

## 가축분뇨 슬러리 액비 부숙 조건별 특성비교

정광용 · 조남준 · 정이근  
농업과학기술원

### Comparison of Liquid Composting Efficiency using Liquid Pig Manure in Different Condition

Kwang-Yong Jung, Nam-Jun Cho, Yee-Geun Jeong (National Institute of Agricultural Science and Technology, 441-707, Suwon, Korea)

**Abstract :** This study was conducted to evaluate the liquid composting efficiency using pig manure in different condition such as simple storage type reactor, continuous aeration reactor, anaerobic reactor and anaerobic agitation reactor. Continuous aeration reactor was the most efficiency method to BOD and malodors removal than other methods. While nitrogen loss in continuous aeration reactor was 47% of initial concentration, which was the higher amount than any other digestion methods. The digestion efficiency between anaerobic reactor and anaerobic agitation reactor were similar, but E. coli and malodor removal efficiency were a little higher in the anaerobic agitation reactor. Simple storage type reactor which was conventional digestion method in rural area gave lower efficiency than aerobic and anaerobic digestion methods in view of BOD, E. coli and malodor removal. The liquid composting efficiency which were evaluated by various indicators like pH, BOD, E. coli, malodor and nitrogen loss was high in the order of anaerobic agitation reactor>continuous aeration reactor>anaerobic reactor>simple storage type reactor.

**Key words :** Animal wastes, Slurry composting, Aerobic reactor, anaerobic reactor

### 서 언

국내 가축분뇨 낸간 발생량은 1996년말 기준 약 45,397 천톤에 이르고 있다<sup>1)</sup>. 가축분뇨는 화학비료가 일반화되기 이전에는 매우 유용한 작물 영양원으로 활용이 되었다.

그러나 육류소비가 증가됨에 따라 가축 사육형태는 자급사료에 의존하는 부업형태에서 전업 또는 기업형태로 변천하게 되어 최근에는 대부분의 가축사료를 외국의 도입사료에 의존하고 있다. 그 결과 사료용 곡물 도입량이 1997년도에는 1400만톤에 이르고 있는 실정이다<sup>2)</sup>. 대부분의 전업형 축산농가들은 농경지가 없기 때문에 발생되는 가축분뇨를 처리하기 위하여 일반 폐기물 처리개념의 분뇨 처리방법을 도입할 수밖에 없는 상황이다<sup>3)</sup>.

가축분뇨 처리방법은 축종별로 상이하나 현재 퇴비화 방법이 가장 실용적인 처리 수단으로 활용이 되고 있다. 그러나 퇴비화는 고형분을 대상으로 도입된 분뇨처리기술이기 때문에 액상으로 발생되는 가축분뇨는 별도의 정화처리

가 필요하다. 가축분뇨는 유기물과 영양염류 함량이 높아 일반적인 폐수처리기술을 적용하여 정화하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 유럽이나 미국 지역에서는 가축분뇨를 슬러리 상태로 농경지에 직접 살포하는 방법을 현재까지도 사용하고 있다<sup>4)</sup>. 가축분뇨를 슬러리 액비형태로 농경지에 이용하는 것은 축산농가 입장에서 가장 실용적인 분뇨 처리수단으로 평가되고 있다. 그러나 우리 나라는 일부 낙농가를 제외하고는 액상 가축분뇨를 액비로 사용하는 것이 환경 및 위생상의 문제로 현재까지 실용화되지 못하고 있다<sup>5)</sup>. 최근에는 일부 축산농가에서 액상 가축분뇨를 농경지에 직접 살포하기 위한 시도를 하고 있으며, 일부 연구기관에서도 이를 지원하기 위한 현장연구를 수행하고 있다<sup>6)</sup>. 그러나 액상 가축분뇨는 충분히 부숙이 되지 않을 경우 위생적인 문제로 살포지역 인근 주민과의 마찰이 예상된다. 또한 현재까지 액비 제조기술에 대해서는 호기성 또는 혼기성 부숙방법간의 장단점에 관한 과학적인 판단기준이 없어 농가입장에서 방법의 선택에 어려움을 겪고

있다. 따라서 본 연구는 돈분뇨를 대상으로 몇 가지 부숙조건을 적용하여 부숙과정중의 상태변화를 분석하는 한편 종합적인 액비화 효율을 비교 평가하기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

시험에 사용한 재료는 양돈농가에서 돈분을 수거하여 이용하였다. 수거된 돈분은 물과 1:3으로 희석한 후 10 mesh 체로 걸러 이물질을 제거한후 시험용 재료로 이용하였다. 액비 제조를 위한 반응조는 그림 1과 같이 저류조, 협기성 교반조, 무교반 협기조, 및 호기성 폭기조의 4 가지 형태 반응조를 사용하였다. 반응조는 20 l 용량이며, 재료 투입 전에 반응조내 미생물의 안정화를 위하여 부숙이 완료된 돈분뇨 10 l를 반응조에 채우고 5 일간 정지 시켰다. 조제한 액상돈분은 반응조에 5 l씩 첨가한후 부숙시험을 수행하였다. 시험기간중의 반응조의 온도는 실온조건(25 - 30 °C)을 유지 시켰다. 저류조 형태의 반응조는 교반이나 폭기처리를 하지 않았고, 협기상태의 부숙조는 내부 교반(90 - 100 rpm/min)을 하는 조건과 교반을 하지 않는 조건으로서 완전 밀폐식 반응조로 구성되며, 호기성 폭기조는 분당 3-4 l로 연속폭기조건을 설정하였다. 각 반응조에서의 부숙 효율 평가는 환경오염 정도, 위생 문제 및 비효성분의 보전등을 고려하여 BOD, 대장균 밀도, 악취 및 pH, 질소 함량등을 평가지표로 이용하였으며 이들 성분들은 수질공정시험법<sup>7)</sup>과 Standard method<sup>8)</sup>에 준하여 분석하였다.

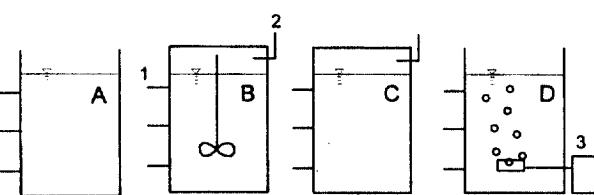


Fig. 1. Schematic diagram of experimental reactor for digestion of liquid pig manure. (A) Simple storage type reactor, (B) Anaerobic agitation reactor, (C) Anaerobic reactor, (D) Continuous aeration reactor. (1) Sample collector, (2) Gas meter, (3) Air compressor.

## 결과 및 고찰

### 위생문제 유발물질 제거효율

가축분뇨를 슬러리 액비상태로 농경지에 살포하는데 따르는 문제점으로는 병원균의 전파, 악취유발 및 수질오염을 일으키는 BOD, T-N, T-P 의 자연계 유출등이다<sup>9)</sup>. 가축분뇨중의 병원균에 의한 질병 전파 문제는 대장균을 간접평가 지표로 이용을 한다<sup>9)</sup>. 액비 부숙기간중 대장균 밀도변

화는 그림 2 와 같다. 부숙 10 일차 까지의 대장균수는 협기성 부숙조가 호기성 부숙조보다 제거효율이 더 높게 나타나고 있다. 부숙 27일차의 대장균 제거효율은 협기성 교반조>무교반 협기조>호기성 폭기조>저류조 순이었다. 따라서 대장균 밀도를 기준으로 평가할 때 호기성 폭기조 보다는 협기성 반응조가 더 효율적으로 평가되었다.

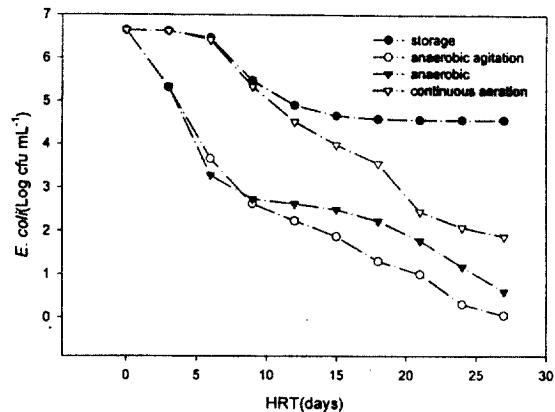


Fig. 2. Changes of *E. coli* in liquid pig manure during digestion.

가축분뇨중에서 발생되는 악취는 NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, Mercaptan류 및 휘발성 유기산류등이 복합되어 있다<sup>10)</sup>. 악취는 유기물이 분해되는 과정에서 생성되는 중간 분해산물이며, 이와 같은 악취물질은 주로 협기성 조건에서 더 많이 생성되는 특성이 있다<sup>11),12)</sup>. 본 시험에서는 가축분뇨중의 대표적인 악취물질인 H<sub>2</sub>S와 휘발성 지방산을 대상으로 측정하였다. H<sub>2</sub>S는 산소가 부족한 상태에서 유기물이 분해될 때 발생되는 대표적인 악취물질이며<sup>12)</sup>, 호기적인 조건에서는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>로 전환되는 물질이다. 따라서 본 시험에서는 분석이 용이하고 분석오차가 적은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>를 지표로 악취발생 정도를 간접 평가하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 호기성 폭기조건과 협기성 반응조간에는 큰 차이를 보이고 있다.

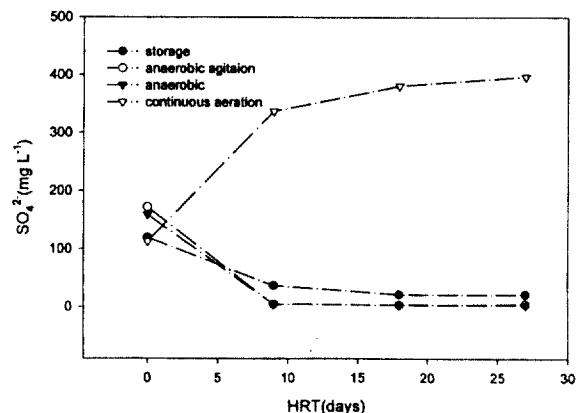


Fig. 3. Changes of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> concentration in liquid pig manure during digestion.

이는 반응조에 폭기를 함으로서 악취를 유발하는  $H_2S$ 를 제어할 수 있음을 의미하는 자료로서 Mosier *et al.*<sup>10)</sup>, Williams<sup>11)</sup>, Huh<sup>12)</sup> 등의 이론과 일치된다.

휘발성 지방산은  $H_2S$ 와 함께 유기물이 혼기성 조건에서 분해될 때 생성되는 대표적인 중간 분해산물이며 악취물질로 알려져 있다. 따라서 휘발성 지방산은 부숙이 진행됨에 따라 최종 분해산물인  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ 로 전환되기 때문에 부숙후기에는 거의 존재하지 않는다<sup>13)</sup>. 그러나 본 시험조건에서는 그림 4 와 같이 부숙 후기 까지도 지방산이 높은 경향인데 이는 본 시험조건이 다른 연구자들의 시험조건과 상이한데 따른 결과로 생각된다. 호기성 폭기조에서 휘발성 지방산은 혼기성 조건이나 저류조 형태보다 상대적으로 낮게 검출이 되고 있다. 무교반 혼기성조와 저류조는 27일 차까지 유기산 함량이 계속하여 증가되는데 반하여 혼기성 교반조와 호기성조는 부숙 20일차 이후부터 감소하는 경향을 보이고 있다.

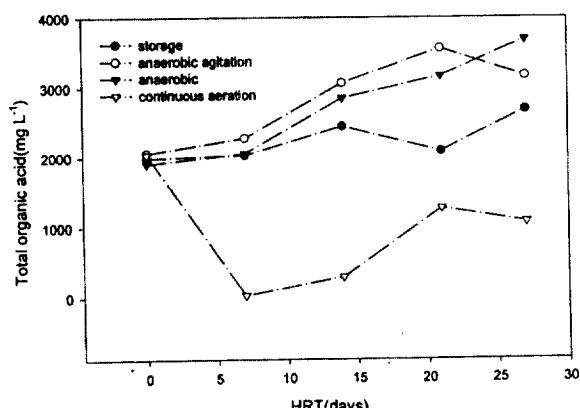


Fig. 4. Changes of total organic acid concentration in liquid pig manure during digestion.

### 환경오염원 제거효율

BOD는 다른 보고자료<sup>14),15),16)</sup>를 평가하여 예측 하였던 것처럼 그림 5에서 보는 바와 같이 호기성 폭기조가 혼기성 반응조보다 초기부터 제거효율이 더 높았다. 혼기성 조건에서는 부숙기간중 교반조와 무교반조에서 차이를 보이고 있다. 이는 부숙기간중의 미생물 활성과 관련이 있는 것으로서 교반조에서는 초기에 유기물 분해속도가 빨라 미생물이 이용하기 용이한 당류 및 저급지방산등의 생성이 많은데 기인한 결과로 판단된다. BOD 제거효율만을 평가할 때 농가에서 저장액비조로 이용하는 저류조 형태와 혼기성 부숙조와는 부숙효율면에서 차이가 없었다. BOD 제거효율은 이론과 같이 호기성 폭기 조건이 혼기성 조건보다 더 효과적인 방법이었다.

질소는 자연계에서 기체형 순환을 하는 성분이며, 인산은 침전형 순환을 하는 성분으로 알려져 있다<sup>17)</sup>. 이와 같은 특성 때문에 액상돈분 부숙전후 질소함량은 표 1과 같이 처

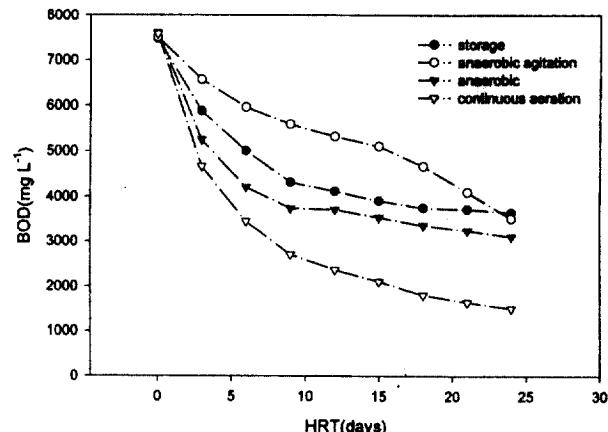


Fig. 5. BOD Changes of liquid pig manure during digestion

Table 1. Nutrient concentration before and after digestion of liquid pig manure

Reactor type	T-N (%)		$P_2O_5$ (mg L⁻¹)		$K_2O$ (mg L⁻¹)	
	Before	After	Before	After	Before	After
Simple storage	0.17	0.15	370	358	183	180
Anaerobic agitation	0.17	0.14	363	356	185	172
Anaerobic	0.17	0.12	361	353	181	170
Continuous aeration	0.17	0.09	362	342	179	166

리간에 큰 편차를 보이고 있다. 질소 함량은 모든 처리구에서 시험후 감소되는 경향이었으며, 특히 호기성 폭기조의 경우 초기 질소성분의 47%가 손실 되었다. 유기물중의 질소 성분은 유기물 분해과정중 먼저  $NH_3$ 로 전환이 되며, 호기적인 조건에서는  $NO_3^-N$ 으로 혼기성 조건에서는  $NH_4^-N$ 로 무기화 된다. 질소는 토양중이나 퇴비화 과정에서 pH 가 높으면  $NH_3$  가스 형태로 전환되기 때문에 대기 중으로 휘산이 된다.

본 시험에서도 부숙기간중 pH 변화는 그림 6과 같이 처리간에 또는 시기별로 차이가 크게 나타나고 있다. 호기성 폭기조의 pH는  $NH_3$  가스가 손실되기 쉬운 pH 9 정도의

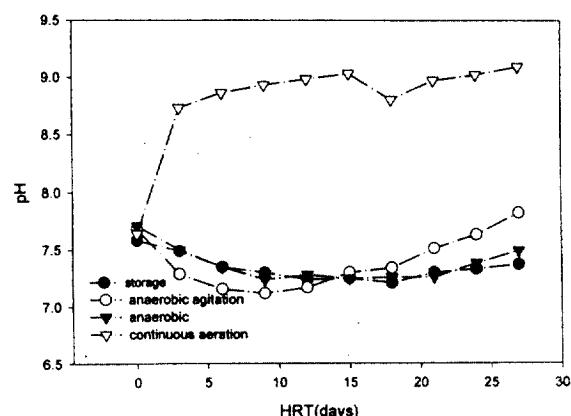


Fig. 6. pH Changes of liquid pig manure during digestion

높은 값을 유지하고 있다. 호기성 조건에서 pH가 증가되는 원인은 액중의  $\text{CO}_2$  가스에 기인되며, 이는 폭기에 의해서  $\text{CO}_2$  가스가 액중에 용해되지 못하고 제거되는점 그리고 혐기성 반응조에 비하여 상대적으로 유기산 생성량이 낮은데 영향을 받은 것으로 판단된다. 무교반 혐기성조와 저류조 형태의 반응조에서 pH는 시험기간중 큰 변화가 없었다. 그러나 혐기성 교반조는 초기에는 무교반 혐기성조 보다 더 낮았고 후기에는 더 높은 값을 나타내고 있는데 이는 교반에 따른 유기물 분해반응 속도차이에 기인된 결과로 생각된다. 즉 초기에는 교반에 의하여 유기물 분해속도가 빨라 유기산 생성이 촉진되어 pH가 낮아지며, 후기에는 유기물 중의 질소가  $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로 무기화되기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 인산과 칼리는 침전형 순환을 하는 특성 때문에 부숙전후에 성분함량에 차이가 없으며, 처리간에도 일정한 경향이 없었다. 환경오염원으로서 질소와 인을 평가할 때 가축분뇨중의 질소를 제거하는 목적이면 혐기성 폭기방식이 유익할 것으로 판단된다. 그러나 액비의 부숙목적이 토양 살포를 전제로 하는 경우는 가급적 질소 손실은 적게 하는 방법이 더 효과적이라고 생각되기 때문에 액비중의 질소는 액비 제조 목적에 따라 평가척도가 달라질 것으로 생각된다.

### 액비 부숙방법별 효율비교

가축분뇨는 환경측면에서 평가할 때 고농도의 유기물, 영양염류, 악취 및 병원성 미생물 전파등 많은 문제점을 내포하고 있어 일반 폐기물에 비해 상대적으로 다루기 어려운 폐기물로 알려져 있다. 가축분뇨를 액상으로 농경지에 직접 살포하는 기술은 축산농가는 분뇨처리비용을 절감할 수 있고 경종농가는 화학비료 사용을 절감할 수 있는 유익한 분뇨관리 기술이다<sup>[5,6]</sup>. 그러나 액상 가축분뇨는 부숙을 시키지 않을 경우 환경문제를 일으킬 소지가 있기 때문에 사용 전에 적절한 부숙이 반드시 필요하다. 그러나 현재까지 부숙방법간의 효율을 평가할 수 있는 지표가 없는 실정이다. 본 연구에서는 가축분뇨에 의해 나타날 수 있는 위생문제, 환경오염 경감정도 및 비료가치 등을 표 1, 그림 2 ~ 6 으로부터 객관화하여 각 요인별 평점을 표 2 와 같이 부여 한 후 방법간의 효율을 비교 분석하였다.

평점대상으로는 질소 손실에 영향을 주는 pH, 환경위생과 깊은 관련이 있는 BOD, 악취 및 대장균, 비료가치 평가 기준으로서 질소 손실정도를 1 - 5점으로 각각 점수를 부여하였다. 농가에서 저장액비조로 활용하는 저류조 형태는 pH 안정과 질소손실 억제에 대한 효과는 인정되나 환경위생적인 측면에서는 문제가 많은 것으로 평가되었다.

무교반 혐기성 반응조는 BOD와 악취 제거효율은 낮은 반면에 pH 및 대장균 사멸율은 상대적으로 우수하였다. 혐기성 교반조는 대장균, 악취 및 질소손실면에서 무교반 혐

Table 2. Criteria for liquid composting efficiency of liquid pig manure  
Items Marks for criteria

Items	Marks for criteria				
	5	4	3	2	1
pH	7.1~7.5 7.0~7.6	7.6~8.0 6.5~5.9	8.1~8.5 6.0~5.4	8.6~9.0 5.5~5.0	9.0< 5.0>
BOD destruction(%)	100~99	90~81	80~71	70~61	61>
E. coli remove(%)	100~99.9	99.9~99.8	99.8~99.7	99.7~99.6	99.6>
Malodor <sup>a</sup>	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5
Nitrogen loss(%)	0~10	11~20	21~30	31~40	41<

a. Criteria

5:very good, 4 : good, 3 : normal, 2 : bad, 1 : very bad

b. Malodor

0:inoffensive odor, 1 : very faintly offensive odor

2:faintly offensive odor, 3 : Definitely offensive odor

4:strongly offensive odor, 5. : very strongly offensive odor

기성 반응조보다 더 효율적인 것으로 평가되었다. 혐기성 폭기조는 액비 부숙효율면에서 혐기성 반응조와 정 반대되는 결과를 나타내고 있다. 이는 호기성과 혐기성 조건에서 유기물 분해에 관여하는 미생물상과 화학적인 반응기작 차이에 기인된 결과로 판단된다. 가축분뇨를 이용한 액비 제조에는 본 실험조건에서 평가한 지표 이외에도 많은 요인이 고려될 수 있을 것이다. 그러나 현실적으로 평가 가능한 몇 가지 지표에 근거하여 효율을 분석한 결과는 표 3에서 보는 바와 같이 혐기성 교반조)호기성 폭기조)무교반 혐기성조)저류조 순으로 효율이 높았다.

그러나 호기성 또는 혐기성 부숙조건 모두 표 3에서 보는바와 같이 장단점을 내포하고 있기 때문에 현장에서 부숙방법 선택에는 농가의 여건을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다. 악취문제가 액비살포의 제한요인이 될 수 있는 지역은 호기적인 방법을 선택하거나 또는 혐기적인 방법을 선택하면서 발생되는 가스는 연료(메탄가스)로 사용하여 악취물질을 산화시키는 방법이 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 악취가 크게 문제시되지 않는 지역은 혐기성 부숙방법을 채택하는 것이 액비의 비효율면에서 좋을 것으

Table 3. The liquid composting efficiency of liquid pig manure digestion

Digestion type	pH	Evaluation marks				
		BOD remove	E. coli remove	Malodor remove	Nitrogen loss	Total score
Simple storage	5	1	1	1	4	12
Anaerobic agitation	4	1	5	2	4	16
Anaerobic	5	1	4	1	3	14
Continuous aerobic	1	1	4	5	1	15

로 판단된다. 그러나 현재 농가에서 적용하고 있는 저류조 형태는 환경 및 위생면을 고려할 때 호기성 또는 협기성 부숙방법에 비하여 상대적으로 효율이 낮았다.

### 적 요

본 연구는 농가에서 사용하는 저류조, 연속 폭기조, 협기성 정치식, 협기성 교반식의 4 가지 형태의 부숙조를 이용하여 액상 가축분 퇴비 부숙효율을 평가하기 위하여 수행하였다. 호기성 폭기조는 BOD 및 악취 제거율에서 협기성 부숙방법보다 우수하였다.

반면에 질소는 초기농도의 47 % 가 손실되어 협기성 부숙방법보다 심한 편이었다. 협기성 부숙방법중 교반식과 정치식간에는 큰 차이는 인정되지 않았다. 그러나 협기성 교반식이 정치식보다 대장균 제거율, 악취제거율은 더 높았으며, 질소 손실율은 더 낮게 나타났다. 농가에서 사용하는 저류조 형태의 부숙조는 협기 또는 호기성 처리 방법보다 BOD, 대장균, 악취제거율등이 낮았다. 각 개별요인들의 효율을 종합 평가한 결과 액비 부숙효율은 협기성 교반조>호기성 폭기조>무교반 협기성조>저류조 순으로 높았다.

### 인용문헌

1. 정광용. 1998a. 가축분뇨 처리현황과 발전방향. 중소기업 기술력 향상을 위한 세미나 국립안성산업대학교. p28 - 58.
2. MOAF. 1997. *Statistical Yearbook of Agriculture & Forestry*. Republic of Korea
3. 서성배. 1998. 가축분뇨 처리에 따른 문제점과 대책. 가축분뇨 자원화에 관한 세미나. 한국가축분뇨자원화협회. p7 - 21.
4. CAST. 1996. *Integrated animal waste management*. Council for Agricultural Science and Technology. 4420 Waste Lincoln Way, Ames, IA 50014 - 3447, USA.
5. 유종원. 1998. 저장액비화를 위한 효율적 분뇨 처리방안. 가축분뇨 자원화에 관한 세미나. 한국가축분뇨자원화협회. p43 - 50.
6. 정광용. 1998b. 저장액비 살포면적 확보 방안. 가축분뇨 자원화에 관한 세미나. 한국 가축분뇨자원화협회. p51-83.
7. 환경부. 1996. 수질공정시험법.
8. Standard Method. 1985. *Standard method for the examination of water and waste water*. 16th edition, APHA. AWWA. WPCF.
9. Flint, K. P. 1982. Microbial ecology of domestic wastes. in "Experimental Microbial Ecology". Blackwell Scientific Publications. p575 - 590.
10. Moseier, A.R., S.M. Morrison, and G.K. Elmund. 1986. Odors and emissions from organic wastes. in "Soils for management of organic wastes and waste waters", ASA. CSCA. SSSA. 577 South Road, Madison, Wisconsin 53711. USA.
11. Williams, A.G. 1984. Indicators of piggery slurry odor offensiveness. *Agricultural Wastes*. 10:15-36
12. Huh, M. 1994. Characteristics and evaluation of odor offensiveness. *J. Environ. Hi-Tech*. 1(6):6-14.
13. Jung, Kwang-Yong, Joo, Ueong-Hee, Kim, Jai-Joung. 1989. Studies on behavior of cellulolytic and methanogenic bacteria participated in anaerobic decomposition of rice straw and its decomposition products. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 22(4):323-328.
14. 농업기술연구소. 1980. 대형 메탄가스 시설의 설계와 폐액처리. 농촌진흥청.
15. 김남천. 팽종인. 1988. 생물학적 폐수처리기술. 동화기술.
16. 김동문. 김수생. 1988. 수질오염방지기술 - 폐수처리. 녹원출판사.
17. Brady, N.C. 1974. *The nature and properties of soils*. Macmillan Publishing Co., Inc. p422-480.