

무창 비육돈사에서 습식공기정화기의 여름철 공기정화효율 분석

오인환 · 이증현 · 이경훈 · 이정훈 · 이동섭 · 어성만 · 이미림

건국대학교 자연과학대학 생명자원환경과학부 생물산업기계공학 전공

An Air Cleaning Efficiencies of Wet Air Cleaner in the Windowless Swine Fattening Stall in Summer

Oh, I. H., Lee, J. H., Lee, K. H., Lee, J. H., Lee, D. S., Eo, S. M. and Lee, M. L.

Dept. of Biosystems Engineering, KonKuk University

Summary

The climate of stall significantly influences on animal production ability. High concentration of ammonia gas, CO₂ and lots of dust are found in modern densely raising stall system, as results, they provide a negative influence on animal and farmer health, and production ability. Therefore, it is necessary to keep clean the inside air of stall to increase the productivity. An air cleaner of wet type, consisting of a fan, a motor, rotating discs, a dust collector, a water bowl, an ozone generator etc, has been developed to clean the stall air. The work principle is that the inside air is sucked through the fan, and the rotating discs make water into fineness spray and blow into the stall. The rest water flows down to the dust collector.

In the present study, we measured the dust, ammonia gas, odor, temperature and humidity in a swine stall that were installed two wet air cleaners with 700 fattening swine with On-mode and Off-mode of wet air cleaners.

The dust measure was divided into 3 categories, TSP, PM₁₀, and PM_{2.5}. In summer, the TSP in on-mode were maximum 0.259 mg/m³ and minimum 0.128 mg/m³, and the average was 0.195 mg/m³. These are comparable to the data from Off-mode stall that maximum 0.308 mg/m³, minimum 0.139 mg/m³, and average 0.227 mg/m³. However, PM₁₀ and PM_{2.5} showed any significant differences between the tests.

The concentrations of ammonia gas in Off-mode stall were maximum 13.8 ppm and minimum 5.9 ppm, and the average was 8.47 ppm. However in On-mode stall the ammonia gas concentrations were maximum 10.5 ppm and minimum 5.5 ppm, and the average was 7.63 ppm. The concentration of ammonia gas in On-mode was 10% in average lower than off-mode stall. Odor was measured by olfactometer. In the Off-mode stall, the odor unit were maximum 420 OU/m³ and minimum 300 OU/m³, and the average was 367 OU/m³, but in the On-mode stall the odor unit were maximum 330 OU/m³ and minimum 210 OU/m³, and the average was 253 OU/m³. Odor removal efficiency was about 31% in On-mode stall.

(Key words : Wet air cleaner, Swine stall, Dust, Ammonia gas, Odor)

This study was conducted by the research fund supported by Agricultural R&D Promotion Center (ARPC).
Corresponding author : Oh, I. H., Department of Biosystems Engineering, Konkuk University, Danwoldong 322, Chungju, Chungbuk, 380-701 Republic of Korea. E-mail: ihoh@kku.ac.kr

서 론

가축사육에 있어서 생산능력에 지대한 영향을 주는 것은 축사환경이다. 오늘날의 밀집사육에서는 축사 내의 먼지, 암모니아, CO₂ 함량 등이 높게 나타나며, 그 결과로는 가축의 건강과 생산능력 뿐만 아니라 건축자재에도 유해한 영향을 줄 수 있다(오, 1991). 축사 내에서의 분뇨처리방법 또는 계절에 따른 환기의 특수성 등에 의하여 축사 내에 먼지와 암모니아가스가 기준치 이상으로 존재하는 경우가 많아 대책을 강구하여야 한다.

먼지는 사료, 돈사바닥, 분뇨가 건조되는 과정, 돼지의 피부, 털 및 돈사를 구성하는 건축재료 등에서 발생된다. 입자형태는 다양한데 그것의 원천뿐만 아니라 이후의 물리적, 화학적 변화에 의하여 특정지어진다. 먼지에는 균체, 균체독소 및 곰팡이 등 공기중의 부유물질들도 포함된다(Nannen and Buscher, 2006).

돈사 내 먼지농도는 환기방식과 밀접한 관계가 있다. 시설 내 측벽 슬롯을 통한 유입구에서 일정한 공기유속을 유지하려고 하면 유입구에서의 공기속도는 4.0~5.0 m/s가 요구되고 있으며, 무창 축사시설에 있어서 유입구의 공기속도와 축사내의 부력과 상관관계에 대한 연구가 수행된 바 있다. 그러므로 기술자들은 어떻게 하면 신선한 공기가 유입되어 효율적으로 분배되고, 그리고 기상학적으로 동물의 안락을 추구할 수 있도록 돈사내로 적절하게 분배하느냐에 대한 연구가 이루어지고 있다(송 등, 2002).

오존은 대기 중에 일정량 존재하는 산화성 기체로, 강력한 산화력을 지니고 있어 미생물 살균, 탈취, 탈색 및 유독물질 분해 능력이 뛰어나 식품 저장은 물론 반도체 산업, 식품산업에서 작업장 실내공기 정화와 하수처리 시 색도의 제거, 냄새 제거, 유기물의 안전화, 살균 등의 용도로 이용되어 왔다(Kim

et al., 2003).

Keener 등(1999)은 양돈시설에서 발생하는 악취조절을 목적으로 개발, 적용되고 있는 오존처리 장치를 현장조건에서 검정하기 위하여 터널 환기방식의 비육돈사에 적용한 결과 오존을 0, 0.10 및 0.15 ppm 수준으로 처리하고 바닥으로부터 1.8m 높이에서 암모니아와 먼지 농도를 조사하였는데, 오존 처리는 암모니아 농도를 58% 감소시켰으며, 먼지는 60% 수준까지 줄어들었음을 확인하였다.

공기정화와 음용수의 소독과 살균목적으로 오랫동안 사용되어 온 오존의 양돈 산업 적용은 주로 분뇨처리 과정의 악취조절을 위하여 이용되었으나 돈사내 공기의 질 개선과 생산성 향상을 위한 시도는 극히 적었다(Watkins, 1997).

본 논문의 연구목표는 다음과 같다. 습식 공기정화기를 통해 돈사 내 공기 중에 함유되어 있는 먼지감소 효과를 사용 전과 후에 분진측정기를 이용하여서 측정하여 제거효율을 분석하며 돈사 내에서 발생하는 악취와 암모니아 가스의 제거 효율을 분석한다.

재료 및 방법

1. 시험설계 및 측정·분석방법

본 시험은 충주시 살미면에 소재한 비육돈 700두 규모의 무창돈사에서 여름철에 시행되었다. 돈사는 부분 틈바닥으로 슬러리 시스템을 가지고 있으며 본 시험을 실행한 여름철에는 직경 138cm의 대형송풍기(1.5kW, 유로팬) 4대를 추가로 가동하고 있었다. 흡기구는 돈사 우측벽면 상단 처마 밑이며 평균 입기풍속은 0.18m/s 이었다. 배기구는 지면으로부터 160cm 높이에 직경 50cm의 원통형 배기팬(0.46kW) 7대가 좌측에 천정을 향하여 위치하고 있었으며 평균 배기풍속은 5.63m/s 이었다. 또한 측벽에도 배기팬 4대가 설치되

어 크로스 환기시스템을 하고 있었다. 입구와 출구문은 활짝 열어놓아 환기량을 높이고자 하였다. Fig. 1에 도시된 바와 같이 돈사 내부에는 습식공기정화기 2대가 설치되었으며 공기정화기의 가동유무에 따라 2006년 9월 4일부터 6일까지는 Off-mode, 2006년 9월 18일부터 20일까지는 On-mode로 나누어 실험을 수행하였다.

On-mode의 경우에는 시험시행 10일 전부터 습식공기정화기를 가동시켜 돈사 내부 조건이 최적의 상태를 유지하도록 하였다.

분진농도의 측정은 돈사 내 중앙부에 분진계(MicroDust Pro, CASELLA, England)를 설치하여 오전 6시를 시작으로 10분 간격으로 데이터를 저장하여 총 72시간 동안 입자크기별 먼지농도를 측정하였다.

본 실험에 사용된 분진계는 적외선 광선의 변화를 사용하는 광 산란 방식으로 깨끗한 공기의 조건하에서 모든 빛은 검출기에 도달하지 않게 되는데, 먼지입자가 포집장치에 들어가면 빛은 작은 각(12~20°)으로 산란되어 검출기로 들어간다. 이때 굴절률과 측정된 입자의 색변화를 감지하여 분진농도를 측정한다.

측정은 4개의 범위(0-2.5, 0-25, 0-250, 0-

2500)를 통하여 0.001-2,500mg/m³까지 측정하며 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}로 나타나게 된다. 여기서 TSP(Total Suspended Particle)는 공기 중에 떠다니는 직경 0.001 μ m에 이르는 모든 입자상물질, PM₁₀(particulate matter 10)은 입자의 직경이 10 μ m 이하인 먼지, PM_{2.5}(particulate matter 2.5)는 입자의 직경이 2.5 μ m 이하인 먼지를 말한다.

NH₃는 가스검지기(x-am7000, Drager, Germany)를 이용하여 측정하였으며 분진측정과 동일한 지점에서 이루어졌다. 자료입력은 10분 간격으로 오전 6시부터 다음날 6시까지 저장되도록 하였으며 24시간 동안의 암모니아가스 농도의 변화를 분석하였다.

악취는 돈사 내부의 정 중앙에서 진공 시료포집장치(EP. 137, ECOMA, Germany)를 이용하여 오후 3시경에 포집하였으며 공기회석 관능측정장치인 olfactometer (TO7, ECOMA, Germany)를 이용하여 그 농도를 분석하였다.

2. 습식공기정화기의 작동원리

습식공기정화기는 밀폐된 공간에서 사육하는 가축의 배설물에서 발생하는 각종 가스화 사료 등에서 발생하여 실내에 부유하는 먼지

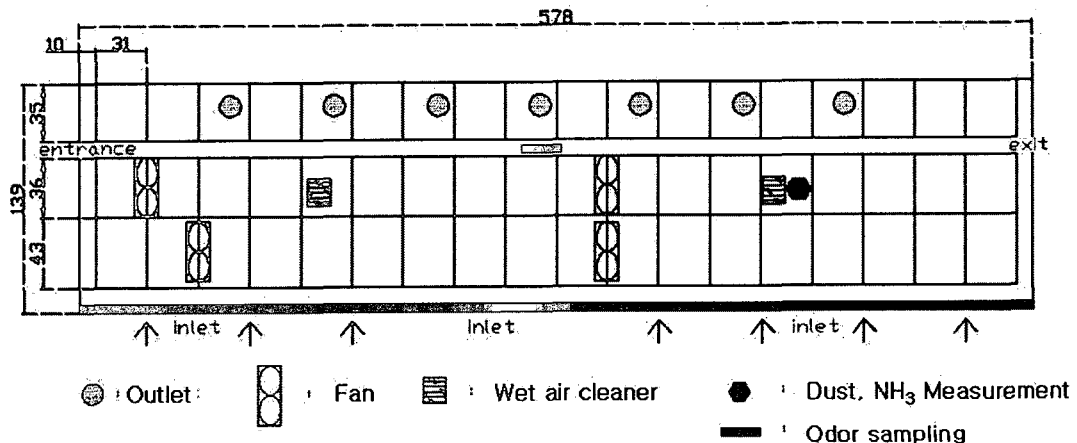


Fig. 1. Plane figure of the windowless swine fattening stall.

입자를 공기와 함께 빨아들이는 흡입장치를 가지고 있다.

흡입장치로 유입된 내부공기는 다층 원심회전체를 통하여 순환수와 함께 미세물 필터층이 형성되고 물 입자와 충돌하면서 분무상태로 축사 내에 분무되며, 순환수는 먼지 거름망을 통과하면서 먼지를 1차적으로 제거한다. 각종 세균은 오존발생장치에서 오존수를 생성하여 오존에 의해 살균되면서 함께 여과장치로 배출된다.

오존 탈취작용은 돈사에서 악취물질을 산화시켜 알데히드(-CHO), 이산화탄소(CO₂) 등으로 분해시켜 독성과 악취가 없는 물질로 바꾸어 준다. 산화작용과 다른 잡취를 덮어 버리는 마스킹 효과의 2가지로 볼 수 있는데 주요 산화작용을 이용하여 악취성분의 기(Radical)를 변화시키거나 분자구조를 파괴시킴으로써 악취가 제거된다.

오존 발생장치의 작동원리는 오존 방전관에서 유입된 상태에서 인가전압 및 주파수를 제어하여 필요한 오존(O₃)을 0.03~0.3ppm의 농도로 발생시킨다. 이때 발생된 오존은 벤

추리 인젝터에서 물과 혼합되어 살균위생수가 제조된다.

여과장치는 먼지와 물을 분리하는 거름망 구조로서 거름망을 통과한 물은 수조와 연결되어 다시 오존 발생장치로 순환되도록 하는 제어장치가 있으며, 이러한 전 과정을 통하여 정화된 공기를 반복적으로 축사에 공급하게 된다(Fig. 2).

결과 및 고찰

1. 먼지제거 효율

TSP의 평균 농도는 On-mode에서 0.195 mg/m³, Off-mode에서는 0.227 mg/m³를 나타내어 약 0.032 mg/m³가 감소되었다. 최소농도와 최대농도의 범위는 On-mode에서 0.128~0.259 mg/m³이었고, Off-mode에서는 0.139~0.308 mg/m³을 나타내어 On-mode의 경우 먼지농도의 변화가 대체적으로 안정적임을 알 수 있었다 (Table 3).

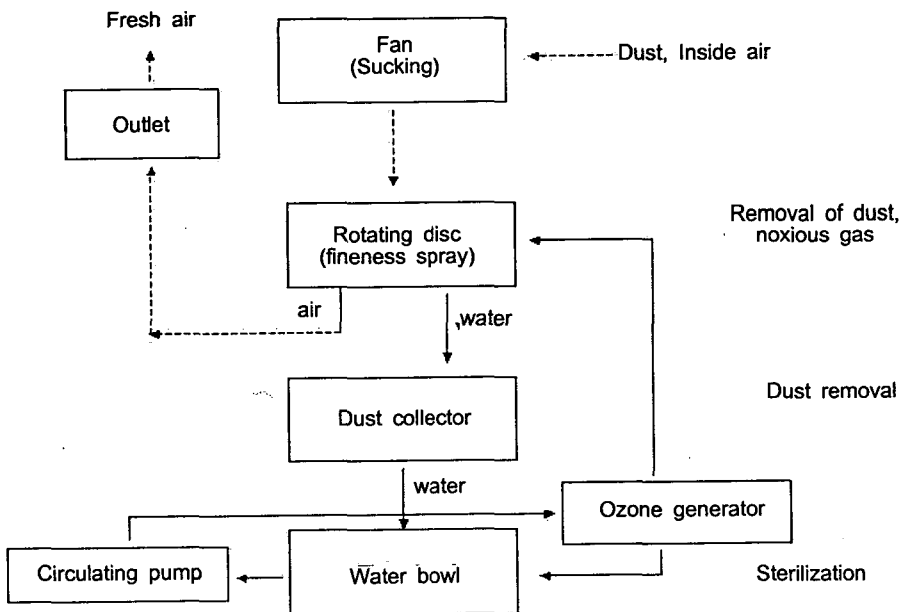


Fig. 2. The work principle of wet air cleaner.

Table 3. Dust concentration of the windowless swine fattening stall

(Unit : mg/m³)

Item	On-mode			Off-mode		
	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Max.	0.259	0.224	0.104	0.308	0.231	0.086
Min.	0.128	0.052	0.011	0.139	0.063	0.005
Avg.	0.195	0.143	0.059	0.227	0.135	0.056

돈사 내 TSP 농도변화는 Fig. 3에서 보는 바와 같다. On-mode, Off-mode에서 모두 오후 6시를 기점으로 먼지농도는 점차 증가하여 새벽시간에 가장 높은 먼지농도를 보이다가 환기량이 증가되는 오전 6시 이후 점차 감소하여 오후 4시에서 6시 사이에 최소량을 보였다. 이와 같은 결과는 최 등(2005)이 보고한 분진의 농도는 환기량과 점등에 따라 많이 변한다고 한 내용과 비슷한 경향을 보였다.

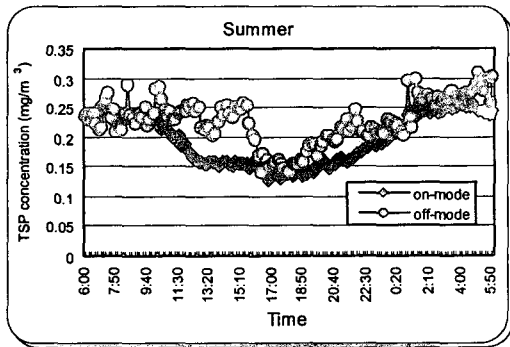


Fig. 3. Comparison of the TSP concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall.

돈사 내 PM₁₀의 농도변화는 Fig. 4와 같다 (Fig. 4). 시간대별로 TSP와 비슷한 농도변화를 나타내었으며 On-mode, Off-mode에서 모두 오후 6시를 기점으로 먼지농도는 점차 증가하여 새벽시간에 가장 높은 먼지농도를 보이다가 환기량이 증가되는 오전 6시 이후 점차 감소되는 변화를 나타내었다.

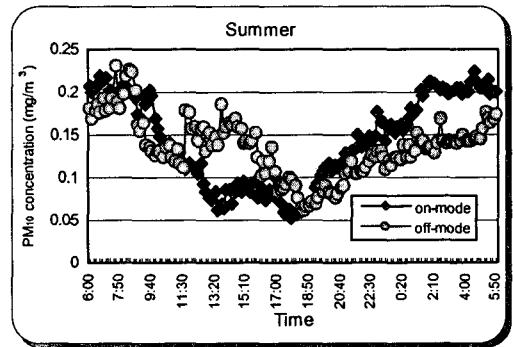


Fig. 4. Comparison of the PM₁₀ concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall.

PM₁₀의 평균농도는 On-mode에서 0.143 mg/m³, Off-mode에서는 0.135 mg/m³으로 나타났다. 최소농도와 최대농도는 On-mode에서는 각기 0.052 mg/m³, 0.224 mg/m³이었고, Off-mode에서는 0.063 mg/m³, 0.231 mg/m³의 수치를 나타내었다(Table 3).

돈사 내 PM_{2.5}의 농도변화는 Fig. 5와 같다. 앞서 TSP, PM₁₀과 비슷한 경향을 나타내어 오후 6시에 그 농도가 가장 적게 나타났다.

PM_{2.5}의 평균 농도는 On-mode에서 0.059 mg/m³, Off-mode에서 0.056 mg/m³으로 나타났다. 최소농도와 최대농도는 On-mode에서 0.011 mg/m³, 0.104 mg/m³이었고, Off-mode에서 0.005 mg/m³, 0.086 mg/m³의 수치를 나타내었다. 이 결과는 PM₁₀에서와 같이 먼지입자 크기가 작아질수록 습식공기정화기의 먼지제거 효율에서 별 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있었다.

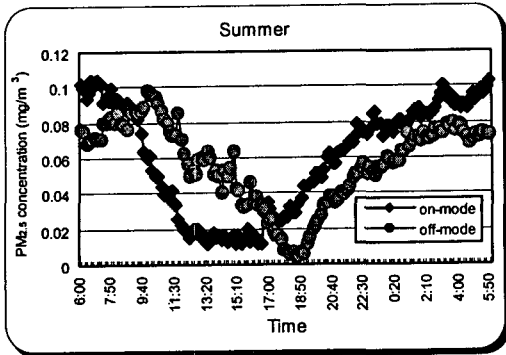


Fig. 5. Comparison of the PM_{2.5} concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall.

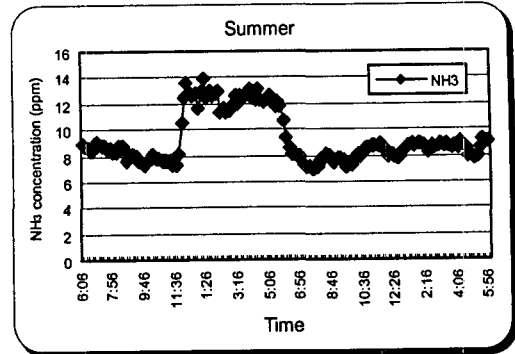


Fig. 7. NH₃ concentration change in the windowless swine fattening stall by Off-mode (2006.9.7).

2. 암모니아가스의 제거효율

Fig. 6은 Off-mode에서 측정된 암모니아가스 농도의 변화량이다. 평균 농도는 7.72ppm을 보였으며 오후 4시경 12.6ppm으로 최대농도를 나타내었다. 최소농도는 새벽 6시경으로 5.9ppm을 나타내었다.

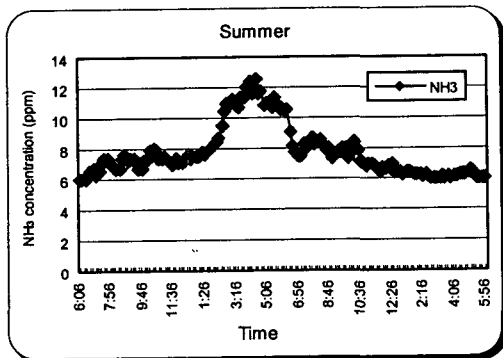


Fig. 6. NH₃ concentration change in the windowless swine fattening stall by Off-mode(2006.9.5).

Fig. 7은 Off-mode에서 측정된 암모니아가스 농도의 변화량이다. 평균 농도는 9.23 ppm을 보였으며 오후 1시경 13.8 ppm으로 최대농도를 나타내었다. 최소농도는 오전 10시경으로 7.3 ppm을 나타내었다.

Fig. 8은 On-mode에서 측정된 암모니아가스의 농도변화이다. 평균 농도는 7.30 ppm을 보였으며 오후 3시경 9.9 ppm으로 최대농도를 나타내었다. 최소농도는 새벽 1시경으로 5.5 ppm을 나타내었다.

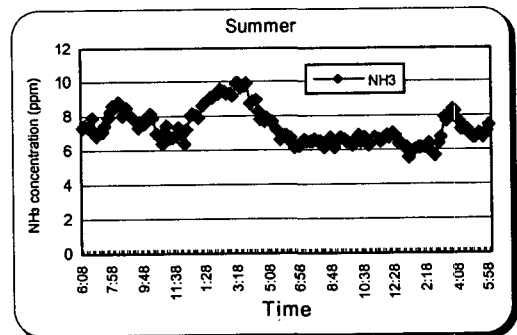


Fig. 8. NH₃ concentration change in the windowless swine fattening stall by On-mode (2006.9.18).

Fig. 9는 On-mode에서 측정된 암모니아가스의 농도변화이다. 평균 농도는 7.96 ppm을 보였으며 오후 12시경 10.5 ppm으로 최대농도를 나타내었다. 최소농도는 오후 10시경으로 6.2 ppm을 나타내었다.

돈사 내부의 암모니아가스 변화를 종합적으로 살펴보았을 때 On-mode에서는 최고농도 10.5ppm, 최소농도 5.5 ppm을 나타내었으

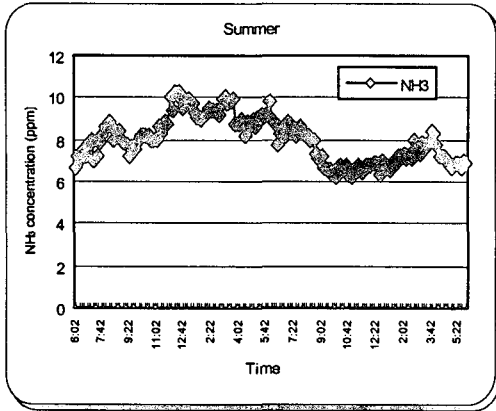


Fig. 9. NH₃ concentration change in the windowless swine fattening stall by On-mode(2006.9.20).

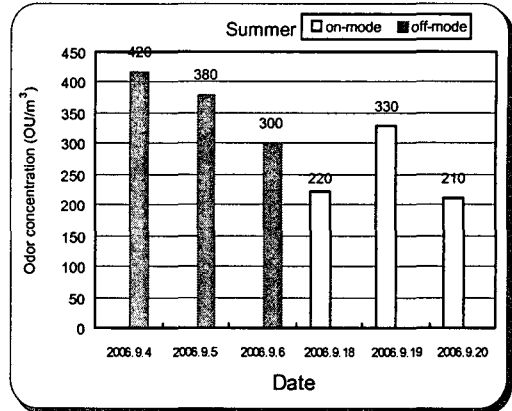


Fig. 10. Comparison of the average odor concentration between On-mode and Off-mode in the windowless swine fattening stall.

며 평균농도는 7.6 ppm으로 나타났다. Off-mode의 경우 최대농도 13.8 ppm, 최소농도 5.9 ppm을 나타내었으며 평균농도는 8.5 ppm을 나타내었다. 그리하여 공기정화기를 가동하였을 경우 암모니아가스 제거효율은 전체를 평균하였을 때 약 10%를 나타내었다.

돈사 내의 암모니아가스 농도는 습식공기정화기의 사용 전·후 모두 MWPS(1991)가 권장하는 허용농도인 20 ppm 보다는 낮은 농도였다. On-mode의 경우 암모니아가스의 농도가 낮아 Off-mode의 경우보다 안정된 변화를 나타내었다.

3. 악취제거 효율

Fig. 10은 돈사내부의 악취농도를 나타내었다. Off-mode의 경우 최대량 420 OU/m³, 최소량 300 OU/m³을 나타내어 평균수치는 367 OU/m³을 나타내었다. 반면 On-mode에서는 최대량 330 OU/m³, 최소량은 210 OU/m³을 나타내어 평균수치가 253 OU/m³을 나타내었다. 그리하여 공기정화기를 가동하였을 경우 악취제거 효율은 평균치를 비교하였을 때 약 31%를 나타내었다. OU는 냄새단위(Odor unit)를 의미한다.

요약 및 결론

여름철에 무창 비육돈사에서 습식공기정화기의 공기정화효율을 측정한 결과는 다음과 같다. 돈사 내부의 분진농도 측정결과 On-mode의 경우 TSP의 평균값은 0.195 mg/m³, PM₁₀의 평균값은 0.143 mg/m³, PM_{2.5}의 평균값은 0.059 mg/m³을 나타내었다. Off-mode의 경우 TSP의 평균값은 0.227 mg/m³, PM₁₀의 평균값은 0.135 mg/m³, PM_{2.5}의 평균값은 0.056 mg/m³를 나타내었다. TSP의 경우 공기정화기를 가동하였을 경우 약 14%의 먼지제거율을 나타낸 반면 PM₁₀과 PM_{2.5}의 경우에는 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다.

암모니아가스의 경우 On-mode에서 평균 7.6 ppm, Off-mode에서는 평균 8.5 ppm을 나타내어 약 10%의 제거효율을 나타내었다. 악취의 경우 On-mode에서는 평균 253 OU/m³을 나타낸 반면 Off-mode에서는 367 OU/m³을 나타내어 약 31%의 악취제거효과를 나타내었다.

인 용 문 헌

1. 송준익, 최홍립. 2002. 무창육성돈사의 환기시스템에 따른 환기효율 평가. 동물자원지 Vol. 44(1):135-144.
2. 오인환, 박명수. 1991. 축사의 환경설계. 한국농업기계학회지. 16(2):188-199.
3. 오인환, 김일수, Heege, H. J. 1995. 양돈용 지열교환기의 개발. 축산시설환경학회지. 1(2):125-136.
4. 최희철, 연규영, 송준익, 강희설, 권두중, 유용희, 바로가, 양창범, 천상석, 김용국. 2005. 무창 육계사의 계절별 먼지 농도와 특성 연구. 축산시설환경학회지 Vol. 11 (3):197-206.
5. Carpenter, G. A. 1986. Dust in livestock buildings. J. agri. Engng. Res. 33, 227-241.
6. Keener, K. M., Bottcher, R. W., Munilla, R. D., Parbst, K. E. and Van Wickoen, G. L. 1999. Field evaluation of an indoor ozonation system for odor control. Proceedings Animal Waste Management Symposium. APWMC. Jan. 27-28. North Carolina State University, Raleigh, NC, 310-313.
7. Kim, K. W., Woo, J. H., Lee, C. Y. and Kim, D. H. 2003. Effects of Ozonation of the Swine nursery Building on Indoor Air Quality and Growth Performance of Weanling Piglets, J. Anim. Sci. & Technol. Vol. 45(6).
8. Nannen, Ch. and Buscher, W. 2006. Einfluss der Tieraktivitat auf Staubfreisetzung und Partikelemissionen. Landtechink 61(1):36-37.
9. Watkins, B. D., Gengemuehle, S. M., Person, H. L., Yokoyama, M. T. and Masten, S. J. 1997. Ozonation of swine manure wastes to control odours and reduce the concentrations of pathogens and toxic fermentation metabolites. Ozone Science and Engineering. Vol. 19, 425-438.
10. MWPS. 1991. Swine Housing and Equipment Handbook. MWPS-8. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, IA.