

사료 급여 유무에 따른 돈사 작업자의 분진 노출량 비교

백종민 · 김기연*

부산가톨릭대학교 산업보건학과

Comparison of Dust Exposure Levels among Farmers with and without Feeding

Jong Min Paik · Ki Youn Kim*

Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan

ABSTRACT

Objectives: The principal purpose of this study is to statistically compare dust levels among farmers with and without feeding in a nursery pig building.

Methods: Total dust and respirable dust were measured by personal sampling method, and TSP and PM₁₀ were monitored by the direct recording method in the pig building.

Results: In the personal samples, mean exposure levels of total and respirable dust were higher among the farmers who conducted feeding compared to farmers who did not. A significant difference between farmers with feeding and farmers without feeding was found in total dust concentration ($p < 0.05$), whereas there was no significant difference in respirable dust concentrations. In real-time monitoring of dust based on area sampling, the highest levels of total and respirable dust were detected in the feeding time periods; $4.33 \pm 2.57 \text{ mg/m}^3$ for TSP and $2.53 \pm 1.02 \text{ mg/m}^3$ for PM₁₀, respectively. During time periods without feeding, the levels of total and respirable dust ranged from 1 to 2 mg/m^3 and from 0.5 to 1.5 mg/m^3 , respectively.

Conclusions: In terms of association of feeding work and air sampling location, the mean concentrations of total and respirable dust were highest in area sampling with feeding and lowest in personal sampling without feeding. However, a significant difference among groups investigated according to air sampling condition was found in total dust.

Key words : feeding, farmer, pig building, respirable dust, total dust

I. 서 론

일반적으로 가축 사료에서 유래하는 유기성 분진은 축사 작업자의 호흡기계 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다(Crook et al., 1991; Wang et al., 2002). 또한 축사에서 발생하는 분진은 가스상 물질과 부유 미생물을 흡착하는 특성 때문에 축사 작업자의 건강 유해인자로 인식되고 있다(Bottcher, 2001; Kim et al., 2005). 축사 작업자가 보호구 없이 작업 할 경우 분진에 흡착된 여러 종류의 유해인자들에 노출되어 천식, 비염, 기관지염, 폐렴 등의 호흡기계 질환을 촉진시킨다는 연구 결과들이 보고되었다(Cormier et al., 1990; Duchaine et

al., 2000).

현재 국내 돈사 작업장은 겨울철 추위를 효과적으로 차단하여 실내 온도를 적정 수준으로 유지함으로써 돼지의 생산성을 증가시킨다는 이유로 기계환기 방식이 적용되는 밀폐 형태로의 전환이 보편적인 추세이다. 그러나 겨울철 돈사 작업장의 난방을 위해 환기량을 줄일 경우 실내공기질을 악화시켜 돈사 작업자의 호흡기계 질환을 유발할 수 있다(Kim et al., 2006).

기계환기 방식의 밀폐 돈사 작업장은 대부분 자동화 형태로 운영되기 때문에 실제 많은 노동력이 요구되지 않아 돈사 작업자의 실내공기 오염물질 노출 잠재성은 낮을 것으로 추측된다. 그러나 분만 후 육성돈

*Corresponding author: Ki Youn Kim, Tel: 051-510-0635, E-mail: kky5@cup.ac.kr

Department of Industrial Health, Catholic Univ. of Pusan. #57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan

Received: June 3, 2013, Revised: June 17, 2013, Accepted: June 18, 2013

으로 성장하기 전까지 새끼 돼지들이 입식되어 사육되는 이유/자돈사 작업장의 경우 실내 온/습도 등의 적정 내부 환경 관리가 적절하게 조성되지 않으면 새끼 돼지들이 상대적으로 면역성이 약해 폐사 가능성이 높기 때문에 세심한 주의가 요구된다. 따라서 본 돈사 작업장의 경우 자동화 방식이 아닌 작업자가 직접 사료를 급이하는 방식을 취하고 있는 경우도 있다. 또한 새끼 돼지의 경우 성돈에 비해 상대적으로 소화율이 낮아 펠렛(pellet) 형태가 아닌 가루(powder) 형태의 사료를 급이하기 때문에 분진의 비산 가능성이 높아 작업자의 노출 농도가 높을 것으로 추정되고 있다(Robertson, 1992).

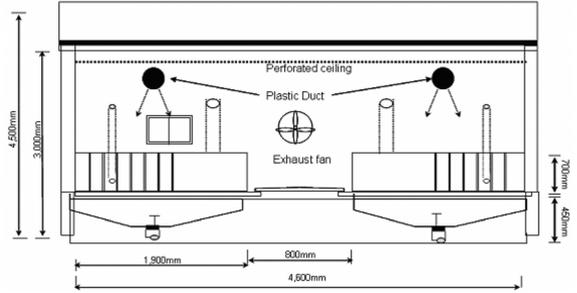
다양한 국외 선행 연구들을 통해 사료에서 유래하는 입자상 물질들이 돈사 작업자의 건강상 질환을 유발하는 주요 인자라는 사실이 이미 규명되었다(Donham et al., 1984; Clark, 1986; Donham, 1986). 그러나 돈사 작업자의 사료 급이 행위가 분진 노출 수준에 미치는 영향에 관한 연구는 아직 보고된 바 없다. 따라서 본 연구의 목적은 개인시료와 지역시료 측면에서 돈사 작업자의 사료 급이 행위 유무에 따른 분진 노출량의 상대 비교 및 실시간 모니터링을 통해 돈사 작업장 내 분진 실내 농도의 경시적 변화 양상을 규명하여 돈사 작업자의 작업 관리 방안 설정에 필요한 기초 자료를 제공하는 데 있다.

II. 연구 대상 및 방법

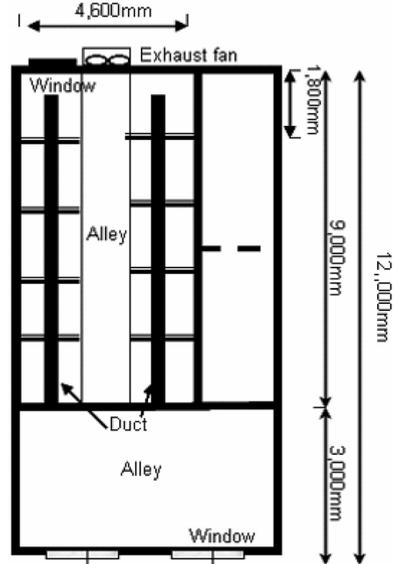
1. 연구 대상

제주 지역에 위치한 밀폐식 완전 슬랫형 슬러리 형태의 이유/자돈사 작업장 (5.2 m×9 m×2.5 m)을 선정하여 2012년 3~5월, 9~11월 기간 동안 매달 1회 현장 방문하여 총 6회에 걸쳐 평가하였다. 돈사 내부는 중앙 복도(0.8 m×9 m)를 중심으로 측면에 각각 5개의 돈방으로 나누어져 있었으며, 적정 온습도를 유지하기 위해 측벽배기의 강제환기 방식이 적용되고 있었다. 각 돈방(0.44 m×0.9 m×0.7 m)에는 평균 체중 5-10 kg의 이유 자돈(Landrace×Yorkshire×Duroc) 10두가 입식되어 총 100두가 사육되고 있었고, 사료의 자유 급식 및 음수가 가능한 사육 환경이었다(Figure 1).

사업장에는 2명의 외국인 작업자가 협동 형태로 근무하고 있었으나, 본 현장 조사시에는 사료 급이유무에 따른 개인시료의 분진 노출량을 비교 평가하기 위해 한 분은 사료 급이 업무를 포함한 돈사 관리 작



(a) View of vertical cross-section of nursery pig room



(b) View of horizontal cross-section of nursery pig room

Figure 1. The layout of experimental nursery pig house

업을, 다른 한 분은 사료 급이 업무를 제외한 돈사 관리 작업을 수행하게 하였다. 사료 급이 업무는 하루 중 2회 실시되었는데, 1회 급이당 1시간 정도 소요되었고 오전 10시~11시와 오후 3시~4시 사이에 수행되었다.

2. 측정 방법

시료 채취 전 유리섬유 여과지(37 mm diameter, 0.8 μm pore size, Nuclepore Corp. Pleasanton, CA, U.S.A.)는 테시케이터에서 24시간 동안 건조시킨 후 사용하였다. 미세질량측정기(Ohaus model AP250D, Switzerland)를 통해 여과지의 무게를 측정한 다음 카세트 필터(Nuclepore Corp., Pleasanton, CA, U.S.A.)에 장착한 후 현장에서 작업자의 하루 근무시간인 8시간 동안(오전 9시~오후 5시) 채취하였다. 시료 채취 후 실험실로 운반한 후 여과지를 다시 테시케이터에 24시간 동안 방

치한 다음 여과지의 무게를 측정, 시료 채취 전후 여과지의 무게 차이를 이용하여 농도값을 산출하였다. 농도값의 보정을 위해 매 시료 채취마다 2개의 공시료를 위와 같은 방법으로 측정후 최종 농도값을 산정하였다. 개인시료 채취기(Model 71G9, Gilian Instrument Corp., Wayne, NJ, U.S.A.)의 유량은 총분진은 2.0 L/min, 호흡성분진은 1.7 L/min로 설정하였으며 호흡성분진의 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.

지역시료의 경우 돈사 중앙 복도의 중간 상부 1.2 m 높이 지점에서 직독식 측정장비(Dust mate, Electrolox Corp., USA)를 이용하여 측정하였다. 측정 원리는 광산란방식으로 측정 1시간 전에 보정을 한 후 15분마다 실시간 모니터링하였다. 측정 항목은 총분진, 호흡성분진과 비교될 수 있는 TSP(Total Suspended Particle)와 PM₁₀ 항목으로 설정하였다.

3. 자료 분석

측정 결과에 대한 통계 분석은 SAS package(SAS/Stat 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 적용하였다. 분진 노출량을 Shapiro-Wilks test를 시행하여 기하평균과 기하표준편차를 산출하였다. 사료 급이 업무를 하는 작업자와 그렇지 않은 작업자간의 분진 노출량 비교를 위해 Student t-test를 적용하였다. 지역시료의 경우 작업 시간대별 농도 분포의 추이를 제시하기 위해 산술평균과 표준편차(로 대표치를 산출하였다. 사료 급이 유무 및 시료 형태에 따른 총분진과 호흡성분진의 농도 비교는 지역시료를 기하 평균화하여 ANOVA test를 적용하였다.

III. 연구 결과

1. 사료 급이 업무 유무에 따른 분진의 개인 노출량 비교

Table 1은 사료 급이 업무를 수행한 작업자와 수행하지 않은 작업자간의 총분진과 호흡성분진의 개인 노출 수준을 보여주었다. 총 5회에 걸쳐 현장 방문을 통해 측정된 자료를 기하 평균하여 제시한 결과, 사료 급이 업무를 수행한 작업자의 개인 시료 노출 농도의

Table 1. Dust exposure level between farmer with feeding and farmer without feeding

	Total dust			Respirable dust		
	(mg/m ³)					
	GM*	GSD**	p-value	GM*	GSD**	p-value
Farmer with feeding	2.64	0.34	0.041	0.61	0.17	0.097
Farmer without feeding	1.81	0.29		0.53	0.14	

*Geometric Mean

**Geometric Standard Deviation

경우 총분진은 2.14 mg/m³, 호흡성분진은 0.61 mg/m³으로 분석된 반면, 사료 급이 업무에 참여하지 않은 작업자의 경우 총분진은 1.81 mg/m³, 호흡성분진은 0.53 mg/m³으로 조사되었다. 따라서 사료 급이 업무를 수행한 작업자가 그렇지 않은 작업자보다 총분진과 호흡성분진 모두 높게 노출되는 것으로 나타났다. 총분진은 유의한 차이가 있었으나(p<0.05), 호흡성분진은 유의한 차이를 보이지 않았다.

2. 돈사 작업장 내 경시적 분진 농도의 변화 양상

Figure 2는 돈사 작업 시간인 오전 9시부터 오후 5시까지 15분 간격의 실시간 모니터링을 통해 TSP와 PM₁₀ 농도의 경시적 변화 양상을 보여주고 있다. 측정 결과, TSP와 PM₁₀ 모두 사료가 작업자에 의해 직접 급이되는 오전 10~11시대와 오후 3시~4시대에 농도가 급격히 증가됨을 알 수 있었고, 급이가 완료된 후의 1시간 동안은 다시 농도가 급격히 감소됨을 관찰할 수 있었다. 사료 급이에 따른 돈사 작업장 내부 최고 농도는 TSP의 경우 4.33±2.57 mg/m³, PM₁₀의 경우 2.53±1.02 mg/m³이었고, 사료 비급이 시간대에는 TSP의 경우 1~2 mg/m³, PM₁₀의 경우 0.5~1.5 mg/m³의 농도 범위를 보였다. 따라서 지역시료의 실시간 모니터링을 통해 사료 급이 행위가 이유/자돈사 내부의 분진 농도 상승에

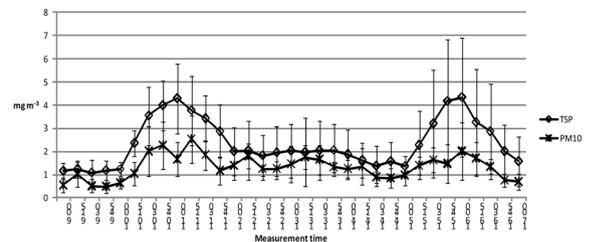


Figure 2. Temporal fluctuation of TSP and PM₁₀ in the nursery pig building

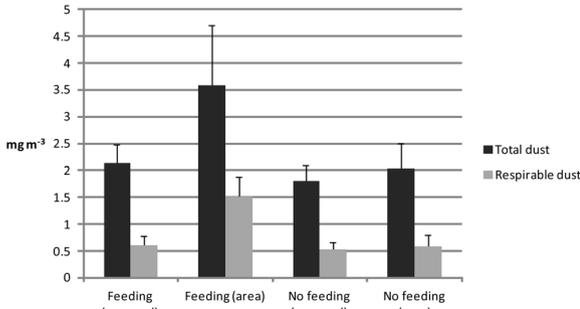


Figure 3. Mean concentrations of total and respirable dust in the nursery pig building according to association of feeding work and air sampling location

상당한 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

3. 사료 급이 유무 및 시료 채취 위치에 따른 분진의 실내 농도 비교

Figure 3은 사료 급이 유무 및 시료 채취 위치에 따른 이유/자돈사 작업장 내 분진의 실내 농도를 보여주고 있다. 그 결과, 총분진과 호흡성분진 모두 사료 급이 업무에 따른 지역시료의 평균 농도(3.58 mg/m³과 1.51 mg/m³)가 가장 높았고, 가장 낮게 측정된 경우는 사료 급이 업무를 수행하지 않은 작업자의 개인 시료 농도(1.81 mg/m³과 0.53 mg/m³)인 것으로 조사되었다. 그러나 총분진의 경우 4 그룹간 통계적 유의한 차이가 있으나($p < 0.05$), 호흡성분진은 유의하지 않았다.

IV. 고 찰

본 연구를 통해 사료 급이 업무가 이유/자돈사 작업자의 총분진과 호흡성분진의 노출 농도를 증가시키는 중요한 요인으로 작용하는 것을 알 수 있었고, 개인 시료보다는 지역 시료에서의 분진 농도가 더 높았다. 사료 급이 업무 참여 여부에 관계없이 두 작업자 모두 이유/자돈사 작업장의 내부 환경 조건을 적정 수준으로 관리하기 위해 작업장 내부를 들어갔다 외부로 다시 나오는 업무를 수시로 수행하기 때문에 사료 급이 업무를 하지 않은 작업자라도 돈사 작업장 내부 분진에 상당 부분 노출될 수 있고, 돈사 내부가 아닌 외부에서 작업하는 시간도 두 작업자 모두 동일하게 적용되기 때문에 실외 공기에 의한 희석 영향도 무시할 수 없다. 따라서 개인 시료보다는 지역 시료가 사료 급이 행위의 영향을 더 받아 분진의 농도가 높게 나타난 것

으로 판단된다.

사료 급이 업무가 수행될 때 사료로부터 유래하는 상당한 양의 유기성 분진 입자들이 공기 중으로 비산된다. 특히 1 μm 이상의 입경을 가진 분진 입자들은 자체적으로 중력이나 관성력 등의 물리적 특성으로 인해 돈사 작업장 내부의 공기 흐름 양상을 잘 따르지 않기 때문에(Kuehn, 1988), 환기에 의해 외부로 잘 배출되지 않고 장기간 돈사 내부 공간에 부유하고 있거나 중력에 의해 바닥으로 침강된다. 따라서 총분진의 경우 사료 급이 업무시의 분진 농도가 사료 급이가 수행되지 않은 경우보다 개인시료와 지역시료 모두에서 통계적으로 유의하게 높게 측정된 것으로 판단된다.

호흡성분진의 경우 총분진과 마찬가지로 사료 급이 업무시가 비업무시보다 개인시료와 지역시료 모두에서 높게 측정되었으나 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았는데, 그 이유는 다음과 같이 추론할 수 있다. 즉 입경 크기가 10 μm 이하에 해당되는 호흡성 입자들은 모든 입경 크기를 포괄하는 총분진 입자와는 다르게 일반적으로 가스상 물질처럼 환기에 의해 형성된 돈사 작업장 내부 공기 이동 양상과 거의 일치하기 때문에(Barber et al., 1991) 바닥에 침전되지 않고 상대적으로 외부 배출이 상당 부분 진행되어 나타난 결과라 판단된다.

현재 국내 이유/자돈사 작업장은 새끼 돼지들이 입식되어 사육되는 공간이기 때문에 자동 급이 방식을 통해 사료가 공급되는 육성/비육돈사 작업장과는 달리 작업자가 직접 사료를 급이하는 방식이 적용되고 있는 실정이다. 또한 새끼 돼지들의 경우 상대적으로 면역성이 약하고 주변 환경 변화에 민감하게 반응하기 때문에 이유/자돈사 작업장은 대부분 기계적 환기 방식이 적용되는 밀폐 형태로 운용되고 있는 상황이다(Donham et al., 1984). 따라서 이유/자돈사 작업장에서 근무하는 작업자들은 다른 유형의 돈사 작업장에서 근무하는 작업자들보다 분진과 같은 공기오염물질의 노출 정도가 상대적으로 높아 호흡기계 질환 발병 잠재성이 더 크다고 할 수 있다(Bongers et al., 1986). 특히 동절기의 경우 이유/자돈사 작업장은 새끼 돼지들의 건강 보호 측면에서 실내 온도 조건을 육성/비육돈사 작업장보다 높게 유지하기 위해 상대적으로 낮은 환기율을 적용한다. 이로 인해 돈사 내부에서 발생하는 분진 등의 실내공기 오염물질의 농도가 높게 형성될 뿐 아니라, 보온 환경 하에서 새끼 돼지들의 활동성이

증가하게 되어 바닥에 침전되어 있는 입자들의 재비산을 더욱 촉진시킬 수 있다(Kim et al., 2008). 또한 새끼 돼지들의 소화 효율 촉진을 위해 육성/비육돈사에서 일반적으로 급이하는 펠렛 형태의 사료 대신 가루 형태의 사료를 급이하기 때문에 작업자의 폐포까지 침착될 수 있는 호흡성 크기 입자들의 노출 수준이 높을 것으로 설명되고 있다(Donham et al., 1986).

V. 결 론

본 연구를 통해 사료 급이 업무가 이유/자돈사 작업자의 총분진과 호흡성분진의 노출 농도를 증가시키는 중요한 요인으로 작용하는 것을 알 수 있었다. 이유/자돈사 작업장에서는 개인시료보다 지역시료에서의 분진 농도가 더 높게 측정된 것으로 조사되었다. 사료 급이 유무 및 시료 채취 위치간 비교에서는 총분진은 통계적 유의성이 입증되었으나($p < 0.05$), 호흡성분진에서는 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 실시간 모니터링을 통한 돈사 작업장 내 TSP와 PM₁₀ 농도의 경시적 변화 양상의 경우 TSP와 PM₁₀ 모두 사료가 작업자에 의해 직접 급이되는 오전 10~11시대와 오후 3시~4시대에 농도가 급격히 증가됨을 알 수 있었고, 급이가 완료된 후의 1시간 동안은 다시 농도가 급격히 감소됨을 관찰할 수 있었다. 따라서 지역시료의 실시간 모니터링을 통해서도 사료 급이 행위가 이유/자돈사 내부의 분진 농도 상승에 상당한 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

감사의 말씀

이 논문은 2012년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음

참고문헌

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.
- Bongers P, Houthuijs D, Remijn B, Biersteker K. Lung function and airway obstruction in pig farmers. *T Soc Gezondheidsz* 1986;64:81-86.
- Bottcher RW. An environmental nuisance: odor concentrated and transported by dust. *Chem Senses* 2001; 26:327-331.
- Clark S. Health effects of organic dusts in the farm environment. *Am J Ind Med* 1986;10:267-273.
- Cormier Y, Tremblay G, Meriaux A, Brochu G, Lavoie J. Airborne microbial contents in two types of swine confinement buildings in Quebec. *Am Ind Hyg Assoc J* 1990;51:304-309.
- Donham KJ, Scallon LJ, Popendorf W. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1986;47:404-410.
- Donham KJ, Zavala DC, Merchant JA. Acute effects of the work environment on pulmonary functions of swine confinement workers. *Am J Ind Med* 1984; 5:367-375.
- Donham KJ. Hazardous agents in agricultural dusts and methods of evaluation. *Am J Ind Med* 1986;10:205-220.
- 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;61:56-63.
- Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim CN, Byeon SH. Association between pig activity and environmental factors in pig confinement buildings. *Aust J Exper Agric* 2008;48:680-686.
- Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim CN. Effect of spraying biological additives on reduction of dust and bioaerosol in the confinement swine house. *Ann Agric Environ Med* 2006;13:133-138.
- Kim KY, Ko HJ, Lee KJ, Park JB, Kim CN. Temporal and spatial distributions of aerial contaminants in an enclosed pig building in winter. *Environ Res* 2005; 99:150-157.
- Kuehn JH. Predicting airflow patterns and particle contamination in clean rooms. *J Aerosol Sci* 1988;19: 1405-1408.
- Robertson JF. Dust and ammonia in pig buildings. *Farm Build Prog* 1992;110:19-24.