

구제역 긴급행동지침(SOP)상의 화학처리방법으로 처리된 양돈분뇨의 고온호기산화공정 적용 연구

김하제¹ · 김수량² · 홍인기¹ · 전상준¹ · 김초롱¹ · 정광화³ · 한 호⁴ · 김동균² · 이명규^{1*}
¹상지대학교 환경공학과, ²상지대학교 동물자원학과, ³농촌진흥청 국립축산과학원,
⁴(주)엠에이치

The Effect of NaOH treatment-Citric acid neutralization of Korean Standard Operating Procedure (SOP) on Physicochemical Compositions of Domestic Swine Excrement for the Connection to Thermophilic Aerobic Oxidation (TAO)

Ha-Je Kim¹, Soo-Ryang Kim², In-Gi Hong¹, Sang-Jun Jeon¹, Cho-Rong Kim¹,
 Gwang-Hwa Jung³, Ho Han⁴, Dong-kyun Kim², Myung-Gyu Lee^{1*}

¹Dept. of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea, ²Dept. of Animal Life Resource, Sangji University, Wonju 220-702, Korea, ³National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 441-706, Korea, ⁴MH Co., LTD. Wonju 220-702, Korea

ABSTRACT

We planned to study how the chemical disposal designed by SOP can affect on physicochemical compositions of the livestock excrement. According to Livestock Manure Management Scheme, we experimented in two steps; the first step, NaOH treatment-Citric acid neutralization, and then the second procedure, Thermophilic Aerobic Oxidation (TAO) system. Physicochemical compositions of the 3-days-old samples after NaOH treatment were pH 10.31, EC 24.54 mS/cm, SCOD 3,022 mg/L, T-N 4,315 mg/L, NH₄⁺-N 1,960 mg/L, and not detected *E. coli*. And those of one-day-old samples after citric acid neutralization were pH 7.36, EC 32.89 mS/cm, SCOD_{Mn} 12,733 mg/L, T-N 4,787 mg/L, NH₄⁺-N 2,450 mg/L, and *E. coli* not detected. In contrast, the physicochemical compositions of the treatment plots after the second treatment with TAO system (72hr) were pH 9.42 EC 24.21 mS/cm, SCOD_{Mn} 3,660 mg/L, T-N 3,616 mg/L, NH₄⁺-N 1,190 mg/L, and no detection of *E. coli*.

(Key words : Swine Manure, Foot and Mouth Disease, FMD SOP (Standard Operating Procedure, Korea), Alkaline Treatment, Thermophilic Aerobic Oxidation system

*Corresponding author : Myung-Gyu Lee, Dept. of Environmental Engineering, Sangji University, Woosandong, Wonju 220-702, Korea.

Tel: +82-33-730-0443, E-mail: mglee@sangji.ac.kr

2013년 10월 24일 투고, 2013년 12월 15일 심사완료, 2013년 12월 18일 게재확정

서 론

양돈업의 밀집형 사육추세는 최근 몇 년 동안 매우 크게 증가하였다(Zhu, 2000). 일반적으로 양돈분뇨는 부유물질과 유기물질, 생물학적산소요구량(BOD), 인과 질소성분 및 미생물군의 농도가 높은 것이 특징이며(Pamela et al., 2011), 분과 뇨 및 세정수를 통해 소화되지 않은 유기물질과 항생제 잔류물질 등을 포함하여 배출된다(Girard et al., 2009). 양돈분뇨로 인한 환경문제는 수질오염은 물론 분뇨 속에 존재하는 *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Salmonella* 등의 병원성세균으로 인한 공중위생을 포함한다(McLaughlin et al., 2009).

지난 2010년에 11개 시·도, 76개 시·군, 3,748 농가에서 발생한 구제역(Foot and Mouth Disease, FMD)으로 최종적으로 약 350만 두의 가축을 매몰 처분하여 그 침출수로 인해 토양오염, 지하수 및 하천오염 등 많은 환경오염을 가져온 것은 전형적인 증폭된 환경재난의 성격을 띠고 있다(Hong et al., 2012). 이와 같은 전염성 가축질병은 밀집형 축산업에 막대한 경제적 피해를 끼치는 것은 물론이며, 병원성미생물 등으로 오염된 가축분뇨로 인한 토양과 주변수역 등 2차 오염에 대한 위험성을 잠재하고 있다. 이와 같이 구제역 등과 같은 긴급한 상황에서의 가축분뇨 처리는 고농도의 오염물질을 단기간에 저감시킬 수 있어야 하며, 수의방역적 측면을 철저히 고려한 처리기술 개발이 시급한 실정이다.

구제역은 가축전염병 중에서 가장 전염력이 강한 질병의 하나로 국제수역사무국(Office International des Epizooties, OIE)에서는 A급 질병으로 분류, 관리하고 있다(Kang et al., 2012; Kim et al., 2001; OIE). 구제역은 외피

막이 없는 RNA 바이러스의 일종인 Picimaviridae Aphtho virus에 의해 전염된다. P. Aphtho virus는 상온은 물론, 온도 4°C 이하, pH 6.7 이하 또는 pH 9.5 이상에서도 생존 가능한 것으로 알려져 있다. 그러나 상대습도 60% 이하에서는 생존력이 떨어지며, pH 5.0 이하 또는 pH 11 이상이거나, 온도 56°C에서 30분 처리 시 사멸하는 것으로 알려져 있다. 또한 pH 7.5인 중성부근에서도 처리온도가 61°C에서는 단 몇 초 만에 불활성화 되는 것으로 보고되고 있다(Bachrach et al., 1957; George, 1960).

현재 국내 구제역으로 오염된 가축분뇨처리하는 구제역 긴급행동 지침(SOP)상 분뇨에 알칼리제를 사용하여 pH 10 이상 되도록 소독 처리하여 23일간 격리시킨 후, 산성제를 이용하여 pH 6-8로 중화하여 가축분뇨 처리요령에 따라 처리해야 한다.

Table 1에는 구제역 긴급행동 지침(SOP)에 제시된 구제역 발생농장의 액상분뇨 소독 및 중화처리 요령을 정리하여 나타내었다. 본 연구에서는 구제역 긴급행동 지침(SOP) 상의 화학적 소독처리가 양돈분뇨의 이화학적 성상에 미치는 영향을 알아보고, 액비화 및 정화처리 등을 고려한 2차 처리로서의 고온호기산화공정 적용 가능성에 대해 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

연구에 사용된 양돈분뇨 슬러리는 강원도 원주시에 소재한 가축분뇨 공공처리장에서 수집하였다. ‘구제역 긴급행동지침(SOP)’ 상의 화학적 소독처리를 위해 알칼리시약은 가성소다(Sodium Hydroxide, NaOH 97.0%, Total Nitrogen 0.002%), 산성시약은 구연산(Citric

Table 1. Liquid Manure Disinfection and Neutralization Treatment Measures Suggested in Foot-and-Mouth Disease SOP for Foot-and-Mouth Disease Occured Farms.

Item	Disinfection and Neutralization Agents	Disinfectant Application Amount per Each 1 Ton of Manure [†]	pH Range	Treatment Period
Alkaline treatment	NaOH, 98%	5 kg/ton	pH 10 or higher	2~3 days
	CaO, 85%	11 kg/ton	pH 10 or higher	2~3 days
Neutralization treatment [‡]	Citric acid, 94%	5 kg/ton	pH 6~8	—

[†] The disinfectant application amount should be adjusted according to the characteristics of manure.

[‡] The neutralized liquid or solid manure may be processed for liquid fertilizers, composts or others consignments. However, the process criteria according to ‘the Law on Management and Use of Livestock Manures’ should be complied during the process.

Acid, C₆H₈O₇, 99.5%)을 사용하였다. 시료의 소독처리 시 알칼리시약의 선정은 선행연구의 결과를 통해 얻어진 시약의 취급요령 및 처리특성 고려하여 결정하였다 (Kim et al., 2012).

이상이 되도록 조정하고 500 rpm으로 72시간 교반처리를 하였다 (Fig. 1). 이후 시료가 pH 7 부근이 되도록 구연산으로 중화처리 한 뒤 24시간 상온·정치하여 각 처리에 따른 시료의 이화학적 정상변화를 분석하였다.

2. 가성소다 알칼리처리 - 구연산 중화처리 (SOP 소독처리)

3. SOP 소독처리 후 고온호기산화공정 (TAO system) 연계처리

교반용 저류조에 양돈 슬러리 시료 120 L 를 투입한 후, 가성소다를 이용하여 pH 10

고온호기산화 (Thermophilic Aerobic Oxidation: TAO)법은 외부의 열원 공급없이 호기적 조



Fig. 1. Agitated storage tank (Left), TAO system (Right) for use in research.

건에서 고온을 유지하여 가축분뇨와 같은 유기성물질을 단기간에 부숙시키고, 이용성과 안전성이 확보된 발효액을 생산할 수 있는 기술이다 (환경부, 2004). 구연산으로 중화처리 된 양돈슬러리 시료를 규격 640 mm(D) × 1,600 mm(H)의 Lab-Scale TAO reactor에 약 100 L 투입하여 72시간 처리하였다 (Fig. 1). 이후 시간경과에 따른 TAO Reactor 내부 온도 변화 및 시료의 이화학적 성상을 분석하고, SOP 소독처리 된 양돈분뇨의 TAO system 적용 가능성에 대해 검토하였다.

4. 분석방법

처리과정 중 시료는 각 처리구 별로 24시간으로 구분하여 채취하였으며, 채취된 시료는 채취 즉시 실험실로 이송하여 분석을 실시하였다. 시료의 pH, 전기전도도 (Electrical Conductivity, EC)는 수질 다항목측정기 (Multi Sensor Meter, YSI-556 MPS, USA)를 이용하여 측정하였다. 수용성화학적산소요구량 (Soluble Chemical Oxygen Demand, SCOD_{Mn}), 총질소

(Total Nitrogen, T-N)는 Standard method (AHPA, 1989)에 따라 분석하였으며, 총질소 분석은 흡광광도법 (OPTIZEN POP, Mecasys, Korea)을 이용하였다. SCOD_{Mn} 분석의 경우 시료를 원심분리관에 20 ml 분취하고, 10,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액을 이용하여 분석하였다. 암모니아성질소 (Ammonia Nitrogen, NH₄⁺-N)는 일본하수시험방법 (下水試驗方法, 1984)에 따라 분석하였으며, 총대장균 (Escherichia coli, *E. coli*)의 분석은 건조 필름법 (Petrifilm, 3M, USA)을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. SOP 소독처리에 따른 양돈분뇨 슬러리의 이화학적 성상변화

SOP 소독처리 후 처리시간에 따른 양돈슬러리의 이화학적 성상변화는 Table 2에 나타내었다. 양돈슬러리의 가성소다 알칼리처리 시 pH는 시간이 경과함에 따라 다소 감소하는 경향이 있으나 pH 10 이상을 유지하여,

Table 2. Caustic alkali treatment-After acid neutralization and physicochemical changes of pig slurry.

Item	Pig slurry	Caustic alkali treatment 24hr	Caustic alkali treatment 48hr	Caustic alkali treatment 72hr	Acid neutralization 24hr
pH	7.55	10.40	10.34	10.31	7.36
EC (mS/cm)	23.53	24.82	24.07	24.54	32.89
ORP (mV)	-303.4	-402.8	-378.0	-379.3	-243.8
SCOD _{MN} (mg/L)	2,461	2,889	2,956	3,022	12,733
T-N (mg/L)	5,466	4,619	4,461	4,315	4,787
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	2,469	2,310	2,240	1,960	2,450
<i>E. coli.</i> (CFU/mL)	2.2×10 ⁴	ND*	ND	ND	ND

* ND: Not Detected.

구제역 SOP상의 pH 조건을 만족하였다. EC의 경우 가성소다 알칼리처리 시 큰 변화는 없었으나, 구연산 중화 처리시에 23.53에서 32.89 mS/cm로 증가하는 경향을 나타냈다.

특히 SCOD_{Mn} 경우 2,461에서 12,733 mg/L로 크게 증가하였는데, 이는 구연산에 의한 화학적 영향인 것으로 사료되며, Hwang (2008)의 보고와 같이 알칼리 전처리에 의한 유기물 분해도가 높아지는 것과 같은 현상으로 해석된다.

*E. coli*의 경우 초기 2.2×10^4 CFU/mL에서 가성소다 알칼리처리 및 구연산 중화처리 후 각각 불검출로 나타났다. 이와 같이 알칼리 처리는 가축분뇨의 병원균을 제거하는데 매우 효과적인 것으로 잘 알려져 있다. 그러나 높은 pH 영역에서의 처리로 인해 발생하는 암모니아 탈기현상은 이에 수반한 환경문제를 고려해야 한다는 단점이 있다 (Vanotti et al., 2005). 일반적으로 질소는 낮은 pH에서는 대부분 NH_4^+ 의 형태로 존재하는데 반해 pH 10 이상에서는 대부분이 NH_3 (aqua) 형태로 존재한다. 이 때 공기와 충분히 접촉시키면 NH_3 는 대기 중으로 방출된다 (Sedlak, 1991). 가성소다 알칼리처리 시 시료의 NH_4^+ -N 농

도는 2,469 mg/L에서 72 hr 경과 후 1,960 mg/L로 감소하였는데, 이러한 결과는 알칼리 처리에 따른 암모니아의 탈기로 인한 기작으로 사료된다.

2. SOP 소독처리 후 TAO system 연계처리에 따른 양돈분뇨 슬러리의 이화학적 성상변화

SOP 소독처리 한 시료를 TAO system에 약 100 L 투입하여 72시간 처리하였으며, 이에 따른 양돈분뇨 슬러리의 이화학적 성상변화를 Table 3에 나타내었다.

그 결과 EC의 경우 32.89에서 24.21 mS/cm로 감소하였으며, SCOD_{Mn} 12,733에서 3,660 mg/L로 약 71%가 제거되는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 SOP 소독처리 이후에도 TAO system 처리를 통해 고온호기성미생물에 의한 유기물질 분해과정이 원활하게 이루어지는 것으로 판단된다.

양돈분뇨 슬러리의 TAO system 연계처리에 따라서 pH는 점차 증가하였으며, T-N과 NH_4^+ -N 다소 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 일반적으로 양돈분뇨를 TAO system에

Table 3. Physicochemical changes of TAO system linked process.

Item	Acid neutralization 24hr	TAO system 24 hr	TAO system 48 hr	TAO system 72 hr
pH	7.36	8.47	9.26	9.42
EC (mS/cm)	32.89	29.38	23.12	24.21
ORP (mV)	-243.8	-21.5	-70.9	-22.7
SCOD _{MN} (mg/L)	12,733	8,261	5,679	3,660
T-N (mg/L)	4,787	3,556	3,839	3,616
NH_4^+ -N (mg/L)	2,450	1,750	1,450	1,190
<i>E. coli</i> (CFU/mL)	ND*	ND	ND	ND

* ND: Not Detected.

서 처리하였을 경우 선행연구와 유사한 결과를 나타내고 있다(Kim et al., 2009).

3. SOP 소독처리 후 TAO system 연계처리에 따른 반응기 내·외부의 온도변화

SOP 소독처리 후 TAO system 연계처리에 따른 반응기 내·외부의 온도변화를 관찰하였다. TAO reactor의 내부온도는 반응기를 가동함에 있어 가장 중요한 운영지표이다. TAO reactor 운전 시 핵심인자는 55~65℃의 고온범위 내에서 연속가동 여부이며, 반응기의 온도가 50℃ 이하로 내려가게 되면 병원성 미생물의 사멸을 기대하기 어렵다. TAO system 연계처리 시 반응기의 내부온도는 외부의 열원 공급 없이 처리 후 점점 상승하여 처리 20 hr 이후부터 약 20시간 동안 50℃ 이상 유지되었다. Fig. 2는 SOP 소독처리 후 TAO system 연계처리에 따른 반응기 내·외부의 온도변화를 나타냈다.

이와 같은 결과로 미루어 볼 때 양돈분뇨의 SOP 소독처리 후에도 TAO system 연계처리 시 고온미생물에 의한 활발한 유기물 분해과정이 진행되는 것으로 사료되며, 오염도 저감에 따른 정화처리 및 액비화 이용 증진에 효과적일 것으로 판단된다.

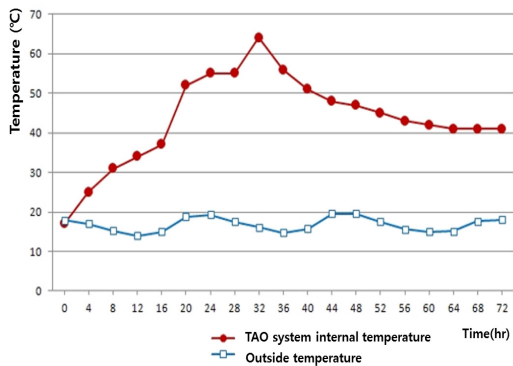


Fig. 2. TAO system internal temperature, outside temperature for linked process.

결 론

본 연구에서는 구제역 긴급행동지침(SOP)상의 화학적 소독처리가 양돈분뇨의 이화학적 성상에 미치는 영향을 알아보고, 액비화 및 정화처리 등을 고려한 2차 처리로서의 고온호기산화공정(TAO system) 적용 가능성에 대해 검토하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 구제역 SOP에 따른 양돈슬러리의 가성소다 알칼리처리(구제역 SOP 소독처리) 시 pH는 시간이 경과함에 따라 다소 감소하는 경향이 있으나 pH 10 이상을 유지하여, 구제역 SOP상의 pH 조건을 만족하였다.

둘째, 양돈분뇨 슬러리의 가성소다 알칼리처리 후 구연산 중화처리 시 EC는 23.53에서 32.89 mS/cm로 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 SCOD_{Mn} 경우 2,461에서 12,733 mg/L로 크게 증가하였다. *E. coli*는 초기 2.2×10⁴ CFU/mL에서 처리 후 불검출로 나타났다.

셋째, SOP 소독처리 후 고온호기산화공정(TAO system) 연계처리 시 EC와 SCOD_{Mn}의 농도는 각각 32.89에서 22.21 mS/cm, 12,733에서 3,660 mg/L로 감소하였으며, *E. coli*는 불검출로 나타났다. 또한 TAO system의 내부온도는 외부의 열원공급 없이 처리 후 점점 상승하여 처리 20 hr 이후부터 약 20시간 동안 50℃도 이상을 유지하였다.

구제역과 같은 대규모 가축질병이 발생하였을 시 오염된 가축분뇨는 소독처리 이후 관리방법과 그 절차가 매우 미흡한 실정이다. 분, 초를 다루는 긴급한 상황에서의 가축분뇨 처리는 고농도의 오염물질을 단기간에 저감시킬 수 있어야 하며, 주의방역적 측면을 철저히 고려되어야 한다. 2차 오염을 방지하는 동시에 정화처리 또는 안전한 자원화를 위해서는 향후 SOP 소독처리 및 고온호

기산화공정(TAO system)의 병원성바이러스 불활성화 평가에 대한 실증적인 연구가 필요하다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 ‘병원성바이러스 오염 가축분뇨 처리기술 개발’ (과제번호: PJ008254)과 ‘2013년도 상지대학교 교내 연구비 지원’ 및 환경부의 ‘지식기반 환경서비스(폐자원에너지화) 전문인력양성사업으로 지원되었음을 알려드리며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. AHPA, AWWA, WPCF., 1989. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 18th Edition.
2. Bachrach, H.L., Breese, S.S., Callis, J.J., Hess, W.R., Patty, R.E., 1957. Inactivation of Foot-and-Mouth Disease Virus by pH and Temperature Changes and by Formaldehyde. *Exp Biol Med.* 95(1), 147- 152.
3. Chelme-Ayala, P., El-Din, M.G., Smith, R., Code, K.R., Leonard, J., 2011. Advanced treatment of liquid swine manure using physico-chemical treatment. *Journal of Hazardous Materials.* 186(2-3), 1632-1638.
4. George T.D., 1960. Effects of Physical Environment on the Virus of Foot-And-Mouth Disease. *Annals of the New York Academy of Sciences.* 83, 706-726.
5. Girard, M., Nikiema, J., Brzezinski, R., Buelna, G., Heitz, M., 2009. A review of the environmental pollution originating from the piggery industry and of the available mitigation technologies: towards the simultaneous biofiltration of swine slurry and methane. *Canadian Journal of Civil Engineering.* 36(22), 1946-1957.
6. Hong, S.M., Ha, D.H., 2012. Broadening Environmental Disaster and Securing Common Site : Focusing on the FMD Case in 2010-2011. *Journal of Governance Studies.* 7(1), 43-65.
7. Hwang, E.J., 2008. Effect of Alkaline Pretreatment on Sludge Aerobic Digestion and Fertilizer Value. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers.* 30(1), 90-96.
8. Kang, M.A., Kim, M.S., Choi, B.W., Sohn, H.Y., 2012. Organic Matter Analysis and Physicochemical Properties of Leachate from a Foot-and-Mouth Disease Landfill Site. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* 40 (2), 128-134.
9. Kim, B.H., Choi, S.H., 2001. Epizootiological Properties of Foot-and-Mouth disease with Special Reference to Prevention and Control of the Outbreaks. *Korean Society for Agricultural Medicine and Community Health.* 26(1), 185-198.
10. Kim, C.L., Kim, S.R., Kim, H.J., Jeon, S.J., Han, H., Kim, D.K, Lee, M.G., 2012. Physicochemical Changes of Swine Manure by the Treatment of Acid and Alkali for Inactivation of Pathogenic Microorganisms. *Journal of livestock housing and environment.* 18(3), 229-234.
11. Kim, S.R., Yoon, S.H., Lee, J.H., Lee, M.G., 2009. Recycling Studies for Swine Manure Slurry Using Multi Process of Aerobic Digestion (MPAD). *Journal of livestock*

- housing and environment. 15(2), 155-160.
12. McLaughlin, M.R., Brooks, J.P., Adeli, A., 2009. Characterization of selected nutrients and bacteria from anaerobic swine manure lagoons on sow, nursery, and finisher farms in the Mid-South USA. *Journal of Environmental Quality*. 38(6), 2422-2430.
13. Office International des Epizooties: OIE (www.oie.int).
14. Sedlak. R.I., 1991. Phosphorus And Nitrogen Removal From Municipal Wastewater Principles And Practice. LEWIS PUBLISHERS2. 37-39.
15. Vanotti, M.B., Millner, P.D., Hunt, P.G., Ellison, A.Q., 2005. Removal of pathogen and indicator microorganisms from liquid swine manure in multi-step biological and chemical treatment. *Bioresource Technology*. 96(2), 209-214.
16. Zhu, J., 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 78, 93-106.