

재활용을 위한 양돈폐수와 공정슬러지의 특성연구

황인수 · 민경석^{*†}

상주시축산폐수처리사업소

^{*}경북대학교 환경공학과

Study on Characteristics of Piggery Waste and Processing Sludge for Reuse

In-Su Hwang · Kyung-Sok Min^{*†}

Office of Livestock Wastewater Treatment Plant, Sanju city

^{*}Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University

(Received 20 October 2005, Accepted 1 December 2005)

Abstract

Characteristics of piggery waste and treatment processing sludges for reuse were investigated. If it was thoroughly regulated in disinfectants, antibiotic substances and heavy metals, raw piggery waste can be gratified in criteria for fermentative compost (liquid) for flowers cultivation. Also, Because it is satisfied with various criteria of heavy metals and fertilizer contents for reuse except water content, primary pre-treatment sludge is very good material for composting. If provated goods on heavy metals are used in coagulation & dewatering process, coagulation & dewatering sludges are suitable for criteria of special waste regulation and by-product compost. This study proves that, if they are accomplished with suitable composting and mature process, piggery waste and processing sludges are free from microbiological problems as well as criteria of composting.

keywords : Compost, Dewatering sludge, Piggery waste, Primary sludge

1. 서 론

양돈폐수는 고농도의 유기물과 질소를 함유하고 있을 뿐만 아니라, 폐수처리 후 남게 되는 슬러지 또한 2차 오염 가능성을 가지고 있다.

2003 축산폐수처리 통계(환경부 등, 2004)에 의하면, 우리나라에서 발생하는 축산폐수는 총 150,483 m³/일로서, 양돈폐수가 전체 축산폐수발생량의 63.1%인 약 95,015 m³/일을 차지하고 있다. 발생한 축산폐수는 전체 축산농가의 89.5%가 퇴비화 및 액비화 등으로 재활용하고 있으며, 공공처리시설처리 4.6%, 자체정화처리 3.0%, 재활용신고자 위탁처리 2.0% 및 해양투기로 0.9%를 처리하고 있다.

EPA나 선진외국에서 축산분뇨나 슬러지 등 유기성 폐기물을 “바이오솔리드(Biosolid)”라는 재이용 또는 자원화 측면에서 인식하는 것과는 달리, 최근까지 국내에서는 매립, 소각 또는 해양투기 등 폐기물적 관리 관점이 주를 이루어 왔다. 우리나라의 경우 축산폐기물 및 슬러지의 재이용에 관한 사항은 농업진흥청고시(제2005-1호, 2005. 3. 19)에 규정된 비료공정규격중 부산물비료항목, 폐기물관리법시행규칙의 별표규정에 의한 음식물류 폐기물(농수축산물류 폐기물을 포함)과 유기성슬러지의 처리기준에 대한 환경부고시

(제2000-78호, 2000. 7. 7)에 규정되어 있다. 비료공정규격에서 규정된 축산폐수와 관련된 부산물비료항목은 그린(1급)퇴비, 퇴비, 분뇨잔사, 가축분뇨발효비료(액) 등이며, 인·축분뇨 등 동물의 분뇨(인분뇨 처리잔사, 구비, 우분뇨, 돈분뇨, 계분, 기타 동물의 분뇨)를 사용가능한 원료로 분류하고 있다. 또한 기타 비료원료로 활용가치가 있는 물질은 사전 분석검토 후 사용 가능한 원료로 분류하고 있는데, 퇴비의 원료로 사용하고자 하는 자가 제시한 폐수처리공정에 첨가되는 물질의 종류 특성과 슬러지중의 이화학적 성분, 재료의 토양오염 및 분해성의 자료를 농업과학기술원장이 검토한 후 지정고시하도록 하고 있다.

환경부의 「유기성 슬러지 등을 토지개량제 및 매립시설 복토용도로의 재활용 방법에 관한 고시(안)(제2000-78호, 2000. 7. 7)」에서는 부숙도 원료기준에 적합한 폐기물로서 오수·분뇨및축산폐수처리에관한법률 제2조의 규정에 의한 축산폐수처리시설 및 분뇨처리시설에서 발생하는 유기성 슬러지를 규정하고 있다. 따라서 축산분뇨는 물론 축산폐수처리시설의 공정슬러지도 재활용이 가능하다.

2003년 현재 전국 축산폐수공공처리시설은 총 41개소가 운영 또는 설치중(총 시설용량 9,745 m³/일)에 있으며, 가동중인 축산폐수공공처리시설 중 슬러지가 발생하는 시설(25개소 6,895 m³/일)에서 2003년 한해 동안 발생한 슬러지는 57,270톤이다. 이중 처분량은 전년도 발생량 중 미처분량을 포함하여 62,601톤이며, 처분방법은 재활용(퇴비

[†] To whom correspondence should be addressed.
ksmin@knu.ac.kr

등) 40,603톤(64.9%), 매립 871톤(1.4%), 소각 691톤(1.1%), 해양투기 17,128톤(27.4%), 기타 3,309톤(5.2%)으로서, 대부분 유기질 비료의 원료로서 이용되었다(환경부 등, 2004). 최근 5년간의 자료를 분석해 보면, 1999년도에 89.7%를 차지하던 재활용비율이 2003년에는 70.9%로 낮아졌으며, 매립비율은 6.74%에서 소폭 증가하다가 1.52%로 다시 낮아졌다. 반면에 해양투기는 3.57%에서 5년만에 29.9%까지 증가하는 양상을 보이고 있다(환경부 등, 2000~2004). 이러한 현상은 우리나라 현실상 퇴비화에 대한 농지부족과 미숙퇴비 등에 의한 피해가 증가함에 따라 많은 소요비용이 소모됨에도 불구하고 처분이 간단한 해양투기에 집중한 결과에 기인한다. 그러나 1972년 “폐기물 및 기타 물질의 투기에 의한 해양오염방지에 관한 협약(런던협약)”에 이어 “1996 의정서”가 발효하여 향후 유기성 폐기물의 해양투기 금지 등 많은 문제가 발생될 전망이다.

축산폐수와 슬러지는 유기물, 질소, 인, 칼륨 등 유용한 물질을 함유하고 있으나, 중금속, 유기화학물질 및 병원균 등의 함유가능성 때문에 사용에 있어서 많은 제한이 있다. 외국에서는 최근에도 유기성 폐기물의 재활용을 위해 중금속 등에 대한 연구(Cao et al., 2003; Düring et al., 2003; Jones et al., 2003; Manios et al., 2003)가 활발하게 진행되고 있는 반면에, 그동안 국내 대부분의 슬러지 재활용 연구는 외국의 예에 따라 하수슬러지에 집중되어왔다(최 등, 1995; 이, 1999). 또한 과거에는 축산폐수 자체에 대한 성분이나 액비화에 따른 비료성분에 대한 연구(정 등, 1985)가 다수 있었으나 최근 축산폐수의 변화된 성상이나 폐수 처리 공정슬러지에 대한 연구에 상대적으로 관심이 적었다.

본 연구에서는 축산분뇨의 자원화를 위한 기본자료를 도출하기 위하여 축산폐수공공처리시설에 유입되고 있는 양돈폐수를 중심으로 양돈폐수의 성상, 전처리시설을 거친 혐잡물의 특성, 응집탈수공정에 사용되는 응집제와 응집탈수공정을 거친 슬러지의 특성 등을 조사하였다. 또한 도출한 자료를 토대로 화학적 탈수슬러지처분의 문제점 해결, 슬러지처분비용절감, 자원의 재활용 등 합리적인 처분방법을 강구할 수 있는 기초를 마련하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 유입 양돈폐수의 성상분석

양돈폐수는 자원으로 활용할 경우 유기물 및 양분공급원으로서 토양환경 개선과 자연순환 친환경농업 추진이 가능하다. 적정하게 관리되지 않을 경우 점오염원 또는 비점오염원으로 작용하여 수질에 큰 영향을 미치게 된다. 양돈폐수에는 질소(N)를 비롯한 인산(P_2O_5), 칼리(K_2O) 등 3대 비료성분과 유기물, 기타 작물생육에 필요한 각종 미량물질이 다량 함유되어 있으며, 토양개량제 역할도 함께 담당하고 있다.

시료를 채취한 S시 축산폐수공공처리시설에는 100% 양돈폐수만이 유입되고 있으며, 95% 이상이 슬러리형 돈사에서 발생하고 있다. 대표성상을 도출하기 위하여 수집·운반차량에서 계절별로 3회이상씩 총 10회 4 L씩 채수한 후

비료의 이화학적 검사방법에 의하여 비료성분을 검사하였다. 중금속 등은 폐기물공정시험법을 준용하였다.

2.2. 응집제의 성상분석

화학적 응집·탈수슬러지의 응집슬러지를 부산물 퇴비로 사용하기 위해서는 일차적으로 슬러지의 중금속 함량이 지정폐기물기준에 적합하여야 하며, 이 성상을 결정하는 가장 중요한 요소가 바로 염화제이철($FeCl_3$)이다. 따라서 현재 시중에 유통되는 국내 주요 5개 생산업체에서 생산되는 염화제이철에 함유된 중금속을 측정하였으며, 생산업체별로 2개월 간격으로 각각 3회씩 측정하여 산술평균하였다. Pb, Cd는 AAS(Atomic Absorption Spectrophotometer)로, As, Hg, Cu와 Cr^{6+} 는 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)로 분석하였다.

2.3. 슬러지의 성상분석

시료로 사용한 일차 전처리슬러지는 대표치를 구하기 위하여 S시 축산폐수공공처리시설에서 계절별로 각 2회씩 채취하였으며, 응집·탈수슬러지는 전국 주요 축산폐수공공처리장 12개소에서 발생하는 전처리 및 화학적 응집·탈수슬러지를 대상으로 하여 비료성분은 물론 지정폐기물 항목 및 미생물학적 특성을 검사하였다. 슬러지 시험자료는 대표치를 도출하기 위하여 동일 시료를 2회이상 측정 후, 산술평균하였다.

pH는 슬러지와 물을 1:5법(Jackson, 1958)으로 하여 pH meter를 사용하였고, 함수율은 중량법을 사용하였다. 유기물(VS), 총탄소(T-C)는 회화법(dry-ashing)을, 총질소(T-N)는 Kjeldahl법을 사용하였다. P, K, Na는 비료의 이화학적 분석법을 준용하였고 염분(NaCl)값은 Na값에 계수인 2.54를 곱하여 구하였다. 기타 중금속 등은 폐기물공정시험법 및 토양오염공정시험법에 준하여 측정하였다.

2.4. 양돈폐수 및 슬러지의 미생물학적 특성분석

미생물학적 세균실험은 무균적으로 시료를 채취한 후, 적당량의 시료를 무균처리한 증류수에 희석하고, Nutrient agar배지에서 일반세균, 대장균, 장내병원성세균 및 기생충을 배양하여 측정하였다.

일반세균은 양돈폐수의 경우 희석 후 배지에 직접 접종하였으며, 슬러지는 희석현탁액을 조제한 후 배지에 접종하여 35~37°C에서 48시간 생육시킨 후, 집락(colony)을 계수하는 희석평판법을 사용하였다. 세균수의 결정은 시료마다 단계별로 희석하여 접종·배양한 후, 한 개의 petri dish당 균의 colony수가 30~200개 정도 나타난 것을 선택하여 계수한 후 평균치를 구하였다.

대장균수는 15개 BGSB배지에 희석된 시료를 3단계로 접종하여 35~37°C에서 48시간 배양하여 최확수(MPN)로 산출하였다. 슬러지는 현탁액을 만들어서 희석평판법과 동일한 방법으로 희석하여 사용하였으며, 기생충 검사는 Antiforming 용액과 $Na_2Cr_2O_7$ 용액으로 처리한 후 원심분리하여 현미경으로 세균수를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 양돈폐수의 이화학적 특성

Table 1은 본 연구에서 S시 축산폐수처리장에 유입하는 양돈폐수를 비료의 이화학적 검사방법에 의해 측정된 결과이다.

성상을 비료공정규격(농촌진흥원고시 제2005-1호, 2005.3.19) 제4종 복합비료중 화초용의 규격과 비교한 결과, 질소전량과 수용성인산 또는 수용성가리중 2종 이상의 합계량에 있어서만 다소 차이가 있을 뿐, 기타 규격은 모두 만족하였다. 따라서 적절한 혼합 퇴비화 등을 통하여 일부 성분조성만 변경하면 복합비료중 화초용의 기준에 적합한 것으로 나타났다. 또한 양돈폐수를 발효처리(액비화)로 부속시 부산물비료중 가축분뇨발효비료(액)에 대한 공정규격에도 적합할 것으로 나타났다.

양돈폐수의 재활용에 있어서 성상의 문제가 되는 것은 사료에 함유된 중금속과 소독제 및 항생제 문제이다. 축산 규모가 과거 소규모·부업적 사육방식에서 대규모·전업농 형태로 전환됨에 따라, 사료공급도 생활주변의 부산물 공급에서 대량사육과 속성성장을 도모하기 위한 배합사료 중심으로 전환하였고, 일부 배합사료내에는 성장촉진과 질병예

방을 위해 구리, 아연 및 항생제 등이 포함되어 있다. 사료관리법에서의 구리와 아연량 제한은 「사료관리법 제16조 규정에 의한 사료공정서(농림부고시 제2002-6호, 2002. 1. 19)」의 별표9(사료중 특정성분 함량 제한기준)에 규정되어 있다. 또한 가축대량 사육 및 밀집사육 등에 따른 질병발생을 사전예방하기 위하여 수시로 소독 등 방역작업이 실시됨에 따라 소독약은 병원균사멸에 효과를 가지나 결과적으로는 가축분뇨를 발효·분해시키는 미생물 활성도를 저하시켜 분뇨의 적정처리를 방해할 우려가 있다. 이러한 요인으로 인하여 일부 지역에서는 액비중 중금속이 비료공정규격 기준을 초과하는 등 퇴·액비 품질저하가 발생하고 있다. 따라서 가축사료중 중금속 및 항생제 등 성분기준을 강화하기위하여 가축에 대한 질병 및 성장촉진 이외에 분뇨의 퇴·액비화 등 적정처리에도 문제를 최소화 할 수 있는 수준으로 기준을 재조정하고 배합사료 내 구리 및 아연 첨가량을 조절할 필요가 있다. 이에 대한 대책으로서, 현재 53종인 사료내 혼합가능한 동물약품의 종류를 선진국수준(23종)으로 감축하고, 유통되는 소독약, 항생제 및 음용수 등은 연구기관을 통해 유해성분 함유여부를 분석하여야 할 것이다. 이와 함께 유해성분 다량 함유 자재에 대한 정보 제공과 사용자제를 유도해야 할 것이다(농림부 등, 2004).

Table 1. Fertilizer contents of piggery waste

Item	Range(%)	Criteria of fertilizer for flowers cultivation in Korea	Criteria of fermentative compost(liquid) of Livestock waste fertilizer in Korea
Total N	0.54~0.61	1. Total contents of two more of total N, soluble-P ₂ O ₅ or Soluble-K ₂ O must to be less 0.2%	1. Total N 0.3% or higher
Soluble-P ₂ O ₅	0.09~0.13		
Soluble-K ₂ O	0.59~0.67		
Soluble-MgO	0.01~0.03		
Soluble-Ca	0.02~0.06		
Soluble-Fe	0.0007~0.0014		
Soluble-Zn	0.0005~0.0009		
Soluble-Cu	0.0003~0.0006		
Soluble-Mo	0.0001~0.0003		
Soluble-B	0.0001~0.0004		
Soluble-Mn	0.0001~0.0003		
Thiosulfur	ND		
-cyanide			
As	ND		
Cu	0.00083~0.00126		
Cd	0.00001~0.00003		
Hg	ND		
Cr	0.00001~0.00003		
Pb	0.00002~0.00005		
Ni	ND		
Buret type-N	0.0001~0.0002		
Sulfamic acid	ND		
Nitrite	ND		
others;		2. Contents of followings two more have to guarantee absolutely(%); Soluble-MgO : 0.01 Soluble-Mn : 0.001 Soluble-B : 0.001 Soluble-Fe : 0.01 Soluble-Zn : 0.001 Soluble-Cu : 0.001	2. Heavy metals(max. mg/kg) As : 5 Cd : 0.5 Hg : 0.2 Pb : 15 Cr : 30 Cu : 50 Ni : 5 Zn : 130
pH	7.9~8.3		
Water content	95~97		
Organic matter	10.4~16.7		
C/N	11.6~16.9		
NaCl	0.17~0.26		
		3. Maximum contents of percentage for 1% of sum of total N, Soluble-P ₂ O ₅ and Soluble-K ₂ O(%); Thiosulfur cyanide 0.005 As : 0.002 Buret type-N : 0.01 Sulfamic acid : 0.005 Nitrite : 0.02	3. NaCl : 0.3% or lower
			4. Water content : 95% or higher
			5. Ordor ; 2 degree or lower

Note) Unit : %

본 실험에서 양돈폐수는 액비로 사용시 충분한 부식을 거쳤을 경우 수분감소와 악취 및 병원성 미생물을 해결할 수 있으므로 비료성분상으로는 충분한 이용요건을 갖춘 것으로 나타났다.

3.2. 염화제이철의 성분검사결과

Table 2는 우리나라에서 시장점유율이 높은 5개 주요 염화제이철(FeCl₃) 생산업체의 중금속 함유량을 조사한 것이다.

슬러지는 철, 망간, 구리, 아연, 크롬, 카드뮴, 납 등의 중금속함량이 높을 경우 토양오염과 작물에 악영향을 끼치는 물론 작물 내 축적으로 인한 인체의 피해와 농약살포 시 독성의 상승작용을 유발할 가능성이 있다. 슬러지의 중금속 문제는 화학적 응집·탈수공정 중 사용하는 재생 염화제이철(FeCl₃)에 기인한다. 일단 중금속이 함유된 슬러지는 중금속의 제거가 사실상 불가능할 뿐 아니라 기준치를 초과할 경우 지정폐기물로 지정되어 유기질비료로 사용할 수 없도록 법으로 규제하고 있다.

탈수슬러지의 중금속 함유여부를 결정하는 염화제이철(FeCl₃)은 유기반응의 산화제 및 축합제 역할을 하는데, 산화철(Fe₂O₃)을 염산에 녹인 다음 결정화시켜 수화물로 제조한다. 황갈색으로서 조해성이 강하며, 물에 잘 녹고 수용액은 가수분해하여 강산성을 나타낸다. 제조과정에 사용하는 원료인 산화철을 폐기물 등에서 추출할 경우 중금속이 함유될 위험을 가지고 있다.

측정결과, 시험대상으로 한 5개 업체는 대체로 양호한 중금속함량을 보이고 있으나, 제품에 따라 납과 구리는 제품에 따라 편차가 크게 나타났는데, 구리의 경우 최고 약 10배나 농도차이를 보였다. 탈수슬러지의 재이용에 있어서 중금속문제를 해결할 수 있는 최선의 방법은 중금속이 포함된 재생 산화철을 이용하여 생산된 저질품 사용을 엄격히 피하는 것이다. 따라서 타시군의 처리장슬러지의 성상을 분석한 자료를 바탕으로 하여 우수한 품질의 염화제이철을 사용해야 할 것으로 판단된다.

3.3. 슬러지의 이화학적 특성

Table 3에 양돈폐수의 전처리 슬러지와 화학적 탈수슬러지의 중금속함량 및 비료성분을 정리하였다. 양돈폐수처리공정에서 발생하는 슬러지는 혐잡물처리와 원심분리를 거치는 전처리공정에서 발생하는 전처리슬러지와 응집·탈

수과정에서 발생하는 탈수슬러지로 구분된다. 우리나라의 비료공정규격(농촌진흥청고시 제 2002-23호, 2005. 3. 19)에는 부산물 퇴비의 공정규격으로서 함유할 수 있는 유해성분의 최대량이 규정되어 있으며, 기타규격으로는 유기물 25%이상, 유기물대 질소의 비 50이하, 염분(NaCl) 1.0%이하, 수분 50%이하로 규정하고 있다.

「유기성 슬러지 등을 토지개량제 및 매립시설 복토용 도로의 재활용 방법에 관한 고시(안)(환경부고시 제 2000-78호, 2000. 7. 7)」에서 부속토는 정원·공원·임야·간척지·개간지·도로절개지·폐광지·토양식생복원사업지 등의 토지개량제 또는 매립지복토용으로 사용할 수 있도록 규정하고 있다. 다만, 농경지·목본과수지·화훼재배지·묘목장·식용작물재배지에는 사용이 금지되고 있다. 사용량 기준은 연간 1천평당 13톤 이하이다. 부속토의 원료기준에 적합한 슬러지는 지렁이 분변토 생산에도 재이용 할 수 있다.

3.3.1. 전처리 슬러지

Table 3에서 보는 바와 같이, 전처리 슬러지는 구리 0.055~0.185 mg/kg, 비소 0.005~0.007 mg/kg, 니켈 0.09~0.18 mg/kg, 아연 0.60~0.70 mg/kg으로서 극히 낮은 중금속 농도를 보였으며, 기타 유해물질은 검출되지 않았다. 유기물 함량은 36.4~42.3%였고, C/N비는 15.2~22.3으로서 퇴비의 공정규격으로는 적합하였다. NaCl은 0.23~0.35%로 나타났다.

성상분석 결과, 전처리 슬러지는 지정폐기물은 물론 비료공정규격(농촌진흥청고시 제 2002-23호, 2005. 3. 19)상의 부산물 퇴비의 함수율을 제외한 전항목 및 「유기성 슬러지 등을 토지개량제 및 매립시설 복토용 도로의 재활용 방법에 관한 고시(안)(환경부고시 제 2000-78호, 2000. 7. 7)」의 부속토 “가”등급기준에 적합하였다. 따라서 간단한 수분조절(60~70%)만으로도 재이용이 가능하며, 퇴비화를 위한 최적의 C/N비(25~50)를 조성하기 위해서는 C/N비가 높은 우분이나 유기성 폐기물 등을 혼용하여야 할 것으로 사료된다.

3.3.2. 화학적 응집·탈수슬러지

축산폐수의 처리공정에서는 응집·탈수에 고분자응집제(Polymer flocculant)와 염화제이철(FeCl₃)을 병용하고 있다. 고분자응집제로는 양이온성인 폴리메타크릴산아미노알킬에스테르를 주로 사용하며, 염화제이철(FeCl₃)에 함유된 중금

Table 2. Various content of heavy metal in FeCl₃

Products	Pb	Cd	Cu	Cr ⁶⁺	Hg	As	Ni	Zn
NO.1	9.5~9.6	0.7~0.8	31.6~34.3	ND	ND	2.5~2.9	52~86	68~88
NO.2	1.5~61.9	0.7~0.9	33~58.8	ND	ND	2.7~3.3	68~96	33~48
NO.3	122~172	0.8~0.9	10.6~33.6	0.1~0.8	ND	0.6~1.7	34~60	20~38
NO.4	150~164	0.6~0.7	580~673	ND	ND	1.7~2.1	89~126	40~67
NO.5	1.7~2.0	ND	59~69	1.6~2.0	ND	ND	48~65	16~19

Note) 1. Unit : mg/kg
 2. ND : Not detected
 3. Pb, Cd by AAS : Cu, Cr⁶⁺, Hg, As, Ni, Zn by ICP-AES

Table 3. Heavy metals and trice elements of sludges from piggery waste

Items	Criteria for special regulation [*]	Criteria for by-product manure [*]	Criteria for mature soil usage [*]		This study	
			Degree A	Degree B	Pretreatment sludge	Dewatering sludge
Pb	3	150	150	225	ND	0.0~15.6
Cd	0.3	5	5	8	ND	0.0~1.4
Cu	3	300	500	750	0.055~0.185	0.00~245
Cr ⁶⁺	1.5	300	300	370	ND	0.00~42.0
Hg	0.005	2	2	3	ND	0.00~0.93
As	1.5	50	50	50	0.005~0.007	ND
CN	1	-	-	-	ND	ND
TCE	0.3	-	-	-	ND	ND
TECE	0.1	-	-	-	ND	ND
Org-P	1	-	-	-	ND	ND
N-Hex	5	-	-	-	ND	ND
Ni	-	50	-	-	0.09~0.18	2.6~62.3
Zn	-	900	-	-	0.60~0.70	3.2~334.3
Organic matter	-	25 or higher	min.25	min.25	36.4~42.3	34.9~51.1
C/N	-	50 or lower	Max.50	Max.50	15.2~22.3	8.98~12.95
NaCl	-	1.0 or lower	Max.1	Max.1	0.23~0.35	0.19~0.51
H ₂ O	-	50 or lower	-	-	60.5~66.8	77.2~86.0
pH	-	-	-	-	7.8~8.2	4.6~4.9
T-C	-	-	-	-	32.0~55.8	13.20~37.73
T-N	-	-	-	-	2.48~3.87	1.04~3.69
P	-	-	-	-	3.30~4.73	5.7~6.2
K	-	-	-	-	0.36~0.63	0.36~0.67

Note) 1. Unit : mg/kg(N-Hex, Organic matter, NaCl, H₂O : %; C/N, no demension)
 2. ND : not detected
 3. * : Current standards in Korea

속은 탈수슬러지에 잔류하게 된다.

분석결과, 응집·탈수슬러지는 지역마다 사용하는 염화제 이철의 성상이 상이함에 따라 성상의 차이가 극심하였다. 전처리 슬러지와 같이 부산물 퇴비의 함수율을 제외한 전 항목 및 부속토 “가”등급기준에는 적합하였으나, 이들 보다 기준이 더 엄격한 폐기물 관리법상의 지정폐기물 항목인 납, 카드뮴, 구리, 6가크롬, 수은, 니켈 등 중금속 기준을 초과하는 곳이 많았다. 그러나 지정폐기물기준을 초과한 탈

수슬러지는 부속토 “가”등급의 원료기준에는 적합하므로 다른 유기성폐기물을 이용한 혼합퇴비화 방안(한국자원재 생공사, 1997; 민 등, 2002) 등 재활용은 가능한 것으로 보인다.

조사대상인 12개소 중에서 지정폐기물의 기준과 부산물 퇴비의 규격기준에 모두 적합한 것으로 나타난 슬러지는 50%에 불과하였는데, 응집·탈수과정에서 사용하는 염화제 이철의 성상이 매우 중요하다는 것을 보여준다.

Table 4. Heavy metals and trice elements of chemical dewater sludge

	Pb	Cd	Cu	Cr ⁶⁺	Hg	As	CN	TCE	TECE	Org.P	N-Hex	Zn	Mn	Ni
Criteria	3	0.3	3	1.5	0.005	1.5	1	0.3	0.1	1	5	-	-	-
A	3.53	0.18	1.86	2.36	0.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-
B	0.16	0.003	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-
C	15.6	1.4	206.1	42.0	0.93	ND	ND	ND	ND	ND	ND	334	32.6	-
D	1.54	0.47	0.14	ND	0.72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-
E	ND	1.0	245	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	125	ND
F	ND	ND	0.84	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-
G	1.44	0.86	0.15	ND	0.57	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-
H	ND	ND	0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-
I	0.13	0.26	25.5	6.16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	102	-	29.4
J	0.13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-
K	ND	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-	-
S	ND	ND	0.04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10.0	31.2	4.8

Note) 1. Pb, Cd by AAS; As, Hg, Cu by ICP; Cr⁶⁺ by KSM 0111-93
 2. Unit : mg/kg except N-Hex, %
 3. ND, not detected; -, not regulated or not tested

Table 5. Microbiological characteristics of raw piggery waste and sludges

Sample	Total bacteria count	Coliform bacteria	Helminths egg count
Raw piggery waste	3.97E+05 ~ 6.10E+05*	9.62E+03 ~ 2.32E+04**	1.10E+02 ~ 3.63E+02*
Physical pretreatment sludge	5.87E+05 ~ 7.10E+05	3.18E+04 ~ 5.29E+04	2.93E+02 ~ 5.30E+02
Chemical dewatering sludge	9.98E+02 ~ 2.13E+03	8.13E+02 ~ 1.35E+03	ND

Note) Unit : number/gram-dry solid; *, number/mL; **, MPN(number/100mL)

3.4. 양돈폐수 및 슬러지의 미생물학적 특성

Table 5는 양돈폐수, 전처리슬러지 및 탈수슬러지의 미생물학적 특성을 정리한 것이다.

중금속과는 달리 미생물적 기준은 위생성이 아닌 병원균의 존재가능성과 잠재적인 노출가능성을 줄일 목적으로 기준을 설정하였는데, 미국 EPA(2000)에서는 기준을 Class A와 Class B로 구분한다. Class A가 병원균을 검출한계이하로 줄이는데 목적이 있는 반면에 Class B는 특정조건에서 공공과 환경에 위해를 줄이는 데 목적이 있다.

분석결과, 양돈폐수의 원수와 전처리슬러지에서는 많은 수의 일반세균은 물론 대장균과 기생충이 존재하고 있었으나, 화학적 응집·탈수공정을 거치면서 일반세균과 대장균은 대부분이 사멸되었다. 기생충은 완전히 사멸한 것으로 나타났다. 이는 응집·탈수공정에서 2,000~4,000 mg/L의 농도로 주입되는 염화제이철(FeCl₃)의 강한 산화력에 기인한 것으로 사료된다.

우리나라에서는 부산물퇴비 중 분뇨잔사항목에 기생충 감염여부에 대한 시험을 실시하도록 규정된 것을 제외하고는 부산물퇴비나 액비의 기준에 미생물적 기준이 마련되어 있지 않다. 그러나 유기성 폐기물에 함유되어 있는 기생충란이나 병원성 세균 등은 석회처리 등의 과정을 거치는 동안 발생하는 열(최대 64°C)과 알칼리에 의해 살충 및 살균되어 위생적으로 안정화 되므로(민 등, 2002) 슬러지는 물론 양돈폐수의 경우도 미생물적인 문제는 해결될 것으로 보인다.

4. 결론

양돈폐수와 발생슬러지를 자원으로 재활용하기 위하여 축산폐수공공처리장에 유입하는 원수와 전처리 및 화학적 응집·탈수슬러지의 성상을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 양돈폐수는 우리나라의 비료공정규격중 제4종 복합비료의 화초용 및 부산물퇴비의 가축분뇨발효비료(액)의 기준을 충족하므로 유용한 자원으로 사용가능하며, 소독약, 항생제 및 사료에 포함된 구리, 아연 등에 대한 철저한 관리가 요구된다.
- 2) 협잡물처리와 원심분리를 통하여 발생하는 전처리슬러지는 폐기물관리법상 지정폐기물 기준을 만족하며, 부산물비료 중 퇴비와 부숙토의 원료로 사용가능하다.
- 3) 화학적 응집·탈수슬러지에 함유된 중금속은 응집탈수에 사용되는 염화제이철에 기인하며, 품질이 보증된 제품을 사용할 경우 지정폐기물 및 부산물 비료중 퇴비의

기준에 적합할 뿐만 아니라 미생물학적으로도 안전성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

- 4) 향후 축산폐기물의 재이용을 촉진시키고 사용의 안정성을 위해서는 선진외국과 같은 미생물적 기준을 도입하고 기준항목을 증가시키는 것이 필요하다.

참고문헌

농림부, 환경부, 가축분뇨 관리·이용대책 (2004.11).
 농촌진흥청, 비료공정규격, 농촌진흥청고시 제2005-1호 (2005. 3.19).
 민경석, 정용준, 권덕희, 석회처리한 슬러리형 돈사폐수와 유기성폐기물의 혼합 퇴비화, *한국폐기물학회지*, **19**(4), pp. 436-443 (2002).
 이성호, 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안, *환경과학논집*, **4**(1), pp. 1-19 (1999).
 정봉수, 강용태, 농축산폐기물의 퇴비화에 관한 기초적 연구, *대한토목학회논문집*, **5**(2), pp. 27-34 (1985).
 최의소, 박후원, 박원목, 하수슬러지의 농경지 이용, *한국환경농학회지*, **14**(1), p. 158 (1995).
 한국자원재생공사, 퇴비제품의 안정성 및 효용성 평가, pp. 1-53 (1997).
 환경부, 유기성오니 등을 토양개량제 및 매립시설 복토용도로의 재활용 방법에 관한 고시(안), 환경부고시 제2000-78호 (2000.7.7).
 환경부, 국립환경연구원, 오수·분뇨및축산폐수처리통계 (2000~2004).
 Cao, X., Ma, L. Q. and Shiralipour, A., Effects of Compost and Phosphate Amendments on Arsenic Mobility in Soils and Arsenic Uptake by the Hyperaccumulator, *Pteris vittata* L., *Environmental Pollution*, **126**, pp. 157-167 (2003).
 Düring, R. A., Hoß, T. and Gäth, S., Sorption and Bioavailability of Heavy Metals in Long-term Differently Tilled Soils Amended with Organic Wastes, *The Science of the Total Environment*, **313**, pp. 227-234 (2003).
 EPA (U.S. Environmental Protection Agency), Guide to Field Storage of Biosolids, EPA/832-B-00-007, July (2000).
 Jackson, M. L., *Soil Chemistry Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. (1958).
 Jones, K. D. and Huang, W. H., Evaluation of Toxicity of the Pesticides, Chlorpyrifos and Arsenic, in the Presence of Compost Humic Substances in Aqueous Systems, *J. of Hazardous Materials*, **B103**, pp. 93-105 (2003).
 Manios, T., Stentiford, E. I. and Millner, P. : Removal of Heavy Metals from a Metaliferous Water Solution by *Typha latifolia* Plants and Sewage Sludge Compost, *Chemosphere*, **53**, pp. 487-494 (2003).