

한강에서의 퇴적오니 준설 및 제거효과에 관한 연구

정 선 길 (한국종합기술개발공사 수자원개발부)

조 영호 (한국종합기술개발공사 수자원개발부)

천 만복 (농업기반공사 농어촌연구원)

1. 서 론

1.1 연구의 배경

1.2 연구의 범위 및 내용

2. 퇴적오니의 정의 및 특성

2.1 퇴적오니의 정의 및 종류

2.2 퇴적오니의 특성

2.3 퇴적오니 제거의 필요성

3. 퇴적오니의 제거

3.1 퇴적오니 제거기준

3.2 퇴적오니 제거계획

3.3 퇴적오니 준설공법

3.4 준설오니의 처분

4. 국·내외 퇴적오니 제거

4.1 일본의 퇴적오니준설 사례

4.2 미국의 퇴적오니준설 사례

4.3 국내의 퇴적오니준설 사례(한강하류부)

5. 결 론

참고문헌

1. 서론

1.1 연구의 배경

호소나 하천등 공공수역으로 유입되는 오염물질은 크게 점오염원(도시하수, 축산폐수, 산업폐수 등)과 비점오염원(산림, 초지, 도시용지, 건설용지, 농경지, 하상퇴적물, 도로, 대기오염강하물 등의 부하등)으로 구분되어진다. 이러한 오염물질들의 영향으로 인, 질소 등의 각종 영양소와 중금속, 농약 등의 물질들이 수중에서 흡수, 흡착에 의해 용존상태에서 입자상태의 물질로 변하거나 입자상 물질에 내포되어 중력에 의해 수체의 바닥에 퇴적하게 되는데 그 양과 위치는 유속에 크게 영향을 받는다. 즉, 유속이 완만한 정체성 수역에 많은 양이 침전되는데 이렇게 퇴적된 물질들을 퇴적오니(Contaminated sediment)라고 하며 호소나 하천의 장기적인 수체 내부오염원으로 작용하여 수중을 오염시키게 된다.

하천이나 호소에 퇴적된 오니는 하천의 고유기능인 저수량 확보 및 홍수제어 능력 등의 기능을 일부 저하시키게 되며 함유된 유기물은 분해나 그에 수반되어 일어나는 물리적, 화학적 조건의 변화에 따라 다시 상부의 수중으로 장기간에 걸쳐 용출되어 조류의 먹이가 되면서 수중의 부영양화를 촉진시킨다.

현재 호소 및 하천의 수질개선 방안으로는 오염물질의 저감, 건천화된 하천의 유지용수의 확보방안, 희석용수의 도수, 오염된 하상퇴적물의 준설 등이 있으며 하천생태계 파괴 및 수질오염의 위험성을 내포하고 있는 퇴적오니의 직접적인 준설은 오염원의 근원적 제거방법으로 보다 현실적인 방안으로 사려된다.

이에 본 연구에서는 퇴적오니의 물리적 특성과 하천에 미칠 수 있는 영향들을 검토하고 이들의 적절한 제거방법과 제거효과를 분석하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 내용

본 연구에서는 하천 및 호소에 퇴적된 오니의 물리적 특성과 이들 퇴적오니가 하천 및 호소에 미칠 수 있는 영향들을 검토하고 외국의 퇴적오니에 대한 제거사례와 제거효과들을 조사, 검토한다. 또한 퇴적오니 처리계획의 수립과정들에 대한 적절한 설정방법과 검토를 실시하고 국내에서 실시된 퇴적오니 제거사업중 최근까지 서울특별시 한강관리사업소에서 지속적으로 실시해온 한강하류부 퇴적오니 처리 및 제거효과의 조사자료들의 분석을 통하여 이들의 적절한 제거방법과 제거효과를 검토, 분석하고자 한다.

2. 퇴적오니의 정의 및 특성

2.1 퇴적오니의 정의 및 종류

퇴적오니란 도시하수, 농업배수, 축산폐수, 산업폐수 등의 유입으로 인하여 하천이나 호소에 퇴적된 토양의 입자뿐 아니라 수중 오염물질도 같이 침전 퇴적되어 인간의 건강 혹은 환경에 해로운 영향을 줄 수 있는 독성, 유해물질이 포함된 토양으로서 장래 환경보전 관점에서 준설을 통하여 제거되어져야 할 물질이며 그 종류에는 유해물질함유 퇴적오니, 유분함유 퇴적오니, 유기물함유 퇴적오니로 구분할 수 있다.

퇴적오니는 유해물질, 유분, 유기질 물질 등에 의해 오염된 아주 미세한 입자와 하상퇴적토가 혼재하는 형태로 하천이나 호소 저면에 쌓여있으며 입자가 미세하여 외부충격에 의한 교란이 매우 심한 특징을 갖고 있으며 장기간 축적된 오염물질의 용출에 의해 조류 이상변식 현상이 발생될 수 있다.

환경보전의 관점에서 치리처분의 대상이 되는 퇴적오니의 종류는 다음의 세가지 종류로 구분할 수 있다.

2.1.1 유해물질 함유 퇴적오니

Hg, Cd, Pb, Cr⁺⁶, As, PCB 등 중금속 및 유해물질의 양을 기준치 이상으로 함유하고 있는 퇴적오니로 함유된 중금속 및 유해물질은 미량일지라도 분해되지 않고 식물연쇄, 직접흡수, 미생물에 의해 메틸화나 다른 유기 금속의 형태가 될 수 있다. 이러한 유기 금속은 어류에 축적이 되며 생물농축되어 인간의 건강을 해치는 수가 있으며 또한 농도, 영향, 시기에 따라서는 어패류의 사멸을 초래할 수도 있어 생태계에 미치는 영향은 크다.

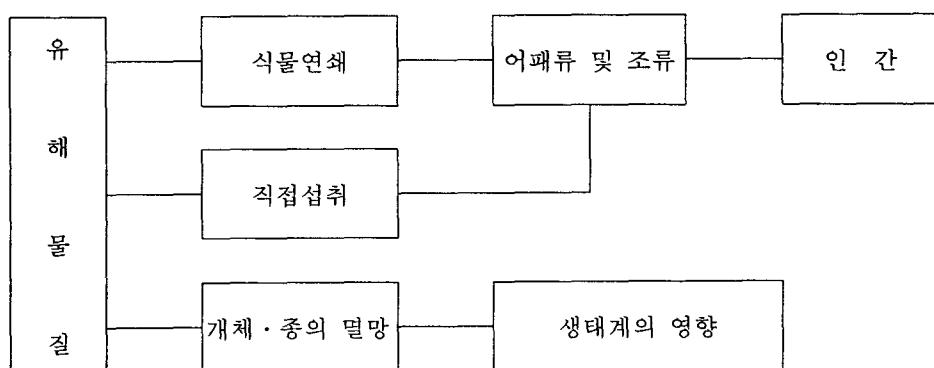


그림 2.1 유해물질 함유 퇴적오니에 의한 영향

2.1.2 유분을 다량 함유하고 있는 퇴적오니

어류에 기름냄새가 나는 정도 이상의 유분(μ -헥산 추출물질)을 포함한 퇴적오니의 영향은 주로 수산생물 등에 나타나며 기름 냄새나는 어류발생의 원인이 되는데 어패류의 산란 등에는 영향이 적다. 기름 냄새나는 어류발생 메카니즘에 대해서는 수질중의 특이 냄새를 유발하는 물질뿐만 아니라 퇴적오니중의 함유된 광물성 유분에 원인이 있다. 어류의 냄새는 기름 속의 냄새가 배기 쉬운 성분량에 의해 또 어종에 의해 차이가 있으며 퇴적오니중 0.2%의 기름에서 발생한다. 어류가 냄새배는 계통은 기름이 아가미로 들어가 극히 단시간에 온몸에 냄새가 배인다고 생각되고 있으며 식물연쇄에 의해 냄새가 배는 일은 극히 적다. 특히 냄새물질로는 일반적으로 툴루엔이나 크실렌 같은 비등점이 낮은 방향족 탄화수소로 추정되며 이들 특이 냄새물질을 고려해서 기름냄새가 나는 어류발생의 메카니즘에 대한 검토는 많이 행해지고 있지만 아직까지 확정적인 연구 결과는 없는 실정이다.

2.1.3 유기물질을 다량 함유하고 있는 퇴적오니

유기물을 다량으로 함유하고 강렬감량이 큰 퇴적오니는 수질 및 수중생태계에 악영향을 미친다. 부영양화의 중요 원인인 질소, 인등의 영양염류의 공급원이 되는 유기성 퇴적오니는 조류의 성장을 촉진시키고 수중의 용존산소를 고갈시켜 녹조(적조)발생의 원인이 된다. 이러한 현상은 수중의 호기성 상태를 혐기성 상태로 변환시켜 수생식물, 조류, 바닥 생물의 사멸을 초래하거나 어패류의 산란하는 장소를 빼앗아 생물이 번식을 할 수 없게 한다. 이러한 퇴적오니는 혐기성상태에서 분해되어 황화수소, 메틸메캅탄, 메탄가스 등이 발생하며 악취를 발생하게 된다.

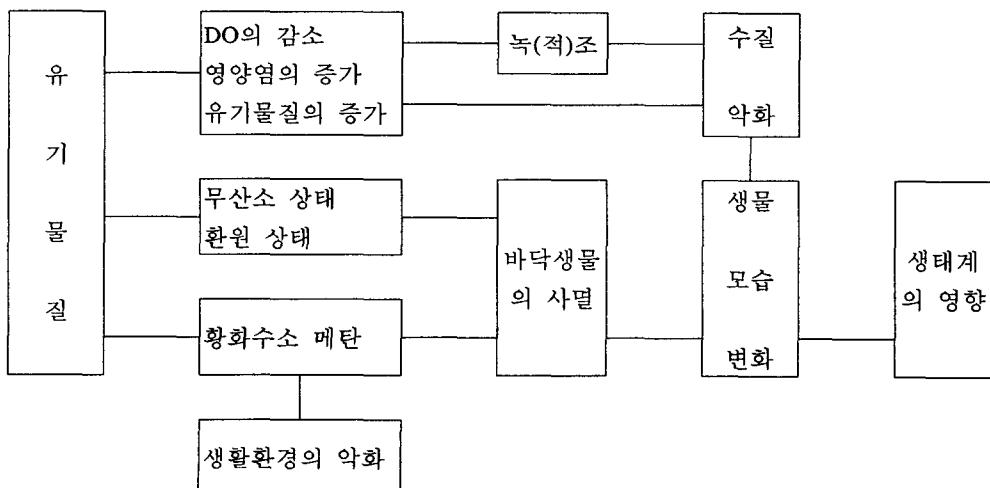


그림 2.2 유기물질 함유 퇴적오니에 의한 영향

2.2 퇴적오니의 특성

2.2.1 오니의 형성

하천이나 호소에 퇴적된 오니는 미국 및 일본을 비롯하여 세계 각국에서 자국의 안정적인 수자원 및 수질확보를 위하여 많은 기관에서 연구되어 지고 있으며 환경오염의 한 부분으로 중요한 위치를 확보해가고 있다.

오니는 외양이나 특징으로 보면 토양의 점토나 실트에 가까우며 따라서 오니는 토양의 한 형태로 취급하는 것이 보편적이다.

퇴적오니는 토양이 오염물질과 함께 물이나 바람 및 화학적인 부식과정을 거쳐 하천으로 유입되어 운반과정을 거친 후에 하천이나 호소에 다시 퇴적되어 형성된 또 다른 형태의 토양이므로 부식과정(화학적, 물리적 또는 생물학적인 과정)의 선택적인 성질 때문에 화학적 성질은 약간 다를 수 있으나 퇴적오니의 화학적 성질은 원래 토양의 근원과 밀접한 관련이 있다. 상류지역의 토양이 유기물을 많이 함유하고 있는 토양이거나 토지가 논과 밭 등으로 많이 이용되는 유역일 경우 퇴적오니내에 질소, 인 등의 유기물과 각종 농약성분 및 중금속 등의 함량이 높다. 따라서 상류지역의 토양의 성질 및 토지 이용정도를 조사함으로서 하천이나 호소 내의 퇴적오니의 성질을 및 특징을 알 수 있는 중요한 조사가 될 수 있을 것이다.

퇴적오니의 상당부분은 수중 혼탁물질의 침강에 의해서 형성되는데, 그 혼탁물질은 육지에서의 배출수에 함유되는 경우, 하천에서 유입되는 경우 및 항만내에서 생산되는 경우를 생각할 수 있다.

침강의 과정으로는 하천수, 배출수안의 혼탁물질의 응집→침강→침강물의 재부유→혼탁물질의 유동과 확산→입자의 재침강을 생각할 수 있으며, 그 침강의 원으로는 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

- 유속의 감소 - 하천, 배수구에서 유입하는 입자가 큰 혼탁물질의 침강
- 응집 침전 - 콜로이드 입자의 응집, 생물 응집
- 이온 반응 - 염화나트륨이 염화칼슘으로 변하는 등의 석출반응
- 흡착 - 용존유기물의 혼탁물질에의 흡착
- 항만내의 생산 - 수산동식물의 시체 등의 침전

상기의 원인으로 배출되어 유입된 혼탁물질은 일반적으로 배수구로부터 1km이내에서 그 대부분이 침강한다. 또 하천이나 호소내에서 생산된 식물프랑크톤은 사멸한 후 흐름이 약한 지역에서 대부분 침강한다. 수체내에 대량으로 존재하는 박테리아는 세균이 서로 붙어서 하나의 덩어리를 만든다. 이 세균의 덩어리는 각종의 오염물질을 흡착하는 성질을 갖고 있으며, 흐름이 약한 지역에서는 침강한다. 이것들을 일반적으로 생물학적 응집이라 한다.

오니의 퇴적속도는 지형·흐름의 상황·현탁물질량에 의해서 결정되는데 일본 동경만의 연안부에서는 3~7cm/년 정도이고 팔당호의 경우는 3.4cm/년(북한강 0.4cm/년, 남한강 3.3cm/년, 경안천 12.6cm/년, 팔당본류 2.4cm/년) 정도이며 대청호의 경우는 7cm/년 정도로 추정되고 있다.

오니함유물질의 주요 배출원으로는 다음의 유해함유물질은 배출하는 업종은 <표 2.2-1>에 나타내었다. PCB에 관해서는 1973년 6월 이후, 제조가 금지되었고, 현재 배출 가능성이 있는 업종은 고지재생업, 폐기물 처리장 등이다.

유분을 배출하는 업종으로는 석유정제, 석유화학, 기계 등을 생각할 수 있으며 이외에 선박 등에서 버려지는 폐유 등도 있다.

또 유기물을 다량으로 배출하는 업종은 파이프, 섬유, 식품공업등이고, 하수처리장 배수도 큰 배출원이다. 또, 유기오니의 발생원으로서 부영양화한 내항에서는 식물프랑크톤 등의 시체도 무시할 수 없으며 유기오니는 악취 물질을 포함하는 경우가 많다.

2.2.2 퇴적오니의 특징

퇴적오니는 토질면에서 실트나 점토의 함량이 대부분이고 자연상태 오니의 밀도는 1.20g/cm³ 정도이며 유기물 농도와 함수율 또한 상당히 높다. 유기물이나 질소, 인 등은 인간의 활동에 의해서 대부분 유입되어 부유물질에 흡착 또는 용존상태로 대부분 하천으로 유입 후 퇴적되어 형성된 만큼 인간과 밀접한 하천이나 호수일수록 퇴적오니내에서 농도가 높다.

또한 퇴적오니는 교란에 의해서 쉽게 부유되며 퇴적오니의 색깔은 짙은 흑갈색 및 회색을 나타내며 악취를 발생한다.

토사 및 오염물질들의 오랜 기간 축적으로 인한 퇴적오니의 형성으로 하천이나 호수는 장기적인 내부 오염원을 안고 있는 실정이다. 이러한 퇴적오니는 처음에는 이온교환, 흡착, 침전 등으로 오염물질을 제거하는 역할을 하지만 그 뒤 오랜 기간동안 이송, 이온교환, 분자확산, 생물기작 등을 통해 오염물질의 공급원으로의 역할을 하게된다. 그리고 퇴적오니 자체가 물보다 오염물질의 농도가 높은 간극수의 유출, 환원환경에서 유화물로 저류 되었던 중금속류가 산화물로의 변환에 따른 중금속의 용출가능성, 퇴적오니표면에 흡착되었던 중금속과 인의 탈착, 유기물의 급격한 분해에 의한 영양염류의 용출, 오염농도가 높은 세립질 부유물질의 광범위한 확산 등이 수질관리상 문제점을 야기시키고 있다

표 2.1 유해물질과 그 배출원

유해물질	발생업종	사용·공정·발생공정 등
시안 (CN)	a.전기도금공업 b.제철소·가스공장·코크스공장의 코크스용광로 c.화학공업(아크릴니트릴 제조공장 등)	a.전기용접시에 피도금물에 대한 부착용 액을 세정수조에서 세정, 노화도금액의 폐기, 설비관리의 불충분에 의한 도금통의 파손등으로 누출 b.코크스용광로에서 석탄속에 함유된 질소가 반응하여 시안을 생성하는데, 그것을 씻어내기 위하여 배수중에 시안이 포함된다. c.아크릴니트릴을 제조할 때에는 암모ニア와 프로필렌을 반응시키기 때문에 시안이 부수적으로 발생한다.
알킬수은 (R-Hg) 총수은 (T-Hg)	a.수은전해법 가성소다 제조업 b.아세틸렌법 염화비닐모노마 제조업 c.화학공업(활성알루미나·승홍·농약·황화수은·인산수은 등의 제조업) d.수은계기·건전지·수은등·수윗치 제조업 e.프린트기판 제조업 f.수은회수·수은정제업	a.식염 전기분해의 전극에 수은을 사용 b.염화비닐 합성반응탑의 촉매에 승홍(염화제2수은)을 사용, 원료에 수은을 사용 c.재료에 수은을 사용 d,e.에칭의 촉진제로써 수은을 사용 f.불순수은·폐활성탄등에서 수은을 회수 또는 정재
유기인 (O-P)	농약(파라티온, 메틸파라티온, 메틸지메론, EPN등)등의 제조업	원료로 유기인을 사용
카드뮴 (Cd)	a.도금공업(카드뮴도금) b.화학공업(안료·촉매·염화비닐안정제 등) c.기계·전자기기 제조업(항공기·자동차부품·기계·전자기기·용수철·나사 등) d.아연정련소	a.도금제로 카드뮴을 사용하고, 씻어내는 공정등에서 배출된다. b.원료의 일부에 카드뮴을 사용 c.부품·베어링·촉매 등에 카드뮴을 사용 d.아연광 속에 카드뮴을 포함한다.
납 (Pb)	a.화학공업(안료·도료·유약 등) b.유리제조업(납유리) c.납축전지 제조업 d.휠자 제조업 e.납판 제조업 f.인쇄공장 g.도자기제조업 h.납재생업	a, b.원료의 일부에 납을 사용 c.재료의 일부에 납을 사용 d, e.재료로 납을 사용 g.주조휠자·휠자판이 가솔린 세정 h.불순납을 다시 사용
육가크롬 (Cr ⁺⁶)	a.크롬도금공업 b.화학공업(안료·촉매·녹방지제등) c.합금제조공장 d.피혁공장(크롬무두질) e.금속제품 제조업	a.도금제로 크롬을 사용 b.원료의 일부에 크롬을 사용 c.생피를 무두질하기 위한 무두질제로써 크롬염류를 사용한다. d.크롬산에 의한 표면처리
비소 (As)	a.화학공업(무기약품·촉매·농약등의 제조공장) b.황산제조공업 c.비료제조업(암모니아 제조공장)	a.원료에 비소를 사용 b.원료에 비소를 함유한 바이라이트광석을 사용 c.탈탄(탄산가스제거)의 촉매로 비소를 함유한다.
PCB (폴리 염화 비페닐)	a.각종 화학공업 b.식품공업 c.합성수지 제조업 d.인쇄업(古紙再制業 등) e.도료 제조업 f.느-카본 복사지 g.가정전기제품 기계제조업	a,b,c. 열 매체로써 사용 d.난연용 가역제로써 사용 d,e.인쇄잉크, 도료에 함유된다. f.용매로써 P.C.B. 그 자체를 사용 g.콘덴서용 절연유로써 사용

2.3 퇴적오니 제거의 필요성

수중의 퇴적오니는 내륙에서 배수된 토양, 유기물질 혹은 광물질로서 수체의 바닥에 침전되어 인간의 건강 혹은 환경에 해로운 영향을 줄 수 있는 독성 혹은 위해물질을 포함하고 있다. 퇴적된 오니는 수질오염의 주원인으로 도시하수나 농업배수, 축산폐수, 산업폐수, 공장폐수 등 의 유입을 통하여 하천이나 호소, 해저에 퇴적되어 질소, 인 등 무기염류의 농도를 증가시켜 영양염류를 증대시킴으로써, 부영양화를 발생시킨다.

부영양화가 일어남으로써 조류가 다량으로 증식하게 되고, 조류의 사체를 분해하기 위한 미생물이 다량의 용존산소를 소비하게 되어 어류 및 수중 생태계를 위협하게 된다.

또한 산업폐기물이나 공장폐수 등의 유입으로 인하여 중금속이 함유된 오니층이 생성되면 수질악화는 물론 생태계가 파괴되는 위험에 처하기도 한다.

일본 가스미가우라호의 경우 저질토로 부터의 인의 유입량이 전체 오염부하량의 50%정도를 차지하고 미국 코네티컷주의 Linsley Pond의 경우는 45% 미네소타주의 Shagawa Lake의 경우 전체부하의 66%를 차지한다고 보고되고 있으나 우리나라의 경우는 아직 연구결과가 보고되지 않고 있는 실정이다.

따라서 수질오염 유발 및 생태계 파괴 위험성을 내포하고 있는 오니를 근원적으로 제거하는 것이 최선의 방책으로 사료된다.

하상의 오염된 퇴적물이 협기성 분해에 의해 가스가 발생하고, 퇴적오니가 함께 부상(bulking)되면서 수질오염을 유발할 가능성이 있으며, 봄, 가을에는 수심별 수온차에 의한 전도 현상(turn over)으로 오염된 퇴적물의 교란을 일으킬 수 있다.

호소에서의 저수용량 확보와 하천에서의 통수단면적의 확보측면에서도 오니준설이 요구되며, 이를 통해 호소와 하천 본래의 역할 수행을 원활히 함과 동시에 수질개선에도 도움이 된다.

3. 퇴적오니의 제거

3.1 퇴적오니 제거기준

3.1.1 한국

국내에서 퇴적오니의 제거는 1980년 후반에 들어서야 관심을 갖기 시작하였다. 마산항의 퇴적물 제거사업을 비롯하여 1993년에는 팔당호 수질개선을 목적으로 “팔당호 퇴적물 준설사업” 계획수립시에 외국 사례를 중심으로 하여 준설기준을 제시한바 있으나 동 계획은 여러 가지 사정으로 무산되었으며 현재 서울특별시에서 한강의 수질개선 목적으로 1994년 잠실수중보 상류 취수장 부근을 시작으로 각 지천하구에 퇴적된 퇴적오니를 준설해오고 있다.

가. 팔당호의 퇴적오니 제거기준

한강수계 저수지중 제일 하류부에 위치한 팔당호의 퇴적오니 제거 기준의 적용은 다음 표 3.1의 4개 항목 중 지역 및 농도에 따라 2~3개의 항목이 기준을 초과하는 지역에 한하여 준설하여야 하며 다른 항목은 기준을 상회하거나 특정 항목의 농도가 기준치 보다 매우 높은 지역이 있을 경우 이 지역도 준설범위에 포함하도록 하였다.

표 3.1 팔당호의 퇴적오니 제거기준

항 목	기 준	비 고
T-N	1,100mg/kg 이상	
T-P	800mg/kg 이상	
강열감량	7.0% 이상	
COD	20,000mg/kg 이상	

나. 한강의 퇴적오니 제거기준

한강에서의 퇴적오니 제거 기준의 적용은 다음 표 3.2의 5개 항목 중 기준을 초과하는 경우로 설정하였으며 이를 항목중 잠실수중보 상류는 2개 이상, 하류부는 3개 이상이 기준치보다 초과되는 경우로 하였다. 잠실수중보 상류의 기준을 강화하는 것은 상수도 취수역으로서 보다 높은 수질조건을 갖추어야 하기 때문이다.

표 3.2 한강의 퇴적오니 제거기준

항 목	기 준	비 고
T-N	2,000mg/kg 이상	
T-P	1,000mg/kg 이상	
강열감량	10.0% 이상	
COD	20,000mg/kg 이상	
황화물	1,000mg/kg 이상	

이 외에도 환경부에서 공공용수역의 수질오탁, 어패류오염 등의 원인이 되는 오염바닥물질의 제거등의 기준으로 “바닥물질의 처리·처분 등에 관한 잠정지침” 및 “바닥물질의 잠정제거 기준”을 정하여 잠정제거기준에 해당하는 바닥물질에 대해서는 준설, 봉입 등의 요구대책을 강구하도록 하였다. 이에 따르면 수은을 함유한 바닥물질의 잠정제거기준치는 하천 및 호수에 있어서 25ppm이상으로 하였으며 PCB를 함유한 바닥물질의 잠정제거기준으로는 10ppm 이상으로 하였다.

3.1.2 일본

일본의 준설 기준을 보면 퇴적오니의 성분분석 없이 오염이 심한 연안지역이나 오니의 색깔로 기준을 삼는 경우도 있으나 항목별 준설기준을 살펴보면 COD 20,000~40,000mg/kg, 강열감량 1~20%, T-N 1,600~3,000mg/kg, 황화물 1,000mg/kg로 조사되었다.

가. 동경항 및 요코하마항

동경항 및 요코하마항은 각각 1972년~1981년, 1973년~1979년간에 걸쳐 각각 2,400,000m³, 691,000m³의 퇴적오니를 준설하였으며 이때 설정한 준설 기준의 적용은 COD, 황화물, 강열감량 3가지로 다음 표와 같은 기준을 설정하여 점수를 산정하여 총 6점 이상이면 제거하였다.

표 3.3 동경항 및 요고하마항의 오니 제거기준

강열감량(%)	평가점	COD(mg/g)	평가점	황화물(mg/g)	평가점
0~5미만	0	0~13미만	0	0~0.6미만	0
		13~20미만	1	0.6~1.0미만	1
5~15미만	3	20~30미만	2	1.0~5.0미만	2
		30~40미만	4	5.0~10.0미만	4
15 이상	6	40이상	6	10 이상	6

나. 나고야항

나고야항의 오니 제거 기준의 적용은 COD, 유화물, 강열감량 3개 항목 중 2개 항목에서 (+)가 평가되면 제거하는 것으로 하였다.

표 3.4 나고야항의 오니 제거기준

항 목	기 준	평 가
COD	2,000mg/kg 이상	+
	2,000mg/kg 미만	-
강열감량	10.0% 이상	+
	10.0% 미만	-
황화물	1,000mg/kg 이상	+
	1,000mg/kg 미만	-

일본의 상기 지역외에서 준설한 퇴적오니의 제거기준 및 처리 시행예는 아래 표 3.5와 같다.

표 3.5 일본 기타지역 퇴적오니 제거기준 및 제거량

지 역	준설기간	준설량(m^3)	제거기준
大板	1973~81	1,645,000	강열감량 15%
妃路	1974~80	460,000	강열감량 15%
鹽釜	1972~77	47,000	강열감량 15%
尼崎, 西宮, 芹屋	1977~81	200,000	COD 20mg/g 유화물 1mg/g
東幡磨	1978~79	50,000	COD 20mg/g 유화물 1mg/g
東子	1977	20,000	악취도
三田尼中關	1976~78	444,500	강열감량 15%
三河	1973~75	50,500	COD 26mg/g 유화물 1mg/g 강열감량 10%
油津	1974	18,000	강열감량 20%

3.1.3 미국

미국의 환경보호청(EPA)에서는 1994년 “Contaminated Sediment Management Strategy” 보고서에서 퇴적물질 기준을 보면 저생 유기물의 보호를 위해 기준을 개발하고 있는데 이들 기준은 총 유기탄소가 퇴적물 건조중량으로 0.2%이상인 지역에 적용하도록 고안되었으며 노출의 일차적인 방법은 퇴적물과의 직접적인 접촉이며 혹은 물과 퇴적물 사이에 평형이 형성되어 있음을 나타내는 정보가 있다. 현재 5개의 물질에 대한 기준이 제시되고 있는데 nonionic organic compounds acenaphthene, dieldrin, endrin, fluoranthene, phenanthrene이며 추가적으로 nonionic organic compounds에 대해 퇴적물질 기준을 개발하고 있으며 금속에 대한 기준도 준비하고 있다.

또한 환경보호청(EPA)에서 발행한 “Selecting Remediation Techniques for Contaminated Sediment” 보고서는 침전물에서 전형적으로 발견되는 오염물질을 다음과 같이 8가지 그룹으로 분류하였다.

1. Polynuclear aromatic hydrocarbons
2. 농약류(Pesticides)
3. 염화탄화수소(Chlorinated hydrocarbon)

4. Mononuclear aromatic hydrocarbons(benzene and its derivatives)
5. Phthalate esters
6. 금속류(Metals)
7. 영양소(Nutrients)
8. 시안과 유기금속 등의 혼합물(Miscellaneous such as cyanides and organic-metals)

미국 공병단은 환경보호청(EPA)에서 개발한 인간 건강과 해양 영향에 대한 기준에 의거하여 준설물질에 대한 처분 허가를 한다. 진행과정은 환경보호청의 관리 및 감시계획을 통해 환경영향을 검토하는데 오염된 침전물은 수계나 연안 혹은 고지대 오염지역으로 처리하기 위해 보내질 수도 있다.

비교적 깨끗한 침전물은 제한하지 않는 수계에 방류될 수도 있으며 역사적으로 해양이 폐기물의 처리장으로 이용되어 다. 해양으로 투기되는 물질의 90% 이상은 미국의 항구나 수로에서 준설한 침전물이다.

과거에 해양은 폐기물을 동화시킬 수 있는 능력이 있다고 생각하여 왔으나 이러한 가정은 점차 바뀌기 시작하였으며 해양의 동화 능력은 유한하다는 것을 인식하고 1988년 해양투기방지법에 의해 하수슬러지나 산업폐기물의 모든 해양 투기는 1991년 12월에 종식되었다.

다음은 미국의 일부지역에서 필요에 의해 제안된 퇴적물의 수질관리 기준이다.

표 3.6 준설물질 최대허용농도 연방수질관리 기준(단위 : mg/kg, mg/l)

항 목	기 준	비 고
휘발성 고형물(Volatile solids)	6.0	
COD	5.0	
총킬달질소(TKN)	0.10	
오일 및 그리스	0.15	
수은(Hg)	0.0001	
납(Pb)	0.005	
아연(Zn)	0.005	

표 3.7 Great호 항구의 침전물 분류를 위한 EPA 기준(단위: mg/kg)

항 목	오염이 되지 않음	보통오염이 됨	오염이 심함
Volatile solids	< 5%	5~8%	> 8%
COD	< 40,000	40,000~80,000	> 80,000
총킬달질소(TKN)	< 1,000	1,000~2,000	> 2,000
납(Pb)	< 40	40~60	> 60
아연(Zn)	< 90	90~200	> 200
수은(Hg)	-	-	≥ 1.0
Oil & Grease	< 1,000	1,000~2,000	> 2,000
암모니아(NH ₄ ⁺)	< 75	75~200	> 200
시안(CN)	< 0.1	0.1~0.25	> 0.25
인(P)	< 420	420~650	> 650
철(Fe)	< 17,000	17,000~25,000	> 25,000
니켈(Ni)	< 20	20~50	> 50
망간(Mn)	< 300	300~500	> 500
비소(As)	< 3	3~8	> 8
카드뮴(Cd)	-	-	≥ 6
크롬(Cr)	< 25	25~75	> 75
바륨(Ba)	< 20	20~60	> 60
구리(Cu)	< 25	25~50	> 50
총 PCB	-	-	≥ 10

3.2 퇴적오니 제거계획

수중에 오니가 존재함에 의한 폐해를 없애는 것이 퇴적오니 처리 및 처분의 기본목적이다. 그러나 어느정도로 오염된 오니에 의해, 어떠한 폐해가 초래되는가는 그 다양성 때문에 정확한 파악이 쉽지 않다. 가능한 한 상기의 인과관계를 명확히 한 다음에, 이차적인 오염을 일으키지 않고 폐해의 원인이 되고 있는 오니를 남김없이 처리·처분하는 계획을 세워야 할 것이다. 또한, 해당수역 주변의 이용상황 등에 대해서도 고려하여 적절한 처리·처분계획이 되도록 다음사항들을 고려하여 계획하여야 할 것이다.

3.2.1 대상오니의 확인

여러 가지 정보로 처리처분해야 할 오니의 존재가 의심받게 되어 조사가 시작되는 것이 보통인데, 그것이 확인되면 처리처분의 계획이 입안된다. 그러나 앞에 기술한 바와 같이, 오니와 그것으로 인한 악영향 사이의 인과관계가 명확하지 않은 것이 많기 때문에, 처리처분 해야할

오니의 확인은 쉽지않다. 오니의 성질과 그 영향을 정확히 파악하고 오니의 조사를 실시한 결과를 토대로 하여 대상오니를 확인해야 하며 「퇴적오니 제거기준」을 일단의 확인재료로 할 수 있다. 처리·처분해야 할 오니의 존재가 확인되어도 무한히 연속적으로 존재하는 바닥물질 중, 어느 범위의 것이 처리처분을 필요로 하는 오니인가를 확인하는 것은 쉽지 않다.

따라서 매우 정밀한 측량조사를 한 뒤에 그 해역에 정통한 학식경험자에 의한 위원회 등을 조직하여 그 답신에 근거한 적절한 절차로 대상오니를 확정하는 방법을 취하여야 한다.

3.2.2 공법의 선택

퇴적오니의 처리공법을 대별하면, 오니를 원위치에서 제거하는 준설처리법과 원위치에 놓고 봉입해버리는 원위치처리법의 2가지가 있다. 게다가 준설처리법에 의한 경우에는 준설한 오니의 처리법으로써 매립처분을 할 것인가, 수중 투입처분을 할 것인가를 선택하지 않으면 안된다. 그것을 위해서는 그 수역의 이용상황, 장래의 이용계획, 또는 관계수역의 각종 이용계획과 바람직한 생태계의 유지방법 등을 포함한 넓은 시야에서의 판단이 필요하다.

상기의 관계를 그림으로 나타내면 다음 그림 3.1과 같다.

3.2.3 공사에 의한 2차 오염

퇴적오니의 처리처분 공사에서는 오염의 확산을 적극적으로 억제할 필요가 있다. 따라서 계획의 입안시에는 공사에 따른 오염의 정도를 예측하는 것이 중요하다. 공사에 따른 오염의 방지대책은 최근 급속히 진보했으나, 오염의 확산을 전무하게 하는 데까지는 이르지 못했고, 또 이것을 예측하는 것이 그렇게 쉽지는 않다. 이에 대해서 적절한 공법의 선택과 그 대책을 수립하여야 한다.

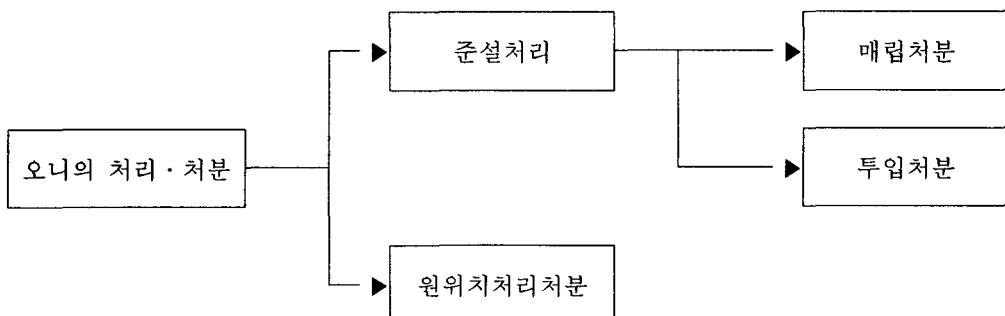


그림 3.1 퇴적오니 처리 및 처분

3.2.4 공사효과의 사전평가

계획입안에 있어 공사효과를 사전 평가할 필요가 있다는 것은 말한 나위도 없다. 특히 공사에 드는 비용이 방대한 것이기 때문에 그 효과의 사전평가를 신중하게 하지 않으면 안된다.

그러나 이미 기술한 바와 같이 오니의 존재와 그에 따른 폐해의 인과관계가 반드시 명확하지는 않으므로, 공사효과의 정확한 사전평가는 할 수 없는 경우가 적지 않다. 공사효과의 정확한 사전평가는 공사의 실시 예가 증가하여 그 사후평가가 장기적이고 넓은 범위에서 조사되고서야 비로서 유추할 수 있는 성질의 것이다.

그렇지만, 현재에도 어느정도의 사전평가는 가능하므로, 설령 현상태에서는 불완전하더라도 퇴적오니의 성질과 그 영향을 참고로 하여 할 수 있는 한 사전평가를 실시하여 조금이라도 합리적인 계획을 세우지 않으면 안된다.

3.3 퇴적오니 준설공법

준설은 공사의 대상이 수중 바닥에 있고 저질의 파악이 육상에 비하여 곤란하고 기상 및 수상 표면의 상황에 따른 영향이 크고 공사관리에 있어서도 내용이 복잡하다. 과거에는 준설이 하상정비 및 골재채취 등으로 준설에 의한 2차 오염의 문제가 심각하게 고려되지 않았지만 최근의 퇴적물 준설은 환경개선을 위하여 행하여지기 때문에 공사중 또는 공사후에 나타나는 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 준설에 따른 오염의 발생을 방지하고 대상 퇴적물을 확실히 제거하는 것이 요구된다.

퇴적물 준설공사의 계획은 준설공법뿐 아니라 여수처리, 환경감시 등을 충분히 고려하여 계획하여야 한다.

3.3.1 준설선 선정

과거 하천이나 항만에 퇴적된 오니준설은 일반적으로 펌프식이나 그랩식 준설선에 의하여 행하여 왔다. 퇴적오니 준설은 준설기구나 수송방법에 따라 각각의 특징을 갖고 있으며 준설공사에 있어 효과적인 목적을 달성하려면 다음과 같은 특징을 충분히 고려하여 준설선을 선정하여야 한다.

가. 자연 조건

퇴적물의 준설작업이 행해지는 장소에 따라 풍향, 풍력, 조류, 조위 등이 다르고 홍수, 태풍에 의해서도 영향의 차이가 있다. 기상, 수상 조건이 나쁜 곳에서는 선박의 규모가 큰 것이 유리하고 비항식에 비하여 자항식의 준설선은 내파성이 뛰어난 경우가 있다.

공사현장의 지리, 지형은 각각 다른 특성을 갖고 있다. 인접한 육지의 지형에 따라 외해로부터 상황이 다르고 수저의 토질에 따라 준설선의 좋고 나쁘게 된다. 또 악천후시 피난방지, 급유, 급수시설까지의 거리, 작업구역의 수심, 면적의 대소에 따라 서로 준설선이 갖고 있는 여러 가지 특성에 맞는 선종, 선형과 맞지 않는 것이 있어 안전하고 특히 가동효율이 좋은 준설선을 선택할 필요가 있다.

나. 사회적 조건

퇴적물의 준설작업이 행해지는 수역의 수자원 이용 상황을 고려하여 상수 취수원이 인접하여 위치하고 있는 경우에는 상수 취수에 미치는 영향을 고려하여 탁도의 발생이 적은 선종을 선택할 필요가 있고 부근에 주택이 있는 경우 소음이나 악취의 발생이 적은 기종을 선택한다.

다. 준설지반의 성상

퇴적물의 퇴적 두께가 충분한 경우에는 표준적인 부하 두께로 준설하는 것이 가능하나 두께가 얕고 광범위하게 분포 퇴적되어 있는 경우에는 준설선의 선종에 따라 함니율이 저하되고 여굴량이 증대하는 등 작업효율이 저하된다. 따라서 퇴적물의 두께, 면적, 토량을 충분히 파악하여 적합한 준설선을 선택하여야 한다.

퇴적물은 일반적으로 함수비가 높고 단위중량이 토사보다는 낮고 연약하다. 그러나 경우에 따라 단단한 것이나 겹층을 이루고 있거나 토사나 모래층을 갖고 있는 것도 있다. 이 경우 퇴적오니준설 전용 펌프선으로는 준설 능력이 저하하거나 준설이 불가능하게 되는 경우도 있어 이런 상황을 충분히 파악하여 준설선을 선정하여야 한다.

퇴적물은 일반적으로 쓰레기류(나무조각, 비닐, 철류, 돌조각등)를 많이 함유한다. 펌프 준설선에 대하여는 쓰레기는 직접 펌프의 날개 또는 흡입구에 막히기 쉽고 준설작업이 쓰레기 제거 때문에 중단되는 경우가 많아서 소요 준설 능력을 확보할 수 없는 경우가 많다. 때문에 쓰레기는 준설선 선정에 있어 고려해야 할 중요한 요소이다.

유해물질을 함유한 퇴적물을 준설하는 경우는 준설에 의한 탁도와 같이 확산하는 유해물질의 모니터링 지점에 있어서 환경기준을 초과하지 않는 것이 전제조건이고 이에 적당한 준설선을 선정하여야 한다. 유해물질의 모니터링 지점에 대한 영향을 조사하는 경우 그 퇴적물에 함유한 물질이 준설에 의한 충격에 의하여 용출하는지 여부와 준설시 발생하는 탁도의 기준치 초과여부를 확인하는 것이 중요하다.

라. 준설의 시기 및 공기

저서생물, 어류의 번식 시기에는 필요에 따라 공사의 공기를 피해야하고 여수 탁도를 낮추어야 한다.

일반적으로 공기는 준설선의 능력과 상관이 있으나 이것만이 아니고 선단의 처리능력이 부족한 경우 또는 부적당한 경우에는 선단 수와의 상관도 고려하여야 한다. 또 수선단의 작업을 필요로 하는 경우에는 각각의 선단을 동일한 규모의 것으로 하는 것이 적당한 경우와 규모가 다른 것을 조합하는 것이 보다 합리적인 경우도 고려한다.

마. 처리장과의 이격거리

일반적으로 거리가 짧은 경우에는 펌프 배송이 적당하고 원거리의 경우에는 토운선 운반이 적당하다. 이것은 중계 펌프를 이용하여 장거리 배송도 가능하나 수송능력이 저하하고 비용이 높아지는 경우가 많기 때문이다. 그러나 토운선을 이용하는 경우에도 양육용 펌프 배송 등이 필요한 경우 등은 원거리에서도 펌프 배송이 적당한 경우도 있다. 준설선의 선정에 있어서 이러한 상황을 고려하여야 한다.

3.3.2 준설공법의 비교

오니 준설선에는 보통 다음과 같은 것이 있다.

- 펌프준설선
- Grab준설선
- 기타 준설선

가. 펌프준설선

펌프준설선은 지금까지의 원심력 펌프를 이용하여 흡입하는 것과 특수펌프를 이용하여 흡입하는 것으로 대별된다. 그러나 두가지 모두 각각 특수한 흡입장치로 흡입구 안팎의 압력차 이를 이용하여 해저오니를 흡입하는 기구로 되어 있어 거의 동일한 원리로 준설하는 방법이다. 일반적으로 이 펌프방식에 의한 준설시의 오염발생, 오니함유율의 대소는 펌프의 종류, 능력보다는 흡입구와 오니의 접촉부분 및 운전기술에 의해 크게 영향받는 일이 많다.

(1) 원심력 펌프를 이용한 준설선

(가) Drag Suction 준설선

일반적 토사준설에 사용되고 있는 Drag Suction 준설선을 그대로 오니준설에 이용하는 것이며, 그 Drag Head를 개량해서 오니를 준설하는 경우도 있다. 그러나 오니준설의 경우는 오염

방생을 적게하기 위하여, 일반적인 토사준설에 비해 Drag Head의 견인스피드를 충분히 조정하여 준설을 하고 있다. 또 Drag Suction 준설선은 파도에 잘 견디기 때문에 외양파 면한 넓은 항로등에서 비교적 대량의 오니를 준설하는데 적당하다.

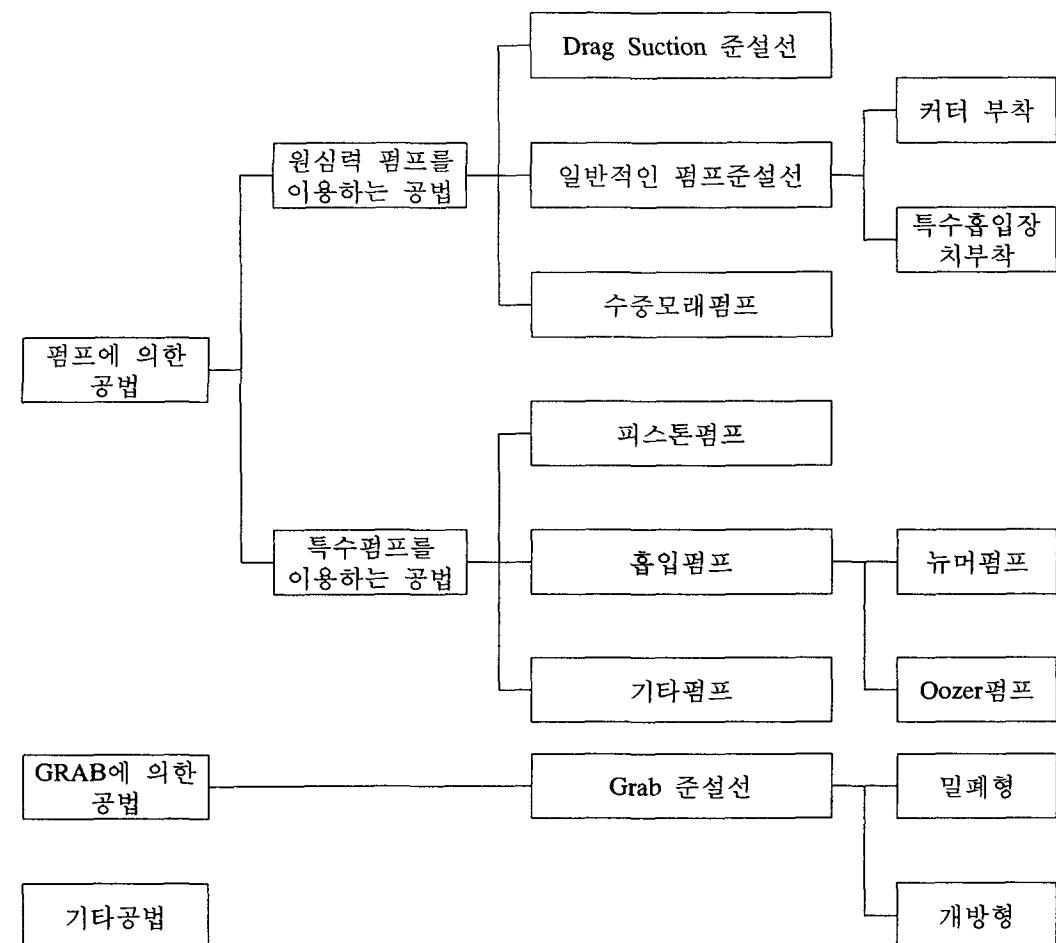


그림 3.2 오니준설선의 분류

(나) 일반펌프 준설선

지금까지의 모든 커터부착 펌프준설선을 이용하여 오니를 준설하는 방식인데, 커터의 주위에 커버를 씌워 준설하는 방식과 커터를 떼어내고 특수한 흡입장치를 붙여 준설하는 방식으로 나눌 수 있다.

a. 커터를 이용하여 준설하는 방식

비교적 견고한 오니를 준설할 때에 커터 없이 굴착하기가 곤란한 경우가 있다. 그래서 종

래의 방식과 마찬가지로 커터로 오니를 굴착하여 펌프로 오니를 흡입하는 방식이다. 이 커터에는 종래의 펌프선에 이용되고 있는 커터와 베켓휠식 커터의 두 종류가 있다. 또 전자의 타입은 일반적으로 커터의 주위에 오염확산방지용 커터가 썩워져 사용되고 있다. 커터부착은 준설시에 오니를 교란시키기 때문에 어느 정도의 2차 오염은 피할 수 없고, 오니를 대상으로 하기보다는 오히려 일반 토사준설에 사용되는 수가 많다.

b. 특수흡입장치에 의한 준설방식

종래의 커터헤드를 떼어내고 오니를 흡입하기 위한 특수한 흡입장치를 커터헤드 등의 위치, 또는 라다끝 아래쪽으로 매달아 고정하여 오니를 준설하는 방식이다. 흡입장치의 구조, 형식의 대해서는 여러 가지로 모색되고 있다. 그러나 기본적으로는 흡입장치를 일정한 훑두께에서 수평으로 오니층에 삽입하여 이동시켜, 오니를 흡입장치내에 흡입하여, 오염발생을 넓은 커버로 막는 형식이 많다.

일반적으로 오염발생량은 커터식과 비교하여 극히 적다. 또한 이 방식에는 준설농도를 높이기 위해 주펌프를 끝에 설치한 것이나, 부스터펌프를 부착한 것이 많다.

c. 수중모래펌프를 이용한 준설선

작은 하구, 좁은 해역, 호소, 연못 등의 소규모적인 오니의 준설에 이용되는 방식이다. 현재, 해저오니의 준설용으로 사용되고 있는 오니준설선, 또는 준설장치를 상기 지역에서 사용하고자 하면, 그것을 목적지까지 운반하는 것이 불가능하거나, 현지에서 시공하기가 곤란한 경우가 있다. 이 방식은 이들 소규모의 오니를 준설하기 위하여 종래의 수중모래펌프를 단일 또는 복수갯수를 일체화해서 간이조립선 등에 실어서 사용하는 방식이다.

(2) 특수펌프를 이용한 준설선

(가) 피스톤펌프식 준설선

준설선 라다하단에 유압시동의 피스톤펌프를 설치하여, 스크류피더 등의 보조 장치로 굽어 모아진 오니를 흡입, 압송한 뒤 배출한다. 그 조작은 러버의 스윙에 의하는 것 외에 준설선의 전진 또는 후진에 의하는 것도 있다.

(나) 흡입펌프식 준설선

흡입펌프식 준설선은 오니준설용으로 특별히 개발된 특수펌프이다. 오니를 수압에 의해 흡입하여 이것을 고압공기로 배송하도록 설계된 펌프이며, 오니를 고농도로 흡입하여 오염을 줄이는 것을 목표로 한 것이다. 여기에는 다음 2종류가 있다.

a. 뉴머펌프식 : 수압만을 이용하는 방식의 펌프

b. Oozer펌프식 : 수압뿐만 아니라, 펌프내를 진공상태로 하고 기압을 병용하여 흡입효과를

증대시키는 방식의 펌프이다.

이런 형태의 준설선은 커터를 사용하지 않는 것이 보통이며, 라다하단에 오니흡입장치를 설치하여 스윙방식에 의해서 준설하는 형태가 많다. 이들의 운전 기술에 대해서는 원심력펌프를 이용하는 준설선의 운전기술에 대해 기술한 것을 그대로 적용할 수 있다. 그러나 소형일 때는 준설장치를 대선에 매달아 이것을 해저면을 따라 이동시키는 것으로 수윙방식에 의하지 않는 것도 있다.

(다) 기타 특수펌프부착 준설선

나사펌프, 스크류펌프 등을 이용하는 준설선이다. 이를 펌프가 점성이 강한 물질의 운송에 알맞기 때문에 이것을 오니의 준설에 응용한 것이다. 준설장치를 라다에 붙여 스윙방식으로 준설하기 때문에 스윙속도와 오염의 관계는 거의 다른 형태의 준설선의 경우와 같다.

나. Grab 준설선

오니준설에 사용하기 위하여 종래의 개방형 Grab를 개량하여 오염발생을 가능한 한 방지하는 구조의 밀폐형 Grab가 있다. 밀폐형기구에는 다음과 같은 타입이 있다.

- a. 하부도르래의 밑에 튜브프레임이 설치되어 있어 Grab 전체가 오니속에 가라 앓지 않고, 또한 그 프레임이 준설시에 쉘과 일체가 되어 커버역할을 하고 있는 방식
- b. 준설시 Grab 전체의 초기 맞물림깊이가 일정하게 되도록 하고, 쉘상부에 고정커버를 설치하고 있는 방식

양쪽 모두 준설시에 거둔 오니가 유출되는 데에 따른 오염방생을 방지하는 연구가 행해지고 있으므로 종래의 Grab와 비교해서 약간 오염발생이 적다.

다. 기타 준설선

상기의 펌프식 준설선 또는 Grab 준설선의 각 방식외에 다음과 같은 것이 있다.

- a. 오니를 스크류식 오니수집장치로 긁어모아 버킷콘베이어로 오니를 연속적으로 선상으로 보내는 방식
- b. 밑부분이 뚫린 잠함을 가라앉혀 오니면에 꼭 누르고, 그 잠함내부를 공기로 가압하여 물을 빼내고, 잠함내의 휠커터로 오니를 굴착한다. 굴착된 오니는 벨트컨베이어, 피스톤펌프 등으로 해면의 토운선 등에 운반하는 방식

라. 진공흡입식 오니전용준설선

Oozer 펌프는 수압과 공기압을 이용하여 퇴적물을 흡입 배출하는 것으로 현재 한강 퇴적오

니 제거공사에 투입된 준설선이 이러한 방식이다. 진공 흡입식으로 준설하므로 2차 오염에 의한 수질오염을 최대한 방지하고, 고농도의 합니율(50%이상)로 준설이 가능할뿐만 아니라, 오염도가 높은 상부교란층(0~10cm)의 부유상태 오니를 다른 준설 준설방법에 비해 가장 효율적으로 제거할 수 있으므로, 환경 사업으로서의 오니준설에는 가장 적합한 기술이라 할 수 있겠다.

오니전용 준설은 진공펌프 및 Oozer 펌프를 이용하여 오니 흡입장치에서 흡입된 오니는 Oozer 탱크를 거쳐 1번 Hopper로 모아진다.

1번 Hopper에서 Slurry 펌프를 이용하여 균등질의 오니를 만든 후 선별기(이물질 분리기)를 통과하면서 쓰레기를 자동으로 수거한 뒤 2번 Hopper로 저장된다. 2번 Hopper에 임시로 저장된 오니는 10km 압송이 가능한 Muddischarge 펌프를 이용하여 배사관을 통해 압송되어 약품처리후 운반처리 된다.

오니전용 준설선의 시스템을 소개하면 다음과 같다.

(1) 흡입장치

여러종류의 오니에 유연하게 대응할 수 있는 각종 부속장치를 장착한 부유물질 채취용 장치와 물의 흡입을 최소한으로 제어할 수 있는 특수장치를 부착해서 효율적인 준설작업을 가능하게 하고 있다. 더욱이 흡입경로는 간단하여 흡입효율이 뛰어난 것도 특징의 하나이다.

(2) 고진공 양흡입방식 Oozer 펌프

본 장치의 기구는 펌프내부에 흡입형 밸브, 토출 밸브 및 오니의 높이를 검출하는 상한, 하한 센서를 각각 갖춘 원통형상의 탱크 2기를 1조로써 진공 또는 대기압으로 오니를 흡입한 후 압축공기(최고 7kg/cm²)를 보내 퇴적물을 배출한다. 또한, 오니 흡입배출의 제어는 Oozer 펌프내의 센서와 시간측정기(정상작업시에 Oozer 펌프내의 상한 센서에 오니가 도달하는 시간을 측정함으로써 장비의 이상유무를 알 수 있게 함)를 이용하여 운행하고 탱크를 교대로 하여 연속적으로 퇴적물을 배출한다.

(3) 이물질 분리기

Oozer 펌프에서 배출된 퇴적오니는 교반기가 부착된 1차 저장탱크에서 농도를 균일하게 교반후 선별기에서 쓰레기 및 조골재를 걸러낸다.

(4) 전동식 유압펌프

이 물질을 제거한 고농도 퇴적오니는 양흡입 방식의 고압펌프로 압송한다. 최대 압송능력은 40kg/cm²으로 중계 펌프를 사용하지 않고도 최대한 10km까지 장거리 배송 할 수 있다. 또, 필요시 중계펌프를 사용하면 더 먼 거리까지 배송이 가능하다.

(5) 유압자동 전진 장치

오니전용 준설선은 신개발의 자동전진 Spud 방식을 채용하고 있다. 종래의 Spud 방식과는 달리 준설작업을 하면서도 선체의 전진, 후진이 가능하고, 오니를 흡입할 수 있으므로 고밀도로 준설할 수가 있다. 또한 준설방향으로 전진하기 때문에 본선의 절취 좌우 끝에서 흡입구를 들지 않으므로 흡니효율의 대폭 향상 및 2차 오염을 방지할 수 있으며 또 수동과 자동운전이 가능하다.

(6) 준설선 조정실

주요장치의 가동상황을 운전실에서 집중적으로 감시관리 할 수 있다. 준설상황에 따라서 준설장치의 조정, 오니 바닥을 적외선으로 감시하는 속도 조절장치 등이 부착되어 감시가 가능하며, 준설전과 준설후의 심도를 초음파 탐지장치로 감시, 기록함으로써 운전원이 시공을 정확히 할 수 있다.

(7) 자동기록장치

준설선 조정실에 설치된 디지털 형식의 자동기록장치는 전자 유량계와 감마선 밀도계를 이용하여 유량과 오니의 밀도, 함니율을 측정하여 오니 준설량을 자동 기록함으로써 저질에 따른 효율적인 작업을 하게 된다.

3.4 준설오니의 처분

준설 오니공법의 적용성은 처분방법에 의해 결정이 되는데, 처분방법은 다음의 4가지 방법으로 대별할 수 있다.

- 농지이용(액토, 농지 높임 등)
- 성토재료로서 축제재, 도로 성토재, 노상재, 뒤채움재 등
- 인공골재, 조골재, 세골재, 경량재 등
- 매립공법, 산간부 매립, 해변매립, 인공, 수중투기 등

이들의 처분방법은 각기 필요로 하는 토질역학적 성질이 다르고 처리공법의 선택 적용성과 상당한 적용성을 갖고 있다. 준설오니의 적용성에 대해서는 처리방법의 선정에 세심한 주의

가 요망되나 처리효율, 입지, 경제적 측면을 고려할 때 매립지를 확보하여 처리하는 방안이 가장 경제적이라 할 수 있다. 또한 준설오니의 재활용 측면에 대해서는 다음에서 검토하였지만, 이 분야에 대해서도 면밀한 조사가 이루어져 효율적으로 추진될 수 있는 방안이 필요하다.

일본의 경우에는 주로 준설지역 인근에 매립지를 확보하거나 호소의 만곡부등을 이용하여 대규모의 매립지를 조성하고 매립 후에는 여러 가지 용도로 활용하는 계획을 수립하여 추진하고 있다. 준설오니의 처리 및 처분은 여러 가지 방안이 제기되고 있으나 우선적으로 고려할 수 있는 방법으로는 첫째 오니를 탈수처리하여 인근 시군의 매립장으로 운반처리 하는 방안과 둘째로 호소 주변에 매립장을 확보하는 방안이 있으며, 셋째로 탈수한 오니를 농경지 객토개량제나 벽돌, 공사용 자재로 재활용하는 방법이 있다. 이들 방법 중에서 가장 경제적인 방법은 두 번째 방법으로서 가장 경제적으로 처리할 수 있으나 매립장의 조성을 새로이 하여야 한다는 제약요건이 있다. 그리고 인근 시군의 매립장의 규모가 한정되어 있고 오니의 반입이 어려움으로 예상되는 등의 현실정을 감안할 때 시행상의 어려움이 있고, 재활용하는 방법도 당장 적용하기에는 기술적으로 곤란한 점이 있으므로 사업추진 과정에서 효율적인 방안을 강구하여야 할 것이다.

따라서 본 조사에서는 두 번째 방법으로 호소내 만곡부에 매립장을 조성하여 준설오니를 처리하여 매립, 처분하는 방안이 경제적으로나 사회여건 등으로 볼 때 가장 효율적인 방법이라 여겨지며, 또한 준설공사시에 준설오니의 재활용 계획을 수립하여 처분하는 방안을 병행하는 것이 타당하리라 사료된다.

표 3.8 준설 오니 처분방법 비교

처리방법	장 점	단 점	비 고
인근 시·군 매립장 처분	<ul style="list-style-type: none"> • 처리가 간편함 • 안전하고 완벽한 매립 	<ul style="list-style-type: none"> • 처리비용증대 • 매립장의 용량 한계, 지역간의 분쟁등으로 추진이 곤란한 상황 발생 우려 	
호소 주변 매립장 조성	<ul style="list-style-type: none"> • 비용 절감 • 처리의 용이성 	<ul style="list-style-type: none"> • 새로운 매립장 조성 추진의 어 려움 예상 • 특별한 오니처리 및 처분대책 필요 	
재활용방안	<ul style="list-style-type: none"> • 환경친화 	<ul style="list-style-type: none"> • 확실한 적용방법미비 • 비용 다소 증대 	

4. 국·내외 퇴적오니 제거

외국의 경우 준설에 의한 퇴적오니의 제거는 1960년대부터 시행되었다. 특히 미국은 1960년대 이후부터 워싱턴주의 Green호의 준설을 시작으로 지금까지 저수지의 저수용량유지 및 수질 개선사업의 일환으로 준설사업을 시행하였다. 일본 역시 1970년대 초반 하천수질개선을 위해 取訪湖의 준설을 시작으로 현재까지 준설사업에 의해 발생되는 2차 오염 방지 방법과 준설퇴적오니의 효율적인 처리방법, 준설후의 사후관리 등에 대한 지속적인 연구가 병행되고 있다.

국내의 경우 한강 되살리기 사업의 일환으로 하상에 퇴적되어 수질오염원이 되고 있는 퇴적오니를 제거하여 부영양화를 방지하고자 서울특별시에서는 시행하여온 “한강 오니토 제거 공사”를 대상으로 조사하였다.

4.1 일본의 퇴적오니준설 사례

4.1.1 가스미가우라호(霞ヶ湖)

정체수역인 가스미가우라호는 유역면적이 넓고 수심이 얕기 때문에 자연적으로 부영양화가 진행된 호수이다. 평균수심이 낮아서 풍랑에 의해 퇴적오니가 부상하기 쉽고 유입하천의 질소 및 인의 농도가 높다. 더욱이 유역의 생활활동이 증대됨에 따라 인위적인 부영양화로 오염이 가속화 되었다. 70년대 들어서 이러한 경향이 높아지고 매년 여름에 수화현상이 일어나자 수질개선을 위한 노력으로 하수도정비 사업과 퇴적오니준설을 지속적으로 수행하는 등 수질개선 노력으로 80년 이후 수질이 개선되었다.

가스미가우라호의 퇴적오니처리는 ①호저의 채니, ②교반작업, ③쓰레기 제거, ④2차 교반작업, ⑤저니 하치장으로 저니압송, ⑥저니하치장에서의 탈수처리, ⑦저니처분 등의 과정을 거쳐 시행되었다.

준설량은 1975년~2000년까지 8,000천m³으로 계획되었으며 준설방법은 일반 준설방법과는 달리 부압흡니 공기압송식으로 준설하였으며 이 방법은 준설시 2차 오염을 방지하고 높은 함니율 준설이 가능해진다. 또한 퇴적오니의 처분장까지의 장거리 배송은 액압식 압송펌프 방식으로 하기 때문에 연속운전이 가능하다.

가스미가우라호의 수질은 1970년 초반에는 COD의 값이 7.0mg/l에서 1979년 COD의 값이 11.3mg/l 까지 악화되었다가 최근에는 7.0mg/l으로 개선되었으며 수질목표인 6.1mg/l를 조만간 달성 할 것으로 보인다. 수질개선의 원인은 하수도 정비의 영향도 있겠지만 하수도 정비율이 인구 증가 추세와 거의 비슷한 것을 보면 직접적인 수질개선 효과는 퇴적오니 준설에 의

한 영향이 큰 것으로 사려된다.

4.1.2 고지마호(兒島湖)

고지마호에 퇴적된 오니로부터 호소로 용출되는 영양염류를 산감시켜 기준 고지마호의 수질이 COD가 10.0mg/l 내외, T-N이 2.0mg/l 내외로 농업용수 기준 수질의 2배를 상회하는 정도인 수질을 개선하고자 준설사업을 시행하였다.

준설량은 1996년 ~ 2001년까지 608천m^3 으로 계획되었으며 준설방법은 고농도의 퇴적오니 준설선을 이용하여 유기물이 다량 함유된 표층과 얕게 퇴적된 부유물질도 동시에 준설한다. 준설토는 수상관, 침설관, 육상관을 연결한 송수관을 통하여 탈수처리장으로 압송처리되어 2일간 저류방치한후 탈수효과를 높이기 위하여 응집제등을 주입하고 고압필터 프레스로 탈수하며 여기서 발생한 여수는 영양염류를 침전제거하고 pH를 조정하여 방류한다. 사토장을 탈수케이크로 매립해서 천일건조장을 조성하여 준설 오니를 직접투입하여 1년간 천일건조한다. 탈수를 거친후 건조되어 간척조성, 복토공, 매립공 등으로 처분되어진다.

4.1.3 비와호(琵琶湖)

비와호의 저질오염이 진행된 정체성 수역을 대상으로 하여 유역부하대책을 보완하고 수질개선을 조기에 달성하기 위한 긴급대책으로서 준설 등의 저질개선대책을 시도하였다. 준설은 호저의 표층에서 20cm정도의 층에 퇴적된 질소, 인동의 영양염류 함량이 높은 퇴적오니를 제거하여 퇴적오니 용출 부하를 감소하기 위한 것이나 실제 시행은 비와호의 矢橋 중간수로에서 1995년에서 1996년에 걸쳐 2년간 현지조사 및 시험준설을 실시하였다. 준설량은 약 $5,000\text{m}^3$ 의 시험준설을 실시하였다.

비와호의 矢橋 중간수로에서 고농도 부층 준설선에 의해 준설하여 천일건조, 저면탈수 및 고화처리의 과정을 거쳐 처리하였다.

준설효과로는 표층 저질의 상태를 조사한 결과 표층의 인이 53~75%정도 감소하였고 준설구간과 미준설구간과의 질소와 인의 용출속도를 비교 분석한 결과 준설에 의해 인이 76~100%, 질소가 90~100% 감소하였으며 영양염을 높게 함유한 표층 퇴적오니를 제거함에 따라 양호한 준설효과를 나타내었다.

4.2 미국의 퇴적오니준설 사례

4.2.1 Liberty호

미국 위싱턴주의 Liverty 호수는 퇴적물내 인의 함유량이 높고 수체로의 순환율이 높아 조

류 및 수생식물의 생산에 영향을 미쳐 이 원인을 제거하고자 준설을 실시하였다. 준설량은 인 함량이 높은 20ha의 면적과 60cm의 제거 심도로 계획되었다. 준설방법은 흡입구에 20cm의 컷 터헤드(cutter head)를 부착하여 직경 25cm 폴리에틸렌관을 통해 펌프로 흡입한 후 174kW의 디젤엔진으로 가동하는 부스터(booster) 펌프를 사용하여 직경 46~53cm, 총길이 4,040m의 배송관을 통해서 준설토를 육상의 배수지에 배송하였다.

사업을 시행하는 동안 수중 부유물질의 농도는 다소 증가되었지만 투명도에는 큰 영향을 미치지 않았으며 COD의 변화는 나타나지 않았다. 전체적으로 사업시행중 준설지역에서 다소의 수질변화가 있었으나 준설하류에서는 수질변동에 거의 나타나지 않았다. 준설결과 퇴적물내 인의 제거계획량이 달성되었으며 인의 회기율 역시 저감되는 효과를 얻었다.

4.2.2 Vancouver호

Vancouver호는 영암염이 풍부한 부영양호로 1982년 5월 호수 복구계획의 일환으로 준설을 실시하였다. 이 이전 위성던 주립대학에 의한 기초조사에서 준설량이 900~1,100만m³, 콜롬비아강의 호수수량 대체유량 17.0m³/sec 및 유입하천인 번트브리지강에서의 영양염류 유출방지 측정망의 운용 등을 제안한 바 있으나 그 후 환경보존청(EPA)에서 준설량을 650만m³, 대체유량을 9.0m³/sec로 조정한 계획이 수립되었다.

퇴적물 준설에 의해 수중의 부유물질의 농도와 조류는 감소되었으나 투명도와 탁도는 큰 변화가 없었다. 기타 수심의 증가에 의한 위락경관의 가치는 크게 회복되었다.

4.2.3 Lansing호

미시간주의 Lansing호는 1980년 이전에 이미 호수가 부영양화가 진행되어 1979년 이후 1980년까지 준설을 실시하였다.

준설이후 수심이 17% 증가하였고 클로로필-a 농도는 절반으로 감소하였으며 인 농도는 80%로 감소하여 호수는 부영양호에서 중영양호로 변하였고 저서생물의 수가 증가하였다.

4.2.4 Gibraltar호

산타바바라시의 Gibraltar 호수는 1981년에 공기 토출식 준설펌프를 장착한 준설선을 이용하여 퇴적물 16,819천m³을 준설하였다.

준설결과 수온의 재용출, 영양염류의 증가, 산소부족현상, 수화현상 등이 없어졌으며 부유물질의 증가추세가 감소하였다.

4.3 국내의 퇴적오니준설 사례(한강하류부)

1986년 한강종합개발 이후 개선되었던 한강의 수질이 점차 악화되어 가고 있는 가운데 1991년 낙동강 폐놀사건, 1992년 6월 한강 물고기 집단폐사 사건 등이 발생하자 대통령 지시 사항으로 환경부장관의 하상오니 준설지시에 따른 “한강하류 수질보전 대책수립 조사 용역”을 시행함과 동시에 한강 되살리기 사업의 일환으로 하상에 퇴적되어 수질오염원이 되고 있는 퇴적오니를 제거하여 부영양화를 방지함으로서 수질보전에 기여하고자 서울특별시에서는 1994년부터 “한강 오니토 제거공사”를 시행해오고 있다.

4.3.1 제거지역

퇴적 오니의 제거지역은 제3장에서 기술한 한강의 퇴적오니의 제거기준에서 설정한 기준에 따라 퇴적오니 성분시험의 결과치를 조사하여 결정하였으며 그 결과는 표 4.1과 같다.

준설구간은 한강저질의 오염도 분석결과 저질의 오염도가 결정된 두가지 준설기준을 모두 만족하는 지역으로 기준을 만족하는 지역중 지천 및 하천시설물이 존재하는 지역의 일정구간을 제외하였다.

4.3.2 준설심도 및 제거량

가. 준설심도

퇴적오니 제거는 궁극적으로 오니의 성분과 깊은 관계를 가지고 있으며 비록 오니층이 두텁다 하더라도 오니의 유기질 함량이 높지 않다면 제거할 필요가 없다.

일반적으로 준설심도는 오니의 주분포지역에서 심도별 오염도와 심도별 토질특성, 오니분포 면적, 준설선 작업능력, 하상정비계획 등을 고려하여 결정하는 것이 타당하다.

따라서 다음과 같은 사항을 고려하여 경제적, 기술적으로 최적의 준설심도를 결정한다.

(1) 심도별 오염도 조사

한강저질의 심도별 오염도는 5개 지점을 대상으로 하였으며 그 결과 저질 표층의 오염도가 다른 층에 비하여 매우 높고, 퇴적심도가 깊어질수록 오염도가 낮아지며 표층 저질의 오염도를 기준으로 할 때 0.5m 퇴적심도에서 표층오염도의 51.5~70.7%의 오염도를 보이고 1.0m 퇴적 심도에서 34.2~51.9%, 1.5m에서 26.3~39.5%까지 감소한다. 따라서 표층의 오염도가 매우 높은 일부지역을 제외한 대부분지역이 0.5m 이하의 퇴적심도에서 준설기준을 하회하고 있다.

표 4.1 한강하류부 저질의 오염도 및 준설대상지역 결정

구간	지점	지역	COD (mg/g)	I.L (%)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	황화물	평가점	평가 항목	준설 여부
잠실수중보 상류	1	광진교 상류	9.0	1.4	569	368	0.33	0	+++	-
	2	잠실수중보직상류(강북)	23.6	6.3	1,149	1,352	1.62	7	+++	준설
	3	잠실수중보직상류(강남)	44.5	7.4	1,572	1,600	1.23	11	+++	준설
잠실수중보 하류	4	탄천 중류	91.3	7.5	2,874	1,751	1.93	11	++++	-
	5	탄천 하류	81.0	7.5	3,831	2,515	2.28	11	++++	-
	6	탄천 합류점	203.9	13.6	10,630	2,981	2.66	11	+++++	준설
	7	성수대교직하류(강남)	29.0	3.6	1,327	882	0.82	3	+	-
	8	중랑천 하류	121.6	9.0	3,864	1,197	4.76	11	+++	준설
	9	중랑천 합류점	93.5	11.0	3,589	1,077	4.02	11	+++++	준설
	10	한남대교직상류(강남)	27.2	3.3	1,974	720	0.78	3	+	-
	11	한남, 반포대교중간(강남)	17.8	3.3	1,060	575	0.65	2	-	-
	12	반포천 합류점	37.2	3.4	1,539	858	0.65	5	+	-
마포대교직하류(강북)	13	노들섬 상류	66.6	6.4	1,390	1,029	2.14	11	+++	준설
	14	63 빌딩앞	14.5	2.3	1,470	909	0.10	1	-	-
	15	옥천 합류점	94.2	7.9	2,518	1,884	2.05	11	++++	준설
	16	성산대교직하류(강북)	58.7	6.6	1,981	1,239	1.93	11	+++	준설
	17	양화대교직하류(강북)	149.2	8.4	3,067	1,861	1.86	11	+++	준설
	18	안양천 중류	50.0	5.9	1,389	967	3.50	11	++	-
	19	홍제천 합류점	121.6	9.7	5,539	2,228	7.85	13	++++	준설
	20	안양천 하류	104.9	8.9	3,366	1,420	5.29	13	++++	준설
	21	홍제천 합류점	191.1	13.6	4,804	41,870	5.03	13	+++++	준설
가양STP* 방류수합류점	23	난지도 앞	59.1	7.2	2,435	1,208	1.44	11	++++	준설
	24	가양동 앞	70.3	7.9	2,886	1,484	1.55	11	++++	준설
	25	창릉천 하류	225.2	14.7	6,183	2,707	2.10	11	+++++	준설
	26	행주산 앞	56.3	7.9	1,858	1,165	1.65	11	++	준설
	27	행주산 앞	39.4	4.9	1,181	886	0.28	4	+	-
	28	전호산 앞	25.6	2.6	1,090	756	0.38	2	+	-
	29	신곡수중보직상류(강북)	19.3	3.1	1,043	690	0.13	1	-	-
	30	신곡수중보직상류(강북)	11.9	2.6	609	556	0.08	0	-	-
		준설기준	20.8	2.9	914	714	0.12	1	+	-
			20.0 이상	10.0 이상	2,000 이상	1,000 이상	1.0 이상	6점 이상	+++ 이상	

(2) 심도별 토질조사

심도별 토질조사 결과 퇴적층은 수역에 따라 다소 차이는 있지만 대부분 상부 표층에는 저 토나 실트의 함량이 매우 높고 함수율이 높은 오니층을 이루고 다음이 세립, 중립의 모래층, 또는 실트나 자갈이 섞인 모래층이 나타나고 심도가 깊어질수록 자갈이나 조립의 모래층이 우세하게 나타나고 있다.

또한 하상의 여러 퇴적층 중 주된 준설대상으로 판단되는 퇴적층의 표층에 분포하는 오니 층으로 이 층의 토질 특성을 보면 두께는 지역에 따라 큰 차이를 보이는데 주로 지천과 본류의 합류지역에서 오니층이 두껍게 분포하고 있다. 이러한 오니층은 실트($74 \mu\text{m}$) 이상 입자함

량이 80% 이상으로 세립질이고 표준관입실험 결과 N치 1회 내외의 매우 연약한 상태로 존재하며 심한 악취가 발생한다.

따라서 오염도조사가 이루어지지 않은 지역의 저질은 상기와 같은 토질조사결과를 이용 간접적으로 오염도를 판단할 수 있을 것이며, 특히 표준관입시험의 N치가 2이하이며 실트 이하의 입도가 80% 이상인 저질은 오염도가 매우 높은 준설대상 저질이다.

(3) 저질 분포 면적

한강의 퇴적특성을 조사한 결과 한강의 저질은 강 양안을 따라 주로 분포하고 있으며, 특히 지천과 본류가 합류되는 지역이 주 퇴적지역인 것으로 나타났다. 따라서 준설심도도 이러한 저질의 주 퇴적지역을 대상으로 결정하도록 하며 적은 면적에 소량의 오니가 분포되어 있는 지역 및 저질의 퇴적두께가 10cm 미만인 지역은 측량상의 오차가능성, 준설비용의 과다등을 고려하여 준설심도를 결정하여야 한다.

(4) 준설선 작업능력

본 사업지역은 서울시민 및 수도권주민의 식수로 이용되는 상수원이므로 준설로 인한 수질 영향을 최소화하기 위하여 오니 전용준설선을 사용하여 준설작업을 하여야 할 것이다. 따라서 준설심도 결정에 있어서 이러한 준설선의 작업능력을 고려한 기술적 검토가 필요하다. 현재 오니전용준설선의 Hopper 크기는 일반적으로 30cm 이상이며 준설두께를 30cm이하로 할 때는 함수율이 높아지고 힘나율이 낮아져 준설비용이 과다하게 소요되고 또한 높은 함수율로 침출수가 과다하게 발생되어 침출수 처리비용이 증가된다. 따라서 이러한 준설선의 작업 효율성을 고려할 때 경제적인 준설심도는 30cm 정도가 적합하다.

(5) 하상정비계획

한강에서는 저수로의 하상을 안정상태로 유지하고 주변 환경의 오염을 방지하기 위하여 1987년부터 하상정비를 지속적으로 시행하고 있다. 따라서 기 시행되고 있는 하상정비계획을 고려하여 준설심도는 하상정비계획과 조화를 이루어 준설후 세굴이나 퇴적 또한 하상교란, 붕괴등이 발생하지 않게 결정하여야 한다.

상기의 사항들을 고려한 한강하류부 조사대상 구역내의 준설심도는 준설의 효과와 경제성, 기존 준설선의 최소준설심도 등을 고려할 때 0.3m이상이 경제적이며 퇴적토의 토질조사결과와 퇴적심도별 오염별 조사결과를 고려할 때 오니총 심도가 0.5m 이하에서는 상층부 오니총 오염도의 약 50% 수준으로 감소하며 심도 0.5m이상의 대부분 저질은 준설기준을 하회하고

있기 때문에 경제적이고 효율적인 준설심도는 0.3m~0.5m로 추정되었다.

그러나 일부 중랑천합류역이나 옥천합류역 등 저질표층의 오염도가 높고 오니의 퇴적두께가 두꺼운 지역은 심도 0.5m이하에서도 준설기준을 상회하는 오염도를 나타낼 수 있기 때문에 준설심도를 그 이상으로 결정하여야 할 것으로 판단된다.

따라서 준설대상지역을 세분화한 후 각 지역의 심도별 오염도를 조사하고, 오니의 분포면적, 퇴적지역의 하상단면계획, 주운수로 등을 고려하여 가장 경제적이며 준설효과를 극대화할 수 있는 준설심도를 결정하여야 한다.

나. 제거량

상기에서 조사된 오니 분포면적 및 제거심도를 50cm로 하였을 때 한강의 주요구간별로 제거하여야 할 퇴적오니량 계획은 표 4.2와 같다.

표 4.2 한강하류부 퇴적오니량 및 제거준설량

구간	분포면적(km ²)		평균심도(m)		총 퇴적량(m ³)			오니 제거량 (m ³)
	강북	강남	강북	강남	강북	강남	계	
광진교~잠실수중보	0.128	0.507	0.20	0.40	25,500	203,000	228,500	228,500
잠실수중보~한남대교	0.560	0.640	0.60	0.30	336,000	192,000	528,000	472,000
한남대교~한강대교	0.206	0.156	0.20	0.20	41,200	31,200	72,400	41,200
한강대교~성산대교	0.567	0.570	0.90	0.50	510,300	285,500	795,800	480,900
성산대교~행주대교	1.172	1.349	1.00	0.50	1,172,000	674,500	1,846,500	1,008,400
행주대교~신곡수중보	0.944	0.944	0.90	0.90	849,600	849,600	1,699,200	-
계	3.449	3.660					5,170,000	2,231,000

다. 오니 준설시 부피 변화과정

한강하류부 하천수(자연상태)내에 있는 오니를 준설하여 응집침전체를 투여한 후 상등수는 방류하고 퇴적오니는 인근둔치에 사토할 경우 오니는 각 과정마다 부피변화율이 다르며 각 과정의 부피변화 내용은 다음 표 4.3과 같다.

표 4.3 오니 부피 변화 과정

구 분	오니의 상태
자연하천	하천바닥에 자연상태로 분포되어 있는 오니는 계속되는 퇴적과 이동으로 위치에 따라 다양한 부포를 보이며, 비중이 작은 오니는 하상 바로 위에 부유된 상태로 약간의 충격으로도 쉽게 확산된다.
준설선	본공사에 사용되는 준설선은 2차 오염방지는 물론 부유상태의 오니도 준설 가능한 진공흡입식 펌프를 사용하낟. 물과 같이 흡입된 오니는 준설선내의 임시 저장조를 거쳐 선별기에서 쓰레기 및 조골재를 걸러낸 후 토운선까지 압송된다. 이러한 과정에서 오니는 완벽한 교란 상태가 된다.
토운선	준설선에서 압송된 토운선에 적재되기 바로 전에 침전제와 혼합된다. 토운선에서는 약품침전 및 상등수제거로 부피변화가 발생된다.
둔치사토	오니는 일반 흙과는 달리 건조시킬 경우에 상당한 부피 변화를 보인다. 이러한 현상은 강열감량과 같은 현상으로 이해될 수 있다.

4.3.3 퇴적오니 제거실적

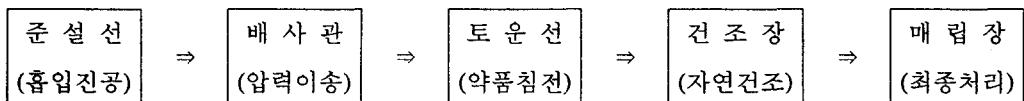
1994년도부터 2000년까지 한강하류부에서 실제 제거된 퇴적오니 준설량 실적은 잠실수중보 상류부에서 265,100m³을 준설하였고 잠실수중보 하류부에서 345,500m³를 준설하였으며 그 세부사항은 다음 표 4.4와 같다.

표 4.4 한강하류부 퇴적오니 준설 실적

	기간	위치	준설량(m ³)	비고
잠실수중보 상류	'94. 5~'94.12	수중보상류(강남측)~ 풍납취수장 전면부	95,000	
	'95. 7~'96. 8	수중보상류 풍납취수장 전면부, 일산, 자양 취수장 전면부	170,100	
잠실수중보 하류	'96. 6~'97. 1	단천, 중랑천하구	93,700	
	'97. 5~'98. 4	중랑천, 반포천, 옥천하구, 원효대교 상류	166,800	
	'98. 5~'98.12	옥천하구, 원효대교 하류	30,000	
	'99.6~'2000.5	안양천하구	55,000	
계			610,600	

한강하류부 퇴적오니 준설에 사용된 방식은 Oozer 펌프방식에 의한 준설로 진공 흡입식에 의한 준설로 2차 오염에 의한 수질오염을 최대한 방지하고 고농도의 합니율로 준설이 가능하고 오염도가 높은 상부 교란층의 부유상태의 퇴적오니를 다른 준설방법에 비하여 가장 효과적으로 제거할 수 있다.

준설공정은 다음과 같다.



4.3.4 퇴적오니 준설효과

한강하류부 퇴적오니 준설전·후 저질 및 수질조사결과를 통해 퇴적오니 준설이 수질 및 저질개선에 어느정도 영향이 있는지를 분석하였다.

가. 수질변동분석

퇴적오니 제거로 인한 수질개선 정도를 분석하기 위하여 안양천 유입부를 대상으로 준설 전·후의 수질분석 자료를 참조하였으며 안양천 유입부 퇴적오니 준설전·후 수질을 분석한 결과 아래 표 4.5와 같다. 하천환경기준으로 볼 때 pH는 준설전후 모두 1급수 범위아에 들고 있으며 8.1에서 7.4로 0.7이 감소되었으며 BOD는 준설전 수질등급 3급수에 해당하는 3.5mg/l 에서 준설후 2급수에 해당하는 2.2mg/l 를 나타내어 37.1%의 개선효과를 보였다. COD는 준설 전 3.7mg/l 에서 준설후 2.9mg/l 를 나타내어 21.6%의 개선효과를, SS는 준설전 28.47mg/l 에서 준설후 4.0mg/l 를 나타내어 85.9%의 개선효과를, T-N은 준설전 $4,032\text{mg/l}$ 에서 준설후 $3,391\text{mg/l}$ 를 나타내어 15.96%의 개선효과를, T-P는 준설전 0.179mg/l 에서 준설후 0.124mg/l 를 나타내어 30.7%의 개선효과를, Chl-a는 준설전 13.3mg/m^3 에서 준설후 3.0mg/m^3 를 나타내어 77.4%의 개선효과를 각각 보였다.

표 4.5 한강하류부 준설전·후 수질변화

항 목 지 점	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	Chl-a (mg/m^3)	비 고
안양천 유입부	준설전	8.1	3.5	3.7	28.4	4,032	0.179	13.3
	준설후	7.4	2.2	2.9	4.0	3,391	0.124	3.0
	효율(%)	8.6	37.1	21.6	85.9	15.9	30.7	77.4

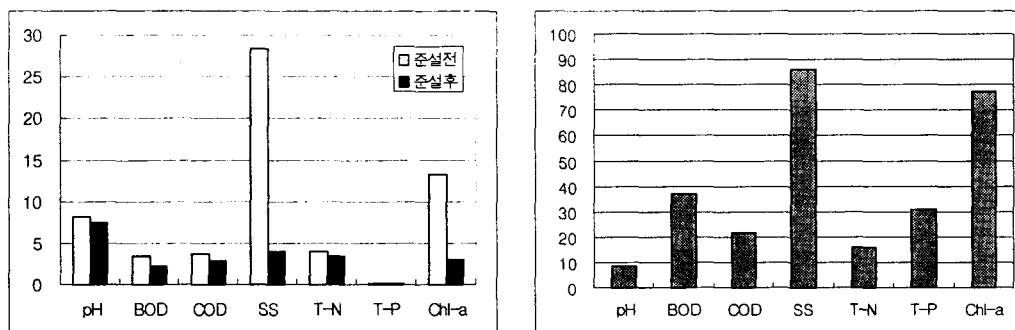


그림 4.1 퇴적오니 준설전·후 수질변동 및 개선효율(안양천 유입부)

나. 저질변동분석

퇴적오니 제거로 인한 저질개선 정도를 분석하기 위하여 안양천 유입부, 중랑천 유입부, 탄천 유입부, 잠실수중보 상류부를 대상으로 준설전·후의 저질분석 자료를 참조하였으며 각 지점의 퇴적오니 준설전·후 저질을 분석한 결과 표 4.6과 같다.

(1) 안양천 유입부

안양천 유입부 퇴적오니 준설전·후 저질을 분석한 결과 COD는 준설전 24,915mg/kg에서 준설후 2,535mg/kg를 나타내어 89.8%의 개선효과를, I-L은 준설전 10.24%에서 준설후 1.36%를 나타내어 86.7%의 개선효과를, T-N은 준설전 4,500mg/kg에서 준설후 218mg/kg를 나타내어 95.2%의 개선효과를, T-P는 준설전 3,873mg/kg에서 준설후 190mg/kg를 나타내어 95.1%의 개선효과를, 유화물은 준설전 2,304mg/kg에서 준설후 1,160mg/kg를 나타내어 49.7%의 개선효과를 각각 나타냈다.

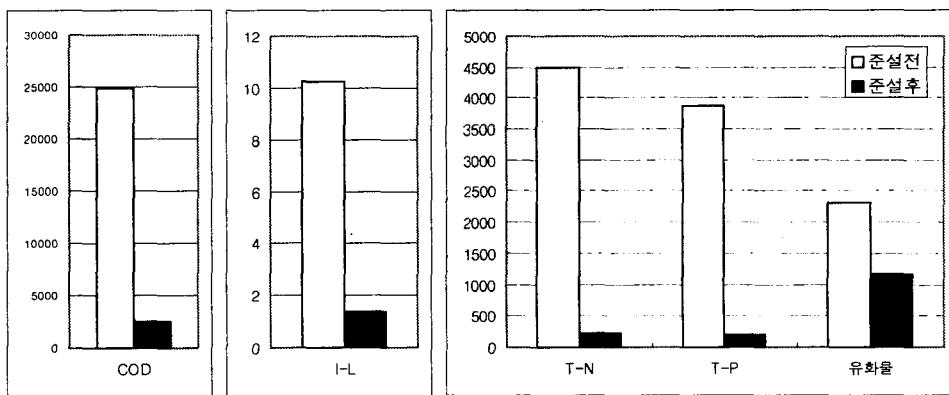


그림 4.2 퇴적오니 준설전·후 저질변동(안양천 유입부)

(2) 중랑천 유입부

중랑천 유입부 퇴적오니 준설전·후 저질을 분석한 결과 COD는 준설전 97,600mg/kg에서 준설후 37,100mg/kg를 나타내어 62.0%의 개선효과를, I-L은 준설전 10.20%에서 준설후 4.20%를 나타내어 58.8%의 개선효과를, T-N은 준설전 4,210mg/kg에서 준설후 1,890mg/kg를 나타내어 55.2%의 개선효과를, T-P는 준설전 2,470mg/kg에서 준설후 1,070mg/kg를 나타내어 56.7%의 개선효과를, 유화물은 준설전 2,760mg/kg에서 준설후 1,960mg/kg를 나타내어 29.0%의 개선효과를 각각 나타냈다.

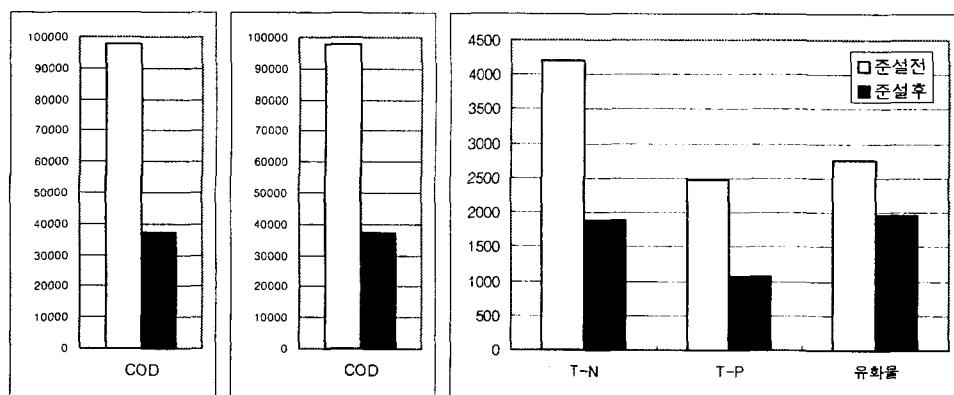


그림 4.3 퇴적오니 준설전·후 저질변동(중랑천 유입부)

(3) 탄천 유입부

탄천 유입부 퇴적오니 준설전·후 저질을 분석한 결과 COD는 준설전 80,347mg/kg에서 준설 후 65,024mg/kg를 나타내어 19.1%의 개선효과를, I-L은 준설전 12.00%에서 준설후 8.30%를 나타내어 30.8%의 개선효과를, T-N은 준설전 4,914mg/kg에서 준설후 3,757mg/kg를 나타내어 23.5%의 개선효과를, T-P는 준설전 2,754mg/kg에서 준설후 2,149mg/kg를 나타내어 22.0%의 개선효과를, 유화물은 준설전 3,041mg/kg에서 준설후 2,444mg/kg를 나타내어 19.6%의 개선효과를 각각 나타냈다.

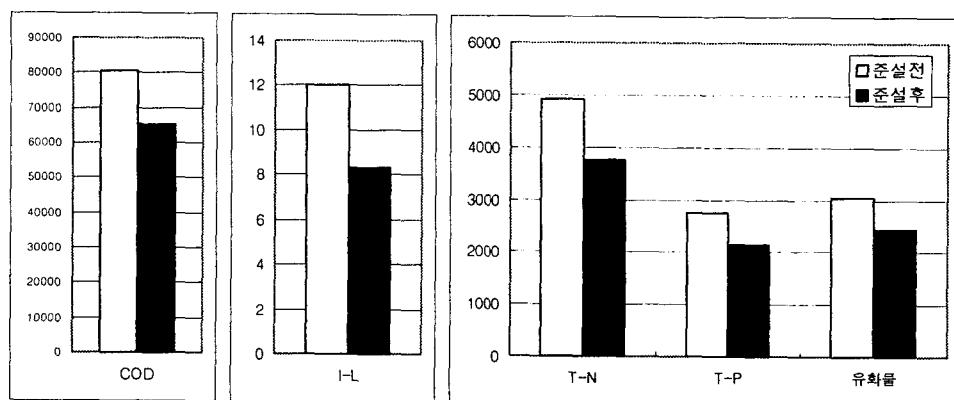


그림 4.4 퇴적오니 준설전 · 후 저질변동(탄천 유입부)

(4) 잠실수중보 상류부

잠실수중보 상류부 퇴적오니 준설전 · 후 저질을 분석한 결과 COD는 준설전 44,500mg/kg에서 준설후 25,870mg/kg를 나타내어 41.9%의 개선효과를, I-L은 준설전 7.40%에서 준설후 6.00%를 나타내어 18.9%의 개선효과를, T-N은 준설전 1,572mg/kg에서 준설후 720mg/kg를 나타내어 54.2%의 개선효과를, T-P는 준설전 1,600mg/kg에서 준설후 865mg/kg를 나타내어 45.9%의 개선효과를, 유화물은 준설전 1,230mg/kg에서 준설후 480mg/kg를 나타내어 61.0%의 개선효과를 각각 나타냈다.

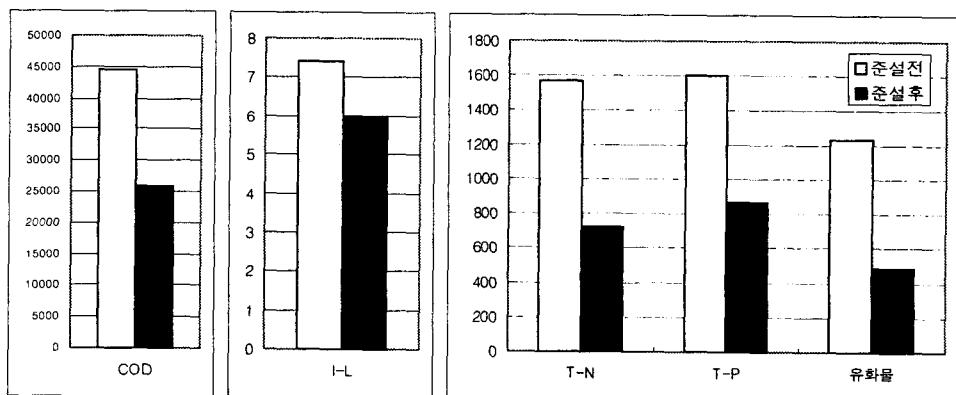


그림 4.5 퇴적오니 준설전 · 후 저질변동(잠실수중보 상류부)

표 4.6 한강하류부 준설전·후 저질변화

항 목 지 점	COD (mg/kg)	I-L (%)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	유화물 (mg/kg)	비 고
안양천 유입부	준설전	24,915	10.24	4,500	3,873	2,304
	준설후	2,535	1.36	218	190	1,160
	효율(%)	89.8	86.7	95.2	95.1	49.7
중랑천 유입부	준설전	97,600	10.20	4,210	2,470	2,760
	준설후	37,100	4.20	1,890	1,070	1,960
	효율(%)	62.0	58.8	55.1	56.7	29.0
탄 천 유입부	준설전	80,347	12.00	4,914	2,754	3,041
	준설후	65,024	8.30	3,757	2,149	2,444
	효율(%)	19.1	30.8	23.5	22.0	19.6
잠실수중보 상 류	준설전	44,500	7.40	1,572	1,600	1,230
	준설후	25,870	6.00	720	865	480
	효율(%)	41.9	18.9	54.2	45.9	61.0

퇴적오니의 준설전·후 저질 및 수질조사를 통해 BOD, T-N, T-P, 유화물, 강열감량, COD 등의 농도 및 함유량이 감소하여 오염가능성이 저감되는 등 수질개선 및 저질개선에 기여하고 있음을 알 수 있었다.

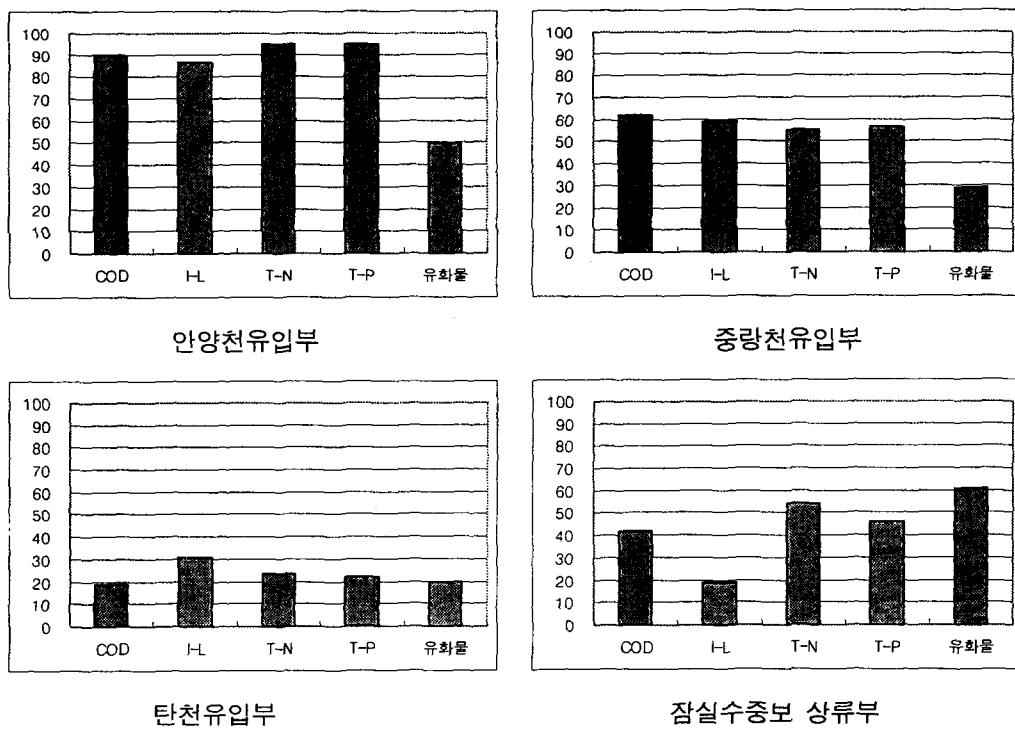


그림 4.6 퇴적오니 준설로 인한 저질개선효율(%)

5. 결론

수중에 퇴적된 오니는 수질오염의 한원인으로서 장기적인 관점에서 제거되어야 할 대상이다. 그러나 수중에 직접적으로 영향을 주는 퇴적오니를 준설시 발생하는 확산 등에 의한 2차 오염 없이 오염원을 완전 제거하는 것은 쉬운 일은 아니다.

퇴적물의 완전제거를 위해서는 퇴적물의 분포면적, 심도, 성상을 정확히 조사, 파악하여 준설방법과 위치를 선정하여야하며 준설시 발생하는 토량 변화율에 따른 준설량 검증등 어려움이 따른다. 또한 준설에 따른 수질개선이 목적이니 만큼 2차오염의 발생을 최대한 억제해야 하며 준설선의 정확한 준설심도와 스윙속도를 유지하여야 하고 이와 병행해서 현장 수질측정 및 주기적인 수질시험과 저질 용출시험을 통하여 지속적인 관리가 이루어져야 한다.

본 수중 퇴적오니의 특성 및 제거에 대한 조사 및 분석에서 얻어진 주요 연구내용 및 분석 결과는 다음과 같다.

- 국내에서 적용되고 있는 퇴적오니의 제거기준을 외국의 준설기준 사례와 비교, 평가하였다.
- 퇴적오니의 제거계획은 처리대상 오니의 확인, 적절한 처리공법의 선정, 공사에 의한 2차 오염 방지방안의 수립, 공사효과의 사전평가등의 실시를 통해 신중히 수립되어야 한다.
- 준설된 오니의 처분방법에 대해 외국의 실시사례 및 타당성 조사를 통해 농지이용, 성토 재료로의 이용, 골재로의 이용, 매립처분 등 처리효율, 입지, 경제적 측면을 고려한 오니 처분방법의 다양화에 대한 검토가 필요하다.
- 한강하류부의 제서대상 퇴적오니는 총 2,231,000m³으로 추정되었으며 1994년부터 2000년 까지 잠실수중보 상류부에서 265,100m³, 하류부에서 345,500m³, 총 610,600m³의 퇴적오니가 준설되었다.
- 안양천 유입부를 대상으로 퇴적오니 제거로 인한 수질개선 정도의 분석결과 BOD는 준설전 3.5mg/l에서 준설후 2.2mg/l를 나타내어 37.1%의 개선효과를, SS는 준설전 28.47mg/l에서 준설후 4.0mg/l를 나타내어 85.9%의 개선효과를, T-N은 준설전 4,032mg/l에서 준설후 3,391mg/l를 나타내어 15.96%의 개선효과를, T-P는 준설전 0.179mg/l에서 준설후 0.124mg/l를 나타내어 30.7%의 개선효과를, Chl-a는 준설전 13.3mg/m³에서 준설후 3.0mg/m³를 나타내어 77.4%의 개선효과를 각각 나타냈다.
- 잠실수중보 상류부, 안양천 유입부, 중랑천 유입부, 탄천 유입부를 대상으로 퇴적오니 제거로 인한 저질개선 정도의 분석결과 COD는 19.1%~89.8%의 개선효과를, I-L는 18.9%~86.7%의 개선효과를, T-N은 23.5%~95.2%의 개선효과를, T-P는 22.0%~95.1%의 개

선효과를, 유화물은 19.6%~61.0%의 개선효과를 각각 나타냈다.

- 한강하류부 퇴적오니 준설로 인한 수질 및 저질개선 효과를 분석한 결과 상당한 개선효과가 있는 것으로 분석되었으며 이는 준설 전·후의 단기간의 측정자료에 의한 것이므로 퇴적오니 준설로 인한 장기적인 개선효과를 분석하기는 어려우므로 대상지구별로 지속적인 수질 및 저질분석이 필요하다. 또한 이를 분석자료들을 토대로 대상지점별로 주기적이고 지속적인 퇴적오니 준설은 수질 및 저질 개선에 상당부분 기여할 것으로 판단된다.

참고문현

- 국회환경포럼 (1996). 수질개선 차원의 호수·강의 퇴적물 처리를 위한 새로운 기술적 접근. 국제환경심포지엄.
- 김원만외 (1991). “팔당호 시험준설 영향조사.” 수질보전, 한국물환경학회, 제7권, 제1호, pp. 47-84.
- 서울시정개발연구원 (1994). 한강 수질관리 효율화 방안 연구. 서울특별시.
- 서울시정개발연구원 (1997). 한강조류발생 방지대책 및 수질개선방안 연구. 서울특별시.
- 서울시정개발연구원 (2000). 새서울, 우리한강 기본계획. 서울특별시.
- 이인선외 (1997). 호소, 하천 퇴적물의 조사. 국립환경연구원.
- 이창희 (1998). 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안. 한국환경정책·평가연구원.
- 정호희 (1998). 퇴적오니의 처리. 현대산업개발주식회사 토목환경팀.
- 한강관리사업소 (1993). 한강하류 수질보전 대책수립 조사. 서울특별시.
- 한강관리사업소 (1994). 한강 오니토 제거공사 감리보고서. 서울특별시.
- 한강관리사업소 (1996). 한강 오니토 제거공사 감리보고서. 서울특별시.
- 한강관리사업소 (1997). 한강 오니토 제거공사 감리보고서. 서울특별시.
- 한강관리사업소 (1998.4). 한강 오니토 제거공사 감리보고서. 서울특별시.
- 한강관리사업소 (1998.12). 한강 오니토 제거공사 감리보고서. 서울특별시.
- 한강관리사업소 (2000). 한강 오니토 제거공사 감리보고서. 서울특별시.
- 환경처 (1993). 팔당호 퇴적물 준설사업 환경영향평가.
- 日本埋立浚渫協會 (1978). 堆積汚泥の 處理處分技術.
- U.S. Army Corps of Engineers (1983). “Dredging and Dredged Material Disposal.” *EM 1110-2-5025*.
- U.S. Army Corps of Engineers (1987). “Beneficial Uses of Dredged Material.” *EM 1110-2-5026*.
- U.S. EPA (1998). “EPA's Contaminated Sediment Management Strategy.” *EPA-823-R-98-001*.
- U.S. EPA (1997). “Evaluating Environmental Effects Dredged Material Management Alternatives.” *EPA-892-0*.
- U.S. EPA (1993). “Selecting Remediation Techniques for Contaminated Sediment.” *EPA-823-B93-001*.