

## 여재순환장치를 이용한 돈분뇨 슬러리의 오염물질 및 악취제거 효율

최동윤 · 곽정훈 · 정광화 · 박규현 · 허미영 · 김재환 · 강희설 · 전경호 · 박치호\* · 정종원\*  
농촌진흥청 국립축산과학원

### Removal Efficiency of Water Pollutants and Malodor of Pig Slurry using Biofiltration System

Choi, D. Y., Kwag, J. H., Jeong, K. H., Park, K. H., Huh, M. Y., Kim, J. H., Kang, H. S., Jeon, K. H., Park, C. H.\* and Jeong, J. W.\*  
National Institute of Animal Science, R.D.A.

#### Summary

The pig slurry is one of important fertilizer source for production of crops in recent years, but it has many controversial points of utilization such as offensive odor, lack of spread equipment and farmland possession, respectively.

This study was carried out in order to remove water pollutants and malodor of pig slurry using biofiltration system. The biofiltration system consists of pig slurry separator, mixing shift and attached blade for sawdust or ricehull, air injection nozzle and outlet for pig slurry and sawdust or ricehull. The characteristics pH, BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand), COD<sub>Mn</sub> (Chemical Oxygen Demand), SS (Suspended Solid), T-N (Total Nitrogen), T-P (Total Phosphorus) of the untreated pig slurry used in this study were 7.2, 34,450, 24,604, 71,000, 4,194, 1,631 ml/ℓ, respectively. The NH<sub>3</sub> (Ammonia) and H<sub>2</sub>S (Hydrogen Sulfide) concentration were 70.0, 9.6 ppm, respectively. The initial total microorganisms of pig slurry were 5.0×10<sup>3</sup> cfu/ml, and *Salmonella*, *Bacillus* were 5.8×10<sup>2</sup>, 1.1×10<sup>3</sup> cfu/ml, respectively. The filtration system was very effective on removal of water pollutants of pig slurry. The removal efficiency of the offensive odor of ammonia and hydrogen sulfide in sawdust was higher than those of ricehull.

The total microorganisms and *bacillus* of pig slurry are on the increase by sawdust and ricehull, but *Salmonella* showed a tendency to decrease in number after that time. Accordingly, the filtration system was very effective to produce a good quality pig slurry.

(Key words : Pig, Slurry, Biofiltration, Malodor, Pollutants)

#### 서 론

가축분뇨는 오염부하량이 높은 고농도 오염물질이기 때문에 유출시 수질 및 토양오염

의 영향이 큰 반면에, 비료성분이 높아 적절하게 처리하면 자원으로써 가치가 높다. 가축분뇨를 자원화하기 위한 대표적인 방법으로 퇴비화와 액비화가 있으며, 각각의 장단

\* 농업기술실용화재단(The Foundation of Ag. Tech. Commercialization and Transfer)

Corresponding author : Choi, D. Y. Animal Environ. Division, National Institute of Animal Science, R.D.A.,

564 Omokchundong, Suwon, Korea. Tel: 031-290-1715, E-mail: cdy5760@rda.go.kr

2009년 10월 23일 투고, 2009년 12월 18일 심사완료, 2009년 12월 22일 게재확정

점이 있다. 퇴비화방법은 퇴비제조시 기계비용이 과다하게 투입될 뿐 아니라, 톱밥, 왕겨 등의 수분조절재 구입에 필요한 재료비가 많이 소요된다. 또한 퇴비화를 위해서는 분뇨분리가 우선적으로 선행되어야 하나, 슬러리돈사와 같은 형태에서는 분뇨분리가 어려울 뿐만 아니라, 설령 분뇨분리를 한다 하더라도 많은 노력과 비용이 수반된다. 이와같이 분뇨분리가 어렵고 다량의 수분조절재가 투입이 되는 문제점을 최소화할 목적으로 가축분뇨 액비화 방법이 널리 보급되고 있다. 가축분뇨 액비는 퇴비와는 달리 속효성인 비료효과를 얻을 수 있을 뿐 아니라 노력시간, 처리비용적인 측면에서 퇴비보다 훨씬 유리하다. 액비화의 궁극적인 목적은 가축분뇨로 인한 환경오염을 최소화하면서, 축산농가와 경종농가의 문제점을 상호 보완하여 축산농가는 가축분뇨의 원활한 처리를, 경종농가는 친환경농산물을 생산하는데 필요한 유기자원을 확보하는데 있다. 가축분뇨의 비료적 가치에 대하여 정(1995)은 1993년을 기준으로 할 때 가축분뇨중의 총 비료성분 함량은 우리나라 경지의 3요소 시비기준 소비량을 상회하고 있어 이를 자원화한다면 화학비료를 100% 대체할 수 있는 양이라 하였다. 그러나 가축분뇨에는 질소와 인과 같은 영양염류 함량이 높기 때문에 정화되지 않고 인근 수계에 유입되면 수질오염을 유발하고, 토양에 과다 사용하면 염류집적이 일어나며,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , VFA, 메칠메르캅탄 등이 방출되어 대기를 오염시키므로 환경오염 문제가 야기된다고 하였다(정, 1998). 가축분뇨 액비화를 위한 액비저장조 대부분은 양돈농가로부터 고액분리가 되지 않은 슬러리를 저장하므로써 액비저장조내에 침전물이 쌓이고, 이로 인해 저장 용량의 축소 및 침전물 처리가 심각한 문제점으로 제기되고 있을 뿐만 아니라, 액비저장조에 가축분뇨를 투입할 때 발생하는 악취, 폭기처리 및 농경지 살포때 발생하는

악취발생으로 주변 민원이 증가하고 있는 실정이다. 류(1995)는 가축분뇨 액비를 호기적으로 처리하기 위해 교반을 하게 되면 부상물이 제거되고, 액상분뇨가 잘 섞이게 되며, 폭기를 시키면 호기성 미생물들이 번식을 하여 탄소와 질소가 있으면 활동을 시작하여 질소 및 황화합물( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , Amine)과 기타 악취물질을 분해하며, 이 과정에서 액비의 온도와 pH가 상승됨과 동시에 악취제거, 섬유의 분해, 대장균, 기생충, 잡초종자의 사멸 등에 효과가 있는 것으로 보고하였다. 액비는 6개월 부숙후 사용하여도 분뇨에서 발생하는 악취는 여전히 강한 취기를 가지고 있으며, 고액이 미분리된 상태로 논밭에 사용될 경우 고농도의 유기물 집적 현상이 발생할 우려가 있고, 또한 균질한 액비가 생산되지 않음으로서 작물의 시용기준을 산정하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 현실적인 가축분뇨 처리의 합리적 해결 방안은 축산과 경종작물과의 자원순환체계를 어떻게 유지할 수 있을 것이냐 하는 것이며, 이에 맞추어 질 좋은 가축분뇨 액비를 생산하는 것이 가장 중요하다 할 수 있다. 본 연구는 돈분뇨 액비의 농경지 환원시 악취가 발생하지 않고, 동시에 오염물질이 저감된 액비생산 기술을 개발할 목적으로 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험장소 및 공시재료

본 시험은 국립축산과학원 축산생명환경부에서 수행하였으며, 시험에 공시된 가축분뇨는 육성돈사에서 배출된 돈슬러리를 사용하였으며, 오염물질 및 악취저감 여재순환장치(이하 여재순환장치)는 국립축산과학원에서 개발한 것으로 농가 실증용으로 제작하여 설치하였으며 오염물질 및 악취저감 효율비교 시험을 위한 여재로는 톱밥 및 왕겨를 사용

Table 1. Characteristics of pig slurry

Item	pH	BOD <sub>5</sub> (ml/l)	COD <sub>Mn</sub> (ml/l)	SS (ml/l)	T-N (ml/l)	T-P (ml/l)	DM (%)	NH <sub>3</sub> (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)
Before separation	7.2	34,450	24,604	71,000	4,194	1,631	2.18	70	9.6
After separation	7.7	15,800	13,504	26,000	3,492	734	1.02	55	7.4

Item	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Total microbe (ml/cfu)	Salmonella (ml/cfu)	Bacillus (ml/cfu)
Before separation	0.33	0.26	0.19	1.8×10 <sup>4</sup>	7.8×10 <sup>2</sup>	3.4×10 <sup>3</sup>
After separation	0.29	0.25	0.20	1.5×10 <sup>4</sup>	4.3×10 <sup>2</sup>	2.9×10 <sup>3</sup>

하였다.

## 2. 여재순환장치의 자원 및 운전조건

여재순환장치는 사각프레임 형태로 제작하였으며 높이 2m, 가로 2m, 세로 1.5m의 크기로 여재순환장치에 투입되는 돈분뇨 원슬러리의 이물질 및 고형물을 제거하여 처리하는 고액분리장치는 돈분뇨 슬러리 투입파이프, 고액분리상자, 구동모터, 고액분리용 경사망을 포함하고 있으며, 투입된 돈분뇨 슬러리를 여재와 같이 순환시켜 오염물질 및 악취를 저감시키는 여재순환 장치, 여재가 장치 내에서 순환할 때 공기를 불어 넣어주는 압축공기 분사장치, 최종적으로 오염물질과 악취가 저감된 돈슬러리와 사용이 완료된 여재를 유압을 이용해 배출시켜 주는 배출장치와 배출된 여재를 이송시켜주는 이송장치 등으로 구성되어 있다. 여재로는 톱밥 또는 왕겨를 이용하였으며 여재투입량은 2.4 m<sup>3</sup>, 돈슬러리는 1일 3톤을 투입하였다. 돈슬러리는 여재순환장치 투입 → 여재에 의한 돈슬러리 필터링 → 액비 침출 → 여재순환 → 침출액비 재투입 등을 반복하며 1일 5회 순환시켰다. 여재순환장치의 운전조건은 10분 ON, 50분 OFF, 압축공기 분사장치의 운전조건은 5분 ON, 25분 OFF 였고 이때의 공기공급량은 2.5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/hr였으며, 공기공급을 위해 2마력 용량의 콤프레서를 이용하였다.

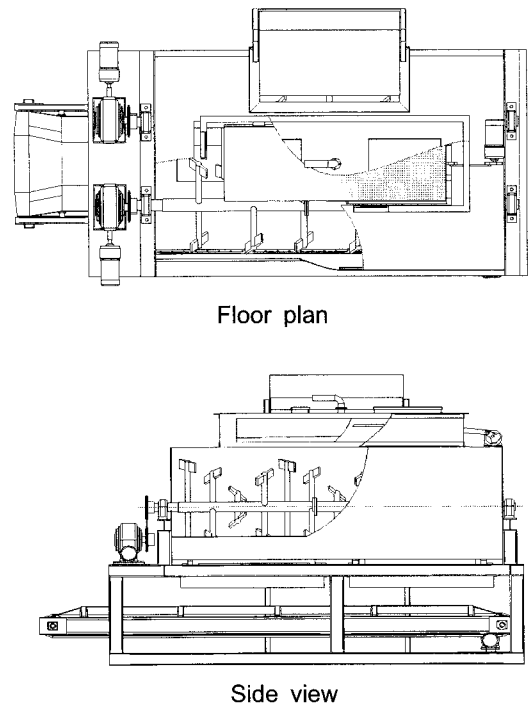


Fig. 1. Scheme of biofiltration system.

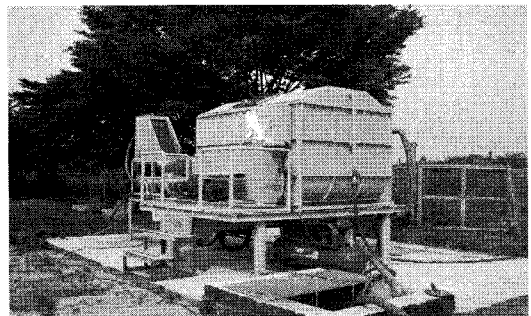


Fig. 2. Picture of biofiltration system.

### 3. 분석항목 및 방법

#### 가. pH

pH는 채취한 시료 원액을 100 ml 비이커에 취하여 유리봉으로 저어주면서 Digital pH meter (Model : Orion 520A, 일본)를 Buffer 용액으로 잘 맞춘 다음 깨끗하게 씻은 초차 및 표준전극을 넣고 60초 이내에 측정하였다.

#### 나. 오염성분 및 비료성분

오염성분인 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P는 수질오염 공정시험법(환경부, 1992)에 의하여 분석하였으며, 분뇨내 비료성분중 질소성분은 A.O.A.C(1990)에 의거 켈달방법으로 분석하였고, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 습식분해후 Lancaster법으로 분석하였으며 K<sub>2</sub>O는 전처리한 시료의 여액을 일정량 취하여 희석한 후 원자흡광도계 (Model : AA280FS, Varian, 미국)에서 각 성분의 표준용액으로 검량선을 작성한 후 측정하였다. 이외의 성분은 표준사료 성분분석법에 준하여 분석하였다(축산연구소, 1996).

#### 다. 악취성분

악취농도를 조사하기 위하여 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 황화수소(H<sub>2</sub>S)를 검지기(Gastec 801, 일본)를 이용하여 검지관법(Detector tube)으로 측정하였다. 검지관법은 검지관의 양쪽 끝부분을 절단하여 검지기에 삽입한 후 검지기의 공기 흡입기를 표면으로부터 50 cm 높이에서 암모니아는 100 ml를 1분 동안, 황화수소는 30초 동안 흡입하여 측정하였다.

#### 라. 미생물

미생물 분석용 시료는 매 순환시 배출되는

돈슬러리를 5회에 걸쳐 50 ml씩 3반복으로 채취하였으며, 총미생물 분석은 시료 원액을 식염수로 10배 희석하여 희석액 1 ml씩을 무균적으로 취하여 패트리디쉬에 2반복으로 분주하고, plate count agar를 15 ml 정도 무균적으로 분주하여 시료를 잘 섞어 응고시킨다. 패트리디쉬를 거꾸로 하여 35±1℃에서 48시간 이상 배양한 후 미생물수를 산정하였고, *Salmonella*는 10배 희석한 시료 1 ml을 취하여, 패트리디쉬에 2반복 분주하고, *Salmonella-Shigella* agar (Difco)를 사용하여 35~37도에서 48시간 배양한 후 colorless 하고 black center의 형태로 관찰되는 것을 계수하였으며, *Bacillus*는 시료를 Mannitol egg yolk polymyxin agar에서 35℃, 24시간 배양하고, 혼탁한 분홍색 집락을 취해 TSA에 접종하여 35℃에서 24시간 배양한 후 세균수를 산정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 오염성분 변화

고액분리한 돈슬러리를 여재순환장치에 투입하여 가동을 한 결과, 톱밥을 여재로 이용하여 돈슬러리를 5회까지 순환시킨 경우, pH는 8.8까지 증가하였으며, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N 및 T-P는 각각 8,340, 7,735, 7,000, 2,478, 227 ml/ℓ로 나타나, BOD<sub>5</sub>는 52.8, COD<sub>Mn</sub> 57.3, SS 26.9, T-N 71.0, T-P 30.9% 수준으로 감소하는 것으로 나타났다. 왕겨를 여재로 이용했을 경우, pH는 8.7까지 증가하였으며, BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N 및 T-P도 각각 7,924, 7,699, 8,500, 2,215, 289 ml/ℓ로 나타나 톱밥과 비슷한 경향을 나타내었다.

### 2. 비료성분 변화

돈슬러리를 여재순환장치에 투입하여 여재

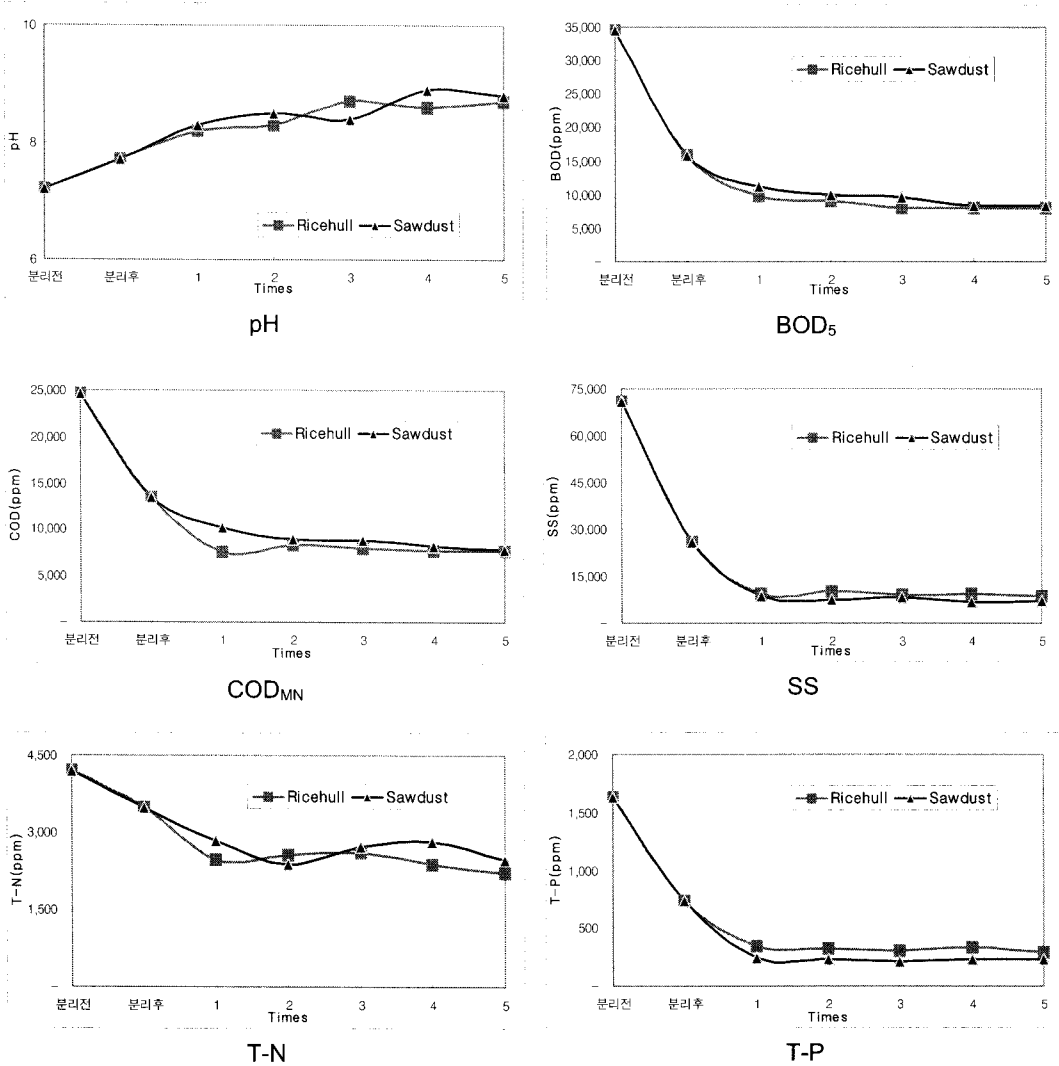
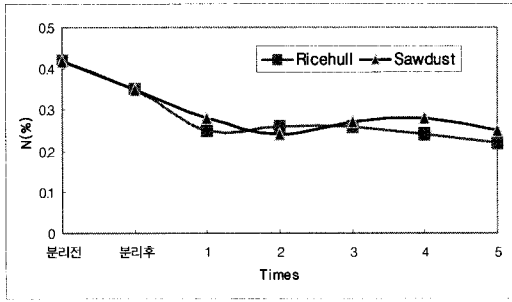


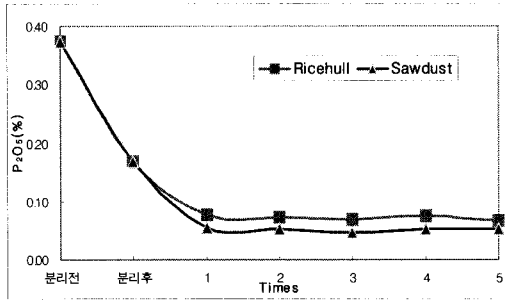
Fig. 3. Changes of pH and water pollutants of pig slurry.

별로 5회까지 순환시킨 결과, 톱밥처리구에서는 질소, 인산, 칼리 함량이 각각 0.25, 0.05, 0.18%로 투입전에 비하여 각각 28.6, 70.6, 18.2% 감소하는 것으로 나타났으며, 왕겨를 여재로 이용했을 경우에도, 질소, 인산, 칼리함량이 각각 0.22, 0.07, 0.19%로 투입전에 비하여 각각 37.1, 58.8, 13.6% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 여재순환장치를 이용해 액비를 생산했을 경우, 인산의 함량을 상당량 줄일 수 있어 액비에 의한 인산의 토양 집적을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이와

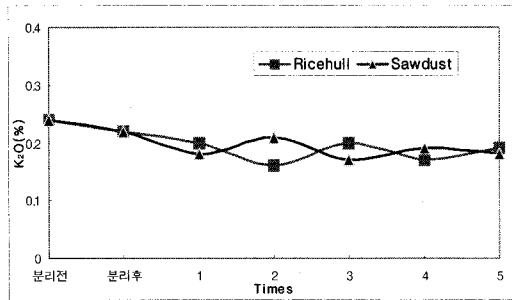
같은 결과는 Hansen과 Isensee (1988)가 교반 및 폭기처리에 따른 양분 함량의 변화를 조사한 결과, 질소 함량은 초기에 6.1 kg/m<sup>3</sup>이 었으나, 교반후 5.5kg/m<sup>3</sup>, 폭기후 5.0kg/m<sup>3</sup>였다고 보고한 것과 같은 경향을 나타내었다. 또한 인산 함량이 줄어 든 것은 여재순환장치 내에 여재로 사용된 톱밥이나 왕겨가 주로 액비내 고형물을 걸러내는데 효과가 있었고, 이때 고형물속에 많이 분포하는 인산이 줄어들었기 때문인 것으로 판단된다.



N



P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



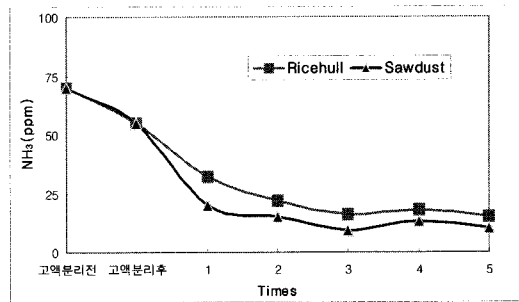
K<sub>2</sub>O

Fig. 4. Changes of fertilizer of pig slurry.

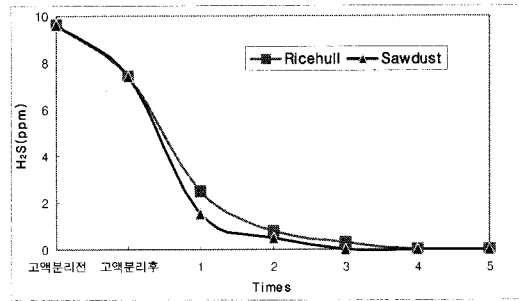
### 3. 악취농도 변화

돈슬러리의 암모니아(NH<sub>3</sub>) 및 황화수소(H<sub>2</sub>S) 농도는 각각 70.0, 9.6 ppm 이었으며, 고액분리 후에는 각각 55.0, 7.4 ppm으로 나타나 고액분리만으로도 암모니아와 황화수소가 각각 21.4%, 22.9% 감소되는 효과를 얻었다. 고액분리된 돈슬러리를 여재순환장치에 투입하여 시험을 한 결과, 톱밥을 여재로 이용한 경우, 암모니아 10 ppm, 황화수소는 ppm 단위에서 검출되지 않았다. 왕겨를 여재로 이용했을 경우에도 암모니아 15 ppm, 황화수소

는 ppm 단위에서 검출되지 않아 톱밥처리구와 같은 결과를 나타냈다. 따라서 톱밥과 왕겨를 여재로 이용하여 돈슬러리를 2회 정도 순환시켰을 경우에는 암모니아 및 황화수소의 농도가 크게 감소되는 것으로 나타났다. 이와같은 결과는 류(1995)가 가축분뇨 액비를 호기적으로 처리하면 호기성 미생물들에 의해 질소 및 황화합물(NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, Amine)과 기타 악취물질을 분해하며, 이 과정에서 악취가 제거된다는 보고와 비슷한 경향이였다.



NH<sub>3</sub>



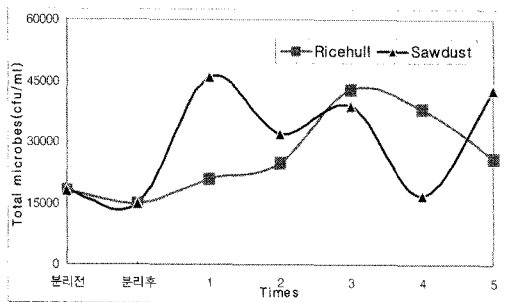
H<sub>2</sub>S

Fig. 5. Changes of malodor concentration of pig slurry.

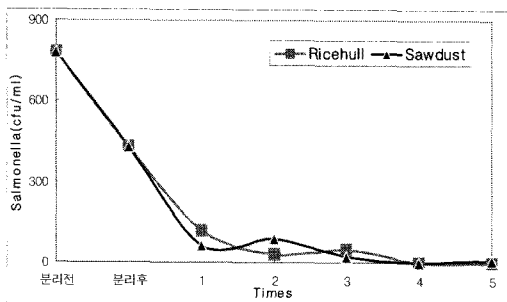
### 4. 미생물 변화

돈사에서 배출된 돈슬러리내에 총미생물수는 1.8×10<sup>4</sup> cfu/ml로 조사되었으며, 살모넬라 7.8×10<sup>2</sup> cfu/ml였다. 또한 액비의 부숙에 관여하는 것으로 추정되는 바실러스는 3.4×10<sup>3</sup> cfu/ml로 조사되었으며, 돈슬러리를 고액분리한 이후에는 각각 1.5×10<sup>4</sup>, 4.3×10<sup>2</sup>, 2.9×10<sup>3</sup> cfu/ml로 조사되었다. 고액분리 후의 돈슬러리를 여재순환장치에 투입하여 시험을 한 결

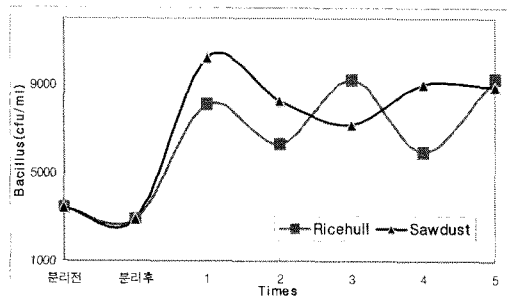
과, 톱밥을 여재로 이용한 처리구에서 총세균과 바실러스는 증가하는 경향을 나타냈으나, 살모넬라는 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다. 이와같은 결과는 여재순환장치 내에 압축공기 분사장치를 통해 공급된 공기가 호기성미생물의 활성을 증가시킨 것으로 추정되며, 류(1995)가 가축분뇨 액비를 호기적으로 처리하게 되면 호기성미생물의 번식이 증가한다는 보고와 비슷한 경향을 나타내었다.



Total microorganisms



Salmonella

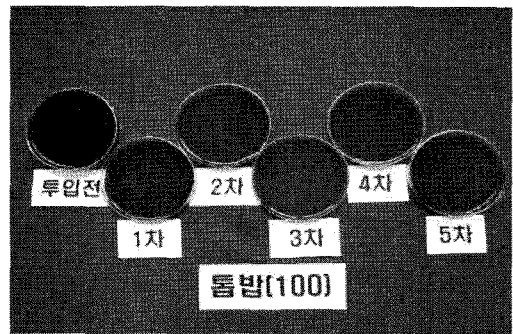


Bacillus

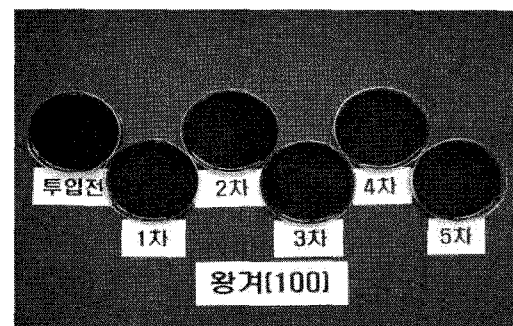
Fig. 6. Changes of microorganisms of pig slurry.

## 5. 침출액비의 색깔 변화

악취저감 균질액비 생산장치에 투입된 후 여재와 순환되어 배출되는 침출액비에 대한 색깔을 비교해 본 결과, 초기에는 흑회색 또는 암록색을 나타냈으나, 악취저감 균질액비 생산장치에서 여재(톱밥, 왕겨)와 같이 5회까지 순환시킨 결과 순환 횟수가 증가할수록 암갈색에서 흑갈색 또는 갈색으로 색깔이 변화되는 것을 볼 수 있었다. 이와같은 결과는 퇴비의 간이부숙도 판정법에서 부숙도를 판정할 때 부숙이 완료된 퇴비의 색깔이 흑갈색을 나타낸다는 연구보고와 같은 경향을 나타내었다 (농촌진흥청, 1994)



Sawdust



Ricehull

Fig. 7. Changes of color of pig slurry.

## 요 약

1. 여재순환장치는 사각프레임 형태로 설계·제작하였으며, 고액분리장치, 여재순환구동축 및 날개, 압축공기 분사장치와 여재 및

액비배출장치로 구성되었다.

2. 고액분리한 돈슬러리를 장치에 투입하여 가동을 한 결과, 튼밥을 여재로 이용했을 때 BOD<sub>5</sub>는 52.8, COD<sub>Mn</sub> 57.3, SS 26.9, T-N 71.0, T-P 30.9% 수준으로 감소하는 것으로 나타났으며, 왕겨를 이용한 경우에도 튼밥과 비슷한 경향을 나타내었다.

3. 5회까지 순환시켜 침출된 액비의 비료 성분은 질소의 경우, 원슬러리에 비해 2/3 수준, 인산은 1/3 수준으로 줄어드는 경향을 나타냈으나, 칼리는 거의 변하지 않는 것으로 나타났다.

4. 침출액비의 악취(암모니아, 황화수소)는 초기에 비해 상당한 수준으로 저감되었으며, 튼밥이 왕겨에 비해 비교적 효과가 높은 것으로 나타났다.

5. 여재순환장치 가동 전후의 돈슬러리내 미생물을 조사한 결과, 총세균과 부속에 관여하는 것으로 추정되는 바실러스균은 증가하는 경향이었으며, 살모넬라균은 급격하게 감소하는 경향을 보였다.

6. 이상과 같은 결과로 볼 때, 악취저감 균질액비 생산장치를 이용하여 액비를 생산할 경우, 오염물질, 악취물질, 병원성세균 등이 감소하고, 부속관여 유용미생물이 증가한 악취저감 균질액비 생산이 가능한 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

1. 농업과학기술원. 1999. 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비제조와 이용.
2. 농촌진흥청. 1994. 퇴비의 간이부속도 판

정법.

3. 농촌진흥청. 2002. 가축분뇨(액비) 이용기술 개발 연구보고서.
4. 농촌진흥청. 2002. 가축분뇨 액비 사용기술 지도지침서.
5. 류종원. 1995. 가축분뇨의 액비화 처리. 가축분뇨의 자원화에 관한 국제심포지움. 한국축산학회, p.61-84.
6. 류종원, 헬무트 야콥. 2002. 액상분뇨 이용수준에 대한 현장적용 연구. 축산시설환경학회지 8(1):43-50.
7. 오인환. 1998. 가축분뇨의 액비화 기술. 가축분뇨 처리기술 개발동향. 제4회 학술 심포지움. 축산시설환경학회.
8. 정광용. 1998. 가축분뇨 액비이용의 활성화 방안. 환경친화형 가축분뇨 처리기술 심포지움. 축산기술연구소, p.85-102.
9. 축산연구소. 1996. 표준사료성분분석법
10. 최동윤, 전병수, 박정훈, 박치호, 정광화, 김태일, 김형호, 이덕수, 양창범. 2002. 돈슬러리 저장기간 및 깊이에 따른 성분특성 변화. 한국축산시설환경학회지. 8(3): 129-134.
11. 최동윤, 박정훈, 박치호, 정광화, 전병수, 최희철, 강희설, 양창범, 최홍림. 2004. 경종농가에서의 액비이용 실태조사. 한국축산시설환경학회 10(3):155-162.
12. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C.
13. Hansen, R. and E. Isensee. 1988. Voherl Ften, Ruhren Odor Unbehandelt Ausbringen. Top Agar, 5.