Research article

돈사에서 발생하는 악취물질과 분진과의 상관 분석

최원¹ · 김두영¹ · 김기연^{1,2*}

¹서울과학기술대학교 일반대학원 안전공학과 연구원(박사과정), ²서울과학기술대학교 안전공학과 교수

Correlation analysis between odorous compounds and dust emitted from swine house

Won Choi¹, Doo-Young Kim¹, Ki-Youn Kim^{1,2*}

¹Researcher, Graduate School of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 01811, Republic of Korea

²Professor, Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 01811, Republic of Korea

Corresponding author

Ki-Youn Kim

Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 01811, Republic of Korea

Tel : +82-2-970-6376

Fax : +82-2-970-6377

E-mail : kky5@seoultech.ac.kr

The purpose of this study is to conduct field empirical evaluation of odor substances and dust concentration, which is one of particulate substances, generated inside swine house to analyze their occurrence patterns and correlations. As a result of analyzing the correlation between major odorous substances and particulate matter in the swine house, total suspended dust and ammonia, fine dust and hydrogen sulfide, fine dust and complex odor concentration, ultrafine dust and complex odor concentration, fine dust and hydrogen sulfide showed statistically significant correlation relationship ($p < 0.05$). Since conditions such as ventilation status, number of breeding heads, operation method, and temperature and humidity were not considered in this study, additional research considering these factors is required in the future.

Key words : Dust, Ammonia, Hydrogen sulfide, Swine house, Correlation

Received : April 30, 2021

Revised : May 17, 2021

Accepted : May 18, 2021

서론

환기 상태가 불량한 집약된 밀폐 돈사 내에서 돼지를 높은 사육 밀도로 운영하게 되면 사료와 분뇨가 장기간 돈사 내부에 집적되어 돼지의 생산성과 작업자의 호흡기계 질환에 악영향을 미치는 가스상 물질과 입자상 물질이 발생하게 된다(Clark et al., 1983; Aarnink et al., 1999). 돈사에서 발생하는 공기 중 입자는 분진과 부유 미생물로 구분할 수 있고(Carpenter et al., 1986), 부유 미생물에 포함되는 부유 바이러스, 세균, 진균은 입경 10 µm 이하의 미세 분진에 흡착된 후 돼지와 작업자의 폐포에 침착되어 천식, 기관지염, 비염 등과 같은 호흡기계 질환을 유발하게 된다(Donham et al., 1986; Crook et al., 1991; Olson and Bark,

1996). 양돈업 종사자들을 대상으로 수행된 국외 역학 연구 조사에서도 이들의 호흡기 관련 증상 및 질환 유병률이 타 업종에 비해 상대적으로 높은 수준임이 이미 보고된 바 있다(Iversen et al., 1988; Donham et al., 1989; Zejda et al., 1993).

돈사 내 가스상 오염물질은 피트 내 분뇨의 혐기적 분해, 돼지의 호흡 그리고 부적절한 환기율 적용에 의해 배출된다(Chang et al., 2001). 돈사 유래 주요 가스상 오염물질 중 이산화탄소와 메탄은 고농도에 노출되지 않은 이상 양돈업 종사자의 유해한 영향을 유발하지 않는다(Noblet et al., 1989). 하지만 암모니아와 황화수소는 돼지와 작업자에게 보건학상 유해물질로 작용할 뿐만 아니라, 양돈 악취를 형성하는 주요 원인물질이기도 하다(Coleman et al., 1991).

돈사 내부에서 발생하는 공기오염물질들을 적정 수준으로 관리하는 것은 돼지의 생산성 증대와 함께 작업자의 호흡기계 질환을 사전에 예방할 수 있는 효율적 관리 방안이다. 그러나 돈사 실내 환경과 관련한 선행 연구들은 돼지 생산성 측면에만 초점을 두어 대부분 환기시스템 운용에 따른 적정 온/습도 제어 관점에서 수행되거나, 돈사 내 공기오염물질의 노출 수준을 단순 측정 평가하는 데 그치고 있다 (Seedorf et al., 1998; Takai et al., 1998). 따라서 본 연구는 상용 돈사를 대상으로 내부에서 발생하는 악취물질들과 입자상 물질 중 하나인 분진 농도를 현장 실증 평가하여 이들의 발생 양상 및 상관 관계를 분석하는 데 있다.

재료 및 방법

1. 연구 대상

밀폐형 돈사 작업장 1개소를 대상으로 2019년 3월에서 6월까지 총 50회 측정하였다. 본 연구에 이용된 밀폐형 육성·비육돈사의 제원은 20 m (W) × 12 m (L)로 중앙 복도를 중심으로 좌우에 5.4 m (W) × 2 m (L) × 1 m (H)의 돈방이 각 10개씩 총 20개가 설치되었다. 각 돈방에는 평균체중 45 kg인 삼원교잡종 (Landrace × Yorkshire × Duroc) 육성돈 10두씩 총 200두를 완전임의 배치법으로 입식하였다. 자동 급이기를 이용하여 사료 (S사)를 공급하였고 음용수는 니플을 설치하여 자유롭게 섭취토록 하였다. 분뇨는 슬러리 방식으로 처리하였고 실험기간 동안 각 돈방에 보온등 (620 W)을 하나씩 설치하여 돈사 내의 온도를 적정하게 유지하였다. 환기방식은 돈사측벽 입기구를 통해 들어온 외부공기가 배플을 통해 내부로 유입되고 반대편 측벽에 설치된 5개의 팬 (0.6 m × 0.6 m)이 덕트로 연결되어 내부 공기가 외부로 배출되는 형태이다. 관행적으로 운영되는 돈사 내부에서 일상적으로 발생하는 악취와 분진

에 대한 관계를 파악하는 연구이기 때문에 환기량, 온습도 등 실내 환경 조건은 인위적으로 조절하지 않았다.

2. 공기오염물질 측정

측정 대상 악취 물질로는 악취농도, 암모니아, 황화수소를 선정하였고 입자상 물질은 총부유분진 (TSP), 미세먼지 (PM10), 초미세먼지 (PM2.5)를 선정하였다. 악취농도는 환경부 악취방지법에서 공인 방법으로 제시하는 후각 관능법에 의해 측정하였고, 암모니아와 황화수소는 직독식 측정 장비 (KE201, Graywolf, Germany)에 의해 모니터링하였다. 측정 위치는 돈사 작업의 복도 중앙과 양쪽 두 곳을 5 m 간격으로 하여 작업자의 호흡기 위치에 상응하는 120 cm 높이에서 수행하였다.

3. 통계 분석

본 현장 실험을 통해 수집된 측정 결과는 SAS package program (2019)을 이용하여 각 분석치 간의 상관 및 회귀 관계의 유의성을 검정하였다. 상관 분석의 경우 pearson correlation 기법을, 회귀 분석의 경우 logistic linear regression 기법을 적용하였다.

결과 및 고찰

50회 측정한 결과로부터 TSP, PM10, PM2.5와 악취농도, 암모니아, 황화수소의 측정값이 정규분포를 보이지 않아 측정 데이터에 상용로그를 취한 값으로 통계분석을 수행하였다. 변수들 간의 상대적 영향력을 파악하기 위해 pearson 상관분석을 실시하여 두 변수 간의 상관관계를 분석하였고 유의한 상관관계를 보인 인자는 추가적으로 회귀 분석을 수행하였고, 그 결과는 Table 1과 Figure 1과 같다.

Table 1. Correlation between odorous compounds and particulate matters in pig building.

	TSP	PM10	PM2.5	Odor concentration	Ammonia	Hydrogen sulfide
TSP [†]	1	-	-	-	-	-
PM10 [‡]	0.294*	1	-	-	-	-
PM2.5 [§]	0.286*	0.991**	1	-	-	-
Odor concentration	0.167	0.376**	0.335*	1	-	-
Ammonia	-0.423**	-0.092	-0.120	0.113	1	-
Hydrogen sulfide	0.195	0.395**	0.351*	0.999**	0.100	1

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

[†]Total Suspended Particles, [‡]Fine particulate matter, [§]Ultra fine particulate matter.

Figure 1. Scatter plot between odorous compounds and particulate matters.

1. 상관분석 결과

악취농도의 경우 PM₁₀과 99% 신뢰구간 ($p < 0.01$)에서 PM_{2.5}와는 95% 신뢰구간 ($p < 0.05$)에서 유의한 상관성을 보였다. 암모니아의 경우 다른 악취물질과 다르게 입자상 물질과 음의 상관관계를 나타냈다. 특히 TSP와는 99% 신뢰구간 ($p < 0.01$)에서 유의한 음의 상관관계를 보였다. 황화수소의 경우 악취농도와 마찬가지로 PM₁₀과 99% 신뢰구간 ($p < 0.01$)에서 PM_{2.5}와는 95% 신뢰구간 ($p < 0.05$)에서 유의한 상관성을 나타냈다.

2. 회귀분석 결과

회귀분석 결과, 상관분석과 마찬가지로 악취농도와 PM₁₀ ($p < 0.01$), 악취농도와 PM_{2.5} ($p < 0.05$), 암모니아와 TSP ($p < 0.01$), 황화수소와 PM₁₀ ($p < 0.01$), 황화수소와 PM_{2.5} ($p < 0.05$)가 통계적으로 유의한 상관성을 나타냈다.

3. 종합 고찰

악취농도와 황화수소는 크기가 작은 입자상 물질인 PM₁₀ ($p < 0.01$), PM_{2.5} ($p < 0.05$)와 유의한 상관성을 나타냈다. 암모니아는 상대적으로 크기가 큰 입자상 물질인

TSP에서만 신뢰구간 99% ($p < 0.01$)에서 유의한 상관성을 나타냈다. 최근에 발표된 KEI 보고서 (Sim et al., 2020)에 따르면 암모니아가 2차 PM₁₀ 생성에 기여하는 PM₁₀의 원인 물질이고, 고농도 PM_{2.5}의 발생 원인으로 지목하고 있다.

돈사 내 온습도 조건에 따라 분뇨와 사료입자의 건조 현상이 빠르게 진행되면 분진 형태의 입자상 물질로 쉽게 공기 중으로 방출된다. 이러한 분진 입자는 분뇨에서 생성된 휘발성 악취성분 물질을 흡착한 후 확산된다고 보고되고 있으나 (Hartung, 1986), 본 연구에서는 이와 반대인 통계 분석 결과가 도출되었다. 이는 돈사 내에서 암모니아와 미세먼지의 생성 기작이 다른 패턴으로 이루어지고 있음을 시사해 주는 것으로 돈사 내부에서의 암모니아와 미세먼지의 발생 관계의 명확한 규명을 위해서는 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

반면 황화수소의 경우 여러 유형의 분진과 양의 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 황화수소는 분자 특성상 공기보다 비중이 무거워 쉽게 밑으로 가라앉으며, 그 결과 돈사 내 피트에 저장되어 있는 분뇨 표면에 주로 높은 농도를 나타내는 경향이 있다 (Shurson et al., 1997). 본 실험의 경우 돈사 바닥으로부터 120 cm 떨어진 지점에서 시료를 포집

했기 때문에 황화수소의 물리화학적 특성을 고려한다면 돈사에서 발생하는 농도를 충분히 반영하지 못한 것으로 추정된다. 또한 본 연구에서는 돈사의 환기상태, 사육두수, 운영방식 및 온습도 등의 조건은 고려되지 않았으므로 이러한 요소들을 고려한 추가 연구가 요구되는 바이다. 하지만 본 연구를 통해 돈사 내 악취와 분진의 상관성이 통계적으로 입증된 점을 고려한다면, 본 연구는 돈사 관련 악취민원을 감소시키기 위한 방안으로 효과적인 분진 제어도 검토해야 함을 시사해 주고 있다.

결론

돈사 내에서 주요 악취 물질들과 입자상 물질과의 상관관계 분석 결과, TSP와 암모니아, PM10과 황화수소, PM10과 악취농도, PM2.5와 악취농도, PM10과 황화수소가 통계적으로 유의한 상관성을 나타냈다 ($p < 0.05$). 본 연구에서는 돈사의 환기 상태, 사육두수, 운영 방식 및 온·습도 등의 조건은 고려되지 않았으므로 악취와 미세먼지와의 발생 관계를 명확히 규명하기 위해서는 이러한 요소들을 고려한 추가 연구가 요구되는 바이다.

사사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림과학기술개발위원회의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (과제번호: 319115-02-2-SB010).

인용문헌

- Aarnink, A.J.A., Roelofs, P.F.M.M., Ellen, H., Gunnink, H., 1999. Dust sources in animal houses. Horsens, Denmark: Department of Agricultural Engineering, Danish Institute of Agricultural Sciences, pp. 34-40.
- Carpenter, G.A., Cooper, A.W., Wheeler, G.E., 1986. The effect of air filtration on air hygiene and pig performance in early weaner accommodation. *Animal Production*, 43, 505-515.
- Chang, C.W., Chung, H., Huang, C.F., Su, H.J.J., 2001. Exposure assessment to airborne endotoxin, dust, ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide in open style swine houses. *Annals of Occupational Hygiene*, 45, 457-465.
- Clark, S., Rylander, R., Larsson, L., 1983. Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust in poultry and swine confinement buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 44, 537-541.
- Coleman, R.N., Feddes, J.J.R., West, B.S., 1991. What is odour and the potential for its control. In: *Proceedings Western Branch Meeting, Canadian Society of Animal Production, Chilliwack*.
- Crook, B., Robertson, J.F., Travers, G.S., Botheroyd, E.M., Lacey, J., Topping, M.D., 1991. Airborne dust, ammonia, microorganisms, and antigens in pig confinement houses and the respiratory health of exposed farm workers. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 52, 271-279.
- Donham, K., Haglund, P., Peterson, Y., Rylander, R., Belin, L., 1989. Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement buildings. *British Journal of Industrial Medicine*, 46, 31-37.
- Donham, K., Scallan, L.J., Pependorf, W., 1986. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 47, 404-410.
- Hartung, J., 1986. Dust in livestock buildings as a carrier of odours, in: Nielsen, V.C., Voorburg, J.H., L'Hermite, P. (Eds.), *Odour Prevention and control of organic sludge and livestock farmings*. Elsevier, London, pp. 321-332.
- Iversen, M., Dahl, R., Korsgaard, J., Hallas, T., Juel, J.E., 1988. Respiratory symptoms in Danish farmers: An epidemiological study of risk factors. *Thorax*, 43, 872-877.
- Noblet, J., Fortune, H., Dubois, S., Henry, V., 1989. New bases for estimating the metabolizable and net digestible energy content of feed for pigs. *INRA, Paris*, pp. 1-106.
- Olson, D.K., Bark, S.M., 1996. Health hazards affecting the animal confinement farm worker. *American Association of Occupational Health Nurse Journal*, 44, 198-204.
- Seedorf, J., Hartung, J., Schroder, M., Linkert, K.H., Phillips, V.R., 1998. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70, 97-109.
- Shurson, J., Whitney, M., Nicolai, R., 1997. Nutritional manipulation of swine diets to reduce hydrogen sulfide emissions. *Extension Service, Univ. of Minnesota*.
- Sim, C.S., Han, J.H., Choi, G.C., Gong, S.Y., 2020. Necessity to manage fine dust at the local level: Focusing on areas that emit a lot of ammonia in the agricultural and livestock sector. *KEI Environmental Forum*.
- Takai, H., Pederson, S., Johnsen, J.O., Metz, J.H.M., Koerkamp, P.W.G., 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70, 59-77.
- Zeida, J.E., Hurst, T.S., Rhodes, C.S., Barber, E.M., McDuffie, H.H., Dosman, J.A., 1993. Respiratory health of swine producers. Focus on young workers. *Chest*, 103, 702-709.