

# 준설매립토의 유실을 평가방법 정립에 관한 연구

## A Study on the Estimation Method of Loss Ratio in Dredged Fills

김석열\* · 최효범\*\* · 박재억\*\*\*, 김승욱\*\*\*\*

Kim, Seog-Yeol · Choi, Hyo-Pum · Park, Jae-Eock · Kim, Seung-Wook

### Abstract

Volume change of the dredged soils is composed of the volume loss of soil particle flowing over an outflow weir with water and settlement due to both the self-weight consolidation in reclaimed layer and the desiccation at the surface of reclaimed layer. In order to estimate the amount of soil particles flowing over an outflow weir with water, the evaluation procedure of loss ratio of the dredged soils is proposed in the present study based on the Marsal's modified breakage theory and the results of hydrometer analyses. To verify a validity of the proposed procedure, evaluated loss ratio is compared with results from the other existing methods.

The model test results and those of field test were compared and analyzed. Also, the variation of soil loss ratio was examined through the model test in the lab.

**Keywords** : Particle breakage, Hydrometer analysis, Loss ratio, Step up Filling Method

### 요 지

준설토의 체적변화는 여수토를 통해 물과 함께 빠져나간 토립자의 유실량과 침강되어 새로이 형성된 지반 표면에서의 건조 수축과 지반 내에서의 자중압밀에 의한 침하량의 합으로 생각할 수 있다. 그러나 현재까지 체적변화요인과 관련하여 자중압밀과 건조수축에 관한 연구에 비해 토립자의 유실과 관련된 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 준설토의 체적변화 요인 중 여수토를 통해 외부로 유실되는 토량을 보다 명확히 규명하기 위해, 준설작업을 실시하기 전의 원지반과 준설토를 투기하여 조성된 매립 지역에서 각각 채취한 시료에 대한 입도분석결과에 Marsal의 수정파쇄율(일본토질공학회, 1990)을 적용하여 유실율을 평가하는 방법을 적용하였고, 이를 검증하기 위하여 기존의 방법을 이용하여 평가한 유실율과 비교·검토해 보았다. 또한 실내모형시험을 실시하여 현장계측 결과와 비교·검토하였으며 마지막으로 준설토를 단계투기법에 의하여 투기했을 때 유실율에 미치는 영향을 실내모형시험을 통하여 확인하였다.

**주요어** : 입자파쇄, 비중계 분석, 유실율, 단계투기법

\* 정회원 · 농업기반공사 책임연구원

\*\* 금호건설 기술연구소 팀장

\*\*\* 농업기반공사 연구원

\*\*\*\* 정회원 · 농업기반공사 연구원

## 1. 서론

준설매립은 수면아래의 지반을 굴착하여 물과 토립자가 혼합된 상태로 배송관을 통해 매립지역으로 이송하는 공법이다. 과거의 준설은 부지이용을 위한 측면보다는 저수지, 수로 등의 수심을 유지하기 위한 방법으로 사용되어 왔으나, 최근 들어 급속한 산업사회의 발달과 경제성장으로 인한 공장용지, 택지, 농경지 등의 확보를 위해 해안매립사업이 활발하게 추진되고 있다.

지금까지 간척지의 내부개답지를 조성하는데 있어 관리수위 이하 담수호내의 퇴적토를 준설하여 개답지에 투기할 때 조립의 흙은 배송관 토출구 부근에 즉시 침전되지만 실트질 이하의 세립분은 배출유속으로 인해 weir나 여수토(outflow weir)를 향해 흐르다가 일부는 침전되고 일부는 여수토를 넘어 유실되는데 이러한 유실도에 대한 평가는 일반적으로 표준품셈(건설교통부, 1998) 또는 항만설계기준(해운항만청, 1993)에 의하여 평가되고 있다. 그러나 이 같은 평가방법은 개략적인 공사비를 산출하는데 이용되고 있으며, 현장에서 시공시에는 별도로 시험포를 운영하여 평가하고 있다. 그러나 좀더 합리적으로 근거있는 산출방법이 요구되고 있다.

본 연구에서는 합리적인 유실율(loss ratio)을 평가하기 위한 방법으로 최근 현장시험과 실내시험을 병행하여 연구가 진행중인 준설전·후의 입도분포곡선에 Marsal의 수정과쇄율을 적용한 연구결과(김홍택 등, 2000 ; 김석열 등 2001)를 준용하여 준설매립과정에서 발생하는 토립자 유실에 따른 입도분포곡선의 변화로부터 유실율을 평가해 보고, 이를 검증하기 위하여 현장에서 시험포를 조성하여 유실율을 서로 비교·분석하였다. 또한 준설현장의 조건을 재현할 수 있는 모형토조를 제작한후 실내모형시험을 병행하여 현장에서 계측 및 실험에 의해 평가된 유실율과 비교·검토하였다. 마지막으로 단계투기에 의한 준설이 유실율에 미치는 영향에 관하여 실내시험을 통해 분석하였다.

## 2. 기존의 유실율 평가방법

준설매립지역의 유보율(residual ratio) 또는 유실율은 식(1) 및 (2)와 같이 정의된다. 그러나 준설지역이 대부분 담수호나 해양이기 때문에 바다의 불규칙한 굴곡으로 인하여 정확한 체적을 측정하기 힘들고, 준설 매립지역에서도

유실율은 토사의 입경, 여수토의 위치, 높이, 배출구로부터의 거리, 내부개답지 면적, 매립고 및 펌프준설선에서의 배사관 거리, 속도 등에 따라 차이가 발생하며, 또한 해상에서 커터를 이용한 준설시 발생하는 유실도 상당부분 발생하게 된다.

$$\text{유보율}(\%) = \frac{\text{매립토의 중량}}{\text{준설토의 중량}} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{유실율}(\%) &= (100 - \text{유보율})(\%) \\ &= \frac{\text{준설토의 중량} - \text{매립토의 중량}}{\text{준설토의 중량}} \times 100(\%) \quad (2) \end{aligned}$$

표준품셈 및 항만설계기준에 따르면, 준설매립시 유실율에 대한 평가는 실험적으로 결정하는 것이 가장 정확하나 그렇지 못한 경우에는 표 1과 같이 적용할 수 있다고 하였으며, 일본에서 조사한 토립자의 입경별 유실율 조사결과 는 표 2와 같다(김홍택 등, 2000).

표 1. 토질별 유보율

토 질 별	유보율(%)
점토 및 점토질 실트	70이하
모래 및 모래질 실트	70~95
자갈	95~100

표 2. 입경별 유실율

입 경(mm)	유실율(%)	입 경(mm)	유실율(%)
1.2이상	없음	0.3~0.15	20~27
1.2~0.6	5~8	0.15~0.075	30~35
0.6~0.3	10~15	0.075 이하	30~100

그러나 유보율 평가시, 표 1에서 나타난 바와 같이 점토 및 점토질 실트는 70%이하, 모래 및 모래질 실트는 70~95%로 범위가 크기 때문에 적용하는데 어려움이 있어 개략적인 공사비의 산출 등에 적용하고 있다. 따라서, 시공시에는 시험포를 조성하여 현장에서 유실율을 실측함으로써 설계보완에 반영하고 있으나 현장에서 실측하는 것이 용이한 문제가 아니다.

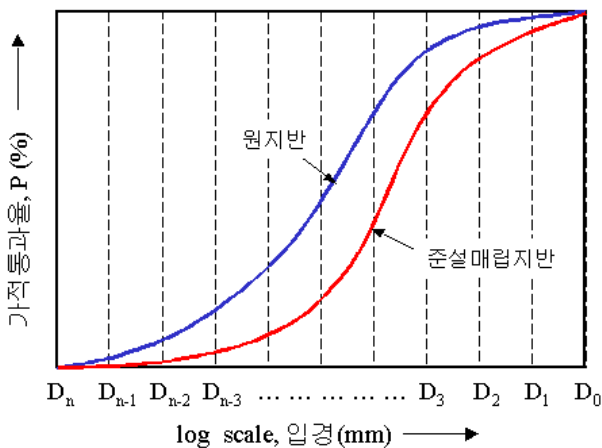
현장 시험포에서의 유실율 평가시, 준설량은 준설선의

위치와 전진거리를 GPS와 육분의에 의해 측정하여 축척 1/3,000 평면도 상에 나타내어 용적을 계산하고 있으며, 매립량은 준설선의 배사관을 통해서 나오는 토출구에서 토립자 함니율과 유속을 측정하여 유량공식에 의해 용적을 구하거나, 내부개답지 내에서 준설 전후를 측량하여 용적을 계산하고 있다. 그러나 이와 같은 방법으로 유실율을 평가하기에는 GPS 등의 기계적인 오차, 축척에 따른 도상오차, 조류의 변화, 인위적인 오차 등의 많은 어려움이 있다. 또한 준설선에서 기계적인 조작 등 준설시공자의 도움을 받아야 하는데 서로의 입장차이로 인하여 정확한 유실율을 평가한다는 것은 상당한 어려움이 따르고 있는 실정이다.

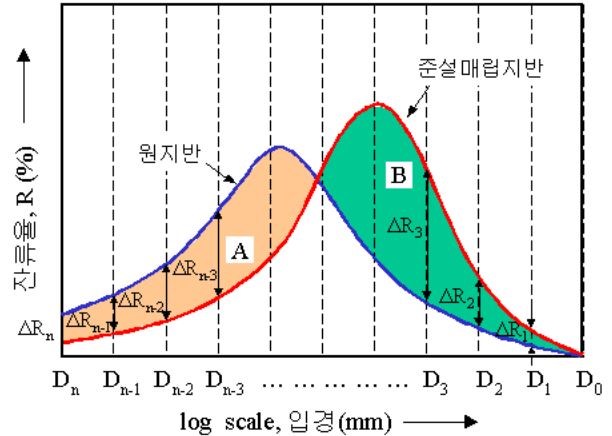
### 3. 준설매립시 유실율 결정법의 제안

본 연구에서는 현장 시험포에서의 유실율 평가시 보다 합리적인 방안으로 Marsal의 수정파쇄율을 이용하여 유실율을 결정하는 방법을 적용하고자 한다. Marsal의 수정파쇄율은 토립자의 다짐시 발생하는 입자의 파쇄정도를 의미하며, 다짐전·후의 잔류율 곡선의 변화를 이용하여 평가된다.

현장에서의 준설시 원지반 및 시험포 내의 준설매립지반에 대한 일반적인 입도분포곡선 및 잔류율곡선은 그림 1과 같다. 그림 1에서 알 수 있듯이 시험포 내에 매립된 지반은 준설매립과정에서 주로 세립분에 대한 유실이 발생하기 때문에 원지반에 비하여 세립분이 적고 조립분이 상대적으로 많은 입도분포 양상을 나타내게 된다.



(a) 입경가적곡선



(b) 잔류율 곡선

그림 1. 준설매립시 유실율 결정방법

그림 1(b)에서 A부분은 준설매립과정에서 발생한 세립분의 감소율이며, B부분은 조립분의 증가율을 의미하며, 세립분의 감소율과 조립분의 증가율은 서로 같다. 따라서 준설매립시의 유실율은 세립분의 감소율 또는 조립분의 증가율과 같으며, 식(3)과 같이 세립분의 감소율과 조립분의 증가율에 대한 평균값으로 정의할 수 있다.

$$\text{유실율}(\%) = \frac{\sum |\Delta R_i|}{2} \quad (3)$$

제안된 준설매립시의 유실율은 원지반 및 준설매립지반을 채취하여 체분석 및 비중계분석을 통해 입도분포곡선 및 잔류율곡선을 작도한 후, 입도분포곡선을 대수상에서 n 등분하여 결정된 입경에 대해 입자의 변화량(ΔR<sub>i</sub>, 조립분의 증가율과 세립분의 감소율)에 대한 평균을 계산함으로써 결정된다.

## 4. 현장계측 및 입도시험

### 4.1 현장에서의 유실율 평가

본 연구에서는 현장에서의 유실율을 평가하기 위하여 전남 KK지구와 KH지구를 대표지구로 선정하였고 각 현장의 토질특성은 표 3과 같다. 본 연구에서 각 지구별 현장에서의 유실율 평가방법으로 채택한 방법은 다음과 같다. KK지구에서는 현장의 준설선에서 계측한 실제 준설 작업량과 준설후 실측한 내부개답지의 체적을 대상으로 각각의

단위중량이 같다고 가정하여 유실율을 평가하였고, KH지구에서는 담수호내부 준설예정지에 대한 해상측심작업을 준설작업 이전과 이후에 구분하여 실시하였고 내부개답지에서도 광파기를 이용하여 준설 이전과 이후의 지반고 변화를 계측하여 준설량을 산출하였다.

KH지구에서는 추가적으로 2차 현장계측을 실시하였으며 준설선에서의 운전일지를 기준으로 하여 준설시간대비 총 준설량을 계산하여 해상에서의 준설량 산출에 사용하였고 내부개답지에서는 1차 현장계측에서와 같은 방법으로 계측을 실시하였다.

표 3. 토질특성

현 장	입 도 ( % )			단위중량 $\gamma_t (tf/m^3)$	함수비 (%)	비 중 $G_s$	통일분류
	점 토	실 트	모 래				
KK지구	21.0	77.9	1.1	1.6	67.1	2.658	CL
KH지구	19.0	79.5	1.5	1.9	50.0	2.672	CL

KK지구에서의 시험포에 대한 준설량은  $128,602 m^3$  이고 매립량은  $101,293.8 m^3$ 으로 측정되어, 유실율은 21.23%로 평가되었다. KH지구의 경우에는 준설체적을 측정하기 위해 해상에서 수심을 측정하였고 측심작업시에는 담수호 내부 준설선의 전진방향으로 100m, 횡방향으로 60m 크기의 면적을 선정하여 횡방향 및 종방향 모두 10m씩의 등간격으로 심도를 측정하였으며, 측심작업구역 내 5개소에서 시료채취를 실시하여 단위중량 및 물리적인 특성 등을 파악하였다. 또한 내부개답지에 대해서는 광파기를 이용하여 준설토 투기전과 투기후의 지반고 변화를 측정하였고 이를 위해 가로 200m, 세로 150m의 내부개답지 2개소를 선정하여 등간격으로 계측을 실시하였다. KH지구에 대한 준설지역에서의 준설체적 및 내부개답지내의 매립체적과 평균단위중량 및 평균함수비 등은 표 4와 같으며, 준설토의 중량과 내부개답지 내에 매립된 흙의 중량을 토대로 유실율을 평가해본 결과 23.36%로 나타났다. 또한 KH지구에 대하여 추가적으로 기존에 계측했던 방법과 다른 방법으로 한번의 계측을 더 실시하였는데 2차 현장계측시 내부개답지내의 계측방법은 150×600m의 내부개답지를 광파기를 이용하여 준설토 투기전과 투기후의 지반고 변화를 측정하여 내부개답지내 매립물량을 산출하였고, 해상에서의 준설은 120m의 폭으로 200m를 전진하고 2m의 깊이로 준설을 실시하였고 기존에 준설예정지에 대한 해상측심작업을 통하여 산출하였던 준설량을 준설선

의 작업일지를 토대로 하여 총 준설량을 산출하였고 그 결과는 아래 표 5과 같다. 표 5에서 산출된 준설물량 및 매립물량에 현장에서 채취한 시료의 실내시험을 통하여 얻은 함수비 및 단위중량을 도입하여 준설된 준설토의 무게와 매립된 준설토의 무게를 계산하였고 그 결과는 아래 표 6과 같다.

표 4. 현장에서의 유실율 평가(KH지구의 경우)

구 분	지 역	준설지역	내부개답지 (Pond)
	준설 및 매립 체적( $m^3$ )	5145.43	12520.07
	평균전체단위중량( $tf/m^3$ )	1.9	1.2
	평균함수비(%)	50	200
	평균건조단위중량( $tf/m^3$ )	1.27	0.4
	흙의 무게( $tf$ )	6534.7	5008.03

표 5. 준설물량 및 매립물량 계산결과(KH2지구의 경우)

담수호내 준설물량 계산결과		내부개답지내 매립물량 계산결과	
총 작업일수	5 일간	준설전 평균고	-1.957
총 작업시간	77시간 10분	준설후 평균고	-1.619
시간당 작업량	622 $m^2$	준설전 · 후 차	0.338
총 준설물량	48018 $m^3$	총 매립물량	30420 $m^3$

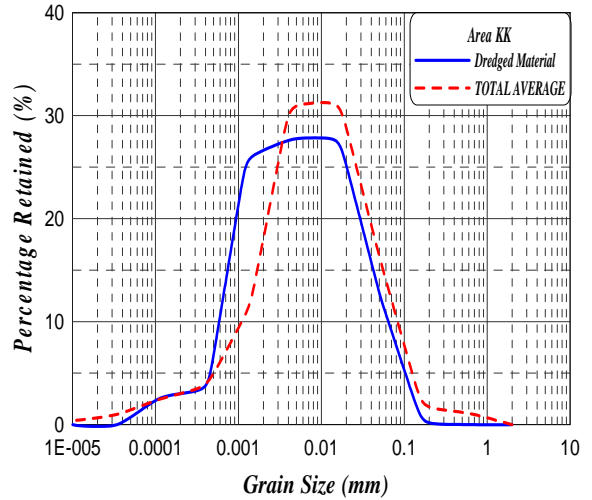
표 6. 현장에서의 유실을 평가(KH2지구의 경우)

구 분 \ 지 역	준설선	내부개답지 (Pond)
준설 및 매립 체적 ( $m^3$ )	48081	30420
평균전체단위중량 ( $tf/m^3$ )	1.20	1.16
평균함수비(%)	450	340
평균건조단위중량 ( $t/m^3$ )	0.22	0.26
흙의 무게 ( $tf$ )	10476.65	8007.82

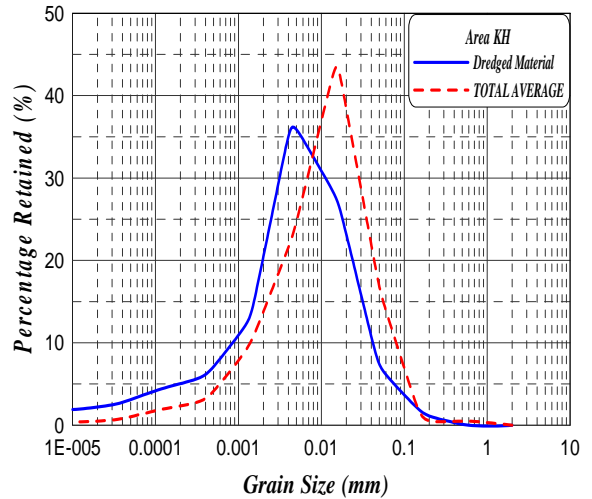
#### 4.2 현장 시료에 대한 입도분포곡선을 이용한 유실 율 평가결과

본 연구에서는 KK지구, KH지구와 KH2지구의 원지반 및 준설매립지반에 대하여 입도분포곡선 및 잔류율곡선을 작도하기 위해 현장에서 시료를 채취하여 입도시험을 실시하였다. 이를 위해 본 연구에서는 담수호내의 준설지역의 경우에는 두 현장 모두 5개소에서 시료를 채취하여 입도시험을 실시하였으며, 내부개답지 내에 준설매립된 지반에 대해서는 KK지구의 경우 8개소, KH지구의 경우 일차에 6개소, 2차에 5개소에서 각각 시료를 채취하여 입도시험을 실시하였다. 시료채취시에는 관내부의 정상 및 시료의 교란여부를 확인하기 용이하도록 길이 1m, 내경 60mm의 아크릴재질 관으로 특수 제작하였다. 채취된 시료는 20cm 심도별로 균등하게 절단하여 각 개소당 4~6회의 입도시험을 실시한 후, 이들의 평균값을 각 시료채취 지역의 대표값으로 취하였다. 또한 준설토의 입경이 극히 미세하여 입도분포곡선 상에서 곡선이 0%에 근접하지 않으므로 시험 데이터 이후 입경의 분포는 가정하였다.

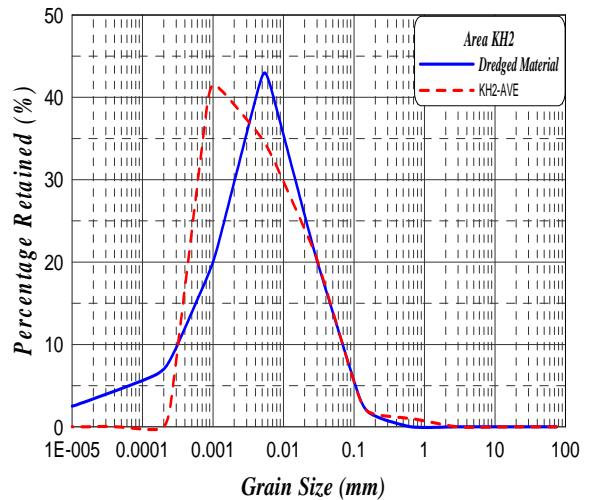
준설매립시의 합리적인 유실율을 결정하기 위해 본 연구에서 제안한 유실율 결정법으로부터 KK지구와 KH지구, KH2지구 내부개답지에서의 유실율을 평가하기 위해 원지반 및 내부개답지 내의 TP점들에서 채취된 시료의 평균잔류율 곡선을 작도하면 그림 2와 같다. 또한 KK지구 및 KH지구, KH2지구에 대하여 본 연구에서 제안한 바와 같이 Marsal의 수정파쇄율을 이용하여 준설매립시의 유실율을 결정하면 표 7와 같다.



(a) KK 평균잔류율곡선



(b) KH 평균잔류율곡선



(c) KH2 평균잔류율곡선

그림 2. 각 지구 평균잔류율곡선

표 7. Marsal의 수정파쇄율을 이용한 유실율의 평가

지구	TP	각 입경별 잔류율의 증감량(%)											$\sum  \Delta R_i $	유실율 (%)
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>11</sub>		
KK	ave	0	.1	1.6	3.5	3.5	3	14.2	0.2	0.1	1	0.4	28.6	14.3
KH	ave	0	0.5	0.6	9.1	16.1	13.1	3.2	2.9	2.5	1.9	1.5	51.4	25.7
KH2	ave	0	0	0	1	0	0	8.5	21.5	7	4.5	2.5	45	22.5

현장에서 계측된 유실율과 기존의 설계시 사용하고 있는 도표(표 1 및 2 참조)를 이용하여 개략적으로 평가된 유실율 및 본 연구에서 검토된 Marsal의 수정파쇄율을 이용한 유실율을 정리하면 표 8과 같다. 표 8에서 알 수 있듯이 표 1 및 2를 이용하여 개략적으로 평가된 유실율은 과다한 측면이 있으며, 본 연구에서 검토된 Marsal의 수정파쇄율을 이용한 유실율은 현장에서 평가된 유실율과 거의 유사한 경향을 보이고 있다.

표 8. 각 방법별 유실율의 비교

구 분	유 실 율(%)		
	KK 지구	KH 지구	KH2 지구
현장계측결과	21.23	23.36	23.57
기 존 방 법	30.0	27.0	27.0
본 연 구	14.3	25.7	22.5

또한 KH지구 및 KH2지구에서 Marsal의 수정파쇄율을 적용하여 계산한 유실율은 실제 현장에서 평가한 계측에 의한 유실율과 거의 유사한 값으로 평가되었고 기존방법에 의해 추정된 유실율보다는 작게 계산되어 충분한 적용가능성을 보였다. 그러나 KK지구의 경우에는 유실율이 다소 큰 차이를 보이고 있으나 이는 KK지구의 현장 계측 결과가 준설이 이루어진 후 6개월 정도가 지난 상황에서 계측이 되어진 값이기 때문에 그동안에 일어난 어느 정도의 건조수축 및 자중압밀에 의한 영향을 포함하고있다. 따라서 입도분포곡선에의해서 계산된 유실율은 건조수축 및 자중압밀에의한 영향이 고려되지 않았으므로 차이를 보이는 것으로 판단된다.

## 5. 실내 모형시험

### 5.1 실내 모형시험에 의한 유실율 평가

본 연구에서는 현장에서의 실제 준설 작업을 재현함으로써 여수토로 빠져나가는 토립자의 무게 및 입도분포특성 등을 파악하고 이를 토대로 유실율을 산출하기 위해 토조를 이용한 실내모형시험을 실시하였다. 유실율 모형시험장치는 그림 3에 도시한 바와 같으며, 각기 다른 준설현장시료를 직접 모형지반에 투기하는 방식으로써, 투기위치와 여수토의 높이 및 위치 등을 다양하게 조절할 수 있도록 제작하였으며 상부토조에서의 투기량과 여수토를 통해 흘러나온 유실량, 하부토조에서의 준설량을 측정하여 유실율을 평가하는 자료로 사용하였다.

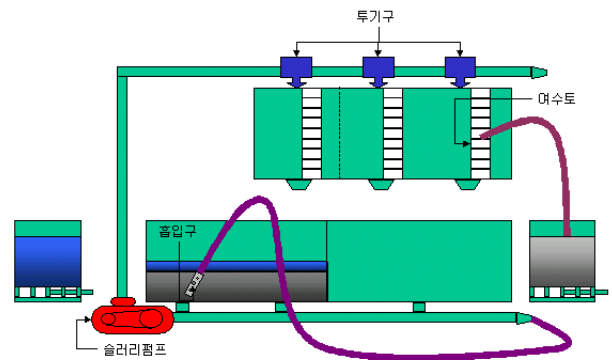


그림 3. 유실율 모형시험장치 개요도

본 연구에서는 준설토에 대한 유실율 모형시험을 통해 준설점토시료 및 준설해사시료의 유실율을 파악하였다. 준설해사의 경우에는 매립을 실시하고 있는 SK지구의 현장시료에 대한 지반물성치는 표 9와 같고, 유실율 모형시험을 통해 모래질 시료의 유실율을 평가한 결과는 표 10에

명기하였다. 표 10에서 보이는 바와 같이 모래질 시료의 경우, 물과 함께 투기된 준설모래의 침강시간이 빠르기 때문에 여수토 부근에 도달하기 이전에 이미 침강이 완료되는 현상을 보이게 되며, 여수토 외부로 흘러나가는 유실토

는 미세한 세립질이 거의 주를 이루는 것으로 나타났다. 따라서 입경이 큰 모래가 주성분으로 이루어진 SK지구 준설해사의 경우에는 아래 표와 같이 유실이 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.

표 9. SK지구 준설예정지반의 토질특성

현 장	입 도 ( % )			단위중량 $\gamma_t (tf/m^3)$	함수비 (%)	비 중 $G_s$	통일분류
	점 토	실 트	모 래				
SK지구	6.4	8.5	85.1	1.50	6.27	2.65	SM

표 10. SK지구 준설해사에 대한 유실율 모형실험결과

체적 ( $m^3$ )	상부토조에 준설된 토량				여수토로 유실된 토량			유실율 (%)
	전체단위 중량분포 ( $tf/m^3$ )	함수비 분포 (%)	평균건조 단위중량 ( $tf/m^3$ )	흙무게 (tf)	유실된 흙+물무게 (g)	함수비 분포 (%)	흙무게 (g)	
0.382	1.71 ~ 1.82	24.8 ~ 49.9	1.31	0.501	0.072	552.8 ~ 950.6	0.010	2.0

반면에 준설점토는 토립자의 침강시간이 매우 길고, 미세립질이 침사지내부의 유속으로 인하여 계속해서 부유하는 현상이 지속되기 때문에 여수토 외부로 흘러나가는 유실량이 많이 발생하는 결과를 보이고있다. 따라서 본 실험에서

는 이와 같은 현상을 모형시험을 통하여 준설성토 과정을 재현하여 2회에 걸쳐 실시하였으며 그 결과는 아래 표 11, 12와 같다.

표 11. KH지구에 대한 유실율 모형실험결과

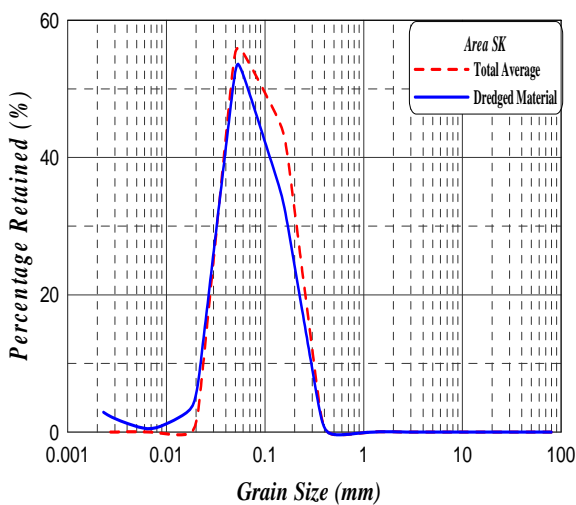
체적 ( $m^3$ )	상부토조에 준설된 토량				여수토로 유실된 토량			유실율 (%)
	단위 중량 ( $tf/m^3$ )	함수비 분포 (%)	평균건조 단위중량 ( $tf/m^3$ )	흙무게 (tf)	유실토 + 물무게 (tf)	함수비 분포 (%)	흙무게 (tf)	
0.960	1.177	204.7 ~ 208.7	0.383	0.367	0.608	665.5 ~ 942.1	0.072	16.4

표 12. KH2지구에 대한 유실을 모형실험결과

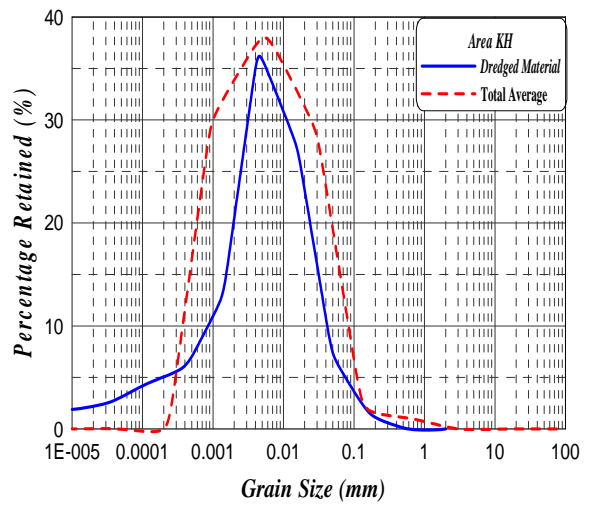
상부토조에 준설된 토량					여수토로 유실된 토량			유실율 (%)
체적 (m <sup>3</sup> )	단위 중량 (tf/m <sup>3</sup> )	함수비 분포 (%)	평균 건조 단위중량 (tf/m <sup>3</sup> )	흙무게 (tf)	유실토 + 물무게 (tf)	함수비 분포 (%)	흙무게 (tf)	
0.856	1.305	186.6	0.460	0.390	0.483	435.29	0.902	18.8

## 5.2 실내모형시험 시료에 대한 입도분포곡선을 이용한 유실을 평가결과

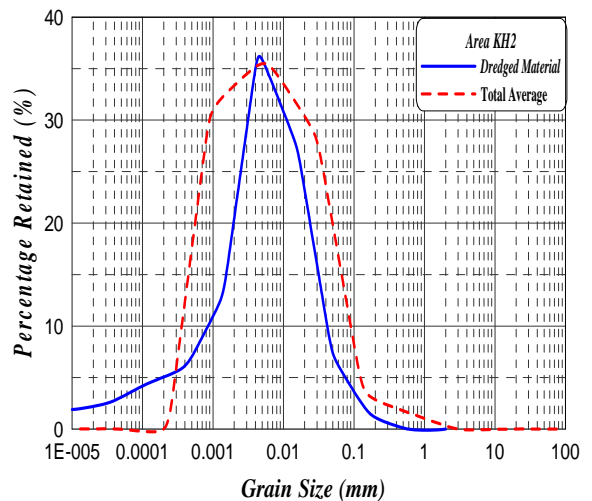
본 연구에서는 모형실험을 통해 산출된 유실율을 김홍택 등(2000)이 제안한 입도분포곡선을 이용한 유실율 산정방법을 토대로 계산된 유실율과 비교하였다. 이를 위해, 준설해사 및 준설점토에 대한 각각의 유실을 모형실험 종료 후 원지반에 해당하는 준설토 투기 토조와 침사지에 해당하게 되는 토조에서 각각 시료를 채취하여 비중계분석을 실시하고 입도분포곡선 및 잔류율곡선을 작도한 다음(그림 4참조), 유실율을 계산하였다(표 13, 14, 15참조). 단 본 연구에서는 Marsal의 수정파쇄율을 이용한 유실을 평가시에 각 위치별로 산출된 유실율의 평균과 각 입도분포곡선을 평균내어 산출한 유실율과의 차이가 2~3% 이내의 미소한 차이를 보이므로 각 위치별 유실율의 평가를 배제하고 각 위치별 입도분포곡선의 평균입도분포곡선을 작성후 평균화된 입도분포곡선에 한해서 Marsal의 수정파쇄율을 적용하여 유실율을 평가하였다.



(a) SK 평균잔류율곡선



(b) KH 평균잔류율곡선



(c) KH2 평균잔류율곡선

그림 4. 각 지구별 시료의 평균잔류율곡선



표 13. SK지구 준설해사에 대한 입도분포곡선을 이용한 유실율 계산결과

시료	각 입경별 잔류율의 증감량 (%)											$\sum  \Delta R_i $	유실율 (%)
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>11</sub>		
SK	0	0	0	0	0	6	3	2	3	2	2	18	9.0

표 14. KH지구 준설점토에 대한 입도분포곡선을 이용한 유실율 계산결과

시료	각 입경별 잔류율의 증감량 (%)											$\sum  \Delta R_i $	유실율 (%)
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>11</sub>		
KH	0	0	0	1	0	8	5	10	7	4.5	2.5	38	19.0

표 15. KH2지구 준설점토에 대한 입도분포곡선을 이용한 유실율 계산결과

시료	각 입경별 잔류율의 증감량 (%)											$\sum  \Delta R_i $	유실율 (%)
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>11</sub>		
KH2	0	0	0	1.5	1.5	7.5	7.5	11	7	4.5	2.5	43	21.5

Marsal의 수정과쇄율을 적용하여 유실율을 평가해본 결과 SK지구의 유실율은 모형시험 계측결과와 수정과쇄율을 적용하여 평가한 유실율 사이에 7%정도의 차이를 보이고 다른지구의 시료가 2~3% 이내의 차이에 가지는데 비하여 다소 큰 차이를 보이고 있다. 이는 SK지구의 토질이 입도분포곡선 직선부의 기울기가 매우 급하기 때문에 입도분포곡선을 등간격으로 나누어 유실율이 평가되어지는 Marsal의 수정과쇄율의 특성상 그 적용성이 다소 떨어지는 것으로 판단된다.

### 5.3 단계투기가 유실율에 미치는 영향

현재 준설매립이 이루어지고 있는 대다수의 현장에서는 준설매립공법 수행시 단계투기를 하는 것을 원칙으로 하고 있다.

그러나 현장에서 발생될 수 있는 여러가지 예기치 못한 상황에 의해서 단계투기가 잘 이루어지고 있는 현장은 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 실제로 단계투기공법이 경

제적이고 토립자의 유실을 줄이는데 그 역할을 수행할 수 있는지를 모형토조시험을 통하여 확인하였다.

본 연구에서는 현장에서의 단계투기를 모형토조시험에 적용하기 위하여 여수토의 높이를 기준에는 계획고에 고정해 놓고 투기를 실시하였으나 여수토의 높이를 5cm씩 토조에 쌓이는 준설토의 높이와 맞추어 높여나가면서 시험을 실시하였고 한시간 투기후 3시간 동안 토립자를 침강시키기 위한 시간을 가진후 다시 한시간을 투기 하루에 2회 총 3일에 걸쳐서 계획높이까지 투기를 실시하였다. 준설종료 후에는 이전 실시한 모형토조시험에서와 같은 방법으로 유실율을 평가하였다. 대상시료는 KH지구에 한하여 실시하였고 그 결과는 아래 표 16와 같다.

표 16. KH지구에 대한 단계투기를 적용한 유실율 모형실험결과

상부토조에 준설된 토량					여수토로 유실된 토량			유실율 (%)
체적 (m <sup>3</sup> )	단위 중량 (tf/m <sup>3</sup> )	함수비 분포 (%)	평균건조 단위중량 (tf/m <sup>3</sup> )	흙무게 (tf)	유실토 + 물무게 (tf)	함수비 분포 (%)	흙무게 (tf)	
0.544	1.26	220.38	0.393	0.214	0.299	1781	0.016	7.0

위의 결과와 같이 단계투기시 기존 16.4~18.8%를 나타내던 유실율이 7.0%로 크게 감소하였다. 따라서 실제 현장에서 단계투기가 원활하게 이루어진다면 토립자 유실에 의한 경제적 손실을 줄일 수 있다고 판단된다.

## 6. 분석 및 고찰

본 연구에서는 현장에서 실측한 데이터를 이용해서 구한 유실율과 Marsal의 수정파쇄율을 적용하여 구한 유실율은 KH지구에서는 큰 차이가 없으나 KK지구에서는 다소의 차이를 보인다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 현장에서의 계측 시점이 내부개답지에 준설토를 투기한 이후에 6개월 정도의 기간이 지난후 계측한 값인 관계로 Marsal의 수정파쇄율을 이용해 구할 수 없는 건조수축 및 자중압밀에 의한 침하발생으로 인해 현장 계측값이 좀더 크게 평가된 것으로 판단되고 KK지구를 제외한 KH와 KH2지구의 현장에서 계측에 의해 평가된 유실율과 현장에서 채취한 시료의 입도분포곡선을 이용하여 평가된 유실율과는 2%이내의 미소한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 또한 표 17로부터 알 수 있듯이 Marsal의 수정파쇄율을 적용해 평가한 유실율은 실제 현장에서 계측한 값과 거의 유사하고 기존의 방법으로 평가한 유실율 보다는 다소 적게 평가됨으로써 경제적이고도 안정적인 유실율을 평가하는 방법으로 적용 가능하다고 판단된다.

또한 본 연구에서는 실내모형시험을 통해서 유실율을 평가해 보고자 각 시료별 실내모형 시험을 실시하였고 그 결과는 아래 표 17과 같다. 아래 표 17에서와 같이 모형시험을 통해서 산출된 유실율들은 현장에서 계측된 유실율보다 5~7% 작게 평가되고 있다. 이는 모형시험시 현장의 조건과 유사하게 재현할 수는 있지만 현장에서 발생할 수 있는 해상 준설선에서 커터에서의 손실, 준설선에서 내부

개답지까지 배송에 의한 손실 등은 모형시험에서 재현해 낼 수 없기 때문에 나타나는 차이로 판단된다. 또한 모형시험시 채취한 시료의 입도분포곡선을 이용하여 유실율을 평가해본 결과 현장에서 채취한 시료의 입도분포곡선을 이용한 유실율의 경우와 마찬가지로 Marsal의 수정파쇄율을 적용하여 구한 유실율이 실제 계측된 유실율과 2~3%이내의 차이로 거의 유사하게 나타났다. 따라서 Marsal의 수정파쇄율을 적용하여 유실율을 평가하는데 있어서 그 적용성이 있는 것으로 판단된다. 그러나 SK지구에서 있어서 SK지구 시료의 입도분포곡선이 매우 급격하게 변하여 입경을 대수적으로 등분하여 평가하는 Marsal의 수정파쇄율을 적용하기는 다소 어려움이 따르는 것으로 판단된다.

표 17. 각 방법별 유실율 평가 결과

지 구		KK지구	KH지구	KH2지구	SK지구
현 장	계 측	21.2	23.3	23.6	-
	수정파쇄율 적용	14.3	25.7	22.5	-
모 형 시험	계 측	-	16.4	18.8	2
	수정파쇄율 적용	-	19.0	21.5	9.0

또한 단계투기를 실시하여 모형토조시험을 실시해 본 결과 유실율이 10%정도의 감소를 나타냈다. 이는 일시에 내부개답지에 준설토를 투기하는 방법보다 단계적으로 토립자가 침강될 수 있는 시간을 가지고 투기하는 방법이 유실율을 줄일 수 있는 방법임을 나타냈다. 유실율의 감소는 바로 경제적인 문제와 직결되므로 이에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

## 7. 요약 및 결론

1. 본 연구에서 검토해본 Marsal의 수정파쇄율을 적용한 유실율 평가 방법이 실제 계측을 통해 평가한 유실율과 2~3% 이내의 유사한 값을 가지는 것으로 나타나 유실율을 평가하는데 있어서 적용 가능성이 있는 것으로 판단되었다.
2. 모형토조시험을 통해서 산출된 유실율에 비해 5~7% 정도 작게 평가되었는데 이는 모형시험은 거의 토립자의 손실이 없는 상태에서 펌프에 의해 준설된 후 투기됨으로 모형시험에서는 적용시킬 수 없는 현장에서만 나타나는 조건들에 의해 차이가 나는 것으로 판단된다.
3. Marsal의 수정파쇄율을 적용하여 평가된 유실율이 실제 계측치와는 거의 유사하고 표준품셈을 이용한 기존 설계 유실율보다는 다소 작게 평가되어 경제적이고 안정적인 유실율 평가방법으로 이용하는데 적합하다고 판단된다.
4. 단계투기방법으로 모형토조시험을 실시한 결과 일시에 계획고까지 투기하는 방법은 유실율을 감소시키는데는 비효율적인 방법으로 나타났고 단계투기법에 의한 방법이 10%정도의 유실율 감소를 가져오는 것으로 나타났다.

(접수일자 : 2002. 1. 2)

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부(1998), 표준품셈(토목), pp. 466.
2. 해운항만청(1993), 항만설계기준, pp. 646~647.
3. 김홍택, 김석열, 강인규, 박재억(2000), "준설토의 유실율 평가에 관한 연구", 한국지반환경공학회 논문집, 제1권, 제1호, pp. 57~63.
4. 김석열, 노종구, 최효범, 김승욱, 박재억(2001), "준설매립토의 유실율 정립에 관한 연구", 한국지반환경공학회 2001 학술발표회 논문집, pp. 91~96
5. 日本土質工學會(1990), 粗粒材料の現場締固め, pp. 73~74.