

## 수중토사의 토량환산계수에 관한 연구

### A Study on the Soil Conversion Factor of Underwater Soils

박 성 식<sup>1</sup> Park, Sung-Sik  
배 연 회<sup>2</sup> Bae, Yeon-Hoi  
문 홍 득<sup>3</sup> Moon, Hong-Duk

#### Abstract

In this study, the deposition of dredged soils from domestic rivers is simulated in the laboratory using a small soil box. In the tests, small sand with 0.002-0.85 mm, large sand with 0.85-2 mm, and gravel 4.75-5.6 mm are air or water-pluviated into the box. Such various deposition processes are simulated and their dry densities are measured. While dredging or piling such soils, their volume may change. The loss of such soils is calculated by a soil conversion factor C. The C value was determined as 0.91 for small sand, 0.96 for large sand, and 0.91 for gravel. The drainage through soil piles may occur and result in effective stress increase. This may cause the volume change of soils and in order to consider such effect it is necessary to recalculate C values. As a result, dry density increased by 5-12% when the drainage effect is considered. When the drainage effect is considered, the value of soil conversion factor C was 0.81 for small sand, 0.92 for large sand, and 0.82 for gravel. Eventually, the C value decreased up to 4-12%.

#### 요 지

본 연구에서는 국내 하천 정비사업 중 수중골재 채취 및 반출 과정에서 발생할 수 있는 준설토의 손실량을 예측하기 위해 실내에서 소형토조를 이용하여 토사 퇴적실험을 실시하였다. 토사 퇴적실험에 사용한 토사는 낙동강 유역에서 채취한 0.075-0.85mm 사이의 가는 모래, 0.85-2mm 사이의 굵은 모래, 그리고 4.75-5.6mm 사이의 자갈로 대기중 또는 수중으로 자유낙하방식으로 퇴적시켰다. 다양한 퇴적조건에 따른 토사의 건조단위중량 변화를 분석하였으며, 다양한 종류의 수중 토사를 육상으로 준설하고 적치할 경우에 예상되는 토량의 변화 또는 손실량을 토량환산계수 C값으로 예측하고자 하였다. 본 토사 퇴적실험으로부터 계산된 C값은 가는 모래 0.91, 굵은 모래 0.96, 자갈 0.91이었다. 한편 토사 내 간극수의 배수로 발생하는 유효응력 증가로 인한 단위중량 변화도 고려하기 위해 수중에서 퇴적된 토사를 배수시킨 다음 건조단위중량의 변화를 계산하고 이를 바탕으로 토량환산계수를 수정하였다. 배수로 인한 건조단위중량의 증가율은 5-12% 정도였으며, 이를 고려할 경우 토량환산계수 C값은 가는 모래 0.81, 굵은 모래 0.92, 자갈 0.82로 4-12% 정도 감소하였다.

**Keywords :** Soil conversion factor, Dredged soil, Sand, Gravel

1 정희원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ.)

2 비희원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 석사 (Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ.)

3 정희원, 경남과학기술대학교 건설환경공과대학 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Gyeongnam National Univ. of Science and Technology, Tel: +82-55-751-3296, hdmooon@gntech.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2016년 1월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

## 1. 서론

최근 4대강 살리기 사업의 일환으로 낙동강유역 여러 하천에서 토사를 준설하였으며, 하천의 위치나 채취 여건에 따라 약간의 차이는 있으나 대부분의 토사는 하저 또는 수중에서 펌프준설선을 이용하여 채취되었다. 이렇게 준설된 토사는 임시 야적장에 야적되어 일정기간 경과 후 새로운 야적장으로 이동되어 적치된 후 판매 또는 시공을 위해 반출되었다. 4대강 살리기 사업에서 발생한 준설토는 총 5억 7,000만 $m^3$ 이며, 이 중 낙동강유역에서는 4억 4,000만 $m^3$ 을 준설하여 전체 발생량의 77%를 차지한다. 이러한 준설토의 준설과정을 비롯하여 현장으로 반입 및 반출되는 과정에서 상당량의 물량 손실이 발생하였다. 이러한 손실의 주요 원인으로는 펌프준설에 의한 물의 영향, 반출차량의 통행에 따른 다짐으로 인한 체적 변화, 경사면 집토의 어려움, 우수 및 바람에 의한 영향, 하저 또는 수중토사의 토질, 입도분포, 유속과 퇴적속도 등이 있다. 실제 준설량과 반출된 물량과의 차이를 계산하기 위해서 현장에서는 주로 토량환산계수를 사용하고 있다. 이를 계산하기 위해서는 토사의 원지반 또는 자연상태와 다져진 상태를 결정해야 하지만, 준설토의 경우에는 토사의 유동성이 커 이를 결정하는 것이 쉽지 않다. 특히, 4대강 사업과 같이 준설물량이 상당할 경우 토량환산계수의 작은 차이에도 토공량 산정에는 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 상당한 주의가 필요하다.

이러한 토량환산계수에 대한 연구는 몇몇 연구자에 의해 실험적인 방법으로 수행된 바 있다. 예를 들면, Park(2012)과 Ju et al.(2007)은 암버럭이나 자갈 등과 같이 굵은 골재가 포함된 경우에 대한 토량환산계수를 연구한 바 있으며, Kim et al.(2008)과 Lim et al.(2003)은 택지 조성이나 일반 성토에 사용되는 세립분이 포함된 토사에 대한 토량환산계수를 연구한 바 있다. 한편 Lee et al.(2006)은 사진 측량과 레이저 스캐너를 이용하여 토량환산계수에 대한 연구를 수행한 바 있다. 현장실험을 비롯하여 수치사진측량, 3D 스캐너 등을 이용하여 토량환산계수를 좀 더 정확하게 산정하기 위한 연구가 수행된 바 있다. Lee et al.(2012)이 준설토의 토량환산계수에 대해 연구한 사례가 있으나, 여전히 준설토의 토량환산계수에 대한 연구 사례가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 4대강 살리기 하상정리공사 과정에서 현장 토사의 체적 측정이나 계측자료가 부족한 상황에

서 수중토사의 준설과 단계별 적치과정에서 발생한 준설토의 손실량을 먼저 소개하고, 국내 하천 정비사업 시에 발생할 수 있는 준설토의 손실량을 예측하기 위해 실내에서 소형토조를 이용하여 토사 퇴적실험을 실시하였다. 하천 토사 준설에서 토사 적치 및 보존과정 중에 발생하는 여러 과정들이 준설토의 체적 변화에 영향을 미칠 수 있으며, 실내모형실험을 통하여 준설토의 간극수 배수로 인한 체적 변화에 따른 손실량의 정도를 정량적으로 파악하고 수중토사의 준설에 따른 토량환산계수 적용 방법에 대하여 연구하였다.

## 2. 4대강 살리기사업 낙동강유역 준설 현황

### 2.1 낙동강유역 토사 준설 현황

본 연구에서 조사한 낙동강 유역 골재 채취장은 모두 5곳으로 각각의 위치는 Fig. 1에 동그라미로 표시하였으며, 낙동강 삼랑진 지점에서 상류로 올라가면서 창녕 구산(Changnyeong Gusan), 창녕 현창(Changnyeong Hyunchang), 합천 삼학(Hapcheon Samhak), 고령 포리(Goryeong Pori), 달성 하산(Dalseong Hasan) 순으로 골재 채취장이 형성되었다. 대부분의 골재 채취장이 낙동강 하류에 위치하여 평균 1/10,000 정도의 완만한 경사도를 나타내며 낙동강 상류와 달리 하상 폭이 증가하며 유속 흐름이 완만한 지역으로 상류지역에서 이동된 토사의 퇴적이 증가하는 경향을 보였다. 창녕구 산 및 현창 골재 채취장은 삼랑진 상류 20~30km에 위치한



Fig. 1. Locations of aggregate dredging

곳으로 낙동강 골재 채취가 가능한 지역 중 마지막 구간에 해당되며, 구산 골재 채취장 하류는 유기물 함유량이 많고 세립토의 증가로 인하여 골재로서의 이용가치가 떨어지는 경향을 보였다. 달성 하산 골재 채취장을 비롯한 골재 채취장 대부분은 낙동강의 유속이 서서히 감소하는 위치에 속하는 곳으로 칠곡, 구미지역보다 골재의 입경 및 단위중량의 차이는 있으나 유속 흐름이 완만하여 골재 채취가 용이하고 경상남도 지역의 골재 공급의 중요한 지역에 속한다. 고령 포리, 합천 삼학 골재 채취장은 유속의 흐름이 완만하고 하천이 굽이쳐 흐르는 곳에 위치하며, 하천 폭의 2/3 정도가 토사 퇴적이 발달되어 골재 채취가 용이하다. 한편, 낙동강 상류보다 입경의 감소 및 세립토의 증가는 있으나, 건설용 골재로 사용이 가능한 지역이다.

## 2.2 낙동강유역 토사 생산량 및 판매량

본 연구 대상지에서 준설된 토사의 적치장별 생산량과 판매량은 Table 1과 같다. 여기서, 생산량이란 펌프선에서 준설된 토사가 1차 적치장(침사지)에서 일부 배수가 된 다음 차량으로 2차 육상 적치장으로 운반된 양을 말한다. 판매량은 육상 적치장에서 차량으로 반출된 양을 말한다. 상류지역보다 하류지역의 생산량이 월등히 높은 것을 알 수 있다. 예를 들면, 가장 많은 생산량을 가진 창녕 현창의 경우 고령 포리 보다 5.2배 많은 생산량을 보였으며, 이것은 발생된 준설토를 당해 공사에 유용한 부분도 있지만 상류지역보다 하류지역의 퇴적토 발생량이 많은 것도 하나의 요인이라 할 수 있다.

5곳의 골재 채취장에서 발생한 골재 손실률(Loss rate)도 Table 1에 표시하였다. 달성 하산과 합천 삼학이 10% 정도이며, 나머지 3곳은 약 18% 정도로 손실률이 상대적으로 높게 나타났다. 낙동강 준설토는 하상에서 준설된 이후에 여러 가지 처리경로와 이동을 하면서 골재의 물량 변동은 계속적으로 발생하였다. 이러한 골재의 변동 즉 손실률은 각 지역별로 정도의 차이는 있지만, 대체적으로 손실의 정도가 생산량(반입물량)에 비교하여

볼 때 상당한 양이라 할 수 있다. 이러한 손실은 준설 및 반출 전과정에 걸쳐 다양하게 발생한 것으로 판단된다. 펌프준설에 의한 물의 영향, 반출차량의 통행에 따른 다짐 손실과 경사면 집토의 문제, 측량오차 한계, 우수 및 바람 등에 의한 자연적 발생 부분 등 다양한 원인에 의해 발생한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이와 같이 국내 하천 정비사업 중 발생할 수 있는 준설토의 손실량을 예측하기 위해서 준설 후 2차 육상 적치장에 쌓아둔 토사(Table 1에서 Production)의 함수비가 높은 상태로 가정한 다음 실내에서 토사를 수중으로 낙하시켜 느슨한 토사를 재성형하였다. 판매되는 토사(Table 1에서 Sales)는 적치된 이후 각종 하중이나 배수로 인한 다짐효과로 비교적 조밀한 상태로 가정하여 대기중에서 낙하시켜 토사를 재성형하였다. 구체적인 실험방법과 결과는 다음과 같다.

## 3. 토사 퇴적 모형실험 및 결과

### 3.1 토사 종류 및 토사 퇴적방법

본 토사 퇴적 모형실험에는 대구광역시 달성군 낙동강 유역에서 채취한 모래와 자갈을 사용하였다. 모래는 2mm체를 통과한 시료 중에서 0.85mm에 잔류하는 모래를 굵은 모래, 그리고 통과하는 모래를 가는 모래로 분류하였으며, 자갈은 4.75-5.6mm 사이의 시료를 사용하였다. 낙동강 유역의 상류 또는 하류에 따라 입도분포가 다르므로 본 연구에서는 이와 같이 가는 모래(Small sand), 굵은 모래(Large sand), 그리고 자갈(Gravel)로 구분하여 실험하였으며, 각각의 모습은 Fig. 2와 같다. 한편, 가는 모래의 비중(Gs)은 2.64, 최대간극비( $e_{max}$ )는 1.18, 최소간극비( $e_{min}$ )는 0.85이며, 입도분포곡선은 Fig. 3과 같다. 토사 퇴적실험에 사용한 소형토조는 Fig. 4와 같이 20×20×20cm이며, 또한 오른쪽 그림과 같이 낙하높이 조절이 가능한 소형 깔대기를 사용하여 토사를 퇴적시켰다. 각각의 토사는 분당 1.35ℓ씩 배출되도록 깔대기 배출구의 크기를 적절히 조절하였다. 대기중 토사 퇴적

Table 1. Loss of dredged soils from Nakdong River (Dalseonggun, 2013)

Item	Dalseong Hasan	Goryeong Pori	Hapcheon Samhak	Changnyeong	
				Hyunchang	Gusan
Production / Sales ( $10^3 m^3$ )	730/657	492/406	1,500/1,356	2,553/2,100	1,361/1,120
Loss ( $10^3 m^3$ )	73	86	144	453	241
Loss rate (%)	10.0	17.5	9.6	17.7	17.7

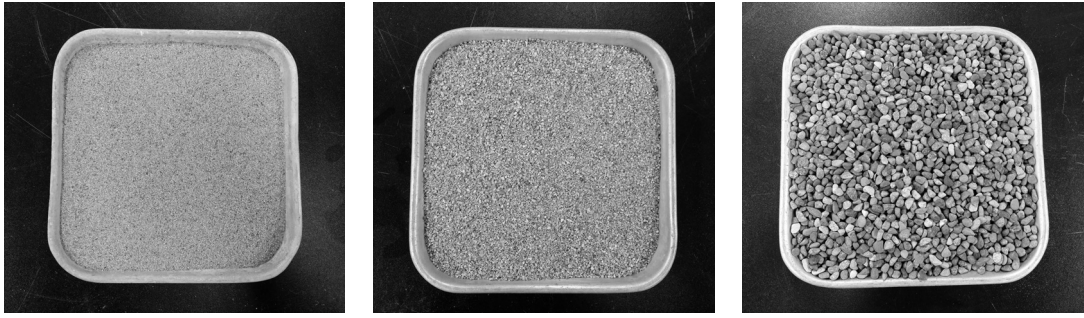


Fig. 2. Photos of small sand, large sand, and gravel

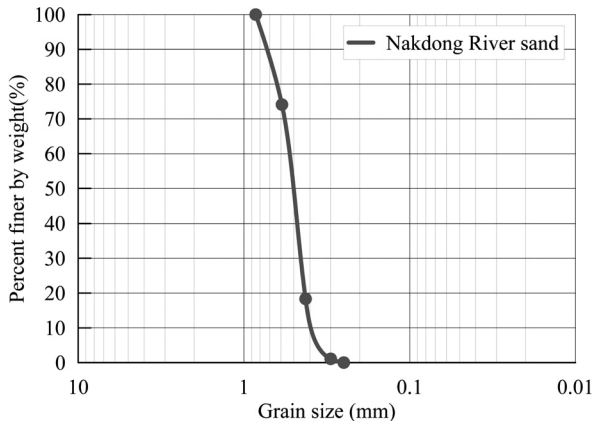


Fig. 3. Grain size distribution curve of Nakdong River sand

조건 및 퇴적 모습은 Fig. 5와 같고, 수중 토사 퇴적 조건 및 퇴적 모습은 Fig. 6과 같다. 토사를 대기중 또는 수중에서 퇴적시킨 후 무게과 함수비를 측정하여 건조 단위중량을 계산하였다.

### 3.2 수중에서 퇴적된 토사의 단위중량 계산 결과

#### 3.2.1 수중에서 퇴적된 토사의 단위중량

Table 2는 높이 20cm인 토조에 Fig. 6과 같이 물을 가득 채운 다음 낙하높이를 수면 위로부터 10, 20, 30cm로 달리하면서 수중으로 가는 모래, 굵은 모래 및 자갈을

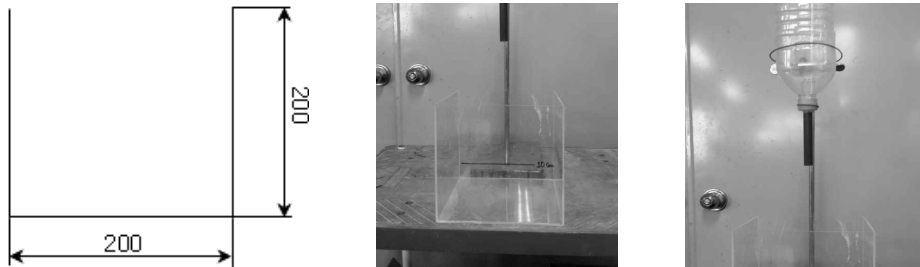


Fig. 4. Photos of model box and funnel (unit: mm)

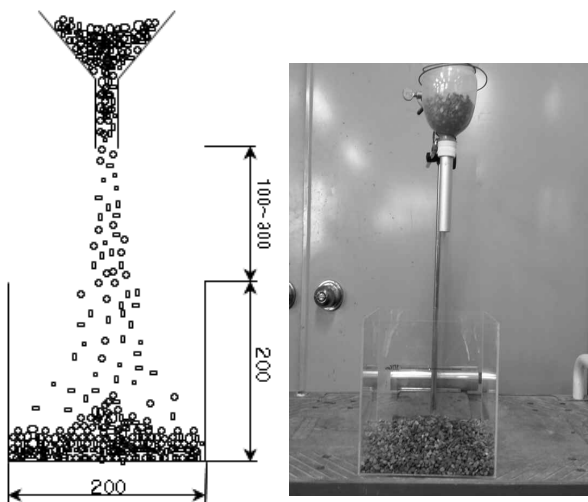


Fig. 5. Air pluviation method (unit: mm)

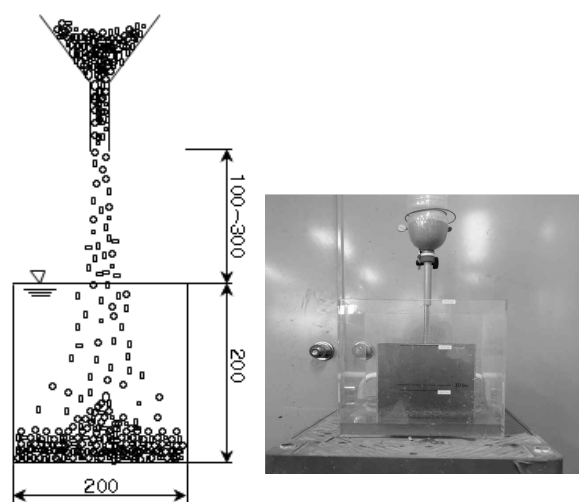


Fig. 6. Water pluviation method (unit: mm)

낙하시켜 퇴적시킨 경우 계산된 단위중량(unit weight)을 비교하고 있다. 즉, 수중에서 비교적 느슨하게 퇴적되는 토사의 단위중량을 습윤단위중량(wet unit weight), 건조단위중량(dry unit weight) 그리고 각각의 평균값으로 Table 2에 비교하였다. 토사의 종류에 따른 평균 건조단위중량은 가는 모래, 굵은 모래, 자갈이 각각 12.85, 14.42, 15.40kN/m<sup>3</sup>순으로 입자가 굵을수록 건조단위중량도 증가하였다. 낙하높이에 따라 계산된 건조단위중량은 토사의 종류에 따라 다소 차이가 발생하였으나, 경우에 따른 오차와 토사가 물 속에서 부력의 영향을 받으면서 퇴적되므로 물 위에서 토사가 낙하되는 높이는 건조단위중량에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 한편, 자갈과 같이 입자가 큰 경우에 토조의 크기가 상대적으로 작고 함수비 측정이 어려워 낙하높이에 따른 차이가 많이 발생한 것으로 판단된다.

### 3.2.2 수중에서 퇴적된 토사의 배수 시 단위중량

Table 3은 3.2.1절에 서술한 수심 20cm에서 퇴적된 토사를 배수시킨 경우에 배수로 인한 유효응력 증가로

발생한 단위중량의 변화를 비교하였다. 먼저, 배수로 인한 체적 감소는 각 모서리와 각 변 중앙 지점에서의 높이 변화를 측정하여 체적 변화를 계산하였다. 그 결과, Table 3과 같이 작은 모래 355cm<sup>3</sup>, 굵은 모래 297cm<sup>3</sup>, 자갈 120cm<sup>3</sup>의 체적 감소가 발생하였으며, 입자가 작을수록 체적변화는 크게 발생하였다. 본 실험에서는 가는 모래의 경우 배수 전의 건조단위중량이 12.85kN/m<sup>3</sup>이고 이를 배수시킨 경우 건조단위중량이 14.42kN/m<sup>3</sup>로 12.21% 증가하였다. 굵은 모래의 경우, 배수 전의 건조단위중량이 14.42kN/m<sup>3</sup>이고 이를 배수시킨 경우 건조단위중량이 15.11kN/m<sup>3</sup>로 4.76% 증가하였다. 그리고 자갈의 경우, 배수 전의 건조단위중량이 15.40kN/m<sup>3</sup>이고 이를 배수시킨 경우 건조단위중량이 17.07kN/m<sup>3</sup>로 변하여 10.83%의 증가율을 보였다. 대부분의 토사에서 낙하높이에 따른 뚜렷한 차이나 경향은 나타나지 않았다.

한편, 하천에 퇴적되는 토사의 단위중량에 영향을 미치는 요인으로 퇴적 시 낙하높이보다는 입경, 입도, 소성도, 세립분 함유율 등과 같은 토질 특성 및 유속, 수심 등과 같은 하천 특성이 더욱 중요한 것으로 판단된다.

Table 2. Comparison of dry density of water-pluviated soils

Soil type	Volume (cm <sup>3</sup> )	Falling height (cm)	Weight (N)	Wet unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Water content (%)	Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Average dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
Small sand	8,000	10	137.934.06	17.27	36.43	12.65	12.85
		20	138.71	17.36	31.83	13.15	
		30	139.30	17.46	36.54	12.75	
Large sand	8,000	10	136.26	17.17	18.78	14.42	14.42
		20	137.93	17.27	20.41	14.32	
		30	138.32	17.27	19.53	14.42	
Gravel	8,000	10	151.27	18.93	14.52	16.48	15.40
		20	151.86	19.03	31.37	14.42	
		30	152.45	19.03	25.52	15.21	

Table 3. Comparison of dry density of drained water-pluviated soils

Soil type	Volume (cm <sup>3</sup> )	Falling height (cm)	Weight (N)	Wet unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Water content (%)	Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Average dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
Small sand	7,645	10	122.23	15.99	15.01	13.93	14.42
		20	124.00	16.19	12.29	14.42	
		30	123.41	16.19	7.59	15.01	
Large sand	7,703	10	121.84	15.79	6.00	15.01	15.11
		20	122.72	15.89	6.05	15.01	
		30	123.12	15.99	5.29	15.21	
Gravel	7,880	10	134.59	17.07	2.77	16.97	17.10
		20	135.28	17.07	4.51	17.07	
		30	136.56	17.17	3.10	17.17	

수중토사는 자연상태의 토사와 달리 흙을 구성하는 한 요소인 간극의 대부분이 물로 채워져 있으므로 수중토사나 준설토사의 단위중량 산정에 있어 물의 영향을 고려해야 한다. 특히, 수중토사가 준설 후 장기간 육상에 적치되는 경우 준설토 내 간극수가 배수되면서 발생할 수 있는 단위중량의 변화도 토량환산계수 적용 시에 반드시 고려되어야 한다.

### 3.3 대기중에서 퇴적된 토사의 단위중량 계산 결과

수중에서 토사를 퇴적시킨 경우와 마찬가지로 대기중에 퇴적되는 토사의 단위중량을 측정하기 위하여 각종 토사를 낙하높이 10, 20, 30cm로 10cm씩 변화시키면서 퇴적시켰다. 이와 같이 대기중에서 퇴적되는 토사의 단위중량을 습윤단위중량, 건조단위중량 그리고 각각의 평균값으로 Table 4에 비교하였다. 토사의 낙하높이가 증가함에 따라 가는 모래의 경우 건조단위중량이 13.64kN/m<sup>3</sup>에서 14.62kN/m<sup>3</sup>로 7.19% 정도 건조단위중량이 증가하는 경향을 보였다. 굵은 모래의 경우에는 14.72kN/m<sup>3</sup>에서 15.11kN/m<sup>3</sup>으로 2.67% 정도 증가하였다. 자갈의 경우에도 16.68kN/m<sup>3</sup>에서 17.27kN/m<sup>3</sup>으로 3.53% 정도 증가하였으며, 이는 가는 모래와 굵은 모래의 중간 정도에 해당하는 증가율을 보였다. 전체적으로 토사의 종류에 관계없이 낙하높이가 증가함에 따라 자중에 의한 다짐효과로 건조단위중량은 2.0-7.0% 정도 증가하는 경향을 보였다. 입자가 굵은 자갈은 가는 모래 또는 굵은 모래보다 높은 건조단위중량을 보였으며, 가는 모래는 낙하높이에 따른 건조단위중량 증가가 가장 뚜렷하게 나타났다.

## 4. 준설토 토량환산계수 및 손실량 비교

4대강 사업과 같이 하천에 퇴적된 토사를 준설하고 육상에 적치한 경우 시간에 따라 준설토의 단위중량은 여러 요인에 의해 변하며, 이렇게 준설된 토사를 특정 시점에 측량하여 생산량을 파악하게 된다. 한편 이를 최종 반출할 경우에 반출물량을 확인하여 판매량을 기록하게 된다. 이와 같이 국내 하천정비사업 시에 발생할 수 있는 준설토 생산량과 판매량의 차이를 예측하기 위해서 본 연구에서는 다양한 조건에서 토사 퇴적실험을 수행하였다. 이를 이용하여 토량환산계수를 계산하고 국내 하천 정비사업 시에 발생할 수 있는 준설토의 손실량을 예측하고자 하였다.

### 4.1 토량환산계수 비교

토량환산계수 C값은 어떤 토사의 자연 상태와 다져진 상태의 건조밀도를 이용하여 식 (1a)와 같이 정의된다. 한편, 본 연구에서는 3장에서 실시한 실내 퇴적실험에서 수중에 퇴적된 토사를 자연 상태의 토사로 가정하고, 실내 퇴적실험에서 대기중에 퇴적된 토사를 다져진 상태의 토사로 가정할 경우 C값은 식 (1b)와 같이 나타낼 수 있다. 자연 상태의 토사를 준설토 생산량으로 간주하고 다져진 상태의 토사를 준설토 판매량으로 간주할 경우, 적치된 토사와 반출되는 토사의 물량 차이 즉 손실량은 토량환산계수 C값을 이용하여 예측할 수 있다. 이와 같은 가정 하에 계산된 각각의 토사에 대한 C값을 Table 5(Original로 표시)에 비교하였다.

$$C = \frac{\text{다져진 상태의 토량}(\text{m}^3)}{\text{자연 상태의 토량}(\text{m}^3)} = \frac{\text{자연 상태의 건조밀도}(\text{t}/\text{m}^3)}{\text{다져진 상태의 건조밀도}(\text{t}/\text{m}^3)} \quad (1a)$$

Table 4. Comparison of dry density of air-pluviated soils

Soil type	Volume (cm <sup>3</sup> )	Falling height (cm)	Weight (N)	Wet unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Water content (%)	Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Average dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
Small sand	8,000	10	110.95	13.83	1.42	13.64	14.13
		20	115.17	14.42	1.45	14.22	
		30	117.82	14.72	1.03	14.62	
Large sand	8,000	10	117.92	14.72	0.33	14.72	14.91
		20	121.45	15.21	1.17	15.01	
		30	121.35	15.21	0.28	15.11	
Gravel	8,000	10	133.42	16.68	0.27	16.68	16.97
		20	135.97	16.97	0.35	16.97	
		30	138.71	17.36	0.29	17.27	

Table 5. Summary of C values

Soil type	Falling height (cm)	Dry unit weight of water-pluviated soil (kN/m <sup>3</sup> )	Dry unit weight of air-pluviated soil (kN/m <sup>3</sup> )		C value			
			Original	Corrected	Original	Avg.	Corrected	Avg.
Small sand	10	12.65	13.64	15.01	0.93	0.91	0.84	0.81
	20	13.15	14.22	15.60	0.92		0.84	
	30	12.75	14.62	17.17	0.87		0.74	
Large sand	10	14.42	14.72	15.30	0.98	0.96	0.94	0.92
	20	14.32	15.11	15.79	0.95		0.91	
	30	14.42	15.01	15.79	0.96		0.91	
Gravel	10	16.48	16.68	17.17	0.99	0.91	0.96	0.82
	20	14.42	16.97	20.11	0.85		0.72	
	30	15.21	17.27	19.52	0.88		0.78	

$$C = \frac{\text{자연 상태의 건조밀도 (t/m}^3\text{)}}{\text{다져진 상태의 건조밀도 (t/m}^3\text{)}} = \frac{\text{수중 퇴적토사의 건조밀도 (t/m}^3\text{)}}{\text{대기중 퇴적토사의 건조밀도 (t/m}^3\text{)}} \quad (1b)$$

굵은 모래의 경우에는 토사의 체적 변화가 크지 않아서 전반적으로 1에 가까운 C값을 보였지만, 가는 모래와 자갈의 경우 C값이 0.9 정도로 상대적으로 낮은 값을 보였다. 한편 대기중에서 퇴적된 토사에 배수가 발생하여 추가적으로 다져진 경우에 대하여 C값을 보정하였으며, 그 결과를 Table 5(Corrected로 표시)에 비교하였다. 즉, 배수 효과로 인하여 가는 모래의 경우 C값이 0.91에서 0.81로 11% 감소하였으며, 굵은 모래는 0.96에서 0.92로 4% 그리고 자갈은 0.91에서 0.80으로 12% 감소하였다.

### 5. 결론

본 연구에서는 국내 하천정비사업 시 수중골재 채취 과정에서 발생한 준설토의 손실량을 예측하기 위해 실내에서 20×20×20cm 소형토조를 이용하여 토사를 퇴적시키는 실험을 실시하였다. 토사 퇴적실험에 이용한 토사는 0.075-0.85mm 사이의 가는 모래, 0.85-2mm 사이의 굵은 모래, 그리고 4.75-5.6mm 사이의 자갈로 대기중 또는 수중으로 자유낙하방법으로 퇴적시켰다. 다양한 퇴적조건에 따른 토사의 건조단위중량의 변화를 분석하였으며, 다양한 종류의 수중 토사를 육상으로 준설했을 경우에 예상되는 토량의 변화(감소) 또는 손실량을 토량환산계수 C값으로 계산하였다. 그 결과, 다음

과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대기중에서 퇴적된 가는 모래, 굵은 모래 및 자갈의 건조단위중량은 각각 14.13, 14.91, 16.97kN/m<sup>3</sup>이었으며, 낙하높이가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.
- (2) 수중에서 퇴적된 가는 모래, 굵은 모래 및 자갈의 건조단위중량은 각각 12.85, 14.42, 15.40kN/m<sup>3</sup>이었으며, 이를 배수시킨 경우 건조단위중량은 14.42, 15.11, 17.07kN/m<sup>3</sup>으로 5-12% 정도 증가하였다.
- (3) 실내 퇴적실험에서 수중에 퇴적된 토사를 자연상태의 토사로 대기중에 퇴적된 토사는 다져진 상태의 토사로 가정하여 준설토 생산량과 판매량으로 가정하였다. 그리고, 이를 이용하여 토량환산계수 C값을 구한 결과, 가는 모래 0.91, 굵은 모래 0.96, 자갈 0.91로 나타났으며, 배수로 인한 단위중량 변화를 고려할 경우 각각 0.81, 0.92, 0.82로 C값이 4-12% 정도 감소하였다. 한편, 본 연구에서 얻은 C값을 현장에 적용하기 위해서는 실내 토사 퇴적실험의 규모, 실험에 사용한 토사의 종류, 현장 퇴적 조건과의 차이점 등을 충분히 고려할 필요가 있다.

### 감사의 글

“이 논문은 2014년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었음”

### 참고문헌 (References)

1. Dalseonggun (2013), Report for dredging soil on Nakdong River.

2. Ju, J. W., Park, J. B., Ma, M. S., and Na, H. H. (2007), "The Estimation of Soil Conversion Factor using Large Field Density Test", *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers (KSCE) Annual Convention*.
3. Kim, Y. M., Lee, S. I., and Kim, M. G. (2008), "The Coefficient of Soil Swell and Shrinkage for Noncompaction Condition in the Field", *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers (KSCE) Annual Convention*.
4. Lee, J. K., Jung, S. H., and Lee, K. D. (2006), "An Estimation of Soil Conversion Factor Using Digital Photogrammetry and 3D Laser Scanner", *Korean Journal of Geomatics*, Vol.24, No.2, pp. 227-234.
5. Lee, S., Park, K. H., Park, M. C., and Kang, J. G. (2012), "Evaluation for Bulking Factor of Dredged Low Plastic Soil", *Proceedings of Korean Geo-environmental Society Annual Convention*.
6. Lim, C. K., Jeong, J. H., and Lee, B. G. (2003), "Study of Estimating Bulking Factor of Soil on the Large scale Field Test", *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers (KSCE) Annual Convention*.
7. Park, Y. M. (2012), "An Experimental Study on the Change of Bulking Coefficient of Soils Mixed with Rock Blades", *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol.32, No.5, pp.193-198.

Received : February 16<sup>th</sup>, 2015

Revised : April 23<sup>rd</sup>, 2015

Accepted : June 11<sup>th</sup>, 2015