

돈사 작업장 유형에 따른 입자상 오염물질의 실내농도 및 발생량에 관한 현장 조사

김기연, 이경중, 박재범, 김치년¹⁾

아주대학교 의과대학 예방의학교실, 연세대학교 의과대학 산업보건연구소²⁾

Field Study of Concentrations and Emissions of Particulate Contaminants by Types of Swine Houses in Korea

Ki Yeon Kim, Kyung Jong Lee, Jae Beom Park, Chi Nyon Kim³⁾

Department of Preventive Medicine & Public Health, Ajou University School of Medicine
Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University³⁾

Objectives: Particulate contaminants, such as total and respirable dusts, can harm the health of farm workers via several routes. The principal aims of this field study were to determine the concentrations and emissions of particulate contaminants: total and respirable dusts, in the different types of swine houses used in Korea, and allow objective comparison between Korea and the other countries in terms of swine housing types.

Methods: The swine houses investigated in this research were selected with respect to three criteria: the manure removal system, ventilation mode and growth stage of pigs. Measurements of total and respirable dust concentrations and emissions in the swine houses were carried out on 5 housing types at 15 different farm sites per housing type. The swine houses investigated were randomly selected from farms situated within the central districts in Korea: province of Kyung-gi, Chung-buk and Chung-nam.

Results: The total and respirable dust concentrations in the swine houses averaged 1.88 and 0.64 mg/m³, ranging from 0.53 to 4.37 mg/m³ and from 0.18 to 1.68 mg/m³, respectively. The highest concentrations of total and respirable dusts were found in the swine houses with deep-litter bed systems: 2.94 mg/m³ and 1.14 mg/m³, while the lowest concentrations were found in the naturally ventilated buildings with slats: 0.83 mg/m³ and 0.24 mg/m³, respectively (p<0.05). All the swine houses investigated

did not exceed the threshold limit values (TLVs) for total (10 mg/m³) and respirable (2.5 mg/m³) dusts. The mean emissions of total and respirable dusts, per pig (75 kg in terms of live weight) and area (m²), from the swine houses were 97.33 and 9.55 mg/h/pig and 37.14 and 12.83 mg/h/m², respectively. The swine houses with deep-litter bed systems showed the highest emissions of total and respirable dusts (p<0.05). However, the emissions of total and respirable dusts from the other swine houses were not significantly different (p>0.05).

Conclusion: The concentrations and emissions of total and respirable dusts were relatively higher in the swine houses managed with deep-litter bed systems and ventilated naturally of the different swine housing types tested. In further research, more farms than the number used in this research should be investigated, which will present objective and accurate data on the concentrations and emissions of total and respirable dusts in Korean swine houses. In addition, personal sampling should be performed to objectively assess the exposure level of farm workers to particulate contaminants.

J Prev Med Public Health 2005;38(2):141-146

Key Words: Swine, Dust, Agricultural workers' Diseases, Ventilation

서론

공기 중 입자상 오염물질이란 에어로졸, 분진, 부유 입자 등을 가리키는데, 에어로졸은 아주 미세한 크기의 고상 또는 액상의 입자로서 오랜 시간 동안 가스물질과 함께 공기 중에 부유하여 이동하는 것이

고 [1], 분진은 직경 0.5-1,000 μm의 폭넓은 범위를 가진 고체상의 입자를 의미하며 [2], 부유 입자는 고상 및 액상 형태의 입자들을 모두 총칭한다 [3]. 사람이 호흡을 하는 동안 코와 입으로 들어오는 입자상 물질은 흡입성 입자로 평균 직경이 약 50 μm 미만인 부유 입자들을 말하며, 흡입성

입자 중 폐의 가스 교환 부위까지 도달하는 입자는 호흡성 입자로 일반적으로 50 μm 이하의 입자들을 가리킨다 [2,4]. 즉, 크기가 큰 입자들은 쉽게 침착되나 작은 크기의 입자들은 사람과 동물의 호흡기에 까지 전달된다 [5,6]. 공기역학적 평균 직경이 10 μm 이상의 입자들은 코의 비강, 5-10 μm 범위의 입자들은 호흡기계의 상부, 5 μm 이하의 입자들은 폐에 침착되며 [3], 일반적으로 5 μm 이하의 입자들이 사람의

접수: 2004년 8월 30일, 채택: 2004년 11월 17일

책임저자: 이경중(경기 수원시 영통구 원천동 산 5번지, 전화: 031-219-5292, 팩스: 031-219-5084, E-mail: leekj@ajou.ac.kr)

호흡기계에 유해한 영향을 주어 호흡기 관련 질병을 유발하는 인자로 알려져 있다 [7,8].

일반적으로 돈사 작업장내 입자상 오염물질은 유기성 분진으로 사료, 건조화된 돼지 분뇨, 돼지의 피부 및 털 등에서 발생되며 [9,10], 이 중 주된 성분은 사료인 것으로 보고되고 있다 [11]. 또한 돈사 작업장에서 발생하는 분진의 조성은 유기물 함량이 전체 87%로 여기에는 조단백질 24%, 지방 4.5%, 조섬유 3.5%로 구성되어 있다 [12]. 돈사 작업장의 경우 환기 상대나 사료 투입 작업 방식에 따라 차이는 있지만, 5 μm 이하의 입자들의 수가 전체 입자 수의 70-95%를 차지한다는 연구 보고가 있다 [13,14]. 따라서 돈사 작업장에서 일하는 근로자들은 상당한 양의 호흡성 분진에 노출되고 있음을 추정할 수 있으며, 호흡기 질병의 발병 가능성을 동시에 내포하고 있다. Donham 등 [15]에 의하면 미국 내 양돈업에 종사하는 작업자의 20%가 만성적인 재채기 증상, 25%가 담(痰) 생성의 경험이 있다고 하였으며, 비종사자에 비해 호흡 곤란, 코와 눈의 따가움과 같은 직업성 질병의 발생률이 높다고 하였다. 농림부 자료에 따르면 현재 1,000두 이상의 돼지를 사육하고 있는 중·대규모 양돈 농가는 우리나라에 약 3,000여개가 있고 농가당 사육 마리수는 약 600두로 매년 증가 추세에 있으며 농가수는 감소하고 사육두수는 증가하는 집약적 산업 형태로 점차 변모되어 감에 따라 [16], 정확한 통계자료는 없지만 이 분야에 종사하는 작업자의 수도 증가 추세에 있음을 예측할 수 있다. 더욱이 돈사 작업장의 형태가 기존 자연환기를 통한 개방형 돈사 형태에서 돼지의 증체를 향상 목적으로 기계환기를 통한 밀폐형 돈사 작업장의 보급이 확대되어 가고 있지만, 산업위생학적 측면에서는 내부 입자상 오염물질의 농도가 증가되어 작업자의 노출 수준 가능성이 오히려 높아지는 역의 효과를 내포하고 있다.

따라서 양돈업에 종사하는 작업자의 건강 예방 대책을 설정하기 위해서는 우선 돈사 작업장내 발생하는 입자상 오염물질의 정량화 및 작업자의 노출 수준 정도에

대한 현장 조사가 선행되어야 한다. 선진국의 경우 정량화 작업을 위한 광범위한 현장 조사가 최근에 수행되었고 [17], 작업자의 노출 수준 파악 [18,19] 및 입자상 오염물질의 발생과 내부 환경 요인과의 관계를 규명한 연구들 [20-22]도 보고되고 있다. 그러나 국내에서는 유일하게 Yoo 등 [23]에 의한 연구 보고가 있으나, 아직까지 돈사 작업장내 입자상 오염물질의 농도 및 발생량에 대한 현장 조사 작업이 상당히 미흡한 실정이다. 본 연구는 현장 조사를 통해 우리나라의 돈사 작업장 유형에 따른 입자상 오염물질의 실내 농도 및 발생량을 정량화하여 작업자의 노출 수준 평가 및 기초 연구 자료를 제시할 목적으로 수행되었다.

연구방법

1. 조사 대상 선정

본 연구에서 조사된 돈사는 분뇨 처리 시스템, 환기 방식, 돼지 성장 단계의 세 가지 기준에 근거하여 5개의 돈사 유형을 조사 대상으로 하였다 (Table 1). 분뇨 처리 시스템의 형태를 기준으로 우리나라의 돈사 유형을 세 가지로 분류하면 슬러리 돈사 (deep-pit manure system with slats), 스크레이퍼 돈사 (manure removal system by scraper), 톱밥 돈사 (deep-litter bed system)이며, 환기 방식 측면에서는 주로 축벽 배기를 적용하는 밀폐형 강제 환기와 축벽에 윈치 커튼(winch-curtain)을 설치하여 환기를 유도하는 개방형 자연 환기로 구분할 수 있는데, 우리나라의 톱밥 돈사의 경우 대부분이 개방형 자연 환기 돈사 형태를 취하고 있다. 또한 돼지 성장 단계 측면에서는 평균 체중 50-100 kg의 육성/미육돈을 사육하고 있는 농가를 대상으로 하였다. 이를 종합하여 각 돈사 유형별로 15개소를 선정하

여 경기, 충북, 충남에 위치한 500-1,000두 정도를 사육하는 중규모 농가 총 75곳을 방문하였으며, 조사 시기는 2002년 5월과 6월, 9월과 10월 사이에 수행되었다.

2. 측정 방법

입자상 오염물질로 총 분진과 호흡성 분진을 선정하였으며, 지역 시료 채취 방법으로 측정하였다. 돈사 작업장 내 농도는 복도 중앙의 세 지점에서 측정한 값들의 평균을 대표값으로 하였으며, 발생량은 내부 공기 배출구 지점에서 측정된 농도 값에 유량을 곱하여 나타냈다. 유량은 강제 환기 방식의 밀폐형 돈사의 경우 배기팬 면적에 유속을 곱하여 측정하였고, 자연 환기 방식의 개방형 돈사의 경우 작업장 내부와 외부의 온도 및 CO₂ 농도를 직독식 측정기를 이용하여 측정된 후 내부와 외부 간의 차이를 근거로 열 평형 및 CO₂ 평형 방법을 병행하여 측정하였다. 발생량에 대한 원단위(原單位) 배출 계수 산정을 위해 조사 대상 각 돈사의 면적과 사육되는 돼지의 총 무게를 조사하였다. 돈사의 사육 면적은 출자를 가지고 직접 측정하거나 돼지 전염병 확산을 우려한 농가의 경우 농장주로의 협조를 받아 농장주가 측정하였으며, 돼지 무게의 경우 현실적으로 사육되는 돼지들의 총 무게를 측정한다는 것은 불가능했기 때문에 이 또한 농장주로부터 자료를 받아 75 kg을 돼지 한 마리의 무게로 설정한 후 산정하였다.

시료 채취 전 유리섬유 여과지(37 mm diameter, 0.8 μm pore size, Nuclepore Corp. Pleasanton, CA, U.S.A.)를 디시케이터에서 24시간 동안 건조시킨 후 미세질량측정기 (Ohaus model AP250D, Switzerland)를 통해 여과지의 무게를 측정된 다음 카세트 필터(Nuclepore Corp., Pleasanton, CA, U.S.A.)

Table 1. Details of the swine houses investigated in this research

Housing type		Breeding stage	No.
Manure collection system	Ventilation mode		
Deep-pit manure system with slats	Natural ventilation	Growing/Finishing	15
	Mechanical ventilation	Growing/Finishing	15
Manure removal system by scraper	Natural ventilation	Growing/Finishing	15
	Mechanical ventilation	Growing/Finishing	15
Deep-litter bed system	Natural ventilation	Growing/Finishing	15

에 장착한 후 현장에서 작업자의 장기간 노출시간(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 여과지의 무게 차이를 이용하여 농도값을 산출하였다. 농도값의 보정을 위해 매 시료 채취마다 2개의 공시료를 위와 같은 방법으로 측정 후 최종 농도값을 산정하였다. 공기 흡입 펌프(Model 71G9, Gilian Instrument Corp., Wayne, NJ, U.S.A.)의 유량은 총 분진은 2.0 l/min, 호흡성 분진은 1.7 l/min로 설정하였으며 호흡성 분진의 경우 카세트 필터 대신 싸이클론(Gilian, Gilian Instrument Corp., Wayne, NJ, U.S.A.)에 여과지를 장착한 후 시료를 채취하였다. 또한 측정 전후의 공기 펌프의 유량을 측정하여 시료 채취로 인해 발생하는 유량의 변이를 보정하였다.

3. 통계 처리

SAS package [24]를 이용한 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법을 통해 각 돈사 유형에 따른 총 분진과 호흡성 분진의 농도 및 발생량의 통계적 차이를 검토하였다.

연구결과

1. 돈사 작업장 유형에 따른 총 분진과 호흡성 분진의 실내 농도

조사 대상 돈사 작업장 내 총 분진의 평균 농도는 1.88 mg/m³로 최소 0.53 mg/m³에서 최대 4.37 mg/m³의 범위를 보여 돈사 작업장의 유형에 따라 상당한 차이가 있는 것으로 조사되었다. 자연환기 형태를 취하고 있는 톱밥 돈사 작업장과 기계적 환기로 운용되고 있는 스크레이퍼 돈사 작업장에서 측정된 총 분진 농도가 다른 유형의 돈사 작업장에 비해 통계적으로 높은 것으로 나타났으며 (p<0.05), 가장 낮은 총 분진 농도를 보인 돈사 작업장은 자연환기 형태의 슬랫 돈사 작업장으로 분석되었다 (p<0.05)(Table 2).

한편, 호흡성 분진의 경우 평균 농도가

0.64 mg/m³로 돈사 작업장 유형에 따라 0.18 mg/m³에서 1.68 mg/m³의 농도 범위를 나타내는 것으로 조사되었다. 슬랫 돈사 작업장은 자연환기 시스템으로 운용되고 있는 경우 평균 0.24 mg/m³, 0.18-0.52 mg/m³의 농도 범위를 나타냈으며 기계적 환기 시스템이 적용되고 있는 경우 평균 0.51 mg/m³, 0.24-0.88 mg/m³의 농도 범위를 보이는 것으로 분석되었다. 스크레이퍼 돈사 작업장은 자연환기의 경우 평균 0.48 mg/m³ (0.31-0.74 mg/m³)이었으며, 기계적 환기의 경우 평균 0.83 mg/m³(0.23-1.32 mg/m³)의 농도를 나타내는 것으로 조사되었다. 그리고 자연환기 형태의 톱밥 돈사 작업장의 경우 평균 1.14 mg/m³와 0.52-1.68 mg/m³의 농도 범위를 보였다. 측정 결과 호흡성 분진 농도가 가장 높은 돈사 작업장은 자연

환기가 적용되는 톱밥 돈사였고 (p<0.05), 가장 낮은 곳은 자연환기 형태의 슬랫 돈사 작업장으로 총 분진 농도의 양상과 거의 유사한 것으로 분석되었다 (Table 2).

2. 돈사 작업장 유형에 따른 총 분진과 호흡성 분진의 원단위 발생량

Table 3에서 제시하는 바와 같이 돈사 작업장 유형에 따른 총 분진의 원단위 발생량은 단위 면적(m²) 기준으로 평균 37.83 mg/h/m², 두(75 kg)당 평균 50.85 mg/h/pig가 외부로 배출되는 것으로 나타났다. 원단위 발생량 범위는 면적당 24.55-305.24 mg/h/m²와 두당 37.14-386.46 mg/h/pig를 보여 돈사 작업장 유형에 따라 상당한 변이를 나타내는 것으로 분석되었다. 통계적으로 가장 높은 원단위 발생량을 나타낸 작업

Table 2. Concentration of total and respirable dust according to types of swine housing facilities in Korea

Housing type	Ventilation mode	Total dust(mg/m ³)			Respirable dust(mg/m ³)		
		Mean	S.D.	Range	Mean	S.D.	Range
Deep-pit manure system with slats	N.V*	0.83 ^{†a}	0.21	0.53 - 1.13	0.24 [†]	0.10	0.18 - 0.52
	M.V [†]	1.52 ^{†b}	0.43	0.78 - 2.12	0.51 ^{†b}	0.21	0.24 - 0.88
Manure removal system by scraper	N.V	1.67 ^{†b}	0.57	0.82 - 2.58	0.48 ^{†b}	0.13	0.31 - 0.74
	M.V	2.42 ^{†c}	0.92	1.26 - 3.25	0.83 ^{†c}	0.43	0.23 - 1.32
Deep-litter bed system	N.V	2.94 ^{†c}	1.06	1.88 - 4.37	1.14 ^{†c}	0.57	0.52 - 1.68
Mean		1.88	0.53	0.53 - 4.37	0.64	0.24	0.18 - 1.68

*: Natural ventilation, †: Mechanical ventilation

†: a, b, c, d means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

Table 3. Emission of total and respirable dust per pig and area according to types of swine housing facilities in Korea

Total dust							
Housing	Ventilation mode	mg/h**pig			mg/h/m ²		
		Mean	S.D.	Range	Mean	S.D.	Range
Deep-pit manure system with slats	N.V [†]	78.28 ^{‡a}	33.4	24.55 - 110.26	105.22 ^{‡a}	61.4	37.14 - 192.38
	M.V [†]	82.35 ^{‡a}	28.6	47.64 - 151.43	110.69 ^{‡a}	50.8	63.25 - 235.18
Manure removal system by scraper	N.V	80.09 ^{‡a}	24.1	51.08 - 184.76	107.65 ^{‡a}	48.3	63.16 - 208.34
	M.V	93.18 ^{‡b}	58.7	38.16 - 210.19	125.24 ^{‡b}	73.3	53.28 - 264.29
Deep-litter bed system	N.V	152.74 ^{‡b}	62.6	84.16 - 305.24	205.30 ^{‡b}	97.5	93.18 - 386.46
Mean		97.33		24.55 - 305.24	130.82		37.14 - 386.46
Respirable dust							
Housing	Ventilation mode	mg/h**pig			mg/h/m ²		
		Mean	S.D.	Range	Mean	S.D.	Range
Deep-pit manure system with slats	N.V	7.05 ^{‡a}	2.16	3.14 - 10.27	9.48 ^{‡a}	4.56	4.26 - 15.28
	M.V	6.18 ^{‡a}	1.88	4.25 - 9.16	8.31 ^{‡a}	2.38	5.33 - 11.26
Manure removal system by scraper	N.V	8.24 ^{‡a}	4.24	2.82 - 15.18	11.08 ^{‡a}	7.19	4.14 - 25.27
	M.V	9.12 ^{‡a}	3.89	5.22 - 19.26	12.26 ^{‡a}	6.02	7.64 - 30.18
Deep-litter bed system	N.V	17.14 ^{‡b}	6.19	10.54 - 28.08	23.04 ^{‡b}	10.35	14.32 - 38.64
Mean		9.55	18.81	2.82 - 28.08	12.83	30.15	4.14 - 38.64

*: Based on growing/finishing pig (75 kg), †: Natural ventilation

†: Mechanical ventilation

‡: a and b means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.

장은 자연환기로 운용되고 있는 톱밥 돈사였으며 ($p < 0.05$), 가장 낮은 곳은 기계적 환기가 적용되고 있는 슬랫 돈사 작업장인 것으로 분석되었다 ($p < 0.05$).

호흡성 분진의 경우 단위 면적(m^2) 기준으로 평균 12.83 mg/h/m^2 , 두(75 kg)당 평균 9.55 mg/h/pig 가 외부로 배출되는 것으로 조사되었으며, 원단위 발생량 범위는 면적당 $4.14\text{-}38.64 \text{ mg/h/m}^2$ 와 두당 $2.82\text{-}28.08 \text{ mg/h/pig}$ 를 보여 총 분진의 경우와 마찬가지로 유형에 따른 돈사 작업장간의 차이가 비교적 상당한 것으로 분석되었다. 조사 결과 자연환기로 운용되고 있는 톱밥 돈사 작업장에서 호흡성 분진의 원단위 발생량이 가장 높은 것으로 나타났으나 ($p < 0.05$), 다른 나머지 네 작업장은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다 ($p > 0.05$).

3. 외국 선행 연구 자료와의 비교

외국의 선행 연구 결과와 이번 현장 조사를 통해 산출된 분석 결과를 비교한 내용은 Table 4와 5에서 제시하는 바와 같다. 돈사 작업장 내 총 분진의 평균 농도는 외국의 경우 4.03 mg/m^3 에 비해 우리나라는 1.88 mg/m^3 로 낮게 조사된 반면, 호흡성 분진의 경우 우리나라에 위치한 돈사 작업장 내 농도(0.64 mg/m^3)가 외국(0.31 mg/m^3)보다 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 돈사 작업장 유형간의 농도 차이는 우리나라와 외국의 경우 모두 비교적 높은 것으로 분석되었다. 한편 우리나라와 외국의 돈사 작업장에서의 원단위 발생량은 총 분진과 호흡성 분진 모두 비슷한 수준으로 조사되었다.

고 찰

현장 조사 결과 입자상 오염물질인 총 분진과 호흡성 분진의 농도는 자연환기 시스템이 적용되고 있는 톱밥 돈사 작업장에서 상대적으로 가장 높은 것으로 분석되었다. 이러한 결과가 나타나게 된 주요 원인은 돈사 작업장 바닥에 깔아 놓은 톱밥에 의한 것으로 판단된다. 우리나라에서는 일반적으로 돈사 바닥 깔개로 톱밥

을 가장 많이 이용하는데, 사료 입자와 더불어 톱밥 입자가 돈사 작업장 내 분진의 주요 발생원이라 추정할 수 있다. 돈사 바닥에 깔린 톱밥의 건조 상태가 심화될수록 분진의 발생은 상대적으로 높아지며, 특히 돼지들의 행동성은 톱밥 및 분뇨 입자의 공기 중으로의 이동을 촉진시킬 뿐 아니라 바닥으로 침전된 분진을 다시 공기 중으로 부유시키는 원인이기도 하기 때문에 돈사 작업장 내부의 분진 농도를

높이는 주요 인자로 여러 연구자들에 의해 언급되고 있다 [30,35-37]. 반면 Takai 등 [17]과 Seedorf 등 [38]은 톱밥 돈사 작업장의 경우 돼지의 분뇨가 바닥 밑으로 배출되지 못하고 바닥에 깔린 톱밥과 혼합되기 때문에 다른 돈사 작업장에 비해 내부 상대습도가 높아져 오히려 분진 농도가 낮다고 보고하였으나, 이번 현장 조사 결과와는 정반대인 것으로 분석되었다. 돈사 작업장 유형에 따라 분진 농도가 상

Table 4. Comparison between previous researches and this study performed in Korea for total dust within and from swine housing facilities

Concentration		References
mg/m ³		
Mean	Range	
8.00	6.4 - 9.6	Curtis et al., 1975[25]
15.30	-	Donham et al., 1986[26]
2.00	1.3 - 2.7	Meyer and Manbeck, 1986[27]
2.82	0.47 - 9.55	Attwood et al., 1987[20]
7.85	6.9 - 8.8	Heber and Stroik, 1988[28]
-	1.66 - 21.04	Crook et al., 1991[19]
2.20	1.60 - 2.74	Barber et al., 1991[29]
3.19	0.4 - 4.7	Pederson, 1992[30]
2.40	1.00 - 5.00	Hinz and Linke, 1998[31]
2.42	-	Takai et al., 1998[17]
2.41	-	Zhang et al., 1998[32]
3.54	2.15 - 5.60	Duchaine et al., 2000[21]
0.25	0.03 - 1.11	Chang et al., 2001[18]
2.75	-	Wang et al., 2002[33]
4.03	0.03 - 21.04	Mean
1.88	0.53 - 4.37	Data obtained from this study

Emission				References
mg/h/**pig		mg/h/m ²		
Mean	Range	Mean	Range	
100.34	91.84 - 108.83	134.86	123.44 - 146.28	Takai et al., 1998[17]
97.33	24.55 - 305.24	130.82	37.14 - 386.46	Data obtained from this study

* : Based on growing/finishing pig (75 kg)

Table 5. Comparison between previous researches and this study performed in Korea for respirable dust within and from swine housing facilities

Concentration		References
mg/m ³		
Mean	Range	
0.69	0.31 - 3.10	Attwood et al., 1987[20]
0.20	0.03 - 1.45	Crook et al., 1991[19]
0.22	-	Zhang et al., 1998[29]
0.13	-	Stowel and Foster, 2000[34]
0.31	0.03 - 3.10	Mean
0.64	0.18 - 1.68	Data obtained from this study

Emission				References
mg/h/**pig		mg/h/m ²		
Mean	Range	Mean	Range	
10.28	9.90 - 10.65	13.81	13.31 - 14.35	Takai et al., 1998[17]
9.55	2.82 - 28.08	12.83	4.14 - 38.64	Data obtained from this study

* : Based on growing/finishing pig (75 kg)

이하에 나타난 현상은 분뇨 수거 시스템과 환기 시스템의 두 가지 측면에서 해석될 수 있다. 바닥에 틈을 주어 배설된 분뇨가 피트(pit)로 이송되어 저장되는 슬랫 돈사 작업장은 공기 중에 부유하고 있던 분진 입자가 중력에 의해 침전되는 경우 다른 돈사 작업장에 비해 바닥과의 접촉 면적 감소로 인한 공기 중으로의 재부유할 가능성이 희박하기 때문에 실내 분진 농도를 저감시킬 수 있는 요인으로 작용할 수 있다 [28,39]. Chiba 등 [40]은 기계적 환기가 적용되는 돈사 작업장 내부의 분진 농도가 자연환기 돈사 작업장보다 낮다고 보고하고 있으나, 이번 연구에서는 자연환기 돈사 작업장에서의 분진 농도가 대체로 낮은 경향을 보였다. 이는 측정 당시의 기후 조건과 작업 양상에 따른 영향도 있지만, 기계적 환기 시스템을 적용하고 있는 우리나라의 돈사 작업장들이 대부분 MWPS [41]에서 제시하고 있는 적정 환기율을 실제 현장에서 이행하지 않는 것을 반증하고 있는 것이다.

돈사 작업장의 유형에 따라 상당히 높은 농도 차이가 있는 것으로 분석되었는데, 이는 외국의 선행 연구 [17]에서도 동일한 결과를 보고한 바 있다. 분진의 농도가 돈사 작업장 유형에 따라 상이하게 나타나는 이유는 본문에서 언급한 돈사 작업장의 설비 측면의 차이도 있겠지만, 다른 두 가지 근거도 제시할 수 있다. 첫째, 물리적 요인인 온도와 상대습도는 분진의 발생과정에 상호 복합적으로 영향을 줄 수 있기 때문에 [26,42] 현장 조사 당시 외부의 온도 및 상대습도의 변화에 따라 돈사 작업장 내 분진 농도가 달라질 수 있다. 둘째, 동일한 유형의 돈사 작업장이라 하더라도 환기 시스템 운용 및 작업 환경 조건에 따라 분진 농도의 상당한 변이가 발생할 것이라 판단된다.

본 연구 결과 노동부에서 제시하고 있는 총 분진(10 mg/m³)과 호흡성 분진(2.5 mg/m³)의 노출기준을 초과하는 돈사 작업장은 한 곳도 없는 것으로 분석되었다. 그러나 이번 현장 조사는 외부 기후 조건이 온화한 기간 내에만 국한되어 수행되었기 때문에 원활한 환기에 의한 돈사 작업장 내

부의 작업 환경 조건이 비교적 양호했기 때문이라 판단된다. 또한 다른 작업장에 비해 돈사 작업장 내에는 상대적으로 높은 부유 미생물 농도를 나타내고 있으며 분진은 이들을 운반하는 매개체의 역할을 하기 때문에 [26,43] 노출기준에 미달되는 분진 농도라 할지라도 작업자들의 호흡을 통해 유입된 분진은 실제 그 이상의 건강상 장애를 유발할 수 있는 유해인자의 가능성을 내포하고 있는 것이다. 또한 Robertson [44]의 연구 결과에 따르면 분진의 노출기준을 초과하지 않는 돈사 작업장이라 할지라도 종사자들의 호흡기 관련 질병 발생은 빈번하다고 하였다. 따라서 돈사 작업장 내 입자상 오염물질의 노출 수준을 명확히 파악하기 위해서는 계절별 현장 조사가 추후 보완되어야 하고, 개인 시료 채취 방법에 의한 장시간 분진 측정이 수행되어야 하며, 입자상 오염물질에 의한 돈사 작업자의 건강 예방을 위해 돈사 작업장에만 해당되는 실질적인 노출 기준이 제시되어야 할 것이다. 또한 향후 연구에서는 돈사 작업장에서 발생하는 분진의 특성이 생물학상 오염물질을 포함하고 있는 점을 감안하여 공기 중 부유 미생물 및 엔도톡신(endotoxin) 등 분진의 성분별 정량 작업이 동시에 수행되어야 할 것이라 사료된다.

요약 및 결론

현장 조사 결과 전반적으로 총 분진과 호흡성 분진의 농도와 원단위 발생량은 다른 돈사 유형에 비해 자연환기 방식과 바닥 깔개로 톱밥이 적용되고 있는 개방형 톱밥 돈사 작업장에서 상대적으로 높게 나타난 반면 슬랫(slat)형태의 바닥을 구성하고 있는 돈사 작업장이 대체로 낮은 것으로 나타났다. 외국의 선행 연구 자료와 비교시 우리나라의 돈사 작업장 내의 총 분진 농도는 낮았고, 호흡성 분진은 높은 것으로 나타났으며, 원단위 발생량은 대체로 비슷한 수준이었다. 따라서 입자상 오염물질 제어를 통한 돈사 작업자의 호흡기 관련 질병 예방 측면에서 우리나라 돈사 작업장의 분뇨 처리 시스템은 슬랫

형태로 운용되는 것이 가장 효율적이라 판단된다.

참고문헌

1. Hinds WC. Aerosol technology. New York: John Wiley & Sons; 1982
2. Pearson CC, Sharples TJ. Airborne dust concentrations in livestock buildings and the effect of feed. *J Agric Eng Res* 1995; 60: 145-154
3. Carpenter GA. Dust in livestock buildings - review of some aspects. *J Agric Eng Res* 1986; 33: 227-241
4. Wathes CM, Randall JM. Aerosol sampling in animal houses. Commission of the European Communities Report EUR 11877 EN; 1989. p.141.
5. Fuchs NA. The mechanics of aerosols. Oxford: Pergamon Press; 1964
6. Gregory PH. The microbiology of the atmosphere. aylesbury: Leonard Hill; 1973
7. Wathes CM, Jones CDR, Webster AJF. Ventilation, air hygiene and animal health. *Vet Rec* 1983; Dec.: 554-559
8. Hong YC, Cho SH. Health effects of ambient particulate pollutants. *Korea J Prev Med* 2001; 34(2): 103-108 (Korean)
9. Koon J, Howes JR, Grub W, Rollo CA. Poultry dust: origin and composition. *Agric Eng* 1963; 4: 608-609
10. Harry BG. Air pollution in farm buildings and methods of control: a review. *Avian Pathol* 1978; 7: 441-454
11. Welford RA, Feddes JJR, Barber EM. Pig building dustiness as affected by canola oil in the feed. *Can Agric Eng* 1992; 34: 365-373
12. Hartung J. Dust in livestock buildings as a carrier of odours: a review. Paper presented at FAO conference on odours from organic sludges, National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe; 1985
13. Bundy DS, Hazen TE. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. *Trans ASAE* 1975; 18: 138-144
14. Honey LF, McQuitty JB. Some physical factors affecting dust concentrations in a pig facility. *Can Agric Eng* 1979; 21(1): 9-14
15. Donham KJ, Merchant JA, Lassie D, Pependorf WJ, Burnmeister LF. Preventing respiratory disease in swine on confinement workers: intervention through applied epidemiology, education and consultation. *Am J Ind Med* 1990; 18: 241-261
16. 농림부. 가축사육통계. 2003
17. Takai H, Pederson S, Johnsen JO, Metz JHM,

- Koerkamp PWG, Uenk GH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, White RP, Hartung J, Seedorf J, Schroder M, Linkert KH, Wathes CM. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 1998; 70: 59-77
18. 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. *Am Occup Hyg* 2001; 45: 457-465
19. Crook B, Robertson JF, Glass SA, Botheroyd EM, Lacey J, Topping MD. Airborne dust, ammonia, microorganisms, and antigens in pig confinement houses and the respiratory health of exposed farm workers. *Am Ind Hyg Assoc J* 1991; 52: 271-279
20. Attwood P, Ruijewaard R, Versloot P, DeWit R, Heederik D, Boleij JSM. A study of the relationship between airborne contaminants and environment factors in Dutch swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1987; 48: 745-751
21. Duchaine C, Grimard Y, Cormier Y. Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61(1): 56-63
22. Heber AJ, Stroik M, Faubion JM, Willard LH. Size distribution and identification of aerial dust particles in swine finishing buildings. *Trans ASAE* 1988; 31: 882-887
23. Yoo DH, Kim HA, Hwang Y, Sung JH, Lee HK, Park, YG. Concentration of dusts and endotoxin in swine confinement buildings. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2003; 13: 45-52
24. SAS Institute Inc. SAS user's guide. SAS Inst., Inc., Gary, NC; 1999
25. Curtis ES, Drummond JG, Kelley KW, Grunloh DJ, Meares VJ, Norton HW, Jensen AH. Diurnal and annual fluctuations of aerial bacterial and dust levels in enclosed swine houses. *J Anim Sci* 1975; 41: 1502-1511
26. Donham KJ, Scallon LJ, Pependorf W. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1986; 47: 404-410
27. Meyer DJ, Manbeck HB. Dust levels in mechanically ventilated swine barns. ASAE Paper No. 86-4042. St. Joseph, MI, 49085. ASAE. 1986
28. Heber AJ, Stroik M. Influence of environmental factors on dust characteristics in swine finishing houses. Proceedings of International Livestock Environment Symposium III, Ontario, Canada, 25-27 April. p. ASAE 291-298. 1988
29. Barber EM, Dawson JR, Battams VA, Nicol RAC. Spatial variability of airborne and settled dust in a piggery. *J Agric Eng Res* 1991; 50: 107-127
30. Pederson S. Time based variation in airborne dust in respect to animal activity. Proceedings of International Livestock Environment Symposium IV, Warwick, England, 6-9 July. ASAE; 1993. p. 718-726
31. Hinz T, Linke S. A comprehensive experimental study of aerial pollutants in and emissions from livestock buildings. Part 2: Results. *J Agric Eng Res* 1998; 70: 119-129.
32. Zhang Y, Tanaka A, Dosman JA, Senthilselvan A, Barber EM, Kirychuk SP, Holfeld LE, Hurst TS. Acute respiratory responses of human subjects to air quality in a swine building. *J Agric Eng Res* 1998; 70: 367-373.
33. Wang X, Zhang Y, Riskowski GL, Ellis M. Measurement and analysis of dust spatial distribution in a mechanically ventilated pig building. *Biosys Eng* 2002; 81(2): 225-236.
34. Stowell RR, Foster S. Ammonia emissions from a High-Rise swine finishing facility. ASAE Paper No. 00-4080 2000; St. Joseph, Mich. ASAE.
35. Grub W, Rollo CA, Howes JR. Dust problems in poultry environments. *Trans ASAE* 1965; 8: 338-339
36. Nilsson C. Dust investigations in pig houses. Report No. 25. Swedish University of Agricultural Sciences; 1982
37. Yoder MF, VanWicklen GL. Respirable aerosol generation by broiler chickens. *Trans ASAE* 1988; 31: 1510-1517
38. Seedorf J, Hartung J, Schroder M, Linkert KH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, White RP, Pederson S, Takai H, Johnsen JO, Metz JHM, Koerkamp PWG, Uenk GH, Wathes CM. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 1998; 70: 97-109
39. Klooster CE, Roelofs PFMM, Gijzen PAM. Positioning air inlet and air outlet to reduce dust exposure in pig buildings. Proceedings of International Livestock Environment Symposium IV, Warwick, England, 6-9 July. ASAE; 1993. p. 754-761
40. Chiba LI, Ju ER, Lewis AJ. Use of dietary fat to reduce dust, aerial ammonia and bacterial colony forming particle concentrations in swine confinement buildings. *Trans ASAE* 1987; 30: 464-468
41. MWPS. Swine housing and equipment handbook, MWPS-8. Ames, Iowa: Midwest Plan Service; 1988
42. Korthals RL, Christianson LL, Muehling AJ. Assessing and improving environmental conditions in commercial swine facilities. Proceedings of International Livestock Environment Symposium III, Ontario, Canada, 25-27 April. ASAE; 1988
43. Robertson JH, Friebe WR. Microbial validation of ven filters. *Biotechnol Bioeng* 1984; 26: 828-835
44. Robertson JF. Dust and ammonia concentrations in pig housing: the need to reduce maximum exposure limits. Proceedings of International Livestock Environment Symposium IV, Warwick, England, 6-9 July. ASAE; 1993. p. 694-700