

## 지렁이를 이용한皮革 슬러지의堆肥化에 관한 연구(I)

손희정, 김형석, 송영채,\* 성낙창, 김수생

동아대학교 환경공학과  
\*한국해양대학교 해양환경공학과

## Vermicomposting of Leather Waste Sludge by Earthworm, *Lumbricus rubellus* (I)

Hee-Jeong Son, Hyeong-Seok Kim, Young-Chae Song\*  
Nak-Chang Sung, Soo-Saeng Kim

Department of Environmental Engineering, Dong-A University  
Pusan, Korea

\*Department of Marine Environmental Engineering, Korea Maritime University  
Pusan, Korea

### ABSTRACT

The study on the ripening of leather waste sludge was performed to vermistabilize the sludge effectively using a laboratory scale darkened wood box reactor (10×10×20 cm). The acceptable feed conditions for earthworm of Eh, alkalinity were obtained in the 30th and 35th days, respectively. The value of pH was gradually decreased from 7.8 to 7.1 through the ripening time. The contents of heavy metals of the ripened sludge were estimated as lower levels compared to the other regulatory standards for compost. After the ripening time for 50 days, the physico-chemical properties of the sludge were estimated as pH 7.1, water content 72%, redox potential 85 mV, electrolytic conductivity 2,620  $\mu$ mhos/cm and alkalinity 450 ppm as CaCO<sub>3</sub>, respectively. In the ripened sludge, survival rate of the earthworms for 50 days was about 75%, and the liveweight increase rate was about 230% at the temperature range of 20~25°C. Moreover, hatching rate of the earthworm cocoons was about 87% and the highest value was obtained in the 20~30th days. From the above results, it was evaluated that leather waste sludge could be vermistabilized effectively by earthworms, when the sludge was ripened during 50 days.

**Key words** : Vermicomposting, Earthworm, Leather waste sludge, Maturing, Feeding condition, Survival rate, Iiveweight increase rate, Hatching ratio

### 요 약 문

본 연구에서는 피혁슬러지의 부숙기간별 이화학적 변화를 측정하고 이를 근거로 지렁이의 생존율, 증체량, 부화율 등을 조사함으로써 지렁이를 이용한 안정화 및 처리, 처분 가능성을 평가하였다. 지렁이의 급이 조건에 적합한 피혁슬러지의 부숙기간은 산화환원전위 (Eh), 알카리도에 대하여 각각 30일, 35일로 평가되었으며, 부숙기간동안 피혁슬러지의 pH 역시 초기 7.8에서 지렁이의 생육에 적합한 중성영역으로 점차 변화하는 경향을 보였다. 50일 부숙시킨 피혁슬러지의 이화학적 특성은 pH는 7.1, Eh는 85 mV, 알카리도는 450 ppm CaCO<sub>3</sub>로 조사되었으며, 중금속함량은 여러 기준치를 만족하는 것으로 평가되었다. 50일 부숙시킨 피혁슬러지에서 지렁이 생존율은 20~25°C의 생육온도에서 75%, 증체율은 230%, 부화율은 87%의 값을 보였다. 이상의 결과로부터 피혁슬러지는 최대 50일의 부숙기간을 거칠 경우 지렁이를 이용한 퇴비화가 가능한 것으로 평가되었다.

**핵심말말** : 퇴비화, 지렁이, 피혁슬러지, 부숙기간, 이화학적 성상, 생존율, 증체량, 부화율

### 1. 서 론

우리나라의 폐기물발생량은 1995년 부터 실시된 쓰레기 종량제 이후 상당한 양적 감소를 가져왔으나 여전히 단위 발생량이 많아 폐기물 다발생국이라는 오명을 벗지 못하고 있는 것으로 알려지고 있다. 또한, 우리나라는 발생된 폐기물의 대부분이 매립에 의존하여 처리, 처분되고 있는 실정으로 국토가 좁고 NIMBY 현상이 더욱 확산되고 있는 오늘날 매립지 확보 문제와 더불어 매립에 의해서 야기되는 토양 오염과 지표수 및 지하수오염 등의 각종 2차오염 문제들은 여전히 해결하여야 할 중요한 당면 과제로 평가되고 있다(김수생, 1995). 그러나, 우리나라 폐기물 총발생량의 약 60% 이상을 차지하는 사업장 일반폐기물의 경우 퇴비화 등을 통하여 재활용이 가능한 유기성 슬러지의 함량이 1994년 현재 약 13%에 달하는 것으로 보고

되고 있으며(환경처, 1996), 향후 도시하수시설의 확충, 방류수 수질기준의 강화 및 산업시설의 증가 등으로 계속적인 증가가 예상된다. 따라서, 우리나라에서는 유기성 슬러지의 처리, 처분을 위하여 1992년 지렁이를 이용한 퇴비화처리를 폐기물 처리기술의 하나로 고시하여 이의 활용을 적극 권장하고 있는 실정이다.

지렁이를 이용한 유기성쓰레기의 퇴비화 기술은 폐기물을 지렁이 먹이로 이용, 처리하는 기술로서 2차공해의 발생이 거의 없고(Hartenstein, 1978), 처리과정에서 부산물로 발생하는 분립은 토양개량제와 유기질 비료로서의 활용이 가능할 뿐만 아니라(김성필, 주영희, 1990), 지렁이의 대량증식을 통하여 얻을 수 있는 동물성 단백질은 가축의 동물성 사료원으로서 이용가치가 높기 때문에 자원이 부족한 우리나라 여건에 알맞은 폐기물의 처리방법이라 여겨진다(Sabine, 1983). 이와 같은 지렁이를 이용한 퇴비화 기술은 Fostage와 Babb

(1972)에 의해서 처음 시도된 이래 선진외국의 경우 현재는 실용화 단계에 있는 것으로 보고되고 있다. 지금까지 지렁이를 이용한 처리, 처분은 주로 가축폐기물, 분뇨처리장 슬러지 및 일부 식품공장 슬러지 등과 같은 단순 유기성슬러지에 한정되어 연구되어 왔으나, 오늘날 질적으로 더욱 다양화되고 양적으로 팽창하고 있는 산업폐기물의 처리, 처분문제에 능동적으로 대처하기 위해서는 처리대상 폐기물의 다양화가 절실한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 피혁 슬러지의 부숙기간에 따른 이화학적 성상변화를 조사하고 이를 바탕으로 부숙피혁 슬러지에 대한 지렁이의 생존율, 증체량, 부화율 등을 평가하여 vermicomposting에 의한 피혁 슬러지의 처리가능성을 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험용 지렁이 및 사육시설

실험에 사용된 지렁이는 H 양식장에서 인공 양식중인 붉은 지렁이(*Lumbricus rubellus*, red worm)로서, 가축분 퇴비를 먹이로 이용하여 실내온도 15~25°C, 상대습도 70±5%의 지하 실험실에서 30×25×70 cm 크기의 통기와 배수가 잘 되는 나무상자에서 사육시키면서 필요한 경우에 채취하여 사용하였으며 분류학상의 위치는 아래와 같다.

Phylum : Annelida

Class : Oligochaeta

Order : Neoligochaeta

Family : Lumbricidae

Genus : Lumbricus

Species : Rubellus

지렁이 입식시료는 지렁이의 크기와 상태를 균등하게 하기 위하여 사육상에서 채취한 지렁이 알

을 인공부화시켜 사육하면서 환대가 발생되기 전의 것을 실험에 이용하였다.

### 2.2 시료 및 운전

실험에 사용한 폐기물 원시료는 C 피혁공단 공동처리장에서 Belt press로 탈수한 함수율 78%의 피혁 슬러지이며, 이화학적 성상변화 조사에 사용한 시료는 피혁 슬러지와 함수율 35%의 부숙재료(톱밥)를 3:1로 섞은 것을 초기 20일간은 2일에 한 번씩, 그 이후부터는 3일에 한 번씩 뒤집어 주며 부숙시켰다. 입식실험에 사용한 시료는 50일간 부숙시킨 것을 분무기를 이용하여 함수율 65±10% 상태의 퇴비화에 적합한 상태로 만들어 사용하였다. 지렁이 먹이로서의 타당성 여부를 조사하기 위한 실험에서는 10×10×20 cm 크기의 나무상자에 50일간 부숙시킨 피혁 슬러지를 넣은 후 지렁이를 입식시켜 일정 시간 간격으로 지렁이의 생존율, 생체량 그리고 부화율을 점검하였다.

사육상은 빛을 차단한 암조건으로 하였으며, 실험기간 중에 평균온도는 20~25°C 범위로 유지하였다.

### 2.3 분석

실험에 사용된 원시료와 입식시료에 대하여 pH, 온도, 함수율, As, Mg, Zn, Pb, Cd, Fe, Mn, Cr, Cu, 산화환원전위(Eh), 알칼리도 등의 이화학적 성상은 환경오염공정시험법(1995)과 토양화학분석법(1996)에 준하여 분석하였으며, 지렁이 입식시료를 대한 생존율, 증체율, 부화율 등은 아랫방법에 따라 측정하였다.

생존율 : 육안에 의한 관찰과 지렁이에 물질을 접촉시켜 반응이 없는 경우는 죽은 것으로 판단하였다.

증체율 : 지렁이를 사육용기에서 꺼낸후 증류수에 1분간 넣었다가 꺼내어 피부표면에 부착된 슬러지 제거와 5B여과지에 1

분간 접촉시켜 채표면의 수분을 제거시킨후 무게를 측정하였다. 그러나 지렁이가 섭취하여 장내에 있는 슬러지에 대하여서는 고려하지 않았다.

부화율 : 사육상에서 채취한 지렁이 알 20개씩을 나무상자에 넣은 후 사육시설에 보관하면서 10일 간격으로 50일간 지렁이 알의 부화율을 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 부숙기간에 따른 피혁 슬러지의 이화학적 성상변화

유기성 폐기물을 지렁이를 이용하여 처리하고자 할 때는 폐기물의 이화학적 조건이 지렁이 생존에 적합해야 하며, 이와 같은 이화학적 조건 중 중요한 지표는 산화환원전위, 알카리도, pH, 중금속 등이다(한국유기성자원화협회, 1994). 지렁이 먹이로 이용되는 슬러지의 성상과 성분은 하·폐수처리장에서 발생하는 슬러지의 농축방법, 응집제의 사용여부와 슬러지의 혐기성 소화여부 등에 따라 달라진다. 또한, 유기성 슬러지는 미생물의 작용에 의해 변화하는데 이 과정에서 일어나는 여러 가지의 변화는 지렁이의 생육에 많은 영향을 주게 된다(이길철 외, 1993). 따라서, 본 연구에서는 피혁슬러지의 부숙기간에 따른 이화학적 성상변화를 조사하여 지렁이에 의한 퇴비화 가능성을 평가하였다.

##### 3.1.1 산화환원전위 (Eh)

산화환원전위(Eh)는 슬러지의 함수율, 산소의 유무, 유기물질의 함유농도, 슬러지내 환원물질의 농도에 따라서 영향을 받는다. Mitchell 등(1980)은 슬러지의 함수율이 높고 Eh의 값이 낮으면 CH<sub>4</sub> 가스의 생성이 증가되는 혐기성 상태로 되고, Eh 값이 높으면 O<sub>2</sub>의 소모가 증가하여 슬

러지의 호기성 안정화가 이루어진다고 보고하였으며, 이는 지렁이가 호기성 동물이기 때문에 O<sub>2</sub>가 요구되고 호기성 상태의 슬러지에서만이 생존이 가능함을 뒷받침 한다. Nomura와 Usuki(1951)는 지렁이 생육에 적당한 Eh는 양(+ )의 값이라고 보고하였고, Kaplan 등(1980)은 혐기성 슬러지의 경우 1~2개월 부숙을 거치면 슬러지의 독성이 감소하여 지렁이 먹이로서 가능하다고 보고하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 피혁슬러지의 부숙시간에 따른 산화환원전위(Eh)의 변화를 보여주고 있다.

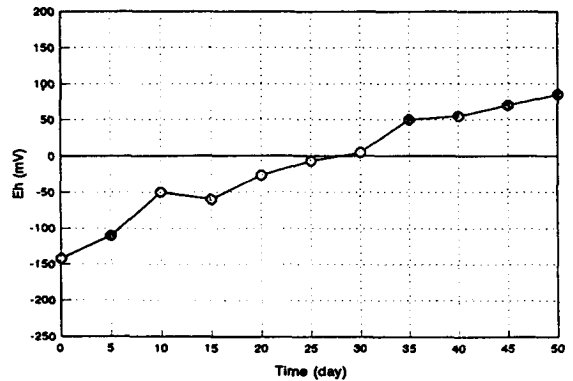


Fig. 1. Variation of Eh value of leather waste sludge with ripening time.

피혁슬러지의 초기 산화환원전위(Eh)는 -142 mV로서 혐기성 상태로 평가되었으나 30일간의 부숙기간이 경과한 후에는 산화환원전위(Eh) 값이 양(+ )의 값을 보임으로서 지렁이의 생육이 가능한 상태로 전환되었음을 알 수 있다.

##### 3.1.2 알카리도

지렁이는 먹이를 섭취하고 양분을 흡수하는 소화기관은 덜 발달되어있기 때문에 어느 정도 부숙되고 소화기능을 도와줄 수 있는 미생물을 함유한 먹이에 한하여 섭취가 가능하다. 따라서, 일반적

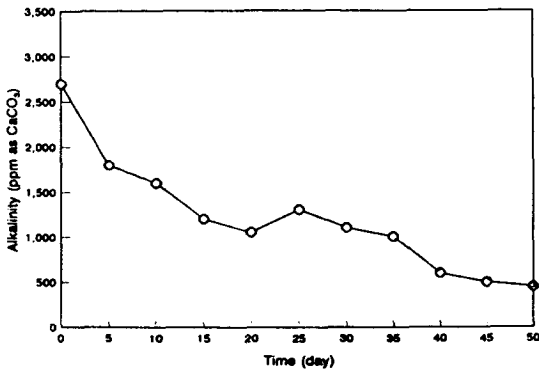


Fig. 2. Alkalinity variation of leather waste sludge with ripening time.

으로 슬러지의 호기성 소화시에 시간에 따라 변화 폭이 크고 측정이 간편한 알칼리도를 슬러지의 부숙화 과정을 파악하고 슬러지의 급이가능 여부를 판단할 수 있는 급이지표로 활용하고 있다(최훈근, 1992). Fig. 2는 피혁 슬러지의 부숙시간에 따른 알칼리도 변화를 보여주고 있다.

이 그림에서 보면 시료의 알칼리도 값이 부숙에 따라 점차 감소하고 있음을 알 수 있으며, 이와 같은 결과는 슬러지의 호기성 소화시 알칼리도의 변화에 대해 언급한 Drier (1983)의 보고와 일치한다. 1,000 ppm (as CaCO<sub>3</sub>) 이하의 알칼리도 조건에서 지렁이의 생육이 가능하다는 최(1992)의 보고에 따르면 본 실험에서 사용한 입식시료의 경우 지렁이의 생육조건을 만족시키기 위해서는 약 35일 이상의 부숙기간이 필요함을 알 수 있었다.

3. 1. 3 부숙기간에 따른 pH의 변화

지렁이의 생육을 위한 pH 조건은 지렁이는 중

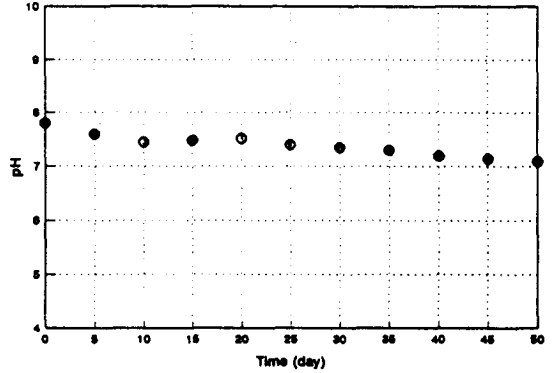


Fig. 3. Variation of pH value with ripening time.

에 따라 약간의 차이는 있지만 중성 근처의 환경인 것으로 알려져 있으며 (고재경, 1992; 최훈근, 1992), Bouche (1972)는 5.0~7.4의 pH 범위가 지렁이 생육에 최적조건이라고 보고하였다. Fig. 3에서는 부숙기간에 따른 피혁 슬러지의 pH 변화를 보여주고 있다.

이 그림에서 보면 피혁 슬러지의 초기 pH는 7.8이었으나 부숙 25일 경과 후 7.4로 감소하였으며 50일 후에는 7.1까지 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이 결과는 피혁 슬러지의 경우 pH는 부숙초기부터 약알칼리 상태에서 지렁이 급이조건에 중요한 인자로 적용하지 않는 것으로 평가되었으나 부숙기간이 경과함에 따라 점차 지렁이 생육을 위한 최적의 환경으로 변환되어감을 알 수 있었다.

이상의 결과를 분석해볼 때 피혁 슬러지의 경우 부숙시간이 경과함에 따라 이화학적 성상이 지렁이의 생존에 적합한 상태로 변화되고 있는 것으로 평

Table 1. Comparison of heavy metal contents of the ripened sludge with various regulatory standards for compost. (mg/kg)

항 목	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	Cr	As
대 상							
Korea	5	-	2	150	-	-	50
EPA	10	1,000	10	1,000	2,000	-	-
Spain	40	1,750	-	1,200	4,000	750	-
This study	0.8	14	N.D	32	383	425	N.D

가되었으며, 약 30~40일 이상을 부숙시킬 때 대체적으로 지렁이의 급이조건을 만족시킬수 있는 것으로 평가되었다.

3.2 부숙 슬러지내 중금속함량

본 실험에 사용한 피혁 슬러지 입식시료의 중금속 함량과 현재 여러나라에서 적용되고 있는 퇴비에 있어서 중금속에 대한 위해성 근거기준을 비교하여 Table 1에 제시하였다.

위에서 보는 바와 같이 50일 부숙된 피혁 슬러지 입식시료의 경우 일련의 비교치와 비교하여 중금속 함량이 매우 낮은 수준임을 알 수 있다. 현재까지 작물에 의해 흡수된 중금속이 그것을 섭취하는 인간과 가축에 유해한 영향을 미치는 명확한 근거가 없어 단정할 수는 없으나 유해성이 거의 없는 것으로 판단된다. 따라서, 부숙된 피혁슬러지의 경우 퇴비화할 경우 토양개량제 등으로 충분히 활용가능한 것으로 평가된다.

3.2 지렁이 생존율

지렁이에 대한 부숙 피혁 슬러지의 급이조건 적합여부를 판단하기 위하여 지렁이가 생존가능한 슬러지의 이화학적 조건에 대한 최(1992)의 연구결과와 본 실험에서 사용된 50일 부숙시킨 입식시료의 이화학적 성상을 비교하여 Table 2에 나타내었다. 표에 보는 바와 같이, 피혁 슬러지에 대해서도 적당한 부숙기간을 거치면 지렁이를 이용한 퇴비화가 가능함을 알 수 있다.

50일 부숙시킨 피혁 슬러지 입식시료를 대상으

Table 2. Comparison of physico-chemical properties of earthworm feed material.

Parameters	pH vaule	Redox potential (Eh, mV)	Electrolytic conductivity (EC, $\mu$ mhos/cm)	Alkalinity (ppm as $CaCO_3$ )
Choi(1992)	5.4~8.05	-122~210	750~4,885	150~1,000
This study	7.1	85	2,620	450

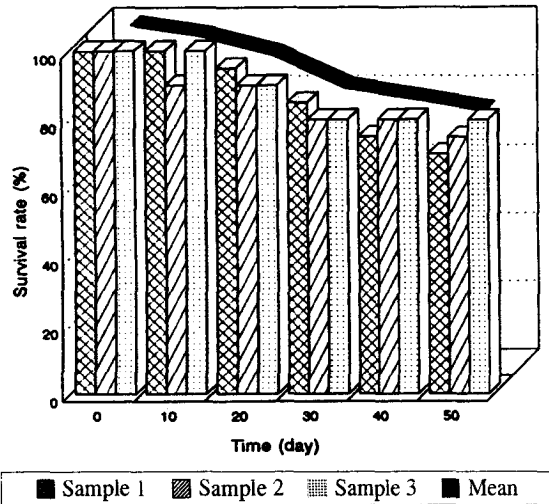


Fig. 4. Survival rate among 20 earthworms in the ripened sludge with the experimental time.

로 하여 3개의 나무상자 (10×10×20 cm)에 지렁이 20마리씩을 각각 입식시켜 10일 간격으로 50일 동안 생존여부를 관찰한 입식실험 결과는 Fig. 4에 나타내었다.

50일까지의 생존율은 평균 75%로 나타났다. 비록 입식시료는 다르지만 Tsukamoto와 Watanabe (1977)가 보고한 결과치와 비슷하며, 이는 중금속 함유슬러지에서도 부숙을 통하여 독성이 낮아짐으로 지렁이의 생존이 가능함을 알 수 있다.

3.3 지렁이 증체율

입식기간에 따른 지렁이의 생체량 변화 양상을 파악하기 위하여 생존율 실험과 같은 크기의 나무상자 3개에 지렁이 20마리씩 각각 입식시켜 10일 간격으로 50일동안 증체율을 평가하였으며 그 결과를 Fig. 5에 도시하였다. 일반적으로 증체율이란 한 개체의 체중이 증가하는 비율로서 정의되지만 지렁이의 크기가 워낙 작고 수많은 개체가 집단을 형성하기 때문에 본 연구에서는 그 집단이 일정기간에 증가한 증체율로 평가하였다.

이 그림에 의하면 50일동안 부숙시킨 입식시료

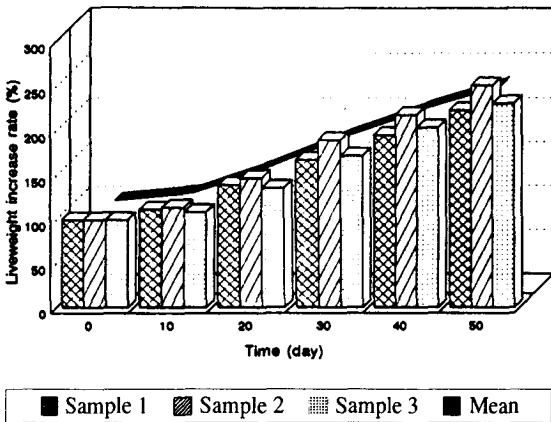


Fig. 5. Liveweight increase rate of earthworms for the three sludge samples.

에 대한 50일까지의 생체 증가율은 평균 230%로 나타났으며, 15일 후부터 증체량이 급격히 증가하기 시작하여 뚜렷한 증가폭을 보였다. 이와 같은 결과는 유해성분이 함유될 가능성이 적은 유기성 슬러지를 대상으로 10~20°C에서 입식실험한 최훈근(1992)의 결과치 261~266%의 증체율에 근접하고 있으며, Muyima 등(1994)이 함수율 75%에서 10~15일간의 적응기간후 성장이가속화한다고 한 보고와 일치하는 결과이다.

### 3.4 부화율

지렁이의 난포 형태는 종류에 따라 차이가 있으나 대개 레몬형으로 크기는 성낭머리 부분과 비교해서 약간 작거나 비슷한 3~5mm 정도이며, 백색에서 녹색, 황색으로 변하고 부화할 때가 되면 일반적으로 검은 빛을 띤 적황색으로 변한다(고재경, 1992). 본 연구에서는 피혁슬러지 입식시료에서 지렁이의 부화율을 평가하기 위하여 사육상에서 채취한 지렁이알을 20개씩을 나무상자에 넣은 후 같은 조건에서 부화율을 조사하였으며 그 결과는 Fig. 6에 도시하였다.

50일 동안의 평균 부화율은 87%였으며 그림에

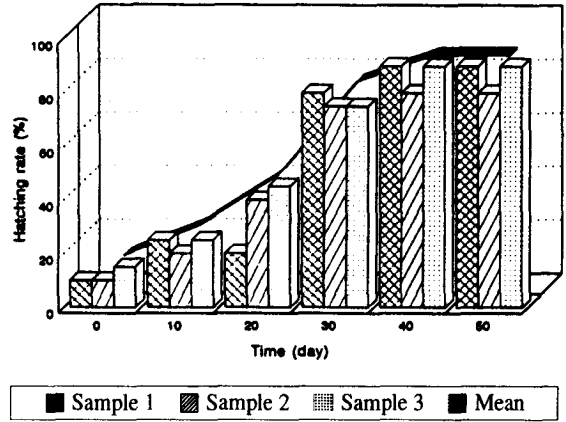


Fig. 6. Hatching rate for the 20 cocoons of earthworm in the ripened sludges according to the experimental time.

서 나타난 바와 같이 20~30일 사이에 대부분 부화가 이루어졌다. 이와 같은 결과는 최(1992)의 연구결과와는 비슷하나 고(1992)의 경우보다는 다소 낮은 것은 평가되었는데 이 결과는 생육환경 중 온도값이 15~25°C 사이에서 약간의 유동성이 있었기 때문인 것으로 판단되었다. 생존율과 증체량 변화에 비교하여 부화율은 온도에 현저하게 영향을 받으므로 15~25°C 사이에서 일률적으로 부화율을 적용하는대는 다소 무리는 있겠으나 기존의 연구와 비교하여 큰 차이가 없었다.

## 4. 결 론

지렁이를 이용하여 처리할 수 있는 대상 슬러지의 확대라는 시대적 요청에 부응하여 악성 산업폐기물로 분류되어왔던 피혁 슬러지를 대상으로 부숙기간별 슬러지의 이화학적 변화를 측정하고 이를 바탕으로 생존율, 증체량, 부화율 등을 조사하여 지렁이 먹이로서의 타당성 여부를 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 피혁 슬러지를 50일 부숙시킨 입식시료의 이화학적 성상은 pH 7.1, 함수율 72%, 산

- 화환원전위 185 mV, 전기전도도 2,260  $\mu\text{mhos/cm}$ , 알카리도 450 ppm  $\text{CaCO}_3$ 로 조사되었으며, 부숙기간별 이화학적 성상은 pH의 경우 25일 경과후 7.4를 얻었고 Eh는 30일 후 양(+ )의 값을 나타내었으며, 알카리도는 35일 경과후 1,000 ppm 이하로 낮아졌다.
2. 50일 까지의 생존율은 평균 75%로 비록 중금속 함유슬러지라도 부숙을 통해서 독성이 낮아져 지렁이 생존이 가능함을 알 수 있었다.
  3. 피혁 슬러지에서 지렁이의 증체율은 10~20일후 부터 급격히 증가하기 시작하여 뚜렷한 증가폭을 보였으며, 증체량은 50일 동안 평균 230%였다. 지렁이 난포는 20~30일 사이에 대부분 부화가 이루어졌으며 평균 부하율은 87%였다.
  4. 피혁 슬러지를 50일 부숙시킬 경우 지렁이를 이용한 퇴비화가 가능한 것으로 평가되었으며, 향후 효율적인 부숙재료의 개발, 경제성 분석에 관한 연구가 필요한 것으로 평가되었다.

### 참 고 문 헌

1. 김수생, 1995. 폐기물 매립 및 침출수 처리기술, 월간 폐기물, 제9권, p.60-76.
2. 김필성, 주영희, 1990. Lumbricus rubellus를 이용한 산업폐유기물의 분해물질이 시설원에 상토특성에 미치는 영향, I. 빨간지렁이가 우분분해에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 23(2), pp. 140-145.
3. 환경부, 1996, 환경백서.
4. 고재경, 1992. 지렁이를 이용한 환경문제의 농업적 해결, 서원출판사.
5. 수질오염, 1995. 폐기물공정시험방법. 동화기

술.

6. 이길철 외, 1993, 토양생물을 이용한 유기성 슬러지 처리기술개발과 재활용에 관한 연구(II).
7. 최훈근, 1992. 유기성슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화의 슬러지 급이와 사육 조건에 관한 연구. 서울시립대학교 박사학위논문.
8. 토양화학 분석법, 1996. 농업기술연구소.
9. Bouch, 1972. Lombriciens de France, Ecologie et Systematique, INPA Publ. 72-2. Institut National des Recherches Agricoles, Paris.
10. Drier, D.E., 1983. Anaerobic Digestion of Solid. Proc. 18th. Ind. Waste Conf. Purdue Univ. 126.
11. David L. Kaplan, Edward F. Neuhauser, Roy Hartenstein and Michael R. Malecki, 1980. Physicochemical Requirement in the Environment of the Earthworm Eisenia Foeyida. Soil Biol. Biochem. Vol. 12 p. 347-352.
12. Fostage, O. T. and Babb, M.R., 1972. Biodegradation of animal waste by Lumbricus terrestris, J. Dairy Sci. Vol. 55, pp.87-872
13. Hartenstein, R., 1978. Utilization of soil organisms in sludge management, Natl. Tech. Services, Springfield Virginia, PB 286932.
14. M.J. Mitchell., S.G. Hornor. and B. I. Abrams, 1980. Decomposition of Sewage Sludge in Dring Beds and Potential Role of the Earthworm Eisenia foteida, J. Environ, Qual., Vol. 9, No. 3, pp.373-378.



15. N.Y.O. Muyima, A.J. Reinecke, and S.A. Viljoen-Reinecke, 1994. Moisture requirements of DENDROBAENA VENETA COLIGOCHAE A, A CANDIDATE for Vermicomposting, Soil Biol. Biochem. Vol. 26, No. 8, pp.973-976.
16. Nomura S. and Usuki, I., 1951. Oxidation-reduction potential and pH in the soil of the habitat of earthworms. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser.4 (BioL). 19, 104-112.
17. Sabine, J.R., 1983. Earthworms as a source of food and drugs, "In Earthworm ecology," Chapman and Hall, London, pp.285-296.
18. Tsukamoto, J. and Watanabe, H., 1977. Influence of temperature on hatching and growth of Eisenia foetida, pedobiologia Vol. 17, pp.338-342.
19. USEPA Document, 1974. Policy Statement on Acceptable Methods for the Utilization or Disposal of Sludge, EPA, Washington, D.C.