

유효미생물에 의한 하수슬러지의 효율적 처리

최충식 · 주길재 · 이동훈 · 최충렬 · 이인구 · 최 정

경북대학교 농화학과

Efficient Treatment of Sewage Sludge by Effective Microorganisms

Chung-Sig CHOI · Gil-Jae JOO · Dong-Hoon LEE · Choong-Lyeal CHOI ·
In-Koo RHEE · Jyung CHOI

Dept. of Agricultural Chemistry, Kyungpook National University

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of microbial inoculation on sewage sludge composting. The number and species of microorganisms in sewage sludge sampled on February were higher than those sampled on August. The composting of sewage sludge is inhibited by the polyacrylamide cation, which was used as a coagulant and known to repress the growth of microorganisms. The growth of all microorganisms was inhibited by the addition of the polyacrylamide cation at a concentration of more than 0.8%.

The species and viable counts of microorganisms were observed to increase during composting sewage sludge by inoculation of the effective microorganisms and addition of the pine tree sawdust as a bulking agent, compared with those without inoculation.

A variety of organisms in compost(sewage sludge plus sawdust) were observed after composting for 30 days, such as *Fragilaria* sp., *Proales* sp., *Vorticella* sp., *Schizothrix* sp., *Anabaena* sp., *Zoothaminiium* sp., *Epstylys* sp., *Arcella* sp., *Balantidium* sp., *Actinophrys* sp., *Synedra* sp., *Euglypha* sp., *Ulothrix* sp., *Anacystis* sp., and *Clostrium* sp.

Key words : effective microorganism, sewage sludge, compost, polyacrylamide cation

서 론

인구의 증가 및 산업화와 도시 집중화로 인하여 자원 및 에너지의 소비는 급증하였으며,

자연의 자정능력을 초과한 대량의 환경오염물질이 배출되어 자연생태계가 파괴되어 생물다양성이 감소되고 급기야는 인류의 생존권을 위협하고 있다^{1, 2)}.

우리나라의 하수처리장은 1960년대부터 추진되어온 경제개발 우선 정책에 밀려나 1976년 청계하수처리장 건설을 시작으로 도시별 하수처리장이 설치 가동되고 있다³⁾.

하수슬러지란 폐수 및 하수의 처리 후 발생되는 잔존물로서 수질오염방지를 위해 각종 하·폐수에 포함되어 있는 입자상, 콜로이드상 및 용존상의 오염물질을 제거시 발생하는 고형상의 2차 잔류물이다⁴⁾.

전국적인 하수슬러지의 발생량은 1992년도 연간 770,000 ton이었고, 1994년 3월에는 34개 처리장에서 하루 평균 2,151 m³이 발생하였으며, 1997년도 50여 개소인 것이 2011년까지 전국에 하수처리장이 보급될 시에는 연간 4,000,000 ton 이상의 슬러지 발생이 예상된다⁵⁾.

하수슬러지의 처분방법으로는 매립, 소각 후 매립, 농경지 이용, 소각 후 건설재료 생산, 해양투기 등이 있다. 해양투기는 금지되어 있고, 소각은 다이옥신 등의 내분비교란물질의 생성 등 대기오염문제를 유발시킬 염려가 있으며, 매립은 악취, 해충 및 침출수 발생 등의 2차 환경오염을 야기시키고 폐기물처리에 대한 NIMBY (Not in my back yard) 현상의 지역이기주의로 인하여 부지확보의 어려움이 있다^{1, 2, 5)}.

최근 농축산폐기물, 수산폐기물, 임산폐기물 등을 농경지에 이용하는 방안이 제시되어 일부는 성공적으로 진행됨에 따라 하수슬러지도 농경지에 이용할 것을 세계각국에서 장려하고 있으며⁶⁾, 1993년 미국 EPA가 발표한 슬러지 처분에 관한 법률 503조의 기준은 농경지에 이용할 것을 적극 장려하고 있어 외국에서는 하수슬러지의 농업적 이용이 증가추세에 있다^{7, 8)}.

하수슬러지는 단당류, 단백질, 지방, 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등의 유기물과 광물질 및 계면활성제, 화학응집제 등으로 구성되어 있으며, 미생물에 의하여 유기물들이 분해되

어 미생물 자체의 증식과 질소, 암모늄 이온, 이산화탄소, 물 및 에너지 등으로 변환된다⁹⁾.

하수슬러지의 탈수능률 향상을 위하여 화학응집제의 사용이 실용화되면서, 양이온성이고, 분자량이 클수록 탈수능이 증가하는 것으로 알려져 있다. 하수슬러지의 탈수 및 응집력을 강화하기 위하여 사용되는 응집제는 양이온성 polyacrylamide로 고농도에서 미생물에 대한 강한 독성을 갖고 있는 것으로 알려져 있다^{10, 11)}.

따라서 본 연구에서는 자연계로부터 분리한 미생물이 양이온성 polyacrylamide에 의한 영향을 조사하고, 하수슬러지에 첨가한 유효미생물이 하수슬러지의 퇴비화에 미치는 영향 및 시료내의 미소후생동물의 거동을 관찰하여 하수슬러지의 퇴비화를 촉진할 수 있는 방안을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 미생물의 분리

공시 균주로는 본연구실에서 보관하고 있는 *Escherichia coli* JM109와 *Bacillus* sp.를 사용하였다. 양이온성 polyacrylamide에 내성을 가진 미생물은 하수슬러지, 토양, 퇴비 등의 시료 1 g을 채취한 후 0.85% NaCl 용액 5 ml에 현탁하여 120 strokes/min의 속도로 30 분간 진탕한 후 정지하여 얻은 상정액으로부터 평판 배양법에 의해 분리하였다. 상정액을 살균한 0.85% NaCl 용액으로 100~108배까지 희석하여 세균은 trypticase soy 한천 배지(Difco 사), 효모 및 방선균은 yeast extract-malt extract(YM) 한천 배지(Difco 사) 및 peptone-glucose-yeast extract(PGY) 한천 배지(Difco 사), 곰팡이는 potato dextrose(PD) 한천 배지(Difco 사) 등의 평판배지에 도말한 후 30 및 37°C의 항온배양기에서 1~5 일간 배양

하여 자란 콜로니를 다시 획선법으로 순수 분리하였다¹²⁾.

2. 양이온성 polyacrylamide가 미생물의 생육에 미치는 영향

양이온성 polyacrylamide가 미생물의 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 공시균주인 *E. coli* JM109, *Bacillus* sp. 및 슬러지에서 분리한 세균 CT-1에 대하여 LB배지를 기본으로 양이온성 polyacrylamide의 농도를 0, 0.01, 0.04, 0.12, 0.2, 0.3, 0.6, 0.8 및 1.0%가 되도록 첨가하여 균 생육도를 흡광도 600nm에서 측정하였다.

3. 하수슬러지 처리

양이온성 polyacrylamide가 존재하는 하수슬러지의 효율적인 처리를 위하여 양이온성 polyacrylamide에 내성을 가진 분리된 미생물균, 팽화제 (bulking agent) 및 슬러지를 표 1과 같이 혼합하여 실온에서 30일간 방치하면서 슬러지의 변화 및 혼합제 속의 미생물 종을 현미경으로 관찰하였다. 본 실험에 사용된 하수슬러지와 팽화제의 물리화학적 특성은 표 2와 같다.

Table 1. Combination of raw materials for sewage sludge composting.

	Sewage sludge (g)	Bulking agent* (g)	EM** (ml)
Run-1	500	0	0
Run-2	500	0	60
Run-3	500	500	60

* Sawdust of pine tree was used as a bulking agent.

** EM, culture broth of effective microorganism which was composed of bacteria(20ml), yeasts(20ml) and molds(20ml).

Table 2. Physical and chemical properties of raw materials.

	Sewage sludge	Sawdust
Water content(%)	80.1	8.1
Total solid(%)	23.6	92.4
Total carbon(%)	19.1	46.7
Total nitrogen(%)	2.1	0.4
C/N ratio	9.3	133.3

4. 유효 미생물의 조제

양이온성 polyacrylamide에 내성을 가진 분리된 유효 미생물들을 하수슬러지 처리에 사용하기 위하여 세균은 nutrient broth(0.2% 양이온성 polyacrylamide 첨가, 37°C, 20 hr), 효모는 YM broth(0.2% 양이온성 polyacrylamide 첨가, 37°C, 36 hr), 곰팡이는 PD broth(0.2% 양이온성 polyacrylamide 첨가, 30°C, 24 hr)에 배양하였다. 하수슬러지 처리에 투여한 균은 양이온성 polyacrylamide가 첨가된 상기의 고체배지에서 세균과 효모는 콜로니의 크기가 직경 2 mm 이상인 것과 곰팡이는 콜로니 직경이 20 mm 이상인 것 중에서 형태가 다른 3 종의 콜로니를 각각 취하여 양이온성 polyacrylamide 내성 유효 미생물로 선정하였다. 선정된 각 3 종의 양이온성 polyacrylamide 내성 유효미생물 콜로니로부터 균을 1 백금이씩 취하여 0.2% 양이온성 polyacrylamide가 첨가된 동일배지 각 20 ml에 접종하여 전술한 바와 같이 20~36 시간 배양하였다. 이들 각 3 종의 배양액 60 ml를 하수슬러지 500 g과 혼합하여 처리하였다(표 1). 팽화제로는 슬러지의 수분조절과 공극 조절로 인한 통기성을 확보하기 위한 목적으로 소나무 톱밥을 사용하였다.

5. 분석 및 슬러지의 현미경학적 관찰

하수슬러지 및 팽화제의 물리화학적 특성을 조사하기 위하여 폐기물 분석방법¹³⁾에 따라 수

분함량, TS, TOC, 및 TKN 등을 측정하였다. 하수처리과정에서부터 하수슬러지의 처리까지 슬러지의 변환과정 및 미소 후생동물의 활동상을 현미경으로 관찰하였다¹⁴⁾.

결과 및 고찰

1. 하수슬러지중의 미생물의 분리

하수슬러지 중의 미생물을 분리하기 위하여 1997년 2월 및 8월에 시료를 채취하여 생균수를 측정된 결과는 표 3과 같았다. 사용한 하수슬러지의 pH는 6.0 ± 0.1 정도였으며, 건물중량당 유기물함량은 23.6%, C/N 비는 9.3정도였다.

Table 3. The number of microorganisms in sewage sludge.

Medium	cfu/g of dry sewage sludge	
	February	August
Trypticase soy agar	2.1×10^6	1.6×10^7
Yeast extract-malt extract agar	5.0×10^7	2.7×10^7
Peptone-glucose-yeast extract agar	5.4×10^6	1.5×10^7
Potato dextrose agar medium	1.0×10^7	2.3×10^7

표 3과 같이 2월과 8월의 채취 시료에서 생균수의 차이가 발생하였으며, 한천평판배지에서 콜로니의 모양이나 색상이 다른 30여 종의 세균과 10여 종의 곰팡이를 2월 채취 시료에서는 확인할 수 있었으나, 8월 채취 시료에서는 10여 종의 세균과 10여 종의 곰팡이만을 분리할 수 있었다. 이는 하수종말처리장에서의 폐수처리시 유입수의 부하량 변동과 이에 따른 양이온성 polyacrylamide의 사용량 및 기후 변동을 포함하는 다른 처리조건의 변화에 기인한 것으로 추정된다. 슬러지 내의 조류 및 원생동물 등의 폐수처리에 관여하는 미소 후생동물의 종류 및 활동성을 현미경으로 관찰한 결과 2월 채취 시

료가 8월 채취 시료보다 양호한 것으로 판단되었다(테이타 미제시).

2. 양이온성 polyacrylamide가 미생물 생육에 미치는 영향

하수종말처리장에서 응집제로 사용하는 양이온성 polyacrylamide가 미생물 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 *E. coli* JM109, *Bacillus* sp. 및 슬러지에서 분리한 세균 CT-1에 대하여 생육도를 측정된 결과는 표 4와 같았다. *E. coli* JM109와 *Bacillus* sp.는 37°C에서 2일간 배양하였으며, 분리 균주 CT-1은 3일간 배양하였다.

Table 4. Effect of polyacrylamide cation on the growth of microorganisms.

PAA conc.(%)	<i>E. coli</i> JM109	<i>Bacillus</i> sp.	CT-1
0.00	+	+	+
0.01	+	+	+
0.04	+	+	+
0.12	+	+	+
0.20	+	+	±
0.30	±	±	±
0.60	±	±	-
0.80	-	-	-
1.00	-	-	-

+, growth ; ±, retardation for growth ; -, no growth. ; PAA, Polyacrylamide

표 4와 같이 양이온성 polyacrylamide의 농도가 0.8% 이상일 때는 모든 균주의 생육이 저해되었으나 0.2% 이하에서는 균 생육에 지장을 초래하지 않았다.

3. 하수슬러지의 처리

하수종말처리장에서 사용하는 양이온성 polyacrylamide의 사용량은 폐수량의 무게비로 0.2% 미만이므로 미생물 생육에 지장은 없었다(표 4). 그러나 탈수과정에서 polyacrylamide의 농도는 5 배 이상

Table 5. The number of microorganisms in sewage sludge after composting for 30 days.

Medium	cfu/g of dry sample		
	Run-1	Run-2	Run-3
Nutrient agar	none	78×10^3	87×10^4
Potato dextrose agar	none	35×10^3	68×10^4
Yeast extract-malt extract agar	none	46×10^3	51×10^4

* Less than 10 colonies(cfu/g) were observed on nutrient, potato dextrose, and yeast extract-malt extract agar plate.

증가되므로 하수슬러지에 함유한 양이온성 polyacrylamide가 퇴비화에 미치는 영향을 검토하여야 할 것으로 판단되어 본 실험에서는 표 1과 같이 행하였다.

Run-1의 경우 설치 30일 후 nutrient agar, PDA agar 및 YM agar 평판배지에 5일간 30 및 37℃ 배양에서 건물 g당 10개 미만의 콜로니가 관찰되었다(표 5). 시료 채취 직후에는 표 3과 같이 다양한 미생물 콜로니가 관찰된 것에 반하여 Run-1의 실험에 의하면 미생물의 생육이 거의 관찰되지 않으므로 하수슬러지 자체로는 호기성 미생물의 생육이 억제되는 것으로 판단되었다. 유효 미생물을 접종한 Run-2 및 Run-3의 경우 표 5와 같이 세균, 효모 및 곰팡이의 colony가 관찰되었다.

Run-2와 같이 소수의 미생물이 관찰된 것은 슬러지의 중량감소량에 유의성을 가지지 못한 것으로 판단하여 하수슬러지를 분해하여 생육하기보다는 첨가된 중균액의 영양분을 이용하는 미생물로 추정되었다.

Run-3에서의 경우 육안관찰에 의한 슬러지의 변화는 유의성이 없었으나 대조구에 비해 다양한 미생물과 많은 수의 colony가 관찰된 것은 팽화제로 사용한 톱밥이 통기개량제의 역할을 하면서 미생물이 부착되어 생육할 수 있는 환경을 공급해 준 것으로 판단된다.

하수슬러지는 2등급 퇴비원료에 해당하는 것으로 비교적 높은 비료성분 함량을 갖고 있으나 슬러지 단독으로 재활용하는 것은 비효율적인 것으로 보고되어 있다¹⁵⁾. 본 실험에서도 Run-1 및 Run-2는 공기공급이 원활하지 못하여 미생물의 생육이 제한되므로 퇴비가 진행되지 않았다. 그러나 Run-3의 경우와 같이 팽화제로 톱밥을 첨가하고 유효 미생물을 접종함으로써 호기성 미생물의 생육이 가능한 것으로 나타났다. 표 6은 Run-3의 퇴비화 초기 및 30일 후 슬러지 이화학성 변화를 조사한 결과이다. 초기의 하수슬러지와 비교해 볼 때, 일반적으로 퇴비화 과정에서 나타나는 결과와 비슷한 경향으로서 수분함량, 유기물 및 C/N 비율은 감소하였으며 총질소, 유효인산, 무기화합물 및 중금속의 함량은 거의 변화가 없었다¹⁶⁾¹⁷⁾. 특히 본 연구에 사용된 하수 슬러지는 생활 하수오니로서 일반적인 하수슬러지보다 유기물, 질소 및 인산의 함량이 높고 중금속의 함량은 상대적으로 낮으므로¹⁸⁾ 충분한 후숙과정을 거친다면 퇴비로서의 이용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

4. 슬러지의 현미경 관찰

하수슬러지의 상태를 관찰하기 위하여 하수종말처리장의 폭기조 투입직전의 활성슬러지, 폭기조 내의 활성슬러지, 미생물의 생육이 좋았던 Run-3의 첫째날 혼합재료 및 30일 경과후의

Table 6. Physical and chemical properties of the compost of sewage sludge in Run-3.

Time	Water (%)	TS (%)	T-C (%)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	C/N ratio	Metal(mg/kg)					
							Fe	Cu	Zn	Cr	Cd	Pb
Initial	57.4	58.0	39.3	2.1	627	18.6	23.2	4.3	7.7	0.8	0.1	1.3
Final	43.3	52.4	26.4	1.9	546	13.9	23.0	4.3	7.6	0.8	0.1	1.3

TS, total solid; T-C, total carbon; T-N, total nitrogen; C/N, carbon per nitrogen ratio.

시료를 현미경으로 관찰한 결과 다양한 미소 후생동물이 관찰되었다.

폭기조 투입직전의 활성슬러지와 폭기조내의 활성슬러지에서는 *Fragilaria* sp., *Proales* sp., *Vorticella* sp. 및 *Schizothrix* sp., *Anabaena* sp., *Zoothaminiium* sp., *Epstylis* sp., *Arcella* sp., *Balantidium* sp., *Actinophrys* sp., *Ulothrix* sp., *Anacystis* sp., 및 *Clostridium* sp. 등이 관찰되었고, 이들 미소 후생동물의 영양상태는 아주 양호하였으며, 운동성도 활발하였다.

Run-3의 첫째날 혼합재료에서 *Fragilaria* sp., *Proales* sp., *Vorticella* sp., *Schizothrix* sp., *Anabaena* sp., *Zoothaminiium* sp., *Epstylis* sp., *Arcella* sp., *Balantidium* sp., *Actinophrys* sp., *Synedra* sp., *Euglypha* sp., *Ulothrix* sp., *Anacystis* sp., 및 *Clostridium* sp. 등이 관찰되었으나 운동성이 약하였고, 외관상 모양도 수축되어 영양상태가 불량한 것으로 판단되었다.

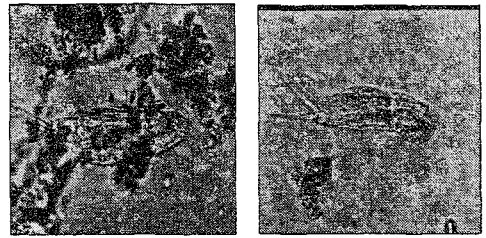
Run-3의 30일 경과후의 시료에서 *Fragilaria* sp., *Proales* sp., *Vorticella* sp., *Schizothrix* sp., *Peridinium* sp., *Gomphosphaeria* sp., 및 *Coelosphaerium* sp. 등이 관찰되었으나 운동성은 강하지 않았다.

폭기조 투입직전의 활성슬러지, 폭기조 내의 활성슬러지, Run-3의 첫째날 혼합재료 및 30일 경과후의 시료 모두에서 *Fragilaria* sp.(그림 1), *Proales* sp.(그림 2), *Vorticella* sp.(그림 3) 및 *Schizothrix* sp.(그림 4)가 관찰되었다.

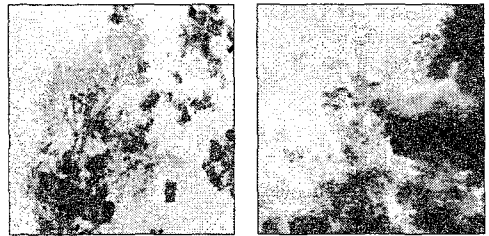
Fragilaria sp.는 활성슬러지 내에서는 강한 운동성과 분열하는 것이 관찰되었으나 Run-3에서는 운동성은 약하였으나 분열하는 것이 관찰되었다. *Proales* sp.도 활성슬러지 내에서 강한 운동성을 보이다가 Run-3에서는 매우 약한 운동성이 관찰되었다. *Vorticella* sp.는 활성슬러지 내에서는 영양상태가 양호하고 구강부와 즐기가 많은 것이 관찰 되었으나, Run-3에서는 영양



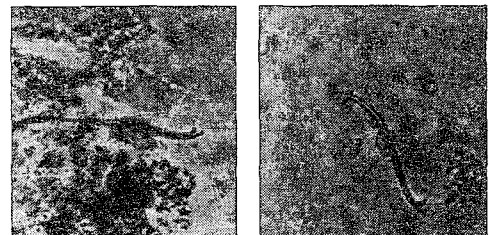
1st day after 30 days
Fig. 1. *Fragilaria* sp. in Run-3(×600).



1st day after 30 days
Fig. 2. *Proales* sp. in Run-3(×600).



1st day after 30 days
Fig. 3. *Vorticella* sp. in Run-3(×600).



1st day after 30 days
Fig. 4. *Schizothrix* sp. in Run-3(×600).

상태가 불량하거나 일부에서는 구강부와 즐기

가 분리되어지는 것이 관찰되었다. *Vorticella* sp. 등은 하·폐수처리시 슬러지의 덩어리를 형성하고, 부유세균을 포식하는 등의 처리수의 투명도를 높여주는 기능을 가지고 있어 유용미생물로 알려져 있다. *Schizothrix* sp.는 활성슬러지 및 Run-3에서 모두 강한 운동성을 나타내었다. 슬러지내에 존재하는 세균, 효모, 방선균, 곰팡이, 미세조류, 원생동물 및 하등동물은 하수슬러지의 퇴비화 또는 감량화 과정 중에 존재하여 공극의 확보와 같은 물리적인 퇴비화 촉진과 생물학적 분해작용에 의한 퇴비화 촉진 효과를 얻을 수 있을 것이다¹⁹⁾.

적 요

하수슬러지의 퇴비화를 촉진할 수 있는 방안을 검토하기 위하여 2월 및 8월에 하수슬러지를 채취하여 생균수를 측정된 결과 하수종말처리장에서의 폐수처리시 유입수량 변동, 양이온성 polyacrylamide의 사용량 및 기후 변동을 포함하는 여러 조건의 변화에 따라 미생물 종과 미생물수의 변동이 많았으며, 미소후생동물의 종류 및 활동성도 계절에 따른 차이가 있었다.

양이온성 polyacrylamide가 미생물 생육에 미치는 영향을 조사한 결과 양이온성 polyacrylamide의 농도가 0.8% 이상일 때는 모든 균주의 생육이 저해되었으나 0.2% 이하에서는 균 생육에 지장을 초래하지 않았다.

하수슬러지의 퇴비화 과정중에 관여하는 미생물의 균종과 균수를 조사하고자 하였으나 미생물의 생태적 생리적 특성과 퇴비화의 일정한 상관관계를 도출할 수는 없었다. 그러나 유기물 함량과 bulking agent로 톱밥을 투여하였을 경우 미생물의 균종과 균수의 증가가 관찰되었다.

하수종말처리장의 폭기조 투입직전 활성슬러

지, 폭기조내 활성슬러지, 하수슬러지와 bulking agent로 톱밥을 혼합처리하여 관찰한 결과 *Fragilaria* sp., *Proales* sp., *Vorticella* sp., *Schizothrix* sp., *Anabaena* sp., *Zoothaminiium* sp., *Epstylis* sp., *Arcella* sp., *Balantidium* sp., *Actinophrys* sp., *Synedra* sp., *Euglypha* sp., *Ulothrix* sp., *Anacystis* sp., 및 *Clostridium* sp. 등의 다양한 미소 후생동물이 관찰되었다. 특히 전기간에 걸쳐 *Fragilaria* sp., *Proales* sp., *Vorticella* sp. 및 *Schizothrix* sp. 가 관찰되었다. 슬러지 내에 존재하는 세균, 효모, 방선균, 곰팡이, 미세조류, 원생동물 및 하등동물은 하수슬러지의 퇴비화 또는 감량화 과정 중에 존재하여 공극의 확보와 같은 물리적인 퇴비화 촉진과 생물학적 분해작용에 의한 퇴비화 촉진 효과를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 1997년도 대구광역시 연구비 지원에 의하여 수행된 연구결과와 일부이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국유기성폐기물자원화협의회. 1994. 유기성폐기물의 퇴비화 기술, pp15-19.
2. 폐기물관리법. 1999년 2월 8일 개정 법률 제 5865호
3. 최 정, 박병운, 장상문. 1996. 환경과학, 형설출판사. pp35-57.
4. 원양수. 1993. 하·폐수 슬러지 성분 및 성상에 의한 소각처리 타당성 검토, '93 환경문제 심포지움, 영남대학교 환경문제연구소, pp81-97.

5. 강인국, 박노혁, 김동욱, 심혁성, 배재근, 오중환, 김상배, 정수복, 진윤근. 1996. 하수슬러지의 퇴비화 현황과 전망, 자원재활용 워크샵, 한국자원연구소, pp5-94.
6. 최의소, 박후원, 박원목. 1995. 하수슬러지의 농경지 이용, 한국환경농학회지, 14(1) : 72-81.
7. US EPA. 1993. Standards for the use or disposal of sewage sludge rule.
8. Epstein, E., 1997. Overview of united states composting infrastructure; Current status, policies, and technology. Symposium on composting waste management system National Institute of Environment. Seoul Korea. pp.21-37.
9. 한국 유기성 폐자원학회. 1999. 퇴비화의 응용 및 이론, pp49-90.
10. Robert, D., N.O. Nosa, D.K. Ricard and D.B. Larry. 1977. Improving Sludge Incineration and Vacuum Filtration with Pulverized Coal, J. WPCF 49 : 195-201.
11. Mohammed, T., 1975. Particles, Polymers and Performance in Filtration, ASCE 4 : 567-583.
12. 농촌진흥청 농업과학기술연구소. 1998. 토양 화학분석법, 450p.
13. 환경부. 1991. 폐기물공정시험방법, 환경부 고시 제91-97호.
14. 김종오, 박만석, 박정수, 이성홍, 현춘식. 1998. 환경미생물학, 형설출판사. 668p.
15. 한국자원재생공사. 1996. 퇴비관련법제 및 제품표준화 연구.
16. 이홍재, 조주식, 반경녀, 허종수, 신원교. 1998. 하수슬러지의 퇴비화과정 중 이화학적 및 미생물상 변동, 한국환경농학회지, 17(1) : 16-21.
17. 서정윤. 1997. 음식쓰레기 1차 부숙퇴비의 숙성과정중 상태변화, 한국환경농학회지, 16(2) : 166-169.
18. 박미현, 이승헌, 류순호, 김계훈. 1998. 하수오니의 화학적 조성과 토양중 질소 무기화, 한국토양비료학회지, 31(2) : 189-196.
19. 신영오. 1985. 토양미생물학개론, 대광문화사. 497p.