폐기물자원화
제5권 제2호, 17~28 1997

공단폐수슬러지의 퇴비화과정 중 물질변환

이홍재, 조주식*, 이성태, 허종수

경상대학교 농화학과
*경상대학교 공동실험실습관

Changes of the Substances during Composting of Industrial Wastewater Sludge

Hong-Jae Lee, Ju-Sik Cho*, Sung-Tae Lee, Jong-Su Heo

Dept. of Agricultural Chemistry, *Central Laboratory Gyeongsang National University, Chin Ju 660-701, Korea

ABSTRACT

To study the possibility of agricultural utilization of industrial wastewater sludge, the changes of the substances, such as temperature, pH, inorganic and organic matter, the form of nitrogen, fatty acid and the population number of microorganisms during composting periods were investigated.

Temperature and CO_2 generation were the highest in the second day of composting peroids, and then were gradually fallen. And they were similar to room temperature after the sixth day of composting periods.

C/N ratio was a little increased as time went by. pH value was not changed in early composting periods and then pH had been gradually decreased since it was rapidly increased. It was in the range of 8.7~8.8 in late composting periods. The contents of P_2O_5, K_2O, CaO, MgO and Fe were a little increased and that of SO_4^{2-} was increased with 62~67% in late in comparing with early composting periods. The contents of ether extracted materials, water soluble polysaccharides, hemicellulose and cellulose were decreased but that of resins and lignin were not changed during composting periods. The contents of total and organic nitrogen were decreased but that of inorganic nitrogen was increased during composting periods. The population number of microorganism

during composting periods was too much changed according to the kinds of bulking agents and microorganisms, and the composting periods.

Key words : composting, sludge, C/N ratios, organic matter, nitrogen, fatty acid

초 록

공단폐수슬러지를 퇴비화하여 농지이용가능성을 조사하기 위하여 수분조절제로서 톱밥 또는 왕겨를 첨가하여 혼합한 다음 소형퇴비화조에서 퇴비화과정중 온도, pH, 무기성분, 유기물 및 질소의 형태, 지방산, 미생물종 및 개체수 변화 등의 물질변화를 조사하였다.

공단폐수슬러지에 수분조절제로 톱밥 및 왕겨를 첨가하였을 경우 공히 퇴비화과정중 온도 및 CO_2발생량은 퇴비화 2일에 최고에 달하여 그후 서서히 감소하여 퇴비화 6일 후에는 실온과 비슷하였다. C/N율은 퇴비화가 진행됨에 따라 약간 증가하는 경향이었다. 그리고 pH는 퇴비화 초기에는 변화가 없었으나 그후 급격히 증가한 다음 서서히 감소하여 퇴비화 후기 pH는 약 8.7~8.8범위였다. 공단폐수슬러지에 수분조절제로 톱밥 및 왕겨를 첨가 하였을 경우 공히 퇴비화과정중 P_2O_5, K_2O, CaO, MgO 및 Fe함량 약간 증가하였으며 SO_4함량은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 약 62~67% 증가되었다. 퇴비화과정중 ether추출물질, 수용성 polysaccharides, hemicellulose 및 cellulose는 감소하였고, resins 및 lignin은 큰 변화가 없었으며, 퇴비화과정중 총질소 및 유기태질소는 감소하였나 무기태질소는 증가하였다. 퇴비화과정중 총지방산은 감소하였으며, 미생물개체수는 수분조절제의 종류, 미생물의 종류 및 퇴비화 기간에 따라 변화가 심하였다.

핵심용어 : 퇴비화, 슬러지, C/N율, 유기물, 질소, 지방산, 미생물

1. 서 론

인구증가 및 산업화로 인한 폐기물 발생량은 매년 증가하여 1994년에 약 15만톤/일이 발생되었으며, 지정폐기물중 오니류, 합성수지류, 폐합성고무의 일부, 폐석회, 폐석고 및 동물성 잔재물 등이 일반폐기물로 전환분류됨에 따라 1994년에는 전년도에 비하여 약 84% 감소되었다. 사업장 일반폐기물중 폐·하수슬러지 등 오니류는 1992년 1,200톤/일으로 일반폐기물의 2.4%를 차지하고 있으며, 1994년에는 10,000톤/일로 12.5%로서 점차 오니류가 차지하는 비중이 높아지고 있으나 오니류 및 생활폐기물의 재활용율은 저조한 편이었다(환경백서, 19961; 환경처, 1986; 한국토양비료학회, 1994; 정인호, 1995)

폐기물의 현행 처리방법은 주로 매립, 소각 및 해양투기 등의 방법으로 처리되고 있으나, 매립처리는 지역이기주의 현상으로 매립지의 확보가 어려울 뿐만 아니라 침출수로 인한 토양 및 지하수의 오염이 큰 문제이며, 소각처리는 처리비용이 과다할 뿐만 아니라 대기오염 등을 유발시키며, 해양투기는 해양오염을 유발시키는 등 현행 폐기물처분방법은 2차, 3차의 환경오염을 유발시키는 등 여러가지 면에서 많은 문제점을 안고 있다(Tadahiro *et al.*, 1981; Jung *et al.*, 1986; 강인국, 1996). 이와 같은 문제점을

해결하는 방안으로 슬러지의 재활용에 관한 연구가 전세계적으로 활발하게 진행되고 있다. 일반적으로 슬러지를 퇴비화과정없이 농경지에 시용하면 유기성물질의 분해로 인한 암모니아의 과다 발생, 유기산 등 독성물질 생산, 호기성 분해시 토양산소의 고갈, 혐기성 분해시 악취 발생, 병원성미생물에 의한 농경지 오염, 높은 함수율로 인한 취급불편 뿐만 아니라 잡씨앗의 활성 등의 여러 가지 문제점이 있기 때문에 슬러지의 농경지 시용은 퇴비화과정이 필수적으로 수행되어져야 하는 것으로 알려져 있다(Tadahiro *et al.*, 1981; Chino *et al.*, 1983).

본 연구는 공단폐수슬러지를 퇴비화하여 농지이용가능성을 조사하기 위하여 공단폐수슬러지의 퇴비화과정중 온도, pH, 무기성분, 유기물 및 질소의 형태, 지방산, 미생물종 및 개체수 변화 등의 물질변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

공시 공단폐수슬러지는 경남 진주시 환경관리공단 폐수종말처리장의 슬러지를 사용하였으며, 슬러지에 첨가재료로 사용한 어분슬러지는 경남 사천시 (주)범해물산의 수산가공 폐수슬러지를 사용하였고, 수분조절제로 사용한 톱밥과 왕겨는 일반농가에서 구입하여 사용하였다.

공시 공단폐수슬러지, 어분슬러지, 톱밥, 왕겨 및 미생물접종제제의 이화학적 특성은 Table 1, 2 및 3에서 보는 바와 같다.

2.2 퇴비화조 제작 및 운전

본 실험에 사용한 퇴비화조는 두께 5 mm의 아크릴판으로서 30 L 용량(25 cm × 25 cm × 50 cm)이 되게 제작하였으며 보온을 위하여 외벽에 30 cm × 30 cm × 50 cm의 크기로 이중벽을 설치한 다음 이중벽 사이에 보온제로서 스치로폴을 충진시켜 퇴비화과정중 발생하는 열손실을 최대한 방지시켰다.

퇴비화조의 공기주입은 air compressor를 이용하여 공기를 주입시키되 공기중 먼지, CO_2 및 수분제거장치를 각각 설치하여 공기를 정화시킨 후 주입시켰다. 공기중 먼지를 제거시키기 위하여 먼지제거장치내에 증류수를 넣어 공기를 통과시켰으며 증류수를 통과한 공기는 CO_2제거장치내에 NaOH를 넣어 공기중 CO_2를 NaOH에 포집시켜 제거시킨 후 수분제거장치내의 silica gel을 통과시켜 공기중에 함유된 수분을 제거시켰다. 이러한 과정을 거쳐 정화된 공기를 퇴비화조내에 일정하게 주입시키기 위하여 퇴비

Table 1. Characteristics of the sludges, bulking agents and seeding materials used in the experiment

	pH (1:5)	Moisture	T-C	T-N	C/N ratio	Av.-P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	SO_4	Fe	Mn
		---(%)------				(%)--------(%)----------					- (mg/kg) -	
Industrial wastewater sludge	7.0	70.2	24.8	0.81	30.6	0.15	0.12	3.63	0.05	0.10	1,369	17
Fish sludge	7.2	80.9	46.4	5.26	8.82	6.46	0.74	0.37	0.05	0.10	490	6.7
Sawdust	-	-	50.2	0.11	456	-	-	-	-	-	-	-
Rice hull	-	-	45.3	0.21	216	-	-	-	-	-	-	-
Seeding materials	7.6	67.2	46.3	4.26	10.9	1.56	0.41	0.12	0.08	0.21	37	12

Table 2. Contents of organic matter and fatty acid in materials used in the experiment

	Organic matter (mg/100g)					
	Ether soluble materials	Resins	Water soluble polysaccharide	Hemi-cellulose	Cellulose	Lignin and unknown
Industrial wastewater sludge	1,020	3,120	450	16,881	13,600	12,160
Fish sludge	9,800	13,183	4,900	8,317	11,600	46,100

	Fatty acid (mg/100g)									
	$C_{14:0}$	$C_{16:0}$	$C_{16:1}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$	$C_{18:2}$	18:3	$C_{20:0}$	Un-known	Total
Industrial wastewater sludge	35.6	430	55.2	739	82.5	18.3	211	26.6	165	1,763
Fish sludge	990	4,130	103	1,020	228	210	84.5	88.5	2,192	9,406

Table 3. Microbial population in materials used in the experiment (CFU/g · Dry weight)

	Mesophilic			Thermophilic		
	Bacteria	Actino-mycetes	Fungi	Bacteria	Actino-mycetes	Fungi
Industrial wastewater sludge	2.7×10^8	3.3×10^5	3.5×10^5	$10^3 >$	7×10^3	9×10^2
Fish sludge	2.9×10^8	1.1×10^7	1.8×10^8	4.8×10^5	$10^3 >$	2.5×10^4
Seeding materials	2.0×10^{10}	5.0×10^8	3.5×10^8	1.9×10^8	3×10^3	2.4×10^7

화조 하부에 아크릴아마이드판으로 5 cm의 공간을 확보하였으며 아크릴아마이드판에는 직경 1 mm의 구멍을 뚫고 다시 공간내에는 직경 10 mm PVC파이프 약 1 m를 설치하여 일정한 공기압을 유지시켰다. 그리고 퇴비화과정중 퇴비화조에서 발생하는 CO_2의 분석을 위하여 퇴비화조 상부에는 아크릴아마이드판으로 밀폐시켜 퇴비화조로 부터 발생하는 배출가스를 직경 5 mm관을 통과하도록 하여 배출가스중 CO_2는 CO_2포집기내의 NaOH에 포집되도록 하였다.

포집된 CO_2의 분석은 NaOH에 흡수된 CO_2를 $BaCl_2$로 침전시킨 다음 남은 NaOH를 phenolphthalein지시약을 사용하여 HCl로 역적정하여 CO_2발생량을 구하였다. 그리고 퇴비화과정중 퇴비화조내의 온도변화는 퇴비화조 내부의 3개 지점에 수은온도계를 설치하여 조사하였다.

2. 3 분석방법

공시 공단폐수슬러지, 톱밥, 왕겨, 미생물접종제제 및 혼합퇴비재료의 일반성분분석은 토양화학분석법(1989) 및 비료분석법(1985)에 준하였다.

유기물의 분별정량은 Nakasaki 등(1994)

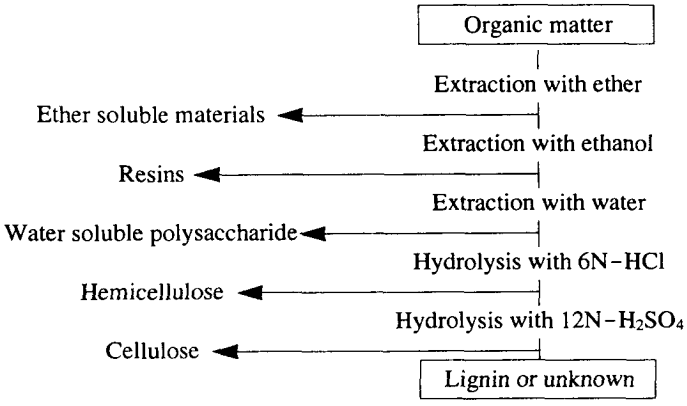

Fig. 1. Analytical method for fractionation organic matter.

및 Inoko 등(1979)이 제시한 Fig. 1과 같은 방법으로 분석하였다.

질소의 분별정량은 시료 3 g을 KCl용액으로 침출시킨 후 침출용액으로 무기태질소를 정량하였으며, 그 잔사는 유기태질소의 분별정량을 위하여 건조시켜 역류냉각 flask에 취하고 여기에 12N-HCl을 일정량 주입하여 48시간 실온에 방치한 후 증류수를 가해 최종 HCl의 농도가 6N이 되도록 조정한 다음 95°C 수욕상에서 9시간 가수분해시켜 여액 일정량을 취하여 amino sugar-N를 정량하였다. Amino acid-N의 정량은 amino sugar-N정량용 여액중 일정량에 분해촉진제 ($HgO+K_2SO_4+CuSO_4$)를 넣은 다음 H_2SO_4로 가수분해시켜 질소를 정량한 다음 가수분해액의 전질소에서 amino sugar-N를 제외한 나머지를 amino acid-N으로 환산하였다. 미동정태질소의 정량은 amino sugar-N의 가수분해 후 남은 잔사를 건조시켜 습식분해액 ($HClO_4 : H_2SO_4 : H_2O=2 : 2 : 1$)으로 가수분해시켜 Kjeldahl 증류장치에서 정량하였다.

지방산 조성은 식품분석법(이만정, 1994)에 준하여 분석하였으며, 미생물의 계수는 생시료 10 g을 1% NaCl이 함유된 멸균 식염수에 현탁시킨 다음 1시간 진탕하여 그 여액을 Trypticase-soy, Malt-yeast extract 및 Potato-dextrose배지에 각각 Bacteria, Actinomycetes 및 Fungi를 배양하여 희석평판법으로 구하였다. 중온미생물은 30°C, 고온미생물은 50°C에서 각각 배양하였으며, Bacteria는 중온 및 고온균 모두 2일간 배양하였고 actinomycetes 및 fungi는 중온 및 고온균 모두 7일간 배양하여 생성된 colony수를 각각 조사하였다. 육안으로 각 미생물의 colony의 계수가 어려울 경우에는 현미경을 이용하여 형태 및 색깔 등을 관찰 판단하여 bacteria, actinomycetes 및 fungi로 구분하여 계수하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도, CO_2, pH 및 C/N율 변화

공단폐수슬러지의 퇴비화과정중 온도, CO_2발생량, pH 및 C/N율의 변화를 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다.

퇴비화과정중 온도변화는 수분조절제로 톱밥을 처리하였을 경우 퇴비화 2일까지 급격히 상승하여 최고온도인 73°C에 도달하였고 그후 서서히 감소하여 퇴비화 6일후 28°C이었다. 수분조절제로 왕겨처리시에는 온도변화 경향은 톱밥

처리와 비슷한 경향이었으나 최고온도가 78°C로서 온도 감소단계에서는 더 급격히 감소하였다. 이와 같은 결과는 수분조절제인 톱밥이나 왕겨의 물리성의 차이인 것으로 사료된다. 퇴비화과정중 온도의 상승은 슬러지의 농지시용으로 문제가 되는 병원균을 사멸시킬 수 있고 유기물을 안정화시키는 등 여러가지면에서 가장 중요한 중요한 요인이며, 최적퇴비화온도는 50~60°C인 것으로 알려져 있다(Finstein *et al.*, 1982).

퇴비화과정중 CO_2발생량은 수분조절제로 톱밥 및 왕겨처리 공히 퇴비화 2일 후 각각 약 278 및 238 mg/100g · Hrs로 최고에 달했으며 그후부터 점점 감소하는 경향이었고 톱밥처리에서 왕겨처리에 비하여 CO_2 발생량이 높았다.

퇴비화과정중 pH는 수분조절제로 톱밥 또는 왕겨를 사용한 모든 처리구에서 퇴비화 초기에는 pH변화가 없었으나 그후 급격히 증가한 다음 서서히 감소하여 퇴비화 후기 pH는 약 8.7~8.8범위였다. 전반적으로 퇴비화 초기에 pH가 가장 낮았으며, 이와 같이 초기에 pH가 낮은 것은 초기에 유기산 또는 CO_2발생으로 인하여 pH가 낮은 것으로 생각되었으며, 그후 pH가 증가한 것은 NH_3가 생성되었기 때문인 것으로 생각되었다(Tadahiro *et al.*, 1981; Back *et al.*, 1994).

퇴비화과정중 C/N율 변화는 원공단폐수슬러지의 C/N율이 약 31이었으며, 이들 공단폐수슬러지에 톱밥 또는 왕겨를 혼합하였을 때의 C/N율이 각각 약 29 및 31이었다. 퇴비화과정중 C/N율은 모든 처리에 있어서 전반적으로 퇴비화 시일이 경과함에 따라 약간 증가하는 경향이었다. 퇴비화과정중 C/N율의 변화는 원퇴비화재료중의 유기물의 성상 및 질소의 휘산과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 정 등(1985) 및 이 등(1987)은 퇴비화과정중 C/N율은 시일이 경과할수록 점점 낮아진다고 하였으나, 본 실험에서는 약간 증가하는 경향이었다. 따라서 퇴비화과정중 C/N율의 변화는 퇴비화공법, 슬러지의 종류 및 수분조절제의 종류에 따라 다른 것으로 생각되었다.

Table 4. Changes of temperature, CO_2 generation, pH and C/N ratios composting materials during composting period

Bulking agents	Composting period (days)						
	0	1	2	3	4	5	6
			Temperature (°C)				
Sawdust	25.7	55.0	73.1	61.1	45.0	31.4	28.3
Rice hull	33.3	60.0	78.2	52.4	36.1	26.5	23.7
			CO_2 (mg/100g · hrs)				
Sawdust	108	195	278	123	90.4	46.3	62.5
Rice hull	70.4	158	238	99.6	65.0	50.8	46.2
			pH				
Sawdust	6.4	6.2	7.5	9.1	9.0	8.8	8.8
Rice hull	6.7	6.9	8.3	8.7	8.6	9.0	8.7
			C/N ratio				
Sawdust	32.7	35.1	38.4	35.8	32.1	32.7	36.4
Rice hull	28.5	30.4	32.2	27.3	30.0	26.9	29.3

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding

Table 5. Inorganic elements contents in composting materials during composting period

Elements	Composting period (days)						
	0	1	2	3	4	5	6
			Sawdust				
P_2O_5 (%)	0.45	0.53	0.54	0.48	0.42	0.50	0.55
SO_4 (%)	0.09	0.09	0.11	0.12	0.12	0.14	0.15
K_2O (%)	0.20	0.18	0.19	0.18	0.21	0.22	0.22
CaO (%)	2.94	2.93	3.01	2.82	2.73	2.96	3.06
MgO (%)	0.09	0.07	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09
Fe (%)	0.20	0.18	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17
Mn (mg/kg)	43.1	39.9	24.3	24.4	20.1	19.8	14.1
			Rice hull				
P_2O_5 (%)	0.42	0.46	0.52	0.61	0.53	0.59	0.55
SO_4 (%)	0.13	0.11	0.17	0.17	0.19	0.19	0.21
K_2O (%)	0.39	0.36	0.37	0.37	0.37	0.36	0.38
CaO (%)	3.00	3.01	2.86	2.85	2.73	2.96	3.06
MgO (%)	0.07	0.07	0.09	0.07	0.07	0.08	0.08
Fe (%)	0.21	0.19	0.19	0.22	0.21	0.20	0.22
Mn (mg/kg)	74.1	62.1	45.5	45.5	40.5	42.5	42.9

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding

3. 2 무기성분의 변화

공단폐수슬러지 퇴비화과정중 무기성분의 변화를 조사한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 수분조절제의 종류에 따라서 무기성분함량은 차이가 있었으며 퇴비화 초기에 비하여 후기에 수분조절제로 톱밥 및 왕겨처리시 P_2O_5, K_2O, CaO, MgO 및 Fe 함량은 거의 비슷하거나 약간 증가하였고, SO_4함량은 약 62~67% 증가하였으나 Mn함량은 42~67%감소하였다. 이와 같이 퇴비화과정중 무기성분함량이 퇴비화 초기에 비하여 후기에 대체적으로 증가한 것은 퇴비화과정중 유기물이 분해 소실됨으로써 상대적으로 무기성분함량이 증가한 것으로 생각되었다.

3. 3 유기물 형태변화

퇴비화과정중 퇴비중의 유기물질을 분별정량한 결과는 Table 6에서 보는 바와 같이 유기물총량은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 약 9~11% 감소하였으며, 유기물질 중 ether추출물질은 약 35~45%, resins는 약 22~29%, 수용성 polysaccharide는 약 20~32%, hemicellulose는 약 21~29% 감소하였다. 그러나 cellulose 및 lignin은 퇴비화과정중 별 변화가 없었다. 서 등(1995)은 가정쓰레기 퇴비화과정중 유기물 및 hemicellulose함량은 감소하고 cellulose 및 lignin은 증가한다고 하였으며, Nakasaki 등(1994)은 하수슬러지의 퇴비화과정중 cellulose 및 hemicellulose는 감소하고 lignin은 별 변화가 없었다고 하였으나 본 실험에서는 유기물질 및 hemicellulose는 감소하였고 cellulose 및 lignin은 별 변화가 없었다. 이와 같은 결과로 미루어 보아 퇴비화과정중 퇴비화재료의 종류에 따라 유기물질구성 성분들의 변화가 심한 것을 알 수 있었다.

3. 4 질소의 형태변화

퇴비화과정중 질소를 분별정량한 결과는 Table 7에서 보는 바와 같다. 총질소는 퇴비화

Table 6. Fractionation of organic matter in composting materials during composting period (g/100g)

Bulking agents	Period (days)	Ether soluble materials	Resins	Water soluble polysaccha-ride	Hemi-cellulose	Cellulose	Lignin or unknown	Total
	0	2.40	4.47	8.98	12.7	21.6	21.3	71.7
	1	2.12	4.47	8.17	11.4	22.0	21.8	67.0
	2	2.00	4.63	8.25	10.7	21.7	20.8	68.1
Sawdust	3	1.77	3.97	7.51	10.2	21.0	21.9	64.4
	4	1.37	4.00	8.60	10.3	20.9	20.6	65.8
	5	1.67	3.23	7.02	9.82	20.9	21.8	64.4
	6	1.33	3.19	6.08	8.99	21.5	22.8	63.9
	0	2.73	4.16	9.65	11.3	17.9	21.0	66.7
	1	2.53	4.23	9.36	10.4	18.2	20.5	65.2
	2	2.07	4.25	9.32	10.7	17.0	19.1	62.4
Rice hull	3	2.15	4.04	8.89	10.5	16.4	19.6	61.6
	4	1.90	3.41	8.24	9.61	15.5	21.8	60.5
	5	1.85	3.87	8.82	9.44	17.0	20.3	61.3
	6	1.78	3.28	7.75	8.95	17.2	21.5	60.5

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding

Table 7. Fractionation of nitrogen in composting materials during composting period (mg/100g)

Bulking agents	Period (days)	Total-nitrogen	Inorga-nic-N	Organic-N			
				Amino sugar-N	Amino acid-N	Unknow-N	Total
	0	1,161(100*)	91 (7.8)	84 (7.3)	641(55.2)	345(20.7)	1,070(92.2)
	1	1,009(100*)	96 (9.5)	88 (8.7)	522(51.8)	303(30.0)	913(90.5)
	2	939(100*)	111(11.8)	77 (8.2)	462(49.2)	289(30.8)	828(88.2)
Sawdust	3	980(100*)	117(11.9)	84 (8.6)	518(52.8)	261(26.7)	863(88.1)
	4	1,085(100*)	173(15.9)	98 (9.1)	574(52.9)	240(22.1)	912(84.1)
	5	1,042(100*)	154(14.8)	95 (9.1)	518(49.7)	275(26.4)	888(85.2)
	6	928(100*)	155(16.7)	81 (8.7)	431(46.5)	261(28.1)	773(83.3)
	0	1,239(100*)	78 (6.3)	109(8.8)	683(55.1)	369(29.8)	1,161(93.7)
	1	1,135(100*)	98 (8.6)	102(9.0)	662(58.3)	273(24.1)	1,037(91.4)
	2	1,026(100*)	207(20.2)	98(9.5)	476(46.4)	245(23.9)	819(79.8)
Rice hull	3	1,193(100*)	316(26.5)	119(10.0)	483(40.5)	275(23.0)	877(73.5)
	4	1,187(100*)	364(30.7)	123(10.4)	443(37.3)	257(21.6)	823(69.3)
	5	1,206(100*)	366(30.3)	119(9.9)	432(35.8	289(24.0)	840(69.7)
	6	1,093(100*)	301(27.5)	112(10.3)	361(33.0)	319(29.2)	792(72.5)

(*) : Index

All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding

초기에 비하여 후기에 약 12~20% 감소하였으며, 총질소중 무기태질소는 약 70~286% 증가하였으나, 유기태질소는 약 28~32% 감소하였다. 그리고 유기태질소중 amino sugar태 질소는 별 변화가 없었으며, amino acid태 질소는 약 33~47% 감소하였으나 미동정태질소는 14

~24% 감소하였다. 퇴비화과정중 총질소가 감소한 것은 Kurihara 등(1982)이 퇴비화과정중 주로 아미노태 질소의 손실에 의해 총질소가 감소된다고 한 연구결과와 비슷하였다. 또한 수분조절제로 왕겨를 처리하였을 경우가 톱밥을 처리하였을 경우에 비하여 무기태질소의 함량이 높게 나타났으며, 이는 수분조절제가 무기태질소함량과 밀접한 관계가 있다고 한 기보고(Cai *et al.*, 1992)와 비슷한 경향이었다.

3.5 지방산의 조성변화

퇴비화과정중 지방산 조성변화를 조사한 결과는 Table 8에서 보는 바와 같다. 총지방산 함량은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 각각 약 22~32% 감소하였다. 그러나 지방산조성의 변화는 수분조절제의 종류에 따라 심하였으나 그 변화는 퇴비화시일이 경과함에 따라 대체적으로 감소하는 경향이었다. 특히 총지방산중 myristic acid, palmitic acid 및 stearic acid함량이 현저히 감소하였다.

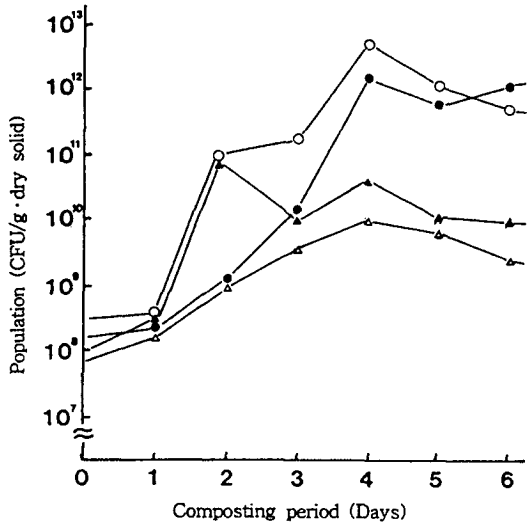

Fig. 2. Changes of bacteria population in composting materials during composting period. Medium was adjusted to pH 7.0. All compostiong materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.
○: Mesophilic, sawdust
△: Thermophilic, sawdust
●: Mesophilic, rice hull
▲: Thermophilic, rice hull

Table 8. Changes of fatty acid compositions in composting materials during composting period (mg/100g)

Bulking agents	Period (days)	Fatty acid									
		$C_{14:0}$	$C_{16:0}$	$C_{16:1}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	$C_{20:0}$	Unknown	Total
Sawdust	0	67.6	594	60.6	158	22.4	8.46	9.32	12.7	482	1,415 (100*)
	1	39.6	454	74.0	136	50.6	15.4	13.5	21.4	455	1,260 (89.0)
	2	30.6	388	55.4	133	27.0	25.0	15.7	47.2	479	1,201 (84.9)
	3	27.8	380	55.4	152	37.0	27.6	20.0	33.2	459	1,192 (84.2)
	4	35.2	374	57.8	146	25.4	34.4	13.9	20.8	426	1,134 (80.1)
	5	30.8	374	49.8	130	25.2	28.4	21.0	38.2	373	1,070 (75.6)
	6	20.0	324	51.0	166	40.6	31.8	16.2	25.4	426	1,101 (77.8)
Rice hull	0	69.2	616	128	230	51.0	11.7	10.6	36.4	448	1,601 (100*)
	1	59.2	550	117	222	47.2	9.72	9.12	30.0	505	1,549 (96.8)
	2	50.4	460	105	204	40.0	13.2	15.4	32.2	501	1,421 (88.8)
	3	49.8	438	84.6	206	44.0	9.96	13.3	36.2	425	1,307 (81.6)
	4	40.6	408	80.0	198	53.6	16.5	22.2	36.2	506	1,361 (85.0)
	5	40.8	368	73.2	174	34.8	6.78	10.8	29.0	385	1,122 (70.1)
	6	43.0	314	80.0	168	32.6	6.86	8.92	30.4	400	1,084 (67.7)

( ) : Index
All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding

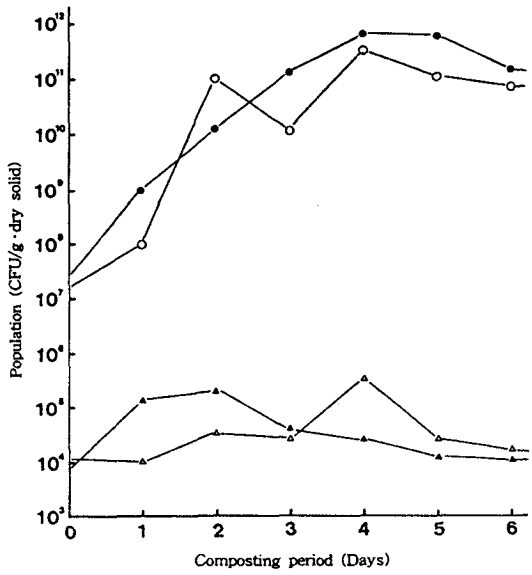

Fig. 3. Changes of actinomycetes population in compostion materials during compostion period. Medium was adjusted to pH 7.0. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.
○: Mesophilic, sawdust
△: Thermophilic, sawdust
●: Mesophilic, rice hull
▲: Thermophilic, rice hull

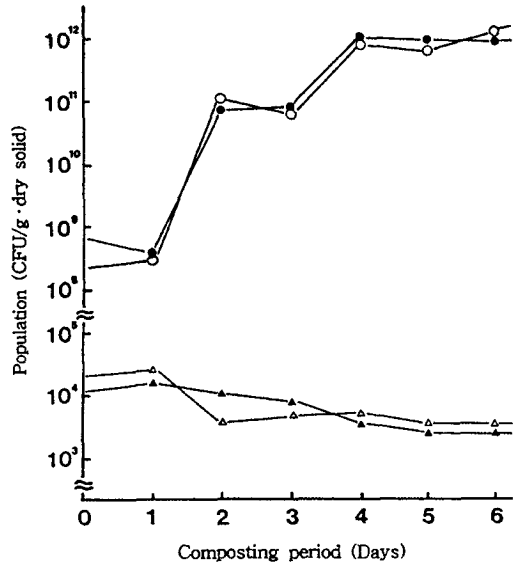

Fig. 4. Changes of fungi population in compostiong materials during compostion period. Medium was adjusted to pH 5.0. All composting materials were mixed with 30% of fish sludge and 5% of seeding.
○: Mesophilic, sawdust
△: Thermophilic, sawdust
●: Mesophilic, rice hull
▲: Thermophilic, rice hull

3. 6 미생물의 변화

퇴비화과정중 bacteria, actinomycetes 및 fungi 등의 미생물의 변화를 조사한 결과는 각각 Fig. 2, 3 및 4에서 보는 바와 같다.

수분조절제로 톱밥 및 왕겨처리시 퇴비화과정중 고온 및 중온 bacteria 모두 퇴비화 4일까지 증가한 다음 약간 감소하는 경향이었으나 중온 bacteria수가 고온 bacteria에 비하여 퇴비화과정이 진행됨에 따라 증가하였다. 고온 actinomycetes수는 퇴비화 전기간 동안 별 변화가 없었으나 중온 actinomycetes수는 퇴비재료를 혼합시에도 많았을 뿐만 아니라 퇴비화 4일까지 큰 폭으로 증가한 다음 이후 서서히 감소하였다. 고온 fungi수는 퇴비화과정이 진행됨에 따라 큰 변화가 없었으며, 고온 fungi수는 퇴비화 1일 이후 퇴비화 후반기까지 증가하였다.

일반적으로 폐 · 하수슬러지의 퇴비화는 미생물에 의해 분해 안정화되는 과정으로서 퇴비화, 즉 유기물의 분해는 미생물의 활성과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며(Nakasaki *et al.*, 1994), 본 실험의 퇴비화과정중에는 전반적으로 중온미생물이 고온 미생물에 비하여 퇴비화과정중 변화 폭이 심하였으며, 고온 bacteria수도 퇴비화과정중 증가하는 것으로 보아 이들 미생물이 공단폐수슬러지의 퇴비화의 주

미생물인 것으로 판단되었으나 앞으로 계속 연구해야 할 과제로 사료되었다.

4. 결 론

공단폐수슬러지를 퇴비화하여 농경지에 재활용하기 위하여 공단폐수슬러지에 수산가공폐수슬러지를 첨가하고 수분조절제로 톱밥 또는 왕겨 첨가하여 혼합한 다음 소형퇴비화조에서 퇴비화효율의 지표인 퇴비화조내의 온도변화를 비롯한 퇴비화과정중 pH, 무기성분, 유기물 및 질소의 형태, 지방산, 미생물종 및 개체수 변화 등의 물질변화를 조사하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

1) 공단폐수슬러지에 수분조절제로 톱밥을 첨가하였을 경우가 왕겨를 첨가하였을 경우에 비하여 퇴비화과정중 최고온도 및 평균온도는 낮았으나 CO_2발생량은 많았다. 이와 같은 결과는 수분조절제인 톱밥이나 왕겨의 통기성 등 물리성의 차이인 것으로 생각되었다. 퇴비화과정중 수분조절제의 종류에 따라 무기성분, 유기물 및 질소의 형태변화 등의 물질변화는 별 변화가 없었으나 미생물종 및 개체수는 변화가 심하였다.
2) 공단폐수슬러지에 수분조절제로 톱밥 및 왕겨를 첨가 하였을 경우 공히 퇴비화과정중 온도 및 CO_2발생량은 퇴비화 2일에 최고에 달하며 그후 서서히 감소하여 퇴비화 6일 후에는 실온과 비슷하였다.
3) C/N율은 퇴비화가 진행됨에 따라 약간 증가하는 경향이었다. 그리고 pH는 퇴비화 초기에는 변화가 없었으며 그후 급격히 증가한 다음 서서히 감소하여 퇴비화 후기 pH는 약 8.7~8.8범위였다.
4) 공단폐수슬러지에 수분조절제로 톱밥 및 왕겨를 첨가 하였을 경우 공히 퇴비화과정중 P_2O_5, K_2O, CaO, MgO 및 Fe함량 약간 증가하였으며 SO_4함량은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 약 62~67% 증가되었다.
5) 퇴비화과정중 ether 추출물질, 수용성 polysaccharides, hemicellulose 및 cellulose는 감소하였고, resin 및 lignin은 큰 변화가 없었으며, 퇴비화과정중 총질소 및 유기태질소는 각각 약 15~20% 및 22~35% 감소하였으며 무기태질소는 약 75~166% 증가하였다.
6) 퇴비화과정중 총지방산은 22~32% 감소하였으며, 미생물개체수는 수분조절제의 종류, 미생물의 종류 및 퇴비화 기간에 따라 변화가 심하였다.

참 고 문 헌

강인국, 곽노혁, 심혁성, 배재근(1996), "A view and trends on composting of sewage sludge", 한국유기성폐기물자원화협의회, 봄학술대회 및 정기총회. pp.19-30.

김영일(1985), "비료분석법 해설".

이만정(1984), "식품분석법".

정인호(1995), "제지 및 공단폐수슬러지의 분해 특성", 경상대학교석사학위 논문.

21세기를 향한 비료개발과정책방향 심포지엄(1994), 한국토양비료학회.

토양화학분석법(1989), 농촌진흥청 농업기술수련소.

환경부(1996), "환경백서", pp.168-183.

환경오염공해공정시험법(1992), 동화기술.

환경처(1986), "전국환경보전장기종합계획 사업", 폐기물부분 보고서.

Back, Y.M. and Chung, J.C.(1994),

"Study of some process parameters in food waste composting", J. Korean Solid Wastes Engineering Society. 11(1): 29-40.

Cai, H. and Tadahiro M.(1992), "Production of high quality composting from sewage sludge", Shimane Univer in Japan.

Chino, M., C.K. Shinhiro, M. Tadahiro, A. michio and Bunzaemon K.(1983), "Biochemical studies on composting of municipal sewage sludge mixed with rice hull", Soil Sci. plant Nutr. 29(2): 159-173

Finstein, M,S., Lin K.W. and Fischler G.E.(1982), "Sludge composting and uti-lization : review of the literature on the temperature inactivation of pathogens", New Btunswick, NJ.

Inoko, A., K. Sugahara and Harada Y. (1979), "On some organic constiuents of city refuse composts procuced in japan", Soil Sci. and Plant Nutrition. 25: 225-234.

Jung, B.S. and Gang. Y.T.(1985), "Basic study of composting on agricultural animal waste", J. of Korean Civil Enginering, 5(2): 27-34

Jung, S.J. and Gang, Y.T.(1986), "Aerobic composting of sewage sludge mixed rice hulls and sawdusts", J. Korean agri. and Engineering Society. 28(3): 99-106.

Kurihara, K.(1982), "Urban and industrial wastes as fertilizer materials", International conference on organic matter and rice, The Interinational Rice Res. Inc.

Lee, C.K. and Kim, Y.R.(1987), "Aerobic Composting of Waste Water Sludge", J. of Korean Civil Enginering, 7(3): 71-76

Lindemann, W.C., G. Connell and Urquhart N.S.(1994), "Previous sludge addition effects on nitrogen mineralization in freshly amended soil", Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 109-112.

Nakasaki, K., N. Aoki and Kubota, H. (1994), "Accelerated composting of grass clipping by controlling moisture level", Waste Manag. and Res, 12: 13-20

Seo, J.Y. and Joo, W.H.(1995), "Decentralized composting od garbage in a small composter for dwelling house III. Laboratory composting of the household garbase in a small bin with the double layer walls", Korean J. Environ. Agric, 14(2): 232-245.

Tadahiro, M.T., A. Narita, A. Toshilhiro and Mitsuo, C.(1981), "Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls", Soil Sci. Plant Nutr, 27(4): 477-486.