



ORIGINAL PAPER

원저

## 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 처리에 관한 연구

이창호, 이종민\*, 배성근\*, 전성균, 김종오\*\*

양산대학 환경안전보건과, 창원대학교 환경공학과\*, 경상대학교 건설공학부/환경지역발전연구소\*\*

## A Study of Foodwaste Treatment Technology Using Earthworm

Chang-Ho Lee, Jong-Min Lee\*, Sung-Geun Bae\*, Sung-Kyun Jeon, Jong-Oh Kim\*\*

Dept. of Environment & Safety Health, Yangsan College, Dept. of Environmental Eng. Changwon National Univ.\*, Division of Construction Eng./EDRI, Gyeongsang National Univ.\*\*

### ABSTRACT

This study was performed to obtain the basic data on current situations and challengeable aspects of vermicomposting industries in Korea and to develop foodwaste treatment technology using earthworm.

Pre-treatment process of food waste consists of cleaning, grinding, mixing and others, and salinity of food waste was 0.7% on average, thus not suitable for feed of worms. When applying wash water and going through the cleaning process, however, salinity was dropped to 0.38%, indicating that cleaning process applying wash water is necessary to control the proper salinity for growth of worms.

In the food waste processing experiment applying worms, it has been presented that smaller particles induce higher processing efficiency.

As a result, food waste processing by worms is possible through maintaining the suitable environment for survival of worms from input process to generation of cast.

Cast generated after processing food waste was proved to be most suitable for product standard of compost thus cast is presented to be recycled after processing the food waste applying the worms.

Keywords : Earthworm, Foodwaste, Cast

### 초 록

지렁이를 이용하여 음식물쓰레기를 처리하고 처리 후 발생하는 분변토는 음식물쓰레기 수분조절제 및 토

양개량제로 사용하여, 기존의 음식물쓰레기 처리방법의 문제점 해결과 아울러 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 자원화를 목적으로 연구한 결과, 음식물쓰레기 전처리 공정은 세척, 분쇄 및 혼합 등의 공정으로 이루어졌으며, 음식물쓰레기 염분농도는 평균 0.7%로 나타나 지렁이 먹이로 적합하지 않았으나 세척수를 이용하여 세척공정을 거친 후 0.38%로 낮아져, 지렁이 생육에 적합한 염분농도 조절을 위하여 식기 세척수를 이용한 세척공정이 필요한 것으로 나타났다. 또한 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 처리 가능성 실험에서 입자의 크기가 작을수록 처리효율이 높은 것으로 나타나 2mm이하의 분쇄공정이 필요한 것으로 나타났으며, 음식물쓰레기 수분조절을 위한 분변토 혼합은 비율이 높을수록 처리효율이 높은 것으로 나타났으나, 경제성을 고려 할 때 5:5의 비율이 가장 적합한 것으로 판단된다. 음식물쓰레기 전처리 공정을 거친 후 지렁이 퇴비화장치에 투입, 15일간 운영하면서 처리과정별 pH, EC, Eh, 염분, VS 등의 이화학적 항목을 살펴본 결과 투입에서 분변토 발생까지 지렁이 생존에 적합한 환경을 유지하여 지렁이를 이용하여 음식물쓰레기 처리가 가능한 것으로 나타났으며, 처리 후 발생된 분변토는 부숙도 제품기준에 적합한 것으로 나타나 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 처리 후 발생된 분변토의 재활용이 가능한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 지렁이, 음식물쓰레기, 분변토

## 1. 서론

음식물쓰레기는 귀중한 식량자원 낭비와 아울러 처리과정에서 나타나는 환경오염 측면에서 발생량 자체를 원천적으로 줄이는 것이 가장 바람직한 방법이다<sup>1)</sup>. 그러나 음식물쓰레기는 특성상 수분함량(75 - 85%)이 높고, 발열량이 낮아 소각처리에 어려움이 있으며, 매립 처분시 매립지 확보난과 아울러 쉽게 부패하는 특성 때문에 운반, 매립시 악취 유발 및 침출수 발생으로 인한 2차 환경오염 문제 발생 등으로 음식물쓰레기 처리에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다<sup>2)</sup>. 또한 2005년 1월 1일부터는 특별시·광역시 또는 시지역에서 발생하는 음식물쓰레기를 바로 직매립이 금지되며, 소각·퇴비화·사료화·소멸화 등과 같은 전처리 후 잔재물만 매립하게 된 법적 상황에 음식물쓰레기의 처리에 대한 적절한 대책 방안이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 한편 2002년 현재 국내 음식물쓰레기는 전체 생활폐기물 중(49,902톤/일) 약 23%인 11,397톤/일이 발생되어 대부분 재활용(62.6%)되고 있으며 일부 매립(29.3%) 및 소각(8.1%) 등의 방법으로 처분되고 있어 음식물쓰레기 재활용 비율이 높다<sup>3)</sup>. 그러나 음식물쓰레기 재활용 방법은 대부분 퇴비화 및 사료화로 이루어지고 있는 실정으로,

퇴비화 및 사료화 후 발생하는 부산물은 퇴비의 염분 문제 및 사료의 영양 불균형 등의 문제점으로 음식물쓰레기 재활용에 많은 어려움을 나타내고 있다<sup>4)</sup>. 따라서 기존의 음식물쓰레기 처리기술 및 부산물에 대한 많은 문제점을 고려할 때 환경적 및 경제적 측면에서 안정적인 음식물쓰레기 처리기술이 요구되고 있다.

이에 최근 음식물쓰레기 자원화 촉진을 위한 제도적 노력과 다양한 기술적 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 이러한 방법중 토양생물인 지렁이를 이용하여 음식물쓰레기를 처리하고 처리 후 발생하는 분변토는 토양개량제 및 퇴비로 재활용하는 연구가 시도되고 있다<sup>5)</sup>. 본 연구에서는 음식물쓰레기를 지렁이 먹이로 활용하고 처리 후 발생하는 분변토는 음식물쓰레기 수분조절제 및 토양개량제로 사용하여, 기존의 재활용 방법의 문제점 해결과 아울러 음식물쓰레기 자원화 기술개발을 통한 음식물쓰레기 재활용에 기여할 수 있을 것으로 판단되어 본 연구를 수행하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료

본 연구에 사용한 음식물쓰레기는 일반 가정의 썩

크대에 설치된 음식물쓰레기 분리장치를 이용하여 분리된 음식물쓰레기를 사용하였으며, 음식물쓰레기 수분조절제는 함수율 30%로 풍건된 분변토를 이용하였다. 음식물쓰레기 전처리 가능성 실험에 사용한 지렁이 사육상자는 260×260×190mm 크기의 스티로폼 용기에 차광이 가능토록 하였으며, 온도 및 습도는 각각 15~20℃와 70±5%를 유지하였다. 지렁이는 김해 지렁이 양식장에 인공양식중인 5~10cm 크기의 붉은줄지렁이(Lumbricus rubellus)를 사용하였다. 또한 음식물쓰레기 처리장치는 [Fig. 1]과 같이 850×550×1,000mm 크기의 스테인레스 재질로 음식물쓰레기 전처리장치와 주처리장치 및 분변토 분리장치로 설계 제작되었으며, 전처리장치에는 음식물쓰레기 분쇄장치와 수분조절제 혼합장치 구성되었다.

## 2.2 실험 및 분석방법

음식물쓰레기 세척과정 실험은 식기 세척수를 이용하여 음식물쓰레기 염분농도를 지렁이 생육에 적합하게 조절하기 위하여 기존 가정 싱크대에 설치된 찌꺼기 망을 개조하여 음식물쓰레기 분리통으로 사용하였다. 이때 음식물쓰레기 분리통에 분리 배출된 음식물쓰레기를 아침, 점심, 저녁 식기 세척수를 이용하여 세척 후 염분농도를 조사하였다. 또한 음식물쓰레기 분쇄공정은 분쇄기를 이용하여 음식물쓰레기를 각각 원시료, 5mm이상, 2~5mm 및 2mm이하의 크기로 분쇄 후 플라스틱 용기(25×32×15cm)에 지렁이 안전층과 각각 분쇄된 음식물쓰레기 200g을 지렁이 100g과 혼합 후 음식물쓰레기 입자크기에 따른 처리효율을 조사하였으며, 음식물쓰레기 혼합공정은 음식물쓰레기의 수분조절을 위하여 음식물쓰레기와 함수율 30%로 풍건한 분변토를 각각 7:3, 5:5 및 3:7로 혼합하여 스티로폼 용기(260×260×190cm)에 음식물쓰레기 200g을 지렁이 100g을 투여 한 후 수분조절제 혼합비에 따른 처리효율을 조사하였다. 지렁이 퇴비화장치 운영은 실험장치 하단 부위에 지렁이 안전층 역할의 목적으로 분변토 30cm를 깔아주고, 지렁이 500g을 입식시킨 후 매일 음식물쓰레기 500g투여 하였다. 투여 후 주처리 장치

(지렁이 사육상) 상, 중, 하부분에서 매일 시료를 채취하여 pH, VS, EC, Eh, 염분 등을 15일 동안 측정하였다. 또한 처리 후 실험장치로 분리 배출되는 분변토를 비료공정규격 항목에 준하여 분석하였다<sup>6)</sup>.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 음식물쓰레기 특성

음식물쓰레기를 지렁이 먹이로 급이 하고자 할 때 지렁이의 먹이조건과 생육환경은 음식물쓰레기 전처리 공정에 중요한 요소로 작용된다. 따라서 지렁이의 먹이조건과 생육환경을 조사하여, 음식물쓰레기 전처리시 적절한 지렁이 먹이로 만들고자 지렁이 먹이조건과 생육환경을 조사한 결과 지렁이가 선호하는 먹이조건과 생육환경은 pH는 중성인 5~8, 수분함량은 70%, VS는 40~60% 그리고 염분농도는 0.5% 이상에서는 사멸하는 것으로 알려져 있다<sup>7)</sup>. 본 연구에 이용한 음식물쓰레기의 특성을 분석한 결과 [Table 1]에 나타난 바와 같이 수분과 염분 등은 수분조절제와 세척을 통한 전처리 공정이 필요한 것으로 나타났으며 그 이외의 항



[Fig. 1] Schematic diagram of experimental unit.

목은 지렁이 먹이로 적합한 것으로 나타났다.

### 3.2 음식물쓰레기 전처리과정

음식물쓰레기 전처리 과정은 세척과정, 분쇄과정 및 혼합과정으로 이루어졌으며, 세척과정에서 음식물쓰레기 세척전 평균 0.7%에서 식기세척수를 이용하여 음식물쓰레기 세척 후 염분 농도는 지렁이 생육에 적합한 염분 0.5%이내인 0.38로 낮아져 음식물쓰레기 염분농도 조절은 식기세척수 재이용으로 가능할 것으로 나타났다. 분쇄과정에서는 음식물쓰레기 입자크기가 2mm와 2~5mm크기에서 각각 총 105g과 37g의 분변토가 발생되었으며, 5mm 이상의 크기와 원시료는 분변토의 발생이 작은 것으로 나타나 음식물쓰레기 분쇄시 입자의 크기가 작을수록 처리효율이 높은 것으로 나타났다(Fig. 2). 혼합과정에서는 3일째 분변토 발생량이 3:7>5:5>7:3으로 분변토의 혼합비율이 높을수록 음식물쓰레기 처리 효율이 높은 것으로 나타났으나 경제성을 고려할 때 5:5의 비율이 가장 적합한 것으로 판단된다(Fig. 3).

### 3.3 지렁이 퇴비화장치 운영결과

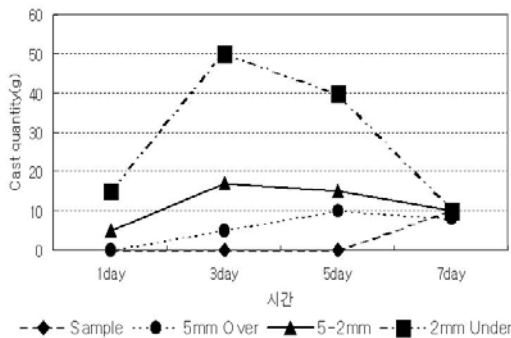
지렁이는 종류에 따라 차이가 있지만 pH 7.0 근

처의 환경을 선호하는 것으로 알려져 있다<sup>8)</sup>. 또한 퇴비의 원료에 따라 큰 차이가 있으나 퇴비화 초기에는 유기산이 발생되어 산성화가 이루어지며, 퇴비화가 진행되면서 암모니아 발생으로 인하여 알칼리성으로 되고 퇴비화 말기에는 암모니아가 질산으로 변화하기 때문에 일반적으로 pH가 낮아지는 경향이 있다<sup>9)</sup>. 따라서 지렁이를 입식하여 음식물쓰레기를 처리하는 과정에서 장치내 pH 변화를 살펴본 결과 [Fig. 4]에 나타난 바와 같이 투입초기 장치 상단부분과 처리과정중인 중간부분의 pH는 각각 5.8~7.1, 5.4~6.7의 범위로 지렁이 생육에 적합한 것으로 나타났다. 이는 처리가 진행됨에 따라 pH는 초기상태보다 낮아지는 결과를 나타내는 이<sup>12)</sup>의 연구와 비슷한 경향이다. 또한 처리 후 발생된 분변토 pH는 5.8~7.4의 범위로 나타났는데, 이는 음식물쓰레기가 지렁이 장내를 거치면서 완충능력에 의하여 중성으로 변화된 것으로 판단된다.

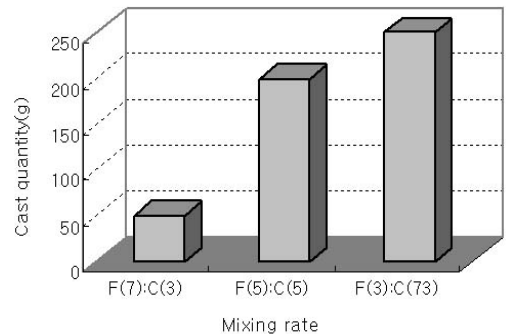
지렁이는 체표면 호흡을 하기 때문에 건조하거나 고농도 염류에서는 생육이 불가능한 것으로 알려져 있으며<sup>10)</sup>, 일반적으로 10,000~15,000 $\mu$ hos/cm의 범위에서 지렁이 생존이 가능한 것으로 보고되었다<sup>11)</sup>. 본 연구에서 [Fig. 5]에 나타난 바와 같이 투입초기 장치 상단부분과 처리과정중인

[Table 1] Physical Properties of Experiment Foodwaste

Mois. (%)	pH	VS (%)	EC (mS/cm)	ORP (mV)	NaCl (%)	Alkal. (mg/L)
76.1-87.5	4.0-5.7	74-86.2	1.4-3.8	80-160.2	0.4-0.9	1000



[Fig. 2] The treatment rate according to foodwaste feeding size.



[Fig. 3] The treatment rate according to mixing rate of foodwaste and cast.

중간부분의 EC는 각각 1.9~2.45, 1.6~2.1mS/cm의 범위와 처리 후 발생하는 분변토의 EC는 1.2~2.3의 범위로 나타나 지렁이 생육에 적합한 범위로 나타났다.

지렁이는 호기성 생물로 Eh의 값이 양(+)의 값일 때 지렁이 생존이 가능한 것으로 알려져 있다. 따라서 음식물쓰레기를 급이할 때 음식물쓰레기의 산화, 환원전위의 값을 측정하여 음식물쓰레기의 혐기, 호기상태를 파악하면 먹이 급이의 가능성과 처리과정을 파악할 수 있다<sup>12)</sup>. 본 연구에서 투입초기 장치 상단부분과 처리과정중인 중간부분의 Eh는 [Fig. 6]에 나타난 바와 같이 전체적으로 양(+)의 값을 나타내어 지렁이의 생육에 적합한 것으로 나타났다. 그러나 6일과 11일째 장치 상단부분의 시료에서 각각 -21mV, -60mV의 음의 값이 나타나 Mitchell 등이 보고한 -100mV에 지렁이가 견딜 수 있는 값에는 포함이 되나 음식물쓰레기 연속처리를 고려할 때 전처리 공정에 주의가 필요한 것으로 판단된다.

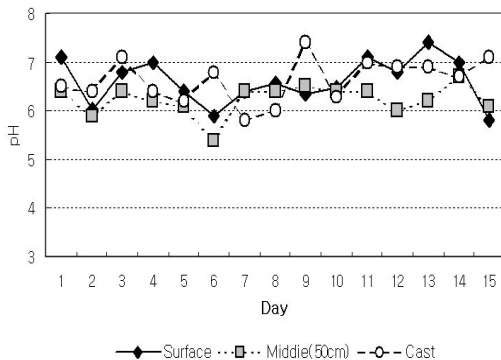
지렁이는 담수성에 속하는 생물로 무기염류의 농도가 5,000ppm이하에서 생존이 가능한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 [Fig. 7]에 나타난 바와 같이 장치 상단부분과 처리과정 및 처리 후의 염류 농도가 각각 0.18~0.75%, 0.04~0.44% 및 0.07~0.56%으로 나타나 지렁이 생육에 적합한 것으로 나타났다. 그러나 전처리 공정에서 세척수를 이용한 염분의 세척공정에 주의가 필요한 것

로 판단된다.

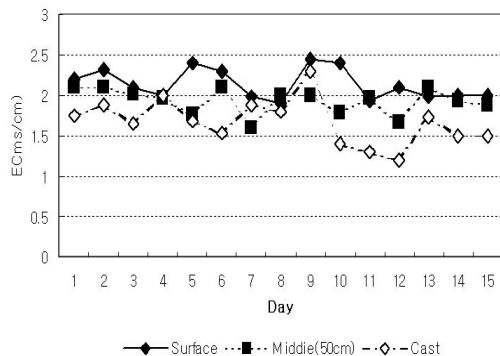
### 3.4 분변토의 법적 검토

음식물쓰레기 처리 후 발생한 분변토를 부숙토 및 토양개량제로 재활용시 폐기물관리법 시행규칙 별표 4에 의하여 “유기성오니 등을 토양개량제 및 매립시설 복토용도로의 재활용 방법”에 관한 고시에 준하여 사용이 요구된다. 이에 음식물쓰레기를 실험장치를 이용하여 처리 한 후 발생하는 분변토의 재활용 적합판단 및 제품의 특성을 파악하고자 15일간 실험장치를 운영시키면서 법적 기준에 포함된 항목(유기물 함량, 유기물 대 질소비, 염분 및 유해물질 함량 등)을 조사한 결과 분변토의 유기물 함량[Fig. 8], 유기물/질소비[Fig. 9] 및 염분의 농도[Fig. 10]는 각각 28.4~42%, 18.8~25.6 및 0.4~0.56%으로 유해물질 함량 [Fig. 11]에서는 As, Cd, Cr, Cu, Pb 및 Hg은 각각 불검출, 0.01mg/kg, 6.5mg/kg, 1.45mg/kg, 0.37 mg/kg 및 불검출 등으로 나타나 부숙토 제품기준에 적합한 것 판단된다.

한편 토양개량제로 사용하고자 하는 분변토는 NO<sub>3</sub>-N 농도가 NH<sub>3</sub>-N 농도보다 높아야 재활용이 가능한데 본 실험 결과 15일 동안 분변토의 NO<sub>3</sub>-N와 NH<sub>3</sub>-N는 [Fig. 12]에 나타난 바와 같이 NO<sub>3</sub>-N 농도가 NH<sub>3</sub>-N 농도보다 높게 나타나 분변토를 토양개량제 및 매립지 복토용으로 사용이 가능한 것으로 판단된다.



[Fig. 4] pH variations during the continuous vermicomposting.



[Fig. 5] EC variations during the continuous vermicomposting.

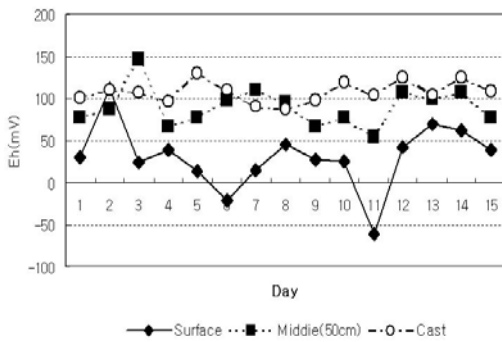
### 4. 결론

지렁이를 이용하여 음식물쓰레기를 처리하고 처리 후 발생하는 분변토는 음식물쓰레기 수분조절제 및 토양개량제로 사용하여, 기존의 음식물쓰레기 처리방법의 문제점 해결과 아울러 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 처리를 통한 음식물쓰레기 자원화를 목적으로 연구한 결과 다음과 같다.

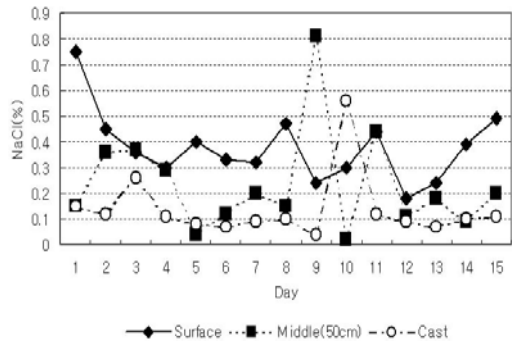
1. 음식물쓰레기 전처리 공정은 세척, 분쇄 및 혼합 등의 공정으로 이루어졌으며, 음식물쓰레기 염분농도는 평균 0.7%로 나타나 지렁이 먹이로 적합하지 않았으나 세척수를 이용하여 세척 공정을 거친 후 0.38%로 낮아져, 지렁이 생육에 적합한 염분농도 조절을 위하여 식기 세척수를 이용한 세척공정이 필요한 것으로 나타

났다.

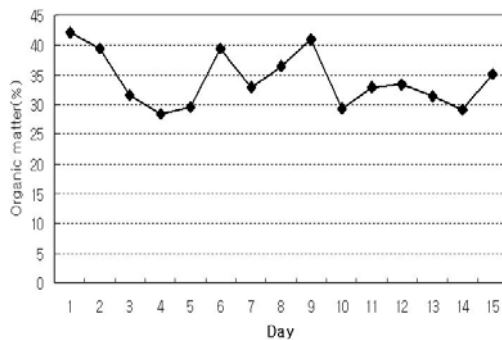
2. 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 처리 가능성 실험에서 입자의 크기가 작을수록 처리효율이 높은 것으로 나타나 2mm이하의 분쇄공정이 필요한 것으로 나타났으며, 음식물쓰레기 수분조절을 위한 분변토 혼합은 비율이 높을수록 처리효율이 높은 것으로 나타났으나, 경제성을 고려 할 때 5:5의 비율이 가장 적합한 것으로 판단된다.
3. 음식물쓰레기를 세척, 분쇄, 혼합 등의 전처리 공정을 거친 후 처리장치에 투입, 15일간 운영하면서 처리과정별 pH, EC, Eh, 염분, VS 등의 이화학적 항목을 살펴본 결과 투입전에서부터 분변토 발생까지 지렁이 생존에 적합한 환경을 유지하여 지렁이를 이용하여 음식물쓰



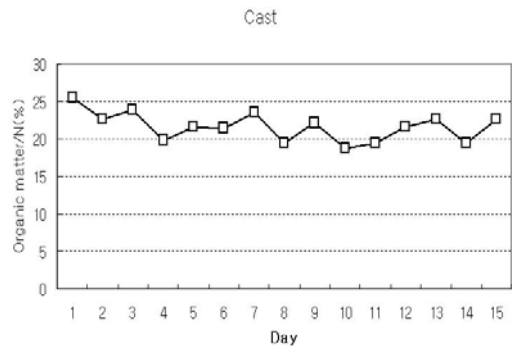
[Fig. 6] Eh variations during the continuous vermicomposting.



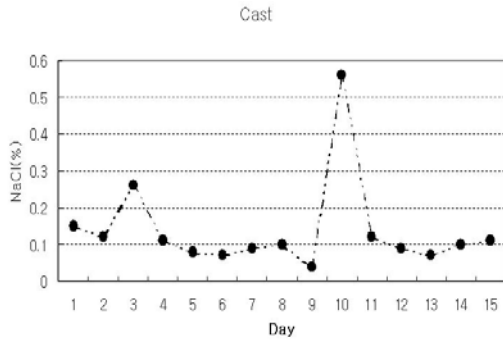
[Fig. 7] NaCl variations during the continuous vermicomposting.



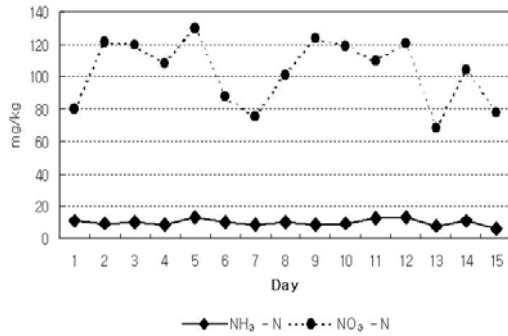
[Fig. 8] Organic matter variations during the continuous vermicomposting.



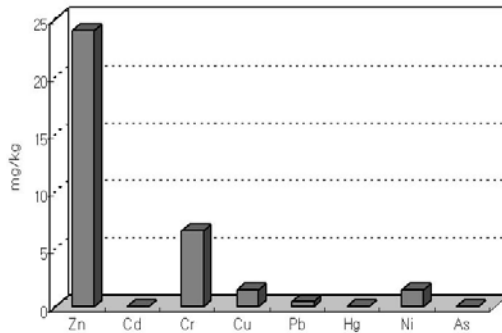
[Fig. 9] Organic matter/N variations during the continuous vermicomposting.



[Fig. 10] NaCl variations during the continuous vermicomposting.



[Fig. 11] Heavy metal characteristics of Cast.



[Fig. 12] Variations of  $\text{NO}_3\text{-N}$  and  $\text{NH}_3\text{-N}$  in cast.

레기 처리가 가능한 것으로 나타났다.

- 음식물쓰레기 처리 후 발생된 분변토는 부숙토 제품기준에 적합한 것으로 나타나 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 처리 후 발생된 분변토의 재활용이 가능한 것으로 판단된다.

## 5. 감사의 글

본 연구는 경남지역환경기술개발센터 연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 6. 참고문헌

- 심재곤, 음식물쓰레기 관리 정책 추진 방향,

국립환경연구원 주최 음식물쓰레기 줄이기 연구결과 공동 발표회, pp 5-19, (1998).

- 박남배, 혐기성소화에 의한 음식물쓰레기 와 하수슬러지 병합처리, 부경대학교 대학원 박사 학위논문, pp 1~132, (1999).
- 환경부, 환경백서, (2004).
- 김종오, 이창호, 지렁이 퇴비화 운영사례 및 개선방향, 한국유기성폐자원학회, 9(4) : 89-98, (2001).
- 이창호, 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 처리 시 분변토 재활용 방안 연구, 한국유기성폐자원학회지 제8권 제2호, pp 140-145, (2000).
- 농업기술연구소, 토양화학분석법, (1988).
- David L. Kaplan, Roy Hartenstein,

- Eward F. Neuhauser and Michael R. Malecki, Physicochemical requirement in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biol. Biochem.* 12 : 347-352, (1980).
8. David L. Kaplan, Roy Hartenstein, Edward F, Neuhauser and Michael R. Malecki. Physicochemical requirement in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biol. Biochem.* 12 : 332-339, (1980).
9. Corinna Buck, Marcus Langmaack and Stefan Schrader, Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties, *Applied Soil Ecology.* 14 : 223-229, (2000).
10. 하영수, 지렁이를 이용한 음식물쓰레기의 재 활용에 관한 연구, 아주대학교 석사학위논문, 1-42, (1995).
11. 과학기술처, 토양생물을 이용한 유기성 슬러지 처리 기술개발 관한 연구 (III), (1994).
12. 이은경, 정재춘, 첨가제를 달리한 음식물 쓰레기의 퇴비화에 관한 연구, *대한환경 공학회지*, Vol.16, No.8, pp 953~962, (1994).

