



합성세제가 줄지렁이(*Eisenia fetida*) 개체군에 미치는 생태독성학적 영향

박광일, 배윤환[†]

대진대학교 생명과학과

(2011년 3월 14일 접수, 2011년 3월 25일 수정, 2011년 3월 26일 채택)

Ecotoxicological effects of synthetic detergents on the population of *Eisenia fetida*

Park, K.I. & Bae, Y. H.[†]

Dept. of Life Science, Daejin Univ.

ABSTRACT

Ecotoxicological effects of synthetic detergents such as laundry detergent and Shampoo[®] on cocoon productivity, hatchability, number of hatched individuals per cocoon and growth of next generation of *Eisenia fetida* population were evaluated. Synthetic detergents mixed with earthworm feed increased the cocoon productivity, number of hatched individuals per cocoon and growth of next generation of *Eisenia fetida* population, but there was no effect on hatchability. From those results, it could be concluded that synthetic detergents that might be present in the sewage sludge would not cause ecotoxicological effect on *Eisenia fetida* population.

Keywords : Earthworm, Ecotoxicity, Synthetic detergent, Sewage sludge

초 록

의류용 세탁세제와 샴푸와 같은 합성세제가 혼합된 먹이를 급여하였을 경우 줄지렁이 개체군의 산란률, 난포당 부화개체수 및 차세대 발육 유충수의 증가를 유발시켰으며, 산란된 난포의 부화율에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 생태독성학적 측면에서 합성세제는 줄지렁이 개체군에 대해 독성 현상을 유발하지 않으며 가정에서 사용하는 합성세제는 하수슬러지를 지렁이에게 지속적으로 급여하였을 때 나타나는 지렁이 개체군 소멸현상의 직접적인 원인이 아닌 것으로 판단된다.

[†]Corresponding author : yhbae@daejin.ac.kr

핵심용어 : 줄지렁이, 생태독성, 합성세제, 하수슬러지

1. 서론

지렁이는 육상생태계의 물질순환과 에너지 흐름에서 생태학적으로 중요한 역할을 하는 토양동물이다. 지렁이가 유기성 폐기물을 섭취하는 것 자체가 곧 환경 친화적이고 경제적인 폐기물 처리법 및 자원 재활용법으로 인식되고 있다^{1)~6)}. 그리고 지렁이의 배설물은 양질의 유기질 비료, 토양개량제 및 탈취제 등으로, 증식된 지렁이는 화장품, 의약품 원료 및 가축사료 등으로 이용된다^{7),8)}. 우리나라의 경우 1992년 폐기물처리와 재활용의 일환으로 지렁이를 이용한 퇴비화처리를 폐기물처리기술의 하나로 고시하여 이의 활용을 권장하고 있다.

유기성 폐기물 중 하수슬러지는 2008년 기준으로 전국 403개소 하수처리장에서 2,817,367 m³/년이 발생되고 있다. 하수슬러지의 처리방법은 해양투기(61.6%), 육상매립(3.7%), 소각(16.3%), 재활용(18.9%) 등이 있는데, 재활용되는 하수슬러지중 발생량의 3.5%가 지렁이를 이용한 퇴비화 기술로 처리되었다(환경부, 2009). 그러나 갓 발생한 하수슬러지를 지렁이에게 장기간 급이할 경우 하수슬러지가 지렁이 개체군의 활력저하, 밀도감소 및 치사현상 등을 유발시키는 것이 지렁이에 의한 하수슬러지 처리량 확대의 걸림돌로 지적되었다^{8)~11)}.

지렁이를 치사시킬 수 있는 하수슬러지 내의 독성 후보 물질로는 하수종말처리장으로 유입되는 하수 원수에 함유된 물질과 하수처리 과정 중 사용되는 다양한 화학물질 등이 포함된다. 하폐수에는 합성세제, 중금속 및 내분비계 교란물질 등이 함유되어 있다. 또한 하수처리 과정 중에 사용되는 응집제, 소포제 및 pH 조절제 등의 화학물질도 지렁이를 치사시키는 독성을 유발할 가능성이 있다. 따라서 하수슬러지의 지렁이 처리법 적용시 발생하는 사멸현상을 해결하기 위해서는 하수슬러지내 지렁이에 대한 독성물질의 중

류, 양 및 그 독성물질이 지렁이에 미치는 생물학적 영향에 관한 분석이 요구된다.

가정에서 발생하는 하수에는 합성세제가 혼합되어 있다. 합성세제는 오수 처리과정 동안 슬러지에 함유될 가능성이 높다^{12)~14)}.

하수슬러지를 지렁이가 안정적으로 섭취할 수 있도록 하수슬러지의 물리적, 화학적, 생물학적 성상을 변화시켜주는 전처리 기술 개발을 위해서는 지렁이에 대한 하수슬러지내 독성물질 구명이 전제 되어야 한다. 본 연구에서는 가정용 합성세제가 줄지렁이 개체군의 산란수, 부화율 및 차세대 유충발육에 미치는 독성학적 영향을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 지렁이

현재 국내 및 OECD의 표준시험법에서 시험종으로 제시하고 있는 줄지렁이(*Eisenia fetida*)를 25°C의 환경제어실에서 우분과 피트모스를 2:1(dw/dw)로 혼합한 먹이로 사육하면서 생체중 400~450 mg의 성충을 선별하여 이용하였다.

2.2 합성세제의 혼합 및 공시농도

실험에 이용된 합성세제내 계면활성성분은 [Table 1]과 같았으며 우분과 피트모스를 2:1(dw/dw)로 혼합한 시료에 의류용 세탁세제와 샴푸를 각각 0, 100, 500, 1,000, 1,500 및 2,000 mg/kg으로 첨가하여 줄지렁이 먹이로 공급하였다.

2.3 줄지렁이 난포 생산량 및 부화율 조사

최근 7일 이내에 환대가 발생한 줄지렁이 성충을 8.0cm×4.5cm(R×H)의 원통형 사육상자에 10마리씩 입식한 후, 각 세제농도로 제조된 먹이를 7일 간격으로 상자당 20g씩 반복하여 공급하면서 난포 생산량과 지렁이 부화율을 조사하였다. 생산된 난포는 탈지면이 깔린 페트리디쉬에 넣고 수분이 70~80%가 되도록 유지하면서, 25.0°C

[Table 1] The component of Synthetic Detergents

Synthetic detergent	Surfactant	Standard usage (mg/kg)
Laundry detergent	Alcohol sulfate(AS), Fatty acid α -olefinsulfonate(AOS) Alkybenzene sulfonate(LAS)	840 mg/kg
Shampoo [®]	Ammonium laureth sulfate, Ammonium lauryl sulfate	

의 인큐베이터에서 부화율을 조사하였다.

2.4 줄지렁이 차세대 발육 유충수 조사

8.0cm×4.5 cm(R×H)의 원통형 사육상자에 분변토 50g을 깔아준 후 최근 7일 이내에 환대가 발생한 줄지렁이 성충 10마리를 입식한 후, 각 농도로 적정된 합성세제가 혼합된 먹이를 7일 간격으로 20g씩 공급하였으며, 입식 120일후 발생된 유충수를 조사하였다. 반복수는 3개였다.

3. 결과 및 고찰

가정에서 배출된 합성세제는 먼저 배수로내 부유입자 및 저서생물과 부착 미생물에 흡착 및 흡수되어 서서히 분해된다. 또한 단기간 내에 소량만 배출되는 계면활성제는 배수로를 수습미터 유하하면 대부분이 수중에서 제거된다. 그러나 우리나라의 도시생태의 특성상 많은 양의 합성세제가 지속적으로 배출되기 때문에 배수로 내와 하천에서 분해되지 못한다.

가정내에서 사용된 합성세제는 수처리 과정을 통해서 제거된다^(15)~17). 합성세제의 주요 성분인 SLS, SLES 및 AOS는 폭기시간 3시간만에 99%가 제거되며, LAS는 94%가 제거된다⁽¹⁷⁾. 또한 Holt and Bernstein⁽¹⁸⁾는 하수처리장으로 유입되는 하수 중 LAS의 농도가 3~21 mL/L가 유입되며 하수처리장으로 유입된 LAS의 제거율이 17~60%라고 보고하였다. 그러나 수처리 시스템의 1차 단계인 고형물 제거 과정 중 계면활성제가 고형물과 함께 흡수/침강되어 슬러지화 되기 때문에⁽¹⁹⁾ 하수내 합성세제가 생분해 되지 않고 하수슬러지내에 혼입될 가능성이 높다.

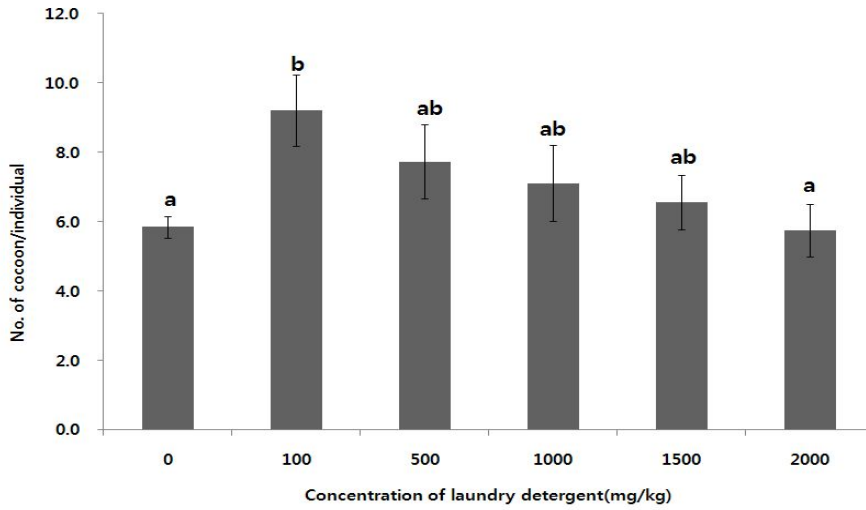
3.1 합성세제가 줄지렁이의 산란수에 미치는 영향

Vermicomposting에서 지렁이 치사율, 생체량 및 지렁이 생식은 중요한 평가 인자로 독성 유무를 평가하기 위해서는 성충에 대한 치사율뿐만 아니라 지렁이 개체군의 생식력 및 유충에 대한 독성평가가 함께 이루어져야 한다⁽²⁰⁾.

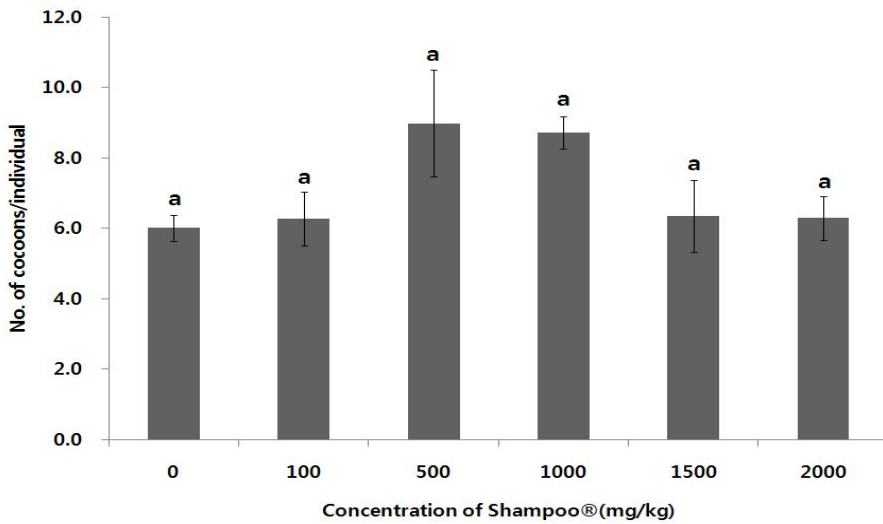
의류용 세탁세제가 첨가된 먹이를 줄지렁이 성충에게 공급하여 91일 동안 생산된 난포수는 공시된 모든 처리구가 무처리구에서보다 높게 나타났는데[Fig. 1], 세탁세제의 표준사용량이 840mg/kg 이고 사용이후 하수처리장의 수처리까지 이르는 과정에서 주요 성분의 대부분이 분해되는 것^(15)~17)을 감안하면 의류용 세탁세제가 줄지렁이 산란율에 부정적 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 그러나 세탁세제 농도 100mg/kg처리구에서 난포수가 9.2개, 농도 500~1,500mg/kg처리구에서 7.7~6.6개, 농도 2,000mg/kg처리구에서 5.8개를 생산해 세탁세제의 처리 농도가 높아짐에 따라 산란수가 낮아지는 경향을 보여 특정농도 이상에서는 세탁세제가 줄지렁이의 산란능력에 부정적 영향을 줄 수 있음을 시사하고 있다.

욕실세제인 샴푸를 혼합한 먹이를 줄지렁이에게 공급한 결과 줄지렁이가 91일 동안 생산한 난포수는 처리간 통계적 유의성은 없었지만 500mg/kg처리구에서 9.0개로 가장 많이 생산하였으며, 2,000 mg/kg 처리구에서 6.3개의 난포를 생산해 농도에 따라 감소되는 경향을 나타내었으나[Fig. 2], 세탁세제의 경우와 마찬가지로 샴푸도 공시된 농도 수준에서는 줄지렁이의 산란력에 부정적 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

그러나, 박과 배⁽²¹⁾는 하수슬러지를 먹이로 공급 할



[Fig. 1] Number of cocoons produced by individual earthworm exposed to laundry detergent for 91 days (mean \pm S.E.)
 Values of bars followed by the same letter were not significantly different ($p < 0.05$:Duncan[SPSS12.0]).



[Fig. 2] Number of cocoons produced by individual earthworm exposed to shampoo[®] for 91 days (mean \pm S.E.)
 Values of bars followed by the same letter were not significantly different ($p < 0.05$:Duncan[SPSS 12.0]).

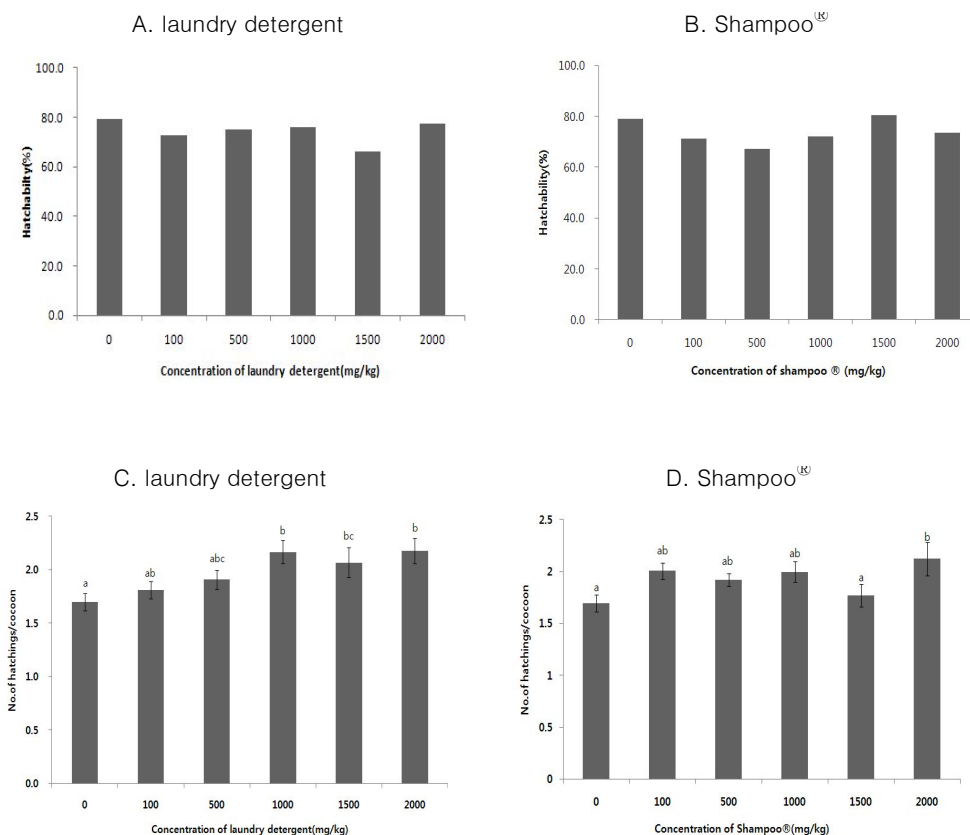
경우 지렁이 산란율이 점차 감소하여 일정한 시간에 도달하게 되면 산란을 전혀 못하는 현상이 나타났음을 보고한 반면, Satchell²²⁾은 지렁이는 불리한 환경

조건에 놓이는 특정 순간에는 더 많은 난포를 생산한다고 보고한 바 있어, 지렁이 산란율 분포 유형으로 독성 유무를 평가 할 때는 세심한 주의가 요구된다.

3.2 합성세제가 난포의 부화율 및 부화개체수에 미치는 영향

합성세제가 혼합된 먹이를 급이한 줄지렁이가 생산한 난포의 부화율은 의류용 세탁세제가 66.2~77.4%, 샴푸가 71.2~80.4%을 보여 합성세제 농도에 따른 부화율의 차이는 없었다[Fig. 3. A, B]. 난포당 부화개체수는 의류용 세탁세제의 경우 무처리구에서 1.7마리가 발생되었으며, 500mg/kg 처리구에서 1.9마리, 1,000~2,000mg/kg 처리구에서 2.1~2.2마리가 부화되어 부화개체수는 오히려 세제의 농도가 증가되면 증가하는 경향을 나타내었

다[Fig. 3. C]. 샴푸를 첨가한 먹이를 급이한 줄지렁이의 난포당 부화개체수는 100~1,500 mg/kg 처리구에서 1.8~2.0마리, 2,000mg/kg 처리구에서 2.1마리가 부화되어 무처리구 1.7마리보다 증가하는 경향을 나타내었다[Fig. 3. D]. 이상에서 의류용 세탁세제와 샴푸는 줄지렁이가 생산한 난포의 난포당 부화개체수의 증가를 유발하였는데, 이것은 합성세제에 혼합된 지방질과 같은 성분이 줄지렁이의 영양원으로 작용하였기 때문으로 판단된다. 합성세제의 대부분은 15~30%의 계면활성제(Surfactant)와 세제의 활성을 높여주는 인산염,



[Fig. 3] Hatchability of cocoon and No. of hatched individuals per cocoon produced by earthworm exposed to synthetic detergents. (mean \pm S.D.)
 A. Hatchability of Laundry detergent,
 B. Hatchability of Shampoo[®]
 C. No. of hatched individuals per cocoon of Laundry detergent
 D. No. of hatched individuals per cocoon of Shampoo[®]
 Values of bars followed by the same letter were not significantly different ($p < 0.05$:Duncan[SPSS 12.0]).

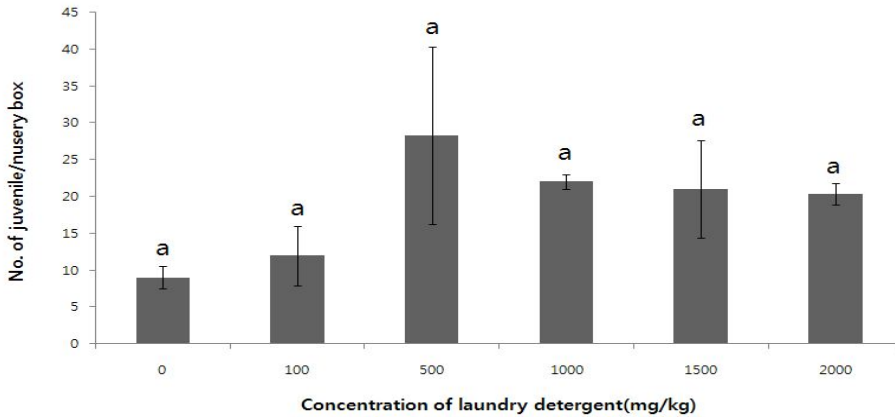
탄산소다 및 보조제(builder)로 구성된다²³⁾.

3.3 합성세제가 차세대 발육 유충수에 미치는 영향

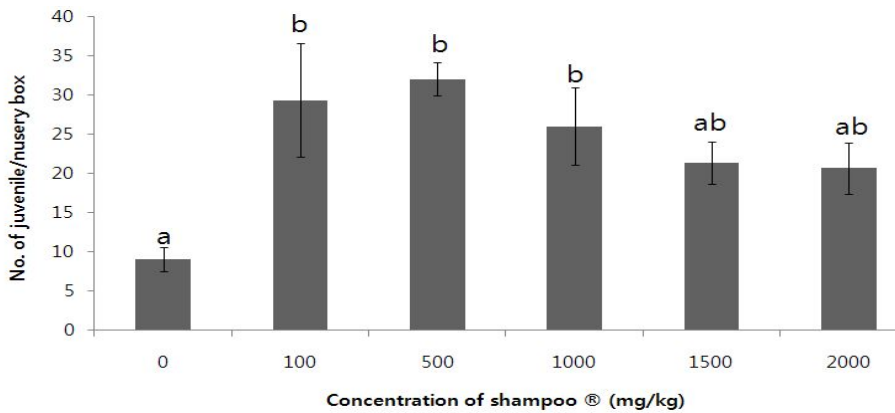
의류용 세탁세제가 혼합된 먹이를 급여한 줄지렁이의 차세대 발육 유충수는 통계적 유의성은 없었지만 500~2,000 mg/kg 처리구에서 사육상 자당 20.3~28.3마리가 발생되어 무처리구의 9.0

마리 보다 높게 나타났다[Fig. 4].

샴푸를 혼합한 먹이를 공급한 경우 샴푸 농도 500~1,500mg/kg에서 26.0~32마리가 발생되었고, 샴푸농도 1,500mg/kg과 2,000mg/kg에서는 각각 21.3마리와 20.7마리가 발생되어 농도에 따라 부화개체수가 감소되는 경향을 보였지만 모든 처리구에서 무처리구보다 현저히 높은 차세대 유충이 발생되었다[Fig. 5].



[Fig. 4] Juvenile number of next generation when the newly developed earthworm adults were exposed to laundry detergent for 90days(mean±S.E.) Values of bars followed by the same letter were not significantly different (p<0.05 :Duncan[spss12.0]).



[Fig. 5] Juvenile number of next generation when the newly developed earthworm adults were exposed to Shampoo[®] for 90days(mean±S.E.) Values of bars followed by the same letter were not significantly different (p<0.05 :Duncan[SPSS12.0]).

4. 결론

합성세제의 대부분은 15~30%의 계면활성제(Surfactant)와 세제의 활성을 높여주는 인산염, 탄산소다 및 보조제(builder)로 구성된다¹⁵⁾. 이상에서 의류용 세탁세제와 샴푸와 같은 합성세제는 줄지렁이의 부화율에 영향을 미치지 않고, 산란률, 난포당 부화개체수 및 차세대 발육 유충수의 증가를 유발하는 것으로 나타났다. 따라서 생태독성학적 측면에서 합성세제는 현재의 사용수준에서 줄지렁이 개체군에 대해 독성 현상을 유발하지 않으며 오히려 합성세제 구성물질이 줄지렁이 개체군 증식을 위한 영양원으로 작용하는 것으로 판단된다.

따라서 가정에서 사용하는 합성세제는 하수슬러지를 지렁이에게 지속적으로 급이하였을 때 나타나는 지렁이 개체군 소멸현상^{8)~11)}의 직접적인 원인이 아닌 것으로 판단된다.

사사

본 논문은 대전대학교 연구지원금에 의해서 수행되었습니다. 대전대학교 당국에 감사드립니다.

참고문헌

1. Khwairakpam M., Bhargava R., "Vermitechnology for sewage sludge recycling", *J. of Hazardous Materials*, 161, pp. 948~954 (2009).
2. Suthar S., "Vermicomposting potential of perionyx sansibaricus(Perrier) in different waste materials", *Biores. Technol.*, 98, pp. 1231~1237 (2007).
3. Ndegwa P.M., Thompson S.A., Das K.C., "Effect of stocking density and feeding rate on vermicomposting of bioslids", *Biores. Technol.*, 71, pp. 5~12 (2000).
4. Loh T.C., Lee Y.C., Liang J.B., Tan D., "Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia fetida* and their growth and reproduction performance", *Biores. Technol.*, 96, pp. 111~114 (2005).
5. Garg P., Gupta A., Satya S., "Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study", *Bior. Technol.*, 97, pp. 391~395 (2006).
6. 최훈근, "유기성슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화 슬러지급이와 사육조건에 관한 연구", 서울시립대학교 환경공학과 박사학위논문 (1992).
7. Edwards, C. A., and Bohlen, P. J., "Biology and Ecology of earthworm", Chapman and Hall, pp. 426 (1996).
8. 이성호, 김민국, "지렁이를 이용한 하수슬러지 처리에 관한 연구", *J. of NERL*, 6(1), pp. 131~145. (2001)
9. 박광일, 배운환, "하수슬러지의 전처리 방법에 따른 줄지렁이(*Eisenia fetida* Savigny)의 섭식 효율 및 성장", *유기성자원화*, 11(4), pp. 66~78. (2003).
10. Kaushik P., Garg V. K., "Vermicomposting of mixed solid textil mill sludge and cow dung with the epigeic earthworm *Eisenia foetida*.", *Biores. Technol.*, 90, pp. 311~316 (2003).
11. Gupta R. Garg V.K., "Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting", *J. of Hazardous Materials* 153, pp. 1023~1030 (2008).
12. Schnaak W., Kuchler Th., Kujawa M., Henschel K. P., Subenbach D., Donau R., "Organic contaminants in sewage sludge and their ecotoxicological significance in the agricultural utilization of sewage sludge", *Chemosphere*, 35, pp. 5~11 (1997).
13. Moeller.J., Reeh U., "Degradation of DEHP, PAHs, LAS in Source separated MSW and sewage sludge during composting", *Compost Sci. Util.*, 11, pp. 370~378 (2003).
14. Pakoua C., Kornarosa M., Stamatelatoua K., Lyberatosa G., "On the fate of LAS, NPEOs

- and DEHP in municipal sewage sludge during composting”, *Biores. Technol.* 100(4), pp. 1634~1642 (2009).
15. Prats D., Lopez C., Vallejo D., Varo P., Leon V. M., “Effect of temperature on the biodegradation of linear alkylbenzene sulfonate and alcohol ethoxylate”, *J. Surfact. Det.*, 9 (1), pp. 69~75. (2006).
 16. 고영신, 김세경, 임종완, 유찬주, 최성용, “샴푸와 의류용 분말세제의 생분해도와 인산염 및 중금속 함량에 대한 연구”, *한국분석과학회*, 11, pp. 105~111. (1998).
 17. 이민호, 박태우, 이정래, 김여경, “연속식활성오니법, 반영속식활성오니법, 진탕배양법에 의한 음이온 계면활성제의 생분해도”, *한국하천호수학회*, 26(2), pp. 101~104. (1993).
 18. Holt, M. S., Bernstein, S. L., “Linear alkylbenzenes in sewage sludges and sludge amended soils” *Water Res.*, 26, pp. 613~624. (1992).
 19. Villar M., Callejon M., Jimenez J.C., Alonso E., Guiraum A., “New rapid methods for determination of total LAS in sewage sludge by high performance liquid chromatography (HPLC) and capillary electrophoresis (CE)”, *Analytica Chimica Acta* 267~271 (2009).
 20. Suthar S., “Vermicomposting potential of perionyx sansibaricus(Perrier) in different waste materials”, *Biores. Technol.* 98. pp. 1231~1237 (2007).
 21. 박광일, 배운환, “하수슬러지가 줄지렁이(*Eisenia fetida*)의 산란 및 부화율에 미치는 영향”, *유기성 자원화*, 12(4), pp. 105~111. (2004).
 22. Satchell. J. E., “Lumbricidae, in Soil biology(eds A. Burges and F. Raw)”, *Academic Press, London*, 259~322 (1967).
 23. 성일화, 이영준, “합성세제의 처리방안 검토연구”, *한국환경관리학회*, 6(1), pp. 93~98. (2000). 