

**돈사 작업장 유형에 따른 암모니아와 황화수소의 실내농도 및
발생량에 관한 현장 조사**

김기연^{1,3)}, 박재범¹⁾, 김치년²⁾, 이경중^{1)*}

아주대학교 의과대학 예방의학교실¹⁾, 연세대학교 의과대학 산업보건연구소²⁾,
Center for Health Related Aerosol Studies, Department of Environmental Health, Univ. of Cincinnati³⁾

**Field study of emission characteristics of ammonia and hydrogen sulfide
by pig building types**

Ki Youn Kim^{1,3)}, Jae Beom Park¹⁾, Chi Nyon Kim²⁾, Kyung Jong Lee^{1)*}

Department of Preventive Medicine & Public Health, Ajou University School of Medicine¹⁾

Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University²⁾

Center for Health Related Aerosol Studies, Department of Environmental Health, Univ. of Cincinnati³⁾

Running head : 돈사 작업장내 암모니아와 황화수소
(Ammonia and hydrogen sulfide in pig building)

* 교신저자 : 이경중. 경기 수원시 영통구 원천동 산 5번지, 아주대학교 예방의학교실
Tel : 031-219-5292, E-mail : leekj@ajou.ac.kr

ABSTRACT

The principal aim of this field study was to determine the concentrations and emissions of gaseous contaminants such as ammonia and hydrogen sulfide in the different types of pig buildings in Korea and allow objective comparison between Korea and the other countries in terms of pig housing types. This field study was performed from May to June and from September to October in 2002. Pig buildings investigated in this research were selected in terms of three criteria; manure removal system, ventilation mode and growth stage of pig. Measurements of concentration and emission of ammonia and hydrogen sulfide in the pig buildings were done in 5 housing types and the visited farms were 15 sites per each housing type. Concentrations of ammonia and hydrogen sulfide were measured at three locations of the central alley in the pig building and emission rates of them were estimated by multiplying the average concentration(mg/m^3) measured near the air outlet by the mean ventilation rate(m^3/h) and expressed either per pig of liveweight 75kg($\text{mg}/\text{h}/\text{pig}$) or per area($\text{mg}/\text{h}/\text{m}^2$). Concentrations of ammonia and hydrogen sulfide in the pig buildings were averaged to 7.5ppm and 286.5ppb and ranged from 0.8 to 21.4ppm and from 45.8 to 1,235ppb, respectively. The highest concentrations of ammonia and hydrogen sulfide were found in the mechanically ventilated buildings with slats; 12.1ppm and 612.8ppb, while the lowest concentrations of ammonia and hydrogen sulfide were found in the pig buildings with deep-litter bed system(2.2ppm) and the naturally ventilated pig buildings with manure removal system by scraper(115.2ppb), respectively($p < 0.05$). All the pig buildings were investigated not to exceed the threshold limit values(TLVs) of ammonia(25ppm) and hydrogen sulfide(10ppm). The mean emissions of ammonia and hydrogen sulfide per pig(75kg in terms of liveweight) and area(m^2) from pig buildings were 250.2 $\text{mg}/\text{h}/\text{pig}$ and 37.8 $\text{mg}/\text{h}/\text{pig}$ and 336.3 $\text{mg}/\text{h}/\text{m}^2$ and 50.9 $\text{mg}/\text{h}/\text{m}^2$, respectively. The pig buildings with deep-litter bed system showed the lowest emissions of ammonia and hydrogen sulfide($p < 0.05$). However, the emissions of ammonia and hydrogen sulfide from the other pig buildings were not significantly different($p > 0.05$). Concentrations and emissions of ammonia and hydrogen sulfide were relatively higher in the pig buildings managed with deep-pit manure system with slats and mechanical ventilation mode than the different pig housing types. In order to prevent pig farm workers from adverse health effect caused by exposure to ammonia and hydrogen sulfide in pig buildings, they should wear the respirators during shift and be educated sustainably for the guideline related to occupational safety.

Key words : pig building, farm worker, ammonia, hydrogen sulfide

I. 서론

현재 우리나라의 양돈 산업은 집약화 형태로 변모되어 감에 따라 가족 단위로 운영되던 예전의 소규모 작업 형태에서 농장주가 근로자를 고용하여 관리 운영하는 대규모 형태의 작업장으로 계속 전환되어 가고 있다. 1,000두 이상의 돼지를 사육하고 있는 중·대규모 양돈 농가는 우리나라에 약 3,000여개가 있고 농가당 사육 마리수는 약 600두로 매년 증가 추세에 있다(농림부, 2003). 우리나라의 양돈업에 종사하는 작업자 수 및 근로 실태에 관한 정확한 통계자료가 아직 제시되지 못하고 있지만, 자체 현장 조사에 의하면 중규모 양돈농가(1,000~5,000두)는 1~3인, 대규모 양돈농가(5,000두 이상)는 5~10인까지의 작업자를 고용하고 있었으며, 후자의 경우 양돈업이 노동 집약적 업종인 까닭에 대부분 외국인 작업자들에 의해 운영되고 있는 것으로 파악되었다.

돈사 작업장 내부의 공기 오염물질은 크게 가스상, 입자상, 생물학상(bioaerosol) 물질로 구분할 수 있다(김기연과 김치년, 2003). 이 중 돈사 작업장 내 가스상 오염물질들은 돼지들에 의해 배설된 분뇨가 피트(pit)내에서 저장되어 혐기성 미생물에 의해 분해되는 경우가 주요 발생 과정이며, 돼지의 호흡 및 환기시스템의 작동시에도 발생된다(Chang 등, 2001). 돈사내 주요 가스상 오염물질들 중 이산화탄소(CO₂)와 메탄(CH₄), 그리고 아산화질소(N₂O)는 발생량이 상대적으로 경미하여 일반적으로 작업장 노출기준을 초과하지 않는 것으로 보고되고 있다(Verstegen 등, 1976; Noblet 등, 1989). 하지만, 돈사 작업장 내 암모니아(NH₃)와 황화수소(H₂S)의 농도 및 발생량은 다른 작업장에 비해 상대적으로 높으며, 특히 외부 기온이 극단적으로 저하되는 동절기시 실내 온도 유지를 위해 최소 환기율을 적용하는 경우 노출기준을 초과하여 작업자의 체내 유해물질로 작용할 수 있다(Nordstrom과 McQuitty, 1976; Coleman 등, 1991). Bruce(1981)의 연구에 따르면 암모니아 노출에 따른 작업자의 신체적 증상은 5-50ppm 범위에서 후각 감지, 100-500ppm 범위에서 눈의 염증, 2,000-3,000ppm 범위에서 재채기 및 침흘림, 그리고 10,000ppm이상의 농도에 노출되면 즉시 사망하는 것으로 알려져 있다. 한편, 황화수소는 1시간 동안 50-100ppm 범위에 노출되면 눈의 염증 및 호흡기의 이상이 발견되고, 8-48시간 동안 150ppm에 노출시에는 사망할 수 있으며, 700-2,000ppm에서는 즉사하는 것으로 보고하고 있다.

또한 암모니아와 황화수소는 돈사 내 악취 발생의 주요 원인 물질로서(Hartung과 Phillips, 1994; Heber 등, 1997) 외부로 방출시 인근 정주민들에게 심미적 불쾌감을 일으켜 악취 관련 민원을 야기시키기 때문에 현재 미국과 유럽은 양돈업자들에게 엄격한 환경 규제를 강화하고 있는 실정이다(Wathes 등, 1998; Gay 등, 2003). 특히 돈사 내에서 외부로 방출된 암모니아는 지구 온난화의 원인 물질일 뿐만 아니라, 비를 통해 육지와 수계에 도달하면 토양의 산성화 및 하천의 부영양화를 초래하는 물질이기도 하다(Harssema 등, 1981; van Breemen 등, 1982; Buijsman과 Erisman, 1988). 이러한 문제의 심각성 때문에 미국과 유럽에서는 암모니아와 황화수소의 작업자 노출 정도를 파악하기 위한 현장 조사를 상당 수의 돈사 작업장을 대상으로 수행하고 있으며(Crook 등, 1991; Duchaine 등, 2000), 대기 및 토양 환경을 보호하기 위한 측면에서 외부로 방출되는 암모니아

와 황화수소의 발생량 정량화를 위한 배출 원단위 산정에 관한 연구도 동시에 수행하고 있다 (Koerkamp 등, 1998; Gay 등, 2003). 그러나 우리나라의 경우 돈사내 암모니아와 황화수소에 대한 기초적 분석 자료의 현장 조사마저도 거의 수행되지 않고 있는 상황이라 돈사 작업장의 근무 환경 조건을 개선하기 위한 관리 대책을 세우는 것은 현재로서는 불가능하다. 따라서 본 연구는 현장 조사를 통해 우리나라의 돈사 유형에 따른 암모니아와 황화수소의 실내 농도를 분석하여 실제 돈사 작업자의 노출 정도를 구명하고, 외부로의 발생량 정량화 산정을 통해 환경 규제자 및 양돈업자가 활용할 수 있는 기초적 연구 자료를 제시하기 위한 목적에서 수행되었다.

II. 실험대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구에서 조사된 돈사는 분뇨 처리 시스템, 환기 방식, 돼지 성장 단계라는 세 가지 기준에 근거하여 5개의 돈사 유형을 조사 대상으로 하였다(Table 1). 분뇨 처리 시스템의 형태를 기준으로 우리나라의 돈사 유형을 세 가지로 분류하면 슬랫 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 측벽 배기를 적용하는 밀폐형 강제 환기와 측벽에 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 50~100kg의 육성/비육돈을 사육하고 있는 농가를 대상으로 하였다. 이를 종합하여 각 돈사 유형별로 15개소를 선정하여 경기, 충북, 충남에 위치하고 있는 총 75 농가를 방문하였으며, 조사 시기는 2002년 5월과 6월, 9월과 10월 사이에 수행되었다.

Table 1. Characteristics of the pig buildings investigated

Housing type		N
Manure collection system	Ventilation mode	
Deep-pit manure system with slats	† N.V.	15
	† M.V.	15
Manure removal system by scraper	N.V.	15
	M.V.	15
Deep-litter bed system	N.V.	15

* : Natural ventilation

† : Mechanical ventilation

2. 측정 방법

암모니아와 황화수소의 돈사 내 농도는 지역 시료로서 복도 중앙의 세 지점에서 측정한 값들의 기하 평균을 대표값으로 하였으며, 발생량은 내부 공기 배출구 지점에서 측정한 농도 값에 유량을 곱하여 나타냈다. 유량은 강제환기 방식의 밀폐형 돈사의 경우 배기팬 면적에 유속을 곱하여 측정하였고, 자연 환기 방식의 개방형 돈사의 경우 작업장 내부와 외부의 온도 및 CO₂ 농도를 직독식 측정기(No 21C, Gastec, Japan)를 이용하여 측정한 후 내부와 외부간의 차이를 근거로 열 평형 및 CO₂ 평형 방법을 병행하여 측정하였다. 발생량에 대한 원단위 배출 계수 산정을 위해 조사 대상 각 돈사의 면적과 사육되는 돼지의 총 무게를 조사하였다. 돈사의 사육 면적은 줄자를 사용하여 직접 측정하거나 돼지 전염병 확산을 우려한 농가의 경우 농장주로의 협조를 받았으며, 돼지 무게의 경우 현실적으로 사육되는 돼지들의 총 무게를 측정한다는 것은 불가능했기 때문에 이 또한 농장주로부터 자료를 받아 75kg을 돼지 한 마리의 무게로 설정한 후 산정하였다.

암모니아와 황화수소의 측정 방법은 NIOSH에서 제시한 분석 방법에 근거하였다(NIOSH, 1998). 암모니아의 경우 황산 흡수액 10ml를 넣은 임핀저(impinger)를 폴리에틸렌 튜브로 공기 흡입 펌프(Model 71G9, Gilian Instrument Corp., Wayne, N.J.)에 연결한 후 1.5~2.0 l/min의 유량으로 돈사 내 농도 수준에 따라 15~45분 동안 공기 시료를 포집한 후 UV-spectrophotometer(UV-1601, SHIMADZU, Japan)를 통해 흡광법으로 측정하였다. 황화수소는 고체 황성탄관으로 시료를 포집한 후 Ion Chromatography(761 Compact IC, Metrohm, Switzerland)를 통해 측정하였으며, 그 밖의 분석 과정은 암모니아의 경우와 동일하다. 작업자의 유해물질 장기간 노출기간(TWA)인 8시간에 근거, 돈사 작업자의 근무 시간인 오전 9시부터 오후 5시 사이에 3회(오전 9시, 오후 1시, 오후 5시) 시료를 채취하여 분석한 값들의 평균을 대표값으로 하였다.

3. 통계 처리

SAS package(1999)를 이용한 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법을 통해 각 돈사 유형에 따른 암모니아와 황화수소의 농도 및 배출량의 통계적 차이를 입증하였다.

Ⅲ. 조사결과 및 고찰

1. 돈사 작업장 유형에 따른 암모니아와 황화수소의 실내 농도 및 원단위 발생량

돈사 유형에 관계없이 돈사 작업장 내부의 암모니아 평균 농도는 7.5ppm, 범위는 0.8~21.4ppm으로 조사되었다. 자연환기 방식의 슬랫 돈사 작업장의 평균 농도와 범위는 6.9ppm과 2.1~10.2ppm인 반면, 강제환기 방식의 슬랫 돈사 작업장의 경우 12.1ppm과 7.3~21.4ppm을 보이는 것으로 나타났다. 스크레이퍼 방식으로 분뇨 처리를 하는 돈사 작업장의 암모니아 농도는 자연환기 방식이 적용되는 경우 평균 5.1ppm, 3.1~9.5ppm의 범위를 나타냈고, 강제환기 방식이 적용되는 경우 평균

Table 2. Concentration of NH₃ and H₂S according to types of pig buildings

Housing type Manure collection system	Ventilation mode	NH ₃ (ppm)		H ₂ S(ppb)	
		GM(GSD)	Range	GM(GSD)	Range
Deep-pit manure system with slats	*N.V.	‡ 6.9(3.2) ^a	2.1 - 10.2	296.3(180) ^a	74.2 - 672.4
	† M.V.	12.1(5.4) ^b	7.3 - 21.4	612.8(483) ^b	121.6 - 1,235
Manure removal system by scraper	N.V.	5.1(2.7) ^a	3.1 - 9.5	115.2(96) ^c	46.8 - 313.1
	M.V.	11.4(3.5) ^b	8.1 - 15.2	270.3(321) ^a	86.9 - 912.5
Deep-litter bed system	N.V.	2.2(2.8) ^c	0.8 - 5.1	137.8(96) ^c	45.8 - 289.2
Mean		7.5(8.2)	0.8 - 21.4	286.5(367)	45.8 - 1,235

* : Natural ventilation

† : Mechanical ventilation

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

11.4ppm, 8.1~15.2ppm의 범위를 나타내는 것으로 분석되었다. 자연환기 방식을 취하고 있는 톱밥 돈사 작업장은 평균 2.2ppm, 0.8~5.1ppm 범위의 암모니아 농도를 보였다. 환기 방식 측면에서는 강제환기가 적용되는 돈사 작업장의 암모니아 농도가 자연환기가 적용되는 돈사 작업장보다 높은 것으로 나타났으며(p<0.05), 분뇨 처리 형태 측면에서는 톱밥 돈사 작업장이 다른 돈사 작업장에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났다(p<0.05). 황화수소의 경우 돈사 작업장 유형에 관계없이 평균 농도는 286.5ppb였으며, 45.8~1,235ppb의 범위를 보였다. 자연환기 방식의 슬랫 돈사 작업장은 296.3ppb와 74.2~672.4ppb, 강제환기 방식의 슬랫 돈사 작업장은 612.8ppb와 121.6~1,235ppb의 평균 농도 및 범위를 보였다. 스크레이퍼 돈사 작업장은 자연환기 방식의 경우 115.2ppb와 46.8~313.1ppb, 강제환기 방식의 경우 270.3ppb와 86.9~912.5ppb의 평균 농도와 범위를 나타낸 반면, 자연환기 방식으로 운용되고 있는 톱밥 돈사의 경우 평균 137.8ppb, 45.8~289.2의 농도 범위를 나타내는 것으로 분석되었다. 가장 높은 농도를 나타낸 돈사 작업장은 암모니아와 마찬가지로 강제환기 방식의 슬랫 돈사였고, 자연환기 방식의 스크레이퍼 돈사가 가장 낮은 농도를 보이는 것으로 분석되었다(p<0.05). 또한 조사대상 모든 돈사 작업장이 암모니아(25ppm)와 황화수소(10ppm)의 장시간 노출기준을 초과하지 않는 것으로 조사되었다(Table 2).

발생량 원단위의 경우 암모니아의 평균값은 75kg 육성돈 돼지 한 마리 기준으로 250.2mg/h/pig(8.2~826.5mg/h/pig), 단위 면적(m²) 기준으로 336.3mg/h/m²(23.3~1,068mg/h/m²)로 분석되었으며, 자연환기 방식의 톱밥돈사(84.9mg/h/pig, 114.1mg/h/m²)가 상대적으로 다른 유형의 돈사에 비해 매우 낮은 농도를 보인 것으로 분석되었으나(p<0.05), 나머지 네 유형의 돈사 작업장은 통계적으로 차이가 없었다(p>0.05). 황화수소의 경우 평균 발생량 원단위는 37.8mg/h/pig(6.2~192.5mg/h/pig), 50.9mg/h/m²(6.3~224.3mg/h/m²)로 가장 낮은 발생량 원단위 수치를 나타낸 돈사 작업장은 암모니아

Table 3. Emission of NH₃ and H₂S according to types of pig buildings

NH ₃					
Housing Manure collection system	Ventilation type	mg/h/* pig		mg/h/m ³	
		GM(GSD)	Range	GM(GSD)	Range
Deep-pit manure system with slats	† N.V.	‡284.1(137) ^a	52.5 - 482.1	381.9(158) ^a	81.1 - 514.3
	‡ M.V.	320.1(294) ^a	24.2 - 826.5	430.3(402) ^a	113.8 - 1,068
Manure removal system by scraper	N.V.	263.5(188) ^a	38.2 - 524.2	354.1(214) ^a	123.6 - 678.2
	M.V.	298.3(256) ^a	83.3 - 725.6	400.9(237) ^a	213.4 - 820.4
Deep-litter bed system	N.V.	84.9(78) ^b	8.2 - 210.1	114.1(106) ^b	23.3 - 352.3
Mean		250.2(316)	8.2 - 826.5	336.3(426)	23.3 - 1,068

H ₂ S					
Housing Manure collection system	Ventilation type	mg/h/pig		mg/h/m ³	
		GM(±GSD)	Range	GM(±GSD)	Range
Deep-pit manure system with slats	N.V.	42.1(38) ^a	8.0 - 120.2	56.5(29) ^a	19.2 - 93.2
	M.V.	53.4(46) ^a	18.6 - 192.5	71.7(54) ^a	24.2 - 224.3
Manure removal system by scraper	N.V.	36.0(35) ^a	6.2 - 92.2	48.4(38) ^a	11.2 - 108.2
	M.V.	39.2(41) ^a	10.2 - 112.3	52.7(44) ^a	16.3 - 186.3
Deep-litter bed system	N.V.	18.5(24) ^b	8.3 - 73.3	24.9(18) ^b	6.3 - 64.3
Mean		37.8(52)	6.2 - 192.5	50.9(78)	6.3 - 224.3

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

† : Natural ventilation

‡ : Mechanical ventilation

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

와 동일하게 자연환기 방식의 톱밥돈사(18.5mg/h/pig, 24.9mg/h/m³)였고(p<0.05), 그 밖의 돈사 작업장들은 통계적 차이가 없는 것으로 분석되었다(p>0.05)(Table 3).

조사대상 돈사 작업장 내부의 암모니아와 황화수소 농도 모두 분뇨 처리 시스템의 경우 슬랫>스 크레이퍼>톱밥돈사 순이었으며, 환기 방식의 경우 자연환기보다는 강제환기 적용시 높은 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 슬랫 돈사 작업장 내부의 암모니아와 황화수소의 농도가 다른 분뇨처리 방식을 적용하는 곳보다 상대적으로 높게 나타난 이유는 돈사 바닥이 슬랫(slat)으로 이루어져 바닥 밑에 설치된 피트(pit) 표면적을 완전히 차단하지 못하기 때문이라 판단된다. 따라서 피트에 저장된 돼지 분뇨로부터 발생하는 가스 물질들이 용이하게 돈사 작업장 내부의 공기 중으로 쉽게 휘발될 수 있기 때문이며, 이는 이전의 연구 보고들에서도 언급한 바 있다(Muck과 Steenhuis, 1982; Swierstra 등, 1995; Aarmink 등, 1996). 톱밥 돈사 작업장의 경우 바닥에 톱밥을 깔아주기 때문에 돼지가 배설하는 분뇨와 혼합되어 질산화나 탈질화 같은 미생물에 의한 분뇨의 분해 과정이 용이

하게 진행된다(Groenestein, 1993). 그 결과 배설된 분뇨내 암모늄 이온(NH_4^+)이 암모니아 형태 보다는 질소 형태로 전환되어 공기 중으로 방출되기 때문에 내부의 암모니아 농도가 상대적으로 낮게 분석된 이유라 사료된다. 하지만 연구 분석 결과를 종합적으로 고찰해 보면, 돈사 작업장 내부의 암모니아와 황화수소의 농도 수준은 분뇨 처리 형태보다는 환기 방식에 의해 영향을 받는다고 판단된다.

암모니아와 황화수소의 발생량 원단위의 경우 분뇨 처리 시스템 측면에서는 톱밥 돈사가 상대적으로 낮은 수치를 나타내었을 뿐 슬랫과 스크레이퍼는 차이가 없는 것으로 분석되었으며, 환기 방식 측면에서는 대체로 강제환기와 자연환기간의 통계적 차이가 없는 것으로 조사되었다. 이처럼 환기 방식의 차이에 따른 암모니아와 황화수소의 발생량 원단위가 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석된 이유는 현장 조사가 극단적인 기후 조건을 보이지 않는 봄과 가을에 수행되어 배기팬에 의한 강제 환기율보다는 자연 대류에 의한 자연 환기율이 상대적으로 더 높았기 때문이라 추정된다. 돈사로부터 발생하는 가스상 오염물질의 발생량은 공기 배출구에서 측정된 농도 수치에 유량을 곱하여 산정된다. 일반적으로 유량은 강제환기 돈사의 경우 돈사 내부와 외부의 정압 차이 및 환기팬 작동 데이터를 이용하며, 자연환기 돈사의 경우 추적 가스(tracer gas), 열 평형, 이산화탄소 평형 등의 방법 등을 이용하여 산정한다(Gay 등, 2003). 하지만, 돈사 작업장 내부에는 돼지의 행동성, 배기팬 내부의 분진 집적, 정압의 급격한 변화 등과 같은 공기 흐름에 영향을 주는 요인들이 많기 때문에 정확한 유량을 산정한다는 것은 현재로서는 거의 불가능한 일이다(Bicudo 등, 2002). 따라서 이번 연구 결과에서 나타난 돈사 작업장에서의 암모니아와 황화수소의 발생량 원단위를 비교 평가할 때에는 위에서 언급한 사항을 고려해야 할 것이다.

본 분석 결과를 외국의 선행 연구 결과와 비교해 보면, 돈사 작업장 내 평균 농도는 외국의 경우보다 암모니아는 낮고 황화수소는 높은 것으로 분석되었다. 한편, 발생량 원단위의 경우 외국의 경우와 비슷한 수준을 보이는 것으로 분석되었다(Table 4). 외국의 선행 연구 자료들과 이번 연구 결과를 비교했을 시 나타난 차이는 다음과 같은 세 가지 이유로 고찰할 수 있다. 첫째, 조사 당시의 계절 및 기후의 영향이다. 측정 당일의 외부 온도 조건에 따라 강제환기 돈사의 경우 내부 온도를 적정 수준으로 유지하기 위해 배기팬을 조작하여 환기율을 전환할 수 있기 때문에 이는 돈사 작업장 내 암모니아와 황화수소의 농도 및 발생량에 영향을 줄 수 있다. 둘째, 암모니아와 황화수소의 측정 및 분석 방법의 차이이다. 각 연구자들마다 암모니아와 황화수소를 측정하는 데 있어 동일한 분석 방법을 적용한 것이 아니기 때문에 분석 절차 및 분석 기기의 오류로 인한 분석 데이터의 오차는 발생할 수 있다. 셋째, 각 나라마다 서로 다른 환기 시스템을 돈사 작업장에 적용한다는 사실이다. 우리나라 돈사 작업장의 경우 측벽 배기 시스템을 주로 적용하는 반면, 미국의 경우 피트 배기 시스템을, 유럽의 경우 굴뚝 배기 시스템을 주로 적용하고 있다. 이러한 환기 시스템의 차이로 인해 공기 배출구의 위치가 다르고, 작업장 내부의 공기 유동 현상에도 변화를 주기 때문에 암모니아와 황화수소의 농도 및 발생량에도 동시에 영향을 미칠 수 있다.

Table 4. Comparison between foreign researches and this study for NH₃ and H₂S in pig buildings

Aerial contaminants	Unit	*Reported data		Data in Korea		
		Mean	Range	Mean	Range	
Ammonia	Concentration	ppm	15.4	0.1 - 64.9	7.5	0.8 - 21.4
	Emission	mg/h/ [†] pig	231.2	0.2 - 3,038	250.2	8.2 - 826.5
		mg/h/m ²	310.8	0.3 - 4,082	336.3	23.3 - 1,068
Hydrogen sulfide	Concentration	ppb	226.8	6.5 - 2,174	286.5	45.8 - 1,235
	Emission	mg/h/pig	39.4	0.5 - 72.1	37.8	6.2 - 192.5
		mg/h/m ²	52.9	0.6 - 96.8	50.9	6.3 - 224.3

* : References - (Avery et al., 1975; Pedersen, 1992; Morrison et al., 1993; Heber et al., 1997; Stowell 과 Foster, 2000; Zhu et al., 2000; Louhelainen et al., 2001; Ni et al., 2000; Ni et al., 2002)

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

본 연구에서는 조사대상 돈사 작업장 모두에서 암모니아와 황화수소의 노출기준을 초과하지 않는 것으로 분석되었으나, 이는 외부 기후 조건이 극단적이지 않은 봄과 가을철에만 국한되어 조사되었기 때문에 환기 상태가 대체로 원활히 이루어진 결과라 판단된다. 기존의 연구 보고에 의하면 외부의 온도가 극단적으로 낮은 겨울철의 경우 돈사 내부의 온도 유지를 위해 환기율을 적정 수준보다 낮추기 때문에 내부의 암모니아와 황화수소의 농도는 반대로 높아지고 암모니아의 경우 환기 상태가 매우 불량한 경우 노출기준을 초과할 수도 있다(Donham과 Popendorf, 1985). 따라서 향후 연구에서는 일반적으로 환기 상태가 저조한 겨울철과 극단적인 기후 조건인 여름철에도 현장 조사를 수행해야 할 것이다. 또한 이번 시료는 개인 시료가 아닌 지역에서 채취한 시료로서 돈사 작업자의 암모니아와 황화수소의 노출정도를 간접적으로 파악한 것이기 때문에 실질적인 노출 수준 규명을 위해서는 개인 시료 채취에 의한 측정이 수행되어야 함과 동시에 현장 조사를 위한 돈사 작업장 수도 지금보다 확대되어야 할 것이다. 본 연구 결과에 근거한다면 조사된 돈사 작업장 내 암모니아와 황화수소의 농도가 돈사 작업자의 건강에 나쁜 영향을 줄 정도의 수준은 아니었으나, 이들 물질들의 노출로 인한 건강 위해성을 사전에 예방하기 위해 작업시 보호구의 필수 착용과 더불어 돈사 작업자들을 대상으로 한 지속적인 산업 안전 지침 및 교육을 확대해야 할 것이라 사료된다.

IV. 결론

돈사 작업장의 유형에 관계없이 돈사 작업장 내부의 암모니아 평균 농도는 7.5ppm, 범위는 0.8 ~ 21.4ppm으로 조사되었으며, 황화수소는 평균 286.5ppb였으며, 45.8~1,235ppb의 범위를 보이는 것으로 분석되었다. 강제환기 방식의 슬랫 돈사 작업장 내부가 가장 높은 암모니아(12.1ppm)와 황화수소(612.8ppb)의 농도를 나타냈고, 가장 낮은 농도를 보인 돈사 작업장은 암모니아의 경우 자연환기 방식의 톱밥돈사(2.2ppm), 황화수소는 자연환기 방식의 스크레이퍼 돈사 작업장(115.2ppb)인 것으로

분석되었다($p < 0.05$). 또한 현장 조사된 모든 돈사 작업장이 암모니아(25ppm)와 황화수소(10ppm)의 장시간 노출기준(TLVs)을 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 암모니아와 황화수소의 평균 원단위 발생량은 두당(75kg) 기준으로 250.2mg/h/pig와 37.8mg/h/pig, 면적(m^2) 기준으로 336.3mg/h/ m^2 와 50.9 mg/h/ m^2 로 나타났고, 자연환기 방식의 톱밥 돈사 작업장이 가장 낮은 발생량을 보이는 것으로 분석되었으나($p < 0.05$), 다른 유형의 돈사 작업장 간에는 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석되었다($p > 0.05$). 현장 조사 결과 분뇨 처리 방식 측면에서는 슬랫 돈사 작업장, 환기 방식 측면에서는 강제환기 방식의 돈사 작업장이 다른 유형의 돈사 작업장에 비해 암모니아와 황화수소의 내부 농도 및 발생량이 높은 것으로 분석되었다. 암모니아와 황화수소의 노출로 인한 돈사 작업자들의 건강 예방을 위해 보호구의 필수 착용과 이들을 대상으로 한 지속적인 산업 안전 지침 및 교육을 확대해야 할 것이다.

REFERENCES

- 김기연, 김치년. 겨울철 밀폐형 돈사작업장에서 발생하는 실내공기 오염물질의 변동. 한국산업위생 학회지 2003; 13(3):191-197.
- 농림부. 2003. 가축사육통계.
- Aarnink AJA, van der Berg AJ, Keen A, Hoeksman P, Verstegen MWA. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behavior of growing pigs. J Agric Eng Res 1996; 64:299-310.
- Avery GL, Merva GE, Gerrish JB. Hydrogen sulfide production in swine confinement units. Trans ASAE 1975; 18:149-151.
- Bicudo JR, Schmidt DR, Gay SW, Gates RS, Jacobson LD, Hoff SJ. Air quality and emissions from livestock and poultry production waste management systems. National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers, North Carolina State University, Raleigh, N.C. 2002.
- Bruce JM. Ventilation and temperature control criteria for pigs. In Environmental Aspects of Housing for Animal Production. Butterworths, London, pp. 197-216. 1981.
- Buijsman, E. and Erisman, J. W. 1988. Wet deposition of ammonium in Europe. J Atmos Chem 1988; 6:265-280.
- 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. Ann Occup Hyg 2001. 45(6):457-465.
- Coleman RN, Feddes JJR, West BS. What is odour and the potential for its control? In Proceedings Western Branch Meeting. Canadian Society of Animal Production,

- Chilliwick(Abstract). 1991.
- 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(7):271-279.
- Donham KJ, Pependorf WJ. Ambient levels of selected gases inside swine confinement buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1985; 46(11):658-661.
- 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.
- Gay SW, Schmidt DR, Clanton CJ, Janni KA, Jacobson LD, Weisberg S. Odor, total reduced sulfur, and ammonia emissions from animal housing facilities and manure storage units in Minnesota. *Appl Eng Agric* 2003; 19(3):347-360.
- Groenestein CM. Animal waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: Field studies. In *Proceedings of International Livestock Environment Symposium IV*, Warwick, England, 6-9 July. ASAE. p. 1169-1175. 1993.
- Harssema H, van Eerden WJ, Klarenbeek JV. The relation between intensity of husbandry farming and damage of vegetation. IMAG Report 32, Wageningen, The Netherlands. 1981.
- Hartung J, Phillips VR. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. *J Agric Eng Res* 1994; 57:173-189.
- Heber AJ, Duggirala RK, Ni JQ, Spence ML, Haymore BL, Adamchuck VI, Bundy DS, Sutton AL, Kelly DT, Keener KM. Manure treatment to reduce gas emissions from large swine houses. In *Proceedings on International Symposium on Ammonia and Odour control from Animal Production Facilities*, 2, eds. Voermans JAM, Monteny G. p. 449-457. The Netherlands: Dutch Society of Agricultural Engineering(NVTL). 1997.
- Koerkamp, PWG, Metz JHM, Uenk GH, Phillips VR, Holden MR, Sneath RW, Short JL, White RP, Hartung J, Seedorf J, Schroder M, Linkert KH, Pederson S, Takai H, Johnsen JO, Wathes CM. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Eng Res* 1998; 70:79-95.
- Louhelainen K, Kangas J, Veijanen A, Viilos P. Effect of In Situ Composting on Reducing Offensive Odors and Volatile Organic Compounds in Swineries. *Am Ind Hyg Assoc J* 2001; 62(2):159-167.
- Morrison WD, Pirie PD, Perkins S, Braithwaite LA, Smith JH, Waterfall D, Doucett CM. Gases and respirable dust in confinement buildings and the response of animals to such airborne contaminants. In *Proceedings of International Livestock Environment Symposium IV*,

- Warwick, England, 6-9 July. ASAE. p. 735-746. 1993.
- Muck RE, Steenhuis TS. Nitrogen losses from manure storages. *Agric. Wastes* 1982; 4:41-54.
- Ni JQ, Heber AJ, Diehl CA, Lim TT, Duggirala RK, Haymore BL. Characteristics of hydrogen sulphide concentrations in mechanically ventilated swine buildings. *Can Biosys Eng* 2002; 44:611-619.
- Ni JQ, Heber AJ, Diehl CA, Lim TT. Ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide release from pig manure in under-floor deep pits. *J Agric Eng Res* 2000; 77(1):53-66.
- NIOSH. Sampling and characterization of bioaerosols. In *Manual of Analytical Method*. Paul AJ. and Schafer MP. (eds). Cincinnati, Ohio, USA. 1998.
- Noblet J, Fortune H, Dubois S, Henry V. Nouvelles bases d'estimation des teneur en energie digestible metabolisable et nette des aliments pour le porc. INRA, Paris, pp. 1-106. 1989.
- Nordstrom GA, McQuitty JB. *Manure Gases in the Animal Environment*. Department of Agricultural and Engineering, University of Alberta. 1976.
- Pedersen S. Dust and gases. In "Climatization of Animal Houses: 2nd Report of CIGR Section II Working Group" eds. Christiaens JPA, Sallvik K. 2nd revised ed. Gent, Belgium: State University of Gent, p. 111-147. 1992.
- SAS Institute Inc. SAS user's guide. SAS Inst., Inc., Gary, NC. 1999.
- Stowell RR, Foster S. Ammonia emissions from a High-Rise swine finishing facility. ASAE Paper No. 00-4080. St. Joseph, Mich. ASAE. 2000.
- Swierstra D, Smits MCJ, Kroodsma W. Ammonia emission from cubicle houses for cattle with solid floors. *J Agric Eng Res* 1995; 62:127-132.
- van Breemen N, Burrough PA, Velthorst EJ, van Dobben HF, de Wit T, Ridder TB, Reijnders HFR. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy through fall. *Nature* 1982; 299:548-550.
- Verstegen MWA, Vanderhel W, Jongebreur AA, Enneman G. The influence of ammonia and humidity on activity and energy balance data in groups of pigs. *Zeitschrift fur Tierphysiologie, Tierernahrung und Futtermittelkunde* 1976 37:225-263.
- Wathes CM, Jones CDR, Webster AJF. Ventilation, air hygiene and animal health. *Vet Rec Dec.* 1998; p. 554-559.
- Zhu T, Pattey E, Deesjardins RL. Relaxed eddy-accumulation technique for measuring ammonia volatilization. *Environ Sci Technol* 2000; 34:199-203.