

경기 일부지역 육용 양돈작업장의 분진 및 내독소 농도

유동호 · 김형아^{1)†} · 허 용²⁾ · 성재혁¹⁾ · 이한기³⁾ · 박용규⁴⁾

가톨릭대학교 산업보건대학원 · 가톨릭의대 예방의학교실¹⁾ · 대구가톨릭대학교 산업보건학과²⁾
농촌생활연구소³⁾ · 가톨릭대학교 의학통계학교실⁴⁾

Concentration of Dusts and Endotoxin in Swine Confinement Buildings

Dong-Ho Yoo · Hyoung-Ah Kim^{1)†} · Yong Heo²⁾ · Jae-Hyug Sung¹⁾ · Han-Ki Lee³⁾ · Yong-Gyu Park⁴⁾

Graduate School of Occupational Health, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

Dept. of Preventive Medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea¹⁾

Dept. of Industrial Health, College of Natural Sciences, Catholic University of Daegu, Kyongsangbuk-do, Korea²⁾

Rural Development Administration, Suwon, Kyunggi-do, Korea³⁾

Dept. of Biostatistics, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea⁴⁾

The aim of this study was to evaluate exposure to dust and endotoxin produced while working at swine confinement buildings. The dusts and endotoxin may cause adverse health effects on humans.

Fourteen swine farms located at Yong-In, I-Cheon and Yeo-Ju of Kyunggi-do were investigated. Husbandry workers from the farms were requested to wear personal sampler to measure respirable dust levels. Area samplings for total and respirable dust were also conducted at swine confinements buildings by season (summer under window open, winter under window close). Gravimetric analyses and Limulus Amebocyte Lysate assay for measurement of dust level and endotoxin, respectively.

The highest geometric mean (GM) concentration of airborne dusts was 7.47mg/m³ for area total dust, 1.4mg/m³ for area respirable dust, and 10.35mg/m³ for personal respirable dust.

For respirable dust levels, seven farmers exceeded level of ACGIH, 3mg/m³. The highest GM of endotoxin was 5745.40 EU/m³ for area total dust, 905.7 EU/m³ for area respirable dust, and 4310.85 EU/m³ for personal respirable dust. Significantly increased level of total dust ($p<0.001$) and endotoxin in area total dust was observed with winter samples compared with those of summer. Area total dust and area respirable dust ($r=0.622$, $p<0.001$) was very significantly correlated in winter.

Swine husbandry worker may have a considerable risk of ill health when exposed to level of dust or endotoxin demonstrated at this study.

Key Words: Swine confinement building, total dust, respirable dust, endotoxin

I. 서 론

양돈이나 양계건물시설은 사육가축의

생산성을 높이기 위해 인위적으로 만들어진 밀폐건물(confinement building)(Donham, 1986)로, 이러한 건물형태로 인하여

사료나 사육동물 또는 동물의 분비물 등이 건물 내에 발생되어, 결과적으로 인체에 유해한 유기분진(organic dust)과 가스가 발생한다(Jones et al, 1984; Chang et al, 2001).

축산작업장에서 발생하는 유기분진에는 동물의 비듬, 그람음성세균, 곤충, 중

접수일 : 2003년 1월 27일, 채택일 : 2003년 2월 17일

† 교신저자 : 김형아 (서울시 서초구 반포동 505 가톨릭의대 예방의학교실)

Tel : 02-590-1241, Fax : 02-532-3820, E-mail : kimha@catholic.ac.kr

온성 곰팡이들이 복합적으로 함유되어있고, 자극성, 독성가스와 함께 인체에 흡입되면 잠재적인 유해성이 증가되며(Donham et al, 1986; Iowa State Univ, 1992), 직업적으로 공기중 유기분진이 많은 곳의 근로자들에게 유기먼지독성증후군(organic dust toxic syndrome, ODDS)이 발생할 수 있다(NIOSH, 1994).

1977년 최초로 양돈사육건물에서 일하는 작업자들에게 폐기관장애에 대한 건강상태가 보고된(Donham et al, 1977) 이후, 여러 연구에서 그람음성세균의 세포벽에서 파생된 lipopolysaccharide(LPS)인 내독소(ACGIH, 1999)의 노출은 면폐증(Kennedy et al, 1987), ODDS(Rylander, 1987a, 1987b)와 천식(Michal et al, 1991)등 폐기관의 생리적이고 중상적인 반응(Rylander et al, 1989)을 유발하여 유기분진과 폐기관 질환과 관계가 있음을 나타내었다(Donham & Rylander, 1986). 양-반응관계와 역학조사를 통한 몇몇 연구에서 사육 밀폐건물에 종사하는 근로자들의 건강에 관한 상시감시기준이 제시되었으며(Donham et al, 1995; Reynolds et al, 1996), 덴마크와 스웨덴 등 유럽의 국가들은 유기분진에 대한 노출기준을 정하였다(Vinzenz & Nielsen, 1992).

우리나라의 경제활동 인구(22,885천명) 중 농작업 인구는(2287천명) 약 10%를 차지하며(통계청 경제활동인구조사, 2002), 농작업 중 축산가구는 72,173가구이고 이중 양돈가구는 24,001가구이다(농림부 농업총조사, 2000). 농작업에 관한 연구는 주로 농약노출에 의한 건강영향과 하우스병에 관한 연구(홍대용 등, 1996; 최수진 등, 1998; 이원진 등, 1999; 이인배 등, 1999)가 주로 이루어졌을 뿐, 농작업환경에 대한 연구와 양돈작업과 같은 축산작업자의 유해인자 노출에 관한 연구는 이루어지지 못했다.

2002년 개정된 산업안전보건법은 5인 미만의 사업장관리를 강화하였으나 축산과 같은 농작업의 경우 현행의 산업안전보건법상의 관리가 이루어지지 않는 실정이며, 양돈 종사근로자에 대한 유해인자의 노출실태조사 파악이 안된 실정이다.

본 연구에서는 육용 양돈작업장의 분진 및 내독소에 대한 노출량을 파악하여, 향후 양돈작업자의 건강관리 및 작업환경관리를 위한 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구의 취지와 목적에 동의한 14곳의 양돈작업장은 경기도 용인(7곳), 인천(5곳), 여주(2곳)에 위치하였으며 모든 작업장이 비육성 돼지를 사육하였다. 양돈작업장의 분진 및 내독소의 농도는 작업장 옆면의 창(윈치커튼)의 상태와 작업시간에 따라 구분하였다. 4월~9월에 창이 열려있는 개방돈사상태를 '여름철'이라 하였고 10월~3월에 창이 닫혀있는 밀폐돈사상태를 '겨울철'로 구분하였으며 작업시간에 따라 정오를 기준으로 '오전작업'과 '오후작업'으로 구분하였다.

양돈작업장의 특성으로 돈사 크기, 돈사 수, 돈사당 돈방 수와 사육 두수 등의 양돈사육에 관련된 사항과 먹이 공급방식과 가축분뇨제거방식 그리고 환기방식에 관한 사항을 조사하였고 작업자에 대한 일반적인 특성으로 작업경력과 작업시간에 대해 조사하였다.

양돈작업장 내부의 온도는 '여름철'의 경우, 평균과 표준편차는 $27.58^{\circ}\text{C} \pm 6.54$ 이었고 평균상대습도는 $56.50\% \pm 7.50$ 이었다. '겨울철' 내부의 평균온도와 표준편차는 $16.10^{\circ}\text{C} \pm 4.77$, 평균상대습도는 $87.00\% \pm 8.30$ 이었다.

2. 측정방법

축산작업의 특성상 방역작업을 위해 모든 측정장비를 소독하였고, 방역복 및 일회용 방역화를 착용한 상태에서 지역시료는 양돈작업시설의 노출농도를 대표할 만한 중앙위치를 정하여 돈사체적이 1000(m^3)당 1곳의 측정점을 선택하여 근로자의 호흡기 위치인 1.5m의 높이에 끈 등을 이용해서 고정시켜 포집하였고 개인시료

는 호흡기반경 30cm에 해당되는 근로자의 상의 작업복의 옷깃에 편을 사용하여 고정시켜 포집하였다.

충분진 및 호흡성분진은 각각 미국의 산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법 0600과 0500(NIOSH, 1994)을 이용하였다. 37mm PVC여지(SK, USA, pore size $5.0 \mu\text{m}$)를 측정전 데시케이터에 넣어 충분히 건조시킨후 충분진은 2단 카셋트홀더에, 호흡성분진은 Nylon cyclone에 각각 장착시켰다. 비누거품메터(Gilian, Model 713, USA)로 충분진측정시 사용된 펌프(Gillian, USA)는 $2.0 \ell/\text{min}$ 으로 보정하고 호흡성분진측정용 펌프(Gillian, USA)는 $1.7 \ell/\text{min}$ 의 유속으로 보정하였다.

3. 분석방법

여지에 채취된 분진은 데시케이터에 건조시킨 후 소수점 5자리까지 읽을 수 있는 저울(Ohaus, Switzerland)로 시료포집 전후의 무게차이를 칭량하였고, 측정에 사용한 고유량펌프의 보정유량으로 나누어 호흡성 분진과 충분진의 농도(mg/m^3)를 구하여 8시간 가중치로 표시하였다.

분진 중 내독소 농도의 측정은 Limulus Amebocyte Lysate(LAL) kit (Bio Whittaker, USA)를 이용하여 분석하였다. 칭량이 끝난 충분진 및 호흡성분진이 포집된 여과지를 각각 polystyrene tube에 넣고 pH 7.2의 pyrogen-free LAL reagent water를 각 tube에 5ml 씩 넣고 흔들어 섞은 후, 350rpm으로 원심분리시킨다. 각각의 tube의 상청액 100 μl 를 microplate에 넣고 37 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분간 배양시킨 후 Amebocyte 100 μl 를 각각 분주한 후 2~3분간 흔든 후 LAL Reader를 이용해서 405nm에서 흡광도를 측정하여 농도는 EU/ m^3 으로 나타내었다.

4. 통계 분석

SAS(version 8.1) 통계프로그램을 이용해서 분진 및 내독소 농도의 정규성 여부

를 검정(Shapiro-Wilk test) 하였고, 창 의 개방유무(여름철, 겨울철)와 작업시간(오전, 오후)별 차이는 t-test를, 측정된 분진 농도와 내독소의 상관관계는 Spearman 상관계수를 사용하여 각 변수간 관련성을 분석하였다.

III. 결 과

1. 양돈작업장의 일반적인 특성

14곳의 육용양돈작업장의 일반적 특성은 표 1과 같다.

양돈농장시설중 먹이공급방식은 'H' 농가만 사료통에 작업자가 직접 넣어주는 수동방식이었고 나머지 13곳은 양돈작업장이 양돈건물 밖 사료저장탱크에서 관(Cable line)을 통해 사료를 자동으로 공급하는 시설이었다. 분뇨제거시설은 양돈시설 밑에 저장된 분뇨를 자동으로 이동시키는 Scraper시설과 바닥의 경사면을 이용해서 직접 청소하는 수동방식인 Barn Cleaner시설이 각각 7곳이었다. 작업장의 환기시설은 14곳의 양돈작업장이 옆면을 올리거나 내리는 형태의 윈치커튼 방식의 반자동 시설이었다.

양돈작업장의 내부구조에서 돈방의 수

는 평균 17(범위 : 10~36)개, 돈사의 부피는 평균 1706.6(범위 : 368~3765)m³이었고 돈사당 사육두수는 평균 344(범위 : 100~600)두이었다.

양돈 작업자의 작업경력은 평균 10.5(범위 : 3~30)년이고 하루평균 작업시간은 평균 3.8(범위 : 1~9)시간이었다.

2. 분진 농도

1) 지역시료 농도

표 2는 총분진과 호흡성분진의 지역시료 농도를 측정계절과 작업시간별로 나타낸 것이다. 총분진 지역시료의 기하평균 농도(기하표준편차)는 1.10(3.80)mg/m³이었으며, 창 의 개폐에 따른 농도를 볼때, 여름철 및 겨울철의 기하평균농도(기하표준편차)는 각각 0.33(1.78)mg/m³, 2.46(1.55)mg/m³로 나타나 겨울철의 농도가 높았으며(p<0.001), 겨울철의 오전·오후작업의 총분진의 농도도 여름철 보다 높았다(p<0.001). 작업시간에 따른 농도에서 오전작업 및 오후작업의 기하평균농도(기하표준편차)는 0.78(3.39)mg/m³과 1.62 (3.98)mg/m³으로 오후작업이 높게 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다.

호흡성분진 지역시료의 기하평균농도(기하표준편차)는 0.23(2.00)mg/m³이며 호

흡성분진의 여름철 및 겨울철의 기하평균 농도(기하표준편차)는 각각 0.20(2.00)mg/m³, 0.26(2.04)mg/m³으로 겨울철의 농도가 높았으나 통계적인 유의성은 없었고 다만, 오전의 겨울철 농도(0.22mg/m³)가 여름철 농도(0.18mg/m³)보다 높게 나타났다(p<0.01). 오전 및 오후작업의 기하평균농도(기하표준편차)는 각각 0.19 (1.95)mg/m³과 0.28(2.00)mg/m³으로 오후작업의 농도가 높게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

2) 개인시료 농도

표 3은 개인 호흡성분진의 농도를 나타낸 것으로 기하평균농도(기하표준편차)는 1.41(5.01)mg/m³이며 겨울철과 여름철의 기하평균(기하표준편차) 농도는 각각 2.40(4.07)mg/m³, 0.52(4.90)mg/m³으로 겨울철의 작업자에게 높게 나타났다(p<0.01). 작업시간에 따른 농도는 오전 및 오후작업시 각각 0.74(4.17)mg/m³과 1.07(7.57)mg/m³으로 오후작업의 농도가 높게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

3. 내독소 농도

1) 지역시료 중 내독소농도

표 4는 지역시료의 총분진과 호흡성분

Table 1. Characteristics of the Swine Farms

Location	Swine farms No.	Job year	Working hours (hr/day)	Feeding system	Feces system	Buildings	Stalls	Building volume (m ³)	Swines	Vol/swine (m ³ /pig)
IC*	1	3	2	C [§]	S [¶]	1	28	2510	480	5.23
	2	10	6	C	B**	2	30	3012	300	10.44
	3	6	3	C	B	2	50	1208	600	2.01
	4	8	1	C	B	2	12	1143	517	4.57
	5	10	2	C	S	3	14	910	300	3.03
	6	12	4	C	B	2	12	608	250	2.43
	7	6	4	C	S	1	16	910	330	2.76
YI†	1	30	3	C	S	2	28	2510	400	6.28
	2	10	4	M	S	1	36	1208	250	4.83
	3	10	1.5	C	S	2	30	3765	300	12.55
	4	6	1	C	S	3	14	1365	250	5.46
	5	8	7	C	B	2	16	3765	500	7.53
YJ‡	1	18	9	C	B	2	10	368	100	3.68
	2	10	6	C	B	2	10	610	240	2.54

-14 Farm ventilation system is semi-auto

*IC : I-Cheon, †YI : Yong-In, ‡YJ : Yeo-Ju / §C : Cable line, ||M : Manual / ¶S : Scraper, **B : Barn Cleaner

Table 2. Total and respirable dust concentration in area samples

(mg/m³)

			Summer	Winter	Average
Total dust	Morning	GM(GSD)	0.37(1.74)	1.64 ^{***} (1.58)	0.78(3.39)
		Range	0.13~0.64	1.12~5.73	0.13~5.73
		N	14	17	31
	Afternoon	GM(GSD)	0.25(1.95)	3.72 ^{***} (1.58)	1.62(3.98)
		Range	0.14~0.55	2.12~7.47	0.14~7.47
		N	14	17	31
Respirable dust	Morning	GM(GSD)	0.33(1.78)	2.46 ^{***} (1.55)	1.10(3.80)
		Range	0.13~0.64	2.0~7.47	0.13~7.47
		N	28	34	62
	Afternoon	GM(GSD)	0.18(2.09)	0.22 ^{**} (1.74)	0.19(1.95)
		Range	0.07~0.47	0.11~0.36	0.07~0.47
		N	14	16	30
Respirable dust	Afternoon	GM(GSD)	0.27(1.58)	0.28(2.19)	0.28(2.00)
		Range	0.15~0.40	0.11~1.40	0.11~1.40
		N	14	17	31
	Average	GM(GSD)	0.20(2.00)	0.26(2.04)	0.23(2.00)
		Range	0.07~0.47	0.11~1.40	0.07~1.40
		N	28	33	61

GM : Geometric Mean, GSD : Geometric Standard Deviation

N : Number of samples

*** p<0.001 by t-test between season

** p<0.01 by t-test between season

Table 3. Respirable dust concentration in personal samples

(mg/m³)

			Summer	Winter	Average
Respirable dust	Morning	GM(GSD)	0.68(6.46)	0.82(2.14)	0.74(4.17)
		Range	0.09~10.35	0.85~7.75	0.09~10.35
		N	7	12	19
	Afternoon	GM(GSD)	0.28(1.70)	1.86(8.91)	1.07(7.57)
		Range	0.19~0.40	0.04~1.07	0.04~1.07
		N	5	5	10
Average	Average	GM(GSD)	0.52(4.90)	2.40 ^{**} (4.07)	1.41(5.01)
		Range	0.09~10.35	0.04~7.75	0.04~10.35
		N	12	17	29

GM : Geometric Mean, GSD : Geometric Standard Deviation

N : Number of samples

** p<0.01 by t-test between season

진 중 내독소농도를 측정계절과 작업시간 별로 나타낸 것으로 지역시료 총분진 중 내독소의 기하평균농도(기하표준편차)는 190.55(6.61) EU/m³이다. 계절별 농도를 볼 때 여름철과 겨울철 총분진 중 내독소의 기하평균농도(기하표준편차)는 각각 45.71(3.55) EU/m³과 707.95(3.89) EU/m³으로 겨울철의 내독소 농도가 높게 나타났으며(p<0.001), 또한 겨울철의 오전 및 오

후작업의 총분진 중 내독소 농도도 여름철보다 높게 나타났다(p<0.001). 작업시간에 따른 기하평균농도(기하표준편차)에서 오전작업이 102.33 (5.75) EU/m³이고 오후작업이 407.38(6.31) EU/m³으로 오후작업의 내독소의 농도가 높게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

지역 호흡성분진 중 내독소의 기하평균농도(기하표준편차)는 28.18(4.90) EU/

m³이며 여름철과 겨울철의 농도는 각각 34.67(5.25) EU/m³과 20.42(4.68) EU/m³으로 겨울철의 농도가 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 작업시간별로 오전과 오후의 기하평균농도(기하표준편차)는 각각 33.88 (6.03) EU/m³과 20.89(3.72) EU/m³으로 오전 작업시간의 내독소 농도가 높게 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

Table 4. Endotoxin concentration in total and respirable area dust samples

(EU/m³)

			Summer	Winter	Average
Endotoxin in total dust	Morning	GM(GSD)	46.77(3.8)	223.78 ^{***} (4.17)	102.33(5.75)
		Range	8.60~521.77	107.75~3103.08	8.60~3103.08
		N	14	17	31
	Afternoon	GM(GSD)	42.66(3.16)	870.96 ^{***} (3.8)	407.38(6.31)
		Range	18.07~158.8	92.20~5745.40	18.07~5745.40
		N	14	17	31
Endotoxin in respirable dust	Average	GM(GSD)	45.71(3.55)	707.95 ^{***} (3.89)	190.55(6.61)
		Range	8.60~521.77	92.20~5745.40	8.60~5745.40
		N	28	34	62
	Morning	GM(GSD)	45.71(7.41)	18.2(3.55)	33.88(6.03)
		Range	0.91~905.7	4.92~67.04	0.91~905.7
		N	12	6	18
	Afternoon	GM(GSD)	19.51(1.35)	22.39(7.24)	20.89(3.72)
		Range	13.35~28.13	2.31~161.66	2.31~161.66
		N	12	8	20
	Average	GM(GSD)	34.67(5.25)	20.42(4.68)	28.18(4.90)
		Range	0.91~905.7	2.31~161.66	0.91~905.7
		N	24	14	38

GM : Geometric Mean, GSD : Geometric Standard Deviation

N : Number of samples

*** p<0.001 by t-test between season

2) 개인시료 중 내독소농도

표 5는 개인시료 호흡성분진 중 내독소 농도를 나타낸 것으로 기하평균(기하표준편차) 내독소의 농도는 263.03(4.37) EU/m³이었다. 계절별로 볼 때 겨울철이 389.05EU/m³으로 여름철의 농도인 169.82 EU/m³보다 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었고 작업시간별 농도를 볼 때 오전과 오후의 농도는 363.08 EU/m³과 162.18 EU/m³으로 오전 작업시간의

내독소 농도가 높게 나타났으나 역시 통계적으로 유의하지 않았다.

4. 각 변수들의 상관성

측정된 변수들의 Spearman 순위상관계수는 표 6과 같다. 겨울철의 경우 충분진은 지역호흡성분진과 관련성이 매우 높았다($r=0.62$, $p<0.001$). 여름철의 변수들간의 상관성은 유의하지 않았다.

IV. 고 찰

1982년 산업안전보건법의 제정은 산업체에서 일하는 근로자의 건강관리 및 직업병의 예방을 목적으로 하였다(조규상, 2000). 그러나, 이 법은 제조업체의 근로자를 중심으로 시행되어 1차 산업인 축산업에 대한 관리와 노출실태에 관한 조사는 제대로 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구는 양돈작업장에서 발생하는 분진과

Table 5. Endotoxin concentration in respirable personal area samples

(EU/m³)

			Summer	Winter	Average
Endotoxin in respirable dust	Morning	GM(GSD)	467.74(4.9)	281.84(2.24)	363.08(3.31)
		Range	108.17~ 4310.85	128.68~ 886.37	108.17~ 4310.85
		N	7	6	13
	Afternoon	GM(GSD)	21.85(1.23)	602.56(1.95)	162.18(6.61)
		Range	10.65~ 25.42	287.99~ 2085.89	10.65~ 2085.89
		N	5	3	8
Average	Average	GM(GSD)	169.82(7.41)	389.05(2.24)	263.03(4.37)
		Range	10.65~ 4310.85	128.68~ 2580.89	10.65~ 4310.85
		N	12	9	21

GM : Geometric Mean, GSD : Geometric Standard Deviation

N : Number of samples

Table 6. Spearman rank correlation

	Summer						Winter					
	TD(a)	TD(a)E	RD(a)	RD(a)E	RD(p)	RD(p)E	TD(a)	TD(a)E	RD(a)	RD(a)E	RD(p)	RD(p)E
TD	1.000						1.000					
TDE	0.016	1.000					-0.009	1.000				
RD(a)	-0.310	-0.119	1.000				0.622***	-0.217	1.000			
RD(a)E	0.325	-0.415	0.316	1.000			-0.286	0.447	0.104	1.000		
RD(p)	-0.150	-0.480	-0.094	0.035	1.000		0.203	-0.107	0.141	-0.095	1.000	
RD(p)E	0.194	-0.316	-0.317	0.454	-0.186	1.000	-0.190	0.619	0.142	0.750	0.023	1.00

1) TD(a) : Total dust concentration in area sample

2) TD(a)E: Endotoxin concentration in totoal dust area sample

3) RD(a) : Respirable dust concentration in area sample

4) RD(a)E: Endotoxin concentration in respirable dust area sample

5) RD(p) : Respirable dust concentration in personal sample

6) RD(p)E: Endotoxin concentration in respirable dust personal sample

*** p<0.001

내독소의 농도를 파악하여 향후 축산작업장과 작업자들의 작업환경 및 건강관리를 위한 자료를 제공하고자 하였다.

본 연구가 시행된 경기도 용인, 이천, 여주지역의 14개 육용 양돈작업장은 해당기업체로부터 사육을 위탁받은 비육성돈사 시설이다. 보통의 양돈작업장이 모돈사, 자돈사, 비육성돈사, 분만돈사, 이유돈사와 같이 돼지 사육에 필요로 하는 5개 이상의 목적돈사를 가지는 것(정태호 등, 2000)과는 차이가 있다. 위탁을 받은 농장의 돼지는 20kg에서 입하되어 110kg이 되는 105일 전후에 출하된다. 이 사육기간 동안의 돈사내 최저온도는 18~24℃인데(Sainsbury, 1972), 이 적정온도를 유지하기위해서 여름철에는 돈사 옆 창원치커튼을 개방하는 개방돈사의 형태가 되고 겨울철에는 밀폐건물의 형태가 된다.

양돈작업장에 대하여 총분진과 호흡성분진의 지역시료를 채취하였으며 양돈작업자에 대해서는 개인 호흡성분진을 채취하여 분진 노출 및 내독소 농도를 분석하였다. 우리나라의 노동부와 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)에서 제시하는 총분진과 호흡성분진의 8시간노출기준(Threshold Limit Value - Time Weighted Average, TLV-TWA)은 각각 10mg/m³이고 3mg/m³이다. 그러나, 농작업 환경에서 발생하는 분진에 대한 노출

기준은 미국의 산업안전청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 먼분진에 대한 기준과 NIOSH의 먼분진, 곡물분진 그리고 목분진에 대한 기준만이 있을 뿐이다. 유기분진과 내독소에 대한 기준은 없지만, 노동부와 ACGIH의 총분진과 호흡성분진의 기준농도를 비교하여 고찰하였다.

본 연구결과 여름철(개방돈사)의 총분진 지역시료의 농도(0.13~0.64mg/m³)는 개방돈사에 대한 총분진농도 범위(0.15~0.34mg/m³)와 비슷하였고(Chang 등, 2001), 겨울철 밀폐건물의 상태일 때의 농도도 Duchaine 등(2000)의 밀폐돈사의 총분진의 농도 3.54(범위 : 2.15~5.60)mg/m³와 비슷한 결과를 나타낸 반면, 북 스코틀랜드의 돈사 20곳을 대상으로 한 Crook 등(1991)의 연구에서 측정된 총분진농도(1.66~21.04mg/m³)의 13.4%가 ACGIH(10mg/m³) 기준농도를 초과한 결과보다 본 연구의 겨울철 총분진농도는 낮게 나타났는데, 이는 Crook 등이 측정한 돈사의 체적이 본 연구보다 적었고 단위 면적당 돼지의 사육밀도가 높았기 때문이라 생각된다.

분진의 노출과 폐기능에 관한 역학적 연구(Donham et al, 1995; Reynolds et al, 1996)를 보면, 사육밀폐건물에서 하루에 2~3시간, 6년 근무한 자의 1초량(Forced Expiratory Volume in One Second : FEV₁)

은 총분진 2.5mg/m³이상(Donham et al, 1995) 또는 2.8mg/m³이상(Reynolds et al, 1996)에서 10%이상 감소된다. 본 연구의 결과를 Donham 등(1995)이 제시한 폐기능 영향에 대한 상시감시농도(총분진 : 2.5mg/m³)와 비교하면, 여름철보다 겨울철의 10곳의 양돈작업장(71%)이 감시농도를 초과하는 것으로 나타났으며 연구결과에서 나타난 총분진 및 호흡성분진의 농도의 결과도 겨울철의 밀폐돈사의 농도가 여름철 개방돈사의 농도보다 매우 높게 나타나(p<0.001), 계절에 따른 양돈작업장의 창 개폐여부와 환기의 상태가 돈사 내부의 농도에 영향을 미치는 중요한 요인(Crook et al, 1991; Duchaine et al, 2000)이며 향후 양돈작업장의 관리에 있어서 겨울철의 작업장에 대한 관리가 요구되고 추후 적절한 환기시설 및 방법에 관한 연구가 필요함을 알 수 있다.

개인 호흡성분진의 기하평균농도는 1.18(0.04~10.35)mg/m³으로 Simpson 등(1999)의 11곳의 양돈 근로자의 개인 호흡성분진의 농도인 6.71(0.76~19.09)mg/m³보다 낮게 나타났다. 각 작업자의 농도는 여름철 1곳의 양돈작업장에서 10.35mg/m³으로 나타났고, 겨울철에는 7곳의 작업자들에서 ACGIH 노출기준(3mg/m³)을 초과하는 것으로 나타났다. Donham 등(1995)이 제시한 호흡성분진에 대한 감시농도(0.23mg/m³)과 비교해 보면, 여름철에 측정

된 7곳의 양돈작업장 중 4곳의 작업자에서, 겨울철에는 측정된 13곳의 양돈작업장 중 12곳의 작업자들에서 감시농도를 초과하여 호흡성분진농도가 계절에 관계없이 높게 나타났다. 이처럼 개인 호흡성분진의 농도가 계절에 관계없이 높은 이유는 작업내용이 돈사바닥 분뇨청소, 돼지 골라내기, 주사 놓기, 사료통과 물통 관리 등 주된 작업이 분진이 농축된 돈사 내에서 이루어지고 일의 형태가 분진노출이 쉬운 작업이며 작업시 돼지들의 움직임으로 인하여 먼지가 재-부유한 결과라 생각된다. 따라서 개인보호구의 착용이 작업자에 대한 관리의 한 방법이 될 수 있을 것이라 생각한다.

분진 중 내독소의 농도는 겨울철이 여름철보다 높게 나타났다($p<0.001$). 이는 창을 개방한 여름철 개방돈사시설의 환기상태가 높아 돈사내 그람음성세균의 농도가 낮기 때문이다(Duchaine et al, 2000). 여름철 개방돈사에 대한 분진내 내독소의 농도는 Chang 등(2001)의 연구에서 총분진 중 내독소 농도가 140 (범위: 14.4 ~ 818) EU/m³이고 개인 호흡성분진 중 내독소의 농도는 47.0(범위: 0.02 ~ 1643) EU/m³으로 본 연구결과와 비슷하였고, 겨울철 밀폐돈사의 경우, Donham 등(1989)의 스웨덴 양돈 밀폐사육장을 대상으로한 내독소의 농도는 총분진에서 0.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 ng/m³=10 EU/m³에 해당), 호흡성분진에서 0.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 개인시료 총분진에서 0.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 개인시료 호흡성분진에서 0.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, Simpson 등(1999)의 양돈작업장의 개인 호흡성분진중 내독소의 농도는 631 ng/m³(60 ~ 14,923 ng/m³)으로 본 연구보다는 높게 나타났다.

만성적인 내독소의 노출은 폐기능과 호흡기증상에 영향이 나타남에도 불구하고(Kennedy et al, 1987; Donham et al, 1989; Smid et al, 1992), 내독소의 건강상 영향에 대한 기준이 존재하지 않은 것은 내독소의 측정방법과 시약의 표준화가 이루어지지 않았고 내독소와 폐기능 손실은 관련성이 없다는 연구결과들(Christiani et al, 1994; Heederik et al, 1994)도 있기 때문이다. 그러나 양돈과 같은 축산작업장에서

고농도의 유기분진과 내독소의 노출은 작업자의 건강에 영향을 줄 수 있기에 내독소에 대한 연구와 관심이 필요하다(ACGIH, 1999).

각 노출변수의 상관관계에서 겨울철의 경우 총분진은 지역호흡성분진과 양의 상관관계를 나타냈을 뿐($p<0.001$), 다른 변수들 간의 상관관계는 나타나지 않았다. Simpson 등(1999)의 양돈작업장에 대한 연구에서도 분진의 농도와 내독소의 관계는 유의하지 않았는데($r=0.27$, $p=0.17$), 이것은 내독소의 농도는 분진의 농도보다 그람음성세균의 농도에 영향을 받기 때문이다. 계절적으로 여름철에 변수간 상관성이 없었던 것은 개방돈사인 여름철에는 돈사 밖 환경요인에 의한 영향을 많이 받는 것으로 생각된다. 여러 연구에 있어서 측정 농도의 차이는 돈사별로 독립적인 구조적인 특성과 작업자의 작업양상의 차이 그리고 돈사주변의 환경적 차이에 의한 것으로 생각된다(Vinzents & Nielsen, 1992).

본 연구의 제한점으로 대상지역이 경기 일부지역으로 국한되고 양돈작업장의 특성과 양돈작업자의 직무형태 별로 구분되어 측정이 이루어지지지는 못했지만, 양돈작업장과 양돈작업자의 노출농도를 파악하여 분진 및 내독소의 지속적인 감시와 관리가 필요함을 알 수 있었다. 향후 연구에서는 이런 제한점을 극복하고 양돈작업자들의 임상적인 조사와 유해인자에 대한 독성학적인 연구가 같이 수행되어야 할 것을 제시한다.

V. 결 론

본 연구의 목적은 우리나라 육용 양돈작업장의 분진 및 내독소의 노출을 파악하기 위함이다. 경기도 용인, 이천, 여주 지역의 양돈작업장 14곳에 대해서 여름과 겨울철, 오전과 오후에 분진 및 내독소의 농도를 측정하였다. 결과는 다음과 같다.

1. 각 변수별 최고 농도는 지역시료 총분진이 7.47mg/m³, 지역시료 호흡성분진이 1.40mg/m³, 개인 호흡성분진이 10.35mg/m³

이었다. 지역시료 총분진 중 내독소는 5745.40 EU/m³이었고 지역시료 호흡성분진 중 내독소의 농도는 905.70 EU/m³, 개인시료 호흡성분진 중 내독소 농도는 4310.85 EU/m³이었다.

2. 개인 호흡성분진의 농도에서 여름철의 1곳의 농장의 농작업자가 ACGIH의 노출기준을 초과하였고, 겨울철의 경우 7곳(50%)의 양돈작업장의 작업자가 노출기준을 초과하였다.

3. 계절별 농도는 총분진과 총분진중 내독소의 농도가 여름보다 겨울에서 통계적으로 높았고, 지역 호흡성분진의 오전 농도가 여름철 보다 겨울철에 높게 나타났다.

4. 각 변수간 상관성은 겨울철에 총분진과 지역호흡성분진은 관련성이 높았다.

이상의 연구결과로 일부지역의 양돈작업장의 분진 및 내독소 농도는 높게 나타나 향후 우리나라 양돈작업장의 환경관리 및 작업자의 건강관리가 필요함을 알 수 있었다.

REFERENCES

- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출 기준(고시 제97-65호). 1998.
- 농림부. 농업총조사(http://www.maf.go.kr/html/pds/result2000_01.htm). 2000.
- 통계청. 경제활동 인구조사(http://www.nso.go.kr/cgi-bin/sws_777pop). 2002.6.
- 이원진, 최진영, 이진세. 일부 농약 폭로 농민들의 신경전도 검사에 관한 연구. 한국농촌의학회지 1999; 24(1) : 1-11
- 이인배, 이연경, 장성실, 이석구, 조영채 등. 일부 농촌지역 비닐하우스 재배자들의 농부중 실태와 관련요인. 한국농촌의학회지 1999; 24(1) : 13-33
- 정태호, 홍지호, 오인환, 김동균, 연정웅 등. 축산시설기계학. 향문사, 2000. p64.
- 조규상. 산업보건학. 수문사, 1991. p20.
- 최수진, 황상현, 전사일, 민원기, 이선호

- 등. 농업인에서의 체내 잔류농약 검출. 한국농촌의학회지 1998; 23(2) : 305-310
- 홍대용, 김장락, 이명순, 강경희, 하호성. 경남 일부지역의 농부증 및 하우스증 발생에 미치는 요인분석. 한국농촌의학회지 1996; 21(2) : 173-193
- ACGIH. Bioaerosols : Assessment and Control. in Chap 23. Donald K, Milton. 1999.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienist(ACGIH). Threshold Limit Value and Biological Exposure Indices 2000. 69-75.
- Chang CW, Chung H, Huang CF, Su HJJ. Exposure assessment to airborne endotoxin, dust, ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide in open style swine house. Am occup hyg 2001; 45(6) : 457-465
- Crook B, Robertson JF, Travers Glass SA, Botheroyd EM, Lacey J et al. 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(7) : 271-279
- Christiani DC, Ye TT, Wegman DH, Eisen EA, Dai HL et al. Cotton dust exposure, across-shift drop in FEV₁, and five-year change in lung function. Am J Respir Crit Care Med 1994; 150 (5pt1) : 1250-5
- Donham KJ, Rubino MJ, Thedell TD, Kammermeyer J. Potential health hazards of workers in swine confinement buildings. J Occup Med 1977; 19 : 383-387
- Donham KJ. Hazardous agents in agricultural dusts and methods of evaluation. Am J In Med 1986; 10 : 205-220
- Donham KJ, Rylander R. Epilogue : Health effects of organic dusts in the farm environment. Am J Ind Med 1986; 10(3) : 339-340
- Donham KJ, Haglund P, Peterson Y, Rylander R, Belin L. Environmental and health studies of farm workers in swedish swine confinement buildings. Br J Ind Me. 1989; 46 : 31-37
- Donham KJ, Reynolds SJ, Whitten P, Merchant JA, Burmeister L et al. Respiratory Dysfunction in Swine Production Facility Worker : Dose-response relationships of environmental exposure and pulmonary function. Am J Med 1995; 27 : 405-418
- Donham KJ, Rubino MJ, Thedoll TD, Kammermeyer J. Potential health hazards of workers in swine confinement buildings. J Occup Med 1997; 19 : 383-387
- 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
- Heederik D, Smid T, Houba R, et al. Dust-related decline in lung function among animal feed workers. Am J Ind Med 1994; 25(1) : 117-119
- Iowa State University. Livestock confinement dusts and gases. The national dairy database. 1992. 1-11
- Jones W, Moring K, Olenchock SA, Williams T, Hickey J. Environmental study of Poultry confinement buildings. Am Ind Hyg Assoc J 1984; 45(11) : 760-766
- Kennedy SM, Christani DC, Eisen EA, Wegman DH, Greaves IA et al. Cotton dust and endotoxin exposure-response relationships in cotton textile workers. Am Rev Respir Dis 1987; 135 : 194-200
- Michal O, Ginanni R, Duchateau J, Vertogen F, Lebon B et al. Domestic endotoxin exposure and clinical severity of asthma. Clin Exp Allergy 1991; 21 : 441-448
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH). Request for assistance in preventing organic dust toxic syndrome. NIOSH publication No. 94-102, April 1994
- Reynolds SJ, Donham KJ, Whitten P, Merchant JA, Burmeister LF et al. Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary function in swine production workers. Am J Ind Med 1996; 29 : 33-40
- Rylander R. Role of endotoxins in the pathogenesis of respiratory disorders. Eur J Respir Dis Suppl 1987a; 154 : 136-144
- Rylander R. Toxicity of inhaled isolated and cell bound endotoxin. In Proceeding of Endotoxin Inhalation Workshop 1987 b : 202-203
- Rylander R, Bake B, Fischer JJ, Helander IM. Pulmonary function and symptoms after inhalation of endotoxin. Am Rev Respir dis 1989; 140 : 981-986
- Sainsbury D. Pig housing(3 rd ed.), Farming Press. Ipswich. 1972. p201.
- Simpson JCG, Niven MR, Pickering CAC, Oldham LA, Fletcher AM, Francis HC. Comparative personal exposures to organic dusts and endotoxin. Br Occup Hyg Soc 1999; 107-115
- Smid T, Heederik D, Houba R, Quanjer PH. Dust- and endotoxin- related respiratory effects in the animal feed industry. Am Rev Respir Dis 1992; 146 : 1474-1479
- Vincent P, Nielsen BH. Variations in exposures to dust and endotoxin in danish piggeries. Am Ind Hyg Assoc J 1992; 53(4) : 237-241