



ORIGINAL PAPER

원저

지렁이 퇴비화에 의한 조류 부산물 재활용 가능성에 대한 기초 연구

이창호[†], 양용운*

한국지렁이산업협회의, 계명문화대학 소방환경안전과*

(2010년 12월 13일 접수, 2010년 12월 24일 수정, 2010년 12월 27일 채택)

Basic research for the reuse of algae by-products using vermicomposting

Chang-Ho Lee[†], Yong-Woon Yang*

Korea Earthworm Industry Conference, Fire & Environmental Safety, Geimyung College*

ABSTRACT

After feeding mixed samples, VS ranged from 60 to 80% of total costs in 15 days. EC ranged from 1.21 to 2.45, 1.25 to 2.1 and 1.2 to 1.88mS/cm when worms were fed with a mixture of by-products of tidal current and sewage sludge, a mixture of by-products of algae producty, and food wastes and a mixture of by-products of algae producty, sewage sludge and food wastes. That means the kinds of mixture don't have any negative impacts on worms survival. With the feed with a mixture of by-products of algae producty and food wastes and a mixture of by-products of algae producty, sewage sludge and food wastes, pH shows stable 5.4 to 6.7, and 6.2 to 7.4 where is suitable for worms. But a mixture of by-products of algae producty and sewage sludge is out of proper scope for raising worms, in other words, extra care will be necessary. In case of Eh, a mixture of by-products of algae producty and sewage sludge make eh negative (-) in early stage so also when feeding worms, also extra care will be needed. NaCl ranged from 0.32 to 0.82% or form 0.23 to 0.61% when a mixture of by-products of algae producty and food wastes and a mixture of by-products of algae producty, sewage sludge and food wastes were fed. So taking care of salts will be essential whenever feeding.

Keywords : Algae producty, Seawagesludge, Foodwaste, VS

[†]Corresponding author : hangmu3315@hanmail.net

초 록

최근 조류를 이용한 다양한 활용기술이 연구 되면서 활용 후 회수되는 조류 부산물의 자원화를 위하여 환경법 강화로 처리에 곤란을 겪고 있는 하수슬러지와 음식물쓰레기를 혼합 연계처리를 목적으로 시료를 각각 조류 부산물+하수슬러지, 조류부산물+음식물쓰레기 및 조류 부산물+하수슬러지+음식물쓰레기로 각각 구분 혼합하여 급이한 후 pH, VS, EC, Eh, NaCl의 항목을 지렁이 생존 가능 지표로 설정하여 유기성 물질의 지렁이 처리 가능성을 위한 기초실험을 15일간 수행하였다.

혼합시료 급이 후 VS는 15일간 전체의 값이 60~80% 범위로 나타났으며 EC는 부산물+하수슬러지와 조류부산물+음식물쓰레기 및 조류 부산물+하수슬러지+음식물쓰레기의 혼합먹이 급이시 각각 1.21~2.45, 1.25~2.1 및 1.2~1.88mS/cm로 나타나 시료의 혼합 종류에 상관없이 지렁이 생존이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 pH는 조류부산물+음식물쓰레기 및 조류 부산물+하수슬러지+음식물쓰레기의 혼합먹이 급이시 15일간 각각 5.4~6.7 및 6.2~7.4 범위로 지렁이 생존에 안정한 값을 나타내었으나 조류 부산물+하수슬러지 혼합시료는 지렁이 생육에 적정 범위를 벗어나 주의가 필요한 것으로 나타났다. 또한 Eh는 조류 부산물+하수슬러지의 혼합시료 급이 초기시 (-) 값을 나타내어 먹이 공급시 주의를 필요하였으며, NaCl은 조류부산물+음식물쓰레기 및 조류 부산물+하수슬러지+음식물쓰레기의 혼합시료 급이시 0.32~0.82% 및 0.23~0.61%로 나타나 지렁이 먹이로 급이시 염류에 대한 주의가 필요한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 조류 부산물, 하수슬러지, 음식물쓰레기, 유기물질

1. 서론

최근 조류배양 기술 및 조류를 이용한 CO₂ 고정화 및 메탄 및 수소가스로 전환 시키는 에너지화 등에 대한 기술이 현장 적용화 및 실용화 등 다양한 연구가 활발하게 이루어지고 있다¹⁾. 그러나 CO₂ 고정화 및 에너지화 후 회수 조류 부산물의 다양한 활용 방안 등의 부분은 미흡한 것으로 나타났다. 특히 처리 공정 후 회수되는 조류 부산물은 다양한 기능성 물질이 포함되어 있어 사료화, 퇴비화 등 다양한 부분에서 자원화가 가능한 물질로 알려져 있다²⁾.

한편 국내 발생하는 폐기물중 하수슬러지와 음식물폐기물은 자원화가 가능한 유기성물질이나 “러던의정서” 및 “폐기물관리법 시행규칙” 등 국·내외 환경법 강화에 따른 하수슬러지와 음식물쓰레기의 해양 투기 금지 및 직매립 금지 등으로 발생 폐기물에 대한 처리에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 하수슬러지는 직매립 금지 및

2011년부터 제2 기준 해양배출이 금지된 상황에 발생된 하수슬러지 7,718톤/일 가운데 대부분 해양 투기(61%)처분되고 일부 매립(4%) 및 소각(16%)되고, 재활용은 16%로 나타나고 있다. 음식물쓰레기는 711,393톤/일(08기준) 발생되어 사료화(28%) 및 퇴비(23%) 등으로 재활용 되고 일부 해양투기(24%)로 처분되고 있어 음식물쓰레기 처리·처분에 발생하는 용출액의 해양 투기 금지가 예상되는 2015년부터 많은 어려움이 예상된다. 이에 최근 유기성폐기물의 자원화 기술에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있으며, 이러한 연구 가운데 토양생물인 지렁이를 이용하여 유기성폐기물을 처리하고 처리 후 발생하는 분변토는 토양개량제로 자원화 하는 기술³⁾이 시도되고 있는 시점에 조류기술 활용 후 회수되는 조류 부산물을 하수슬러지 및 음식물쓰레기와 혼합하여 토양생물인 지렁이 먹이로 활용, 부산물의 안전적 처리 및 자원화를 목표로 조류 부산물과 하수슬러지 및 음식물쓰레기 처리의 연계처

리 가능성 기초 연구를 시행하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

조류 부산물은 담수 조류(*Chlorella schroteri*) 배양을 통한 CO₂ 고정화 후 발생하는 회수 부산물로 조류 부산물 시료를 탈수 → 여과 → 건조 → 혼합 또는 분쇄 → 액상, 분말 순으로 제조하였다. 하수슬러지는 Y시 하수종말 처리장에서 활성슬러지법으로 하수 처리 후 발생하는 시료를 채취하였으며, 음식물쓰레기는 P소재 음식물 자원화 업체에서 파쇄, 선별, 교반 → 미세파쇄, 선별 → 탈수 등의 처리 과정 후 시료를 채취하여 사용하였다.[Fig. 1]

2.2 실험 및 분석방법

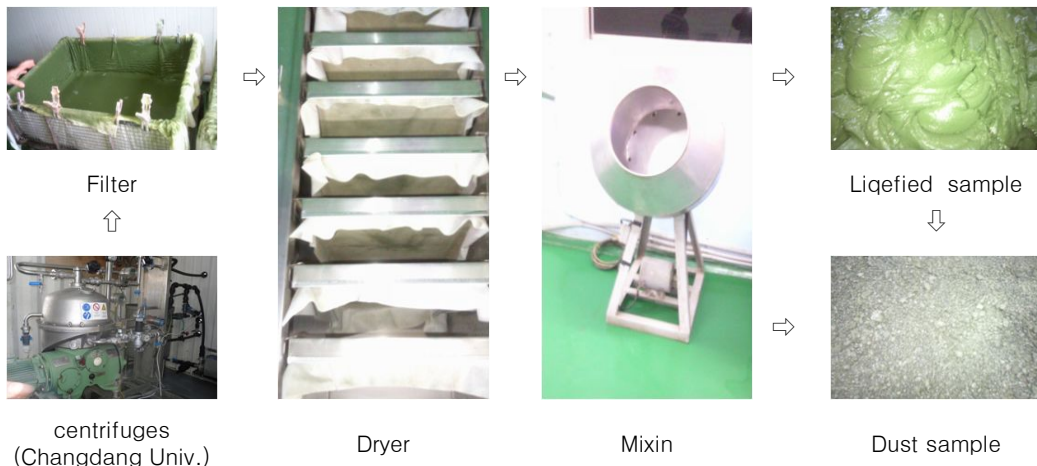
본 실험은 지렁이를 이용하여 조류 부산물을 하수슬러지와 음식물쓰레기의 연계처리를 위하여 각각 시료의 이화학적 특성 분석을 통하여 조류 부산물+하수슬러지, 조류부산물+음식물쓰레기 및 조류 부산물+하수슬러지+음식물쓰레기를 무게비로 각각 1:1, 1:1 및 1:1:1, 로 혼합하여 [Fig. 2]와 같은 스티로폴 재질의 지렁이 사육상에 투입하여 처리 가능성 조사를 목적으로 15일

간 pH, VS, EC, Eh 등의 지렁이 생육환경을 조사하였다. 이때 지렁이 사육상에는 하단에 분변토 20cm의 안정층을 깔아준 후 5~10cm 크기의 붉은줄지렁이(*Lumbricus rubellus*) 500g을 투입한 후 온도와 수분은 각각 20±5℃ 및 70±5%를 유지하였다.



[Fig. 2] Schematic diagram of experimental unit.

실험에 사용한 시료의 이화학적 특성분석을 통한 지렁이 처리 가능성 조사를 위하여 유기물함량은 토양화학분석법⁴⁾에 준하여 600℃에서 강열감량하였으며 pH와 EC는 시료와 증류수의 비를 1:5로 진탕한 후 여액을 측정하였다. 시료 분석 방법은 [Table 1]과 같다.



[Fig. 1] Manufacturing process of algae product.

3. 결과 및 고찰

3.1 시료의 이화학적 특성

지렁이를 이용하여 유기성 물질을 처리할 때 지렁이 먹이의 이화학적 성상은 지렁이 생육에 중요한 부분으로 알려져 있는데 일반적으로 지렁이 생육에 적합한 환경은 pH는 중성인 5~8, 수분함량은 70%, VS는 40~60% 그리고 염분농도는 0.5% 이상에서는 사멸하는 것으로 알려져 있다⁵⁾. 특히 pH, VS, 산화환원전위, 전기전도도, 알카리도 및 중금속 농도는 지렁이 먹이 급이시 중요한 지표로 활용되고 있다⁶⁾. 본 연구에 사용한 시료의 특성을 살펴본 결과 [Table 2]에 나타난 바와 같이 혼합시료 각각 단독 급이시 조류 부산물은 pH지표와 음식물쓰레기는 염분 등의 지표 항목이 지렁이 생육에 영향을 미칠 것으로 나타났다.

3.2 혼합시료 지렁이 급이시 pH 특성변화

지렁이는 pH 7.0 근처의 환경을 선호하는 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 지렁이 처리시 초기에는 유기산 발생에 따른 산성화가 이루어지며, 진행 중간 지렁이의 호흡 및 급이 먹이의 암모니아 발생으로 인하여 약알카리성으로 전환 과

정을 통하여 처리의 마지막 단계에서는 암모니아에 기인하여 일반적으로 pH가 낮아지는 경향이 있다⁷⁾. 본 실험에서 혼합시료를 지렁이 먹이로 급이 후 15일간 pH의 변화를 살펴본 결과 [Fig. 1]에 나타난 바와 같이 Sample A의 혼합시료는 10일 동안 지렁이가 생존 가능한 pH의 범위인 5~8의 값을 벗어나 주의가 요구 되었으며 Sample B와 Sample C의 혼합시료는 각각 5.4~6.7 및 6.2~7.4로 나타나 지렁이의 생존에 적당한 것으로 나타났다.

3.3 혼합시료 지렁이 급이시 VS 특성변화

토양생물인 지렁이는 토양중의 유기 성분을 섭취하여 생존하므로 급이 먹이내의 유기물 함량은 중요한 항목으로 과학기술처 연구보고⁸⁾에 의하면 41~84%의 값에서 지렁이 생육에 영향이 없는 것으로 보고하였다. 따라서 본 실험에 사용된 시료는 측정기간 동안 대부분 60~80%의 범위로 나타나 지렁이 생존에 악영향을 주지 않는 것으로 나타났다.[Fig. 2]

3.4 혼합시료 지렁이 처리시 EC 특성변화

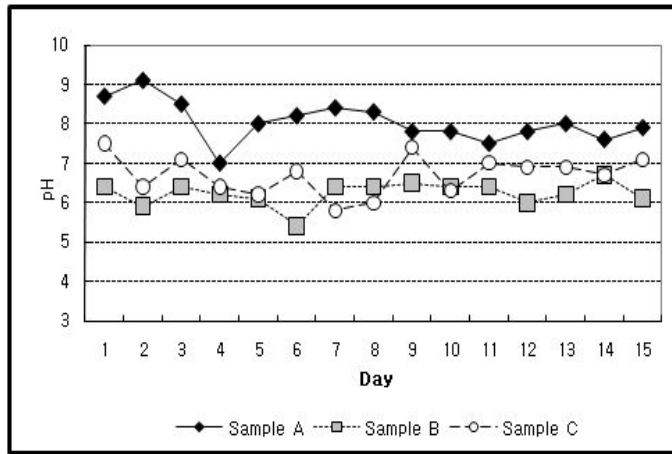
지렁이는 생존에 적합한 EC는 일반적으로 10,000~15,000 μ mhos/cm의 범위에서 지렁이 생

[Table 1] Summary of Analytic Methods for Sewage Sludge

Parameters	Unit	Methods and Instruments
pH	-	pH meter (InoLab pH Level 1)
VS	%	Volatile suspended solids ignited at 600°C
Eh	mV	ORP meter (InoLab pH Level 1)
EC	ms/cm	EC meter (TOA CM-20)
NaCl	%	NaCl meter (TOA CM-20)

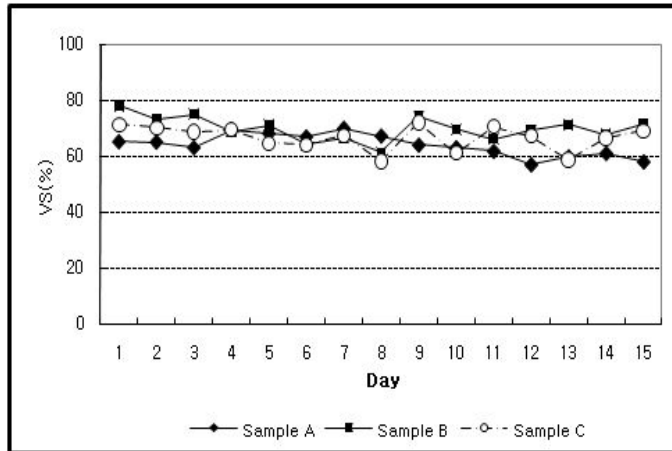
[Table 2] Physical Property of Experiment Sample

Item	pH	VS (%)	EC (mS/cm)	Eh (mV)	NaCl (%)
Algae product	9.5~10.2	70.0~82.1	0.54~1.0	-55.20~18.30	0.01~0.06
Sewage sludge	6.9~7.5	42.2~67.6	0.92~1.3	-25.35~58.10	0.08~0.10
Foodwaste	4.0~5.7	74.0~86.2	1.4~3.80	80.00~160.2	0.90~1.60



Sample A : Algae product
 Sample B : Algae product + Sewage sludge
 Sample C : Algae product + Sewage sludge + Foodwaste

[Fig. 1] pH variation during the continuous vermicomposting.



Sample A : Algae product
 Sample B : Algae product + Sewage sludge
 Sample C : Algae product + Sewage sludge + Foodwaste

[Fig. 2] VS variation during the continuous vermicomposting.

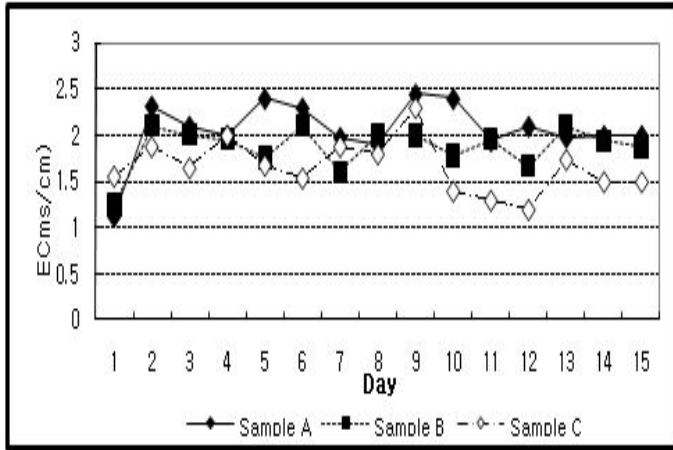
존이 가능한 것으로 보고되었다⁹⁾. 본 연구에서 EC는 [Fig. 3]에 나타난 바와 같이 측정기간 동안 Sample A와 Sample B 및 Sample C는 각각 1.21~2.45, 1.25~2.1 및 1.2~1.88mS/cm으

로 나타나 생육에 적합한 범위로 나타났으며, EC가 시간이 지남에 따라 변화되는 경향은 슬러지 종류에 따라서 EC의 값의 변화에 따라 다른 것으로 판단된다.

3.5 혼합시료 지렁이 급이시 Eh 특성변화

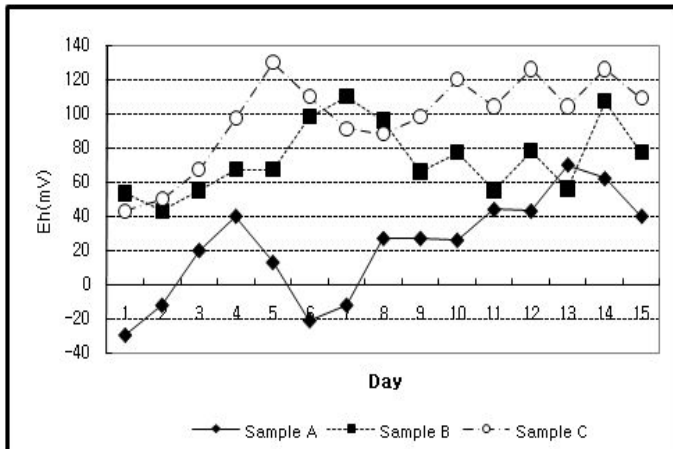
지렁이는 호기성 생물로 Eh의 값이 양(+)의 값일 때 지렁이 생존이 가능 한 것으로 알려져 있다¹⁰⁾. 따라서 지렁이 먹이를 급이할 때 음식물쓰레기의 산화, 환원전위의 값을 측정하여 지

렁이 먹이의 혐기, 호기상태를 파악하면 먹이 급이의 가능성과 처리과정을 파악할 수 있다¹¹⁾. 본 연구에서는 [Fig. 4]에 나타난 바와 같이 Sample A의 시료 급이 초기시 (-) 값을 나타내어 먹이 공급시 주의를 필요하였으며, Sample



Sample A : Algae product
 Sample B : Algae product + Sewage sludge
 Sample C : Algae product + Sewage sludge + Foodwaste

[Fig. 3] EC variation during the continuous vermicomposting.



Sample A : Algae product
 Sample B : Algae product + Sewage sludge
 Sample C : Algae product + Sewage sludge + Foodwaste

[Fig. 4] Eh variation during the continuous vermicomposting.

B, Sample C 급이시 전체적으로 양(+)¹⁾의 값을 나타내어 지렁이의 생육에 적합한 것으로 나타났다.

3.6 혼합시료 지렁이 급이시 NaCl 특성 변화

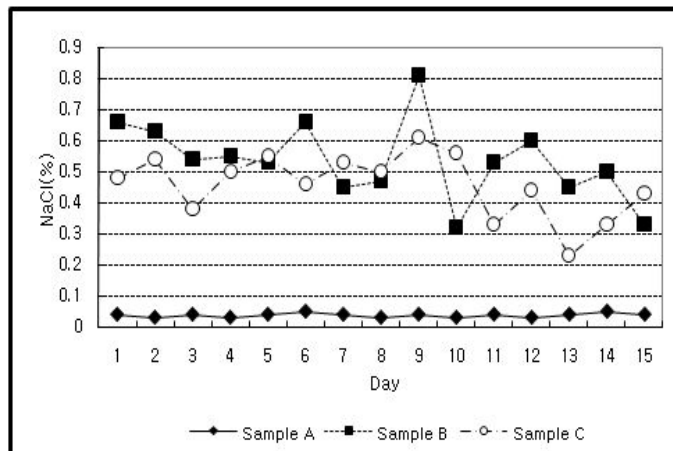
지렁이는 염류의 농도가 5,000ppm이하에서 생존이 가능한 것으로 알려져 있는데 본 실험에서는 [Fig. 5]에 나타난 바와 같이 Sample A의 NaCl의 값이 측정기간 동안 0.03~0.05로 지렁이 생육에 안전한 범위였으나 Sample B와 Sample C는 각각 0.32~0.82% 및 0.23~0.61%로 나타나 지렁이 생육에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 염분농도의 변화는 시료 혼합시 물리적 혼합에 따른 염분 농도의 희석이 이루어지나, 음식물쓰레기 염분의 영향에 대한 주의가 필요한 것으로 판단된다.

4. 결론

조류를 이용한 활용기술 후 회수되는 조류 부산물을 환경법 강화로 처리에 곤란을 겪고 있는

하수슬러지와 음식물쓰레기를 혼합 연계처리를 목적으로 시료의 혼합종류를 각각 구분하여 급이한 후 pH, VS, EC, Eh, NaCl의 항목을 지렁이 생육지표로 15일간 처리 가능성 기초실험을 수행한 결과 다음과 같다.

1. VS는 혼합시료 급이 후 15일간 전체의 값이 60~80% 범위와 EC는 Sample A와 Sample B 및 Sample C에서 각각 1.21~2.45, 1.25~2.1 및 1.2~1.88mS/cm로 나타나 시료의 혼합 종류에 상관없이 지렁이 생존이 가능한 것으로 나타났다.
2. pH는 Sample B와 Sample C의 혼합시료를 급이시 15일간 각각 5.4~6.7 및 6.2~7.4으로 지렁이 생존에 안정한 값을 나타내었으나 Sample A의 혼합시료는 지렁이 생육에 적정 범위를 벗어나 주의가 필요한 것으로 나타났다. 또한 Eh는 Sample A의 혼합시료 급이 초기시 (-) 값을 나타내어 먹이 공급시 주의를 필요하였으며, NaCl은 Sample B와 Sample C의 혼합시료 급이시 0.32~0.82% 및 0.23~0.61%로 나타나 지렁이 먹이로 급이시 염류에 대한 주의가 필



Sample A : Algae product
 Sample B : Algae product + Sewage sludge
 Sample C : Algae product + Sewage sludge + Foodwaste

[Fig. 5] NaCl variation during the continuous vermicomposting.

요한 것으로 나타났다.

- 3. 시료의 혼합시 Sample A와 Sample B의 2 종류의 유기물질보다는 Sample C와 같은 3 종류의 물질의 지표값이 지렁이 생육에 적합한 것으로 나타났다.
- 4. 향 후 혼합시료의 적정혼합비에 따른 먹이에 대한 처리 효율, 지렁이 개체군의 생장을 및 섭식량 등의 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국생명공학연구소. 미세조류를 이용한 탄화수소 생산기술 개발. 산업자원부 보고서, (1998).
2. 과학기술부, 온실가스 저감기술개발에 관한 연구 과제(세부과제 미세조류를 이용한 CO₂의 생물제품화 기술 개발), Nov. (2001).
3. 이창호, 지렁이를 이용한 음식물쓰레기 처리시 분변토 재활용 방안 연구, 한국유기성폐자원학회지 8(2), pp. 140~145, (2000).
4. 농업기술연구소, 토양화학분석법, (1988).
5. David L. Kaplan, Roy Hartenstein, Edward F. Neuhauser and Michael R. Malecki, Physicochemical requirement in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. Soil Biol. Biochem. 12 : 347~352, (1980).
6. Corinna Buck. Marcus Langmaack and Stefan Schrader, Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties, Applied Soil Ecology. 14 : 223~229, (2000).
7. Edwards, C. A., "Breakdown of animal, vegetable, and industrial organic wastes by earthworms", Agric. Ecosyst. Environ., 24, pp. 21~31 (1988).
8. Medina, E., Perez-Murcia, M.D., Bustamante, M.A. and Moral, A., "Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants", Bioresource Technology, 100, pp. 4227~4232 (2009).
9. 최훈근, "유기성슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화 슬러지급이와 사육조건에 관한 연구", 서울시립대학교 환경공학과 박사학위논문 (1992).
10. Edwards, C. A., and Bohlen, P. J., "Biology and Ecology of earthworm", Chapman and Hall, pp. 426 (1996).
11. Ndegwa, P. M., and Thompson, S. A., "Integration composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids", Bioresource Tech., 76(2), pp. 107~112 (2001). 