

## 하수준설토와 석분의 건설재료로 재활용을 위한 지반물성연구

정재욱 · 장연수\*

동국대학교 사회환경시스템공학과

### A study of Geotechnical Property of Stone Filler and Sewage Dredged Soil as Construction Materials

Jaewook Chung · YeonSoo Jang\*

Department of Civil and Environmental System Engineering, Dongguk University

#### ABSTRACT

Geotechnical and environmental properties of stone fillers are analyzed by several laboratory experiment to identify the possibility of recycling fillers and sewage dredged soils as construction materials. The result of geotechnical test shows that the sewage dredged soil is a sandy soil which contains 70-80% sand and is useful as an aggregate of construction site. Stone filler has large fine content, which may disqualifies the use as construction materials. However, this material is still useful as a filler in stone quarries or finished mines. From the environmental test, the liquids leached from two types of materials have satisfied the standard of chemical substances in the soil environment law and no harmful effect in ground pollution is expected when recycling.

**Key word** : Stone filler, Quicklime, Recycling, Geotechnical properties, Sewage dredged soil, Mixed cement, Construction fill material

#### 요 약 문

본 연구에서는 석분과 하수준설토에 지반물성시험과 토양환경오염 우려기준에 의거한 오염도 측정을 실시하였다. 실험 결과 하수 준설토는 모래가 70%~80%의 비율의 사질계열의 흙으로써 건축·토목공사의 골재재료로써 가치가 크다는 것이 판명되었다. 석분은 세립분의 함량이 큰 관계로 건설재료로 좋은 품질을 보이지는 않았으나 폐광, 석산에서 석재 채취 후 빈 공간 등을 채우는 용도에 적용시킨다면 재활용이 가능한 것으로 나타났다. 유해물질 함유량은 두 시료 모두 토양오염우려기준에 훨씬 못 미치는 수치로서, 재활용시 토양오염에는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

**주제어** : 석분, 생석회, 재활용, 지반물성, 하수준설토, 시멘트 혼합, 건설용 성토재

#### 1. 서 론

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. 그럼에도 현재 골

재나 석재의 채취시 발생하는 석분의 대부분은 매립에 의하여 처분되고 있으며, 폐기물관리법 시행규칙 46조의 폐기물의 재활용용도 및 방법에 의하면 재활용시 일반토사류 또는 건설폐재류를 재활용한 토사류를 50% 이상 혼합하여 사용하도록 규정되어 있다(환경부, 2005). 또한 현행 법상 하수 준설토는 산업폐기물로 정의되며, 재활용되도

\*Corresponding author : ysjang@dongguk.edu

원고접수일 : 2007. 6. 5 게재승인일 : 2007. 8. 4

질의 및 토의 : 2007. 10. 31 까지

\*본 논문은 2007년 춘계학술발표회 특별호 논문입니다.

록 강조되지만 매입에 의한 처리로 낭비되고 있는 실정이다. 그러므로 하수 준설토와 석분의 공학적 특성을 고려한 적절한 처리방식의 개선이 필요하다.

하수준설토와 석분이 건설재료로 재활용이 이루어지면 매립되는 고�형폐기물의 질감과 아울러 우리나라에 부족한 모래 등 건설재료의 확보에 도움을 줄 수 있을 것이다. 이들의 재활용을 위해서는 이들 재료를 사용할 때 토양환경법 등 관련 법규의 기준치를 만족하여야 하며 각종 건설관련 기관으로부터 제시된 건설재료의 사용 기준을 만족하여야 한다. 이에 본 연구에서는 석분과 하수준설토를 재활용하기 위한 관련국내외 제도조사, 지반환경공학 실험 및 오염도 측정을 통하여 성토재 및 복토재로 활용하는 방안을 모색하였다.

## 2. 재활용 관련 문헌 조사

### 2.1. 하수 슬러지 등을 이용한 재활용 방안 연구사례

Kida and Tsuji(1981)는 하수슬러지의 높은 함수비는 유동적이거나 불안정해서 기술적인 문제를 야기 시키며, 이로 인해 재활용 처리를 위한 체적감소를 목적으로 다양한 탈수기법이 발전되어 온 상황을 설명하였다. Yuji 등(1996)은 석회로 처리된 하수슬러지 Ash는 20%~50%의 칼슘을 함유하고 있어, 토양의 안정화에 사용할 것을 제안하였다. Takeshi 등(1996)은 폐슬러지를 탈수하여 콘크리트 덩어리를 분쇄 첨가하는 방식으로 도로 기층으로 활용하기 위한 방안을 연구하였다.

Kamon 등(1998)은 일본의 하천이나 수로 등에서 준설되는 준설토는 자연적으로 퇴적되는 침전물이 대부분을 차지하며, 오염물은 극히 일부분이라 하였다. 또한 치유대상이 되는 준설토나 폐슬러지 오염원은 대부분 다핵방향족탄화수소(PAH), 구리, 아연, 카드뮴, 납 등임을 알아내었다.

이송 등(2001)은 하수 준설토를 재활용하는 차원에서 기존의 토목공사용 재료인 모래의 대체 재료로서 국내 하수관로 준설과정에서 발생하는 준설토의 이용 가능성을 파악하였다. 그에 따르면 하수 준설토는 기존의 건설폐기물과 비교하여 볼 때 월등히 균질하고, 유해폐기물의 혼입이 적기 때문에 재활용이 비교적 용이한 특성을 가지고 있으며, 소정의 세척과정을 거쳐 얻어진 잔골재는 콘크리트용 골재는 물론 뒤 채움재와 지반개량용 세립골재와 같은 건설용 재료로 사용이 가능하다고 하였다.

### 2.3. 석분을 이용한 재활용 방안 연구사례

Ueno 등(1996)은 Ohya지방의 석분과 소석회(calcium hydroxide)를 혼합하여, 도로건설재료로 재활용하기 위한 공학적 성질을 평가하였다. 건조된 양을 중량비 기준으로 소석회를 혼합하였으며, 혼합비가 커질수록 최대건조밀도는 작아지고 최적함수비는 커짐을 알아내었다. 소석회가 5% 첨가된 Ohya 석분은 일본 고속도로 건설 기준에 있어 보조기층(subbase course), 10%인 것은 기층(base course)재료로서 사용 가능하다고 보고하였다.

손정수 등(1995)은 폐석 및 석분 슬러지를 활용한 인조석판재의 제조에 대한 연구를 수행하였다. 그들에 따르면, 폐석의 종류, 폐석과 석분의 혼합비 및 색소에 따라 다양한 문양 및 색상을 갖는 인조석판재의 제조가 가능하며, 석판재의 절단 및 연마과정 후에도 석재의 물성 및 색상의 변화가 없다고 하였다. 마상준(2004)은 석분을 이용하여 터널 배면공동 뒤채움재 개발과 노후터널에서의 현장적용성에 대한 연구를 수행하였다. 그는 산업폐기물로 버려지고 있는 석분토를 이용하여 고유동저강도 모르타르와 경량기포 콘크리트를 개발하였다. 이를 이용하여 터널배면 뒤채움재로 사용한 결과 공학적으로 문제시 되지 않으며, 경제적인 면에서도 효과적이라고 주장하였다.

## 3. 재활용 관련 법규 및 기준

### 3.1. 폐기물 관리법

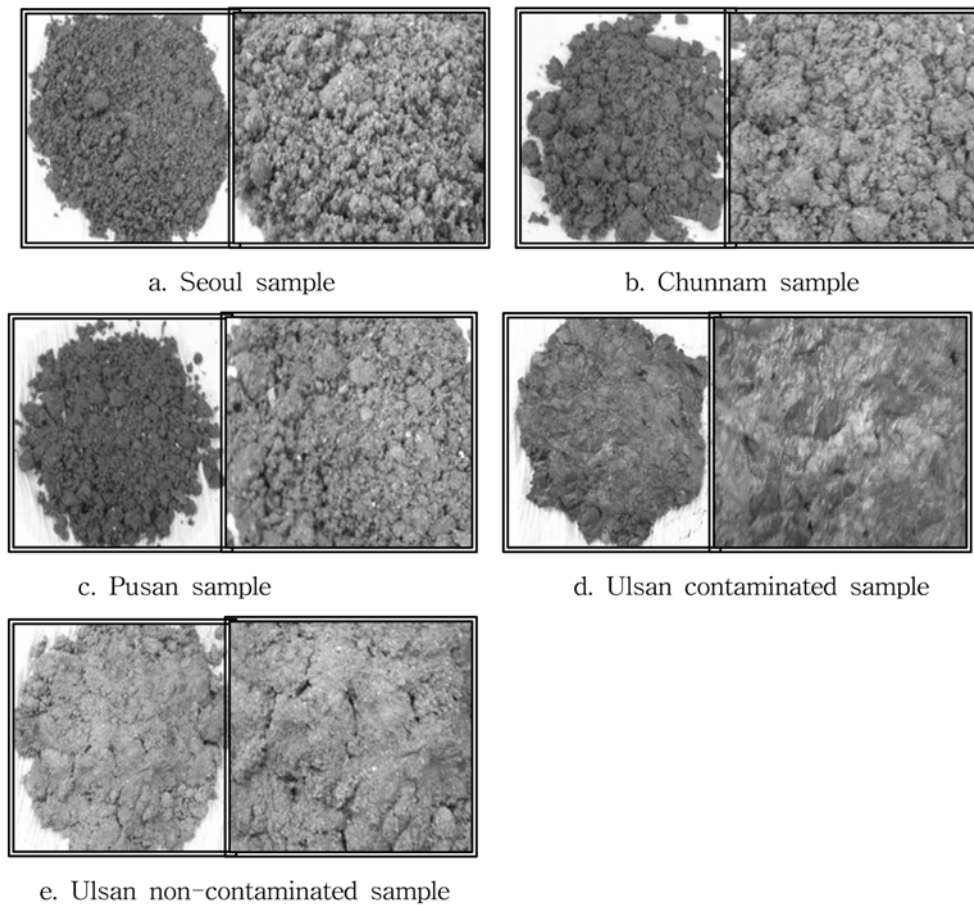
폐기물 관리법상 재활용 대상 폐기물은 지정폐기물을 제외한 '사업장폐기물'을 말한다. 본연구의 대상인 하수 준설토와 석분은 폐기물관리법에 의해 "사업장폐기물"로 분류할 수 있으며, 재활용 대상이 될 수 있다. 사업장폐기물인 하수 준설토의 경우 폐기물 관리법상 재활용 대상폐기물에 명확한 규정이 없으며, 재활용용도 및 방법도 같은 실정이다. 이로 인해 각 지자체별로 서로 다른 처리방법을 적용하여 처리하며, 재활용 가능한 준설토도 고비용으로 매립되는 실정이다.

### 3.2 토양환경보전법

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

**Table 1.** Sampling place and district

Type	Sampling district	Sampling place	비 고
Stone filler	Ik san, Chunbuk	By product from stone processes	Surfactant added
	Yangju, Gyeonggi	By product of Bongje quarry	
Dredged soil	Hannam dong, Seoul	Sewage line	Contaminant source Non-contaminant source
	BosungGun, Chunnam	Sewage line construction place	
	Suyounggu, Pusan	Sewage line	
	NamGu, Ulsan	Sewage line near Taewha river	
	NamGu, Ulsan	Taewha river	

**Fig. 1.** Photos of sewage dredged sample.

#### 4. 실험대상 시료 개요 및 실내실험

서울, 부산, 전남, 울산에서 채취된 하수 준설토와 전라북도 및 경기도에서 채취된 석분시료를 대상으로 실내실험을 실시한 결과를 정리하였다. 7개의 대표시료에 대한 시료채취장소 및 세부사항은 Table 3과 같다.

서울특별시 한남빛물펌프장의 하수관로부터 채취한 하수 준설토는 Fig. 1의 a와 같으며, 보통 흙과 비슷한 갈

색을 띠었으며, 조립성분의 자갈이 관찰되었다. Fig. 1의 b는 전라남도 보성군에서 건설현장 관로에서 채취한 시료로, 하수관로 준설토와는 달리 회갈색을 띠고 있으며, 조립 성분이 서울이나 부산지역의 하수준설토보다는 상대적으로 작은 입자를 가지고 있었다. 부산시 수영구 하수관로의 하수 준설토는 흑갈색을 띠었다(Fig. 1.c).

Fig. 1의 d와 e는 울산광역시 남구 태화강과 맞닿아 있는 하수관로 인접지역(울산오염원)과 비인접지역(울산비

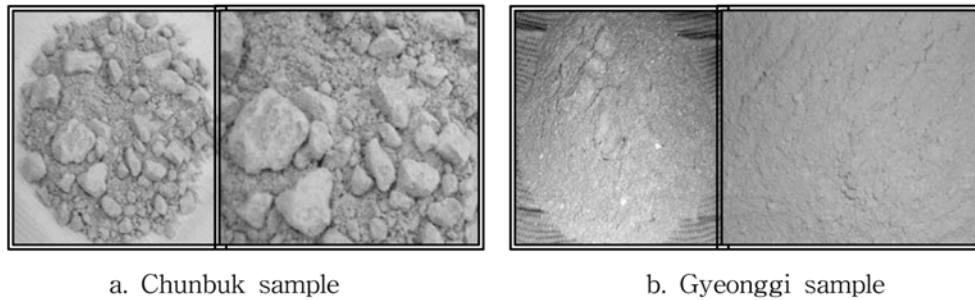


Fig. 2. Photos of stone filler.

Table 2. Quantities of impurities in dredged soils

Sample	Seoul	Chunnam	Pusan	Ulsan Non-contaminated	Ulsan contaminated
Percent of impurities (%)	1.18	3.90	31.52	0.94	4.23

\* Impurities are not included in stone fillers.

오염원에서 각각 채취한 시료이다. 울산 비오염원은 오염원에서 500 m 떨어진 강 변지역이며, 상대적으로 오염원에 비해 깨끗한 시료임이 육안으로도 확인되었다. 오염원 시료는 검은 색을 띠어 입자 구조를 명확히 확인할 수 없었으나 육안으로 관찰한 결과 실트질 사질토로 추측되었다. 비오염원은 일반적인 모래 입자로 육안으로 확인되었다.

석분의 대표시료는 둘 다 회색을 띠고 있다. 전북 익산 채석장에서 채취한 석분시료는 수분을 약간 함유하여 가루 자체가 엉켜 굳어져 일반적인 돌의 형태로 섞여 있었다. 이는 석재채취를 용이하게 하기 위하여 윤활재(계면활성제)를 첨가하였기 때문이다. 경기도 양주군 현면면 봉재석산에서 채취한 시료는 화강암 돌가루로 이루어져 있었다(Fig. 2).

4.1. 기본물성실험

각각의 대상 시료에 대하여 불순물함유량을 분석하고 비중, 액·소성, 체분석 등의 실험을 수행하여 그 결과를 나타내었다.

4.1.1. 불순물함량

Table 2에 나타난 바와 같이 준설토에 함유된 불순물량은 부산의 경우 31.52%로 가장 크게 나타났으며, 기타지역은 0.94%~4.23% 정도의 함유량을 보이고 있다. 특히 울산 비오염원과 서울의 경우 각각 0.94%와 1.18%로 육안으로는 불순물을 거의 발견할 수 없었다. 불순물로는 철재류(못, 핀, 철사 등)조각, 섬유류(실, 천, 끈 등)조각, 나무류조각, 종이조각, 병조각 등이 대부분을 차지하고 있었다. 이와 같은 불순물을 제거하기 위해 No. 10번체(2.00

mm)체로 체기름을 할 경우, 하수 준설토에 함유된 불순물을 1%미만으로 대부분 제거할 수 있었다.

4.2.1. 액·소성한계

전북 시료에 대한 액·소성시험을 실시한 결과 소성지수(PI)는 5.66%로 물에 매우 민감하여 소성상태로 머물 수 있는 함수비의 범위가 매우 작게 나타났다. 경기 시료의 경우는 전북 시료에 비하여 액성한계(LL) 값이 48.44%로 높게 나타났으며, 소성한계(PL)는 26.64%로 전북 시료와 비슷한 범위를 보였다(Table 4). 소성지수(PI)는 19.80%로 전북 시료에 비하여 높게 나타났으며, 이는 전북 시료가 배출과정에서 포함된 계면활성제 등의 영향으로 순수한 석분가루의 성질이 저하되어 입자간의 인력이 증가하였기 때문이다.

4.1.3. 체분석

시료의 종류 및 세립분 함유량을 파악하기 위한 체분석 결과, 각 시료에 대한 입도분포 곡선은 Fig. 3, 4와 같다. 토립자별 구성 비율은 Table 3과 같다. ASTM분류에 의하면 토립자는 입경에 따라 2 mm 이상은 자갈, 0.074 mm 이상은 모래, 0.002 mm 이상은 실트, 그 이하는 점토로 구분한다.

전북 시료는 세립분의 함유량이 45.95%이며, 입도분포도 매우 불량한 것으로 나타났다. 경기 시료는 자연함수비가 15.00%로 나타났으며, 세립분 함유량이 43.50%로 전북 시료에 비하여 약간 적게 나타났다. 입도분포는 Cc(곡률계수) 1.9, Cu(균등계수) 21.9로 양호하게 나타났다. 이는 전북 시료가 경기 시료에 비하여 입도분포가 세립분

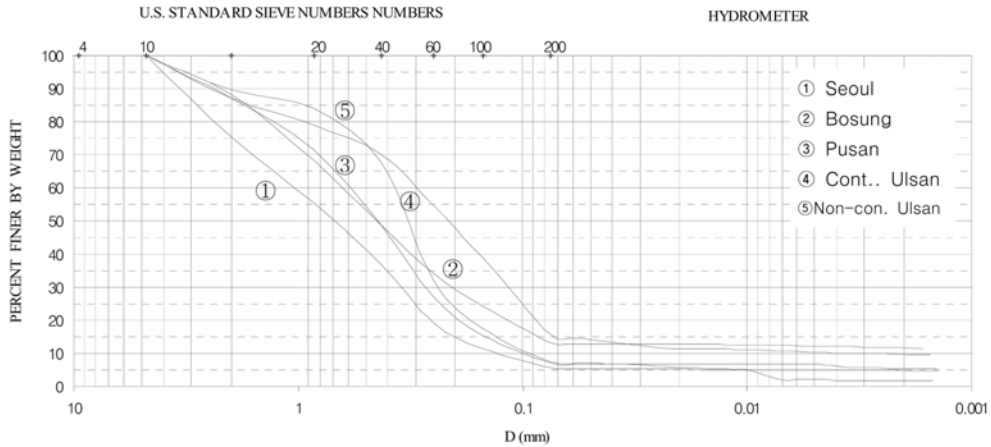


Fig. 3. Distribution curves of sewage dredged soils by sieve analysis.

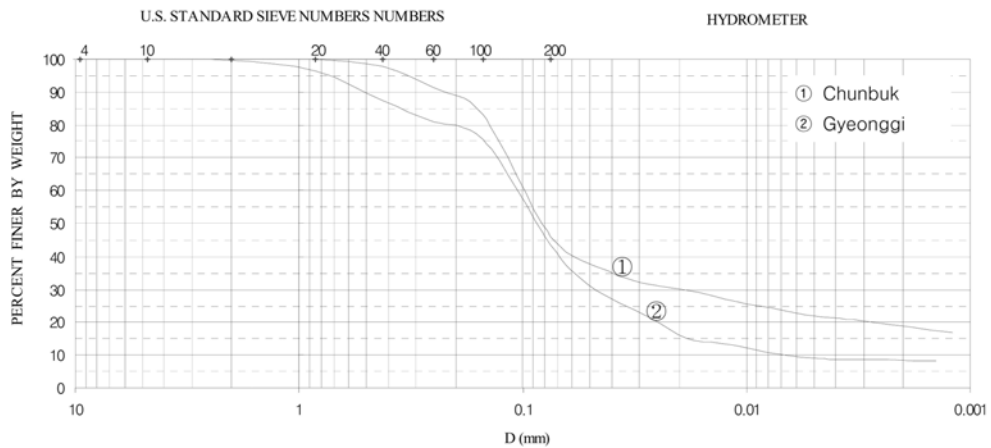


Fig. 4. Distribution curves of stone filler.

Table 3. Soil types of each sample

unit: %

Soil Types	Chunbuk	Gyeonggi	Seoul	Chunnam	Pusan	Ulsan (C)	Ulsan (NC)
Gravel	0	0.19	24.47	11.92	12.93	12.71	10.52
Sand	54.05	56.31	69.79	74.76	79.98	71.58	81.95
Silt	27.31	35.10	4.00	1.70	1.87	6.00	2.88
Clay	18.64	8.40	1.74	11.62	5.44	9.71	4.65

쪽으로 편향되게 구성되었기 때문이다. 5곳의 하수 준설 토 시료는 비교적 비슷한 입도분포를 나타내었으며, 전남과 울산오염원의 세립분은 각각 13.32%, 15.71%로 다른 곳에 비해 비교적 높게 나타났다.

체분석 시험 결과 나타난 시료별 구성입자를 Table 3에 나타내었다. 그결과 석분시료인 전북과 경기시료는 모래가 주성분이긴 하나 썰트와 점토등 세립분도 다량 함유되어 있음을 알 수 있었으며 하수준설토의 경우는 모래가 주성분으로 자갈도 다소 함유되어 있는 것으로 나타났다.

시료의 물성치를 분석한 결과를 Table 4에 정리하였다. 그결과 석분의 경우 모두 낮은 소성을 갖고 있는 것으로 나타나며 채취장소에 따라 입도는 차이가 있는 것으로 나타났다. 하수준설토의 경우는 전시료 모두 비소성(NP, Non-Plastic)으로 나타나 모래와 자갈이 다량 섞여 있는 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 입도 분포는 채취한 장소에 따라 양호와 불량률이 불규칙하게 나타나며 비중은 일반 규질 토사의 2.6-2.8보다 낮아 유기질을 함유하고 있는 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

**Table 4.** Basic geotechnical properties of soil samples

Sample	Gs	LL(%)	PL(%)	Cc	Cu	Distribution grade	Classification
Chunbuk	3.55	34.33	28.77	26.7	666.7	Por	SP-SC
Gyeonggi	2.63	48.44	26.64	1.9	21.4	Well	SW-SC
Seoul	2.62	NP	NP	0.9	7.7	Poor	SP-SM
Chunnam	2.23	NP	NP	1.1	10.3	Well	SM
Pusan	2.65	NP	NP	1.2	6.0	Well	SW-SM
Ulsan (C))	2.44	NP	NP	7.3	50.0	Poor	SM
Ulsan (NC))(비)	2.72	NP	NP	1.5	4.0	Well	SP-SM

※ Natural water content of stone filler of Gyeonggi = 15.0 (%)

**Table 5.** CBR and dry density of compacted samples with number of rammer impacts

Impact number	10	25	50
C.B.R	2.8	5.7	8.7
Dry density g/cm <sup>3</sup>	1.598	1.766	1.872

**4.2. 다짐 및 CBR 시험**

시료의 성토재료의 포설 특성을 파악하기 위하여 경기 시료와 서울한남시료에 대하여 다짐 및 CBR시험을 실시하였다. 다짐시험 결과 경기시료의 최대건조밀도는 1.94 g/cm<sup>3</sup>이고, 최대건조밀도에 대응하는 최적 함수비는 12.2%로 나타났으며, 이는 세립분 함유량에 있어 43.50%로 높기 때문인 것으로 판단된다. 서울 시료의 최대건조밀도는 1.88 g/cm<sup>3</sup>이며, 최적함수비는 8.7%로 낮게 나타났으며, 이는 세립분 함유량에 있어 5.74%로 낮기 때문인 것으로

판단된다. 또한 Table 5에서 구한 서울시료의 수정CBR 값은 6.3%로 나타났다.

**4.3. 유해 성분 분석**

석분과 하수준설토의 자원 재활용 여부를 판단하기 위하여 토양환경보전법 규정에 의한 분석을 수행하였으며 그 결과를 Table 6에 정리하였다. 이들 시료에 대한 분석 결과, 유해물질 함유량은 토양오염우려기준에 훨씬 못 미치는 수치로서, 재활용시 토양오염에는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

**4.4. 성토재료의 적용 가능성 분석**

**4.4.1 하수준설토**

모든 하수 준설토의 입도분포와 액·소성 한계는 건교 부 품질기준 중 도로공사에서 노체, 노상, 보조기층재 등

**Table 6.** Results of polluted degree analysis of tested soil samples based on soil environment law Unit : mg/kg

Item	Standard*1	Cuhnbuk	Gyeonggi	Seoul	Chunnam	Pusan	Ulsan(C)	Ulsan (NC)
Cd	1.5	-	-	-	-	-	-	-
Cu	50	1.76	-	0.6	-	-	-	-
As	6	0.15	0.3	0.1	0.15	0.12	0.53	-
Hg	4	-	-	-	-	-	-	-
Pb	100	-	-	-	-	-	-	-
Fe	N.A.	2.7	-	-	-	-	-	-
Cr <sup>+6</sup>	4	-	-	-	-	-	-	-
Zn	300	0.25	-	2.56	0.12	-	0.18	-
Ni	40	0.1	-	0.44	-	-	-	-
F	400	0.6	0.6	0.6	1.85	0.2	1.7	-
organic P	10	-	-	-	-	-	-	-
PCB	-	-	-	-	-	-	-	-
CN	2	-	-	-	-	-	-	-
Phenols	4	-	-	-	-	-	-	-
Oils	-	-	-	-	-	-	-	-
TCE / PCE	8 / 4	-	-	-	-	-	-	-

\*1 : concern standard of soil environment law (Ga district)

2 : - Not Detected / N.A. : not available

C : contaminated / NC : non-contaminated

(건설교통부, 2002)과 품질관리지도서(한국토지공사, 1994), 건설전문시방서(한국토지공사, 2003), 주택건설전문 시방서(한국주택공사, 2002), 토목공사 전문시방서(서울특별시, 2002)의 성토재료 품질기준을 만족하였다. 건교부 성토재료 기준에서는 일반 성토재료 일반기준에서 입도분포와 액·소성 한계 모두 만족하고 있었으나, 선별 쌓기 일반기준과 흙 구조물 쌓기 일반기준에서는 준설토의 액·소성 한계만이 만족하고 있었다.

건조밀도에 있어서 서울한남 시료는  $1.88 \text{ g/cm}^3$ 로 건교부 품질기준 중 도로 노체 재료기준  $1.5 \text{ g/cm}^3$  이상, 성토재료기준  $1.5 \text{ g/cm}^3$  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, 성토재·보조기층재와 매립시설의 복토용 골재 등으로 재활용 가능성이 높을 것으로 판단되었다.

#### 4.4.2. 석분

입도구성비율을 보면 사질토의 비율이 전북 시료와 경기 시료에서 각각 54.05%와 56.31%로 준설토에 비해 작게 나타났으며, 실트와 점토의 함유량은 45.95%와 43.5%로 준설토보다 상당히 크게 나타났다. 두 석분 시료의 입도분포는 건교부 도로공사 품질기준 중 상부노상기준(최대치수 150 mm 이하, No.200체 통과율 50% 이하)과 성토재 기준(건교부)에서 선별쌓기재료기준(입경 25 mm 통과율 100%, 입경 10 mm 통과율 75% 이상, 5 mm 통과율 20% 이상, 0.08 mm 통과율 35% 이상)을 충족시키고 있다.

액·소성시험결과 건교부 도로 노상재료 기준에서 소성지수(PI)가 20% 이하인 하부노상에서는 두 지역의 석분 모두가 기준을 만족하였으나, 상부노상(PI 10% 이하)에서는 전북시료만이 기준을 충족시켰다. 성토재료 기준에서는 건설교통부 기준 중 전북 시료만이 일반성토 재료 기준(LL 40% 이하, PI 15 이하)과 선별 쌓기 재료기준(PI 10% 이하)을 만족하고 있었다. 한국토지공사 기준에서는 전북 시료만이 단지 내 노상재료 일반기준(PI 10% 이하), 서울시 성토재료 품질기준 중 노상기준(LL 50% 이하, PI 10% 이하), 한국주택공사 기준 중 포장지역의 성토재료기준(PI 10% 이하)을 만족하고 있으며, 두 석분

모두 서울시 성토재료 품질기준 중 노체기준(LL 50% 이하)을 만족하였다.

다짐시험에 따른 건조밀도에 있어서 경기 시료는  $1.94 \text{ g/cm}^3$ 로 건교부 도로 노체 재료기준  $1.5 \text{ g/cm}^3$  이상, 서울시와 토지공사 기준에서 성토재료기준  $1.5 \text{ g/cm}^3$  이상을 만족하였다.

## 5. 결 론

1) 하수준설토의 경우 입도분포와 액·소성한계의 시험결과 성토재료 기준 중 건교부의 선별 쌓기 일반기준과 흙 구조물 쌓기 일반기준을 제외한 모든 성토재료 기준과 도로의 노체, 노상, 보조기층 등의 기준에서 만족된 결과를 보였다. 즉, 하수 준설토는 모래가 70%~80%의 비율의 사질계열의 흙으로써 입도나 액·소성면에서는 건축·토목공사의 골재재료로써 가치가 크다는 것이 판명되었다.

2) 석분은 세립분의 함량이 큰 관계로 입도분포나 지지력 관련 기준면에서 좋은 품질을 보이지는 않았다. 그러나 성토재의 경우 기준면(Elevation)보다 낮은 부분(예광, 석산에서 석재 채취 후 빈 공간 등)을 채우는 것에 적용시킨다면 재활용이 가능한 것으로 나타났다.

3) 하수 준설토 시료에 대한 오염도 분석 결과, 유해물질 함유량은 토양오염우려기준에 못 미치는 수치로서, 재활용시 토양오염 우려는 거의 없는 것으로 나타났다. 석분의 오염도 시험결과도 대상 석분 모두 토양환경보전법 토양오염도 기준을 만족하였다. 석분의 경우는 비점오염원으로 인한 오염에 노출이 없는 상태로 지역에 따른 오염도에 우려는 없을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국환경자원공사에서 발주한 “하수 준설토 등의 유해성 검토 및 재활용 방안 연구”에 의하여 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부, 2002, 표준시방서.  
 이상준, 2004, 석분을 이용하여 터널 배면공동 뒤채움재 개발과 노후터널에서의 현장적용성에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 24(1-C), 71-80.  
 손정수, 김병규, 김치권, 1995, 폐석 및 석분 슬러지를 활용한 인조석판재의 제조에 대한 연구, 한국자원공학회지, 4(1), 4-11.

- 서울특별시, 2002, 서울시 토목공사 전문시방서.
- 이송, 이재영, 채점식, 이옥환, 2001, 토목재료로서 하수준설토의 재활용 연구, 대한토목학회논문집, **21**(5-C), 597-604.
- 한국주택공사, 2003, 주택건설 전문시방서.
- 한국토지공사, 1994, 품질관리지도서.
- 한국토지공사, 2003, 건설전문 시방서.
- 환경부, 2001, 토양환경보전법.
- 환경부, 2005, 폐기물관리법
- Kamon, M., Van Roekel, G., and Blümel, W., 1998, Assessment of Geo-Environmental Hazards From Dredged Materials, *Proceedings of the 3rd International Congress on Environmental Geotechnics*, Lisboa, Portugal, Sep. 7-11, p. 1057-1074.
- Kida, D. and Tsuji, H., 1981, Treatment and Utilization of Discharged Slurry from Slurry Excavation Methods, *Tsuchi-to-Kiso, JSSMFE*, 11.
- Takeshi, Kawachi. and Takeshi, Katsumi., 1996, Treatment and Utilization of Waste Sludge/Slurry from Construction Work, *Proceedings of the 2nd International Congress on Environmental Geotechnics*, Osaka, Japan, Nov. 5-8, p. 767-772.
- Ueno, K., Yokoyama, Y., and Imaizumi, S., 1996, Fundamental Study on Development of Valuable Reuses of Ohya Stone Dust., *Proceedings of the 2nd International Congress on Environmental Geotechnics*, Osaka, Japan, Nov. 5-8, p. 939-944.
- Yuji, Nagasaka., Sumio, Horiuchi., and Kanji, Higaki., 1996, Status on Utilization and Disposal of Industrial Waste in Japan, *Proceedings of the 2nd International Congress on Environmental Geotechnics*, Osaka, Japan, Nov. 5-8, p. 839-844.