

준설오니의 토량 산출 및 성분분석

신은철·오영인

인천대학교 공과대학 토목공학과

Estimation of Soil Quantity and Environmental Effect on Dredged Soil

Eun Chul Shin · Young In Oh

Department of Civil Engineering, University of Incheon

ABSTRACT

Detention basin is the temporary holding pond of treated water prior to flow out to the sea. It is very common to dredge the soil from the bottom of detention basin to keep up the water holding capacity. In this study, the amount of volume reduction of dredged soil from detention basin was estimated based on the laboratory test results. 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 meet the standards of environmental requirement.

Key words : dredged soil, soil quantity, detention basin, column test, environmental effect

요약문

유수지는 생활하수 및 정수 처리된 하수를 바다에 방류하기 전에 하수방류가 조수의 영향으로 역류하는 것을 막기 위해 설치된 일종의 하수 저류시설이다. 본 연구에서는 현장에서 준설한 시료에 대하여 실내시험을 실시하여 유수지 하상 오니가 포함하고 있는 실토사의 적정량을 산출하였다. 또한, 준설오니를 임시 저장한 슬러지 저장 연못에서 시료를 채취하여 실내시험을 실시하여 준설용적을 산출하였다. 본 연구결과, 준설오니의 비중은 2.17~2.29로 일반적인 점토보다 상당히 낮은 값으로, Gypsum과 유사한 값을 나타내었다. 또한, 함수율은 300~700%의 범위를 나타내었다. 준설토로부터 물을 제거함에 따른 유실용적은 전체용적의 78.2~87.5%의 범위로, 준설오니의 실토사 적정토량은 12.5~21.9%의 범위를 나타내었다. 유수지 준설오니와 고화처리시료에 대한 중금속함량(크롬, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납)시험결과 국내 관계법령 중 가장 엄격한 해양오염방지법 기준에 모두 만족하는 결과를 나타내었다.

주제어: 준설오니, 매립토, 유수지, 환경적 영향, 유보율

1. 서론

유수지는 생활하수 및 정수 처리된 하수를 바다에 방류하기 전에 하수방류가 조수의 영향으로 역류하는 것을 막기 위해 설치된 일종의 하수 저류시설이다. 본 연구의 대상지인 인천제철 유수지는 인천서구 및 동구의 하수를 정수장에서 정화 처리하여, 밀물 시 저류 하였다가 썰물 시 방류할 수 있도록 설치된 유수지이다. 그러나, 일반적으로 유수지는 시간이 경과함에 따라 토사의 퇴적으로 인해 하상이 높아지거나, 수문의 관리의 소홀로 인하여 장마 및 홍수 시 인근지역의 침수를 유발하는 근원이 되기도 한다. 따라서, 철저한 유지관리와 주기적인 하상의 준설이 반드시 필요하다.

유수지에서 준설펌프로 준설을 하였을 때 상당한 량의 물과 유기물, 오니가 흙과 섞여있어 준설매립량 산정 시 순수한 토사만의 물량을 산출하는데 여러 가지 어려움이 있다.

준설토로 저지대를 매립하여 계획된 부지 등을 확보하여야 하는 경우로서 준설토의 침하와 유보율

에 의하여 계획량을 산출한다.

토질조건 및 준설방법에 따라 유보율은 크게 차이가 있다. 준설토의 조건에 따른 유보율 계획기준은 Table 1 및 Table 2와 같다¹⁾.

Table 1. Detention Ratio for Typical Soil

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

Table 2. Loss Ratio with Particle Size

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

유수지의 하상 오니를 준설하여 매립토로 사용할 경우, 준설오니는 다량의 부유물질과 세립자를 함유하고 있어 실질적인 매립토량으로 산정하는데 상당한 어려움을 갖는다. 본 연구는 인천제철 유수지의 하상오니를 채취하여 각종 토질시험 및 최적 토량 산정시험을 통하여 준설매립토의 적정량을 산출하고 환경적인 영향을 평가하는데 있다.

2. 실험 방법

2.1 시료의 채취

유수지 준설오니의 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 Fig. 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 추출 시 시료의 유실을 막기 위하여 샘플러를 원하는 심도까지 관입한 후, 수동개폐장치를 사용하여 유입노즐을 막은 후 시료를 추출하였다. 본 연구의 시료를 채취한 인천제철유수지는 총면적 285,000㎡, 계획배수량 1,500㎥/분으로 개략적인 유수지 형태와 시료채취

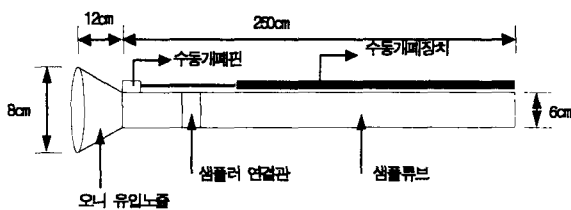


Fig. 1. Schematic diagram of soil sampler

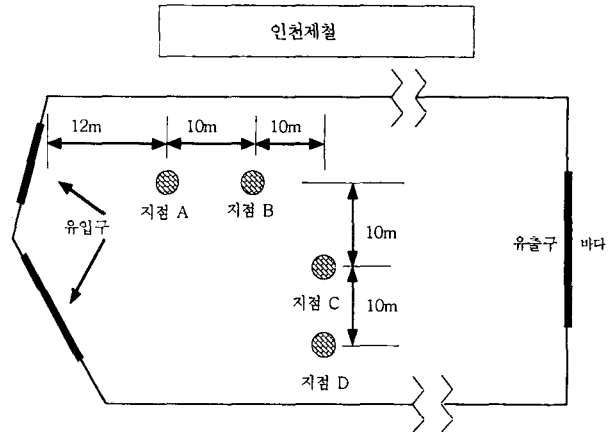


Fig. 2. Soil sampling locations in detention basin

위치는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 유수지의 수심은 최저 50cm에서 최대 200cm까지 분포하여 시료채취는 준설용 펌프바지선을 이용하여 수중 채취하였다.

2.2 준설오니의 실내 토질시험

유수지 준설오니에 대한 실내 토질시험은 각각의 시료채취장소에서 채취한 시료에 대하여 기본물성시험(200번체 통과량 시험, 입도시험, 비중시험, 액·소성 시험, 자연함수비 시험) 및 적정량 산출 시험을 실시하였다.

본 연구에서는 샘플의 200체 통과량이 모두 10% 이상이어서 입도 분포시험은 비중계분석을 실시하였다. 특히 유수지 준설오니는 생활하수 및 우수의 침전으로 발생되므로 유기물함량이 많을 것으로 판단되어, 독일의 유기물함량 표준시험법 DIN18128에 의거하여 유기물함량 시험을 실시하였다. DIN18128은 유기물이 CO₂가스로 산화되어 감소한 무게를 측정하여 유기물의 함량을 측정하는 시험법이다²⁾.

유수지 준설오니의 적정토량 산출 시 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 특수제작한 샘플러를 이용하여 채취한 시료를 잘 교반하여 1000ml 용량의 메스실린더에 채운 후 105℃ 정도의 온도에서 건조시킨 후 무게를 측정하여 적정 토량을 산출하였다³⁾.

2.3 준설오니의 오염도 평가

준설오니의 환경실험은 준설오니와 고화처리시료 자체에 대한 용출시험과 고화처리시료에 대한 Column시험을 각각 실시하였다. 준설오니와 고화처리시료에 대한 용출시험과 Column시험의 상세한 내용은 다음과 같다.

시료의 용출방법에는 국내법과 미국 TCLP법을 사용하였는데 이는 용출 시 시료의 pH범위를 어떻게 맞추어주느냐에 따라 구분되는 것이며, 일반적으로 미국 TCLP법으로 시료를 용출 했을 경우에 분석물질의 분리가 더 많이 되는 것으로 알려져 있

다. 본 연구의 용출시험에서는 미국 TCLP법에 의하여 용출을 실시하였다.

미국 TCLP법으로 용출하는 방법은 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 이 방법은 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 없다⁴⁾.

Column 시험은 고화처리된 유수지 준설오니의 오염물질의 확산량을 검토하기 위하여, 유수지 준설오니의 고화처리시료를 Column의 중앙에 넣고, 물을 투과시켜 투과수의 중금속 함량 변화를 측정하였다.

Column의 구성은 Fig. 4에 도시한 것과 같이 구성하였다. 전체 시료의 직경은 6cm이며 상·하부에는 1차 투과층으로 사질토를 2.5cm 포설하고, 2차 투과층으로 잔골재층을 2.5cm를 설치하였다. 그러나, 유수지 준설오니의 고화처리시료의 투수계

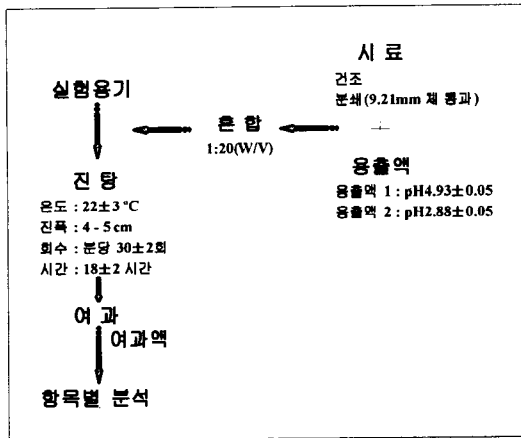


Fig. 3. Test method of TCLP

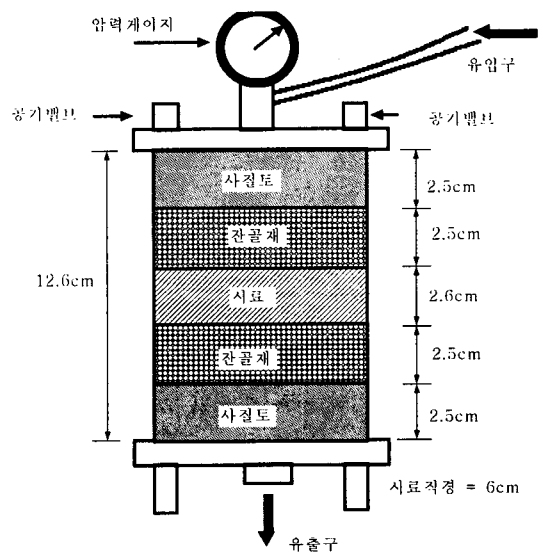


Fig. 4. Laboratory test set-up for column test

수가 10⁷cm/sec 이하로 상당히 적어 자연투수에 의한 시험이 어렵기 때문에 상부에 압력 게이지를 설치하고 평균압력 1kg/cm²의 수압을 가하여 10m의 수두가 유지되도록 하였다.

3. 시험 결과 및 분석

3.1 준설오니의 기본물성치

본 시험에서 사용된 준설오니는 인천제철 우수지에서 채취한 시료로서 4곳에서 채취하였다. 각각의 토질정수는 Table 3에 나타나 있으며 각 시료의 입도분포 시험결과는 Fig. 5에 나타낸 바와 같다. 준설오니의 No.200번체 통과량은 약 50~71%정도로 소성이 적은 유기물 실트질이 섞인 점성토로 판명되었다. 비중은 2.17~2.29로 일반적인 점토(Kaolinite, Illite, Montmorillonite)보다 훨씬 작은 값을 나타내고 있다. 오니의 유기질함량은 4.67~28.67%로 나타났다⁹⁾. 준설오니의 입도분포곡선은 Fig. 5에 나타낸 바와 같다.

Table 3. Physical Properties of Dredged Soil

시료 토질정수	A	B	C	D
Gs	2.24	2.17	2.29	2.19
LL(%)	44.80	58.00	39.00	35.00
PL(%)	35.10	48.60	30.25	30.05
PI	9.70	9.40	8.75	4.95
No. 200 passing (%)	71.08	58.88	60.94	50.80
유기물 함량(%)	28.67	26.67	15.33	4.67

3.2 준설오니의 적정토량 산정

임의의 용적의 하상오니를 준설할 경우, 실제적으로 하상에 존재할 때와 동일한 용적을 갖지 않는

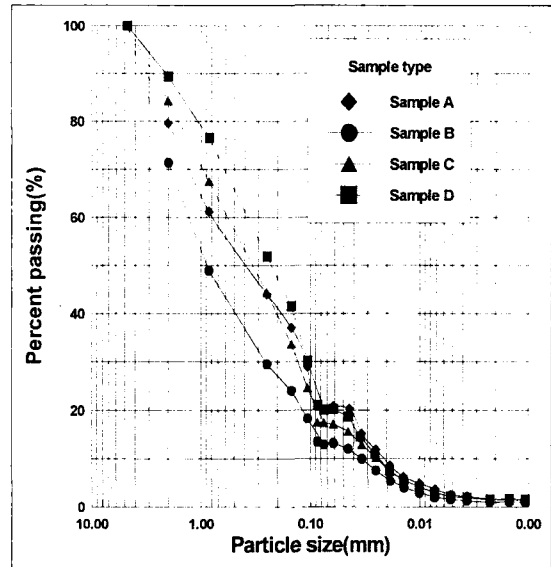


Fig. 5. Grain size distribution of dredged soil

다. 일반적으로 하상 및 우수지의 오니의 토사 유보율은 10%~15%로, 즉 하상에 자연침강되어 있는 용적의 10%~15%정도만이 실제 준설 후 토량으로 산정 됨을 의미한다. 그러나, 이러한 적정 토량은 토사의 종류 및 하상의 상태, 유체의 흐름 속도 등 많은 변화요인을 갖고 있어 실제적으로 정확한 측정이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 정확한 자료를 얻기 위해 우수지의 4지점에 대하여 시료를 채취하여 -70℃~180℃ 용량의 항온항습기에서 수분을 완전히 건조시켜 1차 적정토량 산출을 실시하였으며, 2차적으로 유기물함량 측정을 통하여 실제적인 토사량을 산출하였다. 1차 적정토량 시험 방법은 시료를 잘 교반하여 1000ml 용량의 메스실린더에 채운 후 105℃ 정도의 온도에서 건조시킨 후 건조시료의 무게를 측정하여 시료의 부피를 계산한다. 다음과 같은 단계를 거쳐 계산된다⁹⁾.

▼ 단계 1. 초기 물의 부피측정(V_{w1}) : 응집체를 사용하여 48시간 자연침강 시킨 후 초기 물의 부피

(V_{w1})를 도출한다.

▼ 단계 2. 슬러리 내의 물의 부피(V_{w2}): 초기 침강으로 통해 슬러리 상부 수분제거 후 항온항습기에 넣어 준설오니의 함수비 (ω)를 구하고, 물의 무게(W_w)를 측정하여 슬러리 내부의 물의 부피(V_{w2})를 계산한다.

$$V_{w2} = \omega \cdot G_s \quad (1)$$

▼ 단계 3. 토립자만의 부피(V_s): 1000ml의 준설오니 내부에 존재하는 토사량의 부피(V_s)는 다음과 같은 식을 통하여 얻을 수 있다.

$$V_s = V_t - (V_{w1} + V_{w2}) \quad (2)$$

여기서 $V_t = 1000\text{ml}$

▼ 단계 4. 적정량 환산계수 α 도출: 아래의 식과 같이 적정량 환산계수는 전체 하상용적에 대한 토립자만의 부피의 비로 산정할 수 있다. 단 본 적정량 환산계수는 완전건조 상태의 환산계수를 의미한다.

$$\alpha = \frac{V_s}{V_t} \quad (3)$$

준설오니의 각 채취지점 A, B, C, D에 대한 적정토량 산출시험 결과, 체적함수율(%), 유실율(%), 토사적정율(%)은 Table 4에 나타난 것과 같다. Table 4에서 보는 바와 같이 준설오니의 체적함수율은 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. 즉, 준설오니의 함수율이 높을수록 유실율이 증가하며 또한, 적정토사량은 감소하는 것을 의미한다. Table 4에 나타난 실험결과는 일반적인 하상, 해저 펌프 준설토의 적정토량의 범위인 15~20%에 준하는 것으로 판명되었다.

Table 4. Soil Detention Ratio for Dredged Soil

시료채취 지점	체적함수율 (%)	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

3.3 준설용적량 산출

인천제철 우수지에서 오니를 준설하여 현장주변에 야적할 경우, 기후 및 배수상태에 따라 준설용적이 변하게 된다. 특히 준설오니의 함수상태는 준설용적 변화에 큰 영향을 미친다.

본 연구에서는 현 준설작업에 의해 현장주변 야적장에 침전되고 있는 준설오니를 채취하여 준설용적을 산출하였다. 시료채취는 적정량 산출시험 시 사용했던 시료채취기를 사용하여 Fig. 6에 나타난 바와 같이 4지점에서 샘플링을 실시하였다. 준설오니의 투기위치는 오니펌핑 시, 오니 유출구의 위치를 나타낸다. 시료의 샘플링은 평균심도 1.0m 위

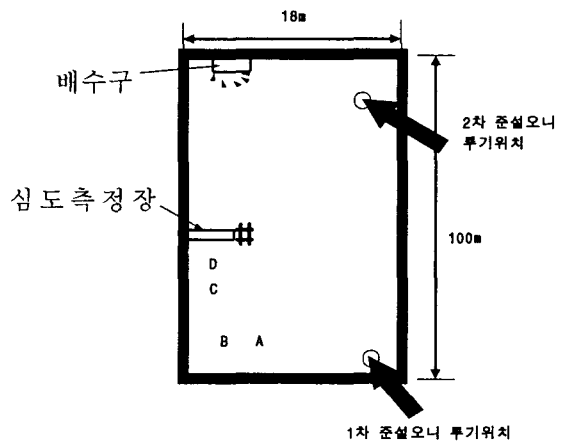


Fig. 6. Soil sampling location for determination of volume of dredged soil

치의 시료를 추출하였으며 정확한 산정을 위해 야적장 4지점을 선정하였다.

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 야적장용적을 산출하였다.

토사가 완전 포화되어 있을 경우, 토사내부의 간극비는 다음과 같이 도출한다.

$$Se = w G_s \quad (4)$$

여기서, S = 포화도(완전포화시 1), e = 간극비, w = 자연함수비, G_s = 비중을 나타낸다. 즉, 일정함수비 상태에서 토사내부의 간극상태를 도출한다. 토사내부의 간극비를 용적으로 나타내면 다음과 같다.

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{(V - V_s)}{V_s} \quad (5)$$

$$V_s = \frac{V}{(e+1)} \quad (6)$$

여기서 V = 임의의 함수비 상태에서 야적장 용적, V_s = 적정량 산출에 따른 토사부피(유수지 내부의 임의 준설량)를 나타낸다. 상기의 산출근거에 의해 함수비에 따른 준설용적 산출곡선은 Fig. 7 과 같다. Fig. 7의 산출곡선은 유수지 내 오니를

Table 5. Natural Water Content of Sampling Specimen

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

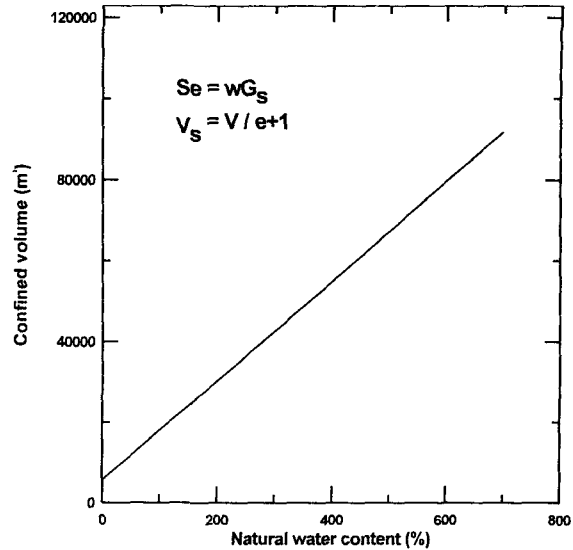


Fig. 7. Plot of detention volume vs. natural water content

45,000m³을 준설하며, 적정량 산출비는 12%로 가정하고 산출한 곡선이다³⁾.

야적장에서 채취한 임의 시료의 자연함수비는 Table 5에 나타낸 바와 같으며, 준설용적 산출과정은 준설오니가 완전히 포화되었음을 가정하였다.

Table 6. Dredged Volume at Various Water Contents

함수비(%)	간극비(e)	준설용적(m ³)
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

함수비에 따른 야적장 준설용적은 Table 6에 나타낸 바와 같다. 정확한 값을 도출하기 위해 각 지점에 대하여 3번의 자연함수비 시험을 실시하여 그 평균값을 사용하였다. 시험결과는 함수비는 171.4%로 판명되었으며, 이 결과를 Table 6의 함수비와 비교해 볼 때 개략적인 준설용적은 26,000 m³으로 나타났다.

3.4 환경 실험결과

유수지 준설오니를 해안 및 내륙 매립재로 사용할 경우 관계법령에는 토양환경보전법, 폐기물관리법, 해양오염 관리법 등이 있는데 이중 해양오염관리법이 가장 엄격하여 본 연구에서는 해양오염관리법에 의한 기준과 결과치를 비교하였다. Table 7은 해양오염 관리법에 의한 폐기물 해양배출 처리기준과 본 연구에 사용된 유수지 준설오니 자체 및 고화처리시료의 성분분석을 비교하여 나타낸 것이다.

먼저 Cd의 경우는 유수지 준설오니 자체의 용출 실험 전혀 검출이 되지 않아 기준에 적합한 것으로 나타났으며, 고화처리시료의 경우 0.001ppm으로

기준에 적합하였다. Cu의 경우는 준설오니의 용출 실험 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 기준이하의 값을 나타내었다.

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.

4. 결 론

본 연구는 유수지 준설오니에 대한 실내 토질시험, 적정량 산출시험을 수행하였다. 또한, 해안 및 내륙매립을 실시하였을 경우 환경적 영향에 대하여 연구하기 위하여 용출실험과 Column시험을 수행하였다. 상기의 시험 및 연구결과를 바탕으로 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 시료 채취 위치에 따라 큰 편차를 보이며, 유수지의 오니이기 때문에 유기질 함량이 상당히 높은 값을 나타내고 있다. 아터버그 한계 시

Table 7. Environmental Test Results for Dredged Soil

(Unit : ppm)

원 소 명	고화처리시료 (Column시험)	유수지오니 (용출시험)	해양오염방지법 (기준)	
			고 형 폐기물	액 상 폐기물
Cr	0.005	0.0085	2.0이하	20.0이하
Zn	0.064	0.1005	5.0이하	90.0이하
Cu	0.172	0.0025	3.0이하	15.0이하
Cd	0.001	검출되지 않음	0.1이하	1.0이하
Hg	검출되지 않음	0.003	0.005이하	0.05이하
As	검출되지 않음	0.01	0.5이하	5이하
Pb	0.002	검출되지 않음	1.0이하	10.0이하

험결과, 액성한계는 35~40%, 소성한계는 30~48%를 범위를 나타내었으며, 소성지수는 약 5~10%를 나타내었다.

- (4) 준설오니의 적정량 산출시험 결과, 함수율은 300~700%의 범위를 보이고 있으며, 물체거에 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 45,000m³을 준설할 경우 준설용적은 26,000m³으로 판명되었다.
- (6) 우수지 준설오니 자체와 고화처리된 시료에 대한 중금속함량(크롬, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 비소, 납)시험결과 국내 관계법령 중 가장 엄격한 해양오염방지법 기준에 모두 만족하는 결과를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 인천대학교 ITIC(인천지역 기계·전자 기술혁신센터)의 기술지도과제 “준설토 적정량 산출 및 고화처리” 지원연구비로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 이 송, “준설매립지반의 설계 및 시공시의 고려사항”, 준설매립위원회 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, 1998
- 2) 이상덕, 토질시험-원리와 방법, 새론, 서울, 1997.
- 3) Head, K.H. *Manual of Soil Laboratory Testing*, Second Edition, Pentech Press, London, 1992
- 4) 신은철, “준설매립토의 적정량 산출에 관한 연구 (인천제철 우수지)”, 연구보고서, 인천대학교 공학기술연구소, 1998
- 5) Das, B.M. *Principle of Geotechnical Engineering* Fourth Edition, PWS, Boston, 1998