

碩士學位論文

養豚廢水の貯藏液肥化에 의한
水質變化特性과 適正撒布에 관한 研究



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

金 尙 鉉

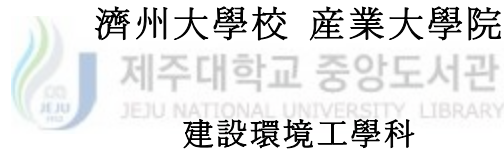
2003年 12月

養豚廢水의 貯藏液肥化에 의한 水質變化特性과 適正撒布에 관한 研究

指導教授 李 容 斗

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2003年 12月



金 尙 鉉

金尙鉉의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2003年 12月

審査委員長 吳 潤 根 印

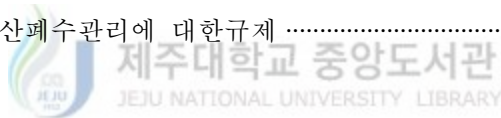
委 員 甘 相 奎 印

委 員 李 容 斗 印

목 차

Summary

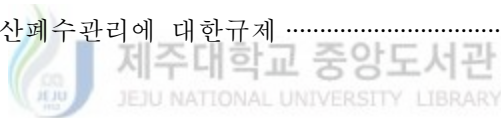
I. 서론	1
II. 이론적 고찰	3
1. 축산폐수처리	3
1.1 축산폐수처리의 기본방향	3
1.2 처리원리 및 현황	3
1.3 축산폐수의 처리방법	5
1.4. 외국의 축산폐수관리에 대한규제	25
III. 재료 및 방법	31
1. 실험재료	31
2. 분석방법	33
IV. 결과 및 고찰	34
1. 수온 및 pH의 경시적 변화	34
2. 유기물의 경시적 변화	36
3. 질소와 인의 경시적 변화	38
4. 액비의 적정살포 방안	41
V. 결론	44
VI. 참고 문헌	46



목 차

Summary

I. 서론	1
II. 이론적 고찰	3
1. 축산폐수처리	3
1.1 축산폐수처리의 기본방향	3
1.2 처리원리 및 현황	3
1.3 축산폐수의 처리방법	5
1.4. 외국의 축산폐수관리에 대한규제	25
III. 재료 및 방법	31
1. 실험재료	31
2. 분석방법	33
IV. 결과 및 고찰	34
1. 수온 및 pH의 경시적 변화	34
2. 유기물의 경시적 변화	36
3. 질소와 인의 경시적 변화	38
4. 액비의 적정살포 방안	41
V. 결론	44
VI. 참고 문헌	46



List of Figures

Fig. 1. Treatment methods of livestock manure.	4
Fig. 2. Flow chart of storage liquid compost facility.	8
Fig. 3. Treatment diagram of high temperature rapid liquid composting facility.	10
Fig. 4. Substrate degradation process in anaerobic digestion.	12
Fig. 5. Bacterial flora participated in anaerobic digestion.	17
Fig. 6. Storage liquid compost facility.	21
Fig. 7. Treatment diagram of sawdust ferment facility.	23
Fig. 8. Treatment diagram of agitated sawdust ferment facility.	23
Fig. 9. Anaerobic storage liquid compost facility.	31
Fig. 10. Changes of water temperature during storage period.	34
Fig. 11. Changes of air temperature during storage period.	35
Fig. 12. Changes of pH during storage period.	35
Fig. 13. Changes of BOD during storage period.	36
Fig. 14. Changes of COD_{Mn} during storage period.	37
Fig. 15. Changes of COD_{Cr} during storage period.	37
Fig. 16. Changes of NH_3-N during storage period.	38
Fig. 17. Changes of NO_2-N during storage period.	39
Fig. 18. Changes of NO_3-N during storage period.	39
Fig. 19. Changes of T-N during storage period.	40
Fig. 20. Changes of T-P during storage period.	40

List of Tables

Table 1. The status of livestock manure treatment facilities by regulation.	5
Table 2. Required area of grassy place or farm land in storage liquid compost spraying time per a head/animal.	20
Table 3. The spraying standard of livestock manure by nations.	30
Table 4. Characteristics of raw manure.	32
Table 5. Analytical Items and methods.	33

A Study on the Changes of Water Quality and the Optimum Farmland Spray of Swine Waste by Storage Liquid Compost Facility

Sang-Hyun Kim

DEPARTMENT OF CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

(Supervised by Professor by Yong-Doo Lee)



Summary

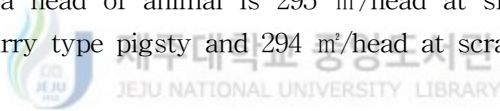
The characteristics of an anaerobic liquid composting is that the livestock manure is changed into stable inorganic substrate in anaerobic state by the multiplication, breeding and inspiration.

This study was performed to find out the change of water quality treated by the types of pigsty and the optimum farmland spray of liquid compost produced by the storage liquid compost facility.

The results of this study were summarized as follows;

1. The concentrations of organic compounds in raw manure are 15,320 mg/ℓ at slurry/scrapper type pigsty, 19,950 mg/ℓ at slurry type pigsty and 9,010 mg/ℓ at scrapper type pigsty.

2. The removal rates of the organic substance were 45.3% at slurry/scrapper type pigsty, 54.8% at slurry type pigsty and 61.3% at scrapper type pigsty.
3. The concentration of $\text{NH}_3\text{-N}$ was relatively higher at slurry/scrapper type and at slurry type pigsty which contained more feces than at scrapper type pigsty.
4. From the beginning of storage to 100 days the concentration of N and P was changed unsteadily, but after 130 days N and P was shown relatively stable concentration.
5. The concentration of N in urine produced at the scrapper type pigsty was low and this shows that the liquid composting of urine is not expected the alternative effect of chemical fertilizer and the properties as liquid compost.
6. As standard of N concentration after 6 months storage, the required area of grassy place per a head of animal is 295 m^2/head at slurry/scrapper type pigsty, 318 m^2/head at slurry type pigsty and 294 m^2/head at scrapper type pigsty.



1. 서론

근년의 급격한 경제성장은 국민소득증대, 생활패턴의 변화등 많은 편리함을 가져왔지만 경제발전 뒷면에는 구석구석까지 환경오염을 초래하였다. 지금에 와서는 국민소득이 증가함에 따라 쾌적한 환경에 대한 욕구가 날로 증가하고 있고 선진국에서는 이의 복원에 심혈을 기울이고 있다.

한편, 음식문화 변화로 축산물 수요가 증가되고 농·축산물의 수입 자유화됨에 따라 경제력을 갖기 위해 축산농가의 규모가 대형화되고 가축사육두수도 매년 증가하는 추세이다. 이에 따라 축산환경에도 많은 변화를 가져왔다. 특히 가축분뇨는 화학비료 사용이 일반화된 1970년대 이전까지도 매우 유익한 작물영양원인 동시에 토양개량제로서 필수적 자원이었다. 그러나 1970년대 이후부터 농촌의 일손부족과 값싼 화학비료의 사용으로 가축분뇨는 농가가 처리해야 할 오염원으로 전환하게 되었다. 특히 80년대 이후 급격한 가축사육두수의 증가는 물론 소규모 부업형 축산에서 대규모 전업형으로 집단화됨에 따라 대량의 가축분뇨가 집중적 일시적으로 발생하게 되었으나 이에 대한 효과적 처리방법과 기술은 병행해서 확립되지 못함으로써 축산분뇨의 환경오염문제가 큰 관심사로 등장하게 되었고 보다 깨끗하고 쾌적한 환경을 원하는 국민들의 욕구는 날로 커지고 있어 축산분뇨 뿐만 아니라 모든 환경오염원에 대한 규제가 강화되어 가고 있다. 반면 우리의 축산업은 80년대 이후 급격히 규모화 전업화 집단화되면서 축산분뇨 처리방식이 한계에 부딪쳐 있고, 그에 비하여 적절한 처리대책은 아직 정립되지 않고 있어서 큰 어려움을 겪고 있다. 최근 환경의 질에 대한 국민들의 관심사가 확대되면서 적절한 가축분뇨처리를 위한 제도적 장치들이 강화되고, 특히 축산분뇨 배출에 대한 직접규제의 강화와 환경농업에 대한 필요성 대두로 가축분뇨의 농지 환원은 증가하고 있다.

전국적으로 발생하는 우리나라 가축분뇨의 총 발생량은 연간 약 45,095천톤 정도이며 이중 우분뇨가 60.3%, 돈 분뇨는 32.6%, 계분이 약 8.15%를 차지하고 있다. 축종으로는 소, 돼지, 닭 순으로 분뇨발생량이 높으나 현장에서는 분뇨의 특성상 양

돈분뇨, 젓소분뇨가, 분보다는 노의 처리에 많은 애로를 겪고 있다(농림부, 2002).

일본의 경우, 1996년까지 발생한 축산관계의 민원내용 중 수질오염관련 내용이 전 전체의 40%를 차지하고 있으며 가축종류별로는 양돈이 40%, 낙농 30%, 양계가 약 20%, 육우가 약 10%를 차지하고 있다. 축산폐수는 질소농도가 매우 높아(BOD : T-N : T-P = 100 : 20~100 : 40) 호소의 부영양화에 큰 영향을 미치고 있다 (축협중앙회, 2000).

한편 가축분뇨는 고농도의 유기성 물질로서 유용한 비료성분을 다량 함유하고 있어서, 토지에 적절하게 환원될 경우 토양보존 및 작물생산성을 증대시키는 유용한 생산자원이 될 수 있음은 물론, 오히려 생태계순환을 순조롭게 함으로서 궁극적으로는 환경을 보전하는데 기여할 수 있는 기능물질이 될 수 있는 소중한 자원이다. 현재 양돈농가에서 발생하는 폐수의 92%정도는 퇴비화 및 저장액비화로 처리하고 있는 실정이며(농업진흥청, 2003), 이는 표준화된 시설 및 방법이 없을 뿐만 아니라 6개월 저장액비화 후의 폐수의 성상 또한 밝혀진 바가 없다. 또한 양돈축사형태별 수질특성이 많은 편차가 있음에도 불구하고, 일률적인 처리방법인 6개월 저장액비화후의 초지 및 농경지 살포는 매우 비합리적이라고 생각된다. 그리고 가축분뇨의 농지환원은 환경용량을 초과하여 과다하게 적용될 경우 수질오염과 토양오염의 원인, 그리고 지하수 오염원이 될 수있고 강우시, 초지 및 농경지에 살포된 액비가 유출되어 비점오염원으로서 호소, 하천 및 연안수질의 악화로 이어진다.

따라서 본 연구에서는 양돈농가에서 축사형태별로 발생되고 있는 축산폐수를 액비화시 수질변화 특성을 살펴본 후 이러한 분석 자료를 토대로 국·내외의 액비살포에 관한 사례조사를 통해 적정액비 살포 방안을 검토하는데 목적이 있다.

II. 이론적 고찰

1. 축산폐수의 처리

1.1 축산폐수처리 기본방향

경제발전과 생활수준향상으로 축산물의 소비량은 계속 증가되어 왔으며 이에 따라 축산농가는 부업형태에서 기업형태로 발전은 필연적이었다. 그러나 이에 수반되는 것이 분뇨이고 그 양이 많아 결코 취급이 용이하게 되지 않았다. 예전 몇 마리 사육 때는 분뇨가 자원으로 쉽게 이용되었지만 그 당시 농업위주의 사회에서 악취와 이질감 따위는 전혀 문제가 아니었다. 현대에 와서는 윤택한 생활을 추구하고 노동력이 최소화하는 영농으로 분뇨는 쓸모없이 버리는 것 혹은 필요는 알지만 너무 많아서 귀찮은 것으로 여겨지게 되었다. 가축분뇨의 오염이라 함은 유용한 영양물질이 생태계로 받아들이기 어려울 정도로 너무 많이 흘러들어 자연계에 특히, 수계에 풍부한 영양원으로 작용하여 미생물을 폭발적으로 증가시키거나 썩어서 문제를 일으키는 것을 말한다. 이 뜻은 분뇨는 비록 과정은 복잡해도 미생물에 의해서 처리가 가능하다는 것을 시사하며, 분뇨문제의 해결책으로서 미생물을 이용, 처리할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 가축분뇨의 해결방법으로 미생물을 이용, 분은 퇴비화 하여 필요한 시기에 적당한 방법을 통해서 농지에 환원해 주면되고, 노는 정화처리한 후 영양원이 없는 상태로 자연에 돌려주도록 하면 된다.

1.2 처리원리 및 현황

축산폐수처리 문제는 분, 노가 혼합되었을 때 발생된다. 분과 노의 오염정도를 비교하면 분이 12배 이상 영양소가 많으므로 수질오염에 크게 영향을 미치며 수질오염

의 원인이 되는 오염정도지표로 BOD 수치로 표현한다. 분은 매우 높은 BOD를 가지며 입자(분)를 최대한 분리하면뇨의 BOD는 낮아지고 BOD원이 많이 모인 분은 퇴비로서 좋은 제품이 된다(홍 등, 2000). 분뇨분리가 잘 될수록 분리된 분은 퇴비화, 분리된뇨는 정화처리가 용이하다. 국내에서 이용되고 있는 가축분뇨 자원화를 위한 처리방법을 보면, 우리나라 발생 축산분뇨의 92%가 자원화 되고 나머지가 처리시설에서 처리되고 있으며 환경규제 내용은 크게 정화처리, 퇴비화(액비화, 건조포함) 등으로 구별될 수 있다. 가축폐수는 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 분과뇨 혼합처리, 분과뇨 분리의 고액분리방식으로 나눌 수 있다 분과뇨 혼합처리 방식은 대부분 퇴비화 하고 일부만 소화 처리하는 방식이고 분과뇨 분리 처리방식은뇨와 세척수는 정화하여 처리하고 분은 퇴비화 하거나 건조하여 처리하는 방식이다 결국 가축폐수 처리방법은 퇴비화, 정화, 액비화로 3가지 처리 방법으로 구별된다.



Fig. 1. Treatment methods of livestock manure.

시설별 축산폐수 처리현황을 살펴보면, 규제 대상 축산농가에서는 주로 퇴비화, 저장액비화등 자원화시설을 설치. 운영 하여 자체 처리하고 있고 소규모 농가에서는 배출되는 가축분뇨를 자체 퇴비화하거나 일부 시 군에서 운영중인 축산폐수공동처리시

설에서 처리하고 있고 허가대상 중에는 전량위탁처리업체를 통해 위탁하여 정화 처리하여 처리하는 상황이며 일부는 해양투기 하는 부분도 있다. Table 1 에서 보는 바와같이 순수 자원화(퇴비·액비)시설은 축산분뇨 처리시설 설치농가 중 92%가 순수 자원화 처리하고 있다(농업진흥청, 2003).

Table 1. The status of livestock manure treatment facilities by regulation.

(단위:개소)

구분	설치대상 (가구)	설치현황				미설치
		자원화시설	퇴비+ 정화방류시설	정화처리	계	
허가대상	9,608 (100)	8,444	744	361	9,579 (100)	29 (위탁처리)
신고대상	49,238 (100)	44,233	2,302	1,383	47,918 (97)	1,365 (3)
합계	58,891 (100%)	52,677 (92%)	3,076 (5%)	1,744 (3%)	74,930 (98%)	1,394 (2)

환경규제적 처리방법을 살펴보면 퇴비화와 정화후 방류처리로 나눌 수 있는데 첫째 퇴비화방법에는 가축분뇨의 유용자원이용, 토양의 물리성, 화학성, 생물성 개선과 유기물의 유해성분을 사전에 분해, 무해하게 하고 유해해충, 종자의 사멸 그리고 오물감을 없애 취급용이 하게 하는 목적이 있다. 정화 처리후 방류방법에는 뇨·오수 중의 영양원을 미생물이 흡수, 분해하여 미생물 개체로 변화시킨다. 이때 미생물의 증식, 번식, 호흡에 의해 영양원(오염물)은 없어지며, 추후 공정에서 미생물은 침전등의 과정으로 걸러주어 오염물 없는 처리수를 만들어 환경기준 이내로 방류하는 방법이 있다.

1.3 축산폐수의 처리방법

축산폐수 처리방법은 크게 3가지 방법으로 구분되는데 퇴비화방법과, 정화, 액비화 방법으로 축산폐수를 처리한다.

1.3.1 액비화방법

1) 액비화처리 목적 및 의미

가축의 사육과 관련되어 발생하는 분뇨와 오수 혼합물로서 수분함량 90%이상인 액상물을 혐기적, 호기적 방법을 통하여 유해성을 없애고 가축분뇨가 가진 비료성분과 더불어 토양의 물리적, 화학적 성질을 개선하는 토양 개량제등 작물과 토양에 유용한 성분을 이용하기 위함이다.

2) 액비화의 필요성

축산농가에서 가축분뇨 관리방법은 축사의 입지, 축산농가의 환경 및 각종 환경규제 등 주변 여건에 따라 각기 다르다. 어떤 특정한 분뇨 처리수단을 일관되게 모든 축종과 축산농가에 공통으로 적용하는 것은 현실적으로 불가능하다. 국내에서 가장 많이 이용하고 있는 퇴비화 방식도 그 나름으로의 장단점을 가지고 있다. 반면에 가축분뇨를 액비화하여 직접 농경지에 살포하는 것은 현재까지 실용화되지 못하고 있으나 국내 여건으로 보아 여러 가지 장 단점을 갖고 있는 것이 현실이다. 퇴비화는 고형물처리에 매우 효과적인 방법이며, 축산 밀집지역에서 농경지역으로 장거리 이송이 가능하다는 큰 장점을 갖고 있다. 또한 가축 분으로 제조된 퇴비는 산업부산물로 제조되는 퇴비보다 품질이 우수하기 때문에 사업성이 인정되고 있다. 반면에 가축분 퇴비화는 퇴비화 과정중 많은량의 질소 손실을 일으키며, 퇴비 제조시에 사용하는 기계설비와 부재료 등 운영비가 과다하게 소요되는 단점을 갖고 있다. 액비화는 가축분뇨를 액상으로 처리하여 부재료 구입의 문제점을 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 부수적으로 대체연료를 생산하며 분뇨 처리비용을 퇴비화보다 크게 절감시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 액비화는 장거리 이송처리가 불가능하고 살포시 취급이 퇴비보다 상대적으로 불리하며 분뇨를 판매하는 것은 현실적으로 불가능하다는 단점이 있다(축협중앙회, 1996). 특히 슬러리 형태의 축사는 외국에서는 가축분뇨를 액비로 농경지에 직접 살포하는 것을 전제로 활용하는 분뇨처리 수단이다. 그러나 국내에서는 액비화에 대한 실효성을 고려하지 않고 도입됨으로서 슬러리 축사 이용농가가 현

재 어려움을 겪고 있다. 수분함량이 95% 이상인 액상의 분뇨를 퇴비화하기 위하여 과도한 부재료를 사용함으로써 처리비용 상승은 물론 부재료로 인한 C/N비의 과다로 퇴비가 부숙되지 않고 생산된 퇴비의 품질도 낮아 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다. 이와 같은 문제점은 소 사육농가보다 농경지를 확보하지 않고 있는 돼지 사육농가에서 더 큰 문제점으로 지적되고 있다.

3) 액비화 원리

분뇨 및 오수중의 영양원을 미생물이 흡수, 분해하여 미생물 개체로 변화되고 이때 미생물의 증식, 번식, 호흡에 의해 영양원(오염물)은 없어지며, 무기물질로 변화해간다. 혐기성 미생물은 충분한 영양하에서 적당한 온도와 공기차단 상태가 지속되면 서서히 무기물화가 진행되고 호기성 미생물은 공기공급을 해줌으로서 호기성 미생물이 유기물을 무기화 시켜간다. 액체 상태의 비료로 이용은 작물에게 유용한 물질로 만들어 주어야 하는데 작물은 뿌리나 잎을 통해서 무기물을 섭취한다. 액비화 과정을 거쳤다고 모두 무기화 될 수는 없으며 일부는 유기물과 미생물로 존재된다. 토양 내에는 많은 미생물이 있어서 이 유기물질을 분해한다. 그럼 애초부터 유기물을 직접토양에 주어 미생물이 해결토록 하면 된다고 생각하기 쉬우나 분해가 쉬운 유기물은 토양 미생물의 급격한 증가로 고열과 수분증발, 질소기아, 토양내 산소고갈 현상을 유발한다. 이런 위험 요소가 제거되어 진 상태를 안정화되었다고 하며 액비화 과정이 안정화과정이다.

4) 액비화 방법

액비화방법으로 축사형태에 따라 분과뇨를 혼합한 슬러리 형태의 분뇨와 분과뇨가 분리되는 스크레퍼 형태에서 발생된 뇨를 대형 저류조에서 장기간 부숙시켜 축산폐수를 액비화하여 초지 또는 농경지에 액비로서 사용하는 방법이다. 현재 농가에서 선호하는 처리 형태이며 축산농가에서 폐수발생에 따른 축산폐수처리비용 절감 및 축산분뇨가 갖고 있는 비료성분을 이용한 토양 개량제 및 유기농법으로 인한 화학비료 대체 효과도 볼 수 있다. 적용조건은 최종 처리된 액비를 살포할 수 있는 초지나

농경지를 확보한 양축농가에 한하며, 처리공정으로 Fig. 2 에서 보는 바와 같다(농림부, 1999).

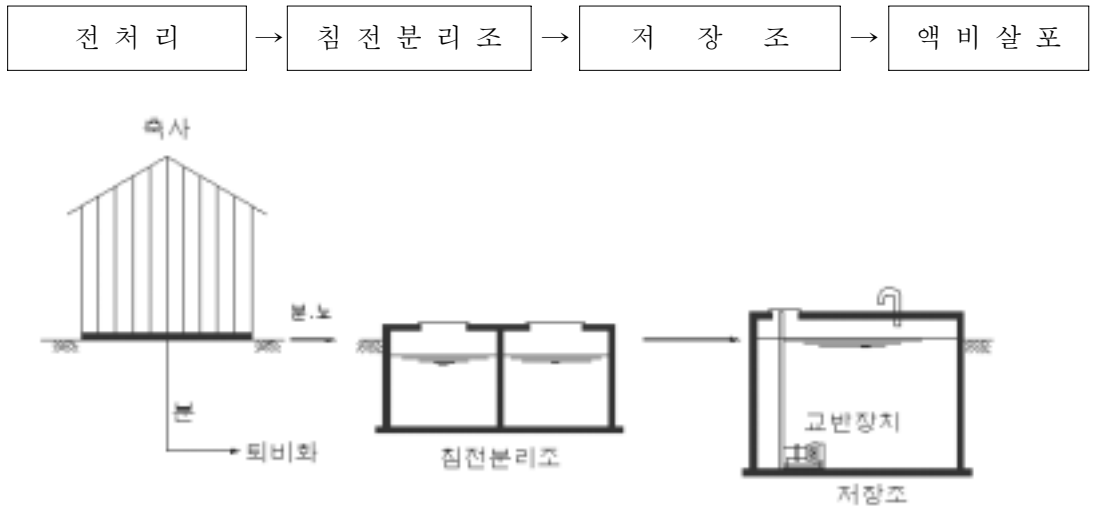


Fig. 2. Flow chart of storage liquid compost facility.

가축분뇨의 액비 제조방법에는 폭기 유무에 따라 호기적 방식과 혐기적 방식으로 구분한다. 일반적으로 호기성 방식은 가축액상 분뇨에 산소를 강제적으로 혼입하여 폭기 및 교반작용에 의하여 호기성 미생물이 유기물을 분해하는 방식이며 혐기성 방식은 분뇨액상물이 저장조에 투입하면 미소화물 등이 가벼운 물질이 부상하여 스크름을 형성하게 되는데 이때 하부의 액상물질은 공기와 차단되므로 점차 혐기성 세균이 발육하여 유기물이 혐기성 분해 되는 형식이며 호기성이 혐기성 방식보다 부속속도가 더 빠른 것으로 알려져 있다(이, 1995).

가) 호기성 액비화

호기적 방식이란 액상 축분뇨를 교반하면서 공기를 공급하면(폭기처리) 퇴비화와 같이 호기성 미생물에 의한 분해가 진행되는데 이를 호기적 방식이라 한다. 호기적 처리방식은 연속폭기 방식과 간헐 폭기방식이 이용되고 있으며 일부에서는 에너지 사용을 절감시키기 위하여 저장조에 저장 후 살포직전에 폭기와 교반을 하여 악취를

감소시킨 후 농경지에 이용하고 있다. 호기적 처리방식은 분뇨중의 이분해성 유기물의 분해를 촉진시켜 단기간에 완숙된 액비를 제조할 수 있다는 장점이 있으나, 폭기중에 질소성분의 손실이 크기 때문에 액비 이용측면에서는 불리한 면도 있다. 액상 축분뇨를 호기성으로 부숙시키기 위해서는 호기성 미생물이 활동할 수 있는 조건을 갖추지 않으면 안되며, 필요한 조건으로는 미생물의 영양원, 공기(산소), 온도 및 수분 등이다. 호기성 액비화를 위한 미생물의 영양원은 분뇨에 포함되어 있는 유기물이다. 가축으로부터 분뇨가 배출될 때 분이 혼합되지 않도록 뇨 만을 분리할 수 있으나 실제로 축사에서 분과 뇨를 분리시킨다고 해도 분의 일부가 뇨 속에 포함되어 있기 때문에 액비제조에 필요한 고형 유기물은 보통 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 뇨 속에 고형물 즉 유기물이 없으면 영양분이 부족하여 부숙이 잘 진행되지 않는다. 호기성 미생물이 호기성 액비화 조건에서 활동하기 위해서는 산소공급이 필수적이다. 퇴비화의 경우에는 톱밥이나 왕겨 등 수분조절제(Bulking agent)를 이용하여 퇴비더미 속에 공극을 만들어서 공기가 통과되도록 만들기 때문에 별도의 공기를 공급하지 않아도 호기적 조건이 쉽게 유지될 수 있으나, 액상분뇨는 호기성 미생물이 액중의 용존산소를 쉽게 이용하여서 액중에 용존산소가 거의 없기 때문에 공기를 액중에 강제적으로 공급하는 폭기처리를 하지 않으면 호기성 미생물이 활동할 수 없게 된다. 액비화 과정에서 미생물이 최초로 활동하기 위해서는 적당한 온도가 유지되어야 하며, 일단 미생물이 유기물을 분해하면 분해될 때 발생하는 열로 온도가 상승되므로 그 이후로는 외부에서 특별히 가열할 필요는 없다(송, 2000). 액비는 액상의 상태에서 제조되기 때문에 미생물의 활동에 필요한 수분은 문제가 되지 않으나, 폭기시 충분한 유동성을 유지하기 위해서는 함수율을 관리할 필요는 있으며 호기성 액비방법으로는 고온숙성 호기액비화 방법이 있다.

고온숙성 호기액비화 방법은 호기성 미생물을 이용한다. 혐기성미생물의 경우 증식 속도도 늦고 천천히 유기물질을 분해하지만 호기성미생물은 증식속도 매우 빠르고 미생물 호흡과 대사에 의해 액온도도 높이 올라가게 된다. 이방법도 축분뇨에 있는 영양물질을 호기성 미생물이 영양원으로 이용한다. 일정공간에서 축분뇨 혼합액에 공기공급과 교반을 해주게 되면 미생물이 급격히 번식과 성장을 하고 이때 미생물의

대사열과 거품이 생기게 된다. 시설은 거품을 부수어 주는 장치를 가지며 장치가 거품을 부수어 줄 때 대기중 온도와 상대습도 차이로 다량의 수분증발이 일어나며 파쇄된 거품액은 축사하부의 슬러리 피트로 일정량 되돌려 진다. 축사하부로 되돌려진 거품액은 축사내에 있는 분뇨의 혐기화를 방지하고 축분뇨 이송을 돕는다. 이 방법은 전체 공정에서 발생량의 약 30%정도가 증발될 것으로 예상되며 증발은 반드시 에너지를 필요로 한다. 이 시설의 증발에너지는 주로 축분에서 얻어진다. 따라서 축분이 축사에서 시설로 유입될 때까지 에너지를 잃지 않은 상태로 운반되어야 하기에 호기성 상태의 거품액을 반드시 축사로 되돌려서 축분이 축사 내에서 썩지 않도록 해야 한다. 또 축사하부의 슬러리 피트는 40cm정도로 낮은 깊이를 구성시켜 혐기화를 방지 해야하고 배출은 독님이 방식이 되어야한다. 증발 안되는 잉여분의 거품파쇄액은 모았다가 작물에 액비로 사용한다. 따라서 액비를 항상 뿌릴 수 없다면 저장할 수 있는 액비저장조를 확보해야한다. 상품화된 이 방법들은 각기 다른 미생물을 사료와 섞어 먹이는 것을 원칙으로 한다(한국육류수출입협회, 1999).



Fig. 3. Treatment diagram of high temperature rapid liquid composting facility.

나) 혐기성 액비화

1) 혐기성소화과정의 개요

혐기성소화법(Anaerobic digestion)은 하수슬러지나 분뇨등에 대표되는 유기물 농도가 높은 폐수나 폐기물을 처리, 안정된 액체비료 또는 불활성 무기물로 분해되는 것을 의미하며 여러종의 혐기성 미생물에 의해 유기물을 단계적으로 분해하여 최종적으로는 메탄 또는 이산화탄소, 물, 등으로 전환시켜 안정화하는 프로세스이다.

이 과정은 Fig. 4 에 나타난 바와 같이 일반적으로 가수분해단계, 산생성단계 및 메탄 생성단계의 3단계로 나누어진다. 혐기성소화법에는 분뇨 등의 주성분인 복잡한 유기화합물은 가수분해반응, 산생성반응, 메탄생성반응이라는 다단계의 순차반응프로세스를 순서로 안정화시킨다. 혐기성소화반응의 최초 단계는 탄수화물, 지방 및 단백질이라는 복잡한 유기화합물이 산생성세균의 세포외효소에 의해 가수분해 되고, 당류, 아민산 및 고급지방산 등으로 분해되는 프로세스이다. 당류, 아민산 및 고급지방산 등의 중간생성물은 산생성세균에 의해 초산, 수소, 프로피온산 등으로 분해되는 산생성반응을 거쳐 초산생성세균에 의해 초산 및 수소로 분해된다. 혐기성소화의 최종단계는 메탄가스와 CO₂를 생성하는 반응으로 이 반응은 메탄생성세균이 담당하고 있다. 혐기성소화반응은 그 제1단계를 가수분해, 제2단계를 유기산생성, 제3단계를 메탄생성이라고 불리고, 가수분해와 산생성단계를 합하여 유기산생성상(Acidogenic phase)로 보는 것도 많다. 또 이 산생성상에 관여하는 세균을 산생성세균이라고 한다. 이에 대해서 제1단계와 제2단계를 합하여 비메탄생성상(Non methanogenic phase), 제3단계를 메탄생성상(methanogenic phase)로 불리는 것도 있다(구, 2001).

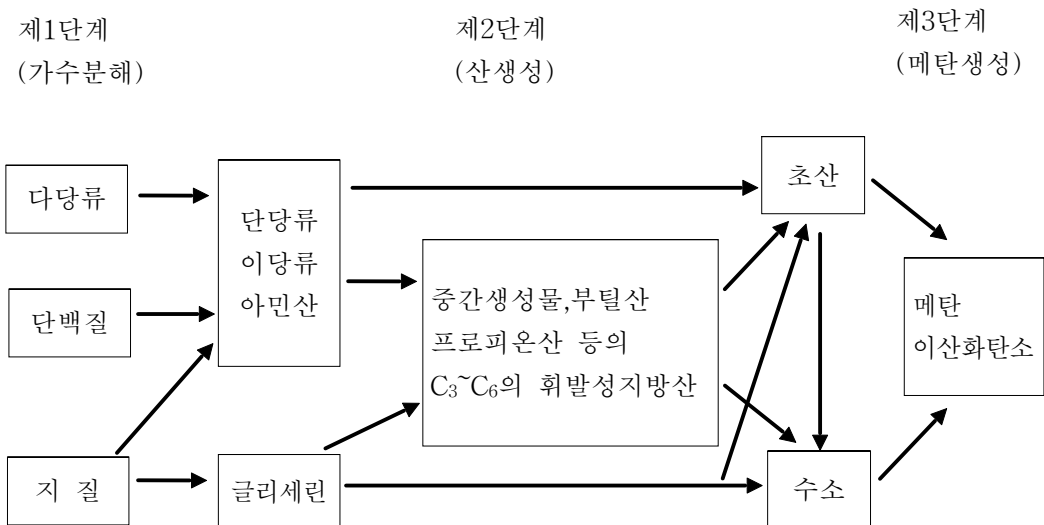


Fig. 4. Substrate degradation process in anaerobic digestion.

혐기성 발효를 조절하는 요인으로

- ① 온도: 메탄의 생성 온도는 0°C에서 97°C 범위 내에서 모두 발생되지만 고온대인 경우는 50~60°C 사이가 최적 온도 범위이며 중온대인 경우 25~40°C가 가장 적합하다. Methanogenic bacteria는 acidogenic bacteria에 비해 온도에 상당히 민감하므로 휘발성 지방산을 더욱 많이 이용하게 하기 위해서는 중온대 온도가 제일 적합하며 그 온도의 범위는 30~35°C가 적합하다(Hammad 등, 1999).
- ② HRT(발효조에 머무르는 시간 : hydraulic retention time) : HRT는 혐기 미생물의 대사과정을 고려하여 충분히 길수록 좋다. 일반적으로 혐기 미생물의 generation time은 일반적으로 10~60일 정도이기 때문에 HRT는 이 범위 내에서 정하는 것이 좋으며 최적 범위는 중온대와 고온대 모두 25~30일 사이가 최적이다.(Sterritt와 Lester, 1988).
- ③ pH : 대부분의 methanogenic bacteria는 pH가 6.7~7.4 범위에서 잘 자라지만 그 중에서도 최적 pH는 7.0~7.2 사이이며 6.0에 가까워질수록 저하된다. 반면에 acidogenic bacteria는 비교적 낮은 pH에서 유기산을 생산해 내는 경향이 있다. 정

상적인 조건하에서는 methanogens가 생산하는 bicarbonate에 의해 pH가 낮아지는 것을 완충시킬 수 있지만 반대의 조건이라면 발효조내의 buffering capacity는 균형이 깨어져 심하면 메탄의 생성이 중지될 수도 있다. 산도는 acidogenic bacteria보다 더욱 나쁘게 작용을 하며 발효조내 휘발성 지방산 생산이 많아지게 되는 것은 이와 같이 발효조의 성능을 더욱 떨어뜨릴 수 있다(Hammad 등, 1999).

④ 화학적 조성 : Methanogenic bacteria는 carbohydrate나 protein, lipids, complex aromatic compounds(ferulic, vanillic, syringic acid등)을 메탄으로 변화시킬 수 있지만 lignin이나 n-paraffin같은 물질은 분해하기 어렵다. 영양적 조성은 학자에 따라 다르나 C:N:P의 비율은 700:5:1(Sahm, 1984), C/N 비율은 25~30:1이 적합하다(Sterling 등, 2001).

⑤ 미생물간의 경합 : methanogens와 sulfur-reducing bacteria군 모두 acetate와 H₂를 같은 electron donor로 사용을 한다. 이 두 군의 성장 역학적인 연구들을 살펴보면 sulfurreducing bacteria는 methanogens에 비해 acetate에 더욱 친화력이 강하며 따라서 acetate의 농도가 낮을 경우에는 methanogens는 활동력이 저하된다.

⑥ 유독성 물질 : 유독한 물질은 때때로 혐기발효의 실패의 요인으로 작용하기도 한다. 혐기발효가 잘되지 않고 있다는 지표로서는 메탄가스의 생성량의 저하와 휘발성 지방산의 농도가 높아지는 것으로 삼는다. 대표적인 유독성 물질들은 다음과 같다. 산소는 methanogens에 있어서 당연히 독성 물질이다. 산소는 아주 극소량만 녹아 있어도 발효가 저하된다. 또 이온화되지 않은 암모니아는 methanogenic bacteria에게는 아주 치명적이다. 그러나 pH에 따라 그 독성이 달라지는데 중성 pH일 경우에는 독성을 가지지 못한다. 그 외에도 Chlorinated hydrocarbons, Benzene ring compound, Formaldehyde 등 가축 분뇨와 함께 발효조로 유입될 수 있는 물질로서 살균제, 사료첨가제, 약품류 등이 있다.

2) 혐기성세균의 분해특성

혐기성소화에 있어서 유기물은 최종적으로 메탄, 암모니아, 이산화탄소 및 황화수소 등으로 분해된다. 이 분해과정은 호기성세균과 같은 1종류로 완료하는 것은 아니

고, 몇 개의 역할이 다른 세균이 공생 및 경합하는 것에 의해 적절한 대사계를 형성하고 있다. 혐기성소화에 관여하는 세균을 Fig. 5 에 나타내었다. 일반적으로 이 세균군은 산성생성세균 및 메탄생성세균의 2종류로 크게 분류된다. 각 세균군의 특성에 대해서는 아래에 나타내었다.

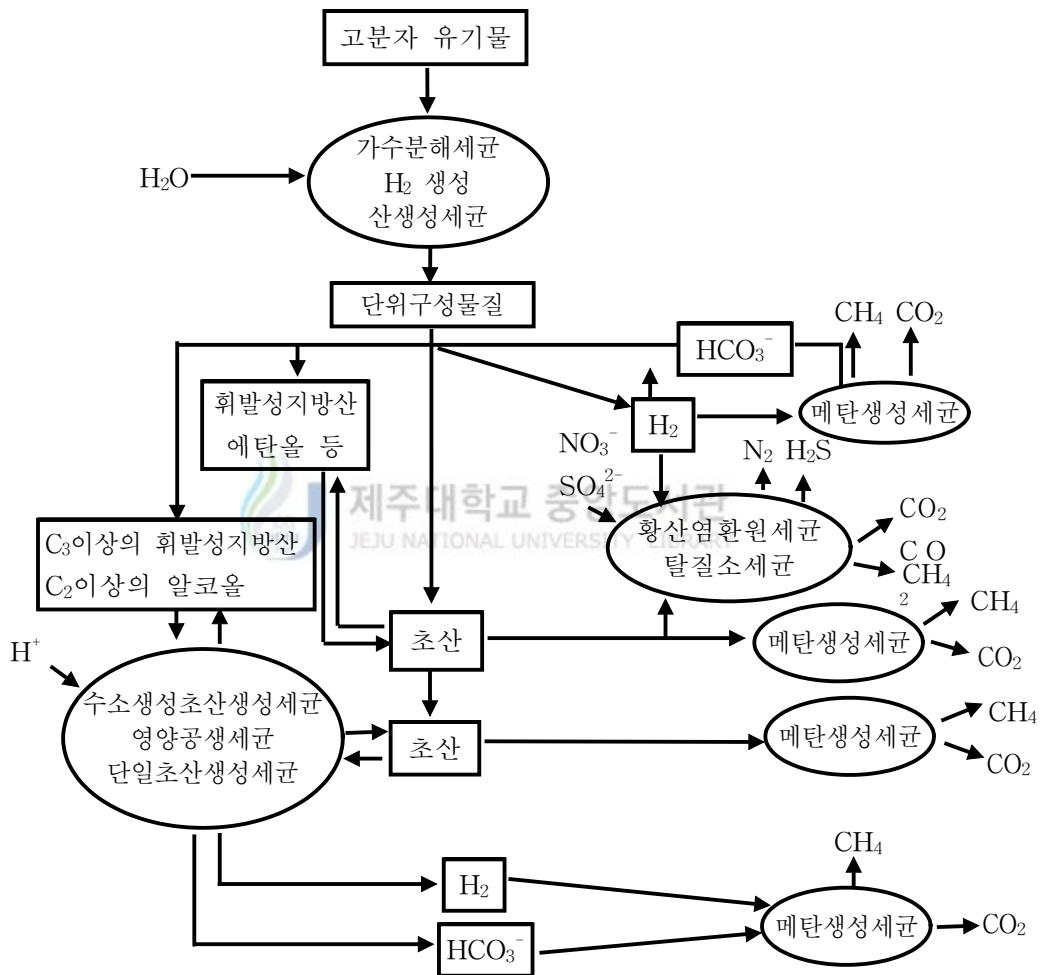


Fig. 5. Bacterial flora participated in anaerobic digestion.

(1) 산성생성세균

가) 산성생성세균

가수분해, 산발효성세균 그룹의 세균은 탄수화물, 단백질, 지질 등 방향족화합물 등

의 유기물을 분해하여 유기물 및 알코올 등을 생성한다. 가수분해능 및 산발효능을 동시에 가진 종류가 많은 것으로 가수분해세균(Hydrolitic bacteria) 혹은 산발효성 세균(Fermentative bacteria)로 불리우는 것이 많다. 가수분해효소는 기본적으로 세포외효소이고, 이 효소는 세포막 결합성 및 용액 중으로 용해하는 형의 2종류로 분류된다. 가수분해세균의 종류에 의해 효소의 공존형태는 다양하다. 가수분해세균으로는 편성혐기성세균인 *Bacterides*, *Butyrvibrio*, *Clostridium*, *Eubacterium*, *Fibrobacter*, *Fusobacterium*, *eptococcus*, *Ruminococcus*, *Selenomonas* 등의 속이고, 호기성 혹은 통성혐기성 세균인 *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* 속 등 다양한 세균이 알려지고 있다.

효소에 의한 단백질의 분해는 Protein, Proteoses, Peptones, Pepteds, Amino acids로 진행한다. 또, 혐기성소화로 처리대상이 되는 탄수화물의 대표인 셀룰로스를 포함한 기질의 혐기성소화의 산생성과정에 있어서 율속단계로 되는 것은 이 가수분해단계이다. 이 가수분해단계는 속도적으로 메탄 발효단계 보다도 느린 것이 많고, 이 경우에는 혐기성소화반응 전체의 율속단계로 나타난다. 지질은 단순지질과 복합지질로 나누어지고, 단순지질에는 고급지방산이나 중성지방이 포함된다. 중성지방은 글리세롤과 고급지방산인 에스테르가 있다. 또, 복합지질에는 인지질이나 당지질이 포함된다. 인지질은 세포막의 구성성분인 인을 포함한 고급지방산이나 아민산 등과 글리세롤의 에스테르이다. 산생성단계에는 에스테르화한 지질은 세포외효소 리파아제에 의해 가수분해된다. 1몰의 중성지방에서 1몰의 글리세롤과 3몰의 고급지방산이 생성되고, 글리세롤은 탄수화물의 분해경로로 들어가서 분해를 한다. 또 고급지방산은 Knoop의 β 산화의 이론에 의해 초산으로 분해된다. 중간생성물인 고급지방산은 메탄생성세균을 저해한다고 알려져 있다.

나) 단일초산생성세균

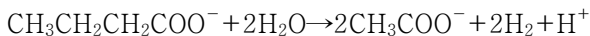
단일초산생성세균은 H_2+CO_2 , $CO+H_2O$ 에서 초산만(혹은 초산을 주로 대사산물로 한다)을 생성하는 혐기성 세균군이다. 기질이용성에 기초하여 단일초산생성세균은 편성중속영양성(*Clostridium thermoaceticum* 및 *Acetobacterium woodii* 등)과 중속

영양성 및 독립영양성(*Clostridium formicoactaicum* 및 *Clostridium magnum*)을 동시에 가지는 혼합영양성 두가지 그룹으로 분류된다. 현재까지 분리된 초산생성세균의 대부분은 혼합영양성이고, H₂+CO₂를 이용하는 세균은 거의가 유기물도 이용가능하다. 중속영양성 및 독립영양성의 초산생성세균은 20종류 정도 분리되고 있다. H₂+CO₂, CO+H₂O, formate, methanol, n-butanol, pyruvate, glucose, fructose, lactose, cellobios, hexoses, sucrose, ribose, xylose, sarcosine, malate, cicrate, alanine, betaine, trimethoxybenzoate 등이 초산생성세균의 이용 가능한 기질로서 확인되고 있고, 혐기성소화반응의 중간대사물을 시작으로 당류, 아민산, 방향족화합물에 미친다. 대사산물은 초산 혹은 초산과 CO₂이지만 소량의 초산 이외의 유기물(프로피온산 등)이 생성되는 것도 있다.

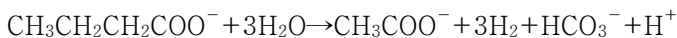
다) 공생(수소생성성) 초산생성세균

공생(수소생성성) 초산생성세균은 C₃ 이상의 프로비온산, 부틸산 등의 지방산, 알코올 혹은 방향족화합물을 기질로서 수소와 초산을 생성하는 초산생성반응을 담당하는 세균의 일부이다. 이 반응은 열역학적으로 불리한 것으로 알려져 있고, 생성물인 수소의 축적에 의해 이 세균에 의한 부틸산 등의 분해반응은 저해된다. 이 때문에 이 반응이 진행되기 위해서는 수소산화성세균(메탄생성균, 황산화원세균, 단일초산생성세균)과의 공생이 필요하다. 즉 다른 세균과 공생하는 것이 증식을 위해서 필요불가결하다. 공생(수소생성성) 초산생성세균에 의한 분해는 다음과 같다.

· n-부틸산



·프로피온산



또, 공생초산생성세균에 의해 이루어진 반응에 대해서는 다음과 같이 정리될 수 있다.

· 에탄올, 유산⇒수소+초산

· 프로피온산, 아세톤, Benzoate, Hydroxybenzoate⇒수소+탄산가스+초산

· 우수지방산⇒수소+초산

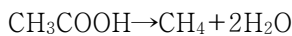
- 기수지방산⇒수소+초산+프로피온산
- 아민산(일부분)⇒수소+초산+탄산가스+암모니아

이 산생성세균은 특수한 세균은 아니라 자연계에 넓게 분포되고 있는 통성 및 편성 혐기성 세균이고, 혐기성소화에 관여하는 세균은 편성혐기성세균이 많이 있다. 또 메탄생성세균과 비교하여 pH, 저급지방산의 축적, 온도의 변화 등 외적 환경인자의 변동에 대해서 저항성이 강하고, 증식속도가 크다.

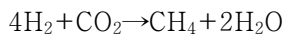
(2) 메탄생성세균

메탄생성세균은 혐기성소화의 최종단계를 담당하는 세균으로 산생성세균의 작용에 의해 생성된 중간생성물을 메탄으로 변화시킨다. 메탄생성세균은 편성혐기성세균이고, 유리산소의 공존에 대해서 예민하기 때문에 배양할 때에는 공기를 혼입시켜서는 안된다. 메탄생성세균이 사용될 수 있는 기질은 H_2+CO_2 , 초산, 메탄올, 메틸아민 등으로 한정되고 있다. H_2+CO_2 는 일부를 제외하고 거의 전부 메탄생성세균이 이용 가능하지만, 초산, 메탄올, 메틸아민은 일부에 한하여 메탄생성세균만 이용될 수 없다. 초산 및 수소에서 메탄생성을 아래에 나타내었다.

- 초산에서



- 수소에서



메탄생성세균의 최적 pH 범위는 6.4~7.4 중성부근이다. 특히 이 세균은 30~36℃ 범위를 좋아하는 중온세균과 50~57℃ 범위를 좋아하는 고온세균의 2종류가 있다. 또 이 세균은 pH, 저급지방산의 농도, 온도 변동에 대해서 민감하고, 증식속도가 느리기 때문에 일반적으로 혐기성소화반응의 율속인자는 메탄생성세균의 증식이라고 말할 수 있다. 메탄생성세균의 증식이 무엇의 영향으로 저해를 주는가와 산생성상과 메탄생성상의 기질소비의 균형이 무너지게 되면 휘발성지방산의 축적과 그에 따른 pH의 저하에 의한 산패현상이 일어나기 때문에 프로세스 기능의 유지가 곤란하게 되는 것이 알려져 있다(구, 2001).

3) 혐기성 액비화 방법

혐기성 방식은 혐기성균의 작용에 의하여 이분해성 유기물이 분해되는 기능을 이용하는 방법을 말한다. 가축분뇨에는 호기성균과 혐기성균이 공존한다. 유기물과 영양원이 있는 액상에서는 용액중에 용존되어 있는 산소를 호기성균이 소모하고 대기 중의 산소가 액상으로 용해되는 속도보다 호기성균의 산소 소비량이 클 때 액상은 혐기상태가 된다. 혐기성 조건에서도 유기물은 지방분해균, 섬유소분해균, 단백질분해균에 의하여 가용성물질로 전환되며 이를 1단계 분해라고 한다. 1단계 분해산물은 산생성균에 의하여 유기산으로 전환되며, 최종단계는 메탄균에 의해 산이 가스로 전환되고 난분해성 물질은 잔류한다. 이와 같이 고분자 유기물이 공기가 없는 상태에서 분해되는 과정을 혐기성 소화라고 하며, 가축분뇨가 이 과정을 거치면 혐기성 액비화라고 한다. 따라서 혐기성 액비화 공정은 메탄가스 발생을 수반하기 때문에 메탄발효라고도 하며, 이론적으로 밝혀진 바와 같이 혐기성 분해가 완료되면 호기성 액비화와 동일하게 악취가 없는 안정한 액비가 제조될 수 있다. 일반적으로 호기성 액비화는 1~2단계 분해과정으로 액비가 제조되나 혐기성 방식에서는 3단계 분해과정을 거쳐 최종 액비가 생산되기 때문에 철저한 혐기조건이 아니면 액비화에 오랜 시일이 요구된다. 액상 가축분뇨의 혐기성 방식에는 호기성 방식과 달리 공기를 차단하는 시설을 설치하는 것 이외에는 큰 차이가 없으나, 혐기적 처리방식은 저장조를 완전히 밀폐시켜 공기를 차단하여 처리하기 때문에 분해과정중 부수적으로 메탄가스를 생산 이용할 수 있는 장점이 있다. 이와 같은 이점 때문에 유럽지역에서는 오래 전부터 이 방식을 채택하고 있으며, 미국에서도 분뇨처리에 별문제가 없는 지역에서는 최근 가축분뇨 종합관리(Integrated animal wastes management)개념을 미래 가축분뇨 관리의 기본수단으로 설정하고 있다(농업진흥청, 1999). 이 기본 개념은 가축분뇨를 직접 퇴비나 액비로 이용하는 대신 혐기발효를 거쳐 에너지(메탄가스)로 이용한 후 액비로 활용한다는 것으로, 가축분뇨 뿐만 아니라 부패성 유기성 폐기물의 혐기발효 과정에서 발생하는 메탄가스를 이산화탄소로 배출하게 하여 지구 온난화 방지를 위한 온실가스 저감계획에 포함된 기술체계이다. 국내에서는 폭기처리를 하지 않는 경우 일반적으로 혐기성 처리라고 인식하고 있으나 가축분뇨 저장조가 공기에 노출되어

있으면 혐기조건으로 볼 수 없으며, 효율도 낮다. 일반적으로 혐기처리는 처리 운용비가 적게 드나 완전 부숙되기 전까지 시간이 많이 소요되기 때문에 저류조의 크기가 커야 되고 발효과정에서 황화수소나 암모니아등의 악취물질이 다량으로 발생하는 단점이 있다.

혐기성 액비제조 방법으로는 저장 액비화 방법을 있으며 축분뇨를 저장조에서 장기간 단순 보관하게 되면 유기물질을 영양원으로 혐기성미생물이 서서히 증가되고 유기물은 유기산, 메탄가스로 저분자화 되간다. 실제로 유기물의 함량은 약 4개월 정도면 유입초기에 비하여 1/2수준으로 감소된다. 이는 혐기성미생물에 의해 안정화되어가는 것을 의미하며 이후에는 매우 천천히 감소해서 6개월이 되면 더 이상 변화 안될 정도로 된다. 즉 6개월 정도면 분뇨는 액비로서 이용이 가능토록 변화되어 토양에 뿌려도 영양물질을 토양미생물이 천천히 분해 시켜서 식물에게 공급가능한 상태가 된다(축협중앙회, 2000). 저장액비화방법을 이용해서 축산폐수를 처리하고 액비를 이용하고자 할 경우는 몇 가지 제약조건이 따른다. 무엇보다 액비를 뿌릴 수 있는 경작지가 필요하다. 초지와 밭 논에 뿌릴수 있는 면적은 사육하는 축종에 따라 배출하는 비료적 영양원인 질소량이 다름을 고려하여 두당 확보해야 할 일정면적을 고시로 정하고 있다. 고시된 면적은 분뇨 혼합상태의 영양원을 기준으로 각 작물의 개괄적 필요량을 정한 것이므로, 각 농가 실정에 따라 분뇨 분리후 뇨부분만 액비로 이용 또는 다른 방법에 의한 처리후 최종물의 액비 이용시는 액상처리 물질내 질소량을 면밀히 조사 후 시비대상 작물의 질소 필요량을 계산하여 안전한 량을 시비할 수 있어야한다. 저장액비방법은 혐기성 과정으로 살포시 악취가 많이 발생하므로 살포는 몇몇 주의사항이 요구된다. 액비는 확보된 경지전체면적에 골고루 살포하여야 하며, 살포시는 기상, 토지의 결빙 경사도 등 모든 조건을 고려하여 2차 오염이 일어나지 않도록 하고 살포 후 바로 경운을 하는 것이 바람직하다. 또 액비는 완전히 부숙시킨후 살포하고 주거지역과 가까운 곳은 살포를 자제한다. 그리고 현행 “오수분뇨 및 축산폐수에 관한법률”에서는 Table 2에서 보는 바와 같이 현재 가축별 축산 폐수를 저장액비화 하여 살포시 가축 1두당 초지 및 농경지 살포면적 고시하여 살포하도록 하고있다.

Table 2. Required area of grassy place or farm land in storage liquid compost spraying time per a head/animal.

구 분	초 지	농 경 지	
		논	밭
소·말	520m ² 이상	990m ² 이상	640m ² 이상
젖 소	1,610m ² 이상	3,080m ² 이상	1,990m ² 이상
돼 지	340이상	640이상	420이상

(환경부, 1999)

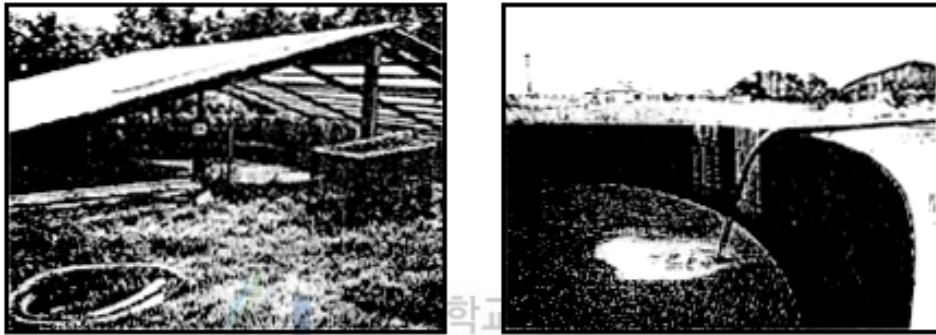


Fig. 6. Storage liquid compost facility.

4) 가축분뇨 액비 직접 이용기술

(1) 가축분뇨 액비 시용량 결정

작물별로 가축분뇨 액비 시용량 결정에 고려할 점은 토양의 비옥도와 액비중의 비료성분 함량에 대한 분석결과이다. 토양의 특성을 고려하여 액비 시용량은 차별화 될 수 있다. 가축분뇨(액비)는 질소성분이 높고, 질소 무기화율이 화학비료와 비슷하기 때문에 액비중 질소성분을 기준으로 시용량을 결정한다. 인산 기준으로 액비 시용량을 결정할 경우 액비 시용량에 따른 질소비료 과다 투입으로 작물의 병해충 발생 및 도복, 등숙률 저하가 우려되며, 질산염 등이 지하수로 침투되어 환경을 오염시킬 수 있으므로 항상 사용시에는 액비중 비료성분함량을 분석하여 적정량을 준수하여야 한다(농업진흥청, 1999).

가축분뇨 액비는 비료성분중 질소함량이 높고, 화학비료와 같이 속효성 비료효과를 나타내므로 질소성분을 기준으로 작물별 사용량을 결정한다(농촌진흥청, 1994).

작물별 가축분뇨 액비 사용량 계산방법

$$\text{액비사용량(kg/m}^2\text{)} = \frac{\text{작물별 비료 필요량(kg/m}^2\text{)}}{\text{비료성분 유효율(\%)} \times \text{비료성분 함유율(\%)}}$$

(2) 액비 살포기술

액비살포는 토양표면 살포와 주입식 살포기가 활용되고 있다. 현재 국내에서는 분무식과 토양표면 살포기가 이용되고 있으나, 논을 대상으로 할 경우 논이 필지면적은 적고 분뇨탱크는 커서 작업에 어려움이 따른다. 또한 표면살포의 경우 악취에 의한 민원이 제기되기 때문에 주거지역 인근에서는 활용에 제약요인이 되고 있다. 현 단계에서 가축분뇨 액비활용에 가장 큰 장애요인은 적절한 액비 살포기가 개발되지 못하고 있는 점이다. 가축분뇨 액비의 주요 활용대상을 논으로 선정할 경우 우리나라의 농경지 및 초지 특성에 적응할 수 있는 액비살포기 개발이 시급하다. 특히 악취에 대한 거부감이 큰 국내 현실을 감안하여 토양 주입식 액비살포기 개발이용은 금후 해결하여야 할 시급한 연구 과제라고 생각된다.

(3) 액비 살포시 주의 사항

액비 살포시 액비가 흘러내려 환경오염을 유발하지 않도록 조치후에 살포하여야 하며 부숙도 판정은 부숙방법과 원료의 질에 따라 상이하어 일정한 기준을 적용하기 곤란하므로 구체안이 마련되기까지 악취가 많이 나지 않을 정도의 것을 부숙액비로 한다. 사용 대상은 초지나 사료작물 등 비식용작물 포장과 과수등 연년생 작물재배 포장의 사용을 원칙으로 하고 양분집적 등의 우려가 있는 시설재배나 채소류 등에는 시험성적에 근거한 구체안을 마련하기 까지 가급적 사용을 지양해야 하며, 사용기준은 각 작물별로 작성하되 각 액비종류별로 함유된 총 질소량을 환산하여 작물별 질소 시비적량 수준을 최대 살포 허용량으로 하고 작기중에 거름기가 떨어질 경우 추비는 화학비료 사용을 원칙으로 한다. 토양이 얼어붙은 겨울철 및 비가 많이 오는 여

름철에는 환경오염 우려가 있으니 사용을 자제해야 하며, 악취가 난 액비는 민가에서 200m 이상 격리된 지역에서 사용하고 살포 후 경운 작업을 하여 악취를 제거한다. 미숙액비 살포시 악취로 인한 인근농가의 민원발생 및 세균성 기생충 감염이 우려되므로 6개월 이상 충분히 발효시켜 사용하고 액비의 운반살포는 품이 적게 들면서도 고르게 시용이 되고 운반중에 악취 등으로 인한 민원이 없도록 가급적 액비살포기를 사용한다. 액비는 화학비료와 같이 속효성 비효를 나타내므로 성분량을 기준하여 질소 시비 추천량을 초과하지 않도록 사용하고, 액비시용 토양은 가급적 3년 1기로 토양검정을 실시하여 과다시비로 인한 토양오염을 사전 방지한다(농촌진흥청, 1994).

1.3.2 퇴비화

퇴비화는 호기성 미생물에 의하여 작물이 섭취 가능한 무기물로 변화시키는 과정으로 부숙이라 일컬으며, 즉 미생물이 적당습도와 충분한 영양소를 이용, 산소호흡을 하면서 증식과 번식을 거듭, 이 과정에서 유기물은 이산화탄소, 물, 무기물로 분해된다. 퇴비화 방법으로는 크게 두 가지 형태를 갖춘 톱밥 및 깔집축사 및 축사 내에서 발생하는 분뇨를 동시에 처리할 수 있는 교반식발효시설이 있다.

1) 톱밥 및 깔집축사: 우사나 돈사 바닥에 톱밥 또는 왕겨, 발효건조 톱밥우분을 한우 5cm, 젖소는 10cm 두께로 깔고 그 위에 소를 사육하여 소가 배설한 분뇨를 소가 밟고 뒤집어 줌으로써 일부 건조후 톱밥우상에서 1차 건조된 축분뇨를 퇴비사로 운반하여 퇴비사에서 건조·발효 처리하는 방법이다.

단점은 돈사 내에서 발효가 일어남으로 돈사내부 온도제어 및 위생관리부분에 부적절하여 가축질병에 노출되어있고 개체별 사육에도 부적절한 부분도 있으며 돈사내 깔짚이나 톱밥교환시 인력소모가 많은 형태의 돈사이다. 장점으로는 축산폐수처리 시설을 따로 설치할 필요가 없으며 단지 퇴비화후 퇴비사 정도 필요하다. 처리 공정으로는 Fig. 7 에서 보는 바와 같다(농림부, 1999).

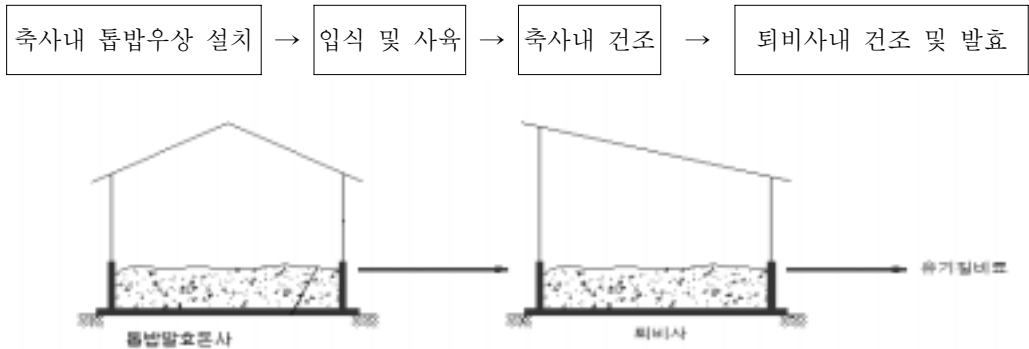


Fig. 7. Treatment diagram of sawdust ferment facility.

2) 교반식발효시설: 우선 발효조 내에서 이루어지는 교반형태를 분류해 보면 스크류 교반, 버켓식교반, 수직원통형교반, 로타리교반, 에스컬레이터교반 등으로 분류할 수 있으며, 축사에서 배출된 축분을 저장조에 1차 저류하였다가 수분조절재(톱밥 및 왕겨 등)와 혼합하여 함수율을 조절한 다음, 발효시설의 발효조로 운반하여 발효건조기 등을 이용 교반, 송풍, 혼합 하면서 일정기간 1차 발효시킨 후 퇴적장으로 운반하여 2차 발효시키는 방법이다. 처리 공정으로는 Fig. 8 에서 보는 바와 같다(농림부, 1999).

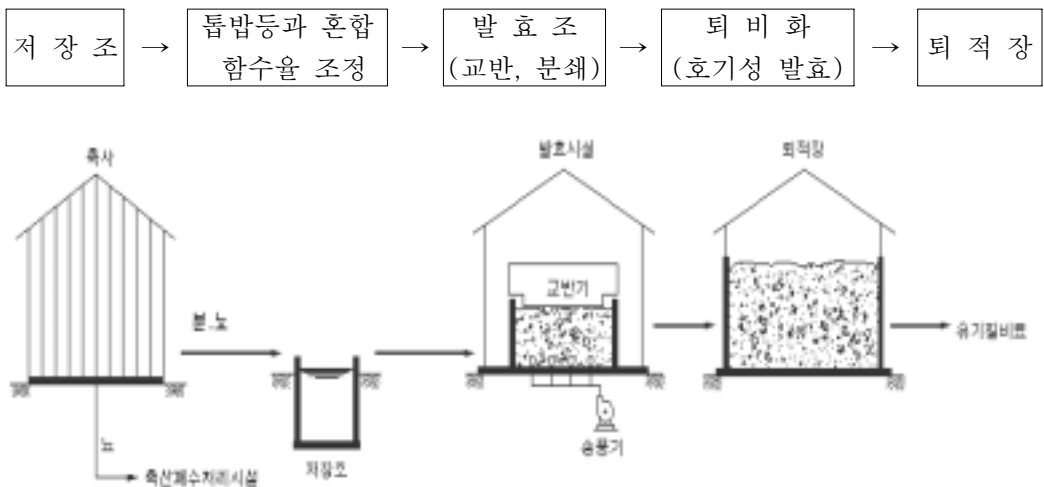


Fig. 8. Treatment diagram of agitated sawdust ferment facility.

1.3.3 정화처리방법

정화처리 방법으로 일반적인 방법으로 사용되는 방법으로는 호기성 방법으로 활성오니, 액상부식, 자연정화, B₃ 법등이 있고 혐기성 방법으로는 HAF(메디아법), BIMA(가스혼합)법 등이 있으며 이외에 여과법으로는 톱밥토양여과법이 많이 사용되고 있다(최등, 1999).

1) 활성오니법: 뇨,오수중 유기물이 미생물 활동에 적합한 환경조건에서 분해, 산화되어 CO₂, H₂O, NH₃로 안정화되며, 미생물의 분해 산물인 ,NH₃와 산화에너지를 이용하여 세포증식 및 성장함으로써 유기물을 분해하는 방법이다.

2) 액상부식법: 호기성상태인 액상부식조에 폭기와 교반으로 질산화 및 탈질산화공정을 반복 운전한 후 기계식 고액분리를 통하여 유기물을 제거하는 공법이다

처리 공정이 단순하여 관리가 용이하며 유입수의 농도변화에 대처하기 쉽다. 단점으로는 부지확보에 대한 경제적 부담이 있으며 운전비가 고가이고 전문기술자가 요구되며 탈수 케이크의 처분이 문제가 된다.

3) 자연정화법 :토양 중에 서식하는 토양균군의 대사산물 및 유기물질간의 토양반응에 의한 정화작용을 이용한 공법이며 화학약품을 사용하지 않으므로 기기류 시설관리가 용이하며 단점으로는 연1회 충전물을 보충해야하며, 기계설비가 많아 고장발생우려가 크다.

4) B₃(Bio Best Bacillus) :고농도 유기물 폐수를 사상균의 일종인 바실러스 균을 배양시켜 각 조에서 재순환시키는 방법으로 유기물과 질소, 인을 제거하는 방법이다. 탈취시설이 필요 없고 부하변동에 대한 대응력이 뛰어나며 공기량 감소로 에너지 비용이 절감된다. 단, 배양을 위한 무기영양성분 주입이 필요하다.

5) HAF(메디아)법: 원통형 혹은 4면형으로 된 수직구조물과 충전용 접촉체로 구성되며 고형물에 의한 막힘 현상을 방지하고 반응조 하부에 다량이 미생물을 확보하기 위하여 30-40%정도 공간이 있으며 혐기성 미생물 접종후 반응조를 가동하면서 혐기성 미생물의 접촉여재표면에 부착되며 매체 사이의 저부전면에서 고농도로 부유하게 되어 유기물을 소화 처리하는 방법이다. 숙련된 운전기술이 요구되며 고농도 고형물에 의한 접촉체

의 막힘 우려가 있다.

6) BIMA(가스혼합)법: 고농도의 유기성 및 고형물 함유폐수를 혐기성 박테리아에 의해 유기물을 분해하는 처리방법으로 메탄균에 의해 메탄발효가 이루어지는 공법이다. 주로 20~40℃에서 운전되며 소화 소요일수는 15일이다. 산분해, 메탄발효, 고액분리가 순차적으로 이루어지며 부하변동에 강하다. 고농도에 유리한 공법이나 구조물 시공의 정밀도가 요구되고 온도유지를 위해 가온설비가 필요하다.

7) 톱밥토양여과: 축사에서 분과 분리되어 나오는 뇨, 오수를 톱밥여과상과 토양여과상에 살포하여 토양미생물에 의해 정화 또는 토양에 흡착 또는 사료작물에 의한 흡수, 분해가 되어 처리후 방류하는 방법이다(최 등, 1999).

1.4 외국의 가축분뇨관리에 대한 규제

현재, 세계각국은 환경보전형 농업을 목표로 하고 있다. EU제국은 상수도 수원을 지하수에 의존하는 비율과 경지율이 높아 지하수 오염원으로서 농경지가 큰 비중을 차지하고 있다. 특히, 농지에 질소부하량이 큰 문제로 되어 여러 가지시책이 마련되고 있다. 질소 소비량이 증가 추세에 있는 유럽에서는 질소에 의한 지하수 오염문제가 심각하다. EU 국가의 음용수 수질기준은 질산농도 50mg/L가 상한선이나, 영국, 프랑스, 독일 등은 이 범위를 초과하는 지역이 더러 있다. 지하수의 질산염 오염은 EU제국이 경지율이 높고, 우리와는 달리 거의 밭이 대부분이며 강수량이 적은것 등이 원인이 되고 있다. 따라서, 위와 같은 오염도의 지역적인 차이로 인하여 일반폐기물과는 달리 가축의 분뇨를 그 성격 자체가 판이하게 다른 것으로 간주하고 있으며 제도적인 접근 방식 또한 나라와 환경에 따라 현격하게 차이가 난다. 미국과EU는 가축의 분자체를 환경보전재로 규정한 적당한 사용방법을 정립하여 계도함으로써 환경을 보전하는 적극적인 환경보전제도를 채택하고있다. EU제국은 축산에서 일어나는 환경오염 방지대책으로서 분뇨 이용한도와 사용방법에 관한 세분적인 규제를 하는 나라가 많으며, 매년 규제가 강화되고 있다. 이에 관한 주안점으로는 가축단위 또는 비료단위의 설정, 사육두수의 상한 결정, 슬러리 저장

용량의 설정, 가축단위 또는 비료단위의 설정, 사육두수의 상한 결정, 슬러리 살포시기의 제한 및 살포방법의 지정 및, 토지이용의 제한 등이 주요 내용이다(홍 등, 1999).

일본은 1993년부터 환경보전형 축산확립대책을 적극적으로 추진하여 가축분뇨의 양질 퇴비화를 통해 화학비료 사용량 감소 대책을 추진하고 있으며, “공해대책기본법”과 “환경오염방지관리법”을 상위법으로 하고 축산관련사항을 다루는 법에는 “수질오염방지법”, “악취방지법”, “폐기물처리 및 청소에관한법률”, “하천법”, “호소수질보전특별조치법”, “대기오염방지법” 등이 있다. 환경관련법 규제대상 사육규모는 우리나라와 비슷하고 총량규제를 강조하고 있으며, 축산폐수를 근해에 투기하거나 미성숙된 축분을 농경지에 살포하지 못하도록 규제하고 있다(최 등, 1999).

1) 미국

양축가는 연방정부와 주정부가 정한 법에 따라 가축을 적절히 관리하여야 하고 가축의 분뇨에 의하여 지표수와 지하수가 오염되지 않도록 하여야 할 의무가 있다고 규정하고 있다. 1972년 미 의회는 보다 광범위하고 설득력 있는 수질오염관리법을 통과시켰으며, 이법의 제정과 함께 NPDES(National Pollutant Discharge Elimination System)가 설립되었고, 이를 바탕으로 폐수 오염원에 대한 규제 및 감시를 실시하였다. 1987년에 발표된 광역오염원(Nonpoint SourcePollutant, NPSP)조절 프로그램에서는 가축사육에 관한 사항을 따로 정하고, 농가의 기술발전과 설비를 촉구하였다. 분뇨관리계획은 USA (미국 농무선)의 토양보전 서비스 기술계도의 환경보전 실행과 관리기준을 근거로 하였다. NPSP관리프로그램에서는 DNREC(자연자원및 환경관리부)로 하여금 환경관리 가이드라인과 낙농, 양계, 양돈, 육우 및 기타가축사육에서 지표수와 지하수의 오염원을 줄이는 처리과정을 개발하도록 하고 있으며, 가축분뇨의 저장시설과 퇴비의 토양환원은 저장시설의 설계, 운영, 토양환원 방법등에 대해정부에서 인정된 것과 Delaware Guideline Manure Management for Environmental Protection의 책자에 수록된 처리방법에 의해 이루어 질 경우는 DNREC의 허가가 면제 되어진다(김, 1997).

2) 영국

영국에서 가축분뇨 시비 소요면적은 전 질소가 연간250kg/ha이 상한선이며, 다음과 같이 추천하고 있다. 6개월 이상 쪼소는 0.16ha/두, 6개월 이상 고기소는 0.10ha/ 두 20~90kg의 비육돈은 0.04ha/두, 1000마리의 채란계는 2.30ha 및1000마리의 육계는 1.40ha 등이다. 영국은 농지에 비해 가축밀도가 낮으므로 축산을 대상으로 한 오염방지 규제가 약하나, 물, 대기, 토양 오염방지 등에 관한 상세한 가이드라인이 제시 되었다(홍 등, 1999).

3) 덴마크

덴마크는 농장 면적당 최대허용 가축단위를 정하여 가축사육밀도를 규제하고, 가축 단위당 분뇨 산출량 및 분뇨 성분량을 지정하였다. 덴마크는 농민조합이 정책결정에 큰 영향력을 발휘하며, 덴마크 농업에 있어서 환경보전에 관한 주요 규칙은 다음과 같다. 가축 분뇨 저장용량은 9개월간 저장 가능한 용량 이어야 하며 분뇨 및 사이레지(silage) 침출액 살포시에는 공공음료수집수시설에서 50m, 개인시설에서 25m이내 살포금지, 동결 또는 눈 덮인 나지에서 살포금지, 시가지, 주택지에서 200m이내와 공휴일 살포금지 등의 규제가 있다. 그리고 가축단위 상한선 이상 분뇨 살포 금지와 살포면적이 부족하면 다른 농장과 살포계약을 하여 처리한다. 또한 축사의 입지를 공공용지에서 50m, 식품가공 공장에서 25m, 하천, 호소, 도로, 이웃토지 경계선으로부터 15m을 최소 제한기준으로 설정하고 있다(박, 2000).

4) 프랑스

축산업에서 발생하는 환경오염방지규제는 축사의 설치시 민가, 주민 및 하천과의 거리에 대한 기준, 분뇨 저장용량에 대한기준, 살포량과살포시기에 대한기준, 공원지역에 악취영향을 미치지 않는 살포시기의 제한등 이있다. 분뇨의 비료 사용 상한선은 목초지가 350kgN/ha, 일반경지가 200kgN/ha이며 분뇨 저장용량은 최소한 6개월이며, 살포 금지기간은 동계11월 중순 부터 익년 1월 말일까지 이다. 또한 분뇨살포 제한은 일반적으로 하

절기 종말시, 적설시 및 동결시에 물가에서 50m이내는 살포금지가 되어있다(홍 등, 1999).

5) 독일

현재 실시되고 있는 분뇨사용 법률의 주요 골자는 다음과 같다. 축사의 입지위치를 주택지역으로부터 500m 거리이내에서 제한하고 있고, 분뇨 저장조는 최저 6개월의 분뇨 저장용량을 기준으로 하고 있다. 또한 사육두수 기준으로 산란계 7000수, 비육돈 700두, 모돈 250두 이상농가를 대상으로 환경기준을 적용 한다. 또한 비료성분량을 기준으로 단위면적당 액비 살포량을 제한하고 있다(박, 2000).

동결지에 슬러리 살포금지, 토양표면에 슬러리 살포 직후에 토양과 혼합처리를 원칙으로 한다. 비료사용법에 의한 연간 사용량 규제 내용은 다음과 같다. 질소: 170kg/ha(경지), 210kg/ha(초지), 인산: 90kg/ha(농지), 칼륨: 260~320kg/ha(경지 및 초지)이고, 1회당 사용량은 토양에 따라 결정된다(홍 등, 1999).

6) 네덜란드

네덜란드는 국토 전체적으로 1 ha 당 질소 52.8%에 해당하는 암모니아가 축사에서 휘산(덴마크 43.21%) 되는 것으로 계산되고 있기 때문에 암모니아의 휘산을 염두에 둔 분뇨대책을 세워 추진하고 있으며 면적당 분뇨 사용량 감축 계획을 보면 다음과 같다. 분뇨가공공 시설에 대해서는 2000년에 시설형 축산 분뇨의 전량을 퇴비로 가공하는 것을 지향하여 이에 필요한 가공설을 건설하는데 35%의 보조금을 지출하는 정책을 내세웠다. 또 분뇨 제조권은 토양시비용이나 퇴비화의 범위 내에서 분뇨 제조권을 설정하고 규정을 초과한 분뇨의 제조를 금지 한다. 암모니아 휘발 억제시설은 암모니아의 포집장치를 붙인 밀폐형 저장시설이나 분뇨를 신속히 제거할 수 있는 축사건축에 보조금을 지급, 암모니아의 저휘발 분뇨 사용을 의무화하는 법안의 시행과 보조금 지급하고 있으며 사양기술의 개선을 통해 사료의 소화율을 높이고 배설영양분을 감소시키는 사료의 개발, 사양표준 확립함은 물론 사양밀도의 감축부분에도 네덜란드는 87년 시점에서 소는 전농지 1 ha당 2.4 두, 초지 1ha 당으로는 4.5두로 EC지역 보다 크게 상회하고 있어 사육두수 감축이 문제도 여러 가지 형태로 노력하고 있다(김, 1997).

7) 일본

EC 와 미국의 제도는 가축분뇨를 자연자원으로 정의하고 저장과 이용에 대한 기준을 정하여 토양환원을 통하여 환경보전의 목표에 도달하고자 한데 반해 일본은 폐기 처리시 방류수의 수질기준을 정하고 방류를 규제, 수질 오염을 방지하고자 하는 제도를 채택하고 있다. 또한 일본은 여러개의 법에서 가축분뇨에 의한 환경오염을 다루고 있는 점도 구미의 제도와 다른 점으로 보인다. 농경지 단위면적당 과부하 문제에 대한 대책으로 사료자급율향상, 사육두수와 농경지면적이 불균형 조정, 축분이용촉진 축분 재활용을 위한 연구추진을 기본 방향으로 하고 있다. 또한 최근 증가하고 있는 집약축산에 대해서는 분뇨유통, 분뇨환원용량범위에서 사육밀도제한 방안을 강구하고 있다. 그리고 우리나라와 마찬가지로 축분이용에 대해 긍정적으로 생각하고 있으며 발생하는 가축분뇨를 전국의 농지에 균일하게 시용할 경우 환경에 대해 큰부하가 되지 않는다는 연구결과가 나와 있다(羽賀 清典, 1993). 축분이용의 기본적 고려 사항으로 양분의 균형을 유지하는 것을 들고 있다. 이를 위해서는 축분 발생원 단위를 정확하게 추정해야 하며 환경조건에 적합한 처리 및 이용방식을 선정하는 것을 들수있다. 즉 농지면적과 사육두수의 균형, 입지조건, 기상조건등의 전제조건을 충분히 검토하고 이에 맞는 이용을 기본으로 하고있다.(徐開 欽 등, 1997).

외국의 축산분뇨 살포기준을 정리하면 단위면적당 사육두수 규제기준과 축분내의 비료성분함량기준으로 나눌수 있다. 사육두수를 직접 적용하는 국가로서는 영국, 스웨덴, 덴마크가 있고 독일과, 네덜란드는 가축분뇨중의 비료성분(질소, 인)으로 규제하고 있다. 분뇨사용법은 토양주입법,초지관개법,토양혼합법등으로 농경지에 살포할 수 있는 양도 엄격히 제한되고 있다. 축산시설의 분뇨저장탱크 시설에 대해 4~9개월 저장용량(설치 보조 없음)을 의무화 하고 있으며 EU에서는 가축분뇨를 자연 자원으로 정의하고 저장과 사용에 대한 기준을 정해 토양 환원을 통하여 환경 보전의 목표에 도달하려고 하고 있다.

Table 3. The spraying standard of livestock manure by nations.

구 분	네덜란드	덴마크	독일	프랑스	영국
가축두수상한 (/ha)	소 3두이하	소 :2.3두 돼지 : 5.1두	소 :4.5두 돼지:10두	-	소 :6.25두 돼지:25두
분뇨사용상한 (kg/ha)	P ₂ O ₅ 초지 : 200 경지 : 125	N 소 : 248 돼지 : 184 닭 : 134	N 초지 : 210 경지 : 170	N 초지 : 350 경지 : 200	N : 250
분뇨저장기간 (월)	6	9	6	4	4
슬러리살포 방법	살포후 토양 혼합	봄에 스프레더를 이용	-	-	1회 50m ³ /ha내
슬러리살포 시기	2/1~8/31	3/1~여름	2/1~수확기	2/1~11/15	동결토양살포 금지
계 획	125(kg/ha) 이상은 분뇨 기록이 필요함	10ha이상 농가는 전 비료 수지 기록을 작성 제출	필요에 따라 살포계획서 제출	분뇨사용 계획서 작성	-

III. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용한 액비저장시설은 Fig. 9에 나타냈으며 시료는 양돈축사형태별에서 발생되어지는 축산폐수를 각각의 Slurry/Scraper형돈사, Slurry형돈사, Scraper형돈사 3가지형태의 돈사에서 각각의 축산폐수를 600ℓ를 채취하여 일반 양돈농가에서 액비저장시설로 많이 이용되고 있는 콘크리트재질에 직경 900mm × 높이 1200mm에 저장하며, 콘크리트 저장조에서 축산폐수 저장 높이는 총 90cm이며 이중바닥에서 55cm위치에서 시료를 채취 했으며, 외부 및 기계적인 교반 및 공기유입이 없는 상태에서 6개월 부숙기간에 따라 시료를 채취하여 오염물질 농도변화를 측정하였으며 축산폐수 저장시설은 80%정도를 지면 아래로 설치하여 양돈농가와 비슷한 형태를 취했으며 구조물에 윗부분은 우수침투 및 대기온도의 영향을 덜 받도록 밀폐를 하였고, 구조물 내에서 발생하는 가스의 배제 및 포집을 위하여 Vent를 설치하였다.

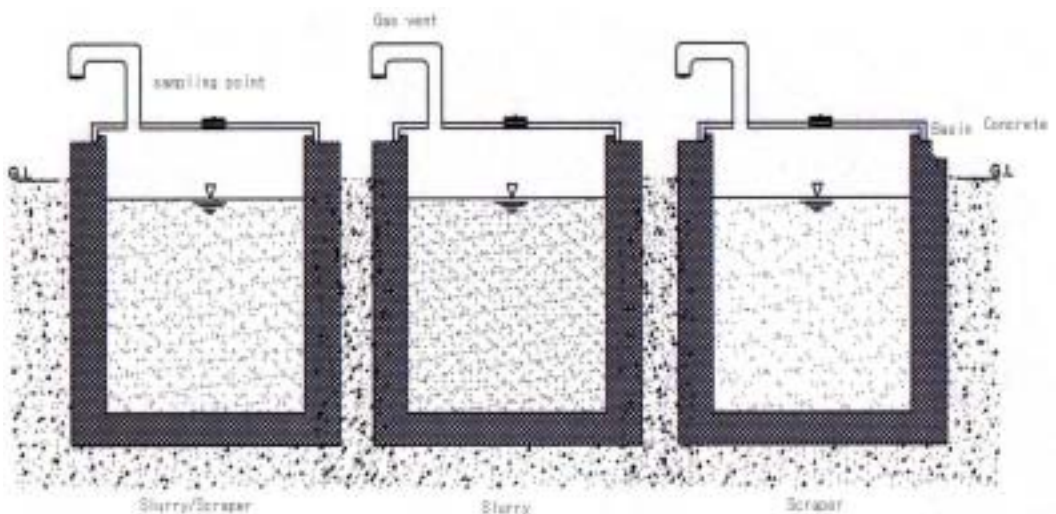


Fig. 9. Anaerobic storage liquid compost facility.

축산폐수 시료채취농장은 Scraper형 돈사는 표선지역의 K농장이며 300두수 사육하며, 198m²의 Scraper형 돈사에서 발생하는 노를 채취하였고, Slurry/Scraper형 돈사는 남원지역의 T농장 이며 850두수를 사육하며, 933m²축사중 165m²는 Scraper 형 돈사이며, 768m²은 Slurry형 돈사형태를 갖춘 농장으로 액비저장조로 유입 되기전 일시 저류조에서 채취하였으며 Slurry형 돈사는 대정지역의 D농장으로 1500두수를 사육하며 396m²의 Slurry형 돈사 내부에서 시료를 채취하였으며 모두 비육돈사(60-100kg)에서 시료를 채취하였다. 또한 본 실험에 사용된 축사 형태별 양돈폐수의 수질특성은 Table 4 와 같다.

Table 4. Characteristics of raw manure.

Items	Concentraion(mg/l)		
	Slurry/Scraper	Slurry	Scraper
Temperature(°C)	21.5	21.1	21.1
pH	6.52	6.58	6.72
BOD ₅	15,320	19,950	9,010
COD _{Mn}	7,750	8,530	4,120
COD _{Cr}	27,500	26,500	12,500
NH ₃ -N	2,969	4,768	2,863
NO ₂ -N	1.35	2.62	0.69
NO ₃ -N	2,190	2,267	2,573
T-N	8,612	9,443	5,486
T-P	512	918	112

2. 분석방법

2.1 분석방법

약 3개월동안은 1주간격으로 이후 3개월 동안은 2주 간격으로 저장기간에 따라 수온, 기온, pH, BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-N, T-P, 등 11개 항목을 분석 하였다. 여기서 BOD 는 20℃에서 5일간의 BOD를 측정하였고 COD는 K₂Cr₂O₇에 의한 COD_{Cr} 법과 산성100에서KMnO₄에 의한 COD_{Mn}법을 사용하여 측정 하였다. T-N과 T-P, NH₃-N, NO₂-N , NO₃-N는 회석후 GF/C 여지로 여과후 시료를 분석하였으며 10가지 항목에 대한 분석은 수질오염공정시험법(1997)에 준하여 실시 하였다.

Table 5. Analytical Items and methods.

Items	unit	Analytical Methods
수온	℃	유리제 수은막대 온도계에 의한 직접측정
기온	℃	유리제 수은막대 온도계에 의한 직접측정
pH	-	pH-Meter(DMS-620)에 의한 측정
BOD	mg/l	BOD ₅ (20℃ 5일간 저장시 DO의 차)
COD _{Mn}	mg/l	산성100℃에서 KMnO ₄ 에 의한 COD
COD _{Cr}	mg/l	K ₂ Cr ₂ O ₇ 에 의한 COD
NH ₃ -N	mg/l	흡광광도법(인도페놀법, 630 nm.HP 8452A)
NO ₂ -N	mg/l	흡광광도법(디아아조화법, 540nm.HP 8452A)
NO ₃ -N	mg/l	흡광광도법(자외선흡광광도법, 215nm,HP 8452A)
T-N	mg/l	흡광광도법(자외선흡광광도법,220nm. HP 8452A)
T-P	mg/l	흡광광도법(아스코르빈산환원법,880nm. HP 8452A)

IV. 결과 및 고찰

1. 수온 및 pH의 경시적 변화

수온은 분석초기에 모든 형태에서 100일까지는 조금씩 증가하는 경향을 보이며 100일 이후부터는 조금씩 감소하는 경향을 보이고 있고 이는 Fig. 11 에서 보는 바와 같이 저장초기에는 대기온도변화폭이 심하게 나타나고 있으며 대기온도 변화가 직접적인 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. pH는 혐기성 액비상태의 적정pH는 6.5~7.5이며 6.0에 가까워질수록 혐기성 분해가 둔화된다. 모든 형태의 돈사에서 실험초기에서부터 적정 상태를 유지하면서 조금씩 증가하는 경향을 보였으며 Scraper 형 돈사 시료는 140일에는 8.19로 다소 큰 증가를 보였다.

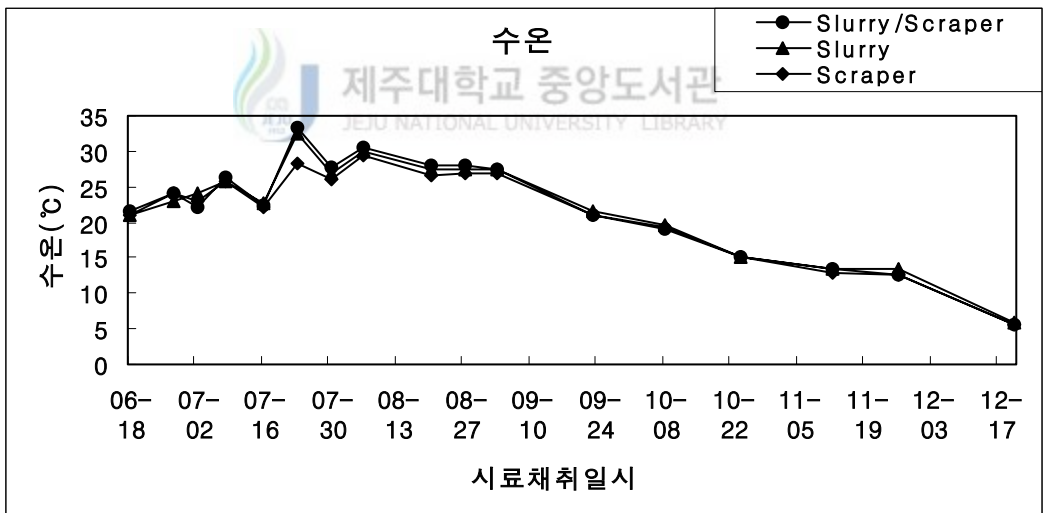


Fig. 10. Changes of water temperature during storage period.

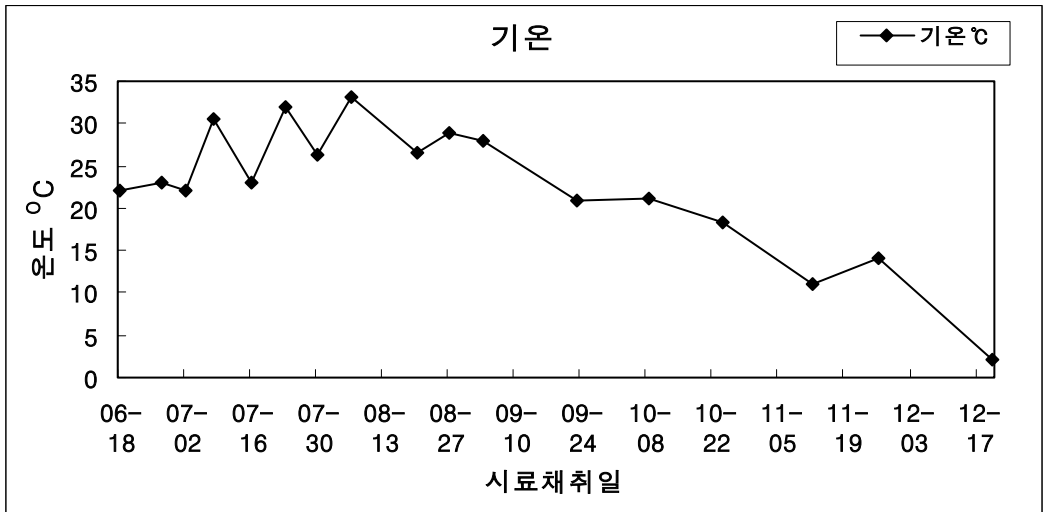


Fig. 11. Changes of air temperature during storage period.

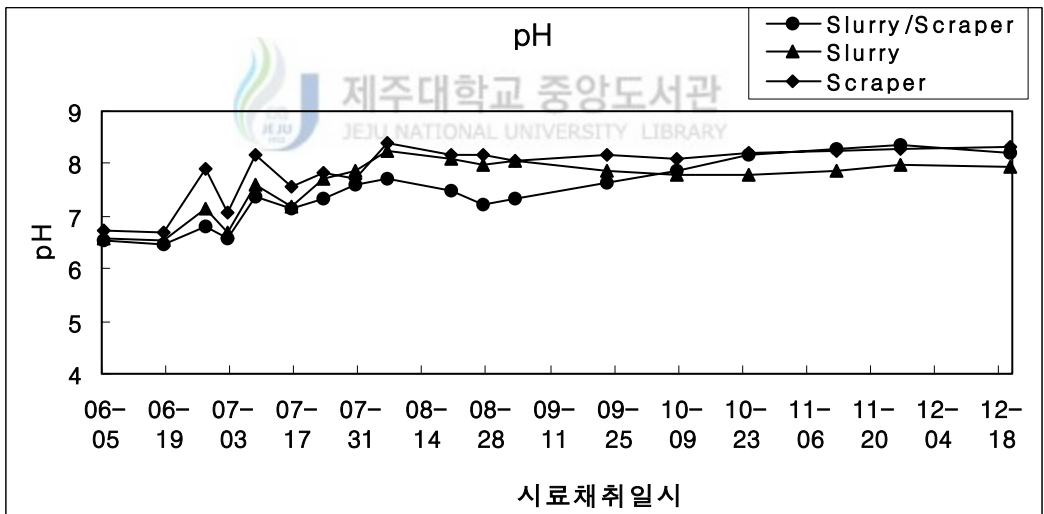


Fig. 12. Changes of pH during storage period.

2. 유기물의 경시적 변화

오염성분인 BOD₅는 실험초기에 형태별농도는 Slurry/Scrapper형 돈사는 15,320mg/l, Slurry형 돈사는 19,950mg/l, Scrapper형 돈사는 9,010mg/l 이었으나, 저장초기에는 유기물 분해과정이 불안정하여 변화폭이 다양하게 나타나고 있다. 축산폐수를 저장후 100일이 지나면서 모든 돈사형태에서 변화폭이 큰 차이를 나타나지 않았으며, 140일이 지난 후부터는 유기물 감소폭이 거의 나타나지 않고 있다. 6개월후 유기물 제거 부분에서는 Scrapper형 돈사가 61.3% 수준으로 유기물이 감소하였으며, Slurry형 돈사는 54.8% Slurry/Scrapper형 돈사는 45.3%, 수준으로 유기물 감소를 나타나고 있다. 그리고 COD는 COD_{Mn}법과COD_{Cr}법을 사용하여 측정하였는데 유기물 산화력 강한 K₂Cr₂O₇에 의한 COD 분석농도와 KMnO₄에 의한 COD 분석 농도 차가 크게 나타나고 있다. COD_{Cr}법에서는 Slurry/Scrapper형 돈사는 27,500mg/l, Slurry는 26,500mg/l, Scrapper형 돈사는 12,500mg/l이었으나 저장초기(90일까지)에는 불안정한 유기물 변화에 따라 COD_{Cr} 농도도 다양하게 나타났으나 100일이 지나면서 차츰 안정한 유기물 분해과정이 거치면서 다소 농도 폭이 감소하는 경향을 보이고 있으며 140일 이후부터는 농도 감소 폭이 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 Scrapper형 돈사 제외한 Slurry/Scrapper, Slurry형 돈사에서는 유기물 분해가 정도에서는 초기 농도와 크게 변하지 않는 상태를 보여주고 있다.

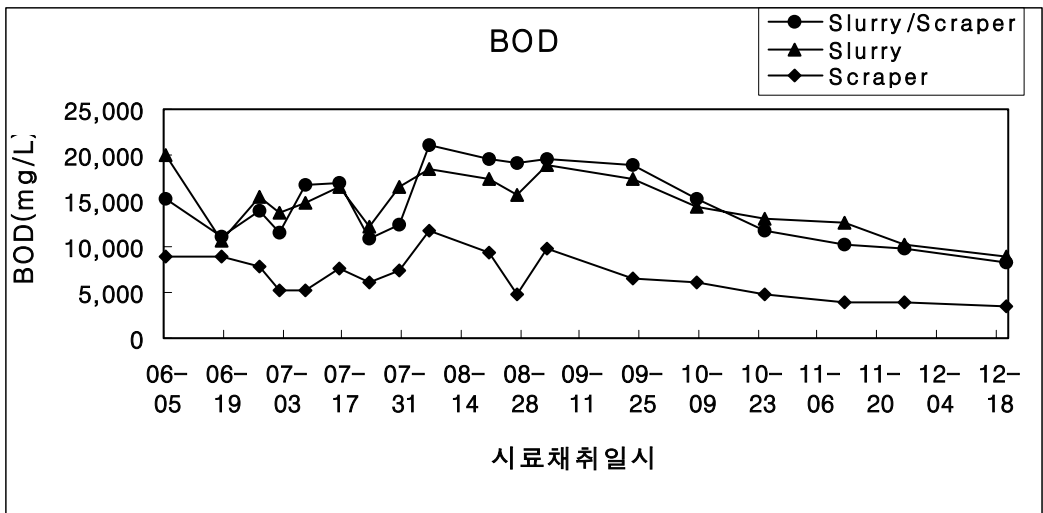


Fig. 13. Changes of BOD during storage period.

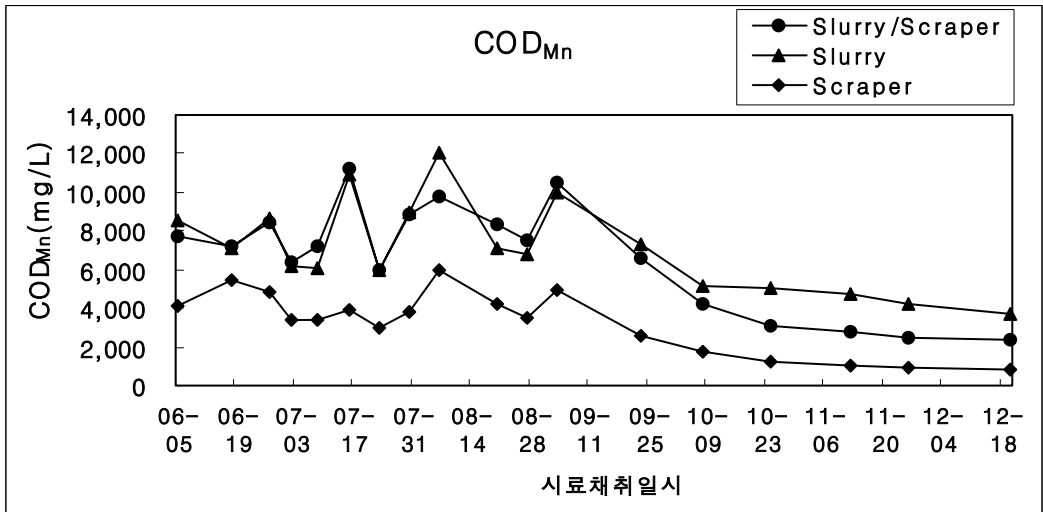


Fig. 14. Changes of COD_{Mn} during storage period.

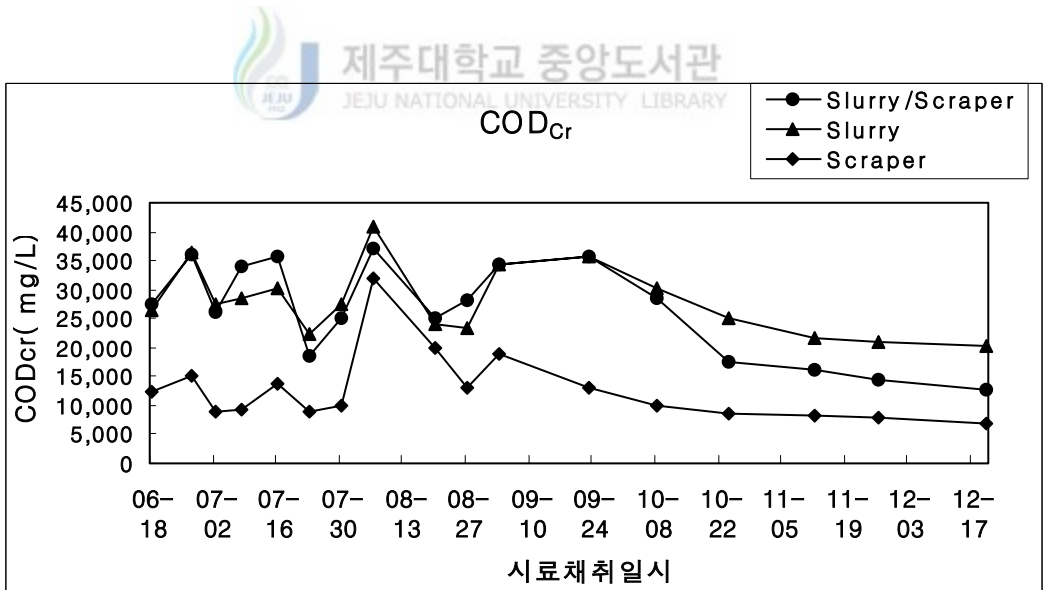


Fig. 15. Changes of COD_{Cr} during storage period.

3. 질소와 인의 경시적 변화

축산폐수에서 대표적으로 액체 비료적 가치가있는 T-N과 T-P중 T-N은 분석초기에 형태별농도는 Slurry/Scrapper형 돈사는 8,612mg/l, Slurry형 돈사는 9,443mg/l, Scrapper형 돈사는 5,486mg/l이었으며 형태별 감소율을 보면 Slurry/Scrapper형 돈사는 58.3% 감소한 3,588mg/l, Slurry형 돈사는 59.0% 감소한 3,866mg/l, Scrapper형 돈사는 34.7% 감소한 3,578mg/l로 나타나고 있으며, 이는 혐기조건에서 액비화시 질소 보존율로 볼수도 있다. 그러나 NH₃-N은 저장100일까지는 소폭으로 감소율 보이다가 120일 이후부터는 점차 증가하는 경향을 보이고 있으나 초기농도와 비슷한 농도를 나타내고 있다. NO₂-N농도는 모든 형태에서 거의 비슷한 형태에서 농도변화가 거의 없는 상태를 보이고 있으나, Slurry형 돈사는 140일 이후부터는 증가하는 형태를 보여주고 있다. NO₃-N농도는 일시적인 증가기간이 있었으나 모든 형태에서 농도가 감소하는 형태를 보이고 있다. T-P는 분석초기에 형태별농도는 Slurry/Scrapper형 돈사는 512mg/l, Slurry형 돈사는 918mg/l, Scrapper형 돈사는 112mg/l이었으나 저장100일이 지나면서 농도가 급격히 변하고 있으며 농도에 대한 안정성은 보이지 않고 있다. Slurry/Scrapper형 돈사와 Slurry형 돈사는 각각 48.4%, 63.7%, 저장된 농도 변화를 보여주고 있으나 Scrapper형 돈사는 초기농도와 크게 변하지 않았다.

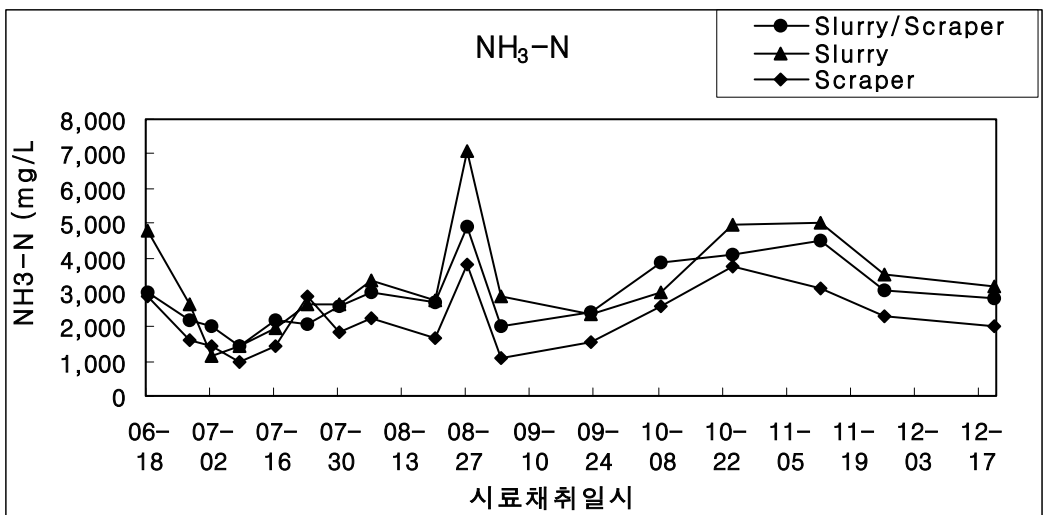


Fig. 16. Changes of NH₃-N during storage period.

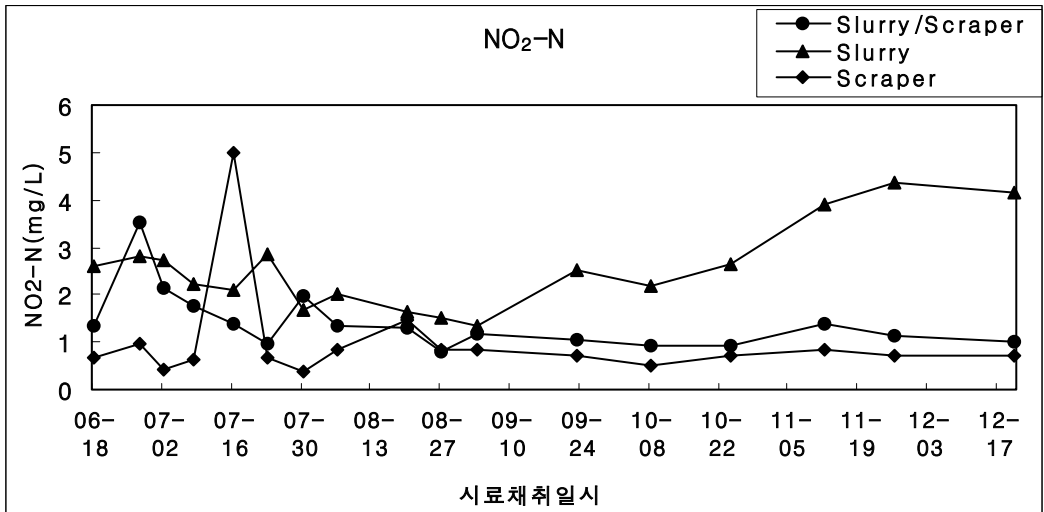


Fig. 17. Changes of NO₂-N during storage period.

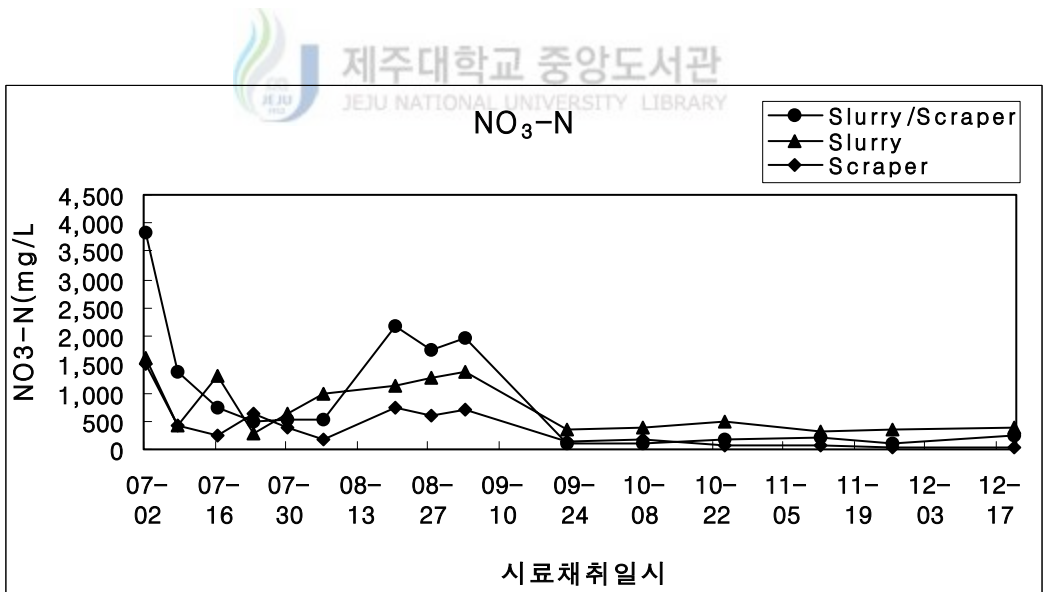


Fig. 18. Changes of NO₃-N during storage period.

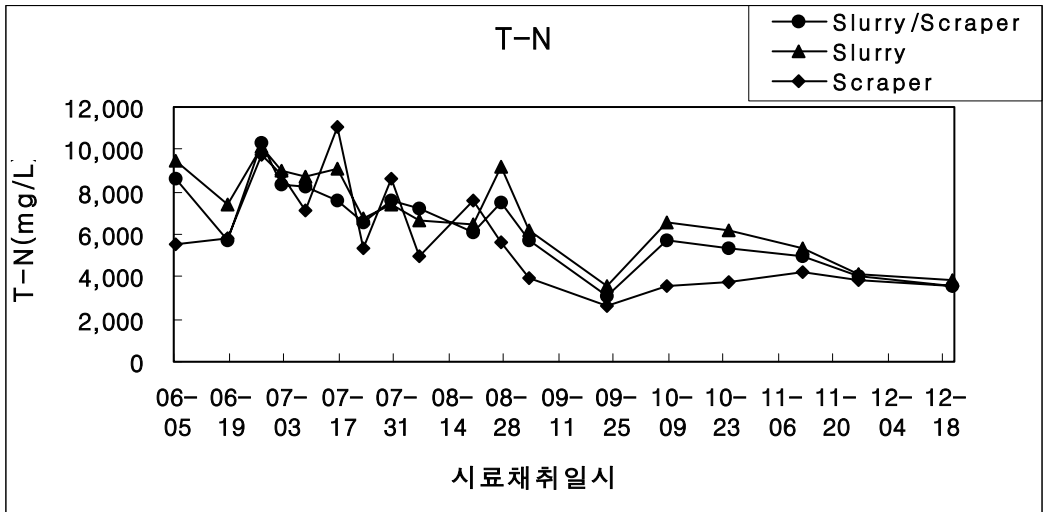


Fig. 19. Changes of T-N during storage period.

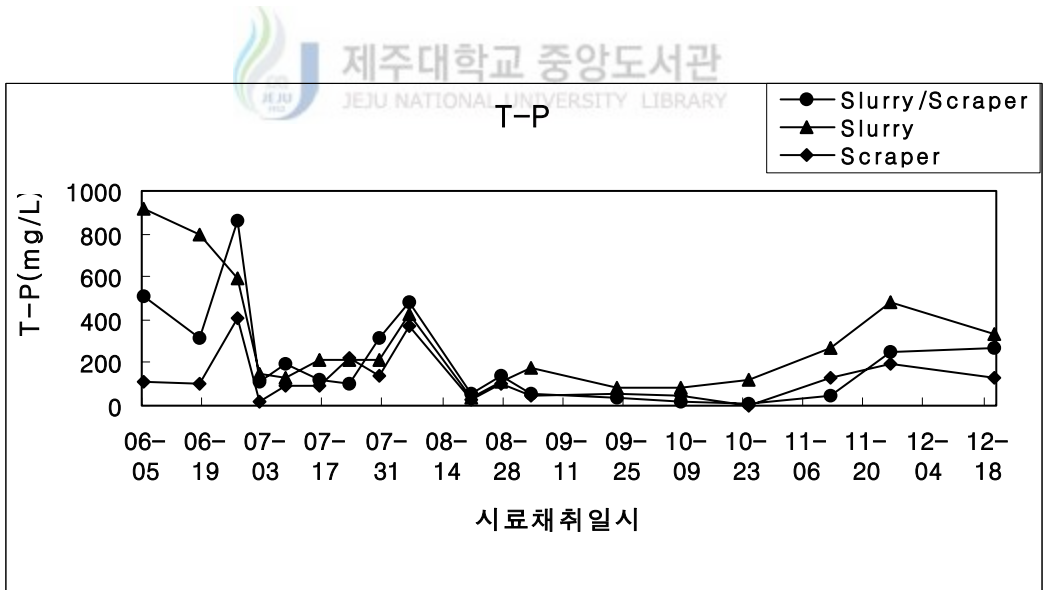


Fig. 20. Changes of T-P during storage period.

4. 액비의 적정살포방안

4.1 우리나라의 액비 살포기준 근거

우리나라의 경우 초지나 농경지에 화학비료와 가축분뇨가 동시에 사용되고 있으나 축산분뇨내에 비료성분이 다량함유 되어있고 퇴비화 및 액비화 비율이 92%가 자원화 되고 있는 상황이며, 축산분뇨 살포기준에 의해 정리하면 단위면적당 사육두수 규제 기준과 축분내의 비료성분함량기준으로 나눌 수 있다. 우리나라는 발생량 제어측면에서는 사육두수 규제가 효과적일 것으로 생각된다. 그리고 우리나라가 ha당 사육두수를 액비살포에 필요한 초지 및 농경지면적에 근거하여 산출해보면 소는 11.7두/ha, 돼지는 18.2두/ha, 젓소가 3.8두/ha로 나타난다. 외국과 비교하면 영국과 규제기준이 비슷한 수준이다. 산출근거를 제시하면 가축별배출원단위는 환경부고시 개정안 적용하여 소와말은 14.6 ℓ/두·일, 젓소는 45.6 ℓ/두·일, 돼지는 8.6 ℓ/두·일이며 작물별 비료 필요량은 농업과학기술원의 자료 적용, 초지는 21kg/10a, 논 11kg/10a, 밭 17kg/10a이며, 비료성분의 유효율에 관한 국내자료가 없으므로 각 연구기관에서 인용하고 있는 “일본중앙축산회(88)”자료 활용하여 소, 말, 젓소, 돼지 55%(질소기준)적용하였으며, 액비중의 비료성분함유율은 가축분뇨(액비)의 사용지도지침('94.8 농촌진흥청)”의 자료 적용하여 소, 말, 젓소는 0.37%, 돼지는 0.41%(질소기준)을 적용하여 다음과 같은 산출방법으로 산출하였다.

$$\text{면적 (m}^2\text{/두)} = \frac{\text{분·뇨배설량(kg/두)} : \text{배출원단위(kg/두·일)} \times 365\text{일}}{\text{액비사용량(kg/m}^2\text{)} : \frac{\text{작물별 비료 필요량(kg/m}^2\text{)}}{\text{비료성분 유효율(\%)} \times \text{비료성분 함유율(\%)}}$$

4.2 액비 시비기준의 개선방안

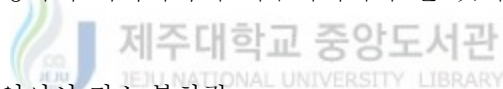
현재 액비 시비기준은 자원화 방법 및 토양의 종류 및 작물종류가 각각 상이한 것에 반해 획일적인 살포기준을 설정하고 있다. 작물별, 계절별에 따른 액비 사용량과 경지면적의 기준을 설정하여 적정하게 액비가 살포가 이루어지도록 살포 기준을 확립할 필요가 있다.

한편 축산 액비의 토지환원은 일반적으로 대부분의 농장에서 가장 저렴한 처분방법이다. 그러나 우리나라의 가축사육이 대규모화 되고 고밀도화 됨에 따라 특정지역이 발생량이 농지 필요량보다 많이 생산되어 상당부분의 작물의 유용성보다 처분성이 강조되어 토지에 적용되고 있다. 이러한 과잉의 퇴비 처분은 질소, 인, 그리고 기타 화합물을 토양에 축적시키고 지하수로 침출되며, 농작물의 생산과 품질에도 악영향을 미칠 수 있다. 그러나 경작지에 살포된 축분은 영양물질 공급측면과 토양의 경작성을 개선하고 강우유출속도를 감소시키고 토양의 침투능을 개선시킨다. 축분이 토양에 유기물질을 더하는 한편 강우유출수를 감소시키고 침투를 증가시키는 사실을 밝혔다 (Reddy, K.R. 등, 1980). 축분의 토양적용은 지속적으로 강우유출에 의한 영양물질을 이동을 감소시키는 반면 침투를 증가시키고 일부 토양의 고정능을 증기시킬 수 있다. 따라서 적절한 사용된 축분은 비점오염원이 되지 않고 오히려 비점오염물질의 처리효과를 증대시킨다 (Gilbertson, C.B. 등, 1979). 가축분뇨를 토지에 적용하기 위해서는 수질 오염에 대한 2차오염과 식물의 영양물질 포획효율등 여러 가지 고려되어야 한다. 기후, 가축의 종류, 가축분뇨를 토지에 살포방법, 작물종류에 따라 사용시에 여러 가지 영향을 미칠수 있다. 일년 내내 따뜻한 지역에서는 유기질소, 암모니아질소는 빠르게 질산성질소로 전환될 수 있는데 20일이 걸리는 지역도 있다. 가을이나 겨울에 사용된 퇴비성 질소는 다음성장기가 오기전에 침출될 수 있다. 돼지와 가금류 축분내 유용한 질소의 50%가 3-6주내에 대사되는 반면 소의 축분은 18주가 필요하다고 보고 되어왔다 (최 등, 1998). 암모니아에 작물이 민감성도 적용시기를 결정할 때 주의해야 한다. 암모니아 농도가 높은 축산분뇨는 식물발아를 방해하고 이양후 빠르게 살포할 경우 생산량을 감소시킨다. 축산분뇨의 적정사용 시기는 가능한 식물을 심는 시기 약간 앞서 또는 인접해서 살포한다든지 늦가을이나 겨울에 수확후 축산분뇨를 살포하는 것이 보다 일반적이나 총질소의 50%이상이 분해와 침출수에 의해 손상되고 그 결과 수질오염의 위험을 증가시킨다. 축산분뇨를 지반, 눈덮인 들판, 또는 겨울에 폭우가 오기전에 살포되었을 때 지표강우유출수를 통해 유기물과 영양물질의 과도한 손실이 발생할수 있다. 겨울에 축산분뇨를 뿌린 지역은 여름과 가을에 뿌린 지역에 비해 눈 녹은 물에 비해 더 많은 질소와 인의 손실을 초래할 수 있다고 보고 되어왔

다. 축산분뇨가 얼은 땅에 살포되었을 때, 초봄의 강우 유출수에 의해 적용된 질소와 인의 평균 20%, 17% 이상 손실될 수 있다고 한다(Quisenberry, V.L. 등, 1980).

4.3 지역 특성을 고려한 살포방안

현실적으로 분뇨 발생량에 따른 액비를 전국에 분포되어 있는 초지 및 농경지에 균일하게 살포한다는 것은 비현실적이다. 그러므로 지역적 특성을 고려한 액비 발생량을 산정하여 초지 및 농경지에 수용할 수 있는 양을 도출하여 사육두수를 관리하는 것이 바람직하다. 특히 제주도인 경우 초지는 대부분 중산간에 위치하고 있고 농지는 해안선에 위치하고 있어 액비 시비가 적정하게 이루어지지 않을 경우 2차적인 오염에 노출되어 있으므로 제주도의 지역적 특성과, 농가에서 활용이 쉽도록 사용시기, 악취문제해결, 저렴한 액비살포기 개발보급 및 축산농가와 경종농가의 연계강화, 농경지에 사용시 비료자원으로서 사용할 수 있는 액비 살포 지침을 마련함과 동시에 적정사육규모를 산정하여 가축사육이 이루어져야 할 것이다.



4.4 한국과 일본에 있어서 질소 부하량

일본에서는 농경지의 질소부하량 및 질소순환과 환경문제에 관해서 지금까지 많은 보고가 있었고 실태는 명확히 조사 되었다. 일본 전국토가 수용할 수 있는 수용가능한 질소량은 114만톤으로 추정하였다. 토양중의 질소를 포함해서 약 50%의 57만톤이 작물에 흡수되고 거의 동일한 양의 질소가 토양 및 지하수에 잔류한다고 보고되었다.

Hidaka에 의하면 강우량 및 토양조건에 따라 다소 달라지지만 잉여질소가 50-100kgN/ha를 초과하는 나라에서는 지하수의 질산오염이 문제시 되고 있다(Hidaka, 2002).

국내의 경우 상기(4.1절)한 바와같이 질소부하량으로 344kgN/ha이며 이는 질소성분 함량이 0.41%로 할때이다.

V. 결 론

혐기성 액비화의 특징은 축산분뇨에 함유된 고농도 유기물을 영양원으로 하여 혐기성 미생물의 증식, 번식, 호흡과 적당한 농도와 공기가 차단 상태가 지속되면서 서서히 안정된 무기질 형태의 변화하는 형태이며 이 연구에서는 각각의 돈사형태별(Slurry/Scrapper형돈사, Slurry, Scrapper형돈사)에서 수질변화 특성을 본바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 축산폐수의 발생형태로는 가축의분뇨, 축사내의 음용수 및 사료찌꺼기 등이 들어 있으며 가축분뇨의 성상은 축사형태, 규모, 분뇨 분리작업, 청소방법 및 횟수 축종별 성장단계, 체중, 사료급여, 기상요인등 여러 가지 요인에 따라 축산폐수 배출량과 성분 차이가 있으며, 일반적으로 축산폐수는 연속적으로 배출되지 않고 축사청소시 집중적으로 발생한다(축협중앙회, 1999). 축사 형태별로 유기물을 분석한 결과 초기농도가 Slurry/Scrapper형 돈사는 15,320mg/l, Slurry형 돈사형태에서는 19,950mg/l 고농도의유기물로 오염도가 높게 분석되었는데 이는 축사형태에 따른 분뇨가 혼합된 형태로 고농도의 유기물사료 및 사료첨가물로 구성된 고형물에 기인한 것으로 판단되며 반면 Scrapper형 돈사는 유기물 농도가 9,010mg/l으로 Slurry/Scrapper형 돈사, Slurry형 돈사형태의 거의 50%수준을 보여주고 있다. 이는 Slurry/Scrapper형 돈사, Slurry형 돈사형태와는 달리 분과 고형물의 분리된 액체상태(주로 뇨와 세정수)이며 비교적 저농도 유기물을 함유하고 있다.

2. 환경 오염적인 측면에서는 유기물을 분석한 결과 유기물 분해 측면에서는 Slurry형 돈사, Slurry/Scrapper형 돈사형태에서는 각각 54.8%, 45.3%의 유기물 제거율을 보인 반면, Scrapper형 돈사에서는 61.3%의 유기물 제거를 보이고 있으며 혐기성 상태에서 무교반, 무폭기시 유기물의 안정화 측면에서 부가적이 필요하다고 판단된다.

3. 질소 농도는 분중에 0.91% 뇨에는 0.5%가 함유되어 있기 때문에 분 성분이 다량 함유한 Slurry/Scrapper형 돈사 및 Slurry형 돈사형태에서 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도가 높게 나타나고 있으며 이는 혐기적 조건에서 질소성분은 $\text{NH}_3\text{-N}$ 형태로 호기적인 조건에서는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 형태로 으로 무기화되기 때문이라고 판단된다.

4. 질소와 인의 경시적 변화는 저장초기에서 100일까지는 불안정한 농도 변화를 보이고 130일 이후에는 비교적 안정적인 질소농도와 인 농도를 나타내고 있다. 액비화시 질소농도 기준에 준하여 살포를 하더라도 질소분에 대한 시비 토양성분과 시비작물선택고려 하여 살포를 해야 하며 본 실험에서 본 바와 같이 $\text{NH}_3\text{-N}$ 가 변화폭이 다양하여 액비 살포 시기 전 폭기 및 교반을 살포함으로 질소질 부분에 다소 소실이 있겠지만 암모니아 질소로 인한 발아울저조 및 식물고사를 사전에 예방할 수 있을 것이라 생각된다.

5. Scrapper형 돈사에서 발생된 뇨를 액비화시 질소질 성분이 적게 나타나고 있어 뇨를 액비화 함에 있어 질소질에 따른 화학비료 대체효과 및 액비로서 큰 효과는 기대하기는 어렵다고 판단된다. 그리고 Scrapper형 돈사는 분.뇨 분리형태이기 때문에 뇨부분을 액비화시 분처리에 대한 대책을 강구해야 할 것이다.

6. 지금 우리나라에서는 가축에서 발생하는 분뇨를 액비화 처리시 액비살포면적을 오수·분뇨 및 축산폐수에 관한 법률에서 규정하여 살포하고 있으며 돼지 1두당 액비살포면적은 초지는 340m^2 이상, 논과 밭은 각각 640m^2 , 420m^2 이상으로 규정하고 있다. 본 연구에서 6개월 저장후 질소성분을 기준으로 하여 적용축사 형태별 결과는 질소함량이 Slurry/Scrapper형 돈사, Slurry형 돈사, 및 Scrapper형 돈사가 각각 0.36%, 0.39%, 0.36% 이며 이를 토대로 질소부하량을 환산할 경우 310kgN/ha , 335kgN/ha , 310kgN/ha 에 상당한다. 따라서 국내 환경부의 기준에비교하면 질소농도가 다소 낮은 관계로 무방하나 일본의 경우와 비교하면 약3배이상의 부하량이 높으며 이는 지하수 오염과 직결될 것으로 판단된다.

VI. 참고문헌

- 구인수, 2001, 嫌氣性燒火法の 窒酸除去機能 に関する 基礎的研究, 東北大學大學院 博士學位論文, pp6~13
- 김창원, 1997, 축산폐수관리 정책 및 신기술, 축산기술연구소 제 2회 산학연합동 기술 개발 워크샵(국내 축산폐수처리장 운영관리 현황).
- 농림부, 2002, 농정주요 통계자료.
- 농림부, 1999, 축산분뇨자원화시설 표준설계도서, pp25~55.
- 농업진흥청, 1999, 가축분뇨퇴비 액비제조와 이용, pp166~195.
- 농업진흥청, 2003, 2003년 축산환경 워크숍, 효율적인 양돈분뇨처리방안, pp20~50.
- 농촌진흥청 농업과학기술원 1994, '94. 9. 5. 액비사용지침.
- 농협중앙회, 2000, 축산분뇨처리, (<http://livestock.nonghyup.com>).
- 박백균, 2000, 가축분뇨 자원화와 환경, 한국토양비료학회지, 1, 32~40.
- 송희경, 2000, 고온·호기 소화법을 이용한 돈사 폐기물의 처리특성, 濟州大學校 碩士學位 論文, pp8~10.
- 연찬흠, 2000, 액비탱크를 이용한 축산분뇨의 자원화방안, 대한토목학회지, 48, 32~38.
- 이상락, 1995, 가축분뇨의 재활용, 한국영양사료학회지, 1, 227~226.
- 최지용, 신운성, 1999, 국토환경용량을 고려한 축산오염 관리방안 연구, 한국 환경정책 · 평가연구원, pp20~128.
- 최지용, 신은성 1998, 농업지역 비점오염원 관리방안 연구 한국 환경정책 · 평가연구원, pp119~120.
- 축협중앙회, 1996, 돼지사육시설과 환경관리, pp147~154.
- 축협중앙회, 1998 가축분뇨처리방법 및 처리기술, p423.
- 한국육류수출입협회, 1999, 고품질 돈육생산을 위한 생산기술, pp.184~186.
- 환경부, 1999, 환경부고시 1999-110호('99. 7).

- 홍지형, 박금주, 2000, 우리 나라 가축분뇨처리 현황, 한국농업기계학회지, 1,118-123.
- 홍지형, 박금주, 전병태, 홍성철, 1999, 축산폐기물 자원화, 동화기술.
- Gilbertson, C.B., 1979, "「Animal waste utilization on cropland and pastureland :A Manual for Evaluation Agronomic and Environmental Effects」,EPA-600/2-79-059.
- Hidaka, 2002, 질산·아질산성질소 오염대책 제 44 회 일본 수환경학회 세미나 ,p30
- M. Hammad, D. Badarneh, and K. Tahboub, 1999, Evaluating variable organicwaste to produce methane , Energy Conversion & Management , 40, p1463~1475.
- Sterling M.C. Jr., R.E. Lacey, C.R Engler and S.C. Ricke, 2001, Effect of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy manure, Bioresource Technology, 77, p 9~18.
- Reddy, K.R., 1980, "「Phosphorus Adsorption-Desorption Characteristics ofTwo Soil Utilized for Disposal of Animal Wastes」, Journal ofEnvironmental Quality, 9(1), pp.80.90
- Quisenberry, V.L., 1980, 「Management Aspects of Applying Poultry or Dairy Manures to Grasslands in the Piedmont Region」, Livestock Wastes: A Renewable Resource, pp.170.173.
- 羽賀 清典 ,1993,“家畜ふん尿 の農耕地利用”, 「用水の廢水」, 35, 10.
- 徐 開 欽 ,1997,“ 畜舍排水の性狀と原單位” 「用水の廢水」, 39, 12.

감사의 글

본 논문의 완성되기까지 늘 따뜻한 관심과 격려, 지속적인 지도를 해주신 이용두 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 미흡한 저의 논문을 세심하게 다듬어 주신 오윤근 교수님과 감상규 교수님께 진심으로 감사드리며, 항상 관심과 조언을 아끼지 않으셨던 허철구 교수님, 이기호 교수님, 허목 교수님, 조은일 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 바쁜 와중에도 저의 논문에 조언을 아끼지 않았던 김창영 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 항상 사랑과 희생을 아끼지 않으신 어머니와 아내 기조씨와 든직한 아들 진우와 귀여운 딸 수연 그리고 누님과 형님, 동생에게 이 작은 결실을 드립니다.