

난지도 하수슬러지 매립지의 슬러지 성상분석

남궁완, 황선숙, 김철수, 윤범한,* 류범수*

건국대학교 공과대학 환경공학과
화성산업주식회사 환경사업부
*삼성물산 주식회사 건설부문 토목엔지니어링팀

The Characteristics of Sludge Landfill Site in Nanjido

Wan Namkoong, Seon Suk Hwang, Chul Soo Kim
Bum Han Yeun,* Bum Su Ryu*

Dept. of Environ. Eng., College of Engineering Kon-Kuk University, Seoul, Korea
Environmental Business, Hwasung Engineering & Construction
*Civil Engineering Team, Engineering & Construction Groups, Samsung Corporation

ABSTRACT

This study was carried out to estimate the amount and the characteristics of sewage sludge disposed of in the Nanjido sludge landfill site. Boring test was conducted to estimated the landfill volume and to get sludge samples to be analyzed. Total analysis and leaching test were performed to find the characteristics of sewage sludge. The Nanjido sludge landfill site had the surface area of 50,000 m² and the average depth of 15 m. The estimated sludge volume was 600,000 ton. Sewage sludge in Nanjido sludge landfill site was very stable. Results of total analysis of heavy metals indicated that the sludge could be classified as a non-hazardous waste according to the California state regulation. The sludge also could be used as compost based on compost quality criteria of foreign countries. Results of Korea Extraction Procedure showed that sewage sludge in Nanjido sludge landfill site was not a hazardous waste.

Key words : Sewage sludge, Sludge landfill site, Sludge characteristics, Compost

초 록

난지도 하수슬러지 매립지 내 슬러지의 적정 처리방안을 검토하기 위한 기초조사로서 슬러지의 매립량 및 성상을 조사하였다. 보링시험을 통하여 매립지의 깊이를 측정하였고 슬러지성상분석을 위한 시료를 채취하였다. 주요 분석내용은 슬러지의 화학적 특성, 중금속함량 그리고 용출시험이었다. 조사결과 슬러지 매립지는 평균 15m 깊이에 약 5만 평방미터 넓이로 총 매립량은 60만톤 정도로 추정되었다. 슬러지의 성상을 분석한 결과 일반적인 하수슬러지에 비하여 상당히 안정화된 슬러지임을 알 수 있었다. 또한 중금속 함량 시험에서 구리를 제외한 모든 항목에서 미국 캘리포니아주의 일반폐기물기준을 만족하였으며, 외국의 퇴비내 중금속허용기준치와 비교한 결과 대부분 기준치 이내이었다. 슬러지의 용출시험결과 난지도 하수슬러지매립장의 슬러지는 일반폐기물로 분류되었다.

핵심낱말 : 하수슬러지, 슬러지 매립지, 슬러지성상, 퇴비

1. 서 론

현재 난지도내 하수슬러지매립지의 규모는 약 5만 평방미터 넓이에 깊이는 평균 15m 정도로 거대한 늪을 형성하고 있으며 총 슬러지매립량은 60만톤을 넘을 것으로 예측되고 있다. 이러한 매립지는 적절한 개선방안의 도입으로 적정 처리 및 처분하는 것이 부지활용측면 등을 고려할 때 바람직하다.

그러나 처리방안의 도입에 앞서 매립되어 있는 슬러지의 특성을 파악하는 것이 선결과제일 것이다. 난지도 매립장의 슬러지는 매립 후 7~8년이 경과하여 상당히 안정화되었을 것으로 예상되며 하수처리장에서 곧바로 발생하는 슬러지와는 그 특성에 차이가 있을 것이다. 처리방법 또한 현장특성을 고려하여 검토되어야 할 것이다. 일반적인 하수슬러지의 처리방법에 대한 연구는 많이 행하여져 왔으나 이와 같은 하수슬러지 매립지에 대한 연구는 거의 없는 상태이다. 따라서 본 연구에서는 먼저 슬러지의 물리화학적 성상과 중금속 함량 등을 조사하고 지정폐기물 여부를 판단하기 위하여 용출시험을 함께 행하였다. 이와 같은 분석결과에 기초하

여 여러 가지 개선방안에 대한 적용가능성이 검토될 수 있을 것이다.

2 재료 및 방법

2.1 시료채취

2.1.1 보링조사

매립된 슬러지의 깊이별 성상을 분석하기 위하여 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 매립지수평면을 고려하여 3지점을 선정하여 보링조사를 하였으며 조사현황을 Table 1에 나타내었다. 보링조사는 열흘 동안 시행하였다. 제1지점에서 예상 심도별로 보링한 결과 하층부에서는 바닥층토양이 채취되었다. 이에 제2지점에서는 하층부시료를 예상깊이보다 3m 정도 위에서 채취하였으나 역시 바닥층 토양이 채취되었다. 제3지점에서는 다른 지점의 중층부깊이에서 하층부시료를 채취하였다. 보링조사 결과 매립장의 전체깊이는 26m이고 그 중 슬러지층깊이는 약 15m 내외로 총 슬러지매립량은 60만톤 정도인 것으로 추정된다. 채취한 시료는 검은색에 가까운 짙은 갈색이었으며 약간의 악취가 감지되었으나 심한 정도는 아니었다.

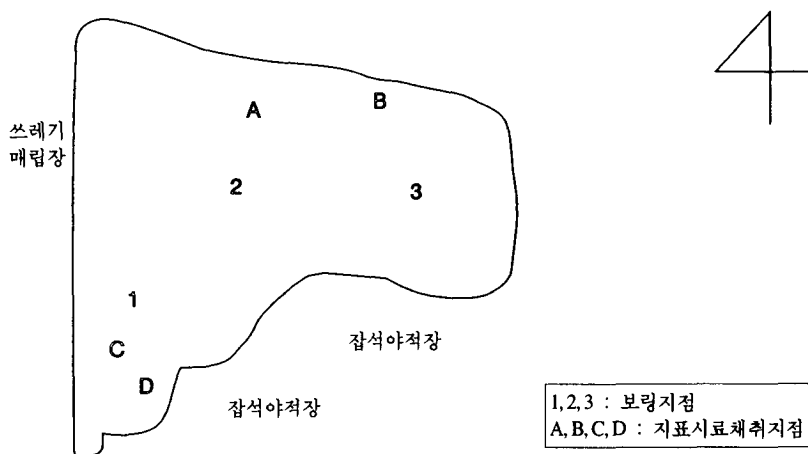


Fig. 1. Sampling points at the sewage sludge landfill site in Nanjido.

Table 1. Boring test results at the sludge landfill site.

Site	Sample name	Boring Depth (Surface Water Table Base)	Remarks
1	1-1	Top Portion (7.5 m)	- Textile waste was found at the depth of 19~23 m - Sample of Bottom portion is soil - The depth of surface water is 0.7 m
	1-2	Middle Portion (15.5 m)	
	1-3	Bottom Portion (25.5 ~ 27.0 m)	
2	2-1	Top Portion (7.5 m)	- Iron waste was found at the depth of 20~21 m - Sample of Bottom portion is soil - The depth of surface water is 1.3 m
	2-2	Middle Portion (15.5 m)	
	2-3	Bottom Portion (22.2 ~ 23.0 m)	
3	3-1	Top Portion (5.5 m)	
	3-2	Middle Portion (9.5 m)	
	3-3	Bottom Portion (14.5 m)	

2. 1. 2 지표시료채취

매립지 상부로의 접근이 가능한 4개 지점을 선택하여 직접 삽을 이용하여 채취하였다. 앞의 Fig. 1에 나타내었듯이 남측에 두지점, 북측에 두지점 모두 네군데서 채취하였으며 각 채취지점은 A, B, C, D로 명명하였다.

2. 2 분석항목 및 분석방법

2. 2. 1 분석항목

슬러지의 성상분석은 전량시험과 용출시험으로 나누어 행하였다. 슬러지의 용출시험결과는 지정 폐기물 판정여부를 확인하는 자료가 되므로 특히 중요하다. 각 시험별 분석항목을 다음의 Table 2에 나타내었다.

2. 2. 2 분석방법

슬러지 전량시험에서 pH, TS, VS는 폐기물공정시험법 (환경처, 1991)에 따랐고 TOC, TKN, TP는 토양화학분석법 (농업기술연구소, 1988)에

Table 2. Analytical items of the sludges.

Item	
Total Analysis	pH, TS, VS, TOC, TKN, TP, Heating Values Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr, Hg, As, Mn, Fe
Leaching Test	Pb, Cu, Cd, Cr, Hg, As, CN, Organic Phosphorus, TCE, TeCE

따라 분석하였다. 분석항목중 TOC, TKN, TP, 발열량, 중금속 등은 채취시료를 105°C에서 건조시킨 후 분쇄, 체질하여 입도가 균일한 시료로 제조하여 분석하였다. 중금속은 고형물시료의 경우 질산-황산-과염소산법으로, 용출액은 질산-황산법으로 전처리하여 원자흡광광도기기로 측정하였다(환경처, 1991). 용출시험은 폐기물공정시험법(환경처, 1991)에 따라 행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일반성상분석결과

각 지점별 깊이별 시료의 일반성상을 분석한 결과를 Table 3에 제시하였다. 시료 1-3과 2-3은 보링조사현황에서 설명한 대로 바닥층 토양이므로 결과에서 제외하였다. pH는 모든 시료에서 8내외

의 값을 나타내고 있었다. TS는 세 지점 모두 수면에 가까울 수록 낮은 수치를 나타내고 있으며 대개 30% 내외로서 일반적인 탈수후 하수슬러지의 고형물함량과 유사하였다. VS함량은 모두 30% 내외로 하수처리장에서 발생하는 슬러지의 VS함량과 비교해 볼 때 상당히 안정화된 상태임을 알 수 있다. 또한 깊이에 따른 농도차이는 거의 없었다. TOC농도는 모든 지점에서 15% 정도로 낮은 농도를 나타내었고 질소농도도 1.5% 내외의 유사한 값을 보였다. 인의 경우는 지점별로 약간의 농도차이를 보였다.

슬러지의 건조고위발열량은 1,240~2,000 kcal/kg 범위의 값을 나타내었으며 가연분기준발열량은 평균 5,200 kcal/kg이었다. 전형적인 슬러지의 발열량을 미국 EPA(1984)와 서울시자료(1992)를 참고하여 Table 4와 Table 5에 요약적으로 나타내었다. 난지도슬러지는 미국EPA자료에 의한 소화슬러지 열함량의 60%에 불과한 것으로 나타나 상대적으로 VS함량이 낮고 안정화되었음을 의미한다. 가연분기준으로 비교하면 난지도슬러지나 미국의 소화슬러지 모두 5,000 kcal/kg 내외이다. 그러나 서울시자료와 비교할 때 난지도 슬러지의

Table 3. Physicochemical Composition of the Sewage Sludges.

Sample	pH	TS (%)	VS (%)	TOC (%)	TKN (%)	C/N	TP (mg/kg)	Heating Value (kcal/kg)	
								Dry	Dry ash-free
1-1	8.3	26	32	14	1.60	8.8	439	1,660	5,190
1-2	8.9	41	29	15	1.34	11.1	200	1,360	4,690
2-1	8.7	35	26	15	1.44	20.2	158	1,360	5,230
2-2	8.9	46	27	15	1.37	17.8	276	1,270	4,700
3-1	8.1	21	32	18	1.78	9.8	156	1,810	5,660
3-2	8.4	28	31	16	1.44	10.8	196	2,000	6,450
3-3	8.5	37	27	12	1.58	7.5	277	1,240	4,600
A	8.4	24	38	19	1.89	9.9	417	1,750	4,600
B	7.9	25	37	21	1.76	11.9	363	1,800	4,860
C	8.3	23	31	13	1.68	7.6	326	1,500	4,840
D	8.3	34	20	12	1.82	6.4	164	1,470	7,350

건조고위발열량이 1,000~2,000 kcal/kg 정도 낮은 것으로 나타났다. 일반성상분석결과를 종합해 볼 때 난지도슬러지매립장의 슬러지는 일반적인 하수슬러지에 비하여 상당히 안정화된 슬러지임을 알 수 있었다.

Table 4. Typical Heating Values of Several Sludges (kcal/kg dry solids).

Materials	VS (%)	Heating Values (kcal/kg)	
		Dry	Dry ash-free
Grease and Scum	88.5	9,280	10,490
Raw Sludge	74	5,710	7,720
Digested Sludge	60	2,940	4,900

Table 5. Heating Values of Sewage Sludges in Seoul.

Materials	VS (%)	Heating Values (kcal/kg)	
		Dry	Dry ash-free
Thickened Sludge	32~60	2,400~4,200	5,300~7,700
Dewatered Sludge	27~67	1,800~4,300	6,200~7,500
Night soil and Imhoff Sludge	73~86	4,791~5,250	

Table 6. Heavy Metal concentrations in Sludges (mg/kg, dry basis).

	This Study		Korea (1)	Seoul (2)	EPA(3)	
	Range	Median			Range	Median
Pb	ND~800	274	19~482	ND~304	13~26,000	500
Zn	686~2,483	1,625	9~4,992	542~1,581	101~49,000	1,700
Cu	409~1,408	772	4.3~4,056	281~638	84~17,000	800
Ni	23~336	168	-	-	2~5,300	80
Cd	ND~55	14	ND~50	0.8~5.4	1~3,410	10
Cr	18~228	138	ND~1,887	62~266	10~99,000	500
Hg	2.2~8.0	4.7	ND~11.1	ND~1.7	0.6~56	6
As	ND	-	6~109	0.8~3.1	1.1~230	10
Mn	ND~7,190	674	-	-	32~9,870	260
Fe	23,200~58,000	29,100	1,604~22,794	3,419~30,853	1,000~154,000	17,000

(1) 환경처 (1994); (2) 서울특별시 (1992); (3) EPA (1984)
 ND : Not Detected

3.2 중금속 함량 분석결과

슬러지 시료의 중금속 분석결과를 기타 발표자료의 결과치와 함께 Table 6에 나타내었다. 환경기준이 엄격한 미국 캘리포니아주의 중금속함량 규제치와 외국의 퇴비내 중금속 함유량의 최소 및 최대기준치는 Table 7에 제시하였다. 중금속 함량 분석결과 각 지점별 및 깊이별로 일정한 경향을 나타내고 있지 않아 전체 분석결과치의 농도범위와 중앙값 (median)을 도입하여 다른 자료들과 비교하였다.

분석결과 대부분의 중금속 항목들이 농도범위에서는 다른 자료의 결과치와 큰 차이를 나타내지 않았다. 중앙값으로 비교해 보면 미국자료에 비하여 니켈과 망간, 철이 두배 이상 높게 나타났으며 카드뮴도 약간 높은 값을 나타내었다. 그러나 환경기준이 엄격하기로 유명한 미국 캘리포니아주의 기준과 비교할 때 구리를 제외한 모든 항목이 기준치 이하로 나타났다.

난지도 슬러지의 중금속함량의 중앙값은 외국의 퇴비내 중금속허용기준과 비교해 볼 때 최대기준은 모두 만족하였으며 최소기준도 구리와 니켈, 카드뮴을 제외하고 모두 만족시키는 것으로 나타났다.

Table 7. Heavy Metal Standards for Sludge in California state and for Compost in Foreign Countries.

	This Study (mg/kg, dry basis)		Sludge Standard (mg/kg, wet basis)	Compost Standard (mg/kg, dry basis)	
	Range	Median		Minimum	Maximum
Pb	ND~800	274	1,000	500	2,200
Zn	686~2,483	1,615	2,500	2,000	10,000
Cu	409~1,408	772	250	600	3,000
Ni	23~336	168	2,000	100	500
Cd	ND~55	14	100	10	40
Cr	18~228	138	2,500	200	2,000
Hg	2.2~8.0	4.7	20	7.5	25
As	ND	-	500	-	-

ND : Not Detected

Table 8. Leaching Test Results of the Sludges.

Sample	Cr	Cu	Cd	Pb	As	Hg	CN	TCE	TeCE	Organic Phosphorus
1-1	0.037	0.316	0.004	0.114	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1-2	0.096	0.380	0.002	0.197	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-1	0.049	0.151	0.007	0.136	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-2	0.013	0.017	0.006	0.306	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3-1	0.005	0.118	0.014	0.220	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3-2	ND	0.008	0.007	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3-3	0.029	0.152	0.007	0.417	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A	ND	0.068	0.004	0.043	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B	ND	0.289	0.005	0.072	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C	0.068	0.094	0.007	0.087	ND	ND	ND	ND	ND	ND
D	ND	ND	0.013	0.093	ND	ND	ND	ND	ND	ND

그러므로 난지도 슬러지로 퇴비화하였을 경우 생산 퇴비의 이용은 충분히 가능하다고 볼 수 있다. 특히 복토재나 삼림 또는 황폐지역의 개량에 이용하는 데는 문제가 없을 것이다.

3.3 용출시험결과

슬러지채취지점별 용출시험결과를 Table 8에 나타내었다. 시험결과 모든 항목에서 규제기준치 이하의 농도를 나타내어 난지도슬러지매립장의 슬러지는 일반폐기물로 분류된다.

4. 결 론

난지도 하수슬러지 매립지 내 슬러지의 적정 처리방안을 검토하기 위한 슬러지매립지 기초조사 결과 슬러지 매립지는 평균 15m 깊이에 약 5만 평방미터 넓이로 총 매립량은 60만톤 정도로 추정되었다. 슬러지의 성상을 분석한 결과 일반적인 하수 슬러지에 비하여 상당히 안정화된 슬러지임을 알 수 있었다. 또한 중금속 함량 시험에서 구리를 제외한 모든 항목에서 미국 캘리포니아주의 기준을 만족하였으며, 중금속 함량의 중앙값으로 외국의 퇴비내 중금속허용기준과 비교한 결과 최대기준치

는 모두 만족하였으며 최소기준치도 구리와 니켈, 카드뮴을 제외한 모든 항목에서 만족하였다. 슬러지의 용출시험결과 난지도 하수슬러지매립장의 슬러지는 일반폐기물로 분류되었다.

참 고 문 헌

1. 농업기술연구소(1988), 토양화학분석법
2. 서울특별시(1992), 하수슬러지 최종처리·처분 방안 개선연구
3. 환경처(1991), 폐기물공정시험법
4. 환경처(1994), 하수종말처리장 슬러지광역처리방안에 대한 타당성 조사연구
5. EPA(1984), Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge, Environmental Regulations and Technology