

정지더미식(Static piles system) 퇴비화조를 이용한 하수슬러지 및 축분의 퇴비화과정중 이화학적 특성

이 홍 재 · 심 주 미 · 조 주 식^{*} · 이 성 태^{**} · 허 종 수
경상대학교 농화학과 · 순천대학교 농화학과 · **경남농업기술원
(1999년 8월 10일 접수)

Physico-chemical Properties during Composting of Sewage Sludge and Livestock Manure in Static Piles System Composter

Hong-Jae Lee, Ju-Mi Sim, Ju-Sik Cho^{*}, Seong-Tae Lee^{**}, and Jong-Soo Heo

Department of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

^{}Department of Agricultural Chemistry, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea*

*^{**}Medicinal Plant Experiment Station Kyeongnam A. R. E. S., Hamyang 676-820, Korea*

(Manuscript received 10 August, 1999)

The sewage sludges and livestock manures, respectively, were composted with sawdust used for control moisture in the static piles system composter. The variations of temperature, pH, moisture, C/N ratio, inorganic content, forms of organic materials and nitrogen, and contents of heavy metals were investigated. The results were summarized as follows ;

The temperature for composting the sewage sludges reached the highest temperature of 52°C, after 3 days and lasted for 7 days, and then went down 30°C after 52 days. In the case of composting livestock manures, the temperature reached to 63°C after 10 days, that lasted for 10 days, and then went down gradually. After upsetting the sewage sludges and livestock manures, the temperature went up but was little changed after 52 days. Thus we decided that the terminal of composting periods would be 52 days.

The moisture contents of the sludges and livestock manures for composting were decreased to 30% and 36%, respectively. The contents of inorganic matters and heavy metals were changed by the characteristics of raw materials but increased gradually during composting process.

The total contents of organic materials in the sewage sludges and livestock manures for composting were decreased to 7% and 9%, respectively. The contents of ether extracts, resins, hemicellulose and cellulose were decreased but those of water soluble polysaccharides and lignins were not changed. The total contents of nitrogen in sewage sludges and livestock manures were decreased to 43% and 34%, respectively.

Key words : sewage sludge, composting, temperature, C/N ratio, hemicellulose, amino acid

1. 서 론

우리나라의 생활하수 발생량은 현재 약 1,500만톤/일이며 생활하수처리를 위한 하수처리장은 1991년에 22개 소로서 하수처리량이 540만톤/일이었으나 1996년에는 76개소로 증설하여 하수처리량이 965만톤/일이며 2005년까지는 상수도 보급의 80%까지 처리할 계획에 있다. 이와 같이 하수종말처리시설은 계속 증설할 계획에 있으며, 이로 인한 하수처리 부산물인 슬러지의 발생량도 1996년에 360만톤/년으로서 이 양도 매년 증가할 것으로 추정하고 있다.^{1,2)}

하수슬러지와 같은 유기성폐기물의 현행 처리방법은 주로 매립, 소각 및 해양투기 등의 방법으로 처리하고 있으나 폐기물의 매립은 적은 비용이 소요되지만 협소하여 매립지의 확보가 어려울 뿐만 아니라 매립시 발생하는 침출수는 인근의 토양, 하천 및 지하수를 오염시키고, 소각처리는 대기오염을 가중시킬 가능성이 있고 설치비나 운영비가 매우 비싼 단점이 있는 등 현행 유기성폐기물의 처리 방법은 많은 문제점을 가지고 있으므로 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 유기성폐기물의 재활용 기술 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.³⁾

현재 우리나라에서 재활용되고 있는 유기성폐기물은 가축사료, 왕겨탄 등으로 이용하고 있는 농업폐기물과 퇴비화를 통하여 농경지에 환원하고 있는 축산폐기물, 그리고 메탄 발효에 의해 메탄가스를 회수하고 있는 유기성슬러지중의 극히 일부분인 것으로 보고되고 있다.⁴⁾

유기성폐기물중 하수슬러지의 농업적 이용율은 미국이 33%, 프랑스 50%, 덴마크 37%, 이태리 34%, 스위스 50% 그리고 영국이 51%인 것으로 보고되고 있으나 우리나라는 거의 없고, 하수슬러지의 대부분을 매립하고 있는 실정이다.⁵⁾

하수슬러지는 유기물함량이 높고 질소 및 인산 등의 무기성분을 다량 함유하고 있어 이의 시용으로 농업생산성을 피할 수 있을 것으로 사료되나 중금속 및 독성오염물질 등의 환경유해성 물질이 함유될 가능성이 있기 때문에 슬러지의 농경지 시용은 토양 및 작물오염이 우려되므로 그 시용은 신중을 기해야 할 것으로 판단된다.⁶⁾ 일반적으로 유기성폐기물을 퇴비화시키지 않고 농경지에 그대로 사용하면 유기성물질의 분해로 인한 독성물질 생산, 토양산소의 고갈, 악취 발생 등 여러가지 문제점이 발생되기 때문에 하수슬러지의 농경지 시용은 퇴비화시킨 후 이루어져야 안전한 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 퇴비화된 유기성폐기물의 토양시용효과는 토양원충능증대, 작물양분공급효과 등 여러가지 면에서 그 효과가 있는 것으로 알려져 있으나,⁸⁾ 토양을 환원상태로 만들고 염류농도를 증가시켜 작물에 악영향을 줄 수도 있는 것으로 알려져 있다.⁹⁾

본 연구는 하수슬러지의 농업적 활용방안을 모색코자 하수슬러지 및 축분 각각에 수분조절제인 톱밥을 첨가하여 정지더미식(Static piles system) 퇴비화조에서 퇴비화시켰으며 퇴비화과정중 온도, pH, 수분함량, 무기성분, 유기물 및 질소의 형태변화, C/N을 및 중금속 변화 등을 조사함으로써 하수슬러지 및 축분의 퇴비화과정중 이화학적 특성변화를 종합적으로 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 하수슬러지 및 축분

공시 하수슬러지는 경남 진주시 환경사업소 하수처리장에서 활성오니법으로 수처리한 슬러지를 약 50일간 혐기성 소화시킨 다음 탈수시킨 슬러지를 사용하였으며, 공시축분은 기존퇴비공장에서 주원료로 사용하는 가축분을 사용하였고, 수분조절제로 사용된 톱밥은 미송으로 제조한 것을 사용하였다. 그리고 퇴비화를 촉진시키기 위한 미생물접종제제는 현행 타 퇴비공장에서 퇴비화과정중 미생물활성이 가장 활발한 시기의 퇴비재료를 채취하여 사용하였다.

공시 하수슬러지, 축분, 톱밥 및 미생물제제의 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같으며, 공시 하수슬러지 및 축분의 유기물 분별경량 및 중금속의 함량은 각각 Table 2 및 3에서 보는 바와 같다.

2.2. 퇴비화조 운전 및 처리내용

본 실험에 사용한 퇴비화조는 경남 사천시 농협 퇴비

Table 1. Characteristics of the composting materials used in the experiment

	pH (1:5)	Moisture (%)	T-C (%)	T-N (%)	C/N ratios	Av.-P ₂ O ₅ (%)	SO ₄ (%)
Sewage sludge	7.1	82	38.0	3.7	10.3	1.5	0.69
Livestock manure	8.78	84	46.0	2.4	20.0	4.0	0.78
Sawdust	-	23.1	49.3	0.05	986	-	-
Seeding materials	8.2	60.1	43.2	2.86	15.1	3.1	0.69

	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Inorganic -N (mg/100g)	Organic -N (mg/100g)
Sewage sludge	0.12	0.95	0.13	1,526	712	330	3,365
Livestock manure	3.18	0.77	0.18	227	287	761	1,652
Sawdust	0.14	0.15	0.03	38.9	126	-	-

Table 2. Fractionations of organic matter in composting materials (mg/100g · dry weight)

	Ether soluble materials	Resins	Water soluble polysaccharide	Hemi-cellulose	Cellulose	Lignin and unknown
Sewage sludge	2,198	3,530	5,761	15,850	28,200	16,311
Livestock manure	2,731	3,430	13,487	26,750	28,100	12,352

Table 3. Heavy metal contents in composting materials (mg/kg · dry weight)

	Cu	Cd	Cr	Zn	Pb	Ni
Sewage sludge	99.1	2.63	26.7	791	53.1	23.4
Livestock manure	217	1.06	10.5	706	15.6	10.6

공장의 정지 더미식(Static piles system)퇴비화조를 사용하였으며, 퇴비화조의 용량은 30kℓ(500cm×300cm×200cm)이었다.

퇴비화를 위한 처리내용 및 운전조건은 하수슬러지 및 축분에 수분조절제로서 톱밥을 첨가하여 수분함량을 조절한 다음 미생물접종제제를 중량 3%의 비율로 첨가하여 퇴비화조에 투입하였다. 1차 퇴비화기간 동안 퇴비화조에 호기성 조건을 유지시키기 위하여 공기주입량을 200ml/ℓ · min.로 하였고, 2차 퇴비화과정중 뒤집기는 퇴비화 22일, 32일 및 42일 후에 실시하였다.

퇴비화조내의 공기주입은 air compressor로 상향식 강제통풍을 하였으며 퇴비화조내에 공기를 일정하게 주입시키기 위하여 퇴비화조 하부에 직경 50mm의 PVC파이프 약 50m를 설치하여 공기압을 일정하게 하였고, 분

산되는 공기량을 일정하게 하기 위하여 PVC파이프 상부에 톱밥을 약 20cm 두께로 깔고루 깔았다. 그리고 퇴비화과정중 퇴비화조내의 온도변화는 퇴비화조 상부 및 하부(상부에서 약 1m 깊이) 각각의 중앙 및 가장자리 4개 지점에 알콜온도계를 설치하여 조사하였으며, 수분함량은 퇴비재료 각 500g을 polyethylene천으로 싸서 온도 변화 조사지점과 동일한 지점에 5반복으로 매설한 다음 시기별로 채취 조사하였다.

공시 하수슬러지, 축분, 톱밥 및 혼합퇴비재료의 분석은 토양화학분석법¹⁰⁾ 및 비료분석법¹¹⁾에 준하였다. 특히 중금속 분석은 시료를 4M-HNO₃용액으로 각각 1시간 침출시킨 다음 여지로 여과하여 그 여액을 inductively coupled plasma emission spectrophotometer(ICP, Atomscan 25, TJA, U.S.A)로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 온도 변화

정치더미식(Static piles system) 퇴비화조를 이용한 하수슬러지 및 축분의 퇴비화과정중 온도변화를 조사한 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 하수슬러지는 퇴비화 3일 만에 최고 온도인 52°C에 도달하여 10일까지 47°C 이상 유지된 다음 그후 서서히 감소하여 퇴비화 22일후 약 35°C였다. 가축분의 온도변화는 하수슬러지의 경우와 비슷한 경향이었으나 하수슬러지에 비하여 최고온도 도달 시기가 약 7일 늦었으며, 최고온도는 약 67°C로서 하수슬러지에 비하여 15°C정도 높았고 퇴비화과정중 전반적으로 하수슬러지에 비하여 온도가 높았다. 이와 같은 결과는 하수슬러지의 경우 하수처리과정중에 생산된 슬러지는 혐기성소화 과정을 거쳤기 때문에 이 과정에서 미생물에 의하여 1차적으로 분해가 되었기 때문인 것으로 사료되었다. 그러나 하수슬러지의 퇴비화과정중 퇴비화조의 온도가 50°C 이상을 약 2~3일 이상을 유지하였기 때문에 하수슬러지의 퇴비화는 별 문제가 없는 것으로 판단되었다. 또한 하수슬러지 및 가축분의 퇴비화과정중 퇴비화 22일만에 온도가 낮아져서, 이 시기를 1차 퇴비화 종료시점으로 판단되어 뒤집기를 실시하였고, 1차 뒤집기를 한 후 온도가 약간 증가하다가 다시 감소하였으며 이때 2차 뒤집기(퇴비화 32일후)를 실시하였다. 2차 뒤집기를 실시하였을 때도 온도가 약간 증가하였으나 1차 뒤집기를 하였을 때에 비하여 온도 상승폭이 작았고 그후 3차 뒤집기(퇴비화 42일후)를 하였을 때는 온도의 상승폭이 미미하고, 퇴비화 52일 후는 온도가 일정한 것으로 미루어 보아, 이때를 퇴비화가 완료된 것으로 판단하였다.¹²⁾

3.2. pH, 수분함량 및 C/N율 변화

하수슬러지 및 가축분의 현장 퇴비화조에서 퇴비화과정중 pH 변화를 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 하수슬러지의 경우 퇴비화 초기 pH는 7.7이었으며 퇴비화가 진행됨에 따라 초기 1일 동안은 감소하였으며 퇴비화 2일 후 pH는 8.2로 증가한 다음 그후 퇴비화 종료시점까지 큰 변화가 없었다. 가축분의 퇴비화과정중

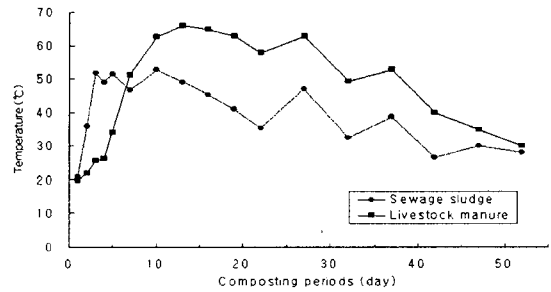


Fig. 1. Changes of temperature of composting materials during composting periods.

pH는 퇴비화초기에 pH가 8.5로서 하수슬러지에 비하여 높았으며, 퇴비화 전기간 동안 별 변화가 없었다.

일반적으로 퇴비재료의 pH는 퇴비화효율을 결정하는 중요한 인자로서 pH가 5이하로 낮아지면 거의 퇴비화가 이루어지지 않는 것으로 알려져 있으며, 퇴비화기에 pH가 낮으면 퇴비화가 지연되며, pH 11정도에서 퇴비화과정중 초기 CO₂발생 소요시일이 4일 정도 지연되며 pH 12이상에서는 퇴비화가 불가능하다고 하였으나, 하수슬러지나 가축분의 퇴비화에는 pH가 크게 문제시 되지 않는 것으로 알려져 있다.¹³⁾

수분함량 변화를 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 하수슬러지 및 가축분의 퇴비재료중의 수분함량은 각각 약 69 및 66%이었으며 퇴비화 시일이 경과 할수록 계속해서 감소하였으며, 퇴비화 종료시 각각 약 30 및 36%가 감소하였다. 이와같이 퇴비화과정중 수분감소율이 하수슬러지에 비하여 축분이 다소 높은 것은 하수슬러지에 비하여 주원료들의 공극의 차이로 인한 것으로 사료되었다.¹⁴⁾

퇴비화과정중 C/N율 변화를 조사한 결과 원하수슬러지와 원가축분의 C/N율은 각각 약 10 및 20이었으며, 이들 하수 및 가축분에 수분조절제 및 미생물첨가제를 혼합하였을 때의 C/N율이 각각 약 24 및 25이었으며 하수슬러지의 경우 퇴비화 시일이 경과할수록 약간 증가하여 퇴비화 52일후 C/N율이 약 39였고, 가축분은 1차퇴비화과정중에는 별 변화가 없었으나 1차뒤집기를 행한 다음 증가하였다. 퇴비화과정중 C/N율의 변화는 퇴비화의 공법, 원퇴비화재료중의 유기물의 성상 및 질소의 휘산과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다.⁷⁾

3.3. 무기성분 변화

무기성분 변화를 조사한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같이 하수슬러지 및 축분의 퇴비화과정 중에는 K₂O, CaO, MgO 및 Mn 함량은 약간 증가하거나 별 변화가 없었다. 이와같은 결과는 퇴비화과정중 타물질이 분해 또는 소실로 인하여 상대적인 양이 증가한 것으로 판단되었으며, 특히 하수슬러지 퇴비화과정 중에는 Fe 함량은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 감소하였는데 이는 용출성 Fe가 불용성 Fe로 변환되었기 때문인 것으로 사료되었다.

Table 4. Changes of pH, moisture contents and C/N ratios in composting materials during composting periods

	Composting periods (Days)								
	0	2	4	10	16	22	32	42	52
	pH (1:5H ₂ O)								
Sewage sludge	7.7	8.2	8.6	8.7	8.4	8.9	8.5	8.4	8.4
Livestock manure	8.5	8.4	8.5	8.4	8.3	8.2	8.4	8.6	8.6
	Moisture contents (%)								
Sewage sludge	69.3 (100)	68.9 (99.4)	69.0 (99.6)	66.4 (95.8)	65.4 (94.4)	61.2 (88.3)	58.4 (84.3)	53.5 (77.2)	48.2 (69.6)
Livestock manure	65.7 (100)	64.8 (98.6)	65.1 (99.1)	62.6 (95.3)	59.0 (89.8)	60.0 (91.3)	54.2 (82.5)	48.7 (74.1)	42.0 (63.9)
	C/N ratio								
Sewage sludge	24.2	22.3	26.1	25.9	27.8	27.6	31.3	33.1	38.9
Livestock manure	25.3	23.6	24.8	22.6	25.1	25.7	30.9	32.5	34.6

() : Index

Table 5. Changes of K₂O, CaO, MgO, Fe and Mn contents in composting materials during composting periods.

	Composting periods(Days)									
	Sewage sludge					Livestock manure				
	0	4	16	32	52	0	4	16	32	52
K ₂ O(%)	0.18	0.17	0.20	0.20	0.23	0.11	0.10	0.13	0.12	0.15
CaO(%)	0.57	0.58	0.49	0.56	0.75	0.76	0.75	0.69	0.86	0.81
MgO(%)	0.10	0.10	0.10	0.13	0.16	0.18	0.18	0.15	0.13	0.19
Fe(mg/kg)	3,662	3,749	3,310	2,235	2,606	688	884	743	741	713
Mn(mg/kg)	500	607	620	608	670	307	356	386	338	370

3.4. 유기물의 형태변화

퇴비화과정중 유기물의 형태변화를 조사한 결과는 Table 6에서 보는 바와 같이 하수슬러지 및 가축분 공히 ether추출물질과 resins은 퇴비화 초기에 비하여 후기에 각각 약 40 및 53%, 64 및 23% 감소하였으며, 수용성 polysaccharide의 경우 하수슬러지는 거의 변화가 없었지만 가축분에서는 4일까지는 감소하다가 그후 증가하는 경향이였다. 그리고 hemicellulose와 cellulose는 약간 감소하는 경향이였으며 lignin은 거의 변화가 없었다. 그 결과 퇴비화과정중 총유기물은 초기에 비하여 각각 7 및 10% 감소하였다. 특히 퇴비화 후기에 ether추출물질이나 resins이 급격히 감소한 것은 퇴비화초기에는 미생물에 의해 이들 물질들이 분해 및 생성과정을 반복함으로써 별 변화가 없었으나 퇴비화후기에는 퇴비가 안정화 과정에 있기 때문에 기질의 감소로 인한 것으로 판단되었다. 일반적으로 퇴비화과정중 전체 탄소함량은 감소하나 유기물의 종류에 따라 미생물에 의한 이용 정도가 다르기 때문에 이들 성분함량 변화에 다양성을 보여준다고

하였다.¹⁵⁾

Table 6. Fraction of organic matters in composting materials during composting periods

Period (Days)	(mg/100g)						Total
	Ether soluble materials	Resins	Water soluble poly saccharide	Hemi-cellulose	Cellulose	Lignin or Un-known	
	Sewage sludge						
0	1,500	2,531	4,029	14,150	24,350	40,440	87,000 (100)
4	1,565	2,464	4,357	13,750	23,650	37,914	83,700 (96)
16	1,598	2,065	4,163	14,350	22,500	39,224	83,900 (96)
32	1,648	2,065	4,629	13,100	19,050	42,208	82,700 (95)
52	899	899	4,196	12,000	21,750	40,007	80,750 (93)
	Livestock manure						
0	1,998	3,497	11,489	22,250	21,050	25,766	86,050 (100)
4	1,965	3,397	9,124	22,100	22,884	24,680	84,150 (98)
16	1,399	2,864	10,723	20,400	20,650	24,664	80,700 (94)
42	833	2,731	13,253	18,950	20,700	23,433	79,900 (93)
52	932	2,697	12,887	17,900	19,334	24,600	78,350 (91)

() : Index

3.5. 질소의 형태변화

질소의 형태변화를 조사한 결과는 Table 7에서 보는 바와 같이 하수슬러지의 퇴비화과정중에는 총질소중 무기태질소는 퇴비화 시일이 경과함에 따라 증가하다가 퇴비화 32일후 다시 감소하였다. 유기태질소중 amino sugar태, amino acid태 및 미동정 질소는 퇴비화 초기부터 불규칙적으로 변화하였으나 대체적으로 퇴비화가 진행됨에 따라 감소하여 퇴비화 종료시점에는 퇴비화 초기에 비하여 각각 약 46, 57 및 35% 감소하였고, 이의 감소로 인하여 유기태질소의 총량도 약 48% 감소하였다. 또한 총질소함량도 약 43% 감소하였다. 축분의 경우는 총질소중 무기태질소는 퇴비화 4일까지 증가하였으며, 그후 큰 폭으로 감소하여 퇴비화종료 시점에는 약 64mg/kg이 함유되어 있었다. 퇴비화과정중 유기태질소중의 amino sugar태 및 amino acid태 질소의 변화 경향은 하수슬러지와 비슷하였으며 퇴비화종료시점에는 초기에 비하여 각각 약 32 및 52%감소하였다. 그러나 미동정질소의 함량은 약간 증가하였다. 이와같이 미동정질소가 증가한 것은 그량의 증가라기 보다는 유기물 등 분해소실로 그량이 상대적으로 증가되었기 때문인 것으로 판단되었다. 이상의 하수슬러지와 축분의 퇴비화과정중 질소형태의 변화를 비교해볼 때 하수슬러지 퇴비에서는 비교적

무기질소의 함량이 축분퇴비에 비하여 높았고, 하수슬러지의 총질소 감소는 대부분 유기질소의 감소에 기인된 것으로 판단되나, 축분퇴비중 총질소의 감소는 유기질소중 amino sugar태 및 amino acid태 질소가 주된 원인으로 판단되었다.

Table 7. Fraction of nitrogen in composting materials during composting period

Period (Days)	Total-nitrogen	Inorganic-N	Organic-N			Total
			amino sugar-N	amino acid-N	Unknown-N	
Sewage sludge						
0	1,905 (100)	170	292	874	569	1,735
4	1,715 (90)	246	315	693	461	1,469
16	1,557 (82)	375	251	472	459	1,182
32	1,428 (75)	349	257	372	450	1,079
52	1,090 (57)	190	157	373	370	900
Livestock manure						
0	1,799 (100)	434	379	508	478	1,365
4	1,825 (101)	605	315	483	422	1,220
16	1,738 (97)	423	332	496	487	1,315
32	1,372 (76)	291	326	207	548	1,081
52	1,186 (66)	64	256	244	622	1,122

() : Index

3.6. 중금속 변화

중금속함량 변화를 조사한 결과는 Table 8에서 보는 바와 같이 퇴비재료의 중금속함량은 하수슬러지가 가축분에 비하여 Cu를 제외한 모든 중금속에서 약간 높았으며, 퇴비화과정중에는 하수슬러지 및 가축분 모두 일정한 경향은 없이 약간 증가하는 경향이였다. 이와 같은 결과는 퇴비화과정중 유기물이 분해됨으로서 상대적인 중금속함량이 증가되는 것으로 생각되었다.

우리나라 비료공정규격¹⁶⁾에는 퇴비중 유기물은 25% 이상, As, Cd, Hg 및 Pb함량은 각각 50, 5, 2 및 150mg/kg 이하, Cu 및 Cr함량은 각각 500 및 300mg/kg 이하로 규정하고 있으며, Chaney¹⁷⁾에 의하면 시용될 슬러지중 중금속함량은 Zn<2000mg/kg, Cu<800mg/kg, Ni<100mg/kg, Pb<1000mg/kg, B<100mg/kg 및 Hg<15mg/kg 라야 하며 Cd는 Zn의 0.5% 이하라야 하고 토양중 중금속의 최대허용량은 Zn은 300mg/Kg, Cu, Cr, Ni 및 Pb는 모두 100mg/Kg, Co 및 As는 50mg/Kg, Cd 및 Hg는 5mg/Kg이하로 규정하였다. 본 실험결과 하수슬러지 및

가축분의 퇴비화과정중 중금속함량은 이들 규정에 비하여 매우 낮았으며, Cu를 제외한 조사 중금속은 하수슬러지 퇴비에서 가축분 퇴비에 비하여 약간 높았다.

Table 8. Heavy metals contents in composting materials during composting periods

	(unit : mg/kg)									
	Composting periods (Days)									
	Sewage sludge					Livestock manure				
	0	4	16	32	52	0	4	16	32	52
Cu	86.7	76.1	85.9	126.4	110.6	114.1	116.5	113.6	146.2	120.1
Cd	1.95	0.95	1.65	1.35	1.08	0.85	1.38	1.03	0.73	0.80
Cr	16.8	17.5	19.1	20.7	18.7	7.9	7.2	8.8	6.7	7.4
Zn	449	452	456	536	461	350	304	354	371	329
Pb	31.3	31.5	34.7	31.6	32.9	13.7	12.9	16.9	14.0	14.9
Ni	16.3	15.7	15.3	16.3	15.7	8.30	8.73	9.88	9.58	7.53

4. 결 론

하수슬러지의 농업적 활용방안을 모색코자 먼저 하수슬러지 및 축분 각각에 수분조절제인 톱밥을 첨가하여 현장 정지더미식(Static piles system) 퇴비화조에서 퇴비화시켰으며, 퇴비화과정중 온도, pH, 수분함량, 무기성분, 유기물 및 질소의 형태변화, C/N을 및 중금속 변화 등을 조사하여 하수슬러지와 축분의 퇴비화과정중 이화학적 특성변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

퇴비화의 지표인 퇴비화과정중 온도를 살펴본 결과는 하수슬러지의 경우 퇴비화 3일후에 52℃로 최고온도에 도달하였으며 그후 7일 동안 지속된 다음 점점 감소하여 퇴비화 52일 후에는 30℃로 낮아졌고, 가축분은 퇴비화 10일 후에 63℃에 도달한 다음 약 10일 동안 60℃이상의 온도가 지속된 다음 서서히 감소하였다. 하수슬러지 및 가축분 공히 뒤집기를 행한 후 온도가 상승하였으나, 퇴비화 52일 이후에 온도의 변화가 미미하였으므로 이때를 퇴비화의 종료시점으로 판단하였다.

수분함량은 하수슬러지 및 가축분의 퇴비화과정중 지속적으로 감소하여 퇴비화 전기간 동안 각각 약 30 및 36% 감소하였다. 무기성분 및 중금속 함량은 퇴비 주재료에 따라 차이가 있었으나 퇴비화가 진행됨에 따라 대체적으로 약간 증가하였다.

하수슬러지 및 가축분의 퇴비화과정중 총유기물함량은 각각 약 7 및 9% 감소하였으며, 유기물중 ether추출물질, resins, hemicellulose 및 cellulose함량은 감소하였으나 수용성 polysaccharide 및 lignin은 큰 변화가 없었다. 또한 총질소는 각각 약 43 및 34%감소하였다.

참 고 문 헌

- 1) 환경백서, 1996, 168~183.
- 2) 환경처, 1992, 토양생물을 이용한 유기성슬러지의 처리기술개발과 재활용에 관한 연구.
- 3) 남궁완, 최정영, 1993, 유기성폐기물 자원화 기술, 한

- 국유기성폐기물자원화협의회, 1(1), 33~47.
- 4) 김수생, 신항식, 1993, 유기성폐기물의 자원화와 폐기물관리, 한국유기성폐기물자원화학회지, 1(1), 5~19.
 - 5) Chang, A. C. and A. L. Page, 1993, Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater and sewage sludge application in agriculture, Technical service agreement. No. GL/ GLO/ CWS/058/RB 90.300 & GL/GLO/DGP/449/RB/ 90.30. Worth health organization, Geneva, Switzerland.
 - 6) Cao, H., A. C. Chang, and A. L. Page, 1984, Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures, J. Environ. Qual., 13, 632~634.
 - 7) Chino, M., C. K. Shinhiro, M. Tadahiro, A. michio, and K. Bunzaemon, 1983, Biochemical studies on composting of municipal sewage sludge mixed with rice hull, Soil Sci. plant Nutr. 29(2), 159~173.
 - 8) Miller, R. W. and R. L. Donahue, 1990, Soil and environmental pollution soils an introduction to soils and plant growth prentice hull, Inc. A division of Simon and Schuster, Englewood. NJ 07632, 537~575.
 - 9) Maccala, T. M., J. R. Patterson, and C. Leu-Hing, 1977, Properties of agricultural and municipal waste, American Society of agronomy, Ins. 9~43.
 - 10) 토양화학분석법, 1989, 농촌진흥청 농업기술수련소.
 - 11) 김영일, 1985, 비료분석법 해설.
 - 12) Clapp, C. E., S. A. Stark, D. E. Clay, and W. E. Larson, 1986, Sewage sludge organic matter and properties : The role of organic matter in modern agriculture, The Hague, Netherlands, 209~253.
 - 13) Tadahiro, M. T., A. Narita, A. Toshilhiro, and C. Mitsuo, 1981, Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls, Soil Sci. Plant Nutr, 27(4), 477~486.
 - 14) Jeris, T. S. and R. W. Regon, 1973, Controlling environmental parameters for optimum composting III. The effect of pH, nutrients, storage and paper content relative to composting. Compost Sic., 14(3), 16~22.
 - 15) 서정운, 1988, 폐기물의 퇴비화과정중 물질 변화, 1. 탄소화합물의 변화, 한국환경농학회, 7(2), 136~145.
 - 16) 비료공정규격, 1995, 농림수산부.
 - 17) Chaney, R. L., 1973, Crop and food chain effects of elements in sludges and effluents on land, P> 129~141, In Recycling municipal sludges and effluents on land, Nat. Assoc. State Univ. and Land-Grant Colleges, Washington, D. C.