

지렁이를 이용한 유기성 자원의 처리와 이용에 관한 연구  
The treatment and utilization of organic resources by earthworm

농림수산식품자료실



0016173

연세대학교

대진대학교 원예연구소

농림수산식품부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “지렁이를 이용한 유기성 자원의 처리와 이용에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008 년 4 월 24 일

주관연구기관명: 연세대학교  
총괄연구책임자: 이 주 삼  
세부연구책임자: 이 주 삼  
연 구 원: 정 건 섭  
연 구 원: 김 병 섭  
협동연구기관명: 대진대학교  
협동연구책임자: 배 윤 환  
협동연구기관명: 원예연구소  
협동연구책임자: 박 경 섭

# 요 약 문

## I. 제 목

지렁이를 이용한 유기성 자원의 처리와 이용

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 추진목적

급속한 산업화에 따른 경제 발전의 결과, 자원의 소비량이 지속적으로 증가되어왔고 생산과 소비에서 발생하는 폐기물의 양이 증가되었다. 또한 농업부에서는 단위면적 당 식량증산을 위하여 농경지에 화학비료와 농약을 지나치게 많이 사용하여 왔고 농지의 단작과 연작과 같은 집약적 이용으로 농업생태계가 심각할 정도로 파괴되었다(이, 1999). 우리나라에서는 2005년부터 유기성폐기물의 직·매립이 금지되어 유기성 폐기물인 음식물 쓰레기와 축분 분뇨의 처리문제가 심각한 사회적 문제로 대두되고 있는 실정이다(환경부, 2000).

이상과 같은 대량으로 발생하는 유기성 자원을 효율적으로 재활용하는 방법은 다양하지만 지렁이에 의한 퇴비화방법(vermicomposting)은 유기성 자원의 생물학적 처리 방법의 하나로서 유기물을 급속히 안정화 시킬 수 있으며, 악취와 냄새가 없고 최종산물인 분립과 지렁이를 대량으로 생산하여 유기질 자재와 동물성 단백질 자원으로서 농업적으로 유용하게 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다(이 등, 1992).

따라서 본 연구에서는 지렁이의 최적 사육조건을 도출하고 미생물 starter 개발과 장내 미생물 분류와 동정을 통해 지렁이의 생육촉진을 위한 미생물을 동정하고, 지렁이 먹이 중의 유해물질의 생물적 농축능력, 지렁이 체액을 이용한 생물농약가능성과 체 단백질 평가를 한다. 지렁이를 대량 생산할 수 있는 처리시설과 농가에 보급할 수 있는 사육시설을 모델화 하고, 분변토를 이용한 유기상토의 개발 및 채소재배의 이용효과를 구명하여 이를 토대로 향후 유기농업 및 폐기물처리의 확대를 담당하고자 하는 각 수요자에게 도움이 되고자 한다.

## 2. 필요성

### 가. 기술적 측면

- 1) 유기성 자원의 단독 및 혼합처리시의 발효과정에서의 이화학적 특성이 파악되어 vermicomposting의 처리과정을 단축시킬 수 있고, 유기성 자원의 발효와 지렁이 생육을 촉진할 수 있는 미생물과 분변토의 양분증강에 관여하는 장내 미생물을 분류할 수 있어 starter의 개발가능.
- 2) 안정성이 낮다고 판단되는 유기성 자원을 지렁이에 의한 생물적 농축으로 분변토의 안전성을 높일 수 있으며, 지렁이 체액 및 worm cake을 생물농약과 단백질 자원으로 이용할 수 있는 기술개발이 가능
- 3) 입식밀도, 폐기물 투여량, 온도 및 습도 등 사육 시스템에서 가축분 및 농산부산물 재활용에 적합한 사육조건이 밝혀질 것임
- 4) 지렁이 처리시스템이 자동화되고 재료 배합별 조건, 전처리 최적조건이 정립되면 여기서 얻어지는 분변토는 기계화로 인한 원가절감 및 균일한 품질의 퇴비나 상토, 유기질비료 및 유기복비의 상용화를 가능하게 함
- 5) 다층식 지렁이 사육시설과 처리자동화 시설을 병용하여 유기성 폐기물을 처리함으로써 폐기물 처리에 소요되는 면적 및 처리경비를 크게 절감시킬 수 있음
- 6) 분변토를 이용한 상토나 유기질 토양 개량제 제조기술을 확보하여 채소재배 등 유기농업에 이용하는 것은 국내 유기성 자원의 재활용화 측면에서 매우 중요함

### 나. 경제·산업적 측면

- 1) 환경오염원으로 작용하는 다양한 유기성 자원을 안전하게 처리할 수 있는 기술체계의 확립이 가능
- 2) 유기성 자원의 발효와 지렁이 생장을 촉진하는 starter의 개발이 가능하고, 장내에서 각종 효소를 분비하는 미생물을 분리·동정할 수 있어 타 산업에서 요구되는 특정 효소의 대량생산이 가능함
- 3) 지렁이 체액을 생물농약으로 활용할 수 있어 친환경 농업기반 확대에 도움이 되며, 체액의 다양한 성분을 이용한 의약품 원료로 개발 가능성이 높음
- 4) 기존의 가축분 퇴비화 방법이 안고 있는 부자재 확보의 문제, 악취문제 및 퇴비화기간의 문제 등을 크게 완화시킬 수 있고, 분변토를 사료, 상토 및 유기질 복합비료 등으로 재활용함으로써 부가가치를 창출할 수 있음
- 5) 유기성 자원에 대한 지렁이 사육환경을 최적화함으로써 시스템 설치비용을 절감시킬 수 있음
- 6) 국내 육묘용 상토의 대부분은 외국에서 수입이 되고 있는데, 분변토가 함유된 육묘용 상토 개발로 수입대체 효과가 높다. 또한 시설 재배지의 과도한 화학비료 연용과

시설 과채류의 연작으로 황폐화된 토양을 교정하는 분변토를 이용한 토양 개량제 개발은 유기 재배에 필요한 국산 유기자재의 확보 측면에서 매우 중요함

#### 다. 사회·문화적 측면

1) 현재 다량으로 배출되는 유기성 자원은 수질, 토양, 대기오염 등을 유발하여 사회적·문화적 갈등요인이 되고 있다. 그러나 지렁이를 이용한 가축분뇨의 퇴비화는 이러한 환경오염 문제에 대한 대안임과 동시에 완벽한 자원 재활용 방안임.

2) 기존의 유기성 자원의 처리공법은 처리현장에서 발생하는 악취와 해충발생이 문제가 되지만, 지렁이 처리법에서는 살균효과와 함께 분변토의 탈취효과로 인해 악취와 해충발생의 문제가 없다.

3) 지렁이를 이용하여 다양한 유기성 자원을 처리하고 최종산물을 재활용할 경우, 유기성자원과 지렁이에 대한 긍정적인 인식의 폭을 넓힐 수 있으며 지렁이 처리법을 적용할 수 있는 유기성 자원을 확대시킬 수 있는 계기가 될 것임.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

#### 1. 연구개발 목표

##### 가. 1차년도

- 1) 유기성자원의 특성 조사, 지렁이의 이용, 미생물의 분포조사
- 2) 가축분 및 농산 부산물 재활용효율 제고를 위한 지렁이 사육기술 개발
- 3) 지렁이 분변토의 채소재배의 이용

##### 나. 2차년도

- 1) 유기성자원의 단독, 혼합처리시의 이화학적 특성조사, 생물적 농축 평가, 체액과 worm cake의 이용 및 지렁이 미생물 분포조사
- 2) 가축분 및 농산부산물 처리우 생성된 분변토 및 잉여 지렁이의 효율적 분리 기술 개발
- 3) 지렁이 분변토의 농업적 이용

##### 다. 3차년도

- 1) 지렁이 최적 먹이조건의 도출
- 2) 다층식 및 비닐하우스식 사육시스템의 현장 적용성 검증

- 3) 지렁이 분변토의 농업적 이용

## 2. 연구개발의 내용 및 범위

### 가. 1차년도

- 1) 지렁이 먹이로서 각 종 유기성 자원의 이화학적 특성을 조사
- 2) 지렁이 성분 분석
- 3) 지렁이의 미생물 조사를 위한 DGGE 적정조건 확립
- 4) 지렁이 사육 현장 애로사항 조사
- 5) 지렁이 사육상의 단위 면적당 지렁이 적정 입식밀도 구명 및 밀도변화 조사
- 6) 지렁이 사육상 단위 면적당 가축분 및 농산 부산물의 적정 투여량 구명
- 7) 온도가 지렁이의 생육 및 가축분 및 농산 부산물 처리효율에 미치는 영향 평가
- 8) 원재료 가축분 종류에 따른 분변토의 유기물, 주요 무기물, 미생물, 중금속 등 물리 화학성 분석
- 9) 분변토와 상토재의 혼합을 통한 육모용 상토의 개발
- 10) 분변토와 일반퇴비 및 혼합과 무퇴비 효과 비교

### 나. 2차년도

- 1) 유기성 자원의 단독 및 혼합처리시 발효과정에서의 이화학적 특성 조사
- 2) 먹이, 지렁이 체내, 분변토 중의 생물적 농축능력 평가
- 3) 체액의 yellow fraction과 red fraction의 살균, 살충효과 검증
- 4) 단백질 자원으로서의 worm cake의 평가
- 5) 지렁이 먹이, 장내 및 분변토 중의 미생물군 조사
- 6) 비닐하우스 형태의 사육시설에서 분변토 수확기술 개발
- 7) 다층식 사육시설에서 분변토 수확기술 개발
- 8) 비닐하우스 형태의 사육시설에서 잉여지렁이 수확기술 개발
- 9) 다층식 형태의 사육시설에서 잉여지렁이 수확기술 개발
- 10) 분변토와 기존 원예용 상토의 적정 혼합 결정 및 원예용 상토의 개발
- 11) 개발된 상토와 원예 육모 상토의 작물생육 평가
- 12) 분변토 사용 후 토양 개량 효과 및 작물 생육 평가
- 13) 분변토와 상품화된 퇴비의 혼합비 결정
- 14) 지렁이 분립이 육모생산에 미치는 영향

### 다. 3차년도

- 1) 유기성자원의 단독, 혼합처리시의 지렁이 생육평가

- 2) 먹이의 적정 C/N율, 증체속도, 분변토, 생산속도, 증식효율
- 3) 먹이량과 생체중의 비율에 의한 최적 사육밀도 추정
- 4) 먹이 종류별에 따른 지렁이의 생물 농축 능력 평가
- 5) 지렁이 생육촉진 미생물 탐색
- 6) 현장 파일롯에서 우분에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율 검증
- 7) 현장 파일롯에서 돈분에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율 검증
- 8) 현장 파일롯에서 기타 농산부산물에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율검증
- 9) 지렁이 사육농가 농장 운영 현황 및 현장 애로 설문조사
- 10) 분변토를 이용한 원예 육묘용 상토와 기존 육묘용 상토의 상업 육묘장에서 실증 비교 시험
- 11) 분변토를 이용한 토양개량제와 관행 퇴비 및 퇴비 무시용의 포장시험

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구개발의 결과

#### ● 지렁이를 이용한 유기성 자원의 처리

가. 유기성 자원의 단독, 혼합처리시의 이화학적 특성 및 지렁이의 생육 결과

##### 1) 유기성 자원의 단독처리

- ◆ pH는 모든 유기성 자원에서 발효 10일째에 3.77-7.93의 범위였지만, 110일 째에서는 5.27-8.49로 높아졌다. 특히 맥주박과 커피 박은 각각 5.27과 5.37로 강산성을 나타내었다.
- ◆ 전기전도도(EC)는 발효 10일째에 3.4-9.0의 범위가 발효 110일째에 0.6-6.1의 범위로 낮아졌다. 특히 커피 박과 잔디 예초물에서 0.6을 가장 낮았다.
- ◆ 유기물 함량은 발효 10일 째에 62.0-99.8%의 범위였으나, 110일째에는 28.9-97.7%의 범위를 나타내었다. 특히 커피 박의 유기물 함량은 발효과정 중에서 거의 감소되지 않았다.
- ◆ 유기성 자원 중의 조 회분(무기물) 함량은 발효과정의 경과와 함께 증가하였다. 즉, 발효 10일째에 0.2-38.0% 범위가 2.3-71.1% 범위까지 증가하였고, 특히 계분에서 증가율이 높았다.
- ◆ 전 탄소함량은 커피 박을 제외한 모든 유기성 자원에서 발효기간의 경과와 함께

저하되었다. 즉, 발효 10일째에 34.4-55.4% 범위가 110일째에는 16.1-54.3%의 범위였고, 계분에서 가장 낮은 16.1%를 나타내었다.

- ◆ 전 질소함량은 발효 10일째의 두유박과 맥주박은 각각 4.56%와 4.7%로 높았고, 발효 110일째에서는 돈분 슬러지와 맥주박이 각각 3.78%와 3.55%로 높은 함량을 나타내었다.
- ◆ 탄질율은 발효 10일째에 8.19-29.34 범위였는데, 돈분슬러지가 8.19로 가장 낮았다. 또한 110일째에는 계분과 돈분 슬러지는 각각 7.20과 7.22로 매우 낮았다.
- ◆ 조섬유함량은 모든 유기성 자원에서 발효과정의 경과와 함께 증가하였다. 즉, 발효 10일째에는 2.0-21% 범위였지만, 110일째에서는 6.6-37.0%로 증가하였다. 특히 버섯 폐배지, 커피 박, 잔디 예초물에서 증가율이 높았다

## 2) 가축분과 유기성 자원과의 혼합처리

- ◆ pH는 우분 처리구가 7.4-8.6, 돈분 처리구가 6.1-7.5, 계분 처리구가 5.4-7.0의 범위였고, 전기전도도는 우분처리구가 2,2-3,7, 돈분처리구가 1,4-5.6, 계분처리구가 1.8-6.7의 범위를 나타내었다.
- ◆ 휘발성 고형분(VS)은 우분 처리구에서 62.6-78.6%, 돈분 처리구에서 71.5-84.6%, 계분처리구에서 60.2-78.3%의 범위였고, 특히 우분+커피박, 돈분+커피박, 계분+맥주박에서 높았다.
- ◆ 전 질소함량(TN)은 우분처리구가 1.5-2.3%, 돈분처리구가 4.4-7.6%, 계분처리구가 3.1-4.3%를 나타내어, 돈분처리구에서 높았다.
- ◆ 탄질율은 우분처리구가 16.7-26.1, 돈분처리구가 5.6-12.4, 계분처리구가 9.2-12.5의 범위였다.

## 나. 가축분과 유기성 자원의 혼합처리가 지렁이 생육에 미치는 영향

### 가) 우분 혼합처리 구

- ◆ 우분 혼합처리 구에서는 지렁이의 증체량은 우분+커피 박이, 증식효율에서는 우분+낙엽, 우분+잔디 예초물에서 유의하게 높았다.
- ◆ 휘발성 고형분(VS)과 총 탄소함량(TC)은 우분+커피 박에서 각각 72.27%와 41.07%로 유의하게 높았다.
- ◆ 탄질 율(C/N)은 15.33-24.82의 범위였고, 유효인산함량은 630.36-818.77의 범위였고, 양분 보전능(CEC)은 우분+맥주박에서 69.26으로 유의하게 높았다.
- ◆ 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 우분+커피박, 우분+낙엽 처리구가 0.05로 유의하게 높았고, 체조직으로의 유기물 전환효율(CE)은 모든 혼합 처리 구에서 3.50-9.49의 범위였다.



#### 나) 돈분 혼합처리 구

- ◆ 먹이 중의 휘발성 고형분(VS)은 돈분+톱밥에서 76.75%로 가장 높았고, 탄질율은 8.31-10.13의 범위로 낮았다.
- ◆ 돈분+커피박 처리구가 거의 모든 생육특성에서 유의하게 높은 값을 나타내었다.
- ◆ 지렁이 체조직으로 유기물 전환율(CR)은 돈분+왕겨, 돈분+커피박에서 0.59로 유의하게 높았고, 전환효율(CE)은 돈분+커피박에서 가장 높았다.

#### 다) 계분 혼합처리 구

- ◆ 계분+커피박에서 거의 모든 생육 특성에서 유의하게 높은 값이었고 분변토 생산량도 많았다.
- ◆ 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 계분+채소찌꺼기가 0.06으로 유의하게 높았고, 전환효율(CE)은 계분+톱밥에서 3.88로 유의하게 높았다.

#### 다. 지렁이 체강 액의 성분 분석과 이용

- ◆ Worm cake의 조단백질 함량은 60-65%의 범위로서, 높은 함량을 나타내었다. 이는 동물성 단백질 자원으로서 어류나 가축의 단백질원 또는 퇴비의 질소원으로 가치가 높다고 판단된다.
- ◆ 지렁이 체강 액의 yellow fraction과 red fraction의 추출효율 평균 74%였다.
- ◆ Worm cake의 조단백질 함량은 약 60-65% 범위를 나타내었다.
- ◆ 지렁이 체강 액 중 yellow fraction은 10000ppm 수준에서 벼 도열병에 대한 방제가는 74%로 높아서 생물농약으로의 가능성이 입증되었다.
- ◆ 지렁이 체강 액의 상치에 대한 생육효과는 인정되지 않았다.

#### 라. 지렁이에 의한 구리의 생물적 농축능력 평가

- ◆ 증체량과 증체속도는 돈분 슬러지에서 35일, 톱밥발효 돈분에서 30일까지 유의하게 증가하여, 약 30-35일경까지 증체를 지속하다가 감소하였다.
- ◆ 사육기간 중 먹이의 구리 감소량은 돈분 슬러지가 49일까지 169.8mg/kg, 톱밥발효 돈분은 60일까지 84.82mg/kg으로 먹이의 구리함량 높을 수록 감소량이 많았다.
- ◆ 사육기간 중 지렁이 체조직에 축적된 구리함량은 돈분 슬러지가 169.8mg/kg, 톱밥발효 돈분이 84.8mg/kg으로 돈분 슬러지가 2배 정도 축적량이 많았다.
- ◆ 사육기간 중 먹이의 구리함량에 대한 지렁이 체조직의 비율은 돈분 슬러지가

4.5-25.9%의 범위, 톱밥발효 돈분은 8.8-35.4%의 범위였고, 먹이의 구리함량에 대한 분변토의 비율은 돈분 슬러지가 14.1-26.1%의 범위, 톱밥발효 돈분은 31.0-47.9% 범위였다

- ◆ 구리의 첨가수준에 따른 생존율은 돈분 100%구와 돈분+톱밥 처리구가 400ppm까지, 돈분+커피박 처리구는 100ppm까지 유의하게 높았고, 증체량과 증체속도는 모든 처리구에서 200ppm까지 유의하게 높았다
- ◆ 구리의 첨가수준에 따른 지렁이 체조직의 구리함량은 돈분 100% 처리구와 돈분+커피박 처리구의 400ppm 첨가수준에서는 각각 136.5mg/kg과 341.4mg/kg까지 증가하였다가 감소하였었지만, 분변토의 구리함량은 모든 처리 구에서 1200ppm까지 직선적으로 증가하였다.
- ◆ 먹이종류별 지렁이 체조직으로의 최대 구리 농축능력은 돈분 100%구에서 122.48ppm, 돈분+톱밥 처리구는 311.14ppm, 그리고 돈분+커피박 처리구는 413.72ppm으로 추정되었다.
- ◆ 지렁이의 생존율은 돈분+커피박 처리구에서 지렁이 체조직의 구리함량과는 1% 수준의 유의한 부(-)의 상관이었고, 모든 먹이에서 분변토의 구리함량과는 5% 수준의 유의한 부(-)의 상관이 인정되었다.

마. 먹이조건이 지렁이 생육 및 유기물의 체조직으로의 전환효율에 미치는 영향

- ◆ 우분+왕겨 혼합구가 우분+벼짚 혼합구보다 지렁이의 증체속도, 증식효율 및 분립생산량이 많았고, 특히 우분+왕겨 1:3 비율에서의 생육이 가장 좋았다.
- ◆ 우분+왕겨 혼합 구에서 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율이 높았다.
- ◆ 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율은 먹이 중의 휘발성 고형분과 전탄소함량과는 유의한 정상관이 인정되었다.
- ◆ 지렁이 분변토는 약알칼리성이고, 전 질소함량, 유효인산함량, CEC 및 치환성 양이온함량이 높아서 친환경 농자재로 유용하게 활용될 수 있다고 판단된다.

바. 사육밀도가 지렁이 생육에 미치는 영향

- ◆ 증체량, 증체속도, 난포 수 분립 생산량으로 볼 때, 적정 지렁이 생체중과 먹이 량 비율은 D-1(1:8)에서 D-3(1:32)의 범위였고, 지렁이 개체 당 적정 사육 공간( $\text{cm}^3$ )으로 볼 때, 14.2-113.2 $\text{cm}^3$ /마리 범위를 나타내었다.
- ◆ 사육기간이 경과함에 따라서 분변토 중의 휘발성 고형분과 총 탄소함량은 감소되는 경향이었지만, 유효인산함량과 양분 보전능은 증가되는 경향이였다.
- ◆ 사육기간 별 상대 생체량은 10일 째는 1:25-1:112, 20일 째는 1:20-1:128, 30일째는 1:22-1:130의 먹이조건에서 생체중의 증가가 인정된다고 추정되었다.

사. 지렁이 생육촉진을 위한 미생물 Starter 개발과 장내 미생물 분류와 동정

- ◆ 지렁이 미생물 조사를 위한 DGGE 적정 조건을 확립하기 위해서 지렁이 장내 우점미생물로 알려진 5종의 genomic DNA에 대한 PCR 증폭시 적합한 primer로 341F-GC와 518R primer가 DGGE 분석의 최적 primer로 선정하였다.
- ◆ PCR 최적반응 조건은 52°C의 annealing temperature에서 60 cycle로 증폭할 때 band의 intensity가 가장 높았으며, 서로 다른 DGGE gel과의 비교 및 신속한 동정을 위해서 지렁이 장내 우점미생물로 보고되었던 미생물의 표준균주 6종의 DGGE marker를 제작.
- ◆ 지렁이 먹이원으로 우분을 톱밥과 1:1 혼합하여 5주 동안 교반, 발효하여 8주 동안 배양한 지렁이의 장내용 물로부터 분리미생물을 순수 배양한 결과, 혐기성 미생물에서는 *Aeromonas* sp.와 *Bacillus cereus*가 39%와 21%로 우점 하였으며, 혐기성 미생물에서도 *Aeromonas* sp.와 *Bacillus cereus*가 52%와 27%로 지렁이 장내에 우점하고 있는 것으로 확인하였다.
- ◆ DGGE 분석결과, 8주 동안 배양한 지렁이의 장에서도 *Aeromonas* sp.와 *Bacillus* sp.의 band intensity가 7.55%와 4.15%로 높은 결과를 나타내었는데, 이는 고체배지에 도달하여 순수배양한 방법의 결과와 유사하였다.
- ◆ 지렁이 먹이원 미생물 조사하기 위해 유기물 분해능이 가장 우수한 *Photobacterium ganghwensis* WA24, *Aeromonas hydrophila* WA40, *Paenibacillus motobuensis* WN9를 선발하여 우분먹이원에 첨가한 결과, *Aeromonas hydrophila* WA40과 *Paenibacillus motobuensis* WN9를 단일균주로 첨가하였을 때 지렁이 생육과 분변토 생산량 증대를 효과가 있음을 확인하였다.

● **가축분 및 농산 부산물 재활용을 위한 최적 지렁이 사육모델 개발**

가. 지렁이 사육상 조성을 위한 단위 면적당 적정 입식밀도

- ◆ 지렁이 사육농장을 운영하고자 하는 농가에서 지렁이 사육상을 조성할 때, 지렁이 구입비용, 노동비용 등을 고려하여 단위 면적당 초기 지렁이 입식량을 너무 높지 않게 하는 것이 유리한 것으로 판단되며, 초기 입식밀도는 사육상 면적 1m<sup>2</sup>당 2kg 이하로 하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

나. 지렁이 사육상에 먹이 공급시 매회 적정 먹이 투여

- ◆ 지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 일정수준으로 높아졌을 때(5kg/m<sup>2</sup>이상)에는 지렁이 사육상에 매회 투여되는 먹이량을 40kg/m<sup>2</sup> 이상으로 하는 것이 가축분 처리, 지렁이 밀도 증식 및 분변토 생산 측면에서 효율적인 것으로 나타났다.

다. 온도가 지렁이 개체군 성장에 미치는 영향

- ◆ 10℃이하의 저온은 지렁이 개체군 성장 요인 중 산란수와 부화기간에 영향을 미치고, 30℃ 이상의 고온은 부화 기간보다는 산란수에 심대한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 온도조건이 지렁이 난포당 부화 개체 수에는 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.

라. 비닐하우스식 사육상에서 분변토 수확 방법

- ◆ 재래식 노지사육상에서 분변토를 지렁이 사육상으로부터 수확할 시점의 사육상 높이는 대개 50cm 정도이다. 사육상 높이가 50cm 일 때 지렁이 개체군의 수직분포 역시 표층으로부터 20cm 깊이 이내에 지렁이 개체군의 95% 이상이 서식하고 있었다. 따라서 재래식 노지사육상으로부터 분변토를 수확할 때는 사육상 상층부 20cm 깊이에 있는 분변토와 지렁이를 걸어서 사육상으로부터 분리한 다음, 지렁이가 서식하지 않는 20~50cm 깊이에 있는 분변토를 사육상으로부터 분리, 수확하는 것이 지렁이의 유실이 없는 합리적인 방법이다.

마. 다층식 사육상에서 분변토 수확 방법

- ◆ 통상 다층식 사육상의 높이는 25~30cm가 된다. 사육상의 높이가 25cm, 30cm일

때, 지렁이 개체군은 90%이상이 표층으로부터 15cm이내, 95%이상이 표층으로부터 20cm이내에 서식하는 것으로 나타났다. 따라서 다층식 사육상으로부터 분변토를 분리할 때는 사육상 하단 부, 즉 표층으로부터 15cm 또는 20cm 이상의 깊이에 존재하는 분변토를 분리해내어야 분변토 수확시 사육상으로부터 지렁이의 유실을 방지할 수 있다.

#### 바. 유인들의 지렁이 수확 효율

- ◆ 유인들의 장점은 수작업에 비해서 노동 강도가 작다는 것이다. 같은 수확물이라면 유인들에 의한 수확이 작업자 입장에서 훨씬 손쉬운 작업이 되는 것이다. 따라서 우리나라 지렁이 농장의 대부분을 차지하는 비닐하우스식 사육상에서 지렁이 수확은 유인들을 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

#### 사. 지렁이 먹이로서 농산 부산물

- ◆ 우분, 돈분, 버섯 폐배지와 같은 농산부산물은 비닐하우스와 다층식 지렁이 사육 현장에서 지렁이 개체군을 최고의 밀도로 유지할 수 있는 매우 양호한 먹이인 것으로 나타났다.
- ◆ 분변토 생산 효율을 높이기 위해서는 섭식속도가 높은 고액분리 돈분을 지렁이 먹이로 공급하는 것이 바람직하였다.
- ◆ 농산부산물(우분, 돈분, 버섯 폐배지)로부터 생산된 분변토의 농업적 이용 가치는 매우 양호하였다.

#### 아. 사육 현황 및 현장 애로 설문 조사

- ◆ 낚시미끼로의 판매가 지렁이 사육 농장의 주 수입원으로 수익모델이 매우 빈약한 것으로 나타났다.
- ◆ 지렁이 농장 전체 운영상의 가장 큰 애로사항은 양호한 먹이를 공급받는 것이었다.
- ◆ 지렁이 농장 사양관리상의 가장 큰 기술적 애로점은 사육상에 먹이공급하기였다.
- ◆ 3,300m<sup>2</sup>(1,000평) 이하의 소규모 농장이 50% 이상이었으나 절대 다수의 농장주들은 향후에도 지렁이 농장을 계속 운영할 의사를 가지고 있었다.

● **분변토를 이용한 유기상토 개발 및 채소재배 이용효과 규명**

가. 분변토의 이화학적 특성 및 퇴비 및 상토의 관련 규정 적용

- ◆ 지렁이 분변토의 중금속에 대한 기준은 1급 퇴비의 기준을 적용하고, 유기농에 사용하는 분변토를 만들기 위한 지렁이 먹이는 퇴비에서 사용가능한 물질에서 돈분과 인분 및 기타 동물의 분뇨는 사전 분석 검사 후 사용가능한 원료로 조정하여 설정하는 것이 필요

나. 분변토의 토양 시용 효과 및 시용량 결정

- ◆ 분변토 및 분변토와 계분활성탄을 시용했을 때 단호박의 생육과 수량이 증가하였고, 분변토를 토양 내 시용했을 때 미생물 군체에 미치는 영향은 별로 크지 않았으며, 분변토 시용에 의한 양분 증가에 의해 수량이 증가한 것으로 나타났다. 분변토 처리후 지렁이 밀도를 조사했는데, 전혀 발견되지 않았으며, 분변토 시용에 의한 지렁이 서식 증가는 나타나지 않았다.

다. 분변토를 이용한 유기 육묘 체계 개발

- ◆ 육묘 기간이 길은 고추와 상추는 분변토의 혼입이 많을수록 생육이 좋았고, 육묘 기간이 짧은 오이와 봄배추는 시판상토에서 생육이 좋았다. 분변토의 혼입이 많을수록 양분 보유량 올라가지만, EC가 너무 높아 상토 사고의 위험이 존재하므로 분변토 혼입량은 20% 미만이 적합하다.

라. 유기상토에 지렁이 분변토의 첨가가 벼 유식물체의 생육에 미치는 영향

- ◆ 톱밥발효 돈분으로 생산한 분변토에서 바닥 무처리구에서 추청 벼는 분변토 20% 까지 혼합비율에서, 흑미 벼에서는 분변토 10%까지의 혼합비율에서, 바닥 처리구에서는 추청 벼와 흑미 벼 모두 분변토 5% 혼합비율에서 유식물체의 생육이 양호하였다.
- ◆ 느타리버섯 폐배지로 생산된 분변토에서, 바닥 무처리구에서 분립토 4-6%의 혼합비율에서, 바닥 처리구에서는 대조구(유기상토 100%)에서 생육이 양호하였다.
- ◆ 바닥 무처리구보다 처리구에서 분변토의 좁은 혼합비율에서 생육이 양호하였던 것은 신장된 뿌리가 바닥에 시용된 분변토로부터 양분을 흡수하였기 때문이라고 생각된다.

- ◆ 장기간 벼를 육묘할 경우에는 기존 유기상토가 가지고 있는 양분부족의 결점을 보완하기 위해서는 분변토의 적정 혼합비율에서 요구하는 전 질소함량, CEC, 유효인산함량을 충족시키고, 탄질 율을 저하시키는 것이 중요하다고 판단된다.

## 2. 기대효과 및 활용에 대한 건의

### 가. 기술적 측면

- ◆ 유기성 자원의 단독 및 혼합처리시의 발효과정에서의 이화학적 특성이 파악되어 vermicomposting의 처리공정을 단축시킬 수 있고, 유기성 자원의 발효와 지렁이 생육을 촉진할 수 있는 미생물과 분변토의 양분증강에 관여하는 장내 미생물을 분류 할 수 있어 starter의 개발 가능.
- ◆ 안전성이 낮다고 판단되는 유기성 자원을 지렁이에 의한 생물적 농축으로 분변토의 안전성을 높일 수 있으며, 지렁이 체액 및 worm cake을 생물농약과 단백질 자원으로 이용할 수 있는 기술개발이 가능.
- ◆ 입식밀도, 폐기물 투여량, 온도, 습도 등 사육 시스템 내에서 가축분 및 농산부산물 재활용에 적합한 사육조건이 밝혀질 것임.
- ◆ 지렁이 처리시스템이 자동화되고 재료 배합별 조건, 전처리 최적조건이 정립되면 여기서 얻어지는 분변토는 기계화로 인한 원가절감 및 균일한 품질의 퇴비나 상토, 유기질비료 및 유기복비의 상용화를 가능하게 함.
- ◆ 다층식 지렁이 사육시설과 처리자동화 시설을 병용하여 유기성 폐기물을 처리함으로써 폐기물 처리에 소요되는 면적 및 처리경비를 크게 절감시킬 수 있음.
- ◆ 분변토를 이용한 상토나 유기질 토양 개량제 제조기술을 확보하여 유기농업에 필요한 유기 자재 개발 및 국내 폐기물의 유기 자원화 측면에서 매우 중요하다.

### 나. 경제 · 산업적 측면

- ◆ 환경오염원으로 작용하는 다양한 유기성 자원을 안전하게 처리할 수 있는 기술 체계의 확립이 가능
- ◆ 유기성 자원의 발효와 지렁이 생장을 촉진하는 starter의 개발이 가능하고, 장내에서 각종 효소를 분비하는 미생물을 분리, 동정할 수 있어, 타산업에서 요구되는 특정 효소의 대량생산이 가능하다.
- ◆ 지렁이 체액을 생물농약으로 활용할 수 있어 친환경 농업기반 확대에 도움이 되며, 체액의 다양한 성분을 이용한 의약품 원료로 개발 가능성이 높다.
- ◆ 기존의 가축분 퇴비화 방법이 안고 있던 부자재 확보의 문제, 악취 문제, 퇴비화기간의 문제 등을 크게 완화시킬 수 있고, 분변토를 사료, 상토, 유기질 복합비

료 등으로 재활용함으로써 부가가치를 창출할 수 있음.

- ◆ 유기성 자원에 대한 지렁이 사육환경을 최적화함으로써 시스템 설치비용을 절감시킬 수 있음.
- ◆ 분변토를 이용한 토양개량제는 산성화된 토양을 개량시킬 수 있으며, 상용화될 경우 안전성이 높은 유기 농산물을 얻을 수 있고 시설 내 토양 환경 개선에 크게 기여할 것이다.
- ◆ 국내 육묘용 상토의 대부분은 외국에서 수입이 되고 있는데, 분변토가 함유된 육묘용 상토 개발로 수입대체 효과가 높다. 또한 시설 재배지의 과도한 화학 비료 연용과 시설 과채류의 연작으로 황폐화된 토양을 교정하는 분변토를 이용한 토양 개량제 개발은 유기 재배에 필요한 국산 유기자재의 확보 측면에서 매우 중요하다.

#### ● Vermicomposting의 활용방안

- ◆ 지렁이의 생육에 알맞은 먹이와 사육조건을 도출하므로, 사육시설의 모델화가 가능하며, 이를 통한 유기성 자원의 대량처리가 가능하여 환경적, 사회적 문제를 동시에 해결할 수 있다.
- ◆ 지렁이에 의한 중금속의 생물적 농축을 통하여 현재 중금속(Cu) 함량이 높아 대량 사용이 불가능하다고 판단되는 돈분의 사용이 가능해져 경종농업과 축산업이 연계된 순환농업 체계의 구축이 가능하다.
- ◆ 생물농약으로서 지렁이 체액의 효과가 인정될 경우, 병충해의 생물적 제어가 가능하여 대량생산을 통한 생물농약산업의 발전에 기여한다.

#### ● 지렁이 생산 현장에 사육기술 지도 건의 내용

- ◆ 지렁이 구입비용, 노동비용 등을 고려하여 단위 면적당 초기 지렁이 입식량을 너무 높지 않게 하는 것이 유리하며, 초기 입식밀도는 사육상 면적 1㎡당 2kg 이하로 하는 것이 합리적이다.
- ◆ 지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 일정수준으로 높아졌을 때(5kg/m<sup>2</sup>이상)에는 지렁이 사육상에 매회 투여되는 먹이량을 40kg/m<sup>2</sup> 이상으로 하는 것이 가축분 처리, 지렁이 밀도 증식 및 분변토 생산 측면에서 효율적이다.
- ◆ 비닐하우스 내 사육상으로부터 분변토를 수확할 때는 사육상 상층부 20cm 깊이



에 있는 분변토와 지렁이를 겉어서 사육상으로부터 분리한 다음, 지렁이가 서식하지 않는 20~50cm 깊이에 있는 분변토를 사육상으로부터 분리, 수확하는 것이 지렁이의 유실이 없는 합리적인 방법이다.

- ◆ 우분, 돈분, 버섯 폐배지와 같은 농산부산물은 비닐하우스와 다층식 지렁이 사육 현장에서 지렁이 개체군을 최고의 밀도로 유지할 수 있고 위생적 안전성도 높은 양호한 먹이므로 지렁이 사육 농장에서 적극적인 활용을 유도하도록 건의한다.

- 지렁이 생산 농가를 위한 경영 지원 및 정책건의

- ◆ 지렁이 농장들에 대한 수익원에 대한 설문 결과 2,000평 이하의 소규모 농장에서는 지렁이 판매 이외의 수익을 얻기가 어려웠으나, 3,000평 이상의 대규모 농장에서는 지렁이 판매뿐만 아니라 폐기물 처리 수수료를 수익으로 얻고 있었으므로, 지렁이 농가 소득 증대를 위해서는 농장 확대에 필요한 정책 자금을 정부가 적극 지원하기를 건의함.
- ◆ 농산부산물로부터 생산된 분변토는 환경적, 위생적으로 매우 안전하므로, 친환경 농자재의 하나로서 공식적인 지위를 획득할 수 있도록 정책적 배려를 건의함.

## SUMMARY

Extremely large amounts of organic wastes are produced by intensive animal production causes disposal problems before they can be put on to arable land, and a considerable potential for potent source of pollution of surface and ground water. Similarly, large amounts of organic wastes are produced in the agricultural and food processing industries including the brewery and mushroom industries, that produce large quantities of organic wastes. Breakdown of organic wastes by earthworm can turn such a negative asset into a profit, by producing useful materials, and are the same time minimizing environmental pollution.

Thus, vermicomposting is the digestion of organic materials by earthworm which produce excreta known as wormcast. Wormcast can be used to improve the fertility and physical characteristics of soil and potting growth medium.

### **The treatment and utilization of organic resources by earthworm**

1. Physicochemical properties of organic wastes alone and mixed with animal manures in compost processing

1) Organic wastes treated alone

- ♦ The values of pH of organic wastes showed a ranging from 5.27 to 5.37 in all treatments after composting process.
- ♦ C/N ratio was ranged from 8.19 to 29.34 in all treatments, especially, pig slurry showed a lower value than that of other organic wastes.

2) Organic wastes mixed with animal manures

- ♦ The value of pH was obtained at about ranged from 7.4 to 8.6, from 6.1 to 7.5, and from 5.4 to 7.0 in mixed treatment with cow, pig and poultry manure, respectively.
- ♦ The content of volatile solid was obtained at about ranged from 62.6 to 78.6%, from 71.5 to 84.6%, and from 60.2 to 78.3% in mixed treatment with cow, pig and poultry manure, respectively
- ♦ The value of C/N ratio was obtained at about ranged from 16.7 to 26.1, from

5.6 to 12.6, and from 9.2 to 12.5 in mixed treatment with cow, pig and poultry manure, respectively.

## 2. Effect of mixed ratios of animal manure and organic wastes on the growth of earthworm

- ♦ The highest values of biomass and efficiency of reproduction of earthworm were obtained at cow manure with coffee cake, and cow manure with turfgrass residue.
- ♦ Especially, the higher values of volatile solid and total carbon content was obtained at cow manure with coffee cake. It means that the increase of biomass and a higher efficiency of reproduction by the earthworm was mainly due to a higher content of volatile solid and total carbon content in these feeds.
- ♦ The highest values of conversion rate of organic matter to earthworm tissues was obtained at cow manure with coffee cake and cow manure with dead leaves.
- ♦ And, the conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues showed a ranged from 3.50 to 9.49 in all treatments.
- ♦ The highest values of volatile solid was 76.75% at pig manure with sawdust, and C/N ratios was ranged from 8.31 to 10.13 in all treatments.
- ♦ The highest values of conversion rate and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues was obtained at pig manure with coffee cake.
- ♦ The growth characteristics of earthworm showed a higher value was obtained at poultry manure with coffee cake.

## 3. The utilization and fractionation of coelomic fluid of earthworm

- ♦ The fractionation of coelomic fluid could be separate two components in both of yellow and red fractions. The extraction rate of coelomic fluid was 74% averaged, and the protection value of yellow fraction to rice blast diseases was obtained at about 74% in 10000ppm level. These results suggested that the yellow fraction of coelomic fluid can use as a bio-fungicides for rice blast diseases in future days.

## 4. Evaluation of bio-concentration of copper(Cu) by earthworm

- ♦ The earthworm's biomass increased up to 35 days, and 30 days after the raising in pig slurry and fermented pig manure with sawdust.
- ♦ The amounts of copper decreased directly up to 49 days, and 60 days in pig slurry and pig manure with saw dust, respectively.
- ♦ The total amounts of copper accumulation in earthworm tissues were 169.8mg/kg in pig slurry, and 84.8mg/kg in pig manure with sawdust during the raising periods.
- ♦ The survival rates of earthworm in pig manure with saw dust showed a significantly highest values up to 400ppm, and up to 100ppm level in pig manure with coffee cake.
- ♦ The copper concentration of earthworm was estimated that the highest values of 122.48ppm, 311.14ppm and 413.72ppm in control(100% pig manure), pig manure with sawdust, and pig manure with coffee cake, respectively.

#### 5. Effect of feed conditions on the growth of earthworm and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues

- ♦ The mixtures of cow manure and rice hull showed a higher values of biomass, increase rate of biomass, efficiency of reproduction, and cast production than that of cow manure and rice straw. Especially, mixed with cow manure and rice hull showed a significantly higher values obtained at the mixture ratio of 1:3.
- ♦ The highest values of conversion rate and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues was obtained at mixed with cow manure and rice hull.

#### 6. Effect of stocking density on the growth of earthworm

- ♦ The ratios of stock weight and feed weight was estimated that the highest values of biomass might be obtained at about ranged from 1:8 to 1:32 in different stocking density examined.
- ♦ The ratio of relative biomass of earthworm were estimated that an optimal ranged from 1:25 to 1:112 at 10 days, from 1:20 to 1:128 at 20 days, and from 1:22 to 1:130 at 30 days after raising, respectively.

7. Development of microbial starter for stimulation of earthworm biomass and isolation of microorganisms from earthworm.

- ♦ Earthworm is well known for modifying soil properties such as soil fertility, organic matter decomposition and regulation of carbon and nitrogen. A major part of the beneficial effects of earthworm on soil properties is contributed to interaction with soil microorganisms.
- ♦ A polymerase chain reaction(PCR)–denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) method was used for analyzing 16S rDNA of the earthworm intestine microflora. The universal primers for 16S rDNA of bacteria were first evaluated by PCR–DGGE using genomic DNAs from earthworm type culture and earthworm intestine. Two primer pair selected, 341F–GC and 518R primer seems to be better in view of its specificity for earthworm bacteria. The optimum condition of PCR was 52°C annealing temperature and 60 PCR cycles. When this primer pair was used for analysis of microflora of earthworm intestine, good separation and quality of patterns were obtained in DGGE analysis.
- ♦ A bacterial community structure of earthworm(*Eisenia fetida*) intestine was investigated by culture–dependent and –independent methods. By plating analysis, 72 and 55 different colonies grown on BHI medium were isolated from earthworm intestine under aerobic and anaerobic condition, respectively. *Aeromonas* sp. and *Bacillus* sp. were 39% and 21% proportion of the isolated aerobic microorganisms in earthworm intestine after 8weeks. *Aeromonas* sp. and *Bacillus* sp. were 52% and 27% proportion of the isolated anaerobic microorganisms in earthworm intestine after 8weeks. The isolates were dominated by *Aeromonas* sp. and *Bacillus* sp. DGGE analysis of 16S rDNA was similar to the isolates by culture–dependent method and suitable for investigating bacterial diversity in a feed, intestine and cast of the earthworm.
- ♦ To increase the earthworm biomass, the isolates from earthworm intestine were investigated by the amylase, protease, lipase, and chitosanase activity method. *Photobacterium ganghwensis* WA24, *Aeromonas hydrophila* WA40 and *Paenibacillus motobuensis* WN9 were selected as stimulating microorganisms for the earthworm biomass. When *Paenibacillus motobuensis* WN9( $10^5$  CFU/ml)

was added, survival rate(%), number of young earthworm, number of cocoons and ratio of earthworm casts of earthworm were more increase than group without microorganism.

- **Development of optimal vermicomposting model for recycling animal excrements and organic agro-wastes**

This research is aimed for the development of a vermicomposting model in the greenhouse system and multi-layered system, which could be used for recycling animal excrement and other organic agrowastes in large scale.

- ◆ There is little information on the vermicomposting technology such as optimal initial density of earthworm population to be introduced for constructing vermicomposting bed, optimal amount of feed to be supplied, efficient way of harvesting vermicast and earthworms, effects of temperature on the earthworm growth and productivity of vermicast, etc.
- ◆ It is necessary to develop the vermicomposting model that is suitable for recycling animal excrements and agrowastes in this country, because animal excrements and organic agro-wastes are abundant resources whose added values can be greatly magnified by vermicomposting.

- **The 1st cooperative subject : Development of optimal vermicomposting model for recycling animal excrements and organic agro-wastes**

1. Development of suitable earthworm breeding technology for recycling animal excrements and organic agro-wastes (1st year, 2005)

- ◆ Survey on the holds-up in the actual field of vermicomposting
- ◆ Determination of the optimal initial density of earthworm population for building up the vermicomposting bed, and investigation on the changes in the population density of earthworms
- ◆ Determination of the optimal amount of earthworm feed to be supplied to the unit area of vermicomposting bed

- ◆ Effect of temperature on the growth rate of earthworm population and the earthworm's eating rate on animal excrements and organic agro-wastes

2. Development of harvesting technology of vermicast and earthworm from the vermicomposting bed (2nd year, 2006)

- ◆ Development of harvesting technology of vermicast in the greenhouse system
- ◆ Development of harvesting technology of vermicast in the multi-layered system
- ◆ Development of harvesting technology of earthworms in the greenhouse system
- ◆ Development of harvesting technology of earthworms in the multi-layered system

3. Application of multi-layered vermicomposting system and greenhouse vermicomposting system in the actual field and a survey of vermiculture farmer (3rd year, 2007)

- ◆ Investigation on the vermicomposting rate, growth rate of earthworm population and vermicast productivity **on cow manure** in the actual vermicomposting system
- ◆ Investigation on the vermicomposting rate, growth rate of earthworm population and vermicast productivity **on pig manure** in the actual vermicomposting system
- ◆ Investigation on the vermicomposting rate, growth rate of earthworm population and vermicast productivity **on mushroom waste** in the actual vermicomposting system
- ◆ Survey of vermiculture farmer on the present status of farm operation and hold-ups

- **Results of research and development**

1. optimal initial density of earthworm population for building up the vermicomposting bed

- ◆ For building up the vermicomposting bed, less than 2 kg of earthworm

biomass per 1 m<sup>2</sup> of unit area as initial introducing population could be recommended.

2. Optimal amount of earthworm feed to be supplied to the unit area of vermicomposting bed

- ◆ When the density(biomass) of earthworm population in the vermicomposting bed is over 5 kg/m<sup>2</sup>, the amount of feed more than 40 kg/m<sup>2</sup> per each feed supply could be recommendable.

3. Effect of temperature on the growth of earthworm population

- ◆ Temperature lower than 10°C reduced the productivity of cocoon and made longer the hatching period. Temperature higher than 30°C severely reduced the productivity of cocoon but did not affect the hatching period. Number of hatchling per cocoon was not affected by temperature.

4. Harvesting technology of vermicast from the vermicomposting bed in the greenhouse system

- ◆ When the height of piled-up vermicast in the greenhouse became to be 50cm, more than 95% of earthworm population lived within the depth of 20cm from the surface. Therefore, removing vermicasts under the depth of 20cm from the surface had no effects on the earthworm population, which was recommendable way to harvest vermicast from the vermicomposting bed.

5. Harvesting technology of vermicast from the vermicomposting bed in the multi-layered system

- ◆ The height of earthworm breeding box in the multi-layered system was 25cm or 30cm. When the height of piled-up vermicast in the breeding box became to be 25cm or 30cm, more than 95% of earthworm population lived within the depth of 20cm from the surface. Therefore, removing vermicasts under the



depth of 20cm from the surface had no effects on the earthworm population, which was recommendable way to harvest vermicast from the vermicomposting bed.

#### 6. Efficiency of the earthworm collecting device

- ◆ The earthworm collecting efficiency of the alluring device was better than that of the conventional manual work in the greenhouse system.

#### 7. Organic agro-wastes as earthworm feed in vermicomposting

- ◆ The density of earthworm population could reached to the highest level when the earthworm was fed with cow manure, pig manure or mushroom waste, which were considered to be good earthworm feeds.
- ◆ The eating rate of earthworm and the productivity of vermicast on pig manure separated from slurry-typed pigsty was higher than that on cow manure or mushroom waste.
- ◆ Vermicasts produced from cow manure, pig manure or mushroom waste were considered to be agro-material with good quality.

#### 8. Survey of farmers on the current status of vermicomposting

- ◆ There is little income sources except selling earthworm as fishing bait
- ◆ It was revealed that the most serious hold-up for managing vermicomposting farm was to get good earthworm feed
- ◆ It was revealed that the most difficult work for breeding earthworm was to supply earthworm feed on the vermicomposting bed.
- ◆ More than 50% of vermicomposting farmers was operating vermicomposting greenhouse whose area was less than 3,300m<sup>2</sup>. But almost all the farmers had intention of keeping operating their vermicomposting farm.

#### • **Recommendations for the actual field of vermicomposting**

## 1. Recommendations of vermicomposting techniques to vermicomposting farmer

### 1) Initial introducing density of earthworm population for building up vermicomposting bed

- For building up the vermicomposting bed, less than 2 kg of earthworm biomass per 1 m<sup>2</sup> of unit area as initial introducing population could be recommended.

### 2) Optimal amount of earthworm feed to be supplied to the unit area of vermicomposting bed

- When the density(biomass) of earthworm population in the vermicomposting bed is over 5 kg/m<sup>2</sup>, the amount of feed more than 40 kg/m<sup>2</sup> per each feed supply could be recommendable.

### 3) Harvesting technology of vermicast from the vermicomposting bed

- Removing vermicasts under the depth of 20cm from the surface had no effects on the earthworm population, which was recommendable way to harvest vermicast from the vermicomposting bed.

### 4) Suitable feed for earthworm breeding

- The density of earthworm population could reached to the highest level when the earthworm was fed with cow manure, pig manure or mushroom waste, which were considered to be good earthworm feeds. Vermicasts produced from cow manure, pig manure or mushroom waste were also considered to be agro-material with good quality. Therefore, it is recommendable that cow manure, pig manure or mushroom waste be used as earthworm feeds.

## 2. Management support and policy proposal for vermicomposting farmer

1) It was difficult to get other incomes except selling earthworm as fishing allure for the vermicomposting farmers who were operating the greenhouses smaller than 6,600m<sup>2</sup>. But the vermicomposting farmers who were operating the greenhouses larger than 9,900m<sup>2</sup> were paid for vermistabilizing the organic wastes as well as selling earthworm as fishing allure. Larger farms had tendency to get more

income sources. But making larger farms needs more investment and fund. Therefore, it would be very helpful for the vermicomposting farmers to get some subsidy from the government.

2) Vermicast could be a very good agro-material, especially if it is produced from agro-wastes such as cow manure, pig manure, mushroom wastes, etc. It is recommendable that vermicasts from agro-wastes be authorized as an environmentally-friendly organic agro-material by the governmental administration.

- **To establish the guideline about wormcast usage of soil amendment and seedling growing medium during vegetable cultivation**

According to Korean industrializing, the amounts of organic wastes is drastically increasing but its recycling ratio is very little. Vermicomposting technique is very fast and stable compared to general composting and to indicate composting technique change organic resources such as food wastes into organic fertilizer of wormcasts with feeding earthworm organic wastes. Wormcasts enable to recycle soil amendment like composts and are known to be good for organic fertilizer. But its usage is very limited because of various problems. The chemical component of worm casts can vary by feeding organic resources and contain harmful element such as heavy metals. So we establish the guideline about wormcast usage of soil amendment and seedling growing medium during vegetable cultivation. During vegetable cultivation under plastic house, we analyzed the effect of the worm casts fertilizing on soil and plant and decided its amounts. During organic cultivation we decide the 20% ratio of wormcasts in seedling medium using 80% peatmoss and propose the additional fertilizing method to shortly extract the rape oil cake with boiling water(1:8) and to pour the diluted solution at interval of 3-4 day organic vegetable seedling. This method catches up with the commercial medium with peatmoss and perlite(7:3, v:v) and the additional fertilizing of vegetable seedling solution of NHRI.

- **The effect of wormcast supplementation to commercial organic plant growth media on the growth of rice seedlings**

- ◆ The wormcast of pig manure with sawdust supplementation to commercial organic plant growth media was obtained the highest yield of seedlings up to 20%, and up to 10% level in Chucheong and Black rice varieties, respectively.

- ♦ The growth of seedlings tend to decrease with the increases wormcast supplementation.
- ♦ In floor application treatment, the highest yield of seedlings was obtained at 5% level in two rice varieties.
- ♦ The wormcast of oyster mushroom wastes supplementation to commercial organic plant growth media was estimated that the highest yield of seedlings might be obtained at about ranged from 4 to 6% in Chucheong rice.

## CONTENTS

- **The treatment and utilization of organic resources by earthworm**

1. Physicochemical properties of organic wastes alone and mixed with animal manures in compost processing

- 1) Organic wastes treated alone
- 2) Organic wastes mixed with animal manures

2. Effect of mixed ratios of animal manure and organic wastes on the growth of earthworm

3. The utilization and fractionation of coelomic fluid of earthworm

4. Evaluation of bio-concentration of copper(Cu) by earthworm

5. Effect of feed conditions on the growth of earthworm and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues

6. Effect of stocking density on the growth of earthworm

7. Development of microbial starter for stimulation of earthworm biomass and isolation of microorganisms from earthworm.

- **Development of optimal vermicomposting model for recycling animal excrements and organic agro-wastes**

1. Optimal initial density of earthworm population for building up the vermicomposting bed

2. Optimal amount of earthworm feed to be supplied to the unit area of vermicomposting bed

3. Effect of temperature on the growth of earthworm population

4. Harvesting technology of vermicast from the vermicomposting bed in the greenhouse system
5. Harvesting technology of vermicast from the vermicomposting bed in the multi-layered system
6. Efficiency of the earthworm collecting device
7. Organic agro-wastes as earthworm feed in vermicomposting
8. Survey of farmers on the current status of vermicomposting

● **Usage of wormcasts during vegetable cultivation**

1. Physio-chemical property of wormcasts and related regulation on growing medium
2. Effect of soil fertilizing of wormcasts and deciding its amounts
3. Development of organic seedling technology using wormcasts
4. The effect of wormcast supplementation to commercial organic plant growth media on the growth of rice seedlings

# 목 차

요약문

- I. 제 목
- II. 연구개발의 목적 및 필요성
  - 1. 추진목적
  - 2. 필요성
    - 가. 기술적 측면
    - 나. 경제·산업적 측면
    - 다. 사회·문화적 측면
- III. 연구개발 내용 및 범위
  - 1. 연구개발 목표
  - 2. 연구개발의 내용 및 범위
- IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의
  - 1. 연구개발의 결과
  - 2. 기대효과 및 활용에 대한 건의

Summary

Contents

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

### 제 1절 연구의 배경 및 필요성

1. 연구개발의 배경
2. 연구개발의 필요성
  - 가. 기술적 측면
  - 나. 경제·산업적 측면
  - 다 사회·문화적 측면

### 제 2절 연구의 목표 및 내용

1. 연구개발 목표와 내용
2. 연차별 연구 개발 목표와 내용

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 분변토의 이용에 대한 기술개발 현황

1. 분변토(Earthworm Casts)의 정의
2. 분변토 이용의 국내외 적용 사례
3. 지렁이 분변토의 특성

### 제 2 절 국내 기술개발 현황

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1절 지렁이를 이용한 유기성 자원의 처리

1. 유기성 자원의 단독 및 혼합처리 시의 이화학적 특성
2. 가축분과 유기성 자원의 혼합처리가 지렁이 생육에 미치는 영향
3. 지렁이 체강 액의 성분 분석과 이용
4. 지렁이에 의한 구리의 생물적 농축능력 평가
5. 먹이조건이 지렁이 생육 및 유기물의 체조직으로의 전환효율에 미치는 영향
6. 사육밀도가 지렁이 생육에 미치는 영향
7. 지렁이 생육촉진을 위한 미생물 starter 개발과 장내 미생물 분류와 동정

### 제 2 절 가축분 및 농산 부산물 재활용을 위한 최적 지렁이 사육모델 개발

1. 지렁이 사육상에서 가축분 및 농산부산물 처리효율 최상화와 사육 조건 구명
2. 지렁이 사육시설에서 분변토 및 잉여지렁이 수확 기술 개발



3. 다층식 및 비닐하우스형 지렁이 사육 모델의 현장 적용성 검증 및 지렁이 사육농가 설문 조사

### **제 3 절 분변토의 채소 재배 이용**

1. 분변토의 이화학적 특성 및 퇴비 및 상토의 관련 규정 적용
2. 분변토의 토양 시용 효과 및 시용량 결정
3. 분변토를 이용한 유기 육묘 체계 개발
4. 유기상토와 지렁이 분변토의 혼합비율이 벼의 생육에 미치는 영향

## **제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도**

### **제 1 절 연도별 연구목표**

### **제 2 절 연구개발목표의 달성도**

1. 1년차도 연구개발목표의 달성도
2. 2년차도 연구개발목표의 달성도
3. 3년차도 연구개발목표의 달성도

### **제 3 절 기대효과**

## **제 5 장 연구개발결과의 활용계획**

### **제 1 절 연구 개발 결과**

1. 건의사항
2. 추가 연구의 필요성
3. 연구 결과를 이용한 기업화 추진 방안

### **제 2 절 연구 개발 결과의 활용 방안**

## **제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보**

## **제 7 장 참고문헌**

참고문헌



## 제 1 장 연구개발과제의 개요

### 제 1 절 연구의 배경 및 필요성

#### 1. 연구개발의 배경

- 우리나라는 1970년대부터의 산업화 과정을 통하여 국민경제는 지속적으로 발전해 왔고, 소득증가로 인한 유기성 자원의 발생량이 급증하고 있지만 재활용률은 매우 낮은 실정이다.
- 농업부문에서는 2007년도 말 현재 축산분뇨 발생량은 총 3,542만 톤이며, 이 중에서 우분(한우, 젖소) 47.2%, 돈분 39.2%, 계분 13.6%를 차지하고 있으며, 자원화비율은 98%에 이르고 있지만(축산과학원, 2007), 호기성 조건에서 퇴비화, 액비화는 수분조절제의 구입이 어렵고, 발효기간이 길며, 운반과 취급이 어렵고, 발효과정에서의 악취와 층해의 발생 및 퇴비제품의 안전성의 문제 등이 제기되고 있다. 또한 농산부산물, 농산가공부산물 등과 같이 재활용될 수 있는 유기성 자원의 발생량은 매우 많다고 추정되지만, 거의 자원으로 재활용되고 있지 않는 실정이다
- Vermicomposting은 유기성 자원을 급속히 안정화, 감량 화시킬 수 있으며, 병원성 세균을 감소시키고, 냄새와 해충의 발생을 억제하며, 최종산물인 분변토와 지렁이를 효율적으로 이용할 수 있어 환경보전과 처리산물의 재활용 측면에서 유용한 생물학적 처리방법의 하나라고 할 수 있다. 특히 WTO체제 출범이후 농업부문에서 친환경농업이 정책기조를 이루고 있는 실정에서 경종농업과 축산업이 연계된 유기농업과 순환농업 체계의 구축이 시급한 실정이다. 즉, 지렁이에 의한 유기성 자원의 처리 ---> 분변토와 지렁이의 대량생산---> 분변토와 지렁이의 효율적 이용 ---> 경제적이며 안전한 농산물 생산이라고 하는 물질순환의 연결고리를 이어주는 것이 vermicomposting에 의한 유기성자원의 처리방법이다.
- 따라서 vermicomposting에 의한 다양한 유기성 자원의 처리를 위해서는 처리공정의 최적화 요인의 도출, 지렁이에 의한 생물적 중금속 농축능력의 평가, 중금속의 유용성 점검, 체액의 이용, 분변토를 이용한 다양한 농자재(상토)개발 및 사육시설의 모델화가 필요하다.

#### 2. 연구개발의 필요성

##### 1) 기술적 측면

- 다양한 유기성 자원을 지렁이의 먹이로 이용할 경우, 지렁이와 분변토를 생산할 수 있으며, 분변토는 상토 또는 토양개량제로 이용되며, 지렁이는 가축사료 첨가제, 의약품 원료, 생물농약 등으로 다양하게 재활용될 수 있다.

- 지렁이를 이용한 유기성 자원 재활용 기술은 ① 지렁이 사육의 최적화 요인도출, ② 분변토 활용, ③ 지렁이의 활용 등 세 가지 요인으로 구성되어 있다.
- Vermicomposting 공정의 최적화 요인은 유기성자원을 이용한 먹이조건과 사육환경요인으로 구분할 수 있는데, 이에 관한 연구가 거의 이루어지고 있지 않는 실정임.
- 현재의 농장식 사육장은 정치된 상태로 평지에서 사육되고 있지만 대량의 유기성 자원을 처리할 경우, 과도한 노동력과 사육공간이 요구되며 계절 간에 효율적이고 지속적인 처리가 불가능함.
- 지렁이 사육 시설을 입체화, 자동화할 경우 넓은 부지의 문제, 사육의 불연속성의 문제를 해결할 수 있지만 고가의 시설비용이 요구되므로 유기성 자원을 효율적으로 재활용하기 위한 사육모델의 개발이 필요함.
- 분변토의 작물에 대한 연구는 국내외를 막론하고 매우 초보적인 단계에 있어 원예용 육묘에 필요한 다양한 상토 개발이나 토양 개량 효과에 관한 연구는 매우 적다.
- 지렁이 체액 추출물은 다양한 성분을 함유하고 있어 외국에서는 의약품 원료로 다양하게 이용되고 있지만, 체액 성분을 이용한 생물농약 개발되지 못하고 있어 친환경농업기반 확대에 걸림돌이 되고 있다.

## 2) 경제·산업적 측면

- 2007년 말 기준 축산분뇨발생량은 총 3,542만 톤이며 이 중 우분(한우, 젖소)47.2%, 돈분 39.2%, 계분 13.6%이다. 이 중, 10%만 분변토로 변화시켜도 2007년 기준 우리나라의 화학비료 및 토양개량제 소비량인 90만 톤 이상의 유기질 비료를 생산할 수 있으며, 농산부산물을 합하면 200만 톤 이상의 양질의 유기질 비료를 생산할 수 있음.

## 3) 사회·문화적 측면

- 현재 다량으로 배출되는 유기성 자원은 수질, 토양, 대기오염 등을 유발하여 사회적·문화적 갈등요인이 되고 있다. 그러나 지렁이를 이용한 가축 분뇨의 퇴비화는 이러한 환경오염 문제에 대한 대안임과 동시에 완벽한 자원 재활용 방안임.
- 기존의 유기성 자원의 처리공법은 처리현장에서 발생하는 악취와 해충발생이 문제가 되지만, 지렁이 처리법에서는 살균효과와 함께 분변토의 탈취효과로 인해 악취와 해충발생의 문제가 없다.
- 지렁이를 이용하여 다양한 유기성 자원을 처리하고 최종산물을 재활용할 경우, 유기성자원과 지렁이에 대한 긍정적인 인식의 폭을 넓힐 수 있으며 지렁이 처리법을 적용할 수 있는 유기성 자원을 확대시킬 수 있는 계기가 될 것임.

## 제 2 절 연구의 목표 및 내용

### 1. 연구개발 목표와 내용

- 지렁이 최적 사육조건외 도출
- 지렁이 생육촉진을 위한 미생물 starter개발과 장내 미생물 분류, 동정
- 먹이 중의 유해물질의 생물적 농축능력 평가
- 분변토를 이용한 유기상토 및 다양한 토양개량제 개발
- 지렁이 체액을 이용한 생물농약가능성과 체단백질의 평가
- 지렁이 사육시설 모델화(농가 보급형, 대량처리 시설)

### 2. 연차별 연구 개발 목표와 내용

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2005년)	유기성자원의 특성조사 지렁이의 이용, 미생물 분포조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지렁이 먹이로서 각 종 유기성 자원의 이화학적 특성 조사</li> <li>•지렁이의 성분분석</li> <li>•지렁이 미생물 조사를 위한 DGGE 적정 조건 확립</li> </ul>
	지렁이 사육상에서 가축 분 및 농산 부산물 처리 효율 최상화 사육조건 구명	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지렁이 사육 현장 애로사항 조사</li> <li>•지렁이 사육상의 단위 면적당 지렁이 적정 입식 밀도 구명 및 밀도변화 조사</li> <li>•지렁이 사육상 단위 면적당 가축분 및 농산 부산물의 적정 투여량 구명</li> <li>•온도가 지렁이의 생육 및 가축분 및 농산 부산물 처리효율에 미치는 영향 평가</li> </ul>
	지렁이 분변토의 농업적 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>•원재료 가축분 종류에 따른 분변토의 유기물, 주요 무기물, 미생물, 중금속 등 물리 화학성 분석</li> <li>•분변토와 상토제의 혼합을 통한 육묘용 상토의 개발</li> <li>•분변토로 제조된 상토의 채소 육묘 적용성 검증</li> <li>•시설원예작물에 대한 분변토의 직접 시용 효과 검증</li> <li>•분변토와 일반 퇴비 및 혼합과 무퇴비 효과 비교</li> </ul>

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차년도 (2006년)	유기성자원의 단독, 혼합처리시의 이화학적 특성 조사, 생물적 농축 평가, 체액과 worm cake의 이용 및 지렁이 미생물 분포조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>유기성 자원의 단독, 혼합처리시 발효과정에서의 이화학적 특성 조사</li> <li>먹이, 체내, 분변토 중의 생물적 농축능력 평가</li> <li>체액의 yellow fraction과 red fraction의 살균, 살충효과 검증</li> <li>단백질 자원으로서의 worm cake의 평가</li> <li>지렁이 먹이, 장내 및 분변토 중의 미생물군 조사</li> </ul>
	지렁이 사육시설에서 분변토 및 잉여지렁이 수확 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>비닐하우스 사육시설에서 분변토 수확기술 개발</li> <li>다층식 사육시설에서 분변토 수확기술 개발</li> <li>비닐하우스 사육시설에서 잉여지렁이 수확기술 개발</li> <li>다층식 사육시설에서 잉여지렁이 수확기술 개발</li> </ul>
	지렁이 분변토의 농업 적이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>분변토와 기존 원예용 상토의 적정 혼합 결정 및 원예용 상토의 개발</li> <li>개발된 상토와 원예 육묘 상토의 작물생육 평가</li> <li>분변토 시용후 토양 개량 효과 및 작물생육 평가</li> <li>분변토와 상품화된 퇴비의 혼합비 결정</li> </ul>

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
3차년도 (2007년)	지렁이 최적 먹이조건의 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>먹이의 적정 C/N율, 증체속도, 분변토 생산속도, 증식효율</li> <li>체조직으로의 유기물 전환율, 전환효율, 유기물의 무기화율 조사</li> <li>먹이량과 생체중의 비율에 의한 최적 사육밀도 추정</li> <li>지렁이 생육촉진 미생물 탐색</li> </ul>
	다층식 및 비닐하우스형 지렁이 사육 모델의 현장 적용성 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장 파일롯에서 우분에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율 검증</li> <li>현장 파일롯에서 돈분에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율 검증</li> <li>현장 파일롯에서 기타 농산부산물에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율 검증</li> </ul>
	지렁이 분변토의 농업 적 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>분변토를 이용한 원예 육묘용 상토와 기존 육묘용 상토의 상업 육묘장에서 실증 비교 시험</li> <li>분변토를 이용한 토양개량제와 관행 퇴비 및 퇴비 무시용의 포장시험</li> </ul>

## 제 2장 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

### 제 1 절 분변토의 이용에 대한 기술개발 현황

#### 1. 분변토(Earthworm Casts)의 정의

자연생태계에서 지렁이는 부숙된 건초, 식물체, 동물의 분 등과 같은 다양한 유기성 폐기물을 분해하여 생산자인 녹색식물이 쉽게 이용할 수 있는 물질로 변화시킨다. 지렁이가 유기성 슬러지를 먹이로 섭취하여 소화관 내에서 당, 지질, 단백질 등의 소화산물을 흡수하고, 미분해 된 섬유질을 체외로 배출하는데 이때 점성물질이 섞여 분변토가 형성된다. 분변토는 지렁이 소화기관에 있는 각종 효소 및 미생물 등에 의해서 유기물질은 완전히 발효되었을 뿐 아니라, 무기성분은 식물이 흡수 할 수 있는 형태로 변형 시켜 놓은 지연적이면서도, 이상적인 것으로 식물이 직접 흡수 할 수 있는 영양분의 결정체이다. 또한 보수성, 흡습성이 우수한 구형 내지, 타원형 입자로서 충분한 영양염류와 함께 유기질을 다량 함유함으로써 토양개량제나 유기질비료로 가치가 높은 것으로 알려져 있다(이, 1995).

#### 2. 분변토 이용의 국내외 적용 사례

캐나다에서 시판되는 분변토는 N, P 및 K 성분이 0.61, 0.08, 0.16 % 로서 캐나다 비료 법에서 규정하고 있는 1, 1, 1 % 에 미치지 못하므로 비료로 이용되지 못하고, 토양개량제(Soil improvement)로 이용된다. 미국에서는 분변토의 N, P, K 성분이 0.5 - 2 %, 0.6 - 0.68 %, 0.1 - 0.68 % 정도를 함유하고 있는 것으로 알려져 있다. 영양물질이 N, P, K 성분이 5 % 이하이므로 유기질 비료 (organic fertilizer) 로서는 시판이 되지 않고, 토양개량제 (soil amendment, agricultural mineral) 로서 판매되고 있다. 일본에서는 분변토를 가공하고, 정련하여 유기성 토양개량제란 이름으로 판매되고 있다. 분변토를 토양과 작물에 이용하기 위해서는 중금속이나 독성물질이 함유되어 있지 않아야 한다. 따라서 미국에서는 슬러지를 토양에 살포할 때는 적용하는 기준을 준수해야 한다. 지렁이 사육장 내부에서는 악취가 발생되지 않고 투여된 유기물 먹이가 냄새가 나더라도 지렁이가 섭취를 시작하면 악취가 사라진다는 사실로부터 분변토가 탈취능력을 갖고 있는 것이 알려져 있다. 한 실험에 의하면 분변토의 탈취효과로서는 암모니아 및 황화수소가 90 % 이상 제거 가능한 것으로 알려져 있다. 분변토의 탈취효과에 대해서 정확한 반응이론은 정립되어 있지 않지만 물리적 특성 면에서 활성탄에 비유할 만큼 비표면적 ( $400 - 800 \text{ m}^2/\text{g}$ ) 이 크고 화학적 특성 면에서는 양이온 교환용량 ( $230 - 460\text{mg}/100\text{g}$ ) 이 크며 생물학적으로 분변토에 많은 미생물군을 보유하고 있기 때문에 물리적 흡착, 화학적 중화, 생물학적 분해 소취 작용 등으로 인하여 탈취효과가 이루어지는 것으로 추론되어지고 있다. 또한 지렁이를 이용한 퇴비화(Vermicomposting) 방법은 직접적으로 병원균을 사멸시키는 방법은 아니지만 슬

러지의 부숙화 과정 및 분변토의 건조과정에서 병원균이 급격히 감소됨으로써 위생학적으로 안전한 것으로 알려져 있다(박, 2001).

### 3. 지렁이 분변토의 특성

#### 가. 화학조성

먼저 질소의 구성 상태를 보면 분변토를 만들 때 슬러지 중에 거의 절반인 평균 6.984 ppm 이 암모니아 태 (態) 로 존재하고 있으나 분변토 중에는 약 78 % 가 질산태로 존재하고 있는 것으로 나타났으며, 인은 슬러지와 분변토중의 폴리인산 및 인산염의 존재가 거의 유사한 수준으로 나타났다. 이러한 현상은 Barley 등이 식물줄기를 지렁이에게 섭취시키고 배설된 분변토를 분석한 결과 식물이 이용할 수 있는 무기태 질소로 변화된 결과와 일치하였다. 한편 식물의 성장과 밀접한 관계가 있는 질소성분이 유기태로 되어 있으면 식물이 양분으로서 흡수하기가 어려우므로 이러한 물질은 미생물의 작용으로 무기태 질소로 전환된 후에야 식물이 흡수할 수가 있다. 대부분의 식물은 암모니아보다 질산염을 쉽게 흡수되는데 일반적으로 질소성분의 90 % 가 질산염태로 흡수되고 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 점은 분변토에 있는 질소성분이 주로 질산염상태로 존재하므로 식물이 쉽게 흡수할 수 있으므로 식물이 잘 성장할 수 있다는 것을 의미하는 것으로 판단된다. 한편 총질소와 총인의 양은 분변토에서 현저히 감소되고 있는 것으로 나타났는데 이러한 이유는 지렁이가 성장하는데 무기성 양분으로 이용한 것으로 사료된다.

표 1. Chemical property of earthworm cast from paper sludge and night soil sludge(Choi, 2001).

	pH	MC <sup>z</sup> (%)	VS <sup>y</sup> (%)	Eh <sup>x</sup>	TN <sup>w</sup> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)
NC <sup>v</sup>	5.62	45.59	31.29	190	1.42	0.015	0.58	28.66	10.06	32.54
PC <sup>u</sup>	6.06	55.31	42.07	204	1.59	0.005	—	47.61	7.77	0.84
NS <sup>t</sup>	5.8	45.24	71.36	170	3.01	0.046	—	17.73	7.95	31.38
PS <sup>s</sup>	6.18	54.58	48.05	174	2.12	0.013	—	27.56	4.64	0.42

<sup>z</sup>MC: Moisture Content

<sup>y</sup>VS: Volatile Solids

<sup>x</sup>Eh: Redox Potential

<sup>w</sup>TN: Total Nitrogen)

<sup>v</sup>NC: Cast produced from Night soil treatment sludge

<sup>u</sup>PC: Cast produced from Paper mill wastewater treatment sludge

<sup>t</sup>NS: Night soil Sludge

<sup>s</sup>PS : Paper mill waste water treatment Sludge



회발성 고형물은 먹이인 슬러지에서 48.05~71.36%였고, 분변토에서는 31.97~42.07%로 감소하여 지렁이의 생육에 이용된 것으로 생각되며, 전질소(TN) 역시 원재료인 슬러지에 비해 분변토에서 다소 낮은 값을 나타내었는데, 이는 지렁이의 성장에 흡수 이용되고 암모니아성 질소가 산화되어 질산성 질소로 변화된 것으로 생각된다. 또한 필수요소인 총질소와 총인의 량과 미량영양원소인 K<sub>2</sub>O, CaO, MgO 의 경우 슬러지보다 분변토에서 감소하여 지렁이의 성장발달에 사용된 것으로 판단된다. 슬러지와 제지분변토의 중금속 함량을 비교해 보면, 분변토에 더 많은 중금속이 함유되어 있는 것을 알 수 있는데, 이는 지렁이가 슬러지를 먹이로 취한 후 중금속이 체내에 농축되었기 때문인 것으로 판단된다.

#### 나. 미생물성

분변토의 경우 일반발효제에 비하여 총세균수, 방사선균, 균류, 그람양성균, 포장형성세균수가 월등히 높은 결과를 보였다. 따라서 퇴비 부숙 촉진용 일반미생물제제보다 부숙 촉진 효과가 뛰어날 것으로 판단한다.

표 2. Microbiological property of wormcasts and composting ferment.

	Total bacteria ( $\times 10^8$ )	Actinomycetes ( $\times 10^6$ )	Fungi ( $\times 10^4$ )	Gram positive bacteria( $\times 10^4$ )	Sproeforming bateria( $\times 10^4$ )
Wormcast	5320	8.6	50	7.6	198
Composting ferment	112	4.2	6.6	1.4	11.2

방선균과 세균수는 초기 슬러지보다 분변토에서 약 1000배 이상이 늘어난 것으로 조사되었다. 또한 효소활력의 경우에도 슬러지보다 분변토에서 높은 것으로 연구되었다(최, 1991).

## 제 2 절 국내 기술개발 현황

- 우리나라 폐기물관리법에서는 지렁이처리방법이 환경기술로 인정되고 있으나, 대부분의 지렁이 사육시설은 소규모 시설에 작업공정의 인력에 의존하고 있는 실정임. 지방자치단체나 민간에서 최근에 시작한 시설은 대규모 크기의 시설로 작업공정의 자동화가 일부 시도되고 있으나, 아직도 완성도가 낮은 편이며 효율적인 지렁이 처리가 이루어지지 않고 있음.
- 재래식 지렁이 사육의 문제점을 극복하기 위해 과거에 국, 해외에서 몇몇 지렁이 사육업자들이 다층화 시스템의 개발을 시도하였으나 지렁이에 대한 생물학적, 생태학적 이해 부족과 시스템의 사전 검증 없는 현장 적용으로 인해 실패한 경험이

있으나 최근 박스형 다층식, 자동화 지렁이 사육시스템이 개발되어 상용화 단계에 와 있음.

- 외국의 경우 지렁이에 관한 기초 연구는 우리나라보다 현저히 앞서 있으나 유기성 폐기물 처리를 위한 지렁이처리 자동화시스템 개발에 있어서는 오히려 우리나라가 앞서 있음. 특히 다층식 자동화 지렁이 처리 시스템의 경우 최근 3년간에 우리나라의 기술 수준이 획기적으로 발전하였으며 향후에는 우리가 개발한 시스템을 외국에 수출할 수 있을 것임.

## 제 3장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 지렁이를 이용한 유기성 자원의 처리

#### 1. 유기성 자원의 단독 및 혼합처리시의 이화학적 특성

##### 가. 목적

지렁이의 먹이는 크게 유기계와 무기계로 구분되며, 유기계는 탄소 원으로 이용되는 다양한 식물성 자원과 농산부산물, 질소원으로 이용되는 가축 분, 유박 류, 수산가공 부산물, 하수슬러지, 식육가공 부산물 등이며, 무기계는 점토, 제오라이트, 분말 탄 등과 같은 광물질로 구분할 수 있다(渡邊, 1979). 그러나 지렁이에 의한 퇴비화는 주로 탄소원인 다양한 식물성 자원과 농산부산물, 질소원인 가축분 등을 혼합하여 적정 한 먹이의 조제가 필요하다(Edwards, 1988; Garcia와 Fragoso, 2003). 따라서 본 실험에서는 지렁이 먹이로 이용될 수 있는 다양한 유기성 자원을 단독처리와 혼합처리 하였을 때, 이화학적 특성의 변화를 조사하여 먹이 원으로서 이용 가능성을 평가하려고 하였다.

##### 나. 재료 및 방법

#### 1) 유기성 자원의 단독처리

##### 가) 공시 유기성자원의 종류(10종)

- (1) 질소원(6 종): 우분, 돈분 슬러지, 생 돈분, 계분, 산양 분, 두유박
- (2) 탄소원(4 종): 커피 박, 잔디 예초물, 버섯폐배지, 맥주박

##### 나) 발효조건

- (1) 유기성 자원의 량: 각각의 유기성 자원 50-100kg 정도를 너비 70cm x 높이 30cm 플라스틱 용기에 넣고, 보온담요로 덮은 후 호기성 조건에서 자연발효
- (2) 수분조건과 뒤집기: 70±5%, 1주일에 2회 뒤집기 실시
- (3) 발효기간: 2005년 8월 2일부터 11월 20일까지(110일간)

##### 다) 조사항목: pH, EC, 유기물 함량, 전질소함량, 총탄소함량, 탄질율, 조섬유함량

##### 라) 조사간격: 발효기간 중 10일 간격으로 11회 조사

#### 2) 유기성 자원의 혼합처리

##### 가) 공시 유기성 자원의 종류(12 종)

- (1) 질소원(3종): 우분, 돈분, 계분
- (2) 탄소원(9종): 톱밥, 왕겨, 커피박, 볏짚, 잔디 예초물, 버섯폐배지, 낙엽(참나무), 맥주 박, 채소찌꺼기

- 나) 혼합비율: 가축분(우분, 돈분, 계분)과 유기성 자원을 각각 50% 혼합한 후 퇴적발효
- 다) 발효기간: 40일간(2006. 9월 8일-10월 8일까지)
- 라) 조사항목: pH, 전기전도도(EC), 총고형분(TS), 휘발성 고형분(VS), 고정 고형분(FS), 수분함량(WC), 총 탄소함량(TC), 전 질소함량(TN), C/N율

다. 결과 및 고찰

1) 유기성 자원 단독 처리 시의 이화학성 변화

발효기간 중 유기성 자원의 이화학적 특성의 변화를 나타낸 것이 표 1-8이다.

가) pH

발효기간 중 유기성 자원의 pH 변화를 나타낸 것이 표 1이다.

표1. 발효기간 중 유기성자원의 pH변화

유기성 자원의 종류	조사 시기(발효 개시 후 10일 간격)										
	10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일
두유박	5.11	5.56	5.87	6.09	6.41	6.88	7.23	7.34	6.89	7.89	8.01
돈분슬러지	6.23	6.89	6.99	7.07	7.10	7.19	7.21	7.09	7.12	7.07	6.08
버섯폐배지	7.93	8.12	8.19	8.20	8.24	8.47	8.53	8.49	8.32	8.07	8.01
맥주박	3.77	4.21	4.39	5.81	5.84	5.85	5.54	5.71	5.67	5.53	5.27
우분	7.60	7.89	8.11	8.48	8.50	8.51	8.84	9.09	8.55	8.65	8.49
커피박	5.21	5.26	5.32	5.36	5.43	5.63	5.81	5.55	5.48	5.78	5.37
생돈분	6.19	6.21	6.34	6.61	6.77	7.14	8.89	6.55	6.34	6.55	6.82
계분	5.49	5.78	6.02	6.54	6.62	6.72	7.98	7.46	7.35	7.16	6.81
잔디예초물	5.58	5.78	6.02	5.72	6.05	6.62	8.10	7.12	6.89	6.59	6.21
산양분	7.21	7.35	7.51	7.54	7.93	8.14	8.14	7.60	7.53	7.71	7.36

모든 유기성 자원의 10일째 조사에서 pH는 3.77-7.93의 범위였고, 특히 맥주박은 3.77로 강산성을 나타내었다. 마지막 조사(110일)에서 모든 유기성 자원은 5.27-8.01의

범위였는데, 두유박과 우분은 발효기간이 경과함에 따라 pH가 높아졌고, 맥주박과 커피박은 각각 5.27과 5.37로 산성이었으며, 발효기간 중에 큰 변화는 없었다. 그러나 그 밖의 유기성 자원들은 발효초기에서 중기까지는 증가경향을 나타낸 후, 발효말기에서는 저하하였다.

나) 전기전도도(EC)

발효기간 중 유기성 자원의 전기전도도의 변화는 표 2와 같다.

표 2. 발효기간 중 유기성 자원의 전기전도도(EC, mS/cm)의 변화

유기성 자원의 종류	조사 시기(발효개시 후 10일 간격)										
	10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일
두유박	5.0	5.2	4.6	4.8	3.5	3.3	3.1	3.6	4.2	3.1	3.2
돈분슬러지	4.0	3.9	3.8	3.1	1.7	1.8	2.0	1.4	2.0	2.3	2.3
버섯폐배지	4.0	3.8	3.8	3.5	3.5	2.8	1.4	2.2	1.2	1.5	1.4
맥주박	3.4	2.7	2.2	2.0	1.9	1.5	1.3	1.7	2.5	2.2	3.0
우분	9.0	8.8	7.8	6.0	3.6	3.5	2.8	3.6	4.2	4.4	6.1
커피박	3.6	2.0	1.2	0.5	0.5	0.4	0.2	0.3	0.6	0.7	0.6
생돈분	6.2	6.2	5.8	4.2	5.2	4.9	5.6	5.1	6.1	6.5	6.0
계분	6.6	6.2	5.8	5.0	3.4	4.0	4.2	3.9	3.4	3.8	3.1
잔디예초물	5.6	4.2	1.4	1.2	1.0	0.7	0.4	0.3	0.5	0.7	0.6
산양분	7.7	6.5	5.7	5.3	4.9	4.7	4.2	5.6	5.1	5.0	6.1

발효 10일째의 모든 유기성 자원의 전기전도도는 3.4-9.0의 범위였고, 맥주박 3.4, 커피 박 3.6으로 낮았다. 우분은 9.0으로 가장 높았고 다음으로 산양분이 7.7이었다. 발효 110일째에서는 우분과 산양분이 6.1, 생돈분이 6.0으로 가축분에서 높았고, 커피 박과 잔디 예초물은 0.6으로 가장 낮았다.

다) 유기물 함량

발효기간 중 유기성 자원의 유기물 함량 변화를 나타낸 것이 표 3이다.

표 3. 발효기간 중 유기성 자원의 유기물함량(%)의 변화

유기성자원 의 종류	조사 시기(발효개시 후 10일 간격)										
	10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일
두유박	95.2	94.2	90.4	84.0	76.9	76.5	75.8	75.3	71.2	66.3	63.3
돈분슬러지	63.4	63.2	60.1	55.4	55.3	54.9	54.6	51.3	54.6	50.6	49.1
버섯폐배지	78.3	78.4	77.9	77.4	77.0	76.1	75.2	67.8	69.8	76.0	79.7
맥주박	96.2	94.2	89.3	87.4	84.3	84.2	80.3	86.1	81.2	80.5	82.4
우분	74.0	73.5	77.1	72.0	71.9	71.5	67.1	68.1	69.9	67.6	68.3
커피박	99.8	99.2	97.2	94.3	94.3	93.2	92.1	97.8	97.4	96.9	97.7
생돈분	72.0	71.8	74.2	65.4	66.0	57.9	59.2	42.5	51.2	52.9	46.3
계분	62.0	61.0	59.2	58.1	51.2	60.8	50.8	35.9	34.6	44.7	28.9
잔디예초물	95.3	90.6	89.3	89.4	89.4	73.4	58.9	65.0	63.2	63.4	61.1
산양분	79.3	79.2	78.4	78.1	77.8	77.6	76.4	76.3	76.4	75.7	76.0

유기물 함량은 발효 10일째 62.0-99.8%의 범위였는데, 커피박은 99.8%, 맥주박은 96.2%, 잔디 예초물은 95.3%, 두유박은 95.2%로 매우 높았고, 계분은 62%, 돈분 슬러지는 63.4로 낮았다. 발효 110일째에는 28.9-97.5%의 범위였는데, 커피박은 97.7%, 맥주박은 82.4%, 버섯폐배지는 79.7%로, 발효기간 중 유기물 감소가 적었고, 계분은 28.9%로 유기물의 감소가 많았다.

라) 조회분 함량

발효기간 중 유기성 자원의 조 회분함량의 변화는 표 4와 같다.

표 4. 발효기간 중 유기성 자원의 조 회분함량(%)의 변화

유기성 자원의 종류	조사 시기(발효 개시후 10일 간격)										
	10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일
두유박	4.8	5.8	9.6	16.0	23.1	23.5	24.2	24.7	28.8	33.7	36.7
돈분슬러지	36.6	36.8	39.9	44.6	44.7	45.1	45.4	48.7	45.4	49.4	50.9
버섯폐배지	21.7	21.6	22.1	22.6	23.0	23.9	24.8	32.2	30.2	24.0	20.3
맥주박	3.8	5.8	10.7	12.6	15.7	15.8	19.7	13.9	18.8	19.5	17.6
우분	26.0	26.5	22.9	28.0	28.1	28.5	32.9	31.9	30.1	32.4	31.7
커피박	0.2	0.8	2.8	5.7	5.7	6.8	7.9	2.2	2.6	3.1	2.3
생돈분	28.0	28.2	25.8	34.6	34.0	42.1	40.8	57.5	48.8	47.1	53.7
계분	38.0	39.0	40.8	41.9	48.8	39.2	49.2	64.1	65.4	55.3	71.1
잔디예초물	4.7	9.4	10.7	10.6	10.6	26.6	41.1	35.0	36.8	36.6	38.9
산양분	20.7	20.8	21.6	21.9	22.2	22.4	23.6	23.7	23.6	24.3	24.0

유기성 자원의 조 회분 함량은 발효 10일째에 0.2-38.0%의 범위였는데, 커피박이 0.2%로 가장 낮았고 다음으로 두유 박 4.8%, 잔디 예초 물 4.7% 순이었다. 가축분의 조회분 함량이 높아서 계분 38%, 돈분 슬러지 36.6%, 생돈분 28%, 우분 26% 순으로 높았다.

발효 110일째에는 2.3-71.1%의 범위였는데, 계분에서 가장 높은 71.1%였고, 다음으로 생돈분 53.7%, 돈분 슬러지 50.9%였다. 커피박과 버섯폐배지를 제외한 모든 유기성 자원에서 발효기간이 진행됨에 따라서 조 회분 함량은 증가되는 경향이였다.

마) 총 탄소함량

발효기간 중 유기성 자원의 총 탄소함량의 변화는 표 5와 같다.

표 5. 발효기간 중 유기성 자원의 총 탄소함량(%)의 변화

유기성자원 의 종류	조사 시기(발효개시 후 10일 간격)										
	10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일
두유박	52.9	52.3	50.2	46.7	42.7	42.5	42.1	41.8	39.6	36.8	35.2
돈분슬러지	35.2	35.1	33.4	30.8	30.7	30.5	30.3	28.5	30.3	28.1	27.3
버섯폐배지	43.5	43.6	43.3	43.0	42.8	42.3	41.8	37.7	38.8	42.2	44.3
맥주박	53.4	52.3	49.6	48.6	46.8	46.8	44.6	47.8	45.1	44.7	45.8
우분	41.1	40.8	42.8	40.0	39.9	39.7	37.3	37.8	38.8	37.6	37.9
커피박	55.4	55.1	54.0	52.4	52.4	51.8	51.2	54.3	54.1	53.8	54.3
생돈분	40.0	39.9	41.2	36.3	36.7	32.2	32.9	23.6	28.4	29.4	25.7
계분	34.4	33.9	32.9	32.3	28.4	33.8	28.2	19.9	19.2	24.8	16.1
잔디예초물	52.9	50.3	49.6	49.7	49.7	40.8	32.7	36.1	35.1	35.2	33.9
산양분	44.1	44.0	43.6	43.4	43.2	43.1	42.4	42.4	42.4	42.1	42.2

발효기간 중 커피박을 제외한 모든 유기성 자원에서 총 탄소함량은 감소되었다. 즉, 발효 10일째에서 총 탄소함량은 34.4-55.4%의 범위였지만, 발효 110일째에서는 16.1-54.3%의 범위를 나타내었다. 계분이 16.1%로 가장 낮았고, 커피박이 54.3%로 가장 높았다.



바) 전 질소함량

발효기간 중 유기성 자원의 전 질소함량의 변화를 나타낸 것이 표 6이다.

표 6. 발효기간 중 유기성 자원의 전 질소함량(%)의 변화

유기성 자원의 종류	조사 시기(발효 개시 후 10일 간격)										
	10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일
두유박	4.56	4.48	4.43	4.30	4.21	4.10	4.04	4.11	3.45	3.33	3.23
돈분슬러지	4.30	3.87	3.68	3.57	3.52	3.49	3.47	3.45	3.58	3.68	3.78
버섯폐배지	1.93	1.90	1.83	1.87	1.78	1.72	1.71	1.67	1.72	1.69	1.76
맥주박	4.70	4.58	4.10	3.87	3.26	3.26	3.22	3.56	3.34	3.42	3.55
우분	2.81	2.76	2.69	2.63	2.24	2.24	2.22	2.34	2.21	2.39	2.45
커피박	1.89	1.91	2.20	2.24	2.28	2.63	2.63	2.45	2.38	2.22	2.11
생돈분	3.40	3.27	3.12	3.07	2.95	2.67	2.66	2.78	2.52	2.61	2.45
계분	2.78	2.68	2.62	2.34	2.07	2.01	2.03	2.34	2.22	2.31	2.23
잔디예초물	2.45	2.49	2.78	3.05	3.71	3.65	3.58	3.22	3.36	3.29	3.23
산양분	3.43	3.37	3.26	3.23	3.19	3.12	3.13	3.34	3.39	2.28	3.22

발효 10일째의 전 질소함량은 두유박과 맥주박이 각각 4.56%와 4.70%로 높았고, 커피박이 1.89%, 버섯폐배지가 1.93%로 낮았다. 거의 모든 유기성 자원이 발효기간이 경과함에 따라서 전 질소함량은 저하되어 110일째에서 1.76-3.78%의 범위였는데, 돈분 슬러지가 3.78%, 맥주박이 3.55%로 높았다.

사) 탄질 율

발효기간 중 유기성 자원의 탄질율의 변화를 나타낸 것이 표 7이다.

표 7. 발효기간 중 유기성 자원의 탄질율의 변화

유기성 자원의 종류	조사 시기(2개월간 10일 간격)										
	10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일
두유박	11.60	11.68	11.34	10.85	10.15	10.37	10.42	10.18	11.47	11.06	10.89
돈분슬러지	8.19	9.07	9.07	8.62	8.73	8.74	8.74	8.26	8.47	7.64	7.22
버섯폐배지	22.54	22.92	23.65	22.99	24.03	24.58	24.43	22.55	22.55	24.98	25.16
맥주박	11.37	11.43	12.10	12.55	14.37	14.35	13.85	13.44	13.51	13.08	12.90
우분	14.63	14.79	15.92	15.21	17.83	17.73	16.79	16.17	17.57	15.71	15.49
커피박	29.34	28.85	24.55	23.39	22.98	19.69	19.46	22.18	22.74	24.25	25.72
생돈분	11.76	12.20	13.21	11.83	12.43	12.05	12.36	8.49	11.29	11.26	10.50
계분	12.39	12.65	12.55	13.79	13.74	16.80	13.90	8.52	8.66	10.75	7.20
잔디예초물	21.61	20.21	17.85	16.28	13.39	11.17	9.14	11.21	10.45	10.71	10.51
산양분	12.84	13.06	13.36	13.43	13.55	13.82	13.56	12.69	12.52	18.45	13.11

유기성 자원의 탄질율은 발효 10일째에서 돈분 슬러지가 8.19로 가장 낮았고, 커피박이 29.34로 가장 높아서 탄질율의 범위는 8.19-29.34의 범위였다. 110일째에서는 계분과 돈분 슬러지가 각각 7.20과 7.22로 낮았고, 커피박과 버섯폐배지가 각각 25.72와 25.16으로 높았다.

아) 조섬유함량

발효기간 중 유기성 자원의 조섬유함량의 변화를 나타낸 것이 표 8이다.

표 8. 발효기간 중 유기성 자원의 조섬유함량(%)의 변화

유기성 자원의 종류	조사 시기(발효개시 후 10일 간격)										
	10일	20일	30일	40일	50일	60일	70일	80일	90일	100일	110일
두유박	16.5	16.5	17.3	18.0	17.8	18.4	19.6	20.3	21.5	23.3	23.5
돈분슬러지	2.0	3.0	3.0	3.5	4.4	4.9	5.1	5.5	5.8	6.1	6.6
버섯폐배지	13.0	15.5	15.8	18.5	19.2	19.4	23.4	25.4	23.2	26.7	28.4
맥주박	13.0	17.5	18.4	19.6	22.3	26.4	27.5	29.6	30.1	33.2	33.6
우분	21.0	22.0	23.0	22.8	24.2	23.6	24.8	27.5	28.6	28.5	29.1
커피박	19.0	19.2	21.2	23.2	23.7	25.6	28.3	28.5	29.3	29.9	31.0
생돈분	8.2	9.1	9.7	10.6	11.8	11.4	12.3	12.5	13.6	13.3	14.6
계분	7.7	7.9	8.4	9.1	10.2	10.9	11.8	12.4	12.6	13.6	14.3
잔디예초물	11.3	12.6	13.5	13.6	16.4	20.3	23.4	26.4	34.3	37.0	37.0
산양분	15.4	16.0	16.5	17.2	17.8	17.4	18.2	18.4	19.2	19.2	19.8

모든 유기성 자원이 발효과정에서 조섬유함량이 저하되었다. 맥주박은 13.0%에서 33.6%로, 커피박은 19.0%에서 31.0%로, 잔디 예초물은 11.3%에서 37.0%로 증가되었다. 따라서 발효 10일째는 2.0-21.0%의 범위가 110일째에서는 6.6-37.0%의 범위로 증가되었다.

2) 가축분과의 혼합처리시의 이화학적 특성

가축분과 유기성 자원과의 혼합처리에 따른 이화학적 특성의 변화는 표 9-11과 같다.

1) 우분과 유기성 자원과의 혼합처리시의 이화학적 특성의 변화를 나타낸 것이 표 9이다.

표 9. 우분과 유기성자원과의 혼합처리시의 이화학적 특성 변화

우분+ 유기성 자원	조사 시기 (일)	pH	이화학적 특성							
			EC (dS/cm)	TS (%)	FS (%)	VS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
우분 100%	40	8.3	3.3	39.3	66.9	33.1	60.7	37.1	1.5	24.7
우분+톱밥	40	8.6	3.1	36.8	70.9	29.1	63.2	39.4	1.6	24.6
우분+왕겨	40	8.5	2.1	39.5	71.9	28.1	60.5	39.2	1.5	26.1
우분+ 커피 박	40	7.4	2.5	38.4	78.6	21.4	61.6	43.7	1.8	24.3
우분+벼짚	40	8.3	2.4	38.4	64	36	61.6	35.6	1.6	22.3
우분+ 잔디 예초물	40	8.2	2.4	39.1	62.6	37.4	60.9	34.8	1.6	21.8
우분+ 버섯폐배지	40	8.6	2.2	38.1	68.9	31.1	61.9	38.7	2.3	16.8
우분+낙엽	40	8.6	2.4	36.4	66.7	33.3	63.6	37.1	1.7	21.8
우분+ 맥주 박	40	7.4	3.8	39.1	67.8	32.2	60.9	38.5	2.3	16.7
우분+ 채소찌꺼기	40	8.4	3.7	38.5	68.8	31.2	61.5	38.2	1.7	22.5
		7.4	2.2	36.8	62.6	21.4	60.5	34.8	1.5	16.7
범위		~	~	~	~	~	~	~	~	~
		8.6	3.7	39.5	78.6	37.4	63.6	43.7	2.3	26.1

pH는 우분+커피박이 7.4-7.8, 우분+맥주박이 7.4-7.9의 범위로 다른 처리구보다 낮았고, 우분+채소찌꺼기는 8.4-9.0 범위로서 약알칼리성을 나타내었다. 전기전도도(EC)는 우분+왕겨가 2.2-1.7로 가장 낮았지만, 우분+맥주박 4.7-2.3, 우분+채소찌꺼기 4.4-3.1의 범위를 나타내어 가장 높았다. 총 고형분(TS)은 우분+채소찌꺼기가 30.7%로 가장 낮았고, 휘발성 고형분(VS)은 우분+커피박에서 가장 높은 78.6%를 나타내었고, 고정 고형분(FS)은 우분+잔디 예초물에서 37.4%로 가장 높았다. 먹이 중의 수분함량(WC)은 모든 처리구에서 60.5-71%를 범위를 유지하여 발효에 알맞은 수분조건인 65±5% 범위였다.

총 탄소함량(TC)은 우분+커피 박43.7%로 가장 높았고, 전질소함량은 우분+버섯폐배지와 우분+맥주박이 2.3%로 가장 높았다. 탄질율은 진 질소함량이 높았던 우분+커피박, 우분+맥주박에서 각각 16.8과 16.7로 가장 낮았고, 그 외의 혼합처리에서는

21.8-26.1의 범위를 나타내었다.

2) 돈분과 유기성 자원과의 혼합처리시의 이화학적 특성조사

돈분과 유기성 자원과의 혼합처리시의 이화학적 특성의 변화는 표 10과 같다.

표 10. 돈분과 유기성자원과의 혼합처리시의 이화학적 특성 변화

돈분+ 유기성자원	조사 시기 (일)	pH	이화학적							
			EC (dS/cm)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
돈분 100%	40	6.1	5.6	40.2	71.5	28.5	59.8	40.7	4.1	9.9
돈분+툽밥	40	6.8	1.4	30.7	81.3	18.7	69.3	45.7	6.5	7.0
돈분+왕겨	40	6.9	1.6	31.1	76.4	23.6	68.9	42.4	7.6	5.6
돈분+ 커피박	40	6.4	1.9	29.1	84.6	15.4	70.9	47.0	4.7	10
돈분+벚짚	40	6.8	2.5	34.7	78.2	21.8	65.3	42.9	3.9	10.9
돈분+ 잔디예초물	40	7.5	3.4	34.3	82.1	17.9	65.7	41.8	3.7	11.3
돈분+ 버섯폐배지	40	7.5	2.9	28.5	82.1	17.9	71.5	38.9	3.3	11.8
돈분+낙엽	40	7.3	2.7	30.2	73.2	26.8	69.8	42.1	3.4	12.4
돈분+맥주	40	7.3	3.5	29.8	83.2	16.8	70.2	43	3.9	11
돈분+ 채소찌꺼기	40	6.8	2.7	26.8	80.9	19.1	73.2	48.2	3.9	12.4
범위		6.1	1.4	26.8	71.5	15.4	59.8	38.9	4.4	5.6
		~ 7.5	~ 5.6	~ 40.2	~ 84.6	~ 28.5	~ 73.2	~ 48.2	~ 7.6	~ 12.4

pH는 모든 처리구에서 6.1-7.9의 범위를 나타내었다. 전기전도도(EC)는 모든 처리구에서 5.6-1.4의 범위였고, 처리구별로는 돈분 100%구가 5.1-5.6의 범위로 가장 높았고, 돈분+툽밥이 2.4-1.4로 가장 낮았다. 총 고형분(TS)은 돈분 100%구가 40.8-39.9%, 휘발성 고형분(VS)은 돈분+커피박이 87.0-84.6%로 가장 높았고, 돈분 100%가

71.5-71.1%로 가장 낮았다. 총 탄소함량(TC)은 돈분+톱밥이 44.6-45.3%로 가장 높았고, 돈분+채소찌꺼기가 34.2-33.9%로 가장 낮았다. 전질소함량(TN)은 모든 처리구에서 3.9-7.6% 범위의 높은 함량을 나타내었다. 탄질율(C/N)은 12.4-5.6의 범위였는데, 특히 돈분+커피박, 돈분+왕겨의 탄질율이 낮은 경향이였다.

### 3) 계분과 유기성 자원과의 혼합처리시의 이화학적 특성

계분과 유기성 자원과의 혼합처리시 이화학적 특성의 변화를 나타낸 것이 표 11이다.

표 11. 계분과 유기성자원과의 혼합처리시 이화학적 특성의 변화

계분+유기성 자원	조사 시기 (일)	pH	이화학적							
			EC (dS/cm)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
계분 100%	40	5.4	6.1	25.6	70.2	29.8	74.4	39.5	4.3	9.2
계분+톱밥	40	6.2	3.3	32	70.9	29.1	68	39.4	3.5	11.3
계분+왕겨	40	6.2	3.8	39.4	71.5	28.5	60.6	39.7	3.9	10.2
계분+ 커피박	40	5.7	2.9	39.1	70.2	29.8	60.9	39	3.3	11.8
계분+볏짚	40	6.2	3.9	36.4	69.9	30.1	63.6	38.8	3.1	12.5
계분+ 잔디예초물	40	7.0	4.0	39.4	70.5	29.5	60.6	39.2	3.1	12.5
계분+ 버섯폐배지	40	6.8	4.1	29.8	68.9	31.1	70.2	38.3	3.6	10.6
계분+낙엽	40	6.2	1.8	39	68.3	31.7	61	37.9	3.2	11.8
계분+맥주박	40	5.4	3.1	28.8	78.3	21.7	71.2	43.5	3.5	12.4
계분+ 채소찌꺼기	40	5.9	6.7	27.4	60.2	39.8	72.6	33.4	3.3	10.1
범위		5.4	1.8	25.6	60.2	21.7	60.6	33.4	3.1	9.2
		~ 7.0	~ 6.7	~ 39.4	~ 78.3	~ 39.8	~ 74.4	~ 43.5	~ 4.3	~ 12.5

pH는 5.4-7.0범위로, 계분 100%구와 계분+맥주박이 가장 낮은 5.4를 나타내었다. 전기전도도는 계분과 채소찌꺼기에서 각각 6.1과 6.7을 나타내어 높았고, 계분+낙엽에

서 가장 낮은 1.8이었다. 총고형분 함량(TS)은 계분+왕겨, 계분+잔디예초물이 39.4%였고, 계분 100%구가 25.6으로 가장 낮았다. 휘발성 고형분(VS)은 계분+맥주박이 78.3%로 가장 높았고, 계분+채소찌꺼기가 60.2%로 가장 낮았다. 고정 고형분(FS)은 계분+채소찌꺼기가 39.8%로 가장 높았다. 총 탄소함량(TC)은 계분+톱밥, 계분+왕겨, 계분+잔디 예초물, 계분+맥주박이 높은 함량을 나타내었다. 전질소함량(TN)은 모든 처리구에서 3.1-4.3의 범위였고, 계분 100%구가 4.3%로 가장 높았다. 탄질 율(C/N)은 모든 처리구에서 9.2-12.5의 범위를 나타내어 낮았다.

자연계에는 지렁이의 먹이로 이용할 수 있는 다양한 유기성 자원이 있지만, 생육에 알맞는 먹이는 유기성 자원의 단독 또는 혼합조건에서 발효과정의 이화학적 특성의 변화와 밀접한 관련이 있다. 일반적으로 지렁이 먹이에 알맞은 pH는 5-9 범위로 알려져 있지만(Edwards, 1988), pH 3.5 이하에서는 생존할 수 없고(Fresser와 Mckee, 1980), pH 5 이하 또는 pH 9 이상에서는 일주일 내에 사멸한다(Kaplan 등, 1980). Rivero-Hernandez, 1991)는 줄 지렁이(*Eisenia foetida*)의 최적 pH 조건은 7.0-8.0 범위라고 하였지만, 대부분의 지렁이는 중성을 선호한다.

본 실험에서 유기성 자원의 단독처리 시 pH는 발효 10일째 3.77-7.93의 범위가 110일째에서는 5.27-8.49의 범위로 높아져(표 1), 지렁이의 생육조건에 맞는 pH 범위에 있었다고 생각된다. 그러나 맥주박과 커피박은 각각 5.27과 5.37로 강산성을 나타내어, 중성 또는 약알칼리성을 나타내는 가축분과의 혼합처리가 필요하다고 생각된다.

전기전도도(EC)는 먹이 중의 염류농도를 나타내어 지렁이의 생존율에 관여하며, 발효가 진행됨에 따라서 낮아진다. 즉, 발효 10일째의 전기전도도는 3.4-9.0의 범위로서 우분 9.0, 산양분 7.7로 높았고, 맥주박과 커피 박에서는 각각 3.4와 3.6으로 낮았다. Kaplan 등(1980)은 먹이의 전기전도도가 1.5-3mS/cm의 범위일 때, *Eisenia foetida* 종에서 생체중의 증가가 인정되었다고 하였고, Rivero-Hernandes(1991)는 전기전도도에 대한 지렁이의 내성은 0.75-15mS/cm의 범위, 최(1992)는 0.75-4.89dS/cm의 범위라고 보고하였다.

모든 유기성 자원의 110일째 전기전도도 0.6-6.0의 범위는 지렁이 내성의 범위 내였지만, 우분, 생돈분 및 산양분에서는 6.0으로 Kaplan 등(1980)과 최(1991)의 EC에 대한 내성의 범위를 초과하였다(표 2).

유기성 자원의 총고형물 함량(건물수량)은 휘발성 고형물(VS)과 고정 고형물(FS)로 구분할 수 있으며, 휘발성 고형분(VS)을 유기물 함량이라고 한다. 일반적으로 유기물 함량은 탄소원인 다양한 식물성 자원에서 함량이 높다. 먹이 중의 유기물함량은 미생물에 의한 유기물의 분해에 따른 무기화율과 지렁이 체조직으로의 전환효율을 결정하는 중요한 요인이 된다(Neuhauser 등, 1988; 이 등, 2005; 이와 김(2006). 유기물 함량은 발효 10일째에서 모든 유기성 자원에서 62.9-99.8%의 범위였고, 커피박은 99.8%, 맥주박은 96.2%, 잔디 예초물은 95.3%로 매우 높았다. 그러나 발효 110일째에서는 28.9-97.7%로 발효기간의 경과와 함께 거의 모든 유기성 자원의 유기물 함량이 감소되었지만, 커피박에서는 거의 변화하지 않았다(표 3).

조 회분함량은 무기물 함량으로 모든 유기성 자원의 발효과정에서 조 회분함량은 증가하였는데, 이는 발효과정에서 유기물은 미생물의 분해에 의하여 급격히 감소되지 만, 무기물은 분해되지 않기 때문에(표 4), 먹이 중의 무기물 함량이 급격히 증가하는 시기에는 지렁이의 생체중이 감소된다(Edwards, 1988). 본 실험의 발효 10일째에는 0.2-38.0% 범위가 110일째에는 2.3-71.1%로 증가하였다. 일반적으로 무기물 함량은 가축분에 많이 함유되어 있기 때문에 발효과정에서의 감소경향은 탄소원인 식물성 자원보다 낮았다(표 4).

유기성 자원의 전 탄소함량은 유기물과 탄질유를 구성하는 요인으로, 발효과정에서 감소한다. 발효 10일째의 전 탄소함량은 34.4-55.4% 범위에서 110일째의 16.1-54.3% 범위로 낮아졌다.

전질소함량은 발효과정에서 미생물 체조직의 구성요인과 탄질유에 영향을 미친다. 즉, 커피박과 잔디 예초물을 제외한 모든 유기성 자원에서 발효기간의 경과와 함께 감소되어 발효 10일째의 1.89-4.70% 범위가 110일째에는 1.76-3.78로 낮아졌고, 맥주박에서 가장 높은 3.55%를 나타내었다.

탄질유가 낮으면 유기물 분해과정에서 유리되는 암모니아 가스로 발생이 많아지고, 탄질유가 높으면 질소원이 제한요인이 되어 발효가 지연된다. 또한 지렁이는 먹이 중의 탄소를 에너지원으로, 질소는 성장과 증식에 필요한 양분으로 이용하므로 먹이의 탄질유는 지렁이의 생육에 중요한 먹이요인이 된다. Neuhauser 등(1980)은 지렁이 생존과 증식에 있어서 먹이의 이화학적 특성 중에 pH와 탄질유가 중요한 요인으로 작용한다고 하였다. 일반적으로 지렁이 먹이에 알맞은 탄질유는 25전후(이, 1995; Butt, 1993; Pius와 Thompson, 2000)와 15-30의 범위(EPA, 1980)가 적정 수준이라고 판단된다. 본 실험에서 버섯폐배지, 커피박은 적정 C/N율의 범위를 나타내었지만, 나머지 처리구에서는 C/N율이 적정 범위보다 훨씬 낮아서 탄질유를 높이기 위하여 다양한 탄소원과 혼합처리가 필요하다고 생각된다.

조섬유함량은 유기물 함량 중 발효과정에서 분해되기 어려운 유기물질의 총량으로 (Van Soet, 1989), 발효기간의 경과와 함께 증가된다. 즉, 발효 10일째에 2.0-21.0% 범위였지만, 100일째에는 6.6-37.0% 범위까지 증가되었다. 특히 잔디 예초물과 맥주박 및 커피박에서 높은 증가율을 나타내었다.

지렁이 먹이를 조제하기 위해서는 기본적으로 탄소원과 질소원을 적정하게 혼합한 후, 발효시켜 먹이로서 섭취 가능한 이화학적 조건을 만드는 것이 중요한데, 즉, 발효 과정에서 일어나는 이화학적 특성의 변화를 추정하여 먹이로서 급여가 가능한 시기를 추정할 수 있기 때문이다. pH는 우분 혼합처리가 7.4-8.6, 돈분 혼합처리가 6.1-7.5, 계분 혼합처리가 5.4-7.0의 범위를 나타내어 Edwards(1988)의 적정 pH 5-9의 범위에 존재한다.

전기전도도는 우분처리에서 2.2-3.7, 돈분처리에서 1.4-5.6, 계분처리에서 1.8-6.7을 나타내어, Rivero-Hernandes(1991)의 EC에 대한 지렁이의 내성범위 0.75-15mS/cm의 범위 내에 있지만, 5.6과 6.7의 값은 Kaplan 등(1980)의 1.5-3mS/cm의 범위와 최



(1992)의 0.75-4.89dS/cm의 범위보다 높았다. 이 등(2005)은 음식물 쓰레기+우분(50:50)을 혼합처리에서 EC는 13이었고, 이 등(2006)은 돈분 혼합비율 60-100% 처리구에서 EC는 3.5-7.1의 범위였지만, 지렁이의 생육이 양호하였다고 보고하였다. 또한 황(2005)은 우분 처리구에서 0.19-0.63mS/cm, 돈분 처리구에서 0.75-4.89mS/cm였다고 보고하여 본 실험의 결과보다 낮은 값을 나타내어, 먹이조건에 따라 EC에 대한 지렁이의 내성의 범위는 차이가 있다는 것을 시사한다.

휘발성 고형분(VS)은 우분 처리구에서 62.6-78.6%, 돈분 처리구에서 71.5-84.6%, 계분처리구에서 60.2-78.3%의 범위를 나타내었는데, 우분+커피박, 돈분+커피박, 계분+맥주박에서 가장 높았는데, 이 등(2005)은 먹이 중의 휘발성 고형분 함량이 높을수록 증체량이 많아서 체 조직으로의 유기물 전환효율이 높아서, 지렁이에게 좋은 먹이조건이었다는 것을 의미한다. 전질소함량(TN)은 우분처리구가 1.5-2.3%, 돈분처리구가 4.4-7.6%, 계분처리구가 3.1-4.3%를 나타내어 돈분처리구에서 높았다. 탄질율은 우분처리구가 16.7-26.1, 돈분처리구가 5.6-12.4, 계분처리구가 9.2-12.5의 범위였다. 이(2005)는 우분에서 탄질율 25 전후에서 지렁이의 생육이 좋았다고 하였고, Pius와 Thompson(2000)도 25전후, EPA(1980)는 15-30 범위가 지렁이의 생육에 좋다고 하였다. 또한 이 등(2006)은 돈분 60-100% 처리구의 탄질율 10.1-12.8의 범위에서 지렁이의 생육이 좋았다고 보고하였다.

## 2. 가축분과 유기성 자원의 혼합처리가 지렁이 생육에 미치는 영향

### 가. 목적

2007년도 말 현재 우리나라 가축분뇨 총 발생량은 3542만 톤으로 추정되며, 이 중에서 한우와 젓소의 분뇨발생량은 전체의 47.2%, 돼지는 39.2%, 닭은 13.6%를 차지하고 있다(2007. 농진청). 그러나 식물체의 생육에 필요한 양분공급원으로 재활용되는 비율은 낮아서, 환경오염원으로 작용하는 경우가 많다. 따라서 다량으로 배출되는 가축분을 질소원으로, 그리고 손쉽게 다량으로 구입할 수 있는 다양한 식물성 유기성 자원을 혼합하여 vermicomposting을 위한 먹이로 이용할 경우, 최종산물인 분변토의 대량 생산을 통한 자원의 재활용 율을 제고와 함께, 안전성이 높은 토양개량제 또는 상토 생산이 가능하여 친환경농자재로서의 활용 가능성은 매우 높다고 판단된다(이, 1992; 이 등, 1993; 이, 1995; 이 등; 2005; 이와 김; 2006; Edwards, 1988; Garcia와 Frago, 2003).

본 실험에서는 우분, 돈분, 계분을 다양한 식물성 유기성 자원과의 혼합하여 지렁이 먹이로 하였을 때, 지렁이의 생육에 미치는 영향을 조사하여, 알맞은 적정 먹이조건을 규명하려고 하였다.

### 나. 재료 및 방법

#### 1) 우분과 유기성 자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

가) 공시우분: 한우분

나) 유기성 자원의 종류(9 종): 톱밥, 쌀겨, 커피 박, 맥주박, 낙엽(참나무), 잔디 예초물, 버섯폐배지, 채소 찌꺼기, 볏짚

다) 혼합비율: 우분과 각 유기성 자원 50:50%로 혼합한 후 3개월간 발효

라) 처리수준(10수준): 대조구(우분 100%)와 각 유기성 자원과의 혼합 처리 구 (9수준)

마) 먹이 량: 1000g/사육상자

바) 사육밀도: 20마리(평균 개체 중 210mg±1.2)

사) 사육 상자의 크기: 20 x 20 x 24cm

아) 사육기간: 35일

자) 조사항목

- (1) 생육조사: 생존율, 증체량, 증체속도, 난포 수, 산자 수, 분립생산량
- (2) 먹이와 분변토의 이화학적 특성
- (3) 유기물 감소율, 무기화율, 체조직으로의 유기물 전환율, 전환효율

$$\text{Reduction rate(\%)} = \frac{\text{volatile solids content of final time(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time(mg)}} \times 100$$

$$\text{Mineralization rate(\%)} = \frac{\text{volatile solids content reduced by earthworm(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time}} \times 100$$

$$\text{Conversion rate(\%)} = \frac{\text{mean dry weight of worm tissue of final time(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time(mg)}} \times 100$$

$$\text{Conversion efficiency(\%)} = \frac{\text{increased dry weight of worm tissue of final time(mg)}}{\text{volatile solids content reduced by earthworm(mg)}} \times 100$$

2) 돈분과 유기성 자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

가) 공시돈분: 생 돈분

나) 유기성 자원의 종류(9 종): 톱밥, 왕겨, 커피 박, 맥주박, 낙엽(참나무), 잔디 예초물, 쌀겨, 채소찌꺼기, 볏짚

다) 혼합비율: 돈분과 각 유기성 자원 50:50%로 혼합한 후 3개월간 발효

라) 처리수준(10수준): 대조 구(돈분 100%)와 각 유기성자원과의 혼합 처리 구 (9수준)

마) 먹이 량: 1000g/사육 상자

바) 사육밀도: 20마리(평균 개체 중 565.3mg±0.05)

사) 사육 상자의 크기: 20 x 20 x 24cm

아) 사육기간: 40일

자) 조사항목

(1) 생육조사: 생존율, 증체량, 증체속도, 난포 수, 산자 수, 분립생산량

(2) 먹이와 분변토의 이화학적 특성

(3) 유기물 감소율, 무기화율, 체조직으로의 유기물 전환율, 전환효율

3) 계분과 유기성 자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

가) 공시계분: 생 계분

나) 유기성 자원의 종류(9 종): 톱밥, 쌀겨, 커피 박, 맥주박, 낙엽(참나무),  
잔디 예초물, 버섯폐배지, 채소 찌꺼기, 벗짚

다) 혼합비율: 계분과 각 유기성 자원 50:50%로 혼합한 후 4개월간 발효

라) 처리수준(10수준): 대조 구(계분 100%)와 각 유기성 자원과의 혼합 처리 구  
(9수준)

마) 먹이 량: 1000g/사육 상자

바) 사육밀도: 20마리(평균 개체 중 235mg±0.4)

사) 사육 상자의 크기: 20 x 20 x 24cm

아) 사육기간: 35일

자) 조사항목

- (1) 생육조사: 생존율, 증체량, 증체속도, 난포 수, 산자 수, 분립생산량
- (2) 먹이와 분변토의 이화학적 특성
- (3) 유기물 감소율, 무기화율, 체조직으로의 유기물 전환율, 전환효율

다. 결과 및 고찰

1) 우분과 유기성 자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

가) 우분과 유기성 자원과의 혼합처리 한 먹이의 이화학적 특성

우분과 유기성 자원과의 혼합처리 한 먹이의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 1이다.

표 1. 우분과 유기성자원과의 혼합처리 한 먹이의 이화학적 특성

우분+ 유기성자원	pH	EC (dS/cm)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
대조구(우분100%)	8.81 <sup>ab</sup>	3.84 <sup>ab</sup>	30.42 <sup>f</sup>	70.61 <sup>bc</sup>	29.39 <sup>cd</sup>	69.58 <sup>a</sup>	37.93 <sup>abc</sup>	1.51 <sup>cd</sup>	25.06 <sup>ab</sup>
우분+톱밥	8.45 <sup>abc</sup>	2.87 <sup>d</sup>	35.42 <sup>ab</sup>	73.56 <sup>ab</sup>	26.44 <sup>de</sup>	64.58 <sup>ef</sup>	41.05 <sup>a</sup>	1.63 <sup>bcd</sup>	25.40 <sup>ab</sup>
우분+쌀겨	8.12 <sup>c</sup>	2.29 <sup>e</sup>	35.19 <sup>ab</sup>	69.83 <sup>c</sup>	30.17 <sup>c</sup>	64.81 <sup>ef</sup>	38.43 <sup>abc</sup>	1.47 <sup>d</sup>	26.85 <sup>a</sup>
우분+커피박	7.95 <sup>c</sup>	2.84 <sup>d</sup>	31.03 <sup>ef</sup>	75.11 <sup>a</sup>	24.89 <sup>e</sup>	68.97 <sup>ab</sup>	41.73 <sup>a</sup>	1.96 <sup>ab</sup>	21.23 <sup>bc</sup>
우분+맥주박	8.94 <sup>a</sup>	2.98 <sup>cd</sup>	31.62 <sup>def</sup>	65.98 <sup>d</sup>	34.02 <sup>b</sup>	68.38 <sup>abc</sup>	36.28 <sup>bc</sup>	2.23 <sup>a</sup>	16.48 <sup>d</sup>
우분+낙엽	8.17 <sup>c</sup>	2.74 <sup>d</sup>	35.00 <sup>abc</sup>	71.79 <sup>bc</sup>	28.21 <sup>cd</sup>	65.00 <sup>def</sup>	38.40 <sup>abc</sup>	1.74 <sup>bcd</sup>	22.26 <sup>abc</sup>
우분+잔디예초물	8.39 <sup>abc</sup>	3.75 <sup>b</sup>	34.69 <sup>abc</sup>	69.78 <sup>c</sup>	30.22 <sup>c</sup>	65.31 <sup>def</sup>	38.58 <sup>ab</sup>	1.67 <sup>bcd</sup>	23.32 <sup>abc</sup>
우분+머싯폐배지	8.33 <sup>bc</sup>	3.31 <sup>c</sup>	36.83 <sup>a</sup>	63.74 <sup>de</sup>	36.26 <sup>ab</sup>	63.17 <sup>f</sup>	35.41 <sup>bc</sup>	2.19 <sup>a</sup>	16.21 <sup>d</sup>
우분+채소찌꺼기	8.44 <sup>abc</sup>	4.17 <sup>a</sup>	33.58 <sup>bcd</sup>	62.97 <sup>de</sup>	37.03 <sup>ab</sup>	66.42 <sup>cde</sup>	34.43 <sup>c</sup>	1.82 <sup>bc</sup>	19.00 <sup>cd</sup>
우분+땃짚	8.28 <sup>bc</sup>	2.75 <sup>d</sup>	32.88 <sup>cde</sup>	61.58 <sup>e</sup>	38.42 <sup>a</sup>	67.12 <sup>bcd</sup>	35.32 <sup>bc</sup>	1.41 <sup>d</sup>	25.26 <sup>ab</sup>
LSD(p≤0.05)	0.60	0.38	2.25	3.17	3.17	2.25	4.13	0.34	4.63

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분 함량, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정 고형분, WC, 수분함량, TC; 총 탄소함량, TN; 전 질소함량, C/N; 탄질율

pH는 모든 처리구에서 7.95-8.94의 범위를 나타내었고, 우분+맥주박이 8.94로 유의하게 높았다. 전기전도도(EC)는

2.29-4.17의 범위로, 우분+채소찌꺼기가 가장 높은 4.17이었다. 총 고형분 함량(TS)은 우분+버섯폐배지의 36.83으로 가장 높았고, 휘발성 고형분(VS)은 우분+커피박이 75.11%, 우분+톱밥이 73.56%로 유의하게 높았다. 고정고형분(FS)은 우분+버섯폐배지, 우분+채소찌꺼기, 우분+볏짚에서 36.26-38.42%의 범위를 나타내어 유의하게 높았다. 총 탄소함량(TC)은 우분+톱밥, 우분+커피박에서 각각 41.05%와 41.73%로 유의하게 높았고, 질소함량(TN)은 우분+맥주박, 우분+버섯폐배지가 각각 2.33%와 2.19%로 높았다. 탄질 율(C/N)은 16.21-26.85의 범위를 나타내었다.

나) 우분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

우분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향은 표 2와 같다.

생존율(SR)은 우분 100% 구(대조구)가 66.67%로 유의하게 낮았다. 증체량(FW<sub>2</sub>)은 우분+커피박, 우분+맥주박이 각각 358.1mg과 312.04mg으로 유의하게 무거웠다. 산자수(NYE)와 산자 중(YW)은 우분+낙엽처리구에서 유의하게 높았고, 증체속도(IR)는 우분+커피박이 0.17로 가장 높았다. 난포 수(NC)는 우분+잔디 예초물에서 5.33개로 유의하게 많았고, 난포 중(NCW)도 같은 경향이였다. 분변토 생산량(CW)은 81.65-171.04g의 범위였지만, 모든 처리구에서 유의한 차이가 없었다.

표 2. 우분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

우분+ 유기성자원	growth characteristics												
	SR (%)	NE	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	DW (g)	NYE	YW (mg)	IR (mg/hr)	NC	NCW (g)	CW (g)	RM (g)	CW (%)
우분100%(대조구)	66.67 <sup>b</sup>	13.33 <sup>b</sup>	210.50 <sup>a</sup>	231.59 <sup>c</sup>	0.76 <sup>c</sup>	0.00 <sup>d</sup>	0.00 <sup>d</sup>	0.02 <sup>c</sup>	0.00 <sup>f</sup>	0.00 <sup>f</sup>	81.65 <sup>a</sup>	207.76 <sup>a</sup>	28.22 <sup>d</sup>
우분+톱밥	100.00 <sup>a</sup>	20.00 <sup>a</sup>	210.50 <sup>a</sup>	297.44 <sup>b</sup>	2.26 <sup>ab</sup>	19.67 <sup>ab</sup>	1703.10 <sup>ab</sup>	0.10 <sup>b</sup>	4.33 <sup>ab</sup>	0.047 <sup>ab</sup>	161.12 <sup>a</sup>	88.10 <sup>e</sup>	64.67 <sup>a</sup>
우분+쌀겨	90.00 <sup>a</sup>	18.00 <sup>a</sup>	210.83 <sup>a</sup>	299.59 <sup>b</sup>	1.77 <sup>ab</sup>	5.67 <sup>cd</sup>	504.01 <sup>cd</sup>	0.10 <sup>b</sup>	3.33 <sup>bc</sup>	0.032 <sup>bcd</sup>	163.41 <sup>a</sup>	141.50 <sup>bc</sup>	53.65 <sup>bc</sup>
우분+커피박	90.00 <sup>a</sup>	18.00 <sup>a</sup>	210.50 <sup>a</sup>	358.01 <sup>a</sup>	1.87 <sup>ab</sup>	4.67 <sup>cd</sup>	278.53 <sup>d</sup>	0.17 <sup>a</sup>	3.00 <sup>bcd</sup>	0.031 <sup>bcd</sup>	152.61 <sup>a</sup>	102.74 <sup>de</sup>	59.73 <sup>ab</sup>
우분+맥주박	98.33 <sup>a</sup>	19.67 <sup>a</sup>	210.50 <sup>a</sup>	312.04 <sup>ab</sup>	1.79 <sup>ab</sup>	5.67 <sup>cd</sup>	292.36 <sup>d</sup>	0.12 <sup>ab</sup>	3.33 <sup>bc</sup>	0.033 <sup>bc</sup>	146.90 <sup>a</sup>	120.27 <sup>cd</sup>	55.00 <sup>bc</sup>
우분+낙엽	100.00 <sup>a</sup>	20.00 <sup>a</sup>	211.00 <sup>a</sup>	287.67 <sup>b</sup>	2.38 <sup>a</sup>	26.00 <sup>a</sup>	2046.33 <sup>a</sup>	0.09 <sup>b</sup>	1.67 <sup>de</sup>	0.014 <sup>def</sup>	169.31 <sup>a</sup>	111.30 <sup>de</sup>	60.14 <sup>ab</sup>
우분+잔디예초물	100.00 <sup>a</sup>	20.00 <sup>a</sup>	210.00 <sup>a</sup>	292.50 <sup>b</sup>	2.13 <sup>ab</sup>	16.67 <sup>abc</sup>	1282.58 <sup>abc</sup>	0.10 <sup>b</sup>	5.33 <sup>a</sup>	0.057 <sup>a</sup>	171.04 <sup>a</sup>	120.78 <sup>cd</sup>	58.64 <sup>abc</sup>
우분+버섯폐배지	86.67 <sup>a</sup>	17.33 <sup>a</sup>	210.50 <sup>a</sup>	277.70 <sup>bc</sup>	1.67 <sup>b</sup>	10.33 <sup>bcd</sup>	860.66 <sup>bcd</sup>	0.08 <sup>bc</sup>	3.67 <sup>bc</sup>	0.034 <sup>bc</sup>	160.87 <sup>a</sup>	148.47 <sup>b</sup>	52.05 <sup>c</sup>
우분+채소찌꺼기	93.33 <sup>a</sup>	18.67 <sup>a</sup>	210.67 <sup>a</sup>	326.29 <sup>ab</sup>	1.81 <sup>ab</sup>	13.67 <sup>bc</sup>	1190.80 <sup>abc</sup>	0.14 <sup>ab</sup>	0.67 <sup>ef</sup>	0.011 <sup>ef</sup>	151.44 <sup>a</sup>	139.03 <sup>bc</sup>	51.87 <sup>c</sup>
우분+벼짚	100.00 <sup>a</sup>	20.00 <sup>a</sup>	210.50 <sup>a</sup>	290.17 <sup>b</sup>	2.17 <sup>ab</sup>	18.67 <sup>ab</sup>	1536.05 <sup>ab</sup>	0.09 <sup>b</sup>	2.67 <sup>cd</sup>	0.025 <sup>cde</sup>	174.84 <sup>a</sup>	105.30 <sup>de</sup>	62.41 <sup>a</sup>
LSD(p≤0.05)	18.72	3.74	1.28	49.99	0.63	12.29	874.94	0.06	1.58	0.01	31.31	23.74	6.94

SR: 생존율(%), NE: 지렁이 개체수, FW<sub>1</sub>: 실험 개시시의 평균 개체중(mg), FW<sub>2</sub>: 실험 종료 시의 평균 개체중(mg), DW: 지렁이 건물중(g), NYE: 산자수, YW: 산자중(g), IR: 증체속도 NC: 난포수, NCW: 난포중(g), CW(g): 분변토 생산량(g, <2.0mm), CW(%): 분변토 비율, RM: 잔식량(g, >2.0)

증체량( $FW_2$ )과 증체속도(IR) 및 분변토 생산량(CW)은 우분+커피박과 우분+맥주박에서 유의하게 높았다.

우분+낙엽에서 산자 수(NYE)가 많고, 산자 중(YW)이 유의하게 무거워서, 증식효율이 높았다. 또한 우분+잔디 예초물에서는 난포 수(NC)가 많고, 난포 중(NCW)이 유의하게 무거웠다.

다) 우분과 유기성자원과의 혼합처리에서의 분변토의 이화학적 특성

우분과 유기성자원과의 혼합처리에서 분변토의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 3이다.



표 3. 우분 혼합처리에서의 분변토의 이화학적 특성

우분+ 유기성자원	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/g)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ex.Cations(cmol <sup>+</sup> /kg)		
												K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
우분100%(대조구)	9.11 <sup>abc</sup>	5.10 <sup>ab</sup>	30.26 <sup>ab</sup>	67.58 <sup>bc</sup>	32.42 <sup>de</sup>	69.74 <sup>ab</sup>	39.40 <sup>ab</sup>	1.64 <sup>de</sup>	24.82 <sup>a</sup>	675.36 <sup>b</sup>	34.49 <sup>g</sup>	28.43 <sup>a</sup>	13.51 <sup>a</sup>	0.27 <sup>e</sup>
우분+톱밥	8.82 <sup>abc</sup>	4.23 <sup>bc</sup>	29.95 <sup>ab</sup>	70.52 <sup>ab</sup>	29.48 <sup>ef</sup>	70.05 <sup>ab</sup>	39.55 <sup>a</sup>	1.61 <sup>de</sup>	24.79 <sup>a</sup>	633.36 <sup>b</sup>	53.17 <sup>ef</sup>	18.53 <sup>def</sup>	14.19 <sup>a</sup>	1.04 <sup>cd</sup>
우분+쌀겨	8.64 <sup>abc</sup>	3.65 <sup>c</sup>	33.97 <sup>a</sup>	66.94 <sup>c</sup>	33.06 <sup>d</sup>	66.03 <sup>b</sup>	37.19 <sup>bc</sup>	1.54 <sup>e</sup>	24.19 <sup>a</sup>	664.08 <sup>b</sup>	20.66 <sup>h</sup>	16.12 <sup>ef</sup>	13.75 <sup>a</sup>	1.50 <sup>b</sup>
우분+커피박	8.22 <sup>c</sup>	4.20 <sup>bc</sup>	27.65 <sup>b</sup>	72.27 <sup>a</sup>	27.73 <sup>f</sup>	72.35 <sup>a</sup>	41.07 <sup>a</sup>	1.98 <sup>abc</sup>	20.79 <sup>abc</sup>	630.81 <sup>b</sup>	44.42 <sup>cd</sup>	14.55 <sup>f</sup>	13.46 <sup>a</sup>	1.79 <sup>a</sup>
우분+맥주박	8.39 <sup>bc</sup>	4.34 <sup>bc</sup>	28.82 <sup>ab</sup>	62.15 <sup>ef</sup>	37.85 <sup>ab</sup>	71.18 <sup>ab</sup>	33.97 <sup>e</sup>	2.24 <sup>a</sup>	15.33 <sup>d</sup>	818.77 <sup>a</sup>	69.26 <sup>a</sup>	20.45 <sup>cde</sup>	14.18 <sup>a</sup>	0.79 <sup>de</sup>
우분+낙엽	8.81 <sup>abc</sup>	4.10 <sup>bc</sup>	30.58 <sup>ab</sup>	63.66 <sup>de</sup>	36.34 <sup>bc</sup>	69.42 <sup>ab</sup>	34.62 <sup>de</sup>	1.74 <sup>cde</sup>	19.91 <sup>ab</sup>	657.70 <sup>b</sup>	58.74 <sup>bc</sup>	23.81 <sup>bc</sup>	13.63 <sup>a</sup>	0.56 <sup>e</sup>
우분+잔디예초물	9.44 <sup>a</sup>	5.10 <sup>ab</sup>	31.76 <sup>ab</sup>	66.37 <sup>cd</sup>	33.63 <sup>cd</sup>	68.24 <sup>ab</sup>	36.87 <sup>cd</sup>	1.66 <sup>cde</sup>	22.27 <sup>ab</sup>	794.62 <sup>a</sup>	49.15 <sup>de</sup>	28.32 <sup>ab</sup>	13.79 <sup>a</sup>	1.07 <sup>c</sup>
우분+버섯폐배지	9.32 <sup>ab</sup>	4.67 <sup>ab</sup>	33.34 <sup>ab</sup>	59.92 <sup>f</sup>	40.08 <sup>a</sup>	66.66 <sup>ab</sup>	33.29 <sup>e</sup>	2.14 <sup>ab</sup>	15.54 <sup>d</sup>	755.58 <sup>a</sup>	38.17 <sup>fg</sup>	22.35 <sup>cd</sup>	13.81 <sup>a</sup>	1.76 <sup>a</sup>
우분+채소찌꺼기	9.31 <sup>ab</sup>	5.53 <sup>a</sup>	31.12 <sup>ab</sup>	59.16 <sup>f</sup>	40.84 <sup>a</sup>	68.88 <sup>ab</sup>	32.68 <sup>e</sup>	1.89 <sup>bcd</sup>	17.45 <sup>de</sup>	661.09 <sup>b</sup>	65.47 <sup>ab</sup>	24.96 <sup>abc</sup>	14.59 <sup>a</sup>	1.09 <sup>c</sup>
우분+벼짚	9.13 <sup>abc</sup>	4.11 <sup>bc</sup>	30.23 <sup>ab</sup>	61.55 <sup>ef</sup>	38.45 <sup>ab</sup>	69.77 <sup>ab</sup>	34.19 <sup>e</sup>	1.56 <sup>e</sup>	22.00 <sup>ab</sup>	663.07 <sup>b</sup>	64.61 <sup>ab</sup>	24.58 <sup>abc</sup>	14.75 <sup>a</sup>	1.03 <sup>cd</sup>
L.S.D(p≤0.05)	0.99	1.02	5.99	3.08	3.08	5.99	2.29	0.32	4.15	79.58	6.88	4.61	3.45	0.25

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정고형분, WC, 수분함량, TC; 총 탄소함량, TN; 전질소함량, C/N; 탄질 율, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 유효인산함량, CEC; 양이온 치환능력, Ex. cations: 치환성 양이온 함량

pH는 8.22-9.44의 범위로 알칼리성이었으며, 전기전도도(EC)는 4.10-5.53의 범위였지만, 우분+채소찌꺼기에서 가장 높은 5.53이었다.

총 고형분 함량(TS)은 우분+맥주박에 28.82%로 가장 낮았고, 휘발성 고형분(VS)과 총 탄소함량(TC)은 우분+커피박에서 각각 72.27%와 41.07%로 유의하게 높았다. 고정 고형분(FS)은 27.73-40.84%의 범위였는데, 우분+버섯폐배지, 우분+채소찌꺼기에서 가장 높았다. 전질소함량(TN)은 1.54-2.24%의 범위였는데, 우분+맥주박에서 가장 높았다.

탄질 율(C/N)은 15.33-24.82의 범위였는데, 우분+쌀겨에서 가장 높았다. 또한 유효인산함량은 630.36-818.77ppm의 범위였는데, 우분+맥주박의 818.77ppm으로 유의하게 높았다. 양분보전능(CEC)은 우분+맥주박에서 69.26으로 유의하게 높았다.

라) 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율  
 생육기간 중 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율을 나타낸 것이 표 4이다.

표 4. 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율

우분+ 유기성자원	RD (%)	MR (%)	CR (%)	CE (%)
우분100%(대조구)	5.32 <sup>d</sup>	3.62 <sup>c</sup>	0.03 <sup>c</sup>	-3.66 <sup>b</sup>
우분+톱밥	18.79 <sup>a</sup>	13.68 <sup>a</sup>	0.04 <sup>b</sup>	3.54 <sup>ab</sup>
우분+쌀겨	7.29 <sup>cd</sup>	9.64 <sup>abc</sup>	0.04 <sup>b</sup>	3.50 <sup>ab</sup>
우분+커피박	9.55 <sup>cd</sup>	11.11 <sup>ab</sup>	0.05 <sup>a</sup>	3.37 <sup>ab</sup>
우분+맥주박	15.72 <sup>ab</sup>	4.38 <sup>c</sup>	0.04 <sup>b</sup>	9.49 <sup>a</sup>
우분+낙엽	17.86 <sup>ab</sup>	10.92 <sup>ab</sup>	0.05 <sup>a</sup>	7.60 <sup>a</sup>
우분+잔디예초물	13.45 <sup>ab</sup>	6.42 <sup>bc</sup>	0.04 <sup>b</sup>	9.34 <sup>a</sup>
우분+버섯폐배지	12.93 <sup>ab</sup>	7.93 <sup>abc</sup>	0.04 <sup>b</sup>	3.69 <sup>ab</sup>
우분+채소찌꺼기	9.90 <sup>cd</sup>	8.85 <sup>abc</sup>	0.04 <sup>b</sup>	8.11 <sup>a</sup>
우분+볏짚	5.16 <sup>d</sup>	9.87 <sup>abc</sup>	0.05 <sup>a</sup>	5.71 <sup>a</sup>
L.S.D(P≤0.05)	8.99	6.28	0.01	7.48

RD: 생육기간 중 유기물 감소율, MR: 지렁이에 의한 무기화율, CR: 조직으로의 유기물 전환율,  
 CE: 체조직으로의 유기물 전환효율

생육기간 중 유기물 감소량(RD)은 대조구(우분 100%)와 우분+채소찌꺼기를 제외

한 혼합 처리구에서 감소율이 높았는데, 특히 우분+톱밥 처리구에서 가장 높은 18.70을 나타내었다. 무기화율(MR)도 유기물 감소율과 같은 경향이었고, 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 우분+커피박, 우분+낙엽 처리구가 0.05로 유의하게 높았다. 또한 체조직으로의 유기물 전환효율(CE)은 대조구를 제외한 모든 혼합 처리구에서 3.50-9.49의 범위였지만, 처리 간에 유의한 차이가 없었다.

## 2) 돈분과 유기성 자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

### 가) 돈분과 유기성 자원과의 혼합처리 한 먹이의 이화학적 특성

돈분과 유기성 자원과의 혼합처리 한 먹이의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 5이다.

표 5. 돈분과 유기성자원과의 혼합처리기간 먹이의 이화학적 특성

돈분+ 유기성자원	pH	EC (dS/cm)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	TN (%)	CF (%)	TC (%)	WC (%)	C/N
돈분100%(대조구)	6.12 <sup>de</sup>	2.16 <sup>cd</sup>	48.27 <sup>a</sup>	55.67 <sup>i</sup>	44.32 <sup>a</sup>	4.20 <sup>e</sup>	3.21 <sup>h</sup>	30.93 <sup>i</sup>	51.73 <sup>d</sup>	7.37 <sup>f</sup>
돈분+톱밥	6.60 <sup>ab</sup>	2.20 <sup>cd</sup>	46.10 <sup>abc</sup>	76.75 <sup>a</sup>	23.24 <sup>f</sup>	5.92 <sup>a</sup>	20.37 <sup>a</sup>	42.64 <sup>a</sup>	53.90 <sup>bcd</sup>	7.21 <sup>g</sup>
돈분+왕겨	6.52 <sup>abcd</sup>	2.03 <sup>d</sup>	45.16 <sup>abc</sup>	66.84 <sup>e</sup>	33.15 <sup>d</sup>	5.44 <sup>b</sup>	15.84 <sup>c</sup>	37.13 <sup>e</sup>	54.83 <sup>bcd</sup>	6.83 <sup>h</sup>
돈분+커피박	6.30 <sup>bcd</sup>	2.16 <sup>cd</sup>	33.06 <sup>d</sup>	67.96 <sup>c</sup>	32.04 <sup>de</sup>	5.23 <sup>c</sup>	12.38 <sup>d</sup>	37.75 <sup>c</sup>	66.93 <sup>a</sup>	7.21 <sup>g</sup>
돈분+맥주박	6.57 <sup>abc</sup>	2.00 <sup>d</sup>	47.13 <sup>ab</sup>	64.53 <sup>f</sup>	35.46 <sup>c</sup>	3.68 <sup>i</sup>	4.50 <sup>g</sup>	35.85 <sup>f</sup>	52.86 <sup>cd</sup>	9.73 <sup>b</sup>
돈분+낙엽	6.15 <sup>cde</sup>	3.00 <sup>b</sup>	47.30 <sup>ab</sup>	67.53 <sup>d</sup>	32.46 <sup>de</sup>	3.70 <sup>i</sup>	5.17 <sup>g</sup>	37.51 <sup>d</sup>	52.70 <sup>cd</sup>	10.13 <sup>a</sup>
돈분+잔디예초물	6.76 <sup>a</sup>	2.56 <sup>c</sup>	46.26 <sup>abc</sup>	63.30 <sup>g</sup>	36.69 <sup>c</sup>	4.12 <sup>f</sup>	6.73 <sup>f</sup>	35.17 <sup>g</sup>	53.73 <sup>bcd</sup>	8.54 <sup>d</sup>
돈분+쌀겨	5.79 <sup>e</sup>	2.23 <sup>cd</sup>	44.03 <sup>bc</sup>	67.49 <sup>d</sup>	32.50 <sup>de</sup>	4.51 <sup>d</sup>	6.30 <sup>f</sup>	37.49 <sup>d</sup>	55.96 <sup>bc</sup>	8.31 <sup>e</sup>
돈분+채소찌꺼기	6.80 <sup>a</sup>	4.50 <sup>a</sup>	46.33 <sup>abc</sup>	61.11 <sup>h</sup>	38.89 <sup>b</sup>	3.91 <sup>h</sup>	10.07 <sup>e</sup>	33.95 <sup>h</sup>	53.70 <sup>bcd</sup>	8.68 <sup>d</sup>
돈분+볏짚	6.52 <sup>abcd</sup>	4.16 <sup>a</sup>	43.56 <sup>c</sup>	68.58 <sup>b</sup>	31.42 <sup>e</sup>	4.02 <sup>g</sup>	18.25 <sup>b</sup>	38.09 <sup>b</sup>	56.43 <sup>b</sup>	9.47 <sup>c</sup>
L.S.D(P≤0.05)	0.42	0.43	3.44	0.28	1.6	0.07	0.76	0.16	3.44	0.15

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분 함량, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정 고형분, WC, 수분함량, TC; 총 탄소함량, TN; 전질소함량, C/N; 탄질율

돈분 혼합처리구의 pH는 7.39-9.59의 범위였고, 전기전도도(EC)는 2.0-4.5의 범위였고, 돈분+채소찌꺼기와 돈분+볏짚에서 유의하게 높았다. 총 고형분(TS)은 33.06-48.27%의 범위였는데, 돈분+커피박은 33.06%로 가장 낮았다. 휘발성 고형분(VS)은 55.67-76.75%의 범위였고, 고정 고형분(FS)은 대조구(돈분 100%)의 44.32%로 가장 높았다. 전질소합량(TN)은 3.68-5.92의 범위였고, 조섬유합량(CF)은 3.12-20.37%의 범위였는데, 돈분+톱밥에서 가장 높았다. 총 탄소합량(TC)은 30.93-42.64%였고, 탄질율은 8.31-10.133의 범위를 나타내었다.

나) 돈분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

돈분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 6이다.

Table 표 6. 돈분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

돈분+ 유기성자원	growth characteristics											
	SR (%)	NE	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	DW (g)	NYE	YW (g)	IR (mg/hr)	NC	NCW (g)	CW (g)	CW (%)
돈분100%(대조구)	0.00 <sup>f</sup>	0.00 <sup>f</sup>	565.35 <sup>a</sup>	0.00 <sup>h</sup>	0.00 <sup>f</sup>	0.00 <sup>e</sup>	0.00 <sup>d</sup>	-0.59 <sup>g</sup>	3.00 <sup>bc</sup>	0.031 <sup>b</sup>	0.00 <sup>e</sup>	0.00 <sup>e</sup>
돈분+톱밥	73.33 <sup>b</sup>	18.33 <sup>b</sup>	565.34 <sup>a</sup>	385.21 <sup>b</sup>	1.28 <sup>b</sup>	5.33 <sup>bc</sup>	0.28 <sup>b</sup>	-0.19 <sup>b</sup>	5.66 <sup>abc</sup>	0.060 <sup>ab</sup>	544.43 <sup>a</sup>	90.74 <sup>a</sup>
돈분+왕겨	24.00 <sup>e</sup>	6.00 <sup>e</sup>	565.32 <sup>a</sup>	388.00 <sup>b</sup>	0.27 <sup>e</sup>	4.00 <sup>bcd</sup>	0.20 <sup>bc</sup>	-0.19 <sup>b</sup>	3.66 <sup>abc</sup>	0.034 <sup>b</sup>	358.27 <sup>b</sup>	59.71 <sup>b</sup>
돈분+커피박	84.00 <sup>a</sup>	21.00 <sup>a</sup>	565.35 <sup>a</sup>	413.39 <sup>a</sup>	1.79 <sup>a</sup>	11.66 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>	-0.16 <sup>a</sup>	9.00 <sup>a</sup>	0.089 <sup>ab</sup>	545.37 <sup>a</sup>	90.89 <sup>a</sup>
돈분+맥주박	46.66 <sup>c</sup>	11.66 <sup>c</sup>	565.35 <sup>a</sup>	344.21 <sup>c</sup>	0.71 <sup>c</sup>	4.33 <sup>bcd</sup>	0.24 <sup>bc</sup>	-0.23 <sup>c</sup>	2.66 <sup>bc</sup>	0.024 <sup>b</sup>	355.53 <sup>b</sup>	59.25 <sup>b</sup>
돈분+낙엽	28.00 <sup>ed</sup>	7.00 <sup>de</sup>	565.33 <sup>a</sup>	321.43 <sup>e</sup>	0.44 <sup>d</sup>	3.00 <sup>d</sup>	0.15 <sup>c</sup>	-0.25 <sup>d</sup>	9.33 <sup>a</sup>	0.072 <sup>ab</sup>	285.47 <sup>c</sup>	47.58 <sup>c</sup>
돈분+잔디예초물	25.33 <sup>ed</sup>	6.33 <sup>de</sup>	565.33 <sup>a</sup>	263.81 <sup>g</sup>	0.25 <sup>e</sup>	5.33 <sup>bc</sup>	0.26 <sup>b</sup>	-0.31 <sup>f</sup>	1.33 <sup>c</sup>	0.012 <sup>b</sup>	213.63 <sup>d</sup>	35.60 <sup>d</sup>
돈분+쌀겨	42.66 <sup>c</sup>	10.66 <sup>c</sup>	565.35 <sup>a</sup>	327.80 <sup>d</sup>	0.62 <sup>c</sup>	5.66 <sup>b</sup>	0.26 <sup>b</sup>	-0.25 <sup>d</sup>	5.33 <sup>abc</sup>	0.259 <sup>a</sup>	274.57 <sup>c</sup>	45.76 <sup>c</sup>
돈분+채소찌꺼기	0.00 <sup>f</sup>	0.00 <sup>f</sup>	565.34 <sup>a</sup>	0.00 <sup>h</sup>	0.00 <sup>f</sup>	0.00 <sup>e</sup>	0.00 <sup>d</sup>	-0.59 <sup>g</sup>	3.00 <sup>bc</sup>	0.032 <sup>b</sup>	0.00 <sup>e</sup>	0.00 <sup>e</sup>
돈분+벼질	32.00 <sup>d</sup>	8.00 <sup>d</sup>	565.35 <sup>a</sup>	292.00 <sup>f</sup>	0.27 <sup>e</sup>	3.66 <sup>cd</sup>	0.20 <sup>bc</sup>	-0.29 <sup>e</sup>	8.33 <sup>ab</sup>	0.081 <sup>ab</sup>	207.93 <sup>d</sup>	34.65 <sup>d</sup>
L.S.D <sub>(P≤0.05)</sub>	7.86	1.96	0.05	5.61	1.15	1.70	0.08	0.007	5.73	0.21	52.21	8.70

SR: 생존율(%), NE: 지렁이 개체수, FW<sub>1</sub>: 실험 개시시의 평균 개체중(mg), FW<sub>2</sub>: 실험 종료 시의 평균 개체중(mg), DW: 지렁이 건물중(g), NYE: 산자수, YW: 산자중(g), IR: 증체속도 NC: 난포수, NCW: 난포중(g), CW(g): 분변토 생산량(g, <2.0mm), CW(%): 분변토 비율, RM: 잔식량(g, >2.0)

생존율(SR)은 돈분+커피박이 84%로 유의하게 높았다. 증체량(FW<sub>2</sub>), 산자 수(NYE), 산자 중(YW)에서 돈분+커피박이 유의하게 높은 값을 나타내었다. 난포 수(NC)에서는 돈분+커피박, 돈분+낙엽에서 각각 9.0개와 9.33개로 유의하게 많았으며, 분변토 생산량(CW)은 돈분+톱밥, 돈분+커피박에서 540g 이상으로 유의하게 많았다.

다) 돈분 혼합처리에서의 분변토의 이화학적 특성

돈분 혼합처리에서의 분변토의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 7이다.

표 7. 돈분 혼합처리에서의 분변토의 이화학적 특성

돈분+ 유기성자원	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	TN (%)	CF (%)	TC (%)	WC (%)	C/N	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/g)	CEC (cmol+/kg)	Ex.Cations(cmol+/kg)		
													K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
돈분100%(대조구)	9.59 <sup>a</sup>	5.27 <sup>cd</sup>	48.15 <sup>a</sup>	51.97 <sup>f</sup>	48.03 <sup>a</sup>	4.03 <sup>de</sup>	5.87 <sup>d</sup>	28.87 <sup>f</sup>	51.85 <sup>e</sup>	7.16 <sup>e</sup>	587.65 <sup>d</sup>	40.70 <sup>a</sup>	24.03 <sup>a</sup>	3.25 <sup>cd</sup>	3.74 <sup>ab</sup>
돈분+톱밥	7.39 <sup>f</sup>	6.40 <sup>c</sup>	43.19 <sup>bcd</sup>	65.38 <sup>b</sup>	34.62 <sup>d</sup>	5.50 <sup>a</sup>	29.67 <sup>a</sup>	36.32 <sup>b</sup>	56.81 <sup>bcd</sup>	6.61 <sup>f</sup>	346.47 <sup>e</sup>	33.13 <sup>f</sup>	8.50 <sup>d</sup>	2.64 <sup>d</sup>	2.21 <sup>c</sup>
돈분+왕겨	7.73 <sup>e</sup>	5.43 <sup>cd</sup>	41.19 <sup>d</sup>	57.93 <sup>c</sup>	42.07 <sup>c</sup>	5.18 <sup>b</sup>	16.60 <sup>b</sup>	32.18 <sup>c</sup>	58.81 <sup>b</sup>	6.22 <sup>g</sup>	301.30 <sup>e</sup>	27.96 <sup>g</sup>	14.57 <sup>c</sup>	2.54 <sup>d</sup>	0.68 <sup>d</sup>
돈분+커피박	6.11 <sup>g</sup>	1.38 <sup>e</sup>	29.55 <sup>c</sup>	67.38 <sup>a</sup>	32.62 <sup>e</sup>	5.01 <sup>c</sup>	11.67 <sup>c</sup>	37.43 <sup>a</sup>	70.45 <sup>a</sup>	7.47 <sup>d</sup>	192.10 <sup>e</sup>	33.49 <sup>ef</sup>	19.47 <sup>b</sup>	9.64 <sup>a</sup>	1.66 <sup>c</sup>
돈분+맥주박	8.14 <sup>d</sup>	4.33 <sup>d</sup>	46.80 <sup>ab</sup>	54.62 <sup>e</sup>	45.38 <sup>b</sup>	3.24 <sup>h</sup>	5.00 <sup>d</sup>	30.34 <sup>e</sup>	53.20 <sup>de</sup>	9.35 <sup>a</sup>	1025.90 <sup>b</sup>	35.43 <sup>de</sup>	20.55 <sup>b</sup>	2.91 <sup>cd</sup>	0.44 <sup>d</sup>
돈분+낙엽	7.84 <sup>e</sup>	8.80 <sup>ab</sup>	48.42 <sup>a</sup>	51.15 <sup>i</sup>	48.85 <sup>a</sup>	3.28 <sup>h</sup>	6.67 <sup>d</sup>	28.42 <sup>i</sup>	51.58 <sup>e</sup>	8.66 <sup>b</sup>	1350.50 <sup>a</sup>	34.45 <sup>ef</sup>	18.68 <sup>b</sup>	3.28 <sup>cd</sup>	3.15 <sup>b</sup>
돈분+잔디예초물	8.57 <sup>c</sup>	8.07 <sup>b</sup>	44.20 <sup>bcd</sup>	51.84 <sup>g</sup>	48.16 <sup>a</sup>	3.97 <sup>e</sup>	5.87 <sup>d</sup>	28.80 <sup>b</sup>	55.80 <sup>bcd</sup>	7.25 <sup>e</sup>	806.37 <sup>c</sup>	38.20 <sup>bc</sup>	7.27 <sup>d</sup>	3.67 <sup>c</sup>	4.19 <sup>a</sup>
돈분+쌀겨	8.17 <sup>d</sup>	5.50 <sup>cd</sup>	42.89 <sup>cd</sup>	57.07 <sup>d</sup>	42.93 <sup>c</sup>	4.05 <sup>d</sup>	7.60 <sup>d</sup>	31.71 <sup>d</sup>	57.11 <sup>bc</sup>	7.82 <sup>c</sup>	1042.0 <sup>b</sup>	39.32 <sup>abc</sup>	12.60 <sup>c</sup>	3.50 <sup>cd</sup>	0.53 <sup>d</sup>
돈분+채소찌꺼기	9.33 <sup>b</sup>	6.13 <sup>c</sup>	46.45 <sup>abc</sup>	51.94 <sup>fg</sup>	48.06 <sup>a</sup>	3.71 <sup>g</sup>	5.53 <sup>d</sup>	28.85 <sup>fg</sup>	53.55 <sup>cde</sup>	7.78 <sup>c</sup>	804.47 <sup>c</sup>	39.98 <sup>ab</sup>	12.77 <sup>c</sup>	3.11 <sup>cd</sup>	2.12 <sup>c</sup>
돈분+벼짚	8.52 <sup>c</sup>	9.60 <sup>a</sup>	41.29 <sup>d</sup>	51.46 <sup>h</sup>	48.54 <sup>a</sup>	3.86 <sup>f</sup>	7.03 <sup>d</sup>	28.59 <sup>h</sup>	58.71 <sup>b</sup>	7.41 <sup>d</sup>	1257.97 <sup>a</sup>	37.42 <sup>cd</sup>	8.07 <sup>d</sup>	5.68 <sup>b</sup>	0.72 <sup>d</sup>
L.S.D( $P \leq 0.05$ )	0.11	1.26	3.79	0.13	1.71	0.07	2.9	0.07	3.63	0.15	187.89	2.00	2.94	0.98	0.62

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정고형분, WC, 수분함량, TC; 총 탄소함량, TN; 전질소함량, CF; 조섬유함량, C/N; 탄질 율, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 유효인산함량, CEC; 양이온 치환능력, Ex. cations: 치환성 양이온 함량



돈분혼합처리에서 분변토의 pH 는 6.12-6.80의 범위로 약산성을 나타내었다. 전기 전도도(EC)는 1.38-9.60의 범위였지만, 돈분+볏짚에서 9.60으로 유의하게 높았다. 총 고형분 함량(TS)은 29.55-48.15%의 범위로, 돈분+커피박에서 가장 낮았다. 휘발성 고형분(VS)은 돈분+커피박에서 67.38로 가장 높았고, 고정 고형분(FS)은 32.62-48.54%의 범위였고, 전질소함량(TN)은 돈분+커피박, 돈분+쌀겨에서 각각 9.67%와 9.97%로 유의하게 높았다. 조섬유함량(CF)은 돈분+툽밥에서 29.67%로 가장 높았고, 총 탄소함량(TC)은 돈분+커피박에서 높았다. 탄질 율(C/N)은 10.4-16.12의 범위로 낮았고, 유효 인산함량은 돈분+낙엽에서 1350.5ppm으로 높았다. 양분보전능(CEC)은 27.96-40.7의 범위였다.

라) 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율  
 생육기간 중 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율을 나타낸 것이 표 8이다.

표 8. 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율

돈분+ 유기성자원	RD (%)	MR (%)	CR (%)	CE (%)
돈분100%(대조구)	0.45 <sup>ab</sup>	6.82 <sup>e</sup>	0.00 <sup>f</sup>	0.00 <sup>b</sup>
돈분+툽밥	0.47 <sup>ab</sup>	15.04 <sup>cd</sup>	0.50 <sup>abc</sup>	1.36 <sup>bc</sup>
돈분+왕겨	0.20 <sup>ab</sup>	13.41 <sup>d</sup>	0.59 <sup>a</sup>	<b>1.81<sup>b</sup></b>
돈분+커피박	0.10 <sup>c</sup>	4.11 <sup>f</sup>	0.59 <sup>a</sup>	<b>6.66<sup>a</sup></b>
돈분+맥주박	0.70 <sup>ab</sup>	16.10 <sup>c</sup>	0.53 <sup>ab</sup>	<b>1.08<sup>bc</sup></b>
돈분+낙엽	0.67 <sup>ab</sup>	24.49 <sup>a</sup>	0.49 <sup>bc</sup>	<b>0.57<sup>cd</sup></b>
돈분+잔디예초물	0.88 <sup>a</sup>	18.90 <sup>b</sup>	0.43 <sup>c</sup>	<b>0.34<sup>cd</sup></b>
돈분+쌀겨	0.63 <sup>ab</sup>	15.85 <sup>c</sup>	0.52 <sup>abc</sup>	<b>1.07<sup>bc</sup></b>
돈분+채소찌꺼기	0.23 <sup>ab</sup>	15.05 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>f</sup>	<b>0.00<sup>b</sup></b>
돈분+볏짚	0.63 <sup>ab</sup>	25.05 <sup>a</sup>	0.43 <sup>c</sup>	<b>0.35<sup>b</sup></b>
L.S.D( $P \leq 0.05$ )	0.69	2.29	0.09	1.07

RD: 생육기간 중 유기물 감소율, MR: 지렁이에 의한 무기화율,  
 CR: 체조직으로의 유기물 전환율, CE:체조직으로의 유기물 전환효율

생육기간 중 유기물 감소율(RD)은 돈분+잔디 예초물에서 0.88로 가장 높았고, 무기 화율(MR)은 돈분+볏짚, 돈분+낙엽에서 각각 25.05와 24.49를 나타내어 유의하게 높았다. 지렁이 체조직으로 유기물 전환율(CR)은 돈분+왕겨, 돈분+커피박에서 0.59로 유의

하계 높았고, 전환효율(CE)은 돈분+커피박에서 가장 높았다.

3) 계분과 유기성 자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

가) 계분과 유기성 자원과의 혼합처리 한 먹이의 이화학적 특성

계분과 유기성 자원과의 혼합처리 한 먹이의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 9이다.

표 9. 계분과 유기성자원과의 혼합처리기간 먹이의 이화학적 특성

계분+ 유기성자원	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
계분100%(대조구)	5.77 <sup>h</sup>	5.90 <sup>b</sup>	31.3 <sup>fg</sup>	71.89 <sup>de</sup>	28.11 <sup>ab</sup>	68.70 <sup>bc</sup>	39.94 <sup>def</sup>	3.93 <sup>a</sup>	10.16 <sup>e</sup>
계분+톱밥	6.33 <sup>e</sup>	3.10 <sup>e</sup>	32.15 <sup>ef</sup>	75.14 <sup>b</sup>	24.86 <sup>d</sup>	67.85 <sup>cd</sup>	41.74 <sup>b</sup>	3.30 <sup>c</sup>	12.66 <sup>bc</sup>
계분+쌀겨	6.36 <sup>de</sup>	3.60 <sup>d</sup>	40.09 <sup>b</sup>	75.21 <sup>b</sup>	24.79 <sup>d</sup>	59.91 <sup>g</sup>	41.78 <sup>b</sup>	3.50 <sup>b</sup>	11.94 <sup>d</sup>
계분+커피박	5.88 <sup>g</sup>	2.77 <sup>e</sup>	38.26 <sup>c</sup>	75.11 <sup>b</sup>	24.89 <sup>d</sup>	61.74 <sup>f</sup>	40.62 <sup>cd</sup>	2.97 <sup>de</sup>	13.72 <sup>a</sup>
계분+맥주박	6.46 <sup>d</sup>	2.83 <sup>e</sup>	32.71 <sup>e</sup>	82.88 <sup>a</sup>	17.12 <sup>e</sup>	67.29 <sup>d</sup>	45.16 <sup>a</sup>	3.30 <sup>c</sup>	13.68 <sup>a</sup>
계분+낙엽	6.68 <sup>c</sup>	1.75 <sup>f</sup>	41.5 <sup>a</sup>	70.89 <sup>e</sup>	29.11 <sup>a</sup>	58.50 <sup>h</sup>	39.38 <sup>ef</sup>	3.06 <sup>d</sup>	12.86 <sup>b</sup>
계분+잔디예초물	7.46 <sup>a</sup>	3.76 <sup>cd</sup>	40.45 <sup>ab</sup>	73.70 <sup>c</sup>	26.30 <sup>c</sup>	59.55 <sup>hg</sup>	40.95 <sup>c</sup>	2.88 <sup>e</sup>	14.23 <sup>a</sup>
계분+머섯페배지	7.04 <sup>b</sup>	3.92 <sup>cd</sup>	30.7 <sup>gf</sup>	75.18 <sup>b</sup>	24.82 <sup>d</sup>	69.30 <sup>ab</sup>	39.17 <sup>f</sup>	3.24 <sup>c</sup>	12.08 <sup>cd</sup>
계분+채소찌꺼기	6.04 <sup>f</sup>	6.75 <sup>a</sup>	29.6 <sup>h</sup>	73.67 <sup>c</sup>	26.33 <sup>c</sup>	70.40 <sup>a</sup>	35.37 <sup>g</sup>	2.82 <sup>e</sup>	12.56 <sup>bc</sup>
계분+뽕짚	6.46 <sup>d</sup>	4.17 <sup>c</sup>	34.33 <sup>d</sup>	72.11 <sup>d</sup>	27.89 <sup>b</sup>	65.67 <sup>e</sup>	40.06 <sup>de</sup>	2.93 <sup>de</sup>	13.69 <sup>a</sup>
LSD(p<0.05)	0.1	0.46	1.23	1.20	1.20	1.23	0.77	0.17	0.71

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분 함량, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정 고형분, WC, 수분함량, TC; 총 탄소함량, TN; 전질소함량, C/N; 탄질율

계분 혼합처리에서 먹이의 pH는 5.77-6.68의 범위로서 산성을 나타내었다. 전기전도도(EC)는 1.75-6.75의 범위였지만, 계분+채소찌꺼기에서 6.75로 가장 높았다. 총 고형분(TS)은 계분+낙엽에서 41.5%로 유의하게 높았고, 휘발성 고형분(VS)은 계분+맥주박이 88.88%로 가장 높았다. 총 탄소함량(TC)은 계분+맥주박에서 45.16으로 유의하게 높았다. 전질소함량(TN)은 대주구가 3.93%로 가장 높았다. 탄질 율(C/N)은 10.16-14.23의 범위로 낮은 값이었다.

나) 계분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

계분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 10이다.

표 10. 계분과 유기성자원과의 혼합처리가 지렁이의 생육에 미치는 영향

계분+ 유기성자원	growth characteristics												
	SR (%)	NE	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	DW (g)	NYE	YW (g)	IR (mg/hr)	NC	NCW (g)	CW (g)	RM (g)	CW (%)
계분100%(대조구)	5.00 <sup>e</sup>	1.00 <sup>e</sup>	235.17 <sup>a</sup>	115.00 <sup>b</sup>	0.02 <sup>d</sup>	1.67 <sup>b</sup>	0.13 <sup>a</sup>	-0.13 <sup>c</sup>	5.00 <sup>c</sup>	0.033 <sup>c</sup>	75.61 <sup>e</sup>	197.90 <sup>a</sup>	27.65 <sup>f</sup>
계분+톱밥	90.00 <sup>a</sup>	18.00 <sup>a</sup>	235.33 <sup>a</sup>	281.80 <sup>ab</sup>	2.14 <sup>a</sup>	4.00 <sup>ab</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.06 <sup>ab</sup>	11.33 <sup>ab</sup>	0.093 <sup>a</sup>	157.97 <sup>a</sup>	116.76 <sup>d</sup>	57.50 <sup>b</sup>
계분+쌀겨	63.33 <sup>b</sup>	12.67 <sup>b</sup>	235.50 <sup>a</sup>	273.82 <sup>ab</sup>	1.69 <sup>b</sup>	2.33 <sup>b</sup>	0.19 <sup>a</sup>	0.04 <sup>ab</sup>	7.00 <sup>abc</sup>	0.063 <sup>abc</sup>	154.95 <sup>a</sup>	108.99 <sup>f</sup>	58.70 <sup>c</sup>
계분+커피박	95.00 <sup>a</sup>	19.00 <sup>a</sup>	235.17 <sup>a</sup>	314.78 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>	6.00 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.10 <sup>a</sup>	5.00 <sup>c</sup>	0.042 <sup>bc</sup>	155.51 <sup>a</sup>	112.99 <sup>e</sup>	57.91 <sup>ab</sup>
계분+맥주박	50.00 <sup>bc</sup>	10.00 <sup>bc</sup>	235.17 <sup>a</sup>	269.97 <sup>ab</sup>	1.34 <sup>c</sup>	0.67 <sup>b</sup>	0.27 <sup>a</sup>	0.04 <sup>ab</sup>	11.67 <sup>a</sup>	0.083 <sup>ab</sup>	135.41 <sup>bc</sup>	122.34 <sup>c</sup>	52.54 <sup>cd</sup>
계분+낙엽	51.67 <sup>bc</sup>	10.33 <sup>bc</sup>	235.33 <sup>a</sup>	228.94 <sup>b</sup>	1.35 <sup>c</sup>	2.67 <sup>ab</sup>	0.20 <sup>a</sup>	-0.01 <sup>b</sup>	6.33 <sup>bc</sup>	0.049 <sup>abc</sup>	135.79 <sup>b</sup>	121.74 <sup>c</sup>	52.73 <sup>c</sup>
계분+잔디예초물	46.67 <sup>cd</sup>	9.33 <sup>cd</sup>	235.33 <sup>a</sup>	236.56 <sup>b</sup>	1.24 <sup>c</sup>	2.33 <sup>b</sup>	0.18 <sup>a</sup>	0.00 <sup>b</sup>	5.00 <sup>c</sup>	0.037 <sup>c</sup>	134.94 <sup>bc</sup>	126.04 <sup>b</sup>	52.09 <sup>cd</sup>
계분+벼싹폐배지	41.67 <sup>cd</sup>	8.33 <sup>cd</sup>	235.33 <sup>a</sup>	233.63 <sup>b</sup>	1.18 <sup>c</sup>	2.67 <sup>ab</sup>	0.25 <sup>a</sup>	0.00 <sup>b</sup>	7.67 <sup>abc</sup>	0.066 <sup>abc</sup>	134.82 <sup>bc</sup>	122.32 <sup>c</sup>	51.84 <sup>de</sup>
계분+채소찌꺼기	35.00 <sup>d</sup>	7.00 <sup>d</sup>	235.50 <sup>a</sup>	243.75 <sup>b</sup>	1.16 <sup>c</sup>	1.67 <sup>b</sup>	0.17 <sup>a</sup>	0.01 <sup>b</sup>	6.33 <sup>bc</sup>	0.046 <sup>bc</sup>	125.23 <sup>d</sup>	122.39 <sup>c</sup>	51.07 <sup>e</sup>
계분+벼짚	50.00 <sup>bc</sup>	10.00 <sup>bc</sup>	235.17 <sup>a</sup>	268.63 <sup>ab</sup>	1.21 <sup>c</sup>	2.67 <sup>ab</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.04 <sup>ab</sup>	3.67 <sup>c</sup>	0.023 <sup>c</sup>	131.95 <sup>c</sup>	121.44 <sup>c</sup>	51.94 <sup>cde</sup>
L.S.D(P≤0.05)	13.55	2.71	0.44	63.83	0.19	3.34	0.28	0.07	5.19	0.04	3.52	2.28	0.88

SR: 생존율(%), NE: 지렁이 개체수, FW<sub>1</sub>: 실험 개시시의 평균 개체중(mg), FW<sub>2</sub>: 실험 종료 시의 평균 개체중(mg), DW: 지렁이 건물중(g), NYE: 산자수, YW: 산자중(g), IR: 증체속도 NC: 난포수, NCW: 난포중(g), CW(g): 분변토 생산량(g, <2.0mm), CW(%): 분변토 비율, RM: 잔식량(g, >2.0)

생존율(SR)은 계분+커피박이 95%, 계분+톱밥이 90%로 유의하게 높았다. 증체량(FW<sub>2</sub>)은 계분+커피박이 314.78g으로 유의하게 높았고, 산자 수(NYE)와 산자 중(YW) 및 증체속도(IR)에서도 유의하게 높은 값이었다. 난포 수(NC)는 계분+맥주박에서, 난포 중(NCW)은 계분+톱밥에서 높은 값이었다. 분변토 생산량(CW)은 계분+톱밥, 계분+쌀겨, 계분+커피박에서 유의하게 많았다.

다) 계분 혼합처리에서의 분변토의 이화학적 특성

계분 혼합처리에서의 분변토의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 11이다.

표 11. 계분 혼합처리에서의 분변토의 이화학적 특성

계분+ 유기성자원	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/g)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ex.Cations(cmol <sup>+</sup> /kg)		
												K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
계분100%(대조구)	6.51 <sup>e</sup>	5.99 <sup>b</sup>	24.79 <sup>d</sup>	71.09 <sup>de</sup>	28.91 <sup>bc</sup>	75.21 <sup>b</sup>	39.21 <sup>de</sup>	3.68 <sup>a</sup>	10.78 <sup>b</sup>	896.55 <sup>abcd</sup>	22.55 <sup>d</sup>	21.66 <sup>a</sup>	11.01 <sup>b</sup>	3.71 <sup>ab</sup>
계분+톱밥	7.31 <sup>cd</sup>	3.57 <sup>de</sup>	32.34 <sup>b</sup>	73.38 <sup>c</sup>	26.62 <sup>d</sup>	67.66 <sup>d</sup>	40.24 <sup>bc</sup>	2.92 <sup>b</sup>	14.09 <sup>a</sup>	885.95 <sup>cd</sup>	36.01 <sup>a</sup>	18.80 <sup>bc</sup>	11.45 <sup>b</sup>	3.65 <sup>ab</sup>
계분+쌀겨	7.95 <sup>ab</sup>	4.08 <sup>cd</sup>	37.81 <sup>a</sup>	74.79 <sup>b</sup>	25.21 <sup>e</sup>	62.19 <sup>e</sup>	40.54 <sup>b</sup>	2.99 <sup>b</sup>	13.94 <sup>ab</sup>	872.46 <sup>cd</sup>	30.39 <sup>bc</sup>	17.75 <sup>c</sup>	11.11 <sup>b</sup>	3.14 <sup>b</sup>
계분+커피박	6.77 <sup>de</sup>	3.53 <sup>de</sup>	36.95 <sup>a</sup>	71.58 <sup>d</sup>	28.42 <sup>c</sup>	63.05 <sup>e</sup>	39.11 <sup>de</sup>	2.53 <sup>b</sup>	15.85 <sup>a</sup>	894.30 <sup>bcd</sup>	29.65 <sup>bc</sup>	16.24 <sup>c</sup>	10.61 <sup>b</sup>	3.07 <sup>b</sup>
계분+맥주박	7.32 <sup>cd</sup>	3.25 <sup>e</sup>	27.88 <sup>c</sup>	79.19 <sup>a</sup>	20.81 <sup>f</sup>	72.12 <sup>c</sup>	43.51 <sup>a</sup>	2.89 <sup>b</sup>	15.11 <sup>a</sup>	964.46 <sup>ab</sup>	26.30 <sup>cd</sup>	21.55 <sup>ab</sup>	12.01 <sup>b</sup>	3.17 <sup>b</sup>
계분+낙엽	7.50 <sup>bc</sup>	2.61 <sup>f</sup>	37.25 <sup>a</sup>	70.29 <sup>de</sup>	29.71 <sup>bc</sup>	62.75 <sup>e</sup>	38.47 <sup>e</sup>	2.58 <sup>b</sup>	15.21 <sup>a</sup>	880.47 <sup>cd</sup>	36.04 <sup>a</sup>	22.98 <sup>a</sup>	11.85 <sup>b</sup>	3.68 <sup>ab</sup>
계분+잔디예초물	8.27 <sup>a</sup>	3.90 <sup>cd</sup>	37.44 <sup>a</sup>	71.59 <sup>d</sup>	28.41 <sup>c</sup>	62.56 <sup>e</sup>	39.24 <sup>cde</sup>	2.76 <sup>b</sup>	14.25 <sup>a</sup>	969.31 <sup>a</sup>	23.23 <sup>d</sup>	24.27 <sup>a</sup>	11.80 <sup>b</sup>	3.45 <sup>b</sup>
계분+버섯폐배지	8.12 <sup>a</sup>	4.20 <sup>c</sup>	25.44 <sup>d</sup>	70.09 <sup>e</sup>	29.91 <sup>b</sup>	74.56 <sup>b</sup>	39.65 <sup>bcd</sup>	3.09 <sup>ab</sup>	12.85 <sup>ab</sup>	942.04 <sup>abc</sup>	24.88 <sup>d</sup>	21.49 <sup>ab</sup>	11.84 <sup>b</sup>	4.29 <sup>a</sup>
계분+채소찌꺼기	7.87 <sup>abc</sup>	6.86 <sup>a</sup>	22.16 <sup>e</sup>	62.43 <sup>f</sup>	37.57 <sup>a</sup>	77.84 <sup>a</sup>	34.19 <sup>f</sup>	2.65 <sup>b</sup>	12.90 <sup>ab</sup>	890.46 <sup>bcd</sup>	33.86 <sup>ab</sup>	22.44 <sup>a</sup>	11.64 <sup>b</sup>	3.48 <sup>b</sup>
계분+벼짚	7.85 <sup>abc</sup>	4.42 <sup>c</sup>	31.20 <sup>b</sup>	70.76 <sup>de</sup>	29.24 <sup>bc</sup>	68.80 <sup>d</sup>	38.97 <sup>de</sup>	2.84 <sup>b</sup>	13.77 <sup>ab</sup>	859.77 <sup>d</sup>	30.19 <sup>bc</sup>	23.39 <sup>a</sup>	14.05 <sup>a</sup>	3.72 <sup>ab</sup>
L.S.D (p≤0.05)	0.57	0.61	1.37	1.36	1.36	1.37	1.02	0.64	3.26	74.36	4.54	2.79	1.41	0.69

EC: 전기전도도, TS: 총 고형분, VS: 휘발성 고형분, FS: 고정고형분, WC, 수분함량, TC: 총 탄소함량, TN: 전질소함량, C/N: 탄질 율, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 유효인산함량, CEC: 양이온 치환능력, Ex. cations: 치환성 양이온 함량

pH는 6.51–8.27의 범위였다. 전기전도도(EC)는 2.61–6.86의 범위로, 계분+채소찌꺼기에서 6.86으로 높았다. 총 고형분 함량(TS)은 계분+커피박이 36.95%로 가장 높았고, 휘발성 고형분(VS)계분+맥주박이 79.19%로 유의하게 높았다. 고정 고형분(FS)은 계분+채소찌꺼기가 37.57%로 유의하게 높았다. 총 탄소함량(TC)은 계분+맥주박이 43.51%로 높았다. 전질소함량(TN)은 2.53–3.68%의 범위를 나타내었고, 유효인산함량은 859.8–969.3ppm의 범위였다. 양분보전능(CEC)은 22.55–36.04의 범위였다.

라) 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율  
 생육기간 중 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율을 나타낸 것이 표 12이다.

표 12. 먹이의 유기물 감소율과 무기화율 및 지렁이 체조직으로 유기물 전환율과 전환효율

계분+ 유기성자원	RD (%)	MR (%)	CR (%)	CE (%)
계분100%(대조구)	0.92 <sup>e</sup>	12.63 <sup>e</sup>	0.01 <sup>e</sup>	-2.27 <sup>d</sup>
계분+툽밥	1.53 <sup>e</sup>	16.83 <sup>cd</sup>	0.05 <sup>bcd</sup>	3.88 <sup>a</sup>
계분+쌀겨	13.71 <sup>a</sup>	21.10 <sup>ab</sup>	0.04 <sup>cd</sup>	1.63 <sup>bc</sup>
계분+커피박	11.15 <sup>ab</sup>	21.97 <sup>a</sup>	0.04 <sup>d</sup>	2.14 <sup>b</sup>
계분+맥주박	8.99 <sup>bcd</sup>	18.52 <sup>abc</sup>	0.05 <sup>ab</sup>	1.40 <sup>bc</sup>
계분+낙엽	11.08 <sup>ab</sup>	17.95 <sup>bc</sup>	0.04 <sup>d</sup>	1.35 <sup>bc</sup>
계분+잔디예초물	7.03 <sup>d</sup>	21.09 <sup>ab</sup>	0.05 <sup>bc</sup>	1.04 <sup>c</sup>
계분+버섯폐배지	7.88 <sup>cd</sup>	14.02 <sup>de</sup>	0.05 <sup>ab</sup>	1.61 <sup>bc</sup>
계분+채소찌꺼기	9.77 <sup>bcd</sup>	19.32 <sup>abc</sup>	0.06 <sup>a</sup>	1.32 <sup>c</sup>
계분+땃짚	9.97 <sup>bc</sup>	17.58 <sup>bcd</sup>	0.05 <sup>bcd</sup>	1.26 <sup>c</sup>
L.S.D(P≤0.05)	2.89	3.73	0.00	0.81

RD: 생육기간 중 유기물 감소율, MR: 지렁이에 의한 무기화율,  
 CR: 체조직으로의 유기물 전환율, CE:체조직으로의 유기물 전환효율

생육기간 중 유기물 감소율(RD)은 계분+쌀겨에서 13.71로 높았고, 무기화율(MR)은



계분+커피박이 21.97로 높았다. 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 계분+채소찌꺼기가 0.06으로 유의하게 높았고, 전환효율(CE)은 계분+톱밥에서 3.88로 유의하게 높았다.

일반적으로 가축분은 수분함량이 높고, 탄질비가 낮아서(표1, 5, 9), 발효가 지연되고, 양분분해에 따른 악취발생 위험이 높다. 따라서 수분함량을 조절하여 먹이 중의 공극량과 총 탄소함량을 증가시켜 탄질율을 조절할 수 있는 수분조절제와의 혼합을 통하여(Grcial와 Fragoso, 2003; 이, 1995; 이 등, 2005; 이와 김, 2006), 지렁이의 생육에 알맞은 먹이의 이화학적 특성이 요구된다(Curry, 1976; Hartenstein 등, 1979).

본 실험에서는 수분조절제의 역할과 총 탄소함량의 증가를 통한 탄질 율 향상을 위하여 식물성 유기성 자원인, 톱밥, 왕겨, 커피박, 맥주박, 잔디 예초물, 낙엽, 채소찌꺼기, 볏짚, 쌀겨, 버섯폐배지를 가축분과 50:50의 비율로 혼합하여 발효시켰을 때, 먹이와 분변토의 이화학적 특성, 지렁이 생육과 체조직으로의 유기물 전환율, 전환효율에 미치는 영향을 조사하여 가축분의 종류에 따른 적정 먹이조합을 규명하려고 하였다.

우분 혼합처리 구에서 증체량은 휘발성 고형분 함량이 높았던 우분+커피박에서 유의하게 높았고, 총 탄소함량이 높았던 우분+낙엽, 우분+잔디 예초물에서 증식효율이 유의하게 높았다(표 2). 또한 체조직으로의 유기물 전환율은 우분+커피박, 우분+낙엽에서 0.05로 높았고, 전환효율은 우분+낙엽 7.60, 우분+잔디 예초물에서 9.34로 높았다(표 4).

돈분 혼합처리 구에서는 먹이 중에 휘발성 고형분, 총 탄소함량이 높았던 돈분+커피박에서 증체량과 증식효율 및 분변토 생산량이 많았다(표 6), 또한 체조직으로의 유기물 전환율은 돈분+커피박에서 0.59, 전환효율이 6.66으로 가장 높았다(표 8).

계분 혼합 처리구에서는 휘발성 고형분과 총 탄소함량이 높았던 계분+맥주박에서 계분+맥주박에서 증체량, 증식효율이 높았고, 계분+커피박에서도 증체량과 증식효율이 다른 처리구보다 높았다(표 10).

이상의 결과를 종합하면, 먹이 중의 휘발성 고형분 함량과 총 탄소함량이 높았던 먹이조건에서 증체량, 증식효율이 높았다는 것을 의미한다. 이와 김(2006)은 휘발성 고형분 함량이 높은 먹이조건에서 지렁이 생육이 좋았고, 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율이 높았다고 보고하여 본 실험의 결과와 일치한다.

### 3. 지렁이 체강 액의 성분 분석과 이용

#### 가. 목적

생물농약과 식물체의 생육촉진 물질로서 지렁이 체액의 이용가능성과 동물성 단백질 자원으로서 worm cake의 이용가능성을 평가하였다.

#### 나. 재료 및 방법

##### 1) 지렁이 체강 액의 성분분석

가) 공시지렁이: 줄 지렁이(*Eisenia foetida* L.)

나) 성분분석방법

(1) 체강 액 추출기(3kg 용량); 지렁이 체강 액 추출기(발명특허 제 0191993)

(2) 성분분석: 체강 액(yellow fraction과 red fraction)과 Worm cake

(3) 용매 및 추출온도: 물을 용매로 사용하여 70-80°C에서 30분간 추출

##### 2) Worm cake의 사료가치

가) 건물 중: 건조기에서 85°C에서 4일간 건조 후 칭량

나) 조단백질 함량: Kjeldahl 법(전질소함량 x 6.25)

##### 3) 지렁이 체강 액의 *in vitro* 살균활성

가) 주요 식물 병에 대한 방제효과 검증

(1) 벼 도열병: *Pyricularia oryzae* Cavara KJ301 균주를 쌀겨 한천배지(Rice Polish 20g, Dextrose 10g, Agar 15g, 증류수 1 L)에 접종, 25°C 배양기에서 2주간 배양. 병원균이 자란 배지를 Rubber Polishman으로 배지표면을 긁어 기중 균사를 제거하고, 형광등이 켜진 선반(25~28°C)에서 48시간 동안 포자 형성. 병균접종은 형성시킨 분생포자를 살균증류수를 이용, 일정농도의 포자현탁액( $10^6$  포자/ml)을 만든 뒤 벼 도열병에 감수성 인 낙동 벼(2~3엽기)에 흘러내릴 정도로 충분히 분무. 접종된 벼는 습실 상의 암 상태로 24시간 놓아둔 뒤 상대습도 80% 이상, 온도 26°C인 항온 항습실에서 5일간 둔 뒤 병반면적 조사. 병 조사는 3~4엽기 벼의 최상위엽 바로 밑의 완전 전개된 잎에 형성된 병반면적을 대비 표에 준하여 조사.

(2) 벼 잎집무늬마름병: 적당한 양의 밀기울을 1 L 배양 병에 넣고 멸균한 후 AG-1인 *Rhizoctonia solani*를 접종한 후 25°C 배양기에서 7일간 배양. 병 접종은 배양된 균사덩어리를 적당하게 잘게 마쇄하여 3~4엽기 낙동 벼가 자란 포트에 고르게 접종하여 습실 상(25°C)에서 1일간 배양 후 상대습도 80% 이상인 항온 항습실에서 4

일간 둔 뒤 병 발생 조사. 발병조사는 유묘의 잎집에 발병된 병반 면적 율을 잎집 면적에 대한 병반 면적이 차지하는 비율을 기준, 작성한 이병 면적율 대비 표에 준하여 조사.

(2) 토마토 잿빛 곰팡이 병: *Botrytis cinerea*를 감자한천배지에 접종 25℃항온기 (암 상태)에서 7일간 배양 후 하루에 12시간씩 광암을 교차하면서 다시 7일 동안 배양하여 포자 형성. 병 접종은 배지에 형성된 포자를 Potato dextrose broth로 수확하여 혈구계를 사용, 포자농도를  $10^6$  spore/ml로 만든 후 약제 처리된 오이유묘(1엽기)에 분무 접종. 접종된 토마토 유묘는 20℃ 습실 상(상대습도 95% 이상)에 넣어 5일간 발병 유도시킨 후 병반 면적율 조사.

(3) 토마토 역병: *Phytophthora infestans* KA2 균주를 V-8 juice agar배지에 접종, 20℃항온기(암상타)에서 7일 동안 배양 후 광을 하루에 16시간씩 조사하면서 다시 7일 동안 배양하여 유주자낭을 형성. 병 접종은 형성된 유주자낭을 살균증류수를 첨가하여 수확하고 광학현미경하에서 혈구계로 포자농도 조사,  $10^5$  sporangia/ml 포자현탁액을 만들어 13℃에서 2.5시간 동안 저온 처리하여 유주자를 유출시킨 후 약제 처리된 토마토 유묘(2엽기)에 분무 접종. 병균을 접종한 토마토 유묘는 20℃ 습실 상에서 48시간 습실 처리한 후 20℃ 항온 항습 실(상대습도 95%이상)로 옮겨 3일간 발병시킨 후 병반 면적율 조사.

(4) 밀 녹병: 병원균인 *Puccinia recondita*가 활물 기생균이므로, 실험실에서 식물체에 직접 계대배양하면서 밀 유묘에 형성된 하포자를 접종 원으로 사용. 균주의 약효조사를 위하여 일회용 포트(직경 : 6.5cm)에 5립씩의 밀 종자(품종: 조광)를 파종하여 온실에서 8일간 재배한 일 엽기 밀 유묘에 약제처리를 하고 1일 동안 풍건시킨 후 포자현탁액(포자 0.67 g/L)을 분무 접종. 접종된 밀 유묘는 20℃의 습실 상에서 1일간 습실 처리한 후, 상대 습도 70%인 20℃의 항온항습실로 옮겨서 발병을 유도하고 접종한지 7일 후 병반 면적율 조사.

(5) 보리 흰가루병: 병원균인 *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*가 활물 기생균이므로, 실험실에서 보리유묘로 계대배양하면서 보리유묘에 형성된 포자를 접종원으로 사용. 균주의 약효조사를 위하여 일회용 포트(직경 : 6.5cm)에 5립씩의 보리종자(품종: 동보리)를 파종하여 온실에서 8일간 재배한 일 엽기 보리유묘에 약제처리하고 1일 동안 풍건시킨 후 약제 처리된 보리에 흰가루 병 포자를 털어 접종. 된 보리유묘는 20~23℃, 상대습도 50% 정도의 항온 항습 실에 두어 7일간 발병시킨 후 병반 면적율 조사.

#### 4) 지렁이 체강 액이 상치의 생육에 미치는 영향

- (1) 공시식물: 상치
- (2) 처리방법: 동결건조 된 yellow fraction과 red fraction 300g을 300ml로 만들 후 각 pot에 1ml 처리 후 30일간(4월 6일-5월 7일) 유리온실에서 재배
- (3) 반복: 5반복
- (4) 조사항목: 생체 중, 엽체 중과 근중

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) 지렁이 체강 액의 성분분석

###### 가) 체강 액과 worm cake의 추출효율

지렁이 체강 액 추출기에 지렁이 300g을 넣고 지렁이 통 내부의 온도가 64°C 일 때, 지렁이 통에 증류수 250ml을 넣어 150ml의 회석된 yellow fraction을 얻어서, 60%의 추출효율이었다. 또한 yellow fraction 과정이 끝나면, red fraction이 나오는데, 증류수 550ml를 넣고 480ml의 회석된 red fraction을 얻어서, 87%의 추출효율이었고, yellow와 red fraction 평균 74%의 추출효율이었다.

##### 2) Worm cake의 건물중과 사료가치

###### 가) Worm cake의 건물 중

지렁이 체강 액 추출 후 얻어진 worm cake은 건조기에서 85°C로 4일간 건조한 후 32.9g의 건물 중(10.9% 건물)을 얻었다.

###### 나) Worm cake의 조단백질 함량

Worm cake의 조단백질 함량은 60-65% 범위로 높은 함량을 나타내었다.

##### 3) 식물 병에 대한 방제활성

###### 가) 식물 병에 대한 yellow fraction과 red fraction의 방제활성

식물 병에 대한 yellow fraction과 red fraction의 방제활성 결과는 표 1과 같다.

표 1. 식물 병에 대한 yellow fraction과 red fraction의 방제활성

시료	농도 ( $\mu\text{g/ml}$ )	방제가(%)					
		RCB	RSB	TGM	TLB	WLR	BPM
Yellow fraction	10,000 ppm	72	45	31	0	0	0
Red fraction	10,000 ppm	17	25	0	0	17	0

RCB(Rice Blast, 벼도열병), RSB(Rice Sheath Blight, 벼 잎집무늬마름병), TGM(Tomato Gray Mold, 토마토 잿빛 곰팡이병), TLB(Tomato Late Blight, 토마토 역병), WLR(Wheat Leaf Rust, 밀 줄기녹병), BPM(Bale Powder Mildew, 보리 흰가루 병).

동결 건조된 시료를 7가지 식물병원균에 대한 *in vivo* 살균활성을 조사하였다. Yellow fraction에서 10,000ppm 살포할 때 벼도열병(RCB, rice blast)에 대하여 72%의 방제가를 나타냈으며, 벼 잎집무늬마름병(RSB, rice sheath blight)에 대하여 45%의 방제가를 나타내었다. 토마토 잿빛곰팡이병(TGM, tomato gray mold)은 31%로 나타났다. 그러나 토마토역병(TLB, tomato late blight), 밀녹병(WLR, wheat leaf rust), 보리 흰가루 병(BPM, barley powdery mildew)에 대한 활성은 없는 것으로 나타났다. Red fraction은 전반적으로 활성이 낮거나 없는 것으로 나타났다.

나) 대조약제들의 식물 병에 대한 방제활성

시료	농도 ( $\mu\text{g/ml}$ )	방제가(%)					
		RCB	RSB	TGM	TLB	WLR	BPM
Blasticidin-S	50	100					
	1	87					
Validamycin	50		100				
	5		85				
Fludioxonil	50			100			
	5			92			
Dimethomorph	10				100		
	2				50		
Flusilazole	10					100	
	2					97	
Benomyl	100						97
	1						83

\* 객관적으로 시료의 약효를 비교하기 위하여 기존에 개발사용 중인 살균제의 활성을 검정시료와 함께 조사한 결과

4) 지렁이 체강 액이 상치의 생육에 미치는 영향

	생체 중(g)	엽체 중(g)	근 중(g)
대조구	45.0 <sup>a</sup>	41.5 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>
Red fraction	41.9 <sup>a</sup>	39.3 <sup>a</sup>	2.6 <sup>a</sup>
Yellow fraction	47.4 <sup>a</sup>	43.7 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>
LSD p<0.05	6.93	6.49	1.19

지렁이 체강 액 추출물 처리 구는 대조구의 생체 중, 엽체 중, 근중과는 유의한 차이가 없어서 상치에 대한 생육촉진 효과는 인정되지 않았다.

지렁이 체강 액의 추출효율은 yellow fraction과 red fraction에서 평균 74%의 추출효율을 얻을 수 있었다. Worm cake의 조단백질 함량은 약 60-65%의 범위를 나타내었고, 단백질 자원으로서의 활용 가능성은 높다고 판단된다. Edwards와 Niederer(1988)은 지렁이의 조단백질 함량은 어분과 육분과는 거의 같고, 대두박보다는 높다고 하였는데, 지렁이의 건조방법에 차이에 따라 단백질 함량에 차이가 있다고 하였다. 또한 Sabine(1978)은 생후 36-50일령 자돈에게 지렁이 건조분말, 육분 및 상업용 단백질제제를 급여했을 때, 평균 증체량은 각각 4.36kg, 3.65kg, 4.26kg으로 지렁이 건조분말이 가장 높은 사료효율을 나타내었다고 하였다. 또한 Sugimura 등(1984)은 가금류에 대한 지렁이 건조분말의 급여효과는 어분과 차이가 없었다고 하였다. Stafford와 Tacon(1988)은 무지개 송어사료에 *Eisenia foetida* 건조분말 10%를 첨가하였을 때, 증체효과가 가장 높았다고 보고하였다.

이상의 결과는 가축과 어류의 단백질 자원으로서의 지렁이 단백질의 효용성이 입증되고 있지만, 구리와 같은 중금속 때문에 안전성에 문제가 있다고 판단되어, 안전성이 높은 먹이의 조제와 급여가 중요하다고 판단된다.

지렁이 체강 액 중 yellow fraction 10000ppm에서 벼 도열병은 72%, 벼 잎집무늬마름병은 45%, 토마토 잿빛곰팡이병은 31%의 방제 가를 나타내었고, red fraction 10000ppm에서 벼 도열병 17%, 벼 잎집무늬마름병 25%, 밀 줄기녹병 17%의 방제 가를 나타냈는데(표 1), 10000ppm이상으로 농도를 높일 경우, 방제 가는 더욱 높아질 것으로 기대된다. 앞으로 yellow fraction과 red fraction의 구성성분의 규명과 식물 병에 대한 방제실험이 다각적으로 이루어질 필요성이 있다고 판단된다. 또한 지렁이 체강 액의 상치에 대한 생육효과는 인정되지 않았지만(표 2), 앞으로 두 가지 성분의 혼합 사용 및 시용농도 등에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 4. 지렁이에 의한 구리의 생물적 농축능력 평가

##### 가. 목적

2007년도 국내 가축분뇨발생량은 약 3540만 톤이며, 이 중 돈분뇨 발생량은 1390만 톤으로 전체의 약 39%를 차지한다(농진청, 2008). 우분과 계분은 대부분 재활용이 쉬운 고상(固狀)의 형태이지만, 돈분은 오줌과 혼합된 돈분뇨 상태의 액상상태로 배출되어 고액분리 후, 고상은 퇴비원료로, 액상은 액비형태로 재활용된다. 그러나 돈분 중에는 구리(Cu) 함량이 높아서 그대로 유기질 퇴비의 형태로 경지로 환원 할 경우, 토양 중의 구리함량을 증가시켜 장기적으로 토양오염원으로 작용할 가능성이 매우 높다고 판단된다(Kerr와 McGavin, 1991). 양돈 사료에서 구리(Cu) 첨가수준은 연령, 성별 및 능력에 따라 요구량이 다르며(Nicholson 등, 1999; NRC, 2005), 구리 첨가제로는 일반적으로 Copper sulfate( $CuSO_4$ )를 사용하고 있다(맹 등, 1998). 돈분 중에 구리함량이 높은 것은 돼지의 증체량과 사료이용효율 개선을 목적으로 첨가된 구리가 요구량을 훨씬 초과된 수준으로 급여되는 경우, 체내에서 충분히 이용되지 못하고 배설물로 이행되기 때문이며(Cromwell 등, 1989), 특히 값싼 무기태 구리를 첨가하기 때문에 체내 이용효율이 낮은 것도 원인 중의 하나라고 할 수 있다. 따라서 돈분뇨를 유기자원으로 토양으로 환원하여 재활용하기 위해서는 구리함량을 저하시켜 안전성을 높이는 것이 무엇보다 중요하다.

돈분의 재활용 방법 중에서 지렁이에 의한 퇴비화(vermicomposting)는 구리의 생물적 농축을 통한 구리함량의 저하와 함께 안전성이 높은 분변토 생산이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 돈분은 풍부한 양분을 함유하고 있어 잘 발효될 경우 지렁이의 생육에 좋은 먹이가 되어(Edwards 등, 1985), 높은 증체효과를 얻을 수 있다(Edwards, 1988). 그러나 수분함량이 높고 탄질율이 낮으며 암모니아와 무기염류 함량이 높고 중금속인 구리함량이 높다는 단점을 가지고 있어(Edwards 등, 1988; Wong, 1991), 다양한 전처리를 통하여 이를 극복할 필요가 있다. 또한 지렁이는 중금속의 생물적 농축능력이 높아서(Morgan과 Morgan, 1989; 박 등, 1997), 먹이와 분변토 중의 구리함량을 부산물 퇴비에서 규정하는 허용 규제치(농진청, 2002) 이하로 낮출 경우, 친환경 농자재로서의 효용성이 높을 것으로 판단된다. 이를 위해서는 지렁이에 의한 생물적 농축능력을 활용한 구리함량의 저하와 함께 지렁이 체조직에 축적된 구리를 재활용하는 방법을 강구하는 것이 필요하다고 생각된다.

따라서 본 실험에서는 지렁이 먹이의 종류와 그에 따른 구리함량의 차이 및 구리의 첨가수준을 달리 했을 때, 지렁이의 생육에 미치는 영향을 조사하고, 체조직과 분변토 중의 구리함량을 정량적으로 분석하여 지렁이에 의한 생물적 농축능력을 평가하였다.

나. 재료 및 방법

1). 먹이의 차이가 지렁이 생육과 구리의 생물적 농축능력에 미치는 영향

가) 돈분 슬러지의 이용

- (1) 공시 지렁이: 줄 지렁이(*Eisenia foetida* L.)
- (2) 공시 먹이: 돈분 슬러지(TAO system), 2개월간 발효
- (3) 사육상자: 20 x 20 x 24cm
- (4) 먹이량: 사육상자 당 1.0kg(수분함량 70±5%)
- (5) 사육밀도: 사육상자 당 20마리(평균 생체 중 450mg±0.15)
- (6) 사육기간: 7주간
- (7) 조사간격: 1주
- (8) 반복: 3반복
- (9) 조사항목
  - ① 생육조사: 생존율, 증체량, 증체속도, 난포 수, 분변토 생산량, 잔식량
  - ② 구리함량 분석: 먹이, 체조직, 분변토
  - ③ 먹이와 분변토의 이화학성: pH, EC, TS, VS, FS, TN, TC, C/N, Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Exchangeable cations

나) 톱밥발효 돈분의 이용

- (1) 공시 지렁이: 줄 지렁이(*Eisenia foetida* L.)
- (2) 공시 먹이: 톱밥과 생돈분의 혼합비율(50:50)로 하여 6개월간 발효
- (3) 사육상자: 72 x 72 x 98 mm
- (4) 먹이량: 사육상 당 300g(수분함량 70±5%)
- (5) 사육밀도: 사육상자 당 10마리(730mg±2.5)
- (6) 사육기간: 60일간
- (7) 반복: 3반복
- (8) 조사항목
  - ① 먹이의 이화학적 특성:
  - ② 생육조사: 생존율, 증체량, 증체속도, 난포 수, 산자 수, 분변토 생산량, 잔식량
  - ③ 구리함량 분석: 먹이, 체조직, 분변토
  - ④ 먹이와 분변토의 이화학성: PH, EC, TS, VS, FS, TN, TC, C/N Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 치환성 양이온



## 2) 구리의 첨가수준이 지렁이의 생육과 구리의 농축능력에 미치는 영향

- 1) 공시 지렁이: 줄 지렁이(*Eisenia foetida* L.)
- 2) 공시 먹이(3 종류): 생돈분, 톱밥발효 돈분(50:50), 돈분 + 커피박(50:50)을 4개월간 발효
- 3) 사육상자: 72 x 72 x 98 mm
- 4) 먹이량: 사육상 당 250g(수분함량 60±5%)
- 4) 사육밀도: 사육상 당 15마리(330mg±1.50)
- 5) 사육기간: 6주간
- 6) 구리(CuSO<sub>4</sub>) 첨가(7수준): 0(대조구), 50, 100, 200, 400, 800, 1200(mg/kg)
- 7) 반복: 3반복
- 8) 조사항목
  - ① 지렁이 생육조사: 생존율, 증체량, 증체속도, 난포 수, 산자 수, 분변토 생산량, 잔식량
  - ② 구리함량 분석: 먹이, 체조직, 분변토
  - ③ 먹이와 분변토의 이화학성: pH, EC, TS, VS, FS, TN, TC, C/N, Avail. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 치환성 양이온

### 다 결과 및 고찰

#### 1) 먹이의 차이가 지렁이 생육과 구리의 생물적 농축능력에 미치는 영향

##### (1) 돈분 슬러지의 이용

##### (가) 먹이의 이화학성

공시먹이의 이화학적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 공시먹이의 이화학성

RP (days)	pH	EC (mS/cm)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TN (%)	TC (%)	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ex. cations (cmol <sup>+</sup> /kg)		
												K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
0	7.1	5.0	28.4	52.1	47.9	71.6	0.97	28.9	29.8	677.6	42.35	17.6	2.8	0.26

EC: electrolytic conductivity, TS: total solid, VS:: volatile solids, FS: fixed solid, TN: total nitrogen, TC: total carbon, C/N: carbon/nitrogen ratio, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: available phosphorous and CEC: cation exchange capacity

pH는 7.1, 전기전도도(EC)는 5.0, 휘발성 고형분(VS)은 52.1, 고정 고형분(FS)은 47.9, 전 질소함량(TN)은 0.97, 전탄소 함량(TC)은 28.9, 탄질율(C/N)은 29.8, 유효인산 함량은 677.6ppm, 양분보전능(CEC)은 42.35였고, 치환성 양이온 함량은 칼리가 17.6, 칼슘 2.8, 마그네슘은 0.26을 나타내었다.

(나) 사육기간에 따른 지렁이의 생육결과

사육기간에 따른 지렁이의 생육결과를 나타낸 것이 표 2이다.

표 2. 사육기간에 따른 지렁이의 생육결과

RP (days)	SR(%)	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	IR(mg/hr)	NC	CW(g)	RM(g)	CW(%)
7	100.00 <sup>a</sup>	450.93 <sup>a</sup>	579.10 <sup>g</sup>	0.76 <sup>cd</sup>	2.00 <sup>e</sup>	49.60 <sup>e</sup>	421.31 <sup>a</sup>	10.53 <sup>f</sup>
14	100.00 <sup>a</sup>	451.06 <sup>a</sup>	723.61 <sup>e</sup>	0.81 <sup>c</sup>	5.00 <sup>cd</sup>	58.14 <sup>d</sup>	412.82 <sup>b</sup>	12.34 <sup>e</sup>
21	100.00 <sup>a</sup>	451.52 <sup>a</sup>	752.88 <sup>d</sup>	0.60 <sup>e</sup>	6.00 <sup>c</sup>	70.00 <sup>c</sup>	399.94 <sup>c</sup>	14.90 <sup>d</sup>
28	100.00 <sup>a</sup>	451.08 <sup>a</sup>	707.00 <sup>f</sup>	0.38 <sup>f</sup>	11.00 <sup>b</sup>	81.80 <sup>b</sup>	389.12 <sup>d</sup>	17.37 <sup>bc</sup>
35	100.00 <sup>a</sup>	451.71 <sup>a</sup>	1070.73 <sup>a</sup>	0.74 <sup>d</sup>	11.00 <sup>b</sup>	97.60 <sup>a</sup>	373.34 <sup>e</sup>	20.72 <sup>a</sup>
42	100.00 <sup>a</sup>	451.32 <sup>a</sup>	1058.22 <sup>b</sup>	1.50 <sup>a</sup>	23.00 <sup>a</sup>	83.40 <sup>b</sup>	387.54 <sup>d</sup>	17.71 <sup>b</sup>
47	100.00 <sup>a</sup>	450.78 <sup>a</sup>	909.48 <sup>c</sup>	1.16 <sup>b</sup>	4.00 <sup>d</sup>	80.92 <sup>b</sup>	390.13 <sup>d</sup>	17.18 <sup>c</sup>
L.S.D(p≤0.05)	0.00	1.59	11.76	0.07	1.87	2.91	3.65	0.51

RP: raising period(days) SR: survival rate(%), FW<sub>1</sub>: mean fresh weight of adult worm at initial time (g), FW<sub>2</sub>: mean fresh weight of adult worm at final time(g), IR: increasing rate of adult worm, NC: number of cocoons, CW(g): dry weight of worm casts(g, <2.0mm), CW(%): ratio of worm casts, RM: dry weight of residual matters(g, >2.0mm)

사육기간 중 폐사율이 인정되지 않아 생존율(SR)은 100%였다. 실험 종료 시 평균 생체 중(FW<sub>2</sub>)과 분변토 생산량(CW)은 각각 1,070.7g과 97.6g으로 유의하게 무거웠다. 증체속도(IR)는 42일째에 1.50으로 가장 높았고, 난포 수(NC)도 23개로 유의하게 많았다.

(다) 사육기간에 따른 먹이, 체조직 및 분변토 중의 구리함량의 변화

사육기간에 따른 지렁이 먹이, 체조직 및 분변토 중의 구리함량의 변화를 나타낸 것이 표 3이다.

표 3. 사육기간에 따른 지렁이 먹이, 체조직 및 분변토 중의 구리함량(mg/kg) 변화

RP (days)	먹이	체조직	분변토	먹이의 구리 감소량 ( $t_2-t_1$ )	체조직 축적량 ( $t_2-t_1$ )
0	487.91	15.46	0.00	15.49	6.00
7	472.42	21.46	66.51	34.28	11.57
14	438.14	33.03	61.69	18.92	13.13
21	419.22	46.16	73.24	7.86	9.63
28	411.36	55.79	86.53	5.13	1.90
35	406.23	57.69	106.20	7.54	14.17
42	398.69	71.86	85.94	80.53	10.40
49	318.16	82.26	67.04		
합계				169.75	66.80

사육기간이 경과함에 따라서 먹이 중의 구리함량은 지속적으로 저하하였다. 즉, 실험 개시 시에 487.9mg/kg이었던 것이 49일째에는 318.16mg/kg으로 감소되었다. 사육기간 중에 감소된 먹이 중의 구리함량은 169.8mg/kg이었다. 지렁이 체조직은 사육기간이 경과됨에 따라서 지속적으로 증가하여, 실험 개시시의 15.46mg/kg이 49일째에는 82.26mg/kg으로 약 5.3배 증가하였고, 사육기간 중 체조직으로 축적된 구리함량은 66.80mg/kg이었다. 사육기간 중 먹이의 구리함량에 대한 체조직의 구리 함량은 4.5-25.9%의 범위였고, 분변토 중의 구리 함량은 사육기간의 경과와 함께 일정한 경향은 인정되지 않았지만, 먹이 중의 구리함량에 대한 비율은 14.1-21.6의 범위였다.

(라) 사육기간 중의 분변토의 이화학적 특성

사육기간 중의 분변토의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 4이다.

표 4. 분변토의 이화학적 특성

RP (days)	pH	EC (mS/cm)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TN (%)	TC (%)	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ex. cations (cmol <sup>+</sup> /kg)		
												K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
7	6.6	4.3	28.2	48.9	51.1	71.8	1.76	27.2	15.5	678.2	42.46	19.4	13.9	1.51
14	6.6	4.7	28.4	44.9	55.1	71.6	1.91	25.0	13.1	792.1	43.42	20.4	14.1	1.87
21	6.7	3.6	27.9	46.2	53.8	72.1	1.95	25.7	13.2	798.7	42.02	10.6	13.4	0.84
28	6.6	2.3	28.8	45.5	54.5	71.2	2.00	25.3	12.6	735.7	41.45	14.7	10.6	1.69
35	7.0	2.4	28.0	44.5	55.5	72.0	2.03	24.7	12.2	692.1	40.75	15.2	11.8	1.56
42	7.3	1.5	28.3	46.3	53.7	71.7	2.08	25.7	12.3	683.6	38.60	12.7	10.9	1.83
49	7.4	1.4	28.2	49.7	50.3	71.8	2.14	27.6	12.9	708.6	39.31	14.3	10.9	1.76

RP: raising period(days), EC: electrolytic conductivity, TS: total solid, VS:: volatile solids, FS: fixed solid, TN: total nitrogen,

TC: total carbon, C/N: carbon/nitrogen ratio, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: available phosphorous and CEC: cation exchange capacity

지렁이 사육기간 중의 pH는 6.6에서 7.4까지의 범위였다. 실험개시 시 먹이 중의 전기전도도(EC)는 5.0mS/cm 였지만(표 1), 49일째에는 1.4mS/cm로 저하하였다. 유기물함량(OM)은 44.5-52.1%의 범위였고, 무기물함량은 47.9-55.5%의 범위를 나타내었다. 전 질소함량(TN)은 실험개시 시에는 0.97%였으나(표 1), 49일째에는 2.14%로 증가되었다. 전 탄소 함량은 실험개시 시 28.9%가 사육기간이 경과함에 따라 감소경향이 있었지만 49일에는 27.6%로 증가하였다. 탄질 율(C/N)은 12.2-15.5의 범위였고, 유효인산함량은 678.2-798.7의 범위를 나타내었다. 치환성 양이온에서 칼슘 함량은 실험개시 시 2.8에 불과하였으나(표 1), 사육기간의 경과와 함께 급격히 증가하여 10.6-14.1의 범위를 나타내었고 마그네슘도 같은 경향이었다.

## (2) 톱밥발효 돈분의 이용

### (가) 먹이의 이화학적 특성

공시 먹이의 이화학적 특성은 표 5와 같다.

표 5. 먹이의 이화학적 특성

pH	EC	TS	VS	FS	WC	TN	TC	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CEC	Ex.Cations(cmol <sup>+</sup> /kg)		
	(dm/m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(mg/g)	(cmol <sup>+</sup> /kg)	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>+</sup> +
8.18	2.25	25.23	82.19	17.81	74.77	4.57	1.20	38.25	1222.00	31.74	27.87	8.44	0.63

TS: total solid, VS: volatile solids, FS: fixed solid, WC: water content, TN: total nitrogen, TC: total carbon, C/N: carbon/nitrogen ratio, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: available phosphorus and CEC: cation exchange capacity and Ex. cation: exchangeable cations.

공시먹이의 pH는 8.18, 총고형분 함량(TS)은 25.23이었고 이 중에서 휘발성 고형분(FS)은 82.19%, 고정 고형분은 17.81%로 휘발성 고형분 함량이 높았다. 전 질소함량(TN)은 4.57%, 전 탄소함량(TC)은 1.20, 탄질율(C/N)은 38.25로 약간 높았다. 유효인산 함량은 1222ppm으로 높았고, 양분보전능(CEC)은 31,74였다. 치환성 양이온 함량은 칼리가 27.87로 높았다.

(나) 사육기간에 따른 지렁이의 생육결과

사육기간에 따른 지렁이의 생육결과는 표 6과 같다.

표 6. 사육기간에 따른 지렁이의 생육결과

RP (days)	SR (%)	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	IR (mg/hr)	NC	CW (g)	RM (g)	CW (%)
10	93.33 <sup>a</sup>	730.67 <sup>a</sup>	735.63 <sup>c</sup>	0.02 <sup>c</sup>	3.33 <sup>c</sup>	22.67 <sup>c</sup>	45.07 <sup>a</sup>	33.51 <sup>b</sup>
20	93.33 <sup>a</sup>	731.00 <sup>a</sup>	751.83 <sup>b</sup>	0.04 <sup>b</sup>	16.67 <sup>a</sup>	24.27 <sup>c</sup>	40.83 <sup>b</sup>	37.32 <sup>b</sup>
30	86.67 <sup>a</sup>	732.33 <sup>a</sup>	805.93 <sup>a</sup>	0.10 <sup>a</sup>	10.33 <sup>b</sup>	29.90 <sup>b</sup>	33.43 <sup>c</sup>	47.25 <sup>a</sup>
40	73.33 <sup>b</sup>	730.00 <sup>a</sup>	745.61 <sup>b</sup>	0.02 <sup>c</sup>	10.67 <sup>b</sup>	30.92 <sup>b</sup>	32.32 <sup>c</sup>	48.65 <sup>a</sup>
50	63.33 <sup>b</sup>	730.33 <sup>a</sup>	732.17 <sup>c</sup>	0.00 <sup>c</sup>	10.00 <sup>b</sup>	34.32 <sup>a</sup>	28.12 <sup>c</sup>	50.86 <sup>a</sup>
60	46.67 <sup>c</sup>	730.00 <sup>a</sup>	683.00 <sup>d</sup>	-0.03 <sup>d</sup>	9.33 <sup>b</sup>	34.47 <sup>a</sup>	27.07 <sup>c</sup>	50.52 <sup>a</sup>
L.S.D(p≤0.05)	10.27	2.81	8.35	0.02	2.97	3.13	4.11	4.99

RP; raising period(days) SR; survival rate(%), FW<sub>1</sub>: mean fresh weight of adult worm at initial time (g),FW<sub>2</sub>: mean fresh weight of adult worm at final time(g), IR: increasing rate of adult worm, NC: number of cocoons, CW(g): dry weight of worm casts(g, <2.0mm), CW(%): ratio of worm casts, RM: dry weight of residual matters(g, >2.0mm)

생존율(SR)은 사육기간 10일째에서 99.3%가 60일에는 46.7%로 저하되었다. 평균 생체중(FW<sub>2</sub>)은 30일까지 증가되어 805.9mg을 나타낸 후, 저하하였다. 증체속도는 30일째에서 0.10으로 유의하게 높았고, 난포 수(NC)는 20일에서 16.67로 유의하게 많았다. 분변토 생산량(CW)은 50일과 60일째에서 각각 34.32와 34.47로 유의하게 많았고, 분변토 비율도 높았다. 잔식량(RM)은 사육기간의 경과와 함께 감소되었다.

(다) 사육기간에 따른 지렁이 먹이, 체조직 및 분변토 중의 구리함량의 변화

사육기간에 따른 지렁이 먹이, 체조직 및 분변토 중의 구리함량의 변화는 표 7과 같다.



표 7. 사육기간에 따른 지렁이 먹이, 체조직 및 분변 중의 구리함량(mg/kg)의 변화

RP (days)	먹이	체조직	분변토	먹이 중 구리 감소량 ( $t_2-t_1$ )	체조직으로의 농축량 ( $t_2-t_1$ )
0	256.84	14.07	-	11.71	7.67
10	245.13	21.74	75.94	25.18	15.52
20	219.95	37.26	76.21	15.47	8.02
30	204.48	45.28	81.75	11.95	8.63
40	192.53	53.91	80.06	10.67	1.50
50	181.86	55.41	81.27	9.84	5.38
60	172.02	60.79	82.33		
합계				84.82	46.72

사육기간이 경과됨에 따라 먹이 중의 구리함량은 지속적으로 저하하여, 실험 개시시의 256.6mg/kg이 60일째는 172.0mg/kg으로 감소되었고, 사육기간 중 감소된 먹이 중의 총 구리함량은 84.8mg/kg이었다.

지렁이 체조직의 구리함량은 사육기간이 경과됨에 따라 증가되었다. 즉, 실험 개시시의 지렁이 체조직의 구리함량은 14.1mg/kg이었으나, 60일째에는 60.8mg/kg로 약 4.3배 증가되었고, 사육기간 중 지렁이 체조직으로 축적된 총 구리함량은 46.7mg/kg이었다.

먹이 중의 구리함량에 대한 체조직의 구리함량의 비율은 8.8-35.3%의 범위를 나타내어 사육기간의 경과와 함께 증가되었다. 또한 분변토 중의 구리함량은 10일째에 75.9mg/kg이 60일째는 82.3mg/kg으로 사육기간의 경과와 함께 약간씩 증가되었다. 먹이 중의 구리함량에 대한 분변토의 구리함량의 비율은 31.0-47.9%의 범위를 나타내어, 먹이 중의 구리함량이 감소함에 따라서 분변토 중의 구리함량의 비율은 증가되었다.

(라) 사육기간 중 분변토의 이화학적 특성

사육기간 중 분변토의 이화학적 특성은 표 8과 같다.

표 8. 사육기간 중 분변토의 이화학적 특성

RP (days)	pH	EC (dm/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TN (%)	TC (%)	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/g)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ex.Cations(cmol <sup>+</sup> /kg)		
												K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>+</sup>
10	8.69	1.76	25.53	88.99	11.01	74.47	4.94	1.46	34.03	1118.92	37.72	28.30	8.15	1.35
20	8.63	1.72	25.40	84.12	15.88	74.60	4.67	1.65	28.26	1111.28	32.48	26.44	8.68	1.32
30	8.58	1.78	25.57	85.38	14.62	74.43	4.74	1.71	27.82	1069.72	33.44	26.01	8.48	1.35
40	8.63	1.75	25.40	85.11	14.89	74.60	4.73	1.71	27.72	1011.17	35.68	25.62	8.31	1.35
50	8.50	1.81	25.26	79.92	20.08	74.74	4.44	1.80	24.65	927.82	33.43	26.28	9.12	1.41
60	8.46	1.87	25.62	78.76	21.24	74.38	4.38	1.83	23.95	897.28	35.14	29.24	8.67	1.93

RP; raising period (days), TS: total solid, VS:: volatile solids, FS: fixed solid, WC: water content, TN: total nitrogen, TC: total carbon, C/N: carbon/nitrogen ratio, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: available phosphorous and CEC: cation exchange capacity and Ex. cation: exchangeable cations.

pH는 60일까지의 사육기간 중 8.46-8.69의 범위로 추이하였다. 전기전도도(EC)는 1.72-1.87의 범위로, 실험 개시시의 2.25보다 감소되었다(표 5). 총 고형분(TS)은 25.26-25.62의 범위로 큰 변화가 없었고, 휘발성 고형분(VS)은 사육기간이 경과함에 따라 감소하는 경향이었으나, 고형 고정분(FS)과 총 탄소함량(TC)은 증가하는 경향이였다. 전 질소함량(TN)은 4.38-4.94%의 범위였고, 탄질 율(C/N)은 사육기간이 경과함에 따라서 34.03에서 23.95로 저하하였다. 유효인산 함량은 사육기간이 경과함에 따라서 감소하였고, 양분보전능(CEC)은 332.48-37.72의 범위였다.

## 2). 구리의 첨가수준에 따른 지렁이에 의한 생물학적 농축

### (1) 먹이의 이화학적 특성

실험 전 먹이의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 9이다.

표 9. 먹이의 이화학적 특성

처리 구	pH	이화학적							
		EC (mS/cm)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
돈분	6.1	5.6	40.2	71.5	28.5	59.8	42.1	4.4	9.9
돈분+ 100% 돈분+	6.8	1.4	30.7	81.3	18.7	69.3	45.2	6.4	7.0
돈분+ 툽밥 돈분+	6.4	1.9	29.1	84.6	15.4	70.9	47.0	4.7	10.0
커피박									

pH는 6.1-6.8 범위로서 약 알칼리성이었다. 전기전도도(EC)는 돈분 100%구가 5.6으로 높았지만 돈분+툽밥, 돈분+커피박 처리구에서는 각각 1.4와 1.9로 낮았다. 총 고형분(TS)은 돈분 100%구가 40.2%가 가장 높았고, 돈분+툽밥 처리구가 30.7, 돈분+커피박은 29.1이었다. 휘발성 고형분(VS)과 총 탄소함량(TC)은 돈분+커피박 처리구가 각각 84.6%와 47.0%로 가장 높았다. 전 질소함량(TN)은 돈분+툽밥 처리구가 6.4%로 가장 높았고, 탄질 율(C/N)은 7.0-10.0의 범위로 낮았다.

### (2) 먹이 종류 별 구리의 첨가수준에 따른 지렁이의 생육결과

먹이 종류 별 구리의 첨가수준에 따른 지렁이의 생육결과는 표 10과 같다.

표 10. 먹이 종류 별 구리의 첨가수준에 따른 생육결과

먹이종류	구리함량(ppm)	SR(%)	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	IR(mg/hr)	NC	CW(g)	RM(g)	CW(%)
돈분 100%	0	48.89 <sup>a</sup>	333.69 <sup>a</sup>	363.44 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	25.97 <sup>a</sup>	54.13 <sup>b</sup>	32.38 <sup>a</sup>
	50	46.67 <sup>a</sup>	333.16 <sup>a</sup>	348.81 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	19.40 <sup>ab</sup>	61.80 <sup>ab</sup>	23.95 <sup>b</sup>
	100	44.44 <sup>a</sup>	333.02 <sup>a</sup>	328.38 <sup>ab</sup>	0.00 <sup>ab</sup>	1 <sup>a</sup>	20.73 <sup>ab</sup>	62.73 <sup>ab</sup>	24.87 <sup>ab</sup>
	200	28.89 <sup>a</sup>	333.24 <sup>a</sup>	376.52 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	21.53 <sup>ab</sup>	60.40 <sup>ab</sup>	26.35 <sup>ab</sup>
	400	31.11 <sup>a</sup>	333.71 <sup>a</sup>	231.75 <sup>b</sup>	-0.10 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	16.43 <sup>b</sup>	68.13 <sup>a</sup>	19.47 <sup>b</sup>
	800	4.44 <sup>b</sup>	333.58 <sup>a</sup>	100.00 <sup>c</sup>	-0.23 <sup>c</sup>	0 <sup>b</sup>	18.93 <sup>ab</sup>	62.67 <sup>ab</sup>	22.91 <sup>b</sup>
	1200	4.44 <sup>b</sup>	333.18 <sup>a</sup>	100.00 <sup>c</sup>	-0.23 <sup>c</sup>	0 <sup>b</sup>	20.23 <sup>ab</sup>	61.23 <sup>ab</sup>	24.74 <sup>ab</sup>
L.S.D(p≤0.05)		22.46	1.11	98.56	0.09	0.00	7.30	8.79	8.20
돈분+ 툽밥	0	82.22 <sup>a</sup>	332.91 <sup>a</sup>	352.52 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	20.00 <sup>a</sup>	12.00 <sup>ab</sup>	44.53 <sup>ab</sup>	21.09 <sup>ab</sup>
	50	42.22 <sup>bc</sup>	332.73 <sup>a</sup>	382.02 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	7.33 <sup>bc</sup>	18.90 <sup>a</sup>	43.23 <sup>ab</sup>	30.63 <sup>a</sup>
	100	75.56 <sup>a</sup>	332.53 <sup>a</sup>	391.02 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	8.67 <sup>b</sup>	13.37 <sup>ab</sup>	43.47 <sup>ab</sup>	23.66 <sup>ab</sup>
	200	60.00 <sup>ab</sup>	332.56 <sup>a</sup>	364.26 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	1.00 <sup>c</sup>	16.33 <sup>ab</sup>	41.07 <sup>b</sup>	28.59 <sup>ab</sup>
	400	60.00 <sup>ab</sup>	332.42 <sup>a</sup>	275.20 <sup>b</sup>	-0.06 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>	9.93 <sup>b</sup>	46.27 <sup>ab</sup>	16.93 <sup>b</sup>
	800	31.11 <sup>cd</sup>	332.42 <sup>a</sup>	251.11 <sup>b</sup>	-0.08 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>	11.27 <sup>b</sup>	47.40 <sup>ab</sup>	19.20 <sup>ab</sup>
	1200	8.89 <sup>d</sup>	332.07 <sup>a</sup>	233.33 <sup>b</sup>	-0.10 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>	10.13 <sup>b</sup>	50.40 <sup>a</sup>	16.79 <sup>b</sup>
L.S.D(p≤0.05)		24.83	1.17	56.96	0.06	7.36	7.60	9.19	13.11
돈분+ 커피박	0	82.22 <sup>a</sup>	333.29 <sup>a</sup>	352.22 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	20.33 <sup>a</sup>	28.33 <sup>a</sup>	65.63 <sup>a</sup>	30.09 <sup>a</sup>
	50	77.78 <sup>a</sup>	333.24 <sup>a</sup>	384.44 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	30.33 <sup>a</sup>	24.00 <sup>ab</sup>	60.83 <sup>ab</sup>	28.33 <sup>a</sup>
	100	46.67 <sup>b</sup>	333.07 <sup>a</sup>	386.06 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	17.00 <sup>ab</sup>	23.97 <sup>ab</sup>	58.10 <sup>b</sup>	29.21 <sup>a</sup>
	200	35.56 <sup>bc</sup>	333.31 <sup>a</sup>	400.87 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	15.00 <sup>ab</sup>	20.33 <sup>bc</sup>	66.77 <sup>a</sup>	23.05 <sup>b</sup>
	400	22.22 <sup>c</sup>	333.07 <sup>a</sup>	342.38 <sup>b</sup>	0.01 <sup>b</sup>	1.33 <sup>b</sup>	15.00 <sup>cd</sup>	66.10 <sup>a</sup>	18.33 <sup>c</sup>
	800	24.44 <sup>bc</sup>	332.69 <sup>a</sup>	248.33 <sup>c</sup>	-0.08 <sup>c</sup>	1.00 <sup>b</sup>	10.60 <sup>d</sup>	60.33 <sup>ab</sup>	14.97 <sup>cd</sup>
	1200	13.33 <sup>c</sup>	333.38 <sup>a</sup>	240.22 <sup>c</sup>	-0.09 <sup>c</sup>	0.33 <sup>b</sup>	10.43 <sup>d</sup>	62.57 <sup>ab</sup>	14.33 <sup>d</sup>
L.S.D(p≤0.05)		23.68	1.27	23.46	0.23	16.83	5.68	9.69	3.76

SR: survival rate(%), FW<sub>1</sub>: mean fresh weight of adult worm at initial time(g), FW<sub>2</sub>: mean fresh weight of adult worm at final time(g), IR: increasing rate of adult worm, NC: number of cocoons, CW(g): dry weight of worm casts(g,<2.0 mm), CW(%): ratios of worm casts, RM: dry weight of residual matters(g.>2.0)

생존율(SR)은 돈분 100% 처리구와 돈분+톱밥 처리구는 400ppm까지 유의한 차이가 인정되었다. 즉, 돈분 100%처리구에서 31.1-48.9%, 돈분+톱밥 처리구에서 60-82.2%의 범위로서 돈분+톱밥 처리구에서 높았고, 800ppm 이상에서는 급격히 저하하였다. 돈분+커피박에서는 50ppm까지 유의한 차이가 인정되었다. 즉, 대조구가 82.2%, 50ppm에서 85.2%의 높은 생존율을 나타내었다. 그러나 100ppm 이상에서는 50% 이하의 생존율을 나타내었다. 증체량(FW<sub>2</sub>)과 증체속도(IR)는 모든 처리구에서 200ppm까지 증가하였고, 난포수(NC)에서는 돈분 100%구가 100ppm, 돈분+톱밥 처리구는 대조구, 돈분+커피박 처리구에서는 200ppm까지 증가하였다. 또한 분변토 생산량(CW)은 돈분 100%구와 돈분+톱밥 처리구에서 200ppm까지, 돈분+커피박 처리구에서는 100ppm까지 증가하였다. 잔식량(RM)은 모든 처리구의 첨가수준에서 일정한 경향이 인정되지 않았다.

(3) 먹이 종류 별 구리의 첨가수준에 따른 지렁이 체조직과 분변토의 구리함량

먹이 종류 별 구리의 첨가수준에 따른 지렁이 체조직과 분변토의 구리함량을 나타낸 것이 표 11이다.

표 11. 구리의 첨가수준에 따른 먹이 종류 별 지렁이 체조직과 분변토의 구리함량

처리구	구리 첨가수준 (ppm)	체조직의 구리 축적량(mg/kg)	분변토의 구리 함량(mg/kg)
돈분100%	0	25.7	31.3.
	50	29.7	47.8
	100	75.3	62.6
	200	70.8	94.2
	400	136.5	214.1
	800	101.5	314.5.
	1200	94.6	639.7
돈분+톱밥	0	36.6	16.4
	50	49.6	35.4
	100	187.7	63.7
	200	189.2	111.5
	400	247.2	193.7
	800	271.9	341.8
	1200	224.5	452.2
돈분+커피박	0	23.8	39.3
	50	77.8	46.6
	100	99.0	71.3
	200	300.9	90.1
	400	341.4	167.6
	800	330.7	362.4
	1200	293.5	437.2

먹이 종류 별 구리 첨가수준에 따른 지렁이 체조직으로의 축적량은 돈분 100%구와 돈분+커피박 처리구에서 각각 400ppm까지 증가하였다가 감소하는 경향이었고, 돈분+톱밥 처리구에서는 800ppm까지 증가한 후 저하하는 경향이였다(그림 1). 지렁이 체조직으로의 구리의 최대 축적량은 돈분 100%구와 돈분+커피박 처리구가400ppm에서 각각 136.5mg/kg과 341.4mg/kg이었고, 돈분+톱밥 처리구는 800ppm에서 271.9mg/kg이었다. 그러나 분변토의 구리함량은 모든 처리구에서 1200ppm까지 직선적으로 증가하여, 돈분 100%구에서 639.7mg/kg, 돈분+톱밥 처리구는 452.2mg/kg, 돈분+커피박 처리구는 437.2mg/kg의 최고함량을 나타내었다.

(4) 먹이종류별 지렁이 체조직으로의 최대 구리 축적량의 추정

표 11의 결과를 인용하여 먹이종류별 체조직으로의 최대 구리 축적량을 추정한 것이 그림 1이다.

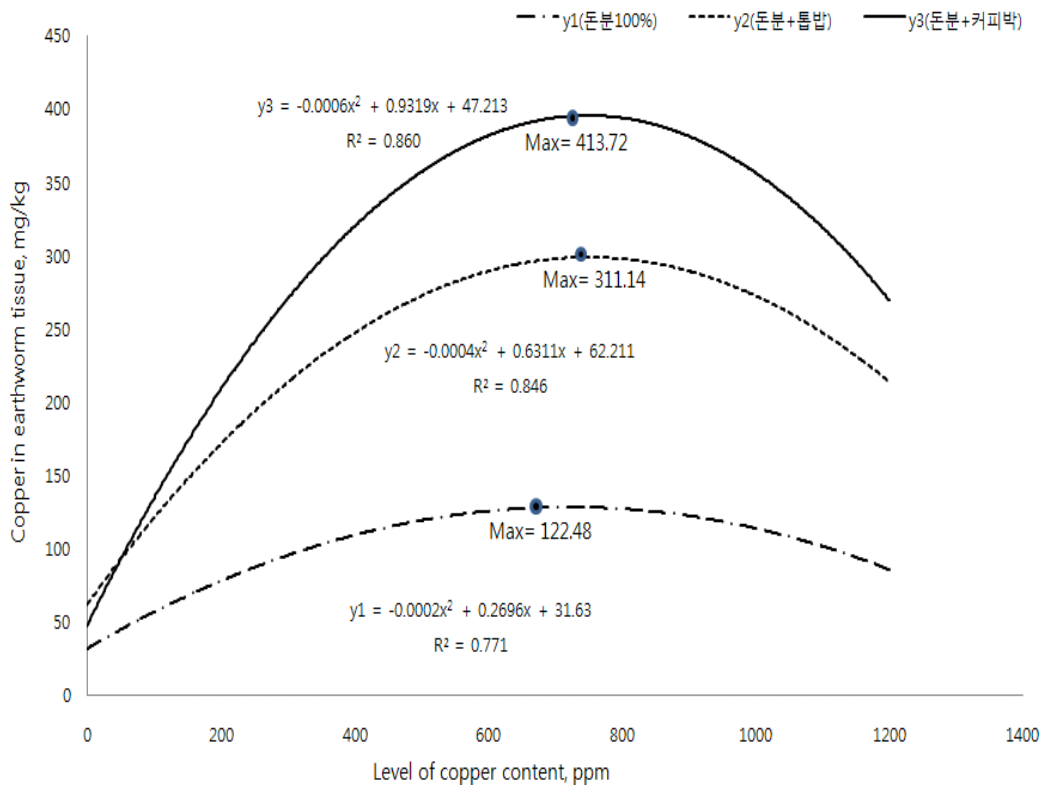


그림 1. 먹이종류별 지렁이 체조직으로의 최대 구리 축적량

돈분 100%구에서 지렁이 체조직으로의 최대 구리 축적량은 122.48ppm, 돈분+톱밥 처리구는 311.14ppm, 그리고 돈분+커피박 처리구는 413.72로 추정되었다.

(5) 먹이 종류 별 지렁이의 생존율과 체조직 및 분변토의 구리함량과의 관계

먹이 종류 별 지렁이의 생존율과 체조직 및 분변토의 구리함량과의 관계는 표 12와 같다.

표 12. 먹이 종류별 지렁이의 생존율과 체조직 및 분변토의 구리함량과의 상관관계

	먹이종류	체조직	분변토
생존율	돈분 100%	-0.621	-0.873*
	돈분+툽밥	-0.425	-0.849*
	돈분+커피박	-0.915**	-0.770*

\*, 5% 수준, \*\*, 1% 수준

돈분 100% 구와 돈분+툽밥 처리구의 생존율은 분변토의 구리함량과 5% 수준의 부(-)의 상관이었다.

돈분+커피박 처리구의 생존율은 지렁이 체조직과 분변토 구리함량과는 각각 1%와 5% 수준의 부(-)의 상관을 나타내었다.

(6) 분변토의 이화학적 특성

먹이의 종류 별 구리의 첨가수준에 따른 분변토의 이화학 특성을 분석한 결과는 표 13과 같다.

표 13. 먹이의 종류 별 구리의 첨가수준에 따른 분변토의 이화학성

먹이종류	구리함량 (ppm)	pH	EC (mS/cm)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	TC (%)	TN (%)	C/N	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex.cations(cmol+/kg)		
											K+	Ca++	Mg++
돈분 100%	0	5.4	4.3	29.43	75.2	24.8	41.78	1.52	27.50	675.7	15.1	8	1.4
	50	5.5	4.7	29.42	60.9	39.1	33.83	1.47	23.02	691.3	16.5	7.8	1.2
	100	5.4	3.6	29.24	63.9	36.1	35.50	1.74	20.37	726.0	15.1	6.5	1.2
	200	5.3	4.3	30.64	67.6	32.4	37.56	1.58	23.84	675.3	15.6	5.9	1.5
	400	5.3	4.4	29.43	67.0	33.0	37.22	1.57	23.65	662.1	14.1	5.3	1.6
	800	5.2	4.5	29.37	62.1	37.9	34.50	1.66	20.80	669.9	17.4	4.7	1.2
	1200	5.6	4.3	28.73	65.7	34.3	36.50	1.60	22.77	669.9	18.4	4.5	1.1
돈분+ 톱밥	0	6.5	3.1	27.68	75.4	24.6	41.89	1.33	31.50	823.0	14.3	4.3	1.6
	50	6.9	3.3	24.88	73.0	27.0	40.56	1.79	22.67	781.0	15.7	5.4	1.9
	100	6.5	2.9	25.44	76.6	23.4	42.56	1.91	22.29	621.5	15.8	3.8	1.2
	200	6.4	3.1	25.78	76.6	23.4	42.56	1.93	22.11	600.5	16.4	4.2	0.9
	400	6.2	3.2	25.00	82.6	17.4	45.89	2.07	22.12	506.5	17.3	5.6	0.7
	800	5.6	3.5	26.29	81.9	18.1	45.50	2.07	22.02	477.3	18.5	4.7	1.1
	1200	5.5	3.1	28.93	83.0	17.0	46.11	1.97	23.46	536.5	18.3	5.8	0.8
돈분+ 커피	0	6.6	3.2	24.76	70.2	29.8	39.00	1.37	28.57	713.3	17.4	3.9	1.7
	50	6.4	2.6	25.83	66.2	33.8	36.78	1.81	20.32	581.0	18.5	4.6	1.3
	100	6.3	2.7	24.53	61.7	38.3	34.28	1.87	18.33	817.8	18.9	4.5	1.6
	200	6.0	2.8	31.81	69.2	30.8	38.44	1.93	19.92	547.3	19.2	3.2	1.3
	400	5.7	2.7	27.49	64.6	35.4	35.89	1.94	18.50	492.5	18.6	3.7	1.8
	800	5.6	2.6	24.56	65.6	34.4	36.44	2.01	18.13	489.7	19.6	3.1	0.9
	1200	5.3	2.6	25.76	63.2	36.8	35.11	2.04	17.21	531.5	20.5	2.9	1.1



분변토의 pH는 모든 처리구에서 5.2-6.9의 범위를 나타내어 강산성-약산성의 범위를 나타내었는데, 특히 돈분 100% 처리구의 pH는 5.2-5.6의 범위로서 강산성을 나타내었다. 전기전도도(EC)는 돈분 100% 처리구가 3.6-4.7의 범위로서 가장 높았고, 돈분+커피 처리구가 2.6-3.2로 가장 낮았다. 먹이 중의 총고형분(TS)은 돈분 100% 처리구에서 54.1-68.1%, 돈분+톱밥 41.1-50.4%, 돈분+커피 58.1-66.8% 범위로, 돈분+커피 처리구가 가장 높았으나, 구리의 첨가수준에 따른 차이는 인정되지 않았다. 휘발성 고형분(VS)은 돈분+톱밥 처리구가 73.0-83.0%로 가장 높았다. 전 탄소함량(TC)은 돈분+커피박 처리구가 가장 낮아서 35.11-39.0%를 나타내었다. 전 질소함량(TN)은 돈분 100%구가 1.47-1.66%, 돈분+톱밥 처리구가 1.33-2.07%, 돈분+커피박 처리구가 1.37-2.04의 범위였다. 탄질율(C/N)은 돈분+커피박 처리구가 가장 낮은 17.21-28.57 범위였다.

유효인산함량은 모든 처리구에서 477.3-823.0ppm의 범위로서 높은 함량이었고, 치환성 양이온 함량은 칼리 함량이 높았다.

일반적으로 돈분 슬러지와 생돈분에서는 구리함량이 높고, 수분조절 제를 혼합한 경우와 생돈분을 장기간 발효시켰을 경우에는 구리함량이 낮아서, 가공형태와 발효기간에 따라서도 돈분 중의 구리함량에 차이가 인정된다. 본 실험에서도 먹이 중의 구리함량은 돈분 슬러지가 487.9mg/kg으로 톱밥발효 돈분 256.8mg/kg보다 약 2배 높았다(3, 7). 돈분 중의 구리함량과 관련하여 Berryman(1971)은 675mg/kg, Fleming과 Mordent, 1991)은 574mg/kg, Kornegay 등(1976)은 8679mg/kg, Menzi와 Kessle(1998)은 71-119mg/kg, Webber와 Webber(1983)는 22-1575mg, 이 등(2005)은 돈분 슬러지에서 806.4mg/kg, 톱밥발효 돈분에서 161.0mg/kg, 이와 김(2006)은 톱밥발효 돈분에서 161.9ppm이었다고 보고하여, 돈분의 종류에 따라서 구리함량의 범위는 매우 넓다.

증체량과 증체속도는 돈분 슬러지에서 35일, 톱밥발효 돈분에서 30일까지 증가하여 유의하게 높은 값을 나타낸 것으로 보아서, 약 30-35일경까지 증체하다가 감소하는 경향이었고, 난포수에서는 돈분 슬러지가 42일에서, 톱밥발효 돈분이 20일에서 유의하게 많았고, 사육기간이 경과함에 따라서 감소되었다(표 2, 6).

Malecki 등(1982)은 먹이 중의 지나친 구리함량은 지렁이의 생육을 저해한다고 하였고, van Rhee(1975)는 구리함량이 높으면 난포생산을 억제하여, 증식효율을 저하시킨다고 한 결과 일치한다.

사육기간 중 먹이의 구리 감소량은 돈분 슬러지가 49일까지 169.8mg/kg, 톱밥발효 돈분은 60일까지 84.82mg/kg으로 먹이 중의 구리함량 높을수록 감소량이 많았다(표 3, 7). 사육기간 중 지렁이 체조직에 축적된 구리함량은 돈분 슬러지가 169.8mg/kg으로 톱밥발효 돈분의 84.8mg/kg보다 2배 정도 축적량이 많았다. 즉, 먹이 중의 구리함량이 많을수록 사육기간 중 지렁이 체조직으로의 축적량이 많아서, 먹이 중

의 감소량도 많아진다는 것을 의미한다. Striet(1984)는 *Octolasia cyaneum* 지렁이의 체조직에 240mg/kg이 축적되었다고 하였고, Bengtsson 등, 1986)은 구리오염토양에서 *Dendrobaena rubida* 종의 난포에는 77-20mg/kg, 어린지렁이 체조직에는 200-300mg/kg의 구리가 축적되었다고 하였다. 특히 돈분 슬러지와 같이 먹이 중의 구리함량이 높을수록 지렁이 체조직으로 구리의 생물적 농축이 이루어져 축적량이 증가한다고 한 Morgan과 Morgan(1988)의 연구결과와도 일치한다.

사육기간 중 먹이의 구리함량에 대한 지렁이 체조직의 비율은 돈분 슬러지가 4.5-25.9%의 범위, 톱밥발효 돈분은 8.8-35.4%의 범위였고, 분변토의 비율은 돈분 슬러지가 14.1-26.1%의 범위, 톱밥발효 돈분은 31.0-47.9% 범위였다(표 3, 7). 본 실험에서 톱밥발효 돈분이 돈분 슬러지보다 구리함량이 낮았지만, 먹이의 구리함량에 대한 체조직과 분변토의 구리함량의 비율이 높았던 것은 낮은 구리농도에서 체조직으로의 생물적 농축과 분변토로의 구리의 이행비율이 높아졌다는 것을 의미한다. 따라서 돈을 먹이로 하여 지렁이를 사육할 경우, 돈분과 휘발성 고형분 함량이 높은 유기성 자원과의 혼합을 통하여 구리함량을 낮추고, 증체율, 증체속도, 체조직으로의 유기물 전환효율을 높여 분변토 생산량을 높이는 것이 중요하다고 생각된다.

또한 먹이 중의 구리함량을 달리한 조건에서 지렁이 체조직으로 생물적 농축능력과 분변토로 배설되는 구리함량의 평가가 필요하다고 생각된다.

구리의 첨가수준에 따른 지렁이의 생육결과는 생존율에서 돈분 100%구와 돈분+톱밥 처리구가 400ppm까지, 돈분+커피박 처리구는 100ppm까지 유의하게 높았고, 증체량과 증체속도는 모든 처리구에서 200ppm까지 유의하게 높았다(표 10). 또한 구리의 첨가수준에 따른 지렁이 체조직과 분변토의 구리함량은 돈분 100% 처리구와 돈분+커피박 처리구의 400ppm 첨가수준에서는 각각 136.5mg/kg과 341.4mg/kg까지 증가하였다가 감소하였고, 돈분+톱밥 처리구의 800ppm 첨가수준에서 271.9mg/kg의 최고 축적량을 나타내어(표 11), 먹이 조건에 따라서 지렁이 체 조직으로의 구리 축적량의 차이가 인정되었다.

먹이조건에 따라서 증체량이 급격히 저하되는 구리의 첨가수준과 지렁이 체 조직으로의 구리 축적량이 최대가 되는 첨가수준이 거의 일치하였는데(표 10, 11), 이는 지렁이 체조직으로의 구리 축적량 최대가 될 때까지는 증체량이 증가하였다가 그 이후에는 급격히 저하한다는 것을 의미한다. 그러나 분변토의 구리함량은 모든 처리구에서 1200ppm까지 직선적으로 증가하여, 지렁이 체 조직으로의 구리 축적량이 최대가 된 이후에도 먹이 중의 구리가 분변토로 배설된다는 것을 입증하고 있다(표 11).

또한 지렁이의 생존율은 돈분+커피박 처리구에서 체조직에 축적된 구리함량과는 1% 수준의 유의한 부(-)상관, 모든 먹이에서 분변토 구리함량과는 5% 수준의 유의한 부(-)의 상관이 인정되어(표 12), 먹이의 종류에 따라서는 지렁이 체조직으로의 구리 축적량의 증가가 생존율을 유의하게 저하시키고, 모든 먹이에서 분변토의 구리함량이

증가될 수 록 생존율이 낮아진다는 것을 의미한다. 따라서 지렁이의 생존율과 증체량에 영향을 미치는 체조직으로의 최대 구리 농축능력을 먹이별로 추정하면(그림 1), 돈분 100%구에서 122.48ppm, 돈분+톱밥 처리구는 311.14ppm, 그리고 돈분+커피박 처리구는 413.72ppm으로, 먹이의 종류에 따라서 체조직으로의 구리의 최대 축적량에 차이가 인정되었다. 본 실험의 결과는 Bengtsson 등(1986)은 *Dendrobaena rubida* 종의 체조직에 1600ppm의 구리가 축적되었다고 보고한 결과보다는 훨씬 낮은 수준이었다.

## 5. 먹이조건이 지렁이 생육 및 유기물의 체조직으로의 전환효율에 미치는 영향

### 가. 목적

지렁이 먹이조건은 생존율과 증식효율에 중요한 요인으로 작용한다(Neuhauser 등, 1984; 이, 1995). 즉, 먹이 중의 pH는 5-9범위이어야 하고(Edwards, 1988), 적정 탄질율에 대해서 渡邊 등(1979)은 20-30 범위, EPA(1980)는 15-30범위, 이(1995)는 적정 탄질율은 25라고 하였다. 황과 조(2005) 전 등(2006)은 탄질율은 먹이의 물리적 성상을 향상시킨다고 하였다. 또한 먹이 중의 휘발성 고형분(volatile solid) 함량은 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율을 높이는데 기여한다(Neuhauser 등 1988; 이와 이, 2002; 이 등, 2005; 이와 김, 2006). 따라서 먹이의 적정 탄질율은 생존율, 증체량 및 증식효율에 영향을 미치며, 휘발성 고형분 함량은 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율에 영향을 미치는 요인이라고 할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 먹이조건의 차이가 체조직으로의 유기물 전환효율에 미치는 영향을 조사하여, 적정 탄질율과 사육밀도를 규명하려고 하였다.

### 나. 재료 및 방법

- 1). 공시지렁이: 줄 지렁이(*Eisenia foetida* L.)
- 2). 공시먹이(7 수준): 우분 100%(대조구), 우분 + 왕겨(1:1, 1:2, 1:3), 우분 + 볏짚(1:1, 1:2, 1:3)을 3개월간 발효
- 3). 지렁이 처리(2 수준): 지렁이 첨가구, 무첨가구
- 4) 사육 상자: 14 x 14 x 16 cm
- 5) 먹이 량: 사육 상자 당 1.0kg 충전(수분함량 65±5%)
- 6) 사육밀도: 사육 상자 당 25마리(평균 개체 중 172mg)
- 7) 사육기간: 7주간
- 8) 반복: 3반복
- 9) 조사항목
  - 가) 먹이와 분변토의 이화학성 분석: 실험 전 혼합비율에 따른 먹이와 실험 종료 후의 분변토
  - 나) 생육조사: 증체량, 증체속도, 분변토 생산량, 증식효율(난포수, 산자수), 유기물 전환율, 전환효율, 무기화율
  - 다) 이화학성 분석: 먹이, 분변토
  - 라) 유기물 감소율, 무기화율, 전환율, 전환효율은 다음 식으로 구하였다.

$$\text{Reduction rate(\%)} = \frac{\text{volatile solids content of final time(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time(mg)}} \times 100$$

$$\text{Mineralization rate(\%)} = \frac{\text{volatile solids content reduced by earthworm(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time}} \times 100$$

$$\text{Conversion rate(\%)} = \frac{\text{mean dry weight of worm tissue of final time(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time(mg)}} \times 100$$

$$\text{Conversion efficiency(\%)} = \frac{\text{increased dry weight of worm tissue of final time(mg)}}{\text{volatile solids content reduced by earthworm(mg)}} \times 100$$

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) 실험 전 먹이의 이화학성 분석 결과

실험 전 먹이의 이화학성을 분석한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 실험전 우분, 우분+ 왕겨 및 우분+ 볏짚의 혼합비율에 따른 이화학적 특성

혼합비율	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
우분 (대조구)	8.5 <sup>a</sup>	0.46 <sup>ab</sup>	35.8 <sup>a</sup>	66.17 <sup>g</sup>	33.83 <sup>a</sup>	64.2 <sup>g</sup>	36.8 <sup>g</sup>	1.9 <sup>a</sup>	19.4 <sup>d</sup>
우+왕 1:1	8.5 <sup>ab</sup>	0.62 <sup>a</sup>	33.7 <sup>d</sup>	71.28 <sup>d</sup>	28.70 <sup>d</sup>	66.3 <sup>d</sup>	39.6 <sup>d</sup>	1.7 <sup>a</sup>	23.3 <sup>c</sup>
우+왕 1:2	8.4 <sup>bc</sup>	0.55 <sup>a</sup>	32.4 <sup>e</sup>	75.97 <sup>b</sup>	24.00 <sup>f</sup>	67.6 <sup>c</sup>	42.2 <sup>b</sup>	1.4 <sup>b</sup>	30.1 <sup>b</sup>
우+왕 1:3	8.3 <sup>c</sup>	0.56 <sup>a</sup>	31.4 <sup>f</sup>	78.64 <sup>a</sup>	21.36 <sup>d</sup>	68.6 <sup>b</sup>	43.7 <sup>a</sup>	1.3 <sup>bc</sup>	33.6 <sup>a</sup>
우+볏 1:1	8.6 <sup>a</sup>	0.44 <sup>abc</sup>	34.3 <sup>c</sup>	67.00 <sup>f</sup>	33.00 <sup>b</sup>	65.7 <sup>e</sup>	37.2 <sup>f</sup>	1.8 <sup>a</sup>	20.7 <sup>cd</sup>
우+볏 1:2	8.6 <sup>a</sup>	0.31 <sup>bc</sup>	34.9 <sup>b</sup>	70.83 <sup>e</sup>	29.2 <sup>c</sup>	65.1 <sup>f</sup>	39.4 <sup>e</sup>	1.4 <sup>b</sup>	28.1 <sup>b</sup>
우+볏 1:3	8.3 <sup>c</sup>	0.28 <sup>c</sup>	31.0 <sup>g</sup>	73.02 <sup>c</sup>	26.98 <sup>e</sup>	69.0 <sup>a</sup>	40.6 <sup>c</sup>	1.2 <sup>c</sup>	33.8 <sup>a</sup>
L.S.D (p≤0.05)	0.16	0.18	0.52	0.29	0.29	0.32	0.19	0.15	3.00

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정 고형분, TN; 전 질소함량, TC; 총 탄소함량, WC; 수분함량, C/N; 탄질 율.

모든 처리구에서 pH는 8.3-8.6의 범위로 약알칼리성을 나타내었다. EC는 우분과 볏짚 혼합구가 0.28-0.44dS/m로 우분과 왕겨 혼합구의 0.56-0.62dS/m 보다 낮았다. 총 고형분(TS)은 우분 100%가 35.8%로 유의하게 높았고, 휘발성 고형분(VS)과 총 탄소함량(TC)은 우분+왕겨 1:3 비율에서 각각 78.64%와 43.7%를 나타내어 다른 처리구보다 유의하게 높았다. 고정 고형분(FS)은 대조구에서 33.8%로 유의하게 높았다. 수분함량은 36.8-43.7%의 범위를 나타내었다. 전 질소함량(TN)은 대조구의 1.9%로 가장 높았다. 탄질율(C/N)은 대조구의 19.4로 가장 낮았고 왕겨와 볏짚의 참가비율이 높을수록 증가하는 경향이였다.

2) 먹이의 혼합비율이 지렁이 생육과 분립생산량에 미치는 영향

먹이의 혼합비율이 지렁이 생육과 분립생산량에 미치는 영향은 표 2와 같다.

표 2. 먹이의 혼합비율이 지렁이의 생육과 분립 생산량에 미치는 영향

혼합비율	성장요소												
	SR (%)	NE	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	DW (mg)	NYE	YW (mg)	IR (mg/hr)	NC	NCW (mg)	CW (g)	RM (g)	CW (%)
우분 100% (대조구)	8.0 <sup>c</sup>	2.0 <sup>c</sup>	169.3 <sup>d</sup>	316.7 <sup>b</sup>	37.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.00 <sup>c</sup>	0.12 <sup>b</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>c</sup>	90.1 <sup>e</sup>	165.2 <sup>ab</sup>	35.3 <sup>d</sup>
우+왕 1:1	48.0 <sup>b</sup>	12.0 <sup>b</sup>	172.0 <sup>c</sup>	405.5 <sup>b</sup>	69.0 <sup>ab</sup>	12.3 <sup>b</sup>	649.7 <sup>b</sup>	0.20 <sup>b</sup>	41.3 <sup>b</sup>	381.7 <sup>b</sup>	158.7 <sup>b</sup>	96.3 <sup>c</sup>	62.2 <sup>b</sup>
우+왕 1:2	73.3 <sup>ab</sup>	18.3 <sup>ab</sup>	172.0 <sup>c</sup>	487.7 <sup>ab</sup>	78.0 <sup>b</sup>	12.7 <sup>b</sup>	656.3 <sup>b</sup>	0.27 <sup>ab</sup>	85.7 <sup>a</sup>	770.7 <sup>a</sup>	187.2 <sup>a</sup>	85.9 <sup>c</sup>	68.5 <sup>a</sup>
우+왕 1:3	82.7 <sup>a</sup>	20.7 <sup>a</sup>	172.0 <sup>c</sup>	694.9 <sup>a</sup>	125.0 <sup>a</sup>	34.3 <sup>a</sup>	1812.7 <sup>a</sup>	0.44 <sup>a</sup>	104.3 <sup>a</sup>	964.0 <sup>a</sup>	171.8 <sup>ab</sup>	82.2 <sup>c</sup>	67.6 <sup>ab</sup>
우+벧 1:1	12.0 <sup>c</sup>	3.0 <sup>c</sup>	176.0 <sup>b</sup>	355.6 <sup>b</sup>	53.0 <sup>bc</sup>	0.7 <sup>c</sup>	36.7 <sup>c</sup>	0.15 <sup>b</sup>	0.0 <sup>c</sup>	0.0 <sup>c</sup>	107.9 <sup>d</sup>	188.8 <sup>a</sup>	36.4 <sup>d</sup>
우+벧: 1:2	10.7 <sup>c</sup>	2.7 <sup>c</sup>	180.0 <sup>a</sup>	386.7 <sup>b</sup>	59.0 <sup>bc</sup>	0.3 <sup>c</sup>	18.0 <sup>c</sup>	0.18 <sup>b</sup>	0.7 <sup>c</sup>	6.5 <sup>c</sup>	101.2 <sup>de</sup>	169.9 <sup>ab</sup>	37.3 <sup>d</sup>
우+벧 1:3	16.0 <sup>c</sup>	4.0 <sup>c</sup>	176.0 <sup>b</sup>	362.8 <sup>b</sup>	52.0 <sup>bc</sup>	2.7 <sup>c</sup>	141.3 <sup>c</sup>	0.16 <sup>b</sup>	5.0 <sup>c</sup>	47.7 <sup>c</sup>	133.3 <sup>c</sup>	157.3 <sup>b</sup>	45.9 <sup>c</sup>
LSD (p≤0.05)	29.95	7.49	1.53	252.55	33.88	6.24	325.25	0.22	23.06	220.75	16.25	25.50	6.16

SR(%): 생존율, NE: 실험 종료 시 지렁이 개체수, FW<sub>1</sub>: 실험 개시 시 평균 생체중(mg), FW<sub>2</sub>: 실험 종료 시 평균 생체중(mg), DW: 실험 종료 후 평균 지렁이 건조중, NYE: 어린 지렁이수, YW: 어린지렁이 생체중(mg), IR: 증체속도, NC: 난포 수, CW: 분변토 생산량 (g, <2.0mm), CW(%): 분변토 비율, RM: 잔식량(g, >2.0)

생존율(SR)은 우분+왕겨 혼합구가 우분+볏짚 혼합구보다 유의하게 높았다. 특히 우분+왕겨 1:2와 1:3 비율에서 생존율은 73.3%와 82.7%로 높았다. 실험종료 시 평균 개체 중(FW<sub>2</sub>)과 건물 중(DW)은 생존율이 높았던 우분+왕겨 1:3 비율에서 각각 694.9mg과 125mg을 나타내어 다른 처리구보다 유의하게 무거웠고, 산자 수(NYE), 생체 중(YW), 도 같은 경향이였다. 또한 증체속도(IR), 난포 수(NC), 난포 중(NCW), 분변토 생산량(CW), 분변토비율(CW %)은 우분+왕겨 1:2와 1:3에서 다른 처리구에 비하여 유의한 차이가 인정되었다.

3) 먹이종류 별 사육기간 중 유기물 감소량, 무기화율, 체조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율  
 먹이종류 별 사육기간 중 유기물 감소량, 무기화율, 체조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율은 표 3과 같다.

표 3. 먹이종류 별 사육기간 중 유기물 감소량, 무기화율, 체조직으로의 유기물 전환율 및 전환 효율

혼합비율	RD (%)	MR (%)	CR (%)	CE (%)
우분 100% (대조구)	16.12 <sup>cd</sup>	9.40 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	-3.41 <sup>cd</sup>
우+왕 1:1	16.69 <sup>cd</sup>	11.61 <sup>a</sup>	0.03 <sup>b</sup>	1.31 <sup>bc</sup>
우+왕 1:2	18.73 <sup>bc</sup>	11.52 <sup>a</sup>	0.03 <sup>b</sup>	3.35 <sup>ab</sup>
우+왕 1:3	18.10 <sup>bc</sup>	12.15 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	7.33 <sup>a</sup>
우+볏 1:1	13.29 <sup>d</sup>	9.85 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	-1.48 <sup>bcd</sup>
우+볏 1:2	23.61 <sup>a</sup>	10.90 <sup>b</sup>	0.03 <sup>b</sup>	-1.21 <sup>bcd</sup>
우+볏 1:3	21.54 <sup>ab</sup>	7.02 <sup>c</sup>	0.02 <sup>b</sup>	-4.50 <sup>d</sup>
L.S.D(P≤0.05)	3.54	8.08	0.01	5.39

RD: 생육기간 중 유기물 감소율, MR: 지렁이에 의한 무기화율, CR: 체조직으로의 유기물 전환율, CE: 체조직으로의 유기물 전환효율

유기물 감소율(RD)은 우분+볏짚 1:2와 1:3에서 각각 23.61과 21.54를 나타내어 유의하게 높았다. 무기화율(MR)은 왕겨혼합구가 11.61-12.15의 범위를 나타내어 다른 처리구보다 유의하게 높았다. 전환율(CR)은 우분+왕겨 1:3 혼합비율에서 0.05로 유의하게 높았고, 전환효율(CE)은 우분+왕겨 1:3에서 7.33, 1:2에서 3.35로 유의하게 높았다.



- 4) 먹이조건과 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율과의 상호관계  
 먹이조건과 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율과의 상호관계는 표 4와 같다.

표 4. 먹이조건과 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율과의 상호관계

	TS	VS	FS	TN	TC	C/N
CR	-0.426	0.794*	-0.793*	-0.447	0.794*	0.533
CE	-0.404	0.767*	-0.767*	-0.288	0.768*	0.390

지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR)과 전환효율(CE)은 휘발성 고정분(FV)과 전 탄소함량(TC)과는 5% 수준의 유의한 정 상관을, 고정 고정분(FS)과는 5% 수준의 부(-)의 상관을 나타내었다.

- 5) 분변토의 이화학적 특성

분변토의 이화학적 특성을 분석한 결과는 표 5와 같다.

표 5. 분변토의 이화학적 특성

treatment	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/g)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ex.Cations(cmol <sup>+</sup> /kg)		
												K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
우분 100% (대조구)	8.42 <sup>ab</sup>	0.55 <sup>c</sup>	29.4 <sup>a</sup>	59.96 <sup>c</sup>	40.04 <sup>a</sup>	70.6 <sup>b</sup>	33.3 <sup>c</sup>	1.8 <sup>a</sup>	18.1 <sup>c</sup>	1047.4 <sup>ab</sup>	36.72 <sup>a</sup>	23.97 <sup>a</sup>	10.85 <sup>b</sup>	1.65 <sup>bc</sup>
우+왕 1:1	8.16 <sup>c</sup>	0.71 <sup>b</sup>	27.8 <sup>ab</sup>	64.99 <sup>b</sup>	35.01 <sup>b</sup>	72.2 <sup>ab</sup>	36.1 <sup>b</sup>	1.6 <sup>b</sup>	23.1 <sup>b</sup>	1119.6 <sup>ab</sup>	38.63 <sup>a</sup>	22.77 <sup>a</sup>	10.84 <sup>b</sup>	1.82 <sup>bc</sup>
우+왕 1:2	8.21 <sup>bc</sup>	0.59 <sup>c</sup>	26.8 <sup>b</sup>	65.37 <sup>ab</sup>	34.63 <sup>bc</sup>	73.2 <sup>a</sup>	36.3 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>c</sup>	28.4 <sup>a</sup>	1298.8 <sup>a</sup>	39.63 <sup>a</sup>	23.30 <sup>a</sup>	12.13 <sup>a</sup>	1.87 <sup>abc</sup>
우+왕 1:3	8.89 <sup>d</sup>	0.58 <sup>c</sup>	26.5 <sup>b</sup>	67.77 <sup>a</sup>	32.56 <sup>c</sup>	73.5 <sup>a</sup>	37.5 <sup>a</sup>	1.4 <sup>c</sup>	27.8 <sup>a</sup>	769.3 <sup>b</sup>	39.47 <sup>a</sup>	19.53 <sup>abc</sup>	12.37 <sup>a</sup>	1.57 <sup>c</sup>
우+벧 1:1	8.48 <sup>a</sup>	0.83 <sup>a</sup>	28.8 <sup>ab</sup>	60.58 <sup>c</sup>	39.42 <sup>a</sup>	71.2 <sup>ab</sup>	33.7 <sup>c</sup>	1.9 <sup>a</sup>	17.9 <sup>c</sup>	906.1 <sup>ab</sup>	37.26 <sup>a</sup>	21.37 <sup>ab</sup>	10.73 <sup>b</sup>	2.27 <sup>a</sup>
우+벧 1:2	8.48 <sup>a</sup>	0.73 <sup>b</sup>	30.1 <sup>a</sup>	58.74 <sup>c</sup>	41.26 <sup>a</sup>	69.9 <sup>b</sup>	32.6 <sup>c</sup>	1.8 <sup>a</sup>	17.7 <sup>c</sup>	1279.1 <sup>a</sup>	38.23 <sup>a</sup>	14.9 <sup>bc</sup>	10.66 <sup>b</sup>	2.25 <sup>a</sup>
우+벧 1:3	8.36 <sup>abc</sup>	0.69 <sup>b</sup>	26.8 <sup>b</sup>	63.49 <sup>b</sup>	36.51 <sup>b</sup>	73.2 <sup>a</sup>	35.3 <sup>b</sup>	1.9 <sup>a</sup>	18.8 <sup>c</sup>	871.9 <sup>b</sup>	37.38 <sup>a</sup>	14.4 <sup>c</sup>	10.63 <sup>b</sup>	2.04 <sup>ab</sup>
L.S.D (p≤0.05)	0.22	0.10	2.53	2.73	2.73	2.53	1.52	0.12	2.53	393.16	6.24	7.08	0.57	0.41

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정 고형분, TN; 전 질소함량, TC; 총 탄소함량, WC; 수분함량, C/N; 탄질 율. Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 유효인산함량, CEC; 양이온 치환능력 Ex.cations; 치환성 양이온 함량

pH는 8.89-9.48의 범위로 약알칼리성을 나타내었다. EC는 0.55-0.73dS/m의 범위였다. 총고형분(TS)은 26.5-30.1%, 휘발성 고형분(VS)은 58.74-67.77, 고정 고형분(FS)은 32.56-41.26%의 범위를 나타내었다.

전질소함량은 1.4-1.9%범위로서 우분+볏짚 혼합구에서 높았다. 총 탄소함량(TC)은 32.6-37.5% 범위였고, 탄질율(C/N)은 우분+왕겨 혼합구가 23.1-27.8의 범위로 우분+볏짚 혼합구의 17.7-18.8보다 높은 경향이었다.

유효인산함량은 769.3-1279.1의 범위였지만, 먹이종류에 따른 일정한 경향은 없었다. 양분보전능(CEC)은 36.72-39.47의 범위였지만, 처리구간에 유의한 차이는 없었다. 치환성 양이온에서 칼리는 우분+볏짚 1:2와 1:3에서 유의하게 낮은 14.9와 14.4를 나타내었다. 칼슘은 우분+왕겨 1:2와 1:3에서 12.13과 12.37로 유의하게 높았고, 마그네슘은 우분+볏짚 혼합구에서 2.04-2.27 범위를 나타내어 유의하게 높았다.

우분에 왕겨와 볏짚을 1:1, 1:2, 1:3의 중량비로 혼합하여 먹이의 탄질율을 변화시켰을 때, 지렁이의 생육과 체조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율을 조사하여, 적정 탄질율을 추정하고, 먹이조건이 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율에 미치는 영향을 규명하려고 하였다.

우분+왕겨 혼합구, 특히 우분+왕겨 1:2와 1:3의 혼합비율에서 거의 모든 성장요인들이 우분+볏짚혼합구보다 유의하게 높았다(표 2). 탄질율은 우분+왕겨, 우분+볏짚혼합구 모두 20-34 범위였지만(표 1), 같은 탄질율의 범위 내에서 생육결과에 차이가 인정된 것은 먹이특성에 기인한다고 생각된다. 즉, 우분에 왕겨를 혼합했을 때 볏짚을 혼합한 처리구에 비하여 휘발성 고형분 함량과 전 탄소함량이 높았고(표 1), 먹이의 물리적 특성도 차이가 있다고 생각된다. 이 등(2005)은 휘발성 고형분 함량이 높은 먹이 조건에서 증체량, 증체속도 및 체조직으로의 유기물 전환효율이 높았다고 하였다, 본 실험에서도 증체속도와 증식효율(난포수)이 높았고(표 2), 휘발성 고형분 함량과 전 탄소 함량은 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율과는 유의한 정상관을 나타내어(표4), 이 등(2005)의 결과와 일치한다. 또한 전 등(2005)은 우분에 왕겨혼합수준이 높아질수록 탄질비도 증가하여 증체량과 증식효율이 높아졌다고 하였고, 이는(1995) 우분의 탄질율이 25일 때 지렁이의 생육이 가장 좋았다고 하였다. 황과 조(2005)는 우분단독보다는 우분에 톱밥을 혼합할 경우, 증체량이 높았는데 이는 먹이의 물리성이 개선되었기 때문이라고 하였는데, 본 실험에서도 왕겨를 혼합하는 것이 먹이중의 물리성을 개선하는데 도움이 되었다고 생각된다.

지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 먹이로 투입된 유기물 중에서 지렁이 체조직으로 전환된 비율을 나타내어, 자연조건의 무기화에 의한 유기물 감소량까지를 포함하는 개념이지만(Neuhauser 등, 1988), 전환효율(CR)은 지렁이 활동에 의하여 감소된 유기물 중에서 체조직으로 전환된 비율을 나타내어 전환율(CR)보다 훨씬 정량적이라고 할 수 있다(이 등, 2005). 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 먹이의 종류, 유기물 함량, 종에 따른 섭취량과 증체속도에 따라 다르고 종에 따라서 4-10%의 범위를 나타내며(Neuhauser 등 1988), 사육밀도와 사육기간에 따라서도 변화된다(이와 이,

2002). 본 실험의 결과 전환율(CR)은 0.02-0.05의 범위를 나타내었지만, 우분+왕겨 1:3 비율에서 유의하게 높았고, 전환효율(CE)에서는 우분+왕겨 1:2와 1:3에서 각각 3.35와 7.33을 나타내어 다른 처리구보다 유의하게 높았다(표 3). 이와 관련하여 이와 이(2002)는 제조직으로의 유기물 전환율은 0.25-0.41%의 범위라고 하였고, 이 등(2005)은 유기물 전환율은 음식물쓰레기+우분 혼합구에서 1.48, 음식물 쓰레기+돈분 혼합구에서 0.57이었다고 하였다. 또한 이와 김(2006)은 유기물 전환율은 3.86-5.64의 범위였다고 보고하여, 먹이조건에 따라서 유기물 전환율은 큰 차이가 있다고 생각된다.

유기물 전환효율(CE)에 대하여 이 등(2005)은 음식물쓰레기와 우분 혼합구에서 전환효율은 2.84였다고 하였다. 또한 이와 김(2006)은 4.61-10.85%의 범위였고, 먹이 중의 유기물 함량이 높은 조건에서 전환효율이 높았다고 하였다.

또한 분변토의 이화학적 특성을 보면(표 5), pH는 8.89-9.48의 범위로 약알칼리성이었고, 유효인산함량은 871.9-1298.8ppm의 범위로 높았고, CEC는 36.72-39.63의 범위를 나타내었고, 치환성 양이온 함량이 모두 높아서(표 5), 토양개량제 또는 상토재로서 유용하게 활용될 수 있다고 판단된다.

이상의 결과를 종합하면, 적정 탄질 율(20-30 범위)에서 휘발성 고형분 함량과 전탄소 함량이 높았던 우분+왕겨 혼합구(표 1)에서 지렁이의 증체량, 증식효율 및 제조직으로의 유기물 전환율, 전환효율이 높았다(표 2, 4).

따라서 지렁이의 먹이를 조제할 경우, 휘발성 고형분 함량과 전탄소 함량이 높은 먹이와의 혼합처리를 통하여 제조직으로의 유기물 전환효율을 증가시켜, 증체속도, 증식효율을 높이는 것이 중요하며(이 등, 2005), 최종산물인 분변토가 친환경 농자재로 안전하게 활용될 수 있는 이화학적 특성의 유지가 중요하다고 판단된다.

## 6. 사육밀도가 지렁이 생육에 미치는 영향

### 가. 목적

양호한 먹이조건과 사육환경은 지렁이의 증체속도를 빠르게 하고, 증식효율을 높이므로 분변토 생산량을 증가시킬 수 있다(이 등, 1992). 특히 사육환경 중, 사육밀도는 개체 간 먹이의 경합정도를 나타내는 단위용적중 당 개체수로서 개체의 사육 공간 크기(개체/cm<sup>3</sup>)와 지렁이 생체중과 먹이량의 비율로 표현되며, 증체량, 증체속도, 증식효율 및 분변토 생산량에 영향을 미친다(Edwards, 1988, Hartenstein, 1983; 이 등 1992; 이 등, 1993; 이, 1995; Domingues와 Edwards, 1997).

따라서 본 실험에서는 먹이 중량과 지렁이 생체중의 비율을 달리 한 사육밀도 조건과, 이에 따라 결정되는 사육공간(cm<sup>3</sup>/마리)의 차이가 지렁이 생육에 미치는 영향을 조사하여, vermicomposting에 알 맞는 적정 사육밀도를 추정하려고 하였다.

### 나. 재료 및 방법

- (1) 공시지렁이: 줄 지렁이(*Eisenia foetida* L.)
- (2) 공시먹이: 한우 분(2개월간 발효)
- (3) 사육 상자: 23 x 32 x 18cm(높이)
- (4) 먹이 량: 사육 상자 당 1.0kg 충전(수분함량 65±5%)
- (5) 먹이의 충전 높이: 8cm
- (6) 지렁이 생체 중(평균 생체 중 300mg±0.05): D-1(125g), D-2(62.5g), D-3(31.3g), D-4(15.6g), D-5(7.8g), D-6(3.9g)
- (7) 지렁이 생체중과 먹이량의 비율(6 수준): D-1(1:8), D-2(1:16), D-3(1:32), D-4(1:64), D-5(1:128), D-6(1:256)
- (8) 지렁이 생체중과 먹이 량 비율에 따른 개체의 생육 공간[(cm<sup>3</sup>)/마리]: D-1(14.2cm<sup>3</sup>), D-2(28.3cm<sup>3</sup>), D-3(56.6cm<sup>3</sup>), D-4(113.2cm<sup>3</sup>), D-5(226.5cm<sup>3</sup>), D-6(453cm<sup>3</sup>)
- (9) 사육기간 및 조사 시기: 30일간. 10일간격 조사
- (10) 반복: 3반복
- (11) 조사항목
  - ① 생육조사: 생존율, 생체 중, 난포수, 분변토 생산량
  - ② 이화학성 분석: 실험 전 먹이, 분변토

### 다. 결 과 및 고찰

(1) 먹이의 이화학적 특성

실험 전 먹이의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 1이다.

표 1. 먹이의 이화학적 특성

먹이	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
우분	8.07	0.62	37.8	66.15	33.85	62.2	36.75	1.44	25.10

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정 고형분, TN; 전 질소함량, TC; 총 탄소함량, WC; 수분함량, C/N; 탄질율.

pH는 8.07, 전기전도도(EC)는 0.62를 나타내었다. 총 고형분(TS)은 37.8% 였고 이 중에서 휘발성 고형분(VS)은 66.15%, 고정 고형분(FS)은 33.85%를 나타내었다. 총 탄소함량(TC)은 36.75%였고, 전 질소함량(TN)은 1.44%, 탄질율(C/N)은 25.10을 나타내었다.

나) 조사시기와 사육밀도에 따른 지렁이의 생육과 분변토 생산량의 변화를 나타낸 것이 표 2이다.

표 2. 조사시기와 사육밀도에 따른 지렁이의 생육과 분립 생산량의 변화

조사 시기	사육밀도 (지렁이: 먹이)	생육요인							
		IW (%)	FW <sub>1</sub> (g)	FW <sub>2</sub> (g)	IR (mg/hr)	NC	CW (g)	RM (g)	CW (%)
10일	D-1	81.55 <sup>c</sup>	125.00 <sup>a</sup>	101.93 <sup>a</sup>	-96.11 <sup>d</sup>	101.0 <sup>a</sup>	307.06 <sup>a</sup>	49.42 <sup>e</sup>	83.81 <sup>a</sup>
	D-2	95.84 <sup>b</sup>	62.50 <sup>b</sup>	59.90 <sup>b</sup>	-10.83 <sup>c</sup>	74.00 <sup>b</sup>	190.74 <sup>b</sup>	174.04 <sup>d</sup>	52.29 <sup>b</sup>
	D-3	114.43 <sup>a</sup>	31.30 <sup>c</sup>	35.82 <sup>c</sup>	18.82 <sup>a</sup>	63.67 <sup>c</sup>	73.00 <sup>c</sup>	275.09 <sup>c</sup>	20.98 <sup>c</sup>
	D-4	100.32 <sup>b</sup>	15.60 <sup>d</sup>	15.65 <sup>d</sup>	0.21 <sup>b</sup>	52.00 <sup>d</sup>	47.32 <sup>d</sup>	319.18 <sup>b</sup>	12.91 <sup>d</sup>
	D-5	97.52 <sup>b</sup>	7.80 <sup>e</sup>	7.61 <sup>e</sup>	-0.79 <sup>b</sup>	18.33 <sup>e</sup>	18.52 <sup>e</sup>	345.97 <sup>a</sup>	5.09 <sup>e</sup>
	D-6	81.20 <sup>c</sup>	3.90 <sup>f</sup>	3.17 <sup>f</sup>	-3.06 <sup>bc</sup>	17.33 <sup>e</sup>	8.90 <sup>e</sup>	352.37 <sup>a</sup>	2.47 <sup>e</sup>
	L.S.D (P≤0.05)	6.62	0.00	2.09	8.72	6.46	8.41	9.61	4.18
20일	D-1	70.37 <sup>d</sup>	125.00 <sup>a</sup>	87.97 <sup>a</sup>	-77.15 <sup>c</sup>	113.00 <sup>a</sup>	335.12 <sup>a</sup>	3.44 <sup>e</sup>	99.02 <sup>a</sup>
	D-2	104.32 <sup>c</sup>	62.50 <sup>b</sup>	65.20 <sup>b</sup>	5.63 <sup>b</sup>	125.33 <sup>a</sup>	313.94 <sup>a</sup>	41.29 <sup>e</sup>	88.38 <sup>a</sup>
	D-3	125.42 <sup>a</sup>	31.30 <sup>c</sup>	39.26 <sup>c</sup>	16.58 <sup>a</sup>	107.67 <sup>a</sup>	159.73 <sup>b</sup>	157.95 <sup>d</sup>	54.91 <sup>b</sup>
	D-4	113.12 <sup>b</sup>	15.60 <sup>d</sup>	17.65 <sup>d</sup>	4.26 <sup>b</sup>	79.67 <sup>b</sup>	102.73 <sup>c</sup>	250.98 <sup>c</sup>	28.01 <sup>c</sup>
	D-5	103.63 <sup>c</sup>	7.80 <sup>e</sup>	8.08 <sup>e</sup>	0.59 <sup>b</sup>	37.67 <sup>c</sup>	44.07 <sup>d</sup>	309.93 <sup>b</sup>	13.30 <sup>d</sup>
	D-6	101.11 <sup>c</sup>	3.90 <sup>f</sup>	3.94 <sup>f</sup>	0.09 <sup>b</sup>	28.67 <sup>c</sup>	18.63 <sup>e</sup>	341.89 <sup>a</sup>	5.76 <sup>e</sup>
	L.S.D (P≤0.05)	6.58	0.00	3.65	7.60	23.64	4.76	9.12	1.24
30일	D-1	55.17 <sup>e</sup>	125.00 <sup>a</sup>	68.97 <sup>a</sup>	-77.82 <sup>d</sup>	104.67 <sup>c</sup>	349.30 <sup>a</sup>	1.34 <sup>e</sup>	99.58 <sup>a</sup>
	D-2	93.60 <sup>d</sup>	62.50 <sup>b</sup>	58.50 <sup>b</sup>	-5.56 <sup>c</sup>	137.33 <sup>b</sup>	351.23 <sup>a</sup>	0.66 <sup>e</sup>	99.79 <sup>a</sup>
	D-3	134.36 <sup>a</sup>	31.30 <sup>c</sup>	43.05 <sup>c</sup>	14.94 <sup>a</sup>	176.67 <sup>a</sup>	318.07 <sup>b</sup>	23.68 <sup>d</sup>	92.50 <sup>b</sup>
	D-4	115.62 <sup>b</sup>	15.60 <sup>d</sup>	18.04 <sup>d</sup>	3.38 <sup>b</sup>	95.67 <sup>c</sup>	143.37 <sup>c</sup>	168.95 <sup>c</sup>	45.05 <sup>c</sup>
	D-5	108.21 <sup>c</sup>	7.80 <sup>e</sup>	8.44 <sup>e</sup>	0.89 <sup>b</sup>	53.67 <sup>d</sup>	71.17 <sup>d</sup>	242.50 <sup>b</sup>	22.10 <sup>d</sup>
	D-6	106.75 <sup>c</sup>	3.90 <sup>f</sup>	4.16 <sup>f</sup>	0.37 <sup>b</sup>	47.33 <sup>d</sup>	34.20 <sup>e</sup>	287.28 <sup>a</sup>	10.47 <sup>e</sup>
	L.S.D (P≤0.05)	3.95	0.00	3.36	4.66	12.87	5.50	10.89	1.90

D-1(1:8), D-2(1:16), D-3(1:32), D-4(1:64), D-5(1:128), D-6(1:256) IW; 증체량, FW<sub>1</sub>: 실험 개시 시 생체 중(g), FW<sub>2</sub>: 실험 종료 시 생체중(g), IR; 증체속도, NC: 난포 수, CW; 분변토 생산량 (g, <2.0mm), CW(%): 분변토 비율, RM; 잔식량(g. >2.0)

조사 시기 10일째에서 지렁이 생체 중( $FW_2$ )은 사육밀도가 가장 높았던 D-1(1:8)에서 101.93g이었지만, D-6(1:256)에서는 3.17g으로 D-6의 약 3%의 생체중에 불과하여 사육밀도가 감소함에 따라 생체중은 급격히 감소되었다. 또한 D-1에서 난포 수(NC)는 101.0개, 분변토 생산량(CW)은 307.06g으로 다른 사육밀도보다 유의하게 많았고, 분변토 비율도 83.81%로 유의하게 많았지만 증체속도(IR)는 -96.11로 가장 낮았다. D-3(1:32)에서 증체속도(IR)는 18.82를 나타내어 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다.

20일째에서 생체 중( $FW_2$ )은 D-1에서 87.97g으로 유의하게 무거웠고, D-6에서는 3.4g으로, D-1의 약 4%에 불과하였다. 증체속도(IR)는 D-3가 16.58로 유의하게 높았지만, D-1에서는 가장 낮은 -77.15를 나타내었다.

난포 수(NC)는 D-1, D-2, D-3에서 107.7-1130의 범위로 유의한 차이는 없었지만, 다른 사육밀도보다 유의하게 많았다. 분변토 생산량(CW)에서는 D-1, D-2에서 각각 335.1g와 313.94g를 나타내어 다른 사육밀도보다 유의하게 많았고, 분변토 비율(CW%)도 같은 경향이였다.

30일째에서 생체 중( $FW_2$ )과 난포 수(NC)는 D-1에서 68.97g과 D-4에서 176.7개로 다른 사육밀도보다 많았다. 분변토 생산량(CW)은 D-1,과 D-2에서 각각 349.3g과 351.2g으로 다른 사육밀도보다 유의하게 많았다.

#### 다) 사육기간 별 사육밀도에 따른 상대 생체중의 변화

사육기간 별 사육밀도에 따른 상대 생체중의 변화를 나타낸 것이 그림 1, 2, 3이다. 사육기간 10일 째의 조사에서 사육밀도에 따른 상대 생체중의 변화를 보면, 지렁이 생체중과 먹이량은 1:25-1:112 비율에서 생체중이 증가되었고(그림 1), 20일 째에서는 1:20-1:128 비율에서(그림 2), 30일째에서는 1:22-1:130 비율의 먹이조건에서 생체중의 증가가 인정되었다(그림 3)..



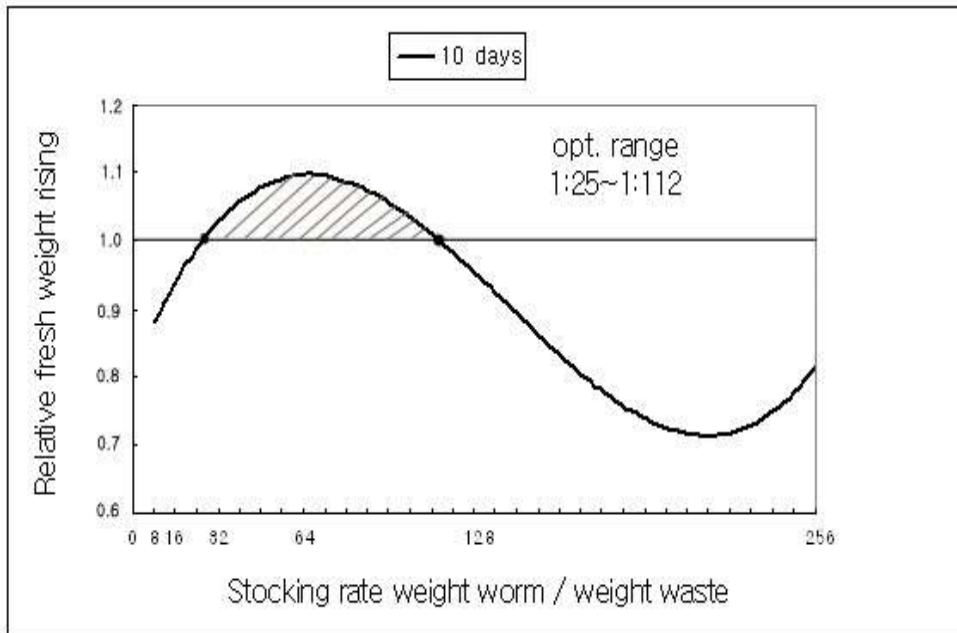


그림. 1 밀도 조건에 따른 상대 생체중의 변화(10일째)

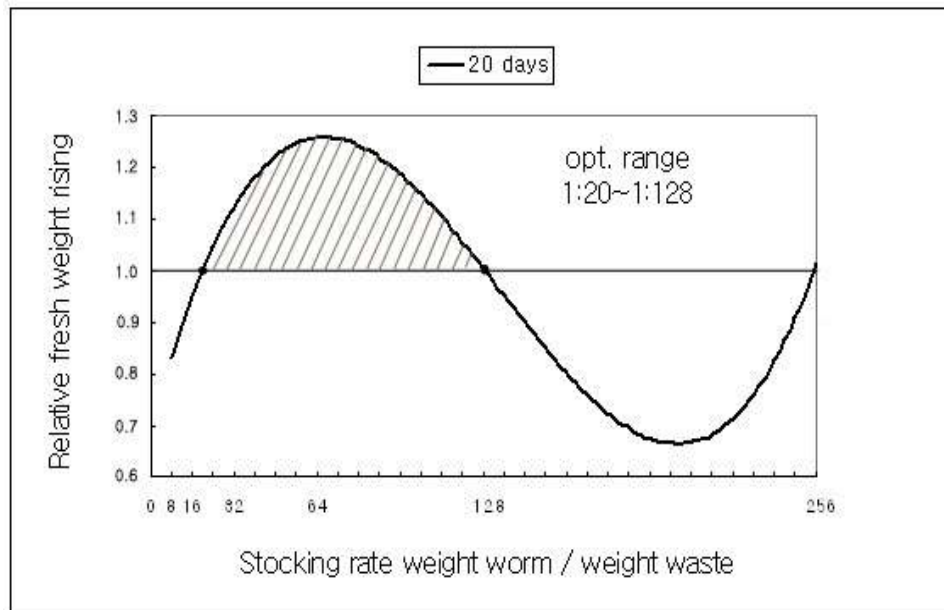


그림. 2 밀도 조건에 따른 상대 생체중의 변화(20일째)

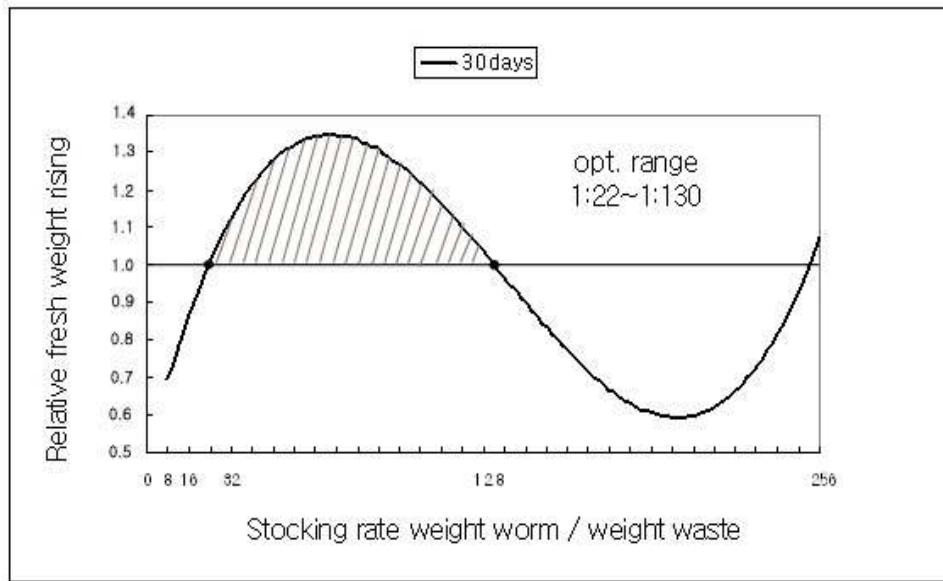


그림. 3 밀도 조건에 따른 상대 생체중의 변화(30일째)

#### 4. 조사시기와 사육밀도에 따른 분변토의 이화학적 특성

조사시기와 사육밀도에 따른 분변토의 이화학적 특성을 나타낸 것이 표 3이다. pH는 사육기간이 경과됨에 따라 낮아지는 경향을 나타내어 30일째는 7.55-8.06의 범위를 나타내었다. 전기전도도(EC), 탄질 율(C/N)은 사육기간과 사육밀도에 따라 일정한 경향이 없었다. 총 고형분(TS)과 휘발성 고형분(FS), 총 탄소함량(TC)은 사육기간이 경과됨에 따라 감소되는 경향이였다. 전 질소함량(TN)은 사육기간이 경과됨에 따라 약간 감소하는 경향이였고, 고정 고형분(FS)과 유효인산함량 및 양분보전능(CEC)은 사육기간이 경과함에 따라 증가되는 경향이였다. 치환 성 양이온 함량에서 마그네슘은 사육기간이 경과됨에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

표 3. 밀도에 따른 분변토의 화학적 조성

조사 시기	사육밀도 (지렁이: 먹이)	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	WC (%)	TC (%)	TN (%)	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/g)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ex.Cations(cmol <sup>+</sup> /kg)		
													K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
10일	D-1	8.23 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>	36.69 <sup>c</sup>	59.26 <sup>c</sup>	40.74 <sup>a</sup>	63.31 <sup>a</sup>	32.92 <sup>d</sup>	1.77 <sup>a</sup>	18.56 <sup>e</sup>	1175.47 <sup>a</sup>	29.32 <sup>a</sup>	1.67 <sup>a</sup>	5.68 <sup>a</sup>	0.33 <sup>c</sup>
	D-2	8.15 <sup>b</sup>	0.59 <sup>d</sup>	37.29 <sup>abc</sup>	63.67 <sup>b</sup>	36.33 <sup>b</sup>	62.71 <sup>abc</sup>	35.37 <sup>c</sup>	1.66 <sup>b</sup>	21.27 <sup>d</sup>	978.33 <sup>b</sup>	27.39 <sup>b</sup>	1.42 <sup>b</sup>	5.01 <sup>d</sup>	0.23 <sup>d</sup>
	D-3	8.12 <sup>b</sup>	0.57 <sup>e</sup>	36.77 <sup>bc</sup>	64.41 <sup>ab</sup>	35.59 <sup>bc</sup>	63.23 <sup>ab</sup>	36.15 <sup>b</sup>	1.65 <sup>b</sup>	21.91 <sup>c</sup>	842.27 <sup>c</sup>	26.14 <sup>c</sup>	1.32 <sup>cd</sup>	4.48 <sup>e</sup>	0.22 <sup>d</sup>
	D-4	8.07 <sup>c</sup>	0.57 <sup>e</sup>	37.74 <sup>a</sup>	63.88 <sup>b</sup>	36.12 <sup>b</sup>	62.26 <sup>c</sup>	36.54 <sup>ab</sup>	1.63 <sup>bc</sup>	22.37 <sup>bc</sup>	830.27 <sup>d</sup>	24.23 <sup>d</sup>	1.38 <sup>bc</sup>	5.22 <sup>c</sup>	0.34 <sup>c</sup>
	D-5	8.05 <sup>c</sup>	0.60 <sup>c</sup>	37.52 <sup>a</sup>	64.47 <sup>ab</sup>	35.53 <sup>bc</sup>	62.48 <sup>c</sup>	36.56 <sup>ab</sup>	1.62 <sup>bc</sup>	22.63 <sup>ab</sup>	764.53 <sup>e</sup>	21.89 <sup>e</sup>	1.25 <sup>d</sup>	5.49 <sup>b</sup>	0.44 <sup>b</sup>
	D-6	7.99 <sup>d</sup>	0.63 <sup>b</sup>	37.33 <sup>ab</sup>	65.09 <sup>a</sup>	34.91 <sup>c</sup>	62.67 <sup>bc</sup>	36.77 <sup>a</sup>	1.58 <sup>c</sup>	23.22 <sup>a</sup>	656.93 <sup>f</sup>	20.48 <sup>f</sup>	0.77 <sup>e</sup>	5.45 <sup>b</sup>	0.49 <sup>a</sup>
	L.S.D(P≤0.05)	0.03	0.01	0.62	0.92	0.92	0.62	0.48	0.05	0.63	29.60	0.86	0.09	0.15	0.03
20일	D-1	8.19 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>	36.11 <sup>b</sup>	57.71 <sup>e</sup>	42.29 <sup>a</sup>	63.89 <sup>a</sup>	32.06 <sup>e</sup>	1.71 <sup>a</sup>	18.75 <sup>d</sup>	1244.87 <sup>a</sup>	31.31 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>	6.44 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>
	D-2	8.10 <sup>b</sup>	0.63 <sup>bc</sup>	36.56 <sup>ab</sup>	61.38 <sup>d</sup>	38.62 <sup>b</sup>	63.44 <sup>ab</sup>	34.10 <sup>d</sup>	1.63 <sup>b</sup>	20.96 <sup>c</sup>	1085.07 <sup>b</sup>	28.09 <sup>b</sup>	1.83 <sup>b</sup>	5.78 <sup>b</sup>	0.39 <sup>c</sup>
	D-3	8.03 <sup>c</sup>	0.62 <sup>bc</sup>	36.97 <sup>a</sup>	62.90 <sup>c</sup>	37.10 <sup>c</sup>	63.03 <sup>b</sup>	34.94 <sup>c</sup>	1.59 <sup>b</sup>	21.93 <sup>b</sup>	971.27 <sup>c</sup>	26.80 <sup>c</sup>	1.49 <sup>c</sup>	4.95 <sup>d</sup>	0.41 <sup>c</sup>
	D-4	7.89 <sup>d</sup>	0.60 <sup>c</sup>	36.47 <sup>ab</sup>	64.15 <sup>b</sup>	35.85 <sup>d</sup>	63.53 <sup>ab</sup>	35.64 <sup>b</sup>	1.60 <sup>b</sup>	22.33 <sup>b</sup>	948.73 <sup>d</sup>	34.36 <sup>d</sup>	1.37 <sup>d</sup>	5.38 <sup>c</sup>	0.47 <sup>b</sup>
	D-5	7.82 <sup>d</sup>	0.62 <sup>bc</sup>	36.68 <sup>ab</sup>	64.94 <sup>ab</sup>	35.06 <sup>de</sup>	63.32 <sup>ab</sup>	36.08 <sup>ab</sup>	1.53 <sup>c</sup>	23.58 <sup>a</sup>	796.73 <sup>e</sup>	23.36 <sup>d</sup>	1.30 <sup>e</sup>	5.51 <sup>c</sup>	0.49 <sup>b</sup>
	D-6	7.85 <sup>d</sup>	0.64 <sup>b</sup>	37.10 <sup>a</sup>	65.22 <sup>a</sup>	34.78 <sup>e</sup>	62.90 <sup>b</sup>	36.42 <sup>a</sup>	1.52 <sup>c</sup>	23.96 <sup>a</sup>	679.67 <sup>f</sup>	21.96 <sup>e</sup>	0.93 <sup>f</sup>	5.50 <sup>c</sup>	0.51 <sup>b</sup>
	L.S.D(P≤0.05)	0.07	0.04	0.73	1.07	1.07	0.73	0.58	0.05	0.69	12.72	1.08	0.07	0.20	0.05
30일	D-1	8.06 <sup>a</sup>	0.79 <sup>a</sup>	33.51 <sup>a</sup>	55.74 <sup>e</sup>	42.26 <sup>a</sup>	66.49 <sup>a</sup>	30.96 <sup>e</sup>	1.69 <sup>a</sup>	18.33 <sup>d</sup>	1249.05 <sup>a</sup>	33.32 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>	6.58 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>
	D-2	7.94 <sup>ab</sup>	0.69 <sup>b</sup>	33.35 <sup>a</sup>	56.84 <sup>d</sup>	43.16 <sup>b</sup>	66.65 <sup>a</sup>	31.58 <sup>d</sup>	1.52 <sup>b</sup>	20.74 <sup>c</sup>	1158.40 <sup>b</sup>	32.75 <sup>a</sup>	1.91 <sup>b</sup>	5.96 <sup>b</sup>	0.57 <sup>bc</sup>
	D-3	7.91 <sup>b</sup>	0.66 <sup>b</sup>	33.62 <sup>a</sup>	58.89 <sup>c</sup>	41.11 <sup>c</sup>	66.38 <sup>a</sup>	32.71 <sup>c</sup>	1.51 <sup>b</sup>	21.63 <sup>c</sup>	1001.22 <sup>c</sup>	30.82 <sup>b</sup>	1.80 <sup>c</sup>	5.40 <sup>d</sup>	0.6 <sup>b</sup>
	D-4	7.55 <sup>c</sup>	0.66 <sup>b</sup>	32.78 <sup>a</sup>	61.91 <sup>b</sup>	38.09 <sup>d</sup>	67.22 <sup>a</sup>	34.39 <sup>b</sup>	1.46 <sup>bc</sup>	23.63 <sup>b</sup>	968.61 <sup>d</sup>	26.60 <sup>c</sup>	1.57 <sup>d</sup>	5.70 <sup>c</sup>	0.67 <sup>a</sup>
	D-5	7.59 <sup>c</sup>	0.67 <sup>b</sup>	32.88 <sup>a</sup>	64.13 <sup>a</sup>	35.87 <sup>e</sup>	67.12 <sup>a</sup>	35.63 <sup>a</sup>	1.40 <sup>c</sup>	25.49 <sup>a</sup>	816.78 <sup>e</sup>	24.04 <sup>d</sup>	1.41 <sup>e</sup>	5.57 <sup>cd</sup>	0.52 <sup>c</sup>
	D-6	7.68 <sup>c</sup>	0.69 <sup>b</sup>	33.13 <sup>a</sup>	63.91 <sup>a</sup>	36.09 <sup>e</sup>	66.87 <sup>a</sup>	35.50 <sup>a</sup>	1.41 <sup>c</sup>	25.24 <sup>a</sup>	680.85 <sup>f</sup>	22.76 <sup>e</sup>	0.97 <sup>f</sup>	5.58 <sup>c</sup>	0.52 <sup>c</sup>
	L.S.D(P≤0.05)	0.15	0.05	1.92	1.04	1.04	1.92	0.58	0.09	1.43	5.03	0.91	0.10	0.18	0.06

EC; 전기전도도, TS; 총 고형분, VS; 휘발성 고형분, FS; 고정 고형분, TN; 전 질소함량, TC; 총 탄소함량, WC; 수분함량, C/N; 탄질 율. Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 유효인산함량, CEC; 양이온 치환능력 Ex.cations; 치환성 양이온 함량

전체 조사시기에서 증체량(FW<sub>2</sub>), 난포수(NC) 및 분변토 생산량(CW)은 사육밀도가 가장 높은 D-1(1:8)에서 가장 많았고, 증체속도(IR)에서는 D-3(1:32)에서 가장 높았다(표 2). 조사시기 별로는 난포 수(NC)와 분립생산량(CW)은 10일째에서 D-1에서 가장 많았지만, 20일째에서는 D-2(1:16)와 유의한 차이가 없었고, 30일째에서는 난포수(NC)는 D-3(1:32)에서 유의하게 높아서 사육기간의 경과와 함께 사육밀도에 따른 생육요인들 간에 따른 차이가 인정되었다(표 2). 이상의 결과는, 본 실험에서 지렁이 생육에 적합한 사육밀도는 D-1(1:8)에서 D-3(1:32)의 범위에 존재한다고 볼 수 있다. 즉, 많은 증체량과 분립생산량 및 난포수를 위해서는 낮은 사육밀도(D-1)가 이상적이지만, 증체속도가 낮다는 단점이 있고, D-3에서는 증체속도가 높고 난포수가 많다는 장점이 있다.

지렁이 생체중과 먹이량의 비율에 대하여 Edwards(1888)는 1:8에서 총 생체량이 많았고, 다음으로 1:16의 비율이었다고 보고하였고, 고 등(1995)은 유기성 슬러지의 처리 효율이 가장 높은 생체중과 먹이량의 비율은 1:15였다고 하였고, Domingues와 Edwards(1997)는 지렁이 생체중과 먹이량의 비율은 1:5.45가 적당하다고 보고하였다. 따라서 Domingues와 Edwards(1997)가 보고한 결과를 제외한 연구결과들은 본 실험에서 얻어진 지렁이 생체중과 먹이량의 적정 비율은 1:8-1:32의 범위 내에 포함되었다(표 2). 그러나 vermicomposting의 효율적 운영을 위해서는 증체속도를 높이는 것이 유리하므로, 개체간의 경쟁이 유발될 수 있는 지렁이 생체중과 먹이량의 비율 유지가 중요하다고 생각된다.

본 실험에서 지렁이 생체중과 먹이량의 비율 1:8-1:32의 범위를 개체 당 사육공간의 크기로 나타내면 14.2-113.2cm<sup>3</sup>/마리의 범위가 된다. 渡邊 등(1979)은 효율적인 vermicomposting 공정을 위한 지렁이 적정 사육밀도는 13.3cm<sup>3</sup>/마리라고 하였고, Hartenstein과 Amico(1983)는 하수슬러지와 토양의 2:1 혼합비율에서 최적 사육밀도는 125cm<sup>3</sup>/마리, 이 등(1993)은 사육밀도 79.8cm<sup>3</sup>/마리의 조건에서 개체의 생존율이 가장 높았다고 하였다.

또한 이 등(1993)은 사육밀도 42.7-128cm<sup>3</sup>/마리 조건에서 증식효율이 높았다고 하였고, 이(1995)는 사육밀도 64.0-128.0cm<sup>3</sup>/마리 조건에서 생존율과 증체속도가 높았지만, 사육밀도가 높아짐에 따라서 증식효율이 낮아졌다고 보고하여, 실험조건에 따라서 13.3-128cm<sup>3</sup>/마리의 범위를 나타내었다.

또한 실험 개시시의 사육밀도에 따른 지렁이 생체중에 대한 각 조사시기의 생체중을 상대 생체중의 변화로 나타내 보면(그림 1-3), 사육기간 10일 째에서는 1:25-1:112의 먹이조건에서, 20일째에는 1:20-1:128, 30일째에서는 1:22-1:130의 먹이조건에 생체중의 증가가 인정되는 것으로 추정되었다.

지렁이 분변토의 이화학성의 변화를 보면(표 3), 사육기간이 경과됨에 따라서 휘발성 고형분 함량(VS)은 감소되는 경향이였지만, 유효인산 함량과 양분보존능(CEC) 함량은 증가되는 경향을 나타내어, 지렁이의 활동에 의하여 분변토의 양분이 증가되었다

는 것을 의미한다. Devliegher와 Vertraete(1997)는 지렁이가 먹이를 섭취하였을 때, 장내에서의 양분증강과정(NEP)과 장 관련과정(GAP)을 통하여 무기양분이 풍부한 분변토를 생산한다고 하였다. 특히 치환성 양이온 함량 중에서 마그네슘 함량의 증가가 뚜렷하였고, 전체적인 이화학성으로 볼 때, 상토 재 또는 토양개량제로서 분변토의 활용 가능성은 매우 높다고 판단된다.

## 7. 지렁이 생육촉진을 위한 미생물 starter 개발과 장내 미생물 분류와 동정

### 가. 사용 미생물과 배양조건

본 실험에 사용한 미생물은 ATCC(American Type Culture Collection)와 KCCM(Korean Culture Center of Microorganisms)으로부터 분양받은 *Clostridium subterminale* ATCC 25774, *Clostridium butyricum* KCCM 35433, *Staphylococcus epidemicus* KCCM 40416, *Klebsiella oxytoca* KCCM 11418, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *pseudoalcaligenes* KCCM 12539, *Streptomyces setonill* KCCM 40359 표준균주를 본 연구의 대조균주로 사용하였다. 이들 균주의 배양은 Brain Heart Infusion medium(Difco, Sparks, MD, USA)을 사용하여 37℃에서 24시간 동안 배양하였다. 혐기성 미생물은 anaerobic system(BD vacutainer, Franklin Lakes, NJ, USA)를 사용하여 30℃에서 48시간동안 배양하였다.

### 나. 지렁이와 먹이원

지렁이 농장(강원도 문막)에서 구입한 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였고, 지렁이 먹이원으로 사용한 우분은 톱밥과 각각 1:1 혼합한 후, 5주 동안 교반, 발효하여 준비하였다.

### 다. 지렁이 장내 미생물 분리 및 동정

지렁이 장내 미생물 분리는 Kim 등(3)의 방법에 따라 수행하였는데, 지렁이(5ea)의 표면을 70% ethanol로 소독하고 화염멸균한 후, anaerobic chamber(Forma scientific Inc., Marietta, OH, USA)내에서 지렁이를 메스로 절개하여 장을 취해 0.01% Tween 80이 함유된 0.85% NaCl에 넣고 현탁하였다. 현탁액 1ml을 취하여 멸균 생리식염수로  $10^{-1} \sim 10^{-6}$ 까지 순차적으로 희석한 후 Brain Heart Infusion(Difco, Sparks, MD, USA) agar plate 에 100 $\mu$ l씩 도말하여 30℃에서 24시간동안 배양하여 호기성 미생물을 분리하였다. 혐기성 미생물의 분리를 위해서는 도말한 BHI agar plate를 anaerobic system Gaspack(BBL, Becton Dickinson, USA)을 이용한 혐기 배양기에서 30℃, 48시간동안 배양하였다. BHI agar plate당 100개 colony 정도가 얻어진 plate의 미생물은 모두 순수분리한 후, 16S rDNA 동정을 하였다.

#### 라. 유기물 분해용 배지제조

지렁이 장내미생물의 유기물 분해능을 조사하기 위한 배지는 우분을 원료로 제조한 cow feces medium을 사용하였다. Cow feces medium 제조는 우분(강원도 귀래면)과 증류수를 1:20 비율로 혼합하여 110°C에서 10분간 열처리를 한 후, 실온에서 수 시간 동안 방치하고 여과망을 이용하여 우분을 제거하였다. 다시 110°C에서 10분간 열처리 한 후, 실온에서 수 시간동안 방치하고 침전물을 filter paper(Whatman, Maidstone, England)로 여과하였다. 그리고 121°C에서 15분간 멸균하여 배지를 제조하였다.

#### 마. 지렁이 장내 미생물의 genomic DNA 추출

지렁이 장을 취하여 0.85% NaCl에 현탁한 상등액을 원심분리(4,000×g / 10min) 한 후, 균체를 취하고 phosphate buffered saline(PBS, pH7.0)으로 균체를 2회 세척하고 cold-PBS에 현탁한 후, DNeasy tissue kit(Qiagen, Valencia, CA, USA)를 사용하여 DNA를 추출하였다. PCR을 수행하기 위해 DNA 시료의 정량과 순도 확인은 Biophotometer(Eppendorf, Hamburg, Germany)로 측정하였다.

#### 바. Polymerase Chain Reaction(PCR) 방법을 이용한 DNA 증폭

추출된 DNA의 16S ribosomal DNA gene 증폭을 위하여 사용한 primer의 염기서열은 Table 1에 제시하였다. PCR 반응시 Takara Perfect Premix(0.4mM dNTP, 0.5units Taq polymerase, 4mM Mg<sup>2+</sup>이 함유된 PCR buffer) 10μl에 DNA template(20μg/ml) 1μl, forward와 reverse primer(1.0μM)를 각각 1μl씩 넣고 나머지는 증류수를 첨가하여 총 부피가 20μl가 되도록 제조하였다. PCR 증폭은 Mastercycler gradient(Eppendorf, Hamburg, Germany)로 수행하였다. PCR 반응은 95°C에서 5분(initial denaturation), 94°C에서 45초(denaturation), 52°C에서 45초(annealing), 72°C에서 1분(extension)을 30cycles 실시하였고, 72°C에서 5분간 최종 extension을 실시하였다. PCR 산물의 존재와 분자량을 확인하기 위해서 1×TAE buffer(40mM Tris-HCl, 40mM acetate, 1.0 mM EDTA)에 2% agarose을 넣고 녹인 후에 ethidium bromide을 첨가하여 gel을 만든 다음, loading하여 100V에서 60분간 전기영동 하였다. 전기영동이 끝난 후 UV-transilluminator (Korea Bio-Tech Co., Korea)를 이용하여 DNA band를 확인하였다.

Table 1. PCR of primers used in this study

Primer <sup>a</sup>	Sequence(5' to 3')	T <sub>m</sub> (°C)	Reference
27f	AGA GTT TGA TCM <sup>b</sup> TGG CTC AG	50.5 °C	(5)
341f	CCT ACG GGA GGC AGC AG	53.6 °C	(2)
518r	ATT ACC GCG GCT GCT GG	56.7 °C	(2)
519r	GW <sup>b</sup> A TTA CCG CGG CK <sup>b</sup> G CTG	61.4 °C	(5)
907r	CCG TCA ATT CM <sup>b</sup> T TTR <sup>b</sup> AGT TT	47.8 °C	(5)
926f	AAA CTY <sup>b</sup> AAA K <sup>b</sup> GA ATT GAC GG	45.6 °C	(5)
1392r	ACG GGC GGT GTG TR <sup>b</sup> C	49.3 °C	(5)
1492r	TAC GGY <sup>b</sup> TAC CTT GTT ACG ACT T	52.1 °C	(5)

<sup>a</sup> F(forward) and R (reverse) indicate the orientation of the primers in relation to the rDNA sequence.

<sup>b</sup> M=C:A, W=A:T, Y=C:T, K=G:T, R=A:G ; all 1:1

GC is a 40-nucleotide GC-rich sequence attached to the 5' end of the primer as described by Walter *et al.*(11).

The GC sequence is 5'-CGC CCG GGG CGC GCC CCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG G-3'.

#### 사. PCR 최적반응 조건 검토

PCR 최적반응 조건을 검토하기 위해 annealing temperature는 46°C, 48°C, 50°C, 52°C, 54°C, 56°C 및 55°C에서 45°C가 될 때까지 1cycle에 1°C씩 감소하는 touchdown PCR 조건으로 수행하였다. 또한 증폭되는 cycle number를 30, 45, 60, 75, 90 cycle의 조건으로 PCR을 각각 수행하였다.

#### 아. Denaturing Gradient Gel Electrophoresis(DGGE)

PCR을 이용하여 증폭된 DNA는 Bio-Rad DCode<sup>TM</sup> Universal Mutation Detection System(Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA)을 이용하여 8% (w/v) polyacrylamide gel(urea와 formamide의 첨가량을 달리한 20-60%의 gradient gel)을 만든 다음, loading하여 60V, 60°C에서 16시간 전기영동 하였다. 전기영동이 끝난 후 GreenStar<sup>TM</sup> Nucleic Acid Staining(1:10,000 dilution)(Bioneer, Seoul, Korea)으로 염색하고 UV-transilluminator(Korea Bio-Tech Co., Korea)를 이용하여 DNA band를



확인하였다. DNA band의 intensity(%)는 Gel-Pro Analyzer software(Media Cybernetics, Inc., Bethesda, MD, USA)로 분석하였다.

#### 자. DNA의 염기서열 분석

16S ribosomal DNA gene sequencing은 다음과 같은 방법으로 행하였다. 분리 미생물의 genomic DNA를 분리한 다음 16S rDNA sequencing에 일반적으로 사용하는 27F와 1492R primer(Table 1)를 사용하여 94°C에서 1분(denaturation), 51°C에서 1분(annealing), 72°C에서 1분 30초(polymerization)간 반응시키는 조건에서 PCR 증폭을 수행하였다. Polyacrylamide gel에서 DNA band의 분리를 확인한 후, 메스를 이용하여 DNA band를 잘라내어 QIAEX II gel extraction kit (QIAGEN, Valencia, CA, USA)를 사용하여 DNA를 elution한 후, 341F와 518R primer를 사용하여 94°C에서 45초(denaturation), 52°C에서 45초(annealing), 72°C에서 1분(polymerization)간 반응시키는 조건에서 PCR 증폭을 수행하였다. 증폭된 산물은 T vector(Invitrogen, Carlsbad, CA, USA)에 결합시킨 후 형질전환 시켰다. T vector sequencing primer를 이용하여 염기서열 결정을 수행하였으며 그 결과는 BLAST search (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) program을 이용하여 GENBANK(NCBI, Bethesda, MD, USA)의 ribosomal DNA gene sequencing과 비교하여 동정하였다.

#### 차. Amylase, lipase, protease, chitosanase 활성측정

지렁이 장에서 분리한 미생물을 cow feces medium에 각각 1%(v/v)씩 접종한 후 30°C에서 24시간동안 배양한 후, 유기물 분해활성을 측정하였다. 유기물 분해 효소활성은 amylase, lipase, protease, chitosanase를 다음에 기술하는 방법에 따라 VERSAmax™ microplate reader(Molecular Devices Co., Sunnyvale, CA, USA)를 사용하여 측정하였다. Amylase activity는 0.1M sodium acetate buffer(pH 6.8)에 녹인 1% 전분용액 0.5ml에 균주배양액 0.1ml을 첨가하여 40°C에서 10분간 반응시킨 후, 0.1N I<sub>2</sub>용액 2ml을 가하여 660nm에서 흡광도를 측정하였다. Lipase activity는 solution A(90mg p-nitrophenyl palmitate(pNPP), 30ml isopropanol) 1ml을 solution B(2g triton X-100, 0.5g gum arabic, 450ml 50mM Tris-HCl(pH8.0)) 9ml에 섞은 기질용액 0.9ml에 균주배양액 0.1ml을 가하여 37°C에서 10분간 반응시킨 후, 410nm에서 흡광도를 측정하였다. Protease activity는 2% casein 1ml에 균주배양액 1ml을 가하여 40°C에서 10분간 반응시킨 후, 0.4M trichloroacetic acid(TCA) 2ml을 가하여 30분 동

안 방지하고 반응액을 여과하여 침전물을 제거하고 여액 0.5ml에 0.4M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>용액 2.5ml을 가하여 혼합한 후, Folin 시약 0.5ml를 가하여 40℃에서 10분간 반응시킨 후, 660nm에서 흡광도를 측정하였다. Chitosanase activity는 0.1M potassium phosphate buffer(pH7.0)에 녹인 1% chitosan 용액 0.5ml에 균주배양액 1ml을 가하여 50℃에서 30분간 반응시킨 후, 100℃에서 10분간 열처리하여 원심분리(15,000rpm, 5min)한 후, 상등액 1ml에 DNS solution(1g dinitrosalicylic acid, 0.2g phenol, 0.05g sodium sulfite, 1g sodium hydroxide, 100ml distilled water) 1ml을 첨가하고 5분 동안 열처리하였다. 그리고 Rochelle salt 0.34ml을 첨가하여 585nm에서 흡광도를 측정하였다.

#### 카. 지렁이 사육촉진을 위한 미생물 종균 선발

지렁이 장내 분리미생물을 cow feces medium에 30℃, 48시간동안 배양한 후, 우분과 톱밥을 교반 발효한 지렁이 먹이원에 10<sup>5</sup> CFU/ml 정도의 단일균주 또는 복합균주로 1%씩 접종하여 지렁이 먹이원 미생물을 조사하였다. 지렁이(10ea)는 2일 동안 절식한 후, 먹이원에 각각 첨가하여 8주 동안 지렁이를 배양한 후, 지렁이 장(5ea)을 취해 미생물 균총을 DGGE 방법을 통하여 16S ribosomal DNA 염기서열 분석과 DNA band의 intensity(%)를 조사하였다.

#### ● 연구수행 내용 및 결과

##### 가. 지렁이 장내 미생물 genomic DNA의 PCR 수행에 적합한 primer 선발

지렁이 미생물 조사를 위한 DGGE 적정 조건을 확립하기 위해서 Kim 등(3)과 Shin 등(4)의 연구에서 지렁이 장내 우점미생물로 보고한 *Staphylococcus epidemicus* KCCM 40416, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *pseudoalcaligenes* KCCM 12539, *Clostridium butyricum* KCCM 35433, *Clostridium subterminale* ATCC 25774, *Klebsiella oxytoca* KCCM 11418 등의 표준균주를 분양받아 본 연구의 대조균주로 사용하였다.

상기 5종의 대조균주 genomic DNA에 대한 PCR 증폭 시 적합한 primer를 선정하기 위해 기존에 보고되어진 지렁이 장내미생물과 토양미생물의 16S rDNA 동정에 사용한 primer(표 1)를 가지고 PCR을 수행하여 얻은 결과는 그림 1과 같다. Fischer 등(1)에 의하면 증폭된 단편이 600bp 이상일 경우, DGGE 수행 시 DNA band의 분리가 잘 이루어지지 않는다고 보고한 바 있다. 따라서 지렁이 장내 미생물 genomic DNA의 PCR 수행에 적합한 primer로 27F와 519R primer, 926F와 1392R primer, 341F와

518R primer를 선정하였다. 그리고 선정된 3종의 forward primer 5' end에 40bp 크기의 GC clamp를 연결한 27F-GC와 519R primer, 926F-GC와 1392R primer, 341F-GC와 518R primer로 각각의 PCR을 수행한 결과(그림 2), 926F-GC와 1392R primer를 이용하여 PCR 수행 시 540bp 크기로 증폭이 되었고, 341F-GC와 518R primer를 이용하여 PCR 수행 시 240bp 크기로 증폭이 되었으나 27F-GC와 519R primer는 적절하지 않은 것으로 판단되었다.

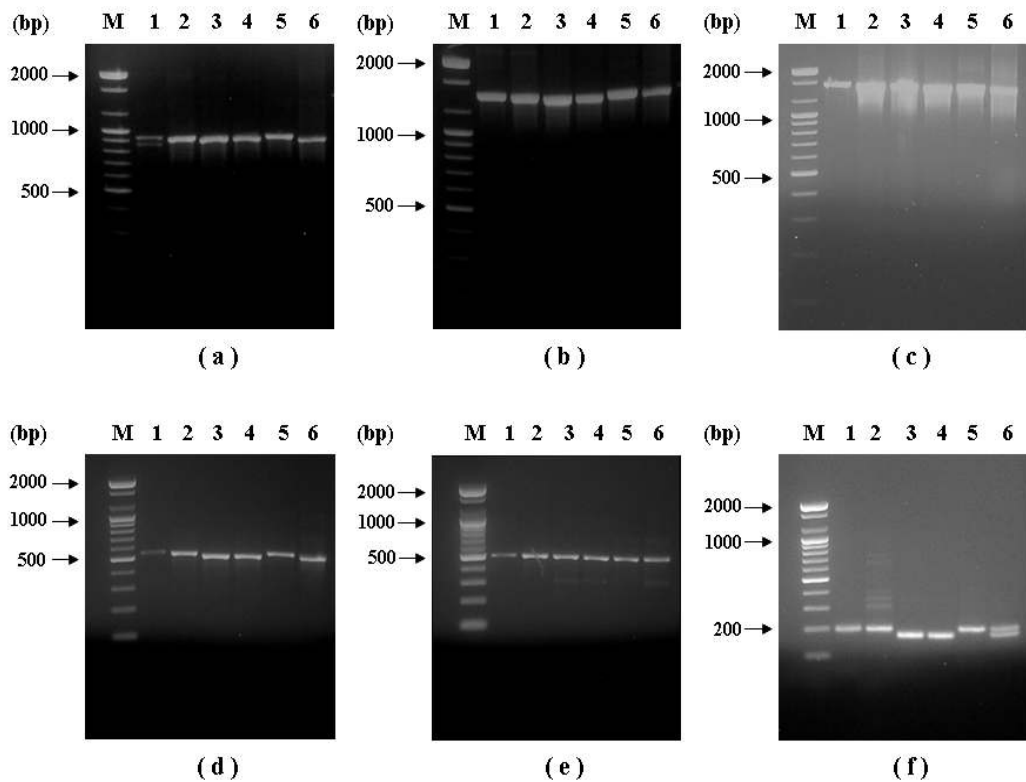


그림 1. Primer를 사용하여 PCR 증폭 후 아가로스 젤 상에서 확인.

a: 27F와 907R. b: 27F와 1392R. c: 27F와 1492R. d: 27F와 519R. e: 926F와 1392R. f: 341F와 518R.

M, 100bp ladder; 1, *Staphylococcus epidemicus* KCCM 40416; 2, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *pseudoalcaligenes* KCCM 12539; 3, *Clostridium butyricum* KCCM 35433; 4, *Clostridium subterminale* ATCC 25774; 5, *Klebsiella oxytoca* KCCM 11418; 6, products amplified from a mixture of genomic DNAs of five strains (1-5).

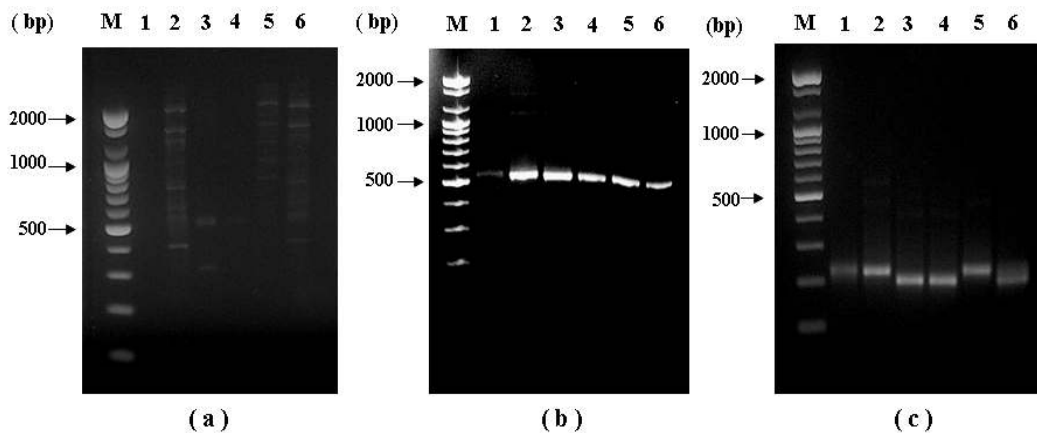


그림 2. GC clamp 부착 primer를 사용하여 PCR 증폭 후 아가로스 젤 상에서 확인.

a: 27F-GC와 519R. b: 926F-GC와 1392R. c: 341F-GC와 518R.

M, 100bp ladder; 1, *Staphylococcus epidemicus* KCCM 40416; 2, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *pseudoalcaligenes* KCCM 12539; 3, *Clostridium butyricum* KCCM 35433; 4, *Clostridium subterminale* ATCC 25774; 5, *Klebsiella oxytoca* KCCM 11418; 6, products amplified from a mixture of genomic DNAs of five strains (1-5).

#### 나. 지렁이 장내미생물로부터 추출 DNA의 증폭

지렁이(*Eisenia foetida*)의 장을 채취하여 0.01% Tween 80이 함유된 0.85% NaCl에 넣고 현탁하였다. 현탁액을 원심 분리하여 균체만을 취한 후, DNeasy tissue kit를 사용하여 DNA를 추출하였다. 이때 지렁이 장에서 추출한 genomic DNA의 농도는 16.6  $\mu\text{g/ml}$ 로 확인되었다. PCR 수행시 적합한 primer로 선정된 27F와 519R primer, 341F와 518R primer, 926F와 1392R primer 및 GC clamp를 연결한 27F-GC와 519R primer, 341F-GC와 518R primer, 926F-GC와 1392R primer로 각각의 PCR을 수행한 결과는 그림 3과 같다. 결과에서 보듯이 PCR 산물이 200bp로 얻어진 primer가 341F-GC와 518R primer이므로 이를 DGGE분석의 최적 primer로 선정하였다.

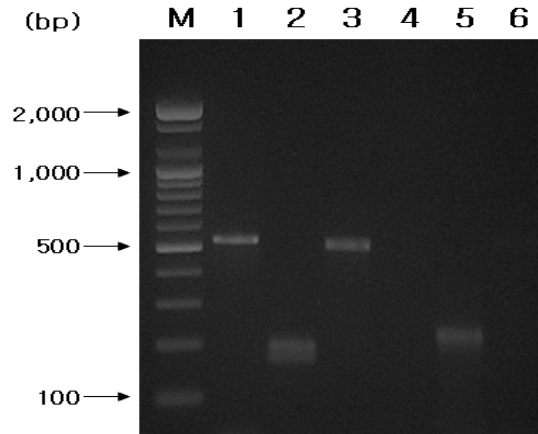


그림 3. 선발한 primer를 이용한 지렁이 장에서 추출한 DNA의 PCR 증폭산물 확인.

M, 100bp ladder; 1, 27F와 519R; 2, 341F와 518R; 3, 926F와 1392R; 4, 27F-GC와 519R; 5, 341F-GC와 518R; 6, 926F-GC와 1392R.

#### 다. PCR 최적반응 조건 검토

PCR 최적반응 조건을 검토하기 위해 지렁이 장내미생물로부터 추출한 DNA template 및 341F-GC와 518R primer를 사용하고 PCR annealing temperature는 46°C, 48°C, 50°C, 52°C, 54°C, 56°C 및 55°C에서 45°C가 될 때까지 1 cycle에 1°C씩 감소하는 touchdown PCR 조건으로 30cycle을 증폭하였다. PCR annealing temperature 차이에 의한 증폭된 산물을 agarose gel 전기영동과 DGGE로 비교한 결과, DNA band 패턴은 유사하였다(그림 4). 또한 증폭되는 cycle number를 30cycle, 45cycle, 60cycle, 75cycle, 90cycle 조건으로 PCR을 수행한 결과, 60 cycle로 증폭하였을 때 agarose gel 상에서 DNA가 가장 많이 증폭되었음이 확인되었고 DGGE gel 상에서도 DNA band의 선명도와 intensity가 증가되었음을 확인하였다. 또한 14개의 band가 확인되어 다양한 미생물 종들이 지렁이 장내에 존재하고 있음을 알 수 있었다(그림 5). 따라서 지렁이 장내 미생물 genomic DNA의 PCR 증폭 최적반응 조건은 52°C의 annealing temperature에서 60 cycle로 증폭하는 것을 알 수 있었다. Muyzer 등(6)에

의하면 DGGE에서 분리된 각각의 band는 개체군을 나타내며, band의 intensity는 특정 개체군의 우점도를 나타낸다고 보고한 바 있다.

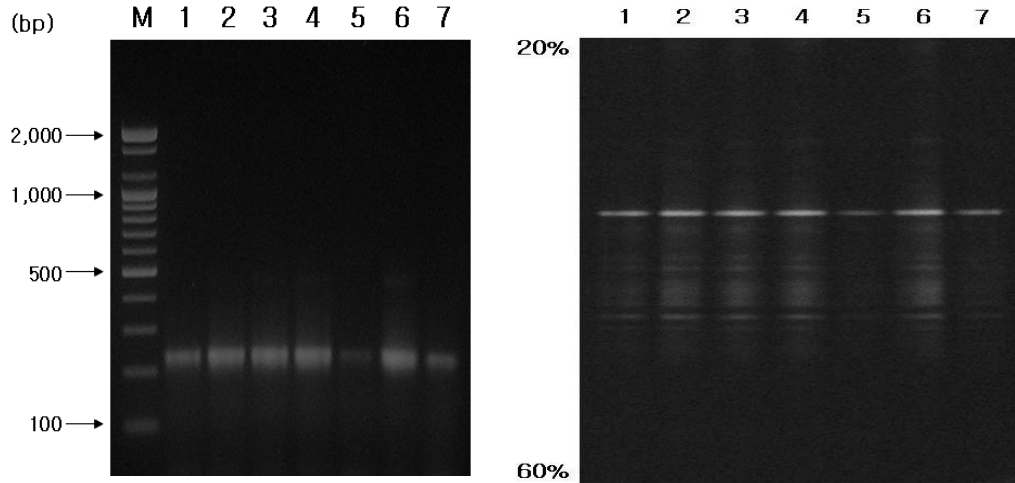


그림 4. 다른 annealing 온도조건에 따른 지렁이 장에서 추출한 DNA의 PCR 증폭산물을 아가로스 젤과 DGGE 젤 상에서 확인.

M: 100bp ladder; 1, 46°C; 2, 48°C; 3, 50°C; 4, 52°C; 5, 54°C; 6, 56°C; 7, Touchdown PCR (55°C→45°C).

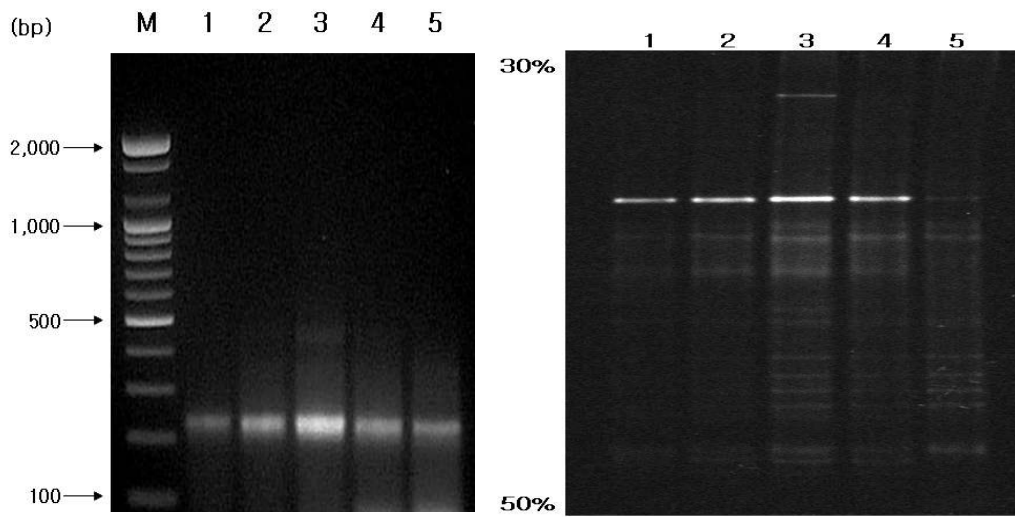


그림 5. 다른 PCR 증폭횟수에 따른 지렁이 장에서 추출한 DNA의 PCR 증폭산물을 아가로스 젤과 DGGE 젤 상에서 확인.

M: 100bp ladder; 1, 30 cycle; 2, 45 cycle; 3, 60 cycle 4, 75 cycle; 5, 90 cycle

#### 라. DGGE marker 제작

서로 다른 DGGE gel과의 비교 및 신속한 동정을 위해서 DGGE marker를 제작하였다. 지렁이 장내 우점미생물로 보고되었던 미생물의 표준균주(*Clostridium subterminale* ATCC 25774, *Clostridium butyricum* KCCM 35433, *Staphylococcus epidemicus* KCCM 40416, *Klebsiella oxytoca* KCCM 11418, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *pseudoalcaligenes* KCCM 12539, *Streptomyces setonill* KCCM 40359)를 이용하여 DGGE marker를 제작하였다. 6주의 표준균주를 BHI medium에서 24시간동안 배양하고 원심 분리하여 pellet을 획득한 후, DNeasy tissue kit를 사용하여 DNA를 추출하였다. 추출한 DNA는 341F-GC와 518R primer를 사용하여 PCR 증폭을 수행하였다. PCR 산물을 확인하기 위해 agarose gel에서 전기영동을 수행한 결과(그림 6), 240bp 크기로 증폭이 되었고 이를 DGGE gel에서 확인한 결과(그림 7), urea와 formamide의 농도구배에 따른 미생물의 DNA band 차이를 확인하였다. Theunissen 등(8)과 Temmerman 등(9)은 표준 유산균주를 DGGE reference markers로 제작하여 신속한 동정에 관한 연구를 보고한 바 있다.

#### 마. 먹이원, 지렁이장, 분변에서의 DNA 분리 및 증폭

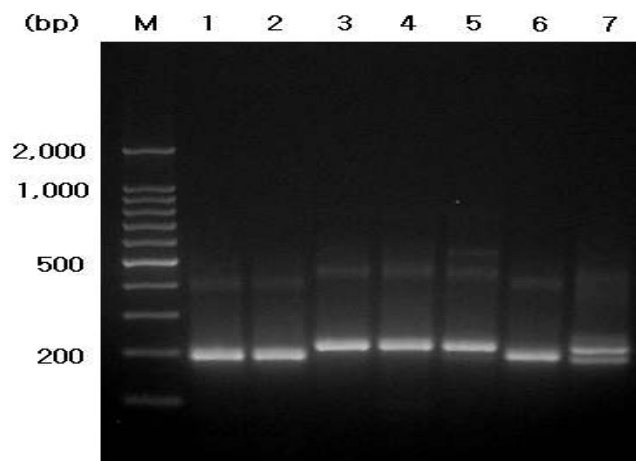


그림 6. 지렁이 장내 우점 미생물로부터 추출한 DNA의 PCR 증폭산물. M, 100-bp ladder; 1, *Clostridium subterminale* ATCC 25774; 2, *Clostridium butyricum* KCCM 35433; 3, *Staphylococcus epidemicus* KCCM 40416; 4, *Klebsiella oxytoca* KCCM 11418; 5, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *pseudoalcaligenes* KCCM 12539; 6, *Streptomyces setonill* KCCM 40359; 7,

Mixture of equal amounts of PCR products of 1,2,3,4,5,6 strains.

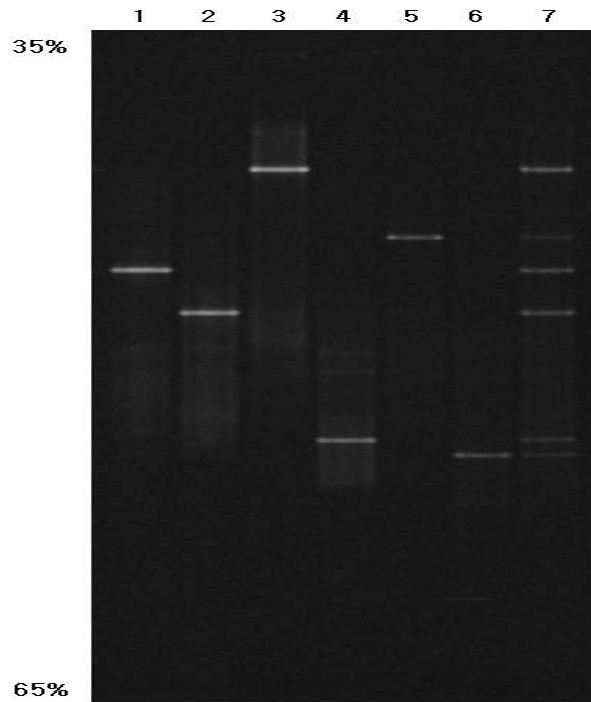


그림 7. 지렁이 장내 우점 미생물로부터 추출한 DNA의 PCR 증폭산물의 DGGE 젤상에서의 band 패턴.

1, *Clostridium subterminale* ATCC 25774; 2, *Clostridium butyricum* KCCM 35433; 3, *Staphylococcus epidemicus* KCCM 40416; 4, *Klebsiella oxytoca* KCCM 11418; 5, *Pseudomonas pseudoalcaligenes* subsp. *pseudoalcaligenes* KCCM 12539; 6, *Streptomyces setonill* KCCM 40359; 7, Mixture of equal amounts of PCR products of 1,2,3,4,5,6 strains.

지렁이 농장에서 사용하는 먹이원(돈분 및 아이스크림 슬러지), 표토 층에 있는 분변을 1g씩 획득하고 지렁이(5ea)의 장을 채취한 후, 0.01% Tween 80이 함유된 0.85% NaCl을 1:9 비율로 혼합하여 현탁하였다. 상등액을 원심 분리하여 균체만을 취한 후, DNeasy tissue kit를 사용하여 DNA를 추출하였다. PCR 수행 시 증폭되는 cycle number를 30cycle, 45cycle, 60cycle 조건으로 PCR을 수행하여 먹이원, 지렁이장, 분



변의 미생물 변화를 확인한 결과(그림 8, 표 2), 먹이원에서는 bacteroidetes bacterium, rumen bacterium rhodobacterales bacterium, 지렁이 장내에서는 fusobacteria bacterium, *Bifidobacterium subtile*, *Ferrimonas marina*, *Aeromonas popoffii*, 분변토에서는 chloroflexi bacterium, soil bacterium이 우점하고 있는 미생물로 확인하였다. 특히 *Aeromonas popoffii*는 지렁이장과 분변에서도 존재하였을 뿐만 아니라, DGGE gel 상에서도 유사한 위치에 band를 나타내었다.

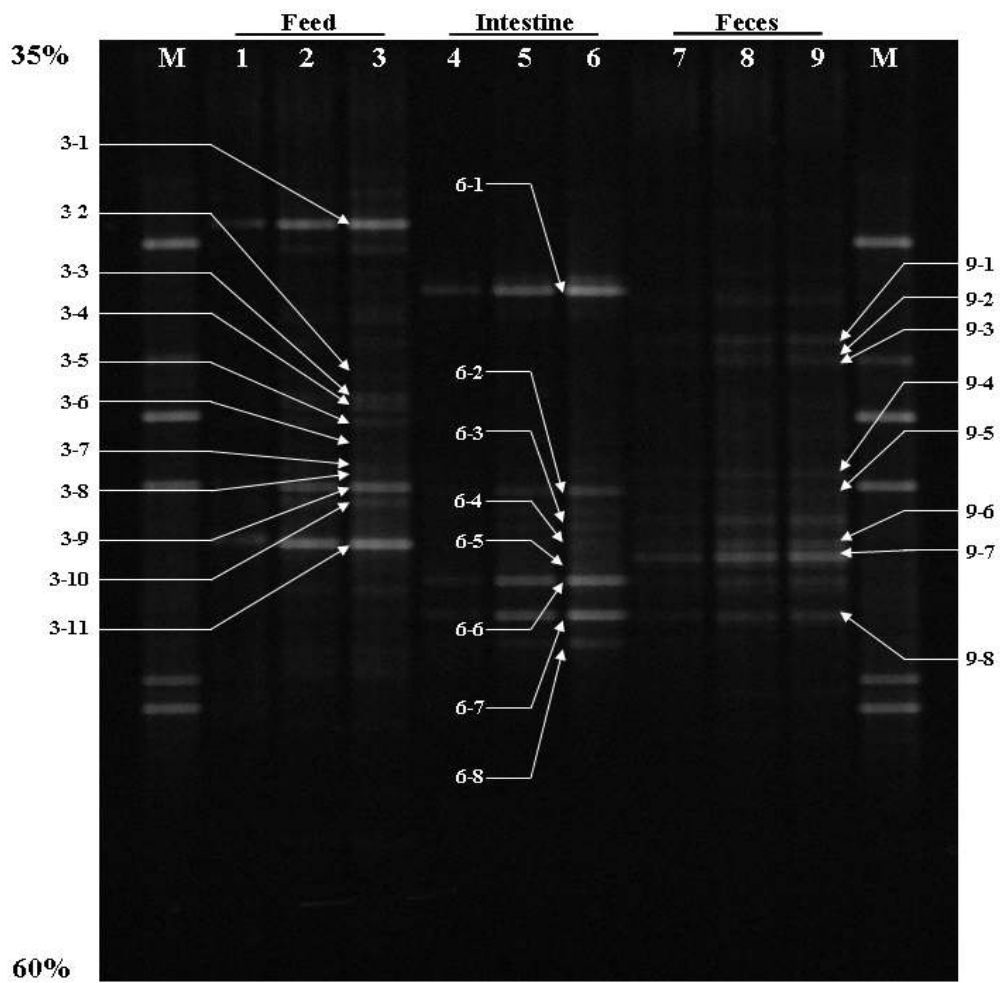


그림 8. 지렁이 먹이원, 지렁이 장내, 지렁이 분변에서 추출한 DNA의 PCR 증폭횟수별 DGGE band 패턴

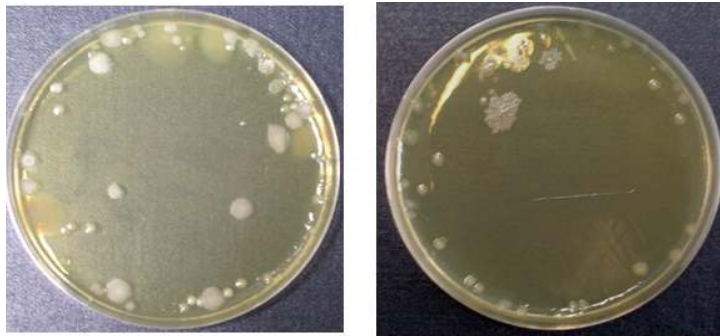
M; Mixture of equal amounts of PCR products of earthworm strains; 1, 30cycle; 2, 45cycle; 3, 60cycle; 4, 30cycle; 5, 45cycle; 6, 60cycle; 7, 30 cycle; 8, 45 cycle; 9, 60cycle.

표 2. DGGE 젤 상에서 분리한 band의 미생물 동정

먹이원	3-1	Uncultured Bacteroidetes bacterium
	3-2	Uncultured clostridiaceae bacterium
	3-3	Uncultured bacterium
	3-4	Uncultured bacterium clone GFM6
	3-5	<i>Veillonella</i> sp. Oral clone HB016
	3-6	<i>Clostridium</i> sp. Iso-A7
	3-7	<i>Clostridium disporicum</i> strain NML 05A027
	3-8	<i>Bifidobacterium subtile</i>
	3-9	Rumen bacterium
	3-10	Uncultured bacterium clone 001B-d3
	3-11	Rhodobacterales bacterium
장내	6-1	Uncultured Fusobacteria bacterium
	6-2	<i>Bifidobacterium subtile</i>
	6-3	Uncultured <i>streptobacillus</i> sp.
	6-4	<i>Aeromonas</i> sp. Ni24
	6-5	<i>Gamma proteobacterium</i> WSEM3
	6-6	<i>Ferrimonas marina</i>
	6-7	<i>Aeromonas popoffii</i> isolate U110
	6-8	Uncultured earthworm cast bacterium
분변	9-1	Uncultured soil bacterium
	9-2	Uncultured bacterium
	9-3	Uncultured <i>Lactobacillus</i> sp.
	9-4	<i>Acinotobacter bouvetii</i>
	9-5	Uncultured soil bacterium
	9-6	Uncultured Chloroflexi bacterium
	9-7	Soil bacterium clone 69p
	9-8	<i>Aeromonas popoffii</i>

#### 바. 우분 먹이원에서의 미생물 변화

지렁이 먹이원으로 우분을 톱밥과 1:1 혼합하여 5주동안 교반, 발효하여 준비하였고 지렁이(20ea)는 장 내용물을 배출하기 위해 2일동안 방치한 후, 먹이원이 있는 사육상자(15cm×15cm×15cm)에 넣고 8주동안 배양하였다. 8주동안 배양한 지렁이의 장내용물 현탁액을 10진 희석하여 BHI agar에 도말한 후, 30℃ aerobic / anaerobic condition에서 48시간동안 배양하였다(그림 9). 각각의 colony를 순수배양하여 호기성 미생물은 72 strains, 혐기성 미생물은 55 strains로 분리하였다(Fig. 10, Fig. 11). 16s rDNA sequence 분석하여 미생물을 동정한 결과는 표 3과 표 4에 나타내었다. 호기성 미생물에서는 *Aeromonas* sp.와 *Bacillus cereus*가 39%와 21%로 우점하였으며, 혐기성 미생물에서도 *Aeromonas* sp.와 *Bacillus cereus*가 52%와 27%로 지렁이 장내에 우점하고 있는 것으로 확인하였다(그림 12, 그림 13). 우분 먹이원(1g), 0주 지렁이(5ea), 4주 배양한 지렁이(5ea), 8주 배양한 지렁이(5ea), 표토층에 있는 분변(1g)으로부터 균체를 취한 후, DNA 추출, PCR 증폭, DGGE 분석을 수행한 결과(그림 14), 우분 먹이원에서는 uncultured bacterium의 band intensity가 4.1%로 나타내었고, 0주차 지렁이장에서는 *Aeromonas* sp., uncultured gamma proteobacterium, *Aeromonas punctata*의 band intensity가 각각 4.56%, 5.00%, 4.99%로 확인되었다. 4주동안 배양한 지렁이의 장에서는 uncultured *Pseudomonas* sp.와 *Aeromonas* sp.의 band intensity가 5.80%와 5.00%로 확인되었고 8주동안 배양한 지렁이의 장에서도 *Aeromonas* sp.와 *Bacillus* sp.의 band intensity가 7.55%와 4.15%로 높은 결과를 나타내었는데, 이는 BHI agar plate에 도말하여 순수배양한 방법의 결과와 유사하였으며, plate에서 배양되지 않은 미생물 군총도 존재함을 확인할 수 있었다. 지렁이 분변에서도 *Aeromonas* sp.의 band intensity가 6.19%로 확인되어 지렁이 먹이원인 우분과 지렁이 장내 및 분변에서 전체적으로 우점하는 미생물로 확인하였다.



(A)

(B)

그림 9. 우분떡이원에서 8주동안 배양후, 지렁이 장내 호기성(A)과 혐기성(B) 미생물.



그림 10. 지렁이 장내 호기성 미생물의 순수분리.

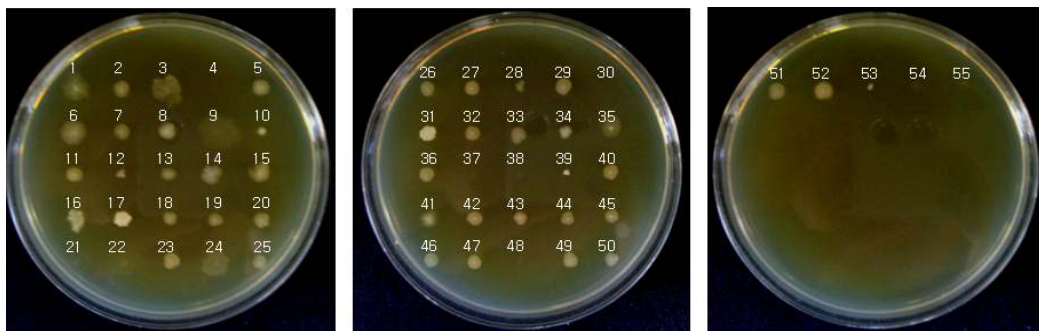


그림 11. 지렁이 장내 혐기성 미생물의 순수분리.

표 3. 순수분리한 지렁이 장내 호기성 미생물의 동정

No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity(%)
1	<i>Photobacterium ganghwensis</i>	AY960847.1	97%
2	<i>Bacillus pumilus</i>	AY741152.1	96%
3	<i>Photobacterium ganghwensis</i>	AY960847.1	92%
4	<i>Photobacterium ganghwensis</i>	AY960847.1	94%
5	<i>Bacillus cereus</i>	DQ289058.1	98%
6	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	99%
7	<i>Bacillus cereus</i>	DQ289987.1	97%
8	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
9	<i>Bacillus cereus</i>	DQ289058.1	97%
10	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	96%
11	<i>Bacillus cereus</i>	AF155958.1	92%
12	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	98%
13	<i>Bacillus subtilis</i>	AY775778.1	97%
14	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
15	<i>Bacillus cereus</i>	DQ289074.1	97%
16	<i>Bacillus subtilis</i>	AY775778.1	98%
17	<i>Photobacterium ganghwensis</i>	AY960847.1	95%
18	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	95%
19	<i>Bacillus cereus</i>	EF178440.1	98%
20	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
21	<i>Bacillus subtilis</i>	DQ923482.2	97%
22	<i>Bacillus cereus</i>	DQ923486.1	98%
23	<i>Bacillus pumilus</i>	DQ683078.1	98%
24	<i>Photobacterium ganghwensis</i>	AY960847.1	98%
25	<i>Bacillus cereus</i>	DQ420176.1	98%
26	<i>Bacillus cereus</i>	DQ152243.1	97%
27	<i>Bacillus cereus</i>	DQ289058.1	98%
28	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	99%
29	<i>Bacillus pumilus</i>	X76449.1	98%
30	<i>Bacillus pumilus</i>	DQ683078.1	98%
31	<i>Bacillus cereus</i>	DQ289058.1	97%
32	<i>Bacillus cereus</i>	EF035137.1	98%
33	<i>Bacillus cereus</i>	DQ289058.1	98%

Continued

No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity(%)
34	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	97%
35	<i>Bacillus pumilus</i>	X76449.1	97%
36	<i>Bacillus subtilis</i>	AY881640.1	98%
37	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	94%
38	<i>Bacillus pumilus</i>	DQ993301.1	97%
39	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	98%
40	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	97%
41	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
42	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	97%
43	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
44	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
45	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
46	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	98%
47	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
48	<i>Bacillus cereus</i>	AF155958.1	98%
49	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	98%
50	<i>Bacillus pumilus</i>	DQ683078.1	97%
51	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
52	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	97%
53	<i>Photobacterium ganghwensis</i>	AY960847.1	97%
54	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	99%
55	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
56	<i>Bacillus pumilus</i>	EF197942.1	98%
57	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
58	<i>Bacillus cereus</i>	DQ923486.1	97%
59	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
60	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
61	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	99%
62	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	97%
63	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	98%
64	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	97%
65	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	98%
66	<i>Photobacterium ganghwensis</i>	AY960847.1	97%

Continued

No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity(%)
67	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
68	<i>Pseudomonas mendocina</i>	DQ837704.1	97%
69	<i>Pseudomonas mendocina</i>	DQ837704.1	97%
70	<i>Pseudomonas mendocina</i>	DQ641475.1	97%
71	<i>Pseudomonas mendocina</i>	DQ641475.1	97%
72	<i>Pseudomonas mendocina</i>	DQ641475.1	97%

표 4. 순수분리한 지렁이 장내 혐기성 미생물의 동정

No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity(%)
1	<i>Bacillus cereus</i>	DQ289058.1	98%
2	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	97%
3	<i>Bacillus cereus</i>	AF155958.1	98%
4	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	94%
5	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
6	<i>Bacillus cereus</i>	DQ152243.1	96%
7	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
8	<i>Bacillus cereus</i>	DQ420176.1	97%
9	<i>Paenibacillus motobuensis</i>	AY741810.1	97%
10	<i>Bacillus cereus</i>	AB288105.1	94%
11	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	95%
12	<i>Bacillus cereus</i>	AF155958.1	98%
13	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	97%
14	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	91%
15	<i>Bacillus cereus</i>	DQ152243.1	96%
16	<i>Bacillus cereus</i>	AF155958.1	97%
17	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	96%
18	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	96%
19	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	96%
20	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	97%
21	<i>Paenibacillus motobuensis</i>	AY359885.1	98%
22	<i>Paenibacillus motobuensis</i>	AY359885.1	97%

Continued

No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity(%)
23	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
24	<i>Bacillus cereus</i>	DQ152243.1	98%
25	<i>Aeromonas punctata</i>	DQ979324.1	98%
26	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	97%
27	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
28	<i>Bacillus cereus</i>	DQ680019.1	98%
29	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	97%
30	<i>Bacillus cereus</i>	DQ152243.1	98%
31	<i>Clostridium subterminale</i>	AB294137.1	98%
32	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	97%
33	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
34	<i>Bacillus cereus</i>	DQ420187.1	98%
35	<i>Bacillus cereus</i>	AB288105.1	98%
36	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
37	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	98%
38	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	98%
39	<i>Cellulosimicrobium cellulans</i>	AB210965.1	97%
40	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
41	<i>Bacillus cereus</i>	DQ152243.1	98%
42	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	96%
43	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	99%
44	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	97%
45	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
46	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
47	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
48	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	98%
49	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	98%
50	<i>Aeromonas punctata</i>	DQ979324.1	99%
51	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	97%
52	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088.1	98%
53	<i>Bacillus cereus</i>	AM237370.1	98%
54	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	98%
55	<i>Shewanella putrefaciens</i>	AF136269.1	97%



**Aerobic microorganisms**

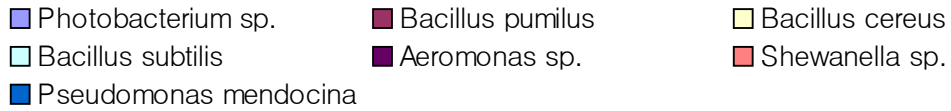
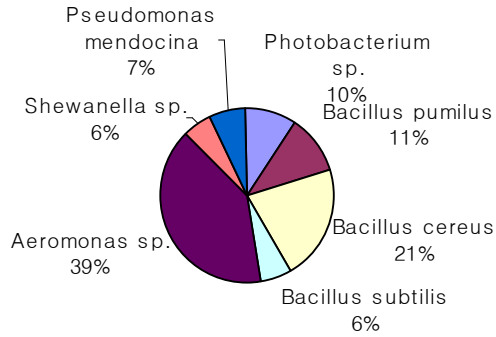


그림 12. 순수분리한 지렁이 장내 호기성 미생물 군총의 우점비율

**Anaerobic microorganisms**

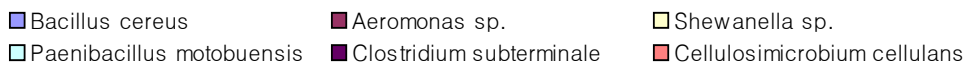
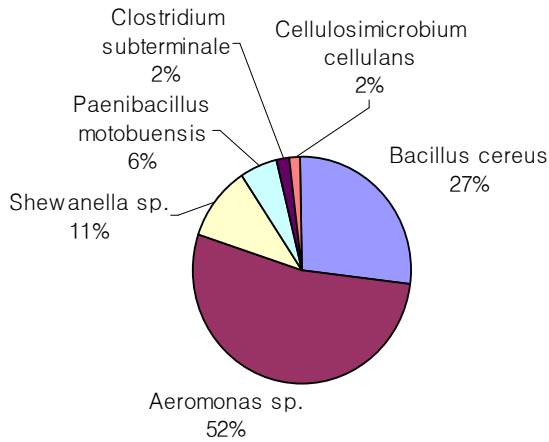


그림 13. 순수분리한 지렁이 장내 혐기성 미생물 군총의 우점비율

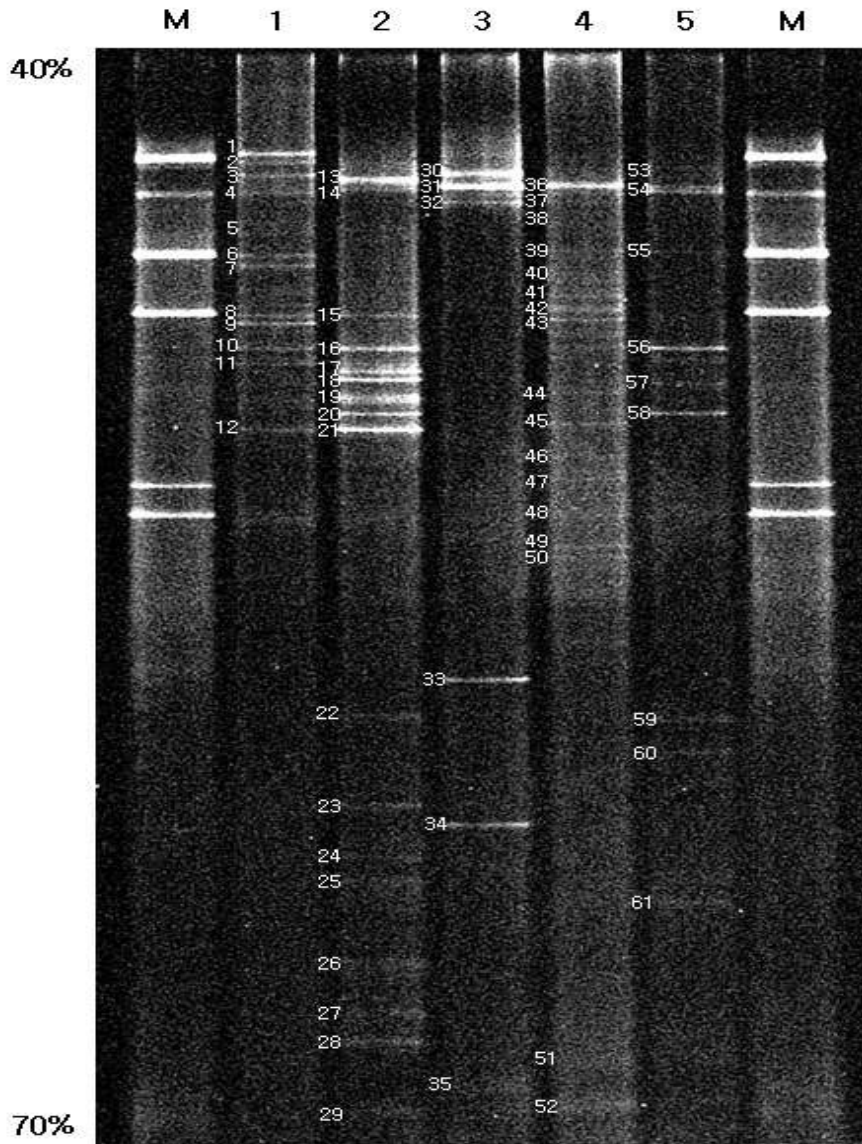


그림 14. 우분 먹이원, 지렁이 장내, 지렁이 분변에서 추출한 DNA의 PCR 증폭 후 DGGE band 패턴.

M; DGGE marker 미생물; 1, 우분먹이원; 2, 지렁이 장(0 주); 3, 지렁이 장(4 주); 4, 지렁이 장(8 주); 5, 지렁이 분변.

표 5. 우분 먹이원, 지렁이 장내, 지렁이 분변에서 추출한 DNA의 PCR 증폭 후 DGGE 분석 후 미생물 동정 결과

Lane No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity (%)	Band intensity (%)
1	Uncultured bacterium		98%	4.10
2	Uncultured soil bacterium	DQ642739.1	97%	2.32
3	Uncultured <i>Pseudomonas</i> sp.	AM421182.1	97%	2.46
4	<i>Aeromonas</i> sp.	AY987767.1	98%	1.90
5	<i>Enterobacter</i> sp.	CP000653.1	95%	1.48
6	<i>Clostridium subterminale</i>	AB294137.1	94%	1.74
7	<i>Pseudomonas</i> sp.	AM409194.1	94%	2.13
8	Uncultured alpha proteobacterium	AB178095.1	95%	1.89
9	Uncultured gamma proteobacterium	AY590685.1	96%	1.88
10	<i>Aeromonas</i> sp. IGCAR 19/07	EF23546.1	97%	1.45
11	<i>Aeromonas veronii</i>	AF418209.1	96%	0.96
12	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	98%	1.97
13	<i>Aeromonas</i> sp. 19m	AY987771.1	97%	3.43
14	<i>Aeromonas</i> sp.	AY987767.1	95%	4.56
15	Uncultured alpha proteobacterium	AB178095.1	94%	1.83
16	<i>Aeromonas</i> sp. GIST-WP3S2	EF428989.1	98%	2.89
17	<i>Edwardsiella tarda</i>	EF371905.1	98%	2.92
18	<i>Aeromonas</i> sp. RK	AY987764.1	98%	2.84
19	Uncultured gamma proteobacterium	EF491291.1	97%	5.00
20	<i>Enterobacter</i> sp. AX-4	EF514900.1	96%	2.18
21	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	96%	4.99
22	<i>Aeromonas salmonicida</i> subsp. <i>salmonicida</i>		95%	0.96
23	<i>Aeromonas</i> media strain A6	AY928481.1	96%	1.12
24	Uncultured bacterium	AY527666.1	93%	0.66
25	<i>Aeromonas</i> sp.		96%	0.69
26	Uncultured bacterium	DQ817746.1	96%	1.47
27	Enterobacteriaceae bacterium RR70	AB174831.1	95%	1.03
28	Uncultured <i>Alteromonas</i> sp.	AY726994.1	97%	1.31
29	<i>Bacillus subtilis</i>		98%	0.63
30	Uncultured <i>Pseudomonas</i> sp.	AM421182.1	96%	5.80
31	<i>Aeromonas</i> sp.	AY987767.1	98%	5.00
32	Uncultured chloroflexi bacterium	AY542256.1	95%	3.02
33	Uncultured bacterium	AF091516.1	96%	1.81
34	<i>Pseudomonas putida</i>	EF513773.1	97%	1.88
35	Uncultured bacterium	EF205489.1	96%	1.35

Continued

Lane	No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity (%)	Band intensity (%)
	36	<i>Aeromonas</i> sp.	AY987767.1	93%	4.77
	37	Uncultured chloroflexi bacterium	AY542256.1	92%	1.13
	38	<i>Aeromonas</i> sp.		94%	1.10
	39	<i>Clostridium subterminale</i>		95%	1.22
	40	Uncultured soil bacterium	DQ642735.1	95%	1.32
	41	<i>Photobacterium</i> sp.		97%	1.02
	42	<i>Clostridium</i> sp.		97%	2.13
	43	Uncultured gamma proteobacterium	AY590635.1	98%	1.06
4	44	<i>Pseudomonas</i> sp.	EF491291.1	96%	1.72
	45	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759.1	95%	1.68
	46	<i>Shewanells</i> sp.		96%	0.77
	47	Uncultured soil bacterium		97%	0.95
	48	<i>Streptomyces</i> sp. CS44		96%	1.27
	49	<i>Bacillus cereus</i>		98%	1.28
	50	<i>Bacillus pumilus</i>		98%	1.47
	51	Uncultured bacterium		94%	0.69
	52	<i>Bacillus subtilis</i>		92%	1.40
	53	Uncultured <i>Pseudomonas</i> sp.	AM421182.1	91%	1.03
	54	Uncultured bacterium	AM697309.1	93%	2.08
	55	<i>Clostridium subterminale</i>		92%	0.80
	56	<i>Aeromonas</i> sp. IGCAR 19/07	EF23546.1	92%	2.59
5	57	<i>Aeromonas</i> sp.		95%	1.00
	58	<i>Enterobacter</i> sp.		97%	2.10
	59	<i>Aeromonas salmonicida</i> subsp. <i>salmonicida</i>		97%	1.43
	60	Uncultured soil bacterium		96%	1.14
	61	<i>Aeromonas hydrophila</i> strain AN-1	AY987735.1	93%	1.17

Lane 1, 우분 떡이원; Lane 2, 지렁이 장(0 주); Lane 3, 지렁이 장(4 주); Lane 4, 지렁이 장(8 주); Lane 5, 지렁이 분변.

#### 사. 지렁이 장내 미생물의 유기물 분해능 조사

지렁이는 유기물을 자체적으로 소화하거나 영양분을 분해, 흡수하는 소화기능이 덜 발달되어 있어 유기물을 단독으로 소화흡수하지 못하고 토양미생물의 도움을 받아 소화흡수하는 것으로 보고되어 있으므로 지렁이 생육촉진 미생물을 조사하기 위해 지렁이 장내 미생물의 유기물 분해능을 확인하였다. 지렁이 장내에서 분리한 호기성 미생물 72균주와 혐기성 미생물은 55균주를 대상으로 amylase, lipase, protease, chitosanase 등의 유기물 분해활성을 측정한 결과(data not shown)를 기초로, 호기성 미생물 중에서 *Aeromonas punctata* WA12, *Bacillus subtilis* WA13, *Aeromonas veronii* WA14, *Aeromonas hydrophila* WA20, *Bacillus pumilus* WA23, *Photobacterium ganghwensis* WA24, *Bacillus pumilus* WA30, *Aeromonas hydrophila* WA40, *Bacillus pumilus* WA50, *Shewanells putrefaciens* WA65, *Pseudomonas mendocina* WA72를 1차 선발하였고, 혐기성 미생물 중에서는 *Paenibacillus motobuensis* WN9, *Aeromonas hydrophila* WN46, *Bacillus cereus* WA53, *Shewanells putrefaciens* WN55를 1차 선발하였다. 이들 미생물로부터 2차 탐색과정을 거쳐, amylase 활성이 높은 균주로는 *Photobacterium ganghwensis* WA2 (그림 15), lipase 활성이 높은 균주로는 *Aeromonas punctata* WA12와 *Paenibacillus motobuensis* WN9(그림 16)가 선발 되었다. Protease 활성은 *Paenibacillus motobuensis* WN9가 다른 미생물보다도 가장 높은 활성을 나타내었으며(그림 17), chitosanase 활성은 *Aeromonas hydrophila* WA40이 우수한 것으로 확인되었다. Toyota 등(10)은 지렁이(*Eisenia foetida*) 장내 미생물 중 *Aeromonas hydrophila*가 80%로 우점하고 있으며, 지렁이 분변에서도 24%나 존재함을 보고한 바 있다. 따라서 이후에 수행하게 될 지렁이의 생육촉진을 위한 미생물제제 첨가실험을 위한 유기물 분해활성이 우수한 *Photobacterium ganghwensis* WA24, *Aeromonas hydrophila* WA40, *Paenibacillus motobuensis* WN9 균주를 최종 선발하였다.

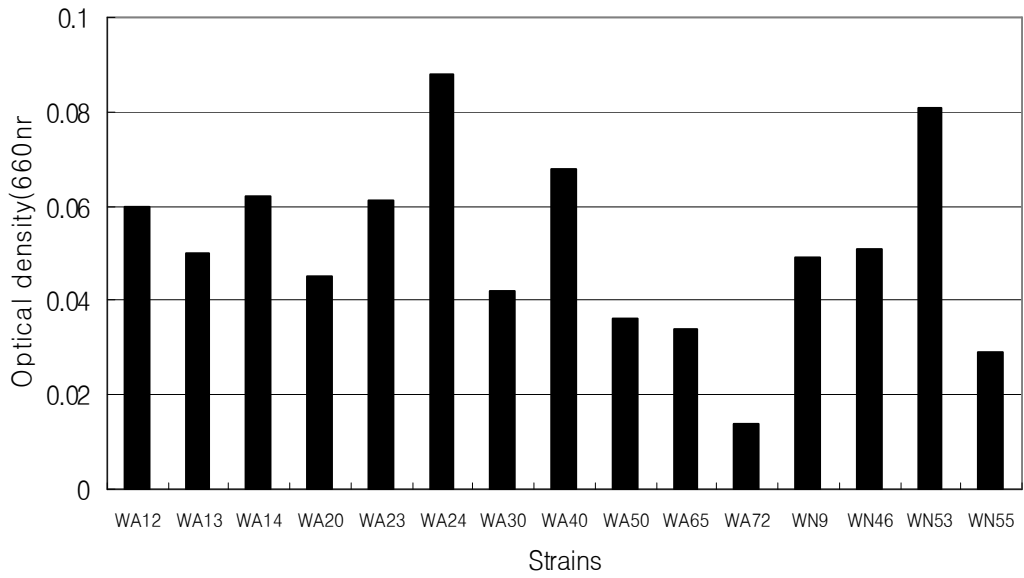


그림 15. 지렁이 장내 분리미생물들의 amylase 효소 활성비교

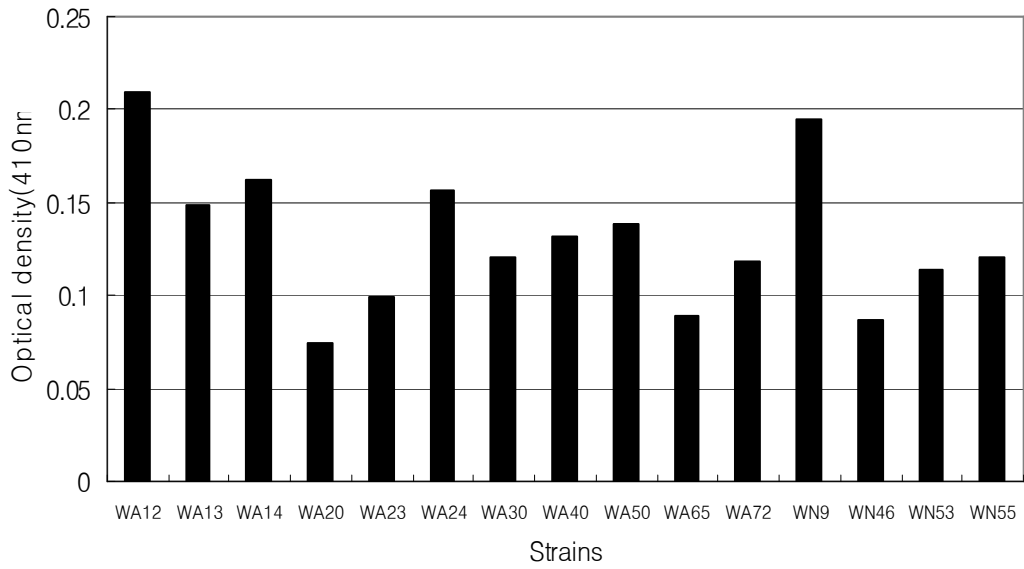


그림 16. 지렁이 장내 분리미생물들의 lipase 효소 활성비교

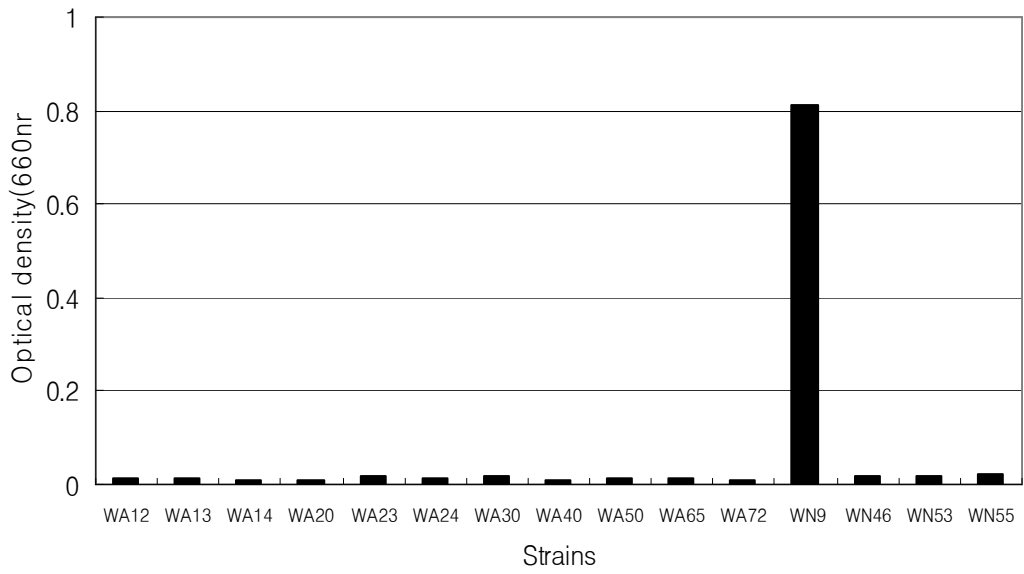


그림 17. 지렁이 장내 분리미생물들의 protease 효소 활성비교

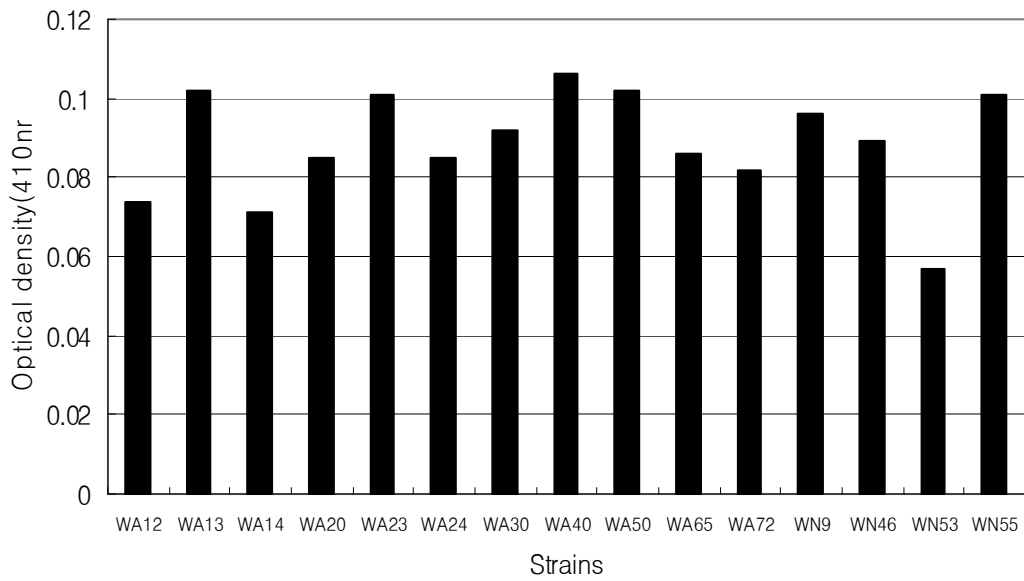


그림 18. 지렁이 장내 분리미생물들의 chitosanase 효소 활성비교

#### 아. 지렁이 먹이원 미생물 조사

유기물 분해능이 가장 우수한 *Photobacterium ganghwensis* WA24, *Aeromonas hydrophila* WA40, *Paenibacillus motobuensis* WN9를 cow feces medium에 30°C, 48 시간동안 배양한 후, 우분과 톱밥을 교반 발효한 지렁이 먹이원에 10<sup>5</sup> CFU/ml의 단일균주 또는 복합균주로 혼합하여 1%씩 접종하였다. 지렁이는 2일동안 절식하여 장내용물을 제거한 후, 우분먹이원에 첨가하였다. 8주동안 지렁이를 배양한 후, 지렁이 장(5ea)을 취해 미생물 균총을 DGGE 방법으로 조사하였다(그림 19). 우선 지렁이 먹이원 미생물로 배양한 *Photobacterium ganghwensis* WA24, *Aeromonas hydrophila* WA40, *Paenibacillus motobuensis* WN9를 원심분리하여 pellet을 획득한 후, DNeasy tissue kit를 사용하여 DNA를 추출하였다. 추출한 DNA는 341F-GC와 518R primer를 사용하여 PCR 증폭을 수행하였다. DGGE polyacrylamide gel 상에서 urea와 formamide의 농도구배에 따른 미생물의 DNA band 차이를 확인하여 DGGE reference marker(lane M)로 제작하였다. 2일동안 절식한 지렁이의 장내 미생물 균총(lane 1)은 2개의 서로 다른 band가 확인이 되었다. Band로부터 DNA를 추출하여 16S rDNA 동정한 결과, *Entomoplasma somnilux*와 *Bacillus licheniformis*로 확인되었고 band intensity(그림 20)가 각각 14.8%와 13.2%로 높게 나타났으며 대부분 실험군의 지렁이 장으로부터 분리된 것으로 보아 지렁이 장내에 정착성이 높은 미생물로 사료되었다. *Photobacterium ganghwensis* WA24는 단일균주(lane 2) 또는 복합균주(lane 5, lane 6, lane 8)로 접종한 모든 lane에서도 band를 확인 할 수 없었다. *Aeromonas hydrophila* WA40은 이 미생물을 접종하지 않은 우분먹이원에서도 band가 확인되어 이는 우분먹이원에서 유래된 같은 종의 *Aeromonas hydrophila*으로 확인되었고 단일균주(lane 3)로 접종하였을 때는 band intensity(그림 20)가 6.75%로 가장 높아 지렁이 장내 우점도가 높으며 지렁이 먹이 미생물로서 적합할 것으로 사료된다. *Paenibacillus motobuensis* WN9 균주도 단일균주(lane 4)로 접종하였을 때 band intensity(그림 20)가 6.67%로 가장 높았으며 복합균주(lane 6, lane 8)로 접종한 lane에서만 band를 확인할 수 있어 우분먹이원에는 존재하지 않는 미생물균으로 확인(lane 9)하였다. 그 외에 배양되지 않는 uncultured earthworm cast bacterium과 *Aeromonas* sp.의 band도 확인할 수 있었다.



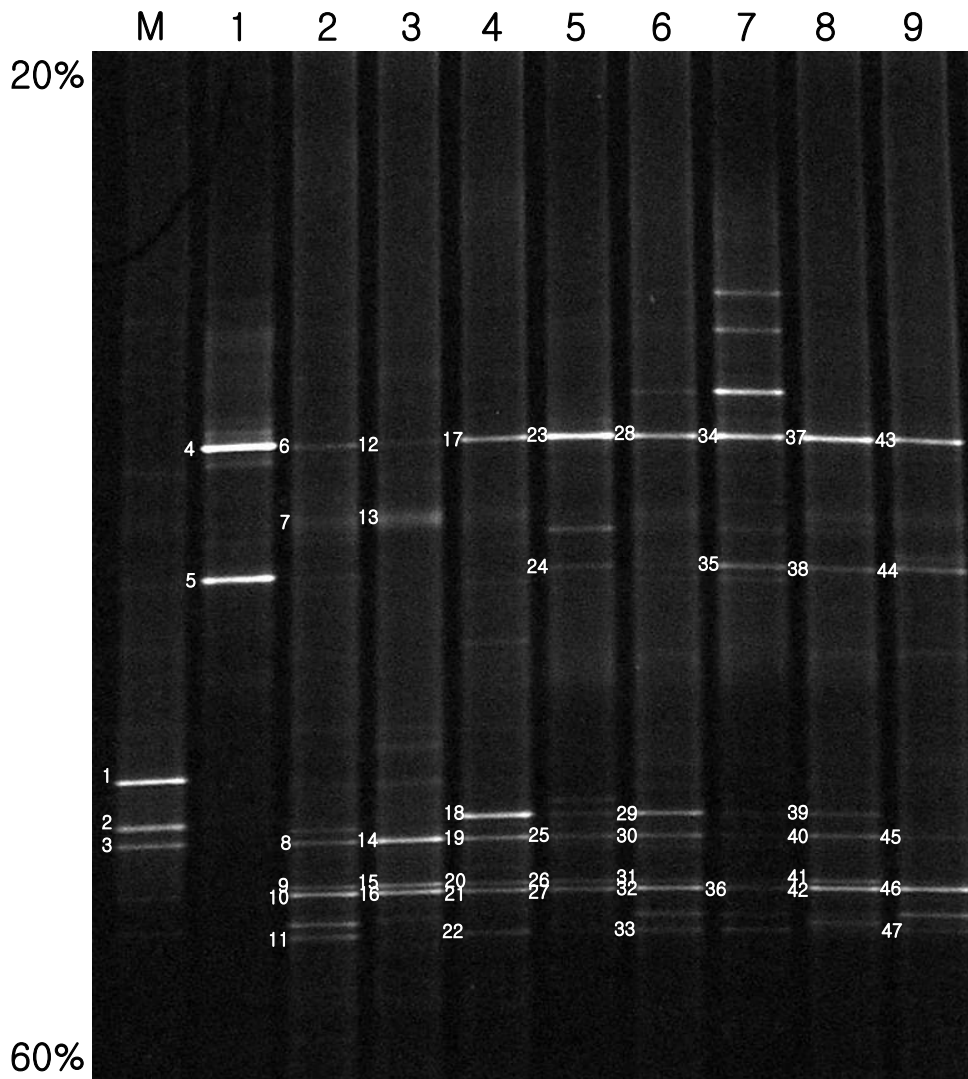


그림 19. 유기물 분해능이 우수한 미생물을 지렁이 먹이원으로 단일 또는 혼합첨가 후, 지렁이 장내 미생물 군종의 DGGE band 패턴.

M; 유기물 분해능이 우수한 선발균주; 1, 절식한 지렁이 장; 2, WA24 단일균주; 3, WA40 단일균주; 4, WN9 단일균주; 5, WA24와 WA40 혼합균주; 6, WA40와 WN9 혼합균주; 7, WA24와 WN9 혼합균주; 8, WA24와 WA40와WN9 혼합균주; 9, 미생물 미처리군.

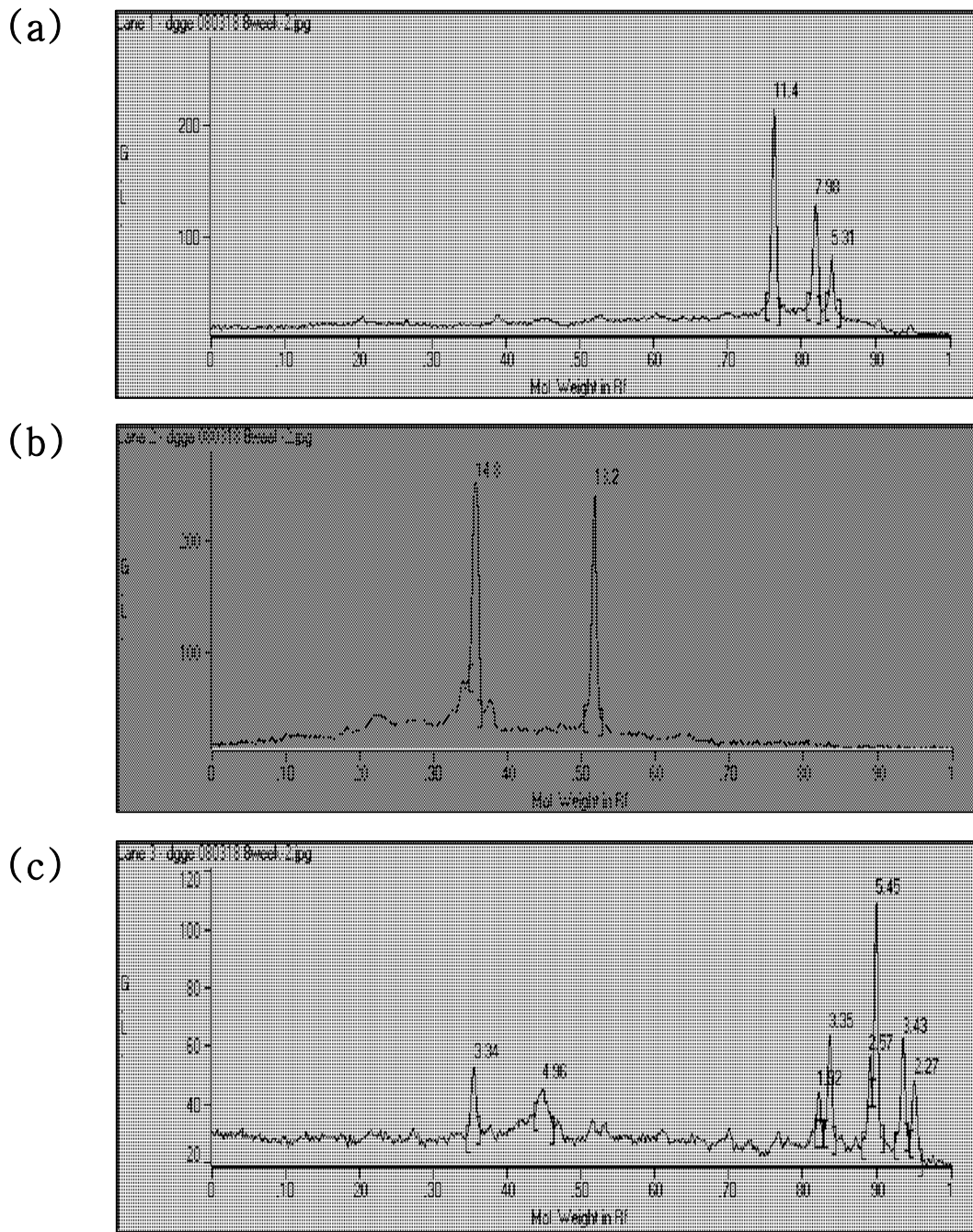
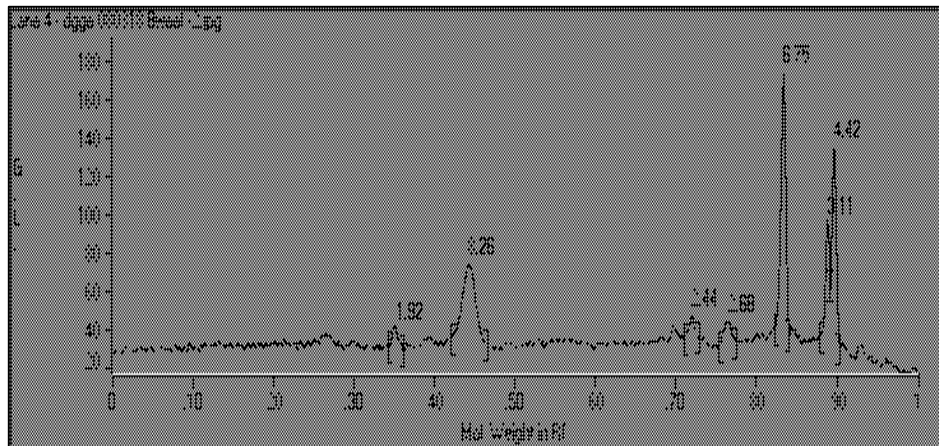
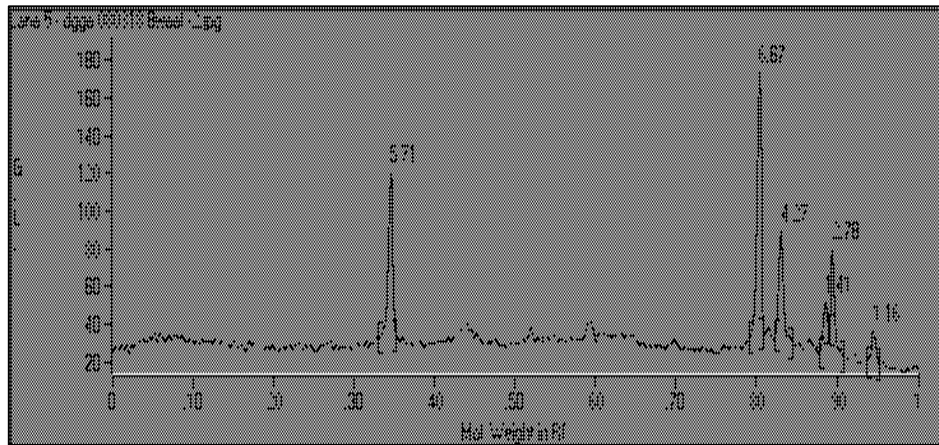


그림 20. Gel-Pro analyzer를 이용한 DGGE band의 밀도 분석.  
 (a) Lane M, (b) Lane 1, (c) Lane 2

(d)



(e)



(f)

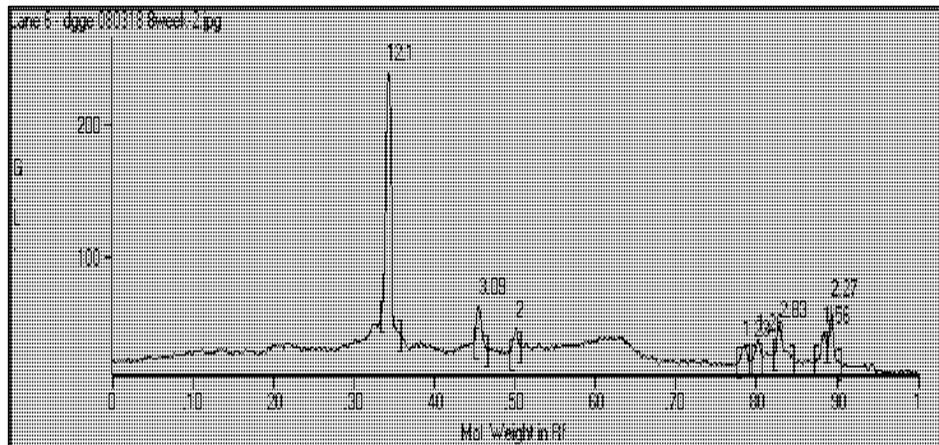


그림 20. Gel-Pro analyzer를 이용한 DGGE band의 밀도 분석.

(d) Lane 3, (e) Lane 4, (f) Lane 5

(g)

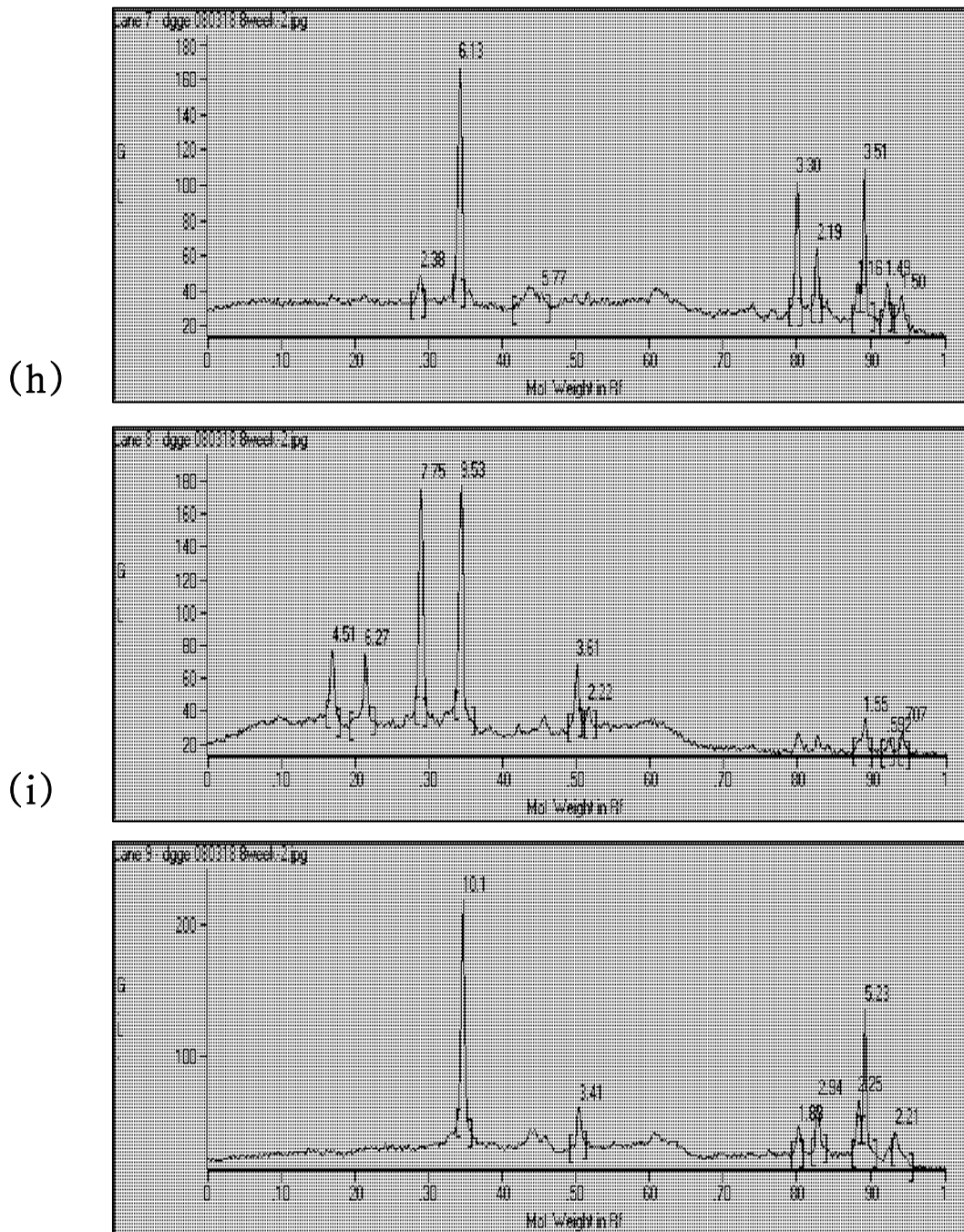


그림 20. Gel-Pro analyzer를 이용한 DGGE band의 밀도 분석.  
 (g) Lane 6, (h) Lane 7, (i) Lane 8

(j)

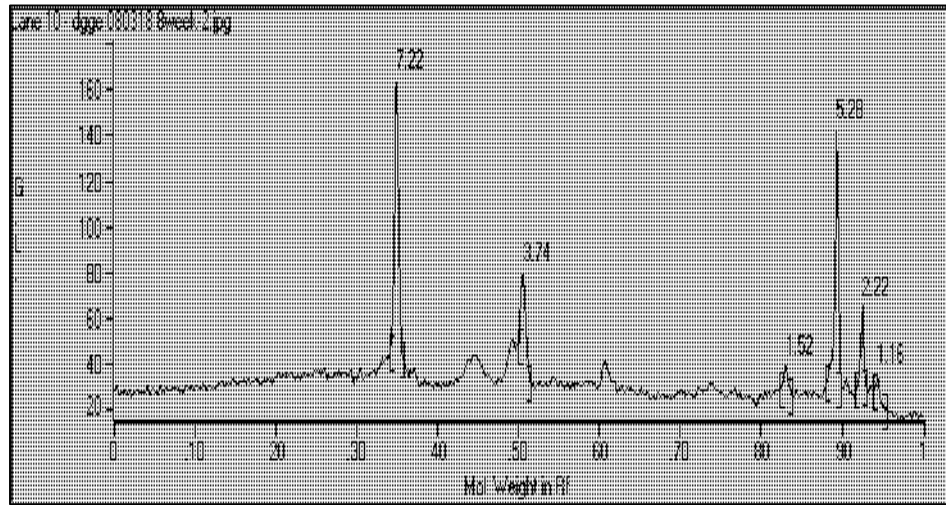


그림 20. Gel-Pro analyzer를 이용한 DGGE band의 밀도 분석.

(j) Lane 9

표 6. 유기물 분해능이 우수한 미생물을 지렁이 먹이원으로 단일 또는 혼합첨가 후, DGGE 분석을 통한 지렁이 장내 미생물 군총 동정

Lane No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity (%)	Band intensity (%)
M	1 <i>Photobacterium ganghwensis</i> WA24	AY960847	98%	11.40
	2 <i>Paenibacillus motobuensis</i> WN9	AY741810	97%	7.98
	3 <i>Aeromonas hydrophila</i> WA40	AB032088	98%	5.31
1	4 <i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	96%	14.8
	5 <i>Bacillus licheniformis</i>	AY030326	95%	13.2
2	6 <i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	97%	3.34
	7 Uncultured earthworm cast bacterium	AY154639	98%	4.96
	8 <i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088	98%	3.35
	9 <i>Aeromonas veronii</i>	DQ029351	99%	2.57
	10 <i>Aeromonas punctata</i>	AY987759	95%	5.45
	11 Uncultured bacterium	EF205489	93%	2.27
3	12 <i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	97%	1.92
	13 Uncultured earthworm cast bacterium	AY154639	93%	8.26
	14 <i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088	94%	6.75
	15 <i>Aeromonas veronii</i>	DQ029351	97%	3.11
	16 <i>Aeromonas punctata</i>	AY987759	98%	4.42
4	17 <i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	97%	5.71
	18 <i>Paenibacillus motobuensis</i>	AY741810	96%	6.67
	19 <i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088	97%	4.27
	20 <i>Aeromonas veronii</i>	DQ029351	96%	1.41
	21 <i>Aeromonas punctata</i>	AY987759	97%	2.78
	22 Uncultured bacterium	EF205489	98%	1.16
5	23 <i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	97%	12.1
	24 <i>Bacillus licheniformis</i>	AY030326	96%	2.00
	25 <i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088	97%	2.83
	26 <i>Aeromonas veronii</i>	DQ029351	96%	1.56
	27 <i>Aeromonas punctata</i>	AY987759	97%	2.27

Continued

Lane No.	16s rDNA sequence results	Accession	Identity (%)	Band intensity (%)	
6	28	<i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	97%	6.13
	29	<i>Paenibacillus motobuensis</i>	AY741810	98%	3.30
	30	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088	97%	2.19
	31	<i>Aeromonas veronii</i>	DQ029351	93%	1.16
	32	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759	94%	3.51
	33	Uncultured bacterium	EF205489	98%	1.50
7	34	<i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	97%	9.53
	35	<i>Bacillus licheniformis</i>	AY030326	97%	3.61
	36	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759	98%	1.55
8	37	<i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	96%	10.10
	38	<i>Bacillus licheniformis</i>	AY030326	96%	3.41
	39	<i>Paenibacillus motobuensis</i>	AY741810	94%	1.83
	40	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088	95%	2.94
	41	<i>Aeromonas veronii</i>	DQ029351	93%	2.25
	42	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759	95%	5.23
9	43	<i>Entomoplasma somnilux</i>	AY157871	98%	7.22
	44	<i>Bacillus licheniformis</i>	AY030326	98%	3.74
	45	<i>Aeromonas hydrophila</i>	AB032088	97%	1.52
	46	<i>Aeromonas punctata</i>	AY987759	97%	5.28
	47	Uncultured bacterium	EF205489	97%	1.16

M: 유기물 분해능이 우수한 선발균주; 1, 절식한 지렁이 장; 2, WA24 단일균주; 3, WA40 단일균주; 4, WN9 단일균주; 5, WA24와 WA40 혼합균주; 6, WA40와 WN9 혼합균주; 7, WA24와 WN9 혼합균주; 8, WA24와 WA40와WN9 혼합균주; 9, 미생물 미처리균.

#### 자. 미생물제제 첨가에 따른 지렁이 생육 비교

우분과 톱밥을 교반발효한 지렁이 먹이원에 *Photobacterium ganghwensis* WA24, *Aeromonas hydrophila* WA40, *Paenibacillus motobuensis* WN9를 단일균주 또는 혼합한 복합균주로 1%씩 접종하여 8주동안 지렁이를 배양한 후, 미생물 처리구별로 생존율, 지렁이 개체수, 지렁이 증가율, 난포수와 무게, 지렁이 분변토량 등을 조사한 결과(표 7, 표 8), 지렁이 생존율과 개체수에서 *Aeromonas hydrophila* WA40와 *Paenibacillus motobuensis* WN9를 단일균주로 먹이원에 첨가하였을 때, 미생물을 첨가하지 않은 군에 비해서 지렁이 개체수가 50~60% 정도의 높은 생존율을 나타내었으나 다른 처리군에서는 지렁이의 개체수가 감소하였음을 확인하였다. 미성숙 지렁이 개체수는 *Paenibacillus motobuensis* WN9 단일 처리군에서 8개체수로 효과가 가장 좋았고, 난포수는 4주차에서는 1~3개로 확인되었고 8주차에서는 대체로 5~7개로 증가하였으며, 첨가한 미생물별로 차이는 거의 없었다. 지렁이가 생산한 분변토량은 *Aeromonas hydrophila* WA40와 *Paenibacillus motobuensis* WN9를 단일균주로 첨가하였을 때 4주차에서 36.1%와 40.9%, 8주차에서는 더욱 증가하여 53.1%와 56.3%로 가장 높았다. 따라서 지렁이 생육과 분변토 생산량 증대를 위한 미생물제제로 *Aeromonas hydrophila* WA40와 *Paenibacillus motobuensis* WN9를 단일균주로 각각 첨가하는 것이 효과적임을 확인하였다. 이는 DGGE의 미생물 band 동정 결과(표 6)와 비교하였을 때 *Aeromonas hydrophila* WA40와 *Paenibacillus motobuensis* WN9 첨가시 지렁이 장내에서도 동일한 미생물로 동정되었고 이는 지렁이 장내에 우점하는 미생물로 지렁이 생육과 분변토 생산에도 영향을 주는 것으로 확인할 수 있었다. 그러나 두 미생물을 혼합하였을 때는 단일균주로 첨가한 결과보다 낮게 나타났는데 이는 두 미생물 간의 길항작용으로 인해 생육이 저해되었거나, 생산된 대사산물에 저해 영향을 받았을 것으로 사료된다.



表 7.. Growth characteristics of the earthworm in mixtures of manure and selected microorganisms after 4 weeks

Microorganisms	Growth characteristics									
	SR (%)	NE	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	NYE	IR (mg/hr)	NC	CW (g)	RM (g)	CW (%)
WA24	56.67 <sup>c</sup>	5.67 <sup>c</sup>	753.02 <sup>a</sup>	598.46 <sup>b</sup>	0.67 <sup>b</sup>	-0.23 <sup>b</sup>	0.33 <sup>c</sup>	19.93 <sup>c</sup>	43.73 <sup>a</sup>	31.31 <sup>c</sup>
WA40	100.00 <sup>a</sup>	10.00 <sup>a</sup>	753.01 <sup>a</sup>	802.29 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	1.33 <sup>bc</sup>	23.56 <sup>b</sup>	41.59 <sup>b</sup>	36.16 <sup>b</sup>
WN9	100.00 <sup>a</sup>	10.00 <sup>a</sup>	753.02 <sup>a</sup>	898.62 <sup>a</sup>	4.33 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>	2.67 <sup>ab</sup>	25.44 <sup>a</sup>	36.78 <sup>c</sup>	40.91 <sup>a</sup>
WA24+WA40	53.33 <sup>c</sup>	5.33 <sup>c</sup>	753.03 <sup>a</sup>	587.27 <sup>b</sup>	1.67 <sup>b</sup>	-0.25 <sup>b</sup>	3.33 <sup>a</sup>	18.07 <sup>de</sup>	42.26 <sup>ab</sup>	29.94 <sup>d</sup>
WA40+WN9	73.33 <sup>b</sup>	7.33 <sup>b</sup>	753.03 <sup>a</sup>	817.99 <sup>a</sup>	1.33 <sup>b</sup>	0.09 <sup>a</sup>	1.67 <sup>abc</sup>	18.80 <sup>d</sup>	40.77 <sup>b</sup>	31.56 <sup>c</sup>
WA24+WN9	60.00 <sup>c</sup>	6.00 <sup>c</sup>	753.00 <sup>a</sup>	663.4 <sup>b</sup>	1.00 <sup>b</sup>	-0.13 <sup>b</sup>	3.00 <sup>ab</sup>	17.66 <sup>ef</sup>	40.90 <sup>b</sup>	30.15 <sup>d</sup>
WA20+WA24+WN9	60.00 <sup>c</sup>	6.00 <sup>c</sup>	753.04 <sup>a</sup>	576.08 <sup>b</sup>	2.33 <sup>ab</sup>	-0.26 <sup>b</sup>	1.33 <sup>bc</sup>	16.86 <sup>f</sup>	40.95 <sup>b</sup>	29.16 <sup>de</sup>
NO treatment	53.33 <sup>c</sup>	5.33 <sup>c</sup>	753.02 <sup>a</sup>	567.1 <sup>b</sup>	2.67 <sup>ab</sup>	-0.28 <sup>b</sup>	2.00 <sup>bc</sup>	17.09 <sup>f</sup>	42.21 <sup>ab</sup>	28.82 <sup>c</sup>
L.S.D <sub>(P≤0.05)</sub>	11.17	1.11	0.13	136.61	2.20	0.20	1.73	0.90	1.55	1.07

SR: survival rate(%), NE: number of earthworm, FW<sub>1</sub>: mean fresh weight of adult worm at initial time(g), FW<sub>2</sub>: mean fresh weight of adult worm at final time(g), NYE: number of young earthworm, IR: increasing rate of adult worm, NC: number of cocoons, CW(g): dry weight of worm casts(g,<2.0mm), CW(%): ratios of worm casts, RM: dry weight of residual matters(g.>2.0)

图 8. Growth characteristics of the earthworm in mixtures of manure and selected microorganisms after 8 weeks

Microorganisms	Growth characteristics									
	SR (%)	NE	FW <sub>1</sub> (mg)	FW <sub>2</sub> (mg)	NYE	IR (mg/hr)	NC	CW (g)	RM (g)	CW (%)
WA24	50.00 <sup>bc</sup>	5.00 <sup>bc</sup>	753.33 <sup>a</sup>	645.72 <sup>de</sup>	1.33 <sup>d</sup>	-0.08 <sup>de</sup>	3.33 <sup>bc</sup>	23.60 <sup>cd</sup>	38.13 <sup>ab</sup>	38.23 <sup>de</sup>
WA40	96.67 <sup>a</sup>	9.67 <sup>a</sup>	753.67 <sup>a</sup>	854.67 <sup>ab</sup>	5.00 <sup>b</sup>	0.08 <sup>ab</sup>	2.00 <sup>c</sup>	32.89 <sup>b</sup>	29.02 <sup>d</sup>	53.11 <sup>b</sup>
WN9	100.00 <sup>a</sup>	10.00 <sup>a</sup>	753.67 <sup>a</sup>	899.67 <sup>a</sup>	8.00 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	5.67 <sup>ab</sup>	35.81 <sup>a</sup>	27.78 <sup>d</sup>	56.32 <sup>a</sup>
WA24+WA40	46.67 <sup>c</sup>	4.67 <sup>c</sup>	753.37 <sup>a</sup>	629.22 <sup>e</sup>	3.67 <sup>bc</sup>	-0.09 <sup>e</sup>	6.67 <sup>a</sup>	21.42 <sup>ef</sup>	37.60 <sup>ab</sup>	36.29 <sup>ef</sup>
WA40+WN9	66.67 <sup>b</sup>	6.67 <sup>b</sup>	753.33 <sup>a</sup>	714.01 <sup>cde</sup>	2.00 <sup>cd</sup>	-0.03 <sup>cde</sup>	3.67 <sup>bc</sup>	25.17 <sup>c</sup>	35.19 <sup>c</sup>	41.70 <sup>c</sup>
WA24+WN9	50.00 <sup>bc</sup>	5.00 <sup>bc</sup>	753.67 <sup>a</sup>	762.50 <sup>bc</sup>	2.33 <sup>cd</sup>	0.01 <sup>bc</sup>	7.00 <sup>a</sup>	22.75 <sup>de</sup>	36.74 <sup>b</sup>	38.25 <sup>d</sup>
WA20+WA24+WN9	43.33 <sup>c</sup>	4.33 <sup>c</sup>	753.33 <sup>a</sup>	735.89 <sup>cd</sup>	2.00 <sup>cd</sup>	-0.01 <sup>cd</sup>	7.67 <sup>a</sup>	20.26 <sup>fg</sup>	37.28 <sup>ab</sup>	35.21 <sup>fg</sup>
NO treatment	40.00 <sup>c</sup>	4.00 <sup>c</sup>	753.33 <sup>a</sup>	629.22 <sup>e</sup>	3.33 <sup>bcd</sup>	-0.09 <sup>e</sup>	6.67 <sup>a</sup>	19.44 <sup>g</sup>	38.71 <sup>a</sup>	33.42 <sup>g</sup>
L.S.D <sub>(P≤0.05)</sub>	19.67	1.96	0.99	101.55	2.23	0.07	2.66	1.62	1.54	1.95

SR: survival rate(%), NE: number of earthworm, FW<sub>1</sub>: mean fresh weight of adult worm at initial time(g), FW<sub>2</sub>: mean fresh weight of adult worm at final time(g), NYE: number of young earthworm, IR: increasing rate of adult worm, NC: number of cocoons, CW(g): dry weight of worm casts(g,<2.0mm), CW(%): ratios of worm casts, RM: dry weight of residual matters(g.>2.0)

## 제 2 절 가축분 및 농산 부산물 재활용을 위한 최적 지렁이 사육모델 개발

1. 가축분 및 농산 부산물 재활용효율 제고를 위한 지렁이 사육기술 개발(1년차, 2005년)

- 지렁이 사육 현장 애로사항 조사
- 지렁이 사육상의 단위 면적당 지렁이 적정 입식밀도 구명 및 밀도변화 조사
- 지렁이 사육상 단위 면적당 가축분 및 농산 부산물의 적정 투여량 구명
- 온도가 지렁이의 생육 및 가축분 및 농산 부산물 처리효율에 미치는 영향 평가

2. 가축분 및 농산부산물 처리후 생성된 분변토 및 잉여 지렁이의 효율적 분리 기술 개발(2년차, 2006년)

- 비닐하우스 형태의 사육시설에서 분변토 수확기술 개발
- 다층식 사육시설에서 분변토 수확기술 개발
- 비닐하우스 형태의 사육시설에서 잉여지렁이 수확기술 개발
- 다층식 형태의 사육시설에서 잉여지렁이 수확기술 개발

3. 다층식 및 비닐하우스식 사육시스템의 현장 적용성 검증(3년차, 2007년)

- 현장 파일롯에서 우분에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율 검증
- 현장 파일롯에서 돈분에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율 검증
- 현장 파일롯에서 기타 농산부산물에 대한 지렁이 처리속도, 지렁이 및 분변토 생산효율 검증
- 지렁이 사육농가 농장 운영 현황 및 현장 애로 설문조사

### ● 연구개발의 이론적, 실험적 접근방법

1. 가축분 및 농산 부산물 재활용효율 제고를 위한 지렁이 사육기술 개발

- ◆ 가축분과 농산부산물을 지렁이로 처리하고 재활용하는데 있어서의 기술적 애로사항을 파악하기 위하여 수원, 강화, 공주, 광주, 논산, 김해 일원의 지렁이 사육농가나 사육업체를 탐문한다. 탐문내용은 농가규모, 먹이구입 방법, 단위 사육상 면적당 처리량, 사육상으로부터 분변토 분리법, 잉여지렁이 수확법, 겨울철 저온

및 여름철 고온 관리법, 사육상의 수분관리법 등이 포함되었다.

- ◆ 지렁이는 그의 개체군 증식 패턴이 소위 K-전략을 따른다. 즉, 일정한 공간내에서 환경조건이 양호하더라도 지렁이 밀도는 무한정 늘어나지 않고 자체의 밀도 조절능력에 의해서 일정 수준의 밀도에서 항상성을 유지하게 된다. 항상성을 유지하게 되는 최고한계밀도를 파악하는 것은 효율적인 폐기물 처리를 위해서 대단히 중요한 정보가 되는데 다음과 같은 방법으로 각 가축분에 대한 지렁이의 최고한계밀도를 탐색하였다. 25℃ 항온조건에서 Bed material로서 분변토를 사육상자에 15cm 두께로 깔고 1kg/m<sup>2</sup>, 2kg/m<sup>2</sup>, 4kg/m<sup>2</sup>의 지렁이를 입식한 후 전처리된 가축분을 2kg/m<sup>2</sup>씩 일정 기간 간격으로 공급하면서 1개월 간격으로 최고 밀도에 이르렀다고 판단될 때까지 지렁이 개체군의 생체량을 조사하였다. 지렁이 좋은 국내에서 널리 사육되고 있는 줄지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였다.
- ◆ 사육상의 단위 면적당 폐기물의 적정 투여량 탐색하기 위해 상기 실험에서 탐색된 최고한계밀도 수준의 지렁이를 사육상자(100×50×25cm, L×W×H)에 입식한 후 전처리된 가축분을 5, 10, 15, 20kg/m<sup>2</sup> 씩 투여한 후 이들의 처리속도를 조사하였다.
- ◆ 온도가 지렁이의 폐기물 처리효율에 미치는 영향 평가하기 위하여 앞실험에서 결정된 지렁이 적정 입식밀도 및 전처리된 가축분의 적정투여량을 온도조건 0~35℃까지 5℃ 간격으로 달리한 항온조건에서 지렁이의 섭식속도, 생체량변화, 산자수, 부화율, 수명 등을 조사하였다.

연구범위		연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
협동1 (대진대)	○ 지렁이 사육 현장 애로사항 조사	○ 지렁이 사육 현장 방문 및 전화 조사	지렁이 사육농가를 직접 방문하거나 기존 네트워크를 이용하여 전화 상담을 통하여 사육 현장 애로 사항(사육기술상의 문제, 판로 등)을 조사
	○ 지렁이 사육상의 단위면적당 적정 입식밀도 구명 및 밀도변화 조사	○ 지렁이 사육상을 조성하는데 필요한 최초의 적정 지렁이 입식량을 규명하기 위해서 사육상의 단위면적당 지렁이 밀도수준을 달리하여 시간의 경과에 따른 먹이 섭취량 및 지렁이 밀도를 조사	최초의 지렁이 입식밀도를 단위면적당 1kg/m <sup>2</sup> , 2kg/m <sup>2</sup> , 3kg/m <sup>2</sup> , 5kg/m <sup>2</sup> 씩으로 하여 입식한 후 매 회 16kg/m <sup>2</sup> 의 먹이를 급이하면서 30일 간격으로 지렁이 밀도 및 섭취량을 조사
	○ 지렁이 사육상의 단위면적당 가축분 및 농산부산물 적정 투입량 구명	○ 사육상에서 섭취효율 및 지렁이 생육 상태를 양호하게 유지하면서 먹이를 처리할 수 있는 적정 먹이 투입량을 결정하기 위해서 단위면적당 먹이 투입량을 달리 하였을 때 시간의 경과에 따른 섭취량 및 지렁이 밀도를 조사	지렁이 사육상에 5kg/m <sup>2</sup> 의 지렁이를 입식하고 단위면적당 16kg/m <sup>2</sup> , 24kg/m <sup>2</sup> , 32kg/m <sup>2</sup> , 40kg/m <sup>2</sup> 의 먹이(우분 + 제지슬러지)를 공급하였다. 지렁이 입식 후 30일 간격으로 지렁이 밀도 및 먹이 섭취량을 조사
	○ 온도가 지렁이의 생육과 가축분 및 농산부산물 처리 효율에 미치는 영향 평가	○ 서로 다른 온도 수준에서 지렁이의 먹이 섭취효율 및 지렁이 개체군 밀도 증식률을 조사	8cm×8cm×4cm(L×W×H) 크기의 플라스틱 사육상에 20g의 지렁이를 입식한 후 0℃, 5℃, 10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃의 항온조건이 유지되는 인큐베이터 내에 사육상자를 넣고 먹이를 공급하면서 섭취량 및 지렁이 밀도 변화를 30일 간격으로 조사

2. 가축분 및 농산부산물 처리후 생성된 분변토 및 잉여 지렁이의 효율적 분리 기술 개발

- 유기성 폐기물 재활용에 이용되는 지렁이 개체군은 사육상의 표층에 서식하는 생태적 특성을 가지고 있다. 따라서 지렁이 사육상으로부터 분변토를 분리할 때, 가능하면 지렁이의 서식공간을 교란하지 않기 위해서 지렁이 서식층의 하단부에서 분변토를 분리하는 것이 바람직하다. 그러나 지렁이의 수직분포는 먹이의 종류에 따라 달라질 수 있으므로 재활용 대상에 따른 지렁이의 수직분포에 대한 정보가 있어야 된다.
- 비닐하우스 및 다층식 사육상에서 돈분, 우분, 기타 농산 부산물을 먹이로 급여 하면서 지렁이가 최고 밀도에 다다랐다고 판단될 때, 표층으로부터 5cm 간격으로 지렁이 개체군의 수직분포를 조사하였다. 5cm 간격의 각 층에 서식하는 지렁이 개체군의 생체량을 유층, 성층으로 나누어 조사하였다. 수직분포 조사결과 자료를 기준으로 분변토 수확 깊이 및 사육상 높이를 결정하였다.
- 지렁이 개체군의 서식처를 교란시키지 않으면서 지렁이 사육상으로부터 잉여지렁이를 수확하기 위해서 지렁이 유인물질 및 유인장치를 고안하였다. 등겨, 체지슬러지, 설탕물, 빵가루 등에 대한 인인효과를 검증하여 유인물질을 선발하였다. 유인 틀의 기본 형태는 Mesh size 0.5mm의 철망 틀에 유인물질을 먹이로 얹어 놓은 다음, 그 위에 표면이 부드럽고 수분을 잘 머금은 부직포를 덮은 형태였다. 지렁이 사육상의 크기에 적정하게 유인 틀의 크기를 결정하였다. 유인 틀에 의한 수확방법과 기존의 재래식 방법과의 수확효율을 비교, 분석하였다.

연구 범위		연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
협동1 (대진대)	0 분변토 수확 기술 개발	0 지렁이 사육상 높이에 따른 지렁이 개체군의 수직분포에 기초하여 사육상의 분변토 수확 부위 결정	0 비닐하우스 사육상에서 분변토 수확 기술 0 다층식 사육상에서 분변토 수확 기술
	0 지렁이 수확 기술 개발	0 지렁이 수확을 위한 유인틀 제작 0 유인제량, 유인기간에 따른 유인효과를 수작업에 의한 수확량과 비교, 분석	0 비닐하우스 사육상에서 지렁이 수확 기술 0 다층식 사육상에서 지렁이 수확 기술

3. 다층식 및 비닐하우스식 사육시스템의 현장 적용성 검증 및 지렁이 사육농가 설문조사

- ◆ 현장에서 지렁이에 의한 가축분 및 농산부산물 재할용 효율을 검증하기 위하여 국내의 기업이나 연구소에서 개발된 다층식 지렁이 사육시스템과 비닐하우스식 단층식 사육상에서 지렁이 처리 효율을 검증하였다. 본 세부과제의 1, 2년차 실험으로부터 탐색된 단위 사육 면적당 지렁이 적정 입식밀도, 전처리된 폐기물의 적정 투여량, 분변토 및 잉여지렁이 수확기술 등을 현장 사육시스템에 적용하여 검증하였다.
- ◆ 농장 운영 현황 및 현장 애로를 파악하기 위하여 주소나 연락처가 확보된 농장에 대하여 방문 또는 전화 통화를 통하여 다음 13가지 항목의 경영적, 기술적 현황과 애로 사항에 관한 설문을 실시하였다. 설문은 35농가에 대하여 시행하였다.

연구범위		연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
협동1 (대진대)	○농산 부산물에 대한 지렁이 사육 모델의 현장 적용성 검증 (비닐하우스, 다단식 사육장)	○ 1, 2년차 연구결과 도출된 초기 지렁이 밀도 적정 입식량, 적정 먹이 투입량, 분변토 분리 기술 등을 적용하여 농산부산물에 의한 지렁이 사육 및 섭식량 조사	○ 비닐하우스 사육상에서 우분, 돈분, 버섯폐배지를 매회 40kg/m <sup>2</sup> 씩 공급하면서 지렁이 개체군 밀도, 사육상의 분변토 높이 및 섭식량을 조사 ○ 다층식 사육상에서 매회 40kg/m <sup>2</sup> 씩 공급하면서 지렁이 개체군 밀도, 섭식량을 조사 ○ 먹이 원료 및 분변토에 대한 이화학 및 중금속 분석
	○ 지렁이 사육농가 농장 운영 현황 및 현장 애로 설문조사	○ 현재 지렁이 사육 현장에서 적용되고 있는 사육 기술 파악을 위한 설문 항목 작성 ○ 현장의 농민들이 판단하는 지렁이 양식의 사업성 및 경영 애로점을 파악할 수 있는 설문항목 작성	○ 현장에서 주로 이용하는 먹이 종류, 운송거리, 1일 처리량 등에 관한 설문 및 분석 ○ 지렁이 농장의 규모, 운영기간, 주 수입원, 주요 애로 사항, 향후 규모 확대, 운영 지속 여부 등에 관한 설문 및 분석

● 연구개발 결과

1. 지렁이 사육상에서 가축분 및 농산부산물 처리효율 최상화와 사육 조건 구명

가. 지렁이 사육현장 애로사항 조사

사육농가 탐방 및 전화 통화를 통하여 파악한 지렁이 사육 현장에서의 애로 사항은 다음과 같이 몇 가지로 정리될 수 있었다.

1) 지렁이 생육에 알맞은 지렁이 먹이의 안정적이고 지속적인 공급이 어렵다.

현재 이용되고 있는 먹이는 제지 슬러지, 식품공장 슬러지 등 주로 산업 슬러지가 이용되고 있으나 이들 슬러지는 중금속, 기타 유해화합물이 규정 농도 이상으로 함유될 가능성이 있다. 유해물질로부터 안전하고 동시에 지렁이 먹이로서 적합한 농산부산물로서 우분을 들 수 있는데 현재는 지렁이 먹이로 이용되기보다는 주로 퇴비원료로 이용되고 있다. 따라서 젓소농가나 한우 농가에서 발생하는 우분을 지렁이 먹이로 이용함으로써 그것의 부가가치를 향상시킬 수 있도록 기술적, 정책적 지원이 필요한 것으로 나타났다.

2) 지렁이 사육상에 투입되는 먹이의 최적상태를 판단할 객관적 지표가 없어 먹이급이 가능 여부를 시행착오와 경험에 의존하고 있었다.

3) 비닐하우스식 지렁이 사육농장에서는 겨울철 혹한기에는 온도조건이 너무 낮고, 여름철 혹서기에는 온도가 너무 높아 지렁이의 생리 활성이 불량하고 먹이를 잘 먹지 못하므로 지렁이 및 분변토의 생산 효율이 저하되고 따라서 수익성이 떨어지게 된다.

4) 지렁이 사육상으로부터 지렁이와 분변토를 분리하는 작업이 번거롭다. 특히 지렁이 성충만이 낚시 미끼용으로 이용되므로 지렁이 개체군에서 성충만 생력적으로 수확하는 기술의 개발이 필요하다

5) 지렁이 판매 용도는 주로 낚시 미끼에 한정되어 있어 판로확보에 어려움을 겪고 있었다. 따라서 지렁이의 소비처가 의약품 및 화장품원료, 가축사료 첨가제 등 다양화될 필요가 있다.



6) 지렁이 사육농가에서 생산되는 분변토의 극히 일부가 비공식적인 과정을 통해서 작물 시비용으로 판매되고 있었으며 대개는 상품으로서 기능을 하지 못하고 있었다.

#### 나. 지렁이 사육상의 단위 면적당 적정 입식밀도 구명 및 밀도변화 조사

##### 1) 지렁이 먹이로 사용된 우분과 제지슬러지의 몇 가지 이화학적 성상

지렁이 먹이로서 흔히 이용되고 있는 제지슬러지의 pH는 7.7로서 중성에 가까우나 젖소분의 경우는 8.7로서 알칼리성을 나타내고 있었다. 특히 전기전도도(EC)에 있어서는 제지슬러지가 1316.7  $\mu\text{m}/\text{cm}$ 이었는데 반해, 젖소분의 경우에는 11,783.6  $\mu\text{m}/\text{cm}$ 로 제지슬러지에 비해 9배가 높은 것으로 나타났다[표 1]. 이것은 젖소 분내에 염류 집적도가 제지슬러지에 비해 현저하게 높다는 것을 의미하고, 지렁이 먹이로서 적합하지 않은 요인이 될 수 있으므로 젖소 분을 지렁이 먹이로 이용하기 위해서는 젖소분내 염류 제거를 위한 전처리 과정이 필요함을 시사하는 것이다.

표 1. 젖소분과 제지슬러지의 이화학적 성상

분석 항목 분석 시료	pH	EC( $\mu\text{m}/\text{cm}$ )	Eh(mV)	수분함량(%)	유기물량(%)
우분	8.7 $\pm$ 0.1	11,783.6 $\pm$ 1,069.3	682.3 $\pm$ 0.3	62.9 $\pm$ 3.7	56.3 $\pm$ 0.5
제지슬러지	7.7 $\pm$ 0.1	1,316.7 $\pm$ 20.2	376.7 $\pm$ 11.3	72.8 $\pm$ 0.4	61.9 $\pm$ 0.5

## 2) 초기 입식량에 따른 지렁이 밀도변화

지렁이 사육상에 초기에 지렁이를  $1\text{kg}/\text{m}^2$ ,  $2\text{kg}/\text{m}^2$ ,  $3\text{kg}/\text{m}^2$ ,  $5\text{kg}/\text{m}^2$  씩 입식한 후 매회  $12\text{kg}/\text{m}^2$ 의 먹이를 급이하였다. 사육상의 먹이를 지렁이가 모두 섭식하면 같은 양의 먹이를 반복하여 급이하면서 30일 간격으로 지렁이 밀도 및 섭식량을 조사하였다. 지렁이 입식후 처음 30일간은 부숙된 우분만을 먹이로 공급하였고, 그 이후에는 우분에 제지슬러지를 3:1의 무게비로 혼합하여 급이하였다. [그림 1]에서 나타난 바와 같이 우분만 급이한 초기 30일간은 지렁이의 밀도가 증가되지 않았으며, 특히 입식밀도가  $5\text{kg}/\text{m}^2$  인 처리구에서는 밀도가 급격하게 감소하였다. 입식후 30일간 지렁이 밀도가 증가되지 않거나 감소한 것은 우분이 지렁이 먹이로서 적절한 이화학적 조건을 갖추지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 특히 높은 지렁이 밀도상태( $5\text{kg}/\text{m}^2$ )에서는 저밀도 상태에서보다 불량한 먹이의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

입식밀도  $1\text{kg}/\text{m}^2$ ,  $2\text{kg}/\text{m}^2$ 인 처리구의 경우 우분과 제지슬러지를 혼합하여 먹이를 공급한 지렁이 입식 30일 이후부터는 입식 초기보다 높은 밀도수준을 나타내었고, 가장 낮은 입식밀도인  $1\text{kg}/\text{m}^2$  처리구에서 지렁이 입식 60일후의 밀도가 가장 높았다. 지렁이 입식 90일후에는 지렁이 입식  $3\text{kg}/\text{m}^2$  처리구의 밀도가 가장 높은 것으로 나타나 초기 입식량의 다소에 따른 경향성이 나타나지 않았다. 이것은 사육상의 초기 입식 밀도를 높게 하는 것이 이후의 지렁이 개체군의 증가율을 높게 하는 결정적인 요인이 아니라는 것을 의미한다. 이러한 현상은 한정된 자원(먹이, 서식공간, 온습도 등) 내에서는 소위 'K-전략적' 개체군 증식 패턴을 가지는 지렁이의 생물학적 특성과 관련이 있는 것으로 판단된다.

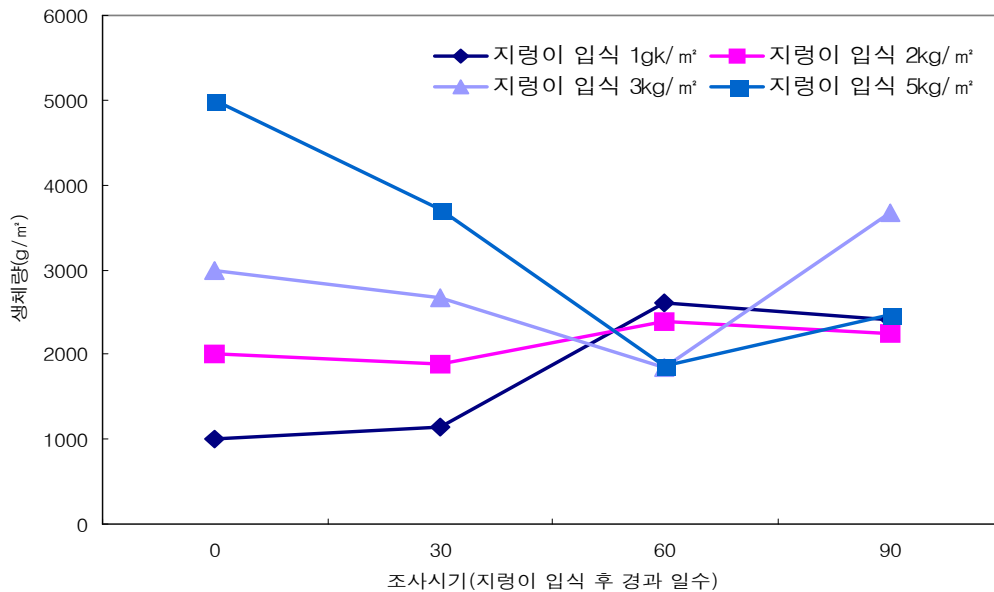


그림 1. 줄 지렁이에 우부 급이 시, 지렁이 입식량에 따른 지렁이 개체군 총 밀도변화 (성충+유충)

\* 먹이 급이량 : 12kg/m<sup>2</sup>/회

지렁이 초기 입식량에 따른 증체율[표 2]은 입식량이 가장 낮았던 1kg/m<sup>2</sup>에서 가장 높은 수준을 유지하였고, 특히 입식 30일후에 다른 처리구에서는 음(-)의 증체율을 나타내었던 것에 반하여 1kg/m<sup>2</sup>처리구에서는 양(+)의 값을 나타내었다.

그리고 각 처리구의 연령구성에 있어서는 지렁이 입식 60일후까지 밀도가 감소한 3kg/m<sup>2</sup>, 5kg/m<sup>2</sup> 처리구의 경우 유충의 구성비가 90% 이상을 차지하고 있는 반면, 지렁이 밀도가 지속적으로 증가한 1kg/m<sup>2</sup> 처리구에서는 유충의 구성비가 34.7~58.7%로 상대적으로 낮은 수준을 유지하였다. 이것은 3kg/m<sup>2</sup>, 5kg/m<sup>2</sup> 처리구에서는 입식초기의 유충이 성충으로 발육하지 못하고 사망하거나 발육이 지연되었기 때문인 것으로 판단된다.

초기 입식량에 따른 지렁이의 산란수[표 4]에 있어서도 입식량이 가장 낮았던 1kg/m<sup>2</sup> 처리구에서는 조사기간 동안 지속적으로 산란을 하고 있었으나, 2kg/m<sup>2</sup>, 3kg/m<sup>2</sup>, 5kg/m<sup>2</sup> 씩 입식한 처리구에서는 입식 60일후까지 전혀 산란이 이루어지지 않고 있었다.

표 2. 줄지렁이에 우분 급이 시, 지렁이 입식량에 따른 지렁이 개체군의 증체량<sup>1</sup> 변화 과 증체율<sup>2</sup>

조사시기 초기 지렁이 입식량(kg/m <sup>2</sup> )		지렁이 입식 30일 후	지렁이 입식 60일 후	지렁이 입식 90일 후
		1	증체량 141.6±625.1	1,615.6±1252.4
	증체율(%) 14.2±62.5	161.6±125.2	141.3±91.1	
2	증체량 -106.8±940.6	379.2±324.6	254.6±343.6	
	증체율(%) -5.3±47.0	19.0±16.2	12.7±17.2	
3	증체량 -324.6±965.2	-1,146.6±556.4	679.8±798.5	
	증체율(%) -10.8±32.2	-38.2±18.5	22.7±26.6	
5	증체량 -1,278.9±1458.0	-3,127.0±289.2	-2,527.0±201.2	
	증체율(%) -25.6±29.2	-62.5±5.8	-50.5±4.0	

1. 증체량(g) = 조사 시 생체량(g/m<sup>2</sup>) - 초기 입식량(5,000g/m<sup>2</sup>)

2. 증체율(%) = ((조사 시 생체량-초기 입식량)/ 초기 입식량)×100

\* 먹이 급이량 : 12kg/m<sup>2</sup>/회

표 3. 줄지렁이에 우분 급이 시, 지렁이 입식량 따른 지렁이 개체군 내 성충과 유충의 밀도(g/m<sup>2</sup>) 및 구성비 변화

초기 지렁이 입식량 (kg/m <sup>2</sup> )	연령	지렁이 입식 30일 후		지렁이 입식 60일 후		지렁이 입식 90일 후	
		g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	%
1	성충	471.2±344.9	41.3	1,708.7±901.5	65.3	1,349.4±1192.6	55.9
	유충	670.5±289.8	58.7	906.8±449.4	34.7	1,063.2±889.0	44.1
2	성충	389.6±280.3	20.6	468.6±311.2	19.7	1,190.4±282.4	52.8
	유충	1,503.6±942.7	79.4	1,911.2±500.6	80.3	1,064.2±326.8	47.2
3	성충	120.8±118.5	4.5	173.8±198.5	9.4	1,052.1±535.4	28.6
	유충	2554.6±846.8	95.5	1,679.6±476.0	90.6	2,627.7±379.9	71.4
5	성충	77.9±101.3	2.1	61.0±34.0	3.3	272.4±203.3	11.0
	유충	3,643.2±1494.6	97.9	1,812.1±255.2	96.7	2,200.6±283.3	89.0

\* 먹이 급이량 : 12kg/m<sup>2</sup>/회

표 4. 줄지렁이에 우분 급이 시, 지렁이 입식량에 따른 난포수 변화(개/m<sup>2</sup>)

조사시기 초기 지렁이 입식량(kg/m <sup>2</sup> )	지렁이 입식 30일 후	지렁이 입식 60일 후	지렁이 입식 90일 후
1	265.0±91.8	636.0±550.8	689.0±815.9
2	0.0± 0.0	0.0±0.0	53.0± 91.8
3	0.0± 0.0	0.0±0.0	212.0± 91.8
5	0.0± 0.0	0.0±0.0	106.0±183.6

\*먹이 급여량 : 12kg/m<sup>2</sup>/회

이상의 결과에서 보았듯이 사육상에 지렁이를 입식하여 증식하고자 할 때, 초기 입식밀도에 따라 지렁이 개체군 밀도가 비례적으로 증식하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이것은 단위 자원(먹이, 서식공간, 온습도 등)당 지렁이 밀도가 높아지면 그만큼 환경저항도 높아지기 때문에 지렁이의 증식률도 저하되기 때문이다. 통상 일정한 면적의 지렁이 사육상에서 기타 조건(먹이, 온도)이 양호할 때 최대 지렁이 서식밀도는 6.5~7.5kg/m<sup>2</sup> 정도로 알려져 있다.

따라서 지렁이 사육농장을 운영하고자 하는 농가에서 지렁이 사육상을 조성할 때, 지렁이 구입비용, 노동비용 등을 고려하여 단위 면적당 초기 지렁이 입식량을 너무 높지 않게 하는 것이 유리한 것으로 판단되며, 초기 입식밀도는 사육상 면적 1m<sup>2</sup>당 2kg 이하로 하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

### 3) 지렁이 사육상에서 분변토 적층속도

[그림 2]는 사육상에 지렁이 입식밀도를 달리하였을 때, 시간의 경과에 따른 분변토의 적층높이를 나타낸 것이다. 조사기간 동안 2kg/m<sup>2</sup>, 3kg/m<sup>2</sup>, 5kg/m<sup>2</sup> 처리구에서는 큰 차이가 없었으며, 지렁이 입식 90일후의 분변토 적층높이는 2kg/m<sup>2</sup>, 3kg/m<sup>2</sup>, 5kg/m<sup>2</sup> 처리구에서 11cm 내외로 큰 차이가 없었고, 1kg/m<sup>2</sup>처리구에서 7.5cm로 가장 낮았다.

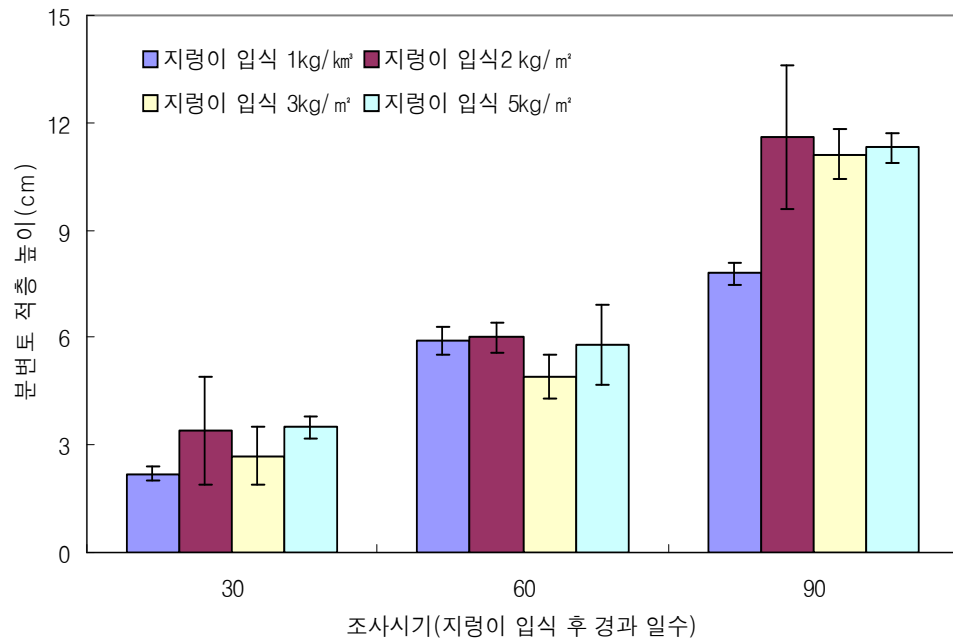


그림 2. 줄지렁이에 우분 급이 시, 초기 지렁이 입식량에 따른 사육상의 분변토 적층 높이 (먹이 급여량 : 12kg/m<sup>2</sup>/회)

지렁이 입식 90후를 기준으로 하였을 때, 단위 시간당 분변토 적층 속도는 2kg/m<sup>2</sup>, 3kg/m<sup>2</sup>, 5kg/m<sup>2</sup> 처리구에서 0.24cm/일/m<sup>2</sup>, 0.23cm/일/m<sup>2</sup>, 0.24cm/일/m<sup>2</sup>로서 차이가 없었고, 1kg/m<sup>2</sup> 처리구에는 0.20cm/일로 상대적으로 낮았다(표 5). 단위 먹이당 분변토 적층률은 2kg/m<sup>2</sup>, 3kg/m<sup>2</sup>, 5kg/m<sup>2</sup> 처리구에서 각각 0.07, 0.07, 0.05, 0.05cm/kg/m<sup>2</sup>로 나타났다[표 5].

초기 지렁이 입식량에 따른 사육기간 별 우분 처리량의 경우 지렁이 입식 60일 후까지는 1kg/m<sup>2</sup>, 2kg/m<sup>2</sup> 처리구가 3kg/m<sup>2</sup>, 5kg/m<sup>2</sup> 처리구보다 낮았으나, 지렁이 입식 후 60~90일간 처리량은 모든 지렁이입식 처리구에서 72.0kg으로 차이가 없었다[표 6]. 이것은 지렁이 조사후기로 갈수록 모든 지렁이 입식 처리구에서의 지렁이 밀도 수준이 유사해졌기 때문인 것으로 판단된다.

표 5. 줄지렁이에 우분 급이시 지렁이 입식량 따른 사육상의 분변토 적층 속도<sup>1</sup>와 분변토 적층율<sup>2</sup>

초기 지렁이 입식량(kg/m <sup>2</sup> )	단위시간당 분변토 적층 속도 <sup>1</sup> (cm/일/m <sup>2</sup> )	단위먹이당 분변토 적층율 <sup>2</sup> (cm/kg/m <sup>2</sup> )
1	0.20±0.00	0.07±0.01
2	0.24±0.02	0.07±0.01
3	0.23±0.01	0.05±0.00
5	0.24±0.00	0.05±0.00

1. 단위시간당 분변토 적층 속도 = 지렁이 입식 90일 후 사육상 분변토 적층 높이(cm)/ 90일
  2. 단위면적당 분변토 적층율 = 지렁이 입식 90일 후 사육상 분변토 적층 높이(cm)/90일간 우분 처리량(kg)
- \* 먹이 급이량 : 12kg/m<sup>2</sup>/회

표 6. 줄지렁이에 우분 급이 시, 초기 지렁이 입식량에 따른 사육기간 별 우분 처리량(kg/m<sup>2</sup>)

초기 지렁이 입식량(kg/m <sup>2</sup> )	지렁이 입식 후 0~30일간 처리량	지렁이 입식 후 30~60일간 처리량	지렁이 입식 후 60~90일간 처리량	지렁이 입식 후 0~90일간 처리량
1	64.0±13.9	48.0±0.0	72.0±0.0	184.0
2	56.0±13.9	48.0±0.0	72.0±0.0	176.0
3	72.0±0.0	72.0±0.0	72.0±0.0	216.0
5	72.0±0.0	72.0±0.0	72.0±0.0	216.0

\* 먹이 급이량 : 12kg/m<sup>2</sup>/회

표 7. 줄지렁이에 우분 급이 시, 지렁이 입식량에 따른 사육 기간 별 우분 처리 속도(kg/일/m<sup>2</sup>)

초기 지렁이 입식량 (kg/m <sup>2</sup> )	지렁이 입식 후 0~30일간 처리속도	지렁이 입식 후 30~60일간 처리속도	지렁이 입식 후 60~90일간 처리속도
1	2.13±0.46	1.60±0.00	2.40±0.0
2	1.87±0.46	1.60±0.00	2.40±0.0
3	2.40±0.00	2.40±0.00	2.40±0.0
5	2.40±0.00	2.40±0.00	2.40±0.0

\* 먹이 급여량 : 12kg/m<sup>2</sup>/회

#### 다. 지렁이 사육상의 단위 면적당 가축분 및 농산부산물의 투여량 구명

##### 1) 먹이 투여량에 따른 지렁이 밀도 변화

지렁이 사육상에 5kg/m<sup>2</sup>의 지렁이를 입식하고, 먹이 급여량을 달리 하였을 때 지렁이의 밀도변화 및 섭식효율을 조사하였다. 먹이 급여량은 각 처리구에서 16kg/m<sup>2</sup>, 24kg/m<sup>2</sup>, 32kg/m<sup>2</sup>, 40kg/m<sup>2</sup>이었다. 각 처리구에서 먹이를 다 먹으면 같은 양의 먹이를 같은 방법으로 반복해서 급이하였다. 지렁이 입식후 처음 30일간은 부숙된 젖소분만을 먹이로 공급하였고, 그 이후에는 우분에 체지슬러지를 3:1의 무게비로 혼합하여 급이하였다. 지렁이 입식후 30일 간격으로 90일후까지 지렁이 밀도, 분변토 적층높이 및 섭식량을 조사하였다.

[그림 3]은 지렁이 입식후 먹이급여량을 달리하였을 때, 사육상에서 지렁이 밀도 변화를 나타낸 것이다. 젖소분만 급이한 초기 30일간은 지렁이 밀도가 전반적으로 감소하였는데 먹이급여량이 적을수록 감소율도 증가하였다. 반면 젖소분과 체지슬러지를 혼합하여 급이하기 시작한 지렁이 입식 30일 이후에는 전반적으로 밀도가 증가하였는데, 증가율은 먹이급여량이 많을수록 높아지는 경향을 나타내었다. 특히 지렁이 입식 90일후에 40kg/m<sup>2</sup>을 먹이로 급이한 처리구에서의 밀도는 7.5kg/m<sup>2</sup>로 다른 처리구보다 현저하게 높았다. 그리고 먹이급여량이 가장 낮았던 16kg/m<sup>2</sup>처리구에서는 지렁이 입식 90일후까지의 밀도가 3.0kg/m<sup>2</sup>으로 초기



입식밀도인  $5\text{kg}/\text{m}^2$ 보다 낮은 수준을 유지하였다.

이상의 결과로부터 지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 일정 정도 이상(본 실험에서는  $5\text{kg}/\text{m}^2$ ) 형성된 이후에는 단위 사육 면적당 1회에 투입되는 먹이량이  $40\text{kg}/\text{m}^2$ 정도인 것이 그 보다 적은 경우보다 지렁이 증식과 먹이급이를 위한 작업효율 측면에서 유리하다는 것을 알 수 있다. 다만 1회에 급이하는 먹이량이 많기 위해서는 먹이의 이화학적 상태가 지렁이 먹이로서 적합할 때에 한해서 가능할 것으로 판단된다. 통상 부숙이 덜 된 유기성 폐기물을 사육상에 급이하게 되면 사육상에서 발효가 일어나 암모니아, 황화수소, 메르캅탄 등의 가스가 발생하여 지렁이에게 치명적인 영향을 미치게 된다. 한편, 1회에 투입되는 먹이량이  $40\text{kg}/\text{m}^2$ 이상일 경우의 섭식반응 및 지렁이 밀도에 미치는 영향은 추가로 검토되어야 할 사항이다.

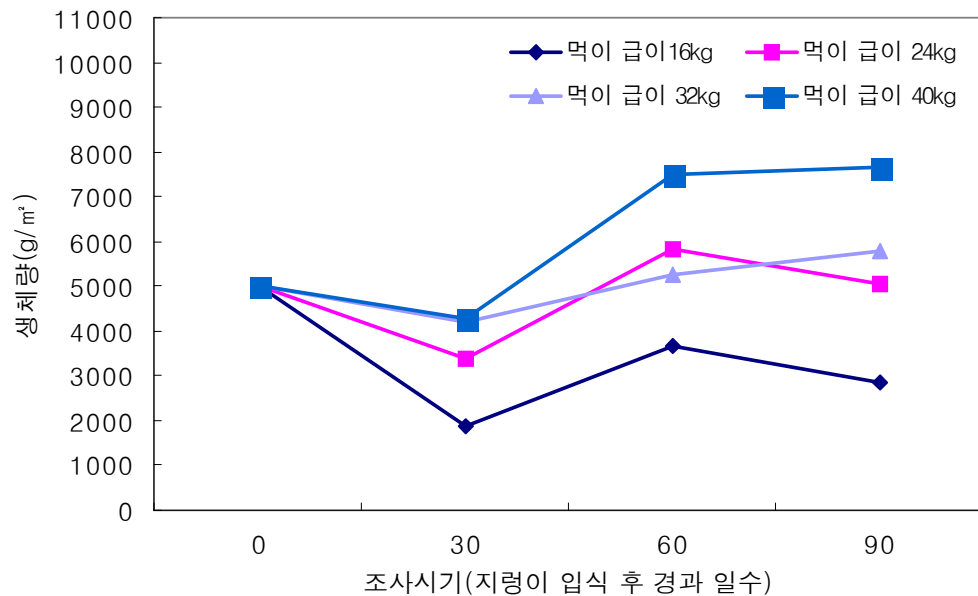


그림 3. 줄 지렁이에 우분 급이 시, 먹이 급이량에 따른 지렁이의 총 밀도변화 (성충+유충) (초기 줄 지렁이 입식량 :  $5\text{kg}/\text{m}^2$ )

지렁이 밀도가 감소한 입식 30일후에 각 처리구내 지렁이 개체군의 연령구성은 유충이 84.3~99.4%로 개체군의 대부분을 차지하고 있었다. 그리고 지렁이의 증식이 잘 이루어지지 않았던 먹이 급이  $16\text{kg}/\text{m}^2$  처리구에서는 입식 60일후에도 유충이 92.0%로 다른 처리구의 51.7~60.4%보다 현저하게 높았다[표 8]. 입식 90일

후에 먹이 급이 40kg/m<sup>2</sup> 처리구의 유충비율은 28.8%로 다른 먹이급이 처리구보다 현저하게 낮았다. 일반적으로 지렁이 증식률이 양호할수록 유충비율이 낮았는데 이것은 지렁이 개체군을 구성하고 있던 유충의 발육상태가 상대적으로 양호하여 성충으로의 성장률이 높았기 때문인 것으로 판단된다. 먹이급이량에 따른 지렁이 입식 90일후 지렁이의 산란수에 있어서도 먹이 급이 40kg/m<sup>2</sup> 처리구가 다른 처리구에 비해 현저하게 높았다[표 9].

표 8. 줄 지렁이에 우분 급이 시, 먹이 급이량에 따른 지렁이 개체군 내 성충과 유충의 밀도(g/m<sup>2</sup>) 및 구성비 변화

조사시기 먹이 투입량 (kg/m <sup>2</sup> )/회		지렁이 입식 30일 후		지렁이 입식 60일 후		지렁이 입식 90일 후	
		g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	%	g/m <sup>2</sup>	%
16	성충	29.7± 51.4	1.6	293.1± 289.2	8.0	634.4± 381.0	22.4
	유충	1,855.0±538.0	98.4	3,365.5± 962.0	92.0	2,197.4± 210.1	77.6
24	성충	21.2± 36.7	0.6	2,311.3± 896.7	39.6	2,077.6± 469.9	41.3
	유충	3,359.1±982.7	99.4	3,526.1±1193.4	60.4	2,958.5± 515.5	58.7
32	성충	238.5±139.7	5.7	2,545.6± 430.0	48.3	2,420.5± 286.3	41.9
	유충	3,954.9±1,126.4	84.3	2,724.2± 134.7	51.7	3,356.0± 489.1	58.1
40	성충	447.3± 234.8	10.5	4,314.7±1578.9	57.4	5,455.8±3255.8	71.2
	유충	3,812.3±1254.7	89.5	3,200.1± 589.0	42.6	2,207.5± 982.2	28.8

\*초기 줄지렁이 입식량 : 5kg/m<sup>2</sup>

표 9. 줄지렁이에 우분 급이 시, 먹이 급이량에 따른 지렁이의 난포수

조사시기 먹이 급이량(kg/m <sup>2</sup> /회)	지렁이 입식 30일 후 (개/m <sup>2</sup> )	지렁이 입식 60일 후 (개/m <sup>2</sup> )	지렁이 입식 90일 후 (개/m <sup>2</sup> )
16	0.0±0.0	106.0±193.6	0.0±0.0
24	106.0±183.6	106.0±183.6	106.0±91.8
32	0.0±0.0	0.0±0.0	954.0±0.0
40	0.0±0.0	0.0±0.0	7,155.0±5,015.5

\*초기 줄지렁이 입식량 : 5kg/m<sup>2</sup>

2) 먹이 투입량에 따른 분변토 적층속도

[그림 4]는 사육상에 5kg/m<sup>2</sup>의 지렁이를 입식하고 1회에 투입되는 먹이량을 달리 하였을 때 사육상에서의 분변토 적층 높이를 나타낸 것이다. 1회에 투입되는 먹이량이 많을수록 분변토 적층높이도 높아지는 것을 알 수 있다. 이것은 일정한 서식공간에서 먹이량이 충분할 때, 'K-전략적' 증식 패턴을 가지고 이는 지렁이 개체군의 개체들 간에 경쟁이 감소한 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 지렁이 입식 90일후에 먹이 급이 40kg/m<sup>2</sup> 처리구에서 분변토 적층 높이는 28cm이었다.

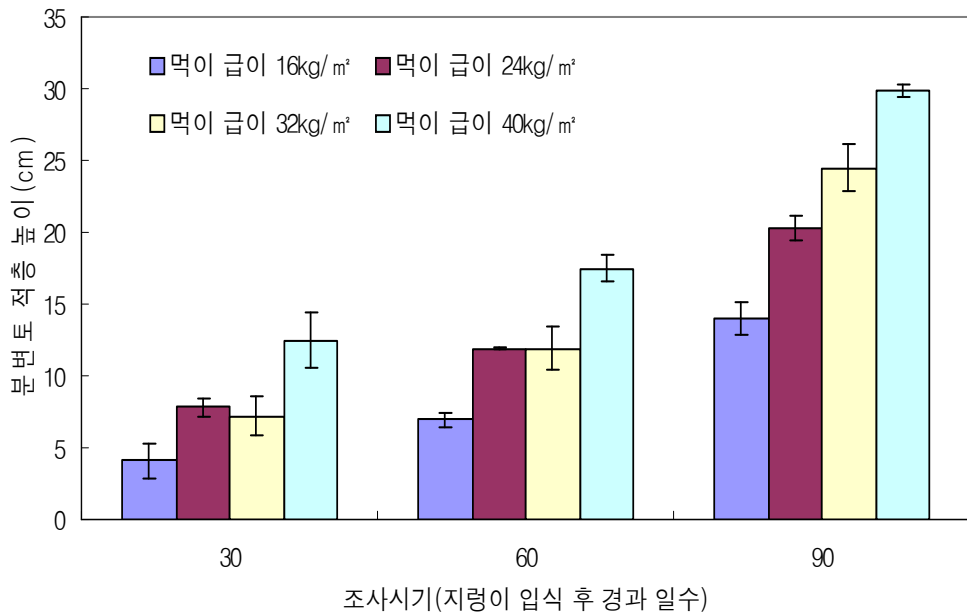


그림 4. 줄지렁이에 우분 급이 시, 매회 먹이 투입량에 따른 사육상의 분변토 적층 높이 (초기 줄지렁이 입식량 : 5kg/m<sup>2</sup>)

먹이 투입량에 따른 사육기간 별 우분 처리량은 당연히 먹이 급이 40kg/m<sup>2</sup> 처리구에서 높았으며, 지렁이 입식 30일 이후에는 그 차이가 더 커졌다[표 10].

단위 시간당 분변토 적층속도는 먹이급이 16kg/m<sup>2</sup>, 24kg/m<sup>2</sup>, 32kg/m<sup>2</sup>, 40kg/m<sup>2</sup> 처리구에서 각각 0.27, 0.34, 0.38, 0.44cm/일/m<sup>2</sup>로서 1회 먹이 투입량이 많을수록 분변토 적층속도가 빨라졌다[표 11]. 그러나 단위 먹이량에 따른 분변토 적층률은 16kg/m<sup>2</sup>, 24kg/m<sup>2</sup>, 32kg/m<sup>2</sup>, 40kg/m<sup>2</sup>처리구에서 각각 0.10, 0.09, 0.10, 0.09cm/kg/m<sup>2</sup>로서 차이가 없었다.

이상의 결과로부터 지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 일정수준으로 높아졌을 때 (5kg/m<sup>2</sup>이상)에는 지렁이 사육상에 매회 투입되는 먹이량을 40kg/m<sup>2</sup> 이상으로 하는 것이 가축분 처리, 지렁이 밀도 증식 및 분변토 생산 측면에서 효율적인 것으로 나타났다.

표 10. 줄지렁이에 우분 급이시, 먹이 투여량에 따른 사육기간 별 우분 처리량

먹이 투여량(kg/m <sup>2</sup> /회)	지렁이 입식 후 0~30일 간 처리량 (kg/m <sup>2</sup> )	지렁이 입식 후 30~60일 간 처리량 (kg/m <sup>2</sup> )	지렁이 입식 후 60~90일간 처리량 (kg/m <sup>2</sup> )
16	48.0± 0.0	48.0± 0.0	37.3± 9.2
24	88.0±13.9	80.0±13.9	64.0±13.9
32	64.0± 0.0	96.0± 0.0	64.0± 0.0
40	93.3±23.1	120.0± 0.0	120.0± 0.0

\*초기 줄지렁이 입식량 : 5kg/m<sup>2</sup>

표 11. 줄지렁이에 우분 급이 시, 먹이 투여량에 따른 사육상의 분변토 적층 속도<sup>1</sup>와 분변토 적층율<sup>2</sup>

분변토 적층 속도 및 적층율 먹이 투여량(kg/m <sup>2</sup> /회)	단위시간당 분변토 적층 속도 <sup>1</sup> (cm/일/m <sup>2</sup> )	단위 먹이당 분변토 적층율 <sup>2</sup> (cm/kg/m <sup>2</sup> )
16	0.27±0.01	0.10±0.01
24	0.34±0.01	0.09±0.01
32	0.38±0.02	0.10±0.01
40	0.44±0.00	0.09±0.02

1. 분변토 적층 속도 = 지렁이 입식 90일 후 사육상 분변토 적층 높이(cm)/ 90일

2. 분변토 적층율 = 지렁이 입식 90일 후 사육상 분변토 적층 높이(cm)/90일간 우분 처리량(kg)

\*초기 줄지렁이 입식량 : 5kg/m<sup>2</sup>

표 12. 줄지렁이에 우분 급이시, 먹이 투여량에 따른 사육기간 별 우분 처리속도<sup>1</sup>(kg/일/m<sup>2</sup>)

먹이 투여량 (kg/m <sup>2</sup> /회)	지렁이 입식 후 0~30일 간 처리속도	지렁이 입식 후 30~60일 간 처리속도	지렁이 입식 후 60~90일간 처리속도
16	2.0±0.0	16.0±0.0	12.0±0.3
24	2.9±0.5	2.7±0.5	2.1±0.5
32	2.1±0.0	3.2±0.0	2.1±0.0
40	3.1±0.8	4.0±0.0	4.0±0.0

1. 처리속도 = 조사 기간 처리된 우분 량(kg/30일/m<sup>2</sup>)

\*초기 줄지렁이 입식량 : 5kg/m<sup>2</sup>

#### 라. 온도가 지렁이의 생육과 가축분 및 농산부산물 처리 효율에 미치는 영향 평가

환대가 생기기 직전의 줄지렁이 유충을 4마리씩 입식한 8.2X8.2X4.1 (LXWXH)cm 크기의 사육상자를 5℃, 10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃ 로 유지되는 인큐베이터에 넣고 제지슬러지를 먹이로 주면서 지렁이의 개체수변화, 산란수, 난포당 부화개체수, 알 부화기간을 조사하였다.

##### 1) 온도에 따른 지렁이 밀도 변화

[그림 5]는 사육상자에 4마리의 지렁이 유충을 넣은 후 서로 다른 온도에서 사육하면서 시간의 경과에 따른 개체수의 변화를 나타낸 것이다. 35℃에서는 입식 초기에 지렁이가 사망하였으며, 본 그림에서 나타내지 않았으나 0℃에서도 지렁이가 초기에 사망하는 것으로 나타났다. 나머지 온도조건( 10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 30℃)에서는 지렁이 유충 입식 60일후까지 각 온도에서 개체수의 차이가 없었다. 이것은 지렁이 유충이 성충으로 성장하여 산란을 한 후 산란된 난이 부화되어 새로운 개체로 발육할 만큼 충분한 시간이 경과되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 지렁이 입식 90일 이후부터는 온도에 따라 지렁이 개체수가 차이가 나기 시작하였

는데, 10℃와 30℃에서는 입식후 150일후까지 지렁이 개체수가 증가하지 않았다. 20℃에서 가장 높은 증가율을 나타내었고, 25℃, 15℃ 순으로 높은 증가율을 나타내었다. 이상의 결과로부터 지렁이의 생육 적온은 20~25℃사이인 것으로 추정된다. 30℃이상의 고온이나 15℃이하의 저온에서는 지렁이 증식률이 적온에서보다 현저하게 저하되는 것으로 판단된다.

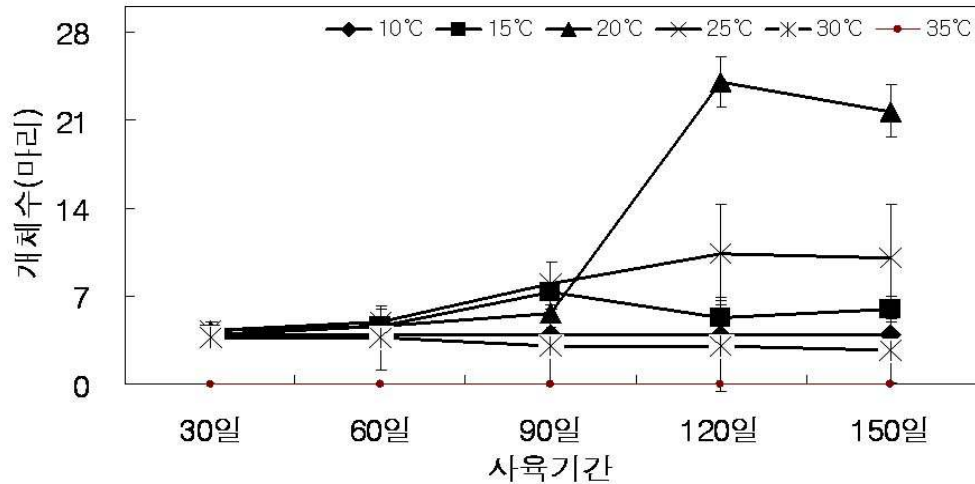


그림 5. 시간의 경과에 따른 지렁이 개체수의 변화

## 2) 온도에 따른 지렁이의 난포 생산수, 난포당 부화 개체수 및 부화기간

난포 생산수는 20℃에서 가장 높았으며, 25℃도 다른 온도 조건에서보다 현저하게 높았다. 0℃, 35℃에서는 전혀 난포 생산이 이루어지지 않았으며, 30℃ 보다는 10℃, 15℃에서의 난포생산수가 많았다[그림 6]. 한편 한 개의 난포로부터 부화되어 나오는 지렁이 개체수는 1.7~2.2마리로 온도에 따라 큰 차이는 없었다[그림 7]. 그러나 난포의 부화기간은 온도가 낮아질수록 길어지는 현상을 나타내었다[그림 8]. 20~30℃에서 부화기간은 20~30일 정도인 것으로 나타났으나, 10℃에서는 70일 이상, 5℃에서는 100일 정도가 되는 것으로 나타났다.

이상에서 10℃이하의 저온은 지렁이 개체군 성장 요인 중 산란수와 부화기간에 영향을 미치고, 30℃ 이상의 고온은 부화 기간보다는 산란수에 심대한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 온도조건이 지렁이 난포당 부화 개체수에는 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.

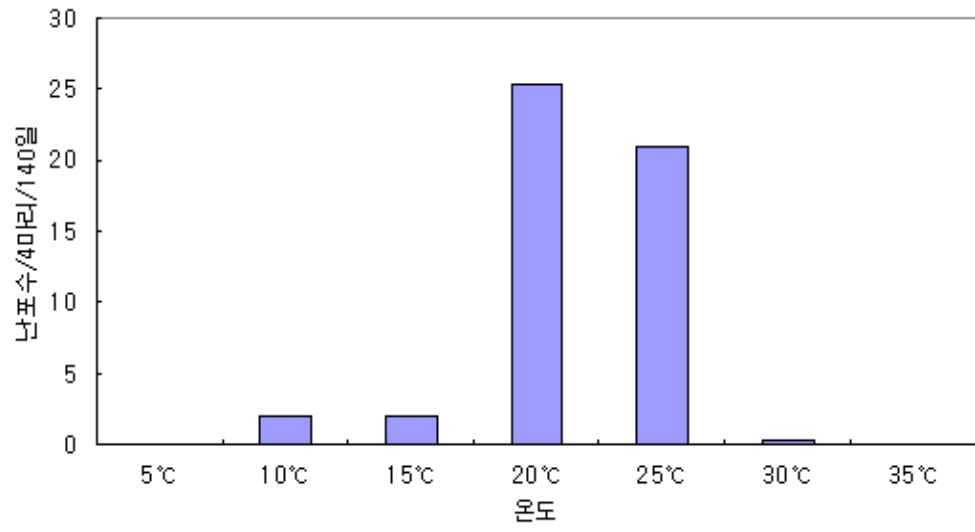


그림 6. 온도에 따른 난포 생산수

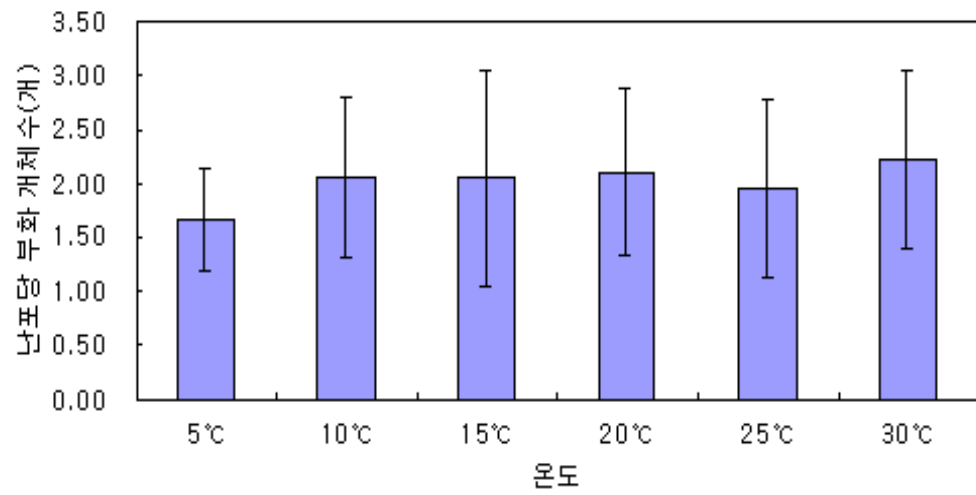


그림 7. 온도에 따른 난포당 부화 개체수



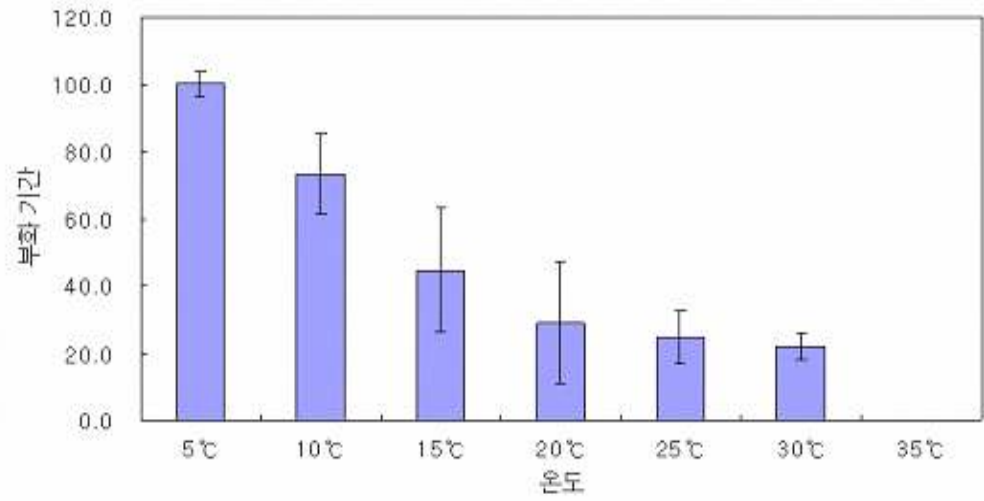


그림 8. 온도에 따른 지렁이 알 부화기간

## 2. 지렁이 사육시설에서 분변토 및 잉여지렁이 수확 기술 개발

### 가. 지렁이 사육상에서 지렁이의 수직분포 및 분변토 수확 기술

#### 1) 분변토 수확기술 개발에서 지렁이 수직분포의 중요성

지렁이를 생태학적으로 분류할 때 크게 토양의 표층부위에 서식하는 ‘천층종’과 토양의 심층부에 서식하는 ‘심층종’으로 구분한다. 유기성 폐기물에 대한 지렁이 퇴비화에 이용되는 지렁이 종류는 ‘천층종’에 해당된다. 즉 지렁이 사육상의 상층부에 주로 서식하는 생태학적 특징을 가지고 있다는 의미이다. 본 연구개발에서 이용한 지렁이 종은 ‘천층종’인 줄지렁이(*Eisenia foetida*)였다.

지렁이 사육시설에서 지렁이 먹이를 공급할 경우 지렁이 사육상 표면에 먹이를 뿌려주게 된다. 지렁이는 표면에 뿌려진 먹이를 먹으면서 표층부위에 배설을 한다. 이러한 과정이 반복되면서 지렁이 사육상의 표층은 새로운 분변토가 축적되면서 사육상의 높이가 높아지게 된다. 사육상의 높이가 높아지면서 새로운 표층이 형성되면 지렁이의 주요 서식부위도 기존의 위치에서 새로운 표층으로 점차 이동하게 된다.

따라서 지렁이 사육상으로부터 분변토를 분리, 수확할 때는 지렁이가 서식하지 않고 있는 사육상의 하단부의 분변토를 수확해내야 하는데, 이 경우 사육상 상층부에 서식하고 있는 지렁이와 난포가 떨어져 나오지 않도록 하는 깊이의 하단부 분변토를 분리, 수확해내야 한다. 분변토 수확시 지렁이와 난포가 떨어져나오지 않게 하기 위해서는 지렁이 사육상 높이에 따른 지렁이 개체군의 수직분포에 대한 정보가 필수적으로 요구된다.

#### 2) 사육상 높이에 따른 지렁이 개체군 수직분포 조사방법



그림 9. 수직분포 조사용 사육상자 (L×W×H, 25×25×5 cm)



그림 10. 적층된 수직분포 조사용 사육상자

[그림 9]와 같이 가로 25cm × 세로 25cm × 높이 5 cm이고, 바닥은 Mesh 크기 0.5cm인 철망을 부착한 사육상자를 제작하였다. 초기에는 사육상자 3개를 적층하여 아래의 2개 층(10cm)은 분변토로 채우고 맨 위 상자에 줄지렁이를 80g 입식하였다. 매회 320g의 제지슬러지를 먹이로 공급하면서 상부의 사육상자가 분변토

로 가득 차게 되면 각 층(높이 5cm)의 사육상자에 서식하는 지렁이를 성충, 유충, 난포로 구분하여 성충, 유충은 생체량을 측정하고, 난포는 개체수를 계수하였다. 조사된 지렁이는 원래 적층되었던 상자에 되돌려 놓고 그 위에 새로운 사육상자를 얹은 다음 [그림 10] 새로운 사육상자에 제지슬러지를 공급하였다. 이러한 과정을 반복하면서 매 5cm 높이 간격으로 사육상자 높이가 50cm가 될 때까지 지렁이의 수직분포 및 밀도를 조사하였다.

### 3) 사육상 높이에 따른 지렁이 개체군의 수직분포

#### 가) 먹이인 제지슬러지의 이화학 성상

[표 1]은 줄지렁이의 수직분포 조사를 위해 먹이로 공급하였던 제지슬러지의 이화학 성상이다. pH는 7.6으로서 지렁이가 좋아하는 중성의 범위에 있었고, 전기전도도(EC) 값도  $854\mu\text{s}/\text{cm}$  로서 염류 농도도 낮았으며, 산화환원전위(Eh), 수분함량도 지렁이가 섭식하기에 적정 범위에 있는 것으로 나타났다. 즉 지렁이 먹이로서 제지슬러지는 매우 양호한 상태였던 것으로 판단된다.

표 13. 제지슬러지 이화학적 성상

성상 \ 시료	pH	EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Eh(mV)	수분함량(%)
제지슬러지	$7.6\pm 0.06$	$854\pm 84.8$	$110.9\pm 97.91$	$77.3\pm 0.23$

#### 나) 사육상 높이에 따른 지렁이 밀도 및 처리속도

수직분포 조사용 사육상자에서 상자높이 15cm부터 5cm씩 상자의 높이가 증가할 때마다 전체 사육상자내에 서식하는 지렁이의 생체량을 조사하였다[그림 11]. 사육상자 적층높이가 15cm일 때  $1,470.6\text{g}/\text{m}^2$ 이었던 지렁이 생체량이 사육상자의 적층높이가 증가함에 따라 같이 증가하는 경향을 나타내었는데, 적층 높이 50cm일 때 생체량은  $3,608.5\text{g}/\text{m}^2$ 에 이르렀다. 그리고 성충보다는 유충의 생체량이 높게 유지되는 경향을 나타내었다.

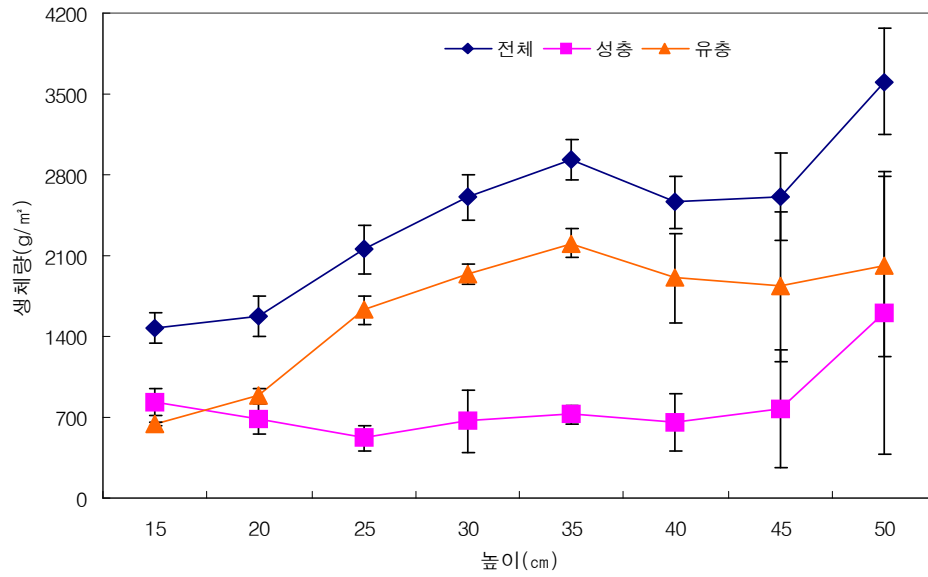


그림 11. 높이에 따른 줄지렁이의 개체군 밀도 변화

전체 사육상자내의 지렁이 난포수[그림 12]는 지렁이 생체량이 낮았던 초기의 낮은 적층 높이에서 많았고 지렁이 생체량이 늘어감에 따라 사육상자내의 난포수가 줄어드는 경향을 나타내었다. 이것은 일정 면적에서 개체군 밀도가 증가함에 따라 K-전략적 개체군 밀도증식 패턴을 보이는 것으로 알려져 있는 줄지렁이의 산란수가 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

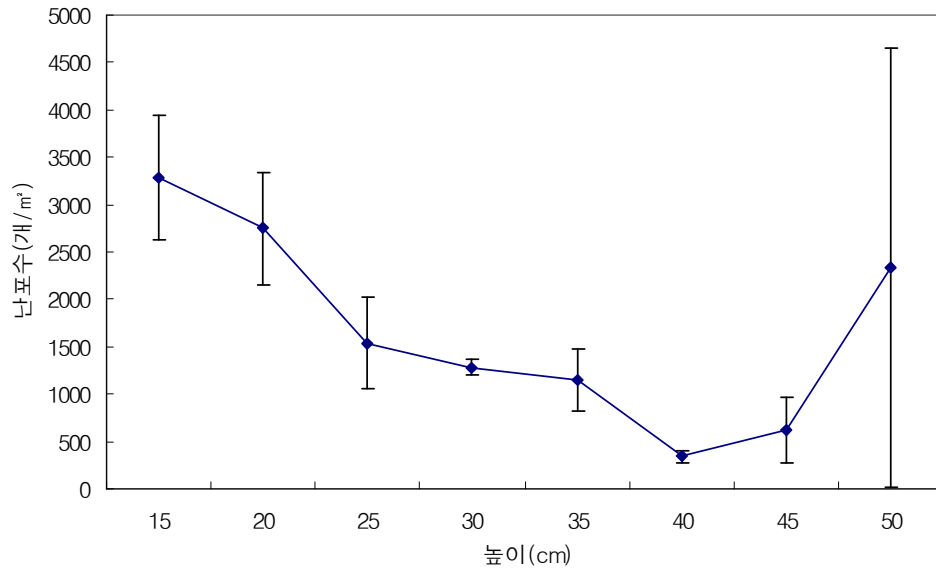


그림 12. 높이에 따른 줄지렁이의 난포수 변화

[그림 13]은 적층된 사육상자(25x25cm, LxW)에 매회 320g의 먹이, 즉 m<sup>2</sup>당 5,120g의 먹이를 공급하였을 때, 그것을 다 섭식하는 데 걸리는 시간, 즉 먹이 처리 속도를 나타낸 것이다. 짧게는 2일부터 길게는 8일까지 소요되었으며, 밀도가 높아진 후반부라고 해서 섭식속도가 빨라지지는 않는 것으로 나타났다. 따라서 섭식속도에 미치는 지렁이 밀도 이외의 요인에 관한 분석이 향후 요망된다. 그리고 2일 동안에 사육상 면적 1 m<sup>2</sup>당 5,120g 정도의 먹이를 섭식할 수 있게 하는 지렁이 사육환경의 조성 기술이 지렁이 퇴비화에 있어서 매우 중요한 과제이기도 하다.

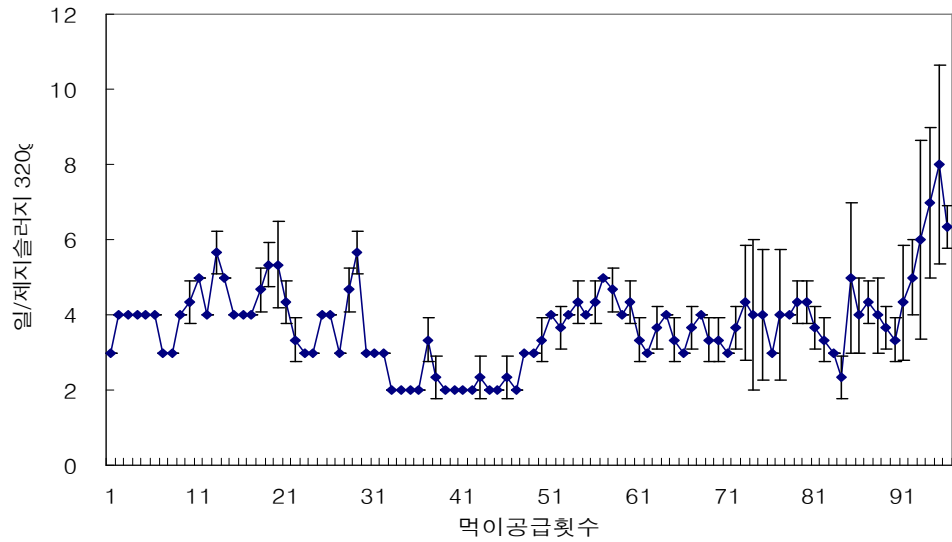


그림 13. 사육상자내 줄지렁이의 제지슬러지 처리속도  
(일/제지슬러지 320g/사육상자(25x25 cm))

[표 14]는 지렁이 사육상자에서 매 5cm의 분변토가 쌓이는데 소요되는 시간을 나타낸 것이다. 분변토가 5cm 적층되는데 걸리는 시간은 24.7~52.0일로 편차가 크게 나타났으며, 분변토 높이가 35cm가 될 때까지는 분변토 적층속도가 빨라지다가 이후 50cm 높이가 될 때까지는 적층속도가 느려지는 경향을 나타내었다. 그리고 10cm에서 50cm까지 적층되는데 걸리는 시간, 즉 40cm 적층되는데 걸리는 시간은 약 300일로 나타났다.

표 14. 사육상자내 분변토의 적층속도

사육상 높이 (cm)	적층기간 (일)	누적 적층기간 (일)
10~15	29.0	29.0
15~20	52.0	81.0
20~25	32.0	113.0
25~30	25.0	138.0
30~35	24.7	162.7
35~40	46.3	209.0
40~45	41.0	250.0
45~50	51.3	301.3

다) 사육상 높이에 따른 지렁이 수직분포

[그림 14~21]은 사육상의 높이에 따른 줄지렁이 개체군의 수직분포를 나타낸 것이다. 사육상 높이가 15cm일때 지렁이 성충, 유충, 난포의 95% 이상이 상층부 5cm이내에 서식하는 것으로 나타났다[그림 14].

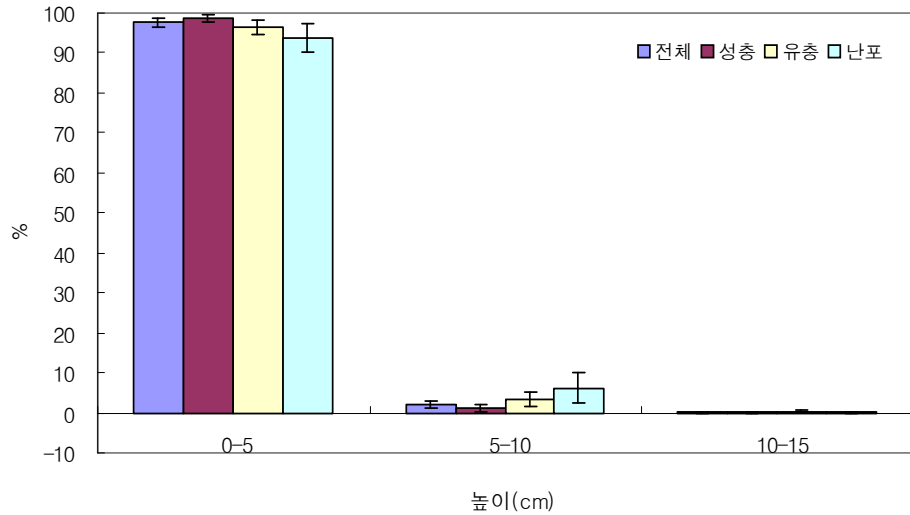


그림 14. 사육상 높이가 15cm일 때 줄지렁이의 수직분포  
(전체 생체량 : 1470.6g/m<sup>2</sup>)

사육상 높이가 20cm일때 상층부의 0~5cm에는 성충, 유충, 난포의 66.4, 77.8, 57.7%가 서식하고, 상층부의 5~10cm에는 성충, 유충, 난포의 31.5, 20.2, 41.7%가 서식하고 있었다. 즉 상층부 10cm 이내에 95% 이상의 지렁이가 서식하는 것으로 나타났다[그림 15].



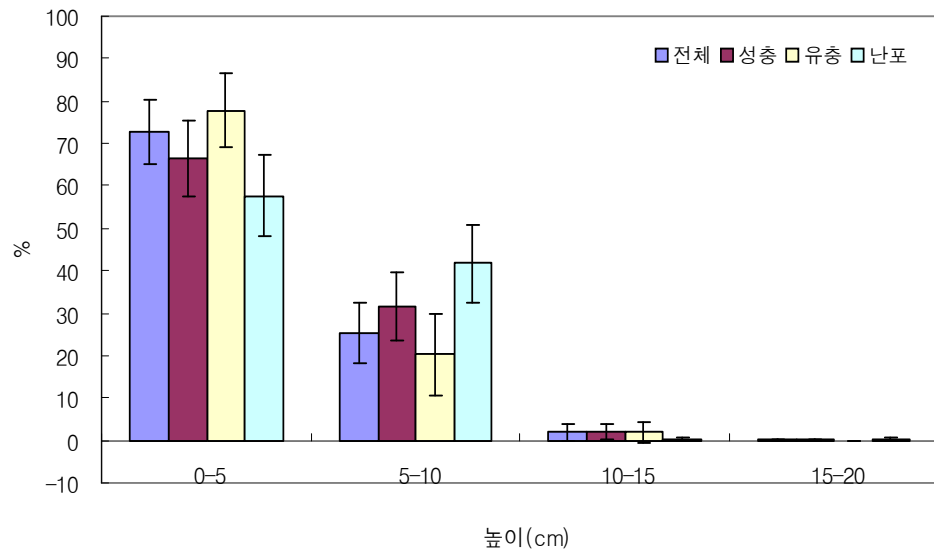


그림 15. 사육상 높이가 20cm일 때 줄지렁이의 수직분포  
(전체 생체량 : 1573.0g/m<sup>2</sup>)

사육상 높이가 25cm일때는 상층부의 0~5cm에는 성충, 유충, 난포의 67.1, 74.7, 31.7%, 상층부의 5~10cm에는 성충, 유충, 난포의 19.3, 16.2, 54.2%, 상층부 10~15cm에는 성충, 유충, 난포의 11.0, 6.4, 12.0%가 서식하고 있었다. 즉 상층부 15cm 이내에 95% 이상의 지렁이가 서식하는 것으로 나타났다[그림 16]. 난포의 경우 최상층부인 0~5cm보다는 5~10cm 깊이에 더 많이 분포하는 것으로 나타났다. 이것은 산란당시에는 최상층부인 0~5cm 깊이에 있던 난포가 분변토가 쌓이게 됨에 따라 조사당시에는 상대적으로 하층부에 위치한 것으로 조사되었기 때문인 것으로 판단된다.

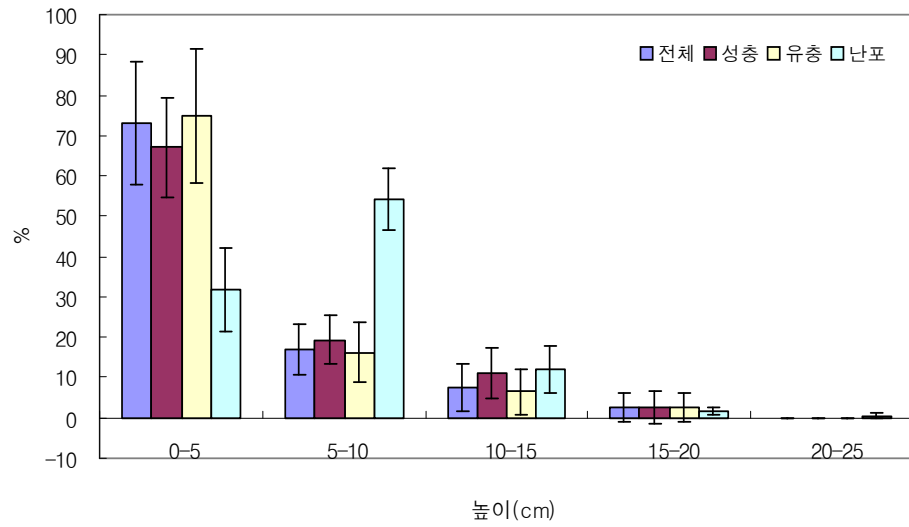


그림 16. 사육상 높이가 25cm일 때 줄지렁이의 수직분포  
(전체 생체량 : 2151.5g/m<sup>2</sup>)

사육상 높이가 30, 35cm일때 지렁이의 수직분포는 사육상 높이 25cm일때의 수직분포와 유사하였고, 20~35cm 깊이에서는 거의 서식하지 않는 것으로 나타났다[그림 17, 18].

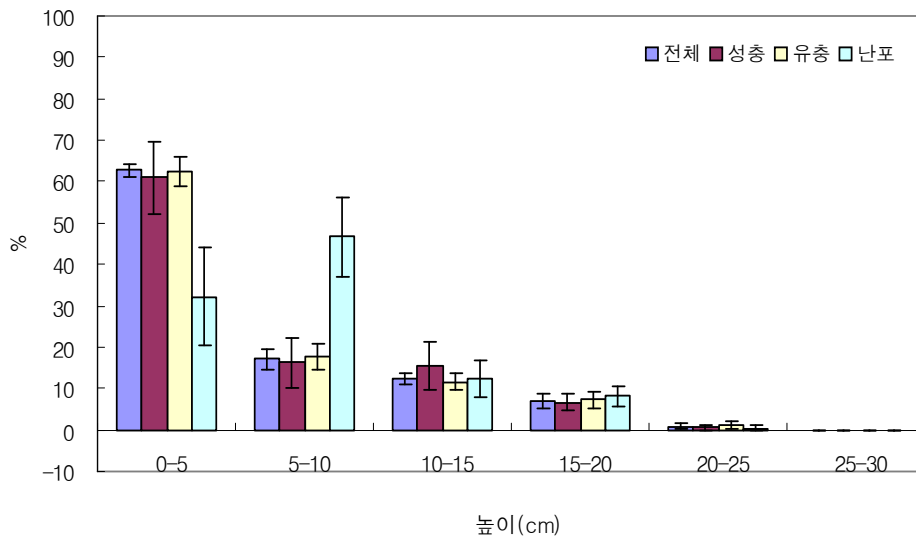


그림 17. 사육상 높이가 30cm일 때 줄지렁이의 수직분포  
(전체 생체량 : 2605.4g/m<sup>2</sup>)

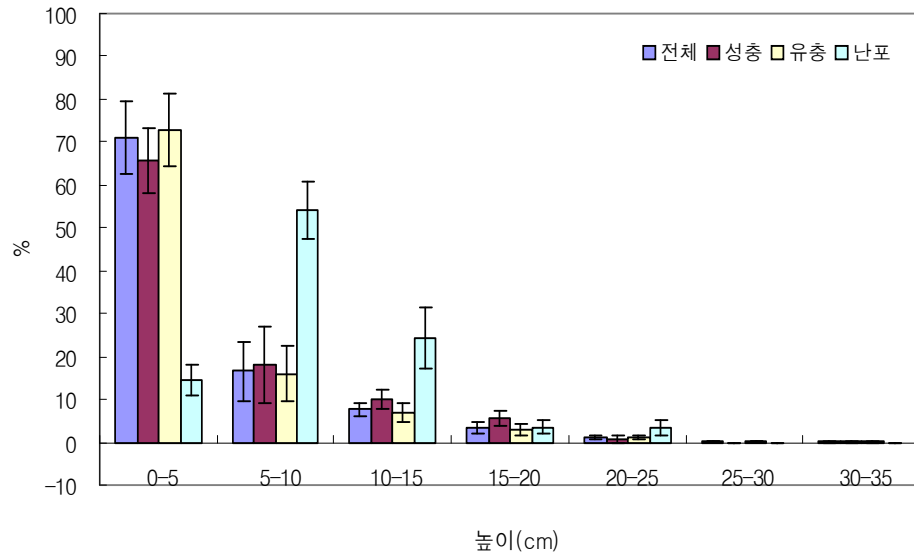


그림 18. 사육상 높이가 35cm일 때 줄지렁이의 수직분포  
(전체 생체량 : 2930.8g/m<sup>2</sup>)

사육상 높이가 40, 45, 50cm일때 지렁이 유충, 성충의 수직분포는 0~5cm 깊이에 60~80%, 5~10cm 깊이에 20~30%, 10~15cm 깊이에 5~10%, 15~20cm 깊이에 5~10%로 사육상 깊이가 깊어질수록 지렁이 서식 밀도가 감소하였으며, 20cm 이상의 깊이에서는 5% 미만의 지렁이가 서식하는 것으로 나타났다. 난포의 경우는 유충, 성충보다 수직분포의 범위가 넓어지는 경향을 나타내었으나 대부분은 사육상의 상층부 20cm 이내에 서식하는 것으로 나타났다.

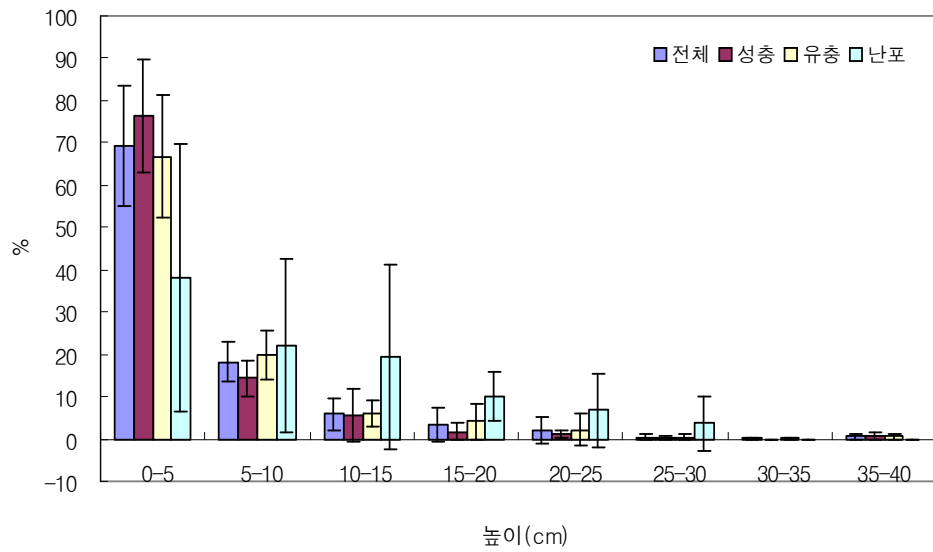


그림 19. 사육상 높이가 40cm일 때 줄지렁이의 수직분포  
(전체 생체량 : 2562.0g/m<sup>2</sup>)

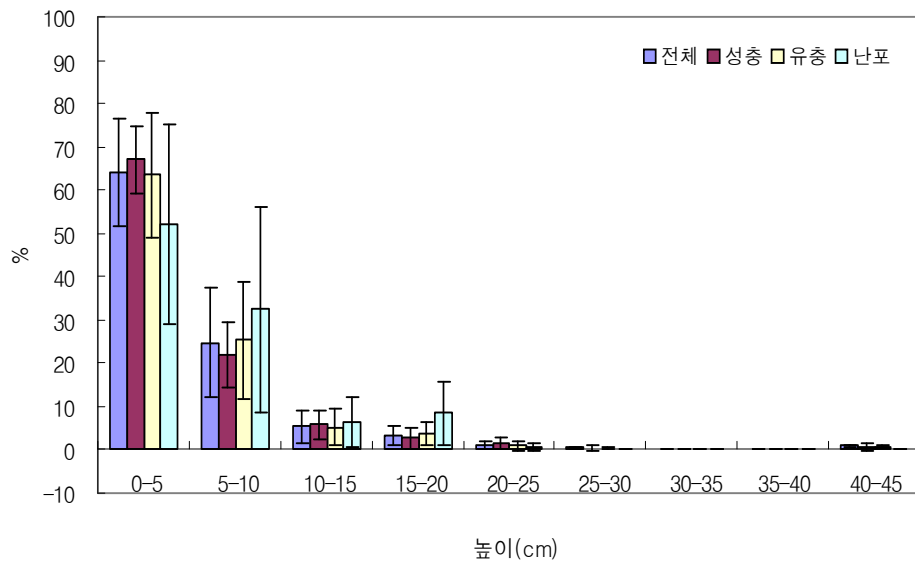


그림 20. 사육상 높이가 45cm일 때 줄지렁이의 수직분포  
(전체 생체량 : 2606.7g/m<sup>2</sup>)

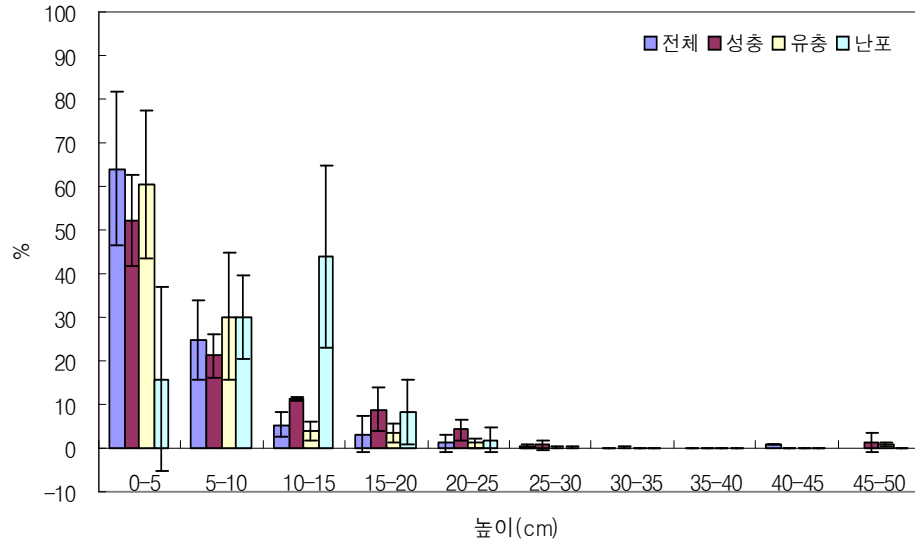


그림 21. 사육상 높이가 50cm일 때 줄지렁이의 수직분포  
(전체 생체량 : 3608.5g/m<sup>2</sup>)

#### 4) 비닐하우스식 및 다층식 지렁이 사육상에서 분변토 수확방법에 관한 고찰

##### 가) 비닐하우스식 사육상에서 분변토 수확 방법

채래식 노지사육상에서 분변토를 지렁이 사육상으로부터 수확할 시점의 사육상 높이는 대개 50cm 정도이다. 사육상 높이가 50cm 일때 지렁이 개체군의 수직분포 역시 표층으로부터 20cm 깊이 이내에 지렁이 개체군의 95% 이상이 서식하고 있다[그림 21]. 따라서 채래식 노지사육상으로부터 분변토를 수확할 때는 사육상 상층부 20cm 깊이에 있는 분변토와 지렁이를 걸어서 사육상으로부터 분리한 다음, 지렁이가 서식하지 않는 20~50cm 깊이에 있는 분변토를 사육상으로부터 분리, 수확하는 것이 지렁이의 유실이 없는 합리적인 방법이다.

##### 나) 다층식 사육상에서 분변토 수확 방법

통상 다층식 사육상의 높이는 25~30cm가 된다. 사육상의 높이가 25cm, 30cm 일 때, 지렁이 개체군은 90%이상이 표층으로부터 15cm이내, 95%이상이 표층으로부터 20cm이내에 서식하는 것으로 나타났다[그림 16, 17]. 따라서 다층식 사육상

으로부터 분변토를 분리할 때는 사육상 하단부, 즉 표층으로부터 15cm 또는 20cm 이상의 깊이에 존재하는 분변토를 분리해내어야 분변토 수확시 사육상으로부터 지렁이의 유실을 방지할 수 있다.

#### 나. 비닐하우스 및 다층식 지렁이 사육 시설에서 잉여지렁이 수확 기술 개발

##### 1) 지렁이 사육상에서 잉여 지렁이 수확 기술 개발을 위한 연구 방법

상기 지렁이 수직분포에서 보았듯이 지렁이 사육상에서 지렁이 개체군의 95% 이상이 사육상 상층부 20cm 이내에 서식한다. 따라서 사육상으로부터 잉여지렁이를 수확할 때는 사육상의 상층부에 있는 지렁이를 사육상으로부터 분리해내는 방법을 적용해야 한다. 통상 재래식 방법에서는 다음과 같은 수작업을 이용한다. ①사육상의 상층부에 있는 지렁이와 분변토를 동시에 퍼내어서 바닥에 간다. ②지렁이가 빛을 싫어하여 분변토 더미 내부로 들어가면 표면의 분변토를 걷어낸다. ③나중에 바닥에는 지렁이만 남게 되어 지렁이를 수확한다. 그런데 이 방법은 손이 많이 가고 사육상으로부터 난포가 유실되는 단점이 있다. 따라서 본 연구개발에서는 사육상의 상층부에 서식하는 지렁이를 유인하여 지렁이를 수확하는 유인법의 개발을 시도하였다.

##### 가) 유인틀 제작

5mm의 Mesh 크기를 가진 그물망을 가로 0.8m, 세로 0.3m로 잘라서 유인망으로 사용하였고, 표면이 매끄럽고 물기를 잘 머금는 솜이불을 유인망과 같은 크기로 잘라서 유인망 위에 얹을 수 있는 덮개로 사용하였다. 유인제로서는 체지슬러지를 사용하였다. 유인망 위에 체지슬러지를 뿌려 놓고 그 위에 0.1% 설탕물에 적신 솜이불 덮개를 덮은 것을 유인틀로 이용하였다.

##### 나) 유인틀 설치 및 조사

지렁이 사육상에 유인틀을 설치하기 전에 지렁이 사육상에 서식하는 지렁이 밀도를 조사하였다. 제작된 유인틀을 비닐하우스와 다층식 사육시설의 사육상 위에 얹혀 놓고, 유인기간 및 유인제량에 따라 유인된 지렁이 밀도를 조사하였다.



<비닐하우스식 사육상에 설치된 지렁이 유인틀>



<비닐하우스식 사육상에서 유인틀에 유인된 지렁이>



<다층식 사육상에 설치된 지렁이 유인틀>



<다층식 사육상에서 유인틀에 유인된 지렁이>



<수작업에 의한 지렁이 수확시 분변토 제거 전>



<수작업에 의한 지렁이 수확시 분변토 제거 후>

그림 22. 유인틀과 수작업에 의한 지렁이 수확 장면



2) 지렁이 사육상에서 잉여 지렁이 수확효율

가) 지렁이 사육상내 지렁이 밀도 및 수직분포

지렁이 사육상에 유인틀 설치 당시의 지렁이 개체군 밀도는 비닐하우스 사육상에서는  $m^2$ 당 2,101.6g 이었고, 다층식 사육상에서는 3,394.8g이었다[표 15]. 이 밀도를 기준으로 유인틀에 의한 유인률을 계산하였다.

유인틀 설치 당시 사육상의 지렁이 수직 분포는 비닐하우스나 다층식 사육상 모두 표층으로부터 15cm 이내에 90% 이상의 지렁이가 서식하는 것으로 나타났다(그림 23, 24).

표 15. 비닐하우스식 사육상과 다층식 사육상의 지렁이 밀도( $g/m^2$ )

층 태 지렁이 사육상	성층	유층	전체
비닐하우스식 사육상	734.7±485.7	1,366.9±364.8	2,101.6±761.0
다층식 사육상	876.8±112.1	2,518.0±340.1	3,394.8±407.4

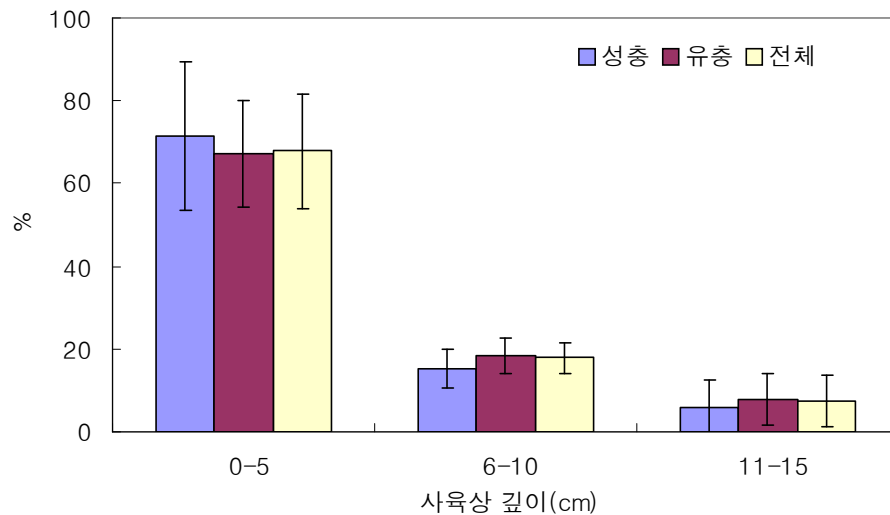


그림 23 . 비닐하우스식 사육상의 지렁이 수직분포

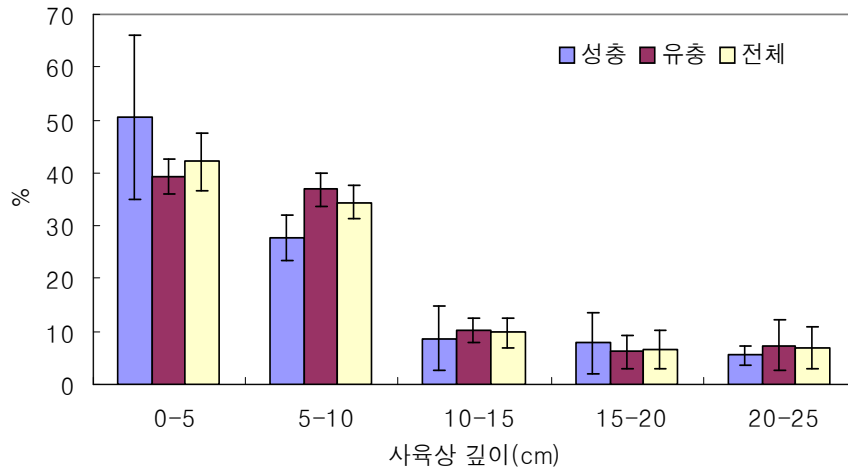


그림 24. 다충식 사육상의 지렁이 수직분포

나) 지렁이 사육장에서 유인틀에 의한 유인효과

[표 16]은 비닐하우스 사육장에서 유인틀내 유인제량 및 유인틀 설치기간에 따른 지렁이 유인 효과를 나타낸 것이다. 유인틀내 유인제량이 많아질수록 유인되는 지렁이 량도 많아지고, 지렁이 성충에 대한 유인율이 유충에 대한 유인율보다 높은 것으로 나타났다. 유인틀 설치기간에 따른 유인율에 있어서는 유인틀 설치 1일후보다는 2일후의 유인율이 더 높았고, 2일후와 3일후 사이에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 지렁이 사육상에 유인틀 설치기간은 2일 정도가 적당한 것으로 판단되며, 많은 량의 지렁이를 수확하기 위해서는 유인제량을 많이 넣어주는 것이 유리한 것으로 판단된다. 그러나 일정 면적의 지렁이 사육장에서 수확해야 할 지렁이 량은 사육상의 지렁이 밀도상태를 고려하여 결정해야 한다.

표 16. 비닐하우스 사육상에서 유인제량과 유인틀 설치기간에 따른 줄지렁이 유인율(%)\*

설치기간(일) 유인제량(g)	1일			2일			3일		
	성충	유충	전체	성충	유충	전체	성충	유충	전체
0	0.1	0.1	0.1	0.8	0.3	0.5	2.8	0.4	1.2
100	0.8	0.4	0.6	2.3	1.2	1.6	2.6	0.7	1.4
400	1.6	1.5	1.5	4.4	2.5	3.1	9.7	2.9	5.3
700	4.8	2.5	3.3	23.8	12.2	16.3	19.6	6.0	10.1

\*성충 유인율 = (유인된 성충/1 m<sup>2</sup> 사육상내 성충)×100

유충 유인율 = (유인된 유충/1 m<sup>2</sup> 사육상내 유충)×100

전체 유인율 = (유인된 전체 지렁이/1 m<sup>2</sup> 사육상내 전체 지렁이)×100

#### 다) 수작업과 유인틀에 의한 지렁이 수확효과 비교

[표 17]은 다층식 사육상에서 수작업과 유인틀에 의한 지렁이 수확효율을 비교한 것이다. 수작업에 의한 지렁이 수확량과 수확률은 각각 496.4g, 15.2%로서 유인틀에 의한 수확량(78.0g)과 수확률(2.3%)보다 현저하게 높았다. 그러나 재래식인 비닐하우스 사육상에서는 수작업과 유인틀에 의한 수확률이 각각 10.0%, 10.1%로서 차이가 없었다[표 18].

유인틀의 장점은 수작업에 비해서 작업효율이 우수하다는 것이다. 같은 수확률이라면 유인틀에 의한 수확이 작업자 입장에서 훨씬 손쉬운 작업이 되는 것이다. 따라서 우리나라 지렁이 농장의 대부분을 차지하는 비닐하우스식 사육상에서 지렁이 수확은 유인틀을 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

표 17. 다층식 사육상에서 수작업과 유인틀에 의한 지렁이 수확 효율 비교

	수작업	유인틀 <sup>b</sup>
수확 직전 지렁이 밀도(g/m <sup>2</sup> )	3,410.0±986.8	3,394.8±407.4
수확량(g/0.8×0.3m <sup>2</sup> )	496.4±335.6	78.0±33.0
수확률 <sup>a</sup>	15.2±11.8	2.3±0.9

a. 수확률 = (수확된 지렁이/1 m<sup>2</sup> 사육상내 지렁이)×100

b. 유인틀 : 유인틀(0.8×0.3m<sup>2</sup>)에 유인제로 제지슬러지 700g 사용

표 18. 재래식 사육상에서 수작업과 유인틀 비교

수확방법	수작업	유인틀 <sup>b</sup>
수확 직전 지렁이 밀도(g/m <sup>2</sup> )	2215.9±360.5	2101.6±761.0
수확량(g/0.8×0.3m <sup>2</sup> )	221.2±42.1	212.4±136.7
수확률 <sup>a</sup>	10.0±1.9	10.1±6.5

a. 수확률 = (수확된 지렁이/1 m<sup>2</sup> 사육상내 지렁이)×100

b. 유인틀 : 유인틀(0.8×0.3m<sup>2</sup>)에 유인제로 제지슬러지 700g 사용

### 3. 다층식 및 비닐하우스형 지렁이 사육 모델의 현장 적용성 검증 및 지렁이 사육농가 설문 조사

#### 가. 농산 부산물을 이용한 지렁이 사육

1) 우분, 돈분, 버섯폐배지, 제지슬러지 및 혼합시료의 이화학 성상 및 중금속 농도

##### 가) 이화학 성상

대표적인 농산 부산물인 우분, 돈분, 버섯폐배지와 산업 폐기물로 분류되는 제지슬러지에 대하여 지렁이 먹이로서 지표로 활용되는 몇 가지 이화학 성상을 조사하였다[표 19]. 우분의 경우 젖소 농장의 착유장에서 갓 배설된 것을 사용하였는데 약간의 노가 혼합된 상태였다. 돈분의 경우에는 슬러리 돈사에서 돈분노 액비화 과정후 고액 분리된 고형물을 먹이로 사용하였고 버섯폐배지는 느타리버섯 공장에서 발생한 것을 사용하였다. 제지슬러지의 경우 골판지를 재생하여 제품을 생산하는 공정 과정에서 발생한 슬러지를 6개월 정도 부숙시킨 것을 이용하였다. 제지슬러지는 농산부산물인 우분, 돈분, 버섯폐배지에 대한 지렁이의 먹이 선호도를 개선하기 위한 혼합용 시료로 이용하였다.

일반적으로 지렁이는 pH가 중성인 먹이를 선호하는 것으로 알려져 있는데, 돈분과 제지슬러지의 pH는 각각 6.7, 8.1로서 중성에 가깝고, 우분의 pH는 8.5로서 돈분보다 상대적으로 알칼리성을 띠었으며, 버섯폐배지의 pH는 5.5로 제지슬러지보다 산성을 띠는 것으로 나타났다. 이들 농산부산물(우분, 돈분, 버섯폐배지)에 제지슬러지를 무게비 3:1로 혼합하였을 경우 혼합시료의 pH는 농산부산물 개개의 pH보다 중성화되는 경향을 나타내었다.

전기전도도(EC)는 시료내의 염류 농도를 나타내는 지표로 이용되는데, 전기전도도 값이 높을수록 시료내 염농도가 높다는 것을 의미하며, 지렁이에 대한 먹이 선호성은 낮아지게 된다. 제지슬러지와 버섯폐배지의 EC값은 각각, 640.0, 5,297.1  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로서 돈분, 우분의 12,291.7, 9,705.0  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 보다 낮게 나타났다. pH의 경우와 마찬가지로 농산부산물(우분, 돈분, 버섯폐배지)에 제지슬러지를 무게비 3:1로 혼합하였을 경우 혼합시료의 EC 값은 농산부산물 개개의 EC값보다 낮아지는 경향을 나타내었다. 최(1992)는 유기성 슬러지의 전기전도도에 대한 지렁이의 내성범위는 750~15,000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이고, 적정 범위는 1,950~4,900  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 으로 보고한 바 있는데,

지렁이 먹이로서 농산부산물과 제지슬러지의 혼합시료는 모두 내성 범위의 EC값을 나타내었다.

산화환원전위(Eh)의 경우 시료의 Eh가 음(-)의 값을 가질 경우는 환원상태를 나타내고, 양(+)의 값을 가질 경우에는 산화상태를 나타내는 경향이 있다고 하였으며, 지렁이의 산화환원전위에 대한 내성 범위는 -122~210mV, 적정범위는 110~170mV인 것으로 알려져 있다(최 1992). 돈분, 돈분+제지슬러지 혼합시료의 Eh는 각각 78.9, 47.3mV로서 적정 범위 내에 있으며, 우분 및 우분+제지슬러지의 경우는 내성범위 밖의 음의 값을 나타내고 있고, 버섯폐배지 및 버섯폐배지+제지슬러지의 경우는 내성범위 밖의 양의 값을 나타내었다. 즉 산화환원전위 측면에서는 우분과 버섯폐배지는 양호한 지렁이 먹이가 아닌 것으로 나타났는데, 이것은 우분의 경우 시료채취 당시 젖소의 뇨가 혼합되었었기 때문인 것으로 판단되고, 버섯폐배지의 경우 주성분인 고분자 상태의 리그닌이 충분히 분해되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

모든 시료에서 수분함량은 55.1~78.3%, 유기물 함량은 51.6~94.8%의 범위를 나타내고 있는데, 이것은 지렁이가 섭식하고 성장하는데 크게 문제가 되지 않는 수준이었다.

표 19. 지렁이 먹이로 사용된 우분, 돈분, 버섯폐배지, 제지슬러지 및 혼합시료의 이화학 성상

조사 항목 시료	pH	EC( $\mu$ S/cm)	Eh(mV)	수분함량(%)	유기물량(%)
Cow manure	8.5 $\pm$ 0.10	9,705.0 $\pm$ 1,077.23	-431.2 $\pm$ 27.17	78.3 $\pm$ 1.86	78.6 $\pm$ 0.62
CM+P	8.0 $\pm$ 0.23	7,435.0 $\pm$ 110.00	-258.7 $\pm$ 41.18	74.1 $\pm$ 1.68	73.3 $\pm$ 1.01
Pig manure	6.7 $\pm$ 0.03	12,291.7 $\pm$ 709.46	78.9 $\pm$ 17.70	72.9 $\pm$ 1.51	82.5 $\pm$ 1.41
PM+P	7.1 $\pm$ 0.03	9,508.3 $\pm$ 206.78	47.3 $\pm$ 10.39	68.9 $\pm$ 0.34	79.4 $\pm$ 0.24
MSW	5.5 $\pm$ 0.06	5,291.7 $\pm$ 145.72	232.6 $\pm$ 0.96	60.5 $\pm$ 0.59	94.8 $\pm$ 1.09
MSW+P	6.2 $\pm$ 0.24	5,158.3 $\pm$ 282.95	249.6 $\pm$ 21.69	63.8 $\pm$ 0.59	87.3 $\pm$ 1.24
Paper mill sludge	8.1 $\pm$ 0.12	3,640.0 $\pm$ 645.83	-70.6 $\pm$ 25.63	55.1 $\pm$ 2.91	51.6 $\pm$ 0.60

- CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합
- Pig manure : 돈분뇨 액비화 과정 후 발생된 고형물
- PM+P : 돈분뇨 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합
- MSW : 버섯폐배지
- MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

나) 중금속 농도

비닐하우스와 다층식 사육상에서 먹이로 사용한 농산 부산물(우분, 돈분, 버섯 폐배지) 및 제지슬러지의 중금속 농도를 측정하였다[표 20]. 모든 중금속이 불검출 되었거나 농림부에서 지정한 1등급 퇴비기준 기준치보다 현저하게 낮은 것으로 나타났다. 이것은 우분, 돈분, 버섯폐배지, 제지슬러지를 지렁이 먹이로 사용하여 얻은 분변토와 지렁이 생체를 농업적, 식품의약학적으로 활용하는데 있어서 그의 안전성이 매우 높다는 것을 의미한다.

표 20. 지렁이 먹이로 사용된 우분, 돈분, 버섯폐배지, 제지슬러지의 중금속 농도 (mg/kg)

중금속 시료	As	Zn	Pb	Hg	Co	Cd	Ni	Fe	Mn	Cr	Mg	Ca	Cu	Al	Na	K
Cow manure	- <sup>2</sup>	9.0	1.2	0.0	-	-	-	8.1	29.8	-	967.5	1,685.0	0.9	-	587.5	3375.0
Pig manure	-	63.2	1.4	0.4	-	-	-	3.6	36.5	-	1017.5	1,917.5	0.3	-	320.0	2377.5
MSW	-	8.1	1.7	0.2	-	-	-	16.0	13.4	-	537.5	555.0	-	12.2	88.5	975.0
Paper mill sludge	-	2.4	1.1	-	-	-	-	1.8	7.4	-	87.8	2,600.0	0.5	0.0	74.5	109.5
농림부 1등급 퇴비 기준	25	500	75	1.0		2.5	25		150				200			

Pig manure- 돈분뇨 액비화 과정 후 발생된 고형물  
MSW- 버섯폐배지

2) 농산부산물을 먹이로 공급하였을 때 줄지렁이 개체군 밀도 변화

농산 부산물인 우분, 돈분, 버섯폐배지에 대한 지렁이 먹이로서의 활용성을 현장에서 검증하기 위해 대전대학교 부설 지렁이 사육 농장에서 우분, 돈분, 버섯폐배지를 각각 제지슬러지와 3:1(무게비)로 혼합하여 먹이로 공급하면서 지렁이 개체군 밀도, 사육상의 분변토 높이 및 섭식량을 조사하였다. 초기 사육상의 지렁이 개체군 밀도 및 사육상 높이를 측정하고 후 각 먹이 종류를 매회 40kg/m<sup>2</sup> 씩 공급하면서 1개월 간격으로 조사하였다. 개체군 밀도는 단위면적(m<sup>2</sup>)당 생체량(kg)을 기준으로 하였다. 지렁이 사육공간은 동절기였기 때문에 가온을 하였으며, 조사기간 동안 사육공간의 최고 온도는 18℃, 최저온도는 -1℃, 평균온도 10.7℃를 유지하였다[그림 25].

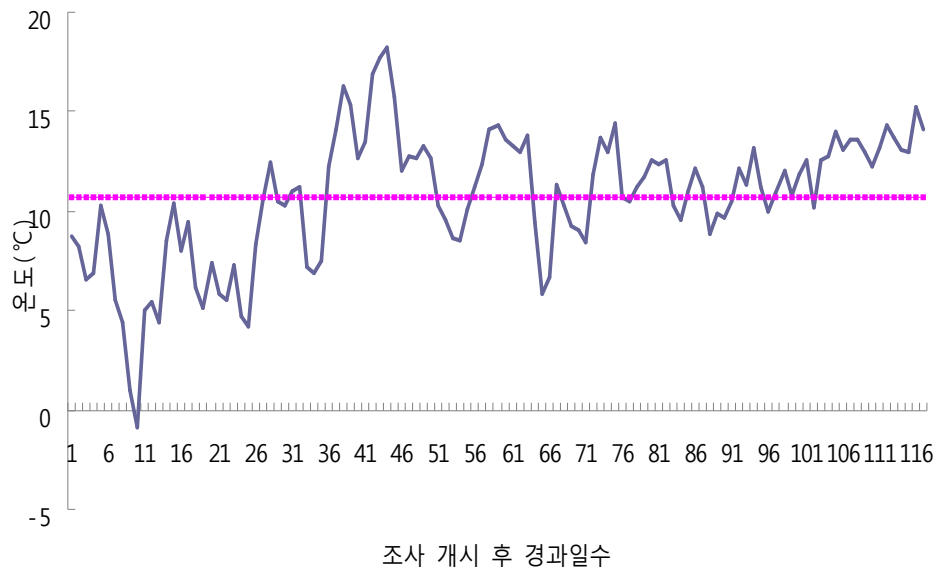


그림 25. 지렁이 사육상 온도변화(°C)

지렁이 사육 기간 중의 사육상 평균 온도 (10.7°C)

가) 비닐하우스 사육상의 지렁이 밀도



우분, 돈분, 버섯폐배지와 제지슬러지를 각각 3:1(무게비)로 혼합하여 비닐하우스 지렁이 사육상에 공급하면서 지렁이 개체군의 밀도 증식 상황을 조사하였다. [그림 26]은 지렁이 개체군 전체밀도(유충+성충), [그림 27]은 유충 밀도, [그림 28]은 성충 밀도, [표 21]은 성충과 유충의 비율 변화, [그림 29]는 난포 산란수의 변화를 나타내고 있다.

먹이 공급 개시전 우분 처리구의 지렁이 전체 밀도(유충 + 성충)는  $2.3\text{kg}/\text{m}^2$ , 돈분 처리구는  $1.6\text{kg}/\text{m}^2$ , 버섯폐배지 처리구의 밀도는  $2.4\text{kg}/\text{m}^2$ 이었다[그림 26]. 우분 처리구의 경우 초기 밀도[그림 26] 및 개체군의 유충, 성충 비율[표 3]이 버섯폐배지 처리구의 밀도와 유사했음에도 불구하고 먹이 공급 개시 30일 후의 밀도가  $6.9\text{kg}/\text{m}^2$ 로 버섯폐배지 처리구  $3.9\text{kg}/\text{m}^2$ 보다 현저하게 높아져서 우분 + 제지슬러지 혼합먹이가 버섯폐배지 + 제지슬러지 혼합 먹이보다 지렁이 개체군 증식 속도를 높게 만드는 것으로 나타났다. 먹이공급 후 120일 동안의 조사에서 우분처리구의 지렁이 밀도는  $5.0\text{kg}/\text{m}^2$ 이상으로 돈분이나 버섯 처리구보다 높은 밀도를 유지하는 것으로 나타났다. 우분 처리구에서 마지막 조사일인 150일후의 밀도는  $4.6\text{kg}/\text{m}^2$ 으로 떨어졌는데 이것은 그 시점에 젖소농장에서 채취한 우분에 우뇨가 상대적으로 많이 혼합되어 있었기 때문인 것으로 판단된다.

돈분 처리구에서 지렁이 밀도 증식 속도가 우분 처리구에서 증식 속도보다는 느리지만 버섯폐배지 처리구에서보다는 대체로 빠른 것으로 나타났으나 두 처리구 모두 꾸준히 밀도가 증가하여 마지막 조사일인 먹이 공급 150일 후에는 각각  $7.0$ ,  $6.9\text{kg}/\text{m}^2$ 의 밀도를 나타내었다.

지렁이는 소위 'k-전략적' 개체군 증식 패턴을 나타내는 것으로 알려져 있다. 즉 서식공간, 먹이 등과 같은 자원이 일정하면 지렁이는 일정 밀도 이상 증식하지 않는다는 것이다. 서식공간이 한계 요인으로 작용할 때 줄지렁이 개체군의 최대밀도는 통상  $6\sim 7\text{kg}/\text{m}^2$ 인 것으로 알려져 있다. 따라서 본 조사에서 이용된 우분, 돈분, 버섯폐배지와 같은 농산 부산물을 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 먹이로 공급하였을 경우 각각 먹이에 대한 지렁이의 증식 속도는 다르지만 줄지렁이 개체군이 다다를 수 있는 최고 밀도까지 사육해낼 수 있다는 것을 의미한다.

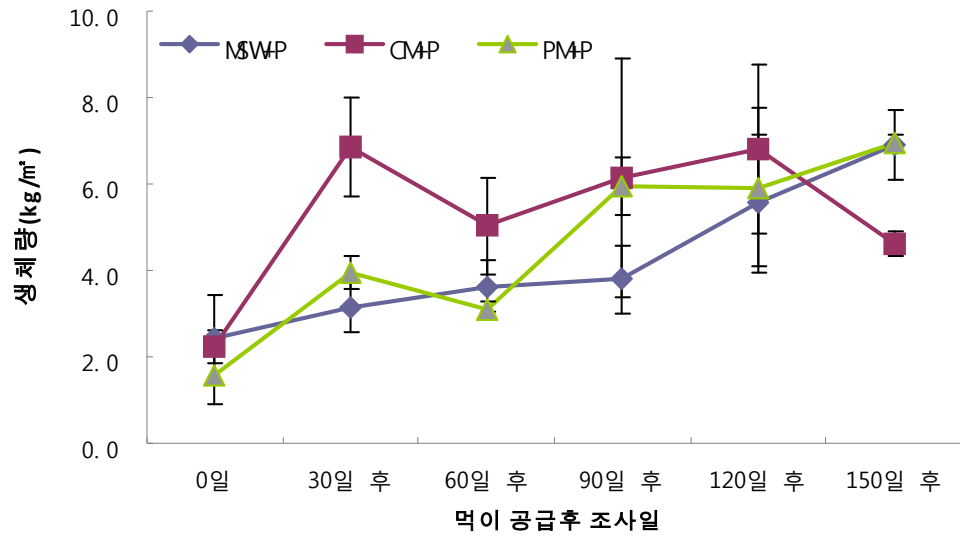


그림 26. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급이시 지렁이 밀도변화(kg/m<sup>3</sup>)

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P : 돈분뇨 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

결론적으로 지렁이 사육 측면에서 농산부산물인 우분, 돈분, 버섯폐배지는 매우 양호한 지렁이 먹이로 활용될 수 있으며, 이들 농산 부산물을 좀 더 효율적인 먹이로 사용하기 위한 노력이 필요하다. 즉 우분의 경우 우뇨가 혼합되지 않게 하거나 혼합되었을 때는 지렁이에게 거부작용을 일으키지 않도록 제거 또는 분해시키는 방안 등이 강구되어야 한다. 돈분의 경우에는 갓 배설된 분은 지렁이가 잘 먹지 못하므로 본 실험에서 이용된 것과 같이 슬러리 돈사에서 고액 분리될 때까지 분해과정을 겪게 하는 것이 바람직하다. 버섯폐배지의 경우는 갓 발생하였을 때는 아직 주성분인 리그닌이 충분히 분해되지 않았기 때문에 지렁이가 쉽게 섭취할 수 없다. 따라서 일정 기간 부숙 과정을 겪게 하여 먹이로 공급하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

표 21. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급여시 사육상내 성충과 유충의 비율 변화

먹이급여 후 경과일수	MSW+P		CM+P		PM+P	
	성충(%)	유충(%)	성충(%)	유충(%)	성충(%)	유충(%)
0일	18.7±9.70	81.3±9.70	16.2±11.30	83.8±11.30	12.2±5.22	87.8±5.22
30일 후	15.8±3.79	84.2±3.79	20.0±6.68	80.0±6.68	29.3±11.13	70.7±11.13
60일 후	31.6±21.95	64.4±21.95	46.3±14.73	53.7±14.73	26.3±13.84	73.7±13.84
90일 후	29.1±3.35	70.9±3.35	29.7±1.82	70.3±1.82	38.1±4.98	61.9±4.98
120일 후	55.8±5.82	44.2±5.82	34.3±2.53	65.7±2.53	46.8±8.69	53.2±8.69
150일 후	50.2±5.46	49.8±5.46	17.3±1.02	82.7±1.02	43.5±4.53	56.5±4.53

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P : 돈분노 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

한편 현재 지렁이 사육 농가 특히 비닐하우스 면적이 1,000평 이하인 소형 농가의 주 수입원은 낚시 미끼용 지렁이인데, 낚시 미끼용으로는 주로 성충을 이용하므로 지렁이 사육상에서 성충과 유충의 연령분포는 농가의 판매 수익과 밀접한 관련을 갖는다. 생체량을 기준으로 한 유충, 성충의 연령분포는 조사 후반기로 갈수록 유충비율이 조사 초반기에 비해서 감소하였지만 우분, 돈분, 버섯폐배지 처리구에서 모두 유충의 비율이 높게 나타났다[표 21]. 이것은 유충의 몸무게가 성충의 몸무게보다 작기 때문에 밀도를 개체수로 표현한다면 유충의 비율이 현저하게 높아진다는 것을 의미한다.

각 혼합 먹이에 대하여 지렁이 유충의 밀도는 전체밀도에서와 마찬가지로 우분+제지슬러지, 돈분+제지슬러지, 버섯폐배지+제지슬러지 순으로 증식하였으나[그림 27], 성충의 밀도는 먹이 간에 어떤 경향을 찾아보기가 어려웠다[그림 28].

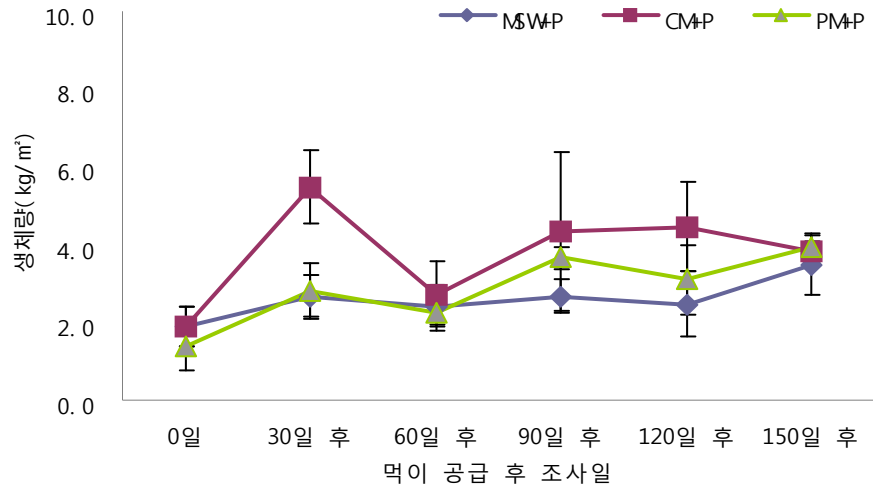


그림 27. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급이시 유층의 밀도 변화(kg/m<sup>2</sup>)

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P:돈분노 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

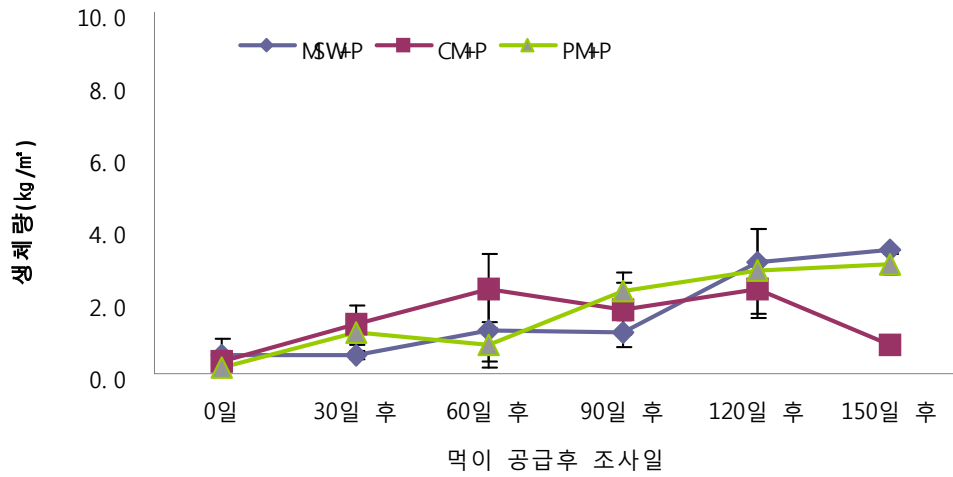


그림 28. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급이시 성층의 밀도 변화(kg/m<sup>2</sup>)

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P:돈분노 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

나) 지렁이 난포 밀도

지렁이 난포 밀도[그림 29]는 각각의 먹이에서 유충의 비율이 53.7~87.8%를 유지하였던 먹이급이 90일 후까지는 낮은 수준을 유지하다가 성충의 비율이 50% 가까이 높아지는 120일 이후부터는 버섯폐배지와 돈분 처리구에서 난포 밀도가 증가하기 시작하였다. 특히 버섯폐배지에서 증가율이 월등하게 높아 장기적 관점에서는 버섯폐배지가 지렁이 사육상의 지렁이 개체군 밀도를 높게 유지할 가능성을 시사 한다고 볼 수 있다. 한편, 먹이급이 120일, 150일 후의 성충 비율이 34.3%, 17.3%로 낮았던 우분 처리구에서는 버섯폐배지 처리구, 돈분 처리구에서와는 달리 산란수가 증가하지 않았다. 이상에서 줄지렁이 개체군의 산란은 연령 구성에서 성충의 비율이 높을 때 활발하게 이루어지는 것을 알 수 있었다.

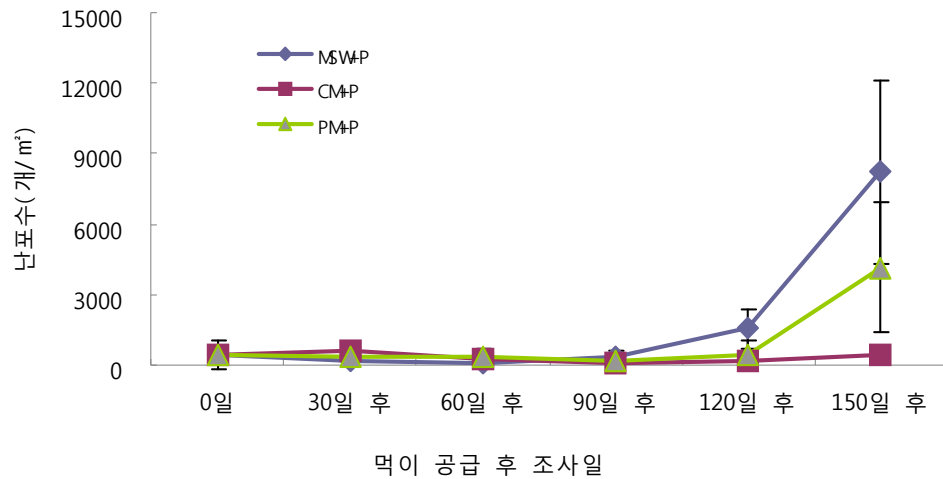


그림 29. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급이시 난포의 밀도 변화(개/㎡)

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P : 돈분노 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

3) 농산부산물에 대한 지렁이 섭식 속도 및 분변토 적층 속도

우분, 돈분, 버섯폐배지와 제지슬러지 혼합 먹이를 매회 40kg/m<sup>2</sup> 씩 공급하면

서 지렁이 개체군 밀도변화 조사와 더불어 매번 공급된 40kg/m<sup>2</sup>의 먹이를 지렁이 개체군이 모두 먹어치우는데 걸리는 기간을 일수로 표현하였다[표 22]. 돈분 처리구의 섭식속도가 25.3일로 우분 처리구 42.9일, 버섯폐배지 처리구 43.2일보다 훨씬 빠른 것으로 나타났다. 특히 우분+제지슬러지 혼합먹이의 수분함량이 74.1%, 돈분+제지슬러지 수분함량이 68.9%로 돈분처리구 먹이의 수분함량이 더 낮았음에도 불구하고[표 19] 돈분 처리구의 섭식속도가 더 높은 것은 돈분+제지슬러지 혼합먹이에 대한 지렁이의 먹이 선호도가 더 높았기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 관찰 결과 사육상의 지렁이 밀도와 먹이 섭식 속도는 반드시 비례하지는 않는 것으로 나타났다. 밀도가 높은 시기라도 주변 기온이 낮으면 섭식속도가 낮아지는 현상이 나타나기도 하는데 이것은 주변 환경이 지렁이의 섭식활동에 민감하게 영향을 미치는 한 예이다.

통상 온도, 먹이, 지렁이 밀도조건이 양호할 때, 지렁이 사육상 1 m<sup>2</sup>당 1일 먹이 섭식량은 3kg 이상으로 알려져 있다. 따라서 양호한 조건에서 사육상 1 m<sup>2</sup>당 40kg의 먹이를 먹는데 걸리는 기간은 13일 정도로 추산된다. 이러한 기준으로 보았을 때, 본 조사에서의 섭식속도는 지렁이의 최고밀도가 6kg 이상 올라감에도 불구하고 섭식속도가 돈분처리구에서는 17.3일 이상, 우분 및 버섯폐배지 처리구에서는 30.0일 이상 걸리는 것으로 나타나 정상적 처리속도에 훨씬 못 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 실험시기가 동절기여서 평균온도 10.7℃를 유지하는 비교적 저온 상태의 실험조건이 근본 원인이었던 것으로 판단된다. 따라서 상대적으로 고온이 유지되는 하절기에는 동일 먹이에 대한 섭식속도가 정상수준으로 올라갈 것으로 판단된다.

표 22. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급이하였을 때, 먹이 섭식속도 (일/먹이 40kg/m<sup>2</sup>)

먹이	CM+P	PM+P	MSW+P
평균	42.9±0.8	25.3±1.6	43.2±1.5
범위	30.0~53.7	17.3~40.3	30.0~50.7

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P : 돈분뇨 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

줄지렁이는 지렁이 사육상 위에 공급된 먹이를 사육상 위에서 먹고 사육상 위에 배설한다. 따라서 지렁이 사육상은 지렁이 배설물, 즉 분변토로 쌓이게 되고 시간이 경과할수록 분변토의 적층 높이는 높아지게 된다. 지렁이 사육상에서 분변토 적층 속도는 지렁이 밀도, 섭식속도, 배설률 등에 영향을 받는다. 지렁이 사육상에서 분변토 적층속도는 친환경 농업자재로서 분변토 생산이라는 측면에서 중요한 의미를 가진다. 즉 적층속도가 빠를수록 분변토 생산 효율이 높다는 의미이다.

[그림 30]은 지렁이 사육상에서 먹이급이 30일 후를 기준으로 120일 후인 먹이급이 150일후까지 높아진 사육상의 분변토 높이를 조사한 것이다. 돈분 처리구[그림 30]에서는 먹이급이후 120일 동안 16.2cm가 높아졌고, 버섯폐배지 처리구에서는 11.8cm, 우분 처리구에서는 9.3cm가 높아져 섭식속도가 가장 빨랐던 돈분 처리구[표 22]에서의 분변토 적층속도가 가장 높은 것으로 나타났다 .

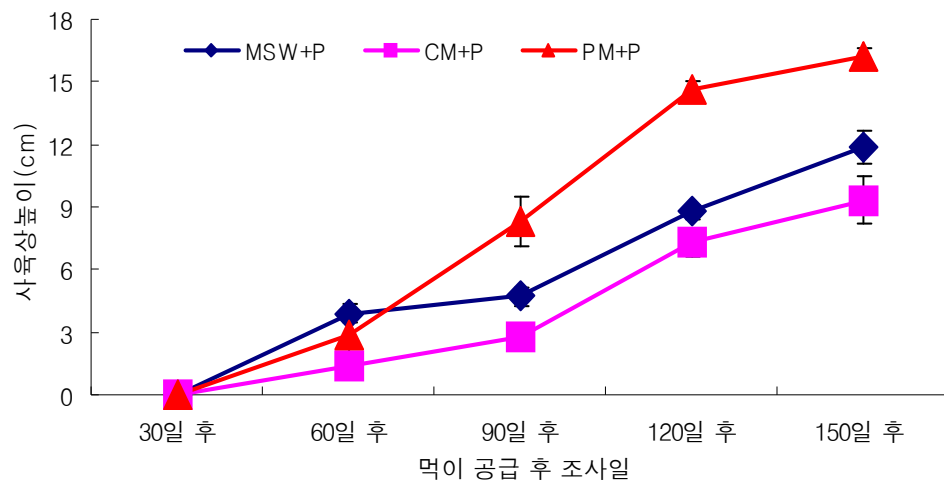


그림 30. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급이시 먹이급이 30일 후를 기준으로 한 사육상의 분변토 적층 높이(cm)

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P : 돈분노 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

4) 농산 부산물로부터 생산된 분변토의 몇 가지 이화학 성상 및 중금속 농도

우분, 돈분, 버섯폐배지를 각각 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에 급이한 후 생산된 분변토의 몇 가지 이화학 성상과 중금속 농도를 조사하였다[표 23, 표 24].

pH는 섭취 이전의 pH [표 1] 와 비교해서 큰 변화는 없었지만 대체로 분변토의 pH가 중성화되는 경향이였다. 전기전도도(EC) 값도 분변토에서 낮아지는 경향을 보여 먹이보다 염류 농도가 상대적으로 낮아지는 것으로 보인다. 산화환원전위(Eh)는 모든 분변토에서 양의 값을 나타내었다. 분변토가 가지는 pH, EC, Eh 값의 특성으로 인해 분변토는 다른 유기물의 지렁이에 대한 먹이선호성 개선을 위한 혼합제로서 이용될 수 있다.

분변토의 수분은 70% 이상으로 나타나 농림부에서 고시한 1등급 퇴비기준 45% 이하보다 현저히 높으므로 분변토를 퇴비로 이용하기 위해서는 수분을 낮추기 위한 건조의 과정이 필요하다.

농산부산물로부터 생산된 분변토의 유기물 함량은 57.0~70.8%로 나타나 농림부에서 고시한 1등급 퇴비기준 40% 이상을 충분히 만족시키고 있다.

농산 부산물로부터 생산된 분변토의 중금속 농도[표 6]는 먹이 원료[표 2]에서와 마찬가지로 조사된 모든 항목에 대하여 불검출되거나 농림부에서 고시한 1등급 퇴비기준 농도보다 현저하게 낮은 수준을 나타내고 있다.

이상에서 우분, 돈분, 버섯폐배지와 같은 농산부산물로부터 생산된 분변토는 환경적, 작물학적으로 매우 안전하게 친환경 농업자재로 이용될 수 있음을 나타내고 있다.

표 23. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급이 후 발생된 분변토의 이화학 성상

조사 항목 먹이	pH	EC( $\mu$ S/cm)	Eh(mV)	수분함량(%)	유기물량(%)
CM+P	7.7 $\pm$ 0.05	1,756.7 $\pm$ 166.61	108.5 $\pm$ 17.03	76.1 $\pm$ 0.74	70.8 $\pm$ 6.73
PM+P	7.9 $\pm$ 0.08	5,891.7 $\pm$ 460.72	17.8 $\pm$ 33.52	71.2 $\pm$ 0.87	57.0 $\pm$ 0.36
MSW+P	6.8 $\pm$ 0.22	6,693.3 $\pm$ 1,403.66	127.8 $\pm$ 3.20	71.2 $\pm$ 0.25	63.0 $\pm$ 1.33
<b>농림부 1등급 퇴비 기준</b>				<b>45% 이하</b>	<b>40%이상</b>

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P : 돈분노 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합



표 24. 우분, 돈분, 버섯폐배지를 제지슬러지와 혼합하여 지렁이에게 급이 후 발생된 분변토의 중금속 함량(mg/kg)

중금속 시료	As	Zn	Pb	Hg	Co	Cd	Ni	Fe	Mn	Cr	Mg	Ca	Cu	Al	Na	K
CM+P	-	1.2	1.5	0.0	-	-	-	1.1	8.0	-	437.5	1,635.0	1.75	-	280.0	1,362.5
PM+P	-	25.3	1.1	0.3	-	-	-	1.9	21.2	-	607.5	2,427.5	0.25	-	179.5	1,257.5
MSW+P	-	2.0	1.4	0.1	-	-	-	3.0	9.1	-	380.0	1,797.5	0.15	4.6	81.8	652.5
농림부 1등급퇴비 기준	25	50	75	1.0		2.5	25			150			200			

CM+P : 우분과 제지슬러지를 3:1로 혼합

PM+P : 돈분노 액비화 과정 후 발생된 고형물과 제지슬러지를 3:1로 혼합

MSW+P : 버섯폐배지와 제지슬러지를 3:1로 혼합

- : 불검출

#### 나. 다층식 사육 장치에서 지렁이 사육

우리나라는 동절기에 지렁이의 활성이 정지되거나 지렁이가 생존할 수 없을 정도로 온도가 저온으로 내려가는데 비닐하우스 방식으로 지렁이를 사육할 경우 동절기에는 경제적인 난방이 불가능하므로 지렁이나 분변토의 생산이 중단된다. 그리고 아직도 비닐하우스 방식은 대부분의 작업이 인력에 의존하게 되므로 전형적인 3D 업종으로 분류된다. 따라서 이러한 한계성을 극복하는 방안중의 하나가 지렁이 사육시설을 다단화, 자동화하여 좁은 면적에서 경제적으로 환경제어를 하고, 작업자의 편의를 도모하는 것이다. 이를 위하여 대전대학교 생명과학과에서는 다층식 사육 플랜트 고안, 설비하여 현재 지렁이를 시범 사육하고 있다.

[표 25]은 다층식 사육 장치에서 다단식으로 적층된 사육상자에 지렁이를 입식하고 매회 40kg/m<sup>2</sup>의 우분과 제지슬러지를 3:1(무게비)로 섞은 혼합먹이를 공급하면서 입식후 30일, 60일 후에 지렁이 밀도를 조사하고 사육상자의 하단부에서 분변토를 상자 밖으로 분리하여 수확할 때 상자 내에 있던 지렁이가 밖으로 탈러

나오는 비율을 조사한 것이다.

지렁이 입식 30일후에는 다층식 사육 상자내 밀도가 3.0kg/m<sup>2</sup> 정도였으나 지렁이 입식 60일 후에는 상자내 밀도가 6.0kg/m<sup>2</sup>에 이르러 비닐하우스 사육상에서 조사한 최고 밀도[그림 26]와 유사한 수준으로 증가하였다. 즉 다층식 지렁이 사육시스템에서도 농산 부산물을 이용하여 통상의 최고 밀도수준으로까지 사육할 수 있다는 의미이다.

다층식 사육 장치에서 사육상자가 분변토로 가득 차게 되면 분변토를 상자로부터 분리, 수확하기 위하여 사육상자의 하단부에 존재하는 분변토를 분리용 장치로 끌어내는데 이때 상자안에 서식하는 지렁이가 밖으로 많이 떨어져나오지 않는 것이 상자내 개체군 유지와 먹이 섭취효율 유지를 위해서 매우 중요하다. 입식 30일 후 지렁이 밀도가 3.0kg/m<sup>2</sup> 정도일 때 지렁이 유출률은 전체밀도의 3.1%이었으나, 입식 60일 후 지렁이 밀도가 6.0kg/m<sup>2</sup> 정도일 때 지렁이 유출률은 전체 밀도의 1.7%로 낮아져 밀도가 높아지면 상대적 유출률은 낮아지는 현상을 나타내었다. 그리고 입식 30일 후에는 성충보다는 유충의 유출률이 높았으나 입식 60일 후에는 성충, 유충간에 큰 차이가 없었다.

표 25. 다층식 사육장치<sup>1</sup>에서 지렁이 밀도 및 분변토 분리 시 지렁이 유출률

	입식 30일 후			입식 60일 후		
	사육상자내 밀도	유출량		사육상자내 밀도	유출량	
		g	%		g	%
전체 성충+유충	3,099±690.5 g/m <sup>2</sup>	84.8±42.16	3.1±2.22	6,004±1,273.0 g/m <sup>2</sup>	52.5±43.83	1.7±1.90
성충	1,683±597.0 g/m <sup>2</sup>	22.1±8.72	1.5±0.88	2,667±1,097.1 g/m <sup>2</sup>	32.2±24.30	0.6±0.52
유충	1,416±269.8 g/m <sup>2</sup>	62.8±36.86	4.6±3.24	3,337±655.9 g/m <sup>2</sup>	20.3±19.53	0.9±0.89
난포	1,537±637.7 개/m <sup>2</sup>	32.2±24.30	3.0±3.25	3,631±2,013.3 개/m <sup>2</sup>	18.7±14.05	0.6±0.49

1, 사육상자 높이-25cm, 상자하단부 분변토 배출구 높이-4cm, 사육상 면적 50cm x 100cm

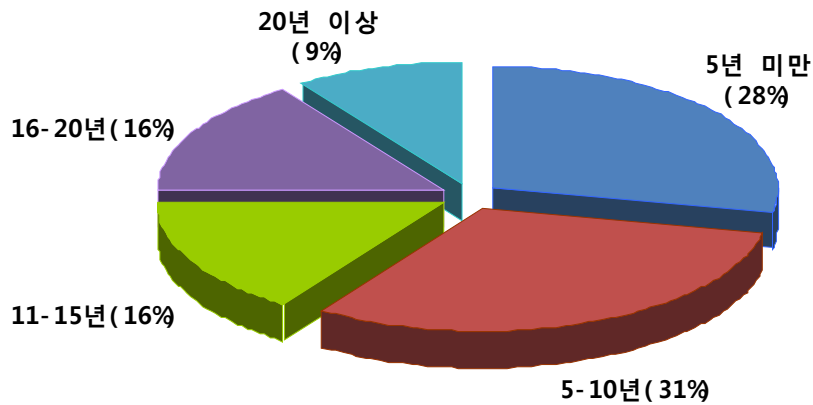
#### 다. 지렁이 사육농가 농장 운영 현황 및 현장 애로 설문조사

지렁이의 산업적 가치가 인정되어 농림부는 2005년을 기점으로 지렁이를 가축으로 등록 고시하였다. 그럼에도 불구하고 현재 국내에 정확히 몇 개의 지렁이 농장이 운영되고 있으며 현장의 지렁이 농장에서 벌어지고 있는 현황과 현장에서 필요로 하는 기술적, 경영적 애로 사항이 무엇인지 조사되어 있지 않다.

본 조사에서는 1년차 연구에서 시행한 설문을 바탕으로 지렁이 사육농가의 농장 운영 현황 및 현장 애로 사항들을 정량적으로 파악하기 위하여 주소나 연락처가 확보된 농장에 대하여 방문 또는 전화 통화를 통하여 다음 13가지 항목의 경영적, 기술적 현황과 애로 사항에 관한 설문을 실시하였다. 설문은 35농가에 대하여 시행하였다.

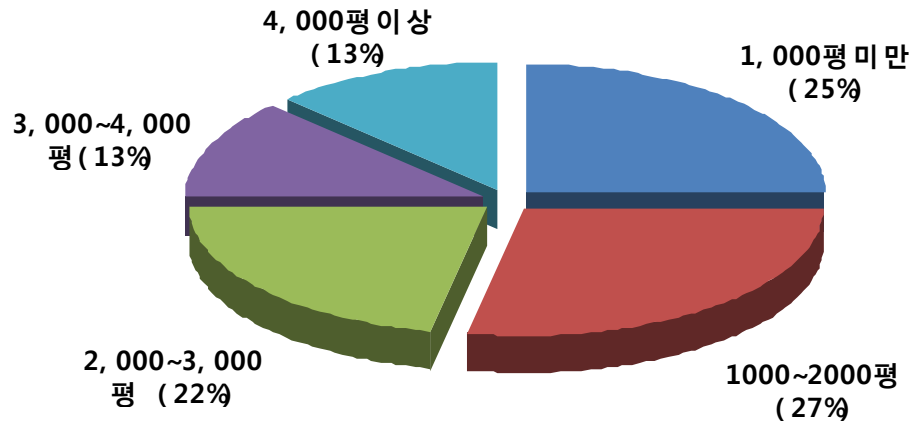
1) 귀하의 지렁이 농장 운영 기간은 얼마나 되었습니까?

농장 운영기간은 5년 미만인 28%, 5~10년이 31%, 11~15년이 16%, 16~20년이 16%, 20년 이상이 9%로 나타났다. 즉 10년 미만이 전체의 59%를 차지하였으며, 16년 이상은 전체의 25%를 차지하였다.



2) 현재 귀하의 지렁이 농장의 비닐하우스 규모는 어느 정도입니까?

지렁이 농장 운영규모는 2,000평 미만의 농가가 전체의 52%였고 3,000평 이상은 전체의 26%를 차지하고 있었다. 즉 지렁이 농장의 절반이상이 소규모 영세성을 면치 못하는 것으로 나타났다.



### 3) 귀하는 지렁이 먹이로 주로 어떤 것을 사용하십니까?

전체 지렁이 농장의 78.1%가 제지슬러지를 먹이로 이용하고 있었으며, 식품슬러지는 농장의 56.3%, 인분슬러지는 농장의 50.0%가 먹이로 이용하는 것으로 나타나, 제지슬러지, 식품슬러지, 인분슬러지가 지렁이 농장의 주요 먹이로 이용되는 것으로 나타났다. 그밖에 축산분뇨, 하수슬러지, 맥주슬러지, 음식물 쓰레기, 도축장 슬러지 등이 이용되었으며, 드물게 버섯폐배지, 미강, 청과물 쓰레기, 축가공 폐기물 등이 먹이로 이용되고 있었다.

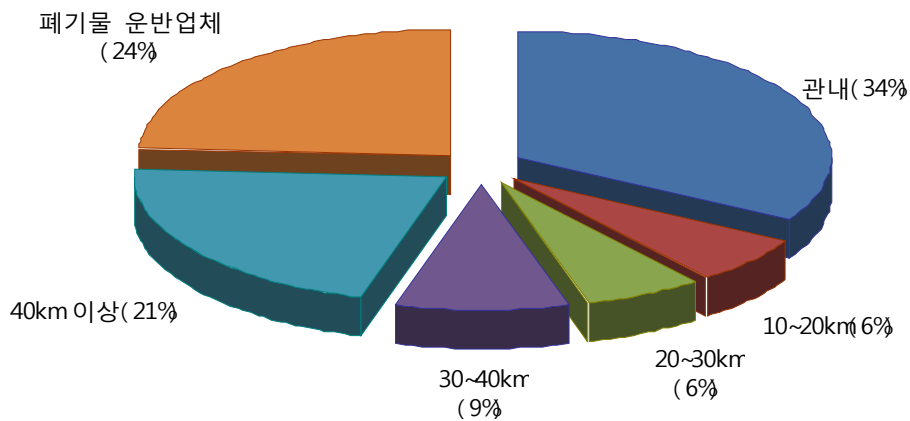
이상에서 주로 산업 폐기물이나 생활 폐기물이 지렁이 먹이로 이용되고 있는데, 이들 폐기물은 위생적 안전성이 담보되지 않는다는 것이 증식된 잉여지렁이와 분변토의 부가가치를 높이는데 걸림돌이 되고 있다. 따라서 향후에는 본 조사에서 기타로 분류된 버섯폐배지, 미강, 청과물쓰레기, 축가공 폐기물 등과 같은 농산 부산물을 적극 활용할 필요가 있다.

지렁이 먹이	(%)
제지슬러지	78.1
식품슬러지	56.3
인분슬러지	50.0
축산분뇨	28.1
하수슬러지	18.8
맥주슬러지	12.5
음식물쓰레기	6.3
도축장슬러지	6.3
기타	12.5

기타 : 버섯폐배지, 미강, 청과물쓰레기, 축가공 폐기물

4) 귀하의 지렁이 농장과 지렁이 먹이 구입처까지의 거리는 평균 어느 정도입니까?

지렁이 먹이의 운반 거리는 물류비와 관련되어 지렁이 농장 운영의 채산성에 영향을 미친다. 지렁이 농장이 소재한 지역의 관내에서 먹이를 받아오는 농장이 34%에 해당되고, 40km 이상 떨어진 곳에서 받아오는 농장은 21%에 해당되었다. 그리고 24%의 농장이 폐기물 운반업체로부터 먹이를 공급받고 있는 것으로 나타났다.

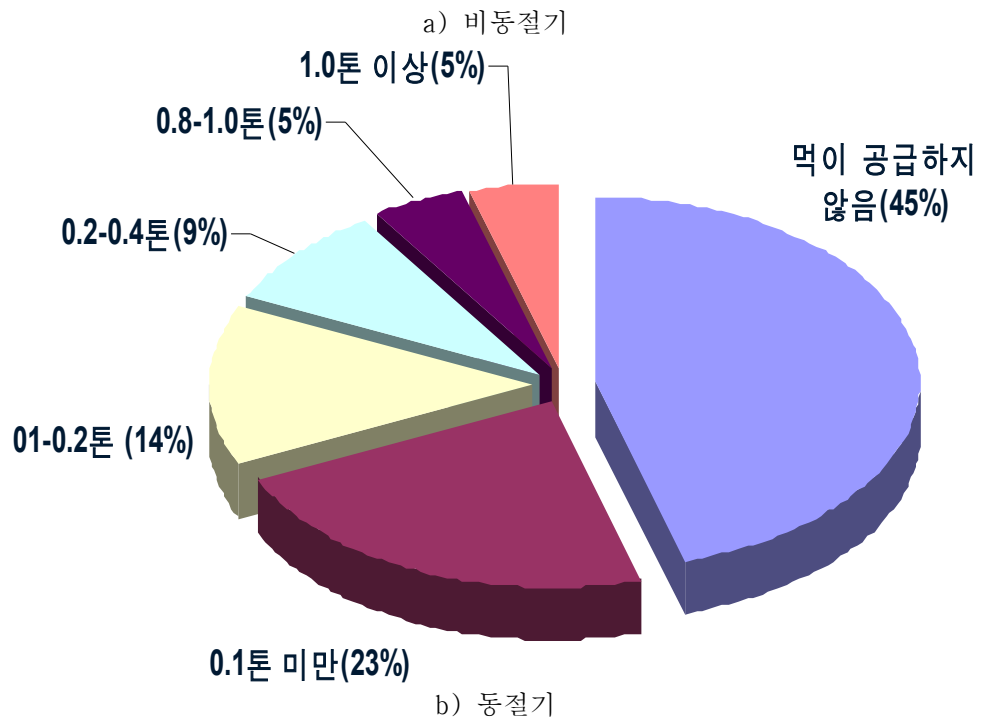
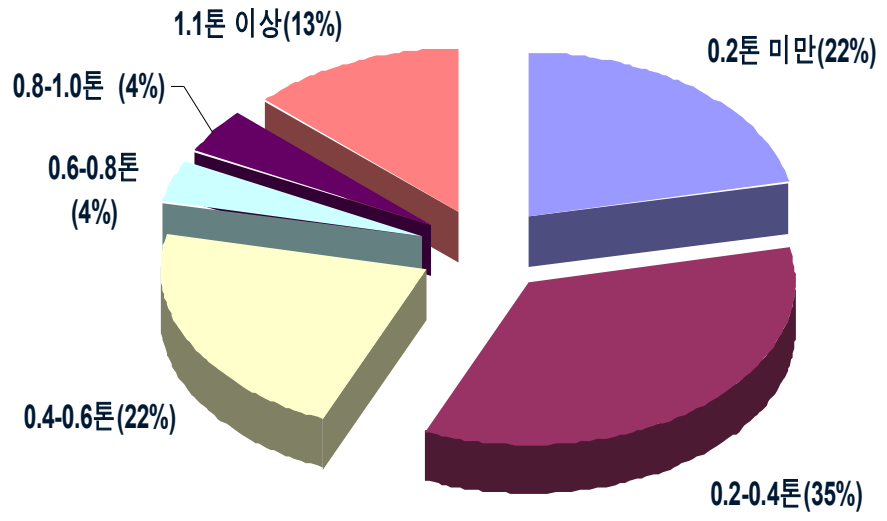


5) 귀하의 지렁이 농장에서 지렁이 사육 면적 100평당 1일 동안에 처리하는 지렁이 먹이량은 어느 정도라고 판단하십니까?

지렁이 사육 면적 100평당 비동절기에 1일 동안에 처리하는 먹이량이 0.4톤 이하라고 대답한 농장이 전체의 57%였으나, 0.8톤 이상이라고 대답한 농가는 전체의 17%로 나타났다. 통상 100 평당 1일에 1톤의 먹이를 처리하는 것으로 알려진 것과는 다른 결과이다.

동절기에는 45%의 농장에서 아예 먹이를 공급하지 않고 있으며 0.4톤 이하가 전체의 90%에 이르렀다. 동절기에도 0.8톤 이상을 처리한다는 농장이 10%로 나타났다는데, 이것이 사실일 경우 그 농장은 벤치마킹의 대상이 될 수 있을 것이다.

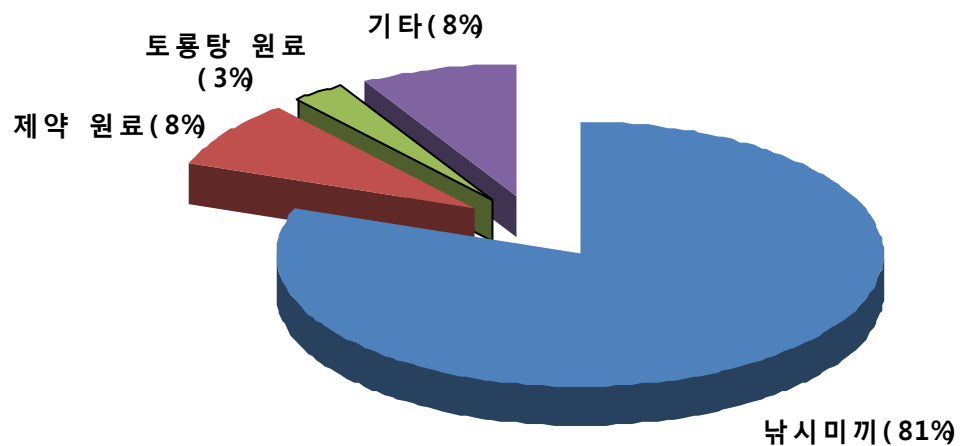
비동절기에는 평균 0.39톤을 처리하고, 동절기에는 평균 0.13톤을 처리한다고 대답하였다. 즉 동절기에는 비동절기의 33% 정도 처리량을 나타내고 있었다.



비동절기 평균값 : 0.39톤/일/100평  
 동절기 평균값 : 0.13톤/일/100평

6) 귀하의 지렁이 농장에서 생산된 지렁이는 주로 무슨 용도로 소비되고 있습니까?

81%의 농장에서 사육된 지렁이를 낚시 미끼로 판매하고 있었으며, 8%의 농가에서는 제약원료로, 3%의 농가에서는 토룡탕 원료로, 기타 사료 첨가제 등으로 판매하고 있었다. 이것은 지렁이의 활용처가 아직도 낚시 미끼 수준을 크게 벗어나지 못하고 있음을 나타내는 것이다. 따라서 향후 지렁이의 활용처 및 판매처 확대를 위한 노력이 필요하다.

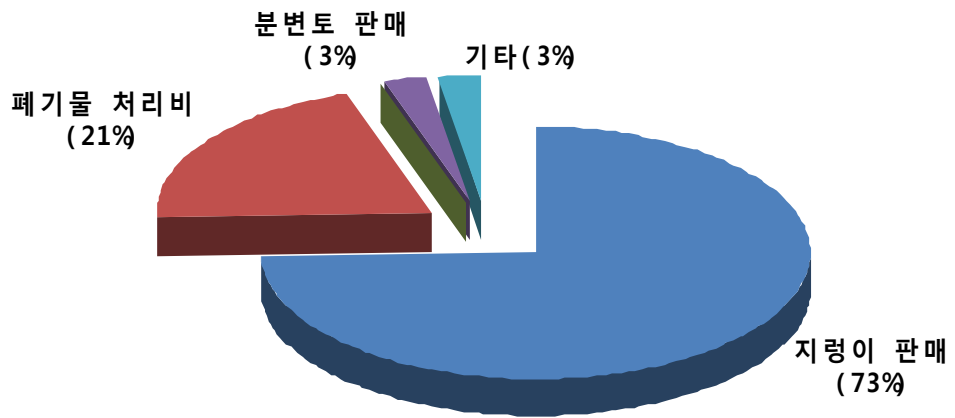


기타 : 사료 첨가제(오리 사료), 중간 유통 업자가 수거(용도 불분명)

7) 귀하의 지렁이 농장 운영 과정에서 얻는 주 수입원은 무엇입니까?

지렁이 농장 운영에서 얻는 주 수입원은 지렁이 농가의 73%가 지렁이 판매라고 대답하였으며, 전체 농장의 21%는 폐기물 처리비라고 대답하였다. 2)번의 지렁이 농장 규모에 관한 설문 항목에서 3,000평 미만이 전체의 74%였고 3000평 이상이 전체의 26%로 나타났는데, 3,000평 미만의 소규모 농장에서는 지렁이 판매 수입이 주가 되고, 3,000평 이상의 대형 농장에서는 처리비 수입이 더 큰 비중을 차지하는 것으로 판단된다.

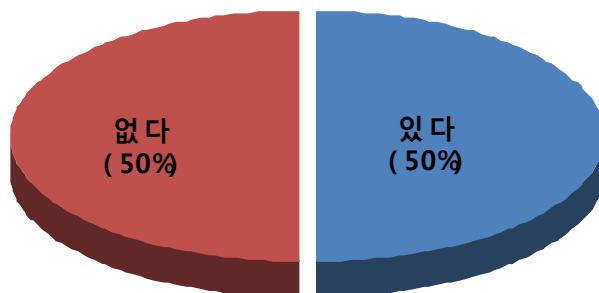




기타 : 지렁이를 사료 첨가제로 사용하여 생산된 가축 판매와 아직 수입이 없는 곳

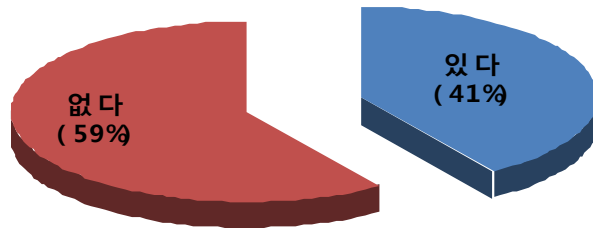
8) 귀하는 현재 폐기물 처리 수수료에 의한 소득을 얻고 있는지요?

지렁이 농장을 운영하면서 폐기물 처리 수수료를 받고 있는 농장은 전체의 50%인 것으로 나타났다. 지렁이 농장에서 폐기물 처리 수수료를 받기 위해서는 농장의 규모가 일정 정도 이상이 되어야 하는데, 2)번의 지렁이 농장 규모에 관한 설문에서 2,000평 이하가 52%, 2,000평 이상이 48%인 것으로 보아 지렁이 농장 규모가 2,000평 이상이 되면 폐기물 처리 수수료에 의한 수익이 발생하는 것으로 보인다.



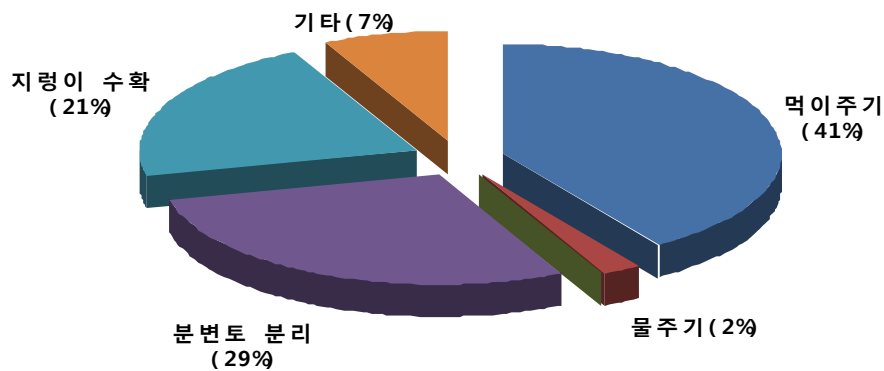
9) 귀하는 농장에서 생산된 분변토 판매에 의한 소득을 얻고 있는지요?

분변토 판매에 의한 수익을 얻고 있는 농장은 전체의 41%로 수익이 없는 농장보다 적은 것으로 나타났다. 따라서 지렁이 농장에서 생산된 분변토의 활용도를 높일 수 있는 제품 및 시장 개발이 요구된다. 더불어 분변토를 판매하고 있는 경우 현재 정부로부터 공식적인 퇴비 허가를 받지 못한 상태에서 어느 곳에, 어떤 용도로, 어떤 경로로 판매되고 있는지에 대한 조사가 필요하다.



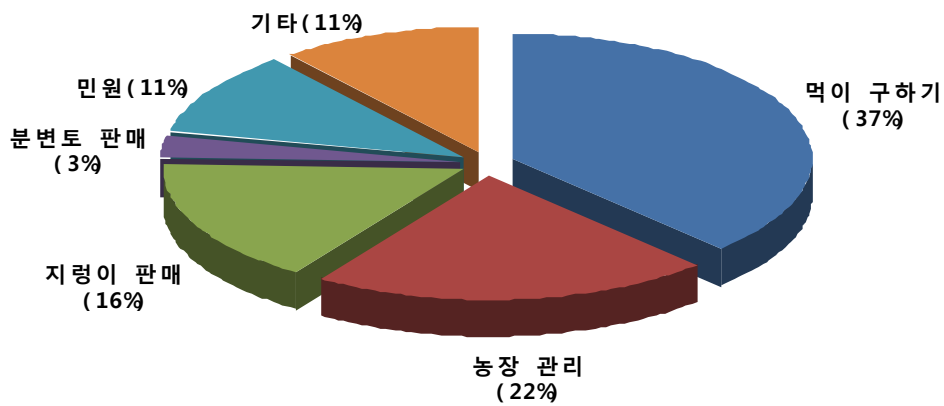
10) 다음의 지렁이 사양관리 항목 중에서 가장 힘들다고 생각되는 것은 무엇입니까?

지렁이 농장 사양 관리시 가장 힘들다고 대답한 항목은 전체의 41%가 먹이주기라고 하였고, 29%가 분변토 분리, 21%가 지렁이 수확하기라고 대답하였다. 따라서 관련 전문가들은 향후 먹이 공급 장치, 사육상으로부터 분변토 분리장치, 지렁이 수확장치의 개발에 역점을 둘 필요가 있다.



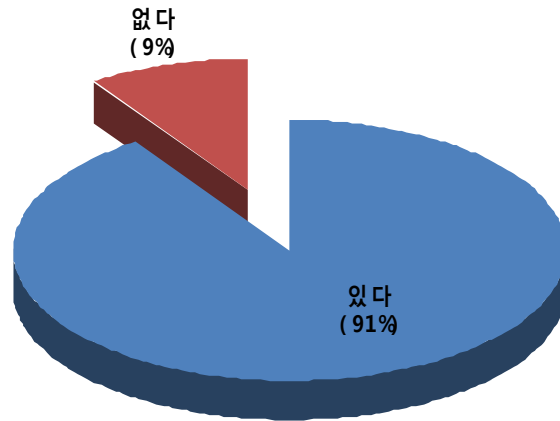
11) 지렁이 농장 경영상 다음 항목 중 가장 힘들다고 생각되는 것은 무엇입니까?

지렁이 농장 경영상 가장 애로사항으로 전체 농장의 37%가 먹이구하기라고 대답하였고, 22%는 농장 관리라고 하여, 지렁이 사육 기술상의 문제를 가장 큰 애로사항으로 여기는 것으로 나타났다. 지렁이 판매나 분변토 판매는 각각 16%, 3%로 나타나 지렁이 사육 문제보다는 크지 않은 것으로 판단된다. 민원이 가장 큰 애로 사항이라고 대답한 경우도 11%로 나타나 지렁이 농장의 주변 입지도 중요한 사항임을 시사하고 있다.



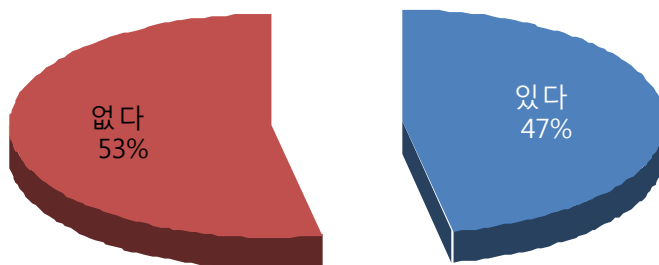
12) 귀하께서는 향후에도 계속해서 지렁이 농장을 운영할 계획이 있으신가요?

전체 농가의 91%가 향후에도 지렁이 농장을 운영하겠다고 대답을 하고 있어, 현장에서는 지렁이 농장 운영 의지가 강한 것으로 나타났다.



13) 귀하께서는 향후 귀하의 지렁이 농장 규모를 확대할 의사가 있으신지요?

향후 지렁이 농장 규모를 확대할 의사가 없다고 대답한 농장은 전체의 53%로 절반 이상이 지렁이 농장 운영 전망을 긍정적으로 보고 있지 않은 것으로 나타났다.



### 제 3 절 분변토의 채소 재배 이용

#### 1. 분변토의 이화학적 특성 및 퇴비 및 상토의 관련 규정 적용

##### 가. 분변토의 이화학적 특성

1) 2005년에 시험에 사용하는 유기물과 분변토의 이화학적 성을 분석하였다. 분석에 사용된 분변토는 우분을 먹이로 해서 만든 분변토를 대상으로 하였다. pH와 EC, 함수율, 용적밀도, 질산태 질소, 암모니아태 질소, 인산함량과 칼륨 함량을 농진청의 상토 분석 방법으로 분석하였다(농업과학기술원, 2002). 사용된 유기 자재 및 분변토의 비소, 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은의 중금속 함량을 농진청 비료 분석 방법으로 분석하였다.

표 1. Physico-chemical property of wormcasts and organic materials.

(Unit)	Wormcast	Chicken manure compost	Coco-nut activated charcoal	Chicken manure activated charcoal	Peatmoss	Horticultural Growing Medium <sup>2</sup>
pH(1:5, v:v)	8.4	8.1	8	10.8	4.52	6.27
EC(dS/m, 1:5, v:v)	2.8	2.4	0.1	9.2	0.2	0.5
Moisture content(%)	45.4	44.7	16	1.8	31.6	46.3
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	0.73	0.25	0.47	0.89	0.12	0.22
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	413.1	859.3	0.0	0.8	0.8	107
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	71.9	76.4	2.7	0.0	38.7	72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/L)	2657.0	2363.9	32.0	3787.1	8.5	219
K(cmol <sup>+</sup> /kg)	15.3	12.4	0.1	30.7	0.1	1.67

<sup>2</sup>국내에 통용되는 피트모스를 원재료로 하는 원예용 상토의 평균(상토연구회, 2006)

표 2. Quality criteria of domestic and foreign medium.

	pH	EC (dS/m)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Remark
			mg/L					
Domestic medium <sup>z</sup>	5.5-7.0	less than 1.2		Proper nutrient				Properly clean, porous
								Micronutrient
Foreign medium	5.0-6.0 (CaCl <sub>2</sub> )	1.0-1.2	90- 180	90- 180	130- 250	50- 100	500- 800	contained Porosity(80-90%) Bulk density(60-100g/L)

<sup>z</sup>농촌진흥청에서 제시하고 있는 원예용 상토의 보증범위

분변토의 pH가 8.4로 원예용 상토 평균보다 상당히 높고, 상토로 사용하기 위해 5.5-7.0으로 조정하는 것이 필요하고, EC도 2.8로 원예용 상토 평균보다 5배 정도 높고, 질산태 질소는 4배, 인산과 칼륨 함량은 5배 정도 높은 것으로 나타났다. 원예용 상토로 사용하기 위해 EC는 1.2dS/m이하로 비료 염을 조절하여 유통되고 있는데, 염류 함량이 높아 상토 사고로 이어지기 위해 원예용 상토소재와 배합을 통해 양분의 양을 결정하는 것이 필요하다.

표 3. 외국의 상토관련 중금속 허용기준 비교(상토연구회, 2006)

Unit	USA Ohio state <sup>z</sup>	Belgium <sup>y</sup>	Korean compost <sup>x</sup>	Korean 1st compost	HGM
As(mg/kg)	-	-	50	25	50
Pb(mg/kg)	-	50	150	75	150
Cd(mg/kg)	-	1	5	2.5	5
Cr(mg/kg)	-	-	300	150	300
Cu(mg/kg)	0.001-0.6	200	300	200	500
Hg(mg/kg)	2	1	2	1	2
Zn(mg/kg)	0.001-0.6	100	900	500	-
Ni(mg/kg)	-	10	50	25	-

<sup>z</sup>Guarantee bounds of harmful ingredients of horticultural medium (상토연구회, 2006)

<sup>y</sup>Not detected

표 4. Harmful ingredient criteria of Horticultural Growing Medium(HGM) and contents of heavy metal of wormcasts and other organic materials.

Unit	Criteria of HGM <sup>z</sup>	Wormcast	Chicken manure	Coco-nut activated charcoal	Chicken manure activated charcoal
As(mg/kg)	50	2.4	1.9	0.2	2.4
Pb(mg/kg)	150	- <sup>y</sup>	3.8	-	-
Cd(mg/kg)	5	-	-	-	-
Cr(mg/kg)	300	0.5	1.2	0.3	0.5
Cu(mg/kg)	500	0.3	5.4	36.9	2.4
Hg(mg/kg)	2	-	-	-	-

<sup>z</sup>Allowance limit of heavy metal of HGM at Ohio state in USA.

<sup>y</sup>Allowance limit of heavy metal of HGM in Belgium.

<sup>x</sup>Allowance limit of heavy metal of byproduct fertilizer in Korea.

우분 분변토는 한국의 1급 퇴비의 중금속 기준으로 보면 조건을 만족시킨다. 그런데, 돈분의 중금속 함량을 살펴보면 구리 499ppm, 아연 1069ppm으로 상당히 높다는 것을 알 수 있다(표 5). 돈분을 지렁이 먹이로 분변토를 만들면 생물학적 농축에 의해 1.5배 함량이 올라가는 것을 표1을 통해 알 수 있다. 그러면 돈분을 이용해 분변토를 만들면 한국의 퇴비 기준을 충족하지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 특히 분변토는 유기농업을 하는 농가에서 상토 소재로 많이 이용하는데, 무분별하게 분변토를 사용하다가 중금속 오염을 유발될 수 있다. 예를 들어 하수도 슬러지 같은 표1에서 본 것 같이 인분 슬러지로 만든 것은 퇴비의 기준 함량을 초과해 버린다. 지렁이 분변토의 중금속에 대한 기준은 1급 퇴비의 기준을 적용하고, 유기농에 사용하는 분변토를 만들기 위한 지렁이 먹이는 퇴비에서 사용가능한 물질에서 돈분과 인분 및 기타 동물의 분뇨는 사전 분석 검사 후 사용가능한 원료로 조정하여 설정하는 것이 필요하다.

Table 5. Chemical property of the manure of domestic animal (Dry matter, %)

	pH(1:5)	Moisture contents	OM	T-N	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
Ox manure	7.92	80.0	75.3	2.09	21.5	2.80	0.46	2.05
Pig manure	7.16	75.2	80.7	3.68	14.8	5.99	0.77	3.15
Chicken manure	7.24	66.7	77.0	5.10	11.4	4.84	1.48	4.27

	(Dry matter, mg/kg)								
	MgO	Na <sub>2</sub> O	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Pb
Ox manure	0.88	1.09	1,604	482	39	201	18	0.9	4.3
Pig manure	1.19	1.05	1,802	242	499	1069	17	0.4	3.7
Chicken manure	1.04	0.99	1,131	249	57	296	18	0.5	3.2



## 2. 분변토의 토양 시용 효과 및 시용량 결정

### 가. 연구 목적

지렁이를 이용한 유기물의 퇴비화(vermicomposting) 과정에서 생산되는 지렁이의 분변토는 작물이 흡수 이용할 수 있는 치환성 양이온 함량이 높고, 양분보유능(CEC)이 높으며 입단구조로 되어있어 토양의 이화학적 성을 개선시키는 효과가 매우 높다고 알려져 있다(김, 2005). 또, 지렁이 분변토는 퇴비 부숙제보다 미생물 수가 많으며 활성이 좋다고 알려져 있다. 분변토를 토양에 퇴비 및 유기성 자재를 시용할 때 토양과 작물 생육에 미치는 영향을 분석하고, 분변토의 시용량 결정하기 위해 시험을 수행하였다.

### 나. 실험 방법 및 재료

#### 1) 시험1: 분변토의 토양 처리가 단호박 수량과 품질에 미치는 효과

공시작물은 단호박(품종: 아지지망)을 사용하였고, 32공 플러그트레이에 6월 2일에 파종하였고, 강원도 횡성 지역의 비가림 하우스에 7월 2일에 정식하였고, 8월 10일부터 인공수분하여 착과하였고, 10월 18일에 수확하여 수량과 품질을 조사하였다. 정식 전 2주 전에 계분퇴비 500kg/10a, 분변토 500kg/10a, 분변토 500kg/10a와 계분활성탄 500kg/10a를 정식 전 2주 전에 토양 내에 처리하여 섞어 주었다. 정식전, 착과기, 수확후 시험 포장의 pH, EC, N, P, K 등 화학성을 분석하였고, 착과기 전에 초장과 마디수를 측정하였고, 수확 후 중량과 과실 당도를 조사하였다.

#### 2) 시험2: 분변토의 토양 시용량 결정

공시작물은 단호박(품종: 아지지망)을 사용하였고, 32공 플러그트레이에 8월 10일에 파종하였고, 수원 원예연구소 비가림 하우스에 8월 28일에 정식하였고, 9월 20일부터 인공수분하여 착과하였고, 11월 8일에 수확하여 수량과 품질을 조사하였다. 정식전 2주 전에 무처리와 분변토 500kg/10a, 1,000kg/10a, 2,000kg/10a를 정식 전 2주 전에 토양 내에 처리하여 섞어 주었다. 정식전, 착과기, 수확후 시험 포장의 pH, EC, N, P, K 등 화학성을 분석하였고, 수확 후 중량과 과실 특성을 조사하였다.

### 다. 결과 및 고찰

#### 1) 시험1: 분변토의 토양 처리가 단호박 수량과 품질에 미치는 효과

표 6. the effects of wormcast treatment on sweetpumpkin growth and yield.

Treatments	Plant height (cm)	Node number	Fruit weight (g)	Fruit diameter (mm)	Total soluble solids (Brix°)	Yields (g/plant)
Control	177.2	20.1	441	147	17	1,586
Chicken manure compost	179.2	20.3	432	151	17	1,744
Wormcasts	186.3	20.6	433	154	16	2,167
Chicken manure activated charcoal + Wormcasts	182.8	21.3	468	158	16	2,593

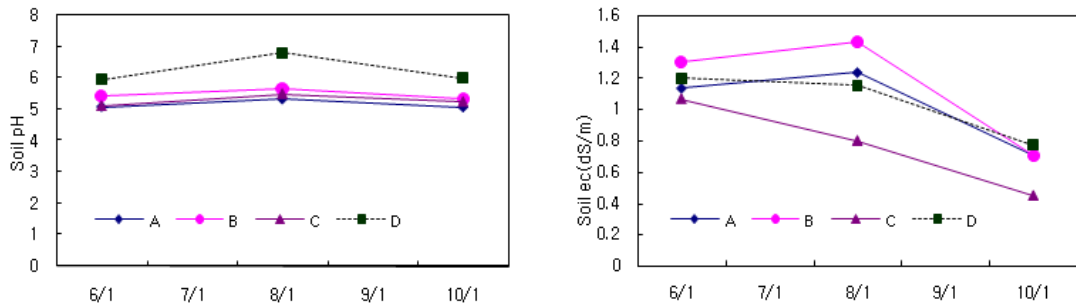


그림 1. Change of pH and EC(dS/m) during cultivating period (A: Control, B: Chicken manure compost, C: Wormcasts, D: Chicken manure activated charcoal+Wormcasts)

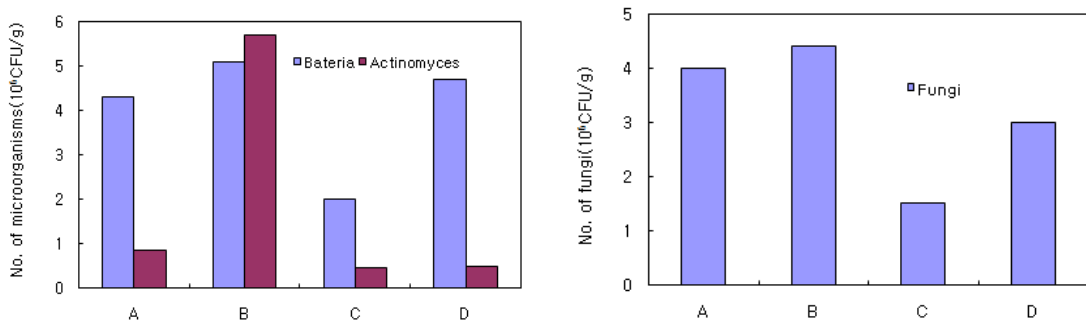


그림 2. Change of bacteria, actinomyces(left), and fungi(right) number in soil during cultivating period. (A: Control, B: Chicken manure compost, C: Wormcasts, D: Chicken manure activated charcoal+Wormcasts)

토양개량효과 실험에서 분변토 및 분변토와 계분활성탄을 시용했을 때 단호박의 생육과 수량이 증가하였고, 분변토를 토양내 시용했을 때 미생물 군체에 미치는 영향은 별로 크지 않았으며, 분변토 시용에 의한 양분 증가에 의해 수량이 증가한 것으로 나타났다. 분변토 처리후 지렁이 밀도를 조사했는데, 전혀 발견되지 않았으며, 분변토 시용에 의한 지렁이 서식 증가는 나타나지 않았다.

## 2) 시험2: 분변토의 토양 시용량 결정

표 7. Effect of fertilizer amount of worm casts on yield and quality of sweet pumpkin.

Treatments	Fruit weight (g)	Fruit length (g)	Fruit diameter (mm)	Yields (kg/10a)
Control	1176	97	153	1040
500kg/10a	1218	97	155	1143
1000kg/10a	1263	98	158	1117
2000kg/10a	1251	98	156	1118

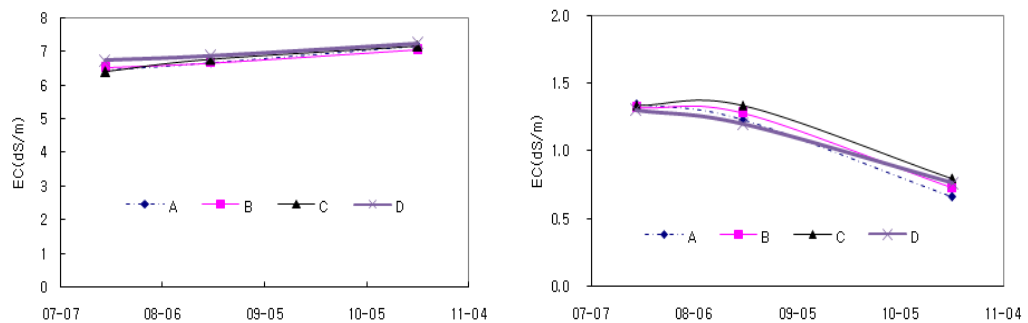


그림 3. Change of pH and EC(dS/m) during cultivating period after worm casts fertilizing. (A: Control, B: 500kg/10a, C: 1000kg/10a, D: 2000kg/10a)

무시용에 비해 분변토를 많이 시용할수록 과실 크기가 증가하지만, 수량은 10a당 500kg에서 가장 높게 나타났다. 이것은 질소 과잉에 의한 착과 억제에 의한 효과인 것으로 판단된다. 토양 pH는 분변토를 10a당 2000kg 처리구에서 7.0을 넘는 것으로 나타났다. 수량과 토양 pH를 고려해 보면 10a당 500kg를 시용하는 것이 적합한 것으로 보인다.

### 3. 분변토를 이용한 유기 육묘 체계 개발

#### 가. 연구 목적

현재 우리나라의 상토 시장은 연간 약1000억-1500억 정도로 추정된다. 주로 피트모스와 펄라이트가 배합된 배지 조성에 고품비료를 배지를 조제할 때 섞어서 제조한다. 육묘장에서 육묘를 키울 때 비료가 포함된 배지에 발아 후 배지의 양분이 떨어질 때 액체 비료를 공급하는 채소 육묘 체계를 가지고 있다. 원예연구소는 채소육묘 전용 배양액과 시비 관리 체계를 개발하였다. 지렁이 분변토는 작물이 흡수 이용할 수 있는 치환성 양이온 함량이 높고, 양분보유능(CEC)이 높으며 입단구조로 되어있어 유기농 재배를 할 때 육묘 과정에서 비료를 공급소재로 많이 이용하지만, 이에 대한 적절한 배합 비율과 시비 관리 체계가 잡혀져 있지 않다. 분변토를 상토에 배합하여 이화학을 분석하고, 채소 육묘에 분변토가 배합된 상토가 미치는 영향을 분석하여 유기재배를 위한 육묘 체계를 만들기 위해 시험을 수행하였다.

#### 나. 실험 방법 및 재료

##### 1) 시험3: 지렁이 분변토를 이용한 유기재배용 육묘 상토 개발

공시작물은 배추(품종: 제일봄배추), 상추(품종: 녹치마상추), 고추(품종: 마니따고추), 토마토(품종: 하우스첼린지), 오이(품종: 조은백다다기)를 사용하였고, 플러그트레이 규격은 피트모스에 분변토 혼입 비율: 0, 20, 40, 60%(v/v)로 혼합하여 석회로 pH를 교정하였다. 배추는 105공, 고추는 72공, 상추는 105공, 오이는 50공 플러그 트레이를 사용하였다. 조사항목으로 상토내 화학성 분석을 위해 상토 20ml를 취해 증류수 100ml 삼각플라스크에 취하여 1시간 진탕한 후 No. 2 여과지로 여과하여 pH와 EC(dS/m)를 측정하였다. 질산태 질소와 암모니아태 질소는 풍건한 상토를 Kjeldahl법을 이용해 측정하였고, 유효인산은 Lancaster법을 이용해 측정하였고, 치환성 K은 초산암모늄침출법을 이용해 추출하여 원자흡광도분석기를 이용해 분석하였다. 일정 시기마다 상토의 EC와 pH의 변화를 분석하였고, 초장, 생체중, 본엽수, 엽면적 등을 조사하였다.

##### 2) 시험4: 지렁이 분변토를 이용한 유기재배용 육묘 상토 및 추비 방법 개발

공시작물은 오이(품종: 백성3호)를 사용하였고, 플러그트레이 규격은 피트모스에 분변토 혼입 비율: 0, 5, 10, 20%(v/v)로 혼합하였다. 오이는 50공 플러그 트레이를 사용하였다. 추비 처리는 대조구는 물로만 관수만하고, 유채박을 물과 1:4 비율 섞은 후 10분간 끓이고, 다시 걸러진 여액을 1:4로 희석하여 추비하였고, 원예연구소 육묘 전용 양액(한국시설원예연구회, 2000) 으로 추비하는 처리를 3-4일 간격으로 하였다. 조사항목으로 상토내 화학성 분석을 위해 상토 20ml를 취해 증류수 100ml 삼각플라스크에 취하여 1시간 진탕한 후 No. 2 여과지로 여과하여 pH와 EC(dS/m)를 측정하였다. 질산태 질소와 암모니아태 질소는 풍건한 상토를 Kjeldahl법을 이용해 측정하였고, 유효인산은 Lancaster법을 이용해 측정하였고, 치환성 K은 초산암모늄침출법을 이용해 추출하여 원자흡광도분석기를 이용해 분석하였다. 일정 시기마다 상토의 EC와

pH의 변화를 분석하였고, 초장, 생체중, 본엽수, 엽면적 등을 조사하였다.

표 8. Standard nutrient solution composition for vegetable seedling at Korea

Macro nutrients			Micro nutrients		
Fertilizer	Concentration(mM)	Amounts (g/MT)	Fertilizer	Concentration(mM)	Amounts (g/MT)
			Fe-EDTA	Fe 5.0	20
KNO <sub>3</sub>	2.4	242.6	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	B 0.5	3
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	2.4	566.9	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	Mn 0.5	2
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.8	92	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	Cu 0.05	0.05
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.8	197.2	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	Zn 0.05	0.02
			Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Mo 0.02	0.02

#### 다. 결과 및 고찰

가) 시험1: 지렁이 분변토를 이용한 유기용 육묘 상토 개발

표 9. Effect of earthworm cake and peat moss ratio on initial chemical property.

Earthworm cake(%)	Peat moss(%)	pH <sup>z</sup>	EC (dS/m)	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/L)	K (cmol <sup>c</sup> /kg)
60	40	7.5	3.0	183	0	8436	26.9
40	60	7	2.5	167	0	6112	21.3
20	80	5.8	1.7	73	4	3379	15.8
HGM <sup>y</sup>		5.9	1.5	212	268	1270	8.8

<sup>z</sup>pH adjusted by 1g/L dolomitic limestone.

<sup>y</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

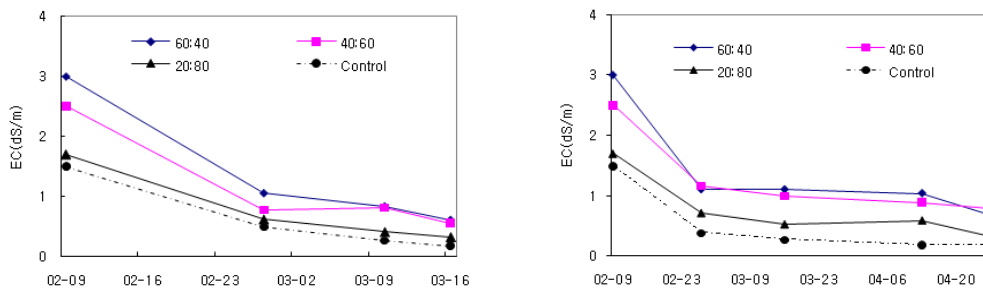


그림. 4. Effect of wormcasts and peat moss ratio on change of medium Electricity Conductivity (EC) of cucumber (left) and pepper (right).

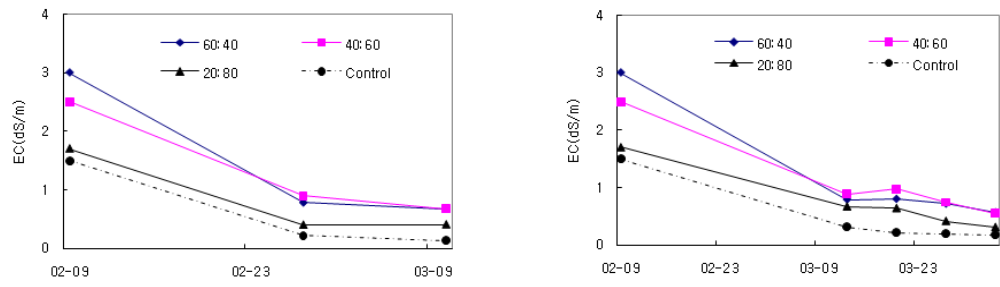


그림 5. Effect of worm cake and peat moss ratio on medium change of Electricity Conductivity (EC) of cabbage (left) and lettuce (right).

표 10. Effect of wormcasts and peatmoss ratio on seedling growth of various vegetable.

Vegetable (Plug hole number)	Wormcasts :Peatmoss (v:v, %)	Plant height (cm)	Leaf number	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh weight (g)	SPAD
Cucumber (50 holes)	60:40	14.7	2.7	79.2	5.0	32.5
	40:60	13.5	2.8	80	4.8	30.6
	20:80	15.7	2.9	80.3	5.3	32.1
	HGM <sup>2</sup>	18.6	3	114.7	6.6	34.2
Pepper (72 holes)	60:40	13.1	8.3	21.7	1.9	30
	40:60	12.3	8.3	20.4	1.8	29.9
	20:80	9.4	6.9	8.7	1.2	23.4
	HGM	12	7.8	14.9	1.7	25.5
Chinese cabbage (105 holes)	60:40	8.5	3.9	26.7	1.3	25.9
	40:60	7.6	4	28.6	1.2	25.3
	20:80	7.2	4.1	21.9	1.0	22.1
	HGM	8.9	4.7	36	1.5	25.3
Lettuce (105 holes)	60:40	6.6	6.6	46.7	1.7	17
	40:60	5.8	6.3	32.7	1.2	15.4
	20:80	5.8	6	30	1.1	15.1
	HGM	6.4	6.1	34.8	1.3	17.1

<sup>2</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

육묘 기간이 길은 고추와 상추는 분변토의 혼입이 많을수록 생육이 좋았고, 육묘 기간이 짧은 오이와 봄배추는 시판상토에서 생육이 좋았다. 분변토의 혼입이 많을수록 양분 보유량 올라가지만, EC가 너무 높아 상토 사고의 위험이 존재하므로 분변토 혼입량은 20% 미만이 적합하다. 그래서 국내 원예용 상토의 EC(1:5, v/v)는 1.2이하를 권장하고 있다. 상토내 양분함량의 변화를 살펴보면 EC농도 1dS/m 미만으로 떨어질 때 별도의 추비체계가 필요하다.

Table 11. Effect of wormcasts and peatmoss ratio on minseedling growth of various vegetable.

Vegetable (Plug hole number)	Wormcasts :Peatmoss (v:v, %)	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)
Cucumber (50 holes)	60:40	2	1.6	5.2	1	0.6
	40:60	2.2	1.6	5.4	1.2	0.6
	20:80	1.6	1.6	4.1	1.2	0.7
	HGM <sup>z</sup>	1.8	1.4	2.9	1.1	0.6
Pepper (72 holes)	60:40	1.7	1.8	4.3	1.2	0.7
	40:60	1.6	1.8	4.7	2.4	0.8
	20:80	1.6	2.7	4.3	1.7	0.8
	HGM	1.6	1.6	3.7	1.9	0.7
Chinese cabbage (105 holes)	60:40	2.2	1.5	4.8	1	0.3
	40:60	1.9	1.6	4.7	3.7	0.3
	20:80	1.4	1.8	3.8	1	0.3
	HGM	2	1.6	3.8	2.1	0.3
Lettuce (105 holes)	60:40	1.5	1.1	3.8	0.8	0.3
	40:60	1.4	1.1	3.8	0.4	0.2
	20:80	1.4	1.0	2.9	1.7	0.3
	HGM	1.4	0.9	3	0.8	0.3

<sup>z</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)



2) 시험4: 지렁이 분변토를 이용한 유기재배용 육묘 상토 및 추비 방법 개발

표 12. The effect of the ratio of wormcasts on chemical property of growing medium.

Wormcasts :Peatmoss (v:v, %)	pH <sup>z</sup>	EC (dS/m)	C/N	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/L)	K Ca Mg		
							(cmol <sup>c</sup> /kg)		
0:100	5.21	0.04	72	0	20	7	0.1	1.8	3.3
5:95	5.44	0.31	59	46	25	303	1.3	4.3	5.2
10:90	6.01	0.52	51	74	19	355	1.8	7.7	8.8
20:80	6.84	0.91	46	211	21	623	4.8	9.9	10.1
HGM <sup>y</sup>	5.89	0.37	39	289	214	512	6.9	22.4	11

<sup>z</sup>pH adjusted by 1g/L dolomitic limestone.

<sup>y</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

표 13. Effect of the ratio of wormcasts on initial growth of cucumber after 21 days sowing.

Wormcasts :Peatmoss (v:v, %)	Plant height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh weight(g)		SPAD	Plant diameter	Leaf number
			Shoot(g)	Root(g)			
0:100(A)	5.1 b <sup>z</sup>	11 c	0.6 d	0.1 d	35 a	1.5 b	3
5:95(B)	7.1 a	21 b	1.1 c	0.3 bc	37 a	2.4 a	3
10:90(C)	6.9 a	25 ab	1.4 ab	0.5 ab	36 a	2.4 a	3
20:80(D)	6.4 a	26 a	1.4 a	0.6 a	35 a	2.7 a	3
HGM <sup>y</sup> (E)	7.7 a	22 b	1.2 bc	0.3 d	32 e	2.1 ab	3

<sup>z</sup>Duncan test = 0.05

<sup>y</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

그림 6. The effect of the ratio of wormcasts on cucumber growth.



<sup>z</sup>Medium index(Wormcasts: Peatmoss, v: v)

<sup>y</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

표 14. Effect of the ratio of wormcasts on initial growth of pepper after 28 days sowing.

Wormcasts :Peatmoss (v: v, %)	Plant height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh weight(g)		SPAD	Dry shoot weight	Leaf number
			Shoot(g)	Root(g)			
0:100(A)	3.38 a <sup>z</sup>	2.90 c	0.11 d	0.04 c	29.07 ab	0.01 c	3.83 b
5:95(B)	4.05 b	5.75 b	0.25 bc	0.07 bc	26.07 c	0.02 b	3.83 b
10:90(C)	4.55 a	7.47 a	0.36 a	0.11 a	30.78 a	0.02 ab	4.17 b
20:80(D)	4.32 ab	7.12 ab	0.33 ab	0.08 b	27.72 bc	0.03 a	5.00 a
HGM <sup>y</sup> (E)	3.85 bc	7.24 ab	0.22 c	0.06 bc	29.62 ab	0.03 a	4.33 b

<sup>z</sup>Duncan test = 0.05

<sup>y</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

표 15. Effect of the ratio of wormcasts on initial growth of Chinese cabbage after 28 days sowing.

Wormcasts :Peatmoss (v: v, %)	Plant height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh weight(g)		SPAD	Dry shoot weight(g)	Leaf width (cm)	Leaf number
			Shoot(g)	Root(g)				
0:100(A)	2.88 d <sup>z</sup>	4.06 e	0.13 e	0.04 c	25.90 a	0.01 c	1.93 d	3.17 b
5:95(B)	5.55 c	12.67 d	0.44 d	0.07 c	18.47 c	0.04 c	2.25 cd	4.00 a
10:90(C)	6.67 bc	23.28 c	0.79 c	0.19 b	22.77 b	0.08 b	2.83 bc	4.00 a
20:80(D)	7.78 b	31.81 b	1.30 b	0.17 b	23.57 ab	0.08 b	3.35 b	4.00 a
HGM <sup>y</sup> (E)	10.27 a	51.21 a	2.08 a	0.38 a	23.45 ab	0.14 a	4.40 a	4.50 a

<sup>z</sup>Duncan test = 0.05

<sup>y</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

분변토와 피트모스를 혼합하고, 오이 종자를 파종한 후에 21일 후에 생육을 조사한 결과 기존 상토를 사용한 것에 비해 분변토를 10% 처리한 것이 통계적으로 유의성 있게 오이 묘의 초기 생육이 좋았고, 분변토를 20%를 처리한 것과 일반 상토에 파종한 처리구의 생육이 거의 비슷하였다(Table 14). 이것은 분변토를 상토에 혼합하여 처리

하면 일반 화학 비료와 비슷한 수준으로 양분을 공급하는 것을 추정할 수 있다. 이러한 결과는 분변토를 이용한 고추의 육묘 과정에서 10% 처리한 구에서 생육이 가장 좋게 나타났고, 20% 처리한 구와 일반 상토를 사용한 처리구에서 비슷한 생육을 보이는데, 초기 생육에 적합한 비료 조건을 구비하여 가져서 분변토를 10% 처리구에서 생육이 좋은 것으로 나타났다. 반면에 배추를 육묘할 때 시중 상토를 사용한 처리구에서 가장 좋게 나타났는데, 이것은 펠라이트와 피트모스가 혼합된 시중 상토가 가진 물리성이 뛰어난 것으로 추정이 가능하다. Lee(2006)에 따르면 피트모스 100%를 사용하는 것보다 질석과 펠라이트를 섞는 배지에서 배추 육묘의 생육이 좋았고, 배추 육묘 상토의 최적 비율로 피트모스 7, 펠라이트 2.9, 제올라이트 0.1의 비율을 제시하였다. 그래서 피트모스 7에 펠라이트 3의 조건에 분변토를 처리하는 것이 배추의 유기육묘 상토로 더 적합할 것으로 추정된다. 추비 처리는 과종후 2주부터 일주일 2번 처리하였고, 대조구는 물을 처리하였다. 상용 상토에 양액을 처리한 것이 생육이 가장 좋았고, 다음으로 상용 상토에 유박을 처리한 구와 분변토 20%를 처리한 구가 생육이 통계적으로 유의성 있게 좋았다(Table. 16). 이것은 유박을 뜨거운 물에서 추출하여 희석하여 추비하는 것은 양액재배에 사용하는 비료를 최적 육묘용 양액과 거의 비슷한 수준으로 양분 공급이 가능하다는 것을 보여주고, 생육 차이는 2-3일 정도 차이가 나므로 유기 육묘에서 분변토를 이용한 상토와 유채박을 열수 추출하여 추비하는 것은 기존의 화학 비료를 사용하는 육묘 체계에 비하여 크게 떨어지지 않음을 알 수 있었다. 고추와 같이 50일 이상 장기 육묘를 하면서도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다(Table. 17)

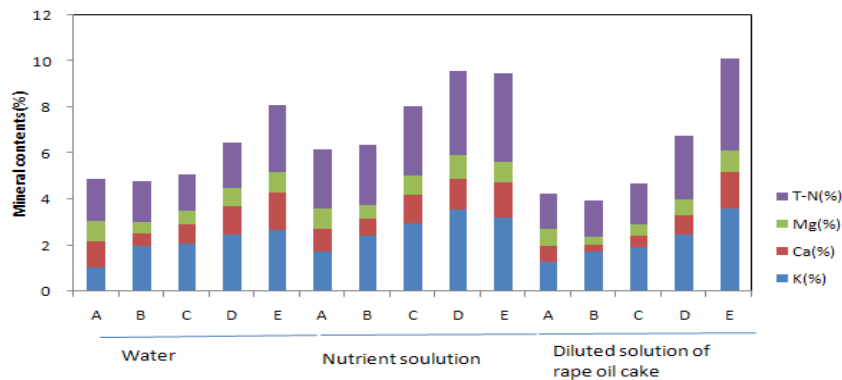


그림 7. Effect of addition fertilizer method and wormcasts ratio on mineral of cucumber seedling

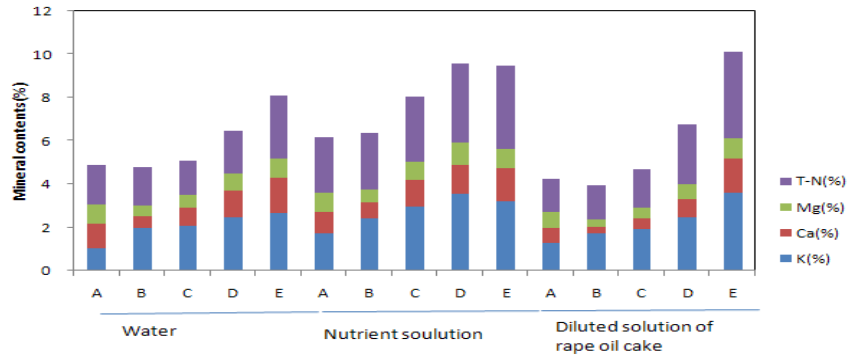


그림 8. Effect of addition fertilizer method and wormcasts ratio on mineral of cucumber seedling

표 16. The effect of wormcast ratio and addition fertilizer treatment on pepper growth.

Additional fertilizer	Wormcasts: Peatmoss (v:v, %)	Plant height (cm)	Leaf number	Plant diameter (mm)	SPAD	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh weight(g)		Dry weight
							Shoot	Root	Shoot
Water	0:100(A)	4.37 h	5.33 i	1.45 fe	30.20 a	6.17 g	0.34 g	0.20 g	0.05 f
	5:95(B)	5.02 h	5.83 hi	1.73 cde	15.18 f	8.68 fg	0.49 gh	0.30 fg	0.07 def
	10:90(C)	7.87 f	7.67 g	1.81 cde	17.78 fe	16.40 e	0.78 de	0.62 de	0.09 def
	20:80(D)	11.63 c	9.50 de	2.40 a	22.27 cd	39.87 c	1.67 c	1.26 b	0.20 b
	HGM(E) <sup>y</sup>	10.78 d	8.50 fg	2.29 ab	20.77 de	31.25 d	1.36 d	1.05 bc	0.15 c
Nutrient Solution	0:100(A)	4.70 h	6.50 h	1.57 def	30.07 a	12.86 efg	0.48 gh	0.29 gf	0.06 ef
	5:95(B)	6.63 g	8.17 fg	1.80 cde	22.07 cd	16.79 e	0.65 fg	0.52 ef	0.09 fe
	10:90(C)	9.60 e	9.83 dc	1.89 cd	24.35 cd	27.82 d	1.05 de	0.86 cd	0.12 cde
	20:80(D)	13.42 b	11.67 a	2.28 ab	23.88 cd	48.69 b	1.83 bc	1.21 b	0.22 b
	HGM(E)	14.25 a	11.17 ab	2.47 a	24.83 cd	46.70 bc	1.91 b	1.17 b	0.22 b
Diluted solution of rape oil cake	0:100(A)	6.65 g	8.33 fg	1.54 def	25.97 bc	14.04 ef	0.60 fg	0.30 fg	0.07 f
	5:95(B)	7.33 fg	8.83 ef	1.32 f	23.93 cd	16.09 ef	0.68 ef	0.53 ef	0.08 f
	10:90(C)	9.53 e	9.67 dc	1.98 bc	29.82 ab	28.23 d	1.18 de	0.73 ed	0.13 cd
	20:80(D)	14.52 a	10.83 ab	1.97 bc	29.57 ab	47.59 b	1.75 bc	0.85 cd	0.19 b
	HGM(E)	14.67 a	10.50 bc	2.47 a	33.08 a	55.97 a	2.34 a	1.52 a	0.28 a

<sup>z</sup>Duncan test=0.05

<sup>y</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

오히려 생육은 조금 떨어지지만, 고추의 근권 활력을 분석한 결과 분변토와 유채박을 사용한 처리구의 근권 활력이 높은 것으로 나타나 우수한 육묘 특성을 가짐을 알 수 있었다.

Table 17. Effect of wormcast ratio and addition fertilizer treatment on cucumber growth.

Additional fertilizer	Wormcasts:P eatmoss (v:v, %)	Plant height (cm)	Leaf number	Fresh weight(g)		Plant diameter (mm)	SPAD	Leaf area(cm <sup>2</sup> )
				Shoot	Root			
Water	0:100(A)	10.0 e <sup>z</sup>	4.0 f	1.2 i	1.1 cd	2.8 gf	37.6 abcd	22.2 g
	5:95(B)	17.1 b	4.4 e	2.6 g	0.9 fr	3.0 efg	36.5 bcde	50.8 e
	10:90(C)	11.3 d	4.3 e	2.7 g	1.0 cde	3.5 bcd	36.8 abcde	57.6 e
	20:80(D)	14.7 c	5.0 bcd	4.1 cd	1.2 bc	4.2 a	38.2 abc	78.5 dc
	HGM(E) <sup>y</sup>	14.1 c	5.0 bcd	4.2 cd	1.3 b	3.9 ab	38.3 abc	97.1 b
Nutrient Solution	0:100(A)	7.4 f	4.0 f	1.7 hi	0.6 g	3.1 defg	36.2 bcde	36.2 a
	5:95(B)	12.1 d	4.9 cd	3.2 f	0.9 fe	3.2 def	37.1 abcd	59.9 e
	10:90(C)	14.2 c	5.0 bcd	3.7 de	1.0 ed	3.4 de	36.5 bcde	70.3 d
	20:80(D)	18.7 a	5.2 b	5.2 b	1.5 a	3.9 abc	39.1 a	94.4 b
	HGM(E)	19.2 a	5.8 a	6.1 a	1.7 a	3.9 abc	38.6 ab	128.7 a
Diluted solution of rape oil cake	0:100(A)	9.7 e	4.8 d	2.0 h	0.7 fg	2.7 g	34.5 e	41.4 f
	5:95(B)	16.2 b	5.1 bc	4.0 cde	1.0 de	3.3 def	36.0 dce	84.7 c
	10:90(C)	14.1 c	5.0 bcd	3.5 fe	1.2 bcd	3.5 cde	35.8 c	73.6 d
	20:80(D)	17.3 b	5.0 bcd	4.9 b	1.6 a	4.1 a	38.3 abc	95.1 b
	HGM(E)	17.1 b	5.0 bcd	4.4 c	1.1 cd	3.3 def	38.3 abc	103.1 b

<sup>z</sup>Duncan test=0.05

<sup>y</sup>HGM: Horticultural Growing Medium(Baroker)

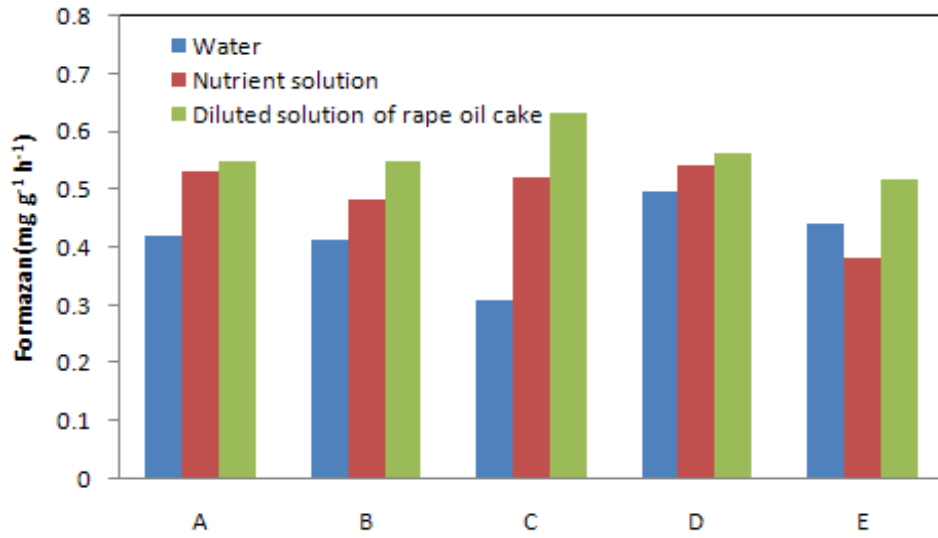


그림. 9. Effect of addition fertilizer method and wormcasts ratio on root activity of pepper seeding.



그림 10. Photographs of pepper seedling according to additional fertilizing method(water[left], nutrient solution[middle], and diluted solution of rape oil cake[right]) and worm cast ratio(A[upper], B, C, D, and E[lower])

#### 4. 유기상토와 지렁이 분변토의 혼합비율이 벼의 생육에 미치는 영향

##### 가. 목적

상토는 종자의 발아와 유묘의 생육에 알맞은 이화학적 특성을 가진 여러 가지 상토 재료를 혼합하여 만든 상품이다. 최근 육묘산업의 발전과 함께 국내 상토시장은 지속적으로 성장하고 있지만, 상토재의 대부분은 외국으로부터 수입에 의존하고 있다. 현재 시판되고 있는 유기 벼 육묘용 상토의 경우, 종자 파종 후 20여일이 경과하면 양분부족에 의한 생육정체 현상이 인정되어 장기간의 육묘에 사용하기 어렵다.

관행 벼 재배는 단위면적당 개체밀도의 증가에 의하여 수량증대를 목적으로 하고 있지만, 희식(소식) 재배는 개체중 증가에 의한 수량증대를 목적으로 하고 있다. 따라서 희식 재배용 유묘 생산을 위한 육묘기간은 약 40일이 소요되므로, 기존의 상토로는 유묘의 생육에 필요한 충분한 양분을 공급하기 어렵다. 이와 같은 상토의 양분부족을 보충하기 위한 방법의 하나로 지렁이 분변토를 상토재로 혼합할 경우, 육묘기간 연장에 따른 부족한 양분을 보충할 수 있을 것으로 추정된다.

지렁이 분변토에는 식물체의 생육에 필요한 양이온함량이 풍부하고, 양분보전능이 높으며, 입단구조로 되어 있고, pH가 중성내지는 약알칼리를 나타내어 다른 상토와 혼합할 경우, 부족한 양분을 충분히 보충할 수 있다고 판단된다(Edwards와 Lofty, 1980; Phillips, 1988; Reddy, 1983, 조 등, 2003; 이와 이, 1999; 김 등, 2005). 또한 지렁이 분변토에는 성장촉진물질이 함유되어 있어(Springett와 Syers, 1978; Graff와 Mackeschin, 1980; Tomati 등, 1987) 유묘의 생육을 촉진시키는 효과도 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

특히 유기상토일 경우에는 안전성이 최우선적으로 고려되어야 하기 때문에 안전성이 높은 먹이를 급여하여 양질의 분변토를 생산하는 것이 중요하다.

본 실험에서는 시판 유기상토와 톱밥발효 돈분과 느타리버섯 폐배지를 지렁이 먹이로 급여하여 생산한 분변토의 혼합비율을 달리하고, 분변토의 바닥시용과 바닥 무시용 처리구에서 벼의 유식물체 생육에 미치는 영향을 조사하여 장기간의 육묘기간에도 충분한 양분을 공급할 수 있는 분변토의 적정 혼합비율을 추정하였다

##### 나. 재료 및 방법

- 1) 공시 지렁이: 줄 지렁이(*Eisenia foetida* L.)
- 2) 공시 분변토(2종): 톱밥발효 돈분 분변토, 느타리버섯 폐배지 분변토
- 3) 공시 벼 품종(2종): 추청 벼, 흑미 벼
- 4) 상토: H 제품(유기상토)
- 5) 분변토 혼합비율:  
(1) 톱밥발효돈분 분변토(5수준): 대조구(상토 100%, 720g), 5%(36g), 10%(72g),



20%(144g), 40%(288g)

(2) 느타리 버섯폐배지 분변토(4 수준): 대조구(상토 100%, 720g), 2%(14.4g), 4%(28.8g), 6%(43.2g)

6) 처리구: 바닥 무처리. 바닥 처리구(분변토 100%를 땅바닥 1cm두께로 깔고 그 위에 육묘용 pot 놓음)

7) 육묘기간: 40일

8) 파종방법: 희식 재배용 pot에 3립씩 파종

9) 반복: 3반복

10) 식물체 생육조사: 초장(PL), 지상부 무게(SHW), 지하부 무게(RW), 생물학적 수량(BY), 근장(RL)

11) 분변토의 중금속 함량 분석

표 1. 지렁이 분변토의 중금속 함량

분변토 종류	중금속 종류(mg/kg)					
	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg
톱밥발효 돈분 분변토	1.891	0.489	15.703	394.429	4.007	0.048
느타리버섯 폐배지 분변토	1.565	0.205	6.434	26.431	6.566	0.007

12) 유기상토와 분변토의 혼합비율에 따른 상토의 이화학성 분석

표 2. 유기상토와 분변토의 혼합비율에 따른 상토의 이화학성 분석

Mixed ratios (OG+Cast)	pH	OM (%)	Ash (%)	TN (%)	TC (%)	EC (ds/m)	C/N	CEC (cmol+/k g)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/ kg)	Ex.Cations(cmol <sup>+</sup> / kg)		
										K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
Control												
100 + 0%	6.33	84.4	15.6	0.64	46.8	4.6	73.1	17.23	307.9	1.60	3.39	3.17
95 + 5%	6.39	83.5	16.4	1.23	46.3	4.5	37.6	18.48	332.1	2.55	3.93	3.17
90 + 10%	6.45	82.7	17.3	1.54	45.9	4.3	29.8	19.85	356.3	3.49	4.46	3.20
80 + 20%	6.56	81.0	18.9	1.67	45.0	4.0	26.9	22.46	404.7	5.37	5.53	3.24
60 + 40%	6.80	77.7	22.3	1.89	43.2	3.5	22.8	27.7	501.6	9.12	7.67	3.3
0 + 100%	7.47	67.6	32.4	2.53	37.5	1.8	14.8	43.42	792.1	20.4	14.1	3.50

OG: organic plant growth medium, OM: organic matter, TN: total nitrogen, TC: total carbon, EC: electrolytic conductivity, C/N: carbon and nitrogen ratio, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: available phosphorus, CEC: cation exchange capacity, Ex.cations: exchangeable cations

표 3. 유기상토와 느타리버섯 폐배지로 생산한 분변토의 혼합비율에 따른 이화학성 분석결과

Mixed ratios (OG + Cast)	pH	OM (%)	Ash (%)	TN (%)	TC (%)	EC (ds/m)	C/N	CEC (cmol+/kg)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex.Cations(cmol <sup>+</sup> /kg)		
										K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
100 + 0%	6.33	84.4	15.6	0.64	46.8	4.6	73.1	17.23	307.9	1.60	3.39	3.17
98 + 2%	6.02	85.2	14.8	1.20	47.3	0.38	39.4	17.88	315.5	1.65	3.55	3.32
96 + 4%	6.44	84.9	15.1	1.25	47.1	0.40	37.7	18.26	367.8	1.71	3.87	3.78
94 + 6%	6.77	78.4	21.6	1.56	43.5	0.46	27.9	21.24	421.1	1.95	4.11	4.44
0 + 100%	7.43	74.1	25.9	1.71	41.2	1.0	24.1	39.1	688.1	4.34	11.3	2.1

OG: organic plant growth medium, OM: organic matter, TN: total nitrogen, TC: total carbon, EC: electrolytic conductivity, C/N: carbon and nitrogen ratio, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: available phosphorus, CEC: cation exchange capacity, Ex.cations: exchangeable cations

## 다. 결과 및 고찰

1) 유기상토와 톱밥발효 돈분으로 생산한 분변토의 혼합비율의 차이가 추청 벼와 흑미 벼의 생육에 미치는 영향

### (1) 바닥 무처리구

#### 가. 추청 벼의 생육에 미치는 영향

유기 상토와 톱밥발효 돈분 분변토의 혼합비율의 차이가 추청 벼의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 4이다.

표 4. 추청 벼의 생육에 미치는 영향

Mixed ratios (OG + Cast)	PL (cm)	SHW (g)	RW (g)	BY (g)	RL (cm)
100 + 0%	9.2ab	0.10ab	0.08a	0.18ab	7.54ab
95 + 5%	10.2a	0.11a	0.09a	0.20a	8.43a
90 + 10%	9.6ab	0.08ab	0.08a	0.16ab	6.91ab
80 + 20%	9.4ab	0.07ab	0.07a	0.14ab	6.26ab
60 + 40%	7.9b	0.06b	0.06a	0.13b	5.22b
L.S.D	2.96	0.04	0.038	0.06	2.61

<sup>a</sup>PL: plant length(cm), SHW: shoot weight(g), RW: root weight(g), BY: biological yield(g), RL: root length(cm)

초장(PL)은 대조구에서 분변토 20% 혼합비율까지 9.2-10.2cm의 범위를 나타내어 유의한 차이가 없었고, 지상부 건물 중(SHW)도 초장과 같은 경향이었다. 근중(RW)은 모든 처리구에서 유의한 차이가 없었다. 생물학적 수량(RY)은 분변토 5% 혼합비율에서 0.2g으로 40%의 0.13g보다 유의하게 무거웠고, 근장(RL)도 초장, 지상부 건물 중, 생물학적 수량과 같은 경향이었다.

#### 나. 흑미 벼의 생육에 미치는 영향

유기상토와 톱밥발효 돈분 분변토의 혼합비율의 차이가 흑미 벼의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 5이다.

표 5. 흑미 벼의 생육에 미치는 영향

Mixed ratios (OG + Cast)	PL (cm)	SHW (g)	RW (g)	BY (g)	RL (cm)
100 + 0%	10.8ab	0.06a	0.07a	0.13a	8.80a
95 + 5%	12.4a	0.04b	0.07a	0.11ab	6.97ab
90 + 10%	11.1ab	0.05ab	0.07a	0.12ab	7.51ab
80 + 20%	10.2b	0.04b	0.06a	0.10bc	6.45bc
60 + 40%	10.2b	0.04b	0.05a	0.09c	4.93c
L.S.D	4.39	0.45	0.03	0.02	1.84

<sup>a</sup>PL: plant length(cm), SHW: shoot weight(g), RW: root weight(g), BY: biological yield(g), RL: root length(cm)

초장(PL)은 분변토 5% 혼합비율에서 12.4cm로 20%와 40% 혼합비율의 10.2cm와는 유의한 차이가 인정되었다. 지상부 건물중(SHW)은 대조구가 0.06g으로 유의하게 무거웠고, 근중(RW)은 모든 처리구에서 유의한 차이가 없었다. 생물학적 수량(BY)은 대조구, 분변토 5%, 10% 혼합비율 간에는 유의한 차이가 없었고, 근장(RL)도 같은 경향을 나타내었다.

## (2) 바닥 처리구

### 가. 추청 벼의 생육에 미치는 영향

유기상토와 톱밥발효 돈분 분변토의 혼합비율의 차이가 추청 벼의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 5이다.

표 5. 추청 벼의 생육에 미치는 영향

Mixed ratios (OG + Cast)	PL (cm)	SHW (g)	RW (g)	BY (g)	RL (cm)
100 + 0%	12.3ab	0.06ab	0.13a	0.19b	7.85a
95 + 5%	13.9a	0.08a	0.37a	0.45a	6.29ab
90 + 10%	11.8bc	0.06ab	0.08a	0.14bc	6.83ab
80 + 20%	10.2cd	0.05bc	0.05a	0.10bc	6.25ab
60 + 40%	8.7d	0.03c	0.04a	0.07c	5.01b
L.S.D	1.97	0.02	0.41	0.03	2.16

PL: plant length(cm), SHW: shoot weight(g), RW: root weight(g), BY: biological yield(g), RL: root length(cm)

초장(PL)은 대조구와 분변토 5% 혼합비율에서 각각 12.3cm와 13.9cm를 나타내어 다른 분변토 혼합비율보다 유의하게 길었다. 지상부 건물중(SHW)은 대조구, 분변토 5%, 10% 혼합비율이 다른 분립 수준보다 유의하게 무거웠다. 근중(RW)은 모든 처리구에서 유의한 차이가 없었고, 생물학적 수량은 분변토 5% 혼합비율에서 0.45g을 나타내어 유의하게 무거웠다. 근장(RL)은 대조구가 7.85cm로 분변토 40% 혼합비율보다 유의하게 길었다.

나. 흑미 벼의 생육에 미치는 영향

유기상토와 톱밥발효 돈분 분변토의 혼합비율의 차이가 흑미 벼의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 6이다.

표 6. 흑미 벼의 생육에 미치는 영향

Mixed ratios (OG + Cast)	PL (cm)	SHW (g)	RW (g)	BY (g)	RL (cm)
100 + 0%	11.9ab	0.06a	0.09a	0.15a	7.66a
95 + 5%	13.2a	0.06a	0.07ab	0.13ab	7.84a
90 + 10%	10.4bc	0.05bc	0.06bc	0.11b	6.58a
80 + 20%	9.5c	0.04c	0.05bc	0.09bc	6.27a
60 + 40%	7.6d	0.03d	0.04c	0.07c	6.65a
L.S.D	1.6634	0.0149	0.021	0.0187	3.206

PL: plant length(cm), SHW: shoot weight(g), RW: root weight(g), BY: biological yield(g), RL: root length(cm)

초장(PL)은 대조구와 분변토 5% 혼합비율이 각각 11.9cm와 13.2cm를 나타내어 다른 혼합비율보다 유의하게 길었다. 지상부 건물중(SHW)은 대조구와 분변토 5% 혼합비율에서 유의하게 무거웠다. 근중(RW)은 대조구와 분변토 5% 혼합비율 간에 유의한 차이가 없었고, 생물학적 수량(BY)도 근중과 같은 경향을 나타내었다. 근장(RL)은 모든 혼합비율에서 유의한 차이가 없었다.

2) 유기상토와 느타리버섯 폐배지로 생산한 분변토의 혼합비율의 차이가 추청 벼의 생육에 미치는 영향

(1) 바닥 무처리

가. 추청 벼의 생육에 미치는 영향

유기상토와 느타리버섯 폐배지 분변토의 혼합비율의 차이가 추청 벼의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 7이다.

표 7. 유기상토와 느타리버섯 폐배지 분변토의 혼합비율의 차이가 추청 벼의 생육에 미치는 영향

Mixed ratios (OG + Cast)	PL (cm)	SHW (g)	RW (g)	BY (g)	RL (cm)
100 + 0%	16.6c	0.043c	0.038b	0.081b	6.0b
98 + 2%	22.8b	0.075bc	0.043b	0.118b	9.3ab
96 + 4%	27.6ab	0.088ab	0.048ab	0.136b	10.8a
94 + 6%	29.4a	0.128a	0.065a	0.193a	11.3a
L.S.D	5.13	0.04	0.02	0.06	3.98

PL: plant length(cm), SHW: shoot weight(g), RW: root weight(g), BY: biological yield(g), RL: root length(cm)

초장(PL)은 분변토 6% 혼합비율에서 29.4cm를 나타내어 4% 혼합비율과는 유의한 차이가 없었다.

지상부 건물중(SHW), 근중(RW)도 초장과 같은 경향을 나타내었다. 생물학적 수량(BY)는 분변토 6% 혼합비율에서 유의하게 무거웠고, 근장(RL)은 대조구를 제외한 모든 분변토 혼합비율에서 유의한 차이가 없었다.

## (2) 바닥 처리구

### 가. 추청 벼의 생육에 미치는 영향

유기상토와 느타리버섯 폐배지 분변토의 혼합비율의 차이가 추청 벼의 생육에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 8이다.



표 8. 추청 벼의 생육에 미치는 영향

Mixed ratios (OG + Cast)	PL (cm)	SHW (g)	RW (g)	BY (g)	RL (cm)
100 + 0%	24.9a	0.680a	0.55a	1.223a	8.0a
98 + 2%	17.0b	0.033b	0.048a	0.081b	7.4a
96 + 4%	16.3b	0.038b	0.038a	0.076b	6.5a
94 + 6%	14.8b	0.023b	0.038a	0.061b	7.0a
L.S.D	2.82	0.02	0.02	0.03	2.54

PL: plant length(cm), SHW: shoot weight(g), RW: root weight(g), BY: biological yield(g), RL: root length(cm)

초장(PL)은 대조구에서 24.9cm를 나타내어 모든 분변토 혼합비율보다 유의하게 길었고, 지상부 건물중(SHW)도 같은 경향이였다. 근중(PW), 생물학적 수량(BY) 및 근장(RL)은 모든 혼합비율에서 유의한 차이가 없었다.

일반적으로 상토는 종자의 발아와 유식물체의 생육에 필요한 물리적 특성을 고려하여 제조된 것으로, 생육을 위한 충분한 양분을 지속적으로 공급할 수 없다. 또한 유기상토의 경우에는 안전성이 최우선적으로 고려되어야 할 필요가 있으므로 분변토의 안전성을 검토하는 것이 중요하다고 생각된다.

본 실험에서 공시한 톱밥발효 돈분으로 생산한 분변토의 중금속 함량 중 구리함량은 394.4ppm으로(표 1), 그린퇴비의 구리 허용규제치인 150ppm(농림부, 2003) 보다 2배 이상의 함량을 나타내어, 분변토 단독 또는 높은 분변토의 혼합비율을 요구하는 과채류와 같은 작물재배에서는 안전성에 문제가 있다고 판단된다.

그러나 느타리버섯 폐배지로 생산한 분변토은 모든 중금속 함량이 매우 낮아서 유용한 유기상토재로서의 이용 가능성은 매우 높다고 판단된다.

회식(소식) 재배에서 건강한 유묘의 생산을 위한 육묘기간은 약 40일이 필요하므로 시판 유기상토를 사용할 경우, 양분부족에 의한 유식물체의 생육정체 또는 저하가 우려된다. 이와 같은 유기상토의 결점을 보완하기 위한 방안의 하나로 식물체 생육에 필요한 무기양분이 풍부하고, 입단구조로 되어 있는 지렁이 분변토의 혼합이용은 시판 유기상토의 양분증강 효과를 얻을 수 있고(김 등, 2005; 이와 이, 1999; 조 등, 2003), 유식물체의 생육촉진효과(Tomati 등, 1987)와 함께 상토재의 수입 대체효과를 높일 수 있는 유용한 상토재로서 활용 가능성은 매우 높다고 판단된다.

벼의 육묘 시 분변토의 혼합비율을 달리한 상토를 pot에 충전 하는 것이 일반적이지

만, 생육기간이 길 경우에는 pot 밖으로 뿌리의 신장이 활발하여 pot 바닥에 상토를 사용하여 양분을 공급하는 것이 비닐하우스 육묘에서 종종 사용된다. 즉, 톱밥발효 돈분 분변토를 바닥에 사용하지 않은 무처리구에서 추정 벼는 분변토 20% 혼합비율까지 근중을 제외한 모든 성장요소들 간에 유의한 차이가 인정되지 않았고(표 4), 흑미 벼에서는 대조구와 분변토 10% 혼합비율까지는 유의한 차이가 인정되지 않았다(표 5). 또한 분변토 100%를 1cm 두께로 사용한 바닥 처리구에서 추정 벼는 대조구와 분변토 5% 혼합비율에서 생물학적 수량을 제외한 모든 성장요소들 간에 유의한 차이가 인정되지 않았고(표 5), 흑미 벼에서도 같은 결과를 나타내었다(표 6). 즉, 분립 100%를 바닥에 사용하지 않은 무처리구에서 추정 벼는 분변토 20%의 혼합비율, 흑미 벼는 10% 혼합비율까지의 넓은 범위에서 생육이 양호하였던 반면에 바닥 처리구에서는 2 품종 모두 신장된 뿌리에 의하여 바닥에 사용된 분변토로부터 생육에 필요한 양분을 공급받을 수 있어 분변토 5%의 좁은 범위의 혼합비율에서 생육이 양호하였다는 것을 시사한다.

느타리버섯 폐배지로 생산된 분변토의 경우, 바닥 무처리구에서 분변토 4-6%의 혼합비율에서 거의 모든 성장요소들이 다른 혼합비율보다 유의한 차이가 인정되었다(표 7). 분립의 바닥 처리구에서는 대조구에서 초장, 지상부 건물중, 생물학적 수량에서 다른 혼합비율보다 유의한 차이가 인정되어, 생육기간 중 바닥에 사용된 분변토로부터의 충분한 양분공급이 이루어졌다는 것을 의미한다(표 8).

이와 이(1999)는 인분슬러지를 지렁이 먹이로 하여 생산한 분변토를 peat moss와 50:50 비율로 혼합한 상토에서 orchardgrassdml 유식물체의 생육이 양호하였다고 하였고, 조 등(2003)은 음식물쓰레기와 발효우분 50:50 비율로 혼합하여 생산한 분변토를 사용했을 때, 토마토는 분변토 100%에서 수량이 가장 많았다고 하였다. 김 등(2005)은 톱밥발효 돈분을 먹이로 하여 생산한 분변토와 peat moss와 혼합비율을 달리 했을 때, 상추는 분변토 40%, 근대는 40-100%, 열무는 40-60%의 혼합비율에서 생육이 양호하여 작물 종에 따른 적정 혼합비율에 차이가 있다는 것을 보고하였다.

이상의 결과를 종합하면 톱밥발효 돈분으로 생산한 분변토보다 느타리버섯 폐배지로 생산한 분변토가 유기상토재로서 안전성이 높다고 판단된다(표 1). 또한 톱밥발효 돈분으로 생산한 분변토는 바닥 무처리구에서는 분변토 20%, 바닥처리구에서는 분변토 5% 혼합비율이 적정 비율로 추정되었고, 느타리버섯 폐배지로 생산한 분변토는 바닥 무처리에서 분변토 4-6%, 바닥 처리구에서는 대조구(유기상토 100%)가 벼의 생육에 알맞은 적정 혼합비율로 추정되었다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 연도별 연구목표

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2005년)	유기성자원의 특성조사 지렁이의 이용, 미생물 분포조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지렁이 먹이로서 각 종 유기성 자원의 이화학적 특성 조사</li> <li>•지렁이의 성분분석</li> <li>•지렁이 미생물 조사를 위한 DGGE 적정 조건 확립</li> </ul>
	지렁이 사육상에서 가축분 및 농산 부산물 처리 효율 최상화 사육조건 구명	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지렁이 사육 현장 애로사항 조사</li> <li>•지렁이 사육상의 단위 면적당 지렁이 적정 입식 밀도 구명 및 밀도변화 조사</li> <li>•지렁이 사육상 단위 면적당 가축분 및 농산 부산물의 적정 투여량 구명</li> <li>•온도가 지렁이의 생육 및 가축분 및 농산 부산물 처리효율에 미치는 영향 평가</li> </ul>
	지렁이 분변토의 농업적 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>•원재료 가축분 종류에 따른 분변토의 유기물, 주요 무기물, 미생물, 중금속 등 물리 화학성 분석</li> <li>•분변토와 상토제의 혼합을 통한 육묘용 상토의 개발</li> <li>•분변토로 제조된 상토의 채소 육묘 적용성 검증</li> <li>•시설원예작물에 대한 분변토의 직접 시용 효과 검증</li> <li>•분변토와 일반 퇴비 및 혼합과 무퇴비 효과 비교</li> </ul>

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차년도 (2006년)	유기성자원의 단독, 혼합처리시의 이화학 적 특성 조사, 생물적 농 축 평가, 체액과 worm cake의 이용 및 지렁이 미생물 분포조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>•유기성 자원의 단독, 혼합처리시 발효과정에서의 이화학적 특성 조사</li> <li>•먹이, 체내, 분변토 중의 생물적 농축능력 평가</li> <li>•체액의 yellow fraction과 red fraction의 살균, 살충효과 검정</li> <li>•단백질 자원으로서의 worm cake의 평가</li> <li>•지렁이 먹이, 장내 및 분변토 중의 미생물군 조사</li> </ul>
	지렁이 사육시설에서 분변토 및 잉여지렁이 수확 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>•비닐하우스 사육시설에서 분변토 수확기술 개발</li> <li>•다층식 사육시설에서 분변토 수확기술 개발</li> <li>•비닐하우스 사육시설에서 잉여지렁이 수확기술 개발</li> <li>•다층식 사육시설에서 잉여지렁이 수확기술 개발</li> </ul>
	지렁이 분변토의 농업 적이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>•분변토와 기존 원예용 상토의 적정 혼합 결정 및 원예용 상토의 개발</li> <li>•개발된 상토와 원예 육묘 상토의 작물생육 평가</li> <li>•분변토 시용후 토양 개량 효과 및 작물생육 평가</li> <li>•분변토와 상품화된 퇴비의 혼합비 결정</li> </ul>

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
3차년도 (2007년)	지렁이 최적 먹이조건의 도출	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 먹이의 적정 C/N율, 증체속도, 분변토 생산속도, 증식효율</li> <li>• 체조직으로의 유기물 전환율, 전환효율, 유기물의 무기화율 조사</li> <li>• 먹이량과 생체중의 비율에 의한 최적 사육밀도 추정</li> <li>• 지렁이 생육촉진 미생물 탐색</li> </ul>
	다층식 및 비닐하우스형 지렁이 사육 모델의 현장 적용성 검증 (비닐하우스, 다층식 사육장) 지렁이 사육농가 농장 운영 현황 및 현장 애로 설문조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비닐하우스 사육상에서 우분, 돈분, 버섯폐배를 매회 40kg/m<sup>2</sup>씩 공급하면서 지렁이 개체군 밀도, 사육상의 분변토 높이 및 섭식량을 조사</li> <li>• 다층식 사육상에서 매회 40kg/m<sup>2</sup>씩 공급하면서 지렁이 개체군 밀도, 섭식량을 조사</li> <li>• 먹이 원료 및 분변토에 대한 이화학 및 중금속 분석</li> <li>• 현장에서 주로 이용하는 먹이 종류, 운송거리, 1일 처리량 등에 관한 설문 및 분석</li> <li>• 지렁이 농장의 규모, 운영기간, 주수입원, 주요 애로 사항, 향후 규모 확대, 운영 지속 여부 등에 관한 설문 및 분석</li> </ul>
	지렁이 분변토의 농업적 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분변토를 이용한 원예 육묘용 상토와 기존 육묘용 상토의 상업 육묘장에서 실증 비교 시험</li> <li>• 분변토를 이용한 토양개량제와 관행 퇴비 및 퇴비 무시용의 포장 시험</li> </ul>

## 제 2절 연구개발목표의 달성도

### 1. 1차년도 연구개발목표의 달성도

목 표		연구개발 수행내용	달성도 (%)
세부 (연세대)	유기성자원의 특성조사	유기성자원의 이화학적 특성조사	100
	지렁이의 이용	지렁이의 성분분석	95
	미생물의 분포조사	미생물 조사를 위한 DGGE의 적정조건 확립	100
협동1 (대진대)	지렁이 사육상에서 가축분 및 농산부산물 처리효율 최상화와 사육조건 구명	지렁이 사육현장 애로사항 조사	100
		지렁이 사육상의 단위 면적당 적정 입식밀도 구명 및 밀도변화조사	95
		지렁이 사육상 단위 면적당 가축분 및 농산부산물의 적정 투여량 구명	100
		온도가 지렁이의 생육과 가축분 및 농산부산물 처리 효율에 미치는 영향 평가	100
협동2 (원예)	지렁이 분변토의 채소재배의 이용	원재료 가축분 종류에 따른 분변토의 유기물, 주요 무기물, 미생물, 중금속등 이화학적 분석	95
		분변토와 상토제의 혼합을 통한 육묘용 상토의 개발	80
		분변토와 일반퇴비 및 혼합 무퇴비 효과비교	100

2. 2차년도 연구개발목표의 달성도

목 표		연구개발 수행내용	달성도 (%)
세부 (연세대)	유기성자원의 단독, 혼합처리시의 이화학적 특성 조사	유기성 자원의 단독, 혼합처리시 발효과정에서의 이화학적 특성 조사	100
	생물적 농축평가	먹이, 체내, 분변토 중의 구리의 생물적 농축능력 평가	100
	체액과 worm cake의 이용	체액의 yellow fraction과 redfraction의 살균, 살충효과 검정단백질 자원으로서의 worm cake의 평가	100
	미생물의 분포조사	먹이원, 지렁이장, 분변에서의 genomic DNA 추출, PCR 및 DGGE 분석	100
협동1 (대진대)	지렁이 사육상에서 분변토 및 잉여 지렁이 수확 기술 개발	비닐하우스 사육상에서 분변토 수확 기술	100
		다층식 사육상에서 분변토 수확 기술	100
		비닐하우스 사육상에서 지렁이 수확 기술	100
		다층식 사육상에서 지렁이 수확 기술	100
협동2 (원예)	분변토와 기존 원예용 상토의 적정 혼합 결정 및 원예용 상토의 개발	분변토의 적정 혼합 비율 결정	100
		상토내 양분 변화 분석	100
	분변토 시용후 토양 개량 효과 및 작물생육 평가	분변토 시용후 토양 이화학적 변화 분석	100
		분변토 시용후 작물의 생육에 미치는 영향 분석	100

3. 3차년도 연구개발목표의 달성도

목 표		연구개발 수행내용	달성도 (%)
세부 (연세대)	지렁이 최적 먹이조건	먹이의 적정 C/N율, 증체속도, 분변토 생산속도, 증식효율	100
		체조직으로의 유기물 전환율, 전환효율, 유기물의 무기화율 조사	100
		먹이량과 생체중의 비율에 의한 최적 사육 밀도 추정	100
		지렁이 생육촉진 미생물 탐색	100
협동1 (대진대)	농산 부산물에 대한 지렁이 사육 모델의 현장 적용성 검증 (비닐하우스, 다층식 사육장)	비닐하우스 사육상에서 우분, 돈분, 버섯 폐배지를 매회 40kg/m <sup>2</sup> 씩 공급하면서 지렁이 개체군 밀도, 사육상의 분변토 높이 및 섭취량을 조사	95
		다층식 사육상에서 매회 40kg/m <sup>2</sup> 씩 공급하면서 지렁이 개체군 밀도, 섭취량을 조사	100
		먹이 원료 및 분변토에 대한 이화학 및 중금속 분석	100
	지렁이 사육농가 농장 운영 현황 및 현장 애로 설문조사	현장에서 주로 이용하는 먹이 종류, 운송거리, 1일 처리량 등에 관한 설문 및 분석	100
		지렁이 농장의 규모, 운영기간, 주수입원, 주요 애로 사항, 향후 규모 확대, 운영 지속 여부 등에 관한 설문 및 분석	95
	협동2 (원예)	지렁이 분변토의 농업적 이용	분변토를 이용한 원예 육묘용 상토와 기존 육묘용 상토의 상업 육묘장에서 실증 비교 시험
분변토를 이용한 토양개량제와 관행 퇴비 및 퇴비 무시용의 포장 시험			100
분변토 시용후 작물의 생육에 미치는 영향 분석			100



### 제 3 절 기대효과

가축분뇨 및 농산 부산물에 의해 야기될 환경오염 방지를 위한 법적, 제도적 규제는 범세계적으로 강화될 것으로 전망됨. 이 때 지렁이에 의한 유기성 자원의 처리법은 다른 어떤 폐기물처리법보다도 효율적인 재활용방법이 될 것이다.

지렁이 먹이의 공급이라는 측면에서는 거의 무제한적으로 유기성 자원을 공급할 수 있고 지렁이 및 분변토를 대량으로 생산하여 지렁이는 낚시용 미끼, 의약품, 미생물캐리어, 생물농약, 식품용, 화장품의 원료, 가축사료(단백질원)로 쓸 수 있다. 분변토는 가축사료, 토양개량제, 상토, 퇴비 및 유기질비료로서 농가에 유기농법을 유도함과 동시에 무공해 천연농산물 생산이 가능한 지렁이 퇴비화 사업이 확대될 전망이다.

한 지역의 가축분뇨 및 농산 부산물 발생양상 및 이에 따른 환경부작용은 그 지역의 자연환경, 사회, 문화, 경제 상황과 밀접한 관련을 가지고 있다. 따라서 우리나라에서 발생하는 가축분뇨 및 농산부산물의 재활용을 위해서 외국의 시설이나 기술의 무분별한 도입은 타당하지 못하기 때문에 본 연구를 통하여 우리나라의 실정에 맞는 재활용 기술을 도입 할 수 있을 것이다.

해외에서 지렁이 분변토에 대한 연구는 비록 우리보다 앞서 있지만 큰 기술격차가 나지 않으며, 외국에서도 효율적인 지렁이 처리시스템이 개발되어 있지 않아서 앞으로 국내기술을 수출할 수도 있을 것이다.

분변토의 채소 재배에서 토양 개량제와 육묘시 상토 재료로 사용하는 것에 대한 실험을 수행하였다. 실험을 수행하기 전에 분변토의 특성을 분석하였고, 지렁이에 급여되는 원재료에 따라 분변토의 화학적 특성이 달라지고, 중금속 농축에 대한 위험을 제기하였다. 특히 인분이 포함된 하수슬러지와 돼지의 분뇨를 이용해 분변토를 만들 경우 법적으로 정해놓은 상토와 퇴비의 유해성분의 최대량을 초과할 수 있기 때문에 퇴비에 사용가능한 원료 목록에서 인분과 돈분을 사용 분석 검토후 사용 가능한 원료로 바꾸고, 나머지는 퇴비에 사용가능한 원료 목록과 동일하게 하여 분변토의 원료로 사용 가능한 물질 목록을 제안하고자 한다. 이것을 통해 분변토 시용을 통한 농산물 생산의 안전성을 담보할 수 있으며, 유기농 재배에서 분변토 시용 후 야기되는 문제를 줄일 수 있을 것이다.

토양 내 시용 실험에서는 우분을 급여해 만든 분변토를 사용하였고, 토양 내 퇴비 처리와 비교하여 단호박의 수량이 증가하였지만, 품질은 뚜렷하게 향상되지는 않았다. 분변토는 양분적인 측면에서 퇴비보다 속효성이면서 퇴비와 유사하게 경작 토양의 물리성을 개량하는 것으로 알려져 있다. 우분 분변토의 시용 효과와 시용량을 결정하여 농가에서 분변토를 사용할 수 있도록 하였다.

유기 육묘를 하기 위해 분변토는 상토의 양분의 급여 소재로 적당하지만, 채소 육묘 비율에서 배합 비율과 배합 소재에 대해 정해진 것이 없었다. 특히 상업적인 육묘장에서 많이 사용하는 피트모스와 펄라이트를 기반으로 분변토를 비료원으로 채소의

유기육묘용 배지 조성을 결정하였고, 유채박을 이용한 추비 방법을 적용하여 채소의 유기육묘 체계를 정하였다. 이것은 완전하지는 않지만, 채소 유기농업을 하는 농민들이 분변토를 이용한 배지를 이용해 안전하게 육묘할 수 있는 하나의 방법을 제시하였다.

## 제 5장 연구개발결과의 활용계획

### 제 1 절 연구 개발 결과

#### 1. 건의사항

가. 지렁이 생산 현장에 사육기술 기술지도 건의

##### 1) 농장 조성시 초기 입식 밀도

지렁이 구입비용, 노동비용 등을 고려하여 단위 면적당 초기 지렁이 입식량을 너무 높지 않게 하는 것이 유리하며, 초기 입식밀도는 사육상 면적 1㎡당 2kg 이하로 하는 것이 합리적이다.

##### 2) 지렁이 사육상에 매회 먹이 투여량

지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 일정수준으로 높아졌을 때(5kg/m<sup>2</sup>이상)에는 지렁이 사육상에 매회 투여되는 먹이량을 40kg/m<sup>2</sup> 이상으로 하는 것이 가축분 처리, 지렁이 밀도 증식 및 분변토 생산 측면에서 효율적이다.

##### 3) 사육 상에서 분변토 수확 방법

비닐하우스 내 사육상으로 부터 분변토를 수확할 때는 사육상 상층부 20cm 깊이에 있는 분변토와 지렁이를 건어서 사육상으로 부터 분리한 다음, 지렁이가 서식하지 않는 20~50cm 깊이에 있는 분변토를 사육상으로 부터 분리, 수확하는 것이 지렁이의 유실이 없는 합리적인 방법이다.

##### 4) 지렁이 먹이

우분, 돈분, 버섯 폐배지와 같은 농산부산물은 비닐하우스와 다층식 지렁이 사육 현장에서 지렁이 개체군을 최고의 밀도로 유지할 수 있고 위생적 안전성도 높은 양호한 먹이므로 지렁이 사육 농장에서 적극적인 활용을 유도하도록 건의한다.

나. 지렁이 생산 농가를 위한 경영 지원 및 정책건의

1) 지렁이 농장들에 대한 수익원에 대한 설문 결과 2,000평 이하의 소규모 농장에서 지렁이 판매 이외의 수익을 얻기가 어려웠으나, 3,000평 이상의 대규모 농장에서

는 지렁이 판매뿐만 아니라 폐기물 처리 수수료를 수익으로 얻고 있었으므로, 지렁이 농가 소득 증대를 위해서는 농장 확대에 필요한 정책 자금을 정부가 적극 지원하기를 건의함.

2) 농산부산물로부터 생산된 분변토는 환경적, 위생적으로 매우 안전하므로, 친환경 농자재의 하나로서 공식적인 지위를 획득할 수 있도록 정책적 배려를 건의함.

## 2. 추가 연구의 필요성

### 가. 지렁이 먹이로서 기타 농산 부산물 활용도 제고를 기술 개발

본 연구에서 실험 대상으로 이용한 우분, 돈분, 버섯 폐배지 이외에 청과물, 야채 쓰레기, 식, 음료품 제조 공장 폐기물 등은 현재 주로 전통적인 퇴비화 과정을 거쳐 재활용되거나 소각, 매립, 해양투기 등의 방법으로 처리된다. 그러나 대개의 농산 부산물은 중금속이나 유해화합물 함유량이 낮아 생태학적 물질순환 및 먹이사슬 측면에서는 위생적으로 매우 안전하므로 농산 부산물로부터 생산된 지렁이와 분변토 역시 위생적으로 안전하다. 따라서 여러 가지 농산 부산물을 양질의 지렁이 사료로 활용하기 위한 기술 개발 연구가 추가로 요망된다.

### 나. 지렁이 생체의 부가가치 제고를 위한 제품 개발 연구

지렁이 생체는 낚시 미끼, 의약품 원료, 화장품 원료, 가축 사료 첨가제 등으로 이용될 수 있다. 현재는 주로 낚시 미끼로의 활용이 대부분이고, 그 밖의 활용도는 미미한 형편이다. 그러나 향후 유해 화합물이 함유되지 않은 양질의 먹이를 이용한 양질의 지렁이가 대량 생산될 것으로 예상되는 바, 생산된 지렁이의 부가가치를 향상시키는 연구 개발이 필요하다. 특히 지렁이 생체 단백질은 항생물질로 작용하는 펩타이드 성분이 많으므로 항생물질 대체 기능을 가진 가축사료 첨가제로의 개발이 기대된다.

## 3. 연구 결과를 이용한 기업화 추진 방안

지렁이 농장의 규모가 커지면 소규모 농장일 경우와는 달리 유기성 폐기물 처리 수수료에 의한 농장 운영 수익이 획기적으로 증대된다. 그러나 대규모 농장을 조성하기 위한 토지비용, 시설비용은 정부의 정책적 지원이 없는 한 영세한 농가에서 시

행하기는 쉽지 않다. 이 경우 자본력이 있는 기업이 대규모 농장을 기획, 운영하여 환경친화적으로 유기성 폐기물을 처리하고 친환경 농자재를 생산하는 것도 의미가 있다. 따라서 본 연구 수행 과정에서 얻어진 지렁이 사육 체계에 관한 정보는 본 연구사업에 기업으로 참여한 '흙살림 연구소'나 '고려바이오(주)'에 이전하여 기업 차원에서 활용하도록 한다.

## 제 2 절 연구 개발 결과의 활용 방안

지렁이 퇴비화로 다량의 가축 분을 처리할 경우, 먹이 중의 총 탄소 함량과 휘발성 고형분 함량이 높은 먹이 조건이 필요하며, 다량으로 손쉽게 구할 수 있는 왕겨와의 혼합이 가장 이상적이다. 가축분과 왕겨와의 적정 혼합비율은 용적중으로 1:2 혹은 1:3의 비율에서, 지렁이 생체중과 먹이 량 비율을 1:8~1:32의 범위로 할 때, 효율적인 vermicomposting이 가능하므로, 유기성 자원 처리업자(지렁이 산업협회)에 의한 활용이 기대된다.

지렁이 체액 중 yellow fraction은 희석배율을 높일 경우, 벼 도열병에 대한 완전방제도 가능하다고 판단되며, 농가에서 쉽게 조제하여 활용할 수 있다. 또한 기타 식물 병에 대한 살균효과가 입증될 경우, 생물농약으로서 개발 가능성이 높아서, 연구소 또는 기업체가 참여하는 연구가 필요하다.

돈분을 지렁이 먹이로 하여 체조직으로의 구리 축적량은 증가되지만, 분변토 중의 구리함량은 먹이의 1/5 이하로 감소시켜 분변토의 안전성을 높일 수 있다. 또한 구리의 축적량이 높은 지렁이는 건조시켜서, 사료의 구리와 단백질 공급원으로 재활용이 가능하다.

지렁이 분변토는 식물체 생육에 필요한 무기양분을 충분히 공급할 수 있어, 토양개량제 또는 상토로서의 제품화를 통한 친환경농자재로서 활용한다.

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보  
(해당사항 없음)

## 제 7장 참고문헌

1. 고재경. 1993. 지렁이를 이용한 환경문제의 농업적 해결. 도서출판 서원.
2. 고재경, 권영택, 이창호. 1995. 붉은 지렁이(*Lumbricus rubellus* L.)와 줄 지렁이(*Helodrilus foetidus*)를 이용한 유기성 슬러지 처리 효율성 비교. 한국유기성자원학회 봄철 학술대회 p. 102-109.
3. 국립환경연구원. 1997. 음식물 및 유기성 폐기물의 퇴비화 처리기술 p.213.
4. 국립환경연구원. 1999. 지렁이를 이용한 폐기물처리와 환경보전 심포지엄 p.178
5. 김이열. 2003. 원예용 상토-이론과 실제. 활문당. p95.
6. 김인수, 김성진, 이주삼, 이지영, 이주삼. 2005. The effect of vermicast on the growth of vegetable plants -estimation of optimum mixture ratios of vermicast. 한국유기농학회. 13:413-422.
7. 나영은 등. 2000. 지렁이를 이용한 젖소분뇨 처리에 관한 연구. 한국토양동물학회지. 5(2) : 125-131
8. 나영은 등. 2003. 지렁이를 이용한 생음식물 쓰레기 처리 가능성. 한국토양동물학회지. 8(1-2) : 13-16.
9. 농업과학기술원. 2002. 상토의 표준 분석법. 농촌진흥청. p83-145.
10. 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법. 농촌진흥청. p103-120.
11. 농촌진흥청. 2002. 가축분뇨 액비사용기술. 상록사. p.231.
12. 농촌진흥청. 2002. 비료공정규격 개정. 농촌진흥청 고시 제 2002-29호
13. 농촌진흥청. 2006. 작물별 시비 처방 기준. p77.
14. 맹원재, 최일, 김대진, 김정일, 고영두, 장문백, 남기홍, 이은, 정순형. 1998. 사료자원학. 향문사, pp. 130.
15. 박광일, 배윤환. 2003. 하수슬러지의 전처리 방법에 따른 줄지렁이(*Eisenia fetida*)의 섭식효율 및 성장.
16. 박광일, 배윤환. 2004. 하수슬러지가 줄지렁이의 산란 및 부화에 미치는 영향. 유기성자원학회지 12(4) (인쇄중)
17. 박보라. 이주삼. 1997. Vermicomposting에 의한 Cadmium의 생물적 농축. 한국유기성폐자원학회지 5(2):39-45.
18. 박현준. 2001. 파라셀의 식물 생육 향상 효과 규명. 경동세라텍기술연구소. p28.
19. 배윤환, 나영은. 1999. 수작업, 기피제처리, 수작업과 기피제 혼합처리에 의한 지렁이 채집효율 비교. 한국토양동물학회지. 4(2): 81-85
20. 배윤환, 2000 . 십자화과 채소류 쓰레기의 지렁이 처리를 위한 먹이 급이에 관한 연구. 대전대 환경연구소논문집. 제 3집: 63-73
21. 배윤환, 박광일. 2001. 돈분슬러지의 지렁이 처리를 위한 먹이 급이 조건 탐색. 대전대 환경연구소 논문집. 제 4집. pp.99-111.

22. 배운환, 강석창. 2002. 줄지렁이 급이를 위한 음식물 쓰레기의 전처리 방법에 관한 연구. 대전대 기초과학연구 논문집. 2집, pp73-90.
23. 배운환, 심미진, 나영은. 2002. 전처리된 음식물 쓰레기와 인분케익의 혼합물 급이시 온도에 따른 줄지렁이 개체군의 생체량 및 먹이 섭취효율. 한국토양동물학회지 7(1):
24. 배운환. 2002. 사육상내 줄지렁이 개체군의 생체 및 난포의 수직분포. 대전대 환경연구소 논문집 4집 pp77-88
25. 배운환, 이병도. 2004. 양계에 음식물 쓰레기 급이후 발생된 계분이 줄지렁이 (*Eisenia fetida*) 개체군의 성장과 생식에 미치는 영향. 유기성 자원학회지 12(3) : 112-118.
26. 배운환, 이병도. 2004. 부숙된 음식물 쓰레기의 이화학성상 변화 및 줄지렁이 (*Eisenia fetida*)의 섭식반응. 유기성자원학회지 12(4) (인쇄중)
27. 상토연구회. 2006. 상토연구. p50-62.
28. 시설토양환경. 2007. 시설재배지 유기자원 활용실태 및 개선방안. p14-15.
29. 엄대익. 유기성 폐기물로 급이한 지렁이분이 상토의 이화학성에 미치는 영향. 전북대학교 박사 학위논문. p.51. 1991.
30. 원예연구소. 1995. 채소육묘기술(표준영농교본). 농촌진흥청. p89-98.
31. 이병도, 배운환. 2004. 가금류와 지렁이를 이용한 음식물 쓰레기 재활용 방법에 관한 연구, 유기성 자원학회지 12(2) : 91-100.
32. 이주삼, 정재춘, 조익환. 1992. 체지sludge와 우분의 혼합비율이 붉은 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향. 한국폐기물학회지 9(2):19-26.
33. 이주삼, 김성진, 조고영. 1993. Vermicomposting에 의한 우분의 처리 - 사육밀도가 지렁이의 생육과 증식에 미치는 영향. 한국유기성폐자원학회지 1(2): 259-266.
34. 이주삼. 1995. Vermicomposting에 의한 우분의 처리- 먹이의 탄질율과 사육밀도가 지렁이의 생육과 분립의 생산에 미치는 영향, 축산시설환경 1(1):65-75
35. 이주삼, 이필원. 2002. 지렁이의 생육과 분립생산을 위한 적정인과 칼슘수준의 추정. 한국유기성폐자원학회지 10(3): 96-102.
36. 이주삼, 김만중, 김남천. 2005. Vermicomposting에 의한 음식물쓰레기의 처리. 한국유기자원학회지 13(3):51-62.
37. 이주삼, 김만중. 2006. Vermicomposting에 의한 돈분의 처리- 음식물 쓰레기와 혼합처리. 축산시설환경 12(2): 75-84.
38. 이태근. 1998. 음식물 찌꺼기를 이용한 발효사료 및 퇴비화에 관한 연구. 대구대학교 공학석사 학위 논문. p.71
39. 이홍재 등. 1998. 하수슬러지의 퇴비화 과정중 이화학성 및 미생물상 변동. 한국환경농학회지 17(1) : 16-21



40. 임선옥. 2006. 비료학. 일신사. p452-457.
41. 전하준, 황보순, 조익환. 2006. 우분에 왕겨 혼합수준이 지렁이의 생육과 분립 생산에 미치는 영향, 한국유기농업학회지14(4):421-431.
42. 조익환, 이주삼, 전하준. 1996. Vermicomposting에 의한 유기성 폐기물의 처리. 한국축산학회지. 5:125-135.
43. 최성식. 토양동물학. p.488. 원광대학교 출판국. 1996.
44. 최직상·이현익. 2000. 지렁이. 내외출판사.
45. 최훈근. 1992. 유기성슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화의 슬러지 급이와 사육조건에 관한 연구, 서울시립대학교 박사학위 논문. p.106
46. 축산기술연구소, 도드람 축산협동 조합. 2003. 효율적인 양돈분뇨 처리 방안. 2003년 축산 환경 워크숍
47. 한국시설원예연구회. 2000. 채소접목묘 생산의 문제점과 개선방안. p6-7.
48. 한국유기성 폐자원학회. 1995. 농축산 폐기물의 퇴비화. 동화기술. p.252.
49. 황보순, 조익환, 2005. 우분에 톱밥 혼합 수준이 지렁이의 생육과 분립 생산에 미치는 영향, 한국유기농업학회지 13(4): 423-433
50. 渡邊弘之. 森 忠洋. 平田俊道. 1979. ミミズのと 有効利用とその技術。サイエティスト社.
51. Appelhof, m. 1981. Workshop on the Role of Earthworms in the Stabilization of Organic Residues. Volume 1, Proceedings. Beech Leaf Press, Kalamazoo, Michigan, 315 pp.
52. Bengtsson, G., Gunnarsson, T. and Rundgrens. 1986. Effect of metal pollution on the earthworm *Dendrobaena rubida*(Sav.) in acidified soil. Water, Air, Soil Pollutions 28:361-383.
53. Bernal, M. P., Riog, A., Lax, A. and Navarro, A. F. 1992. Effects of the application of pig slurry on some physico-chemical and physical properties of calcareous soil . Biores. Tech. 42:233-239.
54. Berryman, C. 1971. Composition of organic manures and waste products used in agriculture. Ministry of Agriculture Fisheries and Food/National Agricultural Advisory, service Advisory Paper, No. 2. MAFF Publications Alnwick.
55. Billington, R. S. and Price, J. S. 1984. An economic assessment of the worm culture stage for farm scale vermiculture in the United Kingdom. National Institute of Agricultural Engineering, silsoe, Beds., 51 pp.
56. Choi, H. G., J. A. Lee, K. Y. Kim, K. C. Lee, K. H. Park, C. G. Phae. 2001. Comparison of compost product quality with nature soil standard. J. of KOWREC. 9:78-80.

57. Cotton, D. C. F. 1980. The effect of cattle and pig slurry fertilizers on earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) in grassland managed for silage production. *Pedobiologia* 20 : 181–188
58. Cromwell, G. L., Stahly, T. S. and Monegue, H. J. 1989. Effect of source and level of copper on performance and liver copper stress in wealin pigs. *J. of Animal Sci.*, 67:2996–3002
59. Curry, J. P. 1976. Some effect of animal manures and earthworm in grassland. *Pedobiologia* 16:425–438.
60. Devliegher, W. and Vertraete, E. 1997. The effect of *Lumbricus terrestris* on soil in relation to plant growth: effect of nutrient-enrichment processes (NEP) and gut-associated processes (GAP). *Soil Bio. Biochem.* 29(3/4):341–346.
61. Dominguez, J. & C.A. Edwards. 1997. Effect of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biol. Biochem.* 29(3) :743–746
62. Edwards, C. A. Burrows, I., Fletche, K. E. and Jones, B. A. 1985. The use of earthworms for composting farm wastes. In *Composting of Agricultural and other wastes*(ed.) by J. K. R. Grassier. Elsevier. Amsterdam, pp. 229–242.
63. Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable, and industrial organic wastes by earthworms. *Agric. Ecosyst. Environ.* 25: 299–307
63. Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworm. In *Earthworm in waste and environmental management*. SPB Academic Publishing. The Hague, The Netherlands, pp. 21–31.
64. Edwards, C. A. and Niederer, A. 1988. The production and processing of earthworm protein. *Earthworm in waste and environment management*, (ed.) by C. A.
65. Edwards, C. A. and Bohlen, P. J. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms* (3rd Ed.). Chapman and Hill, London and New York, 426 pp.
66. Edwards and E. F. Neuhauser, pp/ 169–179. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands
67. EPA. 1980. *Compendium on solid waste management by vermicomposting*. Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati OH 45268, EPA –600/8–80–033
68. Evans A. C., and W. J. Mcl. Guild. 1948. Study on the relationship between earth worms and soil fertility, *Ann. App. Bio.* 35:485–493.

69. Fleming, G. A. and Mordenti, A. 1991. The production of animal wastes. European Conference on Environment and Agriculture, Stock Farming in Europe, Mantua, Italy
70. Fletcher, K. E. 1991. The Utilization of Organic Wastes by Earthworms. *Agricultural Zoology Reviews*, 4: 241–253.
71. Hand, P., W. A. Hayes, J.C. Frankland & J> E. Satchell. 1988. Vermicomposting of cow slurry. *Pedobiologia* 31: 199–209.
72. Handreck, K. A. 1986. Vermicomposts as components of potting media. *Biocycle* 58–62
73. Hartenstein, R., Edwards, F., Neuhauser, D. L. and Kaplan, L. 1979. Reproductive potential of the earthworm *Eisenia foetida*. *Oecologia* 43:329–340.
74. Hartenstein, R. and Amico, L. 1983. Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Bio. Biochem.* 15:51–54.
75. Jung, Y.R., Song I.G., Kim J.Y., Lee S.G., and Kim Y.J. 2005. Microbial diversity in the soil damaged by a forest fire. *J of Korra* 13: 85–90
76. Kale, R. D., K. Bano & R. V. Krishnamoorthy. 1982. Potential of *Perionyx excavatus* for utilizing organic wastes. *Pedobiologia* 23: 419–425
77. Kanshal, B. R. and Bisht, S. P. S. 1992. Growth and cocoon production of *Drawidia nepalensis* (Oligochaeta). *Biology and Fertility of Soils*, 14: 205–212.
78. Kernegay, E. T. Hedges, J. D., Marteus, D. C. and Kramer, C. Y. 1976. Effect on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. *Plant and Soil.* 45:151–162.
79. Kerr, L. A. and McGravin, H. D. 1991. Chronic copper poisoning in sheep grazing pastures fertilized with swine manure. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 198:99–101.
80. Kim, H.J., Shin K.H., Cha C.J., and Hur H.G. 2004. Analysis of aerobic and culturable bacterial community structures in earthworm (*Eisenia fetida*) intestine. *Agric. Chem. Biotechnol.* 47: 137–142.
81. Lane, D.J. 16S/23S rRNA sequencing. *Nucleic acid techniques in bacterial systematics.* 115–175.
82. Lee, H. H. et al. 2006. Optimum physical condition of peatmoss-based substrate for growth of chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp.) plug seedlings. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24(3):322–329.
83. Malecki, M. R., Neuhauser, E, F, and Lohr, R. C. 1982. The effect of metals on the growth and reproduction of *Eisenia foetida*(Oligochaeta, Lumbricidae).

- Pedobiologia 24:129–137.
84. Menzi, H. and Kessler, J. 1998. Heavy metal content of manures in Switzerland. In Proceedings of the Eighth International Conference of the FAO Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Recycling Agriculture.
  85. Morgan, J. E. and Morgan, A. J. 1989. Earthworm as biological monitors of the Cadmium, Copper, Lead and Zinc in metalliferous soils. *Environ. Poll.* 54:123–138.
  86. Muyzer G, EC de Waal and A Uitterlinden. 1993. Profiling of complex microbial populations using denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction–amplified gene coding for 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 695–700.
  87. Neuhauser, E. F., Kaplan D.L., Malecki, M. B. and Harteinstein, R. 1984. Material supporting weight gain by the earthworm *Eisenia foetida* in waste conversion system. *Agricultural Wastes* 2(1):43–60
  88. Neuhauser, E. F. Loehr, R. C. and Malecki, M. R. 1988. "The potential of earthworm for managing sewage sludge" In *Earthworm and Waste Management*. (eds.) by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser., SPB Academic Publishing. The Netherlands. pp.9–20
  89. Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams T. R. and Unwin, R. J. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Biores. Tech.* 70:23–31.
  90. NRC. 2005. Feeding Standard
  91. Ohno, T at al. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology & Biochemistry.* 35:295–302.
  92. Price, J. S. 1986a. The development of a continuous vermicomposting system. Part 1, Design of the reactor. AFRC Insitute of Engineering Research, Silsoe Beds, 41 pp.
  93. Reinecke, A. J. and Hallat, L. 1989. Growth and cocoon production of *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Biology and Fertility of Soils*, 8: 303–306.
  94. Reinecke, A. J. and Kriel, J. R. 1981. Influence of temperature on the reproduction of the earthworm *Eisenia fetida*(Oligochaeta). *S. Afr. J. Zool.* 16 : 96–100.

95. Rivero–Hernandez, R. 1991. Influence of pH on the production of *Eisenia foetida*. *Avanc. Aliment. Anim.* 31(5) :215–217
96. Sabine, J. R. 1978. The nutritive value of earthworm meal. In *Utilisation of Soil Organisms in Sludge Management*. pp. 122–130. Ed. by R. Hartenstein. National Technical Information Services. Springfield VA. No. PB 286932.
97. Satchell, J. E. 1983. *Earthworm ecology from Darwin to Vermiculture*. p.495. Chapman & Hall.
98. Shin, K.H., Yi H., Chun J.S., Cha C.J., Kim I.S. and Hur H.G. 2004. Analysis of anaerobic bacterial community in the earthworm (*Eisenia fetida*) intestine. *Agric. Chem. Biotechnol.* 47: 147–152.
99. Sinsabaugh, R. L., L. Moorehead and A. E. Linkins 1994. The enzymic basis of plant litter decomposition: emergence of an ecological process. *Applied Soil Ecology*, 1: 97–111.
100. Staffordm E. A. and Tacon, A. G. J. 1988. The use of earthworms as a food for rainbow trout *salmo Gaidneri*. *Earthworm in waste and environmental management*. (ed.) by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser, pp. 193–208. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
101. Streit, B. 1984. Effect of high Cu concentrations on soil invertebrates(earthworm and oribatid mites). *Experimental results and a model*. *Oecologia* 64:382–388.
102. Sugimura, K., Hori, E., Kurihara, Y. and Itoh, S. 1984. Nutritional value of earthworm and grasshoppers as poultry feed. *Jpn. Pult. Sci.* 21:1–7.
103. Temmerman, R., I. Scheirlinck, G. Huys, J. Swings. 2003. Culture-independent analysis of probiotic products by denaturing gradient gel electrophoresis. *Appl. Environ. Microbiol.* 69: 220–226.
104. Theunissen, J., T.J. Britz, S. Torriani, R.C. Witthuhn. 2005. Identification of probiotic microorganisms in south african products using PCR-based DGGE analysis. *International J. Food Microbiol.* 98: 11–21.
105. Toyota, K., and M. Kimura. 2000. Microbial community indigenous to the earthworm *Eisenia foetida*. *Biol. Fertil. Soils* 31: 187–190.
106. Van Rhee, J. A. 1975. Copper contamination effects on earthworms by disposal of pig waste in pastures. In *Progress in Soil Ecology*(ed.) by J. Vanek. Proc. 5th Intl. Cooeloq. Soil Zool., Pragues. pp. 451–457.
107. Walter, J., G.W. Tannock, A. Tilsala–Timisjarvi, S. Rodtong, D.M. Loach, K. Munro, T. Alassatova. 2000. Detection and identification of gastrointestinal *Lactobacillus* species by using denaturing gradient gel

- electrophoresis and species specific primers. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 297–303.
108. Webber, M. D. and Webber, L. R. 1983. Micronutrients and heavy metals in livestock and poultry manure. In *Farm Animal Manures in the Canadian Environment* Publication No. NRCC 18976 of the Environmental Secretariat, Ottawa, Canada. pp. 59.
109. Wong, S. H. and Griffiths, D. A. 1991. Vermicomposting in the management of pig wastes in Hong Kong. *World J. of Micro Biotech.* 7(6):593–595.
110. Yoon O. S., B. J. Lee, and B. S. Yoon. 2001. The Effects of sludge vermicompost on growth and yields of crop (Chinese cabbage) and soil fertility. *J. of KOWREC.* 18:427–433.