

ORIGINAL ARTICLE

액비순환시스템의 양돈농장 환경개선 효과

하덕민 · 김두환*

경남과학기술대학교

Effects of the Liquid Manure Circulation System on the Environmental Improvement of Swine Farm

Ha Duck-Min, Kim Doo-Hwan*

Department of Animal Resources Technology, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the effect of implementing a Liquid Manure Circulation System (LMCS) on the environmental improvement of swine farms. Bacterial counts at different circulation phases of the LMCS were measured. Air in the swine facility and the liquid manure in each step of LMCS were sampled and gaseous composition detected in swine farms both with and without LMCS to compare the environmental conditions in either case. There were no differences in the total bacteria count at any circulation phase in the LMCS. *Escherichia coli* were detected at a very low abundance only at the outlet of the slurry pit (1.5×10^2 CFU/ml). *Salmonella* were not detected at any phase. The LMCS clearly affected the odor strength of the swine farm and improved the air quality in the swine facility. On-site odor strength - inside, at the exhaust, and at the border of the swine facility - were clearly lowered in farms applying LMCS. Furthermore, the levels of ammonia, hydrogen sulfide, and carbon dioxide were improved in swine facilities applying LMCS.

Key words : LMCS, Odor reduction, Environmental improvement, Swine farm

1. 서론

양돈농장은 농림업 품목별 생산액 1위 및 국민 1인당 소비량이 가장 많은 육류인 돼지고기의 생산기반으로서 중요한 의미를 가지고 있지만, 돼지의 사육과정에서 발생하는 분뇨, 오수의 부적절한 처리에 의한 환경오염 가능성과 냄새민원 등은 양돈산업의 지속가능성을 훼손하는 주요 원인이 되기도 한다.

2016년 기준, 약 46,530천 톤의 가축분뇨가 발생되어

90.6%의 자원화(퇴비화 79.6%, 액비화 11%) 하고 있으며, 전체 가축분뇨의 약 36%를 차지하는 양돈분뇨가 액비화 비율 11%의 대부분을 차지하고 있는 실정이다 (MAFRA, 2017).

양돈분뇨의 처리는 정화와 자원화로 크게 나눌 수 있으며, 자원화 처리는 퇴비화와 액비화가 대표적이며 (Jeong et al., 2012), 이 중 액비는 비료관리법의 비료공정규격에 따라 가축분뇨 발효비료(액)으로 정의하고 있다. 양돈분뇨의 액비화는 돈사에서 배출되는 분, 뇨 및

Received 19 December, 2018; Revised 4 January, 2019;

Accepted 7 January, 2019

*Corresponding author: Kim, Doo-Hwan, Department of Animal Resources Technology, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea.

Phone : +82-55-751-3284

E-mail : dhkim@gntech.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

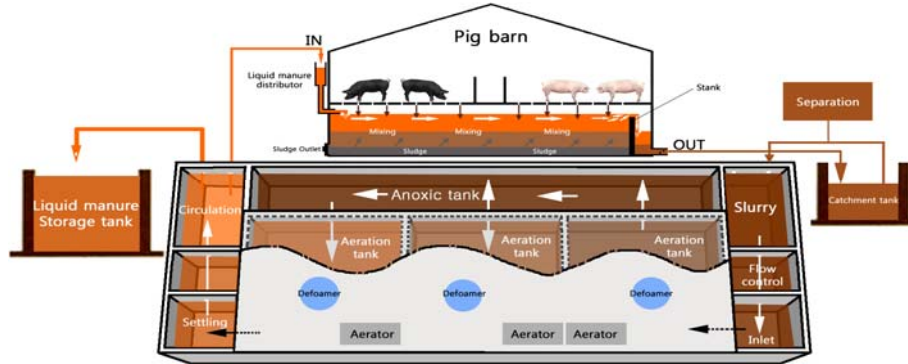


Fig. 1. Process flow diagram of liquid manure circulation system.

청소수의 혼합물 또는 기타 물질을 비료로 활용할 목적으로 수집, 저장하고 일정기간 동안 부숙시켜 병원성 미생물, 충란, 잡초종자 등을 사멸시키고 난분해성 물질 등을 분해하여 환경에 노출되어도 위해성이 없고 안정화된 액비를 제조하는 과정이다.

한편, 양돈농장의 돈사와 분뇨처리시설을 중심으로 특히 하절기에 강한 취기가 발생되면서 농장 인근 주민들의 괴로움을 유발하게 되고 이것이 민원으로 나타나게 된다(Kim et al., 2013; Kim et al., 2014). 양돈농장에서 발생하는 악취는 돼지가 생활하는 돈사와 돼지가 배설한 분뇨의 처리과정에서 주로 발생되고 있으며, 돈사에서는 악취가스 농도는 낮지만 가스발생량은 많고 포집하기 어려운 특징이 있으나, 분뇨처리시설에서는 악취가스 농도는 높지만 가스발생량은 적은 특징을 가지고 있다(Ni et al., 2000).

양돈농장에서 발생하는 분뇨의 액비화 처리 및 악취저감을 통한 민원 해소를 동시에 추구하고자 하는 시설과 관리기술이 액비순환시스템이다. 돈사에서 배출되는 슬러리를 호기성 액비화 하고 그 액비를 다시 돈사 하부의 슬러리 피트로 연속적으로 순환하는 과정에서 악취물질의 현저한 감소 효과를 보여 우수한 양돈농장 악취저감시스템으로 인정되고 있다(Kim and Ha, 2014; Ha and Kim, 2015; Kim and Ha, 2016). 또한 양돈농장의 연속적인 액비순환이 악취저감 효과와 더불어 돈사 내부의 열환경과 공기의 질을 개선하는 효과가 있다고 알려져 있기는 하지만, 정상적인 액비순환이 이루어지는 양돈농장 현장조건에서 조사한 환경개선 효과는 제대로 평

가되지 못하고 있다.

따라서 본 연구는 연속적인 액비순환을 적용하여 정상적으로 활용하고 있는 양돈농장과 액비순환을 적용하지 않는 일반 양돈농장의 돈사 내 악취유발 성분의 농도 및 환경상태 변화를 조사하여 연속적인 액비순환 적용 양돈농장의 환경개선 효과를 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사농장

양돈농장의 분뇨 처리방식에 따라 분뇨를 액비화 하고, 그 액비를 돈사 내로 연속순환 하는 액비순환시스템 적용 양돈농장 3곳과 분뇨를 액비화 하여 농장 밖으로 반출하는 일반농장 1개소에서 발효액비의 연속순환이 양돈농장 환경개선에 미치는 영향을 조사하였다.

양돈분뇨의 액비화, 양돈농장 악취저감 및 돈사 환경개선을 목적으로 활용되는 액비순환시스템은 Fig. 1과 같이 액비화 처리를 위한 발효과정과 발효액비의 돈사 내외부 순환과정으로 구성된다. 돼지가 배설한 분뇨가 혼합된 형태인 슬러리를 호기성 액비화 처리 후 그 액비의 일부를 돈사 하부 분뇨 피트로 투입하면 피트 내에 있는 슬러리와 혼합되어 돈사 밖으로 배출되고 유량조절, 폭기처리 및 혐기처리 등의 액비화 처리과정을 거쳐 액비저장조에 저장된다. 순환을 위한 순환액비는 따로 저장과정을 거친 후 돈사 내 슬러리 피트로 순환되는 과정을 반복하게 된다(Kim and Ha, 2014; Ha and Kim, 2015).

Table 1. Operation status of the liquid manure circulation system

Farm*	No. of pigs	Amount of slurry per day (Ton,Ⓐ)	Amount of liquid manure circulation per day (Ton,Ⓑ)	Ⓑ/Ⓐ
A	4,100	20.9	-	-
B	3,200	16.3	495	30.4
C	2,700	13.8	405	29.3
D	2,000	10.2	280	27.5

* A : Ordinary swine farm

B,C,D : Swine farm applied the liquid manure circulation system

2.2. 액비 및 악취분석

액비순환 양돈농장과 일반농장의 슬러리 및 순환 액비의 성상을 조사하기 위하여 분뇨발생량이 가장 많은 비육사 피트내에서 각 농장별 6회 채취하여 pH, BOD, COD, SS, T-N, T-P, NH₄-N, TOC, TC를 가축분뇨 성분분석 실험법(RDA, 2006)에 준하여 분석하였다. 액비순환 단계별 슬러리와 액비 혼합액의 미생물상을 확인하기 위하여 각 단계별 총균수, *Bacillus*, *Escherichia coli* 및 *Salmonella* 균수를 확인하였다. 또한 액비의 연속순환에 의한 악취저감 효과 분석을 위하여 악취물질의 발생이 가장 많은 여름에 외부에서 순환액비가 유입되어 슬러리와 혼합된 상태인 돈사내부(slurry pit)와 돈사에서 외부 발효조로 배출되는 단계(outlet of slurry pit) 및 순환을 위한 액비 저장조(storage tank) 등 순환 단계를 구분하여 공기 및 액상 시료를 채취하여 분석하였다(Ha and Kim, 2015). 악취 측정은 각 악취 물질별 돈사 내외부 공기 시료 채취 및 분석 절차는 악취공정시험방법(National Institute of Environmental Research, 2007)에 준하여 측정치의 평균값을 적용하였다.

2.3. 환경상태

액비의 연속순환이 양돈농장의 환경개선에 미치는 영향을 분석하기 위하여 액상시료 온도 측정은 적외선 온도계(Fluke VT02)를 이용하여 일반농장은 비육사 내 피트 슬러리, 저장조에서 측정하였고, 액비순환 농장은 비육사 내 피트 슬러리와 무산소조 및 폭기조의 온도를 측정하였다. 풍속은 풍속계(Testo 410-2)를 이용하여 측정하였고, 암모니아, 황화수소 및 이산화탄소는 다중가스 검지기(Multi RAE)를 이용하였다. 공기 중 온도, 습도를 이용하여 Dikmen and Hansen(2008)이 제시한 공식을 활용하여 열량지수(THI, Temperature-Humidity

Index)를 환산하여 비교하였다.

$$THI = (1.8 \times Tdb + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times Tdb - 26.8)]$$

(Tdb = dry bulb temperature, RH = relative humidity)

2.4. 통계분석

얻어진 모든 결과와 데이터는 SAS University Edition(2015)의 General Linear Model Procedure를 이용하여 분석하였다. 액비순환과 비순환이 모두 있는 data set에서는 분석모델에 순환, 시료채취 위치 및 계절 등 요인들 간의 상호작용을 삽입하였다. 액비순환 적용 양돈농장에서 얻어진 결과에서는 시료채취 위치 및 계절과 이들 간의 상호작용을 분석모델에 삽입하였다. 평균값 간의 차이의 유무는 SAS program의 PDIFF option을 이용하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 액비순환

액비순환 적용 양돈농장과 일반 양돈농장의 슬러리 발생량과 액비 순환량은 Table 1과 같다.

액비순환 농장과 일반농장 모두 일관경영 형태의 농장으로 하루 슬러리 발생량은 모돈, 자돈 및 비육돈을 구분하지 않고 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙에 근거한 가축분뇨 발생량 원단위 5.1 ℓ/두를 적용하여 환산하였다. 액비순환 농장의 하루 액비순환량은 하루 발생 슬러리의 27.5배-30.4배 사이이며, 평균적으로 농장에 따라 큰 차이는 없이 하루 발생 슬러리의 약 30배 정도의 순환량을 나타내었다. 이는 Kim and Ha (2016)가 제시한 액비순환시스템의 최적운전 조건으로

Table 2. Effects of the manure circulation on physicochemical characteristics of the liquid manure at the slurry pit of the finisher pig unit

Item	No circulation	Circulation system	p-value
pH	7.7±0.13	7.9±0.07	0.18
BOD, mg/L	12,468.8±321.25	1,620.3±185.47	<0.01
COD, mg/L	15,983.0±601.09	3,301.9±347.04	<0.01
SS, mg/L	20,916.8±748.98	3,363.3±432.42	<0.01
T-N, mg/L	4,281.3±75.37	1,171.5±43.51	<0.01
T-P, mg/L	601.5±31.98	150.3±18.46	<0.01
NH ₄ -N, mg/L	2,011.3±65.63	626.17±37.89	<0.01
TOC, mg/L	10,281.0±691.80	2,479.9±399.41	<0.01
TC, mg/L	11,998.3±653.77	3,733.9±377.45	<0.01

Table 3. Bacterial counts at different circulation phases of the liquid manure circulation system

Item	Slurry Pit	Outlet of slurry Pit	Anoxic tank	Storage tank	SEM	p-value
Bacterial counts (Log ₁₀ CFU/ml)						
Total bacteria	7.52	7.64	7.49	7.45	0.207	0.92
<i>Bacillus</i>	7.70 ^b	7.81 ^a	7.62 ^c	7.42 ^d	0.020	<0.01
<i>Escherichis coli</i>	n.d.	2.17	n.d.	n.d.	-	-
<i>Salmonella</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	-

^{a-d} Means with different superscripts differ (p<0.05)

n.d. Not detected

하루 분뇨 발생량 대비 약 30배의 순환량이 적당하다는 기준에 부합하는 것으로 판단된다.

3.2. 액비성상

Table 2는 액비순환 농장과 일반농장의 비육사 내 슬러리 성상을 분석한 결과이다.

pH는 차이는 없지만, BOD, COD 및 SS 농도는 액비순환 농장이 현저하게 낮게 나타나 단순한 슬러리의 순환이 아닌 순환과정에서 발효가 활발하게 진행되고 있다는 것으로 확인할 수 있었다. Lee(2011)가 보고한 분뇨순환시스템 적용 돈사의 수질분석 결과에서도 본 연구와 비슷한 결과를 나타내었다.

T-N, T-P 및 NH₄-N 농도를 비교해보면, 이 역시 액비순환 효과가 명백하게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 액비순환 농장의 TOC 및 TC 또한 현저하게 낮게 나타나 비육돈사 피트 내에서 슬러리의 발효가 활발하게 진행되고 있다는 것으로 확인할 수 있다. 이러한 결과는

Kim et al.(2012)이 발표한 국내 양돈농가의 액비화 처리 우수 사례 조사 결과와도 비슷한 경향으로 연속적인 액비순환이 양돈분뇨의 액비화 처리 기술로도 활용가치가 높다고 할 수 있을 것이다.

액비순환 적용 양돈농장의 순환단계별 슬러리와 액비 혼합액의 미생물상은 Table 3과 같다.

액비순환 농장의 총세균수는 순환 단계에 따른 차이가 없이 비슷한 수준을 유지하는 것으로 나타나 발생하는 슬러리와 유입되는 액비가 혼합이 잘 되고 지속적으로 발효가 진행되는 것으로 판단된다. *Bacillus* 균수는 돈사를 빠져 나가는 단계에서 가장 높았고 순환을 위한 저장조에서 가장 낮았지만 실질적인 차이는 큰 의미를 갖지 못하는 것으로 보인다. *Escherichis coli*는 돈사 배출구에서만 낮은 농도로 검출되었을 뿐, 나머지 단계에서는 확인되지 않았다. *Salmonella*는 액비순환 농장의 전체 순환 과정에서 확인되지 않았다. 이와 같은 액비순환

Table 4. Effects of the manure circulation on odor characteristics of the finisher pig unit

Item	No circulation			Circulation system			p-value		
	Indoor	Exhaust	Outside	Indoor	Exhaust	Outside	System	Location	S×L
NH ₃ , ppm	18.8	17.5	4.0	6.3	6.7	0.4	<0.01	<0.01	<0.01
H ₂ S, ppm	3.97	2.99	1.09	1.06	0.87	0.14	<0.01	<0.01	<0.01
MM ¹⁾ , ppb	11.70	11.63	0.92	0.12	0.03	0.00	<0.01	<0.01	<0.01
DMD ¹⁾ , ppb	0.88	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	<0.01	<0.01	<0.01
TMA ¹⁾ , ppb	0.041	0.033	0.001	0.0141	0.0126	0.000	<0.01	<0.01	<0.01
Phenol, ppb	10.7	7.4	1.2	5.2	3.4	0.3	<0.01	<0.01	<0.01
Indole, ppb	5.7	5.7	0.7	2.6	1.9	0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Skatole, ppb	7.4	3.8	0.4	2.5	0.8	0.0	<0.01	<0.01	<0.01

¹⁾MM, methane thiol (methyl mercaptan); DMD, dimethyl disulfide; TMA, trimethyl amine.

Table 5. Effects of the liquid manure circulation on temperature of the liquid manure at different circulation phases

(unit:°C)

Slurry Pit	No circulation		Circulation system			P-value		
	Outlet of slurry pit	Storage tank	Slurry Pit	Outlet of slurry pit	Storage tank	System	Phase	S×P
27.4±0.85	23.3±0.85	18.2±0.85	23.2±0.47	21.5±0.47	21.1±0.47	0.08	<0.01	<0.01

과정의 대장균과 살모넬라 확인 결과는 액비순환이 돼지의 건강에 미칠 수 있는 위생 및 안전에 대한 우려나 불안감을 해소하는 근거가 될 것으로 보이며, 돈사 내부의 질적인 환경개선을 뒷받침하는 중요한 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3. 악취농도

액비순환 양돈농장과 일반농장의 비육돈사 내부, 배출구 및 부지경계선에서 채취한 공기 중 악취물질 농도를 비교한 결과는 Table 4와 같다.

돈사 내부와 배출구 및 부지경계선에서의 암모니아와 황화수소 농도는 일반농장을 기준으로 비교하면 액비의 연속순환으로 약 60% 이상의 뚜렷한 저감 효과가 있는 것으로 판단된다. 메틸머캅탄과 트리메틸아민 역시 액비순환으로 돈사 내부, 배출구 및 부지경계선에서 일반농장과 비교하여 낮은 수준으로 조사되었다. 이러한 결과는 You et al.(2012)이 제시한 돈사 환경개선을 위한 돈사 내 악취물질의 목표농도와 비슷한 수준이며, Kim et al.(2013)이 보고한 축산농장 악취발생과 관리에 관한 실태조사에서 제시한 악취관리 우수 양돈농장의 악취농

도 보다 오히려 낮은 수준이었다.

페놀, 인돌 및 스키톨은 돈사 내부와 배출구에서는 현저한 차이라고는 할 수 없지만 순환적용으로 감소하는 경향을 보였으나 부지경계선에서는 액비순환과 관계없이 검출되지 않았다. 인돌류(Phenol, p-Cresol, Indole 및 Skatole)는 악취방지법에서 정하고 있는 22개 규제물질에 포함되지 않지만 양돈농장에서는 다량으로 발생되는 것으로 나타났으며 액비순환 적용으로 저감 효과가 나타나기는 하지만 현저한 저감이라고 하기는 어려울 것으로 판단된다. Yang et al.(2014)이 지적하였듯이 인돌류의 축산악취 유발물질로서의 기여도에 대한 보다 정밀한 조사와 분석이 필요할 것으로 사료된다.

3.4. 환경상태

액비순환 적용 양돈농장의 환경상태를 분석하기 위한 순환단계별 슬러리 및 액비혼합액의 온도 비교는 Table 5와 같다.

액비순환 농장과 일반농장의 액비순환 단계 혹은 슬러리 배출 단계에 따른 온도변화는 크지 않았다. 액비순환 여부에 따른 차이는 일반농장의 각 단계별 온도와

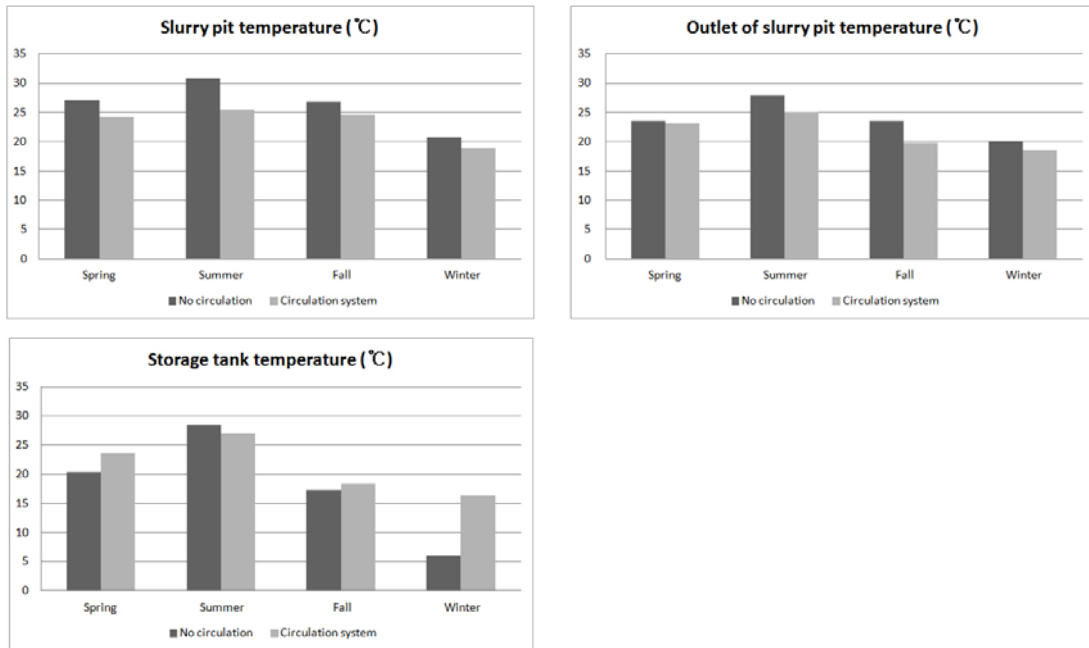


Fig. 2. Seasonal changes in temperature at different circulation phases.

비교하여 순환농장의 온도차가 작은 것을 확인할 수 있어 액비순환 적용이 돈사 내부의 온도변화를 줄이고 이는 돼지가 생명을 유지하고 생산활동을 하는 돈사 내부의 환경개선에 도움이 될 것으로 판단된다.

Fig. 2는 슬러리 및 액비순환 단계에 따른 온도 변화를 계절별로 비교한 것이다.

돈사 내부 슬러리 및 돈사 배출구 단계의 슬러리 혹은 순환액비의 온도는 전반적으로 액비순환 농장에서 구간별로 1~2°C 혹은 3~4°C 낮게 유지되고 있는 것으로 나타났다.

이는 발효액비의 연속순환이 특히 여름철 고온으로 인한 돈사 내부 온도관리가 어려운 우리나라 기후특성에서 유용하게 활용할 수 기술로서 가치가 있다고 할 것이다. Lee(2011)의 보고에서는 분뇨순환시스템 적용 돈사와 일반 돈사의 온도 변화의 차이가 크지 않고 사육환경 또한 큰 차이를 보이지 않았으나 일부 개선되었다고 한 바 있다. 분뇨순환 돈사의 출하일수로 비교한 생산성에 미치는 간접적인 영향은 순환돈사에서 13~23일 정도 줄어들고 이로 인한 생산회전율이 빨라 양돈농가에 수익률 향상을 통한 이익창출이 증가될 수 있을 것이라 하였다.

Table 6. Effects of the liquid manure circulation on air quality of the finisher pig unit

Item	No circulation	Circulation system	p-value
Indoor atmosphere			
Temperature, °C	24.5±0.78	23.4±1.36	0.50
Humidity, %	64.0±3.89	61.4±6.73	0.75
Wind velocity, m/s	0.17±0.08	0.08±0.14	0.57
CO ₂ , ppm	1,017±164.8	768±285.5	0.47
NH ₃ , ppm	19.7±2.27	7.25±3.93	0.46
H ₂ S, ppm	0.34±0.09	0.10±0.16	0.22

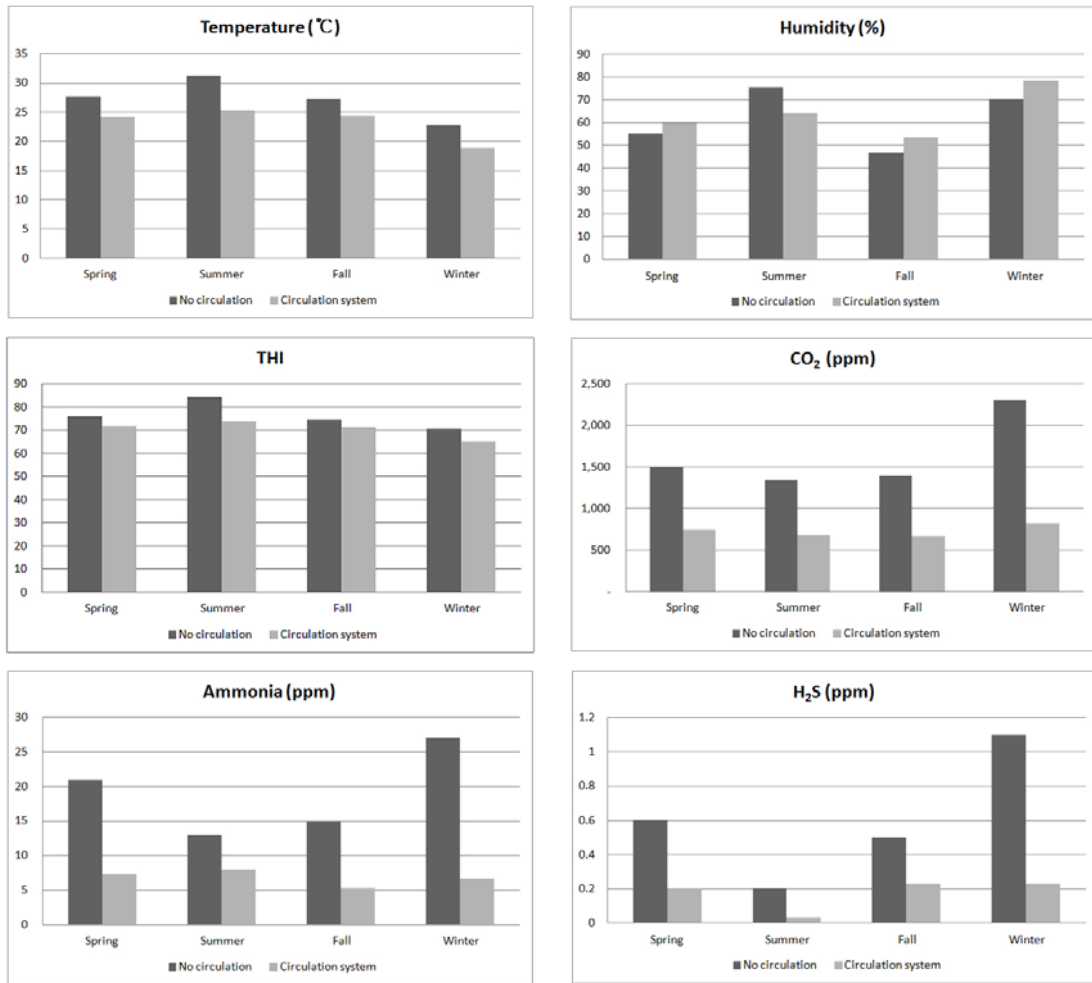


Fig. 3. Seasonal changes in indoor air quality of the finisher pig unit.

액비순환 적용에 의한 돈사 환경상태를 비교한 결과는 Table 6과 같다.

연중 돈사 내부의 평균 온도는 액비순환 적용에 따른 차이는 크지 않았지만 액비순환 농장에서 약간 낮게 유지되었고 습도 또한 같은 경향을 나타내었다.

돈사 내부의 환경상태를 설명하는 공기의 질 측면에서 보면, 돈사 내부 공기 중 이산화탄소 농도는 일반농장이 순환적용 농장 보다 월등히 높고 암모니아와 황화수소 농도 또한 액비순환으로 인한 차이가 크게 나타나 연속적인 액비순환은 돈사 내부 공기의 질 개선에 크게 영향을 미치며, 돈사 내부 환경 및 양돈농장 전체의 환경 개

선에 효과적으로 작용하는 것으로 판단된다.

본 연구의 결과와 Song et al.(2011)이 보고한 이산화염소 가스를 분무하여 양돈장 악취저감과 환경개선 효과를 분석한 결과와 비교하면, 화학적 처리 방법인 이산화염소 분무 효과에 비하여 생물학적 처리 방법인 액비의 연속순환이 양돈장 악취저감과 환경개선에 더 효과적이라 할 수 있을 것이다. 이러한 발효액비의 연속순환에 의한 양돈농장 악취저감과 환경개선 효과는 생물학적, 물리적 및 화학적 처리에 의한 다양한 악취저감 및 환경개선 방법과 기술의 적용 효과와 비교하여도 매우 우수한 효과를 나타내는 것으로 향후 생산성에 얼마나 긍정적인

영향을 미치는가에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

발효액비의 연속순환에 의한 돈사의 환경상태를 계절별로 비교한 결과는 Fig. 3과 같다.

계절별로 액비순환 적용으로 인한 돈사 내부 환경개선 효과를 보면, 온도는 여름철 일반농장에서 30℃가 넘는 고온스트레스가 주어지는 상황이지만 액비순환 적용 양돈농장은 25℃ 대를 유지하는 것으로 나타났다. 습도 또한 연속적인 액비순환은 가을철 돈사 내부의 낮은 습도 문제를 해결하는데 도움이 될 것으로 보인다. 이는 연속적인 액비순환을 위하여 매일 발생하는 슬러리량의 약 30배의 액비를 순환시키기 때문에 외부에서 돈사 내부로 유입되는 순환액비가 돈사 내부 환경에 긍정적으로 영향을 미치는 것으로 사료된다. 돈사 내부 공기의 질의 비교해보면, 이산화탄소, 암모니아 및 황화수소 모두 연속적인 액비순환으로 돈사 내부 환경상태를 크게 개선할 수 있음을 보여 주고 있으며, 특히 돈사의 밀폐도가 높은 겨울과 봄에 효과가 크게 나타났다. 본 연구의 이러한 결과를 Kim et al.(2017)이 돈사 외벽 커튼에 의한 물리적 처리와 커튼 내부에 오존수를 활용한 화학적 처리를 복합 적용한 결과와 비교하면, 돈사 내부 환경상태는 액비순환 적용이 월등히 우수한 반면 돈사 외부 및 부지경계선에서의 악취농도는 물리화학적 처리가 약간 우수한 것으로 나타났다. 돼지를 중심으로 하는 돈사 내부 환경개선 효과는 연속적인 액비순환이 매우 우수한 것으로 평가할 수 있을 것이다.

4. 결 론

발효액비의 연속순환이 양돈농장 환경개선에 미치는 영향을 평가하기 위하여 악취물질 농도 및 돈사 환경상태를 조사하여 비교하였다.

액비순환 각 단계에서 발효가 원활하게 진행되었고 액비순환 과정의 대장균과 살모넬라 수준은 돼지에 대한 부정적인 영향 없이 돈사 환경개선에 도움이 될 것으로 판단된다. 돈사 내부와 배출구 및 부지경계선에서의 암모니아와 황화수소 농도는 액비순환으로 약 60% 이상의 저감 효과를 나타내었으며, 메틸머캅탄과 트리메틸아민은 매우 낮은 수준을 유지하였다. 액비순환 농장의 온도차가 작아 액비순환이 돈사 내부의 온도 변화를 줄이고

돈사 환경개선으로 연결되는 것으로 판단된다. 여름철 돈사 내부 온도가 액비순환 농장은 양호하게 유지되고 습도 또한 돈사 내부의 낮은 습도 문제 해결에 도움이 되는 것으로 보인다. 이산화탄소, 암모니아 및 황화수소 농도 모두 연속적인 액비순환으로 크게 개선되었으며, 특히 돈사의 밀폐도가 높은 겨울과 봄에 돈사 환경개선 효과가 크게 나타났다.

이상의 결과를 종합하면, 발효액비의 연속순환은 양돈농장의 환경개선에 분명한 효과가 있는 것으로 판단되고 돈사 내부 환경개선과 악취물질의 양돈농장 외부로의 확산을 방지할 수 있는 기술로 활용 가치가 충분한 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원으로 수행된 것임.

REFERENCES

- Dikmen, S., Hansen, P. J., 2008, Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment, *J. Dairy Sci.*, 92, 109-116.
- Ha, D. M., Kim, D. H., 2015, The effect of liquid manure circulation system on the odor reduction of swine farm, *J. Agri. Life Sci.*, 49, 57-64.
- Jeong, K. H., Modabber, A. K., Kim, C. H., Lee, D. H., Choi, D. Y., Yu, Y. H., 2012, Effect of aeration mechanism on livestock manure liquid fertilization, *Kor. J. Org. Agri.*, 20, 703-713.
- Kang, J. Y., Hur, M., 2009, The study for reduction of odor emission on 3N-system by improvement of process, *Kor. J. Odor Res. Eng.*, 8, 50-55.
- Kim, D. H., Ha, D. M., 2014, Field manual of liquid manure circulation system for odor reduction of swine farm, Gntech press, Jinju.
- Kim, D. H., Ha, D. M., 2016, Operating manual of liquid manure circulation system, Gntech press, Jinju.
- Kim, D. H., Lee, I. B., Choi, D. Y., Song, J. I., Jeon, J. H., Ha, D. M., 2013, A Survey on current state of odor emission and control from livestock operations, *J. Anim. Environ. Sci.*, 19, 123-132.

- Kim, D. H., Ha, D. M., Lee, I. B., Choi, D. Y., Song, J. I., 2014, A Study on dispersion characteristics of odor from swine farms, *J. Anim. Environ. Sci.*, 20, 41-48.
- Kim, H. H., Ha, D. M., Lee, J. Y., Shin, H. S., Song, J. I., Kim, D. H., 2017, Effects of physico-chemical treatment on odor reduction of swine farm, *Ann. Anim. Resour. Sci.* 28, 64-71.
- Kim, K. Y., Choi, J. H., 2013, Distribution characteristics of odorous compounds concentrations according to type of pig buildings, *Kor. J. Odor Res. Eng.*, 12, 27-37.
- Kim, S. R., Jeon, S. J., Hong, I. G., Kim, D. K., Lee, M. G., 2012, A Case study on the effective liquid manure treatment system in pig farms, *J. Anim. Environ. Sci.*, 18, 99-110.
- Lee, J. K., 2011, A Study on the odor characteristics and reduction of livestock wastes cycle, Ph. D. Dissertation, Chosun University, Kwangju.
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, 2013, The medium- and long-term measures to animal waste recycling, MAFRA.
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs, 2017, The planning of clean livestock farm, MAFRA.
- Ministry of Environment, 2013, Policy direction the odor, MOE.
- National Institute of Environmental Research, 2007, Standard method of odor compounds, NIER.
- Ni, J. Q., Heber, A. J., Lim, T. T., Diehl, C. A., Duggirala, R. K., Haymore, B. L., Sutton, A. L., 2000, Ammonia emission from a large mechanically ventilated swine building during warm weather, *J. Environ. Quality*, 29, 751-758.
- Rural Development Administration, 2006, Experimental methods for animal manure component analysis, RDA.
- SAS, 2015, Statistical analysis system, Users guide: Statistics, University Edition, SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Schiffman, S. S., 1998, Livestock odors: Implications for human health and well-being, *J. Anim. Sci.*, 76, 1343-1355.
- Song, J. I., Jeon, J. H., Park, K. H., Yoo, Y. H., Kim, D. H., 2011, Conducted to verify the effect of chlorine dioxide (ClO₂) on odor reduction at a commercial swine facility, *J. Lives. Hous. Env.*, 17, 43-50.
- Yang, S. B., 2014, Rapid and simultaneous determination of volatile fatty acids and indoles in pig slurry and dog excrement by solid-phase micro-extraction method with gas chromatography, *J. Environ. Sci. Int'l.*, 23, 1693-1701.
- You, W. G., Kim, C. L., Lee, M. K., Kim, D. K., 2012, Analysis of changing pattern of noxious gas levels with malodorous substance concentrations in individual stage of pig pens for 24hrs to improve piggery environment, *J. Lives. Hous. Env.*, 18, 25-34.

- 하덕민, 경남과학기술대학교 동물환경실험실 연구원
hamabang@gntech.ac.kr
- 김두환, 경남과학기술대학교 교수
dhkim@gntech.ac.kr