

## 열처리 및 오존산화처리를 이용한 축산폐수처리장 폐활성오니의 재활용

김영기<sup>†</sup> · 남세용\* · 김경섭\*

환경대학교 화학공학과, \*환경공학과  
(2005년 6월 2일 접수, 2005년 11월 24일 채택)

### Reuse of Waste Activated Sludge from Livestock Wastewater Treatment Process using Thermal and Ozone Oxidation Treatment Method

Young-Kee Kim<sup>†</sup>, Se-Yong Nam\*, and Kyung-Sub Kim\*

Department of Chemical Engineering, Hankyong National University, Ansung, Gyunggi-Do 456-749, Korea

\*Department of Environmental Engineering, Hankyong National University, Ansung, Gyunggi-Do 456-749, Korea

(Received June 2, 2005; accepted November 24, 2005)

축산폐수처리과정에서 발생하는 부산물인 폐활성오니를 농업용으로 재활용하기 위하여 유효성분을 분석하고, 재활용을 위한 처리기법으로 열처리와 오존산화처리에 대한 실험을 수행하였다. 폐활성오니의 성분분석 결과로부터 고형분의 질량백분율로 탄소 44.25%, 질소 8.43%, 인 1.35%로 농업용 비료로서의 가치를 확인하였다. 잠재 병원성균의 정량분석결과로부터 적절한 처리방법에 의한 병원성균 비활성화의 필요성을 확인하였다. 열처리방법의 TSS, COD, SCOD, 병원성균 처리효율을 분석하여 최적 운전조건으로 70 °C, 10 min으로 결정하였다. 오존산화 처리후의 TSS, COD, SCOD, 병원성균 처리효율을 분석한 결과 최적 운전조건으로 0.6 L O<sub>3</sub>/L solution · min, 60 min을 결정하였다. 최적 운전조건의 열처리방법과 오존산화방법의 처리효율 비교분석으로 열처리방법의 우수한 병원성균 비활성화 효과와 오존산화방법의 상대적으로 우수한 고형분 감량 및 유기물 용해효과를 검증하였다. 하지만 두 방법이 가지는 단점으로 인하여 폐활성오니 재활용을 위한 효과적 처리를 위해서는 다른 처리방법과의 조합이 바람직하다.

Thermal treatment and ozone oxidation methods were examined to reuse waste activated sludge (WAS) produced from a livestock wastewater treatment plant. Analysis of WAS property was made to study usefulness of the recycled waste as fertilizer. From the results of quantitative analysis, WAS particles were found to be composed of 44.25 wt% carbon, 8.43 wt% nitrogen, and 1.35 wt% phosphorus. It was confirmed that the inactivation of pathogenic microorganism was required from the quantitative analysis of microbes. From the results of TSS, COD, SCOD, and pathogenic microorganism measurement, the optimal operating conditions of thermal treatment and ozone oxidation were determined to be 70, 10 min and 0.6 L O<sub>3</sub>/L solution · min, 60 min, respectively. The optimized thermal treatment and ozone oxidation represented the efficient pathogen inactivation and particle dissolution, respectively. However, the two methods examined were not themselves sufficient but they need to combine with another treatment for the effective reuse of wastes.

**Keywords:** waste activated sludge, thermal treatment, ozone oxidation, reuse, livestock wastewater

## 1. 서 론

대량생산을 기반으로 하는 산업사회의 구조 변화에 따라 오염된 폐수의 발생량도 급격히 증가되어 왔으며, 폐수의 오염물질을 제거하기 위한 폐수처리시설도 급격한 양적, 질적 팽창이 이루어져 왔다. 특히, 국내에서는 식생활 패턴의 변화에 따라 가축의 대량 사육이 본격화됨으로써 발생하는 축산폐수의 양과 처리시설이 급격하게 증가하였다. 축산폐수발생량은 2003년도에 150483 m<sup>3</sup>/일로 오수발생량(14961152 m<sup>3</sup>/일)이나 산업폐수발생량(7972000 m<sup>3</sup>/일)에 비해 매우

적은 양이나 오염부하가 매우 높아 폐수처리를 위한 고도화된 시설이 필요하다[1-3].

축산폐수는 개별적 축산폐수처리시설, 축산폐수공동처리시설 등을 거쳐 처리되고 있으며 처리 후에는 필연적으로 부산물로 이차오염물질인 폐활성오니를 발생시킨다. 축산폐수처리 후 발생되는 폐활성오니는 축산폐수의 특성에 영향을 받아 질소 및 인의 함유량이 매우 높아 재활용을 통하여 천연비료로 농지에 재활용이 가능하다. 하지만 축산분뇨의 농업용 재활용에 대해서는 악비화, 고상퇴비화 등 다양한 연구가 활발히 이루어졌으나[1], 축산폐수처리과정에서 발생된 폐활성오니의 재활용에 대한 연구는 충분히 이루어지지 못하여 폐기물로 해양투기, 매립, 소각 등의 방법에 의해 처리되고 있는 실정이다.

<sup>†</sup> 주 저자(e-mail: kim@hknu.ac.kr)

폐수처리 부산물인 폐활성오니의 처리방법에 대한 연구는 혐기성 소화, 고온호기성 소화, 열에 의한 살균, 소석회 등에 의한 화학적 안정화, 열건조, 열분해, 습식산화, 용해, 마이크로웨이브에 의한 분해, 기계적 분쇄 등에 대하여 수행되어졌다[4-10]. 열처리방법에 대한 연구결과에 의하면 55 ℃ 이상에서 균주의 비활성화가 이루어지며 60 ℃에서 100 ℃까지의 온도상승에 따라 폐활성오니의 분해가 지속적으로 증가함을 보였고[11] 화학적 가수분해방법으로는 NaOH를 이용한 가수분해가 가장 효과적이라는 것이 보고되어 있다[12]. 이러한 연구결과들은 주로 하수처리장의 폐활성오니를 대상으로 수행되었으며 처리의 효율을 높이고 경제성을 강화하기 위한 연구가 주로 이루어졌다. 폐활성오니를 일반폐기물로서 최종적으로 매립, 소각 등의 방법에 의해 처리하는 것은 이차적인 환경적 오염부하를 야기하게 된다. 재자원화를 위한 처리는 오염처리 부산물의 재사용이란 측면에서 매우 바람직한 방법이지만 재자원화에 따른 환경 및 생태학적 영향에 대한 평가와 이를 고려한 처리방법에 대한 고려가 필요하여 이에 대한 연구개발이 필요하다. 특히, 축산폐수처리 후 발생하는 폐활성오니는 하수처리장에서 발생하는 폐활성오니와는 달리 질소와 인의 함량이 높아 비료로서의 필요조건을 갖추고 있으므로 농업용 재활용 가능성이 높아 이를 위한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 축산폐수처리장에서 발생된 폐활성오니의 물리적, 화학적, 생물학적 성상을 파악하여 농업용 재활용을 위한 필요조건을 갖추고 있는지를 검증하고, 이를 재활용하기 위해 생태학적으로 안정화할 수 있는 처리방법으로 물리적, 화학적 처리를 시도하여 각 처리기법의 효과를 비교하고자 한다. 본 연구에서는 처리기법으로 고온의 열처리, 오존을 이용한 산화처리 등에 대한 실험을 수행하였고 각 기법의 효과비교를 통해 최적의 방법을 모색하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험 재료

실험에 사용된 폐활성오니는 충청남도 소재하는 대학 부속 실습 농장(돈 4700두, 육우 100두, 유우 100두 사육)의 개별 축산폐수처리장 활성오니공정의 농축조에서 채취하였으며 성상 분석을 위하여 시차를 두고 5번의 시료를 채취하여 분석에 이용하였다. 폐활성오니의 물리적, 화학적 처리를 위한 시료는 채취후 미생물의 활성억제를 위하여 4 ℃에서 보관하고 사용하였다. 실험에 쓰인 모든 시약은 시약등급을 사용하였다.

### 2.2. 실험 방법

#### 2.2.1. 폐활성오니의 성상분석

시료로 사용한 축산폐수처리장에서 채취한 폐활성오니 시료의 농업용 비료로서의 가치와 유해성분 함유여부를 판단하기 위하여 성상 분석을 수행하였다. 물리적, 화학적 성상을 분석하기 위해서 총부유물질(TSS), 화학적 산소요구량(COD), 용존 화학적 산소요구량(SCOD), 휘발성부유물질(VSS)을 분석하였으며, 폐활성오니를 건조한 고형분에 대해서 elemental analyzer (EA1110, CE Instrument, Italy)를 이용한 유기원소 분석과 ICP-AES (ICPS-1000IV, Shimadzu Co, Japan)를 이용한 무기원소분석을 수행하였다. 생물학적 특성을 분석하기 위해서 Sorbitol Macconkey agar (CM 813, Oxoid Co, UK)를 이용하여 *Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157에 대한 정량적 분석을 수행하였고, desoxycholate citrate agar 배양을 통하여 *Salmonella* sp, *Shigella* sp의 정량분석을 수행하였다. 폐수처리장의 운전상황에 따라 차이를

보일 수 있는 폐활성오니의 성상을 정확히 분석하기 위하여 폐활성오니 시료는 5회 채취하여 분석하였다.

#### 2.2.2. 고온 열처리방법

폐활성오니의 열처리를 위한 최적온도를 결정하기 위하여 대표적 미생물군별 비활성화온도를 고려하여 50 ℃, 70 ℃, 90 ℃의 온도조건에서 실험을 수행하였으며, 시료 300 mL를 넣은 비커를 항온수조(90 ℃의 oil bath)에 충분히 잠기도록 장치하고 시료내 온도의 균일성을 위하여 교반기를 사용하였다. 분석을 위한 시료 채취는 처리전, 후에 실시하였으며 실험결과의 오차를 방지하기 위하여 동일실험을 3회 반복하여 평균값을 취하였다. 각 처리온도별로 최적 처리시간을 결정하기 위하여 10 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h의 처리시간으로 각각 실험하였다.

#### 2.2.3. 오존산화처리방법

폐활성오니를 무해화하기 위한 오존산화처리의 운전변수를 최적화하기 위하여 오존투입량, 처리시간을 변화시키며 실험을 수행하였다. 오존투입량은 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 L O<sub>3</sub>/L solution · min을(이후 L/L · min을 사용함) 사용하여 폐활성오니 감량 및 용해와 병원성균의 비활성화 효과를 분석하였다. 폐활성오니의 처리시간은 30~180 min의 범위에서 최적의 처리시간을 도출하였다. 오존기체의 폐활성오니 용액으로의 분산을 위해 gas dispersion tube (12 mm o.d. fritted cylinder, 250 L × 8 mm diam. tube, porosity 40~60 μm, Corning, USA)를 사용하였으며 magnetic stirrer를 이용한 250 rpm의 지속적인 교반을 병행하였다. 이상의 실험은 오차를 최소화하기 위하여 동일조건에서 3회 반복한 결과를 평균하여 최적 운전조건을 결정하였다.

#### 2.2.4. 처리효율 분석

열처리 및 오존산화처리에 따른 폐활성오니 감량 및 안정화 정도 파악을 위한 처리효율 분석은 열처리의 경우 TSS, COD, SCOD, *Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157, *Salmonella* sp., *Shigella* sp.를 정량분석하여 고형분의 감량, 유기물의 용존 특성, 잠재 병원성균의 비활성화 효과 등을 비교하였다. 오존산화처리에서는 고형분의 감량 효과와 잠재 병원성균의 비활성화 효과를 비교하기 위하여 *Escherichia coli* O157을 제외한 동일한 분석을 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 폐활성오니의 물리적, 화학적, 생물학적 성상

폐활성오니의 농업용 비료로서의 가능성과 환경생태적 안전성을 검증하기 위하여 유기원소 분석, 무기원소분석, TSS, VSS, COD, SCOD, 잠재 병원성균 정량분석 등을 수행하였다.

폐활성오니는 농촌진흥청의 비료공정규격에 따라 사전분석 검토 후 부산물비료(퇴비)로 사용할 수 있다[13]. 부산물비료 중 퇴비로 사용되기 위해서 갖추어야 할 조건으로는 25% 이상의 유기물 함유량, 유기물대 질소의 비 50 이하, 염분 1.0% 이하, 수분 50% 이하, 그리고 비소, 카드뮴, 수은, 납, 크롬, 구리, 아연, 니켈, 아연에 대한 최대허용량 규정이 있다. Table 1의 유기 및 무기 원소분석결과를 보면 폐활성오니의 고형분은 질량백분율로 탄소 44.25%, 질소 8.43%, 인 1.35%로 유기물 함유량 및 유기물대 질소비를 만족하는 것을 알 수 있다. 또한 염분(NaCl)의 수치도 기준이하로 나타나며, 무기원소 분석 결과로부터 기타 유해성분에 대한 규정도 만족시킴을 확인할 수 있다. 다만 본

**Table 1. The Elemental Composition of Raw Waste Activat Sludge**

Elements	C	H	N	S	Na	Mg	Al
Composition (wt%)	44.25 (±0.99)	6.59 (±0.12)	8.43 (±0.25)	1.02 (±0.08)	0.33 (±0.13)	0.33 (±0.05)	0.12 (±0.01)
Elements	P	K	Ca	Fe	Cr	Pb	Cd
Composition (wt%)	1.35 (±0.09)	1.65 (±0.80)	1.32 (±0.15)	0.23 (±0.03)	nd*	nd*	nd*

( ) represents standard deviation.

\* nd: not detected.

**Table 2. Physical and Chemical Properties of Raw Waste Activated Sludge**

Properties	TSS	VSS	COD	SCOD
Concentration (mg/L)	10150±1819	9120±1698	18600±2698	4503±1765

Values are the average of 5 samples and standard deviations.

**Table 3. Quantitative Analysis of Pathogenic Microorganisms Raw Waste Activated Sludge**

Microorganism	<i>E. coli</i>	<i>E. coli</i> O157	<i>Salmonella</i> sp.	<i>Shigella</i> sp.
Concentration (CFU/mL)	65360±21740	43±47	240±151	71±47

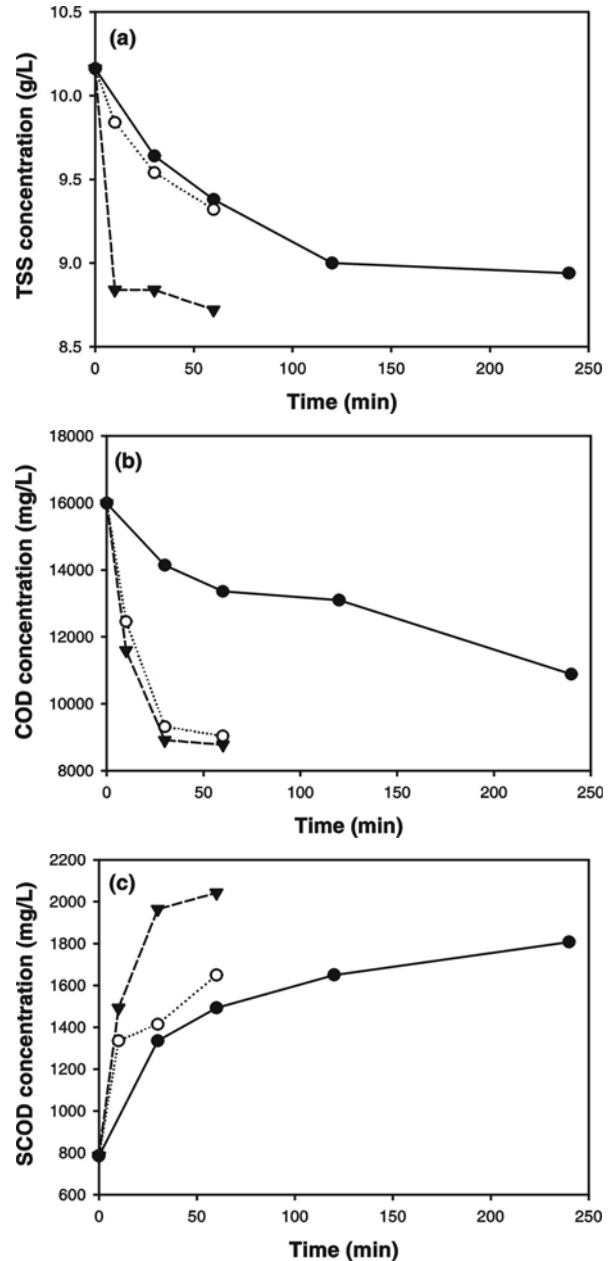
Values are the average of 5 samples and standard deviations.

연구에서 다룬 폐활성오니 상태로는 수분 50% 이하의 조건을 충족시킬 수는 없으며 이를 위해서는 탈수, 건조 등의 추가적인 조치가 필요할 것이다. Table 2에는 TSS, VSS, COD, SCOD 등 일반적인 활성오니 성상을 나타내는 지표 분석 결과를 나타내었다. TSS값은 10150 mg/L로 일반적인 농축 활성오니 TSS값 범위를 나타냈으며 VSS가 9120 mg/L로 여과지로 걸러진 고형물질의 89.9%가 활성오니 등의 유기물로 구성되어 있어 유기물 비중이 일반적 하수처리장 슬러지에 비해 높음을 확인하였다[6]. 부유물질의 유기물 함량이 높음에 따라 폐활성오니 용액의 COD도 매우 높게 나타났으며 SCOD값이 COD의 24.2%에 불과하여 75.8%의 유기물이 입자형태로 되어있어 농업용 비료로서의 재활용을 위해서는 입자의 분해 및 유기물 용해가 필요함을 알 수 있었다.

폐활성오니의 생태계에 대한 생물학적 유해성을 살펴보기 위하여 잠재적 병원성균 중 지표미생물로 *Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157, *Salmonella* sp., *Shigella* sp.를 선정하여 정량적 분석을 수행하였다. Table 3의 결과에서 볼 수 있듯이 *E. coli*는 상당한 오차를 가지고 있으나 10<sup>4</sup> CFU/mL 이상의 개체수를 확인하였고, *Salmonella* sp.는 10<sup>2</sup> CFU/mL 범위에서 존재하며 10<sup>1</sup> CFU/mL 범위의 *E. coli* O157과 *Shigella* sp.도 확인되었다. 이 결과로부터 축산폐수처리장에서 발생하는 폐활성오니를 농업용으로 재활용하기 위해서는 적절한 처리방법에 의한 병원성균의 비활성화로 생태적 무해화를 하여야 할 필요성을 확인할 수 있다. 특히, 인체 및 생물위해성이 높은 *E. coli* O157도 존재도 확인되어 이를 제거하기 위한 적절한 처리의 필요성을 확인하였다.

**3.2. 폐활성오니의 고온 열처리**

폐활성오니의 자원화를 위하여 각 병원성균의 비활성화 온도를 고려하여 50, 70, 90 °C에서 다양한 처리시간에 따른 열처리를 시도하였



**Figure 1. Effect of thermal treatment at 50 °C, 70 °C, 90 °C. (a) TSS concentration, (b) COD concentration, (c) SCOD concentration (Symbols: ● 50 °C, ○ 70 °C, ▼ 90 °C).**

다. 각 운전조건별 처리효율을 비교하기 위하여 TSS, COD, SCOD, 병원성균의 변화를 관찰하였다. 열처리에 따른 TSS의 변화를 분석한 결과로부터 동일한 온도에서는 처리시간이 길수록 TSS 제거효율이 상승하는 것을 확인하였다. 동일처리시간 30 min에서 온도에 따른 TSS 제거효율을 비교한 결과, 50 °C와 70 °C 처리에서는 큰 차이를 보이지 않으나 90 °C 처리로는 70 °C 처리에 비해 2배 이상의 제거효과가 나타났다. 전체적으로 실험에 사용된 온도와 처리시간 범위에서는 TSS의 제거효율이 3.15%~14.17%로 고온 열처리로는 높은 TSS 제거효과, 즉 폐활성오니의 감량효과가 크게 나타나지 않았다(Figure 1(a)).

고온 열처리에 따른 COD의 변화를 나타낸 Figure 1(b), (c)를 분석

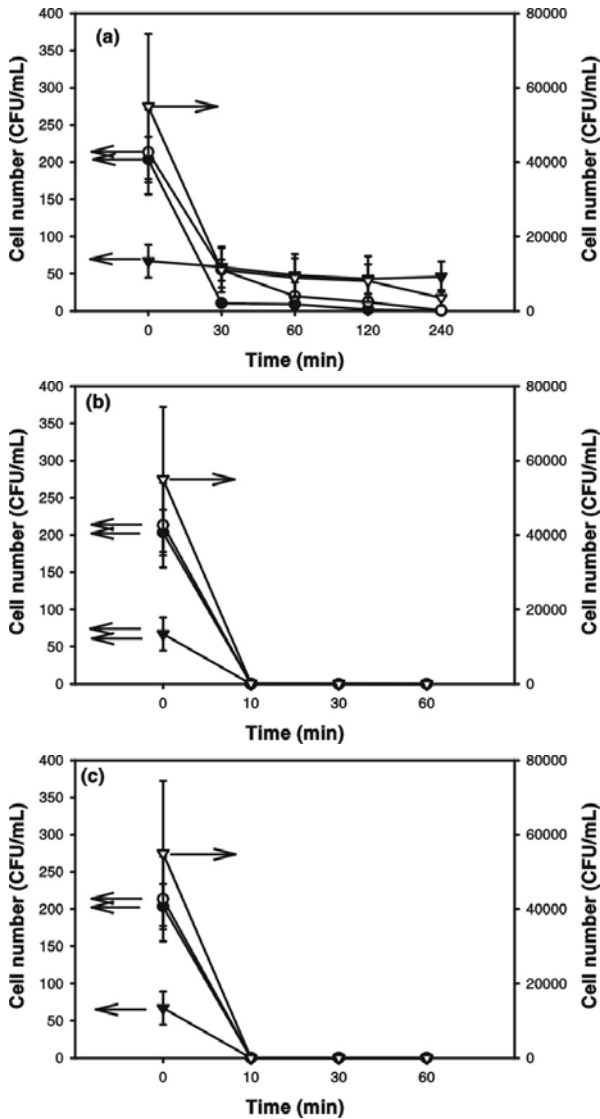


Figure 2. Effect of thermal treatment on the inactivation of pathogenic microorganisms. (a) 50 °C, (b) 70 °C, (c) 90 °C (Symbols: ● *Salmonella* sp., ○ *Shigella* sp., ▼ *E. coli* O157).

해보면, COD는 고온 열처리에 따라 감소되나 입자형태의 유기물이 급격히 용해됨에 따라 SCOD는 증가하는 것을 확인하였다. 동일한 온도에서는 처리시간이 길수록 TSS의 변화와 마찬가지로 COD 제거효율이 상승하며, SCOD 증가율이 높아지는 경향을 보여 고온 열처리에 높은 처리온도가 고형 유기물의 용해를 촉진하는 것을 확인하였다. 30 min의 동일 처리시간에서 처리온도에 따른 COD 제거효율을 비교한 결과, 70 °C와 90 °C 처리에서는 큰 차이를 보이지 않았으며 70 °C 처리로 50 °C 처리에 비해 2배 이상의 COD 제거효과가 나타났다. 유기물의 용해라는 관점에서 SCOD의 증가율을 분석한 결과는 동일 처리시간(30 min)에 대해 90 °C에서의 처리가 50 °C와 70 °C 처리에 비해 약 2배의 SCOD 증가를 보였다. 본 연구에서는 폐활성오니의 감량이 아닌 재활용에 목적을 두고 있으므로, COD의 제거가 나타내는 유기물 감량효과보다는 용존화된 유기물이 농업용 재활용시 식물에 흡수가 용이하다는 관점에서 유기물의 용해를 나타내는 SCOD의 증

가에 더 큰 비중을 두어야 한다.

고온 열처리에 따른 잠재 병원성균의 비활성화 효과를 Figure 2에 나타내었다. 동일한 온도에서는 처리시간에 따라 병원성균의 비활성화가 증가하였다. 처리온도별로 분석해 보면 50 °C에서의 열처리는 *Salmonella*, *Shigella*, *E. coli* 중 비활성화에는 상당한 효과를 보이나 *E. coli* O157의 살균에는 부적절하였으며, 70 °C와 90 °C에서의 열처리는 분석한 모든 병원성균에 대해 매우 우수한 비활성화 효과를 가지는 것을 확인하였다. 병원성균의 비활성화 효과와 경제성을 고려하였을 때 70 °C, 10 min의 처리를 축산폐수 폐활성오니의 적절한 고온 열처리조건으로 결정하였다.

### 3.3. 폐활성오니의 오존산화처리

폐활성오니의 농업용 재활용을 위하여 오존산화를 이용한 안정화를 시도하였다. 안정화를 위한 최적 공정운전 변수를 결정하기 위하여 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 L/L · min의 오존투입량과 180 min의 실험을 수행하였으며 그 결과를 Figure 3(a)~(f)에 나타내었다. 오존투입량에 따른 처리효율을 비교하여보면 오존투입량을 0.2 L/L · min에서 0.6 L/L · min로 증가시키기에 따라 TSS 및 COD 감량, 고형 유기물의 용해에 따른 SCOD의 증가율은 향상되었으나 0.8 L/L · min 이상으로 오존투입량을 증가시키면 처리효율이 오히려 떨어지는 결과를 얻었다 (Figure 3(a), (b), (c)). 이는 0.6 L/L · min에서 오존과 폐활성오니용액 간 접촉효율이 최대가 됨을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 처리시간에 따른 처리효율을 분석해보면 처리시간의 증가에 따라 TSS 및 COD 감량과 SCOD 증가가 전반적으로는 향상되는 것을 확인할 수 있었으나 초기시간에는 처리시간에 따라 처리효율이 선형적으로 증가되는데 비해 적정처리시간 이후에는 효율 증가속도가 급격히 둔화되어 처리시간을 증가시켜도 처리효율이 거의 변하지 않는 것을 확인할 수 있었다(Figure 3(a), (b), (c)).

Figure 3(d)~(f)에 나타난 오존산화처리에 따른 *E. coli*, *Salmonella* sp., *Shigella* sp. 등 잠재성 병원균의 비활성화 효율 분석결과를 보면 균종류별로 약간의 차이는 있으나 모든 병원성균류에 대해 공통적으로 0.2 L/L · min이나 0.4 L/L · min의 오존을 이용한 처리보다 0.6 L/L · min의 오존투입량을 이용한 처리가 우수한 결과를 보였으며, 0.6 L/L · min 이상의 오존사용은 *Shigella* 종을 제외하고는 유효한 비활성화를 향상을 유도하지 못했다. 처리시간에 따른 병원성균 제거효과 변화는 처리시간에 따라 비활성화 효율은 전반적으로 향상되나 0.6 L/L · min 이상의 오존을 사용한 경우에는 초기 30 min에 급격한 병원성균 수 감소효과를 볼 수 있었으며, 30 min에서 90 min 사이의 처리에서도 상당한 비활성화율 증가를 관찰하였다. 하지만, 90 min 이상의 처리시간은 병원성균의 비활성화라는 관점에서 경제적이지 못함을 확인하였다.

TSS 및 COD 감량, SCOD 증가, 병원성균 비활성화라는 처리효율과 공정의 경제성이라는 두 가지 관점을 종합하여 평가한 결과 0.6 L/L · min의 오존투입량과 60 min의 산화시간을 최적의 오존산화처리 운전변수로 결정하였다.

### 3.4. 고온 열처리와 오존산화처리 방법의 비교

고온 열처리와 오존산화처리를 통하여 축산폐수처리장에서 발생된 폐활성오니를 농업용으로 재활용하기 위한 연구를 수행하였다. 각 처리기법에서 최적의 처리조건은 고온 열처리방법은 70 °C, 10 min, 오존산화처리방법은 0.6 L/L · min에서 60 min으로 결정하였다. 최적 처리조건으로 운전된 고온 열처리와 오존산화의 처리효율을 Table 4에

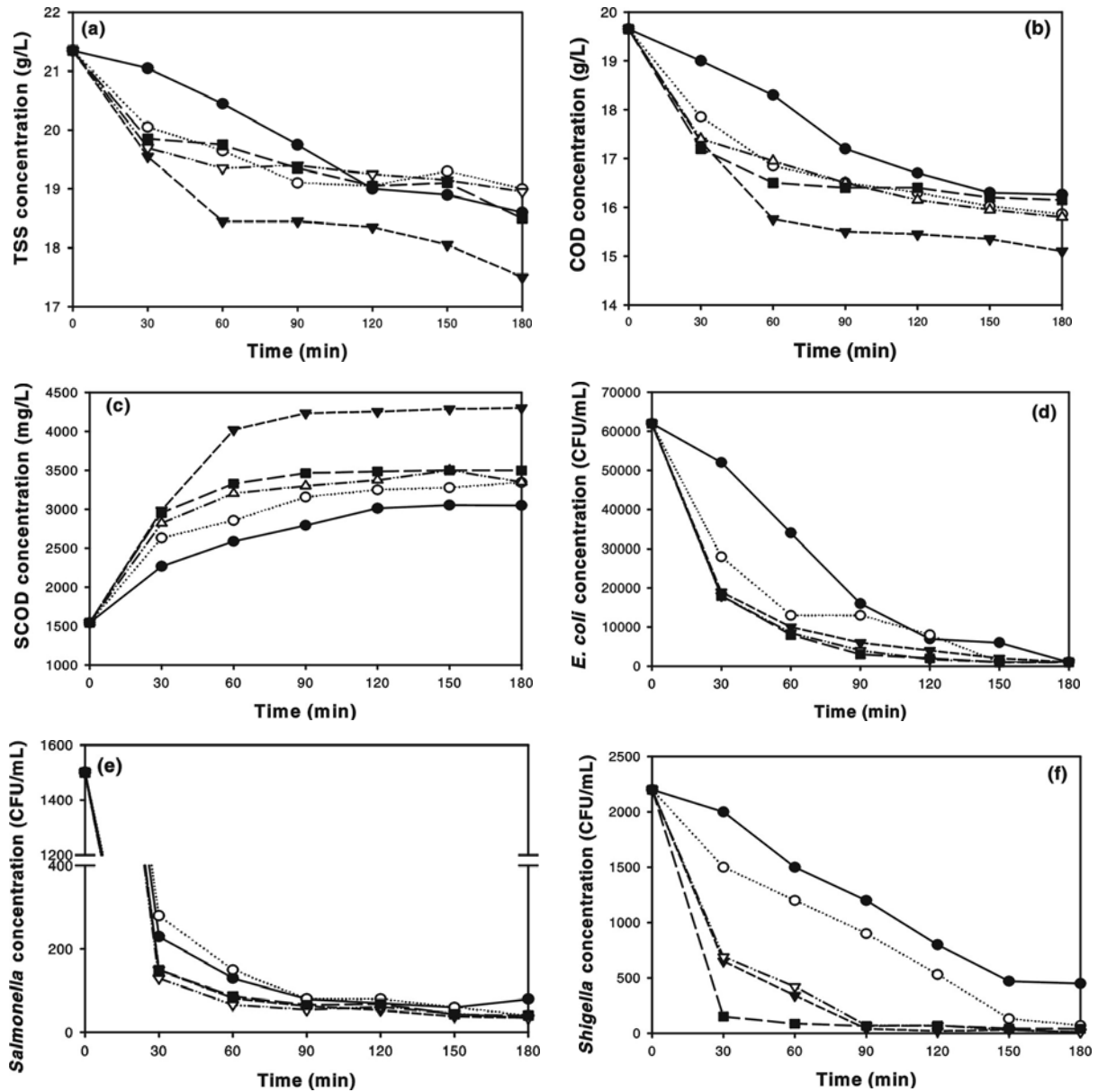


Figure. 3. Effect of ozone oxidation with various treatment conditions. (a) TSS concentration, (b) COD concentration, (c) SCOD concentration, (d) *E. coli* concentration, (e) *Salmonella* concentration, (f) *Shigella* concentration (Symbols: ● 0.2 L/L · min, ○ 0.4 L/L · min, ▼ 0.6 L/L · min, ▽ 0.8 L/L · min, ■ 1.0 L/L · min).

Table 4. Efficiency Comparison of Thermal Treatment and Ozone Oxidation of Waste Activated Sludge with Optimal Operating Condition

Property		TSS	COD	SCOD
Treatment efficiency (%)	Thermal treatment	3.1	15.9	80.0
	Ozone oxidation	13.6	19.8	160.3
Microorganism		<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp</i>	<i>Shigella sp.</i>
Inactivation efficiency (%)	Thermal treatment	99.7	100	100
	Ozone oxidation	83.9	94.5	84.5

\* Treatment efficiency of SCOD is an increasing percent.

요약, 비교하였다.

두 가지 처리방법을 비교한 결과를 보면 두 방법의 장단점이 확연히 드러나는 것을 확인할 수 있다. 고온 열처리방법은 병원성균의 비활성화에는 거의 완벽한 효과를 가지지만 TSS, COD의 감량이 크지 않은 것과 SCOD의 증가율이 낮은 것으로 보아 폐활성오니 감량과 용해화에는 효과가 기대에 미치지 못하는 것으로 보인다. 반면에 오존산화처리법은 폐활성오니의 감량과 용해 효과는 상대적으로 우수하나 병원성균의 비활성화 효과는 만족하기 어려운 것을 확인할 수 있었다.

폐활성오니의 재활용을 위한 생물학적(또는 위생학적) 안정화라는 관점에서 오존산화처리는 만족스럽지 못한 병원성균 비활성화 효과로 단독으로는 사용하기 어려울 것으로 여겨진다. 따라서 열처리나

생물학적 소화처리 등의 방법과 조합하여 활용하는 것이 바람직하다. 고온 열처리방법은 처리된 폐활성오니의 비료로서의 유용성을 최대화시키기 위한 유기물 용해효과는 떨어지지만 탁월한 병원성균 비활성화 효과를 가져 단독으로도 사용 가능한 방법이며 오존산화공정 등과 조합하여 사용할 경우 비료로서의 유용성과 생물학적 안정성을 모두 갖춘 처리방법이 될 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 축산폐수처리장에서 발생하는 부산물인 폐활성오니를 농업용 비료로 재활용하기 위하여 식물생장을 위한 유효성분을 분석하고, 재활용을 가능하게 하기 위해 고형 유기물의 용존화와 생물학적 무해화를 위한 처리기법으로 고온 열처리와 오존산화처리를 수행하여 그 효과를 비교, 분석하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 폐활성오니의 물리적, 화학적, 생물학적 성상분석 결과로부터 폐활성오니의 고형분은 질량백분율로 탄소 44.25%, 질소 8.43%, 인 1.35%로 비료공정규격상의 부산물비료로써 농업용 재활용의 가치가 있음을 확인하였다. 생물학적 유해성을 살펴보기 위한 잠재 병원성균 (*Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*)에 대한 정량적 분석결과, 적절한 처리방법에 의한 병원성균의 비활성화 필요성을 확인하였다.

(2) 고온 열처리후의 TSS, COD, SCOD, 병원성균 처리효율을 분석한 결과 고온 열처리 방법의 최적 공정운전조건으로는 70 °C에서 10 min 처리하는 것으로 결정하였다.

(3) 오존산화 처리후의 TSS, COD, SCOD, 병원성균 처리효율을 분석한 결과 오존산화방법의 최적 공정운전조건으로는 0.6 L/L · min으로 60 min 처리하는 것으로 결정하였다.

(4) 최적 운전조건에서 고온열처리방법과 오존산화처리방법의 공정효율을 분석한 결과, 고온열처리기법은 병원성균의 비활성화를 통한 생물학적 무해화에 오존산화기법은 고형분 감량 및 유기물 용해에 강점을 가지는 것으로 나타났으며, 폐활성오니의 재활용을 위한 처리공

정으로 두 방법 모두 단점을 가지고 있는 것으로 파악되었다. 따라서 폐활성오니 재활용을 위한 효과적인 처리를 위해서는 다른 처리방법과의 조합으로 처리효율과 생물학적 안정성의 향상이 바람직하다고 할 수 있으며, 특히 부산물비료(퇴비)로서의 활용을 위해서는 함수율을 50% 이하로 낮추기 위한 탈수방법의 적용이 요구된다.

#### 감 사

본 연구에 재정적 지원을 해주신 한경대학교 경기도지역협력연구센터(GRRC)에 깊이 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 환경부, 2005 환경통계연감, 제18호 (2005).
2. 환경부, 2003 오수·분뇨 처리통계 (2004).
3. 환경부, 축산폐수 처리통계 (2004).
4. J. A. Hudson and P. Lowe, *J. Ciwem*, **10**, 436 (1996).
5. J. Jung, X. H. Xing, and K. Matsumoto, *Biochem. Eng. J.*, **8**, 1 (2001).
6. Y. K. Kim, M. S. Kwak, W. H. Lee, and J. W. Choi, *Biotech. Bioprocess Eng.*, **5**, 469 (2000).
7. Y. K. Kim, Y. S. Eom, B. K. Oh, W. H. Lee, and J. W. Lee, *J. Microbiol. Biotechnol.*, **11**, 570 (2001).
8. Y. K. Kim, M. S. Kwak, S. B. Lee, W. H. Lee, and J. W. Choi, *J. Environ. Eng.*, **128**, 755 (2002).
9. P. Lowe, *J. Ciwem*, **9**, 306 (1995).
10. E. Veschetti, D. Maresca, A. Santarsiero, and M. Ottaviani, *Microchem. J.*, **59**, 246 (1998).
11. M. Rocher, G. Goma, A. Pilas Begue, L. Louvel, and J. L. Rols, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **51**, 883 (1999).
12. J.-G. Lin, Y.-S. Ma, and C.-C. Huang, *Bioresour. Technol.*, **65**, 35 (1998).
13. 농촌진흥청고시 제2002-23호, 비료공정규격 (2002).