

지반공학 실험을 통한 하수준설토의 재활용방안 연구

장연수·정재욱·류혜림

동국대학교 토목환경공학과(ysjang@dongguk.edu)

요약문

국내에서는 매년 60만 톤의 하수슬러지가 준설된다. 현행법상 하수 준설토는 산업폐기물로 정의되며, 재활용되도록 강조되어진다. 그럼에도 불구하고 매입에 의한 처리로 낭비되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 하수 준설토의 재활용 방안을 모색하기 위하여 지반 공학적 실험을 실시하였다. 실험 결과 준설된 순수한 하수 준설토의 경우 국내 건설용 성토재료 요구기준에 충분히 안정적인 것으로 나타났다.

key word : Sewage dredged soil, Industrial waste, Recycling material, Construction fill material

1. 서론

우리나라 폐기물 관리의 우선순위를 보면 폐기물의 발생 억제 및 감량, 재이용, 재활용, 에너지 회수, 소각, 매립의 순으로 이는 원칙적으로 폐기물을 감소하여 매립장 확보의 난관을 극복하는데 목적이 있다(환경부, 1998). 본 연구의 대상인 하수 준설토는 현행법상 사업장 폐기물로서 재활용의 필요성이 있음에도 불구하고 매립이 주처리 과정이 되고 있으며 매립되는 과정에도 선전국의 경우와는 다른 범규상의 문제로 인하여 처리비용의 낭비요소가 존재하고 있다. 현재 국내 시도의 하수관로는 년 1회 이상 준설계획에 의거 토사 및 협잡물을 제거하고 있다. 이렇게 제거된 준설토는 지역의 특성에 따라 직영 또는 도급 준설 방식을 채택하여 폐기물 관리법에 준하여 소각하거나 수분함량을 탈수, 건조하여 매립하도록 규정하고 있다. 그러나 소각의 경우 2차 대기오염 물질을 발생시키며, 매립하는 경우에도 탈수 및 건조 등의 중간 처리 비용이 많이 소요되고 매립 공간 확보도 어려워 현재의 처분 방법은 매우 비효율적이다. 오염의 정도차이에 대한 구체적인 기준 없이 폐기물 관리법상 사업장 폐기물로만 분류하여 대부분의 준설토가 매립되는 실정이며, 2003년 기준 53%정도가 매립되었다. 재활용에 있어서도 폐기물 관리법상 하수 준설토의 경우 재활용 대상폐기물의 분류, 재활용용도 및 방법이 명확히 규정되어 있지 않다. 이로 인하여 각 지자체별로 서로 다른 처리방법을 적용하여 처리하고 있어 오염정도에 따른 하수 준설토에 적정 처리기준의 마련이 필요하다.

이에 본 과업에서는 하수 준설토를 재활용하기 위한 관련국내외 제도조사, 지반환경공학 실험을 통하여 성토재 및 복토재로 활용하는 방안을 모색하였다.

2. 재활용 관련 법규 및 기준

2.1 폐기물 관리법

폐기물 관리법상 재활용 대상 폐기물은 지정폐기물을 제외한 '사업장폐기물'을 말한다. 본연구의 대상인 하수 준설토는 폐기물관리법에 의해 "사업장폐기물"로 분류할 수 있으며, 재활용 대상이 될 수 있다. 사업장폐기물인 하수 준설토의 경우 폐기물 관리법상 재활용 대상폐기물에 명확한 규정이 없으며, 재활용 용도 및 방법도 같은 실정이다. 이로 인해 각 지자체별로 서로 다른 처리방법을 적용하여 처리하며, 재활용 가능한 준설토도 고비용으로 매립되는 실정이다.

2.2 토양환경보전법

하수 준설토를 재활용하기 위하여 폐기물 중간처리업체에서 선별→세척→건조 등의 중간처리 과정을 거쳐 토양환경보전법에 의한 「토양오염 우려기준」(가지역의 기준)이내일 경우 관계법령에 의하여 인·허가된 건축·토목공사의 성토재·보조기층재·도로기층재 및 매립시설의 복토용등으로 재활용할 수 있다.

3. 실험대상 시료의 개요 및 실내실험

실험 대상이 되는 5개의 대표시료에 대한 시료채취장소 및 세부사항은 표 1과 같다.

표 1. 시료채취지역 및 구분

구분	채취 지역	채취 장소	채취 일시	비고
준설토	1. 서울(한남동)	하수관로	6월 23일	
	2. 전남(보성군)	건설현장 관로	6월 25일	
	3. 부산(수영구)	하수관로	6월 22일	
	4. 울산(남구)	태화강변 하수관로	7월 6일	
	5. 울산(남구)비오염원	태화강변	7월 6일	

3.1 하수 준설토 시료의 강열감량 시험

하수 준설토 시료의 유기물 함량을 알아보기 위해 열분석기(Thermo Gravimetry/Differential)를 이용하여 강열감량 시험을 실시하였다. 실험결과 하수 준설토의 유기물 함량은 서울지역과 울산 남구 비오염 지역을 제외하고는 8~10 % 정도로 나타났다. 석분 시료에 대한 유기물함량은 7.57 % 로 측정되었다.

표 2. 하수 준설토 시료의 강열감량 변화

시료 종류	구분	초기량 (mg)	최종온도 (°C)	유기물량 (mg)	유기물 함량비 (%)	
하수	서울시 한남동	9.7	1256.4	0.46	4.72	
	울산시	오염 지역	8.9	827.6	0.95	10.71
		남구 비오염 지역	15.3	690.1	0.49	3.17
준설토	부산시 수영구	10.3	848.8	0.87	8.48	
	전남 보성군	11	1236.3	0.91	8.24	

3.2 기본물성실험

5개의 대표시료에 대하여 비중, 액·소성, 체분석 등의 실험을 총 25회 수행하였으며, 결과는 표 3, 4에 정리하였다

표 3. 시료별 구성입자

구성 입자	서울(%)	보성(%)	부산(%)	울산(%)	울산(비)(%)
자갈	24.47	11.92	12.93	12.71	10.52
모래	69.79	74.76	79.98	71.58	81.95
실트	4.00	1.70	1.87	6.00	2.88
점토	1.74	11.62	5.44	9.71	4.65

표 4. 실내시험에 의한 각 시료별 물성치

Sample No.	Gs	LL(%)	PL(%)	Cc	Cu	입도분포	Classification
1. 서울(한남동)	2.62	NP	NP	0.9	7.7	불량	SP-SM
2. 전남(보성군)	2.23	NP	NP	1.1	10.3	양호	SM
3. 부산(수영구)	2.65	NP	NP	1.2	6.0	양호	SW-SM
4. 울산(남구)	2.44	NP	NP	7.3	50.0	불량	SM
5. 울산(남구)(비)	2.72	NP	NP	1.5	4.0	양호	SP-SM

* Cu(균등계수)가 4 or 6보다 크고 Cc(곡률계수)가 1~3의 범위 : (입도분포)'양호'

* SP(W)-SM : Poorly(Well) Graded Sand / SM : Silty Sand / SC : Clayey Sand

* 세립분(No.200체 통과량)이 12% 이하일 때 이중기호

3.3 역학시험

흙의 전단강도정수(C, ϕ)를 파악하기 위하여 서울(한남)시료에 대하여 다짐 및 직접전단시험을 실시하였다. 다짐시험, 직접전단시험 및 CBR 시험결과는 그림 1과 같다. 다짐시험 결과 서울시료의 최대건조밀도는 1.88(g/cm³)이며, 최대건조밀도에 대응하는 최적 함수비는 8.7%로 낮게 나타났으며, 이는 세립분 함유량에 있어 5.74%로 낮기 때문인 것으로 판단된다. 서울시료의 직접전단시험 결과 한계상태에서 전단강도는 6.75(kg/cm²), 마찰각은 29.05°이며, 항복상태에서 전단강도는 4.47(kg/cm²), 마찰각은 25.03°로 나타났다. 또한 서울시료의 수정CBR 값이 6.3%로 나타났다(표 5).

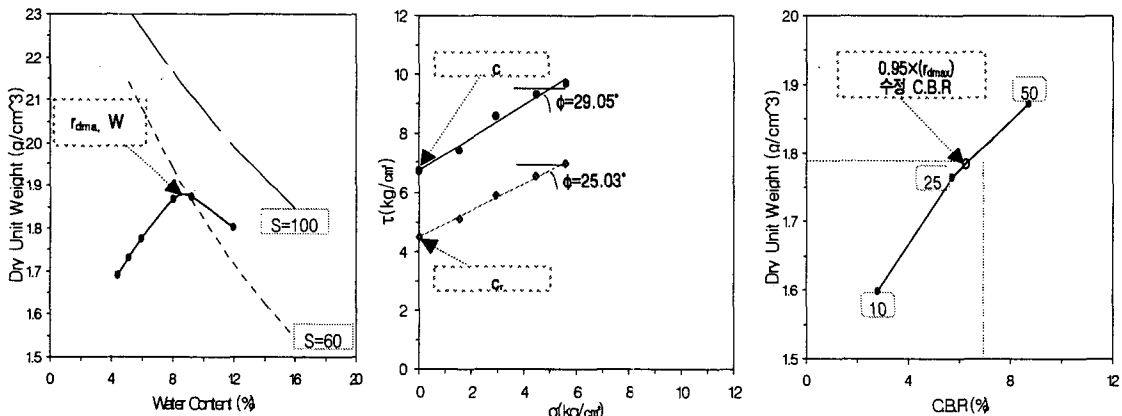


그림 1. 서울(한남)시료의 다짐(좌), 직접전단 및 수정CBR 시험 결과

표 5. 낙하숫수에 따른 CBR값과 건조밀도

구분	10회(Rammer낙하수)	25회(Rammer낙하수)	50회(Rammer낙하수)
C.B.R	2.8	5.7	8.7
건조밀도, g/cm ³	1.598	1.766	1.872

* 다짐시험시 최대건조밀도의 95%의 건조밀도에 대응하는 CBR값이 수정 CBR이 된다.

3.4 하수 준설토의 적용 가능성

하수 준설토의 구성 성분은 대부분이 비점토광물성분인 석영으로 구성되어 있었다. 유기물 함량에 있어서는 서울지역은 4.72%, 울산 남구 비오염 지역은 3.17%였으며, 나머지 3지역(울산 남구

오염지역, 부산, 전남)은 8~10 % 정도로 나타났다. 이와 같은 유기물 함량은 준설토 세척공정을 거친다면, 성토재료의 일반기준을 만족할 수 있는 상태라고 판단된다.

모든 하수 준설토의 입도분포와 액소성 한계는 건교부 품질기준 중 도로공사에서 노체, 노상, 보조기층재 등과 한국토지공사, 한국주택공사, 서울시의 성토재료 품질기준을 만족하였다. 건교부 성토재료 기준에서는 일반 성토재료 일반기준에서 입도분포와 액소성 한계 모두 만족하고 있었으나, 선별 쌓기 일반기준과 흙 구조물 쌓기 일반기준에서는 준설토의 액소성 한계만이 만족하고 있었다.

건조밀도에 있어서 서울(한남)시료는 1.88 ton/cm³로 건교부 품질기준 중 도로 노체 재료기준 1.5 ton/cm³ 이상, 성토재료기준 1.5 ton/cm³ 이상(서울시, 토지공사기준)을 만족하였다. 수정CBR값은 6.3%로 건교부의 도로공사기준에서 노상재료 품질기준 중 하부노상-일반노상재료와 토사에 대한 노체재료 품질기준을 만족하고 있으며, 성토재료 품질기준에서는 서울시 성토재료 품질기준 중 노체재료 기준을 만족하고 있었다. 이와 같이 하수 준설토는 사질계열의 사질토인 모래가 70%~80%의 비율의 흙으로써 건축·토목공사의 골재재료로써 가치가 크며, 성토재보조기층재와 매립시설의 복토용 골재 등으로 재활용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

4. 결론

1) 하수 준설토는 사질계열의 비교적 균질한 입도분포와 유해성분의 혼입이 적기 때문에 건축·토목공사의 골재재료로써 재활용하기에 용이한 것으로 나타났다. 재활용시 용도에 따른 기존 건설관련 법적 기준에서 수정CBR, 유기물함량 등에 다소 만족하지 않는 항목도 있으나 이는 준설토 세척 및 적정기간 존치 등을 통하여 개선 가능한 수준이었다. 그러므로 하수 준설토를 세척하여 토성개선 재료와 혼합하여 재활용한다면, 도로공사에서의 노상, 노체, 보조기층재료와 성토재료로써 사용이 가능하다고 보여진다.

2) 일반적으로 토목공사에서 말하는 성토란 흙을 쌓아 올리는 것으로 부지조성, 제방 쌓기 등을 위해 다른 지역의 흙을 운반하여 지반위에 쌓는 것과 철도나 도로 또는 토공구조물 공사를 할 때 설계 높이까지 흙을 쌓는 것을 말한다. 즉, 성토부분은 상부로부터 구조물의 하중을 받으며, 이에 대하여 충분한 지지력을 필요로 한다. 그러나 성토에 대한 다른 개념으로 기준면(Elevation)보다 낮은 부분(폐광, 석산에서 석재 채취 후 빈 공간 등)을 채우는 적지복구개념으로써 성토재료를 생각한다면, 위와 같은 여러 공학적인 지지력 기준 등은 상쇄될 수 있는 범주임으로 재활용은 더욱 용이해 질 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국환경자원공사에서 발주한 “하수 준설토 등의 유해성 검토 및 재활용 방안 연구”에 의하여 수행되었습니다. 공사 및 환경부 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 정재욱(2006), *하수 준설토와 석분의 성토재료 활용을 위한 지반공학적 특성 연구*, 동국대학교 석사학위논문, 21p.
2. 천병식, 김수삼, 고경환.(1997), *국산 생석회 혼합처리에 의한 지반개량*, 대한토목학회 논문집 제 17권 제 III-5호, 589p~596p.
3. 한국환경자원공사(2005), *하수 준설토 등의 유해성 검토 및 재활용 방안 연구*, 98p.
4. 환경부(1998), *환경백서*.