양돈시설에서 발생하는 악취특성에 관한 연구 Study on the Characteristics of Odor Emitted from Swine Facilities

김재혁[†] · 유경선 · 오제범^{*} · 정주영^{*}
Jae Hyuck Kim[†] · Kyung Seun Yoo · Je Beom Oh^{*} · Ju Young Jung^{*}

광운대학교 환경공학과 · ^{*}한국환경공단 유해대기관리팀
Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University
^{*}Hazardous Air Pollutants Management Team, Korea Environment Corporation

(2012년 6월 26일 접수, 2012년 7월 20일 채택)

Abstract : We studied the characteristics of odor emitted from 40 swine facilities across the country under various conditions like rearing densities, management style, ventilation system and swine manure handling characteristics, based on the olfactory and analytical evaluation. Odor concentrations (D/T) measured from swine facilities were respectively an average 4,055 D/T at liquid manure storage tanks on aeration, an average 913 D/T at slurry manure storage, an average 506 D/T at finishing swine facilities and an average 201 D/T at composting facilities. The higher rearing densities and slurry accumulation volume in finishing swine house, the more odor concentration (D/T) was increased. But The odor concentration (D/T) in finishing swine house did not show significant difference according to application of microbial additives. 9 odor compounds (NH₃, H₂S, MM, DMS, DMDS, PA, n-BA, n-VA, i-VA) were detected at swine facilities and the main odor compounds were volatile sulfur compounds such as H₂S, MM and volatile fatty acids compounds such as n-BA, n-VA, i-VA. 97.5% of swine farms surveyed in this study is located within 300 m of residential area and it is easy to bring odor complaints.

Key Words : Odor, Swine Facility, Odor Management, Finishing Swine House, Enclosed Swine House

요약 : 실제운영 중인 40여개 양돈시설을 대상으로 사육밀도, 경영방식, 돈사환기방식, 돈분뇨 처리방식 및 악취저감제 적용 특성 등의 관리현황을 파악하고 관능평가 및 악취물질 분석을 통하여 양돈시설에서 발생하는 주요 악취유발물질과 악취발생 특성을 파악하고자 하였다. 양돈시설 악취발생원 중 악취농도(복합악취)는 액비화시설(포기 상태)(평균 4,055배) > 분뇨집수조(평균 913배) > 비육사(평균 506배) > 퇴비화시설(평균 201배) 순으로 조사되었다. 비육사의 경우 슬러리 피트 내부의 돈분뇨 적체높이가 높아질수록, 사육밀도가 높을수록 발생하는 악취수준이 높은 것으로 조사되었으나, 사료첨가 유무에 따른 악취는 큰 차이를 보이지 않았다. TMA를 제외한 9종의 악취물질(NH₃와 H₂S, MM, DMS, DMDS, PA, n-BA, n-VA, i-VA)이 돈사와 분뇨저장조 및 퇴비화시설에서 검출되었으며, 악취기여도가 높은 물질은 H₂S, MM 등의 황화계열물질과 n-BA, n-VA, i-VA 등의 휘발성 지방산류이었다. 조사 대상 양돈시설의 97.5%가 주거지역과 300 m 이내에 위치하고 있어 악취민원 발생에 취약한 것으로 조사되었다.

주제어 : 악취, 양돈시설, 악취관리, 비육돈사, 무창돈사

1. 서론

2005년 악취방지법 제정 이후 국내의 악취 민원은 지속적으로 증가하여 2010년 7,247건에 이르고 있다.¹⁾ 특히 민원이 지속적으로 발생하는 악취관리대상 사업장에서 양돈시설은 2010년 전체 관리대상 사업장 중 14.7%를 점유하고 있어 악취관리에 매우 중요한 부분을 차지하고 있다.^{1,2)} 양돈시설에서 발생하는 악취는 주로 돈사 내부와 돈분뇨의 고액분리, 액비화 및 퇴비화 과정과 처리된 분뇨의 경작지 살포 과정에서 주로 발생하며,^{3,4)} 돈분뇨와 가축사료에 포함된 단백질, 지방, 탄수화물 등의 유기물질을 분해하는 과정에서 암모니아, 황화수소 및 유기산 계열 등의 악취물질이 발생한다.^{5,6)}

국외에서는 양돈시설에서 발생하는 악취발생 특성을 규명하고 악취를 저감하기 위하여 사료와 음용수에 미생물제제 및 복합생균제 등을 혼합하여 돼지의 소화율을 증진시키거

나, 돈사 내부에 마스크제, 화학탈취제 및 미생물제제 등을 살포하는 등의 방법을 적용하고 있다.^{7,8)} 또한 액비화시설과 퇴비화시설 등의 밀폐, 돈사 환기 및 시설 개선 그리고 일부 양돈시설에서 습식세정탑과 바이오필터와 같은 방지시설을 운영하는 등의 다양한 저감방안을 적용하고 있다.^{9,10)}

그러나 국내의 경우 양돈시설에서 발생하는 악취를 저감하기 위하여 양돈시설에서 발생하는 악취물질 분석 및 일부 미생물첨가제 등에 의한 악취저감 평가 등이 이루어지고 있지만 실제 양돈시설의 다양한 특성을 고려한 악취발생 평가는 이루어지지 않고 있다.^{11,12)} 이에 본 연구에서는 실제 운영 중인 40여개 양돈시설을 대상으로 사육밀도, 경영방식, 돈사환기방식, 돈분뇨 처리방식 및 악취저감제 적용 특성 등의 관리현황을 파악하고 관능평가 및 악취물질 분석을 통하여 양돈시설에서 발생하는 주요 악취유발물질과 악취발생특성을 파악하고자 하였다.

[†] Corresponding author E-mail: jh@keco.or.kr Tel: 032-590-4675 Fax: 032-590-4699

2. 연구방법

2.1. 연구대상 시설현황

본 연구 대상인 40개의 양돈시설 현황을 Fig. 1에 나타내었다. 연구대상 양돈시설의 85%는 자돈부터 모돈까지 함께 사육하는 일괄경영방식, 15%는 단순 위탁경영방식이었으며, 1,000~3,000두 이내의 양돈시설이 62.5%를 차지하였다. 돈사의 환기방식은 72.5%가 원치방식의 전통적 돈사였고, 25.5%는 무창형 돈사였으며, 돈사 내부의 분뇨 수거방식에 의한 분류시 슬러리피트방식 62.5%, 스크래퍼방식 30.0%, 톱밥 및 재래식이 5.0%이었다. 현장에서 악취저감을 위한 방법으로 미생물제제와 탈취제 등의 환경개선제(92.5%)를 가장 많이 적용하고 있었으며, 일부 바이오필터(2.5%)와 습식처리(2.5%) 등의 방지시설을 설치·운영하고 있었다. 발생된 고형분뇨를 처리하기 위한 방법으로 단순적체 퇴비화방식 60%, 기계교반 또는 통풍기계교반 방식 22.5%로 조사되었으며, 액상분뇨처리 방식은 액비화 35%, 위탁처리 25%, 자가 처리(생물학적 처리) 25% 순으로 조사되었다. 또한 조사 대상 양돈시설의 97.5%는 인근 주거지역과 300 m 이내에 위치하고 있어서 악취민원 발생에 취약한 것으로 조사되었다.

Fig. 1. General informations of swine houses surveyed in the study.

Fig. 2. Manure treatment processes and sampling locations.

2.2. 시료채취 및 분석방법

2009년 1월부터 9월에 걸쳐 Fig. 2에서와 같이 비육돈사 내부, 돈사에서 수거된 돈분뇨가 고액분리되기 전까지 보관되는 분뇨집수조, 고액분리된 액상분뇨를 처리하는 액비화탱크, 고상분뇨를 처리하는 개방형 적체퇴비화시설 및 부지경계에서 공기희석관능법에 의한 복합악취와 양돈시설에서 주로 발생하는 Ammonia (NH₃), Trimethylamine (TMA), Hydrogensulfide (H₂S), Dimethylsulfide (DMS), Dimethyldisulfide (DMDS), Methylmercaptan (MM) 및 2010년부터 지정악취물질로 지정된 Proponic acid (PA), n-Butyricacid (n-BA), n-Valericacid (n-VA), i-Valericacid (i-VA) 등의 10개 지정악취물질을 대상으로 악취공정시험기준에 따라 시료채취 및 분석을 수행하였다.¹³⁾

공기희석관능법에 의한 악취시료의 분석은 악취공정시험기준에 따라 판정 패널 선정시험에 합격한 5인의 패널을 통하여 수행되었으며, 복합악취를 Odor concentration으로 나타내고 단위는 악취시료에 대한 무취공기의 희석배수를 ‘배’ 또는 ‘D/T’ (dilution to threshold ; volume of pure air/volume of odorous air)로 표시하였다. NH₃ 분석은 UV/vis (Cary 300, Varian, U.S.A)를 이용하여 인도페놀류의 흡광도를 측정하는 인도페놀법을 이용하였으며, TMA 분석은 Headspace adsorption (TurboMatrix 40, Perkinelmer, U.S.A)와 가스크로마토그래피(GC/FID)를 이용하여 분석하였다. 황화합물은 Thermal desorber (Unity/Air Server, markers, U.S.A)를 이용하여 농축하였으며, 농축된 시료는 황화합물에 선택성이 높은 불꽃광도검출기(FPD)가 설치된 GC (2010, Shimadzu, Japan)를 이용하였다. Proponic acid을 포함한 휘발성 지방산류의 분석은 Headspace adsorption (TurboMatrix 40, Perkinelmer, U.S.A)와 가스크로마토그래피(GC/FID)를 이용하여 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 돈사 특성별 악취발생특성

3.1.1. 동일한 조건을 갖는 돈사 종류별 악취농도

양돈시설의 경우 사육기간, 체중 또는 사육목적에 따라 자돈사, 비육돈사, 임신사, 분만사 등으로 구분된다. 본 연구에서 동일 조건을 갖는(무창형 환기시스템, 슬러리피트, 미생물첨가제가 첨가된 사료와 음용수를 급이 받음) 자돈사,

Fig. 3. Odor concentration on various swine houses with similar conditions.

육성사, 비육사, 임신사 및 분만사를 대상으로 악취를 측정 한 결과, 각 돈사별 평균 복합악취는 비육사(평균 452배) > 육성사(평균 319배) > 자돈사(평균 210배) > 분만사(평균 99 배) > 임신사(평균 25배)로 순으로 측정되었다(Fig. 3). 이는 사료의 질소함량을 결정짓는 조단백질(crude protein) 함량 이 높은 사료를 급여하는 비육돈의 특성상 분뇨중 발효가 덜된 조단백질 성분으로부터 악취 발생이 증가하기 때문에 비육사에서 악취농도가 상대적으로 높은 것으로 판단된다. 실제로 사료중 조단백질 함량을 조절함으로써 악취발생을 저감한 연구 결과들이 있다.^{14,15)} 또한 각 돈사에서 공통적 으로 NH₃, H₂S, PA, n-BA 등의 악취물질이 모두 검출되었 으나, 특히 비육사에서 H₂S는 70~1,090 ppbv의 높은 농도로 검출되었다.

3.1.2. 비육돈사 환기방식과 돈사 내부의 분뇨 수거방식별 악취농도

돈사의 환기방식은 크게 전통적인 윈치커튼형의 개방형 돈사와 환풍기에 의한 강제환기를 실시하는 무창형 돈사로 구분할 수 있으며, 계절에 따라 환기방식이 다르기 때문에 돈사 내부의 악취농도는 다를 수 있다. 본 연구에서는 돈사 중 가장 악취농도가 높은 비육사를 대상으로 무창형과 개 방형(윈치커튼)일 때의 악취농도를 측정한 결과 겨울철(1~3 월) 복합악취는 평균 400~600배, 환기량이 많은 여름철(7~9

월) 복합악취는 평균 200배 이하로서, 개방형(윈치커튼) 돈 사보다 무창형 돈사의 복합악취가 평균 35% 높은 것으로 조사되었다(Fig. 4).

돈사 내부의 분뇨는 수거방식에 따라 인력식, 톱밥깔집, 스크래퍼방식, 슬러리피트방식 등으로 구분되며, 수거방식 에 따라 돈사내 분뇨가 적체되는 기간이 다르므로 악취농도 의 차이가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 연구대상 양돈시 설의 92.5%를 차지하고 있는 스크래퍼 방식과 슬러리피트 방식의 비육사를 대상으로 악취를 측정한 결과 겨울철(1~3 월)의 슬러리피트 돈사 복합악취는 평균 1,264배, 스크래퍼 돈사 복합악취는 516배로 슬러리피트 방식의 돈사에서 악 취농도가 약 50% 높았다. 또한 봄철(4~6월)과 여름철(7~9 월)의 경우 각각 25%, 3% 높은 것으로 조사되었다(Fig. 5). 일반적으로 슬러리피트 방식보다 스크래퍼 방식일 때의 돈 분뇨 수거기간이 짧으며, 수거기간이 짧을수록 돈분뇨의 부 패로 인한 악취 발생을 사전에 저감할 수 있는데, 실제로 본 연구대상 스크래퍼 방식 비육사의 경우 평균 돈분뇨 수거 주기는 8.4일이었고, 슬러리피트 방식의 비육사는 22일이 었다.

3.1.3. 환경개선제 사료첨가 유무에 따른 악취농도

환경개선제를 포함하고 있는 사료를 급여한 비육사와 환 경개선제를 포함하지 않는 사료를 급여한 비육사에서 악취

Fig. 4. Odor concentration in accordance with manure handling and ventilation types in finishing house.

Fig. 5. Odor concentration in accordance with a microbial additives feeding in finishing house.

농도를 측정하였다. 무창형의 슬러리피트 돈사(4~6월)와 개방형(윈치커튼) 슬러리피트 돈사(7~9월)에서 환경개선제가 포함된 사료를 급이한 돈사의 악취 농도가 환경개선제를 포함한 사료를 급이하지 않은 돈사보다 낮은 악취농도를 보였다. 그러나 1~3월에 측정된 개방형(윈치커튼) 돈사에서 오히려 환경개선제가 포함된 사료를 급이한 돈사에서 악취농도가 높게 측정되는 등 환경개선제의 사료첨가 유무에 따른 악취농도 저감효과와는 연관성을 찾을 수 없었다 (Fig. 5). 이는 본 연구의 대상이 되는 돈사들이 동일한 조건들(환경개선제의 종류, 투입량, 급이주기 및 사육밀도 등)이 아니기 때문인 것으로 판단되며, 향후 환경개선제에 의한 악취저감효과를 객관적으로 평가하기 위해서는 동일한 조건하에서 대조군을 설정하여 오직 환경개선제의 사료첨가 유무를 단일 변수로 하는 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.¹¹⁾

3.2. 분뇨처리과정 별 악취발생 특성

돈사내부에서 발생하는 분뇨는 일반적으로 분뇨집수조에 먼저 저장된 후 고액분리를 거쳐 고형분은 퇴비화시설로, 액상상태의 노는 액비화시설로 이송되어 처리되거나 위탁처리된다. 일부 대규모 양돈농가에서는 자체적으로 설치된 분뇨처리시설에서 발생한 분뇨를 정수처리하여 방류하기도 한다. 본 연구에서는 돈분뇨 처리과정 중 분뇨집수조, 액비화시설(포기/무포기 상태) 및 퇴비화시설(단순적체, 교반발효)에서 악취를 측정하였다.

퇴비화시설의 복합악취는 평균 201배, 비육사의 평균 복합악취는 506배, 분뇨집수조의 복합악취는 평균 913배순으로 악취농도가 높았으며, 특히 포기 중인 액비화탱크의 평균 복합악취는 4,055배로 무포기 상태 액비화탱크의 평균 복합악취인 102배보다 약 40배 높은 것으로 조사되었다(Fig. 6). 일반적으로 고액분리가 안된 상태로 저장되고 있는 분뇨집수조에서 고농도의 악취가 발생하는 것으로 알려져 있으며, 고액분리 효율에 따라 퇴비화시설 및 액비화시설에서 발생하는 악취가 달라지기 때문에 고액분리 효율을 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.¹⁶⁾

Fig. 6. Comparison of odor concentration among manure treatment facilities.

3.3. 부지경계 악취측정결과

대부분의 양돈시설은 악취관리지역 외에 위치하고 있으며, 악취관리지역 외 부지경계 악취농도(복합악취) 배출허용기준은 15배이다. 조사대상 22개 양돈시설 중 3개 사업장을 제외하고는 배출허용기준을 초과하였다(Fig. 7). 양돈시설의 97.5%가 주거지역으로부터 300 m 이내에 위치하고 있기 때문에 악취민원에 매우 취약할 것으로 판단되며 악취저감을 위한 관리방안이 요구된다.

Fig. 7. Odor concentration at the boundary of the swine houses surveyed.

Table 1. Odor threshold values of the studied odor compounds.¹⁹⁾

Compounds	Abbreviations	Odor threshold value (ppmv)	Compounds	Abbreviations	Odor threshold value (ppmv)
Ammonia	NH ₃	1.5	Dimethyldisulfide	DMDS	0.0022
Trimethylamine	TMA	0.00003	Propionicacid	PA	0.0057
Hydrogensulfide	H ₂ S	0.00041	n-Butyricacid	n-BA	0.00019
Methylmercaptan	MM	0.00007	n-Valericacid	n-VA	0.000037
Dimethylsulfide	DMS	0.003000	iso-Valericacid	i-VA	0.000078

3.4. 악취 원인물질 규명

양돈시설에서 발생하는 주요 악취원인물질을 파악하기 위하여 측정된 악취물질 농도에 Table 1에서 제시한 각 악취물질의 최소감지농도(odor threshold value)를 나눠서 복합악취에 기여하는 정도를 파악하는 방법을 적용하였다(식 (1)).¹⁷⁾

$$\text{predicted odor concentration (D/T)} = \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^i \frac{\text{Concentration of odor compounds}_i \text{ measured (ppmv)}}{\text{odor threshold concentration of measured odor compounds}_i \text{ (ppmv)}}$$

TMA를 제외한 9종의 악취물질(NH₃,와 H₂S, MM, DMS, DMDS, PA, n-BA, n-VA)이 비육사와 분뇨집수조 및 퇴비화시설 모두에서 검출되었다. 특히 NH₃는 분뇨처리시설에서 공통적으로 높은 농도로 검출되었으나(퇴비화시설에서 평균 43.4 ppmv, 분뇨집수조에서 37.1 ppmv, 포기 중인 액비화탱크에서 176.7 ppmv), 최소감지농도가 1.5 ppmv로 높기 때문에 악취기여도는 매우 낮은 것으로 조사되었다(Table 1). 퇴비화시설에서 최소감지농도가 매우 낮은 n-BA, n-VA, i-VA 등의 휘발성 지방산류가 17~243 ppbv로 검출되어 주요 악취기여물질인 것으로 조사되었으며, 분뇨집수조에서는 H₂S, MM 등의 황화계열 악취물질이 132~764 ppbv로 검출되어 주요 악취기여물질인 것으로 조사되었다. 특히 포기 중인 액비화탱크에서 H₂S, MM 등의 황화계열 악취물질과 함께 n-BA, n-VA, i-VA 등의 휘발성 지방산류가 50~320 ppbv의 고농도로 검출되었는데 이는 분뇨 중 유기물이 시간의 경과에 따라 분해되면서 휘발성 유기산류로 전환되기 때문이다(Fig. 8).¹⁸⁾

본 연구 대상 양돈시설에서 측정된 10종의 악취물질에 대하여 식 (1)을 적용하여 산정한 예측 복합악취(D/T)와 실제 측정된 복합악취(D/T)를 비교한 결과, R수치가 0.675의 낮은 상관관계를 보였다.

4. 결론

총 40개소의 양돈시설을 대상으로 악취배출특성 및 발생요인분석을 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 양돈시설 악취발생원 중 악취농도(복합악취)는 포기상태의 액비화탱크(평균 4,055배) > 분뇨집수조(평균 913배) > 비육사(평균 506배) > 퇴비화시설(평균 201배) 순으로 조사

Fig. 8. Odor contribution ratio and odor concentration on manure treatment facilities.

되었으며, 유사한 돈사환경 조건을 갖는 돈사별(자돈사, 육성사, 임신사, 분만사, 비육사) 악취측정 결과, 비육사 악취농도(복합악취)는 평균 452배로 다른 돈사와 비교하여 높은 수치를 나타내었다.

2) 돈사 중 개방형(원치커튼) 비육돈사보다 무창형 비육돈사의 복합악취가 평균 35% 높은 것으로 조사되었으며, 스크래퍼 방식의 비육돈사보다 슬러리피트 방식의 비육돈사에서의 악취농도가 겨울철(1~3월)에는 약 50%, 봄철(4~6월)과 여름철(7~9월)의 경우 각각 25%, 3% 높은 것으로 조사되었다.

3) TMA를 제외한 9종의 악취물질(NH_3 와 H_2S , MM, DMS, DMDS, PA, n-BA, n-VA)이 돈사와 분뇨집수조, 액비화탱크 및 퇴비화시설에서 검출되었다. 악취기여도가 높은 물질은 H_2S , MM등의 황화계열물질과 n-BA, n-VA, i-VA등의 휘발성 지방산류이었으며, 측정된 악취물질의 예측 복합악취(D/T)와 실제 측정한 복합악취(D/T)와의 상관관계를 나타내는 R수치는 0.675로 평가되었다.

KSEE

참고문헌

1. 2010년 악취민원 실태분석 보고서, 환경부(2011).
2. Park, G. H., Oh, G. Y., Jung, K. H., Jung, S. Y. and Cha, G. S., "The Odor Characteristics of Livestock Raising Facility," *Kor. J. Odor Res. Eng.*, **4**(4), 207~215(2005).
3. SKinner, J. A., Lewis, K. A., Bardon, K. S., Tucker, P., Catt, J. A. and Chambers, B. J., "An Overview of the Environmental Impact of Agriculture in the U. K.," *J. Environ. Manage.*, **50**, 111~128(1997).
4. Schiffman, S. S., Bennett, J. L. and Raymer, J. H., "Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina," *Agr. Forest. Meteorol.*, **108**(3), 213~240 (2001).
5. Blanes, V. V., Hansen, M. N., Adamsen, A. P. S., Feilberg, A., Petersen, S. O. and Jensen, B. B., "Characterization of odor released during handling of swine slurry: Part I. Relationship between odorants and perceived odor concentrations," *Atmos. Environ.*, **43**, 2997~3005(2009).
6. Mackie, R. I., Stroot, P. G. and Varel, V. H., "Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste," *J. Anim. Sci.*, **76**, 1331~1342(1998).
7. The Science of Smell Part 2 : Odor Chemistry (PM 1963b), Iowa state university animal agriculture and air quality publication(2004).
8. McCroty, D. F. and Hobbs, P. J., "Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: A review," *J. Environ. Qual.*, **30**, 345~355(2001).
9. Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., Kim, Y. S., Roh, Y. M., Lee, C. M. and Kim, C. N., "Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives," *Bio. Technol.*, **99**, 8464~8469(2008).
10. Wui, J. J. and Masten, S. J., "Oxidation kinetics of phenolic and indolic compounds by ozone: applications to synthetic and real swine manure slurry," *Water Res.*, **36**, 1513~1526(2002).
11. Ryu, H. W., Cho, K. S., Lee, T. H. and Mook, H., "Management of offensive odors in swine production facilities: I. Domestic status and offensive odors in swine production," *Kor. J. Odor Res. Eng.*, **2**(2), 78~85(2003).
12. Hartung, J. and Phillips, V. R., "Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores," *J. Agric. Eng. Res.*, **57**, 173~189(1994).
13. Willig, S., Lacorn, M. and Claus, R., "Development of a rapid and accurate method for the determination of key compounds of pig odor," *J. Chromato. A.*, **1038**(1~2), 11~18 (2004).
14. 악취공정시험법, 국립환경과학원(2007).
15. Portejoie, S., Dourmad, J., Martinez, J. and Lebreton, Y., "Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs," *Live. Prod. Sci.*, **91**, 45~55(2004).
16. Le, P. D., Aarnink, A. J. A. and Jongbloed, A. W., "Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level," *Live. Sci.*, **121**, 267~274(2009).
17. Lee, E. Y., "Emission Characteristics of Malodor Produced from the Excreta of Weaners Fed with Probiotics and Odor Contribution Analysis of Odor Materials," *Kor. J. Odor Res. Eng.*, **10**(3), 147~154(2011).
18. Park, S. K., Choi, J. G. and Chung, Y. J., "A Practical Study on the Solid-Liquid Separation of the Swine Wastewater from Slurry Feedlot," *J. Kowrec.*, **8**(2), 60~70(2000).
19. 악취관리편람, 환경부(2007).