

SCOD_{Mn} 농도 및 pH 조정이 양돈분뇨의 후숙발효과정에 미치는 이화학적 영향

홍인기 · 김수량* · 이명규
상지대학교 이공과대학 환경공학과

Effect of SCOD_{Mn} and pH Adjustment on Physicochemical Characteristics in Liquid Fertilizer Production Process Using Swine Manure

Hong, In-Gi, Kim, Soo-Ryang* and Lee, Myung-Gyu
Dept. of Environmental Engineering, Sangji University

Summary

This research investigated the effect of SCOD_{Mn} concentrations and pH adjustment at the stage before land application, namely 2nd-aeration treatment stage of liquid fertilizer in the liquid fertilizer treatment process of swine manure on the physicochemical compositions of 2nd-aeration treated liquid fertilizer. The liquid fertilizer used in this research is the alkaline fermented liquid fertilizer of swine manure more than pH 9.0 through aeration treatment (Alkaline fermentation treatment group). About the alkaline liquid fertilizer, phosphate neutralization treatment was conducted with phosphoric acid and it was a phosphate neutralization treatment group. In 2nd-aeration treatment of liquid fertilizer for 30 days, each group was divided into alkaline treatment groups (T-1, T-2, and T-3) and phosphate neutralization treatment groups (T-4, T-5, and T-6) according to early SCOD_{Mn} concentrations. The research results are as follows. 1. As for SCOD_{Mn} reduction rate, the average 29.9% in alkaline treatment groups and the average 36.9% in phosphate neutralization treatment groups were shown and so the relatively high reduction rate was shown in phosphate neutralization treatment groups. 2. After finishing the experiment, the group of the lowest SCOD_{Mn} concentrations was the phosphate neutralization treatment group, T-6 with the lowest inflow concentrations. In case the final goal level of 2nd-aeration treated liquid fertilizer is assumed as concentrations less than SCOD_{Mn} 3,000 ppm, it would be desired that inflow concentrations of 2nd-aeration treatment groups are adjusted less than SCOD_{Mn} 5,500 ppm. 3. As for the persistence rate of nitrogen, the average 29.3% in alkaline treatment groups and the average 38.9% in phosphate neutralization treatment groups were shown and so phosphate neutralization treatment groups showed the relatively low loss rate of nitrogen, meanwhile, in the case of T-P, phosphate neutralization treatment groups maintained high concentrations (average 1,473 ppm). 4. In the event of 2nd-aeration treatment of liquid fertilizer, 「alkaline fermentation treatment」 condition in ‘low phosphate-low nitrogen’ type and 「phosphate neutralization treatment」 condition in ‘high phosphate-high nitrogen’ type are expected to be favorable.

(Key words : Liquid manure treatment system, Swine manure, 2nd-aeration treatment, Land application, Liquid fertilizer)

* 상지대학교 동물생명자원대학 동물생명자원학과 (Faculty of Animal Life Resources, Sangji University)

Corresponding author : Myung-Gyu Lee, Dept. of Environmental Engineering, Sangji University, Woosandong, Wonju City, Gangwon-do 220-702, Korea, E-mail : mglee@sangji.ac.kr, TEL: 033-730-0443

2012년 11월 23일 투고, 2012년 12월 4일 심사완료, 2012년 12월 15일 게재확정

서 론

1980년대 이후 한국의 축산업은 규모화 되면서 축종별 가축수도 급격히 늘게 되었다. 과거 가축분뇨가 인근 농경지에서 비료자원으로 재순환되던 상황에서 벗어나 이제는 대규모로 가축분뇨를 처리하고 원거리까지 퇴·액비를 이동하여 살포해야하는 축산과 경종이 분리된 것이 일반화되었다. 따라서 적절치 못한 가축분뇨처리는 환경오염으로 직결되는 문제가 발생됨으로써, 가축분뇨문제는 농업환경에서 가장 신중히 다뤄지는 주제가 되고 있다(농촌진흥청, 2007). 특히, 축산업의 최대 현안이었던 '12년 가축분뇨의 해양배출금지 조치에 대응하여, 정부와 양축농가는 가축분뇨 자원화 확대를 통한 육상처리에 많은 노력을 해왔으며, 그 결과 자원화(퇴·액비) 비율도 '03년 79.7%에서 '11년에는 87.6%를 넘어서고 있다(김, 2012). 그러나 2012년 3월 현재 전국에 설치·운영되고 있는 공동자원화센터 및 액비유통센터는 각각 68개소, 153개소로서 매년 점점 늘어나고 있음에도 불구하고 명확한 액비에 관한 기준이 없으며, 액비의 이화학적 성분함량도 균일하지 않은 실정이다(이, 2011). 이는 아직까지 국내사정에 적합한 액비화 표준관리 공정이 정립되어 있지 않음을 시사한다. 일반적으로 가축분뇨 액비화 처리운영은 돈사슬러리단계, 고액분리단계, 발효처리단계, 후속처리단계, 농지환원단계 등 분뇨의 발생부터 액비생산 및 토양환원까지 각각의 주요한 요소들이 유기적으로 연계되어 있다(김 등, 2012). 가축분뇨 액비화 처리에 있어서 고액분리단계의 경우 고액분리 방식과 효율에 따라, 생물학적산소요구량(BOD) 및 휘발성지방산(VFAs) 등의 차이가 있으며(J. ZHU 등, 2001), 이는 후단공정 즉 주 발효조에서의 공기주입량 산정, 공기공급방식, 발효기간 및 후속처리 등 운영방식 결정에 주요한 요인이 될

수 있다.

본 연구에서는 양돈분뇨의 액비화 처리과정 중 농지환원 직전단계인 액비 후속처리 단계에 있어서 SCOD_{Mn} 농도 및 산도(pH)의 조정이 후속액비의 이화학적 성상에 미치는 영향을 알아보고 적절한 액비 후속공정을 구축하기 위하여 수행한 것이다.

재료 및 방법

1. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 시험에 사용된 돈슬러리는 강원도 원주시 소재 가축분뇨공공처리장에 집수된 슬러리를 사용하였으며, 돈분뇨 슬러리를 55도 이상에서 운영되는 고온고속액상발효기에서 72시간 처리한 발효액상물을 공시재료로 사용하였다. 고온고속액상발효기에서 처리한 발효액상물의 이화학적 성상은 Table 1의 알칼리발효 처리구 T-1과 같다.

나. 알칼리발효 처리구

발효액상물을 원심분리기를 이용하여 5,000 rpm에서 10분간 수회 처리한 후 SCOD_{Mn} 농도에 따라 각각 6,350, 5,952, 5,323 ppm(T-1, T-2, T-3)로 하여 알칼리발효 처리구로 구분하였다(Table 1).

다. 인산중성화 처리구

발효액상물의 SCOD_{Mn} 농도를 「알칼리발효 처리구」와 각각 동일하게 배치한 후 pH가 중성이 되도록 인산(H₃PO₄ 85.0%)을 첨가한 처리구(T-4, T-5, T-6)를 「인산중성화 처리구」로 구분하였다. T-4, T-5, T-6 처리구에 대한 인산의 투입량 및 알칼리발효 처리구, 인산중성화 처리구의 이화학적 성상을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Physico-chemical characteristics of AFT*, PNT** and Swine manure

Item	Swine manure	AFT*			PNT**		
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
SCOD _{Mn} (mg/L)	9,597	6,350	5,952	5,323	6,350	5,952	5,323
Input of Phosphoric acid (ml/5L)	—	—	—	—	14.4	14.4	12.0
SS (mg/L)	34,450	22,975	11,342	6,183	22,475	11,800	6,758
pH	7.40	9.41	9.47	9.40	6.98	7.00	7.00
EC (mS/cm)	33.5	13.03	13.08	12.86	15.73	15.75	15.27
ORP (mV)	-360.0	63.5	68.7	71.1	128.4	147.8	149.1
T-P (mg/L)	1,005	1,250	481	261	1,933	1,665	1,442
T-N (mg/L)	6,705	4,309	3,565	3,496	4,309	3,565	3,496
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	4,340	1,558	1,330	1,120	1,558	1,330	1,120

* AFT (Alkaline Fermentation Treatment by Thermophilic Aerobic Oxidation (TAO) system)

** PNT (Phosphoric acid Neutralization Treatment).

라. 액비 후숙처리 실험방법

알칼리발효 및 인산중성화 처리구에 발효 액상물을 각각 5L씩 투입한 후 산기장치 (Air stone 방식)를 이용하여 60 L/m³ · min의 공기를 동일하게 주입하고, 약 30일 동안 폭기처리 하였다. 시료는 상등액으로부터 5 cm 부근에서 채취하였으며, 2일 간격으로 샘플링을 실시하였다. 채취된 시료의 pH, EC, ORP, SCOD_{Mn}, T-N, NH₄-N, T-P 등을 분석하여 SCOD_{Mn} 농도 및 pH 조정이 후숙액비의 이화학적 성상에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

2. 시료 분석

채취한 액비샘플의 pH, 전기전도도 (EC: Electrical conductivity), 산화환원전위 (ORP: Oxidation Reduction Potential)는 각각 수질다항목측정기 (YSI 556MPS, USA)를 이용하여 측정하였고, 암모니아성질소 (Ammonium Nitrogen)는 일본하수시험방법 (下水試驗方法, 日本, 1984)에 명시된 순서와 방법에 따라 분석하였다. 부유물질 (SS: Suspended Solid), 총인 (Total Phosphorus), 총질소 (Total Nitrogen), 용해성화

학적산소요구량 (SCOD: Soluble Chemical Oxygen Demand)은 수질오염공정시험법 (환경부, 2010)을 따랐으며, 총인과 총질소를 분석하기 위하여 흡광도계 (UV/Visible Spectrophotometer, OTIZEN POP, Mecasis)를 이용하였다. SCOD_{Mn}의 경우 원심분리기 (10,000 rpm, 10 min)로 전처리한 시료의 상등액을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 액비 후숙공정 중 알칼리발효 및 인산중성화 처리구의 pH의 변화

30일간의 액비 후숙공정 중 알칼리발효 및 인산중성화 처리구의 pH 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 알칼리발효 처리구에서는 초기 pH 9.45 전후에서 처리후에는 각각 T-1 (9.41→8.83), T-2(9.47→8.90), T-3(9.40→8.99)으로 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 한편 인산중성화 처리구에서는 초기 2일차까지 약 pH 8.45로 상승하였으나 점차 각각 T-4 (8.45→8.33), T-5 (8.45→8.23), T-6 (8.45→7.95)으로 낮아지는 경향을 나타내었다.

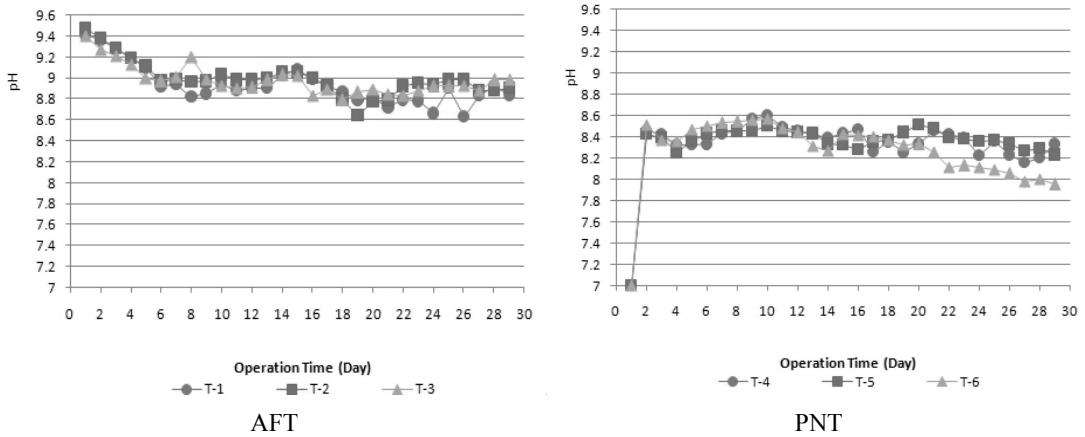


Fig. 1. Changes of pH in AFT and PNT.

2. 액비 후숙공정 중 알칼리발효 및 인산 중성화 처리구의 ORP의 변화

ORP의 경우 알칼리발효 처리구에서는 SCOD_{Mn} 농도가 비교적 낮은 T-2, T-3 처리구에서 ± 50 mV로 대부분 유지되는 반면 SCOD_{Mn} 농도가 높은 T-1 처리구는 시험기간 동안 -150 mV 이하에서 민감하게 변화하는 경향을 나타내었다. 인산중성화 처리구의 경우 초기 ORP는 150 mV 전후로서 알칼리발효 처리구에 비해 높은 수치를 나타내는데, 이는 인산의 투입으로 인한 산화작용에 의한 것으로 사료된다. 특히 인산중성화 처리구의 T-6에서는 시험기간 동안 ORP 0~+ 50 mV를

유지하는 한편, SCOD_{Mn} 농도가 높은 T-4 처리구는 알칼리발효 처리구의 T-1과 유사한 경향을 나타내었다 (Fig. 2).

3. 액비 후숙공정 중 알칼리발효 및 인산 중성화 처리구의 SCOD_{Mn}의 변화

SCOD_{Mn} (ppm)의 농도는 알칼리발효 처리구 T-1 (6,350→4,658), T-2 (5,952→4,070), T-3 (5,323→3,640), 인산중성화 처리구 T-4 (6,350→3,996), T-5 (5,952→3,697), T-6 (5,323→3,425)에서 각각 감소되어, 알칼리발효 처리구에서 평균 29.9%, 인산중성화 처리구에서는 평균 36.9%로 인산중성화 처리구가 비교적 높은

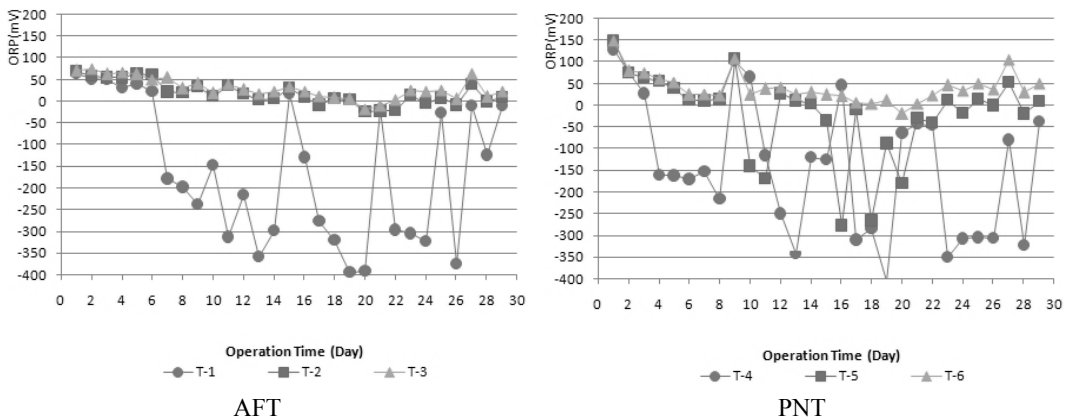


Fig. 2. Changes of ORP in AFT and PNT.

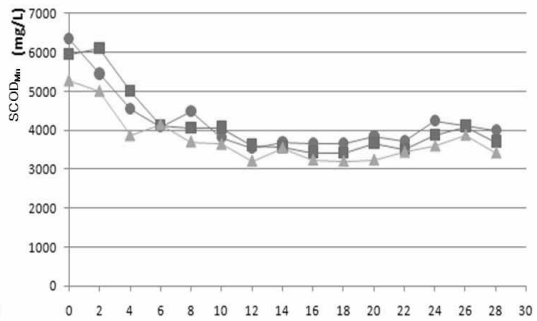
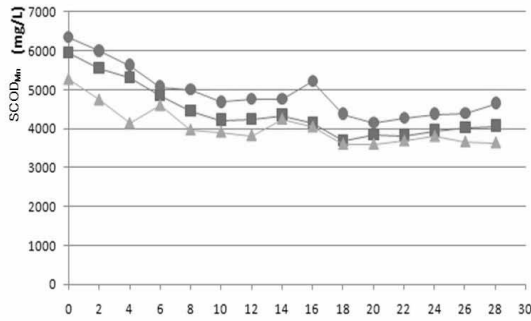
감소율을 보였다 (Fig. 3).

4. 액비 후숙공정 중 알칼리발효 및 인산중성화 처리구의 전기전도도 (EC)의 변화

알칼리발효 및 인산중성화 처리구 모두에서 폭기처리를 함에 따라 EC가 감소하는 경향을 나타내었으나, 인산중성화 처리구에서는 인산투입으로 알칼리발효 처리구에 비해 EC가 다소 높은 수치를 유지하였다 (Fig. 4). 일반적으로 EC의 수치가 높은 경우 염류집적 및 이에 따른 발아불량 등의 원인이 될 수 있으므로 주의해야 한다 (진, 2005). Ca, Mg, Na, SO₄²⁻, Cl 등의 특정한 양분의 집적

은 삼투압작용에 의해 작물의 토양수 이용률을 저하시키고, 이온독성 발현과 타 유효이온의 흡수를 저해하여 작물의 생육장해를 유발시킨다 (오 등, 2010). 특히 가축분뇨의 경우 유기물 함량과 염류농도가 여타 부산물에 비해 높기 때문에 퇴·액비의 EC 값은 토양 환원 시 시용량 결정 및 부숙도 평가에 있어 중요한 요인이 될 수 있으므로, 적절한 토양 환원을 위해서는 EC를 중심으로 한 살포 프로그램이 필요하다.

5. 액비 후숙공정 중 알칼리발효 및 인산중성화 처리구의 NH₄⁺-N의 변화



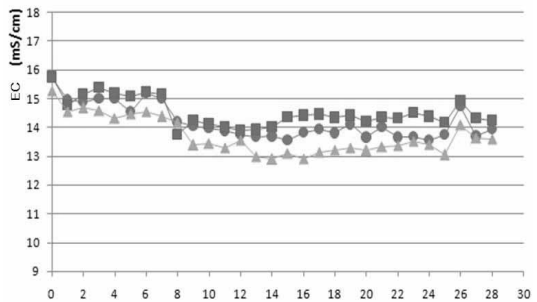
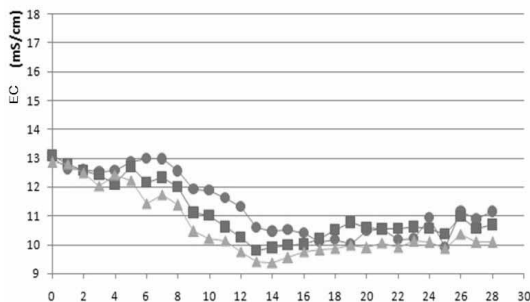
Operation Time (Day)
● T-1 ■ T-2 ▲ T-3

AFT

Operation Time (Day)
● T-4 ■ T-5 ▲ T-6

PNT

Fig. 3. Changes of SCOD_{Mn} in AFT and PNT.



Operation Time (Day)
● T-1 ■ T-2 ▲ T-3

AFT

Operation Time (Day)
● T-4 ■ T-5 ▲ T-6

PNT

Fig. 4. Changes of EC in AFT and PNT.

일반적으로 용액 내의 암모늄이온은 암모니아와 평형을 이룬다. pH 7에서 대부분이 NH_4^+ 형태로 존재하는데 반해 pH 10 이상에서는 대부분이 NH_3 (aqua) 형태로 존재하며, 알칼리 액상조건에서는 공기를 충분하게 접촉시키면 NH_3 가 용액 밖으로 방출되는 암모니아 탈기 (air stripping) 현상이 일어나는 것으로 알려져 있다 (Sedlak, R. I., 1991). 본 연구의 경우 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (ppm)의 농도는 알칼리발효 처리구에서 T-1 (1,558→385), T-2 (1,330→315), T-3 (1,120→140), 인산중성화 처리구에서는 T-4 (1,558→998), T-5 (1,330→963), T-6 (1,120→910)로 알칼리발효 처리구에서 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도가 현저히 감소하는 것으로 나타나는

데 이는 알칼리 조건에서 폭기에 따른 암모니아 탈기작용에 의한 것으로 사료된다 (Fig. 5).

6. 액비 후숙공정 중 알칼리발효 및 인산중성화 처리구의 T-N의 변화

T-N (ppm)의 경우 알칼리발효 처리구 T-1 (4,309→1,491), T-2 (3,565→1,032), T-3 (2,496→609), 인산중성화 처리구 T-4 (4,309→1,846), T-5 (3,565→1,441), T-6 (3,496→1,175)와 같이 질소의 잔존율은 알칼리발효 처리구에서 평균 29.3%, 인산중성화 처리구에서 평균 38.9%로 인산 중성화 처리구가 비교적 질소의 손실이 적었으며, 이는 산도 중성화 처리로

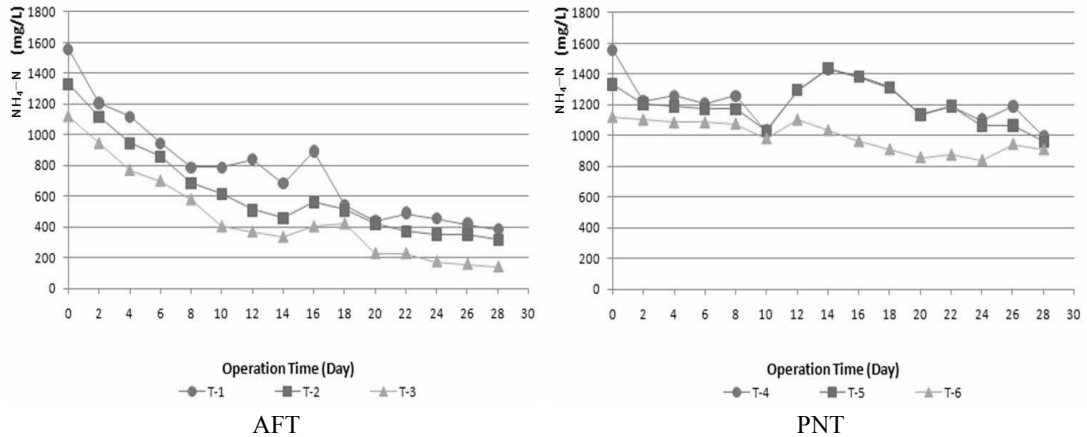


Fig. 5. Changes of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in AFT and PNT.

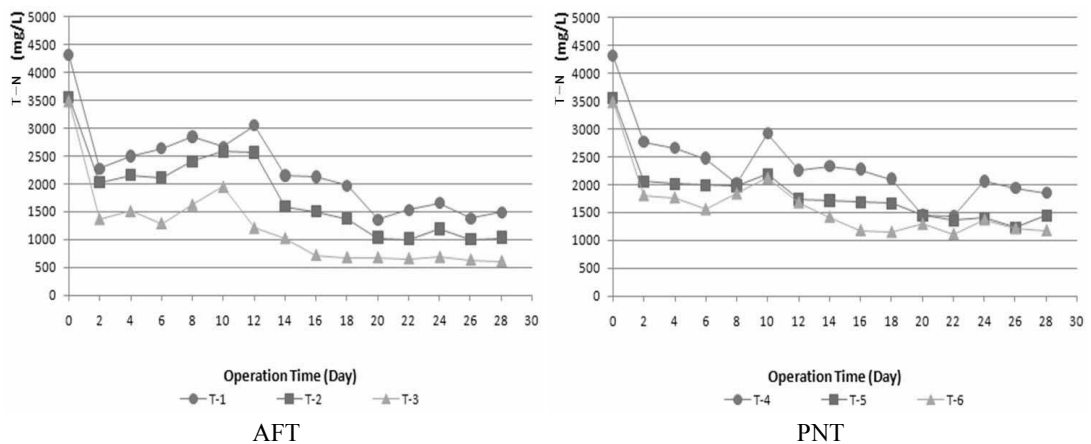


Fig. 6. Changes of T-N in AFT and PNT.

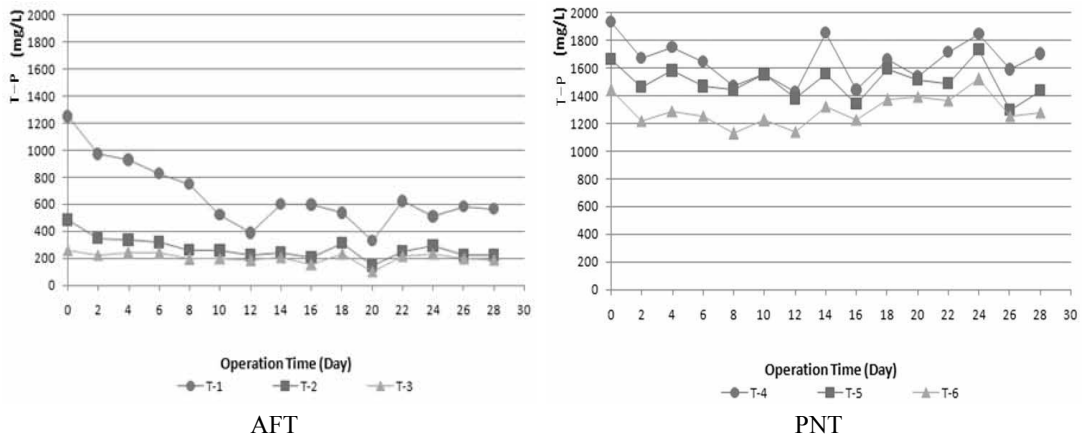


Fig. 7. Changes of T-P in AFT and PNT.

인한 암모니아 탈기작용의 저하에 기인한 것으로 사료 된다 (Fig. 6).

7. 액비 후숙공정 중 알칼리발효 및 인산 중성화 처리구의 T-P의 변화

Fig. 7은 시험기간 동안 알칼리발효 및 인산중성화 처리구의 T-P 변화를 나타내었다. T-P (ppm)의 경우 알칼리발효 처리구 T-1 (1,250→567), T-2 (481→221), T-3 (261→187), 인산중성화 처리구에서는 T-4 (1,933→1,703), T-5 (1,665→1,436), T-6 (1,442→1,280)로 인산중성화 처리구에서 비교적 높은 농도로 유지되었다. 이는 액비화 공정에 있어 후숙액비의 양분 조절기능을 기대할 수 있는 한편, 용량에 따른 시약의 투입량 및 형태, 종류, 경제성 평가 등 이에 관한 연구가 추가적으로 필요하다.

적 요

본 연구는 양돈분뇨의 액비화 처리과정 중 농지환원 직전단계인 액비 후숙처리 단계에 있어서 SCOD_{Mn} 농도 및 산도 (pH)의 조정이 후숙액비의 이화학적성상에 미치는 영향을 알아보고 적절한 후숙 액비화 공정을 구축하

기 위하여 수행하였으며, 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. SCOD_{Mn} 감소율은 알칼리발효 처리구에서 평균 29.9%, 인산중성화 처리구에서는 평균 36.9%로 인산 중성화 처리구가 비교적 높은 감소율을 보였다.

2. 30일간 처리 후 SCOD_{Mn}의 농도가 가장 낮은 처리구는 유입농도가 가장 낮았던 인산중성화 처리구 T-6이다. 후숙 액비의 목표수준을 SCOD_{Mn} 3,000 ppm 이하로 가정할 경우 후숙 발효조의 초기 투입농도는 5,500 ppm 이하로 조정하는 것이 적합하다고 사료된다.

3. 질소의 잔존율은 알칼리발효 처리구에서 평균 29.3%, 인산중성화 처리구에서 평균 38.9%로 인산중성화 처리구가 비교적 질소의 손실이 적은 한편, T-P의 경우 인산중성화 처리구에서 높은 농도 (평균 1,473 ppm)로 유지되었다.

4. 본 연구를 통해 액비 후숙처리 시 ‘저인산-저질소’의 형태는 「알칼리발효 처리구」, ‘고인산-고질소’의 형태는 「인산중성화 처리구」의 조건이 유리할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 ‘가축

분뇨 액비 품질 인증체계 구축 연구'(과제번호: PJ907185)의 지원에 의해 수행되었음을 알려드리며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. 농촌진흥청 농업과학기술원. 2007. 가축분뇨 자원화 연구동향 및 금후 연구 추진 방향 분석.
2. 김재환. 2012. 가축분뇨 처리시설의 평가 기준 개선에 관한 연구. 강원대학교 대학원 농업경제학과 경제학박사학위논문.
3. 김수량, 전상준, 홍인기, 김동균, 이명규. 2012. 양돈농가의 돈분뇨 액비화 처리 우수사례 실태 조사 축산시설환경학회. 18 (2):99-110.
4. 이명규. 2011. 양분균형 자원순환의 길, 농업·농촌의 길. 심포지엄.
5. 오상은, 손정수, 옥용식, 주진호. 2010. 시설재배지에서 토양 담수 및 배수에 의한 염류집적 경감 방안. 한국토양비료학회지. 43(5):443-449.
6. 전기중. 2005. 돈분퇴비의 부숙화과정 중 특성변화규명 및 부숙도 평가지표의 개발. 강원대학교 석사학위논문.
7. 日本下水道協會. 1984. 下水試驗方法.
8. J. ZHU, PIUS M, NDEGWA, A, LUO. 2001. Effect of Solid-Liquid Separation on BOD and VFA in Swine Manure. Environmental Technology. 22(3):1237-1243.
9. Sedlak, R. I. editor. 1991. Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater principles and practice. LEWIS PUBLISHERS2. : 37-39