

## 자돈사에서의 사이크론 먼지제거기의 집진효율 분석

최희철 · 이덕수 · 권두중 · 강희설 · 유용희 · 송준익 · 성환후 · 김형호 · 천상석\* · 김응국\*\*

축산기술연구소

## Dust Collecting Efficiency Using Cyclone Deduster in Weaned Piglet Building.

H. C. Choi, D. S. Lee, D. J. Kwon, H. S. Kang, Y. H. Yoo, J. I. Song, H. H. Seong, H. H. Kim, S. S. Chun\* and Y. K. Kim\*\*

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

### Summary

This study was carried out to investigate the collecting efficiency of cyclone deduster installed in weaned piglet building in third weeks of age. There are two peaks of high level of dust concentration in piglet house at the time of 09:00~10:00(5,322 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and 19:00~20:00(6,763 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), but the peaks of dust concentration in the building used cyclone deduster was decreased to 3,614.8 and 2,229.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. Collecting efficiency of total suspended particulate(TSP), particulate matter less than 10 $\mu\text{m}$ (PM 10) and particulate matter less than 2.5 $\mu\text{m}$ (PM 2.5) in weaned piglet building used in cyclone deduster was 38.3%, 32.5, 21.8, respectively. Aerial dust in weaned piglet building by number basis in the range of 0.745~1.08 $\mu\text{m}$  was 53.5%. But dust distribution over 10 $\mu\text{m}$  in volume basis was 82.8% and 86.2%. Crude protein of dust was 25.9~32.7%, and it was higher than feed crude protein(22.0%). Heavy metal concentration of dust was also high level compare to that of feed.

(Key words : Weaned piglet building, Dust, Cyclone, Deduster)

### 서 론

축사 내부의 먼지는 사료, 피부박편, 털, 깃털, 분변, 깔짚, 뇨, 건축구조물 등에서 유래하며, 대부분은 사료와 깔짚에서 기인하는 것으로 알려져 있으며<sup>3,9)</sup> 연구자에 따라 다르

지만 축사에서는 1.5~26.1 $\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 높은 농도를 보이며 축사의 20%에서 직업적 노출 한계(OES)인 10 $\text{mg}/\text{m}^3$ 을 초과한다고 보고하였다<sup>9)</sup>. 분진은 0.5~5.0 $\mu\text{m}$ 인 respirable dust가 가축이나 관리자의 기관지까지 도달하여 문제를 야기시키며, 숫자를 기준으로 했을 경

\* (주)다인엔지니어링(Dyne Engineering)

\*\* 충남대학교(Choongnam National University)

우, 비육돈사에서 0.5~2.5 $\mu$ m 크기인 먼지가 전체 먼지의 80%를 차지하지만 중량으로는 총먼지의 10%에 불과하다. 분진농도는 보온을 위하여 밀폐하는 동절기에 특히 농도가 높으며 무창형 축사는 환기불량시 분진농도가 매우 증가할 수 있다. 특히 분진 중에는 바이러스, 세균, 곰팡이 등의 미생물과 유해가스, 중금속 등이 함유되어 있어서 질병 전파의 매개체 역할을 한다. 가축과 관리자의 건강에 해로운 부유분진 농도가 높을 경우 가축과 가축관리자의 호흡기 장애도 증가하며 가축관리자의 경우 급성, 만성 호흡기 질환을 앓고 있다고 하며, 1971년에 영국에서 도살된 돼지의 70%가 폐렴소견이 관찰되었으며 이를 경제적으로 환산하면 3.0~8.5%의 경제적 손실을 입은 것으로 보고되었다. 따라서 우리나라 자돈사의 여건에 맞는 분진 제거기를 개발하고자 분진제거기의 집진효율

과 먼지의 특성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험장치

본 실험에 사용된 분진제거기는 Fig. 1에서 보는 바와 같으며 원심사이클론 방식으로 분진제거기 원통의 지름 290mm, 길이 1,000mm의 풍량이 1,200m<sup>3</sup>/hr이었으며 82.5m<sup>2</sup>당 1대씩 3돈방에 설치한 후 18일령의 이유자돈을 각 돈방당 320두씩 수용하여 이유 후부터 5주간 3반복으로 조사하였다.

시험돈사는 무창돈사로서 한쪽 부분은 콘스라트를 설치하여 피트배기되는 슬러리돈사로서 돈방의 나머지 바닥은 바닥난방을 실시하였으며 가루사료를 급여하였다.

Table 1. Specification of dust collector

Collecting type	Electricity	Flow rate	Diameter	Lenth
Cyclone	205W/hr	1,200m <sup>3</sup> /hr	290mm	1,000mm

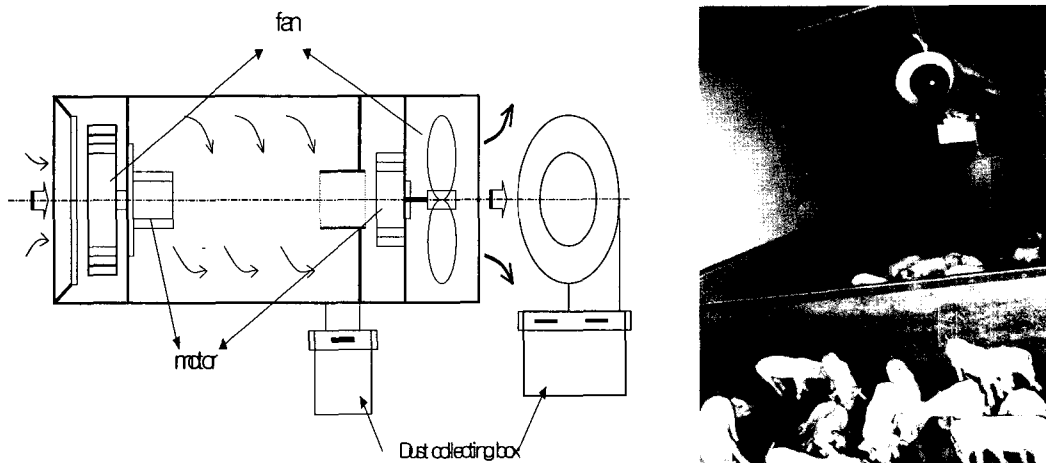


Fig. 1. Diagram of cyclone deduster.

Table 2. Specifications of measurement instrument

Item	Model	Specification
Dust concentration	Fh62-1(ESM Eberline Ltd, Germany)	10.0mg/m <sup>3</sup>
Dust size	Master sizer Microplus Ver. 2.18 (Malvern instruments Ltd, UK)	0~1,000 $\mu$ m
Dust shape	SEM(XLGP-30, Phillips Ltd, USA)	100,000X

2. 분석방법

결과 및 고찰

크기별 시간대별 분진농도 측정은 Fh62-1 (ESM Eberline사)를 이용하여 TSP(Total Suspended Particulate), PM 10(Particulate matter less than 10 $\mu$ m), PM 2.5(Particulate matter less than 2.5 $\mu$ m)에 대하여 30분 간격으로 측정하였으며 먼지제거기에 포집된 먼지를 입도분석기(Master sizer Microplus Ver. 2.18, Malvern instruments사)를 이용하여 입도의 분포를 조사하였으며 먼지의 일반성분과 중금속은 AOAC(1995)법에 의하여 분석하였으며 분진의 전자현미경적 검경은 SEM(Phillips Ltd.)을 이용하여 실시하였다.

1. 자돈사의 분진농도

Fig. 2에서 보는 바와 같이 먼지제거기를 설치하지 않은 대조구 자돈사의 분진농도는 돼지의 활동량이 많은 낮 시간에 높았고 밤에는 낮은 경향이였다. TSP의 경우 먼지제거기를 가동하기 전에는 아침 09:00~10:00 사이에 분진농도가 5,322 $\mu$ g/m<sup>3</sup>으로 1차 피크를 형성했고 오후 19:00~20:00에 6,763 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 2차 피크를 형성하였으며 오후에 더 높은 경향이였다. 이는 영국의 Health and Safety Executive<sup>6)</sup>에서 제시한 가축의 추천 노출한계

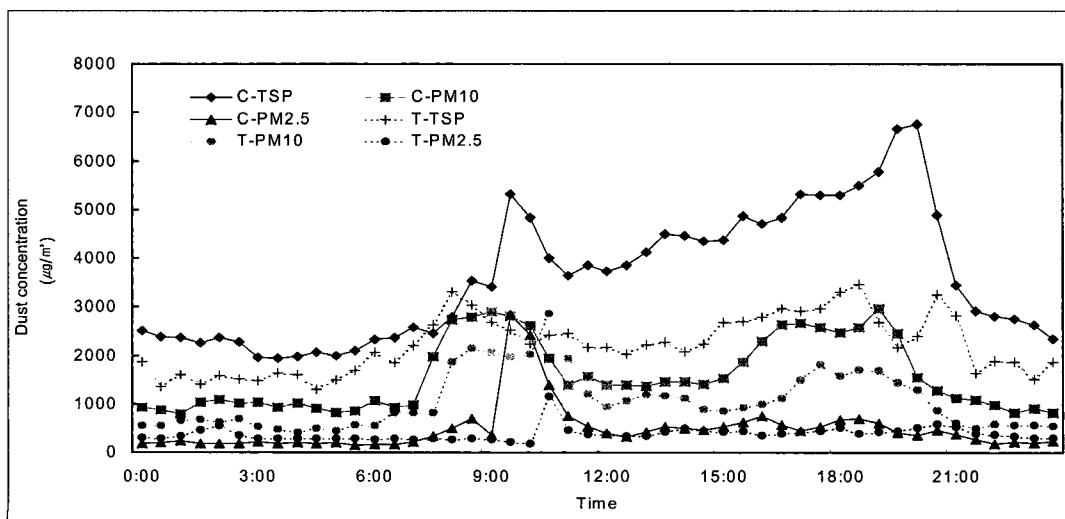


Fig. 2. Dust concentration of weaned piglet building in 3rd weeks of age.

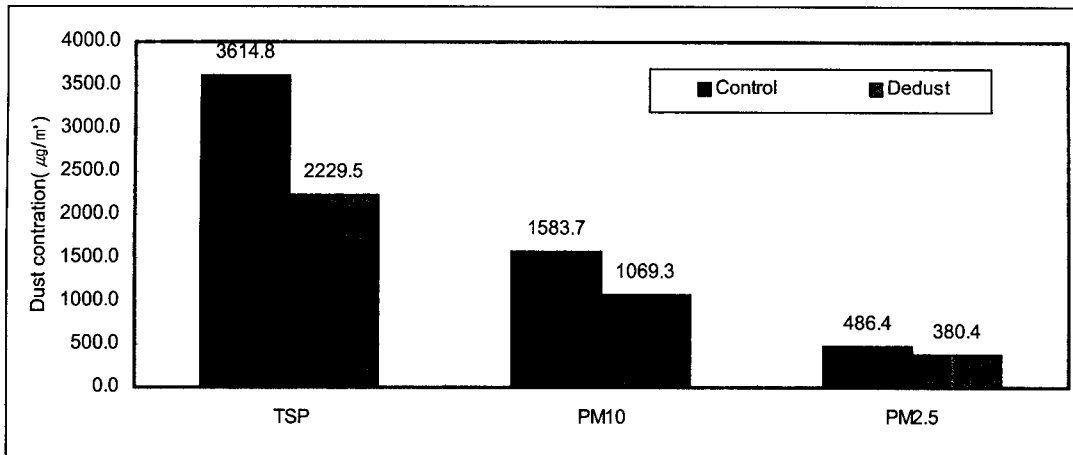


Fig. 3. Average dust concentration of weaned piglet building in 3rd weeks of age.

인  $3,400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 2배 정도 초과하는 농도로서 우리나라의 자돈사에서 먼지의 농도가 높은 것으로 나타났다. PM10의 경우에도 09:00에  $2,899\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 1차 피크를 이룬 뒤 19:00에  $2,966\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 2차 피크를 이루었다. PM2.5의 경우에도 비슷한 경향이었으나 09:30에 높은 농도를 보였다. 이와 같이 분진의 농도가 피크를 이루는 것은 사료섭취를 위한 가축의 활동과 밀접한 관련이 있으며 Nicks 등 (1994)의 보고와 같은 경향이였다. 그러나 먼지제거기를 설치한 시험구에서는 피크의 형성 시간은 비슷한 경향이였으나 분진농도는 TSP의 경우 08:00에  $3,299\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 18:30에  $3,473\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대조구에 비하여 상당히 낮아졌으며 PM10과 PM2.5에서도 같은 경향이였다.

3주령시 먼지제거기를 설치한 자돈사의 TSP 농도는 평균  $2,229.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 먼지제거기를 설치하지 않은 돈사의 평균 분진농도  $3,614.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 38.3%의 분진 제거효율이 있었으며 PM10의 경우 시험구  $1,069.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 대조구  $1,583.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 32.5%의 분진 제거효율이 있었으며 PM2.5는 시험

구  $380.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 대조구  $486.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 21.8%의 먼지 제거효율이 있었다.

## 2. 분진의 크기별 분포

분진의 크기별 분포를 알아보고자 돈사에서 분진을 채취하여 입도분석기를 이용하여 분석하였으며 그 결과는 Fig. 4, Fig. 5에서 보는 바와 같다. 숫자를 기준으로 한 분진의 크기별 분포도는 Fig. 4에서 보는바와 같이 시험구의 경우  $0.818\mu\text{m}$  크기의 분진이 총 분진중에 차지하는 비율이 가장 커서 17.2%를 차지했으며  $0.745\mu\text{m}$  17.0%,  $0.898\mu\text{m}$  10.5%를 차지하여  $0.745\sim 1.08\mu\text{m}$ 의 분진이 총 분진 수의 53.5%를 차지하여 대부분의 분진이 이 범위 안의 크기의 분진인 것으로 나타났다. 대조구의 경우  $0.898\mu\text{m}$ 의 분진이 23.8%,  $0.985\mu\text{m}$  16.5%,  $1.08\mu\text{m}$  9.4%,  $1.19\mu\text{m}$  8.4%로 시험구에 비하여 큰 입자의 분포가 많은 경향이였으며,  $0.985\sim 1.19\mu\text{m}$  크기의 분진이 총 분진수의 58.1%를 차지했다.  $0.5\sim 5.0\mu\text{m}$  크기의 분진을 respirable dust라고 하며 가축이나 관리자의 기관지까지 도달하여 문제를 야기시

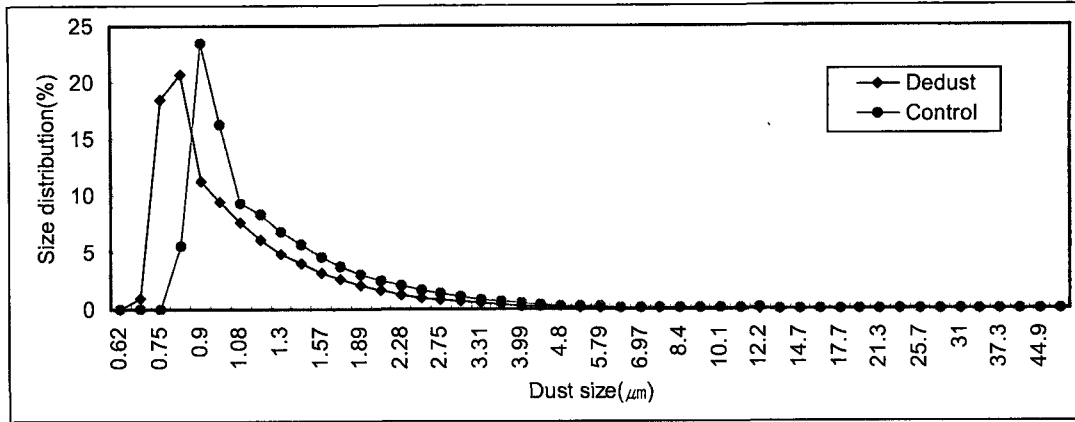


Fig. 4. Particle size distribution of aerial dust in weaned piglet building by number basis.

키는 것으로 보고되고 있으며<sup>8)</sup>, 숫자를 기준으로 할 경우 비육돈사의 경우 0.5~2.5 $\mu\text{m}$  크기인 먼지가 전체 먼지의 80%를 차지한다고 했으며 또 다른 연구자는 66%의 먼지가 4.6 $\mu\text{m}$  이하라고 보고하였는데, 본 연구결과에서도 시험구의 경우 크기가 2.08 $\mu\text{m}$  이하인 먼지가 전체 먼지의 93.1%를 차지하였으며 대조구의 경우에는 89.4%의 차지하였다. 이는 본 시험돈사가 이유 자돈사이었기 때문에 분진의 입자도가 상기 보고자보다 더 작은

경향을 보였다.

Fig. 5는 용적을 기준으로 분진의 크기별 분포를 분석한 결과이며, 용적을 기준으로 할 경우에는 숫자를 기준으로 했을 때와는 달리 30~40 $\mu\text{m}$  크기의 분진이 차지하는 비율이 높았으며, 분진제거기를 설치한 시험구에서는 23.4 $\mu\text{m}$  크기의 분진이 4.65%로 가장 높은 비율을 차지하였으며 대조구의 경우 37.29 $\mu\text{m}$  크기의 분진이 5.10%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 결론적으로 숫자를 기준

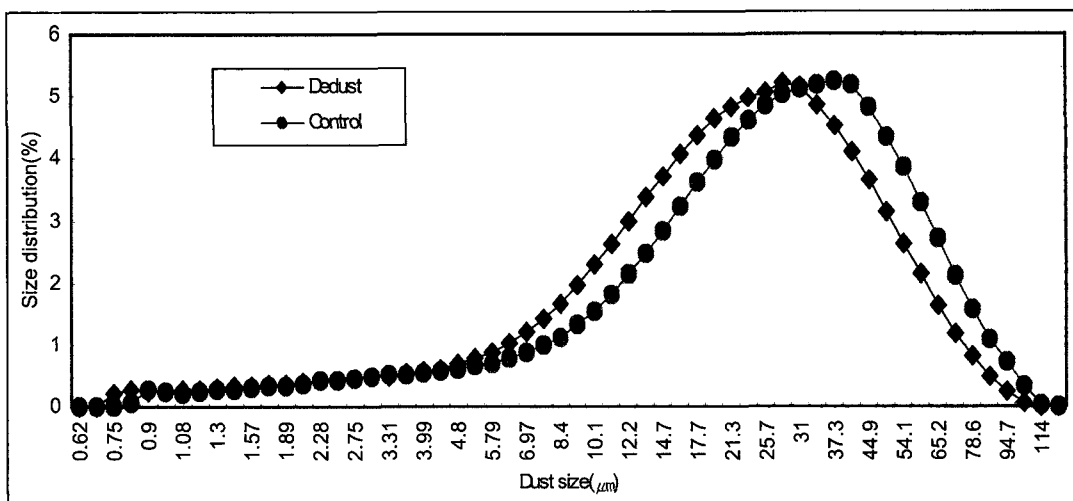


Fig. 5. Particle size distribution of aerial dust in weaned piglet building by volume basis.

으로 했을 경우에는 1 $\mu$ m 정도 크기의 분진의 숫자가 많았으나 용적을 기준으로 했을 경우에는 큰 분진은 하나의 분진으로도 많은 용적을 차지하기 때문에 10 $\mu$ m 이상의 먼지가 시험구의 경우 82.8%, 대조구 86.2%를 차지했으며 농도를 기준으로 했을 경우 90<sup>2)</sup>~95%<sup>3)</sup>의 먼지가 5 $\mu$ m 이상의 먼지라고 한 연구보고와 같은 경향이였다.

### 3. 분진의 전자현미경적 검경

Fig. 6은 분진의 형태를 전자현미경적으로 검경한 사진이며, 축사 내 분진은 사료나 분변, 깃털, 깔짚, 뇨, 건축구조물 등에서 유래하며 광학적, 전자현미경적 검경을 통하여 분진의 기원을 알 수 있다<sup>7)</sup>고 보고한 바와 같이 SEM 전자현미경적 검사를 실시한 결과 분진입자의 형태는 사료중의 곡물과 같은 형태로서 이는 가루사료가 돼지가 섭취중에 직접적으로 분진으로 유래되거나, 섭취한 사료가 소화되지 않고 분으로 배설되어 건조된 것이 분진이 되어 돈사에 부유하는 것으로

추정할 수 있었다.

### 4. 분진의 성분 특성

분진의 일반성분과 중금속 등의 조성은 Table 3에서 보는 바와 같다. 본 시험에서도 먼지제거기를 통하여 포집된 먼지와 시험에 사용된 사료의 성분을 분석한 결과 시험사료의 단백질 함량은 22%인데 비하여 분진은 25.9~32.7%로 높았다. 이는 분진의 조성이 사료에 비하여 조단백질 함량이 높고 칼슘, 철, 아연, 알루미늄 등의 성분이 높다고 한 연구보고<sup>4)</sup>와 같은 결과를 보였으며, 이는 분진이 사료와 깃털, 피부 등에서 유래하기 때문이라고 한 Dawson(1990)의 보고와 같이 단백질 수준이 높은 가축의 피부박편이나 깃털 등에서 분진이 유래되어 단백질 함량이 높은 것으로 추측되며, 중금속 함량도 먼지에서 더 높게 나타났는데 이는 건축구조물의 산화과정에서 중금속이 유래되지 않았나 추정된다.

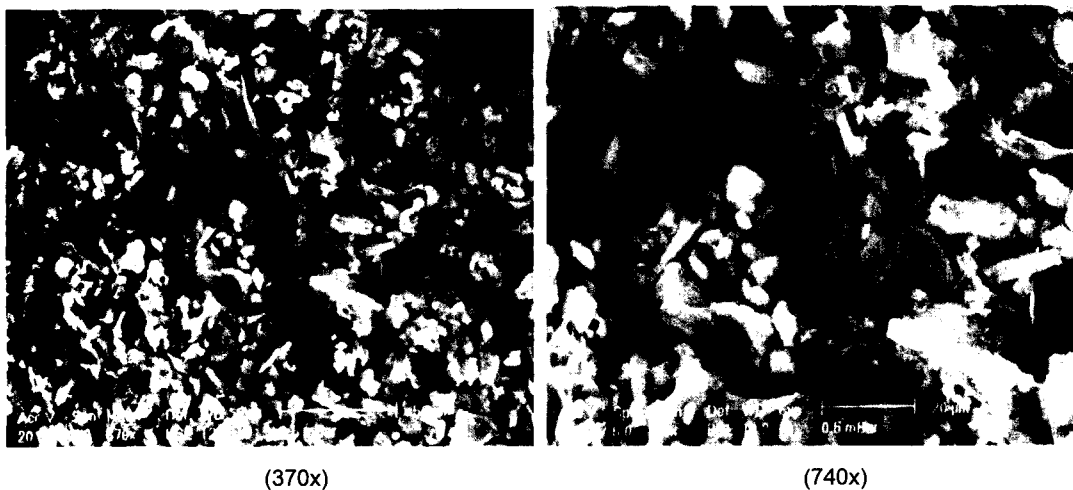


Fig. 6. Scanning electron micrographs of dust particles collected from cyclone deduster in swine growing building.

Table 3. Composition of experimental feed and dust

(DM basis)

Items	Unit	Feed	Dust 1	Dust 2
Crude protein	%	19.81	32.74	25.9
Crude fat		8.34	11.75	9.07
Crude fiber		1.61	0.14	0.15
Crude Ash		6.93	15.48	14.9
Salt		0.98	1.05	0.82
Ca		0.75	0.51	2.09
P		0.58	0.51	1.63
K		0.78	0.83	2.02
Na		0.21	0.15	0.43
Mg		0.12	0.15	0.68
Fe	(ppm)	325.15	10,478.6	2,631.9
Mn		69.16	345.2	244.8
Zn		970.95	2,016.5	316.1
Cu		83.53	388.5	209.1
F		85.33	548.1	109.9
Cr		1.07	3.5	3.41
Pb		2.98	6.71	4.68
Cd		0.13	0.58	0.08
As		0.80	1.73	0.87
Hg		0.00	0.02	0.01
S	(%)	0.12	0.26	0.29
SiO <sub>2</sub>		0.19	0.70	0.76

적 요

무창형 이류자돈사의 분진의 특성을 조사하고 자돈사에서 사이클론 집진기의 집진효율을 분석하기 위하여 18일령의 자돈사에 먼지제거기를 설치한 후 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. TSP의 경우 아침 09:00~10:00 사이에 분진농도가 5,322 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 1차 피크를 형성했고 오후 19:00~20:00에 6,763 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2차 피크를 이루었으나 먼지제거기 가동시 08:00

에 3,299 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 18:30에 3,473 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 분진농도가 감소했다.

2. 분진 제거효율은 TSP의 경우 대조구 3,614.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 시험구 2,229.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 38.3%의 분진제거효율을 보였으며, PM 10과 PM 2.5는 각각 32.5%, 21.8%의 분진 제거효율이 있었다.

3. 숫자를 기준으로 한 분진의 크기별 분포는 시험구의 경우 0.745~1.08 $\mu\text{m}$ 의 분진이 총 분진수의 53.5%를 차지하였고 대조구의 경우 0.985~1.19 $\mu\text{m}$ 의 분진의 총 분진수의

58.1%를 차지했다.

4. 분진의 용적을 기준으로 하였을 경우 시험구에서는 23.4 $\mu\text{m}$  크기의 분진이 4.7%로 가장 높은 비율을 차지하였으며 대조구는 37.29 $\mu\text{m}$  크기의 분진이 5.1%로 가장 높았다.

5. 시험사료의 단백질 함량은 22%인데 비하여 분진은 25.9~32.7%로 높았으며 분진중의 중금속 함량도 사료에 비하여 높은 경향이였다.

### 인 용 문 헌

1. AOAC. 1995. Official Methods of Analysis (16th Ed). Association of Official Analytical Chemists. Washington. D.C., USA.
2. Bundy, D. S. and Hazen, T. E. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. Trans. of the ASAE 18(1):137-139.
3. Carpenter, G. A. 1986. Dust in livestock buildings. J. agric. Engng. Res. 33, 227-241.
4. Dawson, J. R. 1990. Minimizing dust in livestock buildings: Alternatives to mechanical separation. J. agric. Engng. Res. 47, 235-248.
5. Gustafsson, G. 1989. Mass balances of dust in houses for pigs. Proceedings of The Eleventh International Congress on Agricultural Engineering. 1465-1470.
6. Health and Safety Executive. 1989. Occupational exposure limits. 1989. Guidance Note EH 40/89. HMSO, London.
7. Heber, A. J., Stroik, M., Faubion, J. M., Willard, L. H. 1988. Size distribution and identification of aerial dust particles in swine finishing buildings. Transactions of the ASAE 31(3):882-887.
8. Nicks, B., Marlier, D. and Canart, B. 1993. Air pollution levels in pig house. Proceedings of Fourth International Symposium. American Society of Agricultural Engineers. pp. 635-640.
9. Pearson, C. C. and Sharples, T. J. 1995. Airborne dust concentration in livestock buildings and the effect of feed. J. agric. Engng Res. 60, 145-154.