

잔골재로서 하수준설토의 재활용에 관한 연구

A study on the Recycling of Sewage Dredged Soils
as Fine Aggregate

이 송

〈서울시립대학교 토목공학과 교수, 공학박사〉

채 점 식

〈서울시립대학교 토목공학과 대학원, 박사수료〉

김 혁

〈산양공영(주) 대표이사〉

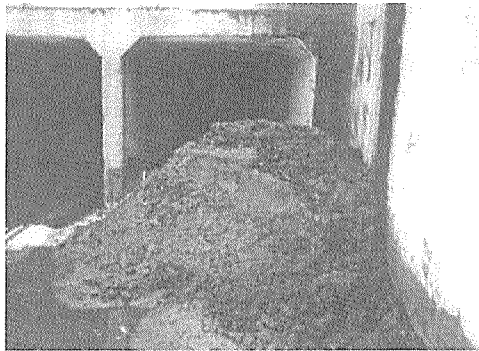
Abstract

This paper describes the feasibility of recycling sewage dredged soils as fine aggregate. The specific gravity of the dredged soils was smaller than that of sand due to the effect of dredged sludge. However, the grain size distribution of the dredged soils is relative well graded, and the results of the heavy metal concentration from the leaching test of the dredged soils was significantly lower than the requirements of the allowable criteria. Therefore, the effect of recycling of dredged soils on environment the as fine aggregate was negligible. Also, the specific gravity of the dredged and washed soils was similar to that of sand, and the dredged and washed soils for the most part showed lower heavy metal leaching characteristics than those of dredged soils. Also, the results of the study for evaluation the recycling feasibility of dredged and washed soils as fine aggregate. The organic impurity content of the dredged and washed soils was lower than the requirements of the Korean industrial Standards, and the mortar compressive strength using the wash-dredged soils also met those of the Korean industrial Standards. And, the strengths of the dredged and washed soils were over 95% of those of the NaOH-treated samples. Therefore, it is expected that the dredged soils will be able to be an alternative for fine aggregate.

1. 서론

우리 나라 각 시·도의 하수관로는 년 1회 이상 준설계획에 의거 토사 및 협잡물을 제거하고 있다. 이렇게 제거된 준설토는 현재 지역의 특성에 따라 직영 또는 도급 준설방식을 채택하여 폐기물 관리법에 준하여 소각하거나 수분함량 85% 이내로 탈수·건조하여 관리형 매립시설에 매립하도록 규정하고 있다. 그러나, 소각의 경우 2차 대기오염물질을 발생시키며, 매립하는 경우에도 탈수 및 건조 등의 중간처리 비용이 상당히 많이 소요되고, 매립공간의 확보도 어려워 현재의 처분방법은 매우 비효율적이다. 그러므로, 하수준설토 중에서 중간처리과정을 거쳐 토사를 건설재료로 재활용하여 부가적으로 준설오니의 처분량까지 감소시키는 효율적인 처리방안에 대한 연구를 수행할 필요성이 있다.

따라서, 본 연구에서는 국내 하수관로 준설과정에서 발생하는 준설토를 연구대상으로 하여 물리·역학적 기본 특성을 연구하고, 환경적인 안정성을 파악하여 준설토에 포함된 토사 및 자갈 등의 유용재를 세척·선별하여 건설재료로 재활용함으로써 심각한 골재 난을 겪고 있는 국내실정에서 쇄석이나 모래를 대체할 수 있는 가능성을 검토하였다.



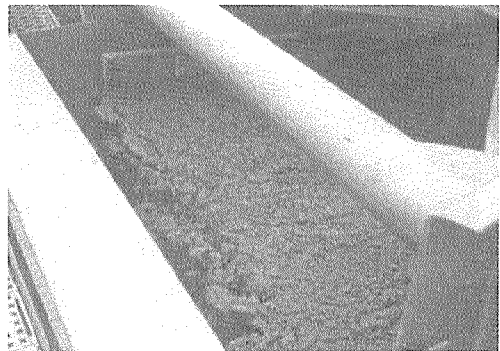
(그림 1) 준설된 하수토 장면

2. 하수준설토의 처분현황

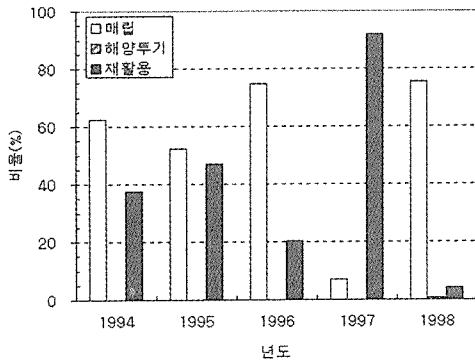
국내의 폐기물 최종처분은 대부분 매립과 소각에 의한 방법이 주류를 이루고 있다. 하수준설토의 경우에도 모든 광역시와 수도권지역 대부분이 매립처리를 시행하고 있으며, 매립지가 부족한 지역에서는 일부 해양투기를 병행하여 처리하고 있는 실정이다. 그러나, 이러한 매립장 조성에는 막대한 투자가 필요할 뿐만 아니라 지금까지 추진해 왔던 해양 매립장의 경우도 관리형 매립지에서 설치하는 차수막의 포설이 실질적으로 불가능한 형편이므로 이를 대신할 육상 매립장을 구하는 문제는 현실적, 사회적, 지리적 여건으로 거의 불가능한 상황에 있다.



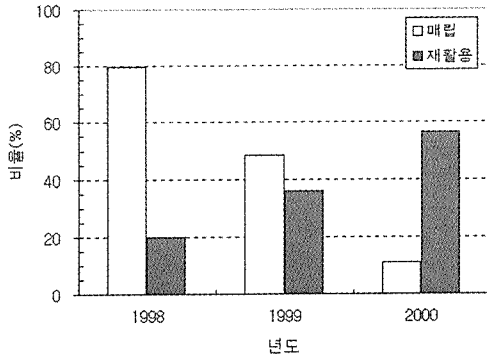
(그림 2) 하수준설토를 매립장으로 반입 장면



(그림 3) 하수준설토로부터 잔골재 생산 장면



(그림 4) 국내 하수준설토의 처분 비율도



(그림 5) 서울시 하수준설토의 처분 비율도

그래서, 정부에서도 폐기물의 매립처분을 점차 줄이는 계획을 하고 있으며, 장래 발생될 폐기물의 절대량이 증가되는 것과 좁은 국토를 가지고 있는 국내의 여건 및 근래에 급격히 확산되고 있는 지역 이기주의 현상을 고려한다면, 향후 매립처리에 의한 방법보다는 재활용 효율을 향상시키는 것이 시급히 해결되어야 할 과제이다.

[그림 4]는 연도별 국내 하수준설토의 처분 비율을 나타낸 것으로 매립이 큰 비중을 차지함을 알 수 있다. 특히, 1997년의 경우, 재활용율이 상당히 높게 나타났는데, 이는 기후 및 환경적인 영향으로 하수준설토의 질이 매우 좋았던 것으로 판단된다.

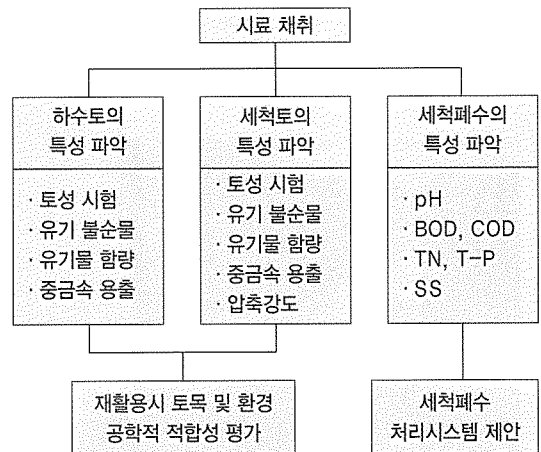
한편, [그림 5]는 서울시의 하수준설토 처분 현황을 나타낸 것으로, 그림에서 보듯이 매년 하수준설토의 매립율은 감소하는 반면, 재활용 비율은 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있다.

이처럼 최근 들어 대규모 공사로 인한 골재의 수요가 매년 급증하고 있으며, 환경보전 및 자원절약 측면이 강조되면서 폐기물의 감량화 또는 제자원화하는 노력으로 적절한 처리과정을 거쳐 공장부지를 위한 성토재나 레미콘의 잔골재로 활용하고 있다.

3. 하수준설토의 적합성 평가

3.1 개요

하수준설토가 잔골재로 재활용이 가능한지를 평가하기 위해서 [그림 6]과 같이 물리 역학적 실험을 수행하였다. 먼저, 준설토와 세척토에 대하여 토성실험과 유기불순물 실험을 실시하였으며, 모르타르 압축강도 실험은 세척토에 대해서만 수행하였다. 이러한 결과를 이용하여 준설토 및 세척토의 기본 물성을 파악하고, 세척토를 잔골재로 재활용할 경우에 적합한 강도를 얻을 수 있는지 확인하였다.



(그림 6) 수행한 시험 및 목적

한편, 유기물 함량시험과 중금속 용출실험을 수행하여 하수준설토를 재활용시 환경에 미치는 유해성여부를 평가하였다. 또한, 준설토를 세척하는 과정에서 발생하는 세척폐수의 수질 평가시험을 수행하였는데, 이는 세척폐수 처리방법을 제안하기 위한 기초자료로 이용하기 위함이다.

3.2 시험 시료

본 연구에서 사용한 시료는 [그림 7]과 같이 당일 여러지역에서 준설 및 운반되어 혼합적재된 곳에서 준설토를 채취하였다. 그리고, 세척토의 경우는 세척 공정을 거치고 야적되어 있는 상태에서 채취하였다.



(a) 하수준설토



(b) 세척토

(그림 7) 시료 채취 장면

세척후 10일이 경과한 시료를 WS-1, 세척후 1년된 시료를 WS-2로 구분하였다. 또한, 세척수의 수질을 평가하기 위하여 채취한 시료는 채취한 장소를 기준으로 착수조와 침전조로 구분하였다. 이 중에서 시료 MS와 WS-2에 대하여 토성시험을 실시한 결과, [표 2]와 같이 MS 시료는 비중이 2.61인 통일분류법상 입도가 좋은 모래로 판명되었다. 그리고, 세척토 WS-2 시료의 경우도 비중이 2.65이고 통일분류상 SW로 구분되었다.

[표 1] 시료의 구분

구 분	시료기호	비 고
준 설 토	MS	
세 척 토	WS-1	세척후 10일 경과
	WS-2	세척후 1년 경과
세 척 수	착수조	
	침전조	

[표 2] 시료별 토질 정수

구 분	MS	WS-2
Gs	2.61	2.65
LL(%)	N.P	N.P
PI(%)	N.P	N.P
함수비(%)	11.7	4.9
No. 200 통과량	4.8	4.9
흙의 종류	SW	SW

3.3 주요 시험장치 및 방법

본 연구에서 수행한 시험은 [그림 6]과 같으며, 사용한 주요 시험장치 및 방법은 다음과 같다.

(1) 중금속 용출 시험기

본 연구에서 사용한 토양 중금속 용출 분석 장비는 일본 SHIMADZU사가 제작한 ICP

로 아르곤가스를 플라즈마가스로 사용하며, 고주파 발생기로부터 발생된 주파수 영역에서 플라즈마를 발생시켜 시료를 분석한다. Cr, Cu, Pb, Cd 등은 일반중금속용 챔버로 시료를 분사하여 분석하고, Hg와 As는 HGV를 이용하여 수소이온을 발생시키는 챔버를 사용하여 분석한다. 분석된 분석치는 컴퓨터 자동 처리 장치를 통해 얻을 수 있다.

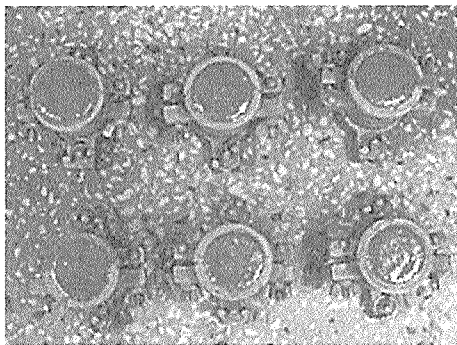
(2) 흡광도분석기

하수토를 세척하는 과정에서 발생하는 세척수의 T-N 및 T-P를 분석하기 위해 HITACHI사의 흡광도분석기를 사용하였다. 이 장비는 광원에서 나오는 빛을 단색화장치에 의하여 좁은 파장범위의 빛만을 선택하여 액층을 통과시킨 다음 광전측광으로 흡광도를 측정하여 목적성분의 농도를 측정한다.

(3) 모르타르 공시체 성형기

모르타르 공시체는 [그림 8]과 같이 원주형 몰드를 이용하여 높이가 지름의 2배가 되도록 지름 5cm, 높이 10cm로 제작하였으며, 이때, 효과적인 다짐을 위해서 다짐대와 나무망치를 사용하였다.

먼저, 모르타르는 시멘트와 잔골재의 배합 중량비를 1:2.4로 하고, 물-시멘트 비는 0.5



[그림 8] 공시체 성형 장면

로 결정하여 혼합기를 이용하여 제작하였다. 이처럼 준비한 모르타르를 몰드에 3층으로 나누어 채운 후 다짐대로 25회씩 다져 공시체를 제작하고, 습윤양생기에서 3~4 시간 양생시킨 후에 몰드 윗면의 여분 모르타르를 평평하게 제거하고 캡핑한 뒤 다시 습윤양생기에 20~24시간 양생한다. 그리고, 몰드에서 해체한 공시체는 압축시험을 실시할 때까지 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에 완전히 침수시켜 양생하였다.

(4) 압축강도시험기

본 모르타르의 일축압축강도를 측정하는데 사용한 장비는 일본 SHIMADZU사에서 제작한 디지털 압축재료시험기로 전동유압식으로 하중을 가하는 본체와 하중을 제어하고 계측하는 진자동력계로 구성되어 있다. 압축강도시험은 공시체를 저장수조에서 꺼낸 즉시 시험을 해야하며, 시험 전에 공시체 표면은 건조시킨 다음 압축시험기의 구좌면과 접하는 율통불통한 모래는 긁어 버린다. 공시체를 재하판 중심에 올려놓고 최대하중에 도달할 때까지 재하속도를 국내 KS F 2405 기준에 의거 $2.5 \text{ kg/cm}^2/\text{s}$ 로 실시하였다. 모르타르 공시체의 재령에 따른 압축강도는 포틀랜드의 시멘트의 경우 [표 3]과 같다.

[표 3] 모르타르의 압축강도기준(단위 : kgf/cm^2)

시멘트의 종류		재령압축강도	
		7일	28일
보통 포틀랜드 시멘트	A	197	281
	B	185	260

4. 시험결과 및 고찰

4.1 유기물 함량

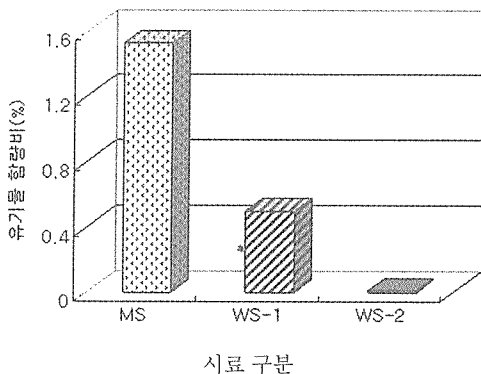
재활용골재에 유기물이 다량 함유되어 있으

면, 추후에 부식이나 부피감소로 인해 강도저하의 원인이 되므로 유기물함유량은 건설골재료의 적합여부는 판단하는 기준이 될 수 있다. [표 4]는 시료별 유기물 함량시험 결과를 나타낸 것으로 준설토와 세척토는 2%미만의 유기물을 함유하고 있었다. 그리고, [그림 9]는 세척과정에서 씻겨나가는 유기물의 양을 가시적으로 보여주는 것으로 세척토 WS-1 시료는 세척전 시료에 비해 유기물 함량이 크게 감소하였으며, WS-2 시료도 거의 유기물이 존재하지 않았다.

그러나, 준설토의 성분은 지역적, 계절적 영향을 많이 받게 되므로 유기물 함량이 감소한 이유를 세척효과로만 볼 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 세척토에 대하여 추가적으로 유기불순물 시험을 실시하였다. 이 시험은 모르타르 및 콘크리트에 사용하는 모래에 포함되는 유기불순물의 유해량을 개략적으로 정하기 위한 것이다. 이처럼 세척토에 포함된 유기불순물의 유해량을 측정한 결과, 시료 상부의 투명

[표 4] 시료별 유기물 및 회분 함량

시료 구분		MS	WS-1	WS-2
구성비율 (%)	유기물	1.53	0.50	0.01
	회분	98.47	99.50	99.99



[그림 9] 시료별 유기물 함량도

한 용액의 색이 농황색으로 표준색용액의 색과 비교하여 연하게 나타나 합격으로 판정되었다. 즉, 하수준설토를 세척처리 하면 상당한 유기불순물이 제거됨을 알 수 있다. 또한, 시료 상부의 용액이 표준색용액보다 진할 경우를 대비해서 모르타르의 압축강도에 의한 잔골재 시험을 실시하였다.

4.2 중금속 용출 농도

토양환경보전법상에서 규정하는 중금속 기준항목에 대해서 용출시험을 수행한 결과, [표 5]와 같이 나타났다. 여기서, 비교기준은 준설토의 재활용 용도를 고려하여 공장·산업지역에 대한 기준으로서 설정하였다.

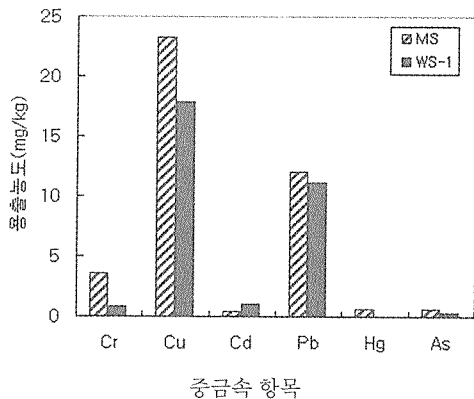
표에서 보듯이 준설토와 세척토 모두 6가지

[표 5] 시료별 중금속 용출농도

(단위 : mg/kg)

구분	Cr	Cu	Cd	Pb	Hg	As
법적우려기준	12	200	12	400	16	20
MS	3.57	23.30	0.44	12.09	0.58	0.64
WS-1	0.81	17.87	1.04	11.16	0.04	0.28
WS-2	1.47	6.45	N.D	4.58	N.D	0.03

* N.D : Not Detected(검출안됨)



[그림 10] 시료별 중금속 용출 농도

중금속 항목에 대하여 우려기준을 만족하였다. 그리고, [그림 10]은 시료별 중금속 항목별 용출 농도를 도시한 것으로 두 시료 모두 Cu와 Pb가 높게 나타났으나, 그 농도는 우려 및 대책 기준에 비해 충분히 낮은 수치이므로 하수준설도를 세척하는 얻어진 세척토를 일반 토사로 분류할 수 있다.

4.3 입도 특성

세척토를 잔골재로 사용할 경우, 표준 잔골재와 차이를 파악하기 위해서 [표 6]과 같이 입도분석을 실시한 결과, 표준 잔골재의 시방 기준과 유사하게 나타났으며, 조립율은 3.61로 기준보다 조금 큰 입도분포를 가지는 것으로 나타났다.

[표 6] 세척토의 입도분포

체 구분	통과율(%)	
	시방기준	시험결과
10mm	100	100
No. 4	95~100	95.5
No. 8	80~100	68.2
No. 16	50~85	47
No. 30	25~60	21.8
No. 50	10~30	5.2
No. 100	2~10	1.3
조립율	2.40±0.10	3.61

4.4 압축강도 특성

[표 7]은 각 시료별로 제작한 모르타르 공시체를 일정기간 동안 양생시킨 후에 일축압축강도시험을 실시하여 얻은 결과이다. 분석결과, 모든 공시체에서 양생일수가 증가할수록 압축강도는 증가하였으며, 동일한 양생일수에서 압축강도를 비교해 보면, 전체적으로 SS

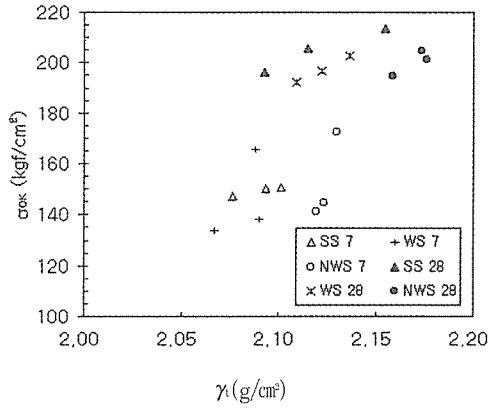
공시체가 다소 크게 측정되었고, NWS 공시체, WS 공시체 순으로 나타났다.

[그림 11]은 공시체별 시험전 습윤단위중량을 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 NWS 공시체의 습윤단위중량이 다소 크게 나타났으나, 전체적인 습윤단위중량 범위가 2.067~2.130 g/cm³으로 나타나 비교적 공시체가 균일하게 제작되었음을 알 수 있다. 그러므로, 공시체 제작과정상에 오차로 인한 압축강도의 영향은 미소했을 것으로 판단된다. 특히, 표준사로 제작된 SS 공시체의 경우는 다른 공시체와 비교하여 압축강도가 비교적 균일하게 측정되어 안정화된 건설재료임을 알 수 있었다.

[표 8]은 각 공시체에서 얻어진 평균 압축강도와 국내 환산기준강도를 나타낸 것이다. 여기서, 국내 환산기준강도는 KS L 5201에서 규정하는 보통포틀랜드 시멘트 압축강도에 공

[표 7] 시료별 모르타르 일축압축강도 σ_k

구분	재령	공시체구분	γ (g/cm ³)	σ_k (kgf/cm ²)
표준사 (SS)	7	SS 7-1	2.076	147
		SS 7-2	2.101	151
		SS 7-3	2.093	150
무처리 세척토 (WS)		WS 7-1	2.088	166
		WS 7-2	2.067	134
		WS 7-3	2.090	138
씻은 세척토 (NWS)		NWS 7-1	2.123	145
		NWS 7-2	2.119	141
		NWS 7-3	2.130	172
표준사 (SS)	28	SS 28-1	2.154	214
		SS 28-2	2.093	196
		SS 28-3	2.115	206
무처리 세척토 (WS)		WS 28-1	2.109	192
		WS 28-2	2.122	197
		WS 28-3	2.136	203
씻은 세척토 (NWS)		NWS 28-1	2.176	201
		NWS 28-2	2.173	205
		NWS 28-3	2.158	195



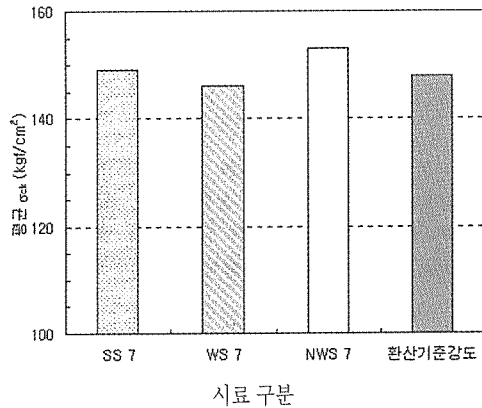
(그림 11) 공시체별 습윤단위중량과 압축강도

(표 8) 공시체별 평균압축강도

구분	SS	WS	NWS	시방기준
평균 σ_{ck} (7일)	149	146	153	$185 \times 0.8 = 148$
평균 σ_{ck} (28일)	205	197	200	$260 \times 0.8 = 208$

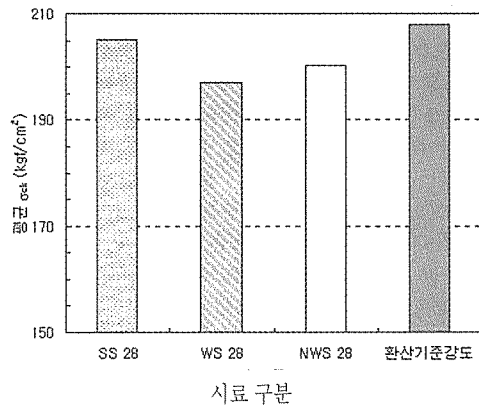
시체의 형상을 고려한 강도이다. 앞서 제시한 [표 3]의 KS 기준에 의하면 보통 포틀랜드 시멘트의 압축강도가 재령별로 각각 185, 260 kgf/cm² 이상을 만족해야 하지만, 이는 입방형 공시체를 대상으로 한 기준이므로 원주형 공시체의 압축강도로 환산해야 한다. 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용하고 있는 평균환산계수 0.8을 이용하여 압축강도를 산정환 결과, [그림 12]와 같이 수산화나트륨으로 처리한 세척토로 제작된 NWS 공시체가 가장 크게 나타났으며, 표준사로 제작한 SS 공시체와 세척토로 제작한 WS 공시체는 거의 유사하게 나타났다. 다시 말하면, SS7 공시체와 NWS7 공시체는 환산기준강도를 만족하였으며, WS7 공시체도 환산기준강도의 98.6%에 해당되었다. 또한, 세척토로 제작한 모르타르의 일축압축강도가 수산화나트륨으로 씻은 세

척토로 제작한 모르타르 공시체의 95% 이상으로 나타나 책임기술자의 승인 하에 건설재료로 사용할 수 있는 것으로 나타났다.



(그림 12) 공시체별 7일 양생강도와 환산기준강도

한편, 28일 양생시킨 공시체의 경우는 [그림 13]에서 보듯이 모든 공시체가 환산기준강도보다 조금 작게 나타났다. 즉, NWS 공시체와 WS 공시체는 각각 환산기준강도의 96.1%, 94.7%에 해당되어 거의 유사하게 나타났다. 또한, WS 공시체의 압축강도가 NWS 공시체 압축강도의 98.5%로 책임기술자의 승인 하에 건설재료로 사용할 수 있는 것으로 나타났다.



(그림 13) 공시체별 28일 양생강도와 환산기준강도

이상과 같이, 도시하수 준설토를 세척 처리한 세척토를 모르타르의 잔골재로 사용할 경우, 모르타르 공시체의 7일, 28일 양생강도가 기준강도에 대체적으로 근접하는 것을 알 수 있었다.

4.5 세척폐수의 수질분석

하수준설토를 건설재료로 재활용하기 위한 중간처리방법으로 본 연구에서는 물을 이용한 세척방법을 이용하였다. 이러한 세척과정에서 발생하는 폐수를 취하여 바람직한 세척공정을 제안하기 위하여 기본적인 수질 분석을 실시하였다.

착수조 및 침전조에서 채취한 세척폐수의 수질을 분석한 결과, [표 9]와 같이 나타났다. 여기서, 수질기준은 배출량 2000m³ 청정지역의 수질기준과 비교하여 폐수처리 공정의 필요유무를 결정하였다.

[표 9] 세척폐수의 수질분석 결과

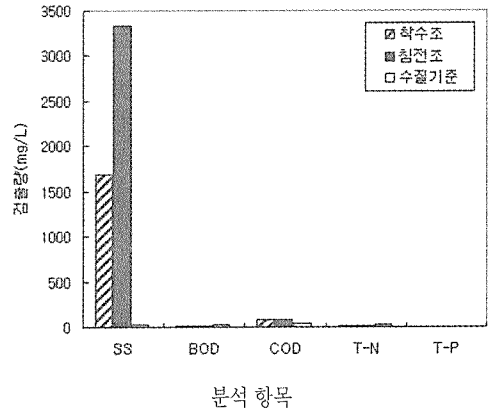
(단위 : mg/l)

시료구분	pH	SS	BOD	COD	T-N	T-P
착 수 조	7.14	1695	13.63	76.75	10.87	2.93
침 전 조	7.15	3340	19.25	87.1	9.97	2.25
수질기준	5.8~8.6	30이하	30이하	40이하	30이하	4이하

분석 결과, [그림 14]와 같이 세척폐수는 SS 및 COD항목에서 배출수 수질기준을 만족하지 못하므로 자체적인 폐수처리가 필요하다고 판단된다. 특히, SS가 매우 높고 BOD는 비교적 낮으므로 생물학적 처리공정보다는 물리·화학적 공정을 도입하는 것이 바람직하며, 최초 침전조의 설계시 효과적인 SS제거에 역점을 두어야 한다.

한편, 세척폐수의 T-N 및 T-P 농도는 배출수 수질기준보다 낮은 농도의 방류수 수질기

준인 T-N가 60 mg/l 이하이고, T-P도 8 mg/l 이하이므로 폐수처리공정은 1차 SS처리 및 2차 유기물 처리공정만 설계해도 배출수의 기준을 충분히 만족시키는 수질을 얻을 수 있다고 판단된다.



[그림 14] 세척폐수의 수질과 수질기준의 비교

5. 결론

본 연구에서는 기존 폐기물로 처분 및 방치되었던 하수준설토를 토목공사용 재료인 잔골재로 재활용하는 가능성을 평가하고, 세척폐수 처리방법을 제안하기 위한 목적으로 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하수준설토는 유기물의 영향으로 일반 모래에 비하여 비중 값이 조금 작게 나타났다. 그러나, 법적허용기준보다 현저히 낮은 양의 유해물질을 포함하고 있으며, 비교적 입도분포가 양호한 것으로 판정되었다. 그리고, 세척과정을 거친 세척토의 경우도 기존 모래와 유사한 비중 값을 보였으며, 준설토와 마찬가지로 토양환경보전법상의 모든 중금속 항목의 규제기준을 만족하여 잔골재로 재활용시 환경적인 유해성은 없는 것으로 나타났다.

2. 세척토를 잔골재로 재활용하는 가능성을 연구한 결과, 유기불순물이 허용치 이하로 나타났으며, 모르타르 압축강도도 국내기준에 거의 만족하였다. 또한, 세척토로 제작한 모르타르의 압축강도가 수산화나트륨으로 씻은 세척토로 제작한 모르타르 공시체의 95% 이상으로, 책임기술자의 승인하에 잔골재로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.
3. 본 세척과정에서 발생하는 세척폐수는 BOD/COD 수치가 낮으므로 생물학적 처리는 불가능하므로 물리·화학적 처리 기법을 적용하는 것이 바람직하다. 본 세척폐수는 물보다 비중이 큰 불용성 토립자가 SS의 대부분을 차지하고 있고, 대부분의 부유물질이 침전지에서 제거될 것으로 기대되며, 후속 응집침전조에서 일어나는 응집 침전조작에 의해 나머지 콜로이드상의 미립자를 제거하면 배출수 수질 기준을 만족하는 수질을 얻을 수 있다.
4. 하수준설토는 기존의 건설폐기물과 비교하여 볼 때 월등히 균질하고, 유해폐기물의 혼입이 적기 때문에 재활용이 비교적 용이한 특성을 가지고 있으며, 소정의 세척과정을 거쳐 얻어진 잔 골재는 콘크리트용 골재는 물론, 뒤 채움재와 기반개량용 세골재와 같은 건설용 재료로 사용이 가능하다고 본다.

향후, 세척토에 대한 장기적인 모르타르 및 콘크리트의 내구성에 대한 연구가 더 진행되어야 하며, 하수준설토의 재활용 기반여건을 정비하고 재활용 촉진을 하기 위한 관련법률 등의 제도를 정비하고 정책적 지원대책을 구체적으로 실행해 나간다면, 현재 우리 나라가 겪고있는 골재부족현상에 대한 해소 대책은

물론, 재활용으로 인한 많은 경제적 이득을 얻을 수 있다.

참고 문헌

1. 동화기술(1999), "폐수처리시설 설계 및 유지관리"
2. 창문각(1998), "건설재료실험"
3. 한국콘크리트학회(1999), "콘크리트 구조설계 기준"
4. 김기준(2000), "건설재료로 재활용을 위한 하수준설토의 특성에 관한 연구", 서울시립대학교 대학원 석사학위논문.
5. 이송, 이재영, 채점식, 한영수, 임동희(2000), "도시하수 준설토 재활용에 관한 타당성 연구", 2000 추계 한국폐기물학회 학술발표회 논문집. pp. 84~87.
6. 서울특별시(1999), "서울시 슬러지 처리시설 건설사업 타당성조사 및 기본계획 보고서"
7. 환경부(1999), "폐기물 재활용 정책"
8. Macgregor, J. G.(1997), "Reinforced Concrete Mechanics and Design"
9. Neville, A. M.(1995), "Properties of Concrete"
10. Buck, A. D.(1977), "Recycled Concrete as a Source of Aggregate", ACI Journal. Vol.74, No.5, pp. 212~219.
11. Dong-hee. Lim, jang-young. Lee and Song. Lee(2001) "The evaluation of recycling dredged soils for construction materials", The international conference on municipal solid wastes treatment and recycling thesis, Guang Zhou, China, pp. 483~490.
12. Smith, R. L.(1993), "Fly ash for use in the stabilization of wastes", Geotechnical Special Publication, No.36, pp. 58~72.