

기술 위원회 기술 칼럼

| 해안항만기술위원회 |

# 오염 퇴적물 준설처리기법 동향

해안항만기술위원회

## 1. 서언

육지로부터 유입되어 호소, 하천, 해양 등의 수저에 퇴적되는 모래, 점토, 유기물질, 광물 등의 퇴적물 또는 저니(低泥, sediment)는 수중의 탁도를 높이고, 수중생물 혹은 국민건강에 악영향을 미칠 수 있는 잠재적인 오염원이 될 수 있다. 이러한 퇴적물은 일반적으로 고농도의 유기물인 질소뿐만 아니라 중금속, 다환방향족탄화수소(PAHs), 폴리클로리네이티드페닐(PCBs) 등의 다양한 특정수질 유해물질과 프탈레이트류 등의 내분비계 장애물질을 포함하고 있다. 미국 EPA 보고서에 의하면, 미국 전역의 수로 및 항로의 퇴적물 중 약 10% 이상이 심각하게 오염되어 경제적이고 안전한 오염퇴적물 처리 방안의 모색이 필요하다고 한다. 지속적으로 수저에 퇴적된 저니는 운하나 항만의 수심을 낮추어 선박의 운항에 지장을 초래하기 때문에 준설의 목적이 수저의 오염원 제거 뿐만 아니라 선박의 운항을 용이하게 하는 수심 확보에도 있다. 미국의 경우, 연간 운용되는 전체 선박 중 준설이 요구되는 항로를 통과하는 비율이 약 95% 이상이므로 해마다 항만을 유지 관리하기 위해 수로와 항만바닥의 퇴적토 준설을 시행하고 있다.

현재 미국에서는 환경오염에 대한 우려 때문에, 사용 가능한 준설토 투기장소 혹은 매립장소가 해마다 줄어들고 있다. 따라서 준설된 오염퇴적물을 투기 저장할 수 있는 공간 확보가 가장 시급한 문제로 대두되고 있다. 이를 위해 기

존 준설토 매립장의 저장능력을 극대화 시키거나, 기존 매립장 인근에 준설투기장을 확장하려는 노력 등을 하고 있다. 본 기술칼럼에서는 미국과 국내의 오염 퇴적물 준설처리기법들의 최신동향을 살펴보고 이를 통하여 효율적이며 친환경적인 오염준설토 처리방법을 모색하고자 한다. 미국의 예에서는 기존의 준설매립을 위한 인공섬인 Craney Island(Craney Island Dredged Material Management Area, CIDMMA)의 현황과 미공병단(U.S. Army Corps of Engineers, USACE)과 버지니아항만국(Virginia Port Authority, VPA)이 공동기획을 하고 있는 Craney Island 동측부지 확장 프로젝트(Craney Island Eastward Expansion)에 관하여 살펴보고, 국내의 예로는, 현재 태안반도 인근의 부남호에서 수질개선 노력의 일환으로 준설을 통해 오염물을 제거하는 방법 및 현황에 대해 언급하고자 한다.

## 2. 미국의 Craney Island 준설매립장

최항석(고려대학교), 박경호(현대건설)

### 2.1 Craney Island 준설매립장 현황

일반적으로 준설토를 처리하는 방법에는 준설토를 외해

로 직접투기(Open water placement)하는 방법과 주변환경으로부터 격리하여 매립보관(Confined placement)하는 두 가지 방법이 있다. 하지만, 최근에는 환경적 문제로 말미암아 준설토를 외해로 투기하지 않고 준설지역 인근에 준설매립장을 건설하여 분리 매립하고 있다. Craney Island 준설매립장의 경우도, 매립초기에는 준설토의 오염도 평가를 하지 않고 전량의 준설토를 Craney Island에 매립하여 인공섬을 조성하려 하였다. 인공섬인 Craney Island 준설매립장, Craney Island Dredged Material Management Area(이하 CIDMMA)는 1946년에 미 의회의 승인을 얻고 미국 버지니아주 Norfolk 근처에 건설되어, 1956년부터 인근 수로와 항구로부터 준설된 토사가 매립 저장되어 오고 있다. CIDMMA는 연면적 8.9 km<sup>2</sup>에 해마다 약 3.1×10<sup>6</sup> - 5.4×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>의 준설토의 매립이 계획되었다. 그 결과 현재 10 - 12 m 두께의 준설 매립층이 30 - 37 m 두께의 연약한 해성점토 원지반위에 형성되어 있다(그림 1).

1956년부터 1984년까지 현장계측과 수치해석 프로그램 PSDDF 해석결과(그림 2), 인근지역의 준설토를 선별하지 않고 전체 투기면적에 동시에 매립할 경우 CIDMMA가 2000년 이전에 매립 한계고(평균해수면에서부터 9.2m)에 이를 것으로 예측되었다. 미공병단은 CIDMMA의 매립수명을 연장하기 위해 CIDMMA에 선별을 통해 제한적으로 준설토를 투기하는 프로그램(Restricted Use Program, RUP)을 시행하였다. 즉, 채취된 준설토 전량을 CIDMMA

에 매립하지 않고, 준설토의 오염도가 규정을 넘지 않을 경우에는 외해로 투기하고 준설토의 오염이 심각한 수준일 경우만 CIDMMA에 매립하도록 하는 프로그램이다. 또한, 1984년에는 두개의 중간제방을 8.9 km<sup>2</sup> 면적의 CIDMMA에 건설하여 전체 영역을 3개의 구획으로 나누어 준설매립을 운영하였다. 이 계획에 따르면, 초기에는 준설토가 CIDMMA 중앙구획에만 매립되고, 이 중앙구획의 매립고가 약 0.3 m에 도달하면 남쪽구획에 매립한다. 다시 남쪽구획의 매립고가 0.3 m에 도달하면 이번에는 북쪽구획으로 옮겨감으로써 각 구획에 자중압밀과 배수 그리고 증발산에 의한 건조효과가 충분히 발현될 수 있는 시간을 확보하도록 준설매립을 운영하였다. 세 구획으로 나누어진 CIDMMA는 그림 1의 항공사진에서 확인할 수 있다.

## 2.2 Craney Island Eastward Expansion 계획

미공병단과 버지니아항만국은 CIDMMA의 운영평가와 환경영향평가(Environmental Impact Statement, EIS)를 통하여 기존의 CIDMMA의 매립수명이 2011년에서 2025년이면 한계에 다다른다고 보고, 이 지역 수로와 항로에서 지속적으로 발생하는 준설토의 처리방안에 대하여 고심하게 되었다. 결국, 총 210억 달러가 투입되는 Water Resources Development Act(WRDA)의 일환으로 2007년 11월에 미 의회의 승인을 받아 Craney Island 동측부지

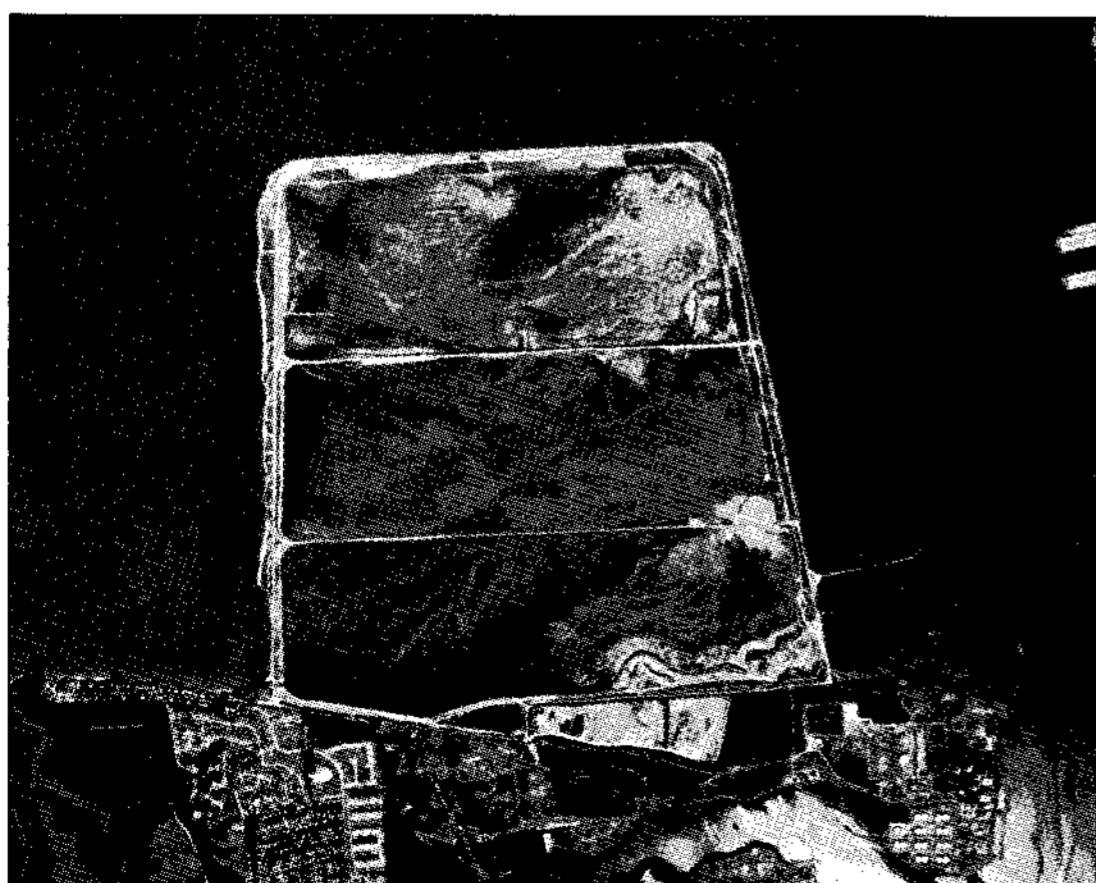


그림 1. Craney Island 항공사진

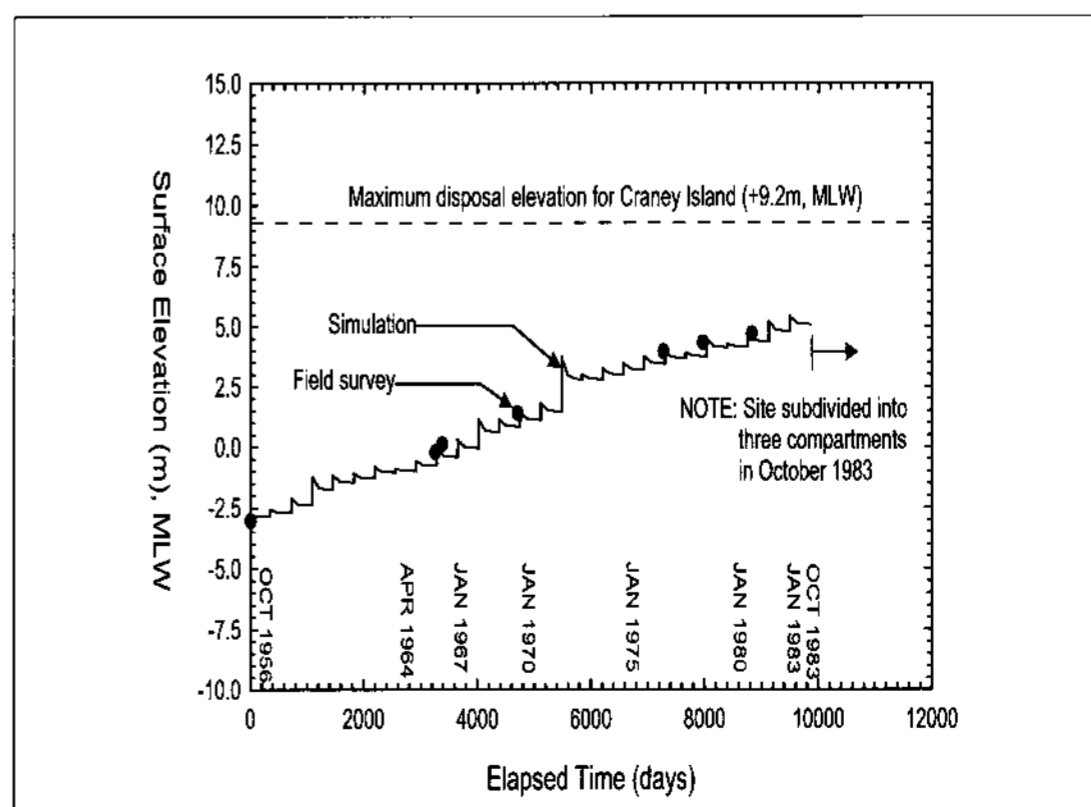


그림 2. CIDMMA 계면고 실측결과와 수치해석(PSDDF) 결과비교 (1956년부터 1983년까지)

확장 프로젝트(Craney Island Eastward Expansion)가 계획되었다. 이 프로젝트는 미공병단과 버지니아항만국이 공동기획하고 있으며 총 3억 5천만 달러 이상의 연방정부 예산이 투입될 예정이다. Craney Island 동측부지 확장건설은 2009년에 시작해서 총 소요기간 9년이 예상되고 부지조성 완료 후 2017년에 이곳에 새로운 해상터미널을 건설할 예정이다. 이 확장건설을 통해 약 2.4 km<sup>2</sup> 면적의 준설매립장이 추가로 형성될 전망이다(그림 3).

Craney Island 동측부지 확장건설에 여러 가지 새로운 지반공학적인 시도가 연구 논의되고 있다. 특히, 새로운 준설매립 부지를 조성하기 위한 외측제방 축조에 사용될 토사 및 골재를 기존 CIDMMA에 매립되어 안정화된 준설토를 재활용하는 계획을 추진하고 있다. 또한, 골재운송의 효율을 높이기 위해 일반적인 트럭에 의한 운반방식이 아닌 자동화된 컨베이어벨트 시스템 적용에 관한 연구가 진행되고 있다. Craney Island 동측부지 확장계획 및 건설에 지반공학 분야의 기술적 전문성을 확보하기 위하여 Craney Island Blue Ribbon Review Panel을 결성하여 2008년 4월까지 3번의 회의를 갖고 전문가들의 의견을 수렴하고 있다. 이 모임에서 자문을 하고 있는 전문가들은 버지니아공대의 Mitchell 교수와 Duncan 교수, 그리고 일본 항만공항연구소(Port and Airport Research Institute)의 Kitazume 박사 등이다. 그림 4는 2008년 4월 14일에 열린 제 3차 Review Panel 회의 기념사진이다.

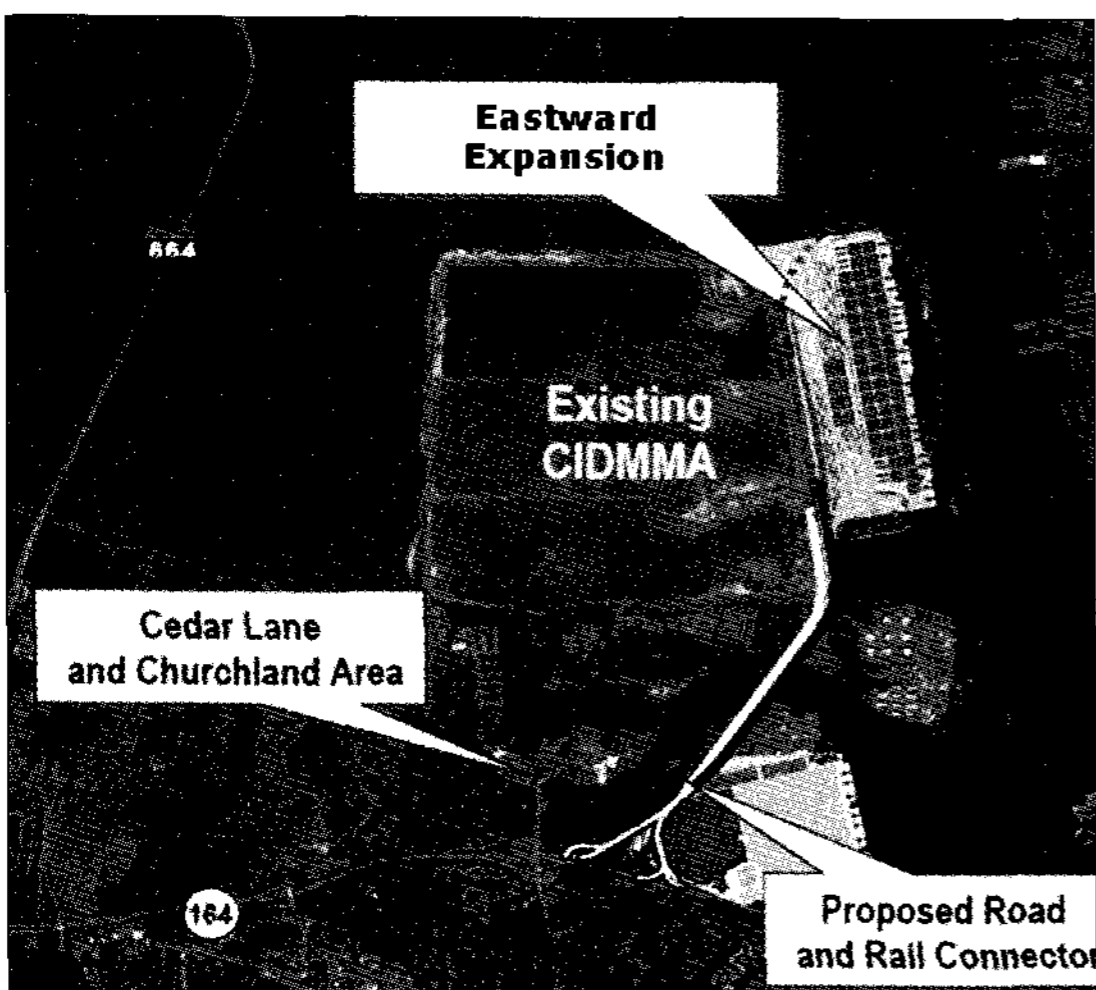


그림 3. Craney Island Eastward Expansion 계획도



그림 4. Craney Island Blue Ribbon Review Panel 회의 기념사진(좌측부터 Kitazume 박사, Mitchell 교수, Plant 박사, Duncan 교수)

### 3. 부남호 준설사업

이충호(알지오이엔씨),  
김준범, 이용길(현대도시개발)  
전용철, 최정희, 김충기(현대ENG)

충남 서산의 A/B간척지는 1995년에 조성되었으며, 현재는 B지구의 부남호를 중심으로 태안방면의 간척지 446만평이 태안 관광·레저형 기업도시 시범사업으로 선정되어, 2020년까지 개발하여 준공할 계획에 있다. 또한 서산 방면으로 약 170만평을 서산 바이오·웰빙특구로 개발하기 위해 추진 중에 있다. 향후 부남호를 중심으로 해서 양쪽 방향(서산, 태안방향)으로 기업도시가 발전하기 위한 조건으로 부남호의 수질은 매우 중요한 문제이다. 그러나 부남호는 상류유역으로부터 유입된 오염물 및 토사로 인해 현재 호소수질 V등급을 상회하고 있어 농업용수(수질기준 IV등급)로 사용하기에 부적절한 상태이므로 적극적인 수질개선사업 시행이 시급한 실정이다.

본 계획에서는 수질개선방법으로 준설을 통해 오염물을 제거하는 방법을 채택하였으며, 수심측량 및 지반조사 결과 부남호의 퇴적토는 저질, 모래, 점토, 자갈 등의 순으로 다양하게 혼재되어 있는 것으로 나타나 준설 후 준설토를 다양한 입경으로 선별하여 재활용토로 계획하였다. 준설심도는 준설시공기술의 한계성 등을 감안하여 부남호의 호저면하약1~2m 심도로 계획하였다.



### 3.1 준설계획

퇴적토 유기물과 영양염류 농도가 높으면 혐기성 상태에서 영양염류와 철, 망간 등이 용출되어 전도현상 발생 시 수표면에 도달하게 되며, 영양염류는 조류의 과잉번식을 촉진하게 된다. 준설하는 목적은 저질에서 영양염류의 용출을 방지하고 오염된 저질을 처분함과 동시에 호수의 용량을 확보하는데 있다. 담수호의 저질에는 중금속 성분이 낮으므로 퇴적토를 준설하여 단순히 사토 처리하는 방법에 의존하지 않고 재활용토록 하였다.

#### (1) 준설공법

광범위한 준설에 적합하고 준설로 인한 2차오염이 작고 준설능력이 우수한 공법으로 준설pump를 장치한 흡입관을 수저에 거치하고 물과 토사를 함께 흡입하여 배출관을 거쳐 직접 선별장에 압송하는 펌프흡입식 준설공법을 채택하였다.

#### (2) 준설범위 및 계획 준설량

수심측량 및 지반조사 결과와 환경수질 등의 조사결과를 종합 분석하여, 펌프준설선의 준설심도 및 효율을 고려하여 호저면을 약 1~2m 심도로 준설하는 것으로 계획하였다. 총 준설량은 1,591만 $m^3$ 이며, 준설면적은 871만 $m^2$ 이다.

### 3.2 준설토 처리공법

담수호 준설은 해상준설과 달리 유속이 정체된 호소 내에서 시행되며, 오염된 퇴적물을 위생적으로 처리하여, 부산물을 효과적으로 재활용하는데 있다. 준설 시 필연적으로 발생하는 여수와 잔토를 위생적이며, 효과적으로 처리하여 2차 오염이 발생되지 않도록 해야 한다. 특히 여수는 담수호내로 재 유입되므로 처리된 여수의 수질이 담수호 수질보다 좋아야 수질이 개선될 것이다.

본 준설사업에서는 Hydrocyclone을 이용한 오염토 세척선별처리공법을 채택하였다. 이 공법은 준설토 중 오염물질이 다량 함유되어 있는 오염물과 미립토를 세척선별기설비를 이용하여 분리하고 염분과 수용성 오염물질을

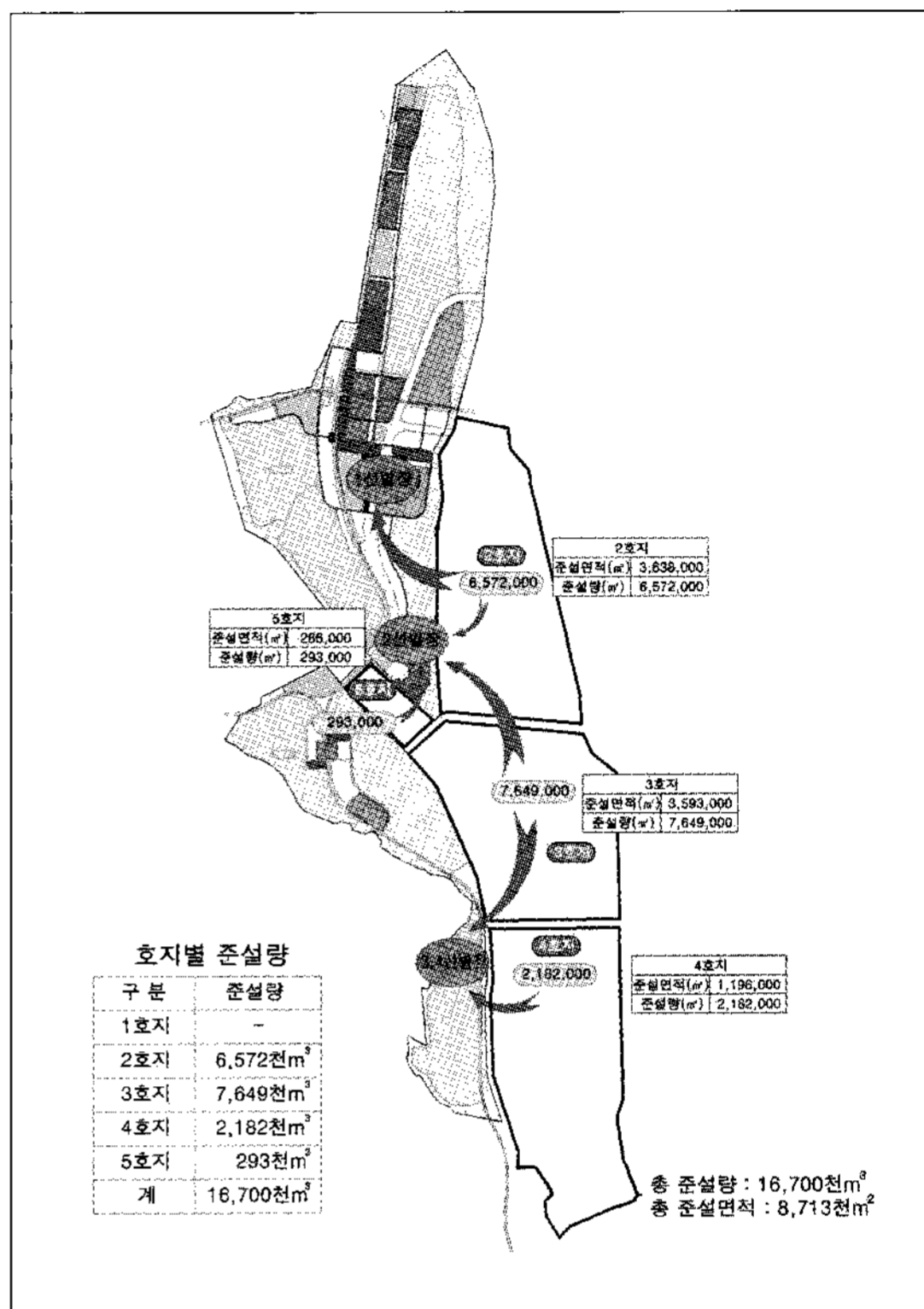


그림 5. 부남호 준설계획도

거의 완벽한 수준으로 제거할 수 있어 위생적 처리가 가능하고 2차 오염 발생을 극소화할 수 있다.

부남호내 퇴적물의 오염물질은 주로 저니층에 집중되어 있으며, 모래성분에는 염분과 유기물 등이 결합력이 약한 상태로 존재하고 있어 물을 이용한 세척방법으로 염분과 유기물 등을 제거하는 것이 가장 효과적인 방법이라 할 수 있을 것이다. 따라서 세척처리 방법은 물 용해도가 매우 높은 염분뿐만 아니라 결합력이 약한 대부분의 오염부하 물질을 단시간 내에 용출 또는 분리시킨 후 별도처리 함으로써 환경부하를 저감할 수 있는 처리공법이다.

#### (1) 개요

오염토 세척선별기술은 물과 압축공기에 의한 준설토 분리 및 세척공정과 상징수 처리공정으로 구성되어 있다. 세척 처리공정은 준설선으로부터 압송된 준설토의 토출압 저감과 고액비(준설토와 호소수의 비)를 조절하여 원활하게 공급하기 위한 준설토 공급장치(Surge Hopper & Folw

control system), 1차 세척과 입도분리를 위한 트롬멜 선별기(Trommel washer), 고압의 압축공기를 이용한 2차 세척장치인 Air Turbulencing Pipe, 3차 세척과 건설재의 고액분리를 위한 Hydrocyclone, 분리된 건설재의 물을 탈수하기 위한 Dewatering Screen으로 이루어져 있으며 상징수 처리공정은 Hydrocyclone으로부터 유출된 저니와 미세토 그리고 호소수를 침전분리하기 위한 침전지, 침전후 상징수를 간이처리하기 위한 응집처리장치로 구성되어 있다. 이 공법은 오염물질이 다량 함유되어 있는 저니와 미립토를 분리하고 염분과 수용성 오염물질을 제거하는 대량 처리 공법에 적합하고 세척에 사용되는 물질로 물과 고압의 공기를 사용하였으므로 2차 처리가 필요하지 않는 등의 장점이 있다.

**(2) 주요 공정**

**가. Surge Hopper & Flow Control System  
: 준설토의 자동공급 및 함니비 조절**

준설선으로부터 이송된 준설토의 토출압력을 줄이고 부남호의 하상조건에 따라 변화하는 함니비(준설물중 저니와 모래와 같은 고형물이 차지하는 비)를 후속세척 및 건설재 회수공정에 영향이 없도록 자동으로 조절할 수 있도록 하였다. 적정 함니비는 0.15 ~0.30이며 0.15 미만일 경우

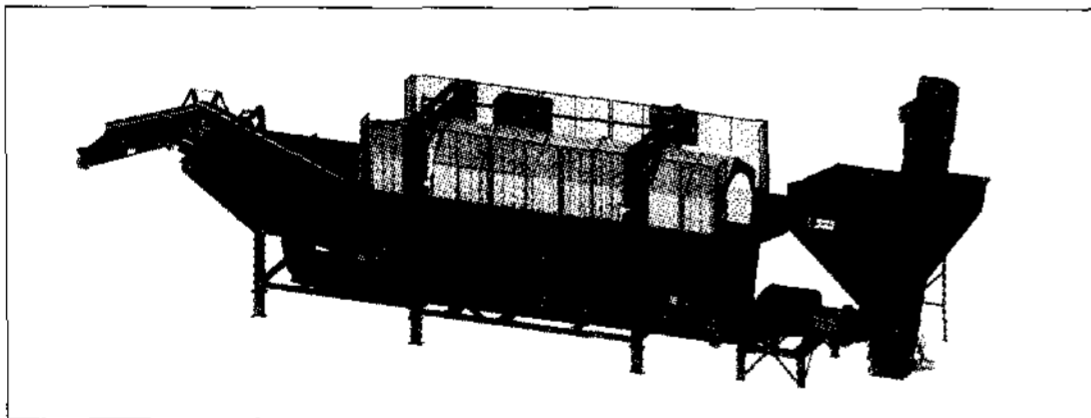


그림 6. Trommel Washer

호소수를 후속공정으로 by-pass 시켜 적정 함니비를 유지시켜 공정의 효율을 유지할 수 있다.

**나. Trommel washer : 1차 세척 및 준설토의 입도분리**

적정 함니비를 가진 준설토는 다양한 입경을 가지며 이 중에서 1차 세척만으로 세척이 가능한 5mm이상의 자갈류를 분리할 수 있도록 하였다. 이는 경험값으로 3mm이상의 입자를 가진 준설토는 오염도가 낮고 오염물질의 결합력 또한 작아 1차세척만으로 쉽게 오염물질이 분리되는 점에 착안한 것으로 1차세척 공정만으로 세척이 끝나도록 차별 세척공정을 도입함으로써 처리량의 증가와 시스템의 안정을 도모하였다.

특히 부남호 준설토의 경우 5mm 이상의 자갈류의 함량이 적은 반면 처리량이 대용량이므로 개곡률이 높은 Trommel Type을 적용할 계획이다.

**다. Air Turbulencing Pipe : 2차 세척**

Air Turbulencing Pipe는 1차 세척한 준설토에 함유되어 있는 저니와 준설토에 존재하는 염분 및 기타 오염물질을 분리하는 주요부분으로 1차 세척 후 5.0mm이상의 자갈이 제거된 준설토가 함유된 호소수를 고압의 공기가 미세한 기공(0.015~0.020mm, PE)을 통하여 분사되는 이중파이프를 통과하도록 하였다. 이 이중 파이프에 유입된 준

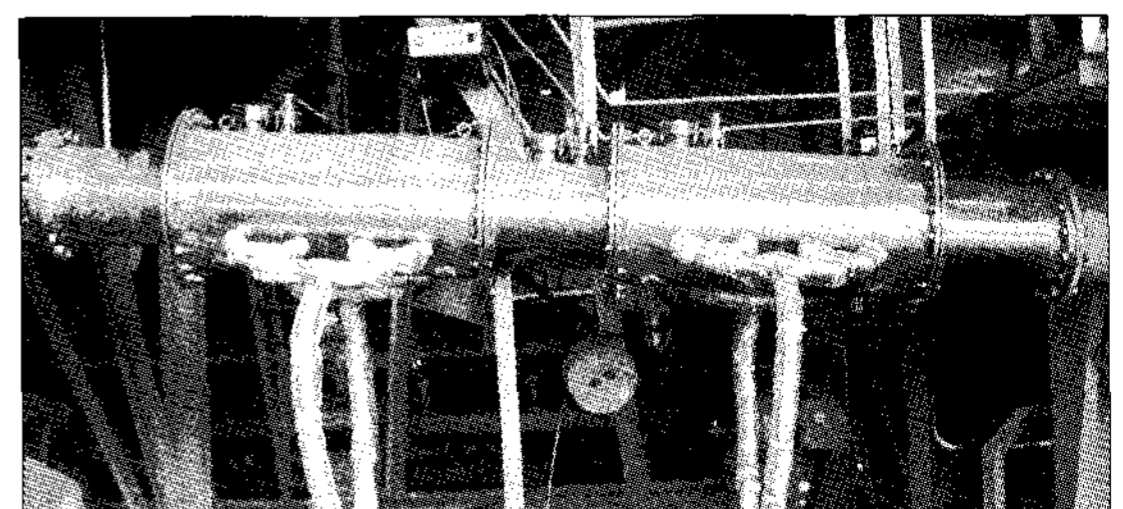
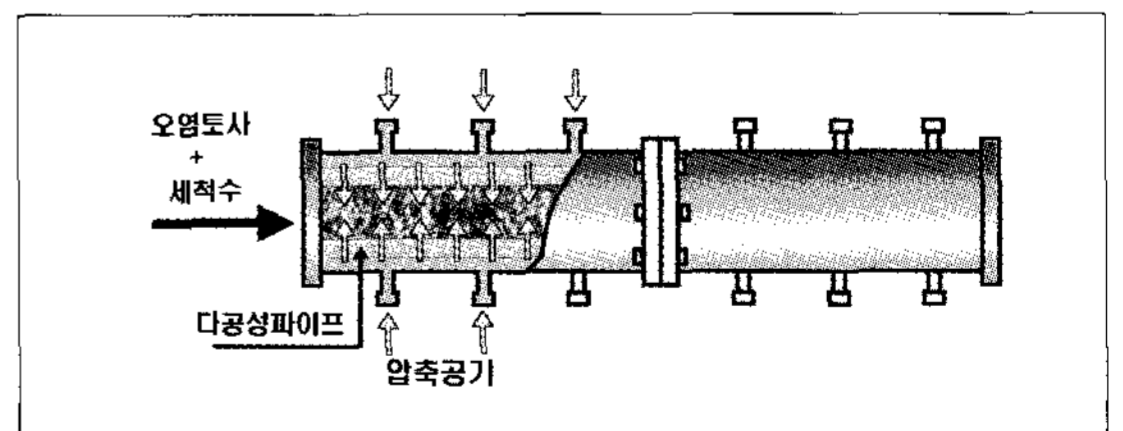


그림 7. Air Turbulencing Pipe (2차 세척)

설토는 고압의 미세공기와 강한 충돌을 하게 되며 이때 발생하는 충돌력과 와류에 의하여 저니와 토사(모래 등)를 효과적으로 분리하고 토사(모래 등)입자 또는 입자사이에 존재하고 있는 염분이 탈착되게 된다.

#### 라. Hydrocyclone : 3차 세척 및 건설토 회수

Air Turbulencing pipe를 통과하면서 저니와 대부분의 오염물질이 분리된 준설토와 호소수는 Hydrocyclone Unit로 유입된다. Hydrocyclone은 고형물의 입도 선별을 위한 설비로 Hydrocyclone Unit로 유입된 Slurry상태의 준설토는 고압펌프를 통해 Hydrocyclone 내부로 유입되면서, 이과정에서 발생하는 와류에 의해 토사입자 사이의 오염된 간극수와 토양입자에 흡착되어 있는 오염물질을 한번 더 세척하므로써 3차세척이 이루어지게 된다.

Hydrocyclone의 입자분리는 유입부(Tangential Feed Inlet)의 단면적, 하부로 떨어지는 곳(Spigot)의 단면적, 유체 배출부의 내경(Vortex Finder Diameter)과 Slurry 공급 펌프의 성능에 따라 다르게 되며, 분리입경(Cut-off Size)은  $75\mu\text{m} \pm 10\mu\text{m}$ 이 유지되도록 계획하였다.

#### 마. Dewatering Screen : 탈수

5.0mm이하 준설토는 Air Turbulencing Pipe의 2차 세척공정을 거쳐 세척수와 함께 Hydrocyclone공정으로 이송되어 3차 세척이 이루어지고,  $75\mu\text{m}$ 이하 저니와 미립토 그리고 호소수는 침전지로 이송되며,  $75\mu\text{m} \sim 5.0\text{mm}$ 의 준설토는 재활용할 수 있도록 탈수공정을 거쳐 Clean Soil 형태로 배출된다.

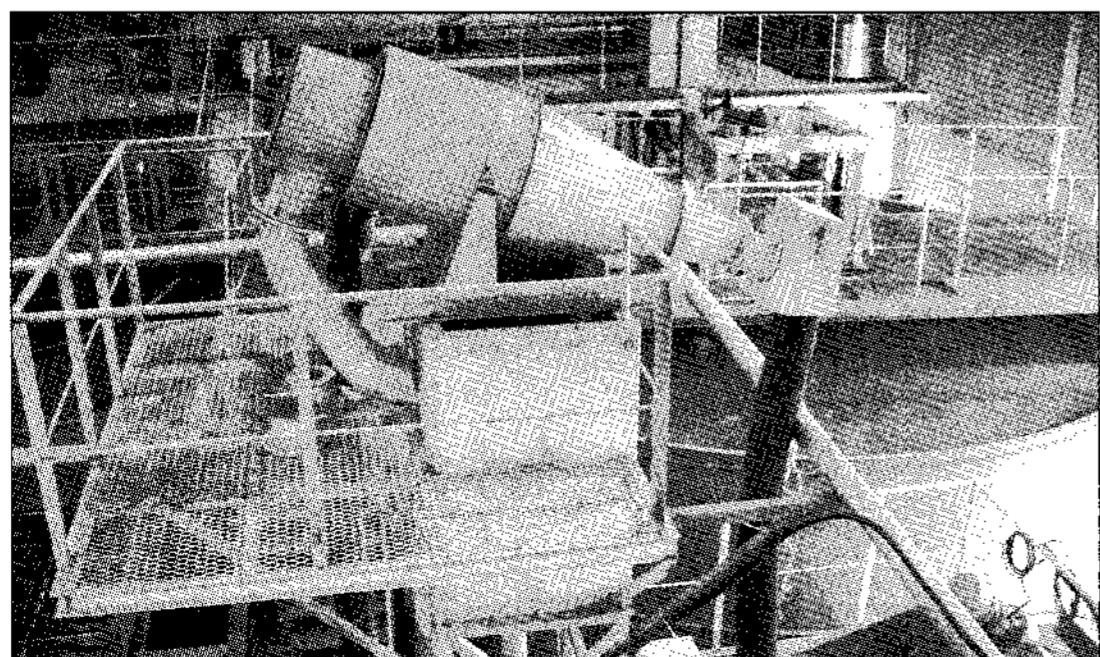


그림 8. Hydrocyclone에 의한 3차세척 및 입도선별

#### 바. 침전지 : 저니, Silt & Clay 침전

부남호의 준설토중 세척공정을 통하여 건설재를 회수한 후 Hydrocyclone의 상부로부터 유출되는 저니와 Silt & Clay 성분의 미립토를 침전하여 분리할 수 있도록 침전지를 설치할 계획이다. 침전지는 일종의 중력 침전지로서 3차 세척을 거친 공정 유출수중에 함유되어 있는 저니와  $75\mu\text{m}$ 이하의 미세토를 침전시키기 위한 것으로 입자의 침강 속도를 고려하여 회분식으로 운영하도록 하며 침전후 상징수는 간이 수처리시설(응집처리)로 이송할 수 있도록 하였다. 침전지는 6개 내외의 침전조 1개의 침전지로 구성하여 회분식으로 운전하는 것으로 계획하였다.

#### 사. Thickner & Filter Press : 상징수 응집처리

침전지에서 유입된 상징수에는 부유미세토가 다량 함유되어 있으며 여기에는 T-N, T-P 성분이 다량 함유되어 있다. 본 공정은 약품을 이용한 응집 침전 처리하여 상징수의 부유물질을 제거하고 T-N, T-P의 농도를 저감할 수 있도록 하였다. Filter Press를 이용하여 탈수된 응집 슬러지의 수분함량은 50%이며 타 매립지로 위탁 처리하는 것을 기본 원칙으로 하며 처리된 호소수는 일부 공정에 재사용하고 나머지는 부남호로 이송하도록 하였다.

#### 아. 건설재 이송시설(Staker Conveyor)

Staker Conveyor는 준설토적물로부터 분리, 회수된 토사를 이송하여 야적하기 위한 것으로 Conveyor의 이송길이와 야적위치의 자동조절이 가능하여 장비의 사용을 최소화할 수 있어 매우 경제적이다.

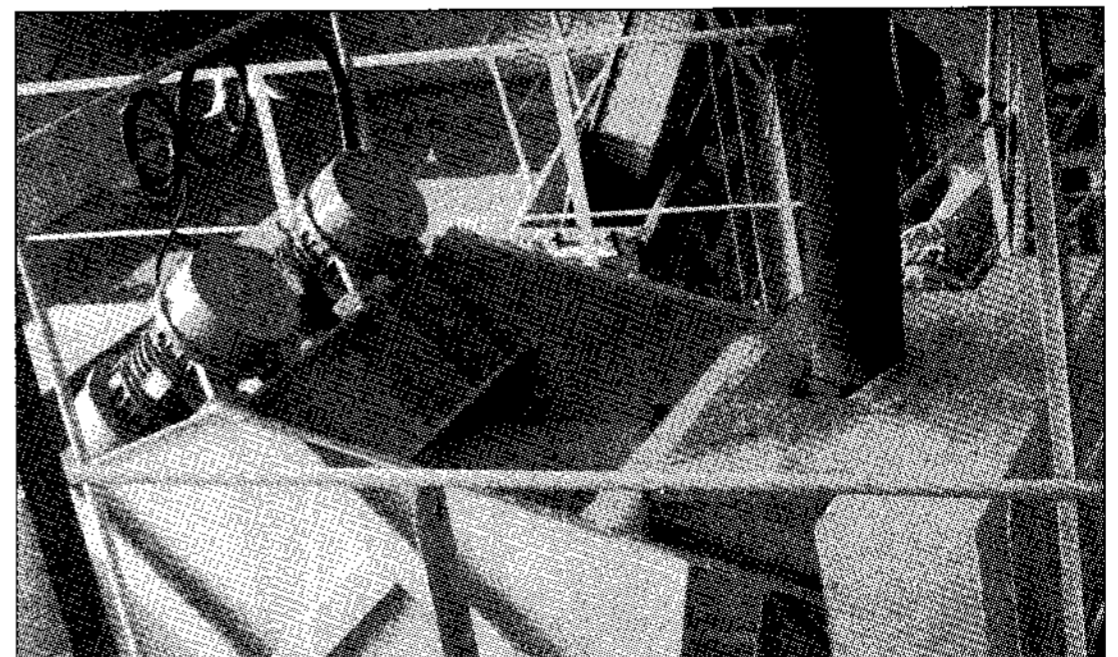


그림 9. Dewatering Screen 탈수공정



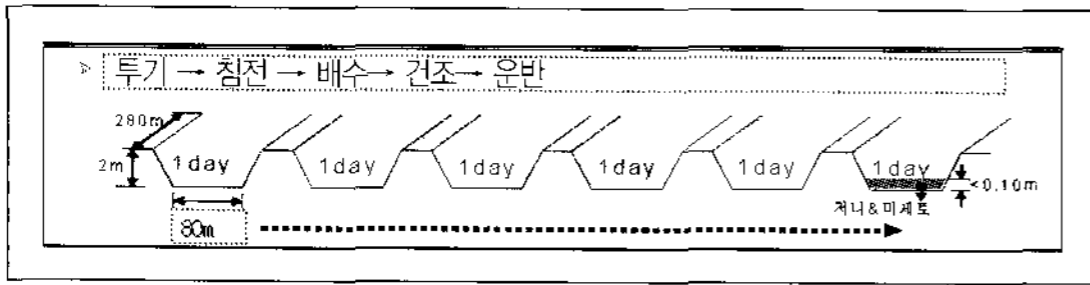


그림 10. 침전지 운영방안

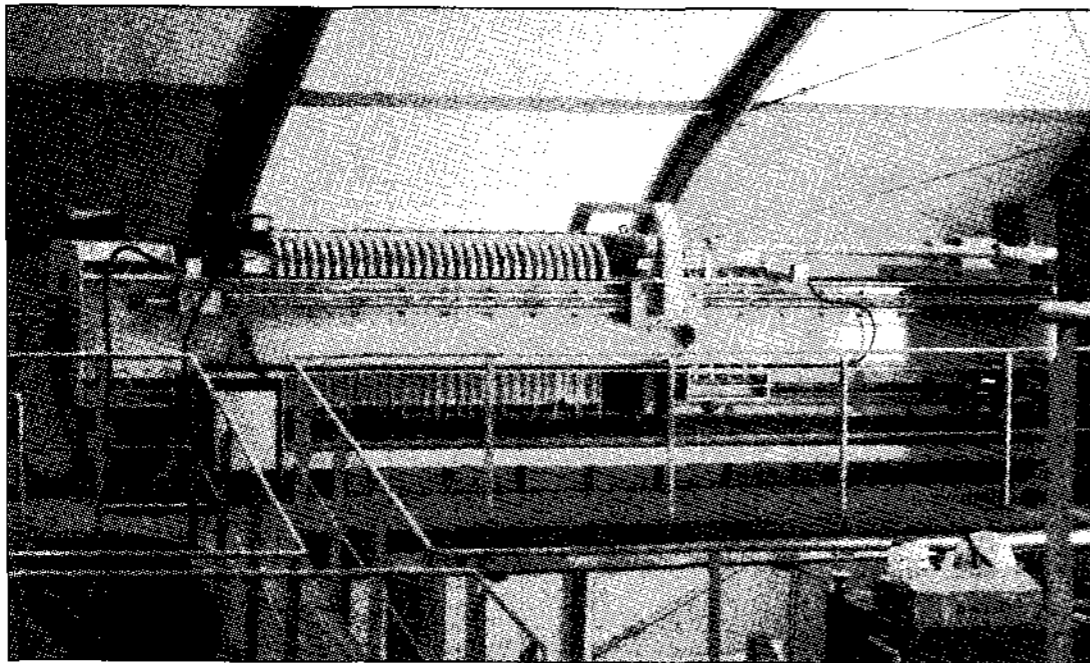


그림 11. Filter Press 전경



그림 12. Staker Conveyor

### (3) 여수처리

침전지에서 저니와 미립토(Silt&Clay)를 침전시킨 후 상징수를 응집 침전하여 수질변화를 확인하였다. 침전실험(1

일 침전)후 상징수에 응집제를 투여하여 시험분석 하였다. 상징수 원수중의 T-P의 농도를 저감하기 위하여 다음과 같이 소석회를 첨가하여 적정투입량을 결정하였다. 실험은 상징수에 소석회를 투입량을 달리하여(0~76ppm) 동일 조건(200rpm, 2min)에서 응결시키고 다시 임의의 대표응집제 A-334E 를 동량(10ppm) 투입하여 동일 조건(200rpm, 20sec)으로 반응시켜 응집상태 및 상등수의 탁도를 확인하여 소석회의 최적 투입량을 선정하였다. 최적의 응집제를 선정하기 위한 실험을 실시한 결과 적정하게 상징수를 처리하면 호소수 수질기준으로 약 IV등급 수준으로 여수를 관리할 수 있는 것으로 나타났다.

침전시 발생하는 슬러지는 수거하여 응탈수처리 후 매립 처분하도록 계획하였다.

### (4) 준설토 처리계획

부남호의 준설토는 Hydrocyclone 오염토 세척선별공법을 적용하여 친환경적, 위생적으로 처리하도록 하였다. 준설토 처리 물질수지를 바탕으로 사업기간 중 발생하는 발생토의 양과 처리 및 사용계획을 요약하면 다음과 같다.

위의 표에서와 같이 1차 세척 후 발생하는 5mm이상의 자갈류는 총 100만<sup>m</sup>로 저니와 염분 그 밖의 오염물질이 분리제거된 것으로 향후 부지 내 재활용하고 3차 세척 후 발생하는 0.075이상 5mm미만의 모래류는 총 1,018만 <sup>m</sup>로 저니와 염분 그 밖의 오염물질이 분리제거된 것으로 향후 부지 내 건설재로 활용할 수 있다. 0.075mm미만의 미립토의 경우에는 351만 <sup>m</sup>은 건조 후 농지에 포설하고 나머지 200만 <sup>m</sup>는 고화처리 하여 염분 등의 용출성을 저하시킨 경우에는 사업부지내 식재부분의 토양개량재로 사용

표 1. 준설토 발생량과 처리 계획

공 정	전체 사업기간 중(1,670만 <sup>m</sup> )	사용 계획
1차 세척선별(5mm이상)	1,000,000 <sup>m</sup>	• 재활용(성토재)
3차 세척선별(0.075~5mm)	10,180,000 <sup>m</sup>	• 재활용(성토재)
건조·고화처리량(0.075mm미만)	5,507,000 <sup>m</sup>	• 건조, 탈수, 고화처리등의 공법으로 개량하여 재활용
미세부유물량(응집/탈수전)	≒13,000 <sup>m</sup>	• 매립처분
여 수 량	96,800,000 <sup>m</sup>	• 여수처리 후 부남호로 방류

- 주) 1. 중력식 침전지에 의한 잔토처리는 현장여건에 따라 다소 변경이 가능  
 2. 여기서, 고화제 투입에 따른 세립토 팽창량은 제외하였음(≒154,000<sup>m</sup>)

할 수 있을 것으로 응집/탈수한 슬러지는 매립처분 한다.

## 4. 결론

이상으로 해안항만분야의 주요 관심사 중 하나인 오염 퇴적물의 준설처리기법에 대한 미국과 국내의 동향에 대해 살펴보았다. 물론, 세계 각국에서 보다 경제적이고 환경적으로 안전한 퇴적물 처리 방안을 모색하고 있으나, 본 칼럼에서는 전술한 두 경우의 예를 통하여 오염 준설토의 처리에 대한 중요성을 부각시키고, 지반공학 기술자들의 역할에 대해 논하고자 하였다. 특히, 향후에 대규모 운하사업이 현실화 될 경우, 선박의 원활한 운항을 위한 정기적인 준설이 필수불가결하고 이에 준설된 오염퇴적토의 처리방안이 핫이슈로 대두될 것이다.

## 참고 문헌

1. 최향석 and Stark (2005) "Craney Island 준설매립장의 침하거동 예측을 위한 PSDDF 해석." 대한토목학회 정기학술대

회 Proceedings, 제주도, October 20-21, pp. 3527-3530.  
2. Stark, T.D., Contreras, I.A. and Fowler, J. (1994) Management of dredged material placement operations, SETTLEMENT '94, ASCE Geotechnical Special Publication No. 40, Vol. 2, pp. 1353-1365.  
3. Stark, T.D., Choi, H., and Schroeder, P.R. (2005a) Settlement of dredged and contaminated material placement areas, I: Theory and use of PSDDF, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engrg., ASCE, Vol. 131, No. 2, pp. 43-51.  
4. Stark, T.D., Choi, H., and Schroeder, P.R. (2005b) Settlement of dredged and contaminated material placement areas, II: PSDDF input parameters, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engrg., ASCE, Vol. 131, No. 2, pp. 52-61.  
5. The Craney Island Connection (2008) Vol. 1, Issue 10, <http://www.craneyisland.info>  
6. US EPA (2005) "Draft Environmental Impact Statement (DEIS), Craney Island Eastward Expansion, Norfolk Harbor and Channels, Hampton Roads, Virginia" CEQ #20050385.

