

다중 호기 소화공정을 이용한 양돈분뇨 슬러리의 자원화 연구

김수량 · 윤성호 · 이준희* · 이명규

상지대학교 이공과대학 환경공학과

Recycling Studies for Swine Manure Slurry Using Multi Process of Aerobic Digestion (MPAD)

Kim, Soo Ryang, Yoon, Seong Ho, Lee, Jun Hee* and Lee, Myung Gyu

Dept. of Environmental Engineering, Sangji University

Summary

This study was carried out to investigate the feasibility of Multi Process of Aerobic Digestion (MPAD) for recycling of swine manure slurry as fertilizer. MPAD consisted of three kinds of difference process which are thermophilic aerobic oxidation(TAO) system, lime solidification system, and reverse osmosis(R/O) membrane system. TAO system was studied well previously for decade. The chemical composition of the lime-treated solid fertilizer was as like that organic matter 17.4%, moisture 34.1%, N 0.9%, P 1.7%, K 0.3%, Ca 12.7%, and which was expected to be useful as acid soil amendmnet material. The concentrated liquid material produced by R/O membrane system was also expected as a good fertilizer for crops production and soil fertility improvement.

(Key words : MPAD, TAO system, Lime Solidification, R/O Membrane, Liquid fertilizer)

서 론

과거 축산업은 경작농업에서 노동력 확보를 위한 보조수단과 농가부업 형태로 이루어져 왔으며, 발생 분뇨도 농경지에 환원되어 별다른 환경오염 없이 비료자원으로 활용되어 왔다. 그러나 정부의 축산진흥 정책과 국민 소득 증가로 육류 및 유제품에 대한 소비가 꾸준히 늘면서 1990년 이후 가축사육두수가 급격히 증가하였을 뿐만 아니라 사육규모도 전업화·대규모화 되었다. 점진적인 가축사육 두수의 증가에 따라 가축분뇨는 환경오

염의 주범으로 인식되고 있으며 양돈분뇨는 가축분뇨에 의한 환경오염과 가장 밀접한 환경오염원으로 지목되고 있다.

정부는 가축분뇨처리에 있어서, 정화 방류의 법적규제는 강화하되, 퇴비화, 액비화 방법에는 규제를 완화하고 있어 자원화로 유도하고 있는 실정이다. 가축분뇨는 화학적 특성상 화학비료 대체가 가능하지만, 대부분의 경종농가에서 가축분뇨 발효비료의 불신으로 분뇨자원화 이용에 걸림돌이 되고 있다.¹⁾

한편, 그동안 석회는 토양개량재로 30여년간 투입되었음에도 불구하고 많은 농경지

* 일본 치바대학 도시환경시스템공학과(Dept. of Architecture and Urban Science, Chiba University, Japan)
Corresponding author : Lee, Myung Gyu, Department of Environmental Engineering, Sangji University, #660
Woosan-dong, Wonju-si, Gangwon-do 220-702 Korea. E-mail : mglee@sangji.ac.kr
2009년 6월 24일 투고, 2009년 7월 7일 심사완료, 2009년 7월 9일 게재확정

가 산성토양으로 남아있는 것이 우리의 현실이다. 산성토양의 pH를 증가시켜 토양산도를 감소시키는 방법은 석회물질을 이용하는 것이 가장 일반적인 방법이며, 석회 등의 사용으로 적절히 조절된 토양의 pH는 토양 비옥도의 관리, 토양 양분의 유효효과 증가, 토양생물의 활성도 증가 등에 많은 도움을 준다. 최근에는 기술의 발전으로 가축분뇨를 이용한 퇴·액비에 석회를 혼합하여 토양에 시비하는 방법도 늘어나고 있다.²⁾

이에 본 연구는 양돈분뇨의 효율적인 자원화를 위해 3가지의 생물, 화학, 물리적 공정을 단락적으로 연계하여 각 공정별로 자원화할 수 있도록 한 다중 분획 자원화 공정 기술을 개발하고 이를 현장 적용하였으며 공정별로 생산된 생산물의 비료이용 가능성에 대해 검토하였다.

재료 및 방법

1. 시 료

본 연구에 사용되어진 가축분뇨는 강원도 W시에 위치한 양돈농장에서 수거 하였으며 원수의 평균 성상은 pH 7.1, 총고형물 함량 (Total solid, TS) 5.1%, 평균 BOD₅ 34,540 mg/L과 COD_{Mn} 25,877 mg/L, SS 40,927 mg/L, T-N 4,864 mg/L, T-P 1,082 mg/L, 대장균 47,837개수/ml로 공공처리장에 유입되는 농도보다 비교적 높게 나타났다 (Table 1).

2. 실험장치

1) 고온호기발효장치

협잡물 제거기에서 축산폐수 내 조입자, Grift 제거를 실시하고, 유입유량의 변동, 기기 보수 등을 위하여 저류조를 설치하여 유입하는 축산폐수의 유량과 수질을 균등화함

Table 1. The Bio-chemical characteristics of swine manure slurry.

Item	Conc.
pH	7.1
TS (%)	5.1
BOD ₅ (mg/L)	34,540
COD _{Mn} (mg/L)	25,877
SS (mg/L)	40,927
T-N (mg/L)	4,864
T-P (mg/L)	1,082
E. coli (CFU/ml)	47,837

으로서 처리효율을 높이고 처리수질의 향상을 도모하였다. 분뇨 저장조에 저장되어 있는 가축분뇨를 전처리 없이 이송펌프를 통해 생물학적 처리공정인 고온호기 발효장치에 투입하였으며, 강력한 혼합과 폭기를 동시에 수행하여 고온미생물에 의한 자가 발열 반응이 일어나도록 유도하였다.^{6,7,8)}

2) 석회고형화장치

가축분뇨 내에 함유되어 있는 고농도의 부유물질을 고형화 하여 석회처리 고형물을 생산하기 위한 시설로서 응집시료 조정조, 1차 응집조, 2차 응집조 및 필터프레스로 구성되어 있다.

응집시료 조정조에서는 고온호기 발효액의 알칼리 처리를 위해 소석회를 투입하여 pH를 9.0~12.0으로 상승시켰다. 여기에 철염과 고분자 응집제를 투입하여 플러의 거대화를 유도한 후 필터프레스를 이용하여 응집된 폐수의 고·액을 분리 하였다.⁵⁾

3) 역삼투 막분리 장치(R/O)

역삼투막은 금속염과 같은 용존 고형물을 제거하기 위한 선택적 투과막이며, 전처리 펌프와 삼투압 이상의 압력을 주입하기 위한

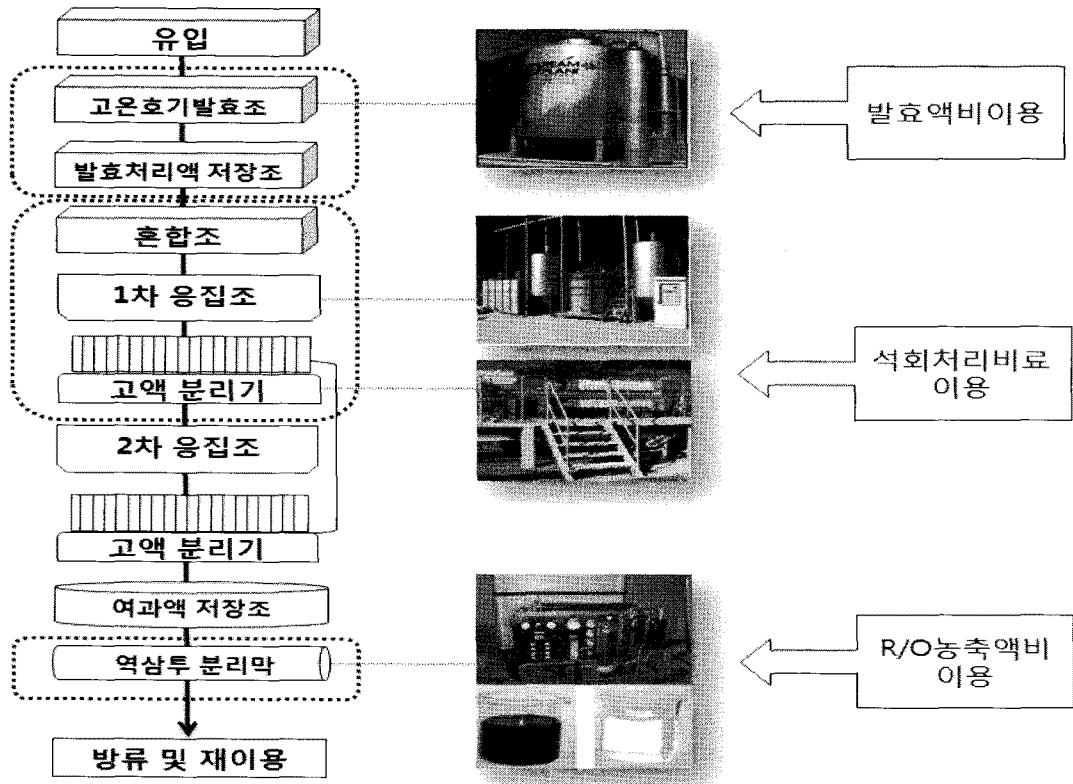


Fig. 1. Scheme of the MPAD system.

고압펌프로 구성되어 있다.⁹⁾

3. 실험 및 분석방법

유입수 및 유출수를 포함하여 슬러지를 분석할 경우 실험항목은 주로 pH, 유기물 (COD_{Mn}, BOD₅), 질소 (T-N), 인 (T-P), 고형물 (SS, TS), 대장균 등으로, 각 공정별 (Fig. 1)로 시료를 채취하여 분석하였다. 대부분의 수질항목 분석은 일반적으로 널리 이용되고 있는 수질 공정 시험법이나 Standard Methods의 규정에 따라 분석하였으며, 고형물은 비료 공정 규격에 명시된 N, P, K, Ca, S, Pb, Cd, Cu, Cr, As, Hg, Ni, Zn 등을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 공정별 농도변화 및 처리효율

유입수의 BOD₅ 농도는 평균 34,540 mg/L 이었고 처리수의 BOD₅ 농도는 15 mg/L로 99.9%의 처리효율을 나타냈다. COD_{Mn}의 유입수질 농도는 25,877 mg/L이며 처리수의 COD_{Mn} 농도는 25 mg/L로 99.9%의 처리효율을 나타내어 대부분의 유기물이 제거되었음을 확인 할 수 있었다. SS의 유입수질 농도는 40,927 mg/L이며 처리수의 SS 농도는 3 mg/L로 99.9%의 처리효율을 나타냈다. T-N의 유입수질 농도는 4,864 mg/L이며 처리수의 T-N 농도는 43 mg/L로 99.1%의 처리효율을 나타내어 대부분의 질소가 제거 되었다. T-P의 유입수질 농도는 1,082 mg/L이며 처리수 농도는 0 mg/L과 99.9%의 처리효율을 나타내어 대부분의 인이 제거됨을 볼 수 있었다. 각 공정별 농도변화 및 처리효율은 (Table 2)에 나타내었다.

Table 2. Bio-chemical concentration in each step of MPAD system

Item	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	<i>E. coli</i> (CFU/ml)
Influent	34,540	25,877	40,927	4,864	1,082	47,837
Fermentation liquid fertilizer	8,286	10,036	38,117	3,846	964	N.D*
Lime solidification (1st)	3,729	5,019	1,042	3,113	29	—
Lime solidification (2nd)	1,119	2,510	150	2,959	7	—
R/O concentration liquid fertilizer	4,121	5,268	255	5,261	16	—
Discharged water	15	25	3	43	0	—
Efficiency(%)	99.9	99.9	99.9	99.1	99.9	100

*N.D : Not Detected.

2. 고온호기발효장치에서 처리된 발효액비의 성상

생물학적 처리공정인 고온호기발효장치에서는 자가 발열에 의한 고온의 유지로 병원성 미생물이 대부분 사멸되고, 고온미생물에 의한 유기물의 제거 및 단백질성분의 분해에 의한 암모니아의 발생으로 인해 pH가 상승하게 되며, 고온에서의 pH 상승으로 암모니아 탈기에 의해 질소가 제거되는 과정을 거치게 된다.^{4,10)} 처리한 발효액비의 주요 중금속 농도는 (Table 3)에 나타나 있다.

Table 3. Heavy Metal concentration in each liquid fertilizer MPAD system

Item (mg/kg)	Fermentation liquid fertilizer	R/O concentration liquid fertilizer
Pb	0.2	N.D
Cd	0.03	N.D
Cu	41.4	9.9
Cr	0.3	0.1
As	0.1	0.014
Hg	N.D	N.D
Ni	N.D	N.D
Zn	95.9	2.4

3. 석회고형화장치에서 처리된 고형물의 성상

Table 4는 1차 응집과 2차 응집을 거쳐 생산된 고형물의 성상 분석이다. 결과에서 알 수 있듯이 각 중금속의 농도가 Pb 21.6 mg/kg,

Table 4. Physico-chemical characteristics of Lime-treated solid fertilizer

Item	Lime tretment solid
pH	9.6
Organic matter (%)	17.4
Moisture (%)	34.1
N (%)	0.8
P (%)	1.7
K (%)	0.3
Ca (%)	12.7
S (%)	0.3
Pb (mg/kg)	21.6
Cd (mg/kg)	0.9
Cu (mg/kg)	227.6
Cr (mg/kg)	17
As (mg/kg)	N.D
Hg (mg/kg)	N.D
Ni (mg/kg)	12.1
Zn (mg/kg)	541.5

Cd 0.9 mg/kg, Cu 227.6 mg/kg, Cr 17 mg/kg, As 불검출, Hg 불검출, Ni 12.1 mg/kg, Zn 541.5 mg/kg로 Cu와 Zn이 다소 높게 나타났으며, 유기물 17.4%과 N 0.8%, P 1.7%, K 0.3%로 비료 성분을 포함하고 있어 비료에 적합한 고형물이 성형된 것을 볼 수 있다. 또한 수분 34.1%로 많은 양이 아니기 때문에 따로 수분조절제가 필요하지 않을 것으로 판단된다.

4. 막분리공정에서 처리된 R/O 농축액비의 성상

공정의 마지막 단계인 역삼투막 분리장치를 통해 배출된 R/O 농축액비의 주요 중금속 농도는 (Table 3)에 나타나있다. 역삼투막은 금속염과 같은 용존 고형물을 제거하기 위한 선택적 투과막이다. 장치는 전처리 펌프와 삼투압 이상의 압력을 주입하기 위한 고압 펌프로 구성되며, 압력펌프를 가동시켜 처리수와 농축수로 분리되는 과정을 거치게 된다.

5. 역삼투 막분리 처리수 농도 분석

고온호기발효와 석회고형화 및 역삼투 막분리 공정을 통한 가축분뇨의 자원화과정에서 발효액비, 석회처리고형물 및 농축액비가 생산되며, 처리수가 발생한다. 이때 발생하는 처리수를 공공처리장의 폐수방류기준에 준하여 분석하였다. 방류수 수질기준에는 BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, 대장균을 측정하도록 되어 있으며, 생성된 방류수의 평균 농도는 각각 BOD₅ 15 mg/L, COD_{Mn} 25 mg/L, SS 3 mg/L, T-N 43 mg/L, T-P 0 mg/L, 대장균 불검출로 수질기준인 BOD₅ 30 mg/L, COD_{Mn} 50 mg/L, SS 30 mg/L, T-N 60 mg/L, T-P 8 mg/L 이하로 수질기준에 적합하여 하수연계를 하거나 혹은 중수도로 재이용도 가능할 것으로 사료된다.

결 론

생물학적 처리공정인 고온호기액상발효 장치와 화학적 응집공정인 석회처리 장치와 물리적 정제공정인 역삼투막분리 장치가 연계된 다중분획자원화(MPAD: Multi Process Aerobic Digestion) 공정으로 양돈분뇨 처리하여 각 공정별로 발효액비, 유기석회비료, R/O 농축액비를 생산하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 고온호기액상발효 장치에서 생산된 발효액비의 농도는 BOD₅ 8,286 mg/L, COD_{Mn} 10,036 mg/L, SS 38,117 mg/L, T-N 3,846 mg/L, T-P 964 mg/L, 대장균 불검출로 나타났다.

2. 석회처리장치에서 생산된 석회처리고형물의 성상은 유기물 17.4%, 수분 34.1%, Ca 12.7% Pb 21.6 mg/kg, Cd 0.9 mg/kg, Cu 227.6 mg/kg, Cr 17 mg/kg, As 불검출, Hg 불검출, Ni 12.1 mg/kg, Zn 541.5 mg/kg으로 Cu와 Zn이 비교적 높게 나왔지만 비료공정 규격의 300 mg/kg과 900 mg/kg의 기준치 이하이고 그 외의 중금속 농도 역시 기준치 이하였으며 유기물과 N, P, K의 비료 성분을 충분히 포함하고 있어 비료에 적합한 고형물이 생산되었다. 또한 수분 34.1%로 이 양은 자연 건조가 가능하여 따로 수분 조절제가 필요 없을 것으로 사료된다.³⁾

3. 역삼투막분리 장치에서 생산된 R/O 농축액비의 농도는 BOD₅ 4,121 mg/L, COD_{Mn} 5,268 mg/L, SS 255 mg/L, T-N 5,261 mg/L, T-P 16 mg/L, 대장균은 검출되지 않았다. R/O 농축액비는 지역적 환경과 작물 생육에 조건에 따라 맞춤형 액비로서의 가능성이 기대된다.

4. 역삼투막분리 장치를 거쳐 생성된 방류수의 평균 농도는 각각 BOD₅ 15 mg/L, COD_{Mn} 25 mg/L, SS 3 mg/L, T-N 43 mg/L, T-P 0 mg/L, 대장균 불검출로 수질 기준인 BOD₅ 30 mg/L, COD_{Mn} 50 mg/L, SS 30 mg/L, T-N 60 mg/L, T-P 8 mg/L 이하로 수질기준에 적합하게 만족하고 있어 하수연계를 하거나 혹은 중수도로 재이용 가능하다는 것을 볼 수 있다.

요 약

인 용 문 헌

본 연구는 양돈분뇨를 이용하여 생물, 화학, 물리적 공정을 연계하여 각 공정별로 자원화 할 수 있도록 다중 분획 자원화 공정 (MPAD) 기술을 개발하고 이를 현장 적용하였으며 공정별로 생산된 생산물의 비료이용 가능성에 대해 검토하였다. 특히 석회고형화 장치에서 생산된 석회처리고형물의 생산공정을 통해 자원순환형 토양개량재로서의 가능성을 살펴볼 수 있었다.

우리나라의 토양은 강원도의 영월, 정선, 충청북도의 단양, 경상북도의 문경 지역 등 일부 석회암지대를 제외하면 거의 모든 토양이 산성토양이다.¹⁴⁾ 또한, 광산활동을 하고 있는 지역에서는 그 특성상 광미나 산성광산 폐수 등으로 인해 토양산성화 등의 오염이 여타지역과 비교해 매우 심각하게 발생하고 있는 실정이다. 산성폐수나 침출수를 처리할 때에는 일반적으로 중화법이 널리 사용되고 있다. 이를 위해 석회질의 alkalinity가 높은 화합물이 사용되고 있는 것으로 알려져 있으며, 산림복원이나 토양개량의 경우에도 복토재나 비료에 석회처리를 하여 오염토양을 복원하는 방법을 사용하고 있다.^{11,12,13)}

석회처리고형물은 기존의 일반 퇴비에 비해 유기물과 다량의 석회질이 포함되어 있고, 다양한 크기의 펠렛으로 생산 할 수 있다.⁵⁾ 따라서 훨씬 고품질의 퇴비를 경지에 환원할 수 있을 뿐만 아니라, 산성오염 토양 및 광해지역에서의 토양개량재로서도 그 가능성이 기대된다.

사 사

본 연구는 2005년도 상지대학교 교내 연구비 지원으로 이루어진 것으로서 이에 감사드립니다.

1. 이수경. 2003. 가축 분뇨의 친환경자원화 연구. 상지대학교 석사학위 논문.
2. 이준희. 2006. 가축분뇨 발효액을 이용한 유기석회비료 생산 통합 공정기술 적용 연구. 상지대학교 석사학위논문.
3. 중소기업청. 2006. 가축분뇨 발효액을 이용한 고품질 유기 비료 생산 기술개발, 중소기업기술혁신개발사업 보고서
4. 이원일, Tsujii, Hirotsada, 이명규. 2004. 고온호기산화장치의 고온미생물 첨가에 의한 병원성 미생물의 불활성화, 축산시설환경학회지. 10(2):111-118.
5. 이원일, Tsujii, Hirotsada, 이명규. 2004. 고온호기성 산화시스템의 슬러지로부터 펠렛 비료의 생산과 Chinese cabbage의 생육 및 토양특성에 대한 영향. 축산시설환경학회지 10(2):101-110.
6. 이원일, 이명규, 2000. 급속액상부숙기술을 이용한 가축분뇨 슬러리의 질소, 인 저감 기술. 축산시설환경학회지 6(3):185-190.
7. 이원일, 이명규. 2000 급속액상부숙 기술을 이용한 양돈분뇨의 연속 처리. 축산시설환경학회지 6(3):169-174.
8. 이명규, 이원일. 축산분뇨 처리에 적용된 급속액상부숙기술의 운전특성과 운전조건. 2000. 축산시설환경학회지 6(3):161-168.
9. 황명구, 차기철, 이명규. 2000. 축분액비의 고액분리에 있어서 분리막의 투과 특성. 축산시설환경학회지 6(3):175-184.
10. 이명규, 허재숙, 태민호, 정진영, 권오중. 1999. 고온호기산화법으로 처리된 양돈분뇨 배출액의 무취화 관리방안에 관한 기초 연구. 축산시설환경학회지 5(2):123-132.
11. 최지용. 2004. 부산석회를 활용한 휴·폐 석탄광산 폐기물의 안정화 및 식생복원. 강원대 대학원 박사학위논문
12. 고일원, 김주용, 김경웅 2006. 광해방지 및 복구기술의 현황. 한국지반환경공학회. 7(3):49~53.
13. 최정찬. 2007. 인회석을 이용한 광해방지 기술연구, 대한지질공학회 2007년도 지질공학 Workshop 발표논문집, pp. 2-12
14. 오왕근. 1994. 흙은 살아있다, 한림저널사.