생물학적 첨가제 살포에 의한 밀폐형 돈사에서의 악취 저감 평가

김기연* · 최홍림** · 고한종*** · 이용기**** · 김치년*****

신시내티대학교 환경보건학과*, 서울대학교 농생명공학부**, 교토대학교 농학대학원***,
경기도 보건환경연구원 환경연구부****, 연세대학교 산업보건연구소*****

Evaluation of Odor Reduction in the Enclosed Pig Building Through Spraying Biological Additives

K. Y. Kim*,******, H. L. Choi**, H. J. Ko***, Y. G. Lee**** and C. N. Kim*****

Environmental Health, University of Cincinnati*,
School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University**,
Graduate School of Agriculture, Kyoto University***,
Kyonggi-do Institute of Health and Environmental, Environmental Research Team****,
Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University*****

ABSTRACT

Maintenance of an optimal air quality in the enclosed pig building is potentially important in terms of pig performance and farmer health. The objective of this on-site experiment is to evaluate and compare efficiencies of currently utilized biological additives to reduce odor emissions from the enclosed pig building. As a result, generally all the additives except for salt water, artificial spice and essential oil were proved ineffective in reducing odor generation. The beneficial effects of salt water, artificial spice and essential oil on odor reduction were highlighted on ammonia, odor intensity and offensiveness, and sulfuric odorous compounds, respectively. To efficiently utilize odor masking agent such as the artificial spice, ventilation rate should keep slightly lower than the optimal level. Essential oil functioned well as not only masking agent but also antimicrobial agent for reducing odor. To precisely quantify odor concentration, it should be measured by not the odor sensor but the olfactometry technique.
(**Key words** : Odor, Ammonia, Sulfuric odorous compounds, Olfactometry, Artificial spice, Essential oil)

Ⅰ. 서 론

양돈 사육형태가 집약적이고 대규모화되어 감에 따라 사양관리 및 환경제어가 용이한 밀폐형 돈사의 보급이 보편화되어 가고 있다. 하지만 밀폐되고 한정된 공간 내에 많은 수의 돼지가 사육됨으로 인해 사료와 분뇨가 돈사 내부에 집적되고, 그 결과 인간과 돼지에게 해로운 가스 및 악취의 발생이 야기되며(Clark et al., 1983; Aarnink et al., 1999), 외부로 배출되

Corresponding author : Ki Youn Kim, Department of Environmental Health, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45267-0056, USA.
Tel : 1-513-558-0507, Fax : 1-513-558-2263, E-mail : kkysnu5@daum.net

면 주변 정주민들에게 악취 민원의 소지를 제공하게 된다. 돈사에서 발생되는 악취를 제어하기 위해 여러 방안들이 적용되어 왔으나 효율성, 경제성, 안전성 측면의 세 가지를 동시에 만족시킬 수 있는 방법은 아직까지 제안되지 못하고 있는 실정이다. 지금까지 악취 저감을 위해 제시되었던 방법들을 살펴보면, 배기팬에 덕트를 설치하여 최종 바이오필터 처리를 하거나(Nicolai and Kevin, 1997; NCSU, 1997), 냉각 회수법을 통해 악취물질을 제거하는(Heber, undated; USDA, 1998) 물리적 방법과 $KMnO_4$(Faith, 1964; Emanuel, 1965), H_2O_2(Hollenback, 1971; Kibble et al., 1972), O_3(Watkins et al., 1997; Wu et al., 1998)와 같은 산화제를 이용한 화학적 방법들이 돈사의 악취를 제어하기 위한 하나의 방안으로 제기되었다. 그러나 전자의 경우 경제성, 후자의 경우에는 안전성의 문제가 제기되어 실제 농가 단위의 현장에서는 적용이 활발하지 못한 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 최소화시킬 수 있는 돈사 악취 제어 방법으로 최근 생물학적 측면에서의 접근 방안들이 연구, 적용되고 있는 상황이다. 처리 효율성 측면에서 물리, 화학적 방법보다는 상대적으로 떨어지나 식물성 천연향료(Varel and Miller, 2001), 유카 추출물(Headon and Walsh, 1993; Amon et al., 1997), 미생물제제(Mackie et al., 1998; Zhu et al., 1999), 식물성 정유(Takai et al., 1995; Zhang et al., 1996; Jacobson et al., 2000), 재활용 분뇨 세척수와 같은 생물학적 첨가제의 이용은 사람과 돼지에게 무해하고 비용도 상대적으로 저렴할 뿐만 아니라 운용 및 관리 방법도 용이하기 때문에 사용자인 양돈업자에게는 상당히 실용적인 악취 저감 방법이라 할 수 있다. 하지만 이러한 생물학적 첨가제의 처리 효율성 측면에 있어서 상당한 의문이 최근들어 제기되고 있는 상황일 뿐만 아니라, 장단점을 서로 비교 평가하기 위한 검증 과정이 국내외적으로 아직 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지금까지 돈사에 적용된 생물학적 악취 제어 방법들을 현장 적용 실험을 통해 각 방법들의 악취 저감 효율성을 서로 비교, 평가하고자 한다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험 설계

서울대학교 부속 연구목장에 위치한 밀폐형태의 완전 슬랫형 슬러리 돈사(5.2 m × 9 m × 2.5 m)에서 하절기인 2003년 6월에서 8월에 실험을 실시하였다. 돈사 내부는 중앙 복도(0.8 m × 9 m)를 중심으로 측면에 각각 5개의 돈방으로 나누어져 있으며, 적정 온습도를 유지하기 위해 덕트를 통해 외부 공기가 유입되는 측벽배기의 강제환기 방식이 적용되고 있었으나, 실험 결과 값에 대한 환기의 영향을 배제하기 위해 실험 중에는 환기율을 340 m^3/h로 고정하였다. 각 돈방(0.44 m × 0.9 m × 0.7 m)에는 평균 체중 50-75 kg의 육성돈(Landrace × Yorkshire × Duroc) 3～4두를 입식한 후 NRC 사양기준에 근거한 자유 급식 및 음수가 가능한 사육 환경을 조성하였다. 악취 저감을 위한 생물학적 첨가제의 대상으로는 물, 소금물, 고온 호기성 분뇨 처리수, 미생물제제, 콩기름, 인공 식향료(바나나향), 식물성 천연 식향료로 각 첨가제의 조성과 물과의 희석 비율은 <Table 1>과 같다. 고온 호기성 분뇨 처리수의 경우 <Table 2>에 나타난 바와 같이 무취에 가깝고, 병원성 미생물이 거의 사멸되어 살포시 돼지나 작업자에게 무해한 처리수가 적용되었다. Manual sprayer를 이용하여 15분

Table 1. Compositions of biological additives evaluated in this study

Additive	Composition
Tap water	100% : 10 ℓ tap water
Salt water	5% : 500g salt in 10 ℓ water
Treated manure	100% : 10 ℓ digested manure
Microbial additive - randomly selected commercial product	1% : 100ml in 10 ℓ water - recommended by the manufacture
Soybean oil	5% : 500ml in 10 ℓ water
Artificial spice	0.2% : 20ml in 10 ℓ water
Essential oil	0.185% : 10ml hurb and 8.5g ravenda in 10 ℓ water

Table 2. Characteristics of the autothermal aerobic digested manure

Odorous compounds					Odor			Pathogen −log(cfu/m^3)−	
NH_3 (ppm)	H_2S	CH_3SH	DMS	DMDS	[1]Conc.	[2]Inte.	[3]Offe.	*E. coli*	*Salmonella*
		(ppb)							
0.14 (±0.05)	5.15 (±2.14)	0.98 (±0.25)	0.80 (±0.27)	0.56 (±0.19)	23 (±8)	1.2 (±0.3)	1.0 (±0.4)	1.16 (±0.28)	0.75 (±0.21)

[1] : concentration index, [2] : intensity, [3] : offensiveness.

동안 총 10ℓ를 돈방에 골고루 살포하였고, 각 처리구 당 3일의 반복 실험을 수행하였다. 각 처리구의 초기 돈사내 환경 조건을 최대한 동일하게 유지하기 위해 하나의 처리구 실험 종료 후 슬러리 저장조의 분뇨를 제거한 후 다음 처리구의 실험시까지 5일의 시간적 여유를 두었다. 측정 위치는 중앙 복도의 중앙 지점으로부터 지상 30 cm와 150 cm의 두 지점으로 시료 받침대를 설치하여 시료를 포집하였고, 살포 전, 직후, 살포 후 1, 3, 5, 24hr에 시료의 채취와 분석을 실시하여 살포 전과 후의 악취 저감 정도 및 지속성을 평가하였다.

2. 측정 항목

가. 악취 정량 평가

관능법을 통한 악취의 정량 평가 방법에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 악취 강도(odor intensity)와 불쾌도(odor offensiveness)를 선정하였다. 후각 기능이 정상적이고 훈련된 5명의 악취 판정원들이 측정 시간에 돈사 안으로 직접 들어가 평가하는 직접 관능법을 적용하였다. 악취 강도와 불쾌도 모두 6 단계 평가 방법을 적용하였으며(0: 무취, 1: 매우 약함, 2: 약함, 3: 보통, 4: 강함, 5: 매우 강함), 악취 판정원들의 평가 결과 중 가장 높고 낮은 것을 제외한 3명이 평가한 점수를 기하 평균하여 대표치로 사용하였다. 악취 농도 지수(odor concentration index)의 측정은 휴대용 디지털 악취 농도 측정기(XP-329, Cosmos instrument, Japan)를 이용하여 3회 측정한 평균값을 이용하였다.

나. 악취 정성 평가

1) 암모니아

흡광광도법으로 암모니아를 분석하기 위해 먼저 임핀저에 암모니아 흡수액으로 황산(H_2SO_4, 0.1N) 용액을 10 ml 넣은 후 저용량 공기 펌프(Gil-Air NO. 800519, Gillian Instrument Corp, USA)를 통해 1.7～2.0ℓ/min의 유량으로 10～20분간 가스를 흡입하였다. 시료 채취를 끝난 임핀저를 실험실로 운반하여 흡수액을 여과한 후 적정 비율로 희석시킨 용액 3 ml를 채취하여 NIOSH 공정시험법(1994)에서 제시한 발색시약(nessler's agent) 0.2 ml를 첨가하여 UV 흡광강도기(UV-1601, SHIMADZU, Japan)를 통해 440nm 파장에서 측정하였다. 검량선은 암모니아 표준용액으로 황산암모늄($(NH_4)_2SO_4$)을 이용하여 0, 2, 4, 8, 12, 16 μg/ml 농도를 설정한 후 측정된 암모늄 이온(NH_4^+)을 전환하여 암모니아 농도를 계산하였다. 또한 공시료의 경우 분석시료와 함께 같은 조건으로 분석하였다.

2) 황 계열 악취물질

황화합물 악취물질인 hydrogen sulfide(H_2S), methyl mercaptan(MeSH), dimethyl sulfide(DMS) 및 dimethyl disulfide(DMDS)를 분석하기 위해 10ℓ 용량의 테들러 백(Tedlar bag, SKC, USA)에 공기 펌프를 이용하여 1～2ℓ/min의 유량으로 5분 동안 채취하였다. 채취된 시료를 즉시 분석실로 운반하여 일차적으로 시료 중에 극미량으로 존재하는 악취성분을 열 탈착기(Thermal

desorber)와 가스 분배기(Air server)가 결합된 열탈착시스템(Thermal Desorption Unit, U-UNITYe, Markes international, UK)을 이용하여 농축하였다. Air server를 통하여 흡착이 이루어진 시료는 330℃의 온도에서 5분간 열탈착이 이루어지고, 탈착이 이루어진 시료는 시스템 내부에서 다시 GC의 column으로 주입되었다. 시료의 전처리에 이용된 UNITY와 황화합물 분석에 사용된 GC-PFPD(Gas chromatography with Pulsed Flame Photometric Detector, CP-3800, VARIAN, USA)의 조건은 <Table 3>과 같다.

Table 3. Operating condition of Unity and GC/PFPD

Unity	Sampling Time	25 ml/min × 4 min
	Cold trap Temp	low : -15℃ high : 280℃
	Hold Time	5.0 min
	Outlet split	10.0 ml/min(10:1 split ratio)
	Flow path Temp	100℃
GC/ PFPD	Detector	PFPD
	Column	CP-5(60 m×0.25μm×1.0μm)
	Carrier Gas	He 1.0 ml/min
	Air-1 Flow Rate	17 ml/min
	Air-2 Flow Rate	10 ml/min
	H_2 Flow Rate	13 ml/min
	Oven Temp	60℃(5min)-10℃/min-200℃
	Detector Temp	220℃

다. 온도 및 상대습도

돈사 내부 및 외부의 온도 및 상대습도는 휴대용 자동센서 측정기(SK-110TRH, Sato, Japan)를 이용하여 악취 측정 시간대와 동일하게 측정하였다.

3. 악취 저감율

시간 경과에 따른 농도 변화율(dC/dt)의 원리를 적용하여 첨가제를 살포하기 전 초기 농도(C_0)를 기준으로 시간 경과에 따른 농도(C_t)의 비율(C_t/C_0)로 각 첨가제의 악취 저감 효율을 평가하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 첨가제 살포 전의 돈사 내부의 악취 농도 및 환경 조건

각각의 첨가제를 살포하기 전 돈사 내부의 악취 및 악취 원인 물질들의 농도는 <Table 4>에서 나타난 바와 같이 처리구별로 큰 차이가 나타나지 않았다. 악취 정량 평가 항목인 악취 농도 지수, 악취 강도 및 악취 불쾌도의 전체 평균 수치 및 범위는 264(226～287), 3.59(3.33～4.00), 3.67(3.50～4.00)로 나타났으며, 악취 원인 물질인 NH_3, H_2S, CH_3SH, DMS, DMDS는 4.71ppm(7.46～2.13), 37.76ppb(28.20～57.08), 6.81 ppb(1.87～18.23), 3.53ppb(2.45～5.27), 1.39ppb (1.05～2.38)로 각각 분석되었다. 이들 악취 원인 물질 중 암모니아와 황화수소의 농도는 선행 연구 결과들의 범위 안에 포함되었는데, 보고된 자료에 의하면 일반 돈사 내부의 암모니아 농도는 3.0～18 ppm(Koerkamp et al., 1998; Ni et al., 2000; Chang et al., 2001) 이였으며, 황화수소의 농도는 0.04～1.3 ppm(Muehling, 1970; Goedseels, 1973; Hartung and Phillips, 1994)이었다. 그러나 나머지 CH_3SH, DMS, DMDS에 관한 국내외의 선행 연구 보고는 거의 미비한 단계라 비교가 불가능하였다. <Table 4>에는 제시되지 않았지만 실험 기간 중 첨가제 살포 전 돈사 내부와 외부의 평균 온도 및 상대습도는 각각 25℃와 29℃, 65%와 60%로 차이가 크지 않았다. 하지만 살포 후 24시간까지 온도의 경우는 큰 차이가 없었으나, 상대습도는 1시간까지 증가하여 외부와 약 10% 가량 차이를 보인 후 외부와 비슷한 수준으로 감소하였다.

2. 정량 평가에 근거한 악취 저감 효율

<Fig. 1>은 평가 대상 7가지 악취 저감 첨가

Table 4. Level of odor in pig building before spraying additives

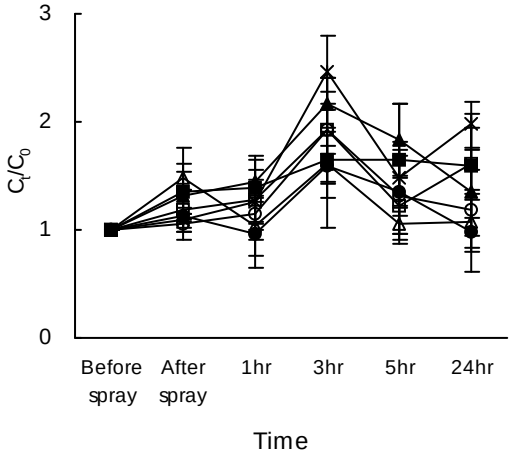
		Odor			Odorous compounds				
		[1)]Conc.	[2)]Inte.	[3)]Offe.	NH_3	H_2S	CH_3SH	DMS	DMDS
					ppm	ppb			
Water	Mean	265	3.33	4.00	3.97	34.43	7.78	2.45	1.24
	Std.	58	0.6	0.3	0.9	10.3	1.1	0.5	0.4
Salt water	Mean	246	3.83	3.83	7.5	37.37	3.13	3.08	1.08
	Std.	39	0.2	0.2	1.13	17.3	0.8	0.8	0.3
Digested manure	Mean	275	3.33	3.50	6.4	36.06	1.94	3.34	1.49
	Std.	112	0.4	0.2	0.78	18.0	0.5	1.3	0.3
Microbial additive	Mean	226	3.33	3.50	3.6	28.20	1.87	2.54	1.08
	Std.	77	0.5	0.7	0.42	12.4	0.6	0.5	0.5
Soybean oil	Mean	287	3.50	3.50	3.7	57.08	18.23	5.27	2.38
	Std.	93	0.2	0.2	0.93	14.9	4.6	2.1	0.7
Artificial spice	Mean	282	4.00	3.50	5.7	37.08	8.42	4.53	1.05
	Std.	86	0.7	0.7	1.7	13.8	2.3	1.2	0.7
Essential oil	Mean	263	3.83	3.83	2.13	34.08	6.28	3.47	1.43
	Std.	75	0.4	0.2	0.6	10.2	1.8	1.3	0.5
Total	Mean	264	3.59	3.67	4.71	37.76	6.81	3.53	1.39
	Std.	21	0.3	0.2	1.9	9.1	5.7	1.0	0.5
	Max	287	4.00	4.00	7.46	57.08	18.23	5.27	2.38
	Min	226	3.33	3.50	2.13	28.20	1.87	2.45	1.05

[1)]concentration index, [2)]intensity, [3)]offensiveness.

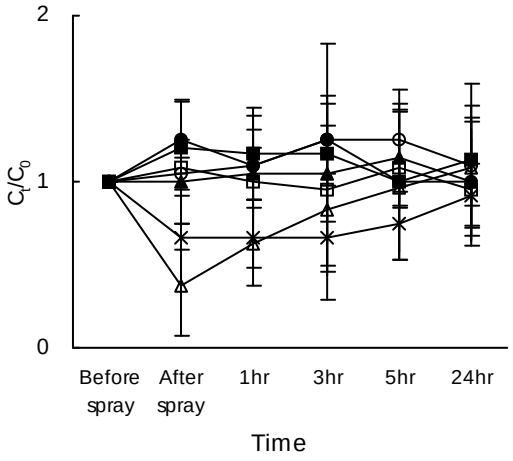
제를 돈사에 살포한 후 시간에 따른 악취 농도 지수, 악취 강도, 악취 불쾌도의 경시적 변화과정을 나타낸 것이다. 인공 식향료와 식물성 천연향료를 제외한 나머지 첨가제들은 어느 정도 차이는 있지만 전반적으로 악취 정량적 측면에서 살포 후 1~3시간까지 오히려 악취 발생을 증가시키는 결과를 보였다. 이러한 결과는 전술한 돈사내의 상대습도와 연관되어 설명할 수 있다. 즉, 물과 혼합된 첨가제가 살포된 후 1시간까지 실험돈사의 습도를 높게 유지하기 때문인 것으로, 돈사 내부의 습도가 높으면 악취 발생이 증가된다는 연구(Korthals et al., 1988; Watts, 1999)와 일치된 결과라 사료된다. 살포 후 3시간 이후부터는 첨가제의 종류에 관계없이 악취 농도 지수, 악취 강도, 악취 불쾌도 모두 초기 농도와 비슷한 수준을 보여 돈사내 악취에 대한 첨가제의 작용 효과가 긍정적이건 부정적이던 간에 최대 3시간 정도 유지됨을 알 수 있었다. 돈사내 악취 발생과 관련하여 첨가제의 작용 효과가 지속적이지 못한 원인은 환기에 의해 돈사 내부 공기 중에 잔존해 있는 첨가제가 외부로 배출되거나 외부 공기의 유입으로 돈사 내부가 희석되었기 때문이라 사료된다. 또한 돈사 내부의 환경 요인들, 즉 온도, 상대습도 및 돼지의 행동성 등이 복합적으로 첨가제의 악취 저감 능력에 잠재적으로 영향을 주었기 때문이라 판단된다.

Zhang(1997)과 Jacobson(1998)은 돈사 내부에 콩기름을 살포하면 악취 발생을 효과적으로 저감시킬 수 있다고 보고했는데, 이는 콩기름의 살포가 돈사 내부의 악취 원인 물질을 흡착하여 공기 중으로 이동하는 먼지(Hammond et al.,

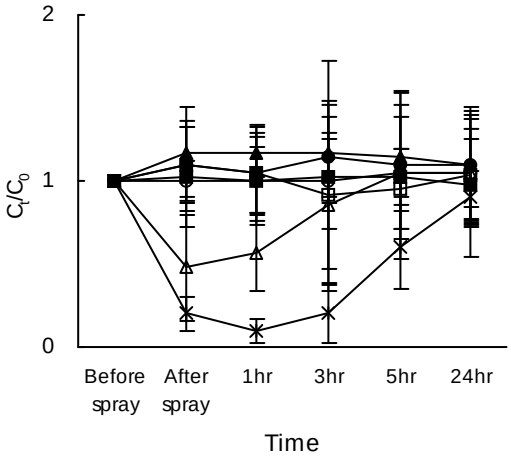
1981; Hartung, 1986; Bottcher, 2001)의 농도를 현저히 줄이기 때문이라 판단된다. 하지만 관능법을 통해 측정된 악취 강도와 악취 불쾌도 측면에서 본 연구 결과는 기존의 보고와 반대인 것으로 분석되었다. 사람의 후각을 통해 인지되는 악취는 여러 악취 원인 물질들이 복합적으로 상호 작용하여 나타나는 단순한 오염물질이 아니기 때문에(Dorling, 1977) 콩기름이 돈사 내부의 악취를 은폐하거나 저감하는 첨가제로서의 역할을 한다고 단순히 결론내리기에는 문제가 있다. 본 연구 결과에 근거한다면 오히려 콩기름의 살포가 악취 원인 물질들의 상호작용을 통한 상승효과를 유도한다고 볼 수 있다.



(a) Odor concentration index



(b) Odor intensity



(c) Odor offensiveness

—■— : Tap water —□— : Salt water —●— : Digested manure —○— : Microbial additive —▲— : Soybean oil —△— : Artificial spice —✕— : Essential oil

Fig. 1. Time-based reduction rate of odor after spraying the different additives

악취 은폐제로 알려져 있는 인공 식향료와 식물성 천연향료는 악취 강도와 불쾌도를 현저히 저감하는 것으로 본 연구를 통해 밝혀졌으며, 이는 기존의 몇몇 연구자들의 결과들(Ritter et al., 1975; Smith et al., 1980; Varel and Miller, 2001)과도 일치하였다. 그러나 악취 은폐 효과의 지속성 측면에 있어 인공 식향료는 살포 후 3시간까지 유지된 반면, 식물성 천연향료는 24시간까지 상대적으로 오랜 기간 동안 유지되었다. 일반적으로 악취 은폐제는 악취가 발산하는 불쾌도보다 더 강한 향을 내는 아로마틱 오일(aromatic oil)들의 복합물로 살포시 돈사 악취를 효과적으로 은폐시킬 수 있으나(McCrory and Hobbs, 2001), 돈사 피트에 저장되어 있는 돈분뇨 슬러리내 토착 미생물들에 의해 쉽게 분해되기 때문에 악취 저감 효과의 지속성이 짧은 것으로 보고되고 있다(Smith et al., 1980; Warburton et al., 1980). 따라서 악취 저감 지속 효과가 상대적으로 낮은 인공 식향료나 식물성 천연향료를 돈사내에 살포할 때에는 적정 수준보다 환기

율을 약간 낮추거나 피트내 돈분뇨 슬러리를 최대한 외부로 배출시킨 조건하에서 더욱 효율적인 악취 저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

평가대상 모든 첨가제에 대해 악취 농도 지수는 살포 전보다 살포 후에 더 높은 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에 이용된 악취 자동 센서기가 악취를 포함한 다른 모든 냄새 및 향을 구분없이 일률적으로 하나의 것으로 인지한 결과이며, 따라서 돈사내 악취와 더불어 첨가제 자체가 보유하고 있는 냄새 및 향을 동시에 합산하여 나타낸 수치라 사료된다. 일반적으로 악취 농도는 악취 시료와 무취 공기의 희석 비율을 통해 인간의 후각이 감지할 수 있는 최소 농도라고 정의하고 있으며(Smith and Watts, 1994; Clanton et al., 1999; Lim et al., 2001), 재현성과 객관성을 담보할 수 있는 농도 평가를 위해서는 고도로 훈련된 악취 판정원, 표준화된 평가 절차 및 무취실 등의 기반 시설이 필수적이다. 그러나 본 연구는 악취 농도 측정시 사용되는 무취실의 부재를 극복하고자 이에 대한 대체 방법으로 악취 자동 센서기를 사용하였으나 정확한 악취 농도의 평가에는 다소의 한계성이 있다고 판단되어 향후 추가 연구 수행시에는 관능법에 근거한 측정 방법을 적용해야 될 것으로 사료된다.

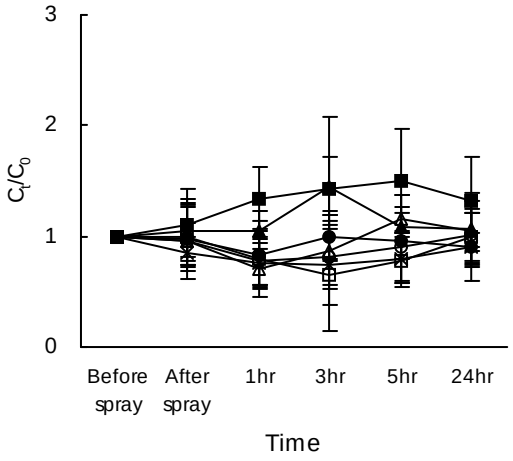
3. 정성 평가에 근거한 악취 저감 효율

<Fig. 2>는 평가 대상 7가지 악취 저감 첨가제를 돈사에 살포한 후 시간에 따른 돈사내 대표적 악취 원인 물질들의 경시적 변화율을 보여주고 있다. 암모니아의 경우 소금물, 고온 호기성 분뇨 처리수 및 미생물제제를 살포하였을 때 살포 전의 초기 농도보다 저감되는 현상이 관찰되었으나 다른 첨가제들은 암모니아 저감 효과가 상대적으로 미약하였다. 황 계열 악취 물질의 경우 식물성 천연향료가 상당한 저감 효과를 보였으나, 나머지 첨가제들은 상대적으로 초기 농도와 비슷한 수준을 유지하거나 오히려 증가시키는 것으로 분석되었다.

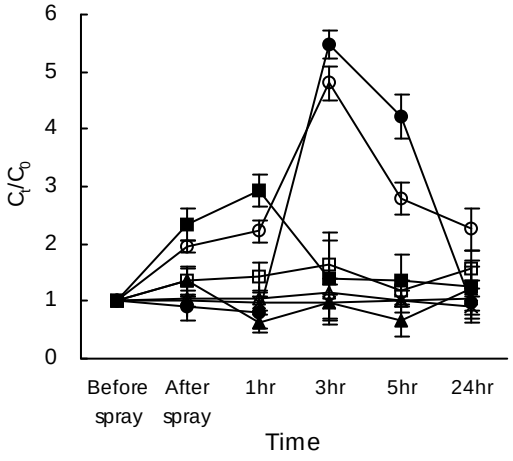
물의 살포는 본질적으로 악취의 정성 평가 측면에서 현저한 저감 효과가 관찰되지 않았다. 소금물은 암모니아에 대해 살포 후 시간 경과에 따른 저감율이 다른 첨가제에 비해 상대적으로 높았는데, 이는 소금물의 염소 이온이 피트 슬러리내 암모늄 이온과 결합, 수용액 상태로 존재하게 하여 대기 중으로의 암모니아 발생을 억제했기 때문이라 판단된다. 고온 호기성 분뇨 처리수와 미생물제제 또한 암모니아 제어 효과를 어느 정도 보였으나, 황 계열 악취 원인 물질을 근본적으로 저감시키지 못한 것으로 나타나 돈사내 악취 저감을 목적으로 사용하기에는 효율적이지 못한 것으로 판단된다.

본 연구에 적용된 미생물제제는 악취물질 중 황화수소에는 저감 효과가 전혀 없었고, 암모니아, DMS, DMDS에는 아주 경미한 저감 효과가 관찰되긴 하였으나, 몇몇 연구자들이 제기한 돈사 악취 제어 측면에서의 미생물제제 효과에 대한 의구심(Ritter, 1989; Zhu et al., 1997)은 본 연구를 통해서도 재확인 된 결과라 사료된다. 콩기름과 인공 식향료의 살포가 H_2S와 DMS의 저감에 미미하나마 어느 정도 기여한 것으로 분석되었으나, 이것들 또한 고온 호기성 분뇨 처리수나 미생물제제와 마찬가지로 돈사내 악취를 효과적으로 저감시킬 수 있는 첨가제라 판단되지 않는다. 현재로서는 이들 4가지의 첨가제들이 각각의 악취 원인 물질을 어떠한 방식으로 저감시키는 지에 대한 명확한 메카니즘이 제시되지 못하고 있다. 다만 돈사내 이들 첨가제의 살포가 피트내 저장되어 있는 돈분뇨의 성상 및 pH를 변화시켜 악취 발생에 관여하는 미생물 종의 변형을 유도한 결과라 추정될 뿐이다.

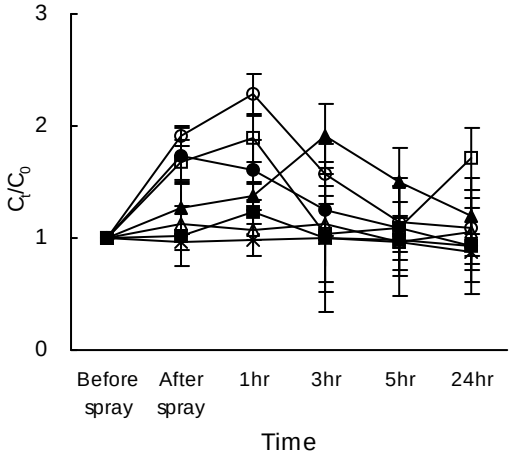
본 연구를 통해 평가된 악취 저감 첨가제 중 식물성 천연향료의 돈사 악취 저감 효과가 가장 현저한 것으로 나타났다. 비록 식물성 천연



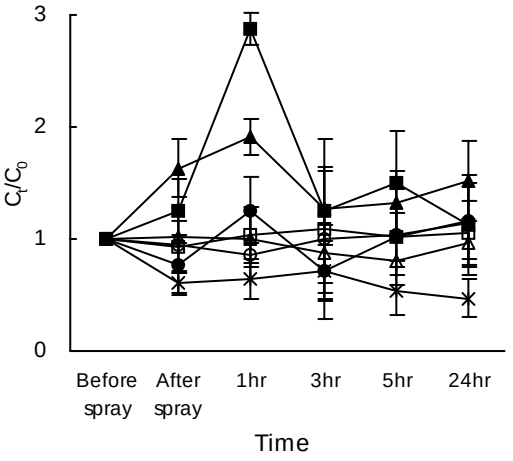
(a) NH_3



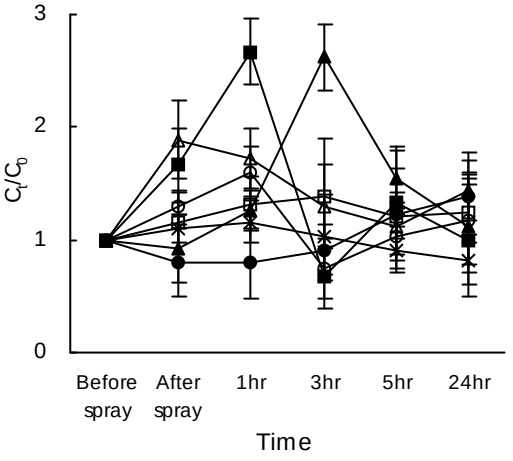
(b) H_2S



(c) CH_3SH



(d) DMS



(e) DMDS

—■— : Tap water —□— : Salt water —●— : Digested manure —○— : Microbial additive —▲— : Soybean oil —△— : Artificial spice —✕— : Essential oil

Fig. 2. Time-based reduction rate of odorous compounds after spraying the different additives

향료의 살포가 돈사내 암모니아의 농도를 저감하는데 큰 역할을 하지는 못했지만, 다른 첨가제들과 비교하여 황 계열 악취 원인 물질 뿐만 아니라, 이미 언급한 악취 정량적 측면에서도 상당한 저감 효과를 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 식물성 천연향료는 돈사내 악

취 은폐제로서의 역할 뿐 아니라, 황 계열 악취 원인 물질을 생성하는 분뇨내 토착 미생물들의 활성 억제제(Varel and Miller, 2001)로서의 역할도 하는 것으로 사료된다. 이러한 추정은 악취 감지 농도가 암모니아 보다는 황화수소와 높은 양의 상관성을 보인다는 Fakhoury 등(2000)의 연구 결과에 의해서도 뒷받침 될 수 있다.

Ⅳ. 요 약

본 연구는 지금까지 돈사 악취 제어를 목적으로 이용되었던 여러 종류의 첨가제를 살포 방법을 통해 실제 돈사 현장에 적용하여 악취 저감 효율 및 지속성을 비교 평가하기 위해 수행되었다. 소금물, 인공 식향료, 식물성 천연향료를 제외한 나머지 4개의 첨가제는 살포 전과 후의 악취 저감 현상이 뚜렷이 관찰되지 않았다. 소금물의 경우 특히 암모니아 농도의 시간에 따른 저감율이 현저했는데, 이는 소금물의 염소 이온이 피트 분뇨내 암모늄 이온과 결합, 수용액 상태로 존재하게 하여 대기 중으로 암모니아 발생을 억제했기 때문이라 판단된다. 인공 식향료의 경우 악취 원인 물질 농도의 저감 현상은 보이지 않았으나, 관능법으로 평가된 악취 강도와 불쾌도 측면에서는 상당한 제어 효과가 관찰되었다. 이러한 현상은 인공 식향료가 돈사내 피트 슬러리에서 발생되는 악취 원인 물질을 분해한다기 보다는 돈사내 악취 은폐제로써 작용하여 지속성은 짧지만 효율적인 악취 저감 작용을 한 것으로 사료된다. 식물성 천연향료의 경우 악취 강도와 불쾌도, 황 계열 악취 물질의 저감 효과가 다른 첨가제에 비해 상대적으로 월등하게 나타났다. 인공 식향료와는 달리 식물성 천연 향료는 은폐 효과와 더불어, 분뇨내 황 계열 악취 원인 물질을 생성하는 혐기성 미생물 군집의 생장을 제어하는 antimicrobial agent로서의 역할도 하는 것으로 사료된다. 그러나 악취 센서기를 통해 측정된 악취 농도는 위와는 상반된 결과가 나타났는데, 이는 악취 센서기가 인공 식향료와 식물성 천연향료가 자체적으로 지닌 향 성분도 악취의 한 범주로 인식되어 유도된 결과라 판단된다. 본 연구를 통해 나타난 결과는 현장에서 수행된 분석 결과로 실험 당일 날의 외부 기후 상황 및 돈사내 환경 여건에 따른 돼지들의 반응 행동 양상에 따라 실험 결과에 상당한 영향을 준다는 사실을 염두하여 고찰할 필요가 있다.

Ⅴ. 인 용 문 헌

1. Aarnink, A. J. A., Roelofs, P. F. M. M., Ellen, H. and Gunnink, H. 1999. Dust sources in animal houses. Proceedings on dust control in animal production facilities, pp. 34-40. Department of Agricultural Engineering, Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsens, Denmark.
2. Amon, M., Dobeic, M., Phillips, V. R., Sneath, R. W., Misselbrook, T. M. and Pain, B. F. 1997. A farm scale study on the use of clinoptiolite zeolite and De-Odorase for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. Bioresource Technology. 61:229-237.
3. Bottcher, R. W. 2001. An environmental nuisance: odor concentrated and transported by dust. Chemical Senses. 26:327-331.
4. Chang, C. W., Chung, H., Huang, C. F. and 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.
5. Clanton, C. J., Schmidt, D. R., Nicolai, R. E., Goodrich, P. R., Jacobson, L. D., Janni, K. A., Weisberg, S. and Buckel, J. A. 1999. Dynamic olfactometry variability in determining odor dilutions-to-threshold. Transactions of the ASAE. 42:1103-1112.
6. Clark, S., Rylander, R. and Larsson, L. 1983. Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust in

poultry and swine confinement buildings. American Industrial Hygiene Association Journal. 44:537-541.

7. Dorling, T. A. 1977. Measurement of odour intensity in farming situations. Agriculture and Environment. 3:109-120.
8. Emanuel, A. G. 1965. Potassium permanganate offers new solutions to air pollution control. Air Engineering. September 1965.
9. Faith, W. L. 1964. Odour control in cattle feed yards. Journal of Air Pollution and Control Association. 1411:459-460.
10. Fakhoury, K. J., Heber, A. J., Shao, P. and Ni, J. Q. 2000. Correlation of odor detection thresholds with concentrations of hydrogen sulfide, ammonia and trace gases emitted from swine manure. ASAE Annual International Meeting. No. 00-4047. Milwaukee, Wisconsin, 9-12 July.
11. Goedseels, V. 1973. De evaluate van de odorantenemissie in relatie tot de infrastructuur van intensieve veebedrijven. Het Ingenieursblad. 42:557-564.
12. Hammond, E. G., Fedler, C. and Smith, R. J. 1981. Analysis of particle-borne swine house odours. Agriculture and Environment. 6:395-401.
13. Hartung, J. 1986. Dust in livestock buildings as a carrier of odours. In: Nielsen, V. C., Voorburg, J. H. and L'Hermite, P. (eds), Odour Prevention and control of organic sludge and livestock farmings. Elsevier, London, pp. 321-332.
14. Hartung, J. and Phillips, V. R. 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. Journal of Agricultural Engineering Research. 57:173-189.
15. Headon, D. R. and Walsh, G. 1993. Yucca schidigera extracts and ammonia control. p. 686-693. In E. Collins ans C. Boon (ed.) Livestock Environment Ⅳ, 4th Int. Symp. Univ. of Warwick, Coventry, UK. 6-9 July Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.
16. Heber, Al. (undated) Controlling ammonia gas in swine buildings. Agricultural and Biological Engineering, Animal Science and Industry, Purdue University.
17. Hollenback, R. C. 1971. Manure odor abatement using hydrogen peroxide. Rep. no. 5638-R. Food Machinery Corp., Princeton, NJ.
18. Jacobson, L. 1998. The effect on odor emisssions when sprinkling oil for dust control inside pig buildings. University of Minnesota. Final report, Sept. 1.
19. Jacobson, L., Johnston, L., Hetchler, B. and Janni, K. 2000. Odor emissions control by sprinkling oil for dust reduction in pig buildings. Trans of the ASAE. pp. 413-420.
20. Kibble, W. H., Raleigh, C. W. and Sheperd, J. A. 1972. Hydrogen peroxide for industrial pollution control. In Proc. of the 27th Purdue Ind. Waste Conf., Purdue Univ., Lafayette, IN. Purdue Univ. Publ., Lafayette, IN.
21. Koerkamp, P. W. G., Metz, J. H. M., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K. H., Pederson, S., Takai, H., Johnsen, J. O. and Wathes, C. M. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. Journal of Agricultural Engineering Research. 70:79-95.
22. Korthals, R. L., Christianson, L. L. and Muehling, A. J. 1988. Assessing and improving environmental conditions in commercial swine facilities. Proceedings of International Livestock Environment Symposium Ⅲ, Ontario, Canada, 25-27 April. ASAE.
23. Lim, T. T., Heber, A. J., Ni, J. Q., Sutton, A. L. and Kelly, D. T. 2001. Characteristics and emission rates of odor from commercial swine nurseries. Transactions of the ASAE. 44:1275-1282.
24. Mackie, R. T., Stroot, P. G. and Varel, V. H.

1998. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. Journal of Animal Science. 76:1331-1342.

25. McCrory, D. F. and Hobbs, P. J. 2001. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. Journal of Environmental Quality. 30:345-355.
26. Muehling, A. J. 1970. Gases and odors from stored swine wastes. Jouranl of Animal Science. 30:526-530.
27. Ni, J. Q., Heber, A. J., Lim, T. T., Diehl, C. A., Duggirala, R. K., Haymore, B. L. and Sutton, A. L. 2000. Ammonia emission from a large mechanically-ventilated swine building during warm weather. Journal of Environmental Quality. 29:751-758.
28. Nicolai, R. and Kevin, J. 1997. Biofilter for swine production facilities. University of Minnesota Extension Service, February.
29. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). 1994. NIOSH Manual of Analytical Method(4th Ed.). Cincinnati, Ohio.
30. North Carolina State University. 1997. Biofilter for removing odorous compounds in exhaust from swine buildings. Animal and Poultry Waste Management Research: A Progress Report, July 15.
31. Ritter, W. F. 1989. Odour control of livestock manure: State-of-the-art in North America. Journal of Agricultural Engineering Research. 42:51-62.
32. Ritter, W. F., Collins, N. E. and Eastburn, R. P. 1975. Chemical treatment of liquid dairy manure to reduce malodours. p. 381-384. In: Managing Livestock Manure, Proceedings of 3rd International Symposium on Livestock Manure. Publ. PROC-275. ASAE, St. Joseph, MI.
33. Smith, K. A., Drysdale, A. and Saville, D. 1980. An investigation into the effectiveness of some odour control treatments in stored pig manure. Project Report 24. New Zealand Agricultural Engineering Institution, Lincon College, Canterbury, New Zealand.
34. Smith, R. J. and Watts, P. J. 1994. Determination of odour emission rates from cattle feedlots: Part 1, a review. Journal of Agricultural Engineering Research. 57:145-155.
35. Takai, H., Moller, F., Iversen, M., Jorsal, S. E. and Bille-Hansen, V. 1995. Dust control in pig houses by spraying rapeseed oil. Transactions of the ASAE. 38:1513-1518.
36. United States Department of Agriculture, Agricultural Science and Education Impact. 1998. Greater harmony between agriculture and the environment. February 9.
37. Varel, V. H. and Miller, D. N. 2001. Plant-derived oils reduce pathogens and gaseous emissions from stored cattle waste. Appl. Environ. Micorbiol. pp. 1366-1370.
38. Warburton, D. J., Scarborough, J. N., Day, D. L., Muehling, A. J., Curtis, S. E. and Jensen, A. H. 1980. Evaluation of commercial products for odour control and solids reduction of liquid swine manure. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI. pp. 309-313.
39. Watkins, B. D., Hengemuehle, S. M., Person, H. L., Yokoyama, M. and Masten, S. J. 1997. Ozonation of swine manure wastes to control odors and reduce the concentrations of pathogens and toxic fermentation metabolites. Ozone Science and Engineering. 19:425-437.
40. Watts, P. J. 1999. Development of a pig effluenct emissions database and analysis of promising control strategies. Final report of Project No. FSE 1/1503 to FSA Environmental, November.
41. Wu, J. J., Park, S. H., Hengemuehle, S. M., Yokoyama, M., Person, H. L. and Masten, S. J. 1998. The effect of storage and ozonation on the physical, chemical, and biological characteristics of wine manure slurries. Ozone Science and Engineering. 20:35-50.

42. Zhang, Y. 1997. Sprinkling oil to reduce dust, gases, and odor in swine buildings. MWPS AED-42, p. 8. 122 Davidson Hall, Iowa State University. Ames, IA.
43. Zhang, Y., Tanaka, A., Barber, E. M. and Feddes, J. J. R. 1996. Effects of frequency and quantity of sprinkling canola oil on dust reduction in swine buildings. Transactions of the ASAE. 39(3); 1077-1081.
44. Zhu, J., Bundy, D. S., Xiwei, L. and Rashid, N. 1997. The hindrance in the development of pit additive products for swine manure odor control-A review. Journal of Environmental Science and Health. A 32:2429-2448.
45. Zhu, J., Riskowski, G. L. and Torremorell, M. 1999. Volatile fatty acids as odour indicators in swine manure-A critical review. Transactions of the ASAE. 42:175-182.

(접수일자 : 2006. 3. 20. / 채택일자 : 2006. 5. 15.)