



## 유속 및 입경에 따른 조립토의 이동 및 퇴적 특성 Transport and Deposition Characteristics of Coarse Grained Soil According to the Flow Velocity and Grain Size

봉태호\* · 손영환\*\*·† · 김규선\*\*\* · 박재성\*\*\*\* · 김동근\*\*\*\*\*

Bong, Tae-Ho · Son, Young-Hwan · Kim, Kyu-Sun · Park, Jae-Sung · Kim, Dong-Geun

### Abstract

Dredging and land reclamation works has actively carried out for the efficient use of land and secure of agricultural and industrial site. During the reclamation, a portion of landfills are lost from the desired location due to a variety of causes. However, these causes has been rarely studied, and water flow velocity has a great influence on the movement of landfills. For the economical and efficient reclamation, it is important to predict the movement of landfills in water. In this paper, an experimental study was carried out to investigate the deposition distance according to the flow velocity and soil grain size. We have made a large open-channel apparatus that can reproduce a laminar flow, and the deposition test was carried out on the four grain size (0.638, 1.425, 3.375, 7.125 mm) and four flow velocity (0.1, 0.3, 0.5, 0.67 m/s) with high definition video recording. As a results, average deposition distance increased with the flow velocity, and its relationship is shown linearly. For the grain size, the average deposition distance were drastically increased as the grain size becomes smaller.

**Keywords:** Deposition distance; grain size; flow velocity; open-channel; laminar flow

### 1. 서 론

우리나라는 급속한 산업의 발달 및 인구의 증가로 산업 및 주거용지, 공항, 항만 등의 수요가 날로 늘어남에 따라 한정된 국토의 효율적인 활용과 부족한 용지의 확보를 위한 매립공사가 활발하게 이루어지고 있다. 매립을 통한 부지의 조성은 많은 양의 매립토를 필요로 하며 효율적인 준설 매립을 위해서는 매립토를 목표한 위치에 정합한 수량을 매립해야한다. 하지만 준설 매립을 실시할 때 투기된 토사 중 일부는 목적인

장소에 퇴적되지 않고 다양한 원인으로 인하여 유실되게 된다. 이러한 유실토에 대한 평가는 일반적으로 건설공사 표준 품셈 (MoLIT, 2015) 또는 항만설계기준 (MOF, 2014)에 의하여 이루어진다. 그러나 이와 같은 평가방법은 개략적인 공사비를 산출하는데 이용되고 있으며 현장에서 시공 시에는 별도로 시험매립 부지를 운영하여 평가하고 있어 좀 더 경제적이고 근거 있는 산출방법이 요구되고 있다. 이에 따라 효율적인 준설매립 및 준설토의 퇴적특성을 규명하기 위한 다양한 연구들이 이루어져 왔으며 특히, 준설토의 매립에 따른 자중압밀특성 규명에 대한 많은 연구가 이루어져왔다 (Gibson et al., 1967; Been and Sills, 1981; Yamaguchi et al., 1991; Yoo and Kim, 2010). 퇴적특성에 관한 연구로 Ann et al. (2014)는 원심모형실험과 레이저 입도분석기를 이용한 준설토의 침강-퇴적 양상을 확인한 바 있으며, Park et al. (2011)은 모형토조장비를 통한 세립분 함량에 따른 준설토의 분리 퇴적특성을 규명하였다. 또한, Shin (2014)는 준설토의 투기에 의한 수치해석을 통하여 준설토의 유동해석을 수행하였다. 준설토의 유실율에 관한 연구로 Kim et al. (2000)은 준설토의 유실율을 평가하기 위하여 Marsal의 수정파쇄율을 적용한 후, 평균잔류율 곡선법에 의한 유실율 평가방법을 제안하였으며, Kim et al. (2002)도 동일한 방법으로 준설매립토의 유실율을 평가하고, 모형토조시험을 통하여 준설토의 단계투기를 실시한 경우 유실율을 감소시킬 수 있음을 규명한 바 있

\* Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

\*\* Department of Rural Systems Engineering, and Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Associate Professor

\*\*\* Samsung C&T Engineering & Construction Group, Senior Researcher

\*\*\*\* Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

\*\*\*\*\* Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-4585 Fax: +82-2-873-2087

E-mail: syh86@snu.ac.kr

Received: November 9, 2015

Revised: November 30, 2015

Accepted: January 14, 2016

다. 하지만 아직까지 토립자의 유실을 예측하기 위한 연구는 미미한 실정이다. 토립자의 수중거동은 중력에 의한 침강뿐만 아니라 수중 내 유속이 존재할 경우 이에 따른 수평방향 이동이 발생하게 되므로 준설토의 퇴적거리는 유속에 따라 매우 큰 영향을 받게 된다. 하지만 이를 고려한 토립자의 유실에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 유속에 따른 토사의 이동은 수리학적 특성에 따른 부유사와 소류사의 이동에 대한 이론적·실험적 연구들이 이루어져 왔으며, 준설매립에서는 환경적 측면에서 준설토의 부유사에 따른 오염농도와 확산에 관련된 연구 (Jung et al., 2004; Lee et al., 2011)들이 수행되어 왔다. 하지만 유속에 따른 토립자의 유실에 대한 영향을 규명하기 위해서는 유속 및 토립자의 입경에 따라 토립자 침강하면서 이동할 수 있는 거리를 예측하는 것이 매우 중요하다. 이에 따라 본 연구에서는 준설 매립 시 조립토의 수중거동을 분석하고자 대형수로실험을 통한 조립토의 이동 및 퇴적특성 실험을 실시하였다. 입경에 따른 영향을 파악하기 위하여 체분석을 통한 입경 분리를 수행하였으며, 각 입경에 대하여 유속별 수중거동을 분석함에 따라 입경 및 유속에 대한 퇴적거리와의 상관관계를 규명하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재료

본 연구에서는 시료의 입경에 따른 수중거동 특성을 분석하기 위하여 화강풍화토의 체분석을 통한 입경별 분류를 수행하였다. 초기 시료는 체눈 사이즈가 9.5 mm인 체를 이용하여 최대 입경을 조절하였으며, 이후 입자들 간의 분리가 명확하도록 수세법을 이용한 체가름 시험을 수행하였다. 사용된 체의 종류 및 이에 따른 평균 입경은 Table 1과 같으며, 비중 시험 (KS F 2308)을 통하여 각 체별 잔류시료의 비중을 확인하였다. Fig. 1은 체분석을 통하여 각 체에 잔류된 시료의 모습을 나타낸다.

## 2. 시험장비

### 가. 수로

조립토의 유속에 따른 수중거동을 분석하기 위하여 대형 수로를 이용한 실내모형실험을 수행하였다. 물의 흐름을 위한 수로는 철제 프레임으로 제작되었으며, 수로의 측면은 유리로 제작하여 외부에서 수로 내 거동을 쉽게 관찰할 수 있도록 하였다. 전체적인 수로의 제원은 길이 960 cm, 너비 30 cm, 높이 45 cm이며 수로의 전경은 Fig. 2와 같다.

Table 1 Grain size range according to the sieve and specific gravity

Sieves No.	Grain size range (mm)	Average grain size (mm)	Specific gravity
4	4.75~9.5	7.125	2.60
10	2~4.75	3.375	2.60
20	0.85~2	1.425	2.60
40	0.425~0.85	0.638	2.61

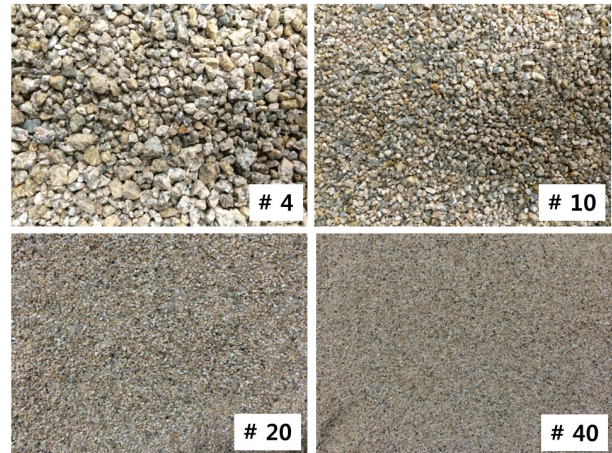


Fig. 1 Grain size classification by sieve analysis



Fig. 2 View of the open-channel experiment



(a) Volute Pump (DSV 250-80)



(b) Submerge pump (G-356)

Fig. 3 Pump

#### 나. 펌프

수로 내 물은 펌프를 통하여 공급되며 유속은 펌프의 용량 및 월류부의 높이 조절을 통하여 이루어진다. 본 연구에서는 충분한 수량을 공급하여 높은 유속을 재현할 수 있도록 수중 펌프와 볼류트 펌프를 동시에 활용하였으며, 볼류트 펌프의 유량은  $1.2 \text{ m}^3/\text{min}$ , 수중 펌프의 유량은  $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$ 로 총  $3.7 \text{ m}^3/\text{min}$ 의 유량을 조절할 수 있도록 하였다(Fig. 3).

#### 다. 등류생성장치

펌프를 통해 수로내로 유출된 물은 유속이 높을수록 심한 난류 및 파랑을 형성하게 된다. 이는 수로 내부 등류 형성을 방해하며 자연적으로 등류가 생성되기 위해서는 긴 수로구간을 필요로 한다. 이를 방지하기 위하여 수로의 시작부에 길이가 50 cm인 다수의 원형관으로 이루어진 등류생성장치를 설치하였다. 수로 내부 초기에 형성된 난류 및 파랑은 등류생성을 위한 원형관을 통과하면서 안정되어 층류의 흐름을 형성하게 된다. Fig. 4는 등류생성장치의 설치 모습을 나타낸다.

#### 라. 퇴적시료 포집장치

시료의 유속에 따른 퇴적거리 및 퇴적량을 분석하기 위하여 퇴적된 시료를 포집할 수 있는 포집상자를 제작하였다. 포집장치는 분리형으로 제작하여 거리에 따른 퇴적량을 쉽게 분리할 수 있도록 하였다. 포집상자의 제원은 길이, 너비, 높이가 각  $10 \text{ cm} \times 29.5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ 인 포집상자 40개와  $15 \text{ cm} \times 29.5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ 인 포집상자 5개를 설치하여 총 475 cm에 대

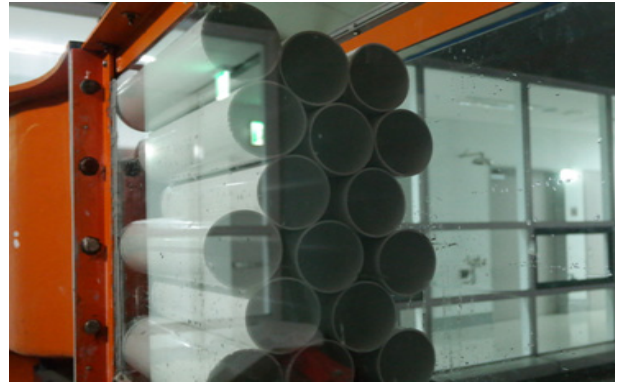


Fig. 4 Device for generating uniform flow

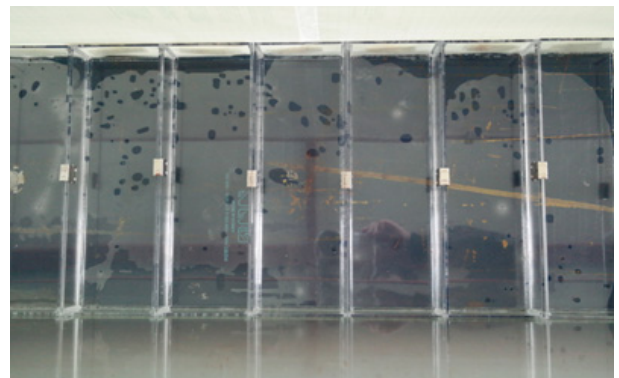
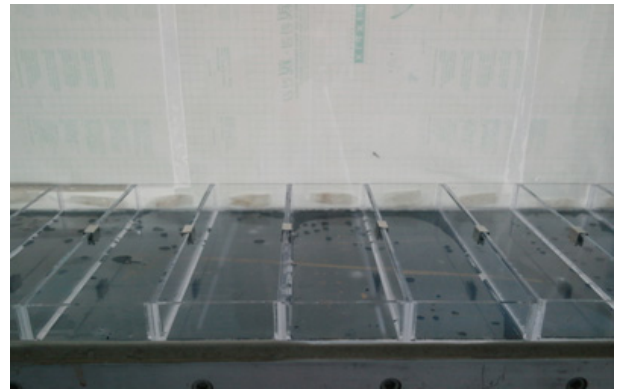


Fig. 5 Sampling box

한 퇴적시료를 포집할 수 있도록 하였다. 퇴적시료 포집장치의 모습은 Fig. 5와 같다.

#### 마. 유속재현 및 측정

수로 내 유속은 펌프의 유출량 조절 및 월류부의 유출량 조절을 통하여 이루어진다. 또한, 일정한 수심을 유지하기 위하여 물의 유입량에 따라 월류부의 높이를 조절하여 수로 내 유출량을 조절함으로써 일정한 수심을 유지할 수 있도록 하였다. 특히, 수심에 따라 균질한 유속이 나오도록 등류를 형성하

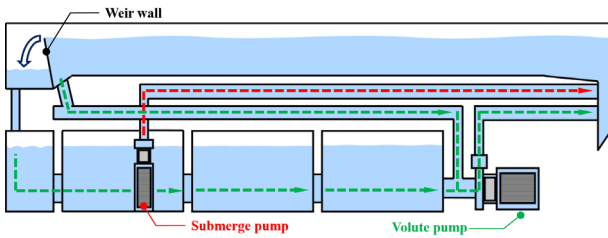


Fig. 6 Water circulation in open-channel

는 것은 매우 중요하다. 유출부의 월류만을 통하여 유속을 재현할 경우 수면이나 낮은 수심에서는 높은 유속이 재현되지만 수심이 깊어질수록 유속은 감소하게 된다. 또한 유속이 빠를 경우 월류벽에 부딪혀 난류를 형성하게 되므로 수로의 월류부에 가까운 구역의 수심은 불안정하게 된다. 따라서 본 연구에서는 수로 내 물의 흐름 생성은 월류뿐만 아니라 월류부 바닥부에 펌프와 연결된 관을 통해 물을 강제적으로 흡입하여 물의 흐름을 재현하도록 함으로써 수심이 깊은 곳에서도 물의 흐름이 원활하게 이루어질 수 있도록 하고 물의 흐름이 월류벽에 부딪혀 형성되는 난류의 영향도 최소화하여 안정적인 등류를 생성할 수 있도록 하였다. 수로벽의 마찰에 따른 유속감소는 거의 나타나지 않았으나 경계조건의 영향을 최소화하기 위하여 유속의 측정 및 시료의 투하는 수로의 중앙에서 수행하였다. 또한, 수심에 따른 유속을 파악하고자 10, 20, 30 cm 지점의 유속을 확인하였다. 수심별 유속은 설계 유속 대비 약 3~8 % 정도의 차이를 나타내었으며, 모든 심도에서 시간에 따라 일정한 유속을 유지할 수 있어 효과적으로 등류를 생성할 수 있음을 확인하였다. 수로 내 물순환 모식도는 Fig. 6 과 같다.

수로 내 유속은 초음파 유속계 (OTT MF pro)를 설치하여 측정하였으며, 유속 측정은 실험구간 시작부에서 약 100 cm 정도 떨어진 위치에서 실시하였다.

### 3. 시험방법

토립자의 입경 및 유속에 따른 조립토의 수증거동을 규명하기 위하여 실내수로모형실험을 실시하였으며 이에 따른 실험 모식도는 Fig. 7과 같다.

실험방법은 수로 내 수심을 40 cm로 유지시키면서 목표 유속을 펌프의 유출량 및 월류부의 높이 조절을 통하여 재현하였다. 실험 유속은 0.1, 0.3 0.5 0.67 m/s의 총 4가지의 유속에 대한 실험을 실시하였으며, 일정시간 수로 내 흐름을 유지하면서 유속 및 수심을 측정하고 흐름이 안정화되면 상부로 부터 수심이 0 cm 인 지점에서 일정량 (500 g)의 시료를 연속적으로 투하하였다. 실험과정 중 토립자의 유속에 따른 이동경로를 분석하기 위하여 각 유속에 대한 토립자의 이동을 HD급

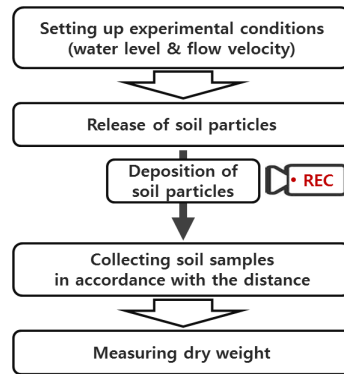


Fig. 7 Flowchart of the experimental procedure

카메라를 통하여 실시간으로 녹화하였으며 영상판독을 통하여 모래입자의 전체적인 이동경로를 파악하였다. 시료가 투하된 후에는 시료가 충분히 퇴적될 수 있는 시간동안 수로 내 흐름을 유지하여 시료가 충분히 퇴적되도록 하였으며, 모든 시료가 퇴적되면 포집상자에 퇴적된 시료가 물과 섞여 교란되어 유실되지 않도록 수로 내 물을 천천히 제거하고 각 포집상자에 퇴적된 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 노건조 후 중량을 측정하여 퇴적거리 및 퇴적량을 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 토립자의 수증거동

시료의 수증거동을 관찰하기 위하여 HD급 카메라로 시료의 이동경로 및 퇴적 형상을 파악하였으며 각 시료에 대한 유속별 수증거동은 Fig. 8과 같다.

유속이 증가할수록 시료의 이동거리가 증가함을 확인할 수 있으며 수심에 따른 이동거리는 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 체를 통하여 시료의 입경을 분리하였지만 각 체의 잔류시료라도 일정범위의 입경을 갖는 다양한 토립자로 구성되어 있어 시간에 따른 이동은 입경에 따른 차이로 퍼지는 형상을 나타내었다

### 2. 퇴적분포

각 체의 잔류시료는 균질하다고 가정하였으나 실제로는 체사이의 입경이 혼합되어 있어 시료의 퇴적거리는 동일하지 않으며 입경에 따라 일정한 분포 형태를 갖게 된다. 이를 확인하기 위하여 유속별 퇴적거리에 대한 단위길이 당 퇴적중량을 산정하여 퇴적분포를 파악하였으며 이를 Fig. 9에 나타내었다.

퇴적분포는 종모양의 형태를 갖는 분포로 나타났으며 입

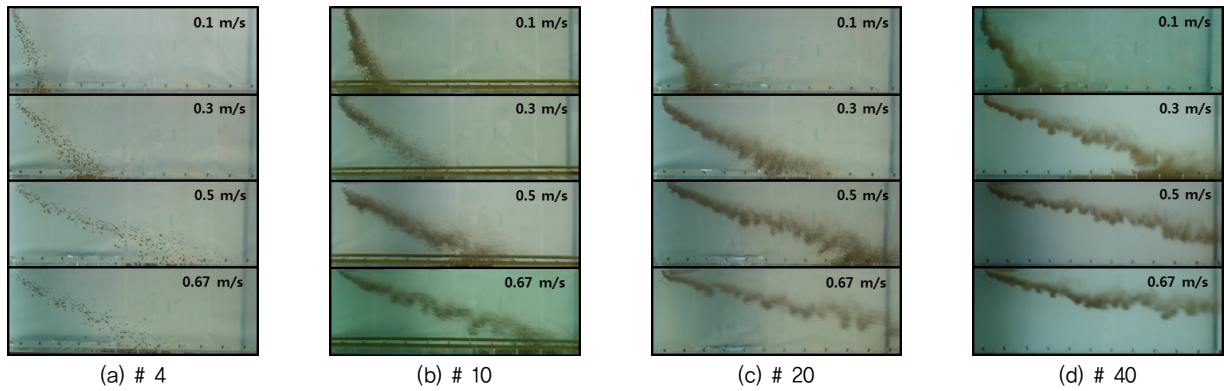


Fig. 8 Underwater behavior of soil particles according to the flow velocity

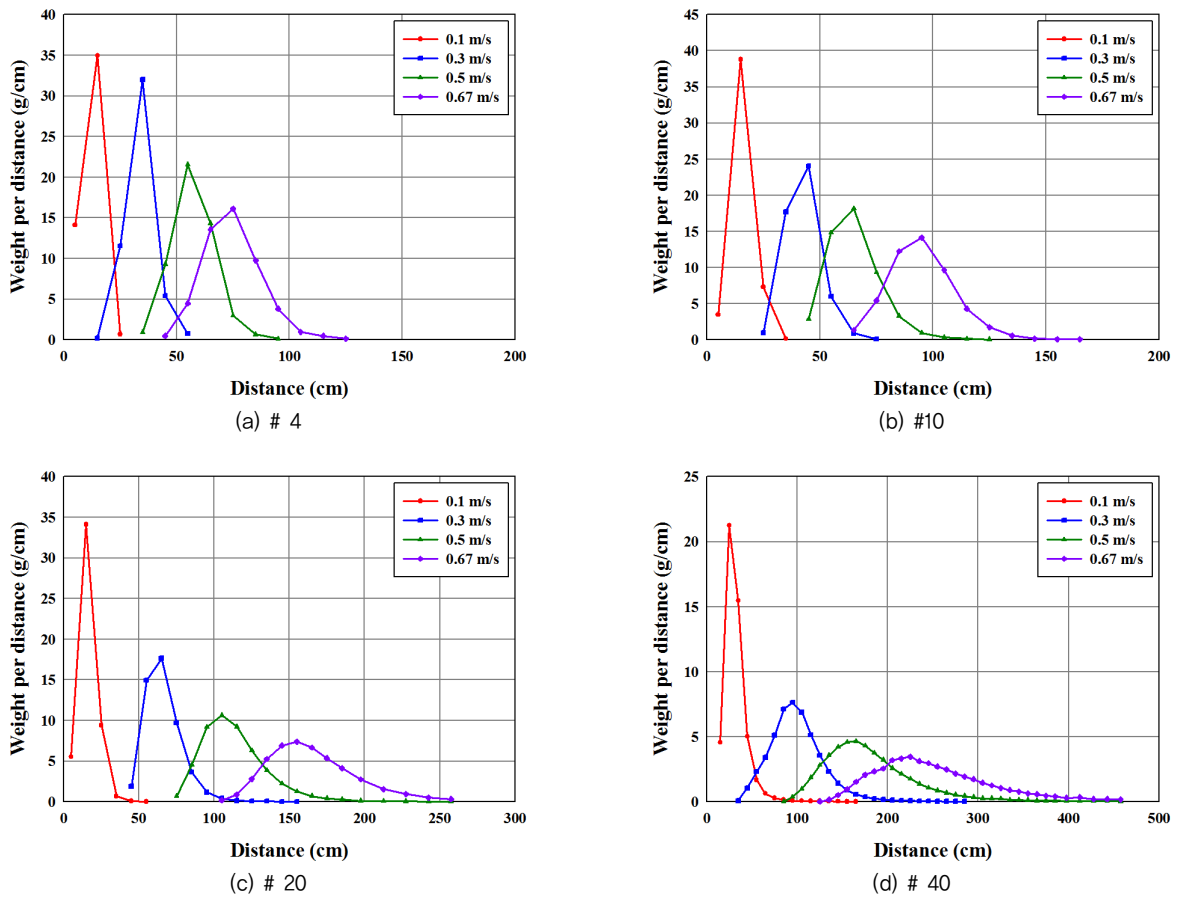


Fig. 9 Distribution of sediments according to the flow velocity

경에 관계없이 유속이 증가함에 따라 더 넓은 분포를 갖는 것으로 나타났다. 또한 입경이 작을수록 퇴적분포가 더 넓게 형성됨을 알 수 있으며 유속에 따른 차이도 큰 것으로 나타났다. 특히, 분포의 형태는 좌우대칭이 아닌 오른쪽이 좀 더 긴 형태로 나타났는데 이는 이동거리에 대한 토립자의 크기와 유속의 관계가 선형적이지 않음을 의미한다.

### 3. 입경 및 유속에 따른 평균퇴적거리

각 체의 잔류시료에 대한 퇴적거리는 입경이 균일하지 않음에 따라 일정범위를 갖게 된다. 따라서 본 연구에서는 평균적인 퇴적거리를 산정하기 위하여 다음과 같이 퇴적거리별 중량을 고려한 가중평균을 통하여 평균퇴적거리 ( $d_{avg}$ )를 산정하였다.

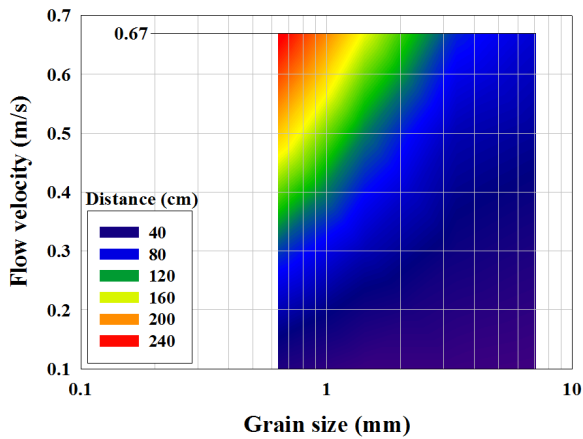


Fig. 10 Contour map for the average deposition distance

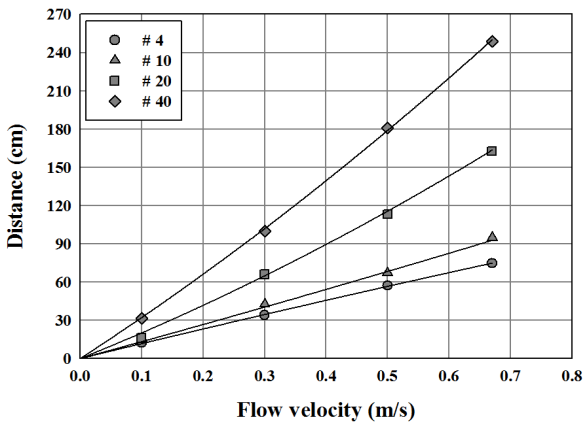


Fig. 11 Average deposition distance for the flow velocity

$$d_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

여기서,  $x_i$ 와  $w_i$ 는 각각  $i$ 번째 퇴적거리 (cm)와 퇴적중량 (g)을 나타낸다. 입경과 유속에 따른 영향을 시각적으로 파악하기 위하여 평균퇴적거리에 대한 등고선도를 작성하였으며 입경이 작아질수록 퇴적거리에 대한 영향이 급격하게 변함에 따라 입경에 대한 스케일은 로그 (log) 스케일로 변환하여 도시하였다 (Fig. 10). 퇴적거리는 입경이 작고 유속이 빠를수록 증가함을 관측할 수 있으며 퇴적거리의 변화도 입경이 크고 유속이 느린 경우에 비하여 민감하게 변화함을 알 수 있다.

각 시료에 대한 유속별 퇴적거리는 Fig. 11에 나타내었다.

0.1~0.67 m/s의 유속범위에서의 평균 퇴적거리는 유속이 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 유속이 0 m/s일 때 퇴적거리를 0 cm로 가정하고 이를 포함한다

Table 2 Linear regression of flow velocity ( $x$ ) and deposition distance ( $y$ )

Average Grain size (mm)	Quadratic regression	R <sup>2</sup>
7,125	$y = -9.1035x^2 + 117.7172x$	1,000
3,375	$y = 10.3841x^2 + 131.4106x$	0,997
1,425	$y = 74.7194x^2 + 194.0896x$	0,999
0,6375	$y = 89.5833x^2 + 313.2142x$	1,000

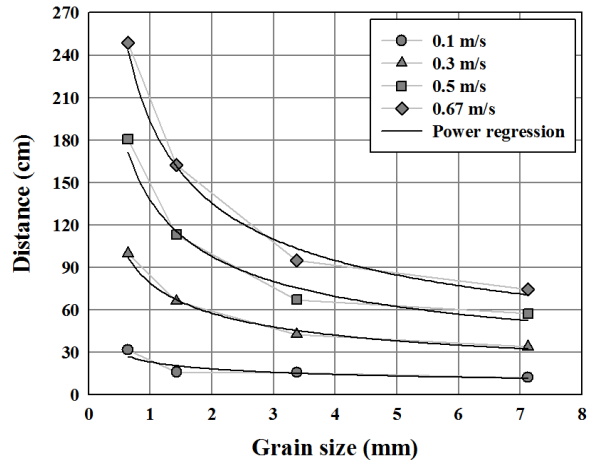


Fig. 12 Average deposition distance for the grain size

Table 3 Power regression of grain size ( $x$ ) and deposition distance ( $y$ )

Flow velocity (m/s)	Power regression	R <sup>2</sup>
0.1	$y = 23.32x^{-0.353}$	0.824
0.3	$y = 78.98x^{-0.454}$	0.989
0.5	$y = 137.61x^{-0.492}$	0.969
0.67	$y = 193.36x^{-0.513}$	0.987

차 회귀식을 산정하였다. 특히, 2차 회귀식을 산정한 뒤 유속이 0 m/s일 때 퇴적거리가 0 cm 되도록 상수항은 0으로 치환하였으며 이에 대한 결정계수 (R<sup>2</sup>)를 산정하였다. 입경별 유속에 대한 평균퇴적거리의 2차 회귀식은 Table 2에 정리하였으며 R<sup>2</sup> 값은 거의 1에 가까운 것으로 나타났다.

선형 회귀식의 기울기는 유속에 따른 평균 퇴적거리의 민감도를 나타내는 것으로 기울기가 크다는 것은 퇴적거리가 유속에 따라 많은 영향을 받음을 의미한다. 따라 입경이 작을수록 유속에 따른 영향이 급격하게 증가함을 알 수 있다. Fig. 12는 입경에 따른 유속별 평균퇴적거리를 나타내며 각 유속별 퇴적거리에 대한 입경의 영향은 입경이 작아질수록 거둬제공의 형태로 급격하게 증가함을 알 수 있다. 유속별 입경과 평균퇴적거리의 거둬제공 회귀식은 Table 3에 정리하였다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 유속이 있는 수중에서 조립토의 매립특성을 분석하기 위한 실내수로실험을 실시하였다. 입경에 따른 영향을 파악하고자 체분석을 통한 입도분류를 수행하였으며 각 체의 잔류시료에 대한 유속별 퇴적시험을 수행하여 조립토의 유속 및 입경에 따른 퇴적특성을 분석하였다. 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조립토의 퇴적특성 규명을 위한 실내수로시험은 길이 960 cm, 너비 30 cm, 높이 45 cm의 대형 수조를 활용하였으며, 0.67 m/s까지의 유속을 갖는 등류를 효과적으로 재현할 수 있는 것으로 나타났다.
2. 영상분석을 통한 수중에서 조립토의 이동 양상은 거의 선형을 이루는 것으로 나타났으며, 시간이 지남에 따라 입경에 따른 수직 및 수평방향 이동속도차이로 입경이 분리되면서 넓게 퍼지는 형태의 수중거동을 확인할 수 있었다.
3. 각 체에 대한 잔류시료는 비교적 균일한 입경이라 하더라도 체 사이즈 범위에 따라서 다양한 입경이 혼합되어 있어 종모양의 분포를 갖는 퇴적양상을 나타내었으며 입경이 작고 유속이 빠를수록 더 넓은 퇴적분포를 갖는 것으로 나타났다.
4. 시료의 평균퇴적거리는 입경이 작고 유속이 빠를수록 증가하는 것으로 나타났으며, 각 입경별 유속에 대한 평균퇴적거리는 실험 유속범위인 0.1~0.67 m/s의 구간에서 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.
5. 입경에 따른 유속별 평균퇴적거리는 입경이 작을수록 급격하게 증가하는 것을 알 수 있으며 입경과 퇴적거리의 관계는 거둬제곱의 형태로 나타났다.
6. 입경 및 유속에 따른 평균퇴적거리의 상관관계를 실험적으로 규명함으로써 쉽고 간편하게 조립토의 평균퇴적거리 및 유실율을 예측할 수 있어 합리적인 매립계획을 수립할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 삼성물산주식회사의 재원으로 삼성물산 기술개발팀의 지원을 받아 수행된 “입도분포 및 유속을 고려한 수중 모래거동 특성 규명을 위한 실험적 연구” 연구과제의 연구 결과입니다.

#### REFERENCES

1. Ann, K. K., K. H. Lee, Y. Heo, and H. S. Kang, 2014. Sedimentation Characteristics of Dredged Soil by Geo-Centrifuge, *Journal of the Korean Geo-Environmental Society* 15(3): 49-55 (in Korean).
2. Been, K. and G. C. Sills, 1981. Self Weight Consolidation of Soft Soils: an Experimental and Theoretical Study. *Geotechnique* 31(4): 519-535.
3. Gibson, R. E., G. L. England, and M. J. L. Hussey, 1967. The Theory of One-dimensional Consolidation of Saturated Clays, 1. Finite Non-Linear Consolidation of Thin Homogeneous Layers. *Geotechnique* 17(3): 261-273.
4. Jung, T. S., T. S. Kim, and S. W. Kang, 2004. A Prediction System of SS Induced by Dredging. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* 16(1): 47-55.
5. Kim, H. T., S. Y. Kim, I. K. Kang, and J. E. Park, 2000. A Study on the Estimation of Loss Rate of Dredged Fills. *Journal of Korean Geo-Environmental Society* 1(1): 57-63 (in Korean).
6. Kim, S. Y., H. P. Choi, J. E. Park, and S. W. Kim, 2002. A Study on the Estimation Method of Loss Ratio in Dredged Dills, *Journal of Korean Geo-Environmental Society* 3(1): 67-77 (in Korean).
7. Lee, D. W., S. H. Jun, K. S. Yoo, and N. J. Yoo, 2011. Model Experiments on Prediction of Effluent Concentration of Suspended Solid in Containment of Dumping Dredged Soil. *Journal of Korean Geo-Environmental Society* 12(6): 35-42 (in Korean).
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015. Standard of construction estimate – Chapter 14, Korea (in Korean).
9. Ministry of Oceans and Fisheries, 2014. Harbor and fishing port design criteria-commentary, Korea (in Korean).
10. Park, M. L., J. Y. Lee, H. H. Shin, and S. Lee, 2011. Characteristics of the Segregation Sedimentation for Dredged Soil Depending on Fines Content. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society* 12(6): 25-34 (in Korean).
11. Shin, H. S., 2014. Numerical Formulation for Flow Analysis of Dredged Soil. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society* 15(5): 41-48 (in Korean).
12. Yamaguchi, H., G. Imai, K. Watanabe, and K. Ogata, 1991. Sedimentation-Consolidation Analysis of Pump-Dredged Cohesive Soils. *Geo-coast* 91: 129-134.
13. Yoo, N. J. and K. S. Kim, 2000. Centrifuge test of obtaining constitutive relation of dredged and reclaimed clay with high water content, *In Proc. Korean Society of Civil Engineers*, 71-74 (in Korean).