

양돈 분뇨의 악취특성 및 문제 해결을 위한 환경개선제 사용 현황 및 전망

이은영* · 임정수

수원대학교 환경에너지공학과

Current Status and Perspectives of Livestock Environment Improving Agents for the Characteristics and Control of Swine Manure Odor. Lee, Eun Young* and Jung Soo Lim. *Department of Environmental Energy Engineering, The University of Suwon* - The trend toward intensification of livestock raising, confinement in barn has increased in recent days. The move toward concentrated animal feeding operations reduces per unit costs and permits farmers to better earnings in spite of fluctuation in hog prices. However, this also results in outbreaks of a lot of animal wastes and odorous compounds. Emissions of these malodorous compounds produced from concentrated animal feeding operations have become a concern for both public and regulatory agencies and are causing the complaints of residents in rural area. For competitive sustainable swine production industry, odor management plans systematically identify potential odor sources, determine control strategies to reduce these odors, and establish criteria for implementing these strategies. Since, the malodor originates from microbial activities involving a variety of microbes, understanding the characteristics of the microflora present in swine manure is essential for developing effective odor control techniques. This paper reviews the available information in the literature related to the types of bacteria in swine manure, the potential odorous compounds associated with different bacterial genera, and the corresponding techniques used to control odor based on microbiological principles.

Key words: odor, swine manure, Odor control, Livestock environment improving agents

서 론

최근 들어 진행 되어 온 가축 사육의 밀집화와 밀폐화 경향은 대기오염문제 특히, 농가 주변에서 빈번하게 제기되는 악취 민원을 야기하고 있다. 우리나라는 2005년부터 시행된 악취 방지법에서 악취관리대상을 특정 '시설'에서 '지역'으로 확대하고, 악취배출 기준 및 관리를 강화함에 따라 축산농가에서는 양돈업의 지속성과 생산성을 유지하면서 수익성 면에서 저렴하고 간편한 악취 절감노력과 친환경적인 가축 분뇨 처리기술의 개발이 시급히 요구되고 있다[70].

일반적으로 양돈 분뇨와 같은 유기물로부터 생성되는 악취는 미생물의 활동의 결과이다. 즉, 미생물은 악취를 생성하기도 하고 악취를 저감하기도 하는 두 가지의 얼굴을 가진 생물이다. 악취의 생성 측면에서는 분뇨에 존재하던 혐기성 세균의 발효의 과정 중 혹은 최종 산물로서 휘발성 유기물질이 생성되는 것이고, 악취의 저감이란 측면에선 미생물의 활성을 근간으로 하여 많은 기술이 발달해온 것이 사실이다. 따라서, 악취의 조절 및 저감을 위한 기술개발을 위해 돈분뇨에서 발생하는 악취의 원인이 되는 미생물에 대하

여 알아보고, 그 악취문제의 해결을 위한 다양한 방법들을 살펴보고자 한다.

돈분뇨에서 자생하는 미생물(indigenous genera)들을 살펴보고, 그것들을 점유율에 의거하여 우점종에서 소수의 그룹까지로 나열하여보면 다음과 같다: Gram-positive cocci (39%), *Eubacterium*(27%), *Lactobacillus*(20%), Gram-negative rods(*Escherichia*, 8%), *Clostridium*(4%), 그리고 그 외의 소수 그룹으로서 *Propionibacterium acnes*, *Bacteroides* (<2%) 등이 있다. 이들을 살펴보면 다양한 미생물 군이 분변에 존재하지만 주 종은 혐기성 혹은 통성혐기성 균이 주종을 이룬다는 것을 알 수 있다[90]. 이들 중 *Streptococcus* sp. 및 *Peptostreptococcus* sp. 등이 분변 내의 암모니아와 휘발성 지방산을 주로 생산하는 종류이며, *Eubacterium* sp. 역시 다량의 부티르산, 포름산, 아세트산등을 생산하는데 관여한다. *Lactobacillus* sp.는 주로 젖산을 분비하고 장내 정상 작용에 관여하기 때문에 악취 생성에서는 중요한 역할을 하지 않는다. 또 다른 악취 생성에 중요한 역할을 하는 그룹으로는 *Clostridium* sp.가 있는데, 이들은 NH₃, H₂S, fatty acid 및 amine을 다량 생성하고 indole과 phenol의 생성에도 관여하는 것으로 알려진다[90]. 따라서, 효과적인 악취저감을 위한 기술을 살펴보기에 앞서, 축산 악취의 원인 물질 및 미생물에 대한 파악 및 그 간의 연구동향을 살펴보기로 하겠다.

*Corresponding author

Tel: 82-31-220-2614, Fax: 82-31-220-2533

E-mail: ley@suwon.ac.kr

축산악취의 주 원인 물질

양돈 분뇨에서 발생하는 악취의 원인 물질을 찾고자 하는 많은 연구가 진행 되어져 왔다. 분석된 악취유발 물질은 총 168가지이며, 그 중 30여 가지의 물질이 0.001 mg m⁻³이하의 최소감지농도를 가지고 있어 악취의 주요 원인 물질이 된다[83]. Schaefer 등(1974)[93]은 양돈장 폐기물에서 발생하는 악취를 농도에 따라 분류할 때 p-cresol(64%), phenol(26%), n-butyric acid(8.4%), skatole(1.4%), indole(0.44%)와 diacetyl(0.02%)으로 차지한다고 하였다. Yasuhara 등(1984)[118]은 돼지의 돈분은 2-methyl propanoic acid, butanoic acid, 3-methylbutanoic acid, pentanoic acid, p-cresol, indole, 3-methylindole, dimethylsulphide, dimethyl-disulfide, butanol, 3-methylbutanol 등이 혼합된 냄새와 유사하다고 하였다. 이들 주요한 가스상의 물질을 화학적 특징에 의거하여 크게 암모니아와 휘발성 아민, 휘발성 황화합물, 인돌그룹, 및 휘발성 저급지방산의 4 그룹으로 구분할 수 있다[66].

양돈장에서 발생하는 악취는 돼지의 성장단계별로 다른데 분만돈이 31%, 모돈이 23%로 가장 심하며, 사육시설 별 분뇨처리 방식에 따른 악취는 슬러리 처리가 약 40%로 가장 높다[51]. 대표적인 악취물질인 돈사 내 NH₃ 가스의 농도는 5.7 ppmv로 가장 높고, H₂S가스의 경우 0.9 ppmv으로 그 다음이나, 부지경계선에서의 NH₃가스와 H₂S가스의 농도는 2.5 ppmv, 0.038 ppmv으로 NH₃가스는 약 56%가 감소하였고, H₂S가스의 경우 약 96%가 감소하였다[119]. 이처럼, 돈사 작업장 내 NH₃가스와 H₂S가스의 농도 및 발생량은 다른 작업장에 비해 상대적으로 높으며, 특히 외부 기온이 극단적으로 저하되는 동절기 시 실내 온도유지를 위해 최소 환기율을 적용하는 경우 노출기준을 초과하여 작업자의 체내 유해물질로 작용할 수 있다[17, 82].

암모니아 및 휘발성 아민

휘발성 아민에는 putrescine, cadaverine, methylamine, ethylamine등이 있다. 아미노산이 탈 아미노화하는 과정에서 putrescine, cadaverine 및 암모니아(NH₃)를 생성하는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 과정에 관여하는 미생물 군으로는 *Streptococcus*, *Peptostreptococcus*, *Bacteroides* 등이 있으며, 또 다른 암모니아 발생원으로는 요소와 질산이 있다[100]. 돈사 내 대표적인 유해가스이자 악취물질 중 하나인 NH₃는 무색이며, 자극성이 있는 유동성 가스이며, 수용성으로 물에 쉽게 녹으며, 낮은 농도로도 사람의 코로 감지할 수 있다. 주로 분뇨의 분해 과정 중에 발생하고 고온에서 발생량이 촉진된다. 수용성이기 때문에 습도가 높은 경우 NH₃ 가스의 농도는 감소된다. NH₃ 가스는 습한 체조직을 자극하여, 낮은 농도에서도 눈, 폐 등이 자극을 받는다. 돈사 내 NH₃ 가스의 발생 정도를 관능적으로 보면 눈이 따갑다든지, 돼지들의 눈이 충혈되는 증상이 나타나면 돈사 내 NH₃ 가스의

발생이 높다고 판단할 수 있다. 또한 미국 EDF(The Environmental Defence Fund)의 조사에 의하면 돼지분뇨의 질소원 중 약 79.5%가 NH₃ 가스로 기화되는 것으로 평가되고 있으며, NH₃ 가스가 사람과 돼지의 건강에 미치는 영향을 Table 1에 제시하였다[14]. NH₃ 가스의 노출에 따른 신체적 증상을 살펴보면 5~50 ppmv에서 냄새를 감지하고, 100~500 ppmv에서는 눈의 염증, 2,000~3,000 ppmv에서는 재채기 및 침 흘림, 그리고 10,000 ppmv 이상에 노출되면 즉시 사망하게 된다[8]고 한다.

분뇨에서 발생하는 주요 악취 물질인 NH₃ 가스는 축산 농가뿐만 아니라 주변의 인근농가에 까지 많은 피해를 주고 있으며, 이러한 NH₃ 가스의 효율적 제거가 매우 중요하다. 가축의 장관 내에서 분비된 요소가 요소분해 효소에 의하여 NH₃ 가스로 분해되고[115], 발생된 NH₃ 가스는 가축의 성장을 저해할 수 있으며, 밀폐된 공간에서 15 ppmv의 NH₃ 가스는 호흡기 계통의 질병을 유발할 수 있다고 보고되어있다[38]. 따라서 생균제와 복합생균효소제 급여하여 돼지의 장관 내 질소대사에 영향을 미쳐 NH₃ 가스의 발생을 줄이는 시도가 있었다[3]. 또한, 돈분뇨의 pH는 NH₃ 가스탈기에 많은 영향을 끼치는데 pH 10.5 이상이 가장 적합하다[6, 64, 114]. 그러나 pH를 높이기 위해서는 NH₃ 가스탈기를 위한 운전비용이 과다하게 증가한다는 문제가 있다[99]. 선행된 연구결과에 의하면 일반 돈사 내부의 NH₃ 가스의 농도는 3.0~18 ppmv로 보고되어 있다[13, 62]. 돈사 내에서 외부로 방출된 NH₃는 지구 온난화의 원인 물질일 뿐만 아니라, 비를 통해 육지와 수계에 도달하면 토양의 산성화 및 하천의 부영양화를 초래하는 물질이기도 하다[10, 34, 105]. 이러한 문제의 심각성 때문에 미국과 유럽에서는 상당 수의 돈사 작업장을 대상으로 작업자 노출 정도를 파악하기 위하여 NH₃ 가스와 H₂S 가스의 현장 조사를 수행하고 있으며[19, 25], 대기 및 토양 환경을 보호하기 위한 측면에서 외부로 방출되는 가스발생의 배출원 단위 산정에 관한 연구도 동시에 수행하고 있다[30, 62].

Table 1. Symptoms in humans and swine after exposure to ammonia gas.

Concentration (ppmv)	Symptoms
Humans	
5-20	Red, upper respiratory irritation
100	Continual irritation to eyes, respiratory tract and mucosa surfaces
500	Eyes, upper respiratory irritation
5,000	Rapid breathing, respiratory spasms, suffocation
> 10,000	Rapid death
Swine	
50	Increased susceptibility to pneumonia and other respiratory problems
100	Loss of appetite, sneezing nervousness
> 300	Mouth and snout irritation, hardness of breath

휘발성 황화합물

돈사 내 대표적인 유해가스이자 악취물질 중 다른 하나인 황화합물로는 sulfide와, ethyl-, methyl-mercaptans(멜캅탄, CH₃SH)이 있다. 황화합물이 세균에 의해 발생하는 기작은 두 종류인데, 황산염의 환원과정 및 황을 함유한 아미노산의 대사과정에서 생성된다. 황산염의 환원은 동화작용과 이화작용에서 모두 일어나는데, 그 중 동화작용에선 세포의 생합성을 위해 충분한 양의 환원형 황을 생성한다. 반면에 이화작용에선 황산염을 최종전자수용체로 이용하여 대량의 sulfide를 생성한다[32]. 그 중 황화수소(H₂S) 가스는 유독성 가스이며, 공기보다 무거운 돈사의 슬러리 표면에 깔려 있으며, 그 결과 돈사 내 피트(pit)에 저장되어 있는 분뇨 표면에 주로 높은 농도를 나타내는 경향이 있다[95]. 또한 H₂S 가스는 낮은 수준에서도 전형적인 ‘달걀 썩는 냄새’가 발생하고, 두통, 어지러움, 메스꺼움 등을 유발하는 주요 원인이 되기도 한다. 유독성 H₂S 가스가 사람과 돼지의 건강에 미치는 영향을 Table 2에 제시하였다[14]. 이에 따르면, H₂S 가스에 1 hr 동안 50~100 ppmv로 노출되면 눈의 염증 및 호흡기 이상이 나타나고 8~48 hr 동안 150 ppmv에 노출되면 사망할 수도 있고, 700~2,000 ppmv에서는 즉시 사망하게 된다[8]고 한다. H₂S 가스의 경우 극미량이지만 폐기물 매립장 지역의 일반 사무실내에서도 검출되는 경우도 있다[81]. 우리나라에서는 2005년부터 적용되고 있는 악취방지법에서 H₂S 가스를 악취물질로 규정하고 배출을 규제하고 있는데, 악취방지법에서 정한 악취지정물질의 배출허용기준에 따르면, 공업지역은 0.06 ppmv 이하, 기타지역은 0.02 ppmv 이하로 배출되어야 한다고 규정하고 있다. 따라서 양돈장 부지 밖으로 0.02 ppmv 이상의 농도로 H₂S가스가 배출되지 않도록 이에 대한 대책이 시급한 것으로 판단된다. 양돈장에서 발생하는 H₂S 가스는 외부 평균온도, 돈사 내 정화조의 면적, 돈사 내 공기의 통풍율 및 사료 내 황 함량과 높은 상관관계를 가지고 있기 때문에[3], 효소복합체 처리에 의한 단순한 효과를 기대하는 것에는 한계가 있을 것으로 사료된다.

Table 2. Symptoms in humans and swine after exposure to hydrogen sulfide.

Concentration (ppmv)	Symptoms
Humans	
10	Red, irritated eyes
20	Eyes, upper respiratory irritation
5-100	Headaches, nausea, vomiting, diarrhea
200	Fatigue, paralysis of sense of smell, dizziness
500	Unconsciousness, nervousness, CNS malfunction
> 600	Immediate death
Swine	
20	Fear of light, loss of appetite, nervousness
150-200	Pulmonary edema, shortness of breath, unconsciousness, possible death

선행된 연구결과에 의하면 일반 돈사 내부의 H₂S 가스의 농도는 0.04~1.3 ppmv으로 보고되어있다[36, 31, 72]. 또한 돈 분뇨에서 황을 포함하고 있는 악취물질에 관한 연구에서 H₂S가스가 108.63 ppbv, CH₃SH 가스는 3.12 ppbv, (CH₃)₂S 가스는 0.88 ppbv 그리고, (CH₃CH₂S)₂ 가스는 0.49 ppbv가 발생된다고 보고되어 실제로 작업자들이 느끼는 악취강도는 매우 크다[61].

인들 및 폐늘

인들, 스카톨, 크레졸, 및 4-에틸페놀 등이 돈분에서 발생된다. 페놀과 p-크레졸과 같은 페놀화합물은 동물의 장내에서 티로신과 페닐알라닌과 같은 아미노산을 세균에 의해 분해되는 과정에서 발생된다[48]. 트립토판의 대사 과정에서 인돌아세트이트가 생성되고 이로부터 여러 종류의 세균 군에 의해 스카톨(3-메틸인돌)과 인돌로 전환된다[66]. 이러한 대사과정에 관련된 그룹으로는 *Propionibacterium*, *Escherichia* 와 *Clostridium*이 있다. 이들 인돌류는 최저 감지농도가 인돌, 스카톨, o-크레졸, m-크레졸, 및 페놀이 각각 0.00030 ppmv, 0.000056 ppmv, 0.00010 ppmv, 0.000054 ppmv, 및 0.00028 ppmv의 낮은 최소감지농도를 가진다. 즉, 스카톨은 0.000056 ppmv 이하의 지극히 낮은 농도에서도 후각에 인지되어 불쾌감을 유발할 수 있는 물질로서, 우리가 인지적으로 분뇨냄새로 인식할 수 있는 냄새를 발생한다.

휘발성 저급 지방산

아세트산, 프로피온산, 부티르산, iso-부티르산, 발레르산, iso-발레르산, 카프로익산 등이 여기에 속한다. 이와 같은 휘발성 저급 지방산(VFAs)은 단백질 및 탄수화물의 분해과정에서 발생된다. 소화관내에서, 중성의 pH(pH 6-7)인 환경이 일반적이던 아미노산의 탈아미노화(deamination)가 진행되면, VFAs, CO₂, H₂, NH₃ 가스가 발생된다. 이들 반응에 관련된 미생물 군으로는 *Eubacteria*, *Peptostreptococcus*, *Bacteroides*, *Streptococcus*, *Escherichia*, *Megasphaera*, *Propionibacterium*, *Lactobacilli*, *Clostridium* 등이 있다. VFAs 역시 매우 낮은 최소감지농도를 가진 물질로서 매우 낮은 농도에서도 후각을 자극하는 물질이다. 아세트산, 프로피온산, 부티르산, 발레르산, 및 iso-발레르산의 최소감지농도는 각각 0.0057 ppmv, 0.002 ppmv, 0.00007 ppmv, 0.0001 ppmv 및 0.00005 ppmv 이다. Miller와 Varel(2003)의 보고에 따르면 최근 들어 양돈 분뇨의 주요한 냄새 요인으로 휘발성 유기산(VFA) 및 방향족 물질을 원인으로 제시하기도 하였다[71].

그 외 다른 유해 물질

돈사 내 주요 가스상 오염물질들 중 CO₂, CH₄ 및 N₂O 가스는 발생량이 상대적으로 경미하여 일반적으로 작업장 노출기준을 초과하지 않는 것으로 보고되고 있다[79, 108]. 돈사 내 이산화탄소(CO₂)가스의 농도는 주로 분뇨의 발효과

정과 돼지의 호흡에 의하여 발생된다고 하였는데[74], 이산화탄소는 독성이 매우 강하지는 않지만 사람에게는 산소부족으로 인한 호흡곤란과 질식의 우려가 있으며 농도가 증가하면 호흡장애, 눈 자극, 두통을 유발할 수 있으나 심각하지 않다(Table 3)[14]. 동물에 대한 영향으로는 4,000 ppmv 농도에서 호흡율을 높이고 호흡을 길게 만들며, 7~9% 농도에서는 견디기 힘든 상황이 된다고 하였다[75]. 이 외에도 메탄(CH₄)가스는 분뇨의 혐기적 소화 과정에서 발생되며, 무색, 무취, 무미 기체로 검출이 어렵기 때문에 매우 위험하여, 500,000 ppmv에서 질식을 일으킬 수도 있다(Table 4)[14].

입자상 물질

돈사 내 공기 중 부유 미세입자는 크게 분진과 미생물로 분류할 수 있다[11, 21, 42, 88, 110]. 돈사 바닥 및 공기 중에 분포하고 있는 미생물 및 악취가스 성분은 분진에 쉽게 흡착되며[35, 45, 53, 101], 분진에 흡착된 악취물질은 작업자의 코의 점막에 운반되어 볼레감을 상승시킨다[5, 7]. 그 중 부유미생물은 직경 5 μm 이하의 미세분진에 흡착된 후 작업자와 돼지의 폐포에 도달하여 폐렴, 천식, 기관지염, 비염 등과 같은 호흡기계 질환을 유발시킨다[9, 19, 22, 23, 49, 84, 120]. 이러한 입자상 물질은 동물들에게 제공되는 사료와 그들이 배설하는 분뇨가 주요 발생 원인으로 보고되었다[1, 16]. Schaefer 등(1974)은 terpene을 포함한 70여 가지의 물질이 입자에 포함되어 있는데 이들은 주로 사료 입자에서 비롯되었다고 하였다[93].

돈사 내 먼지의 발생은 대부분 오후 시간대의 기온 상승으로 돼지의 활동영역이 증가되어 돈사 바닥에 침전되어 있던 분뇨 및 사료 찌꺼기가 건조한 상태로 공기 중에 다량 확산되면서 일어나 오전에는 1.04(±0.39) mg/m³, 10^{4.58}(±10^{0.17}) cfu/m³으로, 오후는 2.53(±1.02) mg/m³, 10^{5.65}(±10^{0.70}) cfu/m³

m³, 저녁에는 1.83(±0.64) mg/m³, 10^{5.02}(±10^{0.38}) cfu/m³의 총 분진과 총 부유세균수가 발생된다고 한다[85, 106]. 이는 작업행위가 오후 시간대에 이루어짐을 감안한다면 작업자의 활동에 의한 오염물질들의 발생농도가 더 높아질 가능성도 생각할 수 있다. 반면 오전 시간대에는 대부분의 돼지들이 잠을 자고 있어 활동량이 거의 없고, 저녁 시간대는 잠을 자는 돼지의 수가 오전보다는 적으나 밤이 되면서 기온이 내려가 돼지의 활동이 줄어들어 실내공기 오염물질들의 농도가 하강하는 결과가 나타났다고 보고하였다[58]. 하지만 기존 연구에서 제시한 환경 오염물질인 총 분진과 총 부유세균수는 0.23~2.19 mg/m³, 5.1 log cfu/m³과 비교하면 전반적으로 분석 수치가 높게 나타났다[92, 103]. 이러한 차이는 돈사 내 환경조건을 동일하게 유지하기 위하여 청소 작업을 실험기간 동안 하지 않고 시간이 지날수록 돈사 바닥에 분뇨와 잔사료의 집적현상이 증대되어 주기적으로 청소가 이루어지는 일반 돈사 대상의 연구보다 상대적으로 높게 측정된 것으로 판단된다. 또한 돈사 내 기온이 고온 저습한 상태가 되면 분뇨와 사료입자의 건조 현상이 가속화되어 분진형태로 쉽게 공기 중으로 방출된다. 공기 중으로 방출된 분진입자는 분뇨에서 생성된 가스상의 휘발성 악취성분 물질과 부유미생물을 흡착한 후 확산하거나 침전된다[35, 45, 53, 101].

분진 발생 양상을 결정하는 물리적 요인인 돈사의 온도와 상대습도는 계절에 따른 영향을 받는 것으로 판단된다. 하절기와 동절기 시 돈사 내부의 평균 온도와 상대습도에 차이를 보인 것은 외부 온도 및 상대습도 변화에 따라 각기 다른 환기율이 적용되었기 때문이며, 이러한 돈사 내 물리적 요인의 변화는 돈사 내 분진 발생과의 역학적 관계에 대한 여러 연구자들간의 의견이 서로 일치하지 않고 있으며[29, 40, 44, 78], 이러한 내용을 종합적으로 고찰한 Dawson (1990)에 의하면 실질적으로 돈사 내 분진농도의 감소는 환기에 의한 공기 희석 효과에 의한 것이며[20], 온도와 상대습도는 돼지의 행동성과 돈사 내부의 환경을 변화시켜 분진 발생에 영향을 주는 간접적 인자라 보고하고 있다. 일반적으로 돈사내 분진의 분포 양상은 하부에서 상부로 높아갈수록 농도가 낮아지며[4], 돈사 내와 같이 밀폐된 장소에서의 분진은 가스상 물질과는 달리 공기 중에 오랜 기간 동안 부유하고 있는 것이 아니라, Stoke 법칙에 따라 중력에 의해 다시 바닥으로 침전되기 때문에 일반적인 전체환기의 운용만으로는 효율적으로 제어할 수 없다. 그러므로 향후 돈사 내 작업환경연구에서는 분진 발생량 저감을 통한 악취 및 호흡기계 질병을 예방할 수 있는 관리방안이 필요하다. 이러한 관리방안으로는 분진 발생이 감소할 수 있는 돈사 작업장내 적정수준의 온도와 상대습도의 범위선정이 필요하며 지속적으로 평가가 이루어져야 한다.

Table 3. Symptoms in humans and swine after exposure to carbon dioxide.

Concentration (ppmv)	Symptoms
Humans	
50,000	Headaches, fatigue
> 100,000	Narcotic effect, unconsciousness, dizziness
> 200,000	Rapid death
Swine	
50,000	shortness of breath, rapid breathing
90,000	Uneasiness
> 200,000	Untolerable after one hour

Table 4. Symptoms in humans and swine after exposure to methane.

Concentration (ppmv)	Dangers
50,000-200,000	Explosive
> 500,000	Asphyxiation

악취저감 첨가제의 종류에 따른 환경개선

축산환경개선을 위한 다양한 악취저감제를 이용한 연구가

있었다. 대표적으로 생균제를 이용한 연구가 있는데, 양돈분뇨의 주요악취 물질인 NH_3 가스와 H_2S 가스를 제거하기 위한 방법으로는 미생물제의 첨가가 가장 효과적인 것으로 알려져 있으며, 첨가제 종류에 따라서 60% 이상 제거가 가능하다고 보고되어 있다[51, 55]. 단위가축에 있어 미생물제제의 급여 효과는 여러 연구자들에 의해서 보고되었다[12, 43, 57, 117]. Kim 등(2001)은 미생물제제 발효사료 급여가 육성·비육돈의 생산성과 분변 내 악취감소에 관한 연구에서 미생물제제를 이용한 발효사료를 0.5~1.0% 첨가할 경우 일당 증체량이 향상되었으며[57], 축사 내 유해가스(NH_3 , H_2S)는 유의하게 감소되어 가축의 생산성이 향상될 뿐만 아니라 사육환경의 개선으로 친환경 축산이 기대된다고 하였다. 미생물 생균제의 주요 효능에 대하여 Smith와 Jones(1963)는 장내 미생물 균형을 변화시켜서, 특히 젖산과 항생물질을 생성시키고 유해 미생물의 증식을 억제하는 효과가 있으며[96], 장내 세균총의 변화를 유도하여 병원성 대장균을 감소시키며[43], 항생물질을 생산하고[95], 병원성 미생물이 소화관장벽에 부착하여 집락을 형성하는 것을 방지하기 때문에[73] 성장 및 식이효율의 개선효과를 갖는다고 하였다. 뿐만 아니라 장내 pH의 저하효과로 *Coliforms*, *Salmonella* 및 *Clostridia*군 등 유해 미생물의 독소 작용을 억제하는데 효과를 가진다[41]. 또한 생균제를 가축에게 급여하였을 경우, 분중 질소 배설량 감소효과에 의한 유해가스 발생 감소로 인하여 가축의 사육환경이 개선될 수 있으며[80], 이에 따른 생산성 향상을 기대할 수 있다[57].

미생물 제제는 분 중 질소 배설량 감소 효과에 의해 유해가스 발생을 억제하여 사육환경을 개선하여[80], 결과적으로 생산성 향상과 돈사 환경개선 효과를 기대할 수 있다고 하였다. 미생물 제제는 과거에는 주로 사료비 절감 및 사료효율 개선 등의 양돈생산성 향상을 위하여 사용되어 왔다. 최근 들어서는 소비자들의 안전한 축산물을 생산하기 위해 항생제 사용을 줄이거나 대체할 수단으로 다시 수요가 늘고 있으며, 분뇨 발생량과 악취 저감을 통한 환경개선을 위한 대안으로 많은 연구가 진행되고 있다[18]. Ra 등(2004)의 연구에선 백년초 함유 복합 생균제를 비육돈에 급여시 체중 증가 및 사료효율 향상뿐만 아니라 NH_3 및 H_2S 가스의 발생을 감소시킴으로써 사육환경 개선효과를 나타낸다고 하였다[86]. 또한, Hong 등(2002)은 비육돈에 복합생균제 첨가시 대조구에 비해 분의 NH_3 가스는 유의적으로 감소하였으나, 휘발성 지방산은 차이를 나타내지 않는다고 보고하였다[47]. 그 외에도 Visek(1978)은 미생물제제를 급여함으로써 NH_3 가스를 유리시키는 urease를 분비하는 장내 유해미생물의 우점을 억제함으로써 유해가스의 발생량을 감소시킨다고 나타났고[109], Hill 등(1970)은 돼지에 생균제 급여시 NH_3 와 H_2S 가스의 발생이 감소함을 확인 할 수 있었다[43].

Jung 등(2008)이 이용한 효소복합체는 amylase, lipase, protease, cellulase, phytase, urease 등을 포함한 오렌지, 레

몬 등의 식물체에서 추출하였고, 이러한 효소복합체 살포는 밀폐형 비육돈사에 NH_3 가스와 H_2S 가스 농도에 뚜렷하게 영향을 미쳐, 초기 NH_3 가스의 농도 보다 65% 저감 효과를 나타내었고, H_2S 가스의 경우 86.5% 정도의 저감 효과를 나타내었다[54]. 또한 효소복합체를 매일 1회 돈사 내 살포하였을 때 돈사 내 공기의 질에 영향을 미치고 분뇨의 발효과정에도 영향을 미치며, 양돈장의 악취제어에 효과적으로 작용하는 것으로 보고하였다.

반면에, Kim 등(2006a)의 연구에서는 다양한 탈취제의 악취저감 효과를 확인한 결과 인공 식향료와 식물성 천연향료를 제외한 나머지 첨가제들은 어느 정도 차이는 있지만 전반적으로 악취 정량적 측면에서 살포 후 1~3 hr까지 오히려 악취 발생을 증가시키는 결과를 보였다고 하였으며, 이는 돈사 내의 상대습도와 연관되어 설명하였다[59]. 즉, 물과 혼합된 첨가제가 살포된 후 1 hr까지 실험 돈사의 습도를 높게 유지하기 때문인 것으로, 돈사 내부의 습도가 높으면 악취발생이 증가된다는 연구결과와 일치한다[63]. 돈사 내 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 판단된다. 또한 돈사 내부의 환경 요인들, 즉 온도, 상대습도 및 돼지의 행동성 등이 복합적으로 첨가제의 악취 저감 능력에 잠재적으로 영향을 주었기 때문이라 판단된다.

또 다른 탈취용 제제로는 쾅기름, 식물성 향료, 및 다양한 물질을 함유한 것들이 있고 이를 적용한 연구들이 있었다. Zhang(1997)과 Jacobson(1998)은 돈사 내부에 쾅기름을 살포하면 악취 발생을 효과적으로 저감시킬 수 있다고 보고했는데[50, 122], 이는 쾅기름의 살포가 돈사 내부의 악취 원인 물질을 흡착하여 공기 중으로 이동하는 먼지의 농도를 현저히 줄이기 때문이라 판단된다[7, 33, 35]. 사람의 후각을 통해 인지되는 악취는 여러 악취 원인 물질들이 복합적으로 상호 작용하여 나타나는 단순한 오염물질이 아니기 때문에 쾅기름이 돈사 내부의 악취를 은폐하거나 저감하는 첨가제로서의 역할을 한다고 단순히 결론 내리기에는 문제가 있다[24].

악취 은폐제로 알려져 있는 인공 식향료와 식물성 천연향료는 악취 강도와 불쾌도를 현저히 저감하는 것으로 밝혀졌으며[59], 이는 기존의 몇몇 연구자들의 결과들과도 일치하였다[87, 97, 107]. Varel과 Miller(2001)는 식물성 천연향료(Hub and Lavender)가 돈사 내 악취 은폐제로서의 역할 뿐만 아니라, 황 계열 악취 원인 물질을 생성하는 분뇨 내 토착 미생물들의 활성 억제제로서의 역할도 하는 것으로 보고하였다[107]. 일반적으로 악취 농도는 악취 시료와 무취 공기의 희석 비율을 통해 인간의 후각이 감지할 수 있는 최소농도라고 하며[15, 65, 98], 악취 감지 농도가 NH_3 가스보다는 H_2S 가스와 높은 양의 상관관계성을 보인다는 Fakhoury

등(2000)의 연구에 의한다면[28], 황계열 악취 저감을 통한 악취강도 및 불쾌도의 상당한 저감효과를 기대할 수 있겠다고 하겠다. 그러나 악취 은폐 효과의 지속성 측면에 있어 인공 식향료는 살포 후 3 hr까지 유지된 반면, 식물성 천연향료는 24 hr까지 상대적으로 오랜 시간 동안 유지되었다. 일반적으로 악취 은폐제는 악취가 발산하는 불쾌도보다 더 강한 향을 내는 aromatic oil들의 복합물로 살포시 돈사 악취를 효과적으로 은폐시킬 수 있으나[69], 돈사 피트(pit)에 저장되어 있는 돈분뇨 슬러리 내 토착 미생물들에 의해 쉽게

분해되기 때문에 악취 저감 효과의 지속성이 짧은 것으로 보고되고 있다[97, 111]. 따라서 악취 저감 지속 효과가 상대적으로 낮은 인공 식향료나 식물성 천연향료를 돈사 내에 살포할 때에는 적정 수준보다 환기율을 약간 낮추거나 피트(pit)내 돈분뇨 슬러리를 최대한 외부로 배출시킨 조건하에서 더욱 효과적인 악취 저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

돈사에 살포되는 물에 의한 악취저감 효과에 대하여는 상반된 결과들이 있는데, Kim 등(2006b)의 연구 결과 물의 살

Table 5. Odor control technologies.

System	Description
1. Odor Control Technologies for Buildings	
Biofilters	Odorous gases are passed through a bed of compost and wood chips; bacteria and fungal activity help oxidize organic volatile compounds.
Biological and chemical wet scrubbers	Odorous gasses are passed through a column packed with different media types; water (and/or chemical) is sprayed over the top of the column to help optimize biological and chemical reactions.
Diet manipulation*	Enzymes added to diet to improve nutrient utilization; diets formulated to reduce crude protein content; or other changes in diets to enhance digestion.
Fat added to feed	Dust reduction and subsequent odor reduction by adding fat to the feed.
Manure additives*	Chemical or biological products are added to the manure.
More frequent manure removal*	Fresh manure (fewer than 5 days old) produces less odor than stored manure.
Nonthermal plasma	Odorous gases are oxidized when passed through plasma.
Oil sprinkling	Vegetable oil is sprinkled daily at low levels in the animal pens.
Ozone*	Ozone is added to the ventilation air to oxidize the odors.
Shelterbelts*	Rows of trees and other vegetation are planted around a building, thus creating a barrier for both dust and odorous compounds emitted from the building exhaust.
Windbreak walls*	A solid or porous wall constructed 10 to 15 feet from the exhaust fans will cause dust to settle out and will also help disperse the odor plume.
2. Odor Control Technologies for Manure Storages	
Aerobic treatment	Biological process where organic matter is oxidized by aerobic bacteria; mechanical aeration is required in order to supply oxygen to the bacterial population.
Anaerobic digestion	Biological process where organic carbon is converted to methane by anaerobic bacteria under controlled conditions of temperature and pH.
Floating clay balls	Floating clay balls cover the manure surface.
Geotextile cover	Geotextile membranes are placed over the surface of the manure.
Manure additives*	Chemical or biological products are added to the manure to reduce gas formation.
Natural crust	Dairy and sometimes swine storage basins can form a natural crust. This crust will reduce odor emission.
Solid cover	Non-porous cover floated on, or suspended over, the liquid surface. Covers trap gases before they escape. Gases must be drawn off and treated.
3. Odor Control Options for Land Application of Manure	
Manure incorporation or injection	Manure is incorporated immediately after land application or manure is injected under the soil surface.
Chemical addition	Chemicals added during agitation to reduce hydrogen sulfide or ammonia emissions.
Odor Control Options for Other Odor Sources	
Mortality composting	Method to dispose of dead animals. Carcasses are buried in sawdust or some other organic composting material. Decomposition takes place very rapidly.
Solid composting	Biological process in which aerobic bacteria convert organic material into a soil-like manure called compost; it's the same process that decays leaves and other organic debris in nature.
Solid separation*	Solids are separated from liquid slurry through sedimentation basins or mechanical separators.
Straw cover	An 8-12 inch blanket of dry wheat, barley, or they good quality straw floated on the manure surface reduces emission.

*Effectiveness of these technologies has not been verified.

포는 본질적으로 악취의 정성 평가 측면에서 현저한 저감 효과가 관찰되지 않았다[60]. 반면, 소금물 살포 후 시간 경과에 따른 NH_3 가스에 저감율이 다른 첨가제에 비해 상대적으로 높았는데, 이는 소금물의 염소 이온이 피트(pit) 슬러리 내 암모늄 이온과 결합, 수용액 상태로 존재하게 하여 대기 중으로의 NH_3 가스 발생을 억제했기 때문이라 판단된다. 고온 호기성 분뇨 처리수와 미생물제제 또한 NH_3 가스 제어 효과를 어느 정도 보였으나, 황 계열 악취 원인 물질을 근본적으로 저감시키지 못한 것으로 나타나 돈사 내 악취 저감을 목적으로 사용하기에는 효율적이지 못한 것으로 판단된다.

이처럼 여러 가지 첨가제를 통한 돈사 내부 및 양돈장 환경개선과 악취저감 효과에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다.

악취 처리방법 및 악취제거기술의 선정

돈사에서 발생하는 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 최종적으로 바이오필터로 처리를 하거나[76, 77], 냉각 회수법을 통해 악취물질을 제거하는 물리적 방법[39, 104]과 KMnO_4 [26, 27], H_2O_2 [46, 56], O_3 [113, 116]와 같은 산화제를 이용한 화학적 방법들이 돈사의 악취를 제어하기 위한 하나의 방안으로 제기되었다. 그러나 전자의 경우 경제성, 후자의 경우에는 안전성의 문제가 제기되어 실제 농가단위의 현장에서는 적용이 활발하지 못한 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 최소화시킬 수 있는 돈사 악취 제어 방법으로 최근 생물학적 측면에서의 접근 방안들이 연구, 적용되고 있는 상황이다. 이러한 각각의 기술들을 Table 5에 정리하였다[91]. 여러 가지 기술들을 가지고 각각의 강한 악취원 별 적용 가능한 효과적인 악취제거기술들을 선택할 수 있다.

악취 처리 효율성 측면에서 물리, 화학적 방법보다는 상대적으로 떨어지지만, 식물성 천연항료[107], 유카추출물[2, 37], 미생물제제[67, 124], 식물성 정유[52, 102, 121], 재활용 분뇨 세척수와 같은 생물학적 첨가제의 이용은 사람과 돼지에게 무해하고 비용도 상대적으로 저렴할 뿐만 아니라 운송 및 관리 방법도 용이하기 때문에 사용자인 양돈업자에게는 상당히 실용적인 악취 저감 방법이라 할 수 있다. 하지만 이러한 생물학적 첨가제의 처리효율성 측면에 있어서 상당한 의문이 제기되고 있는 상황일 뿐만 아니라, 장단점을 서로 비교평가하기 위한 검증과정이 국내외적으로 아직 미진한 실정이다. 이 밖에도 현재 가축 배설물 관리에 대한 새로운 기술이 다양하게 개발되고 있는데, 메탄 가스 생성, 혐기성 또는 호기성으로 정화하는 방법, 고형물 분리 등의 방법이 있다. 이런 방법이 효과적이라는 연구는 있지만 제한적이고 이런 시스템을 갖추는데 경비가 많이 드는 문제점이 있다[112]. 최근에는 이런 문제점을 보완하고 농장에서 실용적

이고 경제적으로 사용할 수 있는 방법에 중점을 두고 있는데, 그 중 한 가지로 첨가제를 이용하는 방법이다. 유산균, 효모 등 미생물을 이용하여 축사 오물을 생분해하는 방법, 산이나 침전염을 이용하는 산화제법, clinoptilolite를 이용한 흡착법, urease 분비 억제제를 이용하는 다양한 방법이 이용되고 있다[68]. 몇몇 연구자들이 제기한 돈사 악취 제어 측면에서의 미생물제제 효과에 대한 의구심은 여러 연구를 통해서도 제어능력이 확인 되었다[89, 123]. 하지만 현재로서는 이들 첨가제들이 각각의 악취 원인 물질을 어떠한 방식으로 저감시키는 지에 대한 명확한 메커니즘이 제시되지 못하고 있다. 다만 돈사 내 이들 첨가제의 살포가 피트(pit)에 저장되어 있는 돈분뇨의 성상 및 pH를 변화시켜 악취 발생에 관여하는 미생물 종의 변형을 유도한 결과라고 추정될 뿐이다. 친환경축산물에 대한 소비자의 요구 및 보다 쾌적한 환경에 대한 법적 사회적 요구에 부응하기 위해서라도 이제 축산환경 개선은 더 이상 미룰 수 없는 것이 실정이다. 따라서, 축산악취를 발생시켜주는 분뇨의 자생미생물의 활성을 억제하거나 돈사 내외의 환경을 개선하여 보다 쾌적하고 지속적인 축산 환경을 이루기 위한 많은 연구가 지속되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2009년 경기도기술개발사업(전략사업: A08081810)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Aarnink, A. J. A., P. F. M. M. Roelofs, H. Ellen, and H. Gunnink. 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., M. Dobeic, B. R. Pjillips, R. W. Sneath, T. M. Misselbrook, and B. F. Pain. 1997. A farm scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De-Odorase for reduction odour and ammonia emissions from broiler houses. *Biores. Technol.* **61**: 229-237.
3. Avery, G. L., G. E. Merva, and J. B. Gerrish. 1975. Hydrogen sulfide production in swine confinement units. *Trans. ASAE*. **17**: 149-151.
4. Barber, E. M., Dawson, J. R, Battams, V. A, and R. A. C. Nicol. 1991. Spatial variability of airborne and settled dust in a piggery. *J. Agric. Eng. Res.* **50**: 107-127.
5. Barth, C. L., L. F. Elliot, and S. W. Melvin. 1984. Using odor control technology to support animal agriculture. *Trans. ASAE*. **27**: 859-864.
6. Bonmati, A. and X. Flotats. 2003. Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion, *Waste Manag.* **23**: 261-272.

7. Bottcher, R. W. 2001. An environmental nuisance odor concentrated and transported by dust. *Chem. Senses* **23**: 327-331.
8. Bruce, J. M. 1981. Ventilation and temperature control criteria for pigs. In: *Environmental Aspects of Housing for Animal Production*. Butterworths, London. p. 197-216.
9. Bruce, J. M. and M. Sommer. 1987. Environmental aspects of respiratory disease in intensive pig and poultry houses, including the implications for human health. Proceedings EC Meeting Aberdeen, 29-30 October 1986. EC Commission Publications, Brussels.
10. Buijsman, E. and J. W. Erisman. 1988. Wet deposition of ammonium in Europe. *J. Atmos. Chem.* **6**: 265-280.
11. Carpenter, G. A., A. W. Cooper, and G. E. Wheeler. 1986. The effect of air filtration on air hygiene and pig performance in early weaner accommodation. *Anim. prod.* **43**: 505-515.
12. Chang, Y. H., J. K. Kim, H. J. Kim, W. Y. Kim, Y. B. Kim, and Y. H. Park. 2000. Probiotic effects of *Lactobacillus reuteri* BSA-131 on piglets. *Kor. J. Appl. Microbiol Biotechnol.* **28**: 8-13.
13. Chang, C. W., H. Chung, C. F. Huang, and H. J. J. SU. 2001. Exposure assessment to airborne endotoxin, dust, ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide in open style swine house. *Ann. Occup. Hyg.* **45(6)**: 457-465.
14. Chapin, A., C. Boulind, and A. Moore. 1998. "Controlling odor and gaseous emission problems from industrial swine facilities: A handbook for all interested parties". Yale Environmental Protection Clinic, pp. 1-56.
15. Clanton, C. J., D. R. Schmidt, R. E. Nicolai, P. R. Goodrich, L. D. Jacobson, K. A. Janni, S. Weisberg, and J. A. Buckel. 1999. Dynamic olfactometry variability in open style swine houses. *Ann. Occup. Hyg.* **45**: 457-465.
16. Clark, S., R. Rylander, and L. Larsson. 1983. Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust in poultry and swine confinement buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **44**: 537-541.
17. Coleman, R. N., J. J. R. Feddes, and B. S. West. 1991. What is odour and the potential for its control? In Proceedings of Western Branch Meeting. *Can. Soc. Anim. Prod.* Chilliwack (Abstract).
18. Collington, G. K., Parker, D. S., Ellis, M., and D. G. Armstrong. 1998. The influence of probings or tyrosine on growth of pigs and development the castr-intestinal tract. *Anim. Prod.* **46** (Abstr.): 521.
19. Crook, B., J. F. Robertson, G. S. Travers, E. M. Botheroyd, J. Lacey, and M. D. Topping. 1991. Airborne dust, ammonia, microorganisms, and antigens in pig confinement houses and the respiratory health of exposed farm workers. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **52**: 271-279.
20. Dawson, J. R. 1990. Minimizing dust in livestock buildings: possible alternatives to mechanical separation. *J. Agric. Eng. Res.* **47**: 235-248.
21. Dewi, I. A., R. F. E. Axford, I. F. M. Marai, and H. Omed. 1994. Pollution in livestock production systems. CAB International.
22. Donham, K., L. J. Scallon, and W. Popendorf. 1986. Characterization of dusts collected from swine confinement buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **47**: 404-410.
23. Donham, K., P. Haglind, Y. Peterson, R. Rylander, and L. Belin. 1989. Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement buildings. *Br. J. Ind. Med.* **46**: 31-37.
24. Dorling, T. A. 1977. Measurement of odour intensity in farming situations. *Agric. Environ.* **3**: 109-120.
25. Duchaine C., Y. Grimard, and Y. Cormier. 2000. Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **61(1)**: 56-63.
26. Emanuel, A. G. 1965. Potassium permanganate offers new solutions to air pollution control. *Air Engineering*, September.
27. Faith, W. L. 1964. Odour control in cattle feed yards. *J. Air Pollut Control Assoc.* **14**: 459-460.
28. Fakhoury, K. J., A. J. Heber, P. Shao, and J. Q. Ni. 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.
29. Feddes, J. J. R., J. J. Leonard, and J. B. McQuitty. 1983. The influence of selected management practices on heat, moisture and air quality in swine housing. *Can. Agric. Eng.* **25**: 175-179.
30. Gay, S. W., D. R. Schmidt, C. J. Clanton, K. A. Janni, L. D. Jacobson, and S. Weisberg. 2003. Odor, total reduced sulfur, and ammonia emissions from animal housing facilities and manure storage units in Minnesota. *Appl. Eng. Agric.* **19(3)**: 347-360.
31. Goedseels, V. 1973. De evaluate van de odorantenemissie in relatie tot de infrastructuur van intensieve veebedrijven. *Het Ingenieursblad.* **42**: 557-564.
32. Hao, O.J., J. M. Chen, L. Huang, and R. Buglass. 1996. Sulfate-reducing bacteria, *Critical Reviews in Environ. Sci. & Technol.* **26(1)**: 155-187.
33. Hammond, E. G., C. Fedler, and R. J. Smith. 1981. analysis of particle-borne swine house odours. *Agric. Environ.* **6**: 395-401.
34. Harssema, H., W. J. van Eerden, and J. V. Klarenbeek. 1981. The relation between intensity of husbandry farming and damage of vegetation. IMAG Report 32, Wageningen, The Netherlands.
35. Hartung, J. 1986. Dust in livestock buildings as a carrier of odours. In: Nielsen, V. C., J. H. Voorburg, and P. L'Hermite. (eds), *Odour Prevention and control of organic sludge and livestock farmings*. Elsevier, London, pp. 321-332.
36. Hartung, J. and V. R. Phillips. 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. *J. Agric. Eng. Res.* **57**: 173-189.
37. Headon, D. R. and G. Walsh. 1993. Yucca schidigera extracts and ammonia control. p. 686-693. In E. Collins and C. Boon (ed.) *Livestock Environment IV*, 4th Int. Symp.

- Univ. of Warwick, Coventry, UK. 6-9 July. St. Joseph, MI. *ASAE*.
38. Headon, D. R. and G. Walsh. 1994. Biological control of pollutants principle of pig science. In biotechnology in the feed industry. Cole, D. J. A., Wiseman, J. and Varley, M.A. (Eds.). Nottingham Univ. Press, Nottingham, U.K.
 39. Heber, Al. (undated). Controlling ammonia gas in swine buildings. Agricultural and Biological Engineering, Animal Science and Industry, Purdue University.
 40. Heber, A. J., M. Stroik, J. L. Nelssen, and D. A. Nichols. 1988. Influence of environmental factors on concentrations and inorganic content of aerial dust in swine finishing buildings. *Trans. ASAE*. **31(3)**: 875-881.
 41. Heyman, M. and S. Menard. 2002. Probiotic microorganism: how they affect intestinal pathophysiology. *Cell Mol. Life. Sci.* **59**: 1151-1165.
 42. Henschler, D. 1990. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitsstoffoleranzwerte. Mitteilung der Senatskommission zur Prufung Gesundheitsschadlicher Arbeitsstoffe; 26. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany.
 43. Hill, I. R., R. Kenworthy, and P. Proter. 1970. Studies of the effect of dietary *Lactobacilli* on intestinal and urinary amines in pigs in relation to weaning and post-weaning diarrhea. *Res. Vet. Sci.* **11**: 320-326.
 44. Hilliger, Von H. G., C. Aengst, and E. Jellen. 1984. Gravimetric measurements of dust in pig and poultry houses. *Transactions of the ASAE*, **27**: 865-870.
 45. Hinz, T. and K. H. Krause. 1988. 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.
 46. Hollenback, R. C. 1971. Manure odor abatement using hydrogen peroxide. Rep. no. 5638-R. Food machinery Corp., Princeton, NJ.
 47. Hong, J. W., I. H. Kim, O. S. Kwon, J. H. Kim, B. J. Min, and W. B. Lee. 2002. Effects of dietary probiotics supplementation on growth performance and fecal gas emission in nursing and finishing pigs. *J. Anim. Sci. Technol (Kor.)*. **44**: 305-314.
 48. Ishaque, M., J.G. Bisailon, R. Beaudet, and M. Sylvestre, 1985. Degradation of phenolic compounds by microorganisms indigenous to swine waste. *Agric. Wastes*. **13**: 229-235.
 49. Iversen, M., R. Dahl, J. Korsgaard, T. Hallas, and J. E. Juel. 1988. Respiratory symptoms in Danish farmers: an epidemiological study of risk factors. *Thorax*. **43**: 872-877.
 50. Jacobson, L. 1998. The effect on odor emissions when sprinkling oil for dust control inside pig buildings. University of Minnesota. Final report. Sept. 1.
 51. Jang, Y. K., K. P. Song, H. J. Kim, and Y. H. Yoo. 2004. AN Investigation on the Odor Characteristics of Livestock Facilities. *EIA*. **13(1)**: 33-40.
 52. Jacobson, L., L. Johnston, B. Hetchler, and K. Janni. 2000. Odor emissions control by sprinkling oil for dust reduction in pig buildings. *Trans. ASAE*. pp. 413-420.
 53. Janni, K. A., P. T. Redig, J. Newman, and J. Mulhausen. 1984. Respirable aerosol concentrations in turkey grower buildings. *ASAE paper* No. 84-4522.
 54. Jung, K. H., J. C. Han, S. J. Kwack, J. D. Jung, J. W. Lee, and D. H. Kim. 2008. Effects of Enzyme Complex on Odor Emission from Swine Slurry and Swine Buildings. *J. Lives. Hous. & Env.* **14(1)**: 15-22.
 55. Kang, K. H., S. K. Kim, C. G. Hu, and M. G. Lee. 2006. The Effect of Reduction of Contaminants and Odor according to the Additives in the Anaerobic Maturation Process of Piggery Slurry. *J. Environ. Sci.* **15(2)**: 169-175.
 56. Kibble, W. H., C. W. Raleigh, and J. A. Sheperd. 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.
 57. Kim, J. H., C. H. Kim, and Y. D. Ko. 2001. Effect of dietary supplementation of hermented feed(Bio-) on performance of finishing pigs and fecal ammonia gas emission. *Kor. J. Anim. Sci. Technol.* **43**: 193-202.
 58. Kim, K. Y. and C. N. Kim. 2003. Fluctuation of indoor air pollutants emitted from enclosed pig building in winter. *J. Kor. Soc. Occup. Environ. Hyg.* **13(3)**: 191-197 .
 59. Kim, K. Y., H. L. Choi, H. J. Ko, Y. G. Lee, and C. N. Kim. 2006a. Evaluation of Odor Reduction in the Enclosed Pig Building Through Spraying Biological Additives. *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor.)* **48(3)**: 467-478.
 60. Kim, K. Y., H. L. Choi, H. J. Ko, Y. G. Lee, and C. N. Kim. 2006b. Effect of Spraying Additives on Reducing Odor in Pig Building. *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor.)* **48(3)**: 467-478.
 61. Ko, H. J., K. Y. Kim, Y. K. Lee, and C. N. Kim. 2003. Evaluation of odor emitted from a swine slurry applied into arable land. *Kor. J. Odor. Res. Eng.* Autumn, p. 52-53.
 62. Koerkamp, P. W. G., J. H. M. Metz, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. L. Sedorf, M. Schroder, K. H. Linkert, S. Pederson, H. Takai, J. O. Johnsen, and C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* **70**: 79-95.
 63. Korthals, R. L., L. L. Christianson, and A. J. Muehling. 1988. Assessing and improving environmental conditions in commercial swine facilities. Proceedings of International Livestock Environment Symposium, Ontario, Canada, 25-27 April. *ASAE*.
 64. Liao, P. H., A. Chen, and K. V. Lo. 1995. Removal of nitrogen from swine manure wastewater by amonia stripping. *Biores. Technol.* **54**: 17-20.
 65. Lim, T. T., A. J. Heber, J. Q. Ni, A. L. Sutton, and D. T. Kelly. 2001. Characteristics and emission rates of odor from commercial swine nurseries. *Trans. ASAE*. **44**: 1275-1282.
 66. Mackie, R. I. 1994. Microbial production of odor com-

- ponents. In: *Proc. of international round table on swine odor control*. 13-15 June at Ames, IA, USA, pp. 18-19.
67. Mackie, R. T., P. G. Stroot, and V. H. Barel. 1998. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *J. Anim. Sci.* **76**: 1331-1342.
 68. Maiolino, R., A. Fioretti, L. F. Menna, and C. Meo. 1992. Research on the efficiency of probiotics in diets for broiler chickens. *Nutrition Abstracts and Reviews Series*, **B62**: 482.
 69. McCrory, D. F. and P. J. Hobbs. 2001. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. *J. Environ. Qual.* **30**:345-355.
 70. Ministry of Environment, Korea (2005). Offensive Odor Control Law.
 71. Miller, D. N. and V. H. Varel. 2003. Swine manure composition affects the biochemical origins, composition and accumulation of odorous compound. *J. Anim. Sci.* **81**: 2131-2138.
 72. Muehling, A. J. 1970. Gases and odors from stored swine wastes. *J. Anim. Sci.* **30**: 526-531.
 73. Muralidhara, K. S., G. G. Sheggeby, P. R. Elikor, D. C. England, and W. E. San dine. 1977. Effects of feeding lactobacilli on the coliform and *Lactobacillus* flora on intestinal tissue and feces from piglets. *J. Food Prod.* **40**: 288-291.
 74. MWPS. 1985. Swine Waste Facilities Handbook. MWPS-18. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, IA.
 75. MWPS. 1991. Swine Housing and Equipment Handbook. MWPS-8. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, IA.
 76. NCSU (National Institute for Occupational Safety and Health). 1994. NIOSH Manual of Analytical Method(4th Ed.). Cincinnati, Ohio.
 77. Nicolai, R. and J. Kevin. 1997. Biofilter for swine production facilities. University of minnesota Extension Service, February.
 78. Nilson, C. 1984. Dust investigations in pig houses. Paper presented at Symposium 'Dust in animal houses' held by International Society of Animal Hygiene, Hannover, March.
 79. Noblet, J., J. Y. Dourmad, J. Le Dividich, and S. Dubois. 1989. Effect of ambient temperature and addition of straw of alfalfa in the diet on energy metabolism in pregnant sow. *Livest. Prod. Sci.* **21**: 309.
 80. Noh, S. H., H. K. Moon, I. K. Han, and I. S. Shin. 1995. Nonruminant Nutrition; Effect of Dietary Growth Promoting Substances on the Growth Performance in Pigs. *Kor. J. Anim. Sci.* **37**: 66-72.
 81. Noh, Y. M., K. W. Kim, C. N. Kim, H. S. Kim, and Y. Y. Lim. 2003. Analysis of Odorous Compounds emitted from Land Fill Gas using Gas Chromatography - Pulsed Flame Photometric Detector. *Kor. J. Odor Res. and Eng.* Spring, p. 118-120.
 82. Nordstrom, G. A. and J. B. McQuitty. 1976. Manure Gases in the Animal Environment. Department of Agricultural and Engineering, University of Alberta.
 83. O'Neill, D. H. and V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock building: Part 3, Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them, *J. Agric. Eng. Res.* **53**: 23-50.
 84. Olson, D. K. and S. M. Bark. 1996. Health hazards affecting the animal confinement farm worker. *AAOHN. J.* **44**: 198-204.
 85. Pedersen, S. 1993. Time-based variation in airborne dust in respect to animal activity. Proceedings on Livestock Environment St. Joseph, MI. *ASAE*. p. 718-726.
 86. Ra, J. C., H. J. Han, and J. E. Song. 2004. Effect of probiotics on production and improvement of environment in pigs and broiler. *Kor. J. Vet. Publ. Health.* **28**: 157-167.
 87. Ritter, W. F., N. E. Collins, and R. P. Eastburn. 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. St. Joseqh, MI. *ASAE*.
 88. Reynolds, S. J., K. J. Donham, P. Whitten, J. A. Merchant, L. F. Burmeister, and W. J. Pependorf. 1996. Longitudinal evaluation of dose-response relationships for environmental exposures and pulmonary function in swine production workers. *Am. J. Ind. Med.* **29**: 33-40.
 89. Ritter, W. F. 1989. Odour control of livestock manure: State-of-the-art in North America. *J. Agric. Eng. Res.* **42**: 51-62.
 90. Russell, E. G. 1979, Types and distribution of anaerobic bacteria in the large intestine of pigs. *Appl. Environ. Microbiol.* **37(2)**: 187-193.
 91. Ryu, H. W., K. S. Cho, T. H. Lee, and M. Huh. 2003. Management of offensive Odors in Swine Production Facilities: II. Odor Management Plans. *Kor. J. Odor Res. Eng.* **2(2)**: 78-85.
 92. Seedorf, J., J. Hartung, M. Schroder, K. H. Linkert, and V. R. Phillips, M. R. Holden, R.W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, S. Pedersen, H. Takai, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* **70**: 97-109
 93. Schaefer, J., J. M. H. Bemelmans, and M. C. ten Noever de Brauw. 1974. Onderzoek naar de voor de stank van varkensmestrijjeen verantwoordelijke componenten (Research into the components responsible for the smell of piggeries) *Landbouwkundig Tijdschrift.* **86(9)**: 228-232.
 94. Shahani, K. M., J. R. Vakil, and A. Kilara. 1976. Natural antibiotic activity of *Lactobacillus acidophilus* and *bulgaricus*. I: Cultural conditions for the production of antibiotics. *Cult. Dairy Prod. J.* **11**: 14-17.
 95. Shurson, J., M. Whitney, and R. Nicolai. 1997. Nutritional manipulation of swine diets to reduce hydrogen sulfide

- emissions. Extension service, Univ. of Minnesota.
96. Smith, H. W. and J. E. T. Jones. 1963. Observation on the alimentary tract and its bacterial flora in healthy and diseased pigs. *J. Path. Bact.* **86**: 837.
 97. Smith, K. A., A. Drysdale, and D. Saville. 1980. An investigation into the effectiveness of some odour control treatments in stored pig manure. Protect Report 24. New Zealand Agricultural Engineering Institution, Lincoln College, Canterbury. New Zealand.
 98. Smith, R. J. and P. J. Watts. 1994. Determination of odour emission rates from cattle feedlots: Part 1. a review. *J. Agric. Eng. Res.* **57**: 145-155.
 99. Sohn, B. K., S. G. Kang, E. J. Cho, S. D. Kim, C. J. Lee, and J. H. Kim. 2006. Estimation of ammonia stripping condition for adequate aerobic liquid-composting of swine manure. *Kor. J. Soil. Sci. Fert.* **39(2)**: 73-79.
 100. Spoelstra, S. F. 1980. Origin of objectionable odorous components in piggery wastes. *J. Sci. Food Agric.* **28**: 415-423.
 101. Straubel, H. 1981. Elektro-optische Messung von Aerosolen. *Technisches. Messen.* **48**: 199-210.
 102. Takai, H., F. Moller, M. Iversen, S. E. Jorsal, and V. Bille-Hansen. 1995. Dust control in pig houses by spraying rapeseed oil. *Trans. ASAE.* **38**: 1513-1518.
 103. Takai, H., S. Pederson, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, and P. W. G. Koerkamp, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K. H. Linkert and C. M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J. Agric. Eng. Res.* **70**: 59-77.
 104. USDA (United States Department of Agriculture, Agricultural Science and Education Imkpact. 1998. Greater harmony between agriculture and the environment. February.
 105. van Breeman, N., P. A. Burrough, E. J. Belthorst, H. F. van Dobben, T. de Wit, T. B. Ridder, and H. F. R. Reijnders. 1982. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy through fall. *Nature* **299**: 548-550.
 106. van't Klooster, C. E., P. F. M. M. Foelofs, and P. A. M. Gijzen. 1993. Positioning air inlet and air outlet to reduce dust exposure in pig buildings. Proceedings on Livestock Environment IV: St. Joseph, MI. *ASAE.* p. 754-761.
 107. Varel, V. H. and D. N. Miller. 2001. Plant-derived oils reduce pathogens and gaseous emissions from stored cattle waste. *Appl. Environ. Microbiol.* pp. 1366-1370.
 108. Versteegen, M. W. A., W. Vabderhel, A. A. Jougebreur, and G. Enneman. 1976. The influence of ammonia and humidity on activity and energy balance data in groups of pigs. *Z. Tierphysiol, Tierer. Futtermittelkunde.* **37**: 225-263.
 109. Visek, W. J. 1978. The mode of growth promotion by antibiotics. *J. Anim. Sci.* **46**: 1447-1453.
 110. Walker, J. N. and M. A. Hellickson. 1983. Ventilation of agricultural structures. St. Joseph, MI. *ASAE.*
 111. Warburton, D. J., J. N. Scarborough, D. L. Day, A. J. Muehling, S. E. Curtis, and A. H. Jensen. 1980. Evaluation of commercial products for odour control and solids reduction of liquid swine manure. St. Joseph, MI. *ASAE.* pp. 309-313.
 112. Watkins, B. A. and F. H. Kratzer. 1983. Effect of oral dosing of *Lactobacillus* strains on gut colonization and liverbiotic in broiler chicks. *Poult. Sci.* **62**.
 113. Watkins, B. D., S. M. Hengemuehle, H. L. Person, M. Yokoyama, and S. J. Masten. 1997. Ozonation of swine manure wastes to control odors and reduce the concentrations of pathogens and toxic fermentation metabolites. *Ozone Sci. Eng.* **19**: 425-437.
 114. Whang, G. D. and Y. M. Cho. 2004. Effect of Operating Condition of Stripping Process on Ammonia Removal for Pre-treatment of Swine Wastewater. *Kor. J. Water Quality.* **20(1)**: 86-92.
 115. Wrong, O. M. 1981. Nitrogen compounds. In the large intestine: Its role in mammalian nitrogen and homeostasis. Wrong O. M., C. J. Edmonds and V.S. Chadwick(Eds.). John Wiley and Sons. New York.
 116. Wu, J. J., S. H. Park, S. M. Hengenuhle, M. Yokoyama, H. L. Person, and S. J. Masten. 1998. The effect of storage and ozonation on the physical, chemical, and biological characteristics of wine manure slurries. *Ozone. Sci. Eng.* **20**: 35-5.
 117. Xuan, Z. N., J. D. Kim, K. N. Heo, H. J. Jung, J. H. Lee, Y. K. Han, Y. Y. Kim, and I. K. Han. 2001. Study on the development of a probiotics complex for weaned pigs. *Asian-Aust J Anim. Sci.* **14**: 1425-1428.
 118. Yasuhara, A., K. Fuwa, and M. Jimbu. 1984. Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine manure. *Agric. Eng. Res.* **42**: 51-62.
 119. Yoo, Y. H., T. L. Kim, J. W. Jeong, H. C. Choi, J. I. Song, C. B. Yang, Y. K. Jang, H. J. Kim, and K. P. Song. 2005. A Field Survey on Concentration of Odor Compounds in Pig Buildings and Boundary Areas. *J. Lives. Hous. & Env.* **11(1)**: 45-54.
 120. Zejda, J. E., T. S. Hurst, C. S. Rhodes, E. M. Barber, H. H. McDuffie, and J. A. Dosman. 1993. Respiratory health of swine producers. Focus on young workers. *Chest* **103**: 702-709.
 121. Zhang, Y., A. Tanaka, E. M. Barber, and J. J. R. Feddes. 1996. Effects of frequency and quantity of sprinkling canola oil on dust reduction in swine buildings. *Trans. ASAE.* **39(3)**: 1077-1081.
 122. 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.
 123. Zhu, J., D. S. Bundy, L. Xiwei, and N. Rashid. 1997. The hindrance in the development of pit additive a products for swine manure odor control-A review. *J. Environ. Sci. Health. A* **32**: 2429-2448.
 124. Zhu, J., G. L. Riskowski, and M. Torremorell. 1999. Volatile fatty acids as odour indicators in swine manure-A critical review. *Trans. ASAE.* **42**: 175-182.

(Received July 30, 2010/Accepted September 10, 2010)