

## OG2            토양생물을 이용한 환경보전형 하수슬러지 처리 기술 개발 및 활용

윤지훈\*, 김부생, 권형준, 김종인<sup>1</sup>, 권영택<sup>2</sup>

경남대학교 환경공학과\*, <sup>1</sup>(주)장춘, <sup>2</sup>경남대학교 토목환경공학부

### 1. 서    론

전국 183개 하수 처리장에서 발생하는 5,216 톤/일의 하수슬러지 중 약 73.2 %인 3,817 톤/일이 해양투기 되고 있으며 매립 12%, 소각 7.5%, 재활용 7% 이다. 그러나 연안도시의 각종 하·폐수 처리장 슬러지와 양식장 퇴적물 등은 국제적 협약(London Convention '96)에 의해 점차 해양 투기가 제한되고 있으며, 1998년 이후 하수슬러지를 해양 처분하는 나라는 런던 협약 72개 당사국 중 아일랜드, 일본, 한국뿐이며 아일랜드가 오슬로 협약 이행으로 해양투기를 금지할 경우 일본과 한국만이 남게된다(심동현, 2002). 또한 2003년 7월 1일부터는 육상 매립장에 슬러지의 직·매립을 금지하도록 하고 있다(1만톤/일 하수처리장 제외).

그래서 지방 자치단체에서는 소각 위주의 계획을 수립(86개시군)하고 있으나 소각처리 역시 지구온난화를 막기 위한 리우환경회의와 교토의정서 실행안의 타결(2001. 11. 13)로 향후 우리나라에서도 소각에 의한 온실가스 배출량을 90년 보다 5 % 감축해야될 실정이다. 또한 소각처리는 주민들의 민원제기와 운전비용의 과다 등의 문제가 되고 있는 사항이며, Dioxin 등과 같은 유해가스 발생으로 2차적 환경오염을 유발시키고 연소 반응시 효과적인 산소 공급이 어렵기 때문에 선진국에서는 점차 규제하는 움직임을 보이고 있다(하상안 등, 2002).

그래서 슬러지의 처리와 자원재활용 수단으로서 지렁이를 이용한 하수슬러지의 처리는 자원이 부족한 우리나라의 여건에 알맞은 처리 방법으로서 생산된 분변토는 매립장 복토제, 토양개량제, 원예용 상토 및 부산물 비료 등으로 재활용 할 수 있을 것이다. 슬러지의 재활용은 매립, 소각 또는 해양투기에 따른 환경오염을 줄이는 것은 물론 분변토의 판매로 재활용 사업자의 경제적인 이익 창출과 슬러지 처리에 따른 지방자치단체의 처리비용을 경감시킬 수 있는 방법이기도 하다.

본 연구에서는 수분함량과 유기성분이 많고 위생적인 문제와 해양투기의 제한 및 소각처리에 의한 2차적인 환경오염을 유발시키는 하수처리장 슬러지의 재활용 가능성을 정밀분석하고, 기존 연구들에서 제시하고 있는 장기적인 부숙 공정(이성호; 2001, 손희정, 1998; 손태호, 1997)을 생략한 실증 플랜트 규모의 처리공법과 생산된 분변토의 활용 방안을 모색하였다.

### 2. 재료 및 방법

지렁이는 우리나라에서 슬러지 처리에 일반적으로 사용되는 붉은줄지렁이(*Eisenia*

Andrei)를 사용하였다.

시료는 슬러지의 이화학적 특성을 고려하여 도시 하수를 처리하는 M하수처리장의 슬러지, 읍면단위 하수를 처리하는 H하수처리장의 슬러지 그리고 이미 많은 연구결과에 의해 처리가 입증된 제지슬러지 사용하였다.

사육시설은 16m×50m×6m(W×L×H) 규모의 비닐하우스 내에 2m×1m×0.5m크기의 실험용 사육상에서 M하수슬러지와 제지슬러지(100:0, 75:25, 50:50, 25:75(W/W)), H하수슬러지와 제지슬러지(100:0, 75:25, 50:50, 25:75(W/W))를 각각의 비율로 혼합하여 실험을 실시하였다. 그리고 실험 기간은 슬러지의 연속처리 여부를 판단하기 위하여 2월, 5월, 8월, 10월에 각각 실험을 실시하였다.

전처리 공정을 생략한 하수슬러지의 지렁이 급이성 판단과 생산된 분변토의 활용 가능성을 판단하기 위해 시료의 이화학적 특성(함수율, pH, EC, 염분도, VS, TKN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TOC, 중금속) 및 지렁이 증식 밀도의 변화를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 하수슬러지의 처리 적합성 평가

장기간 부숙 공정을 생략한 하수슬러지에 대하여 지렁이의 생육 가능여부를 판단하기 위하여 하수슬러지 단독 및 제지슬러지와 혼합 시료의 이화학적 특성을 조사한 결과 함수율은 74.1~84.8%, pH는 5.79~8.46, EC 599~1,730  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , 염분 0.14~0.45%, VS 49.01~71.30%, TOC 18.33~35.22%, TKN 1.70~4.91%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.60~6.39%로써 지렁이 생육 적정 범위였다.

슬러지의 중금속 함량은 Zn 351~2,184 mg/kg, Pb 7.0~319.2 mg/kg, Cd 0.92~21.34 mg/kg 등으로 도시 하수를 처리하는 M하수처리장이 대부분 높은 함량으로 나타났다. 이러한 결과를 중금속 함량에 대한 지렁이의 내성과 비교하여 볼 때 지렁이를 이용한 슬러지 처리에는 특별한 문제점이 없는 것으로 나타났다.

#### 3.2. 지렁이에 의한 적정 처리 여부 평가

하수슬러지를 급이한 사육상의 적정 처리 여부를 관찰하기 위하여 pH, 온도, EC, 염분도 등을 3일 간격으로 측정하였다. 지렁이 생육에 적합한 온도는 15~25℃을 범위로 알려져 있다(고재경, 1992). 처리 기간 중 사육상의 온도변화는 실험을 실시한 계절에 따라 차이가 있었으며 그 범위는 최고 12~34℃, 최저 4~28℃이었다. 지렁이 생육의 적정 pH 5~8이며 하수슬러지를 급이한 사육상의 pH 범위는 4.91~8.46이었다. EC와 염분도의 경우 실험을 실시한 기간 모두에서 3,000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 와 0.94 %이하를 유지하여 문제가 없었다.

또한 하수슬러지를 처리하고자 할 때 처리 효율을 높이기 위해서는 지렁이가 건강한 상태로 증식이 왕성해야 하기 때문에 처리 전후의 지렁이 밀도 변화를 측정한 결과 대부분의 사육상에서 증가한 경향으로 나타났다.

### 3.3. 분변토의 활용 방안

처리 후 발생한 분변토는 토양개량제나 부산물 비료, 원예용 상토 그리고 매립장 복토재 등으로 활용할 수 있다. 환경부 부숙토 기준은 VS 25% 이상, 염분 1% 이하, VS/N 50이하 그리고 유해 중금속인 Pb는 가 등급 150 mg/kg이하, 나 등급 225 mg/kg이하, Cd은 가 등급 5 mg/kg이하, 나 등급 8 mg/kg이하, Cu는 가 등급 500 mg/kg이하, 나 등급 750 mg/kg이하, Cr은 가 등급 300 mg/kg이하, 나 등급 370 mg/kg이하, As는 가, 나 등급 모두 50 mg/kg이하 그리고 Hg는 가 등급 2 mg/kg이하, 나 등급 3 mg/kg이하로 규정되어 있다. 이러한 기준들을 발생한 분변토의 측정 결과와 비교하였을 때 VS, 염분 그리고 VS/N은 모두 기준을 만족하였다. 그러나 분변토의 중금속 함량을 환경부 기준과 비교하였을 때 Pb, Cd, Hg 등의 함량이 기준을 다소 초과하는 경우가 있었다. 이와 같은 측정결과를 볼 때 하수슬러지 단독 급이로 생산된 분변토의 재활용에는 다소 문제가 있었다. 따라서 슬러지 및 분변토의 이화학적 특성개량제의 개발과 사용이 필요하였다.

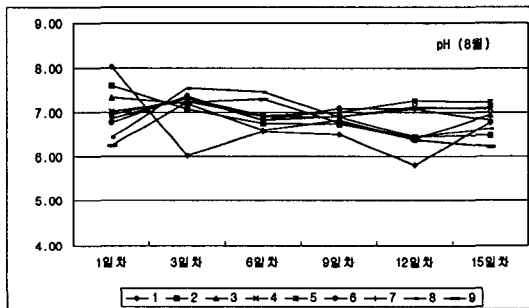


그림 1. 처리 기간 중 pH 변화(8월).

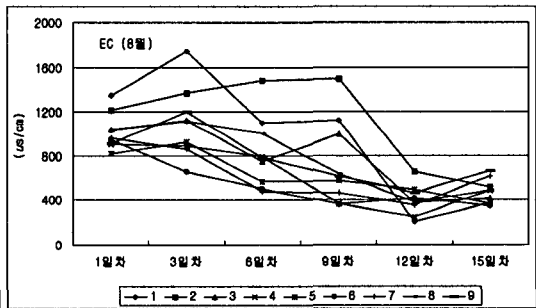


그림 2. 처리 기간 중 EC 변화(8월).

### 4. 요약

- 1) 지렁이를 이용한 하수슬러지의 분변토화 공정에서 실험실 규모의 처리에서는 장기간의 부숙 기간이 필요하였으나 개방된 대형 비닐하우스 시설을 사용한 처리 시스템에서는 전처리 공정의 생략이 가능하였다.
- 2) 하수슬러지의 이화학적 특성을 분석한 결과 지렁이 생육 조건은 만족하였으나 중금속 함량은 부숙토 원료기준을 초과하는 경우가 있었다.
- 3) 인위적으로 사육상 온도 조절이 없는 비닐하우스내 사육상의 온도는 기상 조건의 영향을 직접 받고 있으므로 계절별로 슬러지 처리기간 및 지렁이 성장밀도에 차이를 나타내었다.
- 4) 지렁이를 이용하여 하수슬러지를 처리하고자 할 때 유해성분에 의한 지렁이의 생육에는 문제가 없었다. 그러나 슬러지와 분변토의 중금속 함량을 부숙토의 원료기준 및 제품기준과 비교하였을 때 기준을 초과하는 경우가 있었다. 따라서 지렁이를 이용하여 하수슬러지를 처리하고자 할 때 원료 및 분변토의 특성개량과 재활용성을 높이기 위하여 부원료의 개발과 활용이 필요하였다.

## 감사의 글

본 논문은 과학기술부와 한국과학재단으로 지정받은 경남대학교 연안역 폐자원 및 환경연구센터(CRERC)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 심동현, 2002, 하수슬러지 발생 및 해양 처분 현황과 전망, 폐기물자원화, 10(3), pp.17~20.
- 하상안, 김형석, 성낙창, 2002, 하수처리장내 슬러지 처리를 위한 열분해 공정에 관한 연구, 폐기물 자원화, 10(4), pp. 65~74.
- 고재경, 1992, 지렁이를 이용한 환경문제의 농업적 해결, 서원출판사.
- 이성호, 김민국, 2001, 지렁이를 이용한 하수슬러지 처리에 관한 연구, 계명대학교 낙동강환경원 환경과학논집, 6(1), pp. 131~145.
- 손희정, 1998, 지렁이를 이용한 유기성 슬러지 안정화, 동아대학교 박사학위 논문.
- 손태호, 1997, 지렁이를 이용한 피혁슬러지 안정화에 관한 연구, 동아대학교 산업대학원 석사학위논문.