



# 양계에 음식물 쓰레기 급이후 발생된 계분이 줄지렁이(*Eisenia fetida*) 개체군의 생장과 생식에 미치는 영향

배운환, 이병도

대진대학교 생명과학과

(2004년 8월 15일 접수, 2004년 9월 17일 채택)

## Effect of Excrement of Laying Hens which were fed with Food Wastes on the Growth and Reproduction of the Population of *Eisenia fetida*

Yoon-Hwan Bae, Byung-Do Lee

Dept. of Life Science, Daejin Univ.

### ABSTRACT

Laying hens' excrement from eating food wastes was mixed with paper mill sludge, aged for 21 days and then provided to the juvenile earthworms(*Eisenia fetida*) for 10 weeks. Biomass of earthworm population decreased by 5.7% of initially introduced population. Very few juvenile earthworms developed into the clitellates and clitellated earthworms could not produce cocoons at all, which was supposed to be caused by inhibition effects of salts in laying hens' excrement upon the sexual development of *Eisenia fetida*. But there was no significant effect on the survivorship of earthworm population.

Key Words : food waste, earthworm, development, *Eisenia fetida*, composting, excrement of hens

### 초 록

과쇄, 탈수된 음식물 쓰레기를 양계가 사료로 섭취하고 배설한 계분에 제지슬러지를 혼합하여 21일간 부숙시킨 먹이를 줄지렁이 유충에게 급이하면서 줄지렁이의 생체량, 사망률, 환대발현률, 난포 생산수 및 음식물류 폐기물, 계분, 계분과 제지슬러지 혼합시료의 이화학적 성상을 조사하였다. 먹이 급이 10주후의 줄지렁이 생체량이 초기 생체량에 비해 5.7% 감소하였으며, 환대발현률이 매우 저조하고 산란이 전혀 이루어지지 않아 계분내의 염분이 지렁이의 성적 성숙을 저해하는 것으로 나타났다. 그러나 계분이 줄지렁이의 사망률에는 큰 영향을 미치지 않았다.

주제어 : 음식물류 폐기물, 지렁이, 발육, 퇴비화, 계분

## 1. 서론

산업사회에서 도시로의 인구집중, 물질의 대량 생산 및 소비는 필연적으로 폐기물의 문제를 야기시킨다. 우리 나라도 예외는 아니어서 급속한 산업화가 이루어짐에 따라 1980년도 초반부터 산업폐기물과 생활폐기물이 심각한 사회적, 환경적 문제로 대두되었다.

특히 우리 나라의 음식물류 폐기물은 수분과 염분함량이 높아 음식물류 폐기물 처리에 일반적으로 이용되고 있는 매립, 소각, 사료화, 퇴비화 등의 방법들이 악취, 침출수, 다이옥신, 가축 위생, 농작물 오염 등의 또 다른 문제를 일으키고 있다. 더구나 2005년도부터는 음식물류 폐기물의 직매립이 전면 금지될 전망이어서 음식물류 폐기물 대란이 일어날 것으로 점쳐지고 있는 실정이다.

그러나 음식물류 폐기물은 다른 유기성 폐기물에 비해서 인간과 생물학적 유연관계가 가까운 가축의 에너지원으로 이용될 수 있는 영양학적 장점을 가지고 있기도 하다<sup>1)</sup>. 따라서 음식물류 폐기물이 가지고 있는 에너지를 효율적으로 재활용하기 위해서는 음식물류 폐기물의 가축 사료화가 우선 고려되어야 하고, 사료화후 발생하는 부산물인 가축분을 미생물 또는 지렁이를 이용하여 퇴비화하여 안정화시키는 것이 합리적이다<sup>2)</sup>.

지렁이는 육상 생태계의 물질순환과 에너지 흐름에서 그의 생태적 역할이 가장 중요한 토양동물이다. 지렁이가 유기성 폐기물을 먹는 것 자체가 곧 환경친화적인 폐기물 처리법이 되는 것이고 지렁이 배설물(분변토)은 양질의 유기질 비료, 탈취제 등으로 이용되며, 증식된 지렁이는 의약품 원료, 가축사료 첨가제 등으로 활용될 수 있다<sup>3,4)</sup>.

이에 필자들은 전보<sup>2)</sup>에서 음식물류 폐기물을 우선 양계의 사료로 급이하고 양계가 배설한 계분을 제지슬러지, 인분 케익 등과 혼합하여 발효시킨 후 지렁이에게 급이하는 소위 ‘음식물류 폐기물→양계→지렁이’ 연계처리의 가능성을 검토하여 보고한 바 있다. 그러나 이 과정에서 지렁이는 계분과 제지슬러지 혼합후 일정기간 이상 발효된 시료에 대해서 먹이로서 섭식은 하였으나 지렁이 개체군

의 차세대 증식이 원활하게 이루어지지 않아, 계분에 대한 지렁이 처리 단계가 ‘음식물류 폐기물→양계→지렁이’ 연계처리의 걸림돌이 될 수 있음을 시사하였다.

본 연구에서는 음식물류 폐기물을 양계에 급이한 후 배설된 계분을 제지슬러지와 발효시킨 먹이를 줄지렁이에게 급이하면서 줄지렁이의 생체량, 사망률, 산란률, 환대발생률 등을 조사하여 계분이 지렁이 개체군 밀도 구성 요인중 어느 요인에 영향을 미치는지를 분석하고자 하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 혼합시료 제조

계분은 경기도 양주시 음식물류 폐기물 처리장에서 파쇄, 탈수된 음식물류 폐기물을 경기도 양주시 J농산에서 사육되고 있는 환우 양계(molted laying hens)에 급이한 후 배설된 것을 이용하였으며, 제지슬러지는 골판지와 펄프를 주원료로 하여 크라프트지, 화장지, 기저귀 등을 생산하는 경기도 오산시 소재 P 제지공장에서 발생한 것을 이용하였다. 지렁이는 대전대학교 생명과학과 환경 제어실에서 제지슬러지를 먹이로 누대 사육중인 줄지렁이중 환대가 발생하지 않은 유충을 사용하였다.

양주 음식물류 폐기물을 섭취한 닭에서 발생된 계분을 건조된 제지슬러지와 수분함량이 65%가 되도록 혼합하여 부숙시켰다. 부숙 21일 후의 부숙물에 수돗물을 뿌려주어 세척한 후 분변토와 혼합한 것을 지렁이 먹이로 사용하였다. 수돗물 세척시 부숙물과 수돗물 비율은 1:2(w:w)이었고, 부숙물과 분변토의 혼합비는 4:1(w:w)이었다.

### 2.2 지렁이 입식 및 조사

25×16×8cm(L×W×H)의 스티로폼 상자에 bed material로서 분변토를 2cm 두께로 깔아준 후 생체중 0.2~0.3g의 환대가 발생하지 않은 줄지렁이(*Eisenia fetida*) 유충 30마리를 입식하여 혼합시료를 급이하였다. 먹이급이후 7일 간격으로 줄지렁이의 생체량, 사망률, 환대가 생긴 지렁이의

수 및 난포 생산수 등을 조사하였다. 조사기간동안 먹이는 20g씩 급이 하였으며, 상자내의 먹이를 모두 섭취하면 다시 20g의 먹이를 투입하였다. 난포는 조사 후 다시 상자에 투입하지 않았다. 제지슬러지를 먹이로 급이한 동일 조건의 대조군을 사용하였고, 각 시료의 반복수는 3개였다.

### 2.3 시료의 이화학적 특성 분석

본 실험에서 사용된 음식물류 폐기물, 계분, 계분+제지슬러지 혼합물에 대해서 pH, 전기전도도(EC), 수분함량(%), 유기물량(%) 및 염분농도(NaCl)를 측정하였다. pH는 시료와 증류수를 1:5 비율로 혼합하여 100rpm으로 1시간 교반한 후에 pH meter (Model: Orion 420A)를 이용하여 측정하였다. 전기전도도(EC)는 시료와 증류수를 혼합하여 5B 여과지로 여과한 후 Conductivity meter (Model: Orion 130)로 측정하였다. 수분함량은 시료를 dry oven(104°C)에서 24시간 건조시켜 측정하였다. 유기물 함량은 dry oven(104°C)에서 건조된 시료를 muffle furnace(600°C)에서 8시간 연소 후에 측정하였으며, 염분농도는 건조된 시료 10g에 증류수 90ml를 혼합하여 디지털 염분농도 측정기 (Model: TM-30D)를 사용하여 측정하였다. 염분농도는 측정값에 10배를 한 수치에 각 시료의 수분함량을 고려해 환산하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 계분과 제지슬러지 혼합시료의 이화학적 성상

양주음식물류 폐기물을 섭취한 닭으로부터 배설된 계분, 제지슬러지, 계분과 제지슬러지를 혼합한 후 21일간 부숙한 시료의 몇가지 이화학적 성상을 조사하였다(Table 1).

일반적으로 pH는 생물의 생리, 생태 현상을 제어하는 중요한 제한요인으로 작용한다. Rivero-Hernandez<sup>5)</sup>는 본 실험에서 사용된 줄지렁이(*Eisenia fetida*)에 대한 적정 pH 범위를 7.0~8.0이라고 하였으며 Edwards<sup>6)</sup>는 줄지렁이가 견딜 수 있는 pH 범위가 4.0~7.0라고 하여 연

구자들 간에 이견을 보이고 있으나 통상 중성 근처의 pH가 지렁이 생육에 적정한 것으로 알려져 있다<sup>7)</sup>. 본 연구에서 음식물류 폐기물의 pH는 4.4로 매우 강한 산성을 나타내고 있어 지렁이 먹이로서는 부적합한 것으로 판단되나, 음식물류 폐기물을 닭이 사료로 먹고 배설한 계분의 pH는 7.2로 중성화 되어 지렁이 먹이 조건 측면에서 크게 개선된 것으로 나타났다. 계분+제지슬러지 혼합물이나 제지슬러지의 pH는 각각 7.9, 7.3으로 지렁이 먹이로서 적합한 것으로 판단된다.

매질의 전기전도도(EC)는 그 매질내에 존재하는 염류에 대한 간접적 측정치가 된다. 매질의 염류농도는 지렁이의 체내 삼투압 조절에 영향을 미치는데 생체내의 각 기관은 일정한 삼투압이 유지되어야 대사, 호흡과정을 유지할 수 있다. 그러나 지렁이는 토양내에 고농도의 용존염이 존재할 때에는 삼투압 조절능력이 약한 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>. 최<sup>3)</sup>는 팔딱이(Perionyx excavatus)의 전기전도도에 대한 내성 범위가 750~15,000  $\mu$ S/cm이고 적정 범위는 1,950~4,900  $\mu$ S/cm으로 보고한 바 있고, Kaplan등<sup>7)</sup>은 전기전도도 1.5~3mmhos 범위의 먹이를 줄지렁이에게 급이하였을 때 줄지렁이의 생체중이 증가하였다고 보고한 바 있다. 음식물류 폐기물과 계분의 전기전도도는 각각 20,600  $\mu$ S/cm, 33,783  $\mu$ S/cm로 지렁이의 내성 범위를 벗어나 있으며, 음식물류 폐기물로부터 발생된 계분의 전기전도도가 오히려 증가하는 경향을 나타내어 먹이내의 염류문제는 개선되지 않는 것으로 나타났다(Table 1). 그러나 계분+제지슬러지 혼합시료에서 전기전도도는 9,935  $\mu$ S/cm으로 음식물류 폐기물과 계분의 전기전도도보다는 현저하게 낮아졌으나 최<sup>3)</sup>가 제시한 적정범위보다는 높게 나타났다.

줄지렁이는 자연생태계에서 주로 지표면에 사는 소위 천층종으로서 심층종에 비해 수분요구량이 높은 편이지만 수분에 대한 내성도 강한 편이다<sup>4)</sup>. Kaplan등<sup>7)</sup>은 줄지렁이에게 적정한 먹이의 수분률은 70~85%라고 보고하였다. 파쇄, 탈수된 음식물류 폐기물의 수분률은 78.2%였는데 비해 계분의 수분률은 86.2%로 높아졌는데 이것은 염분 농도

[Table 1] Physico-Chemical Properties of Food Waste, Laying Hens' Excrement, Paper mill Sludge and Laying Hens' Excrement Mixed with Paper mill Sludge

Materials Items analysed	FY <sup>1</sup>	LHE <sup>2</sup>	Paper mill sludge	LHE+P <sup>3</sup>
pH	4.4±0.0	7.2±0.1	7.3±0.1	7.9±0.1
EC (μS/cm)	20,600±1,146	33,783±2,448	3,597±419	9,935±1,012
Water content (%)	78.2±0.4	86.2±0.1	75.2±0.3	64.1±0.2
Volatile solids (%)	86.4	61.2	62.3	51.5
NaCl (%)	1.244	1.169	0.272	0.717

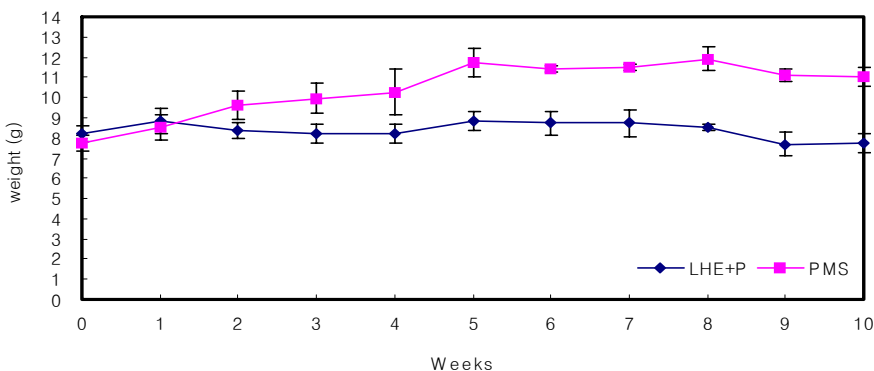
1. FY : Food waste from Yangju
2. LHE : Laying hens' excrement
3. LHE + P : Laying hens' excrement was mixed with paper mill sludge and aged for 21 days

가 높은 음식물류 폐기물을 섭취한 닭이 생리적 균형을 유지하기 위하여 많은 수분을 과다하게 섭취하였기 때문인 것으로 판단된다. 계분+제지슬러지 혼합, 부숙물에서의 수분률이 64.1% 비교적 낮게 나타났는데 지렁이 먹이로 이용시 계속 수분을 공급하게 되므로 큰 의미는 없다.

지렁이는 먹이내의 염분(NaCl)에 대해서는 특히 민감한 거부반응을 나타내며<sup>4)</sup> 먹이내 용존염의 농도가 0.5%이상이면 줄지렁이의 치사현상이 일어나는 것으로 알려져 있다<sup>7,8)</sup>. 음식물류 폐기물과 계분의 염분 농도는 각각 1.244%, 1.169%로 큰

차이가 없는 것으로 나타나 음식물류 폐기물을 닭이 섭취하여도 음식물류 폐기물내의 염분이 양계의 체내에 많이 축적되지 않음을 나타내고 있다. 계분+제지슬러지 혼합, 부숙물에서의 염분 농도는 0.717%로 줄지렁이 치사농도 0.5%를 상회하고 있어 '음식물류 폐기물→양계→지렁이' 연계처리에서 염분이 여전히 문제가 될 수 있음을 시사하고 있다.

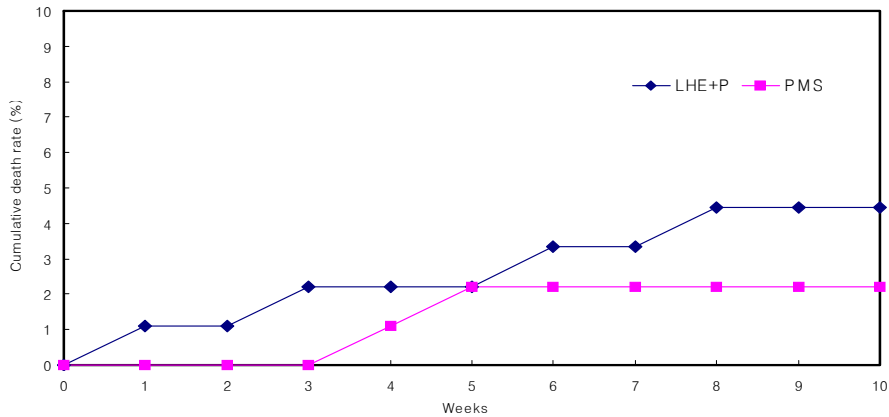
한편, 계분+제지슬러지 혼합, 부숙물의 유기물 함량은 51.5%로 지렁이 생육에 문제를 일으킬 정도는 아닌 것으로 판단된다. 그리고 대조시료로 이



[Fig. 1] Biomass of the tiger worm(*Eisenia fetida*) population when it was fed for 10 weeks with laying hens' excrement that had been mixed with paper mill sludge and then aged for 21 days.

LHE + P : Laying hens' excrement was mixed with paper mill sludge (Biomass of introduced tiger worm population was 8.22 grams)

PMS : Paper mill sludge (Biomass of introduced tiger worm population was 7.72 grams)



[Fig. 2] Changes in cumulative death rates(%) of tiger worms(*Eisenia fetida*) when they were fed with laying hens' excrement that had been mixed with paper mill sludge and aged for 21 days.

LHE + P : Laying hens' excrement was mixed with paper mill sludge PMS : Paper mill sludge

용된 제지슬러지의 이화학적 성상은 지렁이 생육에 적절한 범위에 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과로 보아 '음식물류 폐기물→양계→지렁이' 연계처리에서 이미 전보<sup>2)</sup>에서 지적되었던 것과 마찬가지로 계분내에 포함된 고농도의 염분과 염류는 계분을 지렁이 먹이로 이용하는데 걸림돌이 될 수 있음을 나타내고 있다.

### 3.2 계분이 줄지렁이의 생체량에 미치는 영향

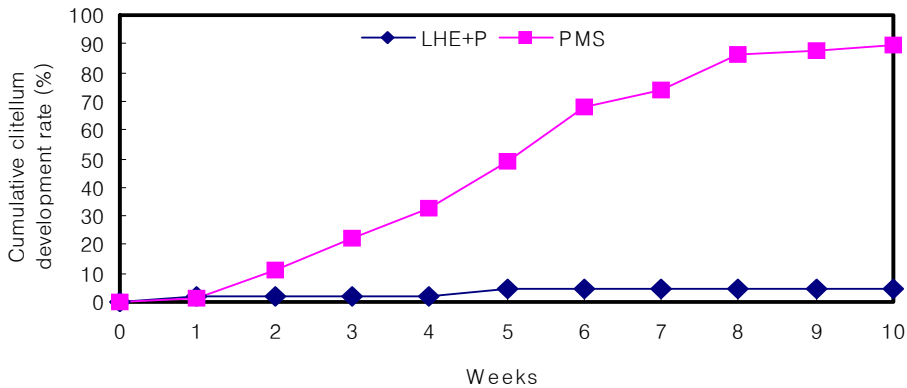
생체중 0.2~0.3g사이의 줄지렁이 유충 30마리에게 계분과 제지슬러지를 혼합한후 부숙한 시료를 급여하면서 10주간 전체 생체량의 변화를 조사하였다[Fig. 1]. 대조시료인 제지슬러지를 급여한 경우에는 입식시 지렁이 유충 30마리 생체량이 7.72g에서 매주 서서히 증가하여 10주 후에는 11.00g으로 42.5%가 증가되었으나, 계분과 제지슬러지 혼합시료를 급여한 경우는 입식시 8.22g에서 10주 후에는 7.75g으로 오히려 5.7%가 감소하였다. 줄지렁이는 일반적으로 제지슬러지에 대한 먹이선호성이 높기 때문에<sup>2,9,10,11)</sup> 계분+제지슬러지 혼합시료에서 지렁이 생체량 감소는 주로 계분에 의한 것이라고 판단된다.

### 3.3 계분이 줄지렁이의 사망률에 미치는 영향

제지슬러지를 급여한 경우 10주후 줄지렁이 사망률은 2.2%로 나타났으며, 계분과 제지슬러지를 혼합하여 부숙시킨 시료를 급여한 경우 10주후 사망률이 4.4%로 나타내[Fig. 2] 계분 + 제지슬러지 혼합시료에서의 사망률이 제지슬러지만 급여한 경우보다 높게 나타났으나, 전반적으로 큰 사망률은 아니기 때문에 계분으로 인한 지렁이의 사망률이 생체량 감소에 큰 영향을 주는 요인은 아닌 것으로 판단된다.

### 3.4 계분이 줄지렁이의 환대발생을 및 산란에 미치는 영향

줄지렁이의 환대는 성적 성숙을 의미하며 생식활동이 가능하다는 것을 알 수 있는 외부형태이다. 환대가 발생하지 않은 미성숙한 지렁이를 입식하여 지렁이의 환대 발생여부를 조사하였다[Fig. 3]. 제지슬러지를 급여한 경우에는 먹이급여 일주일 후부터 환대가 발생하기 시작하여 먹이급여 10주후에는 생존 지렁이 88마리 중 79마리에서 환대가 관찰되었으나, 계분과 건조된 제지슬러지 혼합시료를 급여한 경우는 10주 후 살아있는 지렁이



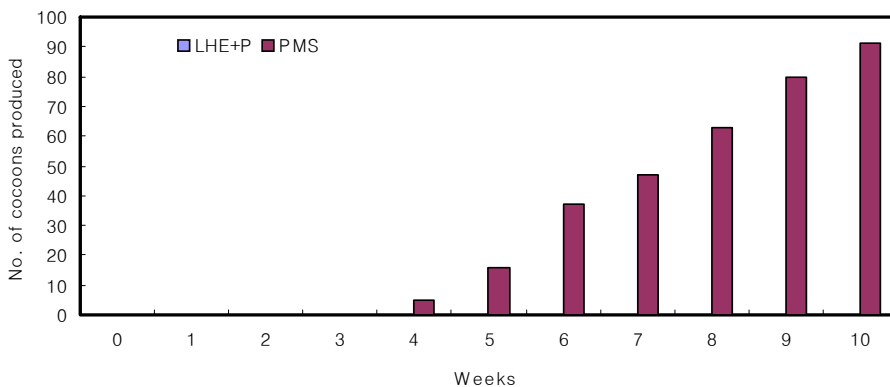
[Fig. 3] Cumulative rate(%) of clitellum development of tiger worms(*Eisenia fetida*) when they were fed with laying hens' excrement that had been mixed with paper mill sludge and aged for 21 days.

LHE + P : Laying hens' excrement was mixed with paper mill sludge PMS : Paper mill sludge

86마리 중 4마리인 4.7%만이 환대가 발생하였다. 이것은 계분에 의한 지렁이의 성장 및 성적 성숙의 저해가 지렁이 개체군 밀도감소에 미치는 중요한 요인임을 나타내고 있는 것이다. 그리고 지렁이의 성장 억제에 관여하는 이화학적 요인은 계분내의 높은 염류 농도인 것으로 판단된다[Table 1].

한편, 환대가 발생된 줄지렁이를 대상으로 산란

수(난포 생산량)를 조사한 결과[Fig. 4], 제지슬러지를 급이한 경우는 4주 후부터 난포를 생산하기 시작해 매주 증가하여 10주 동안 총 339개의 난포를 생산하였으나, 계분과 건조된 제지슬러지 혼합시료를 급이한 경우는 실험기간동안 단 한 개의 난포도 생산하지 못하였다. 이것은 이미 계분으로 인하여 지렁이의 환대발생율이 매우 낮은 것과



[Fig. 4] Change in number of cocoons produced by living individuals of tiger worm(*Eisenia fetida*) population when it was fed with laying hens' excrement that had been mixed with paper mill sludge and aged for 21 days.

LHE + P : Laying hens' excrement was mixed with paper mill sludge PMS : Paper mill sludge

더불어 환대가 발생된 이후에도 산란을 위한 생리학적 성적 발육과정이 저해되었기 때문인 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

음식물류 폐기물을 사료화하여 양계에게 급이함으로써 음식물류 폐기물의 가축사료로의 이용가치를 높이는 동시에 2차 오염원이 될 수 있는 계분을 제지슬러지와 혼합하여 부숙후 지렁이에게 급이하여 안정화시키는 소위 ‘음식물류 폐기물→양계→지렁이’ 연계처리에서 음식물류 폐기물을 섭취하고 배설된 계분의 이화학적 성상[Table 1] 및 계분이 줄지렁이 개체군의 생체량[Fig. 1], 사망률[Fig. 2], 환대발현률[Fig. 3], 난포생산수[Fig. 4] 등에 미치는 영향을 조사하였다.

계분과 제지슬러지를 혼합하여 21일간 부숙시켜 10주 동안 줄지렁이에게 급이한 결과 줄지렁이 개체군의 생체량 감소현상이 나타났는데, 이것은 주로 계분내의 과다한 염분이 줄지렁이의 성장 및 성적 성숙의 저해에 의하여 이루어진 것으로 판단된다. 따라서 ‘음식물류 폐기물→양계→지렁이’ 연계처리에서 지렁이를 이용한 계분의 안정적 재활용을 위해서는 음식물류 폐기물의 파쇄, 탈수공정, 음식물류 폐기물 사료 제조공정, 발생된 계분의 부숙 공정 등에서 지렁이 먹이내 염분 농도를 낮추기 위한 방법이 다각도로 검토될 필요가 있다.

#### 참고문헌

1. 정재춘, “유기성폐기물 관리와 지렁이 처리의 역할”, 한국유기성폐자원학회지 10(4), pp 7-14 (2002)
2. 이병도, 배운환, “가금류와 지렁이를 이용한 음식물 쓰레기 재활용 방법에 관한 연구”, 유기성 자원학회지, 12(2), pp 91-100 (2004)
3. 최훈근, “유기성슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화 슬러지급이와 사육조건에 관한 연구”, 박사학위논문, 서울시립대학교, (1992)
4. Edwards, C. A. and P. J. Bohlen. “Biology and Ecology of Earthworms”, p 426. Chapman & Hall, (1996)
5. Rivero-Hernandez, R., “Influence of pH on the production of *Eisenia foetida*”, Avanc. Aliment. Anim. 31(5), pp 215-217 (1991)
6. Edwards, C. A., “Breakdown of animal, vegetable, and industrial organic wastes by earthworms.”, Agric Ecosyst. Environ. 25, pp 299-307 (1988)
7. Kaplan D. L., R. Hartenstein, E. F. Neuhauser and M. R. Malecki, “Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*”, Soil Bio. Biochem. 12(4), pp 347-352 (1988)
8. 김영구, 박상준, 최훈근, 배재근, “지렁이 사육에 있어서 음식물 쓰레기의 부숙 정도와 분변토 혼합비의 영향: 유기성 자원학회지, 12(2), pp 72-81 (2004)
9. Elvira, C., J. Dominguez and M. J. Briones, “Growth and reproduction of *andrei* and *E. foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) in different organic residues.”, Pedobiology 40, pp 377-384 (1996)
10. Elvira, C., M. Geocoechea, L. Sampedro, S. Mato and R. Nogales, “Bioconversion of solid paper-pulp mill sludge by earthworms.”, Bioresource Technology 57, pp 173-177 (1996)
11. Elvira, C., L. Sampedro, E. Benitez and R. Nogales, “Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot scale study”, Bioresource Technology 63, pp 205-211, (1998) 