

Vermistabilization에 의한 음식물쓰레기 처리에 관한 기초연구

손희정 · 김형석*

양산대학 토목과 · 신라대학교 환경학과

A fundmental Study on Vermistabilization of Foodwaste

Hee Jeong Son · Hyeong Seok Kim*

*Department of Civil Engineering, yangsan college, 105-1 Myunggok-dong,
Yangsan, Kyungnam 626-740, Korea*

Department of Environmental science college of natural science, Silla University,
Kwaebop-dong, Sasang-gu, Pusan 617-736, Korea*

Abstract

The objective of this study was to evaluate the possibility of Foodwaste and co-treatment with other waste for vermistabilization. The value of oxidation-reduction potential(Eh) of the dewaterized foodwaste by a plant of subatmospheric evaporation was a possitive(+) value indicating, but the values of pH, salinity was indicating an unfavorable condition for earthworm life. The paper mill mixing waste properties by ripening for 20days were changed into the favorable range for earthworm.

The growth of earthworms in foodwaste and mixing waste of paper mill 30% was found to be 68%, 84% for the survival rate, 227%, 275% for the liveweight increasing rate, respectively. The ingestion rate of foodwaste and mixing waste of paper mill 30% indicate 0.72g/g · d, 0.81g/g · d, respectively. About 62~75% of ingestion amount produce cast and characteristics of cast indicate pH 6.1~6.5, organic component 34~42%, salinity 0.35~0.4, CEC 73~94 me/100g, N, P, K concentration 0.8~1.2%, 0.4~1.6%, 0.43~0.5%, respectively. Therefore it can be evaluated that the casts are good soil condition and organic fertilizer.

I. 서 론

1995년부터 실시된 쓰레기종량제는 생활폐기물 발생량과 음식물쓰레기의 비율을 감소시키는데 일익을 담당하고 있다. 1998년 음식물쓰레기 발생량은 11,798톤/일로서 생활폐기물 발생량의 26.5%를 차지하였으며, 이를 1인당 발생량으로 환산하면 1일 0.41kg으로 일본의 0.37kg, 영국의 0.26kg에 비해 아직도 많은 양을 배출하기 때문에 2005년부터

터 시단위 이상 지역에서 발생하는 음식물쓰레기의 직매립 금지가 전면 시행될 예정임에 따라 감량 및 자원화 확대가 시급히 요구되고 있다. 이에 따라 폐기물을 처리하는 정책의 방향을 전환하여 일차적으로 폐기물의 발생량을 줄이는 감량화, 재활용 가능한 폐기물의 자원화와 가연성 폐기물의 소각처리로 최종 처분되는 폐기물을 최소화하고자 노력하고 있다^{1~4)}.

최근 관심이 되고 있는 폐기물의 소각처리 방법

은 폐기물의 부피를 85%이상 감소시키고, 발생된 소각열을 에너지로 활용할 수 있는 바람직한 기술인 것으로 평가되고 있다. 그러나 소각시설을 설치할 경우 소각로와 대기오염방지시설을 설치하는 초기비용이 과다하게 소요될 뿐만 아니라 소각로의 운전비용, Dioxin과 같은 대기오염물질을 처리하는 후처리시설의 운전비용이 과다하게 소요되는 등의 예산상의 어려움이 있다⁵⁶⁾.

그러므로 가장 이상적인 폐기물의 처리방법으로는 폐기물을 감량화하고 재활용할 수 있는 자원화 기술로 볼 수 있다. 그러나 자원화 기술은 현실적으로 잠재적 가능성과 필요성에 대하여서는 모두가 인식하고 있으나, 폐기물중에 섞여 있는 재활용이 가능한 폐기물의 선별과 이를 재활용할 수 있는 기술이 확립되어 있지 않고, 생산된 재활용품의 품질보증에 대한 소비자의 막연한 불안심리 등의 문제로 인하여 현실적으로 실용화하는데 어려움이 있다. 이에 따라 정부에서는 1992년 12월에 『자원절약과 재활용촉진에 관한 법률』을 제정공포하여 폐기물의 재활용 및 자원화를 위한 적극적인 정책을 수립하여 시행하고 있다.

음식물 쓰레기를 안정적으로 자원화하기 위해서는 안정된 자원화 기술의 확보가 무엇보다 중요하다. 음식물쓰레기의 자원화 방안으로는 사료화, 퇴비화, 혐기성 소화 등이 있으며, 현재 사료화(59%), 퇴비화(41%) 방법이 주를 이루고 있다. 음식물 쓰레기에 적절한 팽화제(bulking agent)를 첨가하여 퇴비화하면 감량화, 안정화, 재활용이 동시에 이루어질 수 있게 되고 신선도를 유지한 상태에서 건조하거나 발효시켜 동물의 사료로 재활용할 수도 있으며 처리비용 측면에서도 소각이 30,600원/톤으로 가장 높고 다음이 육상매립 19,700/톤, 재이용시 3,600/톤으로 나타나 재활용방안 강구가 시급한 것으로 나타났다⁷⁾.

유럽이나 미국에서는 이미 오래전부터 음식물쓰레기나 유기성슬러지와 같이 이용가치가 있는 유기성 폐기물을 비영리 측면에서 퇴비화하여 농업적으로 활발히 이용하고 있는 반면, 국내에서는 증가일로에 있는 이들 폐기물 발생추세에 비추어 장기적인 관리 대책 및 처리방안이 불분명하고, 특히 농업적 이용에 대한 적용은 매우 소극적인 입장을

보여온 것이 사실이다⁸⁹⁾.

그러나 이러한 음식물 쓰레기의 퇴비화에 따른 문제점으로 낮은 C/N비, 높은 함수율과 염분농도 등이 대표적인 요소로서 이러한 저해요인들을 감소시킬 수 있는 다른 종류의 폐기물을 혼합하거나 유기성 팽화제를 첨가하는 대안이 추천되고 있다¹⁰⁾. 일반적인 전처리로서 물리적 조건인 수분과 생화학적 조건인 C/N비 조절이 요구되며, 이를 만족시키기 위하여 유기계 팽화제 즉 톱밥, 벚짖, 왕겨 등의 첨가가 요구된다. 그러나 이들 또한 수요처가 증가하면서 구입이 어려워지고 있으며 가격 또한 영세농가에서는 상당히 부담스러울 정도이며, 실제 퇴비화 공정의 운영에서 초기 퇴비화 대상물질의 혼합비를 결정할 때 기존의 적정 조건들을 동시에 만족시키지 못하는 경우가 쉽게 발생할 것으로 예상된다.

따라서 유기성 물질은 먹이로서 거의 제한을 받지 않는 지렁이의 생리를 이용하여 음식물 쓰레기 처리의 한 방안으로 관심을 갖게 되었다¹¹⁾.

자연생태계에서 지렁이는 부속된 건조, 식물체, 동물의 분 등과 같은 다양한 유기성 폐기물을 분해하여 생산자인 녹색식물이 쉽게 이용할 수 있는 물질로 전환시키는 작용을 한다. 이와같이 비옥해진 토양에서는 생산자의 성장이 왕성하게 된다^{12,13)}. 이와 같은 지렁이의 생리적 특성을 이용하여 지렁이 양식(Vermiculture), 지렁이 퇴비화(Vermicomposting) 및 지렁이 안정화(Vermistabilization) 등의 지렁이를 이용하는 기술들이 사용되고 있다. 이들 중 지렁이 안정화(Vermistabilization)는 각종 하·폐수처리장에서 발생하는 슬러지와 가축 폐기물, 음식물 쓰레기 등을 지렁이의 먹이로 공급하고 지렁이로부터 배설된 분변토는 토양개량제나 퇴비로 재활용하므로써 환경공학적 측면에서 폐기물을 안정화시키는 처리방법을 말한다^{14,15)}.

따라서, 본 연구에서는 지렁이를 이용하여 음식물쓰레기를 처리하기 위한 기초연구로서 기존의 음식물쓰레기를 1차 건조시킨 원시료와 C/N비 조절을 위하여 제지 슬러지를 혼합한 혼합시료를 지렁이 먹이로 급이하여 지렁이의 생육상황을 조사하여 Vermicomposting에 의한 음식물쓰레기 처리 및 타 폐기물과의 병합처리 가능성을 검토하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 시료 및 운전

본 실험에 사용된 음식물쓰레기는 아파트 지역에서 선별 수거후 감압증발장치를 이용하여 1차 건조시킨 시료와 중량비로 제지 슬러지를 30% 혼합하여 pH 조절없이 수분 $65 \pm 5\%$ 조건으로 20일간 호기성 조건에서 1일 2회 이상 뒤집어 발효시킨 시료를 $10 \times 10 \times 20$ cm 크기의 스티로폼 상자에 1kg씩 채운 후 지렁이를 입식시켜 일정시간 간격으로 지렁이의 생존율, 증체율 및 분변토 생산량 등을 조사하였다.

2. 실험용 지렁이 및 사육시설

실험에 사용된 지렁이는 P 양식장에서 인공 양식중인 붉은 지렁이(*Lumbricus rubellus*, red worm)로서, 가축분 퇴비를 먹이로 이용하여 실내 온도 $15 \sim 25^\circ\text{C}$, 상대습도 $70 \pm 5\%$ 의 실험실에서 $30 \times 25 \times 70$ cm 크기의 통기와 배수가 잘되는 나무상자에서 사육시키면서 필요한 경우에 채취하여 사용하였다. 사육상은 빛을 차단한 암흑조건으로 하였으며, 실험기간 중에 평균온도는 $15 \sim 25^\circ\text{C}$ 범위로 유지하였다. 입식지렁이는 크기와 상태를 균등하게 하기 위하여 사육상에서 채취한 지렁이 알을 인공부화시켜 사육하면서 환대가 발생되기 전의 것을 실험에 이용하였다.

3. 분석

실험에 사용된 시료의 이화학적 성상은 환경오염공정시험법¹⁶⁾과 토양화학분석법¹⁷⁾에 준하여 분석하였으며, 부숙시료에 대한 지렁이 생존여부는 육

안에 의한 관찰과 지렁이 앞부분에 물질을 접촉시켜 반응이 없는 경우는 죽은 것으로, 반응이 매우 약하거나 뒷부분의 일부가 잘려나가도 반응을 하면 살아있는 것으로 판단하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 지렁이 생육조건과 시료의 이화학적 성상

유기성 폐기물을 지렁이를 이용하여 처리하고자 할 때는 폐기물의 이화학적 조건이 지렁이 생존에 적합해야 하며, 지렁이 먹이로 이용되는 유기성 폐기물은 미생물의 작용에 의해 시간과 장소에 따라 변화하는데 이 과정에서 일어나는 여러 가지의 변화는 지렁이의 생육에 많은 영향을 주게 된다¹⁸⁾.

본 실험에 사용된 1차 건조시킨 음식물쓰레기와 제지슬러지와 혼합후 20일 부숙시킨 시료의 이화학적 특성을 Table 1에 나타내었다.

일반적으로 지렁이가 선호하는 먹이조건으로 pH는 중성인 5~8, 수분함량은 $70 \pm 10\%$, Eh는 양(+)의 범위 그리고 염분농도는 0.5%이상에서는 생존이 어려운 것으로 알려져 있다¹⁹⁾.

Table 1에서 보는 바와 같이 1차 건조시킨 음식물쓰레기의 Eh는 양(+) 값으로 먹이조건에 적합하였으나, pH, 염분농도는 각각 4.52, 1.2%로서 지렁이 생존이 어려운 것으로 조사되었으나 제지 슬러지를 혼합하였을 경우 전체적으로 원시료에 비하여 이화학적 성상이 개선됨을 알 수 있었다. pH의 경우 기존의 일부 연구¹⁸⁾에서는 지렁이 급이조건에 중요한 인자로 작용하지 않는 것으로 평가되었으나, Table 1에 나타난 바와 같이 부숙과정을 통하

Table 1. Physico-chemical properties of raw and ripened mixing materials

Sample	Item	pH	water content (%)	Eh (mV)	Salinity (%)	C/N ratio	Heavy metal(mg/kg)					
							As	Cu	Cd	Hg	Pb	Cr
Raw foodwaste		4.5	62.3	97	1.2	13.6	ND	3.8	ND	ND	1.2	0.8
Ripened mixing material		6.3	48	135	0.7	24	ND	7.6	0.34	ND	1.4	0.7

여 지렁이 생육을 위한 최적의 환경으로 변화되어 감을 알 수 있었다. 그러나 중급속의 경우 현재 국내에서 적용되고 있는 퇴비에 있어서의 중급속에 대한 위해성 근거기준²⁰⁾과 비교하면 전반적으로 낮은 수준이나 슬러지에 유기물 부자재를 혼합시키면 상대적으로 퇴비의 중급속 농도가 낮아졌다는 장²¹⁾의 보고와는 달리 다소 증가하여 음식물쓰레기의 유기성폐기물과의 병합처리에 중급속 상승에 따른 문제점에 유의해야 할 것으로 판단된다.

2. 지렁이 생육실험

2.1. 생존율

원시료와 20일 부숙시킨 부숙시료 1kg씩을 스티로폼상자(10×10×20cm)에 채운 후 지렁이 50마리씩을 각각 입식시켜 10일 간격으로 50일 동안 시료 교체없이 생존여부를 관찰한 실험결과를 Fig. 1에 나타내었다.

지렁이는 환대이하의 부분 즉 제36체절 이하가 절단되어도 재생이 가능하므로 뒷부분의 일부가 훼손되어도 반응을 하면 살아 있는 것으로 간주하였다.

Fig. 2에서와 같이 음식물쓰레기와 제지 슬러지 30% 혼합구에서의 생존율은 각각 68%, 84%로 제지 슬러지 혼합구가 더 효율적임을 알 수 있었다. 이는 제지 슬러지 혼합 후 부숙과정을 통하여 이화학적 성상이 지렁이 생육에 보다 적합하게 개선

되었던 것으로 조사된 것과 일치하는 결과이다. 그러나 1차 건조시킨 음식물쓰레기의 경우 약 68% 생존율을 보여 Tsukamoto와 Watanabe 등²²⁾이 지렁이의 인공사육에서 적정 개체수 유지를 위해서는 부화된 지렁이 유체의 생존율이 약 70%이상이면 가능하다는 보고에 따르면 다소 못미치는 결과로서 음식물쓰레기 단독으로 지렁이에 의한 처리는 어려울 것으로 판단된다.

2.2. 증체율

입식기간에 따른 지렁이의 생체량 변화 양상을 파악하기 위하여 지렁이 생존여부 확인시 지렁이의 무게를 측정하여 생체 성장상태를 평가하였으며 그 결과를 Fig. 2에 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.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 음식물쓰레기 단독처리시 50일 후 증체율은 227%로 생존율과는 달리 대체로 양호한 성장상태인 것으로 조사되었다. 이는 생존이 가능한 지렁이의 경우 일정 기간 후에는 왕성한 소화력을 하는 것으로 판단된다. 한편 제지슬러지 혼합구에서는 275% 성장률로 먹이 상태에 따라 성장속도 또한 뚜렷한 차이를 나타내었다. 전체적으로 10~30일 사이에 왕성한 성장을 보이

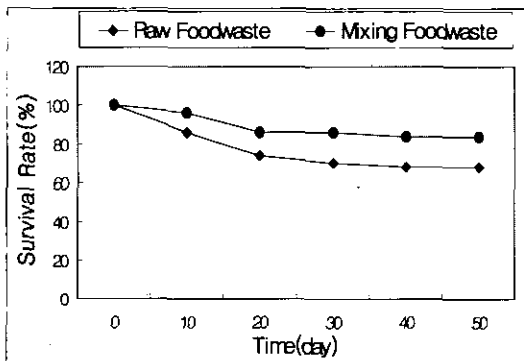


Fig. 1. Survival rate of earthworms in the raw and ripened mixing material with the experimental time

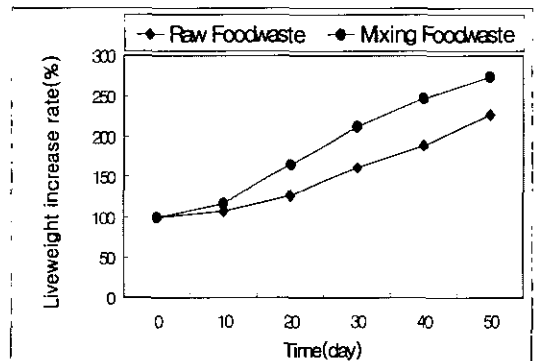


Fig. 2. Liveweight increase rate of earthworms in the raw and ripened mixing material with the experimental time

다 이후에 증가율이 다소 둔화되는 경향을 보였다. 이는 Muyima등²³⁾이 10~15일간의 적응기간 후 성장이 가속화된다는 보고와 유사한 결과이며, 지렁이가 성체가 되면서 성장율이 떨어지는 것과 관련이 있는 것으로 판단된다.

3. 분변토

3.1. 분변토 발생량

지렁이를 이용한 유기성폐기물 처리율의 주요 판단지표로 섭취량, 분변토 발생량 등이 활용되는데 이는 공학적으로 매우 중요한 의미를 갖는다.

Table 2.에서 보는 바와 같이 음식물쓰레기 단독처리시 지렁이 단위질량(g)당 하루 섭취량은 0.72g/g·d, 배설량은 0.54g/g·d로 조사되었다. 또한 제지슬러지 혼합구에서는 섭취량이 0.81g/g·d, 배설량은 0.61g/g·d로 제지슬러지 혼합구가 섭취량이 많았으며, 섭취량에 비례하여 배설량도 증가하는 경향을 보였다. 이는 먹이의 상태가 양호한 것일수록 많은 양을 섭취하되 영양분 또한 많아 섭취량의 적은 비율을 소화해도 생육에 충분하고,

그렇지 않은 경우에는 영양분 또한 적으므로 섭취한 양의 많은 비율을 소화해야 하기 때문에 적은 양만을 배설하는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 짧은 기간 동안의 섭취량과 배설량은 정확하게 파악하기에 곤란하므로 50일 동안의 전체 실험기간의 양으로 평균 생체량을 제하여 평균하였다.

3.2. 분변토의 특성

지렁이가 슬러지를 섭취하고 소화한 후 배설물의 형태로서 배출한 것을 분변토라 하는데 다른 동물과 특이하게 거꾸로 분을 배설하는 습성이 있어 먹이 표면에 분립층이 생기면서 축적된다. 지렁이 생체내 소화과정에서 미생물의 작용으로 먹이로 섭취한 입식시료와는 다른 이화학적 성상을 나타내고 있으며 입단구조로 되어 있어 공극량이 커서 통기성과 보수성을 높여 토양의 물리성을 개선시키는 효과가 크고, 양분보존능력이 높으며, 특히 유효인산함량과 양이온치환능이 높아서 지렁이 자체를 양식하여 수확하는 일보다 오히려 분변토의 유효이용이 더 비중을 차지하는 추세이며 유기질 비료 또는 토양개량제, 흡착제로써의 활용이 기대된다²⁴⁾.

사육기간중 지렁이 소화에 의해 배출되는 분변토의 이화학적 특성을 Table 3에 나타내었다.

Table 3에서 보는 바와 같이 분변토의 pH는 6.1~6.5로 대체적으로 일정한 값을 보였으며, 입식시료에 비하여 분변토의 pH가 다소 높아진 것은 소화과정에서 소화효소에 의한 작용인 것으로 판단되며, 먹이 종류에 관계없이 7.0이상을 유지한다는 김²⁵⁾의 보고와는 다소 차이를 보였다.

유기물 함량은 34~42%로 대체로 일정한 값을

Table 2. Mass balance of feed to earthworms.

Items Samples	Ingestion rate (g/g·d)	Casting rate (g/g·d)	Digestion ratio(%)
Raw Foodwaste	0.72	0.45	38
Ripened Mixing Material	0.81	0.61	25

Table 3. Physico-chemical properties of produced cast.

Items Materials	pH	VS/ TS	CEC (me/100g)	Salinity (%)	N	P (%)	K ₂ O	Heavy metals(mg/kg)					
								As	Cu	Cd	Hg	Pb	Cr
Raw foodwaste	6.1	38	73	0.4	0.8	0.4	0.43	ND	2.2	ND	ND	0.8	0.7
Ripened mixing foodwaste	6.5	42	94	0.35	1.2	1.6	0.5	ND	3.8	0.2	ND	0.8	0.5

유지하였다. 또한 분변토는 입단구조이고 양이온 교환능력은 73~94me/100g으로서 통기성과 보수성을 높여 토양의 물리성을 개선시키는 효과가 크고, 양분보존능력이 높아 토양개량제등으로 활용가능하리라 판단된다.

염분함량의 변화는 입식전 1.2~0.7%에서 분변토의 경우 0.4~0.35%로 절반이상 낮아졌는데 이는 지렁이 먹이로의 이용과 지렁이 활동에 따른 안정층과의 혼합에 의한 것으로 판단된다.

또한 미국의 비료법에서 N, P, K 성분이 5%이상, 캐나다의 경우에는 각각 1%이상의 영양물질 함량을 규정하고 있어⁴⁸⁾ 이를 근거로 본 실험에서 얻어진 분변토의 경우 먹이로 급여한 부숙시료에 비해 감소되었으나 각각 0.8~1.2%, 0.4~1.6%, 0.43~0.5%로 비료로서 이용되기에는 다소 어려움이 있겠으나 토양개량제로서의 역할은 충분할 것으로 판단된다.

한편 분변토내 중금속 함량이 입식시료에 비해 낮은 값을 보였는데 이는 지렁이 소화시 체내 농축으로 인한 것으로 Harris등²⁶⁾이 Vermistabilization으로 중금속의 경감효과가 있었다는 보고와 일치하는 결과로서 중금속의 종류에 따라 전체적으로 약 13~50% 정도의 감소효과를 보였다.

V. 결 론

지렁이를 이용하여 처리할 수 있는 대상 슬러지의 확대라는 시대적 요청에 부응하여 음식물쓰레기 및 타 폐기물과의 병합처리 가능성을 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1차 건조시킨 음식쓰레기의 Eh는 양(+) 값으로 먹이조건에 적합하였으나, pH, 염분농도는 각각 4.52, 1.2%로서 지렁이 생존이 어려운 것으로 조사되었으며 제지 슬러지를 혼합하였을 경우 전체적으로 원시료에 비하여 이화학적 성상이 개선됨을 알 수 있었다. 중금속의 경우 전반적으로 낮은 수준이나 음식물쓰레기의 유기성폐기물과의 병합처리에 중금속 상승에 따른 문제점에 유의해야 할 것으로 판단된다.
- 음식물쓰레기와 제지 슬러지 30% 혼합구에서의 생존율은 각각 68%, 84%, 증체율은 227%,

275%로 생존이 가능한 지렁이의 경우 일정 기간 후에는 왕성한 소화를 하는 것으로 판단된다. 전체적으로 10~30일 사이에 왕성한 성장을 보이다 이후에 증가율이 다소 둔화되는 경향을 보였다.

4. 음식물쓰레기 단독처리시 지렁이 단위질량(g)당 하루 섭취량은 0.72g/g·d, 배설량은 0.54g/g·d, 제지슬러지 혼합구에서는 각각 0.81g/g·d, 0.61g/g·d로 제지슬러지 혼합구가 섭취량이 많았으며, 섭취량에 비례하여 배설량도 증가하는 경향을 보였다. 분변토의 pH는 6.1~6.5, 유기물 함량은 34~42%, 양이온 교환능력은 73~94 me/100g, 염분함량의 변화는 입식전 1.2~0.7%에서 분변토의 경우 0.35~0.4%로 절반 이상 낮아졌으며, N, P, K 함량은 각각 0.8~1.2%, 0.4~1.6%, 0.43~0.5%로 비료로서 이용되기에는 다소 어려움이 있겠으나 토양개량제로서의 역할은 충분할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 199년도 신라대학교 교내연구비로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 서동일: 대전시 주방폐기물의 효율적인 처분 방안, 한국폐기물학회지, Vol.11, No.1, 9-16, 1994.
2. 남궁완외 2: 음식물쓰레기 퇴비의 숙성도 평가를 위한 물리화학적 지표의 적합성 연구, 한국폐기물학회지, Vol.13, No.6, 793-799, 1996.
3. 이은경: 첨가제를 달리한 음식물쓰레기의 퇴비화에 관한 연구, 대한환경공학회지, Vol.16, No. 8, 953-962, 1996.
4. 박봉선, 송준상: 유기성 폐기물 사료화 연구, 월간폐기물, No.7, 66-73, 1993.
5. 환경부: 환경백서, 174-283, 1998.
6. 환경부: 국가 폐기물 관리 종합 계획, 48, 1998.
7. 환경관리연구소: 환경산업총람, 1996.
8. U.S.EPA, *Federal Register*: Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge Rule, 56(32), 9247-9420, 1983.

9. U.S.EPA, D. Carvey : Treatment and Disposal of Sewage Ssssludge, Proc. of Sludge 2000, Sewage Sludge Use and Disposal, Robinson College, Cambridge, 1992.
10. 유영진 : 서울시 음식쓰레기의 퇴비화 여건 조성에 관한 연구, 서울시정연구, Vol.2, No.1, 114-129, 1993.
11. 하영수 : 지렁이를 이용한 음식물쓰레기의 재활용에 관한 연구, 아주대학교 석사학위논문, 1995.
12. Hartenstein, R : Utilization of soil organisms in sludge management, Natl. Tech. Services, Springfield Virginia, PB 286932, 1978.
13. 김필성, 주영희 : Lumbricus lubellus를 이용한 산업폐유기물의 분해물질이 시설 원예상토특성에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 23(2), 140-145, 1990.
14. Sabine, J.R : Earthworms as a source of food and drugs-In Earthworm ecolgy, *Chapman and Hall, London*, 285-296, 1983.
15. Fostage, O.T. and Babb, M.R : Biodegradation of animal waste by Lumbricus terrestris, *J.Dairy Sci*, 55, 87-872, 1972.
16. 동화기술 : 폐기물공정시험방법, 1995.
17. 농업기술연구소 : 토양화학분석법, 1988.
18. 최훈근 : 유기성슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화의 슬러지 급이와 사육조건에 관한 연구. 서울시립대학교 박사학위논문, 1992.
19. Loehr, R.C., Martein, J.H., and Neuhauser, E.F. : Liquid sludge Stabilization Using Vermistabilization, *J.WPCF*, 57(7), 817-826, 1985.
20. 자원재생공사 : 퇴비관련법제 및 표준화 연구, 1996.
21. 장기운 : 부산물 비료 품질 고급화를 위한 금 후 발전 방안-유기성 폐기물 비료화의 문제점과 대책 심포지움, 70-112, 1995.
22. Tsukamoto, J., and Watanabe, H : Influence of temperature on hatching and growth of Eisenia foetida, *pedobiologia*, Vol.17, 338-342, 1977.
23. Muyima, N.Y.O., Reinecke, A.J., and Reinecke, S.A. : Moisture requirements of DENDROBAENA VENETA COLIGOCHAE A.A CANDIDATE for Vermicomposting, *Soil Biol. Biochem.* Vol.26, No. 8, 973-976, 1994.
24. Edwards, C.A., and Lofty, J.R. : Biology of earthworm, Rothamsted Experimental Station. Harpenden, London, CHAPMAN and HALL 1th, 1972.
25. 김선일 : 지렁이를 이용한 슬러지 안정화, 건국대학교 석사학위논문, 1993.
26. Harris, G.D., Platt. W.L., & Price, B.C : Vermicomposting in a rural community, *Bio Cycle Jan.*, 48-51, 1991.