

겨울철 밀폐형 돈사작업장에서 발생하는 실내공기 오염물질의 변동

김 기 연 · 김 치 년^{1)†}

서울대학교 농생명공학부 · 연세대학교 산업보건연구소¹⁾

Fluctuation of indoor air pollutants emitted from enclosed pig building in winter

Chi-Nyon Kim[†]

Institute for Occupational Health, Yonsei University College of Medicine

Optimal management of indoor air quality in enclosed swine house, especially in winter, is recognized to be indispensable for preventing infection of the respiratory disease to workers as well as attaining the ultimate rearing. In order to reach it, therefore, research which elucidates the correlation of aerial contaminants and climate factors in enclosed swine house in terms of generation dynamics should be preceded. It was observed that indoor air pollution in enclosed swine house was highest at PM 2:00~5:00, followed by PM 8:00~11:00 and AM 8:00~11:00. It was assumed that this was attributed to increased swine activities in the afternoon. In general concentration of total dust and total airborne bacteria in enclosed swine house was investigated to have a significant correlation with temperature and relative humidity ($p < 0.05$). There was a significant correlation between total dust and total airborne

bacteria, between total dust and ammonia, and between total dust and odor at 95% confidence level. In conclusion temperature and total dust concentration were assessed to have a generally significant correlation with all the variables except for hydrogen sulfide. This experimental results could be explained by the fact that drying of swine manure due to increase of internal temperature and resuspension of feed deposited to floor of swine house by swine activity resulted in high generation of dust which adsorbed and carried the airborne bacteria and odor compounds in enclosed swine house. It was proved that an adsorptive capacity of dust for odorous compound was higher for ammonia than hydrogen sulfide.

Key Words: Total dust, Total airborne bacteria, Odor, Ammonia, Hydrogen sulfide

I. 서 론

양돈 사육형태가 집약적이고 대규모화됨에 따라 사양관리 및 작업환경제어가 용이한 밀폐형 돈사의 보급이 보편화되었다. 한정된 밀폐 공간 내에서 많은 수의

돼지를 사육하여 사료와 분뇨가 오랜 기간 동안 돈사 내부에 집적되어 작업자의 건강에 해로운 미세입자와 가스가 발생하게 된다(Clark et al., 1983; Aarnink et al., 1999). 돈사내 공기중 부유 미세입자는 크게 분진과 미생물로 분류할 수 있다(Car-

penter et al., 1986; Henschler, 1990). 부유 미생물은 직경 $5\mu\text{m}$ 이하의 미세분진에 흡착된 후 작업자와 돼지의 폐포에 도달하여 폐렴, 천식, 기관지염, 비염 등과 같은 호흡기계 질환을 유발하게 된다(Donham et al., 1986; Crook et al., 1991; Olson & Bark, 1996). 돈사 작업자들을 대상으로 실시한 연구에서도 호흡기 관련 증상 및 질환 발생이 보고되었다(Iversen et al.,

접수일 : 2003년 10월 24일, 채택일 : 2003년 12월 3일

† 교신저자 : 김치년(서울특별시 서대문구 신촌동 134번지, 연세대학교 산업보건연구소

Tel : 02-361-5375, E-mail : cnkim@yumc.yonsei.ac.kr)

1988; Donham et al., 1989; Zejda et al., 1993). 최근 우리나라에서도 산업안전보건법의 개정으로 법적용이 5인 미만 사업장에도 확대되었고 작업환경측정이 옥내외 구분 없이 실시되고 있어 축산업 근로자들의 건강보호에 관심을 가지게 되었다(노동부, 2002).

밀폐형 돈사의 유해가스는 피트(pit)내 분뇨의 혐기적 분해, 돼지의 호흡 그리고 부적절한 환기시스템 작동으로 발생된다(Chang et al., 2001). 돈사에서 발생하는 주요 가스 성분 중 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)의 농도는 작업자의 건강에 큰 영향은 주지 않으나(Verstegen et al., 1976; Noblet et al., 1989), 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)는 건강상 유해물질로 작용할 뿐만 아니라 악취를 유발하여 심미적 불쾌감도 일으킨다(Nordstrom & McQuitty, 1976; Coleman et al., 1991). 암모니아 노출에 따른 신체적 증상을 살펴보면 5~50ppm에서 냄새를 감지하고, 100~500ppm에서는 눈의 염증, 2,000~3,000ppm에서는 재채기 및 침 흘림, 그리고 10,000ppm 이상에 노출되면 즉시 사망하게 된다(Bruce, 1981). 황화수소는 1시간 동안 50~100ppm으로 노출되면 눈의 염증 및 호흡기에 이상이 나타나고 8~48시간 동안 150ppm에 노출되면 사망할 수도 있고, 700~2,000ppm에서는 즉시 사망하게 된다(Bruce, 1981). 황화수소의 경우 극미량이지만 폐기물 매립장 지역의 일반 사무실 내에서도 검출되는 경우도 있다(노영만 등, 2003).

밀폐형 돈사에서 발생하는 분진, 부유미생물, 암모니아, 황화수소, 악취를 적절히 제어하는 것은 작업자의 스트레스 및 건강장해를 예방할 수 있는 효과적인 관리 방안이다. 특히 돈사내에서 발생하는 악취는 작업자뿐만 아니라 지역주민에게도 심각한 문제로 대두되고 있어 이에 대한 관리방안이 시급히 요구되는 실정이다. 돈사내 악취제어를 위한 생물학적 방법들을 현장 실험을 통해 효율성을 서로 비교한 연구도(김기연 등, 2003) 있었지만 밀폐형 돈사 내부의 환경을 적절히 관리하기 위해서는 우선적으로 물리적 변수

Table 1. The composition material and specifications of the enclosed growing/finishing swine house

Location	Composition
Roof material	Side steel plate 0.8mm + Urethane 100mm
Outside wall	Side steel plate 0.8mm + Styrofoam 100mm
Inside wall(upper)	Side steel plate 0.8mm + Styrofoam 50mm
Inside wall(lower)	Concrete 200mm
Ceiling	Side steel plate 0.8mm + Styrofoam 50mm
Characteristics	Specification
Pit depth(cm)	45 ~ 60
Pit capacity(m^3)	80.4
Floor material	Concrete slat
Fan type	Sirocco fan
R value($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)	
- Roof/Wall	19.8/12.8

(온도, 습도)와 실내공기 오염의 상호 관계를 규명하는 기초 연구가 필요하다. 그러나 밀폐형 돈사 내부 환경에 대한 연구는 주로 기계식 환기시스템의 운용을 통한 온도 및 습도를 적정수준으로 제어하는 관점에서 실시되었거나 밀폐형 돈사에서 발생하는 공기중 유해물질 농도가 어느 정도인가를 파악하는 수준이었다(Bundy & Hazen, 1975; Curtis et al., 1975; Elliott et al., 1976; Seedorf et al., 1998; Takai et al., 1998).

본 연구는 돈사작업장의 환경제어에 주요 관심이 되고 있는 겨울철 밀폐형 돈사를 대상으로 물리적 변수와 실내공기 오염도를 일정기간 지속적으로 관찰하여 발생학적 역학 관계 및 상관성을 평가하고자 한다.

II. 실험대상 및 방법

1. 실험대상

밀폐형 돈사를 대상으로 동절기인 2003년 1월에서 2월까지 4일 간격으로 총 15일 동안 실험하였다. 본 연구에 이용된 밀폐형 육성·비육돈사의 제원은 20m(W)×12m(L)로 중앙 복도를 중심으로 좌우에 5.4m(W)×2m(L)×1m(H)의 돈방이 각 10개씩 총 20개가 설치되었다. 각 돈방에는 평균체중 45kg인 삼원교잡종(Landrace×Yorkshire×Duroc) 육성돈 10두씩 총 200두를

완전임의 배치법으로 입식하였다. 자동 급이기를 이용하여 사료(S사)를 공급하였고 음용수는 니플(nipple)을 설치하여 자유롭게 섭취토록 하였다. 분뇨는 슬러리 방식으로 처리하였고 실험기간 동안 각 돈방에 보온등(620W)을 하나씩 설치하여 돈사내의 온도를 적정하게 유지하였다. 환기방식은 돈사측벽 입기구를 통해 들어온 외부공기가 배플(baffle)을 통해 내부로 유입되고 반대편 측벽에 설치된 5개의 팬(0.6m×0.6m)이 덕트로 연결되어 내부 공기가 외부로 배출되는 형태이다. 실험기간 동안 환기율은 돈사내부 환경 변수와 물리적 변수에 미치는 기계적 환기시스템의 영향을 배제하기 위하여 MWPS(1988)에서 제시한 사육단계별 환기율의 적정범위인 8,360 m^3/h 로 고정하였다. 실험대상 돈사에 대한 그 밖의 제원사항은 Table 1과 같다.

2. 실내공기오염 측정

암모니아, 황화수소, 총 분진, 총 부유세균수의 측정 시료는 돈사의 복도 중앙과 양쪽 두 곳을 5m 간격으로 하여 작업자의 호흡기 위치에 상응하는 150cm 높이에서 채취하였다. 온도, 습도 그리고 악취 측정은 동일한 지점에서 직독식으로 실시하였다. 악취는 반도체를 이용한 냄새 센서로 측정하였으며, 센서의 지시값은 농도로 표현되는 것이 아니고 암모니아와 황화수소로 가정하여 상대적으로 강

Table 2. Specifications of the measured indoor air pollutants

Environmental parameters	instruments	Sampling time	Method
Temperature	6242, Kanomax		
Relative humidity	SK-110TRH, Sato		
Odor	Odor sensor(XP-329, Cosmos)		
Ammonia(NH ₃)		3 hours	NIOSH No. 6016
Hydrogen sulfide(H ₂ S)		3 hours	NIOSH No. 6013
Total dust		3 hours	Gravimetry
Total airborne bacteria		20 minute	Thorne et al.(1992)

도를 평가할 수 있는 방법이다(양성봉 등, 1997). 측정시간은 오전(AM 8:00~11:00), 오후(PM 2:00~5:00), 저녁(PM 8:00~11:00)으로 구분하였다. 실험 시간대의 기후조건을 같게 하기 위하여 공기시료 채취 한 시간 전에 사료를 공급하였다. 분석항목에 대한 그 외 자세한 사항은 Table 2와 같다. 본 실험에서 얻어진 결과는 SAS (1996) package program을 이용하여 각 분석치 간의 상관관계 및 유의성을 검정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 시간대에 따른 실내공기 오염의 변화

실험기간(2003년 1월~2월) 동안 시간대에 따른 밀폐형 돈사내 실내공기 오염물질들의 평균농도 및 농도변화 추세를 Table 3과 Figure 1과 같다.

총 분진은 오전(AM 8:00~11:00)에 1.04(±0.39)mg/m³으로, 오후(PM 2:00~5:00)는 2.53(±1.02)mg/m³, 저녁(PM 8:00~11:00)에는 1.83(±0.64)mg/m³으로 측정되었다. 총 부유세균수는 오전이 10^{4.58}(±10^{0.17})cfu/m³,

오후가 10^{5.65}(±10^{0.70})cfu/m³, 저녁이 10^{5.02}(±10^{0.38})cfu/m³으로 측정되었다. 암모니아, 황화수소, 악취는 오전에 9.14(±0.94) ppm, 22.86(±1.48)ppb, 182.84(±18.67), 오후에 12.59(±1.83)ppm, 42.20(±4.62)ppb, 244.10(±29.23), 그리고 저녁에 11.84(±0.87)ppm, 36.75(±2.83)ppb, 216.00(±20.29)로 각각 측정되었다. 모든 시간대의 암모니아와 황화수소의 작업환경측정결과는 노동부 및 ACGIH의 직업적 노출기준인 암모니아 25ppm과 황화수소 10ppm보다는 낮았다(노동부고시, 2002; ACGIH, 2003). 그러나 냄새감지 최소농도(WPCF, 1985)인 암모니아 37ppb, 황화수소 0.47ppb 보다는 높아 작업자들에게 후각신경 피로 및 심리적인 스트레스를 유발할 수 있다. 돈분뇨에서 황을 포함하고 있는 악취물질에 관한 연구에서 황화수소가 108.63ppb, 메틸머캅탄(methyl mercaptan)은 3.12ppb, 황화이메틸(dimethyl sulfide)은 0.88ppb 그리고 이황화이메틸(dimethyl disulfide)은 0.49ppb가 발생된다고 보고되어 실제로 작업자들이 느끼는 악취강도는 매우 크다(고한중 등, 2003).

측정 결과 밀폐형 돈사내 실내공기 오염도는 오후(PM 2:00~5:00) 시간대에 가

장 높았으며, 다음으로 저녁(PM 8:00~11:00), 오전(AM 8:00~11:00) 순으로 관찰되었다. 먼지의 발생은 겨울철 오후 시간대의 기온 상승으로 돼지 활동영역이 증가되어 돈사 바닥에 침전되어 있던 분뇨 및 사료 찌꺼기가 건조한 상태로 공기중에 다량 확산된 원인이다(Pederson, 1993; van't Klooster et al., 1993; Gustafsson, 1994). 돈사 바닥 및 공기 중에 분포하고 있는 미생물, 악취, 가스 성분은 분진에 쉽게 흡착되기 때문에(Straubel, 1981; Janni et al., 1984; Hartung, 1986; Hinz & Krause, 1988) 먼지농도가 높은 오후 시간대에 높게 측정된 것으로 판단된다. 또한 활동량 증가로 돼지피부에 오염되어 있던 이물질의 방출과 사료 섭취 회수의 증가로 인한 사료입자의 확산도 돈사내의 실내공기 오염 상승에 어느 정도 영향을 미친 것으로 사료된다. 일반적으로 작업행위가 오후 시간대에 이루어짐을 감안한다면 작업자의 활동에 의한 오염물질들의 발생 농도가 더 높아질 가능성이 있다.

오전 시간대에는 대부분의 돼지들이 잠을 자고 있어 활동량이 거의 없었다. 저녁 시간대 잠을 자는 돼지의 수가 오전보다는 적었으나 밤이 되면서 기온이 내려가

Table 3. Concentrations of indoor air pollutants in enclosed swine house

Indoor air pollutants	Time		
	AM 8:00~11:00	PM 2:00~5:00	PM 8:00~11:00
Total dust(mg/m ³)	1.04±0.39	2.53±1.02	1.83±0.64
Total airborne bacteria[log(cfu/m ³)]	4.58±0.17	5.65±0.70	5.02±0.38
NH ₃ (ppm)	9.14±0.94	12.59±1.83	11.84±0.87
H ₂ S(ppb)	22.86±1.48	42.20±4.62	36.75±2.83
Odor intensity	182.84±18.67	244.10±29.23	216.00±20.29

mean±S.D.

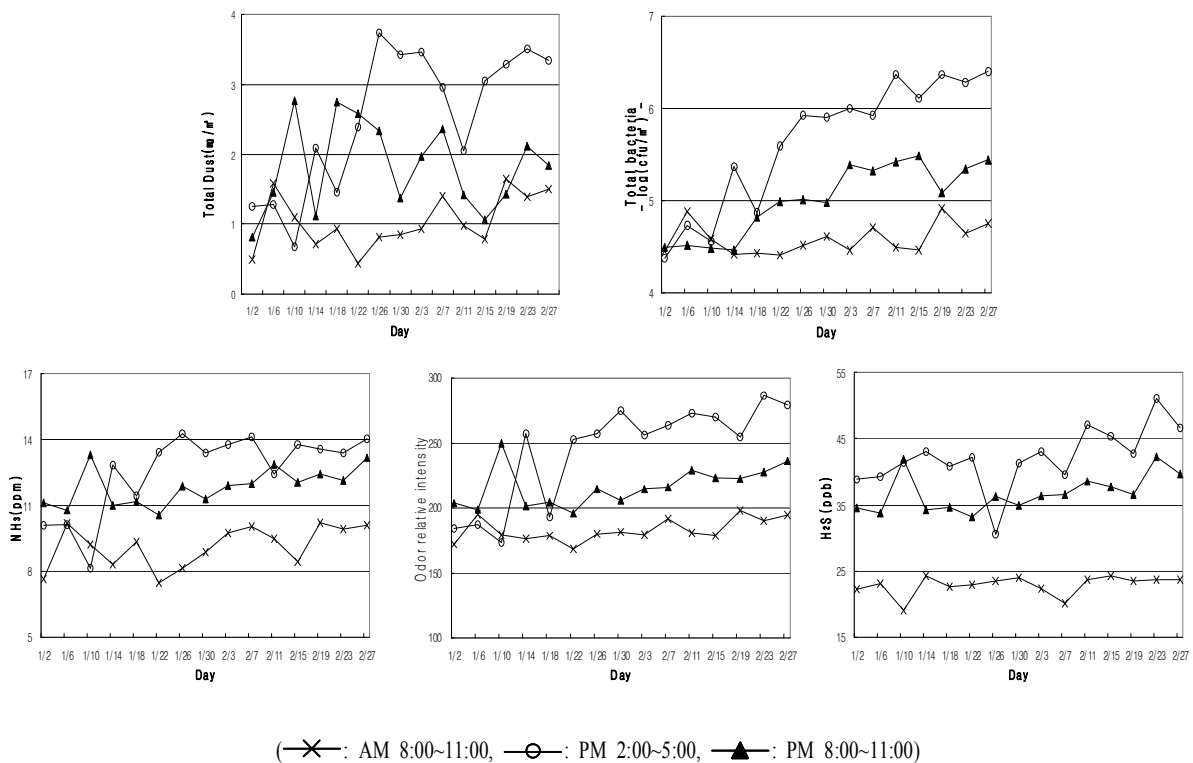


Fig. 1. Fluctuation of indoor air pollutants(total dust, total bacteria, NH_3 , H_2S , Odor) in enclosed swine house as time

돼지의 활동이 위축되었다. 이러한 이유로 실내공기 오염물질들의 농도가 하강하는 결과가 나타났다. 다른 연구에서 제시한 환경 오염물질의 발생량(Bundy & Hazen, 1975; Curtis et al., 1975; Elliott et al., 1976; Seedorf et al., 1998; Takai et al., 1998)과 본 연구결과를 비교하면 전반적으로 분석수치가 높았다. 이는 두 가지 측면에서 고찰할 수 있다. 첫째, 돈사내 환경을 동일하게 유지하기 위하여 청소작업을 실험기간 동안 하지 않았다. 따라서 시간이 지날수록 돈사바닥에 분뇨와 잔존 사료의 집적현상이 증대되어 주기적으로 청소가 이루어지는 일반 돈사 대상의 연구보다는 측정값이 상대적으로 높게 나타난 것으로 추측된다. 둘째, 돈사내 대기환경변수 변화에 환기의 영향이 미치지 않게 동일한 환기율을 모든 시간대에 적용하였다. 따라서 돈사내 적정 온도를 유지하기 위해 환기율을 달리하는 일반 돈사의 실내공기 오염물질 발생량에 비해 대체로 높았으며, 특히 오후 시간대에 이런 현상은 더욱 컸다.

2. 온도와 상대습도에 따른 실내공기 오염도의 변화

밀폐형 돈사내 물리적 환경변수인 온도와 상대습도에 따른 실내공기 오염물질(총 분진, 총 부유미생물, 암모니아, 황화수소, 악취)의 농도변화는 Figure 2와 Figure 3과 같다. 실험기간 동안 돈사내 온도는 10°C ~ 20°C 의 범위로 MWPS(1998)에서 제시한 돈사의 적정온도 15°C ~ 21°C 와 유사하게 유지되었다. 실험 결과 온도와 실내공기 오염물질 변수들은 전반적으로 양의 상관관계였다. 온도에 대한 각 변수별 회귀계수(R^2) 값은 총 분진 0.69, 총 부유미생물 0.61, 암모니아 0.57, 황화수소 0.36 그리고 악취세기는 0.62로 총 분진이 가장 높았으며, 황화수소가 가장 낮았다. 실험기간 동안의 상대습도는 65%~90%의 범위로 MWPS (1988)에서 제시한 적정 상대습도 50%~70%보다 약간 높았다. 실험 결과 상대습도와 대기환경변수들은 대체로 음의 상관관계였다. 상대습도에 대한 각 변수별 회귀계수(R^2) 값은 총 분진

-0.52, 총 부유미생물 -0.30, 암모니아 -0.44, 황화수소 -0.25, 악취세기는 -0.43으로 총 분진이 가장 높았으며, 황화수소가 가장 낮게 분석되었다.

3. 밀폐형 돈사내 대기환경변수들과 온도 및 상대습도간의 상관관계

밀폐형 돈사내 발생하는 오염물질들과 물리적 변수인 온도와 상대습도간의 상관관계는 Table 4와 같다. 95% 신뢰구간에서 서로 유의성을 나타낸 변수는 총 분진/총 부유미생물, 총 분진/암모니아, 총 분진/악취농도, 총 분진/상대습도, 온도/총 부유미생물, 온도/암모니아, 온도/악취농도, 악취농도/암모니아였다($p < 0.05$). 99% 신뢰구간에서 유의성을 나타낸 변수는 온도와 총 분진이였으며($p < 0.01$) 분진은 다른 모든 변수들과 상대적으로 유의성이 높았다.

돈사내 기후가 고온 저습한 상태가 되면 분뇨와 사료입자의 건조 현상이 가속화되어 분진형태로 쉽게 공기 중으로 방

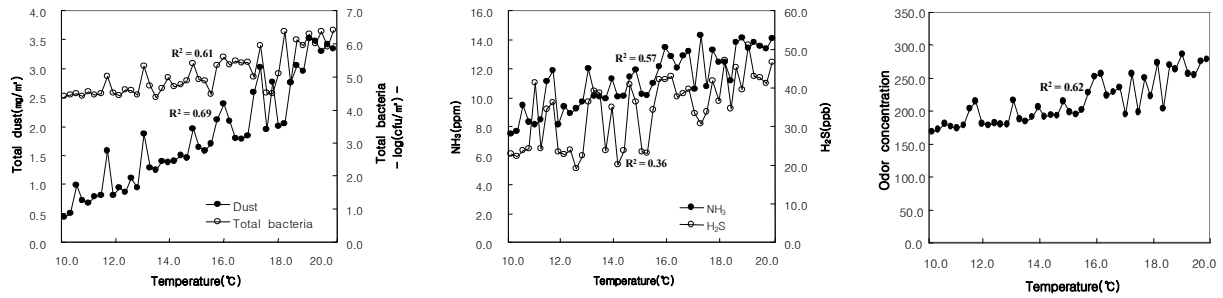


Fig. 2. Relationship of indoor air pollutants(total dust, total bacteria, NH_3 , H_2S , Odor) with temperature in enclosed swine house

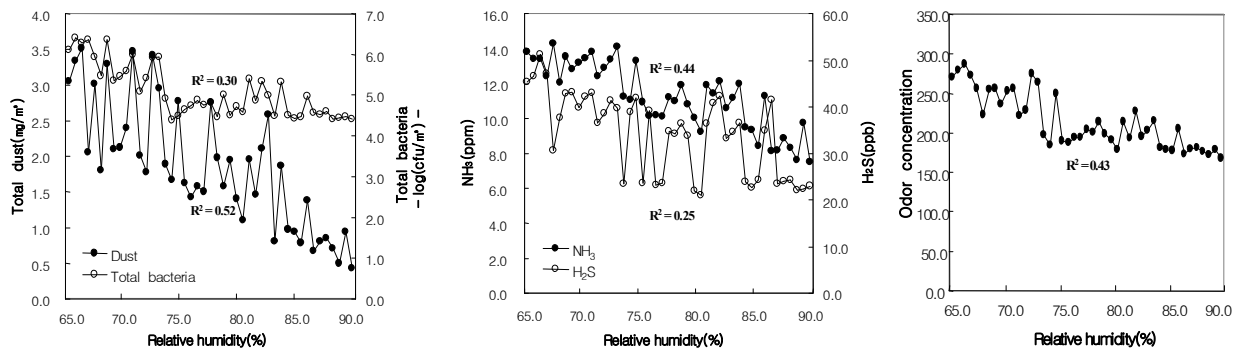


Fig. 3. Relationship of indoor air pollutants(total dust, total bacteria, NH_3 , H_2S , Odor) with relative humidity in enclosed swine house

출된다. 공기중으로 방출된 분진입자는 분뇨에서 생성된 가스상의 휘발성 악취성 분 물질과 부유미생물을 흡착한 후 확산하거나 침전된다(Straubel, 1981; Janni et al., 1984; Hartung, 1986; Hinz & Krause, 1988). 따라서 분진 발생량의 증가는 악취와 부유미생물의 확산에 영향을 줄 수 있으며 본 실험결과에서도 이러한 내용을

입증할 수 있었다. 분진에 흡착된 악취물질은 작업자의 코의 점막에 운반되어 불쾌감을 상승시키며(Barth et al., 1984; Bottcher, 2001), 부유 미생물도 $5\mu\text{m}$ 이하의 미세분진을 통해 작업자의 폐까지 도달하게 되어 폐렴이나 천식과 같은 호흡기 계통의 질병을 유발한다(Donham et al., 1986; Crook et al., 1991; Olson & Bark,

1996). 그러므로 향후 돈사내 작업환경 연구에서는 분진 발생량 저감을 통한 악취 및 호흡기계 질병을 예방할 수 있는 관리방안이 필요하다. 이러한 관리방안으로는 분진 발생이 감소할 수 있는 돈사 작업장 내 적정수준의 온도와 상대습도의 범위 선정이 필요하며 보건 위생학적 평가가 지속적으로 이루어져야 한다.

Table 4. Correlation of indoor air pollutants, temperature, and relative humidity observed in enclosed swine house

Variable	Variable						
	Total dust	Total Bacteria	NH_3	H_2S	Odor intensity	Temperature	Relative humidity
Total dust	1.00						
Total Bacteria	0.57*	1.00					
NH_3	0.64*	0.43	1.00				
H_2S	0.36	0.31	0.28	1.00			
Odor concentration	0.62*	0.42	0.55*	0.44	1.00		
Temperature	0.69**	0.61*	0.57*	0.36	0.62*	1.00	
Relative humidity	-0.52*	-0.30	-0.44	-0.25	-0.43	-0.24	1.00

*, $p < 0.05$, **, $p < 0.01$

황화수소의 경우는 다른 어떤 변수들과도 유의성이 없는 것으로 분석되었다. 황화수소는 분자 특성상 공기보다 비중이 무거워 쉽게 밑으로 가라앉으며, 그 결과 돈사내 피트(pit)에 저장되어 있는 분뇨 표면에 주로 높은 농도를 나타내는 경향이 있다(Shurson et al., 1997). 본 실험의 경우 돈사 바닥으로부터 150cm 떨어진 지점에서 시료를 포집했기 때문에 황화수소의 물리화학적 특성을 고려한다면 돈사에서 발생하는 농도를 충분히 반영하지 못한 것으로 추정된다.

IV. 결 론

겨울철 밀폐형 돈사내 실내 환경 공기 질 제어는 작업자의 호흡기계 질환 예방 및 악취를 저감하는 중요한 관리방안이다. 본 연구에서는 밀폐형 돈사 내부의 작업환경을 적절히 관리하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 물리적 변수인 온도 및 상대습도와 실내공기 오염물질들(분진, 부유미생물, 암모니아, 황화수소, 악취농도) 간의 발생학적 상호 상관관계를 규명하기 위하여 실시하였다. 시간대에 따른 밀폐형 대기환경변수의 농도는 오후 시간대(PM 2:00~5:00)가 가장 높았고, 다음으로 저녁(PM 8:00~11:00), 오전(AM 8:00~11:00) 순으로 관찰되었다.

돈사내 발생된 실내공기 오염물질들은 온도에 대해 양의 상관관계가 있었으며, 상대습도에 대해서는 음의 상관관계로 나타났다. 95% 신뢰구간에서 서로 유의성을 나타낸 변수들은 총 분진/총 부유미생물, 총 분진/암모니아, 총 분진/악취, 총 분진/상대습도, 온도/총 부유미생물, 온도/암모니아, 온도/악취, 악취/암모니아로 조사되었다($p < 0.05$). 99% 신뢰구간에서는 온도와 총 분진의 유의성이 높았다($p < 0.01$). 분석결과 분진과 온도는 황화수소를 제외한 모든 변수들과 상대적으로 유의성이 높았다. 또한 황화수소 보다는 암모니아가 분진에 대한 흡착성이 상대적으로 큰 것으로 평가되었다.

REFERENCES

- 고한중, 김기연, 이용기, 김치년. 농경지에 살포된 돈분뇨에서 발생된 악취 평가. 2003년도 냄새환경학회 추계학술대회 논문집; 2003. p. 52-53
- 김기연, 고한중, 옥행지, 이용기, 김치년. 밀폐형 돈사에서 발생하는 악취 제어 방법의 현장 평가. 2003년도 냄새환경학회 추계학술대회 논문집; 2003. p. 86-88
- 노동부. 산업안전보건법. 노동부 법률 제 6847호, 2002
- 노동부. 화학물질 및 물리적 인자의 노출 기준. 노동부 고시 제 2002-8호, 2002
- 노영만, 김기우, 김치년, 김현수, 임영옥. GC-PFPD를 이용한 매립지에서 방출되는 악취물질의 분석. 2003년도 냄새환경학회 춘계학술대회 논문집; 2003. p. 118-120
- 양성봉, 정연만, 서홍원, 김현정. 악취의 관능측정. 도서출판 북; 1997. p. 40
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. 2003
- Aarnink AJA, Roelofs PFMM, Ellen H, Gunnink H. Dust sources in animal houses. Horsens, Denmark.: Department of Agricultural Engineering, Danish Institute of Agricultural Sciences; 1999. p. 34-40.
- Barth CL, Elliot LF, Melvin SW. Using odor control technology to support animal agriculture. Transactions of the ASAE 1984;27:859-864
- Bottcher RW. An environmental nuisance odor concentrated and transported by dust. Chem Senses 2001;23:327-331
- Bruce JM. Ventilation and temperature control criteria for pigs. In: Environmental Aspects of Housing for Animal Production. Butterworths, London; 1981. p. 197-216.
- Bundy DS, Hazen TE. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. Transactions of the ASAE 1975;18(1):137-144
- Carpenter GA, Cooper AW, Wheeler GE. The effect of air filtration on air hygiene and pig performance in early-weaner accommodation. Animal production 1986;43:505-515
- 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(6):457-465
- Clark S, Rylander R, Larsson L. Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust in poultry and swine confinement buildings. Am Ind Hyg Assoc J 1983;44:537-541
- 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. Chilliwack (Abstract); 1991.
- Crook B, Robertson JF, Travers GS, 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
- Curtis SE, 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(5):1502-1511
- Donham K, Haglund P, Peterson Y, Rylander R, Belin L. Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement buildings. Br J Ind Med 1989;46:31-37
- Donham K, Scallion LJ, Popenorf W. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. Am Ind

- Hyg Assoc J 1986;47:404-410
- Elliot LF, McCalla TM, Deshazer JA. Bacteria in the air of housed swine units. Appl Environ Micro 1976;32 (2):270-273
- Gustafsson G. Efficiency of different dust reducing methods in pig houses. Proceedings of the 12th CIGR-Conference, 5-8 September, 1994. Milano., CIGR, Merelbeke, Belgium; 1994. p. 551-558.
- Hartung J. Dust in livestock buildings as a carrier of odours. In: Nielsen VC, Voorburg JH, L'Hermite P. Odour Prevention and control of organic sludge and livestock farmings. Elsevier, London; 1986. p. 321-332.
- Henschler D. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitstoffsoleranzwerte. Mitteilung der Senatskommission zur Prufung Gesundheitsschadlicher Arbeitsstoffe; 26. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany. 1990.
- Hinz T, Krause KH. Emission of respiratory biological-mixed-aerosols from animal houses, In: Environmental aspects of respiratory disease in intensive pig and poultry houses, including the implications for human health, pp. 81-89. Proceedings: EEC-Meeting Aberdeen; 1988.
- Iversen M, Dahl R, Korsgaard J, Hallas T, Juel JE. Respiratory symptoms in Danish farmers: an epidemiological study of risk factors. Thorax 1988;43: 872-877
- Janni KA, Redig PT, Newman J, Mulhausen J. Respirable aerosol concentrations in turkey grower buildings. ASAE paper; 1984. No 84-4522.
- MWPS. Swine housing and equipment handbook, MWPS-8. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, IA 50011; 1988.
- National Institute for Occupational Safety & Health(NIOSH). NIOSH Manual of analytical methods. 4th ed, Cincinnati, Ohio: Method No, 6013, NIOSH; 1994
- National Institute for Occupational Safety & Health(NIOSH). NIOSH Manual of analytical methods. 4th ed, Cincinnati, Ohio: Method No, 6016, NIOSH; 1996
- 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; 1989. p. 1-106.
- Nordstrom GA, McQuitty JB. Manure Gases in the Animal Environment. Department of Agricultural and Engineering, University of Alberta; 1976.
- Olson DK, Bark SM. Health hazards affecting the animal confinement farm worker. Am Assoc Occup Health Nur J 1996; 44:198-204
- Pedersen S. Time-based variation in airborne dust in respect to animal activity. Proceedings on Livestock Environment IV, ASAE, St. Joseph, MI; .1993. p. 718-726.
- Seedorf J, Hartung J, Schroder M, Linkert KH, Phillips VR et al. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Norther Europe. J Agricultural Engineering Research 1998;70: 97-109
- Shurson J, Whitney M, Nicolai R. Nutritional manipulation of swine diets to reduce hydrogen sulfide emissions. Extension service, Univ. of Minnesota; 1997.
- Straubel H. Elektro-optische Messung von Aerosolen. Technisches Messen 1981; 48:199-210
- Takai H, Pederson S, Johnsen JO, Metz JHM, Koerkamp PWG et al. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Norther Europe. J Agricultural Engineering Research 1998;70:59-77
- van't Klooster CE, Foelofs PFMM, Gijsen PAM. Positioning air inlet and air outlet to reduce dust exposure in pig buildings. Proceedings on Livestock Environment IV: St. Joseph, MI. ASAE; 1993. p. 754-761.
- Verstegen MWA, Van Der Hel 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
- WPCF. Odor control for wastewater facilities: Manual of Practice No. 22. Washington, D.C., Water Pollution Control Federation. 1985
- Zeida JE, Hurst TS, Rhodes CS, Barber EM, McDuffie HH, Dosman JA. Respiratory health of swine producers. Focus on young workers. Chest 1993; 103:702-709.