

축분뇨 액비 저장조의 운영실태 및 악취 물질 발생량 조사

김태일 · 송준익 · 정 선 · 정종원 · 정의수 · Antonio J. Barroga* · 유용희 · 양창범 · 김민균**
농촌진흥청 축산연구소

Investigation of the Condition of the Operation of the Livestock Liquid Manure Bin and Assessment of Malodorant Emissions

Kim, T. I., Song, J. I., Joung, S., Jeong, J. W., Chung, E. S., Barroga, A. J.,*
Yoo, Y. H., Yang, C. B., and Kim, M. K.**

National Livestock Research Institute, R.D.A, Suwon 441-350, Korea

Summary

This study was carried out to determine the acceptability of liquid manure bin among livestock farmers and agricultural farmers, and quantify its malodorous compounds. The results were as follows;

1. The size of the manure bins owned by 93 % of 60 farmers surveyed was 200 M/T and were all in normal operation. Around 57 % of the normally operated bins were processed under aerobic condition.
2. Fifty percent of the respondents utilized their liquid manure bin twice a year while 64 % used commercial microbial products to enhance maturity of their liquid manure and abatement of malodorous emissions. On the other hand, 43 % mentioned problems on the labor requirement, mechanical maintenance and lending cost of liquid manure processing and utilization, and the price of the commercial microbial products.
3. Malodorants emitted from livestock liquid manure bins and their boundary bin depended upon the livestock liquid manure processing condition. Within bin under the aerobic processing condition, *Iso*-valeric and propionic acid were ranged 0.012 to 0.07ppm and 0.17 to 2.85ppm, respectively. Within bin under the anoxic processing condition, n-butyric, n-valeric acid, and acetaldehyde were ranged 1.5 to 2.3ppm, 1.3 to 1.8ppm, and 0.8 to 2.1ppm, respectively. Malodorants emitted from the boundary of livestock liquid manure bins under the anoxic processing condition were detected the range of 0.4 to 0.9 ppm, more than the concentration of law regulation, as an acetaldehyde, but under the aerobic processing condition, they did not any detection.

(**Key words** : Acetaldehyde, Aerobic, Anoxic, Livestock liquid manure bin, Malodorous compound)

* Luzon 주립대학 동물과학과(Department of Animal Science, Central Luzon State University, Science City of Munoz, Nueva Ecija, 3120, Phillippines)

** 서울대학교 농화학과(Division of Applied and Chemistry, School of Agricultural Biotechnology Center for Plant Molecular Genetics and Breeding Research, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea)

Corresponding Author : Kim, T. I., National Livestock Research Institute, R.D.A, Suwon 441-350, Korea, Tel : 031-290-1725, Fax : 031-290-1731, E-mail : kimti@rda.go.kr

서 론

국내에서 발생하는 가축분뇨는 전체 오·폐수 발생량의 0.6%에 불과하나 고농도 폐수로 BOD 부하량은 25.8%에 달한다. 따라서 가축분뇨를 자원으로 이용하기 위해서는 적절한 처리가 요구된다. 현재 가축분뇨는 퇴비화, 액비화, 정화처리, 해양배출 등으로 처리되어지고 있으며 처리 규모를 보면 퇴비화가 83%, 액비화가 6%, 정화처리가 7%, 해양투기가 4%로 처리되고 있다(축산연구소, 2004). 그러나 앞으로 해양투기가 금지되면 액비화나 퇴비화로 처리되어야 할 것으로 고려되고 있다.

액비라 함은 가축의 사육으로 인하여 배출되는 뇨 및 청소수 등의 혼합물을 비료로 활용하기 위해 저장조에 수집하여 저장하고 일정기간 동안 부숙시켜 병원성 미생물, 충란, 잡초종자 등을 사멸시키고 난분해성 물질 등을 분해하여 위해성이 없고 경중적으로 안정화된 액상구비를 말한다. 액비화 방법은 손쉽게 접근할 수 있는 가축분뇨 이용·처리방법이며 비용 또한 매우 경제적이다(Charles 등, 2002). 또한, 액비는 작물생육에 필요한 질소, 인, 칼리 이외에도 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등과 같은 미량원소도 포함하고 있어 비료로서의 가치가 높다고 볼 수 있다(최, 2004). 국내에 설치된 액비 저장조는 2003년 말 기준으로 총 1,400여 개로 보고되고 있으며 액비의 시용처도 벼, 과수, 시설채소, 전작 등으로 확대 보급되고 있다(김, 2004).

축산악취는 분뇨분리 또는 슬러리 돈사의 구조, 급여사료, 사육환경, 기상조건 등에 따라 발생양상이 다르게 발생되며 축산과 관련된 악취의 종류는 136 종류이지만 양적으로 검지될 수 있는 악취는 23 종류(Hartung과 phillips, 1994; Burton, 1992; 김 등 2004)이다. 축산농가에서 발생하는 악취오염의 주된 성분은 n-butyric acid, iso-butyric acid, n-valeric acid,

iso-valeric acid 등의 휘발성 지방산이며 악취의 표준물질로서 이용될 수 있다(Hannano 등, 1972; Williams, 1984). 악취의 형태는 복합취로 나타나기 때문에 종합적인 관리가 요구되어진다. 돈사에서 발생되고 있는 휘발성 악취물질은 축사내부에서 나오는 대부분의 휘발성 물질이 피트내의 물질과 동일한 물질인 것으로(Spoelstra, 1980) 보고된 바 있으며 악취물질의 생성은 미생물의 산화-환원과 다양한 유기체가 관련된 발효작용으로 가축의 위 소화관에서 시작되며(Zhu 등 1999), 배설 후 저장기간 중 혐기적 발효과정을 통하여 축분내 함유된 섬유소와 함질소 및 함유황 유기물질이 분해될 때 심한 악취가 발생함으로(CIGR, 1994) 악취물질은 액비 제조 방법에 따라 발현되는 악취물질의 종류 및 그 정도가 달라진다. 따라서, 액비 저장조가 설치된 농가를 선정하여 액비 저장조 운영실태를 조사하고 액비 저장조로부터 발생하는 휘발성지방산을 구명하기 위해서 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 액비시설 실태 조사 농가 선정 및 조사 방법

액비 저장조 운영실태조사는 200톤 규모의 액비저장조를 설치한 경중농가 및 축산농가를 대상으로 지역별로 구분하고 이 중 60 농가를 선정하여 2004년 6월부터 11월까지 수행하였다. 각 농가에 액비 저장조의 가동 여부, 폭기 여부, 설치장소, 액비 저장조 사용 시 민원 제기 여부, 연간 액비 활용도, 발효 촉진제 활용 여부, 미생물 제제의 투여목적, 미생물 제제의 효과, 액비이용 문제점 등을 전화를 통하여 조사하였으며, 이 중 액비의 혐기제조 8 농가와 호기제조 8 농가를 재선정하여 농가 방문을 통하여 액비 저장조와

액비저장조의 부지경계선에서의 대기 중 휘발성지방산 분석용 시료를 채취하였다. 선정된 장소는 Fig. 1과 같다.

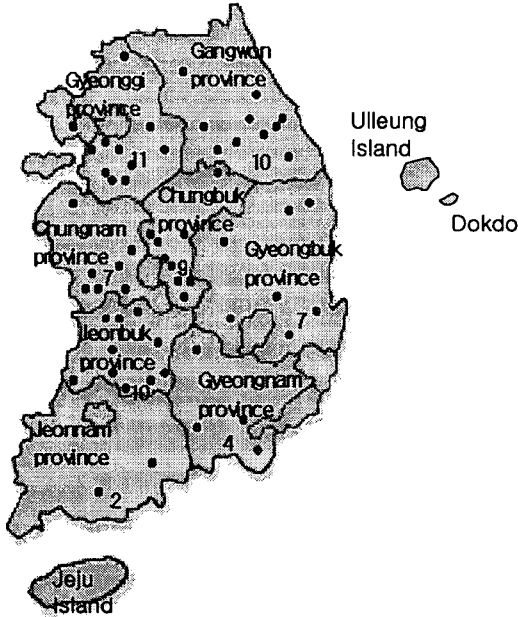


Fig. 1. Location of livestock liquid manure storage bins in Korea(n=60).

Table 1. Instrument specifications of gas chromatography for determination of VOC

Items	Conditions
GC.....
Column	CP WAX 52CB DF = 1.2UM for VOC
Detector	FID
Column temp.	7 min hold at 30°C Raised to 220°C at 6°C/min (10 min hold)
Inject temp.	4 min hold at -100°C 44 min hold at 200°C
Flow rate(Carrier)	1.0 ml/min, He
MS.....
Scan range	42-300 m/z
Scan rate	0.6 second/scan
RF Dump valve	300 m/z
Background mass	42 m/z
Target	20000 counts
Emission current	10 uA

2. 대기 중 휘발성화합물 분석 방법

악취를 포집하기 위해 canister(Maximum pressure 40PSIG, SilcoCan™)를 이용하여 액비 저장조 내와 액비 저장조의 부지경계선에서 각각 분석용 시료가스를 포집하였고, 포집한 시료는 GCmass (Saturn 2000, Varian)를 이용하여 휘발성 화합물 함량을 분석하였다. GC(gas chromatograph)와 MS(mass)의 분석 조건은 Table 1과 같다.

결과 및 고찰

1. 액비저장조 설치 농가 실태조사

가. 액비 저장조 가동율과 액비 제조방법

액비 저장조를 설치한 60 농가를 대상으로 액비 저장조 가동율과 액비 제조 방법에 대한 실태조사 결과는 Fig. 2에 제시된 바와 같이 조사농가 중 93%가 액비 저장조를 가동하고 있었으며 7%가 액비 저장조 설치하였지만 조사당시 사용하고 있지 않았다. 액비 저장조 가동 농가 중 액비 제조시 균일한 액비를 생산하고 액비 살포시 악취 발생을 감소시

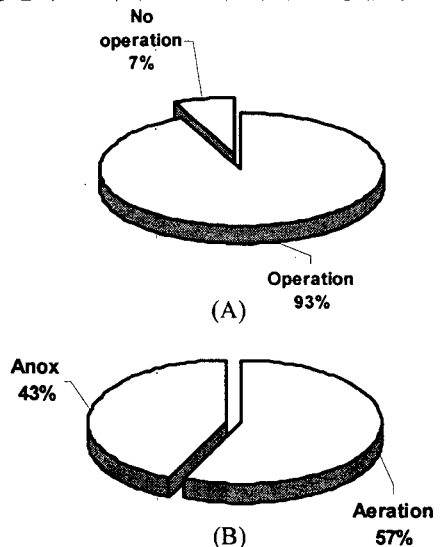


Fig. 2. Usage rate of livestock liquid manure bin (A) and types of processing treatment (B).

키기 위하여 폭기를 처리하고 있는 농가가 57%이며, 폭기 처리하지 않고 무산소 상태로 가동하고 있는 농가가 43%로 조사되었다. 액비의 제조시 악취발생으로 인한 액비에 대한 혐오감 및 민원을 최소화하기 위해서는 무폭기보다는 폭기처리로 액비를 제조하는 것이 합리적이며, 폭기방법은 간헐폭기로 액비를 제조함이 제조과정 중이나 제조 후 시용시 악취발생을 줄일 수 있다고 보고되고 있다(Burton, 1992; Cumby, 1987). 따라서, 폭기만 하여도 돈 슬러리의 COD 함량을 50%까지 줄일 수가 있기 때문에(William 등, 1989; Evans 등, 1983) 혐기방법보다는 호기방법으로, 폭기방법에서도 지속폭기보다는 간헐폭기로 액비를 제조할 때(Spoelstra, 1979; Burton, 1992) 악취발생을 줄일 수 있고 이로 인한 액비에 대한 혐오감을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

나. 액비 저장조의 설치 위치 및 민원제기 여부

액비 저장조의 설치 위치와 액비로 인한 민원경험이 있는 농가는 Fig. 3에서와 같이 조사농가의 79%가 저장조 관리에 편리하며 액비의 운반, 살포하기에 용이한 부지경계선 3 m 이내에 설치하였으며 그 외의 21%가 축사근처나 농경지에서 떨어진 곳에 액비 저장

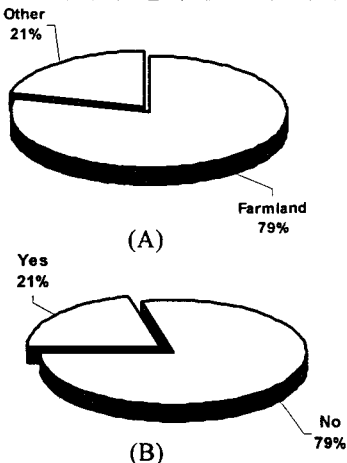


Fig. 3. Construction sites of livestock liquid manure storage bin (A) and public nuisance rate (B).

조를 설치하고 있었다. 액비 저장조를 설치하고 있는 농가 중 액비를 제조 중이거나 논과 밭에 액비를 시용할 조사농가의 21%가 악취로 인한 민원 경험이 있는 것으로 나타났다. 일본의 축산환경 오염문제는 주로 악취민원이 62%, 수질오염이 38%로 나타났으며(가축분뇨처리이용기술, 1994), 태양광선에 의한 액비의 온도 상승과 슬러리의 건조가 진행되어 대기 중 악취물질의 휘산이 일어남으로 액비 시용시 이른 아침 시용시 액비로부터 발생하는 악취물질을 줄일 수 있고(Klarenbeek과 Bruins, 1991) 표면살포보다는 지중살포 또한 악취물질을 줄일 수 있어(Pahl 등, 2001) 악취 민원을 줄이기 위해서 시용시기 및 살포방법 등도 고려해야 할 것으로 사료되었다.

다. 연간 액비 활용도 및 발효 촉진제 사용여부

액비 발효촉진 및 악취저감을 위해 사용되는 제제부류와 연간 액비 사용 횟수에 대한 응답은 Fig. 4에서와 같이 조사농가의 50%가 연간 2회로 액비를 시용하고 있었으며, 29%가 1회, 7%가 3회로 조사되었다. 대체적으로

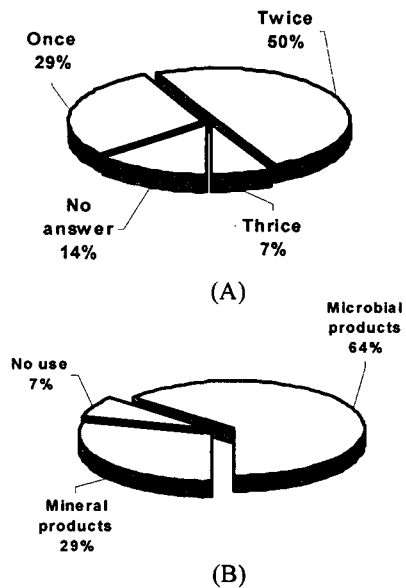


Fig. 4. Frequency of application of the liquid manure bin per year (A) and usage rate of fermentation agents (B).

돼지사육 밀도가 적고 경종농가가 많은 지역은 2회 이상으로 조사되었고 경상도지역에서 3회 이용 농가가 주로 차지하였다. 연간 이용 횟수를 늘리기 위해서는 봄철과 가을철에 주로 살포하는 관행을 년중 살포할 수 있도록 함이 무엇보다 중요하리라 여겨진다. Pahl 등(2001)은 겨울철 성장하고 있는 밀밭에 돈 슬러리 액비를 지중 살포함으로써 액비 저장조 이용 횟수를 늘릴 수 있다고 보고하였다. 그러나 성장 중인 작물에 액비의 년중 살포를 위해선 기본적으로 농가의 특성에 맞는 경제성, 시기, 장비의 이용성, 기상조건 등을 반드시 고려하여 결정하여야 한다고 하였다(Pahl 등, 2001; Warner 등, 1990). 조사농가의 93%가 발효촉진제를 투여하고 있었으며, 이 중 미생물 제제가 64%, 광물질 제제가 29%로 사용되고 있었다.

라. 미생물 제제 투여 목적과 미생물 제제의 효과

액비 제조시 미생물 제제를 투여하는 목적을 묻는 질의에서는 Fig. 5에서와 같이 미생물제제 투여 농가의 93%가 액비 제조시 발생하는 악취를 저감시키고 발효를 촉진시키기 위함으로 조사되었다. 이 중 미생물 제제

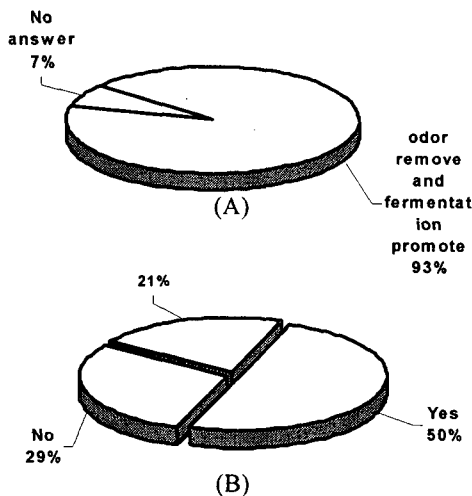


Fig. 5. Reasons for the use of fermentation agents (A) and acceptance rate of fermentation agents (B).

의 효과가 있는 것으로 본다고 응답한 농가가 50%로 가장 많았으며, 효과가 없다고 응답한 농가는 29%, 효과의 여부를 느낄 수 없다고 응답한 농가가 21%나 되어 Johnston 등(2002)이 지적한 바와 같이 미생물제제는 제제에 함유되어 있는 활성 미생물 수와 미생물 종류에 따라 그 효과가 다르기 때문에 미생물제제의 이용시 적절한 권장량을 사용하도록 기술지도 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

마. 액비 이용시 문제점

액비 이용시 문제점을 묻는 질의에 조사는 Fig. 6에 제시된 바와 같이 인력장비 구입 및 임대비용, 액비 제조시 악취를 저감시키기 위해 첨가되는 제제 비용이 43%로 가장 큰 문제점으로 지적되어 액비의 이용 활성화를 촉진하기 위해선 정부의 지원이 좀더 강화될 필요성이 있다고 사료되었다. 액비 제조시 미생물의 첨가는 액비내의 휘발성지방산과 잠재성으로 존재하는 병원성 미생물의 수를 급감하게 하는 등 여러 가지 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(김 등, 1999; Johnston 등, 2002). 저장조내에서 액상과의 비중차에 의해 가라앉아 저장조의 가용 용량을 감소시키는 축산 분뇨의 찌꺼기를 제거하는 문제가 14%로 조사되어 이의 제거를 위한 기술적 접근이 요구되었다. 돈 슬러리를 저장할 때 액비의 고형물 중 입자크기가 0.075 mm 이상의 입자를 제거시 고형물의 침전현상은 크게 줄

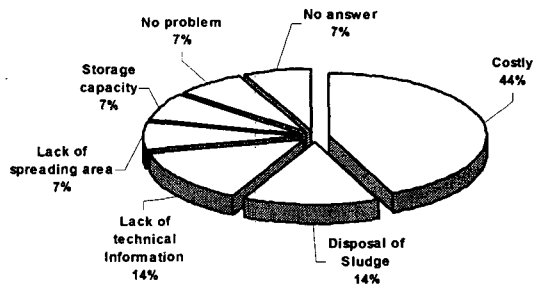


Fig. 6. Problems on the use of livestock liquid manure storage bins.

어 들었고 휘발성지방산과 생물학적 산소요구량을 감소(Pius 등, 2002; 김 등, 2002)시키기 때문에 액비의 적절한 활용을 위해선 고형물 제거를 위한 기술 또한 필요한 것으로 나타났다. 경종농가의 액비관련 정보부족, 액비 살포지 부족, 저장조 용량 부족이 각각 7%로 조사된 것은 국내에 액비이용 활성화가 초기 시점이기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

2. 제조 형태별 악취물질 발현양상

액비 저장조내에서 액비 제조형태에 따라 발현되는 악취물질 수준은 Table 2에서 제시한 바와 같이 조사농가 중 호기 제조시에는 iso-valeric acid가 0.012에서 0.07 ppm의 범위로 검출되었고 Propionic acid는 0.17에서 2.85 ppm로 범위로 검출되어 악취방지법에서 기타지역의 규제농도 범위인 iso-valeric acid가 0.001에서 0.004 ppm, Propionic acid가 0.03에서 0.07 ppm의 규제농도 범위를 초과하여 발생하고 있는 것으로 분석되어졌다. 그러나 부지경계선에서는 검출되지 않았다. 이는 부지경계선까지 이를 때까지 공기와 희석되었기 때문으로 사료되고 호기 제조시 acetaldehyde의 농도가 검지가 되지 않았으며 이는 제조과정 중에서도 악취물질이 호기성 조건에서 호기성미생물의 산화과정에 의해 탄산가스의 무취성분으로 분해되어 악취의 감소가 일어난 것으로 판단된다(Ohta와 Kuwada, 1998; Ohta와 Ikeda, 1978). 혐기 제조시에는 n-Butyric acid

가 1.5에서 2.3 ppm까지 분석되었으며 n-valeric acid는 1.3에서 1.8 ppm, acetaldehyde는 0.8에서 2.1 ppm까지 검출되어 악취방지법에서 기타지역의 규제농도 범위인 n-Butyric acid가 0.001에서 0.002 ppm, n-valeric acid가 0.0009에서 0.002 ppm인데 반해 검출농도는 훨씬 높은 농도로 검출되어 경계선과 가까운 거리에 위치한 액비 저장조를 가동시는 악취물질 저장기술 접목이 절대적으로 요구되는 것으로 나타났다. 이처럼 휘발성지방산이 고농도로 발현되는 것은 축분을 18℃에서 70일 이상 배양시 초기 축분의 조섬유 함량 중 24%, CP의 43%가 휘발성지방산과 이산화탄소로 전환되었다고 보고하였고 휘발성지방산은 탄수화물, 단백질 등의 축분내 함유된 물질에서 기인된 것으로(Spoelstra, 1979;1980) 여겨지며, 돈분을 6일간 혐기 배양시 n-Butyric acid가 1,463 mg/kg이 검출(김 등 2004)되는 등 축분의 혐기조건이 악취발생에 크게 기여하는 요인인 것으로 사료된다. 본 연구에서 공기를 공급하지 않고 액비를 제조시 액비저장조의 부지경계선에서의 악취물질은 acetaldehyde가 검출되었으며 그 농도는 악취방지법에서 규제하고 있는 규제농도인 0.05~0.1 ppm 범위를 크게 초과하는 0.4~0.9 ppm 수준으로 검지되어 아세트알데하이드를 줄이는 방안이 모색되어야 할 것으로 사료되었다. 악취를 유발하는 물질 중에는 휘발성 유기 화합물(VOCs; toluene, benzene, styrene 등), 휘발성 지방산(VFAs; acetic, propionic, butyric acid 등), 페놀류,

Table 2. Odor generated from storage bins based on the types of livestock liquid manure processing(n=8)

Odorous compounds	Level of odorous compounds(ppm)			
	Bin		Boundary	
	Aeration	Anox	Aeration	Anox
n-Butyric acid	ND*	1.5 - 2.3	ND	ND
n-valeric acid	ND	1.3 - 1.8	ND	ND
iso-valeric acid	0.012 - 0.07	ND	ND	ND
Propionic acid	0.17 - 2.85	ND	ND	ND
Acetaldehyde	ND	0.8 - 2.1	ND	0.4 - 0.9

* ND : Not Detected.

질소 유도체류(ammonia, amine, indole, skatol) 및 함유황 화합물(thiols, sulfides, thiophenes)로 분류되며(Bell, 1970) 이들 악취물질은 아미노산의 분해와 관련있는 것으로 단백질에서 유래하는 것으로 알려져 있으며, 액비내 존재하는 탄수화물 분해과정에서 휘발성 지방산을 생성하는 것으로 알려져 있다(O'Neill과 Phillips, 1992).

액비의 제조시 악취발생 물질을 저감시켜 민원을 감소하고 액비에 대한 혐오감 및 거부감을 최소화하기 위해서는 혐기방법보다는 호기방법으로 액비를 제조하는 것이 합리적이라 사료된다. 또한, 2005년 시행되는 악취방지법에 의해 2010년 1월부터 Acetaldehyde의 배출허용기준이 0.05~0.1 ppm로 규제됨으로써 악취 제어를 위한 기술적인 구축이 미흡한 현 농가에서는 악취에 대한 민원이 증가할 것으로 보고 있다. 따라서, 액비 제조시 축산분뇨에서 기인된 악취를 제거하여 축산악취로 기인된 민원을 해소하고 축사내외부의 축산환경 개선으로 친환경 축산을 유도하기 위해선 악취저감을 위한 기술 접목이 요구되었으며 액비 제조시 액비부숙 촉진 및 악취저감을 위해 구입되는 제제비용과 액비의 시용장비의 임대 및 시용비용이 액비에 대한 문제점으로 지적되어 액비이용 활성화를 위해선 정책적인 지원이 필요한 것으로 조사되었다.

적 요

본 연구는 국내에 설치되어 있는 액비저장조의 운영실태를 조사하고, 액비저장조에서 발생하는 악취물질을 구명하고자 수행하였다.

1. 국내에 200톤 규모의 액비 저장조를 설치한 60 농가를 대상으로 한 본 조사에서 약 93%가 액비저장조를 제대로 가동을 하고 있었으며 이중 57%가 액비제조시 폭기 처리하고 있었다.

2. 조사 농가 중 연간 액비의 활용 횟수는 2회가 50%로 나타났고 액비의 부숙 효과를 높이고 악취를 저감시키기 위한 목적으로 64%가 미생물제제를 첨가하고 있었다. 반면에 액비 이용시 인력 장비의 비용 및 악취물질 발

생 저감을 위한 첨가제 비용이 43%로 조사되어 액비이용시 문제점으로 지적되었다.

3. 액비 제조 형태별 악취물질 발현양상으로 호기 제조시 액비저장조내에서는 iso-valeric acid가 0.012에서 0.07 ppm, Propionic acid가 0.17~2.85 ppm의 범위로 검지되었으며 혐기 제조시에는 n-Butyric acid가 1.5에서 2.3 ppm, n-valeric acid가 1.3~1.8 ppm, acetaldehyde가 0.8에서 2.1 ppm로 검지되어 호기 제조방법과 혐기 제조방법 모두 휘발성 지방산의 농도는 악취방지법의 규제농도 이상이였다. 부지경계선에서의 악취물질을 보면 호기시에는 미검출로 나타났고 혐기 제조시에는 Acetaldehyde가 0.4~0.9 ppm 수준으로 검지되어 악취방지법의 규제농도를 초과였다.

인 용 문 헌

1. 가축분뇨처리 이용기술. 1994. 농림수산 연구논문 해제(일본).
2. 김동수. 2004. 액비저장조 침전물 처리방안. 농업중앙회.
3. 김태일, 한정대, 남은숙, 양창범, 김재환, 백순용. 1999. 숲토양 미생물의 돼지 슬러리 탈취 적용 효과. 한국동물자원과학회지. 41:101-108.
4. 김태일, 최동윤, 백광수, 박진기, 양창범, 탁태영, 김민균. 2002. 돈 슬러리를 고형물 분리시스템 개발. 한국축산시설환경학회. 8:9-16.
5. 김태일, 손재호, 홍의철, Neal, H., 양창범, 김민균. 2004. 축분의 휘발성 지방산 발현양상 연구. 한국축산시설환경학회. 10: 11-22.
6. 농림부. 2000. 가축분뇨 자원화 및 이용기술 개발.
7. 최동윤. 2004. 액비화 처리방법의 최근 동향과 전망.
8. 축산연구소. 2004. 축산분뇨 발생 및 처리실태 동향분석.
9. Bell, R. G. 1970. Fatty Acid content as a measure of the odor potential of stored liquid poultry manure. Poul. Sci. 49:1126.
10. Burton, C. H. 1992. A review of the strategies in the aerobic treatment of pig slurry : Purpose,

- Theory and Method. Journal of Agricultural Engineering Research. 53:249-272.
11. CIGR. International Commission of Agricultural Engineering. 1994. Aerial environmental in animal housing. Concentration and emissions from farm buildings. Working Group Report Series No. 94.1.
 12. Cumby, T. R. 1987. A review of slurry aeration. 3. Performance of aerators. Journal of Agricultural Engineering Research. 36: 175-206.
 13. Charles D. Fulhage and Donald L. 2002. Fertilizer nutrients in livestock and poultry manure. Nutrients and Bacterial Waste. MU Guide EQ351.
 14. Johnston, D., Ralph, C., Daniel, M. and Edward, T. 2002. Evaluation of commercial odor control agents for suppressing *Escherichia coli* in swine manure slurry. J. Environ. Qual. 31: 2120-2123.
 15. Evans, M. R., Deans, E. A., Hissett, R., Smith, M. P. W., Svovoda, I. F. and Thacker, F. E. 1983. The effect of temperature and residence time on aerobic treatment of piggery slurry-degradation of carbonaceous compounds. Agricultural Wastes 1983, 5: 25-36.
 16. Hannano, T., Oka, Y., Takada, O. and Asano, T. 1972. Test of malodor composition in the feces of domestic animals, Bull. Hyogo Prefect, Stan, Anim. Husbandry, 9: 140-145.
 17. Hartung, J. and Phillips, V. R. 1994. Control of gaseous emissions from livestock building and manure stores. J. Agric. Engng. Res. 57, 173- 89.
 18. Klarenbeek, J. V. and Bruins, M. A. 1991. Ammonia emissions after land spreading of animal slurries. In: Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming(eds. V. C. Nielsen, J. H. Voorburg and P. L'Hermite), Elsevier Applied Science London and New York. pp. 107-115.
 19. Ohta, Y. and Ikeda, M. 1978. Deodorization of cattle feces by microorganisms. Appl. Environ. Microbiol. 36: 487- 291.
 20. Ohta, Y. and Kuwada, Y. 1998. Rapid deodorization of cattle feces by microorganisms. Biol. Wastes, 24: 227-240.
 21. O'Neill, D. H. and Phillips, V. R. 1992. Review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3: Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. J. Agric. Engng Res. 53: 23-50.
 22. Pahl, O., Godwin, R. J., Hanm, M. J. and Waine, T. W. 2001. Cost-effective pollution control by shallow injection of pig slurry into growing crops. J. Agric. Engng. Res. 80, 381-390.
 23. Pius, M. N., Zhu, J. and Luo, A. 2002. Effects of Solids Separation and Time on the Production of Odorous Compounds in Stored pig Slurry. biosystems engineering. 81: 127-133.
 24. Spoelstra, S. F. 1979. Volatile fatty acids in anaerobically stored piggery wastes. Neth. J. Agric. Sci. 27: 60-66.
 25. Spoelstra, S. F. 1980. Origin of objectionable odorous components in piggery wastes and the possibility of applying indicator components for studying odour development. Agric. Environ. 5: 241-260.
 26. Warner N. L., Godwin, R. J. and Hann, M. J. 1990. An economic analysis of slurry treatment and spreading systems for odour control. The Agricultural Engineer. 45: 100-105.
 27. Williams, A. G., Shaw, M., Selviah, C. M. and Cumby, R. J. 1989. The oxygen requirements for deodorising and stabilising pig slurry by aerobic treatment. Journal of Agricultural Engineering Research. 43: 291-311.
 28. Williams, A. G. 1984. Indicators of piggery slurry odour offensiveness. Agricultural Wastes. 10: 15-36.
 29. Zhu, J., Riskowski, G. L. and Torremorell. 1999. Volatile fatty acids as odor indicators in swine manure. American Society of Agricultural Engineers. 42(1): 175-182.