한국농화학회지 제 41 권 제 2 호(1998)
Agricultural Chemistry and Biotechnology
Vol. 41, No. 2, pp. 181~186(1998)

하수처리가 퇴비화를 위한 하수 슬러지 특성에 미치는 영향

김종수* · 김재구[1]

선문대학교 환경공학과, [1]천안시 수질환경사업소

초 록 : 하수처리 운전이 슬러지 특성에 미치는 영향을 실제규모 하수처리장에서 수행하였으며 하수 슬러지 특성변화가 퇴비화 원료로 이용될 경우 그 영향을 조사, 분석하였다. 천안 하수처리장은 가동 초기 1년동안 정상적으로 운전되고 있으며 유출수는 방류수 수질기준을 만족하고 있으나 유입유량의 증가로 인하여 처리장 증설이 시급하다. 슬러지 탈수시설인 Belt press의 용량부족으로 하수처리장 내 비휘발성 고형물이 순환, 농축되어 활성슬러지 MLSS 증가와 이에 따라 F/M비가 감소되게 운전하는 결과를 초래하고 있으며 이러한 상태로 하수처리장이 장기간 운전될 경우 하수처리 시설의 효율저하가 우려된다. 하수 슬러지의 수분함량은 79.5%, 유기물 함량은 11.6 %, C/N비는 6.1이었으며 중금속으로 As 1.8 mg/kg, Cd 27 mg/kg, Hg <0.1 mg/kg, Pb 54 mg/kg, T-Cr 370 mg/kg과 Cu 1,100 mg/kg이 검출되었다. 하수 슬러지는 퇴비화 적정조건을 만족할 수 있는 원료로서 사용되기 위하여 수분함량, 유기물 함량 그리고 C/N비의 조절이 필요하며 이를 위한 첨가제/팽화제의 첨가가 필수적이다. 하수처리장 유입수에 함유된 중금속은 대부분 하수 슬러지에 농축되며 퇴비화 원료로 사용될 경우 부산물비료로서 규격기준에 적합하지 않을 뿐만아니라 토양오염이 우려되므로 유입수의 중금속 발생원을 추적, 제거하는 방안이 검토되어야 한다.(1998년 1월 22일 접수, 1998년 3월 4일 수리)

서 론

하수처리에서 발생되는 슬러지의 관리(처리 및 처분)는 하수처리장 운전에서 가장 어려운 문제의 하나로 지적되고 있다. 우리나라는 1993년말 기준 43개 하수처리장이 가동되고 있으며 이들의 처리용량은 7,195,300 m^3/d으로 처리과정에서 발생되는 슬러지 양은 습량기준으로 2,150 m^3/d이며 2001년과 2011년 발생량은 8,950 m^3/d과 10,018 m^3/d로 예측되고 있다.[1] 이와같이 급증하는 슬러지 발생량에 비하여 그 처분은 매립에만 의존하여 악취, 해충 등의 2차 환경오염을 야기시키고 있으며 지역 이기주의에 의한 매립지 확보문제가 심각한 사회문제로 부각되고 있으므로 자원화가 가능하고 경제적인 슬러지 관리법으로 퇴비화 기술의 개발이 시급한 실정이다.

퇴비화는 유기질을 호기성 상태의 조절된 환경 내에서 미생물의 작용에 의하여 더 이상 쉽게 분해되기 어려운 암갈색 부식질로 변환시키는 과정으로 퇴비화에 관여하는 중요한 인자는 원료로서의 특성, 퇴비화 방식, 그리고 관여 미생물의 보유정도와 이들을 위한 환경 조건인 수분함량, 영양물질 함량, 산소의 공급, pH, 온도, 독성물질의 함유 등이 있다. 선진 외국의 경우 하수 슬러지를 비롯하여 유기성 폐기물의 퇴비화에 대한 연구와 기술개발은 상당히 진척되어 실용화[2-4]되고 있으며 퇴비화산물은 작물에 영양물질을 공급하고 부산물비료로서 토양의 물리화학적 성질을 양호하게 하며 화학비료의 효용성을 증진시키는 역할을 하는 것으로 보고[5,6]되고 있다. 우리나라의 경우 하수 슬러지는 중금속 함유로 인한 퇴비화산물의 부산물비료로서 기준에 미흡함으로 퇴비화에 사용 불가능한 원료로 고시되어[7] 퇴비화에 대한 기술개발이 매우 저조한 실정이다. 그러나, 일부 연구에서 하수 슬러지는 퇴비화 원료로서 유기질의 낮은 함량, 수분의 과다, 낮은 C/N비 등으로 인하여 전처리의 필요성이[8,9] 지적되고 있으므로 하수 슬러지 특성에 따라 퇴비화를 위한 전처리 방법 그리고 퇴비화산물의 이용에 대한 기준을 설정할 필요가 있다.

퇴비화와 퇴비화산물의 부산물비료로서의 기준에 영향을 주는 하수 슬러지의 특성은 하수처리 운전인자에 영향을 받는다고 보고되고 있다. 실험실적 연구에서 슬러지의 유기물과 휘발성분의 함량은 활성슬러지의 F/M비에 따라 변화된다고 보고되며[10] 유입수에 함유된 화학물질과 중금속은 생분해, 생흡착, 유출수 그리고 슬러지로 배출되어지며 그 분배는 활성슬러지의 F/M비와 슬러지 반송율에 따라 변화된다고 보고되고[11,12] 있다. 그러나, 실제 하수처리장에서 운전인자이외 유입수에 포함되는 산업폐수의 유입비율과 시설의 운전조작 등의 다른 환경적 요인이 슬러지 특성에 주는 영향이 클 수 있으나 이에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구는 정상가동 중인 실제규모 하수처리장을 대상으로 하수처리장 운전이 슬러지 특성에 주는 영향을 조사하여 하수 슬러지 처분방법으로 퇴비화를 응용할 경우 이에 대한 영향을 검토할 수 있는 기본자료를 제시하고자 하였다.

찾는말 : 하수 슬러지, 하수처리, 퇴비화, 중금속
*연락저자

재료 및 방법

하수처리장

본 연구의 대상인 실제규모 하수처리장은 충남 천안에 위치한 천안 하수처리장(Chunan sewage treatment plant; STP)으로 1994년 3월에 완공되어 6개월 간의 시운전 기간을 거친 후 1994년 10월부터 정상 가동되기 시작하였으며 처리시설로서 하수처리는 표준 활성슬러지 그리고 슬러지 처리는 혐기성 소화방식을 채택하고 있다.[13] 하수처리장 유입수는 스크린과 침사지를 거치는 동안 큰 협잡물과 모래가 제거되고 1차 침전지에서 침전성 부유고형물이 제거된다. 1차처리를 거친 후 폭기조에서 호기성 생물학적 방식에 의하여 유기성 오염물질이 제거되면서 2차침전지의 상등액은 처리수로서 곡교천의 지류인 천안천으로 방류된다. 2차침전지에서 발생된 슬러지는 폭기조의 F/M비를 일정하게 유지하기 위하여 일부 폭기조로 반송되며 과잉의 잉여슬러지는 1차침전지의 슬러지와 혼합되어 농축조를 거친 뒤 혐기성 소화조에서 안정화된다. 안정화된 슬러지는 고분자 응집제를 첨가하여 Belt press에서 탈수되며 탈수 슬러지는 전량 매립에 의하여 처분되고 있으며 슬러지처리에서 발생되는 농축조와 소화조의 상등액 그리고 Belt press의 탈리액은 하수처리 시설의 침사지로 반송되어 재처리되어 진다.

시료의 채취 및 분석

천안 하수처리장의 운전현황을 분석하기 위하여 처리장의 유입수, 폭기조 혼합용액(ML; Mixed Liquor)과 유출수 시료는 정상가동 기간인 1994년 10월부터 1995년 9월까지 매일 채취, 분석하였다. 이 기간동안 농축조와 소화조의 슬러지 그리고 탈수 슬러지 시료는 분기별로 채취, 분석하였다. 유입수, ML, 유출수 시료의 분석항목은 pH, BOD, 부유물질(SS, Suspended Solid), TKN, T-P이었으며 PCB와 중금속은 슬러지 시료의 채취시에만 병행하여 분석하도록 하였다. 슬러지 시료의 경우 분석항목은 pH, 고형물 함량과 고형물의 휘발성분 함량(VS, Volatile Solid), TKN, T-P, PCB 그리고 중금속이었다. 시료의 분석은 Standard Method[14]에 수록된 방법을 따랐으며 PCB는 GC-ECD 그리고 중금속은 질산에 의한 전처리 후 ICP로 각각 분석하였다. 폭기조의 운전인자인 F/M비는 BOD부하량을 폭기조 MLSS으로 나눈 값을 사용하였다. 슬러지의 탄질율(C/N ratio)은 경험식[2]에 의하여 C는 VS/1.8 그리고 N은 TKN 값을 사용하여 계산하도록 하였다.

결과 및 고찰

천안 하수처리장의 운전현황

환경부 하수처리장 시설기준[15]과 비교한 천안 하수처리장의 설계기준[13] 그리고 가동초기 1년 간의('94.10.-'95.9.) 운전현황을 조사, 분석하여 그 결과를 Table 1에 요약하였다. 정상 운전기간 1년동안 평균 유입유량은 69,500 m^3/d로서 설계용량인 70,000 m^3/d를 상회하는 경우가 많으므로 처리장의 증설이 시급한 실정이다. 유입수의 BOD와 SS는 각각 103 mg/L, 107 mg/L 그리고 유출수는 각각 16 mg/L, 13 mg/L로서 방류수 수질기준을 만족한다. 폭기조 MLSS는 2,980 mg/L으로 하수도 시설기준이나 설계기준 보다 높게 운전되고 있으며 이에 따라 F/M비를 0.16 kgBOD/kgMLSS-d로 낮게 운전하는 결과를 초래하고 있지만 하수처리 시설은 정상적으로 가동되고 있는 것으로 판단된다.

슬러지 발생량은 처리 하수량에 대하여 0.026%인 17.1(4.6~29.0) m^3/day로서 전부를 매립에 의존하고 있다. 슬러지 처리 시설에 부하되는 고형물은 Belt press에 의하여 탈수 슬러지로 배출되어야 하나 설계기준의 45%인 용량부족으로 슬러지처리 및 하수처리 시설 모두에 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 1차침전지 슬러지와 잉여슬러지 고형물의 농도는 각각 3.5%와 0.8% 그리고 배출량은 각각 455 m^3/d과 1,240 m^3/d로 설계에 반영된 기준을 상회하고 있으며 이에 따라 농축조에 6.8 kgSS/m^2-d의 높은 고형물 부하와 혐기성 소화조는 22.5 hr의 짧은 수리학적체류시간의 낮은 효율로 운전되는 결과를 초래하고 있다. 이러한 슬러지처리 시설 운전결과, 농축조와 혐기성 소화조에서 BOD와 SS가 높은 상등수가 하수처리장의 첫 처리시설인 침사지로 반송되어 하수처리 시설에 BOD와 SS의 부하를 증가시키는 것으로 나타나고 있다. 이러한 BOD와 SS의 점진적 부하 증가는 활성슬러지 폭기조의 운전에 큰 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 처리장 유입수 BOD와 SS는 Fig. 1과 2에서와 같이 각각 100~110 mg/L 정도 그리고 유출수는 각각 10~20 mg/L 정도로 일정하게 유지되는 반면 1차침전지 유입수의 BOD와 SS는 1995년 6월까지 각각 280 mg/L, 420 mg/L 정도로 서서히 증가되고 그 이후에는 감소되어 각각 200 mg/L 정도를 유지하고 있었다. BOD와 SS의 부하 증가의 결과로서 활성슬러지 폭기조는 Fig. 3에서와 같이 MLSS는 1,400 mg/L에서 4,900 mg/L로 증가, F/M비는 0.27 kgBOD/kgMLSS-d에서 0.09 kgBOD/kgMLSS-d로 감소 그리고 MLSS의 휘발성분 함량은 65%에서 51%로 감소되어 운전되고 있다. 본 연구 기간동안 하수처리 시설의 유출수 수질은 방류수 수질기준을 만족하므로 문제가 되지 않지만 이러한 상태의 폭기조 운전이 지속되면 BOD와 SS의 제거효율이 점차 감소되는 결과를 초래할 수 있으므로 탈수시설인 Belt press의 용량을 높여주는 공정관리의 개선이 도모되어야 한다고 판단된다.

고형물과 중금속의 물질수지

하수처리장 내 고형물과 중금속인 Fe와 T-Cr의 물질수지를 Fig. 4에 요약하였다. 유량과 고형물에 대한 자료는 정상가동 기간 동안 평균값을 사용하였고 Fe와 T-Cr의 분석자료는 1995년 6월~8월 기간 중 3번에 걸쳐서 분석한 평균값을 사용하였다. 하수처리 시설에서 고형물 생성량은 폭기조에서 BOD제거에 의한 고형물 생산량 그리고 슬러지처리 시설에서 고형물 감소량은 소화조에서 혐기성소화에 의한 고형물 감소량으로 하수도시설기준[15]에 의하여 계산되었다. 처리장에서 고형물의 물질수지를 보면 유입수에 의한 유입

Table 1. Design criteria and operational conditions of Chunan sewage treatment plant (STP) as compared with those recommended by the Ministry of Environment

Parameters	Design criteria recommended by Ministry of Environment[15]	Chunan STP	
		Design criteria[13]	Operational conditions average (range)
Influent			
Flow rate (m^3/day)	-	70,000	69,500(43,000-92,000)
BOD (mg/L)	-	161	103(78-189)
SS (mg/L)	-	152	107(43-195)
Effluent			
BOD (mg/L)	20	20	16(2-39)
SS (mg/L)	20	20	13(11-27)
Primary clarifiers			
Hydraulic detention time (hr)	2-4	2.5	2.7
Sludge generation rate (m^3/day)	-	187	455(234-526)
Sludge SS concentration (%)	2-3	3	3.5(3.3-4.0)
Aeration tanks			
Hydraulic detention time (hr)	4-8	5.4	5.8
F/M ratio (kgBOD/kgMLSS-day)	0.2-0.4	0.24	0.16(0.09-0.27)
MLSS (mg/L)	1,500-3,000	2,000	2,980(1,400-4,900)
Secondary clarifiers			
Hydraulic detention time (hr)	3-5	3.4	3.6
Recycle ratio (% of influent)	20-50	30	30.3(22.4-34.4)
Sludge generation rate (m^3/day)	-	790	1,240(660-1.670)
Sludge SS concentration (%)	0.5-1.5	0.8	0.8(0.3-1.5)
Thickeners			
Hydraulic detention time (hr)	$\leq$18	15.3	10.6
Solid loading rate (kgSS/m^2-day)	25-70	57.3	88.7
Sludge generation rate (m^3/day)	-	298	333(199-398)
Sludge SS concentration (%)	4-6	4	2.8(2.5-3.1)
Anaerobic digesters			
Hydraulic detention time (day)	15-25	30.8	22.5(18-35)
Sludge generation rate (m^3/day)	-	161	148(55-252)
Belt press			
Capacity (m^3/day)	-	161	72
Dewatered sludge moisture content (%)	72-80	75	81.4(80-82)
Dewatered sludge generation rate (m^3/day)	-	8	17.1(4.6-29.0)

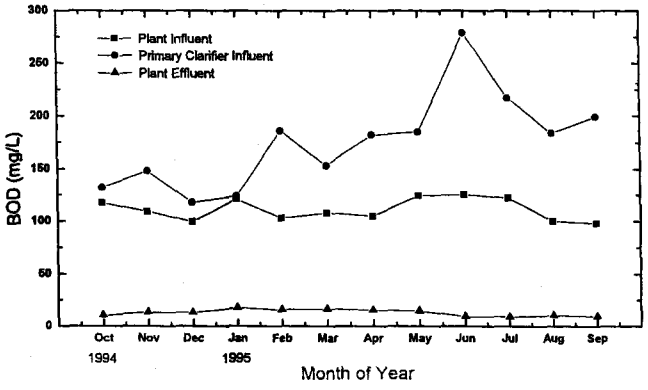

Fig. 1. Variation of BOD at different locations in Chunan sewage treatment plant.

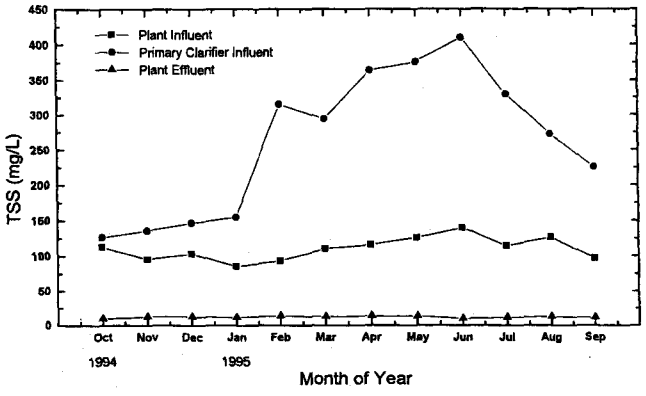

Fig. 2. Variation of TSS at different locations in Chunan sewage treatment plant.

량은 7,437 kg/d, 유출량은 유출수로 904 kg/d 그리고 탈수 슬러지로 처분량은 3,181 kg/d로서 유입량의 54.9%에 불과하다. 폭기조에서의 생성량은 6,625 kg/d으로 혐기성 소화조에서 제거량 6,462 kg/d과 비슷하므로 고형물은 하수처리와 슬러지처리 시설 내에서 순환되며 폭기조와 혐기성 소화조에서 서서히 농축되는 것으로 판단되며 MLSS의 휘발성분 함량의 감소(Fig. 3)가 이를 뒷바침하고 있다.

하수처리장 유입수의 Fe와 T-Cr 농도는 각각 4.30 mg/L과 0.06 mg/L으로 유입량은 298.85 kg/d와 4.17 kg/d인 것으로 나타나고 있다. 유입수에 중금속의 검출과 일부 중금속이 고농도로 함유된 것은(Table 2 참조) 유입수에 산업폐

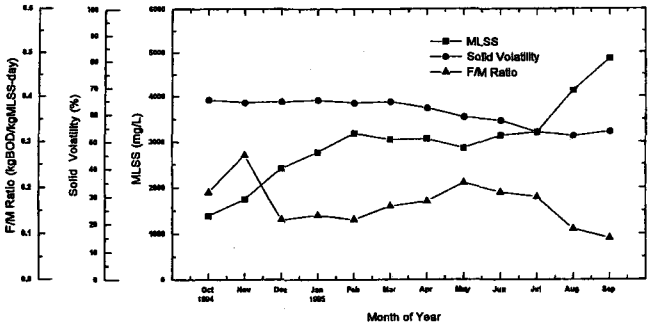

Fig. 3. Operational conditions of activated sludge system at Chunan sewage treatment plant.

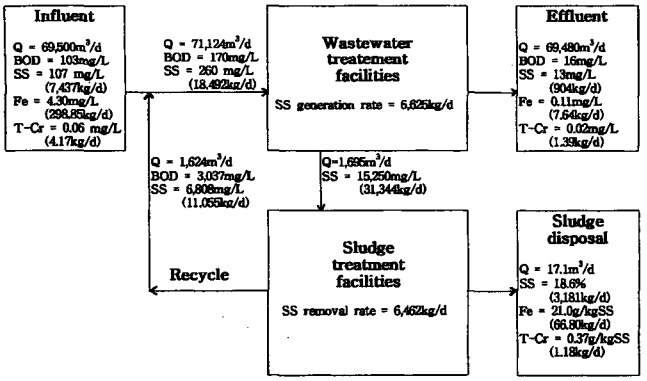

Fig. 4. Material balance on SS, Fe, and T-Cr at Chunan sewage treatment plant.

수가 유입된 것으로 판단되며 이러한 산업폐수의 유입은 시운전 기간에서도 발견된 바 있다.[13] 처리장 내에서 Fe의 물질수지를 보면 유출수로의 유출량은 7.64 kg/d 그리고 탈수 슬러지로 유출량은 66.80 kg/d로서 유입량의 24.9%만 유출되고 나머지 75.1%는 고형물과 같이 처리장내에서 순환되는 것으로 판단되며 미생물에 생합성 혹은 수산화물의 침전물로 존재하는지는 좀 더 연구가 되어져야 할 것으로 판단된다. T-Cr의 물질수지를 보면 유출수로의 유출량은 1.39 kg/d이나 탈수 슬러지로 처분량은 1.18 kg/d로서 유입량의 61.6%가 유출되고 38.4%는 처리장에서 순환된다. 하수처리장에 유입되는 중금속은 탈수 슬러지에 농축되어 처분되어지므로, 하수처리장 유입수에 함유된 중금속의 발생원을 추적, 제거하는 것이 슬러지 퇴비화의 경우 퇴비화산물에 의한 토양오염의 가능성을 배제할 수 있을 것으로 판단된다. 이와같이 고형물과 중금속은 대부분 탈수 슬러지로 처분되어지나 탈수시설의 용량부족인 관계로 처리장내에서 순환되는 결과를 가져오므로 슬러지 탈수시설인 Belt press의 용량을 높혀주어야 할 것으로 판단된다.

슬러지처리 시설에서 슬러지 특성변화

하수처리장 슬러지처리 시설인 농축조, 혐기성 소화조 그리고 탈수시설인 Belt press에서의 슬러지 특성 변화를 비교하여 Table 2에 요약하였다. 농축조에 유입된 고형물은 2.9%로 농축되고 소화조에서 혐기성 분해에 의하여 1.9%로 감소되고 휘발성 성분도 59.0%에서 56.4%로 감소되었으며

Table 2. Characteristics of sludge from sludge treatment facilities at Chunan sewage treatment plant sampled on June 27, 1995

Parameters	Sludge sampled from		
	Thickener	Anaerobic digester	Belt press
pH	6.7	7.1	6.1
Moisture content (%)	97.1	98.1	79.4
Total solids (%)	2.9	1.9	20.6
Volatility (%)*	59.0	56.4	56.5
TKN*, mg/kg	4.2	3.8	4.6
T-P*, mg/kg	1.1	1.5	1.1
C/N Ratio*	7.8	8.2	6.1
PCB*, mg/kg	nd**	nd	nd
Metals*, mg/kg			
As	3.1	1.8	2.3
Cd	36	40	40
Hg	<0.1	<0.1	<0.1
Pb	36	45	29
T-Cr	480	590	580
Al	23,800	25,600	25,200
Cu	630	840	820
Fe	20,100	20,300	21,200
Ni	200	280	280
Zn	2,010	2,340	2,360

*based on solid content
**not detected

Table 3. Temporal variation of dewatered sludge characteristics sampled from Chunan sewage treatment plant

Parameters	Dewatered sludge sampled on date in 1995			
	March 14	June 27	Sept. 5	Average
pH	6.5	5.1	6.5	6.3
Moisture content (%)	80.6	79.4	78.5	79.5
Total solids (%)	19.4	20.6	21.5	20.5
Volatility (%)*	60.2	56.5	40.9	52.5
TKN*, mg/kg	5.2	4.6	3.9	4.6
T-P*, mg/kg	0.9	1.1	1.1	1.0
C/N Ratio*	6.4	6.1	5.8	6.1
PCB*, mg/kg	nd**	nd	nd	nd
Metals*, mg/kg				
As	1.3	2.3	1.8	1.8
Cd	20	40	20	27
Hg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Pb	94	29	40	54
T-Cr	190	580	580	370
Al	23,600	25,200	37,200	28,700
Cu	720	820	1,790	1,110
Fe	18,200	21,200	23,600	21,000
Ni	150	280	460	300
Zn	2,200	2,360	4,010	2,850

*based on solid content
**not detected

탈수과정을 거치는 동안 고형물 함량은 20.6%로 증가되었다. 고형물의 C/N비는 Belt press의 탈수과정에서 6.1%로 감소되었으며 이는 탈수효율을 증가시키기 위하여 첨가된 유기응집제의 투여에 의한 것으로 판단된다. 슬러지에 함유된 중금속은 건조 고형물에 대하여 Al 23,800~25,600 mg/kg, Fe 20,100~21,200 mg/kg, Zn 2,010~2,360 mg/kg, Cu

Table 4. Comparison of dewatered sludge characteristics from Chunan sewage treatment plant with those reported in literature based on the optimum condtions as a composting material and the compost product standard as a soil conditioner

Parameters	Dewatered sludge			Optimum composting conditions[16]	Compost product standard as a soil conditioner[17]
	This study	Park[1]	Chung[18]		
pH	6.3	7.3	6.5	5.5-8.5	-
Moisture content (%)	79.5	79.5	78.5	50-70	-
Total solids (%)	20.5	20.5	21.5	-	-
Organic matter* (%)	52.5	39.8	40.9	20-40	>25%
TKN*, mg/kg	4.6	3.5	3.9	-	-
T-P*, mg/kg	1.0	0.7	1.1	-	-
C/N Ratio*	6.1	8.0	5.8	25-40	-
PCB*, mg/kg	nd**	nd	nd	-	-
Metals*, mg/kg					
As	1.8	17.5	-	-	50
Cd	27	6.2	3.1	-	5
Hg	<0.1	4.3	-	-	2
Pb	54	100	42	-	150
T-Cr	370	300	270	-	300
Al	28,700	-	-	-	-
Cu	1,110	730	1,020	-	300
Fe	21,000	7,470	10,900	-	-
Ni	300	-	-	-	-
Zn	2,850	1,750	1,150	-	-

*based on solid content
**not detected

630~840 mg/kg, T-Cr 480~580 mg/kg, 그리고 Ni 200~280 mg/kg의 농도 순으로 검출되었고 As, Cd, Hg와 Pb는 미량으로 검출되었으며 슬러지처리 시설과정을 거치는 동안 중금속의 함량은 일정하게 유지되는 것으로 나타나고 있으므로 슬러지처리 시설에 유입된 중금속의 처분은 탈수 슬러지에 의한 처분에 의존되는 것으로 판단된다.

하수처리장 운전기간 6개월에 걸쳐 3개월 간격으로 채취한 탈수 슬러지 시료의 특성변화를 Table 3에 요약하였다. 처리장 운전이 6개월간 지속되는 동안 고형물 함량은 19.4%에서 21.5%로 증가하였으나 유기물질인 휘발성분의 함량은 60.2%에서 40.7%로 감소되었으며 이와 아울러 TKN의 5.2%에서 3.9%로 감소는 C/N비가 6.4에서 5.8로 감소되는 결과를 초래하고 있다. 하수처리장 운전기간 동안 탈수슬러지의 고형물에 대하여 비교적 저농도 중금속인 As, Cd, Hg, Pb 그리고 T-Cr은 일정 수준을 유지하고 있지만 고농도 중금속인 Al, Fe, Zn, Cu, Ni는 각각 23,000 mg/kg, 18,200 mg/kg, 2,200 mg/kg, 720 mg/kg, 150 mg/kg에서 각각 37,200 mg/kg, 23,600 mg/kg, 4,010 mg/kg, 1,790 mg/kg, 460 mg/kg으로 증가되었다. 이와같이 고형물의 휘발성분 감소는 중금속 농도의 증가와 동반되므로 유기물질이 아닌 고형물은 대부분 중금속인 것으로 판단되며 처리장 내에서 농축되고 있는 것으로 판단된다.

탈수 슬러지의 퇴비화 원료로서 적정성

본 연구에서 분석된 탈수 슬러지의 특성을 퇴비화의 원료로서 적정조건[16]과 퇴비화산물의 부산물비료로서 규격[17]과 비교하여 Table 4에 요약하였다. 퇴비화 원료로서 적정조건으로 pH, 수분함량, 유기물 함량 그리고 C/N비를 그리고 퇴비화산물의 부산물비료로서 규격은 유기물 함량, C/N비, 그리고 중금속인 As, Cd, Hg, Pb, T-Cr와 Cu를 선택하였다. 천안 하수처리장 탈수 슬러지 특성은 Table 4에 나타난 바와 같이 문헌[1,18]에 보고된 하수 슬러지 분석자료와 유사한 것으로 나타나고 있다. 천안 하수처리장 탈수 슬러지의 pH는 6.3, 수분함량은 79.5%, 유기물질 함량은 11.6%(고형물의 52.5%), C/N비는 6.1으로서 퇴비화 원료로서 적정조건과 비교하면 수분함량 조절을 위한 수분조절제와 C/N비 조정을 위한 탄소원의 첨가가 필수적이다. 탈수 슬러지의 As, Hg, 그리고 Pb 함량은 각각 1.8 mg/kg, <0.1 mg/kg, 그리고 54 mg/kg으로 퇴비화산물의 부산물비료 규격기준인 각각 50 mg/kg, 2 mg/kg, 그리고 150 mg/kg보다 낮게 나타났으나 Cd, T-Cr 그리고 Cu 함량은 각각 27 mg/kg, 370 mg/kg, 1,100 mg/kg으로 규격기준인 5 mg/kg, 300 mg/kg 그리고 300 mg/kg을 상회하고 있다. PCB는 검출되지 않았으며 부산물비료 규격기준에 들어 있지 않는 중금속인 Al, Fe, Ni 그리고 Zn은 비교적 높은 농도로 각각 31,200 mg/kg, 22,400 mg/kg 그리고 3,190 mg/kg으로 검출되었다. 이와 같이 천안 하수처리장 탈수 슬러지를 퇴비화하여 퇴비화산물을 부산물비료로 사용하고자 한다면 중금속 규격조건에 부합되도록 퇴비화 과정에서 수분조절제 혹은 원료의 구조적 안정성을 도모하기 위한 팽화제/첨가제의 첨가로 중금속을 희석하던지 아니면 하수처리장에 유입되는 중금속의 발생원을 추적, 제거하는 방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 1995년도 교육부(학술진흥재단) 지역개발연구

사업 연구비에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, J. S. (1994) Alternatives and problems of sewage sludge treatemnt, Proceedings of the 3rd conference on operation and maintenance of sewage treatment plant, p79-104, Cheju sewage treatment, Cheju.
2. US EPA (1979) Process design manual for sludge treatment and disposal, Technology Transfer, EPA 625/1-79-011, p12. 1-12.60, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, OH.
3. US EPA (1989) In-vessel composting of municipal wastewater sludge, Summary Report, EPA 625/8-89/016, Center for Environmental Research Information Center, Cincinnati, OH.
4. Haug, R. T. (1993) Compost Engineering, Lewis Publishers.
5. Epstein, E. J., M. Tayler, and R. L. Chaney (1976) Effects of sewage and sludge compost applied to soils on some physical and chemical properties, *J. Environ. Qual.*, **5**, 422-426.
6. Boyle, M., W. T. Frankenbeger, Jr., and L. H. Stolzy (1989) Influence of organic matter on soil aggregates and water filtration, *J. Prod. Agric.*, **2**, 290-299.
7. Ministry of Agriculture (1997) Amendments on Fertilizer Manufacturing Standard No. 1997-59, July 19.
8. Kuter, G. A., H. A. J. Hoitink, and L. A. Lossman (1985) Effects of aeration and temperature on composting of municipal sludge in a full-scale vessel system, *J. Water Poll. Control. Fed.*, **57**, 309-315.
9. Nagasaki, K., J. Kato, T. Akiyama, and H. Kubota (1987) A new composting model and assessment of optimum operation for effective drying of composting material, *J. Ferment. Technol.*, **65**, 441-447.
10. DeWalle, F. B. and E. S. K. Chian (1974) Kinetics of formation of humic substances in activated sludge system and their effect on flocculation, *Biotech. Bioeng.*, **14**, 739-755.
11. Nyholm, N., B. N. Jacobsen, B. M. Pederson, and O. Poulsen (1992) Removal of organic micropollutants at ppb levels in laboratory activated sludge reactors under various operating conditions, *Wat. Res.*, **26**, 339-353.
12. Rudd, T., R. M. Sterritt, and J. N. Lester (1984) Complexation of heavy metals by extracellular polymers in the activated sludge process, *J. Water Poll. Control. Fed.*, **56**, 1260-1268.
13. Kim, J. S. (1994) Report on start-up operation of Chunan sewage treatment plant, Chunan City, Chungnam.
14. APHA, AWWA and WEF (1992) Standard methods for the examination of water and wastewaters, 18th eds. APHA, Washinton, DC.
15. Ministry of Environment (1992) Design standard for sewer and sewage treatment facility, Seoul.
16. Han, S. H., Y. R. Chung, C. H. Cho, M. H. Kang, and S. K. Oh (1994) Studies on reaction parameters for composting of paper mill sludge in a small-scale reactor and static piles, *J. of Korea Organic Waste Recycling Council*, **2**, 19-29.
17. Chang, K. W. (1997) The stability and utility of compost, Symposium on Composting Technology of Food and Organic Water, p134-165, Korea Institute of Environmental Research, Seoul.
18. Chung, I. K. (1996) Personal communications, Rural Development Agency, Suwon.

Effects of Sewage Treatment on Characteristics of Sludge as a Composting Material

Jong-Soo Kim* and Jae-Koo Kim[1](**Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Sun Moon University, Asan City, Chungnam, 336-840, Korea, and [1]Chunan Sewage Treatment Plant, Chunan City, Chungnam, 330-260, Korea)*

Abstract : The effects of sewage treatment on characteristics of sludge as a composting material were investigated for a year during the initial operation at the full-scale Chunan sewage treatment plant. Due to the shortage of design capacity of belt press, a sludge dewatering unit, non-volatile solids were recirculating and concentrating in the treatment plant, resulting in an increase of MLSS and a decrease in F/M ratio at the activated sludge system. Special attention is required for long term operations since the increase of non-volatile solids in the plant would deteriorate the treatment efficiency. The sewage sludge of the Chunan sewage treatment plant showed 79.5% of water content, 11.6% of organic content, and C/N ratio of 6.1, and contained As 1.8 mg/kg, Cd 27 mg/kg, Hg <0.1 mg/kg, Pb 54 mg/kg, T-Cr 370 mg/kg, and Cu 1,100mg/kg of heavy metals. In order to be used as raw material for optimum composting, the sewage sludge requires bulking agents for moistrure/porosity control and a carbon source for adjusting C/N ratio. However, the sewage sludge is not adequate as a soil conditioner after composing due to a high content of heavy metals. If the sewage sludge has to be used as a soil conditioner after composting, it is required to identify and remove the industrial wastewater portions in the influent of the plant since heavy metals in the influent were mostly concentrated in dewatered sludge.

Key words : Sewage Sludge, Sewage Treatment, Compost, Heavy Metals
*Corresponding author