

미생물에 의한 축산 폐기물 퇴비화에 미치는 영향

신 해 자*

동서대학교 응용공학부 환경공학전공

Effect on Livestock Manure Composting by the Enriched Microbial Population

Hae Ja Shin*

Department of Environmental Engineering, Dongseo University, Pusan, 617-716, Korea

Abstract

Several kinds of thermophilic, aerobic microorganisms (*Bacillus* genus), metal leaching microorganisms (*Thiobacillus*, *T. ferrooxidans*), and other nondegradable chemical-degrading microorganisms (*Pseudomonas* genus) were utilized to study the effect on composting livestock manure. Under the Carbon-Nitrogen ratio (C/N) of 35~40 and water content of 50~65% conditions, the composting in the cycling drum reactor showed slower composting and lower temperature increase than that of the manual reactor. Element analysis after composting indicated relatively high levels of mineral contents with the substitutional effect of chemical fertilizer. Metal analysis before and after composting showed lower As in all, Cr in pig, Pb in cow, Hg in chicken, and Cu in cow manure compost than the regulation values. Compost maturity was ascertained by the several maturity tests. *Salmonella* and *E. coli* detection test by SS or EMB agar plate confirmed the safety from the pathogenic microorganisms. The results suggest that the inoculation of metal and some other chemical degrading microorganisms during composting might decrease metal contamination and increase composting rate.

Key words – Composting, Microorganism, Metal Pollution, Pathogen.

서 론

축산업의 규모가 수요의 증가로 인해 확대되어짐에 따라 축산 폐기물 발생은 총 폐기물 발생량의 20%을 차지하며 인공합성물질과 더불어 또 다른 지표수 및 지하수 오염, 토양의 산성화, 대기오염의 주요원인이 되고 있다[16,17]. 그러나 축산업의 환경보전에 대한 법규제는 해마다 강화되고 있어 축산폐수 방류기준은 96년 이전에는 생물적 산소 요

구량(Biological Oxygen Demand, BOD)와 부유물질 (Suspended Solid, SS)만 규제했으나 96년 이후 호소의 부영양화를 방지하기 위해 전 질소량(Total Nitrogen, T-N)과 전 인량(Total Phosphate, T-P)를 규제하기 시작했으며 98년부터는 T-N과 T-P의 기준이 더욱 강화되고 화학적 산소 요구량(Chemical Oxygen Demand, COD), 중금속 및 대장균군이 추가되었다[18].

우리 나라에서 발생하는 축산폐기물의 전량을 비료의 가치로 환산할 때 이미 연간 권장 화학비료 요구량을 넘어설 정도로 많은 양이 생산된다. 축산 폐기물은 비료 성분이 많아 화학비료 대체효과가 크고, 유기물함량이 높기 때문에

*To whom all correspondence should be addressed
Tel : 051-320-1791, Fax : 051-320-1781
E-mail : hjshin@dongseo.ac.kr

이를 활용할 경우 토양의 이화학적 개선 및 환경오염 문제 해결을 기대 할 수 있다[1,2,12,15]. 그러나 악취와 오수 및 파리 발생 등 위생, 미관상이유로 전통적 퇴비화 마저 감소 되어 가고 있으며 화학비료와 농약의 사용이 남발되어 토양의 산성화 및 황폐화가 급속도로 진행되고 있다[7,8]. 또한 종래 퇴비화의 문제점으로 오랜 기간이 걸리는 것과 중금속 및 염의 집적문제, 그리고 병원성 미생물에 대한 안정성 문제를 들 수 있다[17,18]. 이러한 문제점의 해결방안으로 선진국에서 시행되고 있는 퇴비화 시스템의 국산화개발 및 활용과 높은 질의 안정한 퇴비 생산에 관한 연구가 필요 되어진다.

퇴비화의 주된 공정은 미생물처리 공정으로 주로 자연에 존재하는 혼합균주를 그대로 활용하였다. 여러 종류의 혼합균주에서는 종종 기질경쟁과 우점종에 의한 다른 미생물들의 성장저해 현상 등이 관찰되어지곤 한다[9,10]. 그러나 Russell et al. [11] 등은 EDTA를 유일 탄소원으로 이용할 수 있는 14종 균주를 분리 동정하고 이를 이용하여 Metal-EDTA 생분해에 관한 연구를 보고하였다. 이들 14종은 *Methylobacterium*, *Variovorax*, *Enterobacter*, *Aureobacterium*, *Bacillus*속으로 이들 혼합 균주에 의해 철>구리>코발트>니켈>카드뮴의 순서로 제거됨을 보여주고 있다[11].

본 연구에서는 여러 종류의 호열성, 호기성 간균(*Bacillus* genus)군, 중금속leaching 미생물군(*Thiobacillus*, *T. ferrooxidans*), 그리고 여러 가지 난분해성 물질을 분해하는 미생물군 (*Pseudomonas* genus)을 활용하여 분해 조건을 연구하고 이를 이용하여 축산폐기물의 퇴비화에 미치는 효과를 연구하였다.

재료 및 방법

실험재료

김해시 축산농가에서 각종 축산폐기물을 직접 채취하였다. 채취한 시료의 일부로 성분분석을 시도하고 나머지는 퇴비화를 위해 톱밥과 혼합하였다.

미생물

Bacillus subtilis, *Thiobacillus*, *T. ferrooxidans*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens*을 사용하기 전 냉동에서 꺼내어 LB media에서 18시간 정도 활성화시킨 후 농축하여 minimum salt media와 축산 폐기물에서 24시간 적응시켰다. 이를 퇴비화 분해 미생물군으로

첨가하여 퇴비화에 활용하였다.

퇴비화 방식

1차 발효는 김해시 축산농가의 퇴비더미에서 이루어 졌으며 숙성을 위한 2차 발효는 실험실에서 퇴비화 기간이 비교적 짧고 충분한 산소가 공급될 수 있어 악취를 방지할 수 있는 회전 드럼형 반응조와 수동적 송풍식 반응조를 활용하였다[4,13]. 회전 드럼형 반응조는 축산 폐기물 처리 시스템 개발을 위하여 삼환분체기계에서 실험실 모형으로 제작하였다. 약 8 kg의 퇴비를 발효시킬 수 있는 원통형 실린더모양의 발효통이 회전하기 쉬운 옆면으로 위치하고 모터가 옆에 부착되어 자동 회전에 의해 교반됨과 동시에 작은 공기주입구를 옆면에 내어 air pump를 부착하였고 다른 반대편 옆면으로 공기가 빠져나가도록 제작되었다. 또한 교반없이 6-8 Kg을 발효시킬 수 있는 실험실용 반응조에 air pump에 연결된 작은 고무관을 밑면에 도입하여 퇴비화 방식 및 조건의 최적화를 실험 관찰하였다.

탄소-질소 비 (C/N)

최적 C/N 비로 25:1-30:1을 초기 조건으로 맞추어 실험 관찰하였다. 탄소와 질소의 양은 원소분석기(Elemental Analyzer, Vario EL, Haeraus)에 의해 분석되었으며 탄소량을 질소량으로 나눈 값으로 설정하였다. 즉 C/N비 25는 탄소가 질소에 비해 25배가 많음을 뜻한다.

수분함량

퇴비화의 수분함량은 40-65%로 하고 최적으로 50-60%을 유지하기 위하여 수분 조절재로 톱밥을 사용하였다. 수분함량을 측정하기 위해 80℃ 오븐에서 24시간 시료를 건조시킨 후 무게손실을 측정하여 결정하거나 수분측정기(Denver Instrument)를 사용하였다.

pH

가능한 범위는 5.5-9이나 최적상태인 6.5-8.5을 유지하고자 하였다. pH meter를 활용하거나 간단하게 리트머스 시험지를 이용하여 pH를 측정하였다.

퇴비의 안전성 분석

퇴비의 병원균 안전성을 검사하기 위하여 살모넬라균과

대장균을 검사하였다. 살모넬라균의 존재유무는 *Salmonella* 와 *Shigella* 분리용 agar (SS agar, Difco회사) plate에서 대장균은 Eosin Methylene Blue (EMB, Difco회사) agar plate에서 24시간 37°C에서 키웠을 때 생성되는 colony를 확인하여 분석하였다. 퇴비시료를 날짜별로 배양하여 고온에서 내성을 가지는 균주가 있는지를 확인하여 퇴비활용에 있어서 안전성을 검사하였다.

퇴비 성분 분석

생산된 퇴비는 성분분석으로 질소, 인산, 칼륨 외에 중금속 등을 분석하였다. 분석 후 이를 시비하여 토양 및 식물의 생장에 대한 영향을 관찰하였다. 퇴비의 성분분석은 원소분석기(Elemental Analyzer, Vario EL, Haeraus)로 측정하였으며 중금속은 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES, TJA)로 분석하였다.

퇴비의 부숙도 판정

퇴비의 부숙도 판정은 온도, pH, C/N비, 비닐주머니법 외에 다음과 같은 방법으로 수행하였다.

디페닐아민법: 디페닐아민 일정양(약 50 mg/L)에 각 퇴비의 추출액을 넣어 색깔을 관찰하였다[5,14].

환원당 비율에 의한 판정법: Fechling 용액-황산구리의 Rochelle 염을 함유하는 알칼리용액 속에서 환원당을 가열하면 수산화구리는 환원되어 아산화구리가 생성되며 당은 산화되어 많은 알칼리 분해산물을 생성한다. 여기에 과잉의 KI를 첨가하여 I₂를 생성하게 하며 티오황산 나트륨 표준용액으로 녹말 지시약과 함께 적정하여 환원당의 함유량을 분석하였다[5].

CEC법: Harada와 Inoko의 분석 방법에 의해 양이온 치환용량을 측정하였다[3].

지렁이 이용법: 컵에 가볍게 부순 퇴비를 1/2~1/3정도 넣고 그위에 지렁이를 풀어 놓고 행동을 관찰하였다.

발아 시험법: 풍건한 퇴비 5 g을 200 ml의 비커에 넣고 60°C의 온수 100 ml를 가하여 3시간 동안 방치하였다. 거즈로 여과하여 여과지 2장을 간 페트리디쉬에 추출액 10 ml을 넣어 그위에 종자 25립을 뿌리고 발아상황을 관찰하였다[5].

유식물 시험법: 풍건세토 350 g에 퇴비 150 g를 혼합하여 폭(내경)11.3cm, 높이6.5 cm의 작은 화분에 충전하였다. 이 밖에 토양 500 g만을 충전한 화분을 준비하였다. 수분

조절 후 종자를 각 화분마다 20립을 뿌리고 생육상황을 조사하여 종자에 대한 퇴비시용의 영향으로부터 퇴비의 속도 판정을 하였다[5].

결과 및 고찰

시료의 채취 및 성상 분석

김해 근처의 축산농가에서 배출되는 축산 폐기물을 축분, 돈분, 계분 별로 채취하여 미량원소 분석기로 탄소, 질소 및 황을 분석하였다. 탄소 함유량을 질소 함유량으로 나누어 C/N비를 구하였으며 수분 조정재로 사용된 톱밥의 성분도 분석하였다. 수분 함유율은 80°C오븐에서 24시간 시료를 건조시킨 후 무게를 재어 측정전과 측정후의 무게 차이로 건조한 수분량을 계산하거나 수분측정기로 측정하였다. 수분조정재, 톱밥을 혼합한 후 수분 함유율이 50~70%가 되도록 조정하였으며 C/N비는 초기 35~40정도로 시작하였다. pH는 추출물을 pH meter나 리트머스 종이로 측정하여 최적화 하였다. 또한 각종 축산 폐기물의 중금속 분석도 퇴비화 전후로 ICP-AES을 이용하여 분석하였다 (Table 2).

퇴비화 방법

퇴비화의 방법을 여러 측면에서 실험 관찰하였다. 산소 공급을 air pump로 해 준 반응조와 산소공급을 하지 않은 반응조를 비교하여 보았을 때 산소공급이 없는 반응조가 퇴비화에 따른 온도 상승이 조금 더 나왔으나 그다지 큰 차이를 보여주지 않았다(Fig. 1). 함유율이 75%이상일 때 퇴비화 반응기에서 악취가 나기 시작하나 함유율이 70%미만인 반응조에서는 악취가 나지 않았다. 이는 함유율이 악취 발생과 중요한 상관관계가 있음을 시사하며 함유율을 조정함으로 악취발생을 예방할 수 있을 것으로 사료된다. 퇴비화 과정 중에서 자동적으로 뒤집기가 되고 산소공급이 되는 회전식 반응조와 수동으로 뒤집기를 하고 산소공급이 되는 반응조 및 산소공급이 안 되는 반응조를 비교하였다. 온도상승을 측정하였을 때 수동적으로 뒤집기를 하는 반응조의 온도가 자동 회전식 반응조보다 온도 상승이 빠르며 높았다. 그러나 산소공급 유무에는 크게 차이를 보이지 않았다. 이 결과는 온도 상승이 되는 기간에는 뒤집기를 하지 않는 것이 실험실용 반응조의 퇴비화 과정에서 온도상

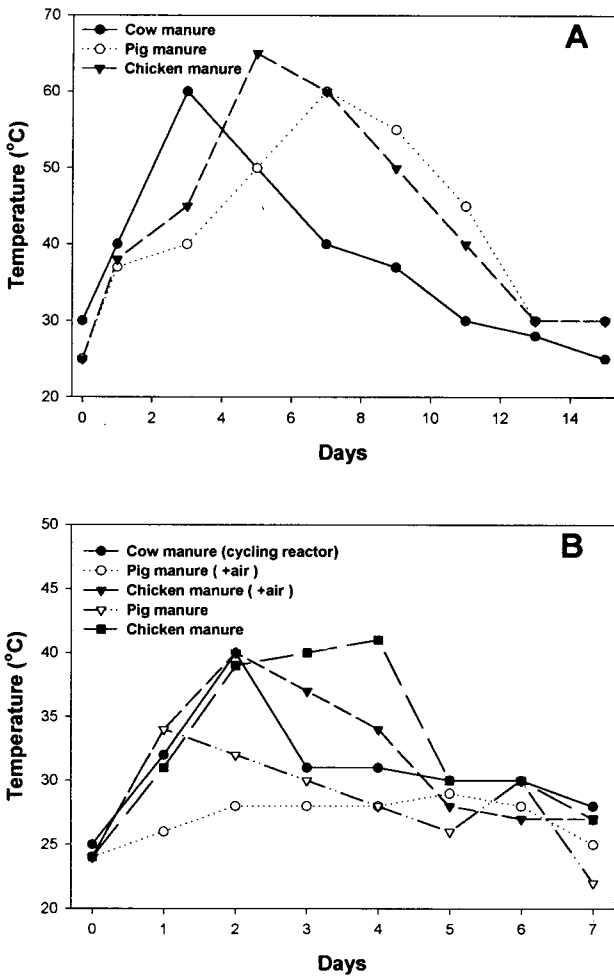


Fig. 1. Change of temperature during composting. First fermentation was done in a large pile of manure composting at Kimhae farm yard (A) and second fermentation was done in a small pile of manure composting at the laboratory with or without air flow by a pump (B).

승에 더욱 큰 효과가 있음을 보여주었다(Fig. 1). 그러나, 실제 현장에서의 상황에 대해 적용하기는 더 많은 연구가 필요 되어진다. 또한 실험실용 작은 반응조에서는 1차 발효에서 보여주는 퇴비화의 온도처럼 고온(60~80°C)으로 오르지 않음을 보여주며 퇴비단의 크기 또한 퇴비화의 중요한 요인임을 시사한다. 그러므로 실험실에서는 숙성을 위한 2차 발효를 주로 실행하였으며 1차 발효는 김해 축산농가 부근의 퇴비 더미에서 이루어졌다.

퇴비화

실험실의 혼합균주를 실험 방법에 적힌 대로 준비하여

합수율과 C/N비를 조정한 시료에 혼합한 후 퇴비화 과정을 온도측정으로 분석하였다. 1차 발효는 김해 근처 퇴비 발생지에서 이루어졌으며 2차 발효는 실험실내 반응조에서 이루어졌다. 계분의 온도상승이 제일 높았으며 공기주입의 유무에 큰 차이를 보여주지 않았다(Fig. 1). 1차 발효는 9~10일정도 걸렸으며 더미 형성 후 2~3일 후 60~75°C의 온도로 4~5일간 유지되었다. 그리고 2차 발효는 5~7일정도 걸렸으며 40~45°C 온도정도로 올라갔다가 다시 상온으로 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다.

퇴비의 안전성

양질의 퇴비가 만들어져도 퇴비화 과정에서 인간, 동물 또는 식물에 해를 주거나 줄 수 있는 병원균이 있다면 활용 할 수가 없다. 미생물간의 경쟁과 퇴비화에 의해 유발되는 고온으로 병원균이 크게 감소 될 수 있으나 일부는 내성이 생기거나 퇴비더미의 차가운 부분에서 생존 할 수 있어 병의 유발 위험이 있으므로 이러한 병원균에 대한 안전도 평가를 수행하여야 한다. 살모넬라는 50°C에서 5일 동안 배양 시 사멸되나 대장균의 경우는 사멸되지 않았으며 60°C로 4~5일 배양했을 때 살모넬라와 대장균 모두 사멸되었다. SS and EMB agar plate에 의한 퇴비의 살모넬라와 대장균 검사에서 퇴비더미 온도가 상승하는 4~5일 후에 이들 병원균에 대한 안전성을 나타내고 있다(Fig. 2).

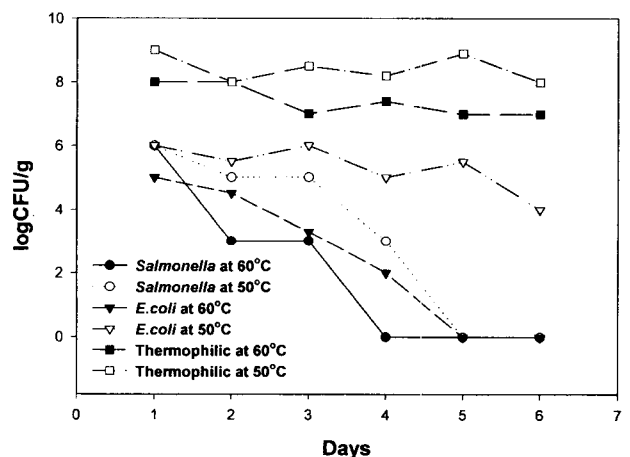


Fig. 2. Salmonella and E. coli detection test by SS and EMB agar plate. Experiments were done at 50°C or 60°C as described in Materials and Methods.

퇴비의 성분분석

1, 2차 발효를 거친 퇴비의 성분을 분석하였다(Table 1). C/N비가 우분 28, 돈분 28, 계분 18를 나타내고 있고 인산, 칼리 및 질소의 함량이 화학비료를 대체해도 좋을 것으로 보여 주고 있다. 이는 퇴비의 기준 C/N을 30으로 볼 때 종래 후숙기간이 1~2개월 걸린 것과 비교하여 2차 발효를 통해 약 1주일 정도로 퇴비화의 단축 가능성을 시사한다. 중금속 오염이 종래 퇴비의 사용에서 걸림돌이 되고 있다. 이 시스템에서는 퇴비화 전후 중금속의 양을 측정하였을 때 As는 모든 퇴비에서, Cr은 돈분, pb은 축분, Hg은 계분, 그리고 Cu는 축분 퇴비에서 규제값 이하가 됨을 보여주고 있다(Table 2). 그러나 카드뮴의 경우 ICP-AES로 분석하는 데 어려움이 있으므로 정확한 분석을 위해 다른 방법이 필요되어지며 금속오염감소에 대한 정확한 기작과 잔류오염에 대해서는 앞으로의 연구로 남아있다.

퇴비의 부속도 판정

퇴비의 부속도를 판정하기 위해 여러 종류의 이화학적

및 생물 이용법을 활용하였다(Table 3). 각 방법들에 있어서 보완하여야 할 사항들과 조건들이 있으므로 각각으로는 완전히 판정을 내릴 수는 없지만 종합적으로 퇴비의 부속이 완성되어 사용 가능성을 보여주고 있다. 그 중에서 발아시험법과 유식물 시험법이 가장 확실한 종합적 판정자료로 퇴비의 액을 추출하여 Petri Dish에서 발아를 확인하여 판정하였다(Fig. 3A). 퇴비중 독성물질이 존재 시 발아가 되지 않았으므로 퇴비의 독성물질이 제거되었고 부속되었음을 시사하고 있다. 이는 지렁이 실험법으로도 같은 결과를 보여주었다. 또한 퇴비를 화분에 시비하고 종자를 심어 식물이 자라는 것을 관찰하여 비교적 정확한 퇴비의 효율성과 유용성을 판정할 수 있다(Fig. 3B). 돈분의 경우 축분이나 계분에 비해 발아의 상태와 식물의 생장이 떨어져 돈분 퇴비화에 더욱 많은 연구가 필요되어 진다. 그러나 축분이나 계분의 경우 양호하며 퇴비로의 활용이 가능성을 보여주고 있으며 토양만 사용한 비교 화분보다 생육이 더 빠르고 양호함을 보여 주고 있다. 이러한 결과는 축산 폐기물 처리 시스템 국산화개발의 주된 공정인 미생물처리 공정의

Table 1. Element analysis of compost

Compost	Element (%)							
	N	C	S	H	C/N	P*	K*	N*
Cow manure compost	0.94±0.013	25.65±4.68	1.20±0.70	5.45±0.75	27.78±3.59	2.06	2.19	2.10
Pig manure compost	0.86±0.12	23.79±2.17	1.27±0.56	5.33±0.69	27.68±1.35	4.31	2.23	2.86
Chicken manure compost	0.44±0.06	8.07±1.96	0.39±0.16	1.58±0.67	18.43±4.46	5.13	2.68	2.89

*ppm

Table 2. Metal analysis of compost

Composts		Metal (ppm)							
		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
Cow manure	before composting	2.32	0.42	5.64	45.83	7.68	3.54	326.36	5.70
	after composting	0.62	ND	2.59	14.48	0.65	2.38	86.58	0.23
Pig manure	before composting	1.11	ND	1.94	116.17	19.06	9.28	266.90	6.13
	after composting	0.31	ND	1.16	37.17	1.52	6.17	72.06	0.25
Chicken manure	before composting	2.54	ND	14.83	93.84	5.76	5.33	249.52	2.30
	after composting	0.68	ND	8.90	30.03	0.46	3.57	67.37	0.09
Regulation values		1.5	0.3	1.5	30.0	-	3	-	0.05

ND: not detected

Regulation values are the values suggested in Environmental Protection Agency.

Table 3. Maturity tests of compost

Tests	Compost		
	Cow manure compost	Chicken manure compost	Pig manure compost
Diphenylamine	white	-	-
Temperature	25.0℃	25.0℃	25.0℃
Physical/Chemical Tests			
pH	6~8	7.5	7~8
Vinyl sac test	no expansion	no expansion	no expansion
C/N	26.7	17.7	27.7
Reducing carbohydrate test	30	26	24
CEC(%)	60.0	57.5	61.7
Biological Tests			
Earthwarm test	move into compost	move into compost	move into compost
Petri dish spore test	spore	spore	spore
Pot-planting test	growth	growth	growth

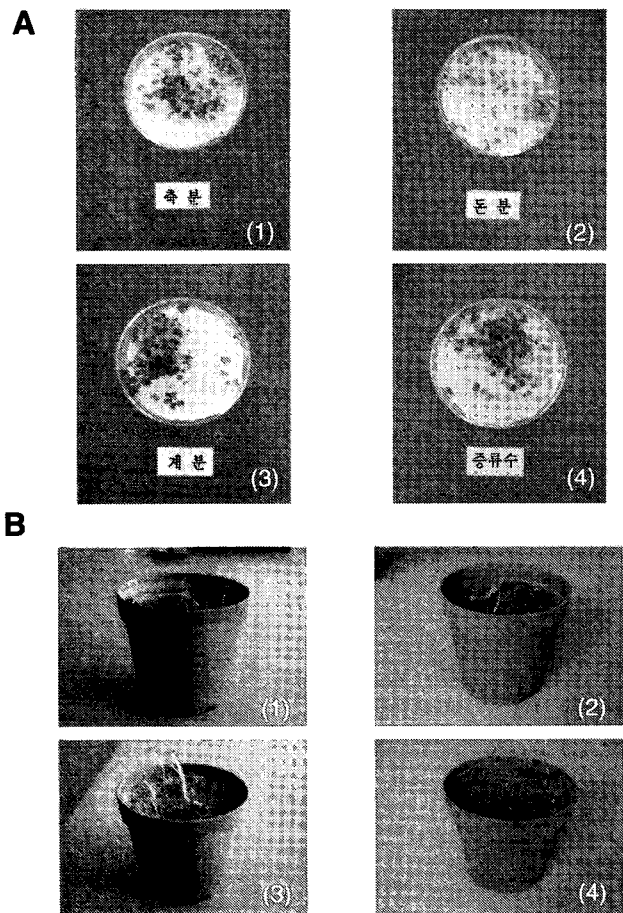


Fig. 3. Maturity tests of compost. Each maturity test was done as described in Materials and Methods. Petri dish spore test (A) and pot planting test (B); (1) cow manure, (2) pig manure, (3) chicken manure and (4) distilled water or soil as control

발전에 기여할 수 있을 것이라고 사료된다.

요 약

여러 종류의 호열성, 호기성 간균(*Bacillus* genus)군, 중금속 leaching 미생물군(*Thiobacillus*, *T. ferrooxidans*), 그리고 여러 가지 난분해성 물질을 분해하는 미생물군 (*Pseudomonas* genus)을 활용하여 퇴비화의 조건을 연구하고 이를 이용하여 축산폐기물의 퇴비화에 미치는 효과를 연구하였다. 35~40의 C/N비, 50~65%의 함수율 범위에서 실험실용 회전드럼형 반응조에서의 퇴비화는 온도상승이 수동식 반응조보다 낮으며 느리게 일어났다. 퇴비화 후 성분분석에서 높은 수준의 광물질을 함유하는 것으로 화학비료 대체효과를 보여주며 퇴비화 전후 중금속 분석에서 As는 모든 퇴비에서, Cr은 돈분, pb은 축분, Hg은 계분, 그리고 Cu는 축분퇴비에서 규제값 이하를 보여주었다. 여러 가지 부속도 분석에서 퇴비의 숙성도를 나타내었다. SS 또는 EMB agar plate을 이용한 살모넬라균과 대장균의 검사에서 병원균에 대한 퇴비의 안전성이 확인되었다. 이러한 결과는 금속 및 다른 난분해성 물질을 생분해하는 미생물을 투입하여 퇴비의 중금속감소와 퇴비화 속도증가의 가능성을 시사한다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 중소기업청, 부산시 및 동서대학교 산학연 컨소시엄과제 연구비 지원으로 수행되었으며 이에

감사드립니다. 또한 삼환분체기계에서 회전 드럼형 반응조의 축소 모형을 제작하여 주심에 감사드립니다. 퇴비의 성분 분석 및 중금속 분석은 기초과학지원센터에서 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Bertoldi M., G. Vallini, A. Pera and F. Zucconi. 1985. Technological aspects of composting including modelling and microbiology, pp. 27-41, In J. K. R. Gasser (eds), *Composting of agricultural and other wastes*, Elsevier Applied Science, London.
2. Diaz L. F., G. M. Savage and C. G. Golueke. 1982. Resource Recovery from Municipal Solid Wasters, Final Processing. CRC Press, Inc, Boca Raton, FL. Vol 11.
3. Harada, Y. and A. Inoko. 1980. The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 26, 127-134.
4. Haug R. T. 1980. Compost Engineering, Principles and Practices. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.
5. Inbar Y, Y. Chen, Y. Hadar and H. A. J. Hoitink. 1990. New approaches to compost maturity. *BioCycle* 31, 64-69.
6. Jimenez E. I. and V. P. Garcia 1989. Evaluation of city refuse compost maturity : a review. *Biol. Wastes* 27, 115-142.
7. Kissel J. C., C. L. Henry and R. B. Harrison 1992. Potential emissions of volatile and odorous organic compounds from municipal solid waste composting facilities, *Biomass Biotechnology* 3, 181-194.
8. Miller F. C., E. R. Harper, B. J. Macauley and A. Gulliver 1990. Composting based on moderately thermophilic and aerobic conditions for the production of commercial mushroom growing compost. *Aust. J. Exp. Agric.* 30, 287-296.
9. Miller F. C. and B. J. Macauley 1988. Odors arising from mushroom composting: a review. *Aust. J. Exp. Agric.* 289, 553-560.
10. Nakasaki K., Y. Hakano, T. Akiyama, M. Shoda and H. Kubota 1987. Oxygen diffusion and microbial activity in the composting of dehydrated sewage sludge cakes. *J. Ferment. Technol.* 65, 43-48.
11. Russell A., P. Thomas, L. Kirsten, M. Bailey and L. E. Macaskie. 1998. Biodegradation of Metal-EDTA complexes by an enriched microbial population. *Appl. Environ. Microbiol.* 64(4), 1319.
12. Stevenson F. 1986. Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients, John Wiley & Sons. 29, New York.
13. SWCC. 1991. Compost Facility Planning Guide, 1st ed. Solid Waste Composting Council, Arlington, VA.
14. Wang W. 1991. Literature review on higher plants for toxicity testing. *Water Air Soil Pollut.* 59, 381-400.
15. Watson T. 1991. Solid waste composting gears up in Minesota. *Resour. Recycl.* 10, 81-89.
16. 농림수산통계. 1992. 농림수산부.
17. 서종혁. 1992. 한국 농업에서의 환경문제와 정책과제, *농촌경제* 15(4), 45-67.
18. 이주삼, 정재춘, 김남천. 1995. 가정 및 축산폐기물의 퇴비화, *동화기술*.

(Received February 1, 2002; Accepted March 18, 2002)