 분진크기별 분진농도를 측정하였으며, 1 m 높이에서 측정하였다.

### 3. 분석방법

계사 내외부의 각 지점별 먼지의 크기별 농도 측정은 GRIMM aerosol Monitor(GRIMM AEROSOL, Germany)를 이용하여 1분간의 평균 분진량을 5회씩 측정하여 평균값을 구하였으며 TSP(Total Suspended Particle), PM10 (Particulate Matter smaller than 10  $\mu\text{m}$ ), PM2.5 (Particulate Matter smaller than 2.5  $\mu\text{m}$ ), PM1.0 (Particulate Matter smaller than 1.0  $\mu\text{m}$ )에 대하여 먼지크기별로 농도를 측정하였다. 위치별 분진분포 분석은 SUFFER Ver. 7.0 프로그램을 이용하여 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 계사내 부위별 분진의 분포

터널 환기를 하는 무창 육계사의 계사 부위별 분진의 농도는 표 1과 그림 2에서 보는 바와 같다. 외부공기의 분진농도는 TSP 22.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 매우 낮은 반면 계사 내부의 분진농도는 매우 높았다. 그러나 입기구 방향 계사 1/4 지점의 먼지농도는 TSP의 경우 301.0~1,366.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 입기구의 위치에 따라 차이가 있었으며 PM10, PM2.5, PM1.0에서도 TSP가 높은 곳에서 높은 경향이였다. 입기구 쪽에서부터 증가하기 시작한 먼지는 계사 중앙과 뒷부분 3/4 지점을 통과하면서 더욱 증가하였으며 특히 배기팬 앞 3미터 지점에서는 TSP 2065.8~3,092.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 입구에 비하여 약 10배가량 증가하였으나 PM 10의 경우 456.3~606.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM 2.5 27.6~36.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Table 1. Spatial dust distribution in different position of tunnel ventilated windowless broiler house

Position		TSP	PM10	PM2.5	PM1.0
Inlet air		22.2	9.5	7.2	6.3
Front, 1/4	right	351.0	82.3	9.1	5.8
	middle	301.9	70.9	10.0	6.4
	left	1,366.0	322.8	22.2	7.8
Middle	right	1,918.2	428.0	24.9	7.2
	middle	1,032.8	247.7	17.7	7.0
	left	1,635.7	372.9	24.3	8.0
Rear, 3/4	right	1,347.2	319.5	23.5	9.8
	middle	1,580.6	378.4	24.1	8.7
	left	1,622.6	353.4	24.9	8.2
3m from fan	right	2,877.4	603.5	35.9	11.3
	middle	3,092.2	606.7	36.3	10.9
	left	2,065.8	456.3	27.6	8.3

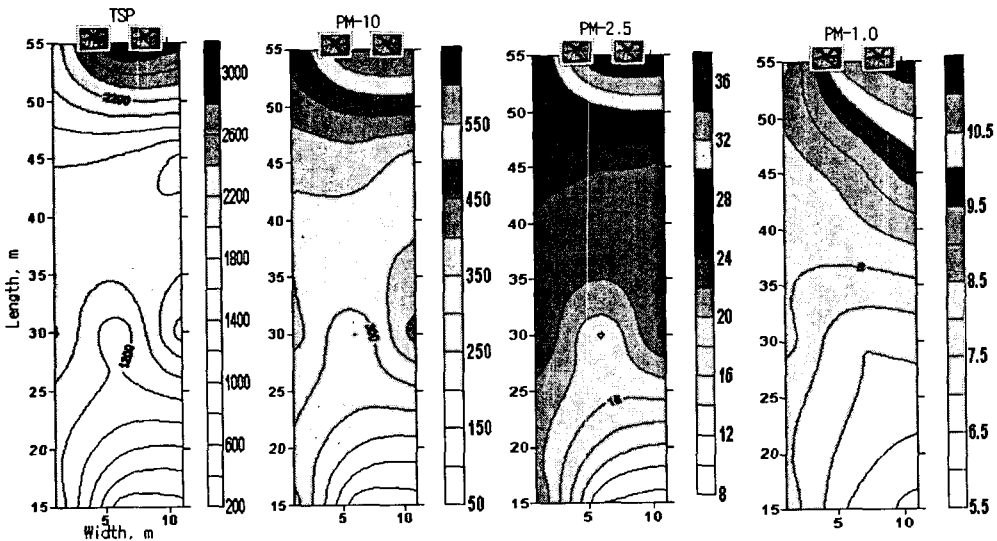


Fig. 2. Dust spatial distribution in tunnel ventilated windowless broiler house.

$m^3$ , PM 1.0 8.3~11.3  $\mu g/m^3$ 으로 TSP에 비하여 차이가 크지 않았다. 특히, 입자도가 가장 작은 PM 1.0의 경우 2배 내외의 차이가 있어서 입기구에서 발생된 작은 입자의 먼지가 기류를 타고 흐르면서 다른 먼지와 뭉쳐져 큰 먼지가 되는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 Barber 등(1991)이 터널식 환기를 하는

육계사의 경우 위치에 따라서 먼지 농도가 매우 차이가 있다고 한 연구결과와 같은 경향이였으나, Zhang 등(1996)의 보고와 같이 환기량을 높게 하여도 계사내부의 먼지를 완전히 없앨 수는 없다고 하였다. 또한 Carpenter(1986)은 환기를 하는 계사에서 공기의 흐름과 증력에 의한 침강, 확산, 응결 등

에 의하여 먼지농도가 달라진다고 보고하였으며 본 연구에서도 작은 먼지 입자들이 침강과 응결 등의 행동에 의하여 작은 먼지가 큰 입자로 응결되어 큰 입자에 비하여 작은 입자의 경우 입기구와 배기구간에 적은 차이를 보이는 것으로 사료된다.

2. 배기팬으로부터 배출된 먼지의 거리별 농도

대형 배기팬을 통하여 배출된 먼지는 처음에는 배기팬의 불어내는 힘에 의하여 이동하다가 큰 먼지입자는 점차 가라앉고 작은 입자는 바람을 타고 주위로 날아가게 된다. 본 시험에서 122 cm 크기의 터널환기용 대형팬 6대에서 배출되는 먼지의 위치별 확산량은 표 2 및 그림 3에서 보는 바와 같으며 팬으로부터 3m의 지점에서 TSP 354.8~574.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 부터 3m의 지점에서 TSP 354.8~574.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 매우 높은 농도를 보였으며 PM10

Table 2. Dust emission rate in different distance from exhaust fan in tunnel ventilated windowless broiler house

Position		TSP	PM10	PM2.5	PM1.0
3m from fan	right	574.8	156.2	18.0	6.4
	middle	354.8	94.4	14.6	6.0
	left	410.3	136.6	14.9	6.0
10m from fan	right	386.1	110.6	10.7	5.5
	middle	127.6	36.4	7.2	5.3
	left	128.7	36.1	7.6	5.3
20m from fan	right	141.5	39.5	7.6	5.2
	middle	190.7	62.2	8.2	5.4
	left	136.7	33.6	7.2	5.2
50m from fan	left	25.1	8.8	5.6	4.9

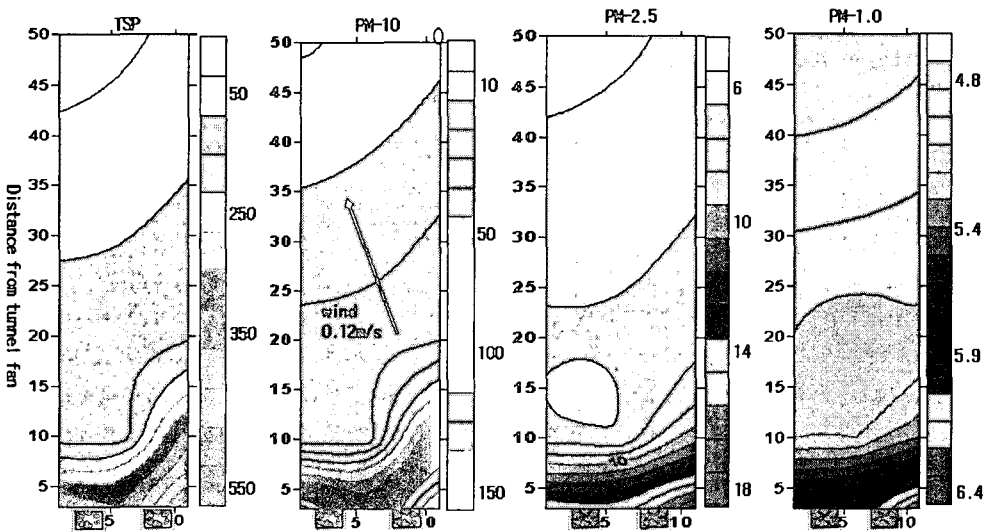


Fig. 3. Dust emission rate in different distance from exhaust fan in windowless broiler house.

94.4~156.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM2.5 14.6~18.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM1.0 6.0~6.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 입자 크기에 관계없이 높은 농도를 보였으나 거리가 멀어질수록 감소하기 시작하여 50 m 지점에서는 TSP 25.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM10 8.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM2.5 5.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM1.0 4.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 매우 낮아진 것을 확인할 수 있었다. Lacy 등(2003)은 터널환기를 하는 육계사에서 육계 사육시 수당 1일 25.6  $\text{mg}/\text{m}^3$ 의 PM10을 발생시키며 49일간 사육시 1.3 g의 PM10을 발생시킨다고 했다. 또한 Wathes 등(1997)은 산란계 500 kg 체중당 0.86~8.24 g/h의 먼지를 배출한다고 했다. 또 Dawson (1990)은 계사 먼지의 발생은 가축의 활동량, 온도, 습도, 사료 급이 방법과 환기량 등에 따라 달라지며 환기량이 적은 겨울철에 분진 농도가 높아진다고 했으며 최(2005) 등도 환기량이 많은 여름철 4주령시 TSP는 1,053  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 반면 환기량이 적은 겨울철에 11,132  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다고 하였다. 본 시험에서도 배기팬에서 배출된 먼지는 높은 농도를 보였으나 계사로부터의 거리가 멀어질수록 분진농도가 낮게 나타난 것으로 보인다.

### 3. 계사의 위치별 분진농도 차이 비교

그림 4는 터널환기를 하는 육계 무창계사의 입기구와 배기구의 분진크기별 평균농도를 표시한 것이며 TSP의 경우 입기구는 317.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인데 비하여 배기구의 경우 2,678.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 8.42배 높았으며 PM10의 경우 입기구 74.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 배기구 555.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 7.4배 높았다. 그러나 PM2.5는 입기구 9.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 배기구 33.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 3.4배 높았고 PM1.0은 입기구 6.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 배기구 10.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 1.6배 높아서 먼지입자 크기가 작을수록 입기구와 배기구간 차이가 나지 않고 입자도가 큰 먼지일수록 더 큰 차이를 보였다. Carpenter(1986)는 육계의 경우 일령에 따라 1.3~16.8  $\text{mg}/\text{m}^3$ 의 분진농도를 보

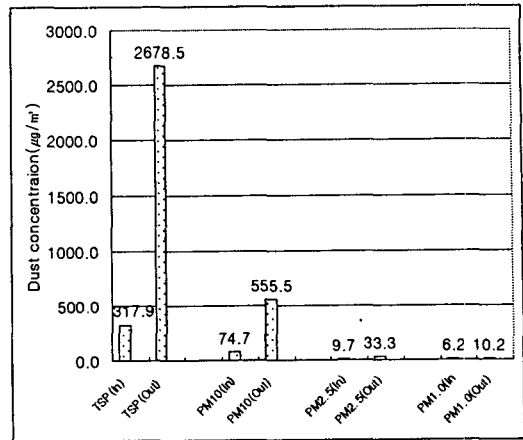


Fig. 4. Comparison of dust concentration on the inlet and outlet in window-less broiler building.

이며 환기를 할 경우 위치에 따라 다르게 나타난다고 하였으며 Qi 등(1992)은 육계의 분진 발생량은 한 마리당 한시간에 2.5~90 mg이라고 했으며 환기 등 분진 저감방법에 의하여 계사 내 분진농도를 낮추어 줄 수 있다고 하였다. Maghirang 등(1991)은 계사내에서의 분진농도는 입기구와 배기구, 환기량 등에 따라 1.1~2.3배 차이가 난다고 하였으며 본 시험에서도 입기구에서는 외부의 신선한 공기가 유입되어 낮은 분진농도를 보인 반면 배기팬 쪽으로 갈수록 높은 분진농도를 보였다.

### 4. 배기팬으로부터 거리별 먼지농도 비교

그림 5는 터널형 환기를 하는 48인치 대형 팬에서 불어나오는 배출먼지를 3m와 20m 거리에서 측정한 평균값을 나타낸 것이며 TSP의 경우 3 m 지점에서 446.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 20 m 지점에서는 156.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 34.9% 수준이었고 PM10의 경우에도 3m지점 129.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 20 m 45.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 34.9% 수준이었으나 PM2.5는 3 m 지점 15.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 20 m 지점 7.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 48.7% 수준이었고 PM1.0은 3

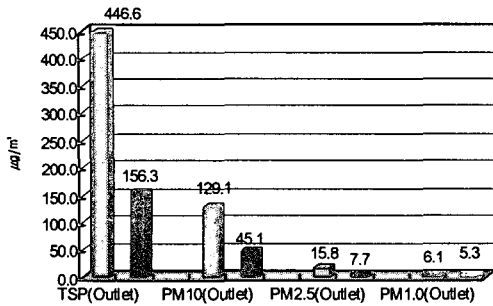


Fig. 5. Comparison of dust concentration in outlet and 20m from tunnel ventilated windowless broiler building.

미터지점  $6.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 20 m 지점  $5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 86.8% 수준을 보여 입자가 작은 먼지는 멀리까지 날아가는 반면 입자도가 큰 먼지는 배기팬에서 배출된 후 무게에 의하여 바로 침강하는 것을 알 수 있다. Wathes(1999)는 터널환에서 배출되는 먼지의 농도는 계사 내부의 작업에 따라 다르게 나타나며 공기의 흐름, 지형지물, 바람의 유동 등에 따라 달라진다고 하였다. Carpenter(1986)는 계사에서 배기팬을 통하여 배출되는 배출 먼지에 대한 관심이 많아지고 있으며 계사에서 배출되는 먼지는 농장을 오염시키고 주위의 인근농가에 확산되어 많은 민원을 야기하고 있다고 하였다. 본 시험에서도 20 m 거리에서 TSP의 경우 배출구에 비하여 2.9배 높았으며 PM1.0의 경우 배출구와 20 m 거리와의 농도차이가 1.2배 밖에 되지 않아서 분진크기가 작을수록 먼거리까지 도달되는 것을 알 수 있다.

## 적 요

본 연구는 터널환기 무창육계사의 계사내부의 위치별 먼지 농도 분포와 배기팬에서 배출된 먼지의 확산범위를 알아보고자 수행하였으며 결과는 다음과 같다.

1. 입기구 방향의 계사 1/4 지점의 먼지농도는 TSP의 경우  $301.0 \sim 1,366.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 입

기구의 위치에 따라 차이가 있었다.

2. 터널환 앞 3 m 지점에서는 TSP  $2065.8 \sim 3,092.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM 10  $456.3 \sim 606.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM 2.5  $27.6 \sim 36.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM 1.0  $8.3 \sim 11.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 입기구에 비하여 증가하였다.

3. 배기팬으로부터 3m의 지점의 먼지 배출량은 TSP  $354.8 \sim 574.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 매우 높았으며 PM10  $94.4 \sim 156.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM2.5  $14.6 \sim 18.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM1.0  $6.0 \sim 6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

4. 배기팬으로부터 50 m 떨어진 지점에서의 분진농도는 TSP  $25.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM10  $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM2.5  $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM1.0  $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 매우 낮은 분진농도를 보였다.

5. 입기구와 배기구 간 분진농도의 차이는 TSP의 경우 입기구에서  $317.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인데 비하여 배기구는  $2,678.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 8.42배 높았으며 PM10 7.4배, PM2.5 3.4배, PM1.0 1.6배 높았다.

6. 배기팬으로부터 거리별 분진의 배출농도는 3 m 지점에서  $446.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 20 m 지점에서는  $156.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 34.9% 수준이었고 PM10 34.9%, PM2.5 48.7%, PM1.0 86.8% 수준이었다.

## 인 용 문 헌

1. Baber, E. M., Dawson, J. R., Battams, A. and Nicol, R. A. C. 1991. Spatial variability of airborne and settled dust in a piggery. J. Agr. Eng. Res. 50:107-127.
2. Carpenter, G. A. 1986 : Dust in livestock buildings. J. agri. Engng. Res. 33:227-241.
3. Dawson, J. R. 1990. Minimizing dust in livestock buildings: Alternatives to mechanical separation. J. agri. Engng. Res. 47: 235-248.
4. Lacy, R. E., Redwine, J. S. and Parnell, C. B. 2003. Particulate matter and ammonia emission factors for tunnel

- ventilated broiler productionhouses in the southern U.S. Transactions of the ASAE. Vol. 46(4):1203-1214.
5. Maghirang, R. G., Manbeck, H. B., Roush, W. B. and Muir, F. V. 1991. Air contaminant distributions in a commercial laying house. Transactions of the ASAE. Vol 34(5):2171-2180.
  6. Qi, R., Manbeck, H. B. and Maghirang, R. G. 1992. Dust particle net generation rate in a poultry house. Transactions of the ASAE 35(5):1639-1645.
  7. Wathes, C. M., Holden, M. R., Wseath, R., White, R. P. R. P. and Phillips, V. R. 1997. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. British poultry science. 38:14-28.
  8. Wathes, C. M. 1999. Strive for clean air in your poultry house. World poultry vol. 15, No. 3:17-19.
  9. Zhang, Y., Tanaka, A., Barber, E. M. and Feddes, J. J. R. 1996. Effect of frequency and quantity of sprinkling canola oil on dust reduction in swine buildings. Transactions of the ASAE. 39(3):1077-1081.
  10. 최희철, 연규영, 송준익, 강희설, 권두중, 유용희, 바로가, 양창범, 천상석, 김용국. 2005. 무창 육계사의 계절별 먼지 농도와 특성 연구. 한국축산시설환경학회지 제11 권 제3호:197-206.