

## 유수지 준설패립토의 적정량 산출에 관한 연구 Evaluation of Dredged Soil from Detention Basin

신은철<sup>1)</sup>, Eun Chul Shin, 오영인<sup>2)</sup>, Young In Oh, 이규홍<sup>3)</sup>, Kyu Hong Lee

<sup>1)</sup>시립 인천대학교 공과대학 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Eng. Univ. of Incheon

<sup>2)</sup>시립 인천대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph.D. Student, Dept. of Civil Eng., Univ. of Incheon

<sup>3)</sup>시립 인천대학교 대학원 토목공학과 석사과정, M.S. Student, Dept. of Civil Eng., Univ. of Incheon

**SYNOPSIS** : Several large scale reclamation projects are being underway along the coastal line in Korea. Therefore the large quantity of economical backfill material is necessary to cope with the shortage of dredged soil. In this study, the amount of volume reduction of dredged soil from detention basin was evaluated based on the laboratory tests. The percentage of soil particles in dredged organic soil is about 12.5~21.9% by weight. The content of heavy metal and environmental effect for dredged soil itself and solidified dredged soil were analysed and the results are far below than those of environmental requirement.

**Key words** : reclamation, dredged soil, backfill material, retention basin, environmental effect

### 1. 서론

매립의 이상적인 재료는 투수성이 좋고 압축성이 작은 골재지만 이는 육지에서부터 운반하고 확보하는데 비용이 많이 들어 비경제적이다. 또한, 골재나 산토를 얻기 위해서는 산을 깎는 경우가 많아 환경 훼손과 산사태나 홍수 등을 유발할 수 있어 여러 문제점을 내포하고 있다.

유수지는 생활하수 및 정수처리된 하수를 바다에 방류하기 전에 하수 방류가 조수의 영향으로 역류하는 것을 막기 위해 설치된 일종의 하수 저류시설이다. 본 연구의 대상지인 인천제철 유수지는 인천서구 및 동구의 하수를 정수장에서 정화 처리하여 밀물 시 저류하였다가 썰물 시 방류할 수 있도록 설치된 유수지이다. 그러나, 일반적으로 유수지는 관리가 소홀하여 하상이 높아지거나 수문의 관리의 소홀로 인하여 장마 및 홍수 시 인근지역의 침수를 유발하는 근원이 되기도 하여 항시적인 관리와 주기적인 하상의 준설이 반드시 필요하다. 유수지에서 준설펌프로 준설을 하였을 때 상당한량의 물과 유기물, 오니가 흙과 섞여있어 준설매립량 산정시 순수한 토사만의 물량을 산출하는데 여러 가지 어려움이 있다.

본 연구에서는 현장에서 채취한 시료에 대하여 실내시험을 실시하여 유수지 준설오니의 토질역학적 특성을 규명하였으며, 유수지 하상오니가 포함하고 있는 실토사의 적정량과 준설오니 야적장의 시료를 채취하여 야적장에서의 적정량을 산출하여 보았다. 또한 준설오니를 해안 및 내륙에 매립하였을 경우 발생할 수 있는 환경적 영향을 평가하기 위하여 준설오니 자체와 고화처리 후 시료에 대한 성분분석을 실시하여 현행 관계법령과 비교·평가하였다.

## 2. 연구내용 및 범위

입의의 용적의 하상오니를 준설할 경우 실제적으로 하상에 존재할 때와 동일한 용적을 갖지 않는다. 일반적으로 하상 및 유수지의 준설오니의 토사 유보율은 10~15%로, 다시말해 하상에 자연침강되어 있는 용적의 10~15%정도만 준설 후 실토사로 산정됨을 의미한다. 이러한 적정토량은 토사의 종류 및 하상의 상태, 유체의 흐름속도등 많은 변화요인을 갖고 있어 실제적으로 정확한 측정이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 유수지 준설오니를 특수제작한 샘플러를 이용하여 시료를 채취한 후 실내 토질시험을 실시하여 유수지 준설오니의 토질역학적 특성을 규명하였으며, 해안 및 내륙매립에 활용할 경우 준설 후 매립되는 실토사량과 야적장에서 적정량을 도출하였다. 또한 준설오니의 매립으로 인한 환경적 영향을 고찰하기 위하여 용출시험과 Column 시험을 실시하여 준설오니 자체 및 고화처리시료 투과수에 대한 성분분석을 실시하였으며, 그 결과를 현행 환경보전법의 기준치들과 비교·분석하였다.

## 3. 시험방법

### 3.1 시료채취

유수지 준설매립토의 적정량 산출을 위한 본 연구에 사용한 시료는 인천제철 유수지에서 채취한 시료로 총 4지역에서 각각 채취하였다. 시료채취 시 오차를 최대한 줄이기 위하여 특수 제작한 샘플러를 사용하였으며 하상오니의 손실을 최대한 방지하며 시료를 채취하였다. 특수 제작한 샘플러는 그림 3.1에서 보는 바와 같이 오니유입 노즐과 샘플러로 크게 구분되며, 노즐의 입구직경은 8cm, 길이 12cm이다. 또한 샘플러의 직경은 6cm이고 길이가 250cm이며, 샘플러 연결관과 샘플튜브로 구성되어 있다. 시료채취 과정에서 추출시 시료의 유실을 막기 위하여 샘플러를 원하는 심도까지 관입한 후, 수동개폐장치를 사용하여 유입노즐을 막은 후 시료를 추출하였다. 본 연구의 시료를 채취한 인천제철유수지는 총면적 285,000m<sup>3</sup>, 계획배수량 1,500m<sup>3</sup>/분으로 개략적인 유수지 형태와 시료채취위치는 그림 3.2에서 보는 바와 같다. 유수지의 수심은 최저 50cm에서 최대 200cm까지 분포하여 시료채취는 준설용 펌프바지선을 이용하여 수중 채취하였다.

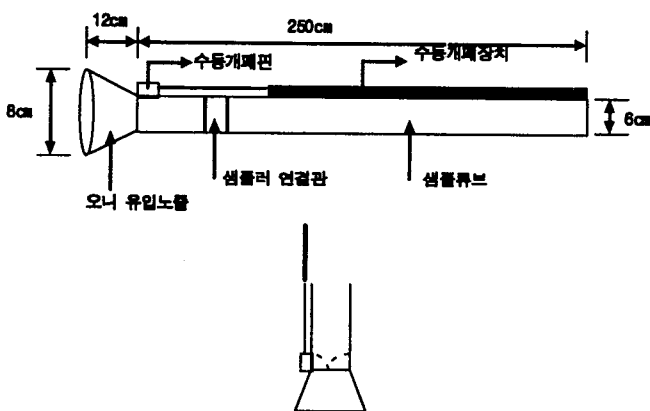


그림 3.1 시료추출기 모식도

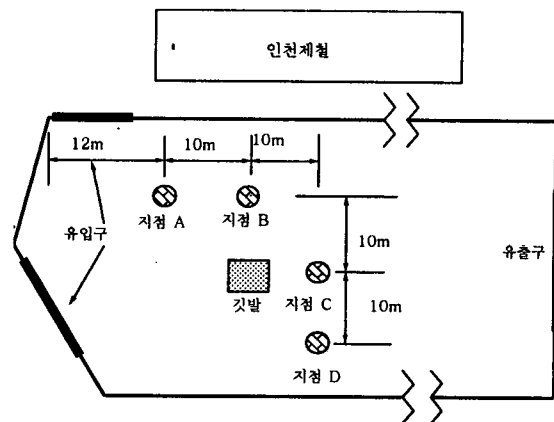


그림 3.2 시료채취 위치도

### 3.2 준설오니의 실내 토질시험

유수지 준설오니에 대한 실내 토질시험은 각각의 시료채취장소에서 채취한 시료에 대하여 기본물성 시험(200번체 통과량 시험, 입도시험, 비중시험, 액·소성 시험, 자연함수비 시험) 및 적정량 산출시험을 실시하였다. 본 연구에서는 샘플의 200체 통과량이 모두 10% 이상이어서 입도 분포시험은 비중계분석을 실시하였으며, 특히 유수지 준설오니는 생활하수 및 우수의 침전으로 발생되므로 유기물함량이 많을 것으로 판단되어 DIN18128에 의한 유기물 함량시험을 실시하였다.

유수지 준설오니의 적정토량 산출시 정확한 자료를 얻기 위해 유수지의 4지점에 대하여 시료를 채취하여 -70~ +180℃용량의 항온항습기에서 수분을 완전히 제거시켜 1차 적정토량 산출을 실시하였으며, 2차적으로 유기물함량 측정을 통하여 실제적인 토사량을 산출하였다. 1차 적정토량 시험방법은 특수제작 샘플러를 이용하여 채취한 시료를 잘 교반하여 1000ml 용량의 메스실린더에 채운 후 105℃ 정도의 온도에서 건조시킨 후 무게를 측정하여 적정토량을 산출하였다.

### 3.3 준설오니의 환경실험

준설오니의 환경실험은 준설오니와 고화처리시료 자체에 대한 용출시험과 고화처리시료에 대한 column시험을 각각 실시하였다. 준설오니와 고화처리시료에 대한 용출시험과 column시험의 자세한 상세한 내용은 다음과 같다.

용출실험은 실험전 시료의 성분을 미리 알 수 있는 지표로서 사용을 할 수 있는데 이는 용출을 실시하므로써 시료에 포함되어 있는 대부분의 중금속 및 기타 물질들이 분리되므로써 시료에 포함되어 있는 여러 가지 성분들의 함량을 미리 알아볼 수 있는 지표가 되는 것이다. 이러한 시료의 용출방법에는 국내법과 미국 TCLP법을 사용하였는데 이는 용출시 시료의 pH범위를 어떻게 맞추어주느냐에 따라 구분되는 것이며 일반적으로 미국 TCLP법으로 시료를 용출했을 경우가 분석물질의 분리가 더 많이 되는 것으로 알려져 있다. 본 연구의 용출시험에서는 미국 TCLP법에 의하여 용출을 실시하였다.

미국 TCLP법으로 용출하는 방법에 대한 방법을 그림 3.3에서 보여주고 있다. 이방법은 시료의 pH를 2.88~4.93으로 맞추어 용출을 실시하게 되며 진탕을 통해 시료를 용출하게 된다. 국내법과 비교하였을 때 시료의 pH를 낮게 조정하고 진탕시 횟수를 줄이고 진탕시간을 3배로 하여 진탕을 실시하는 것을 제외하고는 일반적인 원리에는 차이가 거의 없다.

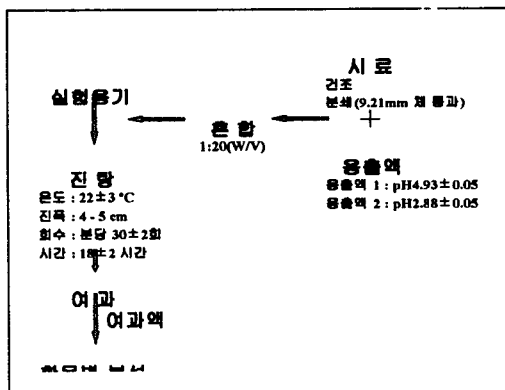


그림 3.3 용출방법(미국 TCLP법)

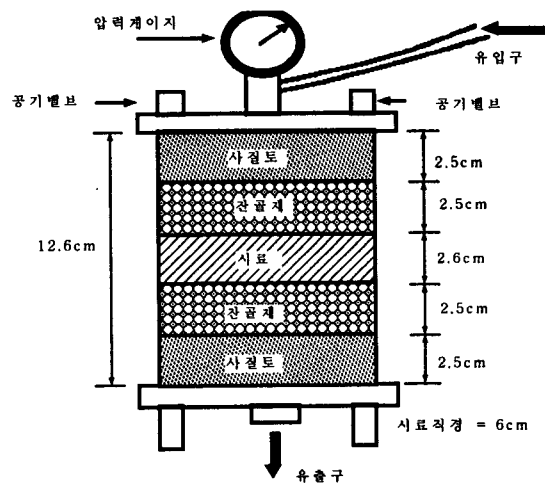


그림 3.4 준설오니 고화처리시료 Column구성

Column 시험은 유수지 준설오니의 고화처리 후 물이나 기타 액성물질이 투과되어 오염물질의 확산을 검토하기 위하여 유수지 준설오니의 고화처리시료를 Column의 중앙에 넣고 Column을 구성한 후 물을 투과시켜 투과수의 증감속 함량에 대하여 시험을 실시하였다.

Column의 구성은 그림 3.4에서 보는 바와 같이 구성하였다. 전체 시료의 직경은 6cm이며 상·하부에는 1차투과층으로 사질토를 2.5cm포설하고, 2차 투과층으로 잔골재층을 2.5cm를 설치하였다. 그러나 유수지 준설오니의 고화처리시료의 투수계수가  $10^{-7}$ cm/sec 이하로 상당히 작기 때문에 자연투수에 의한 시험이 어렵기 때문에 상부에 압력계이자를 설치하고 평균압력  $1\text{kg/cm}^2$ 의 수압을 가하여 10m의 수두가 유지되도록 하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 준설오니의 실내 토질시험결과

본 시험에서 사용된 준설오니는 인천제철 유수지에서 채취한 시료로서 4곳에서 채취하였다. 각각의 토질정수는 표 4.1에 나타낸 바와 같으며, 각 시료의 입도분포곡선은 그림 4.1에 나타난 것과 같다.

준설오니의 No. 200번체 통과량은 약 50~71%정도로 소성이 적은 유기질 실트질이 섞인 점성토로 판명되었으며, 비중은 2.17~2.29로 일반적인 점토(Kaolinite, Illite, Montmorillonite)보다 훨씬 떨어지는 값을 나타내고 있다. 준설오니의 유기질함량은 4.67~28.67%로 나타났다.

표 4.1 준설오니의 기본물성시험 결과

시료 토질정수	A	B	C	D
D <sub>10</sub> (mm)	0.021	0.033	0.026	0.022
D <sub>30</sub> (mm)	0.11	0.24	0.12	0.105
D <sub>60</sub> (mm)	0.8	1.2	0.59	0.39
균등계수, C <sub>u</sub>	38	36	22	17
곡율계수, C <sub>s</sub>	0.72	1.45	0.94	1.28
비중, G <sub>s</sub>	2.24	2.17	2.29	2.19
액성한계, LL(%)	44.8	58.0	39.0	35.0
소성한계, PL(%)	35.1	48.6	30.2	30.0
소성지수, PI(%)	9.7	9.4	8.7	4.9
No. 200 passing(%)	71.08	58.88	60.94	50.80
유기물 함량(%)	28.67	26.67	15.33	4.67

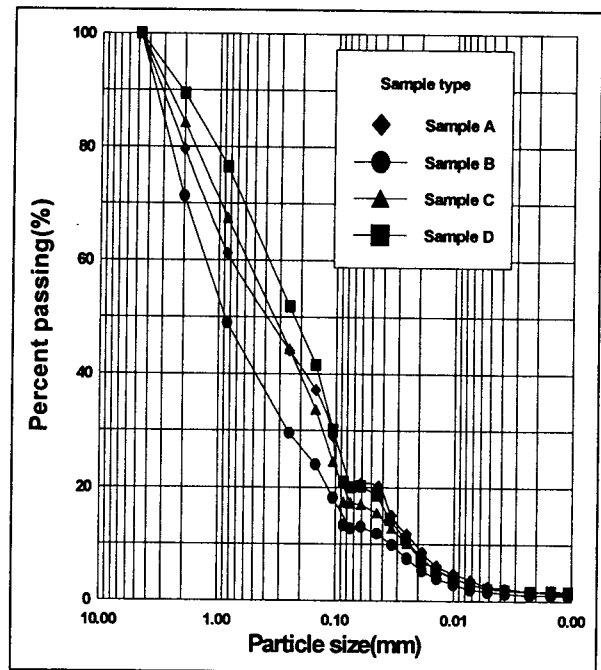


그림 4.1 입도분포곡선

#### 4.2 준설오니의 적정량 산출시험 결과

준설오니의 각 채취지점 A, B, C, D에 대한 적정토량 산출시험 결과, 함수율(%), 유실율(%), 토사적정율(%)은 표 4.2에 나타난 것과 같다. 표 4.2에서 보는 바와 같이 준설오니의 함수율은 300~700%의 범위를 보이고 있으며, 수량계거에 나른 유실용적은 전체용적의 78.2~87.5%의 범위로 준설오니의 실토사 적정토량은 12.5~21.9%의 범위를 나타내었다. 즉, 준설오니의 함수율이 높을수록 유실율이 증가하며 또한 적정토사량은 감소하는 것을 의미한다. 표 4.2에 나타난 실험결과는 일반적인 하상, 해저 펌프준설토의 적정토량의 범위인 15~20%에 준하는 것으로 판명되었다.

본 연구에서는 준설토로 저지대를 매립하여 계획된 부지등을 확보하여야 하는 경우로서 준설토의 침하와 유보율에 의하여 계획량을 산출하였다. 토질조건 및 준설방법에 따라 유보율은 크게 차이가 발생하게 되는데 준설토의 조건에 따른 유보율 계획기준은 표 4.3에 나타난 바와 같다.

표 4.2 준설매립토의 적정량 산출

시료채취 지점	함수율(%)	유실율(%)	적정률(%)
A	575.00	85.18	14.82
B	699.68	87.49	12.51
C	457.29	82.04	17.96
D	356.53	78.09	21.91

표 4.3 토질에 따른 유보율

토질	유보율(%)
점토 및 점토질 실트	70이하
모래질 실트	70~95
자갈	95~100

#### 4.3 준설용적 산출시험결과

유수지에서 오니를 준설하여 현장주변에 야적할 경우, 기후 및 배수상태에 따라 준설 용적이 변하게 된다. 특히 준설오니의 함수상태는 준설용적 변화에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 현 준설작업에 의해 현장주변 야적장에 침전되고 있는 준설 오니를 채취하여 준설용적을 산출하였다. 시료채취는 적정량 산출시험 시 사용했던 시료채취기를 사용하여 그림 4.2에 나타난 바와 같이 4지점에서 샘플링을 실시하였다. 시료의 샘플링은 평균심도 1.0m 위치의 시료를 추출하였다.

유수지 내부에 침전되어 있는 임의 용적의 오니를 준설하여 야적할 경우, 일정용적의 야적장을 필요로 하게 된다. 본 연구에서는 적정량 산출시험을 통하여 도출한 준설오니의 적정 토사량을 근거로 하여 임의의 함수비 상태에서의 필요한 야적장 용적을 산출하였다.

야적장에서 채취한 임의 시료의 자연함수비는 표 4.4에 나타난 바와 같으며, 준설용적 산출과정은 준설오니가 완전히 포화되었음을 가정하였다. 함수비에 따른 야적장 준설용적은 표 4.5에 나타난 바와 같다. 정확한 값을 도출하기 위해 각 지점에 대하여 3번의 자연함수비 시험을 실시하여 그 평균값을 사용하였다. 시험결과는 함수비는 171.4%로 판명되었다. 이 결과를 표 4.5의 함수비와 비교해 볼 때 개략적인 준설용적은 26,000m<sup>3</sup>로 나타났다.

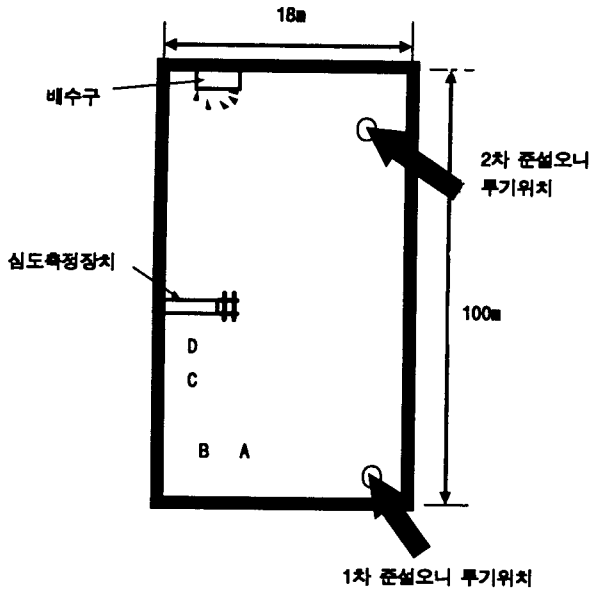


그림 4.2 시료채취 위치도

표 4.4 각 시료의 자연함수비

시료번호	함수비(%)
A	202.82
B	150.07
C	184.85
D	147.62
E	89.55

표 4.5 함수비에 따른 준설용적

함수비(%)	간극비(e)	준설용적(m <sup>3</sup> )
0	0	5600
10	0.22	6832
20	0.44	8064
30	0.66	9296
50	1.1	11760
100	2.2	17920
150	3.3	24080
200	4.4	30240
250	5.5	36400
300	6.6	42560
350	7.7	48720

#### 4.4 용출 및 Column투과수의 성분분석 결과

유수지 준설오니를 해안 및 내륙 매립재로 사용할 경우 관계법령에는 토양환경보전법, 폐기물관리법, 해양오염관리법등이 있는데 이중 해양오염관리법이 가장 엄격하여 본 연구에서는 해양오염관리법에 의한 기준과 결과치를 비교하였다. 표 4.6은 해양오염관리법에 의한 폐기물 해양배출 처리기준과 본 연구에 사용된 유수지 준설오니 자체 및 고화처리시료의 성분분석을 비교하여 나타낸 것이다.

먼저 Cd의 경우는 유수지 준설오니 자체의 용출실험 전혀 검출이 되지않아 기준에 적합한 것으로 나타났으며, 고화처리 시료의 경우 0.001ppm으로 기준에 적합하였다. Cu의 경우는 준설 오니의 용출실험 결과 0.0025ppm, 고화처리시료의 경우 0.204ppm으로 적합한 것으로 나타났다. As의 경우는 0.007~0.01ppm의 값으로 나타났으나 기준에 미치지 못하는 값으로 나타나 적합한 것으로 나타났으며, Hg의

경우는 0~0.003ppm으로 나타나 기준에 적합한 것으로 나타났다. Pb의 경우는 0~0.002ppm으로 나타나 기준에 적합한 것으로 나타났으며, Cr의 경우는 0.0085~ 0.005ppm으로 나타나 역시 기준에 적합한 것으로 나타났다. 또한 Zn 경우도 역시 0.064~1.115ppm으로 기준에 적합한 것으로 나타났다.

표 4.6 중금속함량 시험결과와 해양오염 기준치와의 비교

(단위 : ppm)

원소명	Blank	고화처리시료 (용출시험)	고화처리시료 (Column시험)	유수지오니 (용출시험)	해양오염방지법(기준)	
					고형폐기물	액상폐기물
Cr (크롬)	0.0055	0.067	0.005	0.0085	2.0이하	20.0이하
Zn (아연)	0.004	1.115	0.064	0.1005	5.0이하	90.0이하
Cu (구리)	0.001	0.204	0.172	0.0025	3.0이하	15.0이하
Cd (카드뮴)	검출되지 않음	0.001	0.001	검출되지 않음	0.1이하	1.0이하
Hg (수은)	검출되지 않음	검출되지 않음	검출되지 않음	0.003	0.005이하	0.05이하
As (비소)	0.0225	0.007	검출되지 않음	0.01	0.5이하	5이하
Pb (납)	0.0055	검출되지 않음	0.002	검출되지 않음	1.0이하	10.0이하

## 5. 결론

본 연구는 유수지 준설오니에 대한 실내 토질시험, 적정량 산출시험을 수행하였으며, 또한 해안 및 내륙매립을 실시하였을 경우 환경적 영향에 대하여 연구하기 위하여 용출시험과 Column시험을 수행하였다. 상기의 시험 및 연구결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 준설오니는 통일분류법(USCS)에 의하면 OL, OH로 유기물이 함유된 실트질 점성토로 구분되어진다. 준설오니의 균등계수는 17.72~38정도이고 곡률계수는 0.72~1.42로 나타나 입도분포가 좋은 것으로 판명되었다.
- (2) 준설오니의 비중은 2.17~2.29로 일반적인 점토보다 상당히 낮은 값으로 Gypsum과 유사한 값을 나타내었다.
- (3) 준설오니의 유기물 함량은 4~29%로 시료채취 위치에 따라 큰 편차를 보이며, 유수지의 오히려 때문에 유기질 함량이 상당히 높은 값을 나타내고 있다. 아터버그 한계 시험결과, 액성한계는 35~40%, 소성한계는 30~48%를 범위를 나타내었으며, 소성지수는 약 5~10%을 나타내었다.
- (4) 준설오니의 적정량 산출시험 결과, 함수율은 300~700%의 범위를 보이고 있으며, 수량제거에 따른 유실용적은 전체용적의 78.2~87.5%의 범위로 준설오니의 실토사 적정토량은 12.5~21.9%의 범위를 나타내었다. 적정량 산출시험 결과 시료채취 위치에 따라 큰 편차를 보이고 있다.

- (5) 현장에서 채취한 오니의 평균자연함수비는 171.40%로 판명되었으며, 우수지 하상오니 45,000m<sup>3</sup>을 준설할 경우 준설용적은 26,000m<sup>3</sup>로 판명되었다.
- (6) 우수지 준설오니의 고화처리시료에 대한 중금속함량(크롬, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납)시험결과 국내 관계법령 중 가장 엄격한 해양오염방지법 기준에 모두 만족하는 결과를 나타내었다. 즉, 우수지 준설오니와 폐석회를 혼합한 후, 고화재를 섞어 우수지 준설오니를 고화시킬 경우, 장·단기적으로 환경오염에 큰 영향을 주지 않으며, 폐기물의 재활용의 차원에서 훌륭한 처리공법이 될 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- (1) 신은철, “준설토/폐석회를 이용한 해안매립기술 및 해양오염에 미치는 영향“, 환경·방재 연구소, 연구보고서, 1998
- (2) 이상덕, 토질시험-원리와 방법, 새문, 서울, 1997.
- (3) 이 송, “준설매립지반의 설계 및 시공시의 고려사항”, 준설매립위원회 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, 1998
- (4) Das, B. M. *Principle of geotechnical Engineering* Third Edition, 1994
- (5) Head, K. H. *Manual of Soil Laboratory Testing*, Second Edition, 1992