한국환경과학회지 제15권(제6호), 563~569, 2006
Journal of the Environmental Sciences

양돈장 분뇨의 부숙 과정에서 DO 변화와 EM의 첨가에 따른 오염물질 및 악취 저감효과의 비교

강 경 호 · 감 상 규 · 허 철 구 · 이 민 규*
제주대학교 토목환경공학전공, *부경대학교 응용화학공학부
(2006년 2월 9일 접수; 2006년 5월 1일 채택)

Comparison of Reduction Effect of Contaminants and Odor According to DO Change and EM Addition in Maturation Process of Piggery Slurry

Kyung-Ho Kang, Sang-Kyu Kam, Chul-Goo Hu and Min-Gyu Lee*
Division of Civil and Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea
**Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea*
(Manuscript received 9 February, 2006; accepted 1 May, 2006)

It was compared the reduction effect of contaminants and odor according to DO change and EM (effective microorganisms) addition in maturation process of piggery slurry. The maturation processes were divided into three cases as follows: R-1 was operated at 2.5 mg/ℓ of DO without the addition of EM, R-2 was operated at 7.5 mg/ℓ of DO without the addition of EM and R-3 was operated at 2.5 mg/ℓ of DO with the addition of EM. The addition of EM was more effective than the increase of DO for the reduction of CODcr, NH_3-N and T-N in the maturation of piggery slurry. In addition, the reducing effect of odor intensity appeared high even in the short-term maturation period in case of adding EM and one could not even smell the stimulating odor of piggery slurry.

Key Words : Piggery slurry, EM, Maturation, DO, Odor

1. 서 론

제주도는 천혜의 자연경관과 청정한 환경을 갖고 있어 국내외 많은 관광객들이 찾고 있으며, 또한 국제자유도시로 탈바꿈하는 현 시점에서 청정 환경의 유지는 매우 중요하다. 그러나 제주도에 조성되어 있는 축산단지로부터 발생하고 악취로 인해 인근 주민들과 마찰을 빚고 있으며, 청정 환경의 제주도 이미지를 흐릴 우려가 있다.

가축 분뇨 중에서 특히, 양돈분뇨는 다른 축산분뇨 보다도 유기물과 질소, 인 등의 함량이 높아 방류시 호소나 지하수 오염의 원인이 되며, 미부숙된 분뇨를 토양에 과잉 투입하게 되면 작물 생육을 저해할 뿐만 아니라 토양 오염원으로 작용을 하게 된다[1]. 그러나 양돈분뇨는 비료성분이 높아 적절하게 처리하면 지원으로서의 가치가 높기 때문에 최근 우리나라의 경우는 발생된 분뇨를 환경친화적인 방법으로 퇴비화(composting)와 액비화(liquid fertilizer) 등의 과정을 거쳐 최대한 자원화하여 퇴비나 책비 형태로써 경작지에 환원하는 재이용(recycling) 방법을 기본으로 하고 있다[2]. 따라서 현재 제주도 일반 양돈 농가에서는 발생되는 양돈분뇨를 주로 액비화 방법에 의해 자원화하고 일부는 정화 처리하여 방류하고 있다.

그러나 실제 농가에서 액비화를 시키는 기간 동안 황화수소 등 다량의 악취물질이 발생되고, 이는 액비화 저장탱크의 배기구를 통해 주변에 확산되어 민원을 초래하고 있다. 액비화 과정을 통해 생성된 액비를 초지나 농경지에 살포하고 있으나 생성된 액비도 어느 정도 악취물질을 함유한 상태로

Corresponding Author : Min-Gyu Lee, Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
Phone: +82-51-620-1468
E-mail: mglee@pknu.ac.kr

살포되기 때문에 악취문제를 유발하고 있다. 양돈분뇨에서 발생하는 악취는 암모니아를 비롯하여 황화수소와 mercaptan 등의 황화합물 및 휘발성 지방산(VFA) 등이 복합되어 있으며[3], 이러한 악취물질은 인간 뿐 만 아니라 가축의 건강에 위해를 끼치며 악취로 인한 민원으로 인해 양축산업이 위축됨에 따라 국내 축산업 발전의 위해가 되고 있다[4].

양돈농가와 액비화 과정에서 발생하는 악취를 억제 또는 감소하기 위해서는 여러 가지 방법이 응용될 수 있으나 크게 2가지로 구분할 수 있다. 불필요한 사료의 급여를 최소화하거나 사료에 첨가제를 넣어 악취발생을 악취 원인물질의 생성량을 근원적으로 감소시키는 up stream 방법[5~7]과 발생된 악취를 감소시키는 약액처리법, 흡착법, 마스킹법, 생물학적탈취장치 이용법 등과 같은 down stream 방법[8,9]으로 구분할 수 있다. 그러나 최근에는 분뇨처리시 미생물의 기질섭취를 활성하며 특정성분의 악취도 제거 할 수 있는 미생물제제나 복합효소제재를 첨가함으로써 잔여물의 안정화는 물론 악취도 동시에 제거할 수 있는 처리방식이 새로이 도입되고 있으며[10,11], 이 분야에 대한 연구들이 활성화 되고 있다[12].

악취는 유기물이 분해되는 과정에서 생성되는 중간 분해산물이며, 이와 같은 악취물질은 주로 혐기성 조건에서 더 많이 생성되는 특성이 있다[13]. 따라서, 부숙화의 효율을 높이기 위해서는 호기성 미생물의 활동을 최적화 시켜줄 필요성이 있다. 유기물질의 부숙화는 미생물의 활동 결과 안정화된 형태로 전환시키는 과정으로서 부숙화에는 pH, 온도, 수분 등 여러 요인이 작용하나 궁극적으로 미생물 활성을 촉진시키는 것[14,15]으로 호기성균의 활성을 증가시키기 위해서는 산소공급이 원활히 이루어 져야 한다. 그러나 실제농가에서 많은 산소를 공급하기 위하여 양돈분뇨를 충분히 폭기시키려면 과다한 동력비가 소요되므로 현실적으로 쉽지 않은 실정이다.

양돈분뇨는 충분히 부숙이 되지 않을 경우 혐오성 악취의 지속적인 발생 및 미안정화 등의 문제가 야기되므로 본 연구에서는 양돈분뇨의 부숙화 공정에서 유기물의 분해 속도를 가능한 촉진함과 동시에 충분한 부숙을 통해 악취를 저감시키는 한 가지 방안으로써 현재 음식물 쓰레기 및 각종 오·폐수의 처리에 적용한 결과 우수한 효능을 보이는 것으로 알려진 유용미생물(Efeective Microoganisms, EM)을 양돈분뇨에 첨가하여 유기물의 분해 및 악취제거에 대한 효과를 검토하고자 하였다. EM은 다양한 미생물이 서로 공존, 공생하면서 부패 악취를 억제 또는 방지하고 오수처리에도 정화효과가 있는 것으로 보고되고 있다[16,17]. 또한, 일부 양돈농가에서 액비 부수기간의 단축과 악취저감을 목적으로 미생물제제나 탈취제를 현장에서 분뇨의 액비화시에 사용하여 악취를 저감시키고 유충이나 유해 세균의 활동을 억제하여 농가 주변의 환경을 개선하는 효과를 보고 있다고는 하나, 실제적으로 산소의 공급을 원활히 하는 경우와 미생물제제를 첨가하는 경우의 효과에 대한 과학적인 비교 자료가 없어 대다수의 양돈농가에서는 방법의 선택에 애로를 겪고 있는 것으로 알려지고 있다.

따라서 본 연구에서는 양돈분뇨를 대상으로 하여 EM을 첨가하는 경우와 EM을 첨가하지 않고 DO 농도를 증가 시키는 경우의 오염물질의 상태변화와 악취강도변화를 측정하여 부숙과정중의 오염물질 및 악취저감효과를 상호 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

부숙 반응조는 용량 5 ℓ의 삼각플라스크를 이용하여 Fig. 1과 같이 제작하였다. 반응조의 총 용량은 4 ℓ이며, 반응조 상부에는 분뇨를 채취할 수 있는 sampling port를 설치하여 syringe를 이용하여 일정량의 시료를 채취할 수 있도록 하였다. 부숙시 산소의 공급은 air pump를 이용했으며, 하향식으로 1~2.5 ℓ/min의 유량을 불어넣어 주면서 DO 농도를 조절해주었고, 교반기를 이용하여 내부교반을 해줌으로써 반응조 내에 존재하는 분뇨 상태를 균일하게 하였다. 실험은 Table 1과 같이 EM을 첨가하지 않고 DO 농도를 각각 2.5 mg/ℓ와 7.5 mg/ℓ로 운전한 R-1 및 R-2 반응조, DO 농도를 2.5 mg/ℓ로 유지하면서 EM을 첨가하여 운전한 R-3 반응조의 3가지 형태로 나누어 수행하였다.

본 연구에 사용된 분뇨는 제주도 함덕 K 양돈농가의 슬러리 돈사에서 분뇨를 수거하여 이용하였으며, 수거된 분뇨는 35 mesh 체로 걸러 이물질을

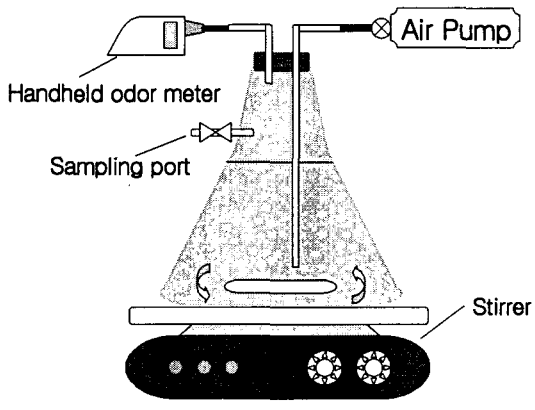

Fig. 1. Liquid fertilizer reactor used in this study.

Table 1. Maturation conditions of piggery slurry

Run	Condition
R-1	DO 2.5 mg/ℓ, without EM
R-2	DO 7.5 mg/ℓ, without EM
R-3	DO 2.5 mg/ℓ, with EM

제거한 후 시험용 재료로 사용하였다. 분석 시료의 량은 1회 분석 시 20 mℓ씩 반응조에서 채취하였고, 이를 1,500 rpm으로 10분간 원심 분리하여 부유물질을 제거하고 난 후 분석에 사용하였다. 본 연구에 사용된 원 시료의 성상은 Table 2에 나타내었다.

유용미생물(EM)은 광합성세균을 중심으로 유산균, 효모균, 방선균 등 주로 혐기성 또는 미호기성 미생물로 구성되어 있다. 본 연구에 사용한 EM은 pH 3.7, CODcr 150 mg/ℓ, T-N 35 mg/ℓ의 성상을 나타냈으며, 종조성과 개체밀도는 Table 3과 같다. 본 연구에서 R-3 반응조의 경우 운전 2일마다 1회 50 mℓ씩 반응조에 투여하여 총 운전 기간 동안 500 mℓ를 첨가하였다.

시료의 분석은 2일마다 시료를 채취하여 pH, CODcr, NH_3-N, T-N, T-S, 악취강도 등의 실험항목을 분석·측정하였다. 분석방법은 Table 4에 나타낸 바와 같이 수질공정시험법, Standard method 및 일본위생법에 준하여 분석하였다. DO는 DO-meter (YSI Model 95)를 이용하여 부숙기간 동안 일정 농도의 DO 농도를 유지하는데 사용하였다. 악취강도는 Handheld Odor Meter(OMX-GR)를 이용하여 측정하였다. 이 장치는 내장펌프로 간단하게 측정대상

Table 2. Characteristics of piggery slurry used in this study

Items	Concentration
pH	8.447 ~ 8.469
CODcr	16,500 ~ 19,500 mg/ℓ
NH_3-N	475.1 ~ 488.2 mg/ℓ
T-N	665.2 ~ 707.4 mg/ℓ
T-S	40.1 ~ 44.6 mg/ℓ
Odor intensity	≥ 999

Table 3. Microbial groups and their population density in EM solution used in this study

Microbial groups	Population density (cfu/g)
Latic acid bacteria	5.3×10^5
Yeasts	8.0×10^4
Actinomycetes	1.0×10^6
Bacillus	7.8×10^5
Filamentous fungi	1.0×10^4
Photosynthetic bacteria	2.2×10^4

Table 4. Analytical items and methods

Items	Analytical methods
DO	DO-meter (YSI Model 95)
pH	pH-meter (Orion 420A)
CODcr	Titrimetric method ($K_2Cr_2O_7$)
NH_3-N	Sepectrophotometric method (HP 8452A)
T-N	Sepectrophotometric method (HP 8452A)
T-S	Iodometry (N_2 puring)
Odor intensity	Handfield odor meter (OMX-GR)

의 공기를 흡입하여 연속적으로 0~999까지의 강도 표시로 악취강도를 산출할 수 있는 장치이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. pH

Fig. 2는 20일간의 운전기간동안 부숙 반응조 내의 pH 변화를 나타낸 것으로, 반응조 R-1, R-2 및 R-3에서의 pH 변화는 각각 8.5~9.2, 8.4~9.3, 8.1~9.4의 값을 보였다. 전체적으로 EM을 첨가하지 않은 R-1 및 R-2 반응조에서는 DO가 증가할수록 pH 또한 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 액비화 공정에서 일정량의 공기를 공급하여 주는 호기 조건일 경우 pH는 7.5~9까지 증가한다는 여러 연구자들의 결과[18,19]와 일치하였다. 이처럼 일정량의 DO가 존재하는 조건에서 pH가 증가되는 원인은 크게 액중의 CO_2 가스와 유기산의 생성과 관련이 있는 것으로 보여 지며, CO_2 가스가 액중에 용해되지 못하고 제거되고, 그리고 상대적으로 혐기성 조건보다 유기산 생성량이 낮은 이유로 pH가 증가되는 것으로 사료된다.

EM을 첨가한 R-3의 pH는 운전 10일 까지 2.5 mg/ℓ의 동일한 DO 농도로 운전된 R-1의 pH 변화와 비슷한 경향을 보였으나, 그 이후부터는 pH가 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 본 연구

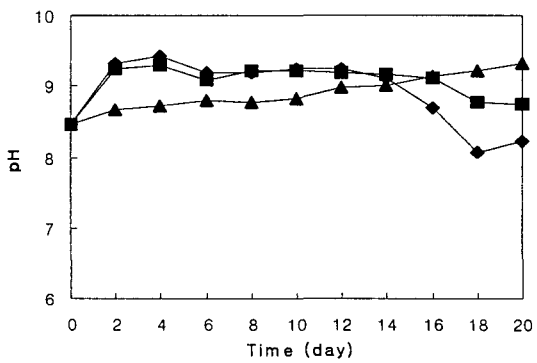

Fig. 2. pH changes during operating time. (■: R-1, ▲: R-2, ◆: R-3)

에서 EM 용액을 2일마다 주기적으로 투입함으로써 부숙공정의 운전 중에서 분뇨의 pH에 영향을 주었을 것으로 사료된다. 타 연구자들에 의하면 유용미생물제제의 유산균은 유산을 생성하여 pH를 급격히 강하시켜 부패균의 생장을 억제하고 불용성 무기성분을 가용화하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다[17].

3.2. 유기물

Fig. 3은 부숙 반응조 운전기간 중 CODcr의 변화를 나타낸 것으로, R-1 반응조는 4,000~19,500 ppm, R-2 반응조는 2,250~16,500 ppm, R-3 반응조에서는 900~19,500 ppm의 변화값을 보였다. 세 반응조 모두 초기 1~2일 동안의 운전에서 CODcr의 농도가 급격한 감소를 보이는 특징을 보였고, 그 이후 CODcr은 불안정한 변화를 보이면서 증가와 감소를 반복하는 경향을 나타내 최종적으로 CODcr의 제거율은 각각 69%, 76%, 82%이었다.

따라서 EM을 첨가하지 않고 DO 농도를 2.5 mg/ℓ로 운전한 R-1 반응조와 DO 농도를 7.5 mg/ℓ로 3배 높게 하여 운전한 R-2 반응조를 비교해보면 DO 농도를 높게 한 R-3 반응조의 경우에 CODcr의 제거율이 약 7% 정도 향상됨을 알 수 있어 짧은 부숙 기간 동안 분뇨의 안정화를 위해 적정 수준의 DO 농도를 유지시켜 주는 것이 필요할 것으로 사료된다. 김[20]의 연구에서는 호기성 액비화 조건에서 60일 동안 운전한 결과 COD_{Mn}의 제거율이 97%로 나타나 본 연구의 EM을 첨가하지 않은 R-1 및 R-2 반응조의 결과보다 높은 제거율을 보이고 있지만 상대적으로 짧은 20일 동안의 액비 운전 기간을 고려해 보면, 본 연구의 결과 또한 높은 효율을 보여주고 있는 것으로 판단된다. 한편, DO 농도를 2.5 mg/ℓ으로 동일하게 하고 EM을 첨가하여 운전한 R-3 반응조의 경우에 총 20일 동안의 운전으로 최종 82%의 높은 CODcr의 제거율을 보였는데, 이는 EM을 첨가하지 않고 DO 농도를 7.5 mg/ℓ로 3배 높게 하여 운전한 R-2 반응조 경우의 제거율 76%보다 높은 결과를 보였다.

이는 미생물제제를 첨가함으로서 DO 농도를 3배 이상 증가시켜 얻을 수 있는 효과와 비교하여 그 이상으로 유기물의 감량 및 안정화에 효율적인 결과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 또한 이러한 결과는 배 등[21]의 고온성세균을 이용한 분뇨처리의 연구 결과와 비교하여 CODcr의 제거율이 2배 이상으로 더 높은 것으로 나타났다.

3.3. 질소 성분

부숙과정 도중에서 NH_3-N 등의 악취물질은 일반적으로 pH, 수분함량, 반응온도 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Fig. 4는 부숙 반응조의 운전기간 중 NH_3-N의 변화를 나타낸 것이다. R-1 반응조는 운전기간 동안 90.3~513.5 ppm의 변화를 보였고, R-2 반응조는 48.7~437.2 ppm, 그리고 R-3 반응조는 8.2~490.8 ppm의 변화를 나타내 최종적으로 각각 82%, 86%, 98%의 제거율을 나타냈다. R-1 반응조 및 R-2 반응조에서 보면 DO 농도를 2.5에서 7.5 mg/ℓ로 3배정도 높였을 경우에도 NH_3-N의 제거율은 82% 및 86%로 비슷한 결과를 나타내 DO 농도를 높여 운전하여도 큰 효과를 얻지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 DO 농도가 2.5 mg/ℓ로 동일하나 EM을 첨가한 경우인 R-3 반응조에서는 NH_3-N의 제거율이 98%로 탁월한 제거효과를 보였으며, DO 농도를 3배 높게 운전한 R-2 반응조의 결과보다 제거율이 10%이상 높게 나타났다. 이러한 결과는 이[22]와 노 등[23]의 오수 및 폐수처리에 대한 연구에서 EM을 이용하여 90% 이상의 높은 NH_3-N의 제거율을 보인 결과와 비슷한 것으로 고농도의 양돈분뇨의 처리에도 EM이 충분

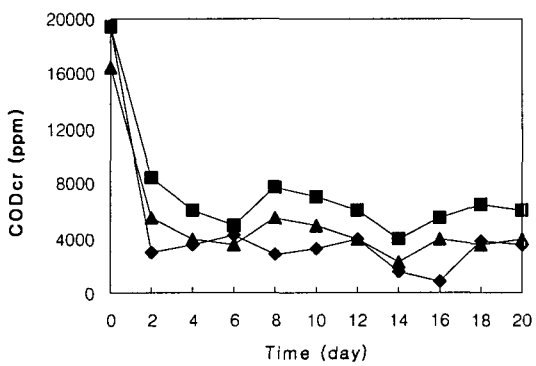

Fig. 3. Changes of CODcr concentration during operating time. (■: R-1, ▲: R-2, ◆: R-3)

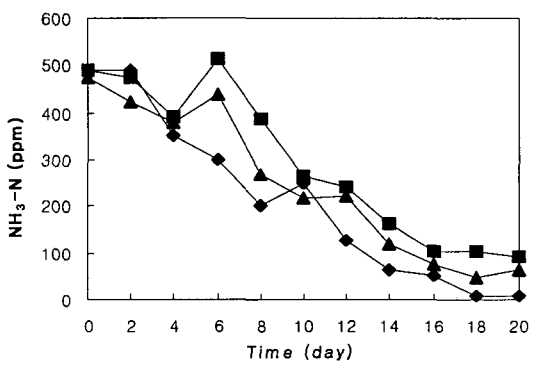

Fig. 4. Changes of NH_3-N concentration during operating time. (■: R-1, ▲: R-2, ◆: R-3)

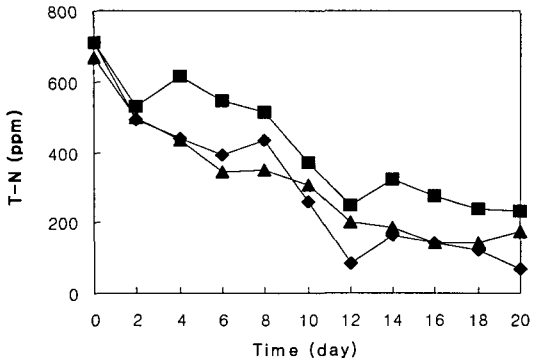

Fig. 5. Changes of T-N concentration during operating time. (■: R-1, ▲: R-2, ◆: R-3)

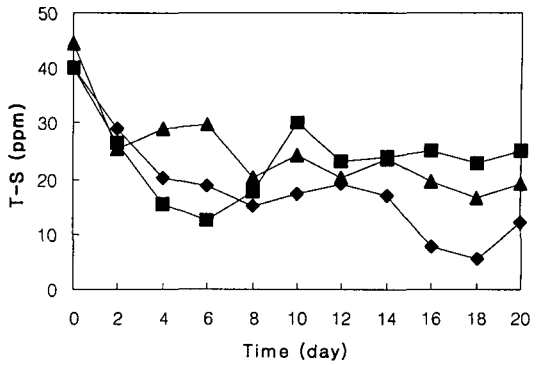

Fig. 6. Changes of T-S concentration during operating time. (■: R-1, ▲: R-2, ◆: R-3)

히 응용될 수 있음을 나타낸 결과이다.

Fig. 5는 부숙 반응조의 운전기간 중 T-N의 변화를 나타낸 것으로, R-1, R-2 및 R-3 반응조 모두 운전 12일까지 급격한 감소를 보이다가 그 이후 안정한 상태를 보여주고 있다. 일반적으로 질소 성분의 감소측면에서 보면 DO 함유량이 낮은 조건보다 DO 함유량이 높은 조건에서 T-N의 농도가 낮게 나타나는데, 본 연구의 결과에서도 최종적으로 R-1, R-2 및 R-3의 제거율이 67%, 74%, 90%를 나타나 DO 농도가 높을수록 제거율이 증가함을 보였다. 특히 EM을 첨가한 R-3의 결과는 김[20]의 연구에 의한 결과보다 10% 이상의 감소율을 더 보이고 있는데, 본 연구의 운전 기간이 3배정도 짧은 것을 감안하면 EM을 첨가하여 부숙조를 운전함으로서 짧은 부숙기간 동안 질소의 상당한 감소의 효과를 나타낼 수 있을 것이라고 사료된다.

3.4. 황 성분

악취는 유기물이 분해되는 과정에서 생성되는 중간 분해산물로써, O'Neill과 Phillips[24]는 가축분의 주요 악취원이 168개의 합성물로 되어있으며 그중 30여개가 악취로 감지될 수 있고, 이들은 대개 sulfur를 함유하고 있으며 여건에 따라 악취성분에 큰 차이가 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 주요 악취원인 성분인 황화물의 농도 변화를 살펴보기 위하여 부숙 반응조의 운전 기간 중 T-S의 변화를 조사하여 Fig. 6에 나타내었다. 초기 원시료의 T-S의 농도에 대해 최종적으로 R-1은 12.4~40.1 ppm, R-2는 16.7~44.6 ppm, R-3은 5.5~40.1 ppm의 변화를 보였으며, 제거율은 각각 38%, 57%, 70%를 나타냈다. 이러한 결과는 EM을 첨가한 경우 DO 농도를 높여준 결과보다 좀 더 높은 제거율을 보여주지만, 운전기간 동안 T-S의 농도가 증가하거나 감소하는 경향을 보여 액비조 내외의 환경변화에 따라 안정한 황화합물 및 휘발성이 큰 황화합물이 계속적으로 생성, 변화하고 있다고 판단된다.

3.5. 악취강도

Fig. 7은 부숙 반응조의 운전 기간 중 악취강도를 나타낸 것이다. EM을 첨가하지 않고 DO 농도를 각각 2.5 및 7.5 mg/ℓ로 운전한 R-1과 R-2에서는 초기 운전에서부터 급격한 감소를 보여 운전 6일까지는 악취강도의 감소가 비슷한 경향을 나타냈다. 운전 6일 이후부터는 DO 농도를 증가시킨 R-2에서 좀 더 악취강도의 감소가 이루어져 최종적으로 각각 27 및 10의 악취강도를 보여 짧은 부숙기간 동안에도 악취강도의 감소 효과를 나타냈다. 그러나 R-1과 R-2의 운전 결과에서 보듯이 운전 16일 이후부터는 더 이상의 뚜렷한 악취강도의 감소가 나타나지 않아 단순히 DO 농도만을 높여 악취강도의 감소 효과를 얻는 데는 한계가 있는 것으로 사료된다. 반면, EM을 첨가한 R-3 반응조에

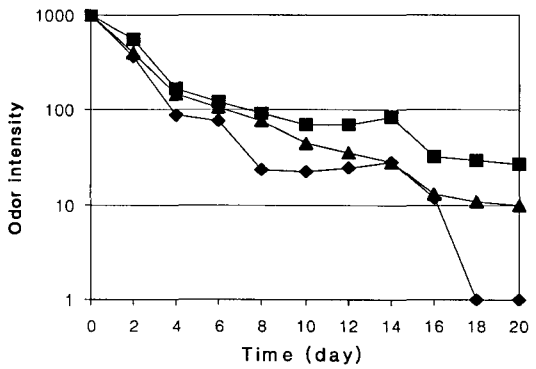

Fig. 7. Changes of odor intensity during operating time. (■: R-1, ▲: R-2, ◆: R-3)

서는 꾸준하게 악취강도가 감소하여 운전 18일부터 악취강도가 0으로 나타나 인위적으로 냄새를 맡아 보아도 분뇨의 자극적인 냄새를 전혀 느낄 수 없었다. 따라서 악취강도의 저감 측면에서 볼 때 EM을 첨가하지 않고 단순히 DO 농도만을 3배 정도 높여 부숙 반응조를 운전했을 경우에도 짧은 시간 동안 악취강도의 감소 효과를 보여주고 있으나, EM을 첨가함으로서 양돈분뇨의 악취 문제를 더욱 효율적으로 제어할 수 있을 것이라고 판단된다.

4. 결 론

슬러리 양돈분뇨의 부숙화 공정에서 DO 변화와 유용미생물(EM)의 첨가에 따른 오염물질 및 악취강도의 변화를 서로 비교·분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) CODcr의 제거율은 DO 농도를 2.5 mg/ℓ로 운전한 R-1 반응조보다 DO 농도를 7.5 mg/ℓ로 3배 높게 하여 운전한 R-2 반응조의 경우가 약 7% 정도 향상되었으나, EM을 첨가하여 운전한 R-3 반응조의 경우에는 82%의 높은 CODcr의 제거율을 보여 DO 농도를 증가시키는 경우보다 EM을 첨가하여 운전하는 경우에 우수한 CODcr 제거 효과를 보였다.
2) NH_3-N의 제거율은 R-1, R-2 및 R-3 반응조에서 각각 82%, 86%, 98%로 나타났으며, DO 농도를 7.5 mg/ℓ로 높게 하여 운전한 R-2 반응조의 경우보다 EM을 첨가한 R-3반응조에서 10%이상 더 높은 제거효율을 보였다. T-N의 경우도 DO 농도를 7.5 mg/ℓ로 조절한 R-2 반응조의 제거율이 74%였으나, EM을 첨가한 R-3 반응조의 제거율이 90%로 나타나 EM을 첨가하는 것이 DO 농도를 높여주는 것 보다 T-N의 제거에 더욱 효과적이었다.
3) 또한, DO 농도를 2.5 또는 7.5 mg/ℓ로 호기성 조건으로 유지하여 양돈분뇨의 부숙화를 진행할 경우 악취강도의 저감 효과는 있으나, 특히 EM을 첨가할 경우 더욱 효과적으로 악취를 제어할 수 있었다.

참 고 문 헌

1) 최홍림, 1999, 우리나라 가축분뇨관리 기술현황, 첨단환경기술, 7(10), 2-10.
2) 정광화, 2000, 축분퇴비화에 미치는 영향인자 연구, 충남대학교 대학원, 석사학위논문, 85pp.
3) Moseier, A. R., S. M. Morrision and G. K. Elmund, 1986, Odors and emissions from organic wastes, In "soils for management of organic sastes and waste waters", ASA. CSCA. SSSA., 577 South Road, Madison, Wisconsin 53711, USA.
4) 김경배, 2001, 환경농업을 위한 가축분뇨 자원화 방안 : 경기지역돈분뇨처리를 중심으로, 석사학위논문, 중앙대학교 산업경영대학원, 112pp.
5) 송영한, 1998, 열수추출 흑염소 중탕부산물의 돈분 악취저감 효과에 관한 연구, 韓營飼誌, 22(1), 21-30.
6) Canh, T. T., M. W. A. Verstegen, A. J. A. Aarnink and J. W. Schrama, 1997, Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs, J. Anim. Sci., 75, 700-706.
7) Schulze, H., H. S. Saini, J. Huisman, M. Hessing, W. V. Berg and M. W. A. Verstegan, 1995, Increased nitrogen secreation by inclusion of soya lectin in the diets of pigs, J. Sci. Agr., 69(4), 501-510.
8) Bohn, H., 1994, Consider biofiltration for decontaminating gases, Chem. Eng. Prog., 88(4), 34-40.
9) Stenzel, M. H., 1993, Remove organics by activated carbon adsorption, Chem. Eng. Prog., 89(4), 36-43.
10) 祭蘇雅典, 小島知子, 1996, 液肥における臭氣發生機構の解明と關聯微生物の選拔, 農業環境試驗研究成績, 計劃概要集, 172-173.
11) Kanagawa, T. and E. Mikami, 1989, Removal of methanethiol, dimethyl sulfide, dimethyl disulfide and hydrogen sulfide from contaminated air by TK-m, Appl. Environ. Microbiol., 55(3), 555-558.
12) 황규대, 김민호, 김도연, 1999, 돈분을 이용한 혐기성 유기산 발효공정의 운전인자에 관한 연구, 한국물환경학지, 15(4), 543-554.
13) Willians, A. G., 1984, Indicators of piggery slurry odor offensiveness, Agricultural Wastes, 10, 15-36.
14) Lo, K. V. and A. K. Liao, 1993, Composting of separated solid swine waste, J. Agri. Engin. Res., 54, 307-317.
15) Bagstam, G., 1979, Population changes in microorganisms during composting of spruce-bark II, Mesophilic and thermophilic microorganisms during controlled composting, J. Appl. Micobiol. Biotechnol., 6, 279-288.

16) EM Research Organization, 1995, EM Application Manual for APNAN Countries, 1st ed., 1-7.
17) Higa, T., 1996, An earth saving revolution, Sunmark Publishing Inc., Tokyo. Japan, 335pp.
18) 권성환, 권순옥, 이동훈, 2000, 돈분의 고속 퇴비화 효율 및 암모니아 발생 특성 평가, 한국폐기물학회, 17(8), 935-943.
19) 정광용, 조남준, 정이근, 1998, 가축분뇨 슬러리 액비 부숙 조건별 특성비교, 한국환경농학회지, 17(4), 301-305.
20) 김완주, 2003, 양돈 슬러리의 액비화에 관한 연구, 한밭대학교 산업대학원 석사학위논문, 56pp.
21) 배재근, 김혜경, 심혁성, 1997, 고온성세균을 이용한 고온호기성소화에 의한 분뇨처리, 서울산업대학교 산업대학원 논문집, 5, 132-142.
22) 이영희, 2004, 유용미생물을 이용한 환경정화에 관한 연구, 경성대학교 교육대학원 교육학석사학위논문, 56pp.
23) 노성희, 윤영재, 김선일, 2001, 유효미생물에 의한 폐수 중 질소 및 인의 제거, 응용화학, 5(2), 180-183.
24) O'Neill, D. H. and V. R. Phillips, 1992, A 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. Eng. Res., 53, 23-50.