



## 하수슬러지가 줄지렁이(*Eisenia fetida*)의 산란 및 부화율에 미치는 영향

박광일, 배윤환

대진대학교 생명과학과

(2004년 10월 20일 접수, 2004년 12월 10일 채택)

### Effects of sewage sludge on the cocoon production and its hatchability of tiger worm(*Eisenia fetida*)

Kwang-Il Park, Yoon-Hwan Bae

Dept. of Life Science, Daejin Univ.

#### ABSTRACT

When the clitellate tiger worms (*Eisenia fetida*) were fed with paper mill sludge, sewage sludge of agricultural-urban area and sewage sludge of agricultural area, number of cocoons produced by individual clitellate earthworm for 104 days were 11.8, 8.6 and 3.5, respectively.

However, clitellate earthworms that had been fed with sewage sludge of agricultural-urban area for 52 days or fed with sewage sludge of agricultural area for 95 days could not produce cocoons, whereas the earthworms that were fed with paper mill sludge kept producing cocoons through the investigating period.

The hatchability of cocoons produced by the clitellate tiger worms (*Eisenia fetida*) fed with sewage sludge of agricultural-urban region, sewage sludge of agricultural region and paper mill sludge were 42.8%, 38.3% and 39.2%, respectively. And hatching periods of cocoons were 33.8~36.0 days, which were not affected by the kinds of sludges. However, the cocoons produced by clitellate earthworms which had been fed with sewage sludge for about 1.5 months could not hatch at all.

Death rates of second generation hatched from cocoons produced by tiger worms (*Eisenia fetida*) which had been fed with the sewage sludge from agricultural-urban region and the sewage sludge from agricultural region reached to 100% and 90% at 60 days after hatching, respectively, whereas death rate of second generation fed with paper mill sludge reached to 16%.

Keywords : Earthworm, sewage sludge, vermicomposting, cocoon production, hatchability

## 초 록

환대 발생 직후의 줄지렁이에 제지슬러지, 농공지역(연천), 농업지역(남해)의 하수슬러지를 급이하였을 때, 104일 동안 줄지렁이가 생산한 난포수는 제지슬러지, 농업지역, 농공지역 순으로 각각 11.8, 8.6, 3.5 개/마리였다. 그리고 제지슬러지를 급이한 경우는 조사기간동안 꾸준한 산란수를 유지하였으나 농공지역 하수슬러지를 급이한 지렁이는 먹이급이 52일 경과 후, 농업지역 하수슬러지는 먹이 급이 95일후부터 난포를 생산하지 못하였다.

환대 발생 직후의 줄지렁이에 농공지역(연천), 농업지역(남해)의 하수슬러지 및 제지슬러지를 급이하여 산란된 난포의 부화율은 각각 42.8, 38.3, 39.2%로 차이가 없었다. 그러나 연천하수슬러지와 남해하수슬러지를 급이한 경우 먹이 급이 46일, 43일 이후에 생산된 난포에서는 전혀 부화가 이루어지지 않았다. 부화기간은 33.8~36.0일로 먹이에 따른 차이는 없었다.

하수슬러지 및 제지슬러지를 급이한 후 생산된 난포에서 부화된 유충에 계속하여 하수슬러지 및 제지슬러지를 급이하였을 때, 먹이 급이 60일경과 후 지렁이의 치사율이 제지슬러지에서는 16%, 농업지역 하수슬러지에서는 90%, 농공지역 하수슬러지에서는 100%를 나타내었다.

핵심용어 : 지렁이, 하수슬러지, 지렁이처리법, 산란률, 부화율

## 1. 서론

2002년 기준 우리 나라의 하수슬러지 발생량은 연간 약 200만톤에 이르고 있는데, 하수슬러지의 72%는 해양투기에 의해 처리되고 있으며 그 밖에 매립(9.3%), 소각(9.8%) 등 대부분 비환경친화적 방법들로 처리되고 있다.<sup>1)</sup> 더구나 2005년도부터는 하수슬러지 처리의 주요 수단이던 해양투기에 대해서 법적 제제가 가해질 전망이므로 하수슬러지에 대한 환경친화적, 경제적 처리수단의 개발이 시급한 실정이다.

하수슬러지와 같은 유기성 폐기물을 지렁이를 이용하여 처리하고 재활용하는 기술의 높은 환경적 안정성, 경제적 효율성에 관해서는 여러 연구자들이 지적한 바 있다.<sup>2-4)</sup> 이에 본 연구자들은 국내의 농업지역, 농공지역, 도시지역에서 갓 발생한 하수슬러지에 대한 지렁이의 섭식효율을 조사한 바, 섭식개시 초기에는 지렁이가 활발한 섭식활동을 나타내다가 점차 처리효율이 감소하면서 지렁이 개체군의 활력이 떨어지고 급기야는 개체군의 사멸 현상이 나타났음을 보고한 바 있다.<sup>5)</sup> Edwards와 Bohlen<sup>2)</sup>도 하수슬러지에 대해 지렁이 처리법을

적용할 경우에는 하수슬러지내의 독성물질에 세심한 주의를 기울여야 한다고 하였다.

따라서 하수슬러지의 독성문제를 해결하기 위해서는 하수슬러지내의 지렁이에 대한 독성물질의 종류와 량 및 그 독성물질이 지렁이에 미치는 생태학적, 생리학적인 영향에 관한 분석이 필요하다.

본 연구에서는 국내의 농업지역 및 농공지역에서 발생한 하수슬러지가 지렁이의 산란 및 난포의 부화율에 미치는 영향을 조사하여 하수슬러지가 지렁이 개체군의 차세대 밀도 변동에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 하수슬러지 채취

농공지역 하수슬러지로서 경기도 연천군 하수처리장에서 발생하는 것을, 농업지역 하수슬러지로서는 경남 남해군 하수처리장에서 발생한 것을 채취하였다. 채취된 하수슬러지는 성상변화를 방지하기 위하여 4℃ 항온기에 보관하면서 지렁이 먹이로 공급하였다.

## 2.2 난포생산 및 부화율 조사

환대가 발생되지 않은 줄지렁이 유충을 다량 선별한 후 하수슬러지를 급이하여 동일한 시기에 환대가 발생한 줄지렁이(*Eisenia fetida*) 성충을 분변토 3cm 두께로 깔린 23×15×6cm(L×D×H)의 상자에 10마리씩 입식하여 3일 간격으로 난포생산량과 지렁이 치사율을 조사하였다. 3일 간격으로 사육상자내의 내용물(분변토, 지렁이, 난포 등)을 바트에 쏟아 놓고 산란된 난포와 생존 지렁이를 육안으로 계수하였다. 난포를 제외한 내용물은 다시 사육상자에 넣어 3일후에 같은 방법으로 산란수 및 생존지렁이 수를 조사하였다. 각 시료당 반복수는 6개로 하였다. 생산된 난포는 5B 여과지가 깔린 페트리디쉬에 넣고 건조하지 않도록 수분을 공급하면서 환경제어실에서(온도 조건: 23.5℃, 광조건: L:D=16:8) 부화율, 부화개체수, 부화기간을 조사하였다<sup>6)</sup>(Maboeta 등, 1999). 또한 부화된 유충을 다시 9×9×4cm(L×D×H) 플라스틱상자에 15마리씩 넣은 후 하수슬러지를 급이하면서 치사율을 조사하였다. 각 시료당 반복수는 5개로 하였다. 하수슬러지는 경기도 연천군과 경남 남해군에서 발생한 하수슬러지를 이용하였으며, 대조시료로서 제지슬러지를 급이하였다.

## 3. 결과 및 고찰

하수슬러지가 지렁이 개체군 밀도변동에 관여하는 요인 중 구체적으로 어떤 요인에 영향을 미쳐 개체군 소멸에 이르게 하는지를 분석하기 위하여, 하수슬러지 급이하면서 줄지렁이의 사망률, 산란률, 부화율, 부화기간, 부화된 유충의 사망률 등을 조사하였다.

### 3.1 하수슬러지가 난포생산에 미치는 영향

입식 후 하수슬러지를 급이한 지렁이의 경우는 제지슬러지를 급이한 것보다 입식초반에 더 많은 난포를 생산하였으나, 환대 발생 후 50일 경이 지나면서 제지슬러지를 급이한 지렁이의 산란수가 하수슬러지를 급이한 지렁이의 산란수 보다 현저히 높았다. 즉 제지슬러지를 급이하였을 경우에는

환대 발생 50일 경 이후부터 조사기간인 104일 이후까지 산란이 지속적으로 이루어지고 있었으나, 하수슬러지를 급이한 지렁이에서는 연천하수슬러지의 경우 입식 24일 후 급격히 난포 생산수가 줄어들었고, 52일 이후에는 난포를 생산하지 못하였다. 남해하수슬러지의 경우도 입식 37일 후부터 급격하게 줄어들었고 95일 후에는 난포를 생산하지 못하였다.[Fig. 1]

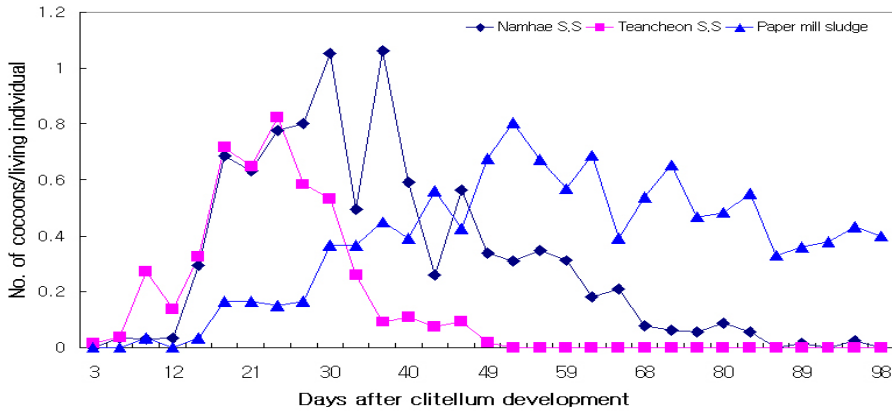
입식 초기에 제지슬러지보다 하수슬러지를 급이했을 때 높은 산란을 보인 것은 하수슬러지에는 독성을 유발할 수 있는 물질이 포함되어 있어 부적합한 먹이 조건으로 인한 스트레스가 지렁이의 산란을 자극한 것으로 생각된다.

Satchell<sup>7)</sup>은 지렁이가 불리한 환경조건에 놓이는 특정 순간에는 더 많은 난포를 생산한다고 보고한 바 있다. 그러나 하수슬러지내 유해물질로 인해서 일정기간이 경과하면 난포를 전혀 생산하지 못하는 것으로 보인다.

연천하수슬러지를 급이한 지렁이가 난포생산이 전혀 일어나지 않는 시기(환대 발생 52일 후)의 지렁이 누적치사율은 60%로 같은 시기의 남해하수슬러지나 제지슬러지를 급이한 경우의 누적치사율보다 현저하게 높았다.[Fig. 2] 하수슬러지를 급이할 경우 환대 발생 43일 후까지 누적치사율이 높아지다가 그 이후에는 비교적 일정한 수직의 치사율을 나타내었다. 입식 후 104일까지의 치사율을 보면 연천하수슬러지는 70%, 남해하수슬러지는 21.6% 그리고 제지슬러지는 5%로 제지슬러지에 비해서 연천, 남해하수슬러지의 치사율이 높았으며, 특히 연천하수슬러지의 치사율이 가장 높게 나타났다.

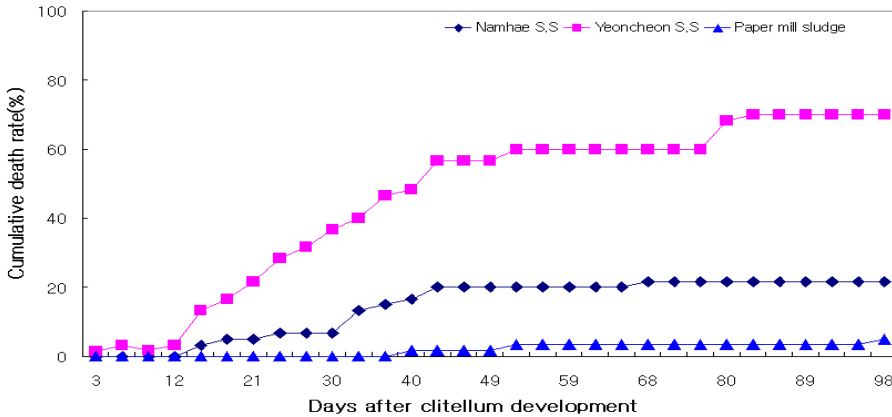
104일 동안 개체당 생산한 난포수는 제지슬러지가 11.8개로 가장 많았고, 남해하수슬러지는 8.6개, 연천하수슬러지는 3.5개였다.[Fig. 3]

지렁이는 먹이 조건에 따라 난포 생산에도 영향을 받으며, 하수슬러지를 섭취한 지렁이는 우분, 마분 등을 섭취할 때 보다 난포 생산이 적은 것으로 알려져 있다.<sup>8)</sup> 결과적으로 하수슬러지를 섭취한 지렁이는 하수슬러지를 급이 초기에는 제지슬러지를 급이한 경우보다 일시적으로 산란수가 많았으나,



[Fig. 1] Changes in cocoons produced by living individuals of tiger worm(*Eisenia fetida*) when clitellate earthworms were fed with sewage sludge and paper mill sludge.

S.S means Sewage sludge



[Fig. 2] Changes in cumulative death rate(%) of tiger worm(*Eisenia fetida*) when clitellate earthworms were fed with sewage sludge and paper mill sludge.

S.S means Sewage sludge

장기적으로는 하수슬러지내 독성물질에 의해서 난포 생산력이 저하되는 것으로 생각된다. 또한 하수슬러지는 발생지역이나 처리방법에 따라 그 성상이 다른데,<sup>9)</sup> 하수슬러지 발생지역에 따라 그 반응도 상이하였다. 즉 연천하수슬러지가 남해하수슬러지보다 난포 생산수가 낮으며, 난포를 생산한 기간도 짧게 나타나 농공지역(연천)의 하수슬러지가 농업지역(남해)의 하수슬러지보다 지렁이의 산란력에 미치는 부영향이 더 큰 것으로 판단된다.

### 3.2 하수슬러지가 난포 부화율 및 부화유충에 미치는 영향

입식 후 52일까지의 부화율은 연천하수슬러지가 42.8%, 남해하수슬러지가 38.3%, 제지슬러지가 39.2% 였으며, 부화일수는 33.8~36.0일로 먹이 종류에 따른 차이가 없었다.[Table 1]

그러나 시간이 경과할수록 하수슬러지를 급이한 것에서는 부화율이 떨어지는 것으로 나타났다. 남해하수슬러지의 경우는 43일 이후에 생산된 난포

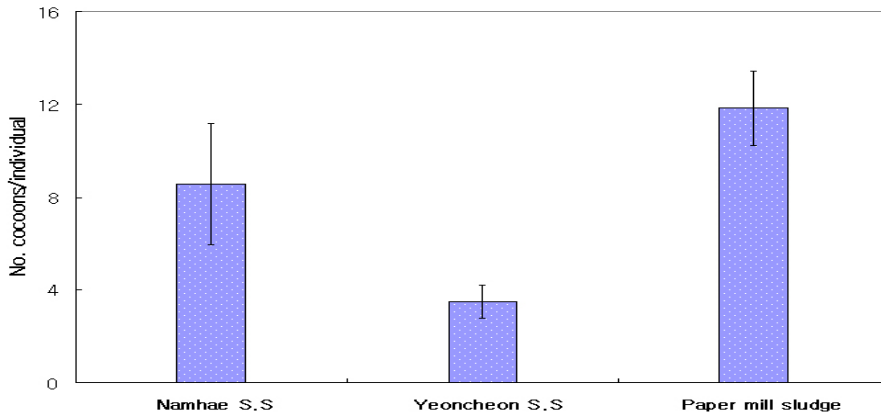
는 부화가 전혀 이루어지지 않았으며, 연천하수슬러지도 비슷한 시기인 46일 이후에 생산된 난포는 부화가 되질 않았다.[Fig. 4]

또한 시간이 경과하여도 제지슬러지를 급이하였을 경우에는 난포 당 부화개체수가 일정하게 유지하고 있었지만, 남해하수슬러지의 경우는 환대 발생 15일 후에 생산된 난포에서 최고 5.2마리까지 부화되었으나 그 수가 점차 감소되었으며, 연천하수슬러지도 비슷한 경향을 보였다.[Fig. 5]

하수슬러지 급이시 입식 초반에는 난포를 많이 생산했던 것과 더불어 부화율과 부화개체수도 높게 나타났다. 그러나 하수슬러지를 장기간 급이 후

산란된 난포의 부화율이 떨어지는 것은 하수슬러지내의 유해물질이 지렁이 생체에 축적되어 비정상적인 난포를 생산했기 때문인 것으로 판단된다.

난포에서 부화된 유충에 계속해서 하수슬러지 또는 제지슬러지를 급이하면서 지렁이의 성장여부를 조사한 결과 제지슬러지는 부화 후 60일이 경과했을 때 누적치사율이 16%을 나타내었지만, 남해하수슬러지는 입식 후 30일 지난 후 누적치사율이 91%였다. 그리고 연천하수슬러지의 경우는 입식 후 30일 이후에 20%였던 것이 60일 후에는 모두 치사하는 결과를 보였다.[Fig. 6]



[Fig. 3] No. of cocoons produced by tiger worm(*Eisenia fetida*) for 104 days when clitellate earthworms were fed with sewage sludge and paper mill sludge.

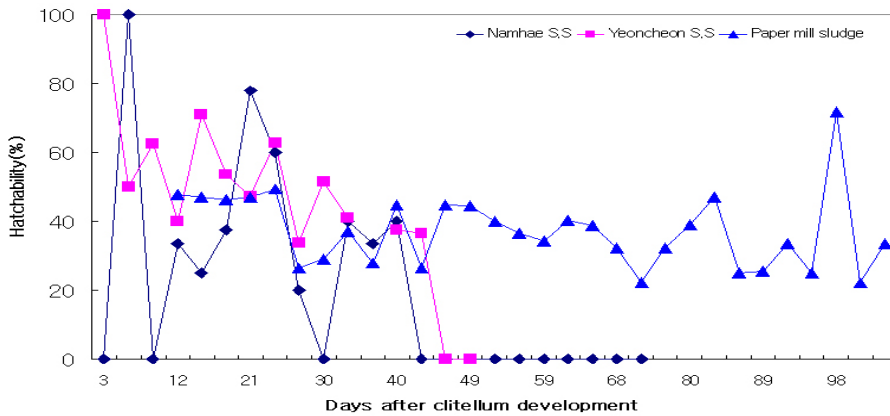
S.S means Sewage sludge

[Table 1] Hatchability of Cocoon, No. of Hatched Individuals per Cocoon and Developmental Period of Egg Produced by the Tiger Worms(*Eisenia Fetida*) when Clitellate Earthworms had been fed with Sewage Sludge and Paper mill Sludge for 52 Days

Sludge	Hatchability(%)	Developmental period of egg(days)
Namhae Sewage sludge <sup>1</sup>	38.3 ± 22.14	33.8 ± 3.90
Yeoncheon Sewage sludge <sup>2</sup>	42.8 ± 25.08	35.7 ± 6.49
Paper mill sludge	39.2 ± 9.16	36.0 ± 6.44

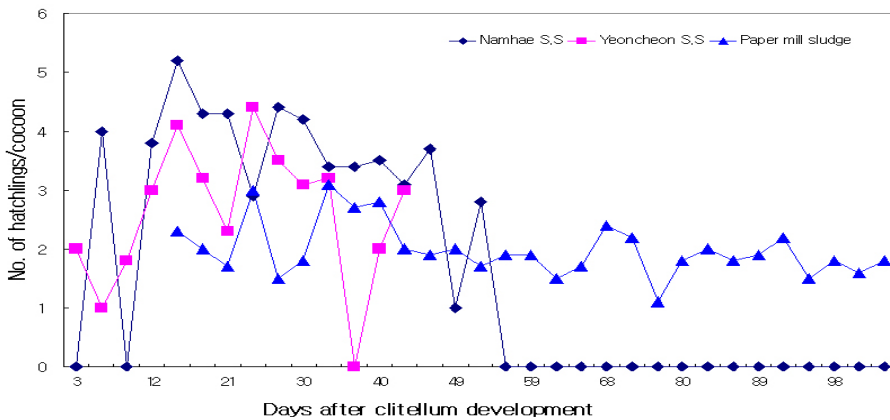
1. Sewage sludge produced from wastewater treatment plant of Namhae county, Gyeongnam province, Korea

2. Sewage sludge produced from wastewater treatment plant of Yeoncheon county, Gyeonggi province, Korea



[Fig. 4] Changes in hatchabilities of cocoons which were produced at different days after feeding the clitellate tiger worms(*Eisenia fetida*) with sewage sludge and paper mill sludge.

S.S means Sewage sludge



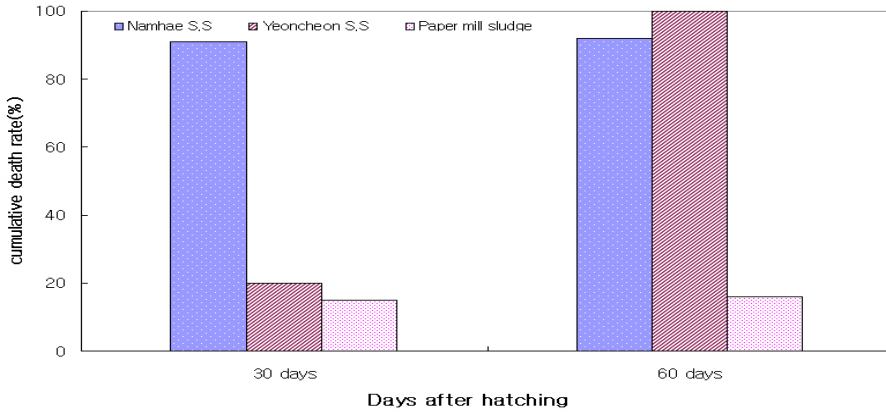
[Fig. 5] Changes in hatched individuals per cocoon which was produced at different days after feeding the clitellate tiger worms(*Eisenia fetida*) with sewage sludge and paper mill sludge.

S.S means Sewage sludge

#### 4. 결론

하수슬러지를 아무런 전처리 과정 없이 지렁이 먹이로 공급하였을 때는 지렁이의 당대 수명[Fig. 2]뿐만 아니라, 산란수[Fig. 1,3], 부화율[Fig. 4], 난포당 부화 개체수[Fig. 5]의 감소현상을 유발하며, 난포로부터 부화된 유충에 대해서도 치사 현상을 일으키므로[Fig. 6] 하수슬러지를 섭취한

줄지렁이 개체군은 그의 차세대를 유지할 수 없게 된다. 따라서 하수슬러지의 지렁이에 대한 독성효과는 당대보다는 차세대에서 치명적으로 나타나므로 현장에서 하수슬러지를 지렁이에게 급이하면서 하수슬러지의 먹이로서 적합성 여부를 판정할 때 충분한 시간을 두고 하는 것이 필요하다. 그리고 하수슬러지에 대하여 지렁이 처리법을 적용하기 위해서는 지렁이에게 독성을 유발하는 하수슬러지



[Fig. 6] Cumulative death rate(%) of earthworms hatched from the cocoons that were produced by the clitellate tiger worm(*Eisenia fetida*) which had been fed with sewage sludge or paper mill sludge.

S.S means Sewage sludge

내의 독성물질 탐색과 그 물질의 무독화를 위한 전처리 기술의 개발이 가장 중요한 과제이다.

### 참고문헌

1. 환경부. 전국 폐기물 발생 및 처리현황 (2002).
2. Edwards C. A. and P.J. Bohlen. Biology and Ecology of earthworm p 242, p 426. Chapman and Hall (1996).
3. Hartenstein. R, E. F. Neuhauser and A. Narahara. Effect of heavy metal and other elemental additive to activated sludge on growth of *Eisenia foetida*. J. Environ. Qual. 10(3):372-376 (1981)..
4. Loehr. R. C, J.H.Martin and E. F. Neuhauser. Liquid sludge stabilization using vermistabilization. J.WPCF. 57(7):817-826 (1985).
5. 박광일, 배윤환. 하수슬러지의 전처리 방법에 따른 줄지렁이(*Eisenia fetida*)의 섭식효율 및 성장 (2004).
6. Maboeta M. S, A. J. Reinecke, S.A. Reinecke. The effect of lead levels on the growth and reproduction of the African earthworm(*Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta)). Biol Fertil Soils. 30:113-116 (1999).
7. Satchell. J. E. Lumbricidae, in Soil biology, (eds A. Burges and F. Raw), Academic Press. London. pp 259-322 (1967).
8. Evans. A. C and Guild. W. J. Mc. L. 1947. Cocoon of some British Lumbricidae. Ann. Mag. Nat. Hist. pp 714-719 (1947).
9. 심동현. 하수슬러지 발생 및 해양처분 현황과 전망. 유기성폐자원학회 pp 17-33 (2002). 