

## 하수도 준설토 재활용에 관한 기초 연구

김흥민, 최윤정\*, 윤석표\*†, 김준경\*\*

해동종합건설, 세명대학교 바이오환경공학과\*, 세명대학교 소방방재학과\*\*

### A Basic Study on the Recycling of Dredged Sewage Sediment

Hong Min Kim, Yun Jeong Choi\*, Seok-Pyo Yoon\*†, Jun Kyoung Kim\*\*

Haedong Construction Company

Department of Biological and Environmental Engineering, Semyung University\*

Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung University\*\*

(Received: Aug. 22, 2018 / Revised: Sep. 11, 2018 / Accepted: Sep. 12, 2018)

**ABSTRACT:** In order to recycle sewage dredging soil, we analyzed particle size distribution and organic content of dredged sewage sediments. Based on this, it was determined that particles with relatively low organic content of 1.0 mm or more could be recycled as fine aggregate. Although it was inorganic at the size of 5 mm or more, it contained a number of foreign substances other than fine aggregate, which were needed to be removed with a sieve. Since there are volatile suspended solids between 1.0 and 5.0 mm size, they were removed by means of flotation. Fine aggregate was obtained from dredging soil by screening followed with flotation method, and the proportion of fine aggregate obtained in this study was around 38 %.

**Keywords:** sewage sediment, recycling, sieve separation, flotation, organic content

**초 록:** 하수도 준설토를 재활용하기 위해 준설토의 입경과 유기물 함량을 분석하였다. 실험결과 유기물 함량이 상대적으로 낮은 1.0 mm 이상의 입자의 경우 체선별 하여 잔골재로 재활용할 수 있을 것으로 판단된다. 5 mm 이상의 입경에서는 무기성이지만 잔골재 이외의 이물질이 다수 함유되어 있어 이들도 체로 사전에 제거할 필요가 있었다. 1.0~5.0 mm 사이의 체선별한 성분 중에는 부유성의 유기물질이 존재하므로 이들은 부유선별방법을 통하여 제거하였다. 사전 체선별 후 부유선별 방식을 통해서 하수도 준설토에서 잔골재를 얻을 수 있었으며, 본 연구에서 얻어진 잔골재의 비율은 38 % 수준이었다.

**주제어:** 하수도 준설토, 재활용, 체선별, 부유선별, 유기물 함량

### 1. 서 론

하수도는 배재방식에 따라 크게 우수관과 오수관으로 구분되며, 하수도관 내부에는 토사와 오염물질

이 퇴적하므로 정기적으로 준설해주어야 한다. 이때 발생하는 준설토는 2016 하수도통계에 의하면 2015년에 619,857톤을 준설한 것으로 보고하고 있다<sup>1)</sup>. 준설된 토사의 처리는 매립이 12.0만톤으로 30 %, 재활용이 21.1만톤으로 53 %, 기타가 6.4만톤으로 16 %

† Corresponding author(e-mail : yoonsp@semyung.ac.kr)

수준이었다(Table 1). 하지만, 하수도 준설토 재활용 업체는 이를 전문적으로 처리하는 업체가 아니라 건설폐기물 처리업체에서 함께 처리하는 실정으로 관련업체 견학을 요청한 결과 완곡히 거절하는 행태를 볼 때 제대로 된 처리가 이루어지지 않는 경우가 다수인 것으로 판단된다.

하수도 준설토는 외관상 준설 직후는 혐기성 상태로 존재하여 검은색을 띠나, 장기적으로 공기에 노출되면 회색으로 바뀌며, 오염물질 함량에 따라 약간의 악취를 풍기기도 한다. 하지만, 많은 부분이 사질토로 구성되어 있으므로, 이를 적절히 선별처리하면 잔골재로 재활용할 수 있다.

하수도 준설토에 대한 국내외 연구결과를 살펴보면 Hydrocyclone이나 세척방법을 통해서 준설토 중의 유기물을 제거하는 방법이 검토되었으며<sup>2)</sup>, 5개 지점에서 채취한 하수도 준설토의 유기물 함량은 3.17~10.71 %의 범위를 나타내었다<sup>3)</sup>.

이병원 등(2007)은 배수구역별로 시료를 채취하여 입도 및 중금속 함량을 분석하고, 시멘트 고형화와 황토 소성 방법으로 재활용을 검토하였다. 10개 지점에서 준설한 하수도 준설토의 입도는  $d_{10}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{60}$  값의 평균이 각각 0.31, 0.61, 1.36 mm를 나타내었다<sup>4)</sup>.

박규홍 등(2008)은 하수관에서 직접 시료를 채취하여 입도와 유기물 함량을 분석하였는데, 합류식 하수관거의 경우  $d_{50}$  값이 1.0 mm, 분류식 우수관거의 경우 0.8~4 mm의 범위를 보였고, 유기물 함량은 1.10~2.86 %의 범위였다<sup>5)</sup>.

이송 등(2001)은 하수도 준설토를 토목재료로의 이용가능성에 대하여 실험하였는데, 입도분포, 유기물 함량, 중금속 용출시험, 모르타르 압축강도 실험, 세척폐수의 특성 등을 조사하였다. 준설토의 유기물 함량은 1.53 %였으며, 세척한 준설토는 이보다 낮은 값을 보였다. 세척폐수의 수질분석 결과 SS가 1695~3340 mg/L, COD가 76.8~87.1 mg/L로 높게 나와서 세척폐수의 물리화학적 처리가 요구되었다<sup>6)</sup>.

위의 연구들은 하수관에서 직접 시료를 채취하였고, 하수도 준설토의 유기물 함량 측정의 경우에 입자 크기별로 분석하지 않고, 채취한 시료의 대표적 인 유기물 함량을 측정하는 것에 그치고 있다.

본 연구에서는 하수도 준설토의 재활용을 위해 준설토 적치장에 임시보관된 시료를 채취하였으며, 입도분포 분석, 입도별 유기물질 함량 조사, 용출시험방법을 이용한 준설토 세척에 따른 오염도를 평가함으로써 체선별과 부유선별 방식을 조합한 하수도 준설토 재활용 방법을 제안하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 하수도 준설토 시료채취 및 분석

하수도 준설토 시료채취는 J시 하수도 준설토 임시보관장에서 2018년 3월 16일에 채취하였다. 채취 시 준설 후 경과한 시기가 비교적 오래된 것과 중간 정도된 것, 최근에 된 것 등을 육안으로 구분하여 3종을 채취하였다.

채취한 시료는 풍건 후 위치별로 500 g씩을 체분리를 하여 입도분석을 실시하였다. 또한 1 L 메스실린더에 준설토를 다지면서 채워 넣은 후 무게를 측정하여 겉보기 밀도를 측정하였다.

체로 입자크기별로 구분한 준설토는 105 °C 건조기에서 수분을 증발시킨 후, 600 °C의 전기로에서 3시간 강열하여 유기물 함량을 분석하였다<sup>7)</sup>.

### 2.2. 용출시험 방법에 의한 준설토 세척시험

준설토 내 세립토에 부착된 유기물을 제거하고, 입자크기가 크면서 부유하는 이물질 제거하기 위해서는 준설토를 물로 세척할 필요가 있다.

따라서 준설토를 물로 세척하였을 때 세척 횟수에 따라서 세척수의 오염물질 농도가 어떻게 변화

Table 1. Amount of dredging and treatment of sewage in 2015 year<sup>1)</sup>

Dredging		Treatment (ton)			
Amount (ton)	Cost (million Won)	Total	Landfilling	Recycle	Other
619,857	79,366	395,500	120,268	211,154	64,078

하는지를 평가하기 위해 폐기물의 용출시험방법을 준용하여 평가하였다<sup>8)</sup>. 즉, 고액비를 1:10으로 하고, 200 rpm에서 6시간을 용출조작을 한 후, 전체 세척수 중 10 %는 상등액 형태로 여과하지 않고 시료로 채취하여 COD<sub>Cr</sub>와 염소이온 농도, 중금속인 Cd, Cr, Pb, Cu 농도를 측정하였다<sup>9)</sup>. 중금속은 원자흡광광도계(Shimadzu AA-7000)를 이용하여 분석하였다. 두 번째 이후의 세척은 새로운 준설토로 교체한 후 이전에 사용한 용출액 90 %에 새로운 증류수 10 %를 추가하는 방식으로 용출시험을 5회 진행하였다.

### 2.3. 체선별과 부유선별을 조합한 잔골재 회수방법

이상의 입도별 유기물 함량 분석과 준설토의 세척시험 등을 통해서 바람직한 하수도 준설토에서의 잔골재 회수방법을 제시하고, 회수율을 산정하였다. 잔골재의 회수율을 높이기 위해서 입자 크기에 따른 회수율을 비교하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 하수도 준설토의 입도 분포별 유기물 함량

시료 채취한 하수도 준설토를 체선별한 후 입도별로 유기물 함량을 분석한 결과는 Table 2와 3과

같다. Table 3과 같이 모래의 입자 크기가 작아질수록 유기물 함량이 높아지는 경향을 보이고 있다. 이는 입자 크기가 작아질수록 그 안에 미세한 유기물 성분의 함량이 높아지며 잔골재로서의 가치가 떨어짐을 알 수 있다. 또한 세척시에도 세척수 내에 부유성 유기물 함량이 높아져서 악취가 발생하고 유기성 폐수 발생이 우려되었다.

한편, 2 mm 이상의 자갈의 경우에도 유기물 함량이 높은 경향을 보이고 있는데, 이는 담배꽂초, 수박씨 등 과일의 씨앗이나 나뭇잎, 나뭇가지 등의 협잡물이 잔류한 결과로서 육안으로도 확인되었다. 따라서 준설토의 재활용을 위해서는 단순히 체분석만으로는 부족하며, 입자 크기별 유기물 분석이 함께 이루어져서 각 구간별의 유기물 함량이 파악되어야만 어떠한 선별 시스템을 적용할 지를 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

채취한 시료의 경우 유기물 함량이 입경 1~2 mm 구간이 가장 낮았다. 따라서 1 mm 이상을 체로 선별하여 재활용하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

시료별 겉보기 밀도 측정결과는 Table 4와 같은데, 1.55~1.71 ton/m<sup>3</sup>의 범위의 값을 보였다. 본 연구에서는 제시하지 않았으나, 추가적으로 채취한 하수도 준설토의 경우 유기물 계통의 이물질 함량이 높아서 겉보기 밀도가 1.15~1.25 ton/m<sup>3</sup> 수준으로 낮게 나왔는데, 이로부터 하수도 준설토의 시료 채취 단계에서 겉보기 밀도의 측정은 준설토에서의 잔골재

Table 2. Particle size distribution of dredged sewage sediment

sample	No.10	No.18	No.35	No.60	No.100
	over 2mm	1~2mm	0.5~1mm	0.25~0.5mm	0.15~0.25mm
1A (old)	24.9 %	28.7 %	23.3 %	15.1 %	8.0 %
1B (middle)	18.5 %	22.0 %	19.1 %	19.3 %	21.1 %
1C (recent)	32.0 %	29.0 %	22.0 %	13.0 %	4.0 %

Table 3. Organic content of dredged sewage sediment

sample	No.10	No.18	No.35	No.60	No.100
	over 2mm	1~2mm	0.5~1mm	0.25~0.5mm	0.15~0.25mm
1A (old)	8.8 %	1.8 %	3.1 %	3.5 %	5.9 %
1B (middle)	2.3 %	1.3 %	2.7 %	3.1 %	4.1 %
1C (recent)	1.9 %	1.4 %	2.2 %	3.0 %	2.2 %

Table 4. Apparent density of dredged sewage sediment

Sample	Apparent density
1A (old)	1.59 ton/m <sup>3</sup>
1B (middle)	1.71 ton/m <sup>3</sup>
1C (recent)	1.55 ton/m <sup>3</sup>

채취 가능성을 평가하는 유용한 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.2. 용출시험 방법에 의한 세척수 오염도 평가

하수도 준설토를 체분리하지 않은 상태에서 증류수와 1:10의 비율로 6시간 진탕했을 때 세척수의 COD 농도는 Table 5와 같이 세척 횟수가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 아울러 시료의 종류에 따라서도 가장 최근에 준설된 것(1C)의 COD 농도가 비교적 준설한지 오래된 것(1A)보다 높은 값을 보여 주었다.

따라서 준설토를 사전에 선별하지 않고 전체적으로 세척하면 미립자 속에 있는 유기물이 부유하여 세척수 수질을 악화시키게 되므로 사전에 회수 대상 입자 크기의 체로 선별한 후 이들을 세척하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

한편, 세척수 중의 염소이온 농도는 높지 않아서 세척을 여러 번 해도 염소이온의 증가는 확인되지 않았다(Table 6).

세척수에서 중금속 성분인 Cd, Cr, Pb, Cu은 검출되지 않았다.

### 3.3. 부유선별에 의한 잔골재 중에서 협잡물의 제거

채취한 시료를 위치별로 1 kg씩을 취하여 1 mm 체와 5 mm체 사이에 남는 준설토를 선별하여 물속에 넣어 교반하면서 부유물을 건어내어 협잡물을 제거하였다. 이것은 육안으로 확인한 결과 5 mm 체 이상에는 유리 등의 무기성 이물질이 다소 존재한데 따른 것이다. 1 mm 이하의 입자를 체선별하여 제거한 관계로 부유선별시 물의 수질이 나빠지지 않음을 육안으로 확인하였다.

부유선별 후 물을 제거한 후 건어낸 부유물과 잔골재의 무게를 105 °C에서 건조한 후 무게를 측정하여 잔골재로 회수가능한 비율을 확인하였다. 처분 대상으로 판정한 입자크기 1 mm 이하가 무게비로 평균 51.7 %였고, 잔골재로 회수대상이 되는 1~5 mm 크기의 비율은 38.0 %를 나타내었다. 1~5 mm 크기에서 부유선별로 걸러낸 부유물질의 양은 1.6 %였으며, 유리 등의 무기성 물질과 잔골재가 혼합되어 체선별과 비중선별로는 잔골재와 구별이 곤란한 5 mm 이상 크기의 비중이 8.8 %를 나타내었다.

재활용 비율을 높이기 위해서는 1.0 mm 이하 부분에서 회수하는 잔골재 비중이 높아져야 하는데, 추가적으로 하수도 준설토 시료를 채취하여 0.5 mm 이상에 대하여 체선별을 한 후 세척 및 부유선별을 하여 세척수의 오염도를 평가하였으나, 채취한 시료가 특이하게 유기물 함량이 높아서 하수도 준설토로서 대표성이 없다고 판단하여 본 연구에서는 제시하지 않았으며, 앞으로 추가적인 조사가 필요한 부분이다.

Table 5. COD concentration of dredged sewage sediment after Korean Leaching Test Procedure (unit : mg/L)

sample	1st washing	2nd washing	3rd washing	4th washing	5th washing
1A (old)	8.2	33.1	66.2	91.0	99.3
1B (middle)	24.8	66.2	57.9	82.8	91.0
1C (recent)	107.6	115.9	223.4	281.4	289.6

Table 6. Cl<sup>-</sup> concentration of dredged sewage sediment after Korean Leaching Test Procedure (unit : mg/L)

sample	1st washing	2nd washing	3rd washing	4th washing	5th washing
1A (old)	2.1	2.1	3.5	4.3	5.7
1B (middle)	1.4	3.5	5.0	4.3	4.3
1C (recent)	1.4	2.1	5.0	5.0	5.7

Table 7. Mass balance of dredged sewage sediment after screening and flotation

	under 1.0mm	1.0~5.0mm size aggregate	1.0~5.0mm size floated matter	over 5.0mm
1A (old)	60.1 %	35.4 %	1.4 %	3.1 %
1B (middle)	66.2 %	26.9 %	0.6 %	6.3 %
1C (recent)	28.7 %	51.7 %	2.7 %	16.9 %
average	51.7 %	38.0 %	1.6 %	8.8 %

Table 7은 체선별과 부유선별을 통해 얻을 수 있는 잔골재의 비율과 각 입자 크기별 배출량을 정리한 것으로 지역별, 준설 시기별로 값이 상이할 수 있으므로 이에 대한 추가적인 자료의 축적이 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

하수도 준설토를 잔골재로 재활용하기 위해 준설토 보관장에서 채취한 시료에 대한 각종 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하수도 준설토의 특성은 임시보관기간, 준설시기 등에 따라 특성이 상이하였으며, 이를 감안한 재활용 시스템 구축이 필요하다.
2. 입도분석과 입경별 유기물 함량 분석을 통해 1~5 mm 크기에 대하여 사전에 체선별한 후, 이를 부유선별하면 세척수의 오염물질 농도 증가를 저감할 수 있었다.
3. 세척횟수가 증가할수록 세척수 중의 COD 농도는 증가하였으며, 미세입자가 포함된 경우 5차 세척시 COD 농도가 91~290 mg/L의 값을 나타내었다.
4. 1~5 mm 크기에서 체선별하고, 이후 부유선별을 통해 협잡물을 제거하여 회수된 잔골재 비율은 38 % 수준이었다.

#### References

1. 2016 Sewage statistics, Korea Ministry of Environment, (2018).
2. Ashley, R. M., Fraser, A., Burrows, R. and Blanksby, J., "The management of sediment in combined sewers", Urban Water, 2, pp. 263~275. (2000).
3. Dongkuk University Institute of Industrial Technology, A Study on the hazard evaluation and reuse of dredging soil in sewage, pp. 10~121. (2005).
4. Lee, B. W., Won, C. H. and Rim, J. M., "The physical-chemical characteristics and recycling method of sewage dredged soils", Journal of Korea Society of Waste Management, 24(7), pp. 604~612. (2007).
5. Park, K. H., Kim, H. J., Lee, T. H. and Kim, H. G., "Characteristics of sewer sediment by particle size grades", Korean Society of Environmental Engineers Spring Conference Proceedings, pp. 775~778. (2008).
6. Lee, S., Lee, J. Y., Chae, J. S. and Lee, O. H., "A study on the recycling of sewage dredged soils as construction materials", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 21(5C), pp. 597~604. (2001).
7. Loss on ignition/volatile solids and total organics-gravimetry, ES 06301.1b, Waste Process Test Standards, Korea Ministry of Environment. (2016).
8. Sample preparation, ES 06150.b, Waste Process Test Standards, Korea Ministry of Environment. (2016).
9. Water Pollution Test Standards, Korea Ministry of Environment. (2017).