

지렁이를 이용한 퇴비화 조건과 분변토의 비료성·안전성에 관한 연구

송준상, 이길철, 전성환, 최훈근, 조경희, 김선일

국립환경연구원 폐기물연구부
서울특별시 은평구 불광동 280-17(우 120-040)

Vermicomposting Condition and Safety/Fertility of Earthworm Casts

Jun-Sang Song, Kil-Chul Lee, Sung-Hwan Chun, Hun-Keun Choi,
Kyung-Hee Cho, and Sun-il Kim

*National Institute of Environmental Research
Seoul 122-040, Korea*

ABSTRACT

This study was conducted to achieve develop organic sludge recycling technology as sludge make a prey of earthworm. Therefore sludge treatment and recycling technology is an important field by which this research project to solve landfill site and reduction treatment expense using vermicomposting treatment process on the waste sludge from the biological wastewater treatment plant.

In experimental results on the optimum conditions of vermicomposting of nightsoil treatment sludge, survival rates were observed 98.3% in temperature of 10-15°C, 75% in pH 5.8-7.5 and 100% in density of 1/79.8 cm³, respectively. Liveweight changes of earthworm were increased 266% in temperature of 10-15°C, 227% in pH 5.8-7.5 and 325% in density 1 cap./79.8 cm³, respectively. Casting production rate were generated 0.06 g/cap./day in temperature 20-25°C, 0.065 g/cap./day in pH 5.8-7.5 and 0.1 g/cap./day in density 1 cap./79.8 cm³, respectively. Cocoon production numbers were observed 3.8 ea./cap.in 10-15°C, 2.95 ea./cap.in pH 5.8-7.5 and 3.16 ea./cap. in 1 cap./79.8 cm³ during 6 weeks, respectively. pH was dropped by 6.2 to 5.7, volatile solids was decreased by 2.9%, NH₃-N were also reduced by 6.984 μg/g to 0.991 μg/g. NO₃-N, however, were increased by 3.213 μg/g to 7.706 μg/g.

Fecal coliforms and pathogenic bacteria are analyzed by microbiological method to assess public health safety of casting. Number of fecal coliform groups were reduced 88.6-99.1% (Avg. 95.7%) approximately. And pathogenic bacteria such as *Salmonella*, *Shigella* and *Vibrio*, were not isolated from the earthworm cast.

초 록

본보는 분뇨처리장에서 잉여 슬러지로 발생하는 유기성 슬러지를 지렁이 먹이로 활용하여 처리하는 폐기물 자원화 기술의 하나인 Vermicomposting 방법을 효율적으로 운영관리하기 위한 온도, pH, 사육밀도의 적정사육조건과 Vermicomposting의 부산물인 분변토의 비료성분과 안전성을 조사하였는데 지렁이 생존율은 온도 10-15℃에서 98.3%, pH 5.8-7.5에서 75% 및 밀도 1/79.8 cm³에서 100%였다. 지렁이 생체량 변화는 온도 10-15℃에서 266%, pH 5.8-7.5에서 227% 및 밀도 1/79.8 cm³에서 325%로 많이 증가하였으며, 지렁이 분변토 발생량은 온도 20-25℃에서 0.06 g/cap./day, pH 5.8-7.5에서 0.065 g/cap./day 및 밀도 1/79.8 cm³에서 0.1 g/cap./day로 많이 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 지렁이 난포 생산은 온도 10-15℃에서 3.8 ea./cap./6weeks, pH 5.8-7.5에서 2.95 ea./cap./6weeks 및 밀도 1/79.8 cm³에서 3.16 ea./cap./6weeks로 많이 생산되었으며, 지렁이의 먹이로 공급된 슬러지와 먹고 배설한 분변토의 pH는 6.2에서 5.7로 낮아지며 휘발성 고형물질은 2.9% 감소되는 것으로 나타났다. 또한 NH₃-N는 6.984 μg/g에서 0.991 μg/g으로 감소한 반면, NO₃-N는 3.213 μg/g에서 7.706 μg/g으로 증가되는 것으로 나타났다. 그리고 지렁이 분변토 중의 병원성 대장균은 슬러지에서 보다 88.6-99.1% (평균 95.7%) 정도 감소되는 것으로 조사되었으며 병원성 장내세균인 *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio* 등은 검출되지 않았다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 Vermicomposting 기술은 유기성 슬러지를 재이용함과 동시에 폐기물을 처리하는 효과가 있으며 앞으로 이를 보급함으로써 폐기물 처리에 중요분야가 될 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어—Vermicomposting, 지렁이, 슬러지, 자원화, 분변토, 난포

1. 서 론

우리나라에서 발생하는 일반 및 특정폐기물의 양은 산업의 발전과 생활수준의 향상을 통한 소비증가등의 이유로 매년 증가되는 실정이다. 이의 처리방법은 주로 매립, 소각 및 재활용 등의 3가지 방법이 있으며, 우리나라에서는 매립에 의한 최종처분이 폐기물 처리의 가장 많은 부분을 차지하고 있다 (환경처, 1991). 가장 이상적인 폐기물의 처리방법은 폐기물을 감량화하고

재활용 할 수 있는 자원화 기술로 볼 수 있다.

전국의 156개 분뇨처리장에서 1일 13,227 t의 분뇨처리시 발생하는 슬러지케익 (환경처, 1991), 3,400 여개의 산업체에서 발생하는 1일 13,500톤의 유기성슬러지 (환경처, 1991) 및 4,400여개의 축산시설에서 발생하는 슬러지케익 등 많은 분야의 폐기물이 자원으로 재활용 가능하며 이러한 폐기물의 적정처리와 자원재활용을 유도할 수 있는 처리법에 대한 연구가 필요한 실정이다.

Vermicomposting 방법은 이러한 폐기물중

의 유기성물질을 지렁이를 이용하여 처리하고 발생하는 분변토 및 지렁이를 재활용하는 생태계에서 이루어지는 자연처리법이다 (Evans and Guild, 1948; Barley, 1958a, 1961b). 이 원리의 이용은 현재 폐기물중에 많은 부분을 차지하고 있는 유기성슬러지 처리의 한 방법으로 Fosgate 등(1972)에 의해 시도되어지고 현장 실용화 기술까지 발전하여 활용되고 있으며 앞으로 나날이 발생되고 있는 폐기물중 유기성물질을 처리하는데 주요한 처리방법의 하나로서 활용될 것으로 판단된다.

우리나라에서는 1992년 폐기물의 재활용 촉진과 폐기물 처리라는 문제를 해결하는 방안의 하나로서 Vermicomposting을 폐기물 처리기술로 고시하여 이의 활용을 권장하고 있다 (환경처, 1991). 그러나 Vermicomposting에 대한 여러가지 연구가 수행되었지만 먹이로써 이용되는 슬러지는 자연계에서 지렁이가 섭취하는 유기물질과는 발생과정 및 성상면에서 매우 다르다. 슬러지는 여러가지 화학물질 등이 혼합되어 있고 그 종류도 매우 다양하므로 Vermicomposting 방법을 이용하여 효율적으로 처리하기 위해서는 지렁이의 특성 및 생리에 적합한 경우에 한하여 이용될 수 있다. Robert 등(1984)은 살충제, 중금속 등의 화학물질을 대상으로 그 위해성 여부를 파악한 바 있으며 Hartenstein(1982)은 방향족 화합물 등이 지렁이에 미치는 영향을 조사하여 이러한 사실을 입증한 바 있다. 한편 동일 슬러지라도 슬러지의 보관 및 부숙기간 등에 따라 지렁이의 먹이로서 이용 가능하기도 하고 그 반대로 증식이 이루어지지 않거나 감소되기도 하며 심지어는 사멸하는 경우가 있다.

현재까지는 자연생태계의 유기성 물질을 이용하여 지렁이의 증식과 작물의 수량증대등에 관하여 주로 연구되어 왔다. 슬러지 처리를 위한

지렁이의 활용은 최근에 들어서야 연구되는 단계로 이에 대한 자료가 미비하나 1980년대에 들어서에는 슬러지 처리의 일환으로 지렁이를 이용하는 방안이 다양하게 보고되었다. Mitchell 등(1980)은 하수슬러지의 분해, Loehr(1985)는 액체슬러지의 안정화, Hartenstein 등(1981)이 활성슬러지 처리시 물리화학적 변화등에 관하여 연구하였고, Camp등(1981)은 도시폐수슬러지를 Vermicomposting 방법을 적용하여 슬러지 처리에 지렁이의 유기물 섭취능력을 이용하는 새로운 처리개념을 보고하였다.

본 연구에서는 슬러지를 지렁이의 먹이로 활용하여 처리하기 위한 지렁이 사육조건과 지렁이의 배설물인 분변토의 비료성과 안전성에 관한 연구를 수행하여 Vermicomposting의 효율적인 운영을 위한 조사를 수행하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

실험에 사용된 지렁이는 인공양식종인 붉은지렁이(*Lumbricus rubellus*, red worm)를 양식장에서 채취한 후 실험실내에서 분뇨슬러지를 먹이로 하여 27×28×57 cm 크기의 통기와 배수가 잘 되는 나무상자에서 사육하면서 필요한 경우에 채취하여 사용하였다. 실험용 지렁이는 크기와 상태를 균등하게 하기 위하여 환대가 발생하지 않은 것을 실험에 이용하였다.

2.2 실험내용 및 방법

(1) 지렁이 사육조건 조사

지렁이의 사육조건 조사는 지렁이가 생존 가능한 분뇨슬러지(함수율 65±5%) 120 g을 12×19×3.5 cm (798 cm³)의 스티로폼 용기에 넣은 후 지렁이를 입식시켜 6주간 실험을 수행하였다.

슬러지는 2주 간격으로 교환하여 주면서 지렁이 생존율, 생체량, 난포(Cocoon) 수 및 지렁이 배설물인 분변토(Casting) 발생량을 파악하였으며, 지렁이는 새로운 슬러지에 재입식하여 실험을 계속 수행하였다. 지렁이를 접촉하여 반응이 없는 경우는 사멸한 것으로 판단하였고, 분변토는 슬러지를 건조실에서 풍건시킨 후 2 mm 체를 통과하는 것으로 하였다. 지렁이의 생체량 측정은 지렁이를 사육용기에서 꺼낸 후 증류수에 1분간 넣었다 꺼낸 후 5 B 여과지에 1분간 접촉시켜 피부표면에 부착된 슬러지에 의한 영향을 배제한 후 무게를 측정하였다.

1) 온도

pH 가 5.8-7.5의 범위인 슬러지를 사용하여 온도 10-15℃, 20-25℃ 및 30-35℃의 조건에서 하나의 용기에 지렁이 20마리를 입식시켜 온도별로 5개씩을 실험하였다.

2) pH

슬러지에 1N NaOH 또는 1N HCl을 사용하여 pH 가 3-4.5, 5.8-7.5 및 8-10.5가 되도록 조절하여 사용하였으며, 하나의 용기에 지렁이 20마리를 입식시켜 20-25℃ 실온에서 pH 별로 5개씩을 실험하였다.

3) 입식밀도

입식밀도 실험은 pH 5.8-7.5의 범위인 슬러지를 지렁이 먹이로 하여 20-25℃ 실온에서 10, 20 및 40 마리를 각각 입식시켜 밀도를 1/79.8 cm³, 1/39.75 cm³ 및 1/19.95 cm³로 하였으며, 밀도별로 5개씩을 실험하였다.

(2) 지렁이 분변토의 비료성분 조사

지렁이의 먹이로 사용한 슬러지와 분변토를 각각 채취하여 비료성분을 비교 분석하기 위하여 함수율, pH(환경오염공정시험법), TKN, NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N(비료분석법해설), T-P, PO₄-P 등을 분석하였다.

(3) 지렁이 분변토의 안전성 조사

지렁이 분변토가 토양개량제와 비료로써 안전하게 쓰일 수 있는지를 조사하기 위하여 지렁이의 먹이로 사용된 분뇨처리장 슬러지와 분변토 중의 분원성 대장균군과 병원성 세균에 대한 실험을 하였다. 분원성대장균군(Fecal Coliform Group)은 Standard Method의 MPN 법으로 조사했고 측정된 MPN 값을 희석배수에 따라 시료의 g 당 오염도로 나타내었다. 병원성 장내세균 조사는 500 ml의 삼각플라스크에 Tetrathionate Broth base가 250 ml 되도록 조제하여 끓인 후 상온으로 식혀서 Iodine 용액 5 ml를 혼합하여 Tetrathionate Broth를 준비하였다. 준비한 삼각플라스크에 Sample 5 g을 넣어 Shaker로 흔들여 섞은 다음 37±0.5℃ Incubator에 정지상태로 24시간 배양하여 병원성 장내세균을 증균하였다. 이 증균액을 미리 준비한 Mackonkey Agar 평판배지에 펼쳐 바른 후 37±0.5℃ Incubator 에 넣고 24시간 배양하여 1차 분리하였다. 집락의 색과 형태에 따라 2차로 Mackonkey Agar 평판배지에 이식하여 24시간 배양한 순수분리한 집락에 Oxidase Test를 하여 양성을 나타내는 것을 구분한 다음, 분리균주를 그람음성간균 동정용 카드(Gram Negative Identification Card)에 접종하고 세균자동동정기(Vitek Junior System: Product No. 51-1306)로 배양하면서 생화학적 실험을 실시하여 동정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 지렁이 사육조건

(1) 생존율

사육온도, pH, 밀도조건에 따라 지렁이의 생존율을 관찰한 결과는 Table 1과 같다.

각각의 온도별 생존율은 처음 2주간은 10-15, 20-25 및 30-35℃에서 0%, 2% 및 7%의

Table 1. Variation of number of survival worms according to the variation of culture conditions in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant

Condition	Range	Experiment Period (Week)				Survival Rate (%)
		0	2	4	6	
Temp.	10-15℃	20	20	19.8	19.4	98.3
	20-25℃	20	19.6	19.6	19.4	97.7
	30-35℃	20	18.6	18	18	91
pH	3.0-4.5	20	6.2	4.4	3.4	17
	5.8-7.5	20	17.2	16	15	75
	8.0-10.5	20	9.6	8.8	8	40
Density	1/79.8 cm ³	10	10	10	10	100
	1/39.75 cm ³	20	19.6	19.6	19.2	96
	1/19.95 cm ³	40	35.6	34.4	30.4	76

(unit: cap.)

변화를 보였으며, 온도에 따른 생존율의 차이가 있었으나, 4, 6주에 들어서는 생존율의 변화폭이 각각 1-2%로 차이가 없는 것으로 나타났다.

지렁이에 대한 온도의 영향은 초기에 지렁이에게 영향을 주나 어느정도 시간이 지나면 순응이 되어 감소되는 것으로 판단된다. 한편 사육 온도 10-15, 20-25 및 30-35℃에서의 6주간의 생존율은 각각 98.3%, 97.7%, 91%로 나타났다.

사육온도에 따라 지렁이 생존율이 차이가 있는지 여부를 알기 위한 t 테스트 결과 10-15℃와 20-25℃는 유의한 차가 없었으나 10-15℃와 30-35℃와는 $p=0.01$ 에서 t 값 6.09로 유의한 차가 있는 것으로, 20-25℃와 30-35℃는 $p=0.01$, $t=5.55$ 로 유의한 차가 있는 것으로 나타났다.

한편 Tsukamoto(1977)가 지렁이를 10, 15, 20 및 25℃에서 생존율을 조사한 연구를 보면 93, 100, 90 및 95%로 나타나 10-25℃ 범위내에서는 생존율이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. Harteinstein(1982)의 연구결과에서도 18-30℃에서 지렁이 생존율이 95-100%로

높게 유지되는 것을 관찰한 바 있으나, Kaplan 등(1980)은 30℃가 넘게 되면 급격히 사멸한다고 하였다. 이러한 원인은 온도가 높게 되면 미생물의 대사활동이 촉진되므로 유기물내의 산소가 고갈되기 때문인 것으로 알려져 있다.

연구자들의 발표내용과 실험결과를 종합하여 볼 때 Vermicomposting을 위한 온도는 30℃ 이상에서는 부적당한 것으로 판단된다.

슬러지의 pH 변화에 따른 지렁이의 생존율을 조사한 결과는 표 1과 같다. 생존율은 pH가 5.8-7.5, 8.0-10.5, 3.0-4.5의 범위에서 6주후에 각각 평균 75, 30 및 17%로 나타났으며, pH 3.0-4.5와 pH 8.0-10.5 범위에서는 초기에는 급격히 사멸하였으나 시간이 지나면서 사멸율이 낮게 나타나고 있다. 산성과 중성에서의 생존율 차이는 58%였으며, 통계적으로 유의성을 검정하기 위하여 t-test 한 결과 $p<0.001$ 에서 t 값은 19.17로 유의한 차이를 나타냈다. 또한 알카리성과 중성에서의 생존율의 차이는 35%였으며, t-test 한 결과 $p=0.005$ 에서 t 값 12.47로 유의한 차이를 나타냈다.

지렁이를 일정한 규모의 사육상 안에서 사육 밀도에 따른 생존율은 Table 1과 같다. 지렁이의 사육밀도 변화에 따른 생존율은 사육상 (12×19 cm, 슬러지 798 cm³)에 지렁이의 개체수가 10, 20 및 40 마리일 때 각각 100, 96 및 76%로 나타나 사육밀도가 높으면 생존율이 감소하고 있는 것으로 나타났으며 20마리와 40마리에서의 생존율을 t-test 한 결과 p=0.01, t=19.22에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 사육밀도가 지렁이 생존에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 실험결과에 의하면 지렁이 생존율이 100%인 경우의 개체당 슬러지량은 79.8 cm³였다.

(2) 지렁이 생체량 변화

온도, pH, 밀도조건에 따른 지렁이의 생체량 변화 양상을 파악하기 위하여 지렁이의 무게를 측정하여 Table 2로 나타낸 것이다.

표에서 보는 바와같이 사육기간 6주후에는 지렁이의 생체 증가율이 10-15℃, 20-25℃ 및 30-35℃ 에서 각각 평균 266%, 261% 및 180%로 조사되었다. 즉 Vermicomposting시 지

렁이의 생체량 증가는 10-15, 20-25, 30-35℃의 순이었다. 온도에 따라 지렁이 생체량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 t-test를 한 결과 10-15℃ 와 20-25℃에서는 생존율과 같이 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며 10-15℃와 30-35℃에서는 P=0.01, t=2.99로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. pH 변화에 따른 지렁이 개체의 생체량 변화를 보면 pH 5.8-7.5에서는 평균 227% 증가하는 것으로 조사되었고, pH 3.0-4.5 및 8.0-10.5에서는 각각 평균 37% 및 42% 정도 감소하는 것으로 나타나 pH가 너무 낮거나 높은 경우에는 지렁이의 성장에 영향을 주어 생체량이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 슬러지가 산성이나 알칼리성인 경우 지렁이 생존율과 마찬가지로 생체량에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 1은 지렁이를 밀도에 따라 사육하면서 지렁이 개체당 무게변화를 그래프로 나타낸 것이다. 사육상에 10마리를 입식시켜, 1마리당 사육부피가 79.8 cm³인 경우에는 입식시 무게 0.17 g에서 4주간까지는 계속 증가하였으나 4주

Table 2. Variation of liveweight of earthworm according to variation of culture condition in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant

Condition	Range	Experiment Period (Week)				Survival Rate (%)
		0	2	4	6	
Temp.	10-15℃	0.23	0.33	0.5	0.64	266
	20-25℃	0.20	0.3	0.37	0.51	261
	30-35℃	0.23	0.26	0.32	0.41	180
pH	3.0-4.5	0.25	0.24	0.15	0.16	-37
	5.8-7.5	0.21	0.31	0.43	0.45	227
	8.0-10.5	0.3	0.29	0.27	0.17	-42
Density	1/79.8 cm ³	0.17	0.3	0.48	0.52	325
	1/39.75 cm ³	0.18	0.28	0.39	0.48	277
	1/19.95 cm ³	0.21	0.26	0.4	0.46	212

(unit: g)

이후에는 지렁이의 개체가 0.5 g으로 성체가 된 후에는 지렁이의 무게 증가율이 낮아졌다. 또한, 사육상에 20마리를 입식시켜, 1마리당 사육부피가 39.75 cm³인 경우에는 입식시 무게 0.18 g에서 6주간까지는 같은 속도로 증가하는

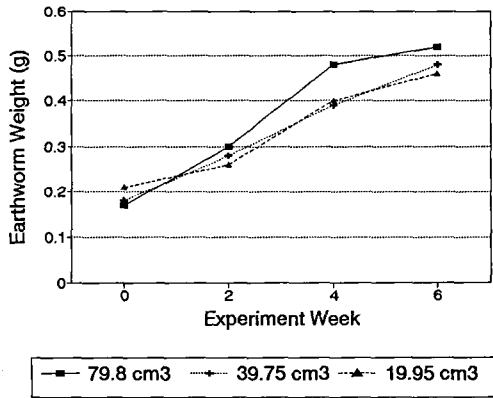


Fig. 1. Variation of earthworm weight according to the variation of culture density in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant.

경향을 나타내어 6주후에는 평균 무게가 약 0.48 g이 되었다. 그리고 사육상에 40마리를 입식시켜, 1마리당 사육부피가 19.95 cm³인 경우에는 입식시 무게 0.21 g에서 6주간까지는 같은 속도로 증가하는 경향을 나타내어 6주후에는 평균 무게가 약 0.46 g이 되었으며, 이와같은 결과는 지렁이 사육밀도에 따라 지렁이의 성장이 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 지렁이를 밀도에 따라 사육하면서 지렁이 개체당 1일 평균 무게증가량을 계산하여 그래프로 나타낸 것이다. 사육상에 10마리를 입식시켜, 1마리당 사육부피가 79.8 cm³인 경우 처음 2주간에는 왕성한 성장을 보여 1일당 무게의 증가속도는 0.055 g/cap./day였으며, 다음 2주간은 0.042 g/cap./day로서 약간 낮아졌고, 성체가 된 마지막 6주째에는 무게 증가율이 0.006 g/cap./day에 불과하였다. 사육밀도의 변화에 따른 1일 지렁이 무게 증가율은 성체가 되면서 현저하게 감소되는 것을 알 수 있다. 특히 6주후에는 10마리를 입식시킨 사육상의 지렁이는 완전히 성체가 되어 증가속도가 현저히 낮아졌기 때문에, 20, 40마리 입식시킨 사육상보다

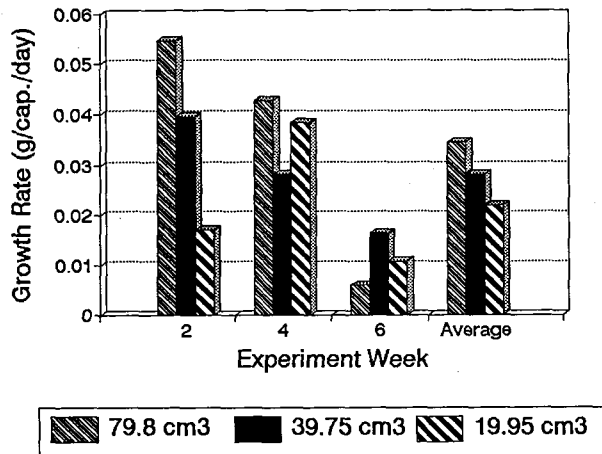


Fig. 2. Variation of earthworm increased weight per a day according to the variation of culture density in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant.

지렁이 무게 증가율이 약 1/3-1/2 수준에 불과하였다. 그리고, 6주간의 1마리당 1일 평균 증가율은 10마리 입식시에는 0.034 g/cap./day, 20마리 입식시킨 경우에는 0.028 g/cap./day, 40마리 입식시킨 경우에는 0.022 g/cap./day으로 사육밀도가 증가함에 따라 성체가 되는 기간도 길어지는 것을 알 수 있었다.

(3) 분변토 발생량

사육조건에 따라 지렁이가 슬러지를 섭취하고 배설하는 분변토량을 조사한 결과는 Table 3과 같다.

10-15, 20-25 및 30-35℃에서 6주간 발생하는 분변토 발생량은 각각 평균 24.4, 49.1, 25.7 g/6weeks인 것으로 나타났다.

Fig. 3은 지렁이를 온도별로 사육하면서 발생된 분변토량을 1일 1마리당 발생율로 환산하여 그래프로 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 사육을 시작한 후 처음 2주 동안에는 1마리당 1일 분변토 발생량은 10-15, 20-25 및 30-35℃에서 각각 0.033, 0.059, 0.051 g/cap./day였으나, 4주째에서의

1마리당 1일 분변토 발생량은 온도별로 각각 0.027, 0.059, 0.019 g/cap./day로서 20-25℃의 사육온도에서 가장 많은 분변토를 배설하는 것으로 나타났다. 이와같은 방법으로 조사한 온도별 1마리당 1일 분변토 발생량의 평균치는 10-15℃에서는 0.029 g/cap./day였으며, 20-25℃에서는 0.059 g/cap./day였고, 30-35℃에서는 0.031 g/cap./day였다.

이상의 결과로 비추어 볼 때 사육 온도에 따른 분변토 발생량은 20-25℃에서 제일 많이 발생되었고 생체량 증가와 생존율은 10-15℃에서 높게 나타났다. 그리고 10-15와 20-25℃에서 생체량 증가와 생존율에 대한 t-test 결과 유의한 차이가 없는 것으로 보아 슬러지 처리를 위하여 지렁이를 사육하는 적정 온도는 20-25℃인 것으로 판단된다.

슬러지의 pH 변화가 지렁이의 분변토 발생에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 3과 같다. pH 변화에 따른 6주간의 분변토 발생율은 pH 3.0-4.5와 8.0-10.5 범위에서 슬러지 총량의 2.8%와 6.6%로 거의 활동이 없는 것으로 나타

Table 3. Variation of weight of cast production according to culture condition in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant (unit: g)

Condition	Range	Experiment Period (Week)			Total of Residual	Total of Casting	Egestion (g/cap./d)
		2	4	6			
Temp.	10-15℃	9.24	7.68	7.53	87.4	24.4	0.03
	20-25℃	16.4	16.1	16.6	56.4	49.1	0.06
	30-35℃	14.3	5.35	5.93	86.8	25.7	0.03
pH	3.0-4.5	1.14		2.2	119.6	3.36	
	5.8-7.5	14.74	15.8	15.3	65.3	45.8	
	8.0-10.5	1.66		5.8	112.9	7.5	
Density	1/79.8 cm ³	19.82	19.74	5.54	56.5	43.8	0.10
	1/39.75 cm ³	17.14	16.6	16.8	54.2	50.5	0.06
	1/19.95cm ³	24.96	10.5	17.3	46.8	52.8	0.03

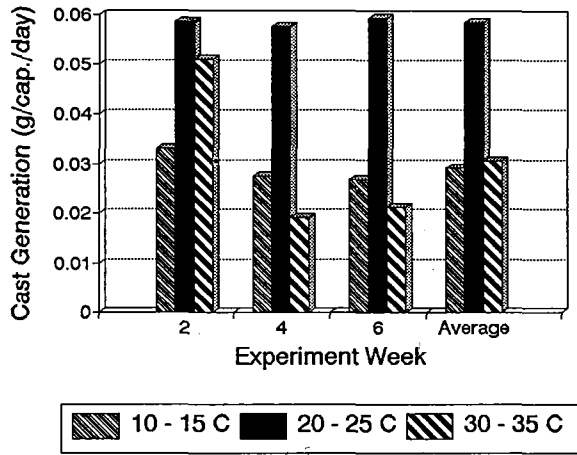


Fig. 3. Variation of weight of cast generation rate per a day according to variation of culture temperature in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant.

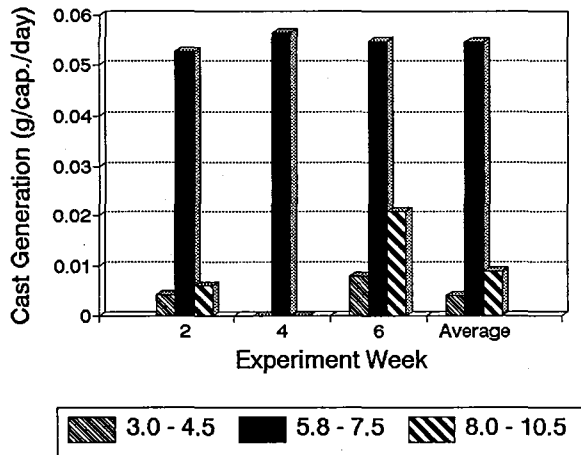


Fig. 4. Variation of weight of earthworm casts per a day according to variation of pH in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant.

났으며, pH 5.8-7.5에서는 24.8%로 나타났다. 한편 pH 3.0-4.5와 8.0-10.5 범위의 경우 초기에는 지렁이가 사멸되는 관계로 분변토 발생량이 없거나 적게 발생되지만 후반까지 생존한 지렁이는 어느정도 분변토 발생율이 증가되는 것을 나타내고 있다.

사육상 (12×19 cm, 798 cm³) 안에 발생된

총분변토량중의 한마리당 분변토 발생량은 pH 3.0-4.5일 때 평균 0.73 g, pH 5.8-7.5일 때 평균 2.86 g, pH 8-10.5일 때 평균 0.85 g으로 나타나고 있으므로 pH가 너무 낮거나 높은 경우는 분변토 발생량이 적었다.

Fig. 4는 pH의 변화에 따라 발생하는 분변토발생량을 1일 한마리의 지렁이가 배설하는 분

변토량으로 계산하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 pH가 3.0-4.5로 산성인 경우에는 한마리당 분변토 발생량이 평균 0.016 g/cap./day였으며, pH가 8.0-10.5로 알칼리성인 경우에는 한마리당 분변토 발생량이 평균 0.019 g/cap./day로 산성일 때 보다는 약간 높게 나타났다.

그러나 pH가 5.8-7.5로 중성인 경우에는 0.065 g/cap./day로서 산성일 때 보다는 약 4배, 알칼리성일 때 보다는 약 3배 많았다. 이와 같은 결과를 비추어 볼 때 지렁이를 이용한 유기성슬러지 처리를 위해서는 반드시 먹이로 이용되는 슬러지를 중성이 되도록 전처리를 해야 할 것으로 사료된다.

Table 3에 나타난 지렁이의 입식밀도에 따라 발생되는 분변토량을 조사한 것을 보면 지렁이의 입식수가 40, 20 및 10마리일 때, 6주간 총 분변토발생량의 평균치는 각각 52.8, 50.5 및 43.8 g으로 나타나 입식수가 많을수록 많이 발생하고 있다. 그러나 지렁이 한 마리당의 분변토 발생량은 지렁이의 입식수가 10, 20 및 40 마리일 때 각각 평균 2.45, 1.41 및 0.74 g으

로 나타났다.

Fig. 5는 사육밀도에 따라 발생하는 분변토 발생량을 1일 1마리의 지렁이가 발생하는 분변토량으로 계산하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 입식밀도가 1마리당 79.8 cm³인 경우, 처음 2주째에는 0.14 g/cap./day였으며, 다음 4주째에는 0.12 g/cap./day로 비교적 높게 나타났으나 마지막 6주째에는 0.04 g/cap./day로서 현저히 감소하였다. 이는 지렁이가 4주 이후에는 성체가 되어 성장율이 낮아짐에 따라 분변토 발생량도 감소되었기 때문이라고 사료된다. 또한 입식밀도가 1마리당 39.75 cm³인 경우, 처음 2주째부터 6주째까지 모두 0.06 g/cap./day로 큰 변화를 나타내지 않았다. 입식밀도가 1마리당 19.95 cm³인 경우, 처음 2주째에는 0.04 g/cap./day였으며, 다음 4주째에는 0.02 g/cap./day, 마지막 6주째에는 0.03 g/cap./day로 큰 변화는 없었으나 입식밀도가 39.75 cm³ 보다 1/2-1/3 정도로 낮게 나타났다.

온도 20-25℃, pH 5.8-7.5 및 밀도 1 cap./39.75 cm³의 조건에서 지렁이 1마리당 발생된

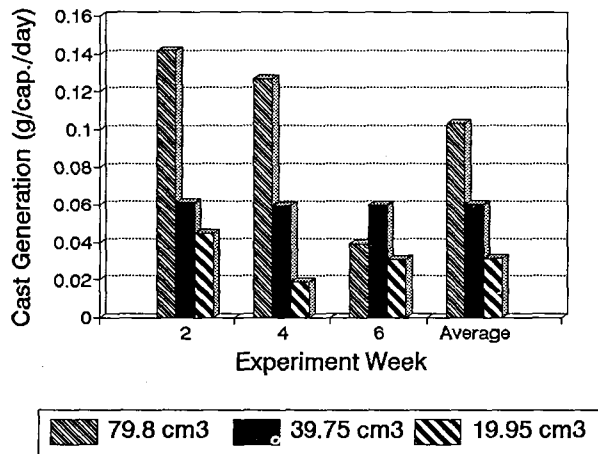


Fig. 5. Variation of weight of earthworm cast per a day according to the variation of culture density in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant.

분변토는 0.06, 0.065 및 0.06 g/cap./day로 나타났다. 한편 식물의 줄기를 먹이로 *L. rubellus* 지렁이를 이용하여 실험한 결과 분변토는 하루에 지렁이 생체 1 g 당 0.027 g으로 보고한 바 있으며 Needham(1957)은 *L. terrestris*를 이용하여 0.08 g을 보고한 바 있다. 그리고 Pearce(1972)는 지렁이 종류를 구분하여 조사한 결과 지렁이 생체량 1 g 당 *A. caliginosa*는 0.04-0.08 g을 *L. rubellus*는 0.025-0.05 g의 분변토가 발생된다고 보고하였다. 따라서 위의 연구자들의 결과와 본 연구에서의 결과를 비교하면 분변토 발생량이 다소 높게 나타나는 경향을 보였다. 또한 분변토가 건조기준임을 고려할 때 함수율 70% 에서의 무게로 환산하고 1일 지렁이 생체무게 1 g 당 발생시키는 평균 분변토 발생량을 구하여 보면 온도 20-25℃, pH 5.8-7.5 및 밀도 1 cap./39.75 cm³에서 0.527, 0.566 및 0.56 g으로 나타났다.

(4) 지렁이 난포(Cocoon) 생산수

각각의 사육조건에 따른 지렁이 난포생산수는

Table 4와 같다.

각각의 온도에 따른 지렁이 난포의 생산수는 10-15, 20-25 및 30-35℃에서 평균 74.8, 51.2 및 0.8개로 나타났다. 이러한 현상은 앞에서 관찰한 생존율, 생체량 변화 및 분변토 발생량과 비교하여 볼 때 온도의 영향이 현저하게 나타났는데 t-test 결과 10-15와 20-25℃에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고 20-25와 30-35℃ 와는 p=0.01, t=3.26으로 유의한 차이가 있었다.

한편 Fig. 6은 지렁이를 온도별로 사육하면서 생산된 지렁이 난포를 1마리당 생산율로 환산하여 그래프로 나타낸 것이다.

온도별 난포의 생산수는 그림과 같이 사육을 시작한 후 처음 2주 동안에는 10-15와 20-25℃에서 0.02 ea./cap./2weeks로 같았으며, 4주에서는 0.52와 0.45 개/cap./2weeks로 6주에는 총생산수는 10-15℃에서 3.8 ea./cap./6weeks이었고, 20-25℃에서 2.5 ea./cap./6weeks였다. 한편 30-35℃에서는 2주 및 4주에는 지렁이 난포는 발견되지 않았으며, 6주에

Table 4. Variation of No. of Cocoon generation according to variation of culture condition in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant

Condition	Range	Experiment Period (week)			Total of Cocoon
		2	4	6	
		(unit: Ea)			
Temp.	10-15℃	0.4	10.4	64	74.8
	20-25℃	0.4	12	38.8	51.2
	30-35℃	0	0	0	0.8
pH	3.0-4.5	0	0	0	0
	5.8-7.5	4	9.2	35.2	48.4
	8.0-10.5	0	0	0	0
Density	1/79.8 cm ³	0.2	7.6	23.8	31.6
	1/39.75 cm ³	0.4	11.4	39.6	51.4
	1/19.95 cm ³	0.8	14	59.4	74.2

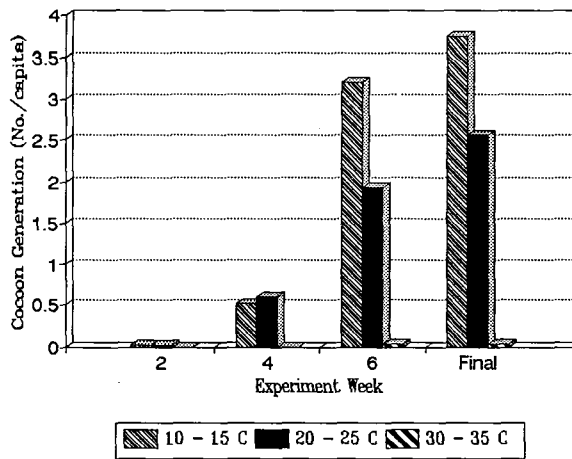


Fig. 6. Variation of Number of Cocoon according to the variation of temperature in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant.

들어 0.04 ea./cap./6weeks로 매우 낮게 나타나 이 온도에서는 증식이 잘 이루어지지 않는 것으로 판단된다. 이러한 결과로 볼 때 지렁이 개체수를 증진시키기 위해서는 10-15℃에서 사육하는 것이 유리한 것으로 나타났으며, 아울러 지렁이를 30-35℃에서 사육시키게 되면 지렁이 난포의 생산이 매우 적으므로 지렁이 개체수의 증식은 불가능한 것으로 나타났다.

각각의 pH 변화에 따른 지렁이 난포생산수는 Table 4와 같다. 각각의 pH에 따른 지렁이 난포의 생산수는 pH 3.0-4.5 및 8.0-10.5에서는 지렁이 난포의 생산이 없었으나 pH 5.8-7.5의 경우 초기 2주에는 0.4 ea./cap./2weeka, 4주에는 9.2 ea./cap./2weeks 및 6주에는 35.2 ea/cap./2weeks로 나타났으며, 6주간의 1마리당 난포의 총생산수는 2.95 ea./cap./6weeks였다. 그러나 pH 3.0-4.5 및 8.0-10.5에서는 지렁이 난포의 생산이 없었다. 이러한 결과로부터 슬러지가 산성이나 알칼리성인 상태에서는 지렁이의 증식이 불가능한 것으로 판단된다.

각각의 밀도변화에 따른 지렁이 난포의 생산

수는 Table 4와 같다. 표에서와 같이 각각의 밀도별 지렁이 난포의 생산수는 19.95 cm³, 39.75 cm³ 및 79.8 cm³에서 평균 74.2, 51.4 및 31.6 개로 나타나 밀도가 큰 경우에 지렁이 증식이 더 잘되는 것으로 보이나 지렁이를 밀도별로 사육하면서 생산된 지렁이 난포를 1마리당 생산율로 환산하여 보면 각 밀도별로 초기 2주에는 지렁이 생산량이 0.02 ea./cap./2weeks로 동일하나 4주에는 79.8 cm³, 39.7 cm³ 및 19.95 cm³ 순으로 0.76, 0.57, 0.35 개/cap./2weeks로 밀도가 낮은 것이 난포의 생산수가 많은 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 6주에서도 2.38, 1.98, 1.49 ea./cap./2weeks로 같은 경향을 나타냈다.

6주간의 지렁이 1마리당 난포의 총생산수는 79.8, 39.7 및 19.95 cm³에서 3.16, 2.57 및 1.86 ea./cap./6weeks로 나타났다. 이러한 결과에서 1개체당 난포 생산수는 낮은 밀도에서 많이 생산되므로 낮은 밀도로 유지시킬 필요가 있다.

한편, Tsukamoto 등(1977)에 의하면 300 cm³의 용기에 지렁이를 4, 8, 12, 16마리를 집

어넣고 난포 생산수를 조사한 결과 9-11 주에서는 5.5, 5.0, 3.4 및 2.4 ea./cap./week이었으며, 27 주에는 1.5, 1.6, 0.4 및 0.2 ea./cap./week로 총생산수는 70, 61, 38 및 26 ea./cap./23weeks로 나타났다. 위의 자료와 비교시 밀도가 낮은 경우에 난포의 발생율이 많고 난포 발생도 시간에 따라 다르게 나타나는 것은 일치하는 경향을 보였으나 지렁이 난포의 생산수는 적게 나타났다. 이러한 원인으로서는 실험에 이용한 지렁이의 종류, 먹이 및 조사기간의 차이등이 있었기 때문이라 사료된다.

3.2 지렁이 분변토의 비료성분과 안전성

(1) 비료성분

지렁이가 슬러지를 섭취하고 소화한 후 배설물의 형태로서 체외로 배출한 것을 분변토(Cast)라고 한다. 분변토는 지렁이생체내 소화과정에서 미생물의 작용으로, 먹이로 섭취한 슬러지와는 다른 이화학적 성상을 나타내고 있으

며, 특히 분변토 중에는 미생물과 효소 등이 많이 포함되어 있어 비료로서의 가치가 있으므로 Vermicomposting에서 매우 중요한 부산물이다.

따라서 분변토의 특성을 알기위해 분뇨처리장에서 발생하는 정화조 슬러지 케익을 사육상에 넣어 지렁이가 성장하면서 배설한 분변토와 먹이로 이용된 슬러지의 이화학적 특성을 조사하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

실험결과에서 보면 pH는 슬러지에서 평균 6.2인데 반하여 분변토에서는 평균 5.7로 낮아졌으며 함수율은 평균 67.4%에서 평균 58.2%로 감소되었다. Hartenstein(1981)은 분변토의 pH가 낮아지는 것은 지렁이가 호흡시 배출하는 CO₂의 영향과 미생물의 작용으로 일부 유기물질이 유기산으로 전환되었기 때문인 것으로 해석한 바 있다.

또한 총고형물질도 슬러지가 평균 32.6%, 분변토가 41.9%로 분변토가 오히려 높게 나타났

Table 5. Physicochemical properties of earthworm casts and sludges in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant

Items Samples	p H	MC(%)	TS(%)	VS(%)	VS/TS
Sludge A	6.8	69.5	30.5	19.8	0.65
Sludge B	6.5	67.5	32.5	22.3	0.69
Sludge C	6.2	67.5	32.5	21.0	0.65
Sludge D	5.8	64.7	35.3	21.4	0.61
Sludge E	5.7	68.3	31.7	20.6	0.65
Sludge F	6.4	66.8	33/2	20.9	0.63
Average	6.2	67.4	32.6	21.0	0.64
Cast A	5.4	55.8	44.2	26.3	0.60
Cast B	5.8	58.5	41.5	24.1	0.58
Cast C	5.6	57.7	42.3	25.9	0.61
Cast D	5.5	56.4	43.6	26.1	0.60
Cast E	5.7	64.3	35.7	22.8	0.64
Cast F	5.9	56.2	43.8	27.1	0.62
Average	5.7	58.2	41.9	25.4	0.61

으며, 휘발성 고형물질도 슬러지에서 21.0%, 분변토가 25.4%로 총고형물질과 같은 경향을 보이고 있다. 이러한 원인은 분변토보다 슬러지의 함수율이 높은 현상에 기인한 것으로 판단된다. 총고형물질중의 휘발성 고형물질의 비는 슬러지중 평균 64%에서 분변토에서는 평균 61%로 감소되고 있는 것으로 판단된다. 다만, 이러한 결과는 Loehr 등(1985)이 보고한 결과보다 감소경향이 적게 나타났으나 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 Loehr 등이 지렁이 사육과정에서 먹이를 매일 주었는지는 알 수 없으나 실험결과를 슬러지와 분변토중의 휘발성 고형물질만을 비교한 것으로 사료된다.

또한 Loehr 등의 조사결과를 보면 슬러지를 이용하여 지렁이를 사육한 결과 초기에 투입된 슬러지의 무게, 함수율, 총고형물질, 휘발성고형물질 및 COD가 감소하고 반대로 지렁이의 생체량은 증가되고 있는 것은 본 실험의 결과와 유사한 것을 알 수 있다. 한편 안정화과정에서

슬러지의 질소와 인이 어떠한 형태로 변하는지와 분변토중의 질소와 인이 어떠한 형태로 되어 있는지를 조사한 결과는 표 6과 같다. 먼저 질소의 변화상태를 보면 슬러지중에 거의 절반인 평균 6.984 ppm이 암모니아 태(態)로 존재하고 있으나 분변토중에는 약 78%가 질산태로 존재하고 있음을 알 수 있다.

그러나 인은 슬러지와 분변토중의 폴리인산 및 인산염의 존재가 거의 유사한 수준으로 나타났다. 이러한 결과에서 보면 지렁이에 의해 질소성분은 조기안정화가 되는 것을 알 수 있다. 특히 식물의 성장과 밀접한 관계가 있는 질소성분이 유기태로 되어 있으면 식물이 양분으로서 흡수하기가 불가능하며 이러한 물질은 미생물의 작용으로 무기태 질소로 전환된 후에야 식물이 흡수할 수가 있다.

그러기 위해서는 미생물에 의해 유기태 질소가 암모니아(NH₄⁺)로 변하고 암모니아는 아질산염(NO₂⁻)으로 변하고 아질산염은 다시 질산

Table 6. Chemical composition of laboratory samples (as dry basis)

(unit: ppm)

Items Samples	T-N	TKN	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Org. -N	T-P	Poly-P	PO ₄ -P
Sludge A	12.408	8.073	5.416	0.217	4.118	2.657	2.596	1.376	1.220
Sludge B	13.728	9.943	6.357	0.189	3.596	3.586	2.675	1.540	1.135
Sludge C	12.486	8.703	7.357	0.189	3.594	1.346	1.582	0.402	1.180
Sludge D	13.008	10.249	8.458	0.227	2.532	1.791	2.503	1.498	1.005
Sludge E	13.425	11.406	8.038	0.246	1.773	3.368	2.383	0.818	1.565
Sludge F	13.111	9.073	6.278	0.376	3.662	2.795	2.397	0.662	1.735
Average	13.029	9.575	6.984	0.241	3.213	2.591	2.356	1.049	1.307
Cast A	8.813	2.125	0.983	0.008	6.680	1.142	1.715	0.934	0.781
Cast B	11.778	1.843	0.983	0.004	9.931	0.860	1.885	1.150	0.735
Cast C	8.814	2.281	0.955	0.006	6.527	1.326	1.824	1.134	0.690
Cast D	10.026	2.256	1.138	0.011	7.759	1.118	1.570	0.925	0.645
Cast E	8.332	2.282	0.878	0.012	6.038	1.404	1.267	0.712	0.555
Cast F	11.609	2.562	1.008	0.015	9.032	1.554	1.230	0.540	0.690
Average	9.940	2.225	0.991	0.009	7.706	1.234	1.582	0.899	0.683

염(NO_3^-)으로 전환되어야 식물이 흡수할 수 있는 것으로 알려져 있는데, 대부분의 식물은 암모니아나 질산염을 흡수하며 질산염은 암모니아보다 쉽게 흡수되는데 일반적으로 질소성분의 90%가 질산염태로 흡수되고 있는 것으로 알려져 있다. Barley(1958)는 6%의 질소성분을 함유하고 있는 식물줄기를 지렁이에게 섭취시키고 배설된 분변토를 분석한 결과 질소 성분이 식물이 이용할 수 있는 무기태 질소로 변화되어 있었다고 발표하였다.

또한 슬러지와 분변토중에서 질소와 인성분의 변화를 보면 슬러지중의 암모니아 및 아질산염은 거의 대부분이 분변토에서 질산염으로 전환되었고 유기질소는 슬러지에서 보다 감소되었으며 총질소와 총인의 양은 분변토에서 현저히 감소되었다. 이와같이 총질소 및 총인의 감소는 지렁이가 성장하는데 무기성 양분으로 이용한 것으로 사료된다. 분변토중의 비료성분인 질소, 인, 칼륨에 대하여 최(1990)가 조사한 결과 본 조사에서 분변토의 비료성분을 분석한 결과를 비교하여 보면 총질소는 최의 결과가 다소 높게 나타났으나 총인은 오히려 최의 결과보다 약 3배 높게 나타났다. 이러한 원인은 실험에 사용된 슬러지의 종류와 성상이 서로 다르기 때문인 것으로 사료되나 분변토의 비료성이 우수한 것만은 확실하다고 판단된다.

(2) 지렁이 분변토의 안전성 조사

지렁이 분변토를 채소등의 원예나 화훼작물에 비료로 사용할 경우 장내병원균에 오염되었는지를 조사하기 위하여 병원성 미생물의 오염여부를 평가하는데 이용되는 지표세균인 분원성 대장균군과 병원성 장내세균에 대한 실험을 한 결과는 다음과 같다.

1) 분원성 대장균군 (Fecal Coliform Group)

지렁이의 먹이로 급여한 분뇨슬러지와 분변토중의 분원성대장균군을 Standard Method

(1989)의 MPN 법으로 산출한 결과는 Table 7과 같다. 또한 슬러지에 오염된 분원성 대장균군이 분변토로 배설되었을 때 어느정도 제거되는지의 여부, 즉 대장균군의 제거율을 계산하여 표에 나타내었다. 슬러지 시료중의 분원성 대장균군은 42,000-600,000 MPN/g(평균 201,167 MPN/g)이었으나, 분변토에서의 분원성 대장균군은 2,200-28,000 MPN/g(평균 8,567 MPN/g)으로 현저히 감소된 것을 볼 수 있으며, 또한 제거율은 88.6-99.1%(평균 95.7%)인 것으로 나타나서 분뇨나 유기성 슬러지에서 지표세균이 현저히 감소되었다. 즉, 슬러지에 오염되어 있는 분원성 대장균군이 분변토에서는 거의 대부분인 95%가 사멸하고 단지 5% 전후만이 검출되었다.

2) 병원성 장내세균 (Pathogenic Enterobacteriaceae)

분변토나 슬러지를 토양개량제나 유기질 비료로 사용시의 안전성을 평가하기 위해서 병원성 장내세균의 유무와 그 종을 동정한 결과를 요약하면 다음 Table 8과 같다.

슬러지와 분변토중에서 동정한 그람음성 세균은 *Escherichia. coli* 등과 같은 대장균군에 속하는 종과 비병원성 토양세균이 분리동정되었으며, 또한 병원성 세균인 것으로 알려진 *Pseudomonas aeruginosa*도 분리동정 되었다. 그러나 본 실험결과에서는 분뇨처리장의 유기성 슬러지를 비료 및 토양개량제로 사용할 경우 병원성 소화기 질환의 병원체인 *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio* 속의 속하는 병원성 장내세균은 전혀 분리동정 되지 않았다.

본 실험에서 지렁이 분변토의 안전성을 조사하고자 온혈동물의 분뇨오염에 지표미생물로 이용되는 분원성 대장균군을 MPN 법으로 산출한 결과 슬러지에서 평균 201,167 MPN/g, 분변토에서 8,567 MPN/g이 검출되었으므로 분원

Table 7. Number of fecal coliform group of sludges and casts in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant

(unit: MPN/g)

Case Sample	A	B	C	D	E	F	Average	Log Avg.
Sludge	42,000	600,000	85,000	240,000	180,000	60,000	201,167	133,000
Cast	4,800	28,000	3,600	2,200	10,000	2,800	8,567	5,600
Removal(%)	88.6	95.3	95.8	99.1	94.4	95.3	95.7	95.8

Table 8. Identification results of gram negative bacteria isolated from sludges and casts in the vermicomposting experiment on the waste sludge sampled from the night-soil treatment plant

Sludge	Cast
<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>Proteus mirabilis</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Citrobacter freundii</i>
<i>Enterobacter gergoriae</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Proteus vulgaris</i>
<i>Serratia marcescens</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	
<i>Pseudomonas floescens</i>	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	

성 대장균군의 95% 이상이 분변토에서 감소되었다. 이 결과로 미루어 볼 때 분변토는 분뇨처리장의 슬러지를 직접 작물의 유기성 비료로 이용할 경우에 공중보건학적 문제가 되는 장내병원성 미생물의 오염가능성을 현저히 감소시켜 슬러지보다 안전할 것으로 판단된다. Hartenstein(1982) 등은 유기성 슬러지 중에 오염된 *Salmonella* 속의 병원성 장내세균은 지렁이가 존재하는 경우에 지렁이가 없는 경우보다 두배나 더 빨리 사멸된다고 보고하였다.

또한 Gerba 등(1975)은 슬러지 중에 오염되어 있는 Virus 등도 지렁이 의해 현저히 감소된다고 하였다. 분변토는 슬러지에서 보다 병원성 대장균군의 오염도가 현저히 감소되고, 병원성 장내세균이 분리동정되지 않은 결과로 볼 때 슬러지보다는 분변토를 비료나 토양개량제로 이용하는 것이 안전하다고 사료된다.

또한 본 실험결과에서는 분변토에서 *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio* 등의 병원성 장내세균이 검출되지 않아 비료와 토양개량제로 사용해도 안전하리라 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 유기성슬러지를 지렁이 먹이로 활용하여 처리하기 위한 Vermicomposting의 효율적인 운영관리를 위한 온도, pH, 사육밀도의 적정사육조건과 Vermicomposting의 부산물인 분변토의 비료성분과 안전성을 조사하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 지렁이 생존율은 온도 10-15℃에서 98.3%, pH 5.8-7.5에서 75% 및 밀도 1/79.8 cm³에서 100%로 가장 잘 사는 것으로 나타났다.
2. 지렁이 생체량 변화는 온도 10-15℃에서

266%, pH 5.8-7.5에서 227% 및 밀도 1/79.8 cm³에서 325%로 많이 증가하는 것으로 나타났다.

3. 지렁이 분변토 발생량은 온도 20-25℃에서 0.06 g/cap./day, pH 5.8-7.5에서 0.065 g/cap./day 및 밀도 1/79.8 cm³에서 0.1 g/cap./day로 많이 발생하는 것으로 나타났다.

4. 지렁이 난포 생산은 온도 10-15℃에서 3.8 ea./cap./6weeks, pH 5.8-7.5에서 2.95 ea./cap./6weeks 및 밀도 1/79.8 cm³에서 3.16 ea./cap./6weeks로 많이 생산되는 것으로 나타났다.

5. 지렁이의 먹이로 공급된 슬러지와 먹고 배설한 분변토의 pH는 6.2에서 5.7로 낮아지며 휘발성 고형물질은 2.9% 감소되는 것으로 나타났다. 또한 NH₃-N는 6.984 μg/g에서 0.991 μg/g으로 감소한 반면, NO₃-N는 3.213 μg/g에서 7.706 μg/g으로 증가되는 것으로 나타났다.

6. 지렁이 분변토 중의 병원성 대장균은 슬러지에서 보다 88.6-99.1% (평균 95.7%) 정도 감소되는 것으로 조사되었으며 병원성 장내세균인 *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio* 등은 검출되지 않았다.

감사의 글

본논문은 과학기술처 특정연구개발비의 지원을 받아 국립환경연구원에서 수행한 “토양생물을 이용한 유기성 슬러지 처리 기술개발에 관한 연구” 보고서에서 얻어진 결과의 일부를 본 학회지 투고규정에 맞추어 통째처리하고 편집하여 게재한 것입니다. 연구비를 지원해주신데 대해 심심한 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 1) 최직상, 이현익, 1990. 지렁이, 내외출판사.
- 2) 환경처, 1991. 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리실적과 계획.
- 3) 환경처, 1991. 전국산업폐기물 발생 및 처리현황 ('90).
- 4) 환경처, 1991. 환경백서.
- 5) 환경처, 1992. 지렁이를 이용한 유기성슬러지 처리방법의 슬러지 처리시설 인정고시, 환경처 고시 1992-34호.
- 6) Barley, K.P., 1958. The Influence of Earthworms on Soil Fertility, *Australian Jour. of Agri. Res.* **10**, 175-185.
- 7) Barley, K.P., 1958a. The Influence of Earthworms on Soil Fertility, *Australian Jour. of Agri. Res.* **10**, 171-178.
- 8) Barley, K.P., 1961b. The Abundance of Earthworms in Agricultural Land and Their Possible Significance in Agriculture, *Adv. Agron.* **13**, 249-268.
- 9) Brian, L.R. and Dorough, H.W., 1984. Relative toxicities of Chemicals to the Earthworm *Eisenia foetida*, *Environmental Toxicology and Chemistry*, **3**, 67-78.
- 10) Camp, D. and Mikee, 1981. Engineering Assessment of Vermicomposting Municipal Wastewater Sludges, EPA 600/2-81-075 U.S.EPA Cincinnati, Ohio.

- 11) Evans, A.C. and Guild, W.J.McL., 1948. Study on the Relationship Between Earthworms and Soil Fertility, *Annals of Applied Biology*, **35**, 485-493.
- 12) Fosgate, O.T and Babb, M.R., 1972. Biodegradation of animal waste by *Lumbricus terrestris*, *J. Dairy Sci.*, **55**, 870-872.
- 13) Gerba, C.P., Wallis, C. and Melnick, J.L., 1975. Fate of waste water bacteria and viruses in soil, *Proc. Irr. Drain. Div. ASCE IR*, **3**, 157-174.
- 14) Hartenstein, R., 1982. Effect of Aromatic Compounds, Humic Acid and Lignins on Growth of the Earthworm, *Eisenia foetida*, *Soil Biol. Biochem*, **14**, 595-599.
- 15) Hartenstein, R., 1982. Metabolic Parameters of the Earthworm *Eisenia foetida* in Relation to Temperature, *Biotechnology and Bioengineering*, **24**, 1803-1811.
- 16) Loehr, R.C., Neuhauser, E.F. and Malecki, M.R., 1985. Factors Affecting The Vermistabilization Process, *Water Res.*, **19(10)**, 1311.
- 17) Hartenstein, R. and Hartenstein, F., 1981. Physicochemical Changes Effected in Activated Sludges by the Earthworm *Eisenia Foetida*, *J. Environ. Qual.*, **10(3)**, 377.
- 18) Mitchell, M.J., Hornor, S.G. and Abrams, B.I., 1980. Decomposition of Sewage Sludge in Drying Beds and Potential Role of the Earthworm, *Eisenia Foetida*, *J. Environ. Qual.*, **9(3)**, 373.
- 19) Needham, A.E., 1957. Compounds of nitrogen excreta *Lumbricus terrestris* in the earthworm and *Eisenia foetida*, *J. exp. Biol.*, **34**, 425-426.
- 20) Pearce, T.G., 1972. The Calcium, relation of elected *Lumbricidae*, *J. anim. Ecol.*, **41**, 167-188.
- 21) Tsukamoto, J. and Wadanabe, H. Y., 1977. Influence of Temperature on Hatching and Growth of *Eisenia foetida*. (*Oligochaets, Lumbricidae*), *Pedobiologia*, Bd. **17**, S. 338-342.
- 22) Kaplan, D.L., Hartenstein, R., Neuhauser, E.F. and Malecki, M. R., 1980. Physicochemical Requirement in the Environment of the Earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biol. Biochem.*, **12**, 347-352.

지렁이를 이용한 퇴비화 조건 91
J. of KOWREC, Vol. 1, No. 1, 1993
 지렁이를 이용한 퇴비화 조건 93
J. of KOWREC, Vol. 1, No. 1, 1993

94 송준상 등

유기성폐기물자원화, 제 1 권 제 1 호, 1993

96 송준상 등

유기성폐기물자원화, 제 1 권 제 1 호, 1993