

변형된 사이클론 먼지포집기의 이용이 무창계사의 먼지농도에 미치는 영향

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

축산과학원

Effect of Modified Cyclone Dust Collector in 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 Institute of Animal Science, RDA

Summary

This study was carried out to develop the modified cyclone dust collector in windowless broiler building measuring 12 m wide, 46 m long, with a side wall height of 3 m and a capacity of 12,800 birds. Ventilation rate in windowless broiler building was 0.014~0.015 and 0.158~0.181 cmm in second weeks and fifth weeks of age, respectively. Ammonia concentration was 13~16 and 20~24 ppm in first and second weeks of age, respectively. Amount of dust collected in dust collector each week was 104.1, 274.7 and 388.6g in first, second and third weeks of age. But it was decreased from fourth weeks of age because of the increased ventilation rate. Total suspended particulate(TSP) of polluted air was 3,111.7~8,745.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, but it was decreased to 530.8~2,264.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ when it passed through the dust collector. Collecting efficiency was 54.2~82.9% in TSP. But collecting efficiency of Particulate matter smaller than 1 μg (PM1.0) was 7.6~33.8%, and lower than TSP. TSP concentration in control broiler house was 1,387.6 and 4,210.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in first and fourth weeks of age, respectively. But it was decreased to 876.3 and 2,535.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in broiler house operated dust collector in first and fourth weeks of age, respectively. Dust collecting efficiency for TSP was 36.8~39.8%, and it was decreased to 11.4~39.8% in smaller dust size. (Key words : Dust, Particulate matter, Dust collector, Cyclone, Windowless, Broiler)

서 론

우리나라의 계사 형태는 개방형, 무창형이 존재하고 있으나 최근 새로운 시설을 하는

농가들은 완전 자동화된 고밀집 무창형 축사 위주로 시설을 개선하는 농가가 많아지고 있다. 이러한 무창형 축사의 경우 환기를 통하여 사육환경을 조성하고 있으나 우리나라 실

* (주)다인엔지니어링(Choongbuk province, Korea 373-800, Dyne Engineering)

** 충남대학교(Choongnam National University.)

Corresponding author : Choi, H. C. National Institute of Animal Science, RDA, Omockchun-Dong 564, Suwon, Korea, 441-350. E-mail : choihc@rda.go.kr

정에 맞지 않는 환기형태를 갖추었거나 제대로 환기시설을 갖추었다더라도 계절별, 사육단계별 적정 환기시설 운용 미흡으로 인하여 계사 내부의 환경은 매우 열악한 실정이다. 특히 과거에는 3.3m²당 45수 내외를 사육하던 것에 비하여 육계의 경우 70-90수를 사육하여 권장 사육밀도에 비하여 1.6~2.0배 고밀도 사육을 하는 농가가 많아지고 있으며 산란계의 경우에도 109.5~192.5수를 사육하여 매우 고밀도 사육을 하고 있다(최 등, 1996). 이러한 고밀집 사육은 동물복지적 측면에서의 문제점 뿐만 아니라 사육환경적 측면에서도 많은 문제를 야기시키고 있다. 특히 닭은 깃털이 있고 육계의 경우 깔짚사육을 하고 있어서 많은 먼지를 발생하고 있다. 먼지는 미생물이나 포자, 깃털, 피부박편, 깔짚, 계분, 사료 그리고 물방울 등을 포함하고 있으며(Koon 등, 1966), 고농도 먼지로 인해 많은 스트레스를 받게 되며 먼지로 인하여 질병이 전파되기도 한다. 특히 호흡성분진이라고 하는 0.5~5 μ m 크기의 먼지가 가축의 건강을 위협한다. 호흡성분진은 가축관리자나 가축의 기관지까지 도달하여 폐포에 침착하며 기도의 점액 생산을 방해하고 섬모를 손상시켜 병원성 미생물의 감수성을 높여준다(Mighirang 등, 1991, Carpenter, 1986). 먼지농도에 영향을 주는 인자로는 여러 가지가 있으며 가축의 활동, 공기온도, 상대습도, 환기율, 사육밀도, 두당 사육용적, 사료급여방법과 사료형태, 깔짚의 수분함량과 종류 등에 의하여 영향을 받는다(Honey와 McQuitty, 1976). 우리나라의 무창육계사에서 계절별 먼지농도를 조사한 바에 따르면 환기량이 많은 여름철 무창육계사의 주령별 먼지농도는 TSP의 경우 1주령 1,229, 2주령 904.5, 3주령 558.8 그리고 4주령시 1,053 μ g/m³인 반면 겨울철에는 1주령시 465.4, 2주령시 1,401, 3주령시 4,497, 4주령시 5,097 그리고 5주령시 6,873 μ g/m³이었고 겨울철 5주령시 최대 TSP량은 11,132

μ g/m³을 보여 노출기준에 비하여 매우 높게 검출되었다고 보고했다(최 등, 2005). 계사의 먼지농도를 감소시키기 위하여 여러 가지 방법이 시도되었었으며 Takai 등(1993)은 안개분무, 필터링, 사료첨가제, 이온화 등을 통하여 먼지가 줄어들 수 있다고 했고 Gore 등(1986)은 5%의 대두유를 사료에 첨가 급여시 먼지는 47%, 부유미생물은 27%가 감소한다고 했으며 Ashman(1971)은 사이클론, 습식세정시설, 정전기방식, 필터 등도 먼지 저감효과가 있으나 먼지의 크기와 조건에 따라 효과는 다양하게 나타난다고 하였다. 따라서 우리나라 육계농가에 보급이 가능한 먼지포집기를 개발하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험계사

본 시험에 공시된 계사는 경기도 화성에 소재한 육계농장의 계사로서 길이 46m 폭 12m 벽의 높이가 3m이었으며 12,800수를 사육하여 사육밀도는 23.2 수/m²인 무창계사에서 분진농도를 조사하였다. 깔짚은 왕겨를 연속해서 이용하는 계사로서 크로스식 환기와 터널식환기를 병행하는 계사이다. 조사시기는 2004년 4.28.~6.2.까지 시험을 수행하였으며 조사당시 계사는 122cm 대형 터널팬 4대와 91.5cm 3대를 가동하고 있었으며 둘째 주의 환기량은 수당 0.014~0.015 m³/min이었으며 5주령에는 0.158~0.181 m³/min이었다.

2. 먼지포집기의 제원

먼지포집기는 지름이 400mm로 내부에 시로코팬이 부착되어 있어서 공기를 원통 방향으로 불어넣어 주면 원심력에 의하여 먼지가 돌다가 벽에 부딪치면서 먼지 포집통으로 모이도록 되어 있는 사이클론의 원리를 응용한

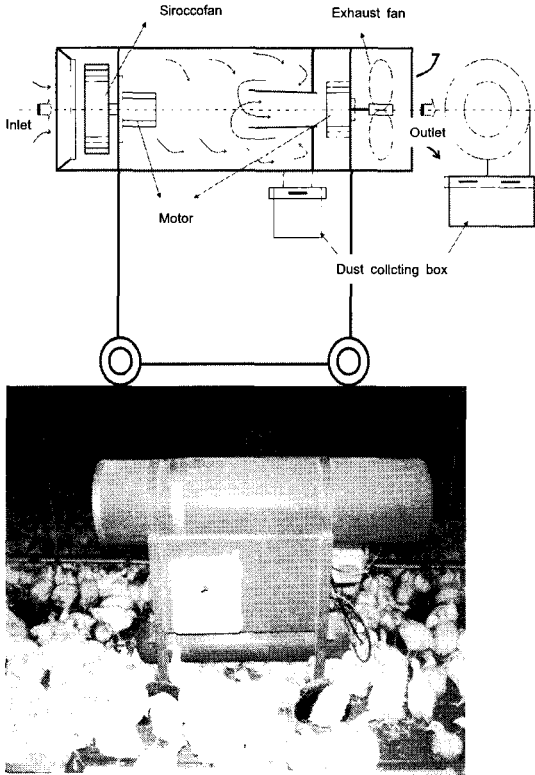


Fig. 1. Cyclone type dust collector used in broiler building.

먼지포집기로서 풍량은 분당 10.75m^3 이었다. 먼지포집기는 계사의 중앙 각 1/3지점에 설치하여 계속적으로 계사안의 오염된 공기를 순환시키면서 먼지를 포집하도록 되어 있다.

3. 먼지 농도 측정방법

먼지포집기의 먼지 포집능력을 측정하기 위하여 매 주령마다 먼지포집기의 inlet와 outlet에 먼지측정기를 위치하고 1분간격으로 측정하여 5회를 측정하여 평균값으로 먼지포집능력을 측정하였으며 계사 내부의 먼지 저감량을 분석하기 위하여 계사 중앙에 GRIMM aerosol Monitor(GRIMM AEROSOL, Germany)를 지표면에서 1m 높이에 설치하여 Total

suspended particulate(TSP), Particulate matter smaller than $10\mu\text{m}$ (PM10), Particulate matter smaller than $2.5\mu\text{m}$ (PM2.5), Particulate matter smaller than $1.0\mu\text{m}$ (PM1.0)에 대하여 먼지포집기가 설치된 시험구와 대조구 계사 간의 먼지크기별 농도를 30분 간격으로 24시간씩 측정하였다. 먼지 포집통에 모여진 먼지는 매 1주일마다 수집하여 먼지포집기별 먼지의 포집량을 무게를 달아서 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 시험계사의 환경

시험계사의 사육환경은 Table 1에서 보는 바와 같으며 온도는 1주령에 29°C , 습도는 41-43% 정도이었으며 2주령에 온도가 27°C 로 내려갔으나 그 이후 $30\sim 32^\circ\text{C}$ 의 온도를 보였다. 환기는 2주령부터 시작하여 최소환기시에 수당 $0.014\sim 0.15\text{cm}^3$ 으로 환기를 하다가 주령이 경과할수록 환기량을 늘려주어 5주령에는 수당 $0.158\sim 0.181\text{cm}^3$ 으로 환기를 하였다. 암모니아 가스 농도는 1주령에 13-16ppm으로 낮은 수준이었으나 2주령 이후 20~24.0ppm으로 상승하였으며 특히 대조구에서 높은 경향이였다. CO_2 농도도 1주령에는 400-500ppm으로 낮은 수준이었으나 2주령 이후 1,000~2,000ppm을 보였다. Carpenter(1986)는 먼지를 포집할 경우 유해가스 농도도 낮아진다고 하였으며 본시험에서도 시험구에서 암모니아가스 농도가 감소하는 것으로 나타났다.

2. 먼지포집기별 주령별 먼지포집량

계사내부에 설치한 3대의 동일한 먼지포집기에 포집된 먼지 중량을 매 주령별로 측정하여 먼지포집량을 측정하였으며 Table 2에서 보는 바와 같다. 주령별 먼지포집기에 포집된 먼지의 양은 1주령시 먼지포집기 1대

Table 1. Housing environment and ventilation rate in experimental building

Age	Item	Temperature (°C)	Humidity (%)	NH ₃ (ppm)	CO ₂ (ppm)	Ventilation rate (CMM/bird)
1st week	T	29	43	13.0	400	-
	C	29	41	16.0	500	-
2nd week	T	27	64	20.0	1,500	0.014
	C	27	65	24.0	2,000	0.015
3rd week	T	29	57	13.0	1,100	0.045
	C	30	50	22.0	1,500	0.063
4th week	T	33	52	12.0	1,000	0.135
	C	30	53	17.0	1,500	0.127
5th week	T	32	54	-	-	0.181
	C	31	46	-	-	0.158

Table 2. Amount of dust collected with each dust collector

Age	Amount of dust collected(g)			
	Collector#1	Collector#2	Collector#3	Average
1st week	116.0	123.0	73.6	104.1
2nd week	294.7	281.3	248.2	274.7
3rd week	304.8	403.8	457.1	388.6
4th week	159.3	305.6	558.2	341.1

당 1주일간 평균 104.1g 이었으나 2주령에는 274.7g로 증가하였고 3주령에는 388.6g로 주령이 경과함에 따라 증가하였으며 이는 최 등(2005)이 보고한 바와 같이 육계의 주령이 경과할수록 계사의 먼지농도가 증가하여 포집량도 증가하는 것으로 사료되며 4주령부터는 환기량이 증가하여 계사 내부 먼지 농도가 감소하면서 포집량도 감소하는 것으로 보인다.

3. 먼지제거기의 집진효율 분석

먼지제거기의 주령별 먼지포집 능력을 알아보기 위하여 먼지제거기로 들어가는 공기와 먼지제거기를 통과한 공기의 먼지농도를

측정하였다. TSP의 경우 1주령시 먼지제거기 통과전에 4,948.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 먼지제거기를 통과한 후 2,264.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 54.2%의 먼지를 포집하였으며 4주령시에는 82.9%의 먼지 저감 효과를 보였다. 그러나 TSP, PM10, PM2.5, PM1.0에 있어서 먼지 입자의 크기가 작을수록 먼지 포집 효율은 낮아지는 것으로 나타났다. PM2.5의 경우 27.4~59.5%, PM 1.0은 7.6~33.8%로 PM1.0에서 포집효율이 훨씬 떨어지는 것으로 나타났다. Carpenter와 Fryer (1990)는 돈사에서 필터를 이용하여 먼지를 제거시 99.2% 제거가 가능하다고 했으며 Pearson (1993)는 wet scrubber를 이용시 83%까지 먼지 제거효과가 있다고 하여 본 시험보다 높

최희철 등 : 변형된 사이클론 먼지포집기의 이용이 무창계사의 먼지농도에 미치는 영향

Table 3. Dust concentration and collecting efficiency of modified cyclone dust collector

Item		TSP	PM10	PM2.5	PM1.0
Inlet of dust collector	1st week	4,948.3	1,252.9	69.3	15.2
	2nd week	5,665.4	1,860.6	99.3	17.7
	3rd week	8,745.2	2,237.4	128.3	22.2
	4th week	3,111.7	837.2	55.5	15.3
	5th week	4,736.2	1,364.2	112.9	39.0
Outlet of dust collector	1st week	2,264.4 (54.2)	600.0 (52.0)	50.3 (27.4)	11.9 (21.9)
	2nd week	1,944.7 (65.7)	706.0 (62.1)	68.3 (31.2)	15.3 (13.6)
	3rd week	2,142.2 (75.5)	477.3 (78.7)	51.9 (59.5)	14.7 (33.8)
	4th week	530.8 (82.9)	195.2 (76.7)	36.5 (34.2)	14.2 (7.6)
	5th week	1,264.0 (73.3)	413.0 (69.7)	71.9 (36.3)	34.9 (10.4)

* () : Collecting efficiency (%)

** TSP : Total suspended particulate, PM10 : Particulate matter smaller than 10 μ m, PM2.5 : Particulate matter smaller than 2.5 μ m, PM1.0 : Particulate matter smaller than 1.0 μ m.

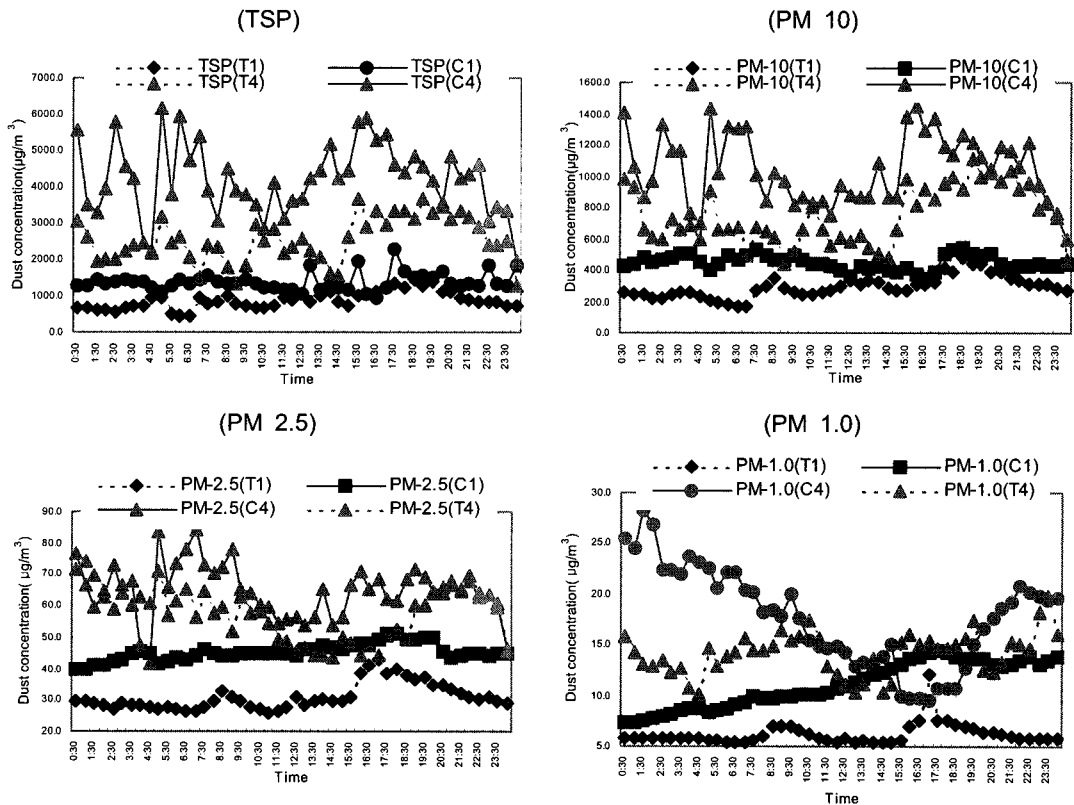


Fig. 2. Dust concentration of windowless broiler house in the 1st and 4th weeks of age during the operation of dust collector(T) or non-operation(C).

Table 4. Average dust concentration of windowless broiler house in 1st and 4th weeks of age during the operation of dust collector(T) or non-operation(C)

Item	1st weeks of age			4th weeks of age		
	T	C	Collecting efficiency (%)	T	C	Collecting efficiency (%)
TSP	876.3	1,387.6	36.8	2,535.3	4,210.1	39.8
PM 10	292.3	448.3	34.8	745.3	1,042.0	28.5
PM 2.5	30.9	45.3	31.8	57.4	64.6	11.4
PM 1.0	6.2	11.1	44.1	14.2	17.7	19.8

Table 5. Effect of dust collection on productivity and mortality of broilers raised in windowless broiler house

Item	Control	Dust collector
Mortality (%)	4.06	3.13
Marketing weight (kg/bird)	1.658	1.742

*Rearing periods : 43days.

은 효율을 보였으나 농장에 적용시 경제성이 낮다고 하였는데 본 먼지포집기의 계사 내부에서 공기를 계속적으로 재순환하므로 실용성 있게 활용이 가능할 것으로 보인다.

먼지포집기를 무창 육계농장에 설치하여 주령별 먼지 저감효과를 알아보기 위하여 시험을 수행하였으며 대조구 계사의 경우 1주령시 30분 간격으로 측정된 24시간 평균 TSP 농도는 1,387.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4주령 4,210.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높은 경향을 보였으나 변형된 사이클론식 먼지포집기를 이용할 경우 TSP는 1주령 24시간 평균이 876.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4주령 2,535.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 36.8~39.8%의 먼지 저감효과가 있었다. PM10의 경우 대조구는 1주령시 24시간 평균 448.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4주령 1,042.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 시험구의 1주령시 292.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4주령시 745.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 28.5~34.8% 높은 수준으로서 먼지제거기가 계사 내부 먼지 농도를 낮추는 효과가 있었다. 그러나 먼지입자 크기가 작은 PM2.5, PM1.0의 경우 환기량이 적은 1주령에는 농도가 낮게 나타났으나

환기량이 많은 경우 입자가 작은 먼지의 경우 환기를 통하여 밖으로 배출되어서 포집 효율이 11.4~19.8%로 낮게 나타났다. Ashman (1971)은 사이클론 방식의 먼지포집장치는 10 μm 이상의 큰 입자에 효과가 크다고 하였으며 본 시험에서도 PM2.5나 PM1.0보다는 입자가 큰 경우에 포집효율이 더 좋은 것으로 나타났다.

먼지포집기를 설치한 시험구의 경우 폐사율은 3.13%로 대조구 4.06%에 비하여 폐사율이 감소하였으며 출하체중은 대조구 1.658 kg/수로서 먼지포집기 가동 시험구의 1.742 kg/수에 비하여 출하체중이 적은 것으로 나타났다. 또한 먼지제거기를 가동시 먼지제거기 설치비용, 수리비용, 전기료 등의 비용이 발생하지만 폐사율 감소, 출하체중 향상 등으로 10,000수당 4,114천 원 정도의 경영개선 효과가 있는 것으로 나타났다. NASS(1986)는 미국 조지아에서 도계되는 557만 수의 폐기 닭 중 25%가 먼지에 의한 호흡기질병에 의한 것이라고 하였으며 Honey와 McQuitty

(1976)는 먼지농도가 높은 계사는 질병에 대한 감수성이 높다고 하여서 본 시험에서도 먼지포집기를 설치한 시험구에서 폐사율이 약간 감소하고 출하체중도 증가한 것으로 보여 일치하는 결과를 보였다.

적 요

본 연구는 변형된 사이클론식 먼지포집기를 이용하여 계사의 먼지농도를 낮추고자 먼지포집기를 개발하였으며 무창육계사에서 먼지 저감효과를 알아보고자 경기 화성 소재 육계농장의 무창계사에서 시험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 시험계사의 환기량은 2주령시 0.014~0.015cmm 이었으며 5주령시에는 0.158~0.181 cmm 이었다. 암모니아가스 농도는 1주령시 13~16 ppm, 2주령시 20~24ppm 이었으며 CO₂ 농도는 1주령시 400~500ppm 이었으며 2주령시 1,000~2,000ppm이었다.

2. 먼지포집기의 기계별 1주간 먼지포집량은 1주령시 104.1g, 2주령시 274.7g, 3주령시 388.6g으로 증가하다가 4주령에는 감소하였다.

3. 먼지포집기의 주령별 먼지 포집효율은 TSP의 경우 먼지포집기를 통과하기전 3,111.7~8,745.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높았으나 먼지포집기를 통과하고 난 후 530.8~2,264.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮아져 54.2~82.9%의 효율을 보였으나 PM_{1.0}의 경우 통과전 15.2~39.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 통과 후 11.9~34.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 7.6~33.8%의 낮은 포집효율을 보였다.

4. 대조구의 경우 1주령시 TSP 농도는 1,387.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4주령시 4,210.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높았으나 먼지포집기가 설치된 시험구의 경우 1주령시 876.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4주령시 2,535.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 36.8~39.8%의 먼지 저감효과가 있었다. 그러나 PM_{2.5}, PM_{1.0}의 경우 11.4~19.8%의 낮은 먼지저감 효과가 있었다.

5. 대조구의 경우 폐사율은 4.06%이었으나 시험구는 3.13%으로 낮아졌으며 출하체중도 대조구는 1.658kg인데 비하여 시험구는 1.742 kg으로 높았다.

인 용 문 헌

1. Ashman, R. A. 1971 : A practical guide to industrial dust control. Journal of Institute of Heat and Ventilating Engineers, 38:272-282.
2. Carpenter, G. A. 1986. Dust in livestock buildings. J. agri. Engng. Res. 33:227-241.
3. Carpenter, G. A. and Fryer, J. T. 1990. Air filtration in a piggery: filter design and dust mass balance. J. of Agricultural Engineering Research. 46(3):171-186.
4. Gore, A. M., Koornegay, E. T., Wiet, H. P. and Collins, E. R. 1986. Soybean oil effects on nursery air quality and pig performance. ASAE Paper 86-4040.
5. Honey, L. F. and McQuitty, J. B. 1976. Dust in the animal environment. Research Bulletin 76-2. Dept. of Agricultural Engineering, University of Alberta, Edmonton, Albert.
6. Koon, J., Howes, J. R., Grub, W. and Rollo, C. A. 1963. Poultry dust: Origin and compositions. Agricultural Engineering 44(11):608-609.
7. 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.
8. NASS. 1986. Poultry slaughter. May, 1986. Agricultural Statistics Board, National Agricultural Statistics Service. U.S.D.A., Washington, D.C. 20250.

9. Pearson, C. C. 1993. Time based variation in airborne dust in respect to animal activity. Proceedings of International Livestock Environment Symposium IV. Warwick, England, 6-9 July 1993. ASAE.
10. Takai, H., Meller, F., Iverson, M., Jorsal, S. E. and BilleHansen, V. 1933. Dust control in swine buildings by spraying of rapeseed oil. Proceedings of International Livestock Environment symposium VI, Warwick, Eng- land, 6-9 July 1993, ASAE. 726-733.
11. 최희철, 연규영, 송준익, 강희설, 권두중, 유용희, 바로가, 양창범, 천상석, 김용국. 2005. 무창 육계사의 계절별 먼지 농도와 특성 연구. 한국축산시설환경학회지 제11 권 제3호 : 197-206.