

해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발[Ⅲ]

2010. 10.

주관연구기관

한국해양연구원



국토해양부
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

본 보고서를 “해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발[Ⅲ]” 용역 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010년 10월 일

총괄연구책임자 : 김 경련 (한국해양연구원)

세부연구책임자 : 김 석현 (한국해양연구원)

홍 기훈 (한국해양연구원)

참여연구원 : (한국해양연구원)

정창수, 양동범, 김영일, 김창준, 최기영,
김동화, 강정애, 이현미, 전지연, 문병호,
김혜은, 박대훈, 하규영, 박희영, 최정훈

요 약 문

I. 과제명 : 해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발 [Ⅲ]

II. 연구개발의 배경 및 목적

1. 배경

- 우리나라에서 해양오염퇴적물 정화·복원사업은 1988년 마산만 오염해양 준설사업으로부터 시작되었고, 2007년까지 마산만 등 6개 해역에서 오염퇴적물을 준설로 제거한 다음 해양배출 또는 해면매립(마산만)으로 최종 처리(처분)하여 해양환경 개선에 이바지 하였다. 그러나 수거 해양오염퇴적물의 해양배출기준 강화(해양환경관리법 시행규칙 별표8의3, 2008년 8월)로 해양배출 대체 처리방안의 부재로 정화사업 추진에 애로가 발생함.
- 2009년 12월부터 부산 남항 및 용호만에서 해양오염퇴적물을 수거하여 적절한 처리 후 연안매립(신선대준설토투기장)으로 최종 처리(처분)하는 정화사업이 진행되고 있으며, 울산 방어진, 진해 행암만, 부산 감천항 등에서 해양오염퇴적물 정화사업이 예정되고 있으므로, 향후 해양오염퇴적물 정화·복원사업의 원활한 추진 및 체계적인 관리를 위해서는 오염우려 해역별 퇴적물 오염현황 조사, 정화·복원사업 대상지역 선정, 중간 및 최종 처리대안 마련, 정화사업 추진방안 등을 포함하는 기본계획의 수립이 요구됨.
- 해양오염퇴적물 정화·복원사업은 해양환경관리법 제18조 제1항의3 “오염된 퇴적물의 수거”, 같은 법 제70조(해양환경관리업) 및 시행규칙 별표14(등록기준)에 따라 퇴적오염물질수거업체가 등록된 전용 수거선(펌프설비)으로 오염된 퇴적물을 수거함. 그러므로 현재 등록된 수거공법에 대한 현황과 특성을 포함, 수거 작업 중 발생할 수도 있는 탁도, 부유물질 등이 해양환경에 미치는 영향에 대한 조사가 필요함.

- 펌프설비에 의한 해양오염퇴적물 수거는 필연적으로 수거과정에서 다량의 해수가 포함되므로, 이송 또는 그 다음 처리를 위해서는 수거 직후 탈수 등 중간처리가 필요하며, 이 과정에서 방류수가 발생할 수 있으므로, 방류수를 관리하기 위한 기준의 개발이 요구됨.

2. 목적

- 원활한 오염해역 정화복원사업 수행 지원
- 효율적인 해양오염퇴적물 정화·복원사업을 위한 기본계획 마련
- 해양오염퇴적물 수거 공법별 특성 조사
- 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질 기준 마련

III. 연구 개발 내용 및 범위

1. 효율적인 해양오염퇴적물 정화·복원사업 추진을 위한 기본계획 마련
 - 해양오염퇴적물 선진 관리방안을 기초로 조사, 수거, 처리, 재활용, 처분 등 해양오염퇴적물 정화복원사업의 전체과정을 검토
 - 해양오염퇴적물 정화복원사업 추진 및 체계적인 관리를 위한 기본계획 제시
2. 해양오염퇴적물 수거 공법 특성 조사
 - 해양오염퇴적물 수거 공법별 처리기술의 현황 및 보유시설 실태조사
 - 해양오염퇴적물 수거 공법별 특성 조사 결과 제시
3. 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질 기준 마련
 - 해양오염퇴적물 중간처리 설비 및 공법 현황 파악
 - 해양오염퇴적물 정화사업 해역 특성별 해상 중간처리수의 해역 영향 검토
 - 해양오염퇴적물 해상 중간처리 방류수 수질 관리 방안 제시

IV. 연구 개발 결과

1. 효율적인 해양오염퇴적물 정화·복원사업 추진을 위한 기본계획 마련

1) 오염해역 퇴적물 정화·복원 원칙 수립

■ 해양오염퇴적물 관련 국내·외 관리방안을 검토한 결과를 기초로 다음과 같이 네 가지 기본목표를 수립하였다.

- 생물 또는 사람의 건강을 포함하여 해양환경에 영향을 줄 수 있는 오염된 퇴적물이 더 이상 오염되는 것을 방지
- 수질, 생물 또는 사람의 건강을 포함하여 해양환경에 나쁜 영향을 초래하는 해양오염퇴적물을 정화
- 해양오염퇴적물의 수거 및 처리(중간, 최종)가 환경적으로 안전한 방법으로 관리
- 해양오염퇴적물의 조사, 분석, 평가 방법을 지속적으로 개발 및 보완하여 일관되게 적용

수립된 네 가지 기본목표를 효율적으로 실현하기 위한 방안으로서, 다음과 같이 11개 기본원칙을 설정하였다.

- **(법적근거)** 해양오염퇴적물을 효율적으로 관리하기 위해서는 관련 법, 제도에 의거 조사, 평가, 정화 등 각 단계별로 수행하여야 한다.
- **(조사)** 해양오염퇴적물을 조사하는 방법을 지속적으로 개발하여 보급한다.
- **(현황조사)** 해역별 퇴적물 오염도 조사를 지속적으로 실시하여 전국 해양오염퇴적물 분포 현황도를 작성, 관리한다.
- **(평가)** 해양환경 변화 및 새로운 오염물질 발생 등을 고려한 해양오염퇴적물 평가 방법을 지속적으로 개발, 보완한다.
- **(예방)** 해양퇴적물 오염을 유발할 수 있는 육상기인 오염물질 유입 차단 및 연안 점오염원(산업시설) 정비한다.
- **(의사결정)** 해양퇴적물의 오염 원인이 과학적으로 규명되고, 유입되는 오

염원이 정비된 경우에 해양오염퇴적물 정화사업을 추진 여부를 결정한다. 단, 국가 정책상 정화의 우선순위가 있거나 대규모 행사 개최 등 시급한 사항이 있을 경우 추진한다.

- **(정화사업 시행)** 해역에 오염된 퇴적물이 존재할 경우, 더 이상의 오염을 방지하기 위해서 적절한 조치를 취한다. 오염된 퇴적물을 수거할 경우, 사전에 처리(중간, 최종) 방안을 확보한 다음 실시한다.
- **(정화사업 중 환경관리)** 정화사업에 따른 2차 오염 등 영향을 최소화한다.
- **(모니터링 및 사후 관리)** 정화사업의 효과를 유지하기 위하여 정화사업 전, 정화사업 중 및 정화사업 종료 후 일정기간 동안 모니터링을 실시하고, 그 결과에 따라 대상 해역을 관리한다.
- **(국제협력)** 해양오염퇴적물 평가 및 관리를 위해서는 관련 기관, 민간 이해관계자 및 외국 관련 기관과 상호 협력을 강화한다.
- **(녹색성장)** 국내 해양오염퇴적물 정화사업 활성화로 시장을 확대하고, 기술인력 육성 및 정화사업 선진화를 촉진한다.

2) 해양오염퇴적물 현황 조사계획 수립

- 향후 조사가 필요한 해역은 면적 전체 101,956,500m²에서 866개 정점인데, 2004년부터 2007년까지 퇴적물 오염현황 조사결과로부터 퇴적물의 오염이 확인되며, 시급히 정화복원이 필요한 해역은 부산 남항, 부산 북항, 진해 행암만, 장생포항, 온산항 여수항 등 14개 해역이다.
- 향후 해양오염퇴적물 정화·복원사업의 원활한 추진을 위한 퇴적물 오염현황 확인 및 대상물량을 기초 산정하기 위하여, 인구 및 산업시설이 밀집되어 있고, 퇴적물의 오염도가 높아서 시급히 정화·복원이 필요할 것으로 추정되는 특별관리해역 중 추가 조사가 필요한 부산항, 인천항, 광양항, 여수항, 마산항, 울산항 및 진해항에서 면적 52,990,000m², 271개 정점에서 우선적으로 퇴적물 오염현황을 조사하고,
- 그 다음, 무역항(국가관리항, 지방관리항) 29개 및 연안항 25개 등 전체 54개 해역에서 추가 조사가 필요한 면적 48,966,500m², 595개 정점에서 퇴적물 오염현황 조사를 지속적으로 실시하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

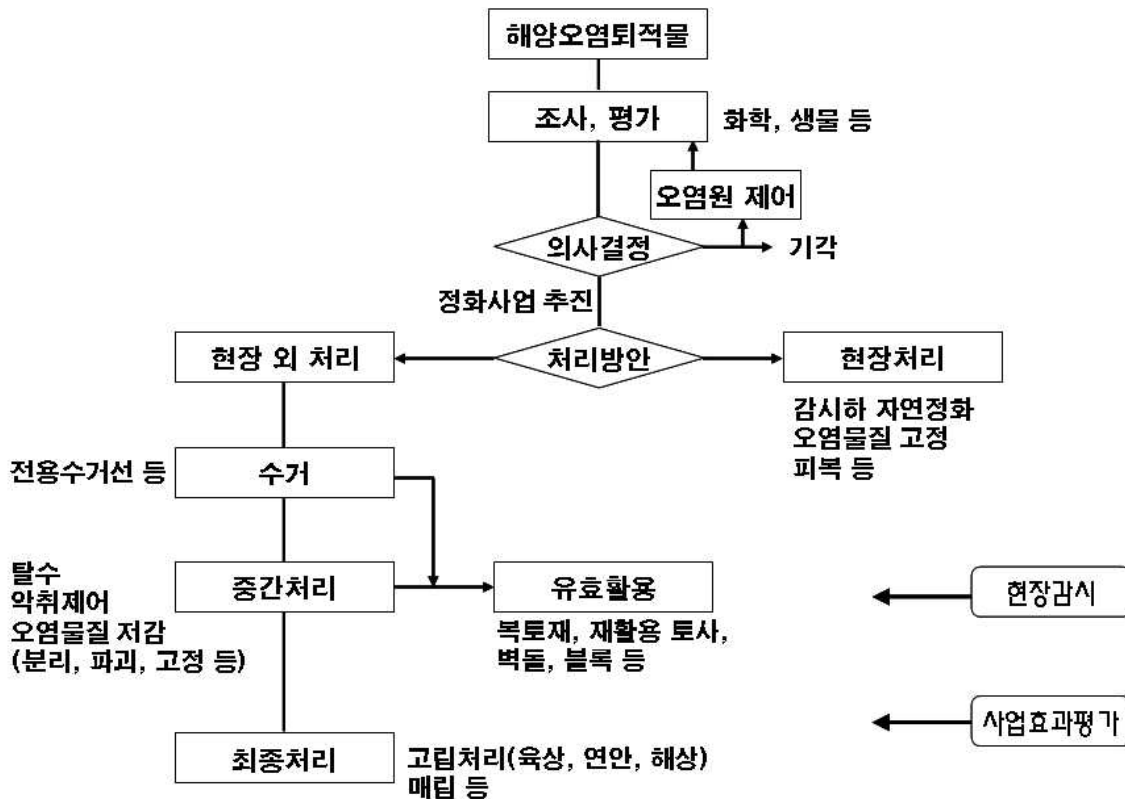
향후 10년간 연차별 퇴적물 오염현황 조사 정점 및 소요 예산 (총8,659백만원)

구분	소 계	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
'11~'15	271/2,681	54/536	54/536	54/536	54/536	55/537
'16~'20	595/5,978	119/1,196	119/1,196	119/1,196	119/1,195	119/1,195

(정점/백만원)

3) 해양오염퇴적물 처리방안 체계도 작성

- 다양한 처리방안, 국외 활용 사례, 처리방안 선정시 고려사항 등 검토결과를 기초로, 실제 정화사업 시 필요한 오염 현황 파악, 오염 평가, 오염원 제어, 정화, 처리 및 사후 관리 등 일련의 과정을 모두 포함하는 처리방안 체계도를 작성하였다.



해양오염퇴적물 처리방안 체계도

4) 해양오염퇴적물 정화사업 대상 해역별 적정 처리방안 검토

- 수거 해양오염퇴적물에 활용 가능한 국내 처리기술 개발과 실현을 위해서는 다음과 같은 기본방향을 설정할 필요가 있다.
 - 정화사업이 고려되는 해역별로 맞춤형 오염퇴적물 처리방안 확보
 - 지속적인 정화사업 추진을 위한 수거 오염퇴적물 처리기술 개발 및 시장 창출 유도
 - 수거 오염퇴적물의 안전한 최종처리(처분) 실현을 위한 기술개발 및 장기간 안정적으로 사용할 수 있는 대규모 최종처리장 확보
 - 수거 오염퇴적물을 처리 후 유효활용도 증대
 - 오염퇴적물의 수거 이외의 현장처리 기술 개발 및 보급
 - 전국 해양오염퇴적물 분포 현황도를 작성하여 이를 근거로 정화사업 추진을 위한 해역별 우선순위 결정
 - 해양오염퇴적물의 수거, 처리(중간, 최종)기술의 원활한 실현을 위하여 관련 법·제도 정비를 지속적으로 정비

5) 해양오염퇴적물 정화사업 시 해역 관리방안 검토

- 효과적인 오염감축실현을 위하여서는 사전 오염원 제어방안으로 개별 오염원에 대한 관리주체를 확인하고 오염원 감축에 대한 이행계획을 수립하고 그 실행정도를 감시, 확인하는 과정이 요구된다.
- 정화사업 중 현장에서 실시하여야 하는 해양환경모니터링은 오염퇴적물의 수거과정 발생될 수 있는 부유물질의 확산 및 수거된 오염퇴적물의 전처리 단계에서 해역으로 방류할 지도 모르는 방류수로 인한 환경 역영향 가능성을 억제시키는데 그 목적을 두어야 하며, 이에 대한 영향가설을 수립하고 사업해역과 방류수에 대한 모니터링 항목을 선정하는 방안을 검토하였다.
- 정화사업 시 해역 관리방안으로 오염 제어 우선관리 대상항목 선정하여 오염유입원으로 영향을 미칠 수 있는 시설들의 목록을 작성하여 오염원 제어 계획 및 이행방안을 수립하고 정화사업 기간동안 해양환경 모니터링과 방류수의 수질에 대하여 조사를 실시하여 사업기간 중 공사로 인한 2차오염 등을 방지하기 위한 조치를 이행하여야 한다.

6) 해양오염퇴적물 최종처리장의 환경관리방안 검토

- 수거된 오염퇴적물의 최종처리방안으로는 1)오염도를 저감하거나 활용 목적에 맞게 변형시켜 이익적으로 활용, 2)육상의 폐기물매립장에 처분, 3) 육상에 폐쇄형 처분장을 조성, 4)연안폐쇄처분장 조성, 5)수중폐쇄처분장 조성, 6)폐쇄형 인공섬 조성 등의 방안이 있다.
- 육상 폐기물매립장에 최종처리할 경우, 폐기물관리법에 규정된 환경관리 기준들을 준수하여야 한다. 폐기물매립장은 법에 명확하게 그 조성방법 및 관리주체가 정해져 있기 때문에 이를 따르면 된다.
- 폐쇄처분장은 대부분 육상에 설치되며 필요에 따라서는 수변지역 또는 완전히 물에 둘러싸인 수역에 폐쇄수계처분장의 형태로 설치되기도 한다. 처분장은 오염물질의 누출이 최소화되도록 설치되어야 하고 처분장의 구조가 유지되어 누출이 발생하지 않도록 관리되어야 한다.
- 국내에 아직 오염퇴적물 전용 폐쇄처분장의 설계 및 조성이 이루어지지 않고 있기 때문에 이에 대한 세부 설계 및 관리에 대한 기술적인 지침의 개발이 요구된다.

7) 해양오염퇴적물 정화사업 종료후 해역 관리방안

- 정화사업 종료 후 해역 관리 모니터링은 1) 설계 및 기준들에 대한 부합 정도를 평가; 2) 퇴적물 정화 수준들에 부합하는 단기간 정화 성능 및 유효성 평가; 3) 정화 목적들의 달성 및 인간의 건강 및/또는 환경상 위험에서의 장기간 정화 유효성 평가, 들을 포함하여 수행되어야 한다.
- 성공적인 오염퇴적물 정화사업은 전형적으로 선택된 퇴적물의 화학적 또는 생물학적 정화 수준들이 시간 경과에 대하여 충족되고 또한 유지되는 곳과, 또한 모든 관련 환경 문제들이 해역의 용도 및 정화 목적들에 기초한 수용가능한 수준들로 감소되어지는 것이므로 적절한 경우에는, 장기간 위험 감소의 주요 측정에 더해 그 장소에서 여러 번의 정화사업 유효성의 중간 측정이 평가되어야 한다. 이에 대한 정화사업 종료 후 해양환경 모니터링에 포함되는 정화사업 준수 검증사항과 사업해역 해양환경 모니터링의 지침을 제시하였다.

8) 국가 해양오염퇴적물 기본계획 제시

- 해양오염퇴적물 정화사업의 원활한 추진을 위하여, 필요한 사항들을 해결할 수 있도록 연차별 계획을 포함하는 국가 해양오염퇴적물 정화사업 기본계획을 작성하였다.

2. 해양오염퇴적물 수거 공법 특성 조사

1) 해양오염퇴적물 수거 공법 현황 및 실태조사

- 해양오염퇴적물 수거공법 현황 및 특성을 파악하기 위하여, 2010년 9월 현재 퇴적오염물질수거업 등록업체 13개 업체를 대상으로 조사한 결과, 현재 등록된 퇴적오염물질전용수거선은 총 13척이며, 국내에서 개발된 선박은 4척, 미국 또는 일본에서 정화사업에 사용되었던 오톤설선 등 장비를 중고로 도입한 선박은 5척, 바지선을 활용한 선박은 4척으로 나타났다.
- 수거선에 설치된 펌프설비의 종류는 진공흡입식 펌프 5개, 원심펌프 1개, 유압트래쉬펌프 2개, 기압차 펌프 2개, 우즈펌프 1개 등 매우 다양하다. 상기 수거선 중 총 7척은 실제 외국의 오염퇴적물 정화사업에서 사용된 장비들이다. 등록된 전용수거선 중 4척은 수거 가능 심도가 13 ~ 20m이며, 나머지는 수거 가능 심도가 9m까지로 나타났다.

2) 해양오염퇴적물 수거 공법별 특성 조사

- 국내 해양오염퇴적물수거업 등록업체의 수거공법 13개 중 현재 정화사업에서 오염퇴적물 수거에 사용되는 2개 공법('아'업체, '나'업체)을 대표적인 수거공법으로 선정하여 현재 오염퇴적물 수거사업이 진행되고 있는 부산남항 수거사업 구역에서 각 공법별로 수거 과정에서 발생하는 탁도를 측정, 평가하였다.
- '아'업체의 공법은, 흡입구 주변 3m지점의 우측 3개 지점에서는 17.8 ~ 41.7mg/L로서 표층부터 수심 6 m까지 편차가 $\pm 20\%$ 로 지점별로 일정한 분포를 보였으나 6m아래 저층에서는 급격하게 증가하여 배경농도보다 최대 50%까지 증가하였다. 그러나 흡입구 주변 5m 지점과 10m 지점에

서는 편차가 $\pm 20\%$ 로 지점별로 일정한 분포를 나타내고 있고, 수심에 따른 편차의 증감도 일정한 분포를 보이고 있어 수거과정시 발생하는 부유 퇴적물의 영향이 흡입구 주변 5m 이상 지점에서는 미미한 것으로 사료된다.

- '나'업체의 공법은, 수거과정에서 발생한 부유퇴적물이 흡입구주변 3m 지점에서는 15.8 ~ 168mg/L 로서 수심 4m이하 저층에서 영향을 주고 있으며 흡입구 주변 5m와 10m 지점에서도 조류에 영향을 받는 지점의 수심6m이하 저층에서 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.
- 특성조사 결과 및 외국 사례 검토를 기초로 퇴적오염물질 수거작업시 부유물질의 발생으로 인한 환경피해 최소화를 위하여 제시한 기준은 수거 작업시 수거 펌프를 중심으로 반경 20m 경계선의 바닥으로부터 2m 상부에 위치한 수층에서 측정된 부유물질 농도가 주변해수의 부유물질 농도보다 20mg/L 이상을 초과하여서는 아니 되며, 20m 경계선에서의 부유물질의 농도를 측정할 때에는 물의 흐름이 진행되는 방향을 포함하여 적어도 4 정점 이상을 포함하여야 한다.
- 현행 국내 해양오염퇴적물 수거공법을 미국, 유럽, 일본 등의 수거공법과 비교 검토한 결과는 다음과 같다.
 - 준설(흡입)방법: 현재 우리나라의 퇴적오염물질 수거공법(총 13개)은 모두 유압식 즉, 펌프설비를 사용하여 해양오염퇴적물을 흡입하여 수거하는 방법이 사용되고 있다. 현행 해양환경관리법 시행규칙 별표 14 해양환경관리업의 등록기준 중 5. 퇴적오염물질수거업에는펌프설비에 의한 수거만을 규정하고 있으며, 기계식, 혼합식 또는 기타 수거공법은 규정되어 있지 않다. 한편, 미국, 유럽, 일본 등에서는 환경준설(Environmental Dredging)의 개념을 도입하여, 다양한 수거공법이 활용되고 있다. 그러므로 향후 수거시 환경에 영향을 최소화 할 수 있는 다양한 수거공법의 개발 및 현장 적용이 시급한 것으로 사료된다.
 - 준설(흡입)특성: 현행 수거공법 중 대부분의 수거공법은 대상 퇴적층이 오니층일 경우, 수거에 효과적인 공법이다. 사질 등 다양한 형태의 퇴적층에 적용할 수 있는 공법은 3개 공법으로 제한적이다.
 - 준설 깊이 제어: 대상 해양오염퇴적물의 수거시 깊이 제어는 두 가지

방식으로 구분된다. 먼저 백호우 등 장비를 수동 조작에 의해 깊이를 제어하는 방식(6개 공법)과 프로그램에 의한 기계적 조작에 의해 흡입구를 제어함으로 깊이를 제어하는 방식(7개 공법)이 있다. 또한, 수거시 해황(해류, 파랑 등)의 영향을 받지 않고, 수거선박의 정밀한 자세제어가 가능한 공법은 전체 13개 공법 중 6개 공법이다. 현행 수거공법으로는 수거선의 자세제어가 어려우며, 전체 수거공법 중 약 절반인 6개 공법이 수동 조작으로 깊이를 제어하므로, 정밀한 수거가 이루어지기는 매우 어렵다. 그러므로 현행 수거공법에 의한 준설 깊이 제어는 시급히 개선할 필요가 있는 것으로 사료된다.

- 양수량 및 함니율: 현행 수거공법에 의한 양수량은 최소 100m³/h, 최대 623m³/h, 평균 280m³/h (표준편차 154m³/h)이며, 함니율은 10 ~ 30% (최대 40%)로 나타났다. 평균 양수량에 함니율을 고려하면 해양오염퇴적물의 실제 수거량은 약 28 ~ 84m³/h인 것으로 평가할 수 있다. 펌프 설비에 의한 수거일 경우, 공법의 특성에 따른 함니율에 의해 해양오염퇴적물의 실제 수거량이 결정된다. 또한, 운반, 오염도 저감을 위한 중간처리 등을 위해서는 처리대상 물량을 감축하고, 탈수하는 과정이 반드시 필요하다. 그러므로 향후 해양오염퇴적물 수거 효율을 높이고, 탈수 등 중간처리 비용을 저감시킬 수 있는 다양한 수거공법을 개발할 필요가 있는 것으로 사료된다.
- 단위시간당 준설범위: 현행 수거공법의 단위시간당 준설범위에 대한 관련 자료는 없으므로, 현 단계에서 평가할 수 없다. 그러나 향후 관련 자료 축적하고, 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.
- 준설장치(흡입구) 위치 제어: 대상 해양오염퇴적물의 수거시 준설장치(흡입구) 위치 제어는 두 가지 방식으로 구분된다. 먼저 백호우 등 장비를 수동 조작에 의해 깊이를 제어하는 방식(6개 공법)과 프로그램에 의한 기계적 조작에 의해 흡입구를 제어하는 방식(7개 공법)이 있다. 또한, 수거 깊이 제어의 경우와 같이 해황에 영향을 받지 않고, 수거선의 정밀한 자세제어가 가능한 공법은 6개 공법뿐이므로, 대부분의 수거공법에서 흡입구의 정밀한 위치제어는 매우 어려운 것으로 판단된다. 그러므로 향후 흡입구의 정밀한 위치 제어는 시급히 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

- 탁도(부유물질) 발생정도: 현행 수거공법의 탁도(부유물질) 발생정도에 대한 관련 자료는 일부에 국한되므로, 현 단계에서 평가하기는 매우 제한된다. 다만, '나' 및 '아' 공법의 특성조사 결과, 수거 작업시 수거 펌프를 중심으로 반경 20m 경계선의 바닥으로부터 2m 상부에 위치한 수층에서 측정된 부유물질 농도가 주변해수의 부유물질 농도보다 20 mg/L 이상을 초과하지 않는 것으로 사료된다. 그러나 향후 다른 수거공법에 대한 특성조사를 실시할 필요가 있는 것으로 판단된다.

■ 현행 국내 해양오염퇴적물 수거공법의 현황 및 특성조사 결과 그리고 외국의 환경준설 공법과 비교 등을 기초로 검토한 결과, 향후 국내 해양오염퇴적물 수거공법은 다음과 같은 개선이 필요할 것으로 사료된다.

- 펌프설비 이외의 다양한 수거공법 개발: 현행 수거공법은 유압식 즉 펌프설비에 의한 흡입으로 해양오염퇴적물을 수거하므로, 수거시 다량의 해수를 포함하게 되므로, 수거후 운송 및 중간처리를 위해서는 대상물량을 감축할 필요가 있다. 또한, 오염도를 낮추기 위한 중간처리는 처리 대상물질의 함수율을 공정에 적합한 수준으로 저감시킬 필요가 있다. 이 경우, 수거 직후 탈수 등을 위한 공정에 많은 시간과 비용이 요구되므로, 미국, 유럽, 일본 등의 환경준설에 사용되는 수거공법과 같은 수거시 환경에 미치는 영향이 작은 기계식, 유압식, 혼합식 및 기타 혁신적인 수거공법을 국내에 시급히 도입하여 우리나라의 특성에 적합한 수거공법을 개발하고, 이를 실제 정화사업에 사용하는 것이 타당한 것으로 사료된다.
- 선박항행을 방해하지 않는 혁신적인 수거공법 개발: 정화사업 현장에서는 오탁방지막이 사용되는데, 이 경우 대형 선박의 통항이 제한될 수 있다. 일본의 경우 소형 이동식 오탁방지막을 수거선에 설치하여 기계식, 유압식 또는 환경그랩 등을 사용하여 해양오염퇴적물을 수거하고 있다. 이러한 공법은 선박의 항행을 방해하지 않고, 인접지역에 선박이 통행할 경우, 신속히 이동할 수 있으므로 항로구역에서도 해양오염퇴적물의 수거가 가능하다. 또한, 사용하는 오탁방지막은 해저면까지 설치할 수 있으므로 수거과정에서 부유토사의 확산 등 2차오염을 방지할 수 있다. 그러므로 이러한 수거공법 역시 국내 정화사업에 도입이 시급한 것으로 판단된다.

- 정화사업시 대상 해역별 최적 수거공법 선정을 위한 기술심사 도입: 외국의 정화사업에서는 대상 해역별 특성에 적합한 수거공법과 처리방안을 선정하기 위한 사전 기술심사(Prequalification: PQ)가 보편화 되어있다. 현재 우리나라의 정화사업에서는 가격에 의한 투찰로 사업수행자를 선정하고 있으므로, 선정된 사업수행자의 수거선 또는 수거공법으로 수거시 수거효율이 낮거나, 대상 해역의 특성에 적합하지 않을 경우, 사업추진이 지연되는 등 많은 문제점이 발생하고 있다. 그러므로 이러한 문제점을 보완하고, 효율적인 정화사업 추진을 위해서는 향후 대상 해역별 최적 수거공법 선정을 위한 사전 기술심사(PQ) 제도의 도입을 검토할 필요가 있는 것으로 사료된다.

3. 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질 기준 마련

1) 해양오염퇴적물 중간처리 기술 현황

- 해양오염퇴적물의 중간처리 과정에서 방류수가 발생하는 이유는 다음 세 가지 경우이다:
 - 수거한 퇴적물의 탈수과정에서 발생,
 - 오염도 저감 등 중간처리 공정에서 발생,
 - 준설투기장에 투기시 발생
- 방류수는 해양오염퇴적물 정화사업이 수행되는 기간 동안 몇 주내지 몇 개월 정도 연속적으로 발생하며, 오염퇴적물의 처리과정에 기인한 유해화학물질 또는 부영양화물질이 포함된다.
- 중간처리 기술 현황조사는 수거 해양오염퇴적물의 탈수, 악취제거, 물리적 분리 등에 활용 가능한 기술로서, 해양오염퇴적물 수거 기술 분야의 퇴적오염물질수거업 등록업체(13개), 준설 기술과 관련하여 전문건설업 중 준설업면허 보유 업체(40개) 및 오염토양 정화 분야의 토양정화업 등록업체(120개) 등을 대상으로 하였다.
- 중간처리 기술 현황조사 결과를 종합하면,
 - 현재 국내 상용화된 중간처리 기술 중 기계식 및 수처리 설비에 의한

탈수공법과, 약품처리, 탈취탑 등 설비, 촉매 및 바이오필터 등 악취제거 기술이 해양오염퇴적물 정화사업에 활용될 수 있으며,

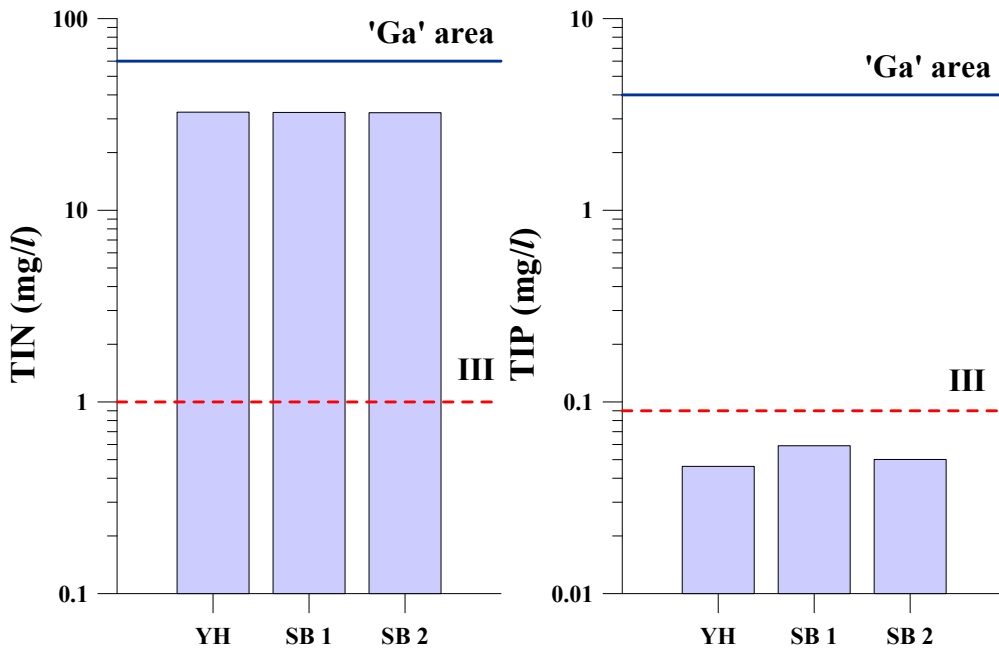
- 해양오염퇴적물 정화사업을 위하여 100m³/h 이상 처리용량의 상용 처리장치 제작 등 준비에 약 5개월(제작비용 약 5억)이 소요될 것으로 예상되며,
- 탈수 및 악취제거 공법별로 각 업체의 시간당 평균 처리용량은 100m³/h이며, 일평균 처리용량은 1,600m³/d 이상으로 나타났으며, 처리용량은 공법별, 업체별로 현격한 차이가 없이 유사한 것으로 나타났다.
- 현재 상용화된 악취제거 기술로는 황화수소(H₂S), 휘발성유기화합물(Volatile organic carbons: VOCs), 메르캅탄(Mercaptans), 황화합물(Sulphides), 복합 악취 등을 제어할 수 있는 것으로 나타났다.
- 현재 상용화된 탈수 및 악취제거 공법은 처리과정에서 전기 및 용수 공급이 요구되며, 장치의 설치에는 면적 50~100m², 높이 3~4m의 공간이 필요한 것으로 나타났다. 그러므로 상기 중간처리 기술은 해양오염퇴적물의 정화사업에 활용하기 위해서는 연안 또는 해상의 바지선에 설치, 운용이 가능하도록 수정, 보완이 필요할 것으로 사료된다.

2) 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 해역영향 검토

■ 탈수처리와 관련된 실험결과는 다음과 같다.

- 응집제 처리 시 방류수 중 용존 무기 영양염류

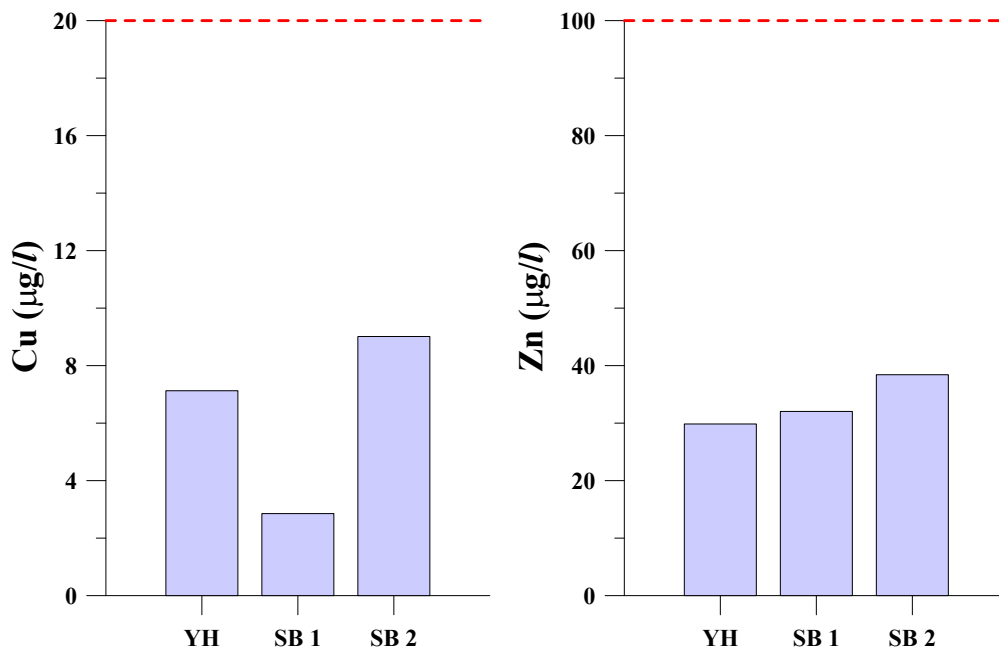
용존 무기 영양염류 중 총무기질소(Total Inorganic Nitrogen : TIN)는 모든 시료에서 해역환경기준의 생활환경기준 III등급인 1.0mg/l를 약 30배정도 초과하였으나, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 60mg/l보다는 낮은 농도를 나타냈다. 총무기인(Total Inorganic Phosphate : TIP)의 경우, 모든 시료에서 해역환경기준의 생활환경기준 III등급인 0.09mg/l를 넘지 않았으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 8mg/l보다 낮은 농도를 보였다.



응집제 처리 시 방류수 중 용존 무기 영양염류의 농도

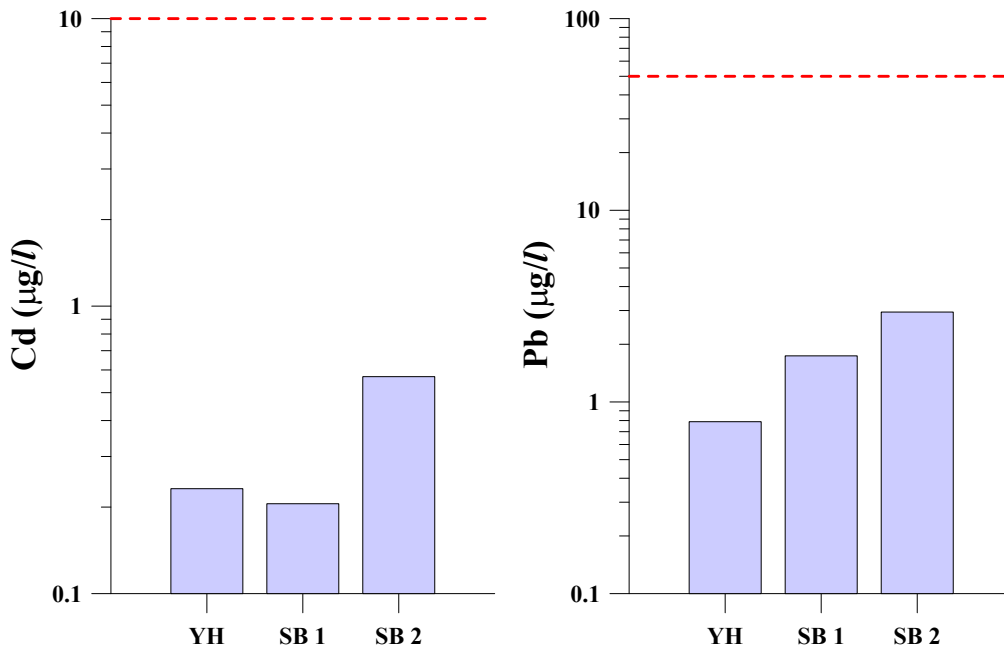
- 응집제 처리 시 방류수 중 용존 중금속

용존 중금속 중 구리(Cu)는 모든 시료에서 해양환경기준의 건강보호 기준인 0.02mg/l보다 약 2배 낮은 농도를 나타냈으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 3mg/l보다 현저히 낮은 농도를 보였다. 아연(Zn)의 경우, 모든 시료에서 해양환경기준의 건강보호 기준인 0.1mg/l의 2~3배 낮은 농도를 나타냈으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 5mg/l보다 낮은 농도를 나타냈다



응집제 처리 시 방류수 중 구리(Cu)와 아연(Zn)의 농도

용존 중금속 중 카드뮴(Cd)은 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.01mg/l의 약 1/10에 해당하는 낮은 농도를 나타냈으며, 수질 오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 0.1mg/l보다 100배 낮은 농도를 나타냈다. 납(Pb)의 경우, 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.05mg/l의를 초과하지 않았으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 0.5mg/l보다 현저히 낮은 농도를 보였다



응집제 처리 시 방류수 중 카드뮴(Cd)과 납(Pb)의 농도

- 물리적 처리 시 방류수 중 영양염류

용존 무기 영양염류 중 총무기질소(Total Inorganic Nitrogen : TIN)는 모든 시료에서 해역환경기준의 생활환경기준 III등급인 1.0mg/l을 약 3배에서 10배정도 초과하였으나, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 60mg/l보다는 낮은 농도를 나타냈다. 총무기인(Total Inorganic Phosphate : TIP)의 경우, 모든 시료에서 초기부터 120분까지는 해역환경기준의 생활환경기준 III등급인 0.09mg/l을 넘지 않았으나, 퇴적물에서 점차 용출되어 360분 경과 후에는 SB-A 시료를 제외한 모든 시료에서 III등급기준을 초과하였다. 그러나 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 8mg/l보다는 현저히 낮은 농도를 보였다

- 물리적 처리 방류수 중 용존 중금속

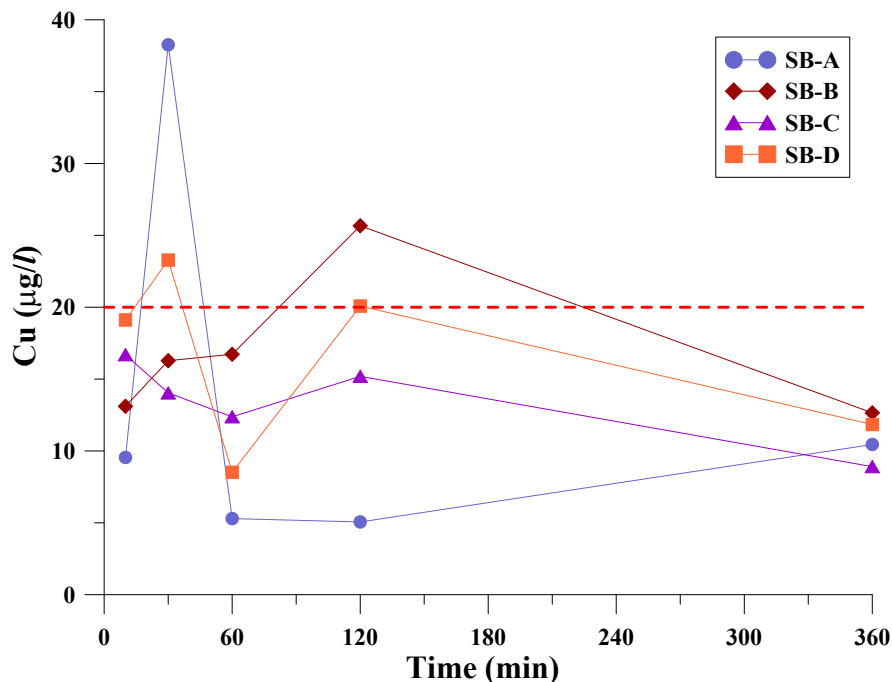
용존 중금속 중 구리(Cu)는 반응시간에 따라 증가와 감소를 반복하며 360분이 경과한 후에는 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.02mg/l보다 낮은 농도를 나타냈으며, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 3mg/l보다 현저히 낮은 농도를 보였다.

아연(Zn)의 경우, SB-B, SB-C 시료에서 증가와 감소를 반복하며 360분이 경과한 후에는 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.1mg/l을 초과하

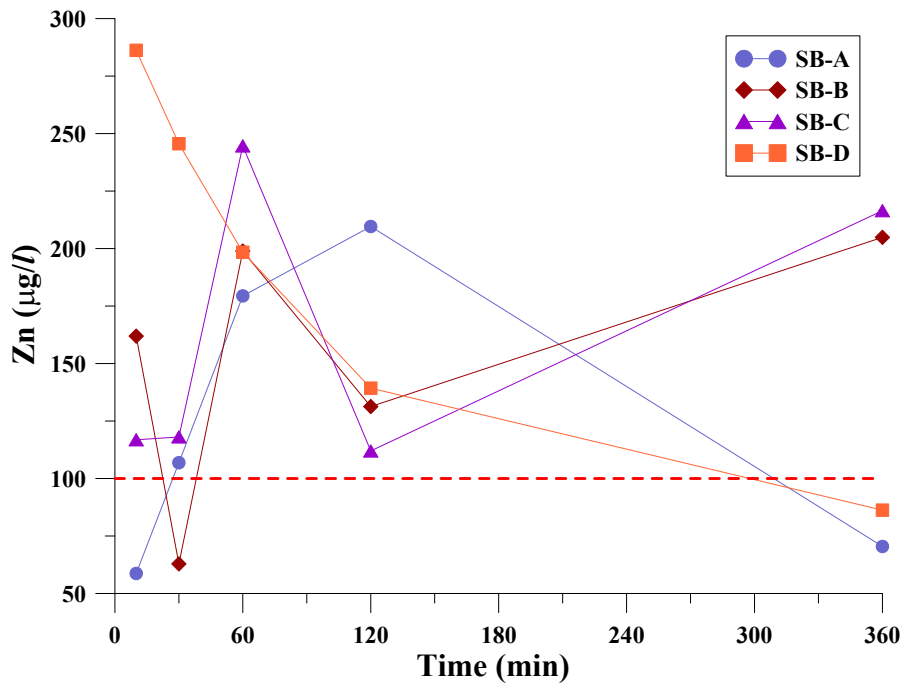
는 값을 보였으며, SB-A시료는 초기부터 120분까지 농도가 증가하는 경향을 나타내며 해역환경기준의 건강보호 기준보다 높은 값을 보였다. 모든 시료에서 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 5mg/l보다는 낮은 농도를 나타냈다. 구리와 아연의 농도변화는 수거퇴적물 내 높은 농도와 관련이 있는 것으로 판단되며, 시료에 따라 존재하는 형태가 다르고 퇴적물의 입자형태에 따라 해수에 용출되는 경향이 달라지는 것으로 사료된다

용존 중금속 중 카드뮴(Cd)은 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.01mg/l의 약 1/10에 해당하는 낮은 농도를 나타냈으며, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 0.1mg/l보다 100배 낮은 농도를 나타냈다.

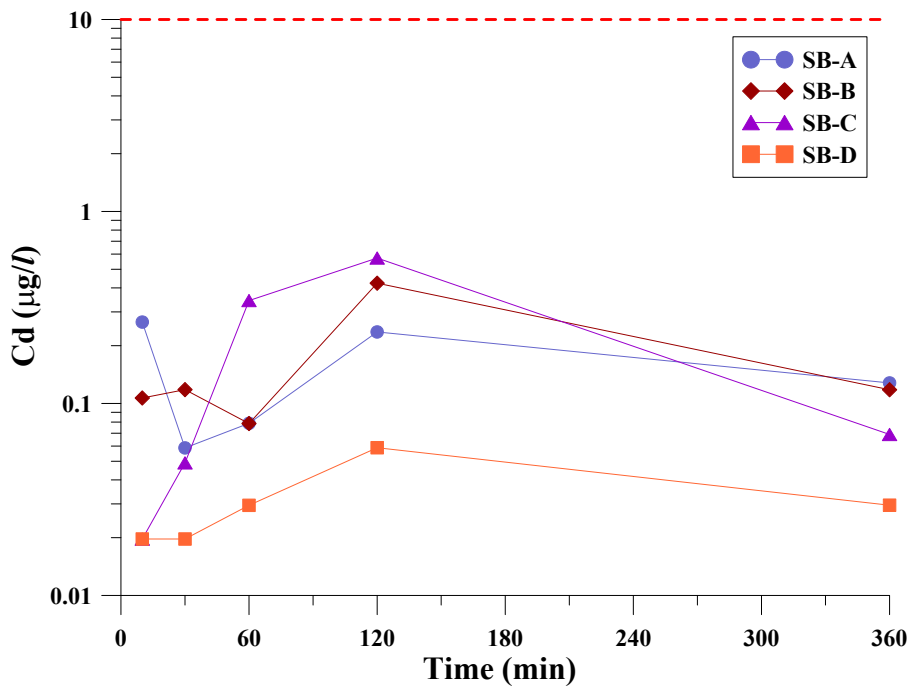
납(Pb)의 경우, 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.05 mg/l의를 초과하지 않았으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 0.5mg/l보다 현저히 낮은 농도를 보였다.



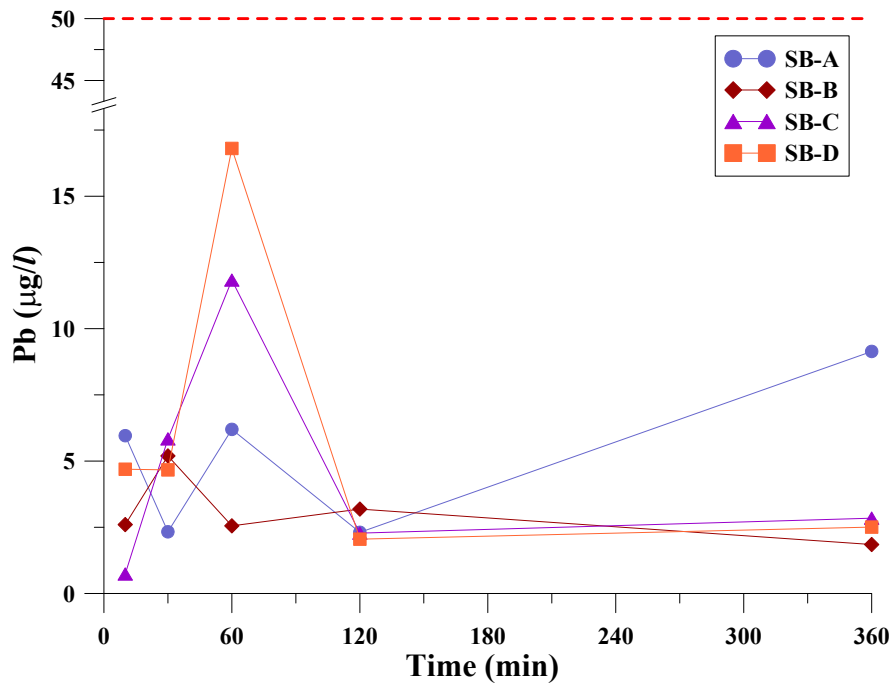
물리적 처리 시 방류수 중 구리(Cu)의 농도



물리적 처리 시 방류수 중 아연(Zn)의 농도



물리적 처리 시 방류수 중 카드뮴(Cd)의 농도



물리적 처리 시 방류수 중 납(Pb)의 농도

■ 탈수처리와 연계한 약취제거 공정의 실현 가능성을 검토한 결과는 다음과 같다.

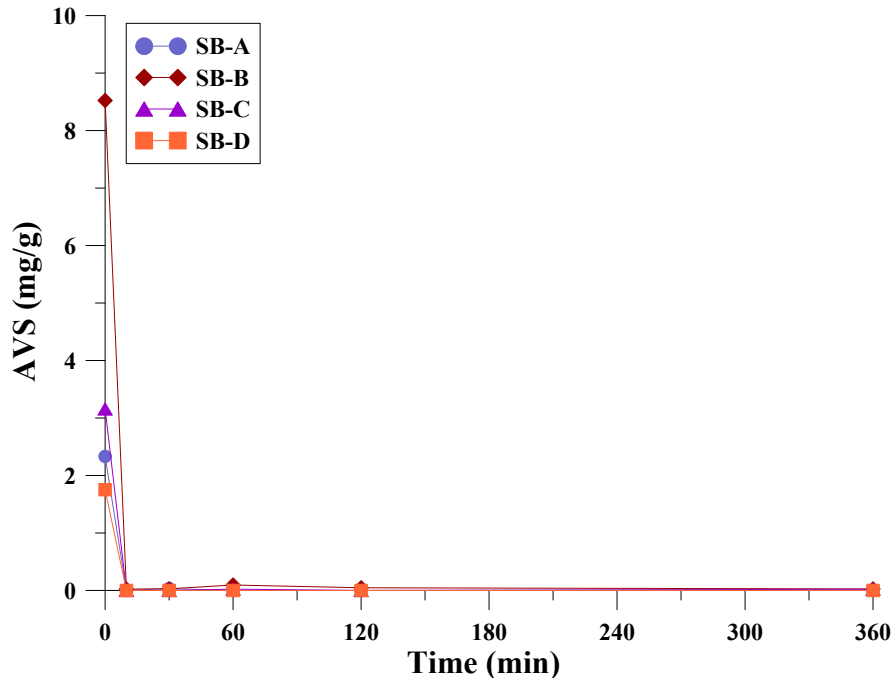
- 약취 제거 처리 실험은 다음과 같이 진행하였다.

수거예정 오염퇴적물을 채취하여 잘 섞은 후 해수와 1:3의 부피비로 혼합한 후 25ml 차아염소산나트륨(Sodium Hypochlorite : NaClO)을 첨가하였다. 이 혼합물 시료를 상온에서 10분간 인력으로 교반하고 수평 교반기를 이용하여 240rpm으로 회전하며 진탕시켜 수거공정과 유사한 조건이 되도록 하였으며, 각각 10분, 30분, 60분, 120분, 360분 동안 교반한 다음, 원심분리기를 이용하여 2,000rpm으로 30분간 분리하여 상등액을 제거한 후 침전된 퇴적물에 대해서 산취발성황화물의 함량을 정량하였다. 비교를 위하여 처리전 퇴적물의 산취발성황화물의 함량도 정량하였다.

- 약취 제거 처리 실험 결과,

산취발성 황화물(AVS)은 처리전 퇴적물에서 SB-A는 2.33mg/g, SB-B는 8.52mg/g, SB-C는 3.16mg/g, SB-D는 1.75mg/g의 값을 나타냈으나, 처리 10분후에 SB-A, SB-C, SB-D의 퇴적물에서는 모두 제거되었으며,

SB-B의 퇴적물에서는 99%이상 감소하였다. 이는 차아염소산나트륨으로 환원환경의 퇴적물을 산화시켜 악취발생의 원인이 되는 황화물(H₂S)을 효과적으로 제거할 수 있음을 나타낸다.



약취제거과정 시 시간에 따른 산취발성 황화물(AVS) 비교

3) 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질 관리 방안

- 양오염퇴적물정화사업과 관련된 내용을 규정하고 있는 법령은 “해양환경관리법” 으로 동법제18조제1항제3호에 해양환경개선조치의 일환으로 ‘오염된 퇴적물의 수거’ 가 규정되어 있으며, 제4항에서는 다. 동법시행규칙 제9조제1항제3호에서는 제1항의 규정에 따른 해양환경개선조치와 관련하여 오염물질 유입방지시설의 설치방법, 오염물질의 수거·처리방법 및 오염된 퇴적물의 수거방법 등에 관하여 필요한 사항은 국토해양부령으로 정하도록 하고 있다.
- 이와 관련, 국토해양부령에서는 ‘수거된 오염퇴적물의 안전한 처리 및 처분’ 과 ‘오염된 퇴적물의 수거시에는 2차 오염을 감소시키는 방안을 강구하여야 한다’, 고 명시되어 있을 뿐, 관련 세부 규정이 마련되어 있지 않다.

따라서, 수거된 오염퇴적물의 처리과정에서 발생하는 배출물질로 인한 해역의 2차오염을 감소시키기 위한 기준의 마련이 요구된다.

- 해양오염방지를 위한 규제로서 공유수면을 매립하려는 장소에 배출할 수 있는 폐기물과 그 처리기준을 동법시행규칙제11조제1항관련 [별표 3]에 다음과 같이 규정하고 있으며, 해양시설등에서 발생하는 폐기물의 해역별 배출기준은 동법시행규칙제11조제3항관련 [별표 5]에서 규정하고 있다.
- 동법시행규칙제3조관련 [별표 1]에는 해양시설의 종류 및 범위에 대하여 규정하고 있으나, 준설토사의 처리시설에 대한 명확한 규정이 없다. 그러나, 이를 [별표 5]의 제2호에서 해양시설등에서 발생하는 유해액체물질의 경우, 자가처리시설에서 발생하는 배출기준은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 13중 가지역에 적용하는 배출허용기준 이하로 처리하여 배출하도록 하고 있어 이를 준용하는 것도 한 방법이다.
- 일본에서 오염퇴적물의 정화사업에서 중간처리 과정에서 발생하는 폐수로 인한 해역오염을 관리하기 위한 규정으로는 2002년 8월 환경성 환경관리국에서 마련한 ‘퇴적물의 처리·처분 등에 관한 지침’과 2008년 4월 일본 국토교통성 항만국에서 제정한 ‘항만에 있어서 퇴적물 다이옥신류 대책 기술지침’이 있다.
- 2002년 일본 환경성에서 마련한 지침에 더하여 2008년 국토교통성에서 제정한 ‘항만에 있어서 퇴적물 다이옥신류 대책 기술지침’에서는 수거된 오염퇴적물의 중간 처리설비, 최종 처분지로부터 발생하는 폐수의 방류로부터 주변 공공수역을 오염시키지 않도록 수처리 방식의 선정 관리에 대한 내용이 상술되어 있다. ‘다이옥신류 대책 특별 조치법(일본)’에 따라, 다이옥신류의 방류수질 기준은 환경성에서 마련한 10pg-TEQ/L이며, 그 밖에 ‘수질오탁 방지법(일본)’의 방류수 기준(도도부현의 추가 조례)등을 고려할 것을 요구하고 있다.
- 준설토물의 처리시 발생하는 처리수의 관리와 관련하여 미국의 경우, 미국환경청에서 개발된 오염퇴적물 평가 및 복원 지침서(U.S.EPA, 1994)에 오염퇴적물질 처리기술의 종류 및 특성과 함께 처리과정에서 발생하는 잔여물질의 관리에 대하여 상세하게 기술되어 있다. 여기서 잔여물질을

오염퇴적물 정화사업 과정에서 발생하는 물질, 부산물, 폐수 등으로 정의 내리고 있다. 따라서, 잔여물은 물, 폐수, 고형물, 기름분리물질, 공기 및 시체 방출물질일 수도 있다. 이러한 잔여물의 관리는 처리, 봉쇄, 환경으로 방류 등을 포함한다.

■ 전처리시설 방류수의 수질관리 기준에 대한 검토결과,

- 전처리시설 잔여수에 대한 사전 수질검사를 바탕으로 부유물질을 제외한 항목들의 농도는 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 농도를 초과하지 않아야 한다.
- 전처리시설 잔여수의 사전 수질검사에서 측정항목들이 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준 농도를 초과할 경우, 이들 오염물질들의 농도를 기준 이하로 저감시키기 위한 별도의 장치를 마련한다.
- 전처리시설에서 발생하는 방류수에 대하여서는 부유물질을 일 1회 이상 측정하여야 한다. 측정 기록은 열람이 가능하게 보관하여야 한다. 부유물질의 농도가 배출허용기준 이상을 초과할 경우, 즉시 공사 담당자는 방류를 중단하고 관리자에게 보고하고 대책을 강구하여야 한다.

■ 중간처리시설 방류수의 수질관리 기준에 대한 검토결과,

- 중간처리시설에서 발생하는 방류수의 수질기준은 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준 농도를 초과하지 않아야 한다.
- 중간처리시설에서의 수질검사는 주 1회 이상으로 하고, 수질검사 기록은 열람이 가능하게 보관되어야 한다. 수질검사에서 방류수의 수질이 배출허용기준을 초과할 경우, 즉시 공사 담당자는 방류를 중단하고 관리자에게 보고하고 대책을 강구하여야 한다.

■ 준설토투기장 방류수의 수질관리 기준에 대한 검토결과,

- 준설토투기장 방류수 대상 잔여수에 대한 수질검사 결과 유해화학물질 관련 항목의 농도가 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준을 초과하지 않을 경우, 방류구의 수질 측정 항목은 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소, 무기질소, 무기인, 규산염), 부유물질(SS) 로 한정한다.

- 준설투기장 방류수 대상 잔여수에 대한 수질검사 결과 유해화학물질 관련 항목의 농도가 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준을 초과할 경우, 이들 항목을 포함하여 측정한다.
- 준설투기장 방류구에서의 방류수 수질기준은 유해화학물질 관련 항목의 경우, 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준으로 하고, 그 외의 항목들에 대하여서는 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준으로 한다.
- 준설투기장 방류구에서의 수질검사는 수거 오염퇴적물의 수거가 이루어지는 기간동안 적어도 1주일에 1회 이상 실시하고, 부유물질에 대하여서는 탁도계를 이용하여 매일 1회 이상 실시한다.
- 검사결과는 해역에 미치는 영향을 검토하기 위한 자료로 사용된다. 공사기간 중 부유물질의 농도가 기준을 초과할 경우, 즉시, 준설투기장에서의 투입을 중지하고, 이를 관리자에게 보고하여야 한다. 관리자는 공사 담당자와 함께 부유물질 확산을 방지하기 위한 대책을 수립하고 시행하여야 한다.
- 준설투기장에서 외해로의 부유물질 확산을 억제하는 방법으로는 투입 지점을 되도록 방류구에서 먼 곳에 배치하거나, 또는 해저면 가까이 배치하는 등의 방안이 있다.
- 방류구에서의 수질검사 결과를 바탕으로 해역의 수질에 미치는 영향에 대한 검토한다. 방류구에서의 측정항목들의 농도와 방류구를 통하여 외해로 유입되는 방류수의 양으로 이들 항목들에 대한 총 유입량을 계산하고, 총 유입량이 해역의 수질에 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 나타날 경우, 방류구에서 흐름이 있는 방향으로 100m 되는 지점에서의 표층과 저층의 수질을 조사한다.
- 투기장 주변해역의 수질 조사는 수거 퇴적물의 투입으로 인한 영향이 가장 클 것으로 예상되는 시기에 수행한다.
- 투기장 방류구로부터의 오염물질 유출로 인한 해역의 환경저하를 미연에 방지하기 위하여서는 사업의 계획 및 설계 단계에서 해역의 혼합계수를 산정하여 사전에 검토가 이루어지는 것이 적절하다.

목 차

제 출 문	i
요 약 문	iii
목 차	xvii
표 목 차	xxx
그림목차	xxxiii
제 1 장 서론	1
제 2 장 효율적인 해양오염퇴적물 정화·복원사업 추진을 위한 기본계획 마련	7
제1절 오염해역 퇴적물 정화복원 원칙 수립	9
1. 해양오염퇴적물 관련 국내·외 관리방안 검토	9
2. 정화복원 원칙 수립	36
제2절 해양오염퇴적물 현황 조사계획 수립	39
1. 항만 개요	39
2. 항만별 주요 현황	40
3. 해양오염퇴적물 조사 현황	70
4. 조사계획 수립	80
제3절 해양오염퇴적물 처리방안 체계도 작성	90
1. 해양오염퇴적물 처리방안	90
2. 처리방안 사례	111
3. 처리방안 선정시 고려사항	119
4. 처리방안 체계도	135
제4절 해양오염퇴적물 정화사업 대상 해역별 적정 처리방안 검토	137
1. 개요	137
2. 전처리(Pretreatment)	138
3. 처리(treatment)	144

4. 외국의 해양오염퇴적물 처리 사례	149
5. 국내 개발이 필요한 처리방안	167
제5절 해양오염퇴적물 정화사업 시 해역 관리방안 검토	171
1. 사전 오염원 제어방안	171
2. 정화사업 중 대상해역의 해양환경모니터링 및 수질 관리 방안 검토	175
3. 정화사업 시 해역 관리방안	186
제6절 해양오염퇴적물 최종처리장의 환경관리방안 검토	195
1. 해양오염퇴적물 최종처리장 환경관리방안 검토	195
2. 해양오염퇴적물 최종처리장의 환경관리방안	212
제7절 해양오염퇴적물 정화사업 종료후 해역 관리방안 검토	216
1. 정화사업 종료 후 해역 관리 사항 검토	216
2. 정화사업 종료 후 대상해역 관리방안	217
제8절 외국의 해양오염퇴적물 정화사업 추진 사례	221
1. 미국의 해양오염퇴적물 정화사업 추진 사례	221
2. 일본의 해양오염퇴적물 정화사업 추진 사례	227
제9절 국가 해양오염퇴적물 기본계획 제시	234
1. 개요	234
2. 기간별 추진 과제 검토	236
3. 해양오염퇴적물 기본계획	237
제 3 장 해양오염퇴적물 수거 공법 특성 조사	275
제1절 해양오염퇴적물 수거 공법 현황 및 실태조사	277
1. 수거공법 개요	277
2. 상용 준설기의 환경영향 검토	287
3. 기타 혁신 준설기술	290
4. 환경준설의 고려사항 검토	298
5. 국내 수거 공법 현황 및 실태	303
제2절 해양오염퇴적물 수거 공법별 특성 조사	343
1. 연구배경 및 필요성	343

2. 조사 공법 특성	344
3. 조사지역	345
4. 조사방법	347
5. 조사결과 및 검토	349
6. 해양환경 영향 검토	363
7. 국내 현행 수거공법 개선방안 검토	375
제3절 결론	393
제 4 장 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질기준 마련	395
제1절 해양오염퇴적물 중간처리 기술 현황	397
1. 해양오염퇴적물 중간처리 기술 개요	397
2. 국내 해양오염퇴적물 중간처리 기술 현황 조사	401
3. 국내 해양오염퇴적물 중간처리 기술 현황 조사결과	412
제2절 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 해역영향 검토	422
1. 탈수공법 성능 검토	422
2. 악취 제거 공법 성능 검토	433
제3절 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질 관리 방안	435
1. 해양오염퇴적물 중간처리 국내·외 유사사례	435
2. 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질관리 방안	461
참고문헌	465

표 목 차

표 2-2-1. 국가어항 현황 (총 110개)	66
표 2-2-2. 문헌에 보고된 해역별 퇴적물 오염현황(1990년~2010년)	70
표 2-2-3. 언론에 보도된 해역별 퇴적물 오염현황 자료 (2004년~2010년)	77
표 2-2-4. 해양퇴적물 오염도 조사 현황 (2004년~2009년)	81
표 2-2-5. 특별관리해역 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산	84
표 2-2-6. 국가관리항(무역항) 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산	85
표 2-2-7. 지방관리항(무역항) 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산	86
표 2-2-8. 연안항 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산	87
표 2-2-9. 향후 10년간 연차별 퇴적물 오염현황 조사 정점 및 소요 예산(제안)	89
표 2-3-1. 오염퇴적물 정화방법 선택을 위한 기본조건	91
표 2-3-2. 오염퇴적물 자연정화방법 사전고려사항	93
표 2-3-3. 자연정화방법 평가에 요구되는 주요 고려사항	95
표 2-3-4. 준설방식의 장단점 비교	109
표 2-3-5. 준설방법의 특징 및 선택 고려사항	110
표 2-3-6. 기타 지역에서의 해양오염퇴적물 정화복원 사례	114
표 2-3-7. 일본의 오염퇴적물 정화복원사업 주요지침	116
표 2-3-8. 오염퇴적물 정화복원방법 및 주요내용	119
표 2-3-9. 오염퇴적물 정화복원방법과 사전인지 조건	120
표 2-3-10. 다양한 정화복원 방법을 결정하기 위한 주요 요소	122
표 2-3-11. 오염퇴적물 정화복원 사업실시설계 주요 구성	134
표 2-4-1. 토목합성재료 컨테이너 탈수 및 저장공법을 활용한 오염폐기물 처리사례	142
표 2-4-2. 처리기술에 따른 투입물질의 제한	143
표 2-4-3. 미국의 퇴적물 오염평가 방법	150
표 2-4-4. 준설퇴적물의 투기를 위한 단계별 영향 평가	151
표 2-4-5. 오염퇴적물 정화·복원 지역에서 사용된 처리기술 현황	152
표 2-4-6. 전체 비용 중 각 기술별 소요 비용의 비율	153

표 2-4-7. 각 오염지역에서 사용된 처리·처분 기술별 단위 비용	154
표 2-4-8. 일본의 준설퇴적물 처리방법에 따른 주요 고려사항	155
표 2-4-9. 일본의 오염퇴적물 처리기술의 개요	156
표 2-4-10. 미국, 일본, 유럽의 해양오염퇴적물 처리기술 현황	165
표 2-5-1. 오염퇴적물 준설 및 처리과정에서 제기되는 문제점	178
표 2-5-2. 오염퇴적물 수거사업해역 해양환경감시 프로그램 영향가설	179
표 2-5-3. 국내 해역별 수질환경기준	181
표 2-5-4. 일본의 오염퇴적물 처리시설 방류수 감시 방안	184
표 2-5-5. 미국 퇴적물 폐쇄처분장 방류수 모니터링 항목 목록	186
표 2-5-6. 유해화학물질 관련 평가항목	187
표 2-5-7. 부영양화 관련 평가항목 및 농도별 평가점수	188
표 2-6-1. 수중고립처분장 모니터링을 위한 지구물리 탐사장비 요약	209
표 2-6-2. 미국 보스톤항 오염퇴적물 수중고립처분장 모니터링 사례	211
표 2-7-1. 미국 수퍼펀드 오염퇴적물 정화사업 해역 효능 측정	217
표 3-1-1. 환경준설에서 사용되는 장비들의 유용성	300
표 3-1-2. 환경준설에 사용되는 준설선별 탁도 발생원단위 사례	302
표 3-1-3. 일반 준설에 사용되는 준설선별 탁도 발생원단위 사례	302
표 3-1-4. 퇴적오염물질수거업 등록업체별 수거공법의 특성	304
표 3-1-5. 준설선의 특성 비교	333
표 3-2-1. 퇴적물의 유해화학물질 최대농도치에서의 수질기준 충족 최대 부유물질 허용농도	371
표 3-2-2. 준설공법에 따른 부유물질 발생량	373
표 3-2-3. 특정목적 준설에 의한 퇴적물의 재부상 농도 (Shinsha, 1998)	374
표 3-2-4. 퇴적물 특성별 임계 재부상 속도	374
표 3-2-5. 수거공법의 특성 비교	391
표 4-1-1. 중간처리에 사용되는 탈수 처리기술별 특성	400
표 4-1-2. 필터프레스 사용시 소요비용 사례	400
표 4-2-1. 우리나라의 해역환경기준 (환경부, 2007)	424

표 4-2-2. 수질오염물질의 배출허용기준 (환경부, 2008)	425
표 4-3-1 수처리 방식의 선정 순서	450
표 4-3-2 일본의 국가, 지자체 방류수 수질기준	452
표 4-3-3 미국의 사전처리 방류수 수질기준 사례	456
표 4-3-4 미국 워싱턴주의 공사로 인한 수층의 혼탁도 허용기준	458
표 4-3-5. 폐쇄처분장의 방류수 배출기준(네덜란드)	459
표 4-3-6. 네덜란드 수자원관리를 위한 농도기준	460

그 립 목 차

그림 2-2-1. 국가어항위치도	65
그림 2-3-1. 자연정화방법과 관련된 해양오염퇴적물 정화기작	92
그림 2-3-2. 표면피복방법 디자인 사례	96
그림 2-3-3. 표면피복방법의 대표적인 사례	97
그림 2-3-4. 실험실에서 표면피복방법의 형성과정 실험 사례	102
그림 2-3-5. 표면피복방법의 다양한 디자인 사례	104
그림 2-3-6. 표면피복방법의 다양한 방법 사례	105
그림 2-3-7. 준설과정의 일반적인 처리과정	107
그림 2-3-8. 기계식 및 유압식 준설방법 사례	109
그림 2-3-9. 미국 환경보호청의 오염퇴적물 관리구조	112
그림 2-3-10. 미국 뉴욕항에서의 준설 모습 및 PCB 농도 측정 연구 결과	114
그림 2-3-11. 유럽 로테르담항에서의 오염퇴적물 정화복원 사례	118
그림 2-3-12. 오염퇴적물 정화복원 방법선택 순서도	128
그림 2-3-13. 미육군공병단과 EPA의 오염퇴적물 정화복원 방법선택 결정구조	131
그림 2-3-14. Super Fund 프로젝트의 오염퇴적물 정화복원 방법선택 결정구조	132
그림 2-3-15. 정화복원 방법 선택의 접근 방향 사례	133
그림 2-3-16. 해양오염퇴적물 처리방안 체계도	136
그림 2-4-1. 벨트 필터 프레스의 예	140
그림 2-4-2. 탈수화 과정의 사례	141
그림 2-4-3. 토목섬유를 활용한 퇴적물 처리 사례	142
그림 2-4-4. 드럼형 스크린 장치의 예	143
그림 2-4-5. 하이드로싸이클론 장치의 예	144
그림 2-4-6. 준설퇴적물의 처리 기준 방안	147
그림 2-4-7. 폐쇄처분장의 오염물질 순환 개념도	149
그림 2-4-8. 일본의 해양오염퇴적물 재활용 사례(방과제 조성)	159
그림 2-4-9. 네덜란드의 인공섬 조성 최종처리 사례	161

그림 2-4-10. 독일의 준설물질 처리시설 사례	162
그림 2-4-11. 영국에서 사용되는 오염퇴적물 처리기술	163
그림 2-5-1. 미국 특별기금사업 오염퇴적물 부지의 오염물질 분포	172
그림 2-5-2. 17개 항만 전체표층퇴적물의 정화기준 농도에 따른 정점 비율	173
그림 2-5-3. 17개 항만 전체표층퇴적물의 부영양항목 평가지수 분포 비율	174
그림 2-6-1. 오염퇴적물 처리 대안	196
그림 2-6-2. 폐쇄처분장에서의 오염물질 순환 개념도	198
그림 2-6-3. 수중고립처분장 개념도	201
그림 3-1-1. 기계식 준설장비	277
그림 3-1-2. 유압식 준설장비	278
그림 3-1-3. 버켓라다 준설기 (Bucket ladder dredger)	279
그림 3-1-4. 버켓라다 준설기의 위치제어 및 운용 방법	280
그림 3-1-5. 그랩 준설선	281
그림 3-1-6. 그랩 준설선의 준설 유형	282
그림 3-1-7. 굴삭형 준설기	283
그림 3-1-8. 굴삭형 준설기의 준설 유형	284
그림 3-1-9. 바지 이송형 흡입 준설선 (Barge loading suction dredger)	285
그림 3-1-10. 표준 프레임 흡입 준설선 (Standard plain suction dredger)	285
그림 3-1-11. 심층 흡입 준설선 (Deep suction dredger)	286
그림 3-1-12. 더스트팬형 준설기 (Dustpan dredger)	286
그림 3-1-13. 플레인 흡입준설기에 의한 준설 유형	287
그림 3-1-14. 환경그랩의 모식도	그림3-1-15. 케이블에 매달린 환경그랩
그림 3-1-16. 환경그랩과 일반 그랩의 준설과정의 차이	293
그림 3-1-17. 환경오거준설선	294
그림 3-1-18. 원통형 모양의 디스크바닥준설선	295
그림 3-1-19. 국자형헤드와 일반적인 모양	296
그림 3-1-20. 저혼탁준설헤드	297
그림 3-1-21. 소형 이동식 오타방지막과 밀폐형 그랩에 의한 준설	298
그림 3-1-22. 환경준설의 개념 모식도 및 과정들	299

그림 3-1-23. 펌프의 종류 및 구분	332
그림 3-1-24. 터보형 펌프의 비교	335
그림 3-1-25. 임펠러형상의 계통적 변화	335
그림 3-1-26. 원심펌프의 구조	336
그림 3-1-27. 축류펌프	336
그림 3-1-28. 마찰펌프	337
그림 3-1-29. 깊은 우물용 펌프(수중 모터펌프)	338
그림 3-1-30. 왕복펌프의 구조	339
그림 3-1-31. 플런저 펌프	340
그림 3-1-32. 회전펌프	340
그림 3-1-33. 공기양수펌프	341
그림 3-1-34. 분사펌프	342
그림 3-2-1. '아' 업체 수거공법	344
그림 3-2-2. '나' 업체 수거공법	345
그림 3-2-3. 수거공법 특성 현장조사 지역	346
그림 3-2-4. 1차년도 사업구역에서의 탁도 보정	348
그림 3-2-5. 2차년도 사업구역에서의 탁도 보정	348
그림 3-2-6. 1차년도 사업구역 현장 조사시 조류의 시계열	350
그림 3-2-7. 1차년도 사업구역 현장 조사 탁도 관측지점	352
그림 3-2-8. 1차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물의 농도	353
그림 3-2-9. 1차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물의 백분율 편차	354
그림 3-2-10. 1차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물 표·저층 수평분포	355
그림 3-2-11. 2차년도 사업구역 현장 조사시 조류의 시계열	356
그림 3-2-12. 2차년도 사업구역 현장 조사 탁도 관측지점	357
그림 3-2-13. 2차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물의 농도	358
그림 3-2-14. 2차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물의 백분율 편차	360

그림 3-2-15. 2차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물 표·저층 수평분포	361
그림 3-2-16 개방식과 폐쇄식 크랩 셀 준설작업에 따른 재부상 고형물	374
그림 4-1-1. 수거 해양오염퇴적물의 중간처리 과정	398
그림 4-1-2. 오염퇴적물에 함유된 오염물질을 저감시키는 중간처리 사례	399
그림 4-1-3. 다양한 기계식 탈수장치	399
그림 4-1-4. 최종처리장에서 오염퇴적물 투기에 의한 방류수 발생과정	401
그림 4-1-5. 해양오염퇴적물 중간처리 기술현황 조사 관련 협조건	402
그림 4-2-1. 응집제 처리 시 방류수 중 용존 무기 영양염류의 농도	427
그림 4-2-2. 응집제 처리 시 방류수 중 구리(Cu)와 아연(Zn)의 농도	428
그림 4-2-3. 응집제 처리 시 방류수 중 카드뮴(Cd)과 납(Pb)의 농도	428
그림 4-2-4. 물리적 처리 시 방류수 중 용존 무기 영양염류의 농도	430
그림 4-2-5. 물리적 처리 시 방류수 중 구리(Cu)와 아연(Zn)의 농도	431
그림 4-2-6. 물리적 처리 시 방류수 중 카드뮴(Cd)과 납(Pb)의 농도	432
그림 4-2-7. 악취제거공정 시 시간에 따른 산취발성 황화물(AVS) 비교	434
그림 4-3-1 입자크기와 상용 수처리 기술	449
그림 4-3-2 수처리 방식 선정 흐름도	451

제 1 장 서 론

제 1 장 서론

해양오염퇴적물은 1988년 마산만 오염해역 준설사업을 시작으로 사회적, 환경적으로 인식되기 시작하여, 그동안 마산만 등 전국 6개 오염해역을 대상으로 해양오염퇴적물 정화사업이 실시되었다. 그 결과, 해당 해역에서 수질과 퇴적물이 개선되어 퇴적물의 부패에 기인한 악취가 감소하고, 어족자원이 증가하는 등 지역주민들의 생활환경 개선에 크게 기여하였다. 현재까지 모든 정화사업에서는 정화방법으로서 오염된 퇴적물을 물리적으로 제거하는 준설을 사용하였고, 준설로 발생하는 오염준설물질들은 마산만(해면매립)을 제외하고는 전량 외해투기로 최종처리 되었다. 그동안 국민들의 환경에 대한 인식의 변화로 오염된 퇴적물 등 폐기물 배출해역에서 2차 오염에 대한 우려가 꾸준히 제기되었다. 폐기물 배출해역에서 포획되는 홍계에 하수오니 등 폐기물이 부착되거나, 체내 중금속이 축적되는 등 문제가 발생함에 따라 정부에서는 2007년 8월 2일부터 무기한 폐기물 배출해역에서 홍계 조업금지를 고시하였다. 한편 국제적으로는 폐기물 및 기타 물질의 해양투기로부터 해양환경을 보호하기 위한 국제협약인 런던의정서에서는 인간의 건강에 위해를 야기하고, 생물자원과 해양 생물에 해를 끼치며, 생활의 편의에 손상을 주거나 해양의 합법적인 이용을 저해할 우려가 있을 경우, 해양투기로부터 해양오염을 방지하기 위한 실행 가능한 모든 조치를 취할 것을 요구하고 있다. 이러한 국내·외 상황을 반영한 해양환경관리법에서는 해양퇴적물을 “수저준설토사”로 규정하고, 수저준설토사의 해양배출처리기준을 규정하여 2008년 8월 22일부터 제1기준을 초과하는 유해물질을 함유할 경우 해양배출을 금지하고 있다. 또한 2011년 2월 22일부터는 제1기준 이하이면서 제2기준 이상인 오염물질을 함유한 수저준설토사에 대하여서는 국토해양부장관이 정하는 정밀평가를 거쳐 해양배출 여부가 결정될 예정이다. 해양오염퇴적물 정화사업을 추진하기 위해서는 사전에 수거 해양오염퇴적물의 해양배출을 대체할 수 있는 처리(중간, 최종) 방안의 확보가 필수적이다. 그러므로 다양한 처리방안의 개발 및 실현이 시급하게 요청된다.

수거 해양오염퇴적물의 해양배출 이외의 최종 처리방안으로는 오염물질을 환경으로부터 차단시키기 위하여 폐쇄형 고립처분장을 건설하여 처리

하거나, 다양한 기술을 사용하여 오염물질이 환경에 노출되지 않도록 변형 처리하거나, 오염물질을 분리하여 준설품질의 오염물질 농도를 감축하여 다양한 환경에서 처리하거나, 육상의 폐기물 매립장에서 병합하여 처리하는 방안이 있다. 미국, 유럽, 일본 등에서는 육상, 연안, 수중에서 그리고 인공섬 등 다양한 형태의 폐쇄형 고립처분장이 활용되고 있다. 또한 해양오염퇴적물에 함유된 오염물질이 환경에 노출되지 않도록 중간 처리하는 방안으로는 열처리, 고형화, 세척, 추출, 분리 등 다양한 방법이 있다. 상기 선진국에서는 오염된 퇴적물을 입자분리, 고화, 안정화, 세척 등 중간 처리기술을 통하여 최종 처리할 양을 최소화(독일 함부르크항, 네덜란드 Hollandsch Diep 등) 하고 있으며, 육상에서 최종 처리가 불가능할 경우, 수중에 고립처분장을 조성(미국 보스톤항, 네덜란드 로테르담항, 일본 히로시마만, 브라질 피앙카구에라 등)하여 환경적으로 안전하게 고립시키는 방안을 실행하고 있기도 한다. 그러나 우리나라에서는 현행 해양환경관리법 등 관련 법, 제도에 따른 해양오염퇴적물 정화사업은 2009년 연말부터 부산남항 및 부산용호만 해역에서 시작되었으므로, 다양한 처리방안들과 기술들을 실제 정화사업 현장에 적용한 실적이 전무한 실정이다. 따라서 해양오염퇴적물을 안전하게 처리하기 위해서는, 선진국에서 사용되고 있는 다양한 대안기술을 검토하여, 우리나라의 사회·경제·환경적 상황에서 수용 가능한 대안기술을 우선순위별로 도입·개발이 요구된다. 특히, 해양오염퇴적물 현황 조사, 정화사업 대상지역 선정, 처리방안 선정, 정화사업 추진, 모니터링 및 사후관리 등 정화사업의 모든 과정을 포함하는 기본계획의 마련이 절실하다.

이러한 수요에 대응하기 위하여 정부에서는 '07년부터 “해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발” 연구용역을 실시해 오고 있으며, 1차 년도에는 오염된 준설품질을 수중에 안전하게 처리하기 위한 방안의 하나로 수중고립처분장에 대한 설계 기술을 미육군공병대 환경연구개발센터와 기술협력을 통하여 개발한 바 있다. 또한, 해양오염퇴적물 처리·처분 의사결정 모델을 개발하여 이를 해양오염퇴적물 정화사업 예정해역인 부산남항을 대상으로 수거 예정 해양오염퇴적물의 처리·처분 대안선정에 활용한 바 있다. 2차 년도에는 해양오염퇴적물 관련 법, 제도를 검토하여 법률 개정안을 제시하였고, 부산 남항 등 정화사업 현장에서 활용될 중간처리 기술에 대한 실증실험을 통

하여 현재 국내 상용화된 정화기술 중 세척 및 입자분리 기술의 활용 가능성을 평가하였다. 또한, 수거 해양오염퇴적물의 처리방안 미확보로 사업추진에 애로가 발생한 울산 방어진, 진해 행암만에 대하여 각 해역별로 적합한 처리방안을 제시하였다.

이러한 원활한 오염해역 정화사업의 수행을 지원하기 위하여 본 과업에서는 1) 해양오염퇴적물 정화사업 추진 전반을 검토하여 해양오염퇴적물 정화·복원사업을 위한 기본계획을 제시하고; 2) 현재 국내 해양오염퇴적물 수거공법 현황 및 실태를 조사하고, 그 공법에 따른 특성과 2차 오염 여부 등을 조사하여 수거공법에 의한 탁도 및 부유물질 발생이 해양환경에 미치는 영향을 검토한 결과를 기초로 현행 수거 공법에 대한 개선방안을 제시하였다. 또한 3) 해양오염퇴적물 중간처리 설비 및 공법 현황을 파악하고, 중간처리수의 해역 영향을 검토하여 중간처리 방류수 수질 관리 방안을 제시하였다.

제 2 장
효율적인 해양오염퇴적물
정화복원사업 추진을 위한
기본계획 마련

제 2 장 효율적인 해양오염퇴적물 정화·복원사업 추진을 위한 기본계획 마련

제1절 오염해역 퇴적물 정화복원 원칙 수립

1. 해양오염퇴적물 관련 국내·외 관리방안 검토

1) 국내 사례 검토 : 환경부의 토양보전 기본계획(2010년~2019년)

우리나라의 해양오염퇴적물 정화사업은 해양환경관리법 제18조 제1항의3 “오염된 퇴적물의 수거”에 따라 추진되고 있다. 그러나 현재까지 해양퇴적물 조사, 정화복원 의사결정, 수거, 처리, 모니터링 등 정화사업의 모든 단계를 포함하는 관리방안은 설정되어 있지 않다. 한편, 해양오염퇴적물과 유사한 오염토양에 대해서는 토양환경보전법에 의거 매 10년마다 기본계획을 수립하여 실현하고 있으므로, 환경부의 토양보전 기본계획(2010년~2019년)을 해양오염퇴적물 정화·복원 원칙 수립을 위한 유사 사례로서 검토한다.

가) 수립 배경

환경부는 1995년 토양환경보전법 제정 이후, 토양오염 측정망 및 실태조사를 실시하여 토양오염의 현황을 파악하고 유류 저장시설 등 오염원에 대한 관리정책을 마련하고, 휴폐광산 조사 및 정화 정책을 실시한 결과, 각 부문별로 많은 성과를 얻었지만 단편적인 대책으로 토양오염을 효율적으로 예방하고 사람의 건강 및 생태계를 보호하는데 한계가 있었다. 또한, 국토 개발 및 산업 발전에 따른 각종 오염물질의 증가로 토양오염이 가중되었음. 특히 토양보전을 위하여 오염 현황 조사 및 정화에 집중되어 토양의 가치를 보전하고, 그 이상의 발전을 이루는데 어려움이 있었다.

그러므로 환경과 경제의 순환 체계를 정착시키고, 토양자원의 보전 및 순환 정책으로 전환하는 체계적인 계획수립이 필요함. 이를 위하여 국가차원에서 향후 10년간 추진할 토양환경정책의 비전 및 방향을 제시하는 종합계획을 마련하게 되었다.

토양보전 기본계획의 법적근거는 다음과 같다.

토양환경보전법 제4조(토양보전기본계획의 수립 등)

제1항 환경부장관은 토양보전을 위하여 10년마다 토양보전에 관한 기본 계획(이하 “기본계획”이라 한다)을 수립·시행하여야 한다.

제2항 환경부장관은 기본계획을 수립하고자 할 때에는 관계중앙행정기관의 장과 협의하여야 한다.

제3항 기본계획에는 다음 각호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 토양보전에 관한 시책방향
2. 토양오염의 현황·진행상황 및 장래예측
3. 토양오염의 방지에 관한 사항
4. 오염토양의 정화 및 복원에 관한 사항
5. 기타 토양보전에 관하여 필요한 사항

제4항 특별시장·광역시장 또는 도지사(이하 “시·도지사”라 한다)는 기본계획에 따라 관할구역안의 지역토양보전계획(이하 “지역계획”이라 한다)을 수립하여 환경부장관의 승인을 얻어 시행하여야 한다. 지역계획을 변경하고자 할 때에도 또한 같다.

제5항 기본계획 및 지역계획의 수립방법·절차 기타 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

이러한 토양보전 기본계획은 2010년부터 2019년까지 10년간 관련 중앙행정기관과 지방자치단체의 토양보전계획 수립 원칙과 기본 방향을 제시하여 계획수립에 대한 지침으로 활용된다.

나) 토양보전 기본계획의 전략 목표 및 기본원칙

토양보전 기본계획의 효율적인 실현을 위한 전략 목표는,

- 국민건강보호 및 사전예방 정책 강화
- 합리적 토양관리 기반 구축
- 토양지하수 기술개발 및 인재육성
- 녹색성장을 위한 토양환경산업 육성

- 참여형 토양보전체계 구축 및 국제협력 강화의

다섯 가지이며, 이를 달성하기 위하여 다음의 15개 기본원칙으로 구성된다.

- 국민 건강상의 위해성을 고려한 토양오염물질 기준 설정 및 신규 토양오염물질(POPs, PAHs 등)에 대한 기준 확대
- 오염토양 정화처리를 위한 이행 보증제 도입 및 반출토양 정화 전과정에 대한 추적관리시스템 구축
- 토양정화에 따른 사회적 비용 절감 및 합리적인 정화수준 결정을 위한 위해성평가 적용대상 확대
- 토양측정망의 단계적 확대 및 토양오염물질 배경농도 지도 작성
- 국가정화우선순위제도(NPL) 도입, 정화기금 조성 및 토양환경평가제도 활성화 등 선진 제도 도입
- 표토보전 등 기후변화에 대비한 토양환경 관리범위 확대 추진
- 토양지하수 측정체계 연계 등 토양지하수 연계관리 강화
- 신규업무 발굴 등에 따른 토양지하수 관리조직 보강 및 개편
- 국내 토양시장 확대, FTA체제에 따른 시장개방 등에 대비 선진국에 비해 낙후된 토양지하수 분야 기술개발 및 실용화 중점 추진
- 토양지하수분야 기술인력 육성 및 전문성 제고
- 토양 관련 신규수요 창출을 통한 토양산업을 유망산업으로 육성
- 토양지하수 관련기업의 전문성 및 경쟁력 제고를 위한 제도 정비 추진
- 토양지하수 환경산업의 해외시장 진출을 위한 기반 마련
- 산학연이 참여하는 토양환경센터(가칭)를 설립운영을 통하여 토양환경 관리의 기술행정적 지원
(선진 사례: 네덜란드의 토양정화서비스센터, 일본의 토양환경센터)
- 토양환경교육 확대, 토양보전 관련 홍보 프로그램 개발 등 대국민 교육홍보를 강화하고 황사, 산성우에 의한 토양오염 등 국가간 토양문제에 대한 국제공조체계 강화

다) 토양보전 기본계획의 주요내용

토양보전 기본계획은 다음과 같은 15개 항목의 주요내용으로 구성되어 있다.

① 국민건강 중심의 토양오염기준 설정

토양오염기준 항목을 유기인, 유류, 페놀류 등 항목을 세분화하여 오염물질별 위해성에 따라 각각의 물질별로 관리하며, 토양오염기준 확대를 위하여 우선관리대상물질 40개 중 후보물질을 선정하여 국가 배경농도 및 오염도에 대한 모니터링을 실시. 후보물질 목록을 2년마다 갱신하고 토양오염기준 설정 여부를 검토한다.

오염물질의 환경노출 특성 등을 고려하여 토지이용도 또는 지하수 수역별로 토양오염기준을 세분화하여 효과적으로 토양오염을 관리하고 토양오염기준 및 정화기준을 적용할 경우 장래 토지이용계획에 의한 토지용도에 적합하도록 기준을 적용하는 방안을 마련한다.

토양오염공정시험기준의 선진화를 위하여 토양오염기준 및 후보물질 이외에 POPs, 중금속 등 미규제 물질에 대한 시험방법을 정립하여 국제적 동등성이 확보되고 위해성평가를 적용할 수 있는 시험방법을 마련한다.

② 토양오염 사전예방 체계 강화

특정토양오염관리대상시설을 현재의 토양오염물질 저장시설 외에 토양오염물질을 발생시키는 다양한 시설 및 부지로 확대하며, 토양오염도가 일정수준 이상 확인된 부지에 대한 관리를 강화하며, 오래된 주유소 시설개선을 지원한다.

토양오염도 검사시 사업장 규모별 조사지점수를 차등화하고 특정토양오염관리대상시설의 토양오염도검사 수준을 현행보다 강화하는 방향으로 토양오염검사 제도를 개선하고 오염토양 정화처리를 위한 이행보증제 도입 및 반출정화처리 대상 오염토양의 배출운반 정화 등 단계별 추적관리시스템을 구축한다.

③ 토양오염 취약지역 조사 및 정화

폐금속광산의 토양오염에 대한 정밀조사 및 환경영향을 조사하고 특히, 석탄 광산지역 토양오염 실태를 조사한다.

산업단지 토양오염 실태에 대한 조사 및 정화를 추진하고, 반환 미군기지, 주한미군공여구역 주변지역 및 군부대 토양오염조사 및 정화를 추진한다.

④ 토양오염 위해성평가 확대

국내 실정에 적합한 위해성 평가기법을 개발하고, 위해성평가에 근거한 토양오염 정화기준을 도입한다. 또한, 인체, 생태 및 복합오염 위해성 평가기법을 개발하고, 위해성 평가 전문기관 설립기준 등 관련 규정을 마련한다.

⑤ 토양오염도 측정체계 개선

현재 전국의 토양오염 추세를 파악하기 위해 토지용도별로 1,521개 지점에 설치하여 년1회 정기 조사하는 측정체계를 2017년부터 3,000개 지점까지 단계적으로 확대한다.

토양오염실태조사 지역을 공유수면매립지역, 폐기물재활용지역 등을 확대하고, 오염이 확인된 지역에 대해서는 정밀조사를 실시함. 지하수 오염지역에 대해서도 토양오염실태조사를 실시하여 토양과 지하수의 연계된 관리를 추진한다.

토양오염측정망 운영 시 토양오염기준 후보물질 및 미규제 오염물질에 대한 모니터링을 실시하고 토양오염물질 배경농도지도를 작성하여 향후 토양보전정책 수립에 이용한다.

⑥ 토양오염의 책임체계 및 정화제도 선진화

현행 토양환경보전법상 토양환경평가의 역할 및 토양오염원인자 범위와 관련한 불명확하고 모호한 부분을 정비하고, 국가가 직접 정화사업을 추진할 수 있는 법적 근거를 마련하는 등 오염토양 관리에 대한 국가의 역할을 제시한다.

토양환경평가제도를 활성화하고 오염원인자가 불분명하거나, 시급한 정화가 필요한 부지 등 국가가 직접 정화를 추진하는 부지에 대해 국가정화우선

순위제도(NPL)를 도입하고, 토양오염지역에 대한 정화의 실효성을 위해서 오염토양 정화재원을 마련하여 정부주도의 정화사업을 추진하여 위해 및 확산을 조기에 차단한다.

⑦ 기후변화에 대비한 토양환경 관리범위 확대

기후변화에 대비한 표토보전 및 유실방지체계를 도입하고, 기후변화에 따른 토양의 물리적, 화학적 특성 변화 및 토양생태계에 미치는 영향 등에 대한 연구를 추진하여 기후변화로 인한 토양환경 변화에 적절하게 대처할 수 있는 관리방안 마련한다.

그동안 관리체계가 미흡한 하천 및 해양준설토에 대한 처리기준 및 재이용 방안 마련 등 준설토에 대한 체계적인 관리를 추진하고, 관리범위, 처리방법 등에 관한 법적 근거 및 기반을 마련한다.

또한, 폐기물을 성토, 복토 등의 용도로 이용하는 지역에 대한 체계적인 관리방안을 마련한다.

⑧ 토양 및 지하수 연계관리 강화

이원화된 토양 및 지하수 측정망을 통합하여 측정망 운영방안을 마련하고, 토양오염실태조사를 지하수 측정망과 연계하여 관리 추진한다.

단순한 측정정보 제공에서 벗어나, 토양오염과 지하수 오염의 연계성 분석 등 분석 기능이 강화된 토양, 지하수 정보시스템을 구축하고, 토양과 지하수 수질의 상관성을 토대로 토양 및 지하수 수질기준과 정화기준을 재정립하여 합리적인 통합관리를 위한 제도 및 정책을 개발한다.

⑨ 토양·지하수 관리조직 보강·개편

토양, 지하수 환경시장 확대 및 통합관리에 부응할 수 있도록 토양, 지하수 분야의 전담조직을 확대하여 “토양오염관리단” 설립을 추진하고, 지방환경청 및 지자체의 토양관리업무 역량을 강화하기 위하여 관련 전문인력을 배치한다.

⑩ 토양, 지하수 분야 기술개발 및 실용화

토양, 지하수 오염방지 기술개발 사업(GAIA Project)을 중점 추진, 관리하여 2017년까지 선진국 대비 기술경쟁력을 90% 이상 확보하고, 특히 사전 예방 및 정화기술 등을 핵심과제로 중점추진. 토양, 지하수 기술정보시스템 및 지원체계를 구축하고, 기술개발 성과 활용 및 연계 체계를 마련하고, 관련 공공기반 연구개발사업을 추진한다.

⑪ 토양, 지하수 기술인력 육성 및 전문성 제고

토양, 지하수 분야 기술인력 공급을 확대하고, 전문인력 교육과정을 현장 중심체제로 개편하고, 교육과정을 세분화하여 전문분야에 대한 교육내용을 내실화하고 기술인력 등록 요건을 강화하여 관련 기술인력의 전문성을 제고하고 수요자 중심의 교육체계를 구축한다.

토양정화기술별 정화절차, 방법 등 구체적인 운영요령 등에 대한 가이드 라인을 마련하여 발간, 배포한다.

(생물학적통풍법 등 6종 정화방법: '07년 발간, 바이오파일법 등 발간 예정)

⑫ 토양환경산업 육성 및 경쟁력 강화

신규수요 창출을 통한 토양환경산업을 육성하고, 관련기업의 경쟁력 제고를 위한 직, 간접적 지원체도를 마련. 토양정화방법 및 설계표준화를 통한 토양정화 산업의 신뢰성 및 투명성을 제고하고 토양관련기관에 대한 민간 참여를 확대하여 궁극적으로 토양환경산업의 해외진출 기반을 마련한다.

⑬ 녹색 토양환경시장 창출

토양정화, 유통단지 조성을 통한 정화토양 재활용시장을 활성화하고, 하천 및 해양준설토의 재이용을 활성화시킴. 브라운필드 부지 등에 대한 저탄소, 녹색정화사업 추진 및 친환경적 개발 등을 통한 온실가스 저감 사업을 추진하고, 토양 자체의 이산화탄소 흡수 능력을 이용하는 온실가스 저감기술 연구사업 등을 추진한다.

⑭ 토양관련 민관협력 체계 및 홍보, 교육 강화

환경정책 추진에 다양한 분야의 전문가가 참여하고 환경정보의 공개를 확대함으로써 정책의 투명성을 향상시키고 신뢰도를 제고하기 위하여 토양환경센터를 설치, 운영하여 고 단계적으로 확대 추진한다.

지역별 토양환경 문제해결을 위한 주민, 기업, 정부의 다자간 파트너십 형성을 위한 지역별 자율토양환경관리 체계를 구축하고 운영한다.

토양환경보전에 대한 국민 홍보프로그램을 개발하고, 토양환경교육 확대를 통한 홍보를 강화하며, 토양 및 지하수 홍보관을 설립한다.

⑮ 토양보전 국제협력 및 위상 강화

선진국의 토양환경보전정책 및 제도를 국내정책수립에 반영할 수 있도록 국제기구와의 협력을 적극 추진하여 관계 공무원 및 전문가 상호간 정보교환 및 교류를 추진하고, 황사, 산성비 등에 대한 동북아시아와의 공조체계를 구축한다.

토양환경기술 및 자본이 축적되어 있는 선진국과 국가간 토양환경기술 공동연구, 정보 및 전문가 교류프로그램 마련 등으로 국제 전문가 교류를 활성화하고, KOTRA 및 KOICA 등과 협력체계를 구축하여 토양환경산업의 토양환경산업의 해외진출을 위한 기반을 마련한다.

2) 미국의 사례 : 오염된 퇴적물 관리 원칙 및 전략

미국은 1980년에 종합환경배상책임법(Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act ; CERCLA)을 제정하였으며, 이 법에 의해 폴리클로리네이티드비페닐(Polychlorinated biphenyl; PCBs) 등 유해물질에 의해 오염된 퇴적물의 정화·복원 사업을 추진하고 있다. 또한, 정화복원 사업을 위한 비용 마련을 위하여 정부차원에서 슈퍼펀드(Superfund)를 조성하였다.

미국의 해양오염퇴적물 관리와 관련하여 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency; EPA)의 “슈퍼펀드 사이트에서 오염된 퇴적물이 관리를

위한 원칙"과 "오염퇴적물 관리 전략 보고서"를 검토하여 해양오염퇴적물 기본계획 수립에 활용하고자 한다.

가) 오염퇴적물 관리 원칙

EPA는 2000년 10월에 슈퍼펀드 사이트에서 오염된 퇴적물이 관리를 위한 원칙의 초안을 마련하였다.

마련된 초안의 주요 내용은 다음과 같다.

- 외부 오염원 제어 (정화사업 착수전)
- 오염된 퇴적물 사이트에서 추론적인 정화방안은 없다.
- 중앙정부, 관련기관 및 지역주민 등의 협력체계 구축(조기에, 자주)
- 홍수, 항적, 생물교란 등 퇴적물이 교란되는 원인을 이해
- 소멸 또는 이동 모델을 사용할 수 있다면, 가설과 불확실성은 평가 가능
- 일반적으로 퇴적물이 고농도의 독성, 생물축적, 난분해성 오염물질을 함유하고 있으면 현장에서 처리될 수 없으므로 제거후 처리가 필요
- 피복은 퇴적물의 독성이 높지 않거나, 이동성이 많거나 또는 제거가 어려울 경우, 가장 적합한 대안일 수 있음
- 자정작용에 기초한 정화 방법은 처리과정이 잘 이해될 경우에만 사용되어야 하며 반드시 모니터링을 포함해야함
- 어류 소비에 대한 조언과 제도적인 통제는 퇴적물 정화에 매우 중요한 부분이지만 전적으로 효과적이지는 않음
- 장기 안정성을 얻기 위하여 단기적인 위험의 증가는 허용할 수 있음
- EPA는 대규모 또는 복합 오염지역에서 여러 정화방법을 함께 사용
- 정화 단계(Cleanup levels)는 해당 지역의 정화 목표와 분명한 관계가 있음
- 어떤 정화 방법이 사용되었는지 사전, 사업 중, 사후 모니터링은 반드시 필요함

EPA는 2002년 상기 초안을 보완하여 '유해 폐기물 오염지역에서 오염된 퇴적물 위험 관리 원칙'(Principles for management contaminated sediment risks at hazardous waste sites)¹⁾을 마련하였다.

1) 오염퇴적물 관리원칙(<http://www.epa.gov/superfund/policy/remedy/pdfs/92-85608-s.pdf>)

이 지침의 목적은 EPA가 오염지역 관리자에게 오염지역에서 보다 과학적이고 국가적으로 조성된 위험 관리 결정에 도움을 주기 위함이다. 이 지침은 11개 위험 관리원칙으로 구성되며, EPA 오염지역 관리자는 가능한 적절한 상호적인 결정과정을 사용하여 위험에 기초한 오염지역을 결정할 것을 권고한다. 이 과정은 국가 유류 및 위험물질 오염 관리기구의 9개 정화 선택 규범으로 구성된 모든 잠재적인 정화방법들에 대한 단기 및 장기 위험을 평가하는 것이다. EPA 오염지역 관리자는 퇴적물 오염 존재에 대하여 그리고 관련자에게 영향을 줄 수 있는 의미있는 관련성으로부터의 잠재적인 정화의 사회적, 문화적 충격을 고려할 것을 권유한다. 이 지침은 또한 아래에서 언급되는 국가 연구 위원회(National research council; NRC)의 권고사항에 부분적으로 대응한다. 2010년 3월 26일 NRC는 “PCBs 오염퇴적물을 위한 위험 관리 전략” 보고서를 발간하였는데, 이 보고서는 주로 PCBs 오염 퇴적물의 평가와 정화에 초점을 맞추었지만, 다른 오염물질들에 적용할 수 있는 많은 정보도 포함되어 있으므로 매우 유용하다.

오염퇴적물 관리 원칙의 주요 내용은 다음과 같다.

① 외부 오염원 제어 (정화사업 착수전)

가능한 한 빠른 시기에 관리자는 조사를 통하여 퇴적물 오염의 직접적, 간접적인 원인을 규명해야한다. 이러한 오염 원인물질은 공장, 하수처리장에서 배출되거나, 하천, 인접 지역, 오염된 표층수 또는 비수용성 액상으로부터 오염토양의 침식, 석출, 유출되거나, 폭풍우, 하수 월류, 공기 흡착으로부터 방출된다.

관리자는 오염원인물질이 어떤 기작들에 의해 제어될 수 있는지 조사해야한다. 오염 원인물질을 분류하고 평가하는 과정에서, 관리자는 지역의 수질, 대기 및 PCBs 프로그램을 포함하여 관련 정보의 도움을 받을 수 있다. 지방기구 및 관련자들도 이러한 오염원의 제어에 대하여 도움이 될 수 있다. 관리자는 대처방안을 선택할 경우, 향후 퇴적물의 재오염 가능성을 반드시 평가해야한다.

② 지역사회 참여(조기에, 자주)

오염된 퇴적물 지역은 어려운 기술적인 또는 사회적인 문제점을 포함하고 있다. 그러므로 사업 관리자는 기술적인 정보를 지역사회 관계자들에게 제공함으로써 조기에 그리고 의미있는 지역사회를 참여시키는 것이 매우 중요하다. 의미있는 지역사회의 참여는 오염 원인 규명, 위험 평가, 정화 평가, 정화방법 선정 및 정화사업 추진에 있어서 핵심 요소가 된다. 지역사회 참여는 EPA가 잠재적으로 인간과 생태계 노출을 규명하는데 중요한 정보뿐만 아니라 잠재적인 대응 선택과 오염의 사회적, 문화적 충격에 대한 이해를 증진하는데 도움이 된다.

오염지역 관리자와 지역사회 관리자는 최근 고형폐기물 및 비상 대응국 (Office of Solid Waste and Emergency Response; OSWER)에서 제시한 아래 6가지 원칙²⁾을 고려하여야 한다.

- 지역사회 참여계획 증대
- 조기에 적극적으로 지역사회 지원
- 위험평가에 지역사회를 보다 많이 참여
- 가능성과 정화방법 조사 단계에서 보다 일찍 지역사회의 의견을 활용
- 향후 토지 활용에 대한 설정에 지역사회 참여를 강화
- 정화사업 기간 중 지역사회 참여를 강화

③ 중앙정부, 관련기관 및 지역주민 등의 협력체계 구축

오염지역 관리자는 조기에 중앙 및 지방정부, 지역주민, 자연자원 이사회와 의견교환 및 협력해야 합니다. 그러면, 가장 관련되는 정보는 사이트 설계 연구에서 고려되며, 중앙 및 지방정부, 지역주민 및 수탁자의 관점은 정화방안 선정 과정에서 고려되는 것에 도움이 됩니다. 수계를 포함하는 사이트의 경우, 특히 사이트 조사 및 모니터링 또는 주 정부와 EPA의 물 프로그램과 모델링 연구를 조정하는 것이 중요합니다. 모든 이해 당사자 초기 정보 공유는 조율된 정화 접근을 통하여 인간의 건강과 환경에 대한 보다 신속하고, 효과적으로 보호합니다.

2) OSWER, Early and Meaningful Community Involvement, 9230.0-99, 2001

④ 토양 안정을 고려한 개념적인 사이트 모델의 개발과 보완

개념적인 사이트 모델은 모든 알려진, 의심되는 오염원과 오염물질의 형태, 영향을 받는 매체, 존재하거나 잠재적인 노출 경로 그리고 위험이 될 수도 있는 잠재적인 인간과 생태계 수용체에 대한 정보를 파악해야 한다. 이 정보는 자주 그림 또는 그래픽 형태로 요약되며, 사이트 특정 결과에 의해 백업된다. 개념적인 사이트 모델은 조기에 준비되고, 사이트 조사와 의사결정에 사용되어야 한다. 새로운 정보가 사용 가능할 경우, 모델은 주기적으로 수정됨에도 불구하고 사이트의 문제점에 대한 EPA의 인식은 증가한다. 부가하여 모델은 자주 모든 관련자들과의 의사소통을 위한 핵심적인 역할을 수행한다.

토양, 표층, 지표수 및 퇴적물과의 상호작용 그리고 생태 및 인간 수용체는 매우 복잡하기 때문에 개념적인 사이트 모델은 특히 중요하다. 더욱이 퇴적물이 자연적 또는 인간에 의한 교란 즉, 홍수나 수로에서 공학적 변화로 인한 침식 또는 이동될 수 있다. 퇴적물은 시간적, 물리적, 화학적 변화가 발생할 수 있기 때문에 어떤 오염 물질은 현재 인간과 야생 동물에 사용될 수 있는지 그리고 다양한 가설하에서 어디에서 이런 변화가 일어날 것인지에 대하여 이해하는 것이 특히 중요하다. 위험 감정사 및 프로젝트 매니저뿐만 아니라 사이트 팀의 다른 구성원들은 조기에 의사소통해야 하며, 그들이 사이트에 대한 이해와 현재와 미래의 위험에 대한 기반을 공유해야 합니다.

⑤ 위험에 기초한 기구(Framework)에서 반복적인 접근의 사용

비록 보편적으로 수용되거나 잘 정의된 위험에 기초한 기구 또는 퇴적물 사이트에서 정화 평가를 위한 전략은 없지만, 위험 평가는 퇴적물 정화를 위한 평가 방안 중에서 중요한 역할을 한다는 것은 널리 인식되어 있다.

EPA는 특히 복잡한 오염퇴적물 사이트에서 반복적인 접근의 사용을 장려한다. 반복적인 접근은 새로운 정보를 수집하는 것으로서 사이트 가설의 재평가를 육성하고, 가설과 결론의 시험을 통합시키는 접근을 포함하여 매우 광범위하게 정의된다. 예를들면 반복적인 접근은 사이트에서 다양한 정화 기술의 효과를 시험하기 위한 모의시험(Pilot test)을 포함할 것이다.

복합적인 오염지역에서 사이트 관리자는 정화 국면의 이익을 고려해야 한다.

어떤 사이트에서는 신속한 조치가 단기간에 위험의 감소하거나, 진행중인 오염의 확산을 제어할 수 있다.

⑥ 사이트 모델과 사이트 특성 자료와 관련된 불확실성과 가설을 신중하게 평가

불확실성과 사이트 특성 데이터의 한계, 그리고 질적 또는 양적 모델(예: 수공학, 퇴적물 안정성, 오염물질 소멸, 이동, 먹이사슬 모델은 미래의 조건에서 신중하게 평가되고, 묘사될 수 있도록 사이트 자료를 설명하는데 사용된다. 많은 대규모 사이트의 복잡성 때문에 양적 모델이 사이트의 현재와 미래의 위험을 평가하고 이해하는데 도움이 되기 위해서 그리고 다양한 정화 방법들의 효과를 예견하기 위하여 자주 사용된다. 사이트 특성 자료의 양은 요구되며 모델의 복잡성은 결정의 중요성(예: 위험 수준, 대응 비용, 지역사회 관심)과 사이트의 복잡성에 의존하는 사이트 결정을 지원하는데 사용된다. 모든 새로운 모델들이나 대규모 또는 복합 사이트에서 모델들의 교정은 적절한 심사절차에 의해 심사되어야 한다.

⑦ 위험에 기초한 목표를 획득할 수 있는, 사이트 특성, 사업 특성 및 퇴적물 특성 위험 관리 접근법의 선택

EPA의 정책은 오염물질 또는 위험의 단계에 상관없이 어떤 오염퇴적물 사이트를 위한 추정 정화방법은 없는 것으로 간주합니다. NRC 보고서에는 “모든 PCBs 오염퇴적물 사이트에 적용할 수 있는 기본적인 위험 관리 또는 선호되는 대안은 추정되지 않는다”고 언급되어 있다. 예를 들어, 슈퍼펀드 사이트에서 가장 적절한 정화방법은 사이트 특성과 국가 유류 및 유해물질 오염 사고 계획(the National Oil and Hazardous Substances Pollution Contingency Plan's; NCP's)의 9가지 정화방법 선택 규범을 고려한 다음 선택되어야 한다. 제거나 정화 목적에 잠재적으로 부합되는 모든 정화방법들은 그 정화조치에 앞서서 반드시 평가되어야 한다. 이 평가는 상호적인 기초위에서, 그 사이트의 시간적, 공간적인 면과 정화방법의 모든 요소들을 고려하고 그리고 각 대안들에서 구해질 전체적인 잠재적인 위험 감소에 대하여 수행되어야 한다. 많은 사이트에서 여러 대안들의 조합은 위험을 관리하기 위

한 가장 효과적인 방법이 될 수 있다. 예를 들어, 어떤 사이트에서 PCB 나 DDT에 의해 생물축적 되었거나, 이러한 오염물질의 농도가 높은 경우, 준설이 적합하며, 준설이 시공하기 어렵거나 비용이 많이 들 경우 피복처리가 적합하며, 오염도가 낮은 경우 자연정화가 적합할 수도 있다.

⑧ 퇴적물 정화 기준을 위험 관리 목표에 분명히 부합

퇴적물 정화 기준은 실제 정화 목표를 위한 지표로 사용된다. 한편 이 기준은 정화를 위해서 지역을 규명하기 위한 퇴적물의 오염농도 측정에 보다 실제적이며, 다른 측정법들은 인간 건강, 생태계 위험 감소 목표가 부합되는지를 확인하기 위하여 사용되어야 한다. 이러한 측정은 토착 어류 세포 농도의 직접 측정, 야생동물의 번식 평가, 저서생물 또는 오염 최종 효과로서 확인할 수 있는 기초 위험 평가를 포함한다.

⑨ 제도적 통제의 효과와 그 제안 인식의 최대화

어류소비 권고, 수로사용 제한 같은 제도적인 통제는 퇴적물 사이트에서 인간 노출을 제한하고, 정화조치 목표가 충족될 때 까지 오염물의 향후 확산을 방지하기 위하여 퇴적물 사이트에서 정화 결정의 요소로서 자주 사용된다. 반면에 이러한 통제는 퇴적물 정화의 매우 중요한 요소가 되며, 사이트 관리자는 모든 노출경로를 현격하고 효과적으로 완전히 감소시킬 수 없을 지도 모른다는 점을 인식하여야 한다. 만약 어류소비 권고가 인간 노출경로 제한을 위하여 시행된다면 공개적으로 대중 교육 프로그램을 실시하는 것이 매우 중요하다. 다른 형태의 제도적인 통제를 위하여, 다른 형태의 충족 지원 프로그램이 필요하다. 사이트 관리자는 또한 제도적인 통제는 생태계 노출경로를 거의 제한하지 않는다는 것을 인식하여야 한다. 만약 모니터링 자료 또는 다른 사이트 정보가 제도적인 통제가 효과적이지 않다는 것을 나타낸다면, 추가적인 조치가 필요하다.

⑩ 장기간 보호를 얻기 위한 단기간 위험 최소화를 위한 정화방법 설계

NRC 보고서는 “오염퇴적물 사이트를 위한 위험 관리 전략의 특정 선택을 고려한 어떤 결정은 가능한 대안들의 장점과 단점, 다양한 위험, 비용 및

각 대안들에 관계되는 장점에 대한 균형에 기초하여야 한다”고 기술한다. 퇴적물 정화는 단기간 영향을 최소화하기 위하여 설계되어야 한다. 한편 장기 간 안정을 얻기 위하여 필요시 단기간 위험이 증가하는것은 수용할 수 있다. 예를 들어, 오염물질을 함유하거나 생물축적 우려가 있는 퇴적물의 제거나 피복의 장기적인 이익은 이미 영향을 받은 생태계에 대한 단기간의 추가적인 영향보다 중요하다. 부가하여 인간 건강과 생태계 위험에 대한 각 대안의 영향을 고려하기 위하여, 사회적 문화적 실체에 대한 각 대안의 단기 및 장기 영향은 적절하게 고려되고, 규명되어야 한다. 예를 들어, 이러한 영향들은 수계의 오락적 이용, 도로 정체, 소음과 대기오염, 상업어로 또는 각 지역민의 생활양식의 교란에 대한 영향을 포함한다.

⑪ 정화효과 평가 및 기록을 위해서 퇴적물 정화 중 및 정화 후 모니터

물리적, 화학적 또는 생물학적 모니터링 프로그램은 만약 단기 및 장기 건강 및 생태계 위험이 적절하게 그 사이트에서 이동된 것을 평가하기 위하여 그리고 어떻게 모든 정화 조치 목적들이 잘 충족하는지를 평가하기 위하여 퇴적물 사이트를 위하여 평가되어야 한다. 모니터링은 정화 조치 중 일반적으로 수행되어야 하며, 필요에 따라 모든 퇴적물 위험이 적절하게 관리된 것을 확인한 다음 수행될 수도 있다. 기준선 자료는 정화 기간중 수집되어야 하는 모니터링 자료의 해석을 위하여 기준(Baseline) 자료가 필요하다.

선택된 위험 관리 접근에 따라, 모니터링은 그 조치가 설계 요구와 퇴적물 정화기준에 충족되는지를 평가하기 위하여 그리고 정화 조치의 단기 영향의 양과 본질을 평가하기 위하여 조치가 실행되는 동안에 수행되어야 한다. 이 정보는 정화조치가 안전하고 효과적으로 관리되는 것을 보장하기 위하여 건설 행위를 보완하기 위하여 사용될 수 있다. 어류 세포내 오염물질 농도 감소와 같은 지시자의 장기 모니터링은 정화 조치 목표의 한계까지 충족될 수 있도록 정화의 성공을 평가하기 위하여 설계되어야 한다. 모니터링은 인간 건강과 환경 보호에서 어떤 정화 조치의 계속된 장기 효과를 검증하기 위하여 또한 같은 사이트에서 오염물질 이동에 대한 경계의 구조적인 본성과 계속되는 실행을 검증하기 위해서 일반적으로 수행되어야 한다.

한편 EPA는 2002에 마련한 오염퇴적물 관리 원칙을 일부 보완하여 2004년에 '21세기 슈퍼펀드 정화를 위한 원칙'³⁾으로 전환하였다. 이 원칙의 주요 내용은 다음과 같다.

- 슈퍼펀드 대상 사이트는 심각한 위험을 나타냄
- 대체 정화 프로그램 대안과 재원을 고려한 지역
- 적합한 사이트는 국가 우선 목록(National priority list; NPL)에 등재
- 향후 사이트 재이용을 고려한 정화 결정
- 과학 친화적이고 혁신 기술 이용에 기초위에 정화 결정
- 슈퍼펀드는 최초의 전략을 지속적으로 강조하고 집행
- 대규모 사이트(Megasites)는 적절한 관리를 위하여 세분화
- 새로운 정화조치를 위한 기금은 우선순위 요소에 기반
- 작업계획은 각 사이트 시공을 위해 개발
- 슈퍼펀드는 장기간 책무가 필요함을 나타냄
- 슈퍼펀드 데이터베이스는 계획을 지원하고 필요한 정보의 한계를 충족
- 슈퍼펀드 프로그램은 해당 프로그램이 효과적으로 조작되는지 실제적으로 평가
- 슈퍼펀드는 대중적인 참여와 확대의 모델
- 슈퍼펀드는 국가 비상 준비 및 대응 원칙을 제공

나) 오염퇴적물 관리 전략 보고서

미국은 해양오염퇴적물을 국가에서 관리하기 위하여 EPA의 퇴적물 운영 위원회와 관련 작업그룹에서 주도하여 1998년 전략보고서를 발간하였다.⁴⁾ 전략보고서를 발간한 배경은 지금까지 금지되거나 제한된 DDT, PCB 및 수은과 같은 화학물질들의 환경에 대한 배출로 인해 수년전부터 오염되어 수생 생물 및 인간의 건강에 유해한 수준으로 퇴적물 속에 계속 축적되고 있기 때문에 퇴적물 오염으로 인한 손실을 줄이고, 오염퇴적물을 관리하기 위한 목표를 달성하기 위한 이행체제를 수립하기 위함이다. 이 전략보고서는 서론을 포함 사례연구까지 12개의 주요 장으로 구성되어 있다. 서론에서는 오염

3) 21세기 슈퍼펀드 정화를 위한 원칙(<http://www.epa.gov/superfund/accomp/120day/pdfs/principles.pdf>)

4) U.S. EPA, EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. EPA-823-R-98-001, 1998.

퇴적물의 문제점과 그 범위 및 심각성을 서술하고, 전략의 목표와 원칙들을 제시하고 있다.

관리 전략의 목표는 다음 네 가지 항목으로 구성되어 있다.

- 생태 또는 인간의 건강에 허용할 수 없는 수준의 위험을 초래할 수 있는 퇴적물의 더 이상의 오염을 방지,
- 실질적으로, 전국의 수체 및 그 이용에 악영향을 주거나, 또는 인간의 건강이나 환경에 다른 심각한 영향을 초래하는 현 퇴적물 오염을 정화,
- 퇴적물 준설 및 준설물질 폐기가 환경적으로 안전한 방식으로 지속적으로 관리된다는 것을 보장,
- 오염퇴적물 분석을 위한 방법을 개발하고 이를 일관되게 적용 하는 것이다.

한편 오염퇴적물 관리전략 보고서의 주요 구성 내용은 다음과 같다.

① 왜 EPA가 전환정보보호청-차원의 오염퇴적물 관리 전략을 필요로 하는가?

이 문제에 대하여 EPA는 오염퇴적물에 의해 가해지는 위험에 대해 일관성있게 고려하기 위하여 EPA 차원에서의 오염퇴적물 관리 전략을 필요로 하고 있다고 기술하고 있다. 이를 위하여 제시되고 있는 내용으로는 오염퇴적물을 다루고 있는 다수 법규 하에서의 교차 프로그램 사이의 협력을 요구하고 있다. 클라이언트의 요구로는 1990년 3월 EPA에 13개 환경감시단 연합인 전국 오염퇴적물 작업그룹과 235개의 연방, 주, 그리고 노동조합, 보건기구 및 어업, 스포츠, 시민, 환경단체를 포함한 지방 공공이해단체의 요청이 의뢰된 바가 있다. 의회는 5년 내지 10년간 반복적으로 오염퇴적물에 대한 관심을 표명하여 왔다.

② 전략이행의 협력

오염퇴적물의 관리 전략의 성공적인 이행을 위하여 연방기관들의 협력, EPA 내의 기관 협력, 오염퇴적물 관리에 있어서의 지방정부의 역할 등을 포함하여 기관 상호간의 협력 체계를 요구한다.

③ 전략을 위한 정책 기본틀

1989년 오염퇴적물을 다루기 위한 EPA의 퇴적물 운영위원회를 구성하였다. 또한 각 프로그램 및 EPA 지역 사무소의 직원들로 구성된 퇴적물 기술 위원회도 1989년에 수립되었다. 퇴적물 기술 위원회의 정기 회의는 조사, 프로그램 및 현장 활동에 관한 정보의 교환을 위해 EPA 포럼을 마련하였다. 1990년 1월에, 퇴적물 운영위원회는 오염퇴적물 문제에 관한 환경보호청의 대처수단을 협력하고 이에 초점을 맞추기 위해 전환환경보호청 오염퇴적물 관리전략을 마련할 것을 결정하였다. 오염 퇴적물의 평가, 예방, 복원 및 처리를 위한 환경보호청의 노력을 어떻게 개선할 것인지에 대한 옵션 문서를 마련하기 위해 4개의 작업그룹을 구성하였다. 그리고, 오염퇴적물의 범위 및 심각성, 국가적 문제인 오염퇴적물을 다루기 위한 연방, 주 및 지방 기관들 간의 연합체 형성, 아웃리치 및 공공인식을 위한 포럼을 구성하였다. 또한, 오염퇴적물 관리전략 개요 초안을 공개하고, 공중의견을 개진하였다.

④ 퇴적물 오염 평가 전략

퇴적물에 축적되고 있는 오염물질에 대한 효과적인 오염 감소 및 제어 프로그램을 이행하고, 퇴적물 오염이 확인된 부지에 적절한 개선 조치를 취하기 위해서, EPA는 퇴적물 오염의 범위 및 심각성을 평가하기 위한 전략을 개발하였다. 평가 전략은 1) 퇴적물 오염물질이 생태 및 인간의 건강에 미치는 위험을 일관성있게 평가하고, 환경보호청의 현 법정권한 하에 적절한 규제 조치를 취하는데 있어서; 2) 오염된 퇴적물 복원이 필요한 부지를 확인하고, 오염의 범위 및 심각성 뿐만 아니라 오염으로 인해 생태 및 인간에 미치는 위험도에 따라 등급을 매기는데 있어서 필요한 환경 데이터를 마련하고 이를 해석하기 위해서 EPA가 취할 조치에 대해 개략적으로 설명한다. 일관성있는 퇴적물 시험방법을 위하여 EPA에 퇴적물 단계별 시험위원회를 구성, 일관성있는 시험 방법의 범 EPA사용, 단계별 시험 기본틀 내에서 전환환경보호청 사용을 위한 퇴적물 독성 시험의 선택, 프로그램에 특유한 보충적인 평가 방법 개발을 요구하고 있다. 저서생물의 보호를 위한 퇴적물 준거기준을 개발하고, 미국의 퇴적물 특성에 관한 데이터의 포괄적인 전국 조사(이후로는 전국 퇴적물 품직 조사라(NSQS)고 칭함)를 최초로 개발하였다. 전국 퇴적

물 특성 조사의 일부로서, EPA는 퇴적물 오염원 목록(이후로는 오염원 목록이라 칭함)을 개발하였다. 또한 환경보호국의 수질 모니터링 프로그램에서 퇴적물 모니터링을 증가시켰다.

⑤ 퇴적물 오염 예방 전략

퇴적물 오염 발생을 예방하는 효과적인 프로그램의 이행이 문제를 처리하는데 있어서 가장 환경보호적이고, 대부분의 경우, 경제면에서 효과적인 방법이라는 것을 인식하고, 퇴적물 오염을 예방하기 위해서, 계획국이 FIFRA, 독성물질 제어 법(The Toxic Substances Control Act; TSCA, 1976), RCRA, CAA 및 CWA를 포함하여 다수의 다른 법규 하에 취해야 하는 조치를 기술하고 있다. 아웃리치 전략(섹션 11)의 일부로서, 공동체를 기반으로 하는 독립체가 국민 차원에서 퇴적물의 오염 예방에 관한 교육을 추진할 필요성을 역설하고 있다.

⑥ 퇴적물 오염원 감소 및 제어 전략

기술에 근거한 점오염원 제어, 수질에 근거한 점오염원 제어, 비점 오염원 제어 및 다른 기관과의 협력 사항을 포함하고 있다.

⑦ 복원 및 시행 전략

오염퇴적물의 복원을 위한 조치와 관련된 법률로는 EPA는 CERCLA, 자원 보전 및 순환법(The Resource Conservation and Recovery Act; RCRA, 1976), 청정 수질 법(Federal Water Pollution Control Act Amendments of 1972(Clean Water Law); CWA), 강과 항만에 관한 법, 유류오염법(The Oil Pollution Act; OPA, 1990) 등이 있다. 퇴적물이 생태적 피해를 유발하거나 인간의 건강에 위험을 주는 수준으로 오염되어 있는 경우, EPA는 이러한 위험을 가장 효과적으로 줄이는 복원 전략이라면 무엇이든 이행하기 위해 노력한다. 오염퇴적물 부지의 적합한 복원 방안의 선택은 인간의 건강 및 환경에 미치는 위험, 복원의 이익, 복원 방안의 이행에 따른 단기적 및 장기적 효과, 복원 방안의 이행가능성, 및 복원 비용 등을 신중하게 고려한 후에 사례별로 이루어진다. 권한을 부여하는 법규 또는 규정에서의 제한에 따라서,

EPA는 우선 인간의 건강 및 환경에 미치는 심각한 위험을 억제하기 위하여 오염 퇴적물 부지의 복원을 수행하고 나서, 회복이 실용적이고 달성가능하며 및/또는 비용면에서 효과적이라면 언제든지 퇴적물의 잠재적 용도 또는 지정용도를 포함하여, 수체의 현재용도 및 지정용도에 충분한 수준으로 부지를 회복시킨다.

⑧ 준설물질 관리전략

미국에서는 매년 약 3억 입방야드의 퇴적물이 전국의 항만 및 수로로부터 준설된다. 이 중 약 6천만 입방야드의 준설물질은 MPRSA 하에 규정된 부지에서 해양에 처분된다. EPA는 기본적으로 제안된 처분을 평가하고 폐기 부지를 선정하는데 사용되는 환경적 기준의 개발에 있어서, 그리고 환경 감시 권한의 행사에 있어서, 준설물질 관리 책임을 공유한다. EPA는 준설물질이 환경적으로 안전한 방식으로 관리되는 것을 보장하기 위하여 준설물질 관리를 다루는 다양한 법규 및 규정의 보다 더 일관성있는 이행을 지속하고, 다른 기관 및 주와의 협력을 유지하고, 준설물질 관리에 관한 기본틀을 개발하고, 준설물질 평가를 위한 체계를 구축한다.

⑨ 조사 전략

퇴적물 오염물질과 저서 생태계의 생존력 및 지속성 사이의 관계를 확인하고, 궁극적으로 이러한 정보가 오염원 제어 및 오염예방 전략에 어떻게 사용될 수 있는지를 명백하게 설명해 줄 포괄적인 협력 조사 프로그램을 위해 전념하고 있다. 오염퇴적물 조사 전략은 1) 퇴적물 오염의 범위를 평가하기 위해, 2) 퇴적물 오염물질의 생태학적 노출 및 영향을 평가하는 방안 및 데이터를 개발하기 위해, 3) 퇴적물 준거기준을 개발하고 이를 뒷받침하는 과학의 정당성을 입증하기 위해, 4) 오염퇴적물 위험 관리 방안을 개발 및 평가하기 위해 조사를 행함으로써 ORD가 어떻게 EPA 계획국, 다른 연방 기관, 주와 부족, 및 지방 정부를 지원할 것인지에 대해 기술하고 있다. 이러한 조사를 완성하기 위해서, ORD는 1998 및 그 이상의 회계연도의 예산에서 퇴적물 특성 조사 이니셔티브의 일부로서 하기에 논의되는 프로젝트를 수행을 기획한다.

⑩ 아웃리치 전략

아웃리치는 EPA의 오염된 퇴적물 관리전략의 중요한 구성요소이다. 퇴적물 오염으로 인해 생태 및 인간의 건강에 미치는 위험과 그 문제에 대한 해법의 이해는 이 전략의 성공적 이행에 대한 핵심이다. 따라서 OST는 전략목표를 지지하여 아웃리치 프로그램을 시작한다. 이를 위하여 할 예정이다. 이를 위하여, 커뮤니티케이션 주제, 다른 기관, 기업 및 공공단체와 협력 및 동맹, 아웃리치를 위한 목표대상층, 아웃리치 대상 및 원칙을 설정한다.

⑪ 사례 연구

심각한 퇴적물 오염이 명백한 부지에서 예상될 수 있는 인간의 건강과 생태학적 영향을 모두 반영하는 몇몇의 사례를 포함한다. 인간건강 위험의 사례연구로는 매사추세츠, 퀸시만에서의 오염물질의 종류와 집단; 수중생물의 이상 발생 빈도; 및 오염 퇴적물에 노출된 해산물 소비에 의한 잠재적인 공공의 건강의 연관성, 워싱턴주 푸젯사운드에서 잡은 해산물의 소비에 대한 포괄적인 조사가 암의 높은 배경 발생빈도가 관찰되었으며 푸젯사운드 지역 주민의 25%는 암이 발생하는 것으로 판결되었다. 그 외 캘리포니아주의 로스앤젤레스 롱비치 항만 스포츠 피쉬의 소비에 대해 건강 주의보를 발효 사례, 1970년대 중반에, 미시간 호수로부터 나는 오염된 담수어의 소비 때문에 상당량의 PCB에 대한 노출, 뉴욕 호수의 약 30,000에이커의 수역에 어류소비 주의보 발효 등을 포함하고 있다.

3) 유럽의 해양오염퇴적물 관리방안

세계 준설 협회(World Dredging Association: WDA)와 중앙 준설 협회(Central Dredging Association: CEDA)에서 수립된 준설물질에 대한 국제 환경정책은, 여러 유럽 국가들의 국내 정책에 큰 영향을 미친다.

이 정책은 다음 여섯 가지 사항에 기초한다.

- 잘 설계되고, 환경에 무해한 방법으로 처리된 준설은 경제에도 기여함
- 시기적절한 준설은 중요하지만, 환경적 목표와 법규에 부합되어야 함

- 적절한 환경안전 기준의 준수 및 준설물질 정화·복원 지침 수행
- 준설물질의 이익적 이용 증대
- 관련 대중에게 정보를 공개
- 보다 안전한 준설물질 처리와 평가를 위한 기술개발 및 투자를 촉진

유럽의 주요 국가별 해양오염퇴적물 관리방안은 다음과 같다.

가) 네덜란드

네덜란드는 유럽에서 지정학적으로 해양과 하천이 연결되는 하천의 하구 연이 많은 지역에 위치하며, 해양과 하천을 이용한 선박의 물류활동이 활발하다. 선박의 항행뿐만 아니라 조선, 수리 등 여러 선박활동에 기인하여 환경으로 유출되는 오염물질들은 이러한 선박활동에 비례하여 증가한다. 또한 하천 주변의 점·비점오염원으로부터 오염물질들이 지속적으로 유입되기 때문에 하천뿐만 아니라 인접 해역의 해저 퇴적물까지 오염되고 있으며, 오염 퇴적물을 포함하여 연간 약 35백만 m^3 의 퇴적물을 준설하고 있다.

네덜란드는 2015년까지 약 900백만 m^3 의 해저 퇴적물을 제거할 계획이다. 이 중 항로 유지를 위해서 준설될 퇴적물은 약 800백만 m^3 이며, 국내 총 오염퇴적물 약 200백만 m^3 중에서 약 100백만 m^3 가 환경적인 정화·복원을 위해서 제거될 예정이다.

이러한 오염퇴적물을 관리하기 위한 네덜란드의 기본 정책 방향은,

- 퇴적물의 오염도 증가를 방지,
- 오염퇴적물의 유효 활용,
- 모래 분리지를 이용한 오염퇴적물의 단순 처리기술 사용,
- 대규모 고립처분장에서 오염퇴적물 저장이다.

네덜란드의 오염퇴적물에 관한 정책의 변화는 다음과 같다.

- 제 3차 물 관리 국가 정책 법 (1989년, 교통, 공공 및 물 관리부)

(The 3rd national polish act on water management, 1989, Ministry of transfort, public works and water management)

국가의 정책 목표는,

- 1995년까지 일부 오염지역을 정화·복원하며,
- 궁극적으로 인간 건강, 환경, 생태계에 위협한 모든 퇴적물들을 정화·복원하는 것이다.

- 오염퇴적물 관리에 관한 정책 지침 (1993년)

(The Polish Guideline on the Handling of contaminated dredged material, 1993, Dutch Government)

이 지침은 오염퇴적물 관리 체계(framework)와 처분장 건설에 대한 규범으로 구성됨.

오염퇴적물 관리 체계의 핵심은,

- 오염퇴적물 생성 방지 (2000년까지 새로운 퇴적물 정화)
- 오염도가 낮은 퇴적물의 이익적인 이용을 장려
- 2000년까지 총 오염퇴적물 중 20%까지 처리되도록 유도
- 대규모 고립 처분장 건설
- 오염퇴적물 확산 저감이다.

- 준설물질 제거에 관한 네덜란드 정책의 평가 (1997년)

(Evaluation on the Polish Document on the Removal of Contaminated Dredged Material, 1997, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Ministry of Transport, Public Works and Water Management)

이 평가에서는 1997년까지의 정책이 계획보다 지연되었으며, 이유는 다음과 같다.

- 오염의 확산 원인을 감축하는 것이 매우 어려워서 일부 중금속과 미량 유기오염물질의 오염도가 여전히 높기 때문에 새로운 퇴적물이 충분히 정화되지 못함
- 오염된 준설물질의 이익적인 이용자가 독립적으로 수요를 창출하지 않음
- 실제 준설과 오염퇴적물 제거의 효과를 판단하는 지식이 부족. 또한 이익적인 이용의 효과와 가능성이 불충분함

- 준설과 처리의 비용이 예상보다 훨씬 큼
- 대규모 처리·처분 시설의 건설에 대하여 일반 대중이 반대하며, 이익적인 이용이 과소평가됨

- 제 4차 물 관리 국가 정책 법 (1998년, 교통, 공공 및 물 관리부)

(The 4th national polish act on water management, 1998, Ministry of transfort, public works and water management)

제 3차 물 관리 국가 정책 법을 일부 수정하여 제 4차 물 관리 국가 정책 법을 수립하였다. 이 정책 법의 주된 목표는,

- 충분한 고립 처분장 조성
- 단순 처리기술 사용
- 동적 토양 관리(Dynamic Soil Management)의 사용
- 오염퇴적물 평가기준 개정
- 고립처분장 건설 규범 개정
- 모든 오염퇴적물 정화·복원을 위한 기초계획의 실현이다.

1997년까지 네덜란드 정부(교통, 공공 및 물 관리부)에서는 오염퇴적물 처리, 준설물질의 이익적 이용, 고립처분장 건설에 대한 다양한 연구프로그램을 실시하였으며, 최근 오염퇴적물에 대한 자문 및 지식센터(AKWA)를 조직하였다. 이 기구는 지역 당국을 지원하고, 오염퇴적물에 관한 연구, 개발을 담당한다.

네덜란드 정부의 오염퇴적물에 대한 현재의 정책은,

- 제거된 퇴적물의 양적, 질적 개량
- 대부분의 오염퇴적물의 저장을 위한 몇몇 대규모 고립처분장 개발
- 오염이 심한 지역에 단순 처리를 적용하거나 사질 함량이 높은 경우에는 입자분리를 적용
- 오염퇴적물 사업에 대한 일반 시민들의 의식개선이다.

또한, 고립처분장으로부터 오염물질의 유출은 최소 오염(ALARA: as low as reasonably achievable) 원칙으로 규제하고 있으며, 표층수 보호를 위한

정책을 준비하고 있다.

최소 오염의 원칙 하에서 고립처분장을 조성할 경우,

- 처분장 외부 수위에 따른 침투 또는 확산에 의한 이동 방지
- 유기물이 풍부한 점토 또는 점토성 물질로 시설의 기초에 덧대기
- 유기물이 풍부한 모래 또는 모래성 물질로 바닥과 경사면에 피복
- 영향을 받은 지역의 정도를 제한하는 효과적인 지정·수력학적 고립 시스템의 사용

기준을 충족하여야 한다.

네덜란드는 토양 보호법(Soil Protection Act: Wbb)에 준설토사를 포함하고 있으며, 지하수(Ground water)를 토양의 일부분으로 규정하여 이 법에서 규제하고 있다. 그러나 폐기물 관련법에는 토양과 준설품질이 충분히 포함되지 않았고, 폐기물로서 준설품질의 처리, 수송 및 처분에 관하여 미흡하기 때문에 개정을 통해 보다 강화될 전망이다.

네덜란드에서는 퇴적물질을 폐기물로 간주하며, 오염도가 낮은 준설품질(Class 1, 2)은 환경관리법(Environmental Management Act: WM, 1993년)상 폐기물 법규의 예외로서 수중 고립처분이 가능하다. 오염퇴적물 처리·처분 대안의 결정과 처리 후 유효활용의 수요는 관련법에 큰 영향을 받기 때문에, 최근 고립 처분되는 양을 감축하고 재활용을 촉진하기 위하여 환경세법(Act on Environmental Taxes: Wbm, 2002년)을 제정하는 등 관련 법규를 정비하고 있다.

기타 오염퇴적물과 관련된 법규는 다음과 같다.

- 표층수/해수 오염법 (Pollution of Surface Waters Act/ Seawater Pollution Act: WvO/WvZ, 1970)

이 법은 모든 폐기물과 폐수로부터 표층수와 해수의 오염을 방지하는 것을 규정한다.

- 건축재료령 (Building Material Decree)

이 법은 육상과 해상에서 굴착토를 포함한 이차 건축재의 사용을 규제한다. 대상 물질로부터 용출도는 오염물질의 양과 오염물질의 총량에 따라서 다음

세 가지 범위로 구분된다.

0 (Category 0): 목표값 이하의 깨끗한 토양. 자유롭게 사용

I (Category II): 유출 또는 용출되는 값이 허용값 이내인 것은 사용 가

II (Category III): 지하수계 이상, 주변 토양과 고립 등 제한적인 경우 사용 가

나) 독일

독일에서는 연간 평균 약 500백만 m^3 의 준설물질이 발생하고 있으며, 네덜란드와 달리 법규에서 오염퇴적물을 별도로 규정하고 있지 않다. 오염퇴적물 처리·처분을 위해서 항구 주변의 소규모 처리·처분시설을 주로 사용하고 있다. 그러나 처리한 퇴적물을 육상에서 재이용하는 경우만 법에서 규정하고 있으며, 육상의 수질 기준 등에도 포함되어 있지 않아서 현재 법·제도 개선 중이다. 연방 토양 보호 및 오염지역 법(The Federal Soil Protection and Contaminated Site Act)은 퇴적물의 육상 처분에 관하여 규정하고 있다. 독일은 작은 수계에서 오염퇴적물의 처분 또는 대규모 고립 처분을 위한 국가적인 지침은 없다. 그러나 독일의 매립 지침(German Landfill Ordinance)에 따르면 관련 당국은 적절한 방법으로 오염퇴적물을 육상 처분장에서 처분할 경우 이를 허가할 수 있도록 규정하고 있다.

4) 일본의 해양오염퇴적물 관리방안

일본에서는 1971년 환경백서에 퇴적물이 언급되면서부터 주목하게 되었으며, 도쿄만, 오사카만, 타코노우라항, 도카이만, 이요미시마항의 퇴적물에 유기물, 중금속, PCBs 등 유해물질이 축적된 결과, 퇴적물이 부패되어 악취가 발생하거나 생물이 폐사 하는 등 해양환경에 문제점이 발생하기 시작하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 일본에서는 공용 수역에서의 수질오염, 어패류 오염 등의 원인이 되는 오염된 퇴적물(底質)의 제거에 관한 사항은 “저질(底質: 퇴적물)의 잠정 제거 기준에 관하여”(1975년(S50) 10월 28일, 환수관119호)라는 통보(通達)로 법제화 되었으며, 수은과 PCB를 함유하는 퇴적물의 제거기준이 설정되었다.

제거기준에 해당되는 퇴적물에 대하여 준설 등 대책을 취할 경우, “저질의 처리 처분 등에 관한 판정지침”(1974년(S49) 5월 30일, 환수관113호)에 따라서, 2차 오염이 발생하지 않도록 처리·처분하도록 규정되어 있다. 또한, 다이옥신류 대책 특별조치법 (1999년(H11) 법률제105호) 제 7조의 규정에 의해 다이옥신류에 의한 수저 퇴적물에 관한 환경기준이 정해졌다. 그 후, 이를 반영하기 위하여, “저질의 처리 처분 등에 관한 판정지침”은 폐지됨과 동시에, 수은, PCB에 추가하여 다이옥신류에 대한 규정을 포함하는 “저질의 처리·처분 등에 관한 지침에 대하여”(2002년(H14) 8월 30일, 환수관211호)로 대체되었다. 대책 대상 퇴적물의 다이옥신류에 대한 규정은 “다이옥신류에 의한 대기, 수질 및 토양오염에 관한 환경기준”(2002년(H13) 7월 22일, 환경청고시 46호)에 의해 기준값(150pg-TEQ/g이하)이 규정되어 있다(참고: 토양 1,000pg-TEQ/g이하, 대기 0.6pg-TEQ/m³이하, 수질 1pg-TEQ/l이하).

퇴적물의 조사는 “저질 조사 방법”(1975년(S50) 10월 28일, 환수관120호)에 따른다. 조사 시 메쉬를 설정하고 있는 경우는, 각각의 메쉬의 4개의 교차점의 측정치를 평균값으로 하여 해당 메쉬의 평균농도로 하며, 그 외의 경우에는 인접하는 2점의 측정값의 평균을 해당 구간의 평균농도로 판정한다.

준설공사 등으로부터 제거된 퇴적물을 해양에 투기하여 처분할 경우, “해양오염 및 해상재해의 방지에 관한 법률”에 의한 판정기준에 적합하며 당국의 허가를 얻을 경우에 한하여 폐기물 투기해역에서 처분되고 있다. 한편, 폐기물 및 기타물질의 투기에 의한 해양오염방지에 관한 1972년 런던협약(London Convention)은 지난 2006년 3월 24일 보다 강화된 1996년 런던 의정서(London Protocol)로 전환되었다. 이러한 국제적인 변화에 부응하여, 1996년 런던 의정서가 요구하는 해양에서의 폐기물 등의 처리에 관한 규제를 더욱 강화시키기 위하여, 육상에서 발생하는 폐기물 및 준설물질 등의 해양투입처분을 신고제에서 허가제로 변경하며, 해역에서 폐기물의 소각을 금지하는 것 등을 주요 내용으로 해양오염방지법을 개정하였다(2004년(H16) 5월 19일 개정).

또한 일본은 퇴적물질의 효율적인 관리를 위하여 “준설토사의 해양투기 및 유효활용에 관한 기술지침”(2006년(H16) 6월, 국토교통성 항만국)을 제정하였다. 이 지침은 준설공사 등으로부터 제거된 퇴적물질을 처리가 가능한 부분까지 처리하여 재활용하고, 폐기물로서 해양에 배출되는 양을 최대한 감

축하기 위한 것이다. 현재 일본은 정부의 정책에 부응하여 준설에 의해 제거된 퇴적물을 다양한 처리기술로 처리하여 토지조성을 위한 항만매립, 복토재, 해안선 보전을 위한 양빈, 간석지 조성 등으로 유효 활용하고 있으며, 매립 등 최종 처분량은 지속적으로 감소하고 있다.

오염퇴적물에 대한 중앙정부의 역할과 기능은 다음과 같다.

- 환경성: 퇴적물 환경기준을 정하고 퇴적물 오염 상황을 조사.
- 국토교통성: 감시 매뉴얼과 대책 매뉴얼을 작성.
 - 호쿠리쿠지방 정비국 니가타 항만 공항 기술 조사 사무소가 실증 실험을 하여 퇴적물 다이옥신류 무해화에 관한 결과를 정리 중.
 - 본 성 하천국 하천환경과는 퇴적물 다이옥신 대책 기술 자료집을 2007년에 정리. 또한 츠루미강 유수지에서도 무해화 대책이 진행 중.
 - 독립 행정 법인 항만 공항 기술 연구소 등이 저서 생물과 유해 금속의 상호 관계에 대한 자료를 정리하여 발표.
- 농림수산성: 어패류에 포함된 수은, 다이옥신류에 대한 자료를 공개.
- 후생노동성 : 어패류 등에 포함된 수은에 대한 자료를 공개.

그러나 실제 오염퇴적물 정화사업은 해당 지방자치단체와 지역주민 대표를 포함하여 관련 기관(유관기관, 산업계, 연구기관 등)들과 함께 오염퇴적물 관리 위원회를 구성하여 각 지역별로 추진된다.

한편, 오염퇴적물 정화·복원에는 고액의 비용이 필요하므로, 최근 시마네현의 마카타 공업단지 인근 폐기물 처리업자 등이 정화복원 비용을 부담하는 등 공해방지사업비사업자부담법에 의해 오염 원인자가 그 비용을 부담하는 사례가 증가하고 있다.

2. 정화복원 원칙 수립

1) 기본목표 수립

해양오염퇴적물 정화·복원사업 기본계획 수립을 위하여, 해양오염퇴적물 관련 국내·외 관리방안을 검토한 결과를 기초로 다음과 같이 네 가지 기본 목표를 수립하였다.

- 생물 또는 사람의 건강을 포함하여 해양환경에 영향을 줄 수 있는 오염된 퇴적물이 더 이상 오염되는 것을 방지
- 수질, 생물 또는 사람의 건강을 포함하여 해양환경에 나쁜 영향을 초래하는 해양오염퇴적물을 정화
- 해양오염퇴적물의 수거 및 처리(중간, 최종)가 환경적으로 안전한 방법으로 관리
- 해양오염퇴적물의 조사, 분석, 평가 방법을 지속적으로 개발 및 보완하여 일관되게 적용

2) 기본원칙 검토

수립된 네 가지 기본목표를 효율적으로 실현하기 위한 방안으로서, 다음과 같이 11개 기본원칙을 설정하였다.

- **(법적근거)** 해양오염퇴적물을 효율적으로 관리하기 위해서는 관련 법, 제도에 의거 조사, 평가, 정화 등 각 단계별로 수행하여야 한다.
- **(조사)** 해양오염퇴적물을 조사하는 방법을 지속적으로 개발하여 보급한다.
- **(현황조사)** 해역별 퇴적물 오염도 조사를 지속적으로 실시하여 전국 해양오염퇴적물 분포 현황도를 작성, 관리한다.
- **(평가)** 해양환경 변화 및 새로운 오염물질 발생 등을 고려한 해양오염퇴적물 평가 방법을 지속적으로 개발, 보완한다.
- **(예방)** 해양퇴적물 오염을 유발할 수 있는 육상기인 오염물질 유입 차단 및 연안 점오염원(산업시설) 정비한다.
- **(의사결정)** 해양퇴적물의 오염 원인이 과학적으로 규명되고, 유입되는 오염원이 정비된 경우에 해양오염퇴적물 정화사업을 추진 여부를 결정한다. 단, 국가 정책상 정화의 우선순위가 있거나 대규모 행사 개최 등 시급한 사항이 있을 경우 추진한다.
- **(정화사업 시행)** 해역에 오염된 퇴적물이 존재할 경우, 더 이상의 오염을 방지하기 위해서 적절한 조치를 취한다. 오염된 퇴적물을 수거할 경우, 사전에 처리(중간, 최종) 방안을 확보한 다음 실시한다.
- **(정화사업 중 환경관리)** 정화사업에 따른 2차 오염 등 영향을 최소화한다.

- **(모니터링 및 사후 관리)** 정화사업의 효과를 유지하기 위하여 정화사업 전, 정화사업 중 및 정화사업 종료 후 일정기간 동안 모니터링을 실시하고, 그 결과에 따라 대상 해역을 관리한다.
- **(국제협력)** 해양오염퇴적물 평가 및 관리를 위해서는 관련 기관, 민간 이해관계자 및 외국 관련 기관과 상호 협력을 강화한다.
- **(녹색성장)** 국내 해양오염퇴적물 정화사업 활성화로 시장을 확대하고, 기술인력 육성 및 정화사업 선진화를 촉진한다.

제2절 해양오염퇴적물 현황 조사계획 수립

1. 항만 개요

우리나라의 항만은 항만법 시행령 별표1 항만의 명칭, 위치 및 구역에 따라 무역항 29개와 연안항 25개로 그리고 어촌·어항법에 따라 총 2,120개 항이 국가어항, 지방어항, 어촌 정주어항 및 소규모항으로 각각 구분된다.

1) 무역항 및 연안항 (총 54개)

무역항(총 29개)은 국가관리항 14개와 지방관리항 15개로 분류된다. 국가관리항은 국토해양부가 해역관리청으로서 해양환경관리법에 따른 해양오염퇴적물의 정화·복원 사업 추진 등 관할권을 갖는 해역이다.

항만의 구분		관리주체	항만명
무역항	국가관리항 (14개)	국토해양부	경인항, 인천항, 평택·당진항, 대산항, 장항항, 군산항, 목포항, 여수항, 광양항, 마산항, 부산항, 울산항, 포항항, 동해·목호항
	지방관리항 (15개)	시·도지사	태안항, 보령항, 완도항, 삼천포항, 통영항, 장승포항, 옥포항, 고현항, 진해항, 호산항, 삼척항, 옥계항, 속초항, 제주항, 서귀포항
연안항(25개)		시·도지사	용기포항, 연평도항, 대천항, 비인항, 대흑산도항, 홍도항, 팽목항, 송공항, 신마항, 녹동신항, 나로도항, 거문도항, 갈두항, 중화항, 한림항, 화순항, 성산포, 애월항, 추자항, 부산남항, 화홍포항, 구룡포항, 후포항, 울릉항, 주문진항

2009년 12월 항만법 시행령 개정에 따라 국토해양부는 무역항 중 지방관리항 15개와 연안항 25개에 대한 항만의 지정, 항만기본계획 수립, 항만요율 결정 등 정책적인 업무를 제외하고, 항만공사 시행, 항만시설 운영 등 대부분의 집행업무를 시·도지사에게 위임하였다.

2) 어항 (2,120개)

어촌·어항법에 따라 총 2,120개 항이 국가어항 110개, 지방어항 289개, 어촌정주어항 373개 및 비법정항으로서 1,348개 소규모항으로 분류된다. 국가어항은 해양환경관리법 제123조 및 같은법 시행령 제94조 제6항(권한의 위임)에 따라 국토해양부장관은 국가어항에 대한 해양환경 개선조치 등 관리에 대한 권한을 시, 도지사에게 위임할 수 있고, 시, 도지사는 관리권한을 시장, 군수, 구청장에게 재위임할 수 있다.

가) 법정항 (772개)

전체 772개 법정항은 국가어항 110개, 지방어항 289개 및 어촌정주어항 373개로 구분된다.

국가어항은 이용범위가 전국적인 어항, 도서벽지에 소재하여 어장의 개발, 어선의 대피에 필요한 어항이다. 지방어항은 이용범위가 지역적이고 연안어업 지원의 근거지가 되는 어항으로서 시, 도에서 관할권을 갖는다. 그리고 어촌정주어항은 어촌의 생활근거지가 되는 소규모 어항으로서 시, 군, 구에서 관할권을 갖는다.

나) 비법정항 (1,348개)

전체 1,348개의 비법정항은 상기 지정어항 이외의 포구로서 관리주체는 시, 군, 구가 된다.

2. 항만별 주요 현황

1) 국가관리항

국가관리항의 위치, 주변인구, 산업시설 및 과거 오염여부 등 주요 현황을 정리하여 아래에 나타내었다.

가) 경인항

① 위치

- 인천광역시 서구 및 경기도 김포시
- 북위 37도 33분 34.44초, 동경 126도 35분 32.37초(인천광역시 서구 오류동 거침도 남단)와 북위 37도 32분 49.84초, 동경 126도 35분 58.13초 지점을 연결한 선과 북위 37도 33분 43.47초, 동경 126도 37분 17.90초의 지점과 북위 37도 33분 46.61초, 동경 126도 37분 16.52초의 지점을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 인천광역시 서구 : 395,580명
- 경기도 김포시 : 225,805명

③ 기타 특이사항

- 영종대교 위쪽 해역

나) 인천항

① 위치

- 인천광역시
- 북위 37도 32분 49.84초, 동경 126도 35분 58.13초 지점과 북위 37도 33분 34.44초, 동경 126도 35분 32.37초(인천광역시 서구 오류동 거침도 남단) 지점을 연결한 선과 북위 37도 35분 36.05초, 동경 126도 34분 08.57초(김포시 양촌면) 지점과 북위 37도 34분 44.05초, 동경 126도 33분 20.58초(세어도 북단) 지점과 북위 37도 32분 04.07초, 동경 126도 30분 52.59초(영종도 북단) 지점을 연결한 선과 북위 37도 26분 47.11초, 동경 126도 29분 10.60초(영종도 남단) 지점과 북위 37도 21분 41.14초, 동경 126도 26분 26.62초(해녀도)와 북위 37도 18분 56.16초, 동경 126도 28분 49.61초(남장자서), 북위 37도 17분 19.17초, 동경 126도 31분 58.59초(대부도 서북단 타구봉 끝단) 지점을 연결한 선 안의 해면. 다만, 시화호 방조제 및 소래대교 내륙쪽 해면은 제외한다.

② 주변 인구

- 인천광역시 : 2,710,040명

③ 기타 특이사항

- 북항, 내항, 남항, 인천신항 등 해역으로 구성

다) 평택·당진항

① 위치

- 경기도 평택시, 충청남도 아산시 및 당진군
- 경기도 화성시 우정읍 고온리(북위 37도 02분 05.28초, 동경 126도 44분 50.53초 지점)와 충청남도 당진군 송산면 성구미리 동단(북위 36도 59분 54.30초, 동경 126도 42분 04.55초)을 연결한 선 안의 해면. 다만, 남양호, 아산호, 삼교호는 제외한다.

② 주변 인구

- 경기도 평택시 : 410,042명
- 충청남도 아산시 : 264,327명
- 충청남도 당진군 : 142,000명

③ 주변 주요 산업시설

- 당진화력발전소, 화물선적 및 물류관련 시설

라) 대산항

① 위치

- 충청남도 서산시
- 대죽리 삼길산 북측 북위 37도 00분 24.29초, 동경 126도 26분 56.63초 지점에서 다음 각 목의 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면
 - 가. 대조도 남단 북위 37도 00분 52.29초, 동경 126도 27분 09.63초
 - 나. 대조도 북단 북위 37도 01분 08.28초, 동경 126도 27분 09.63초
 - 다. 비경도 동남측 북위 37도 01분 16.28초, 동경 126도 25분 54.63초
 - 라. 비경도 서단 북위 37도 01분 28.28초, 동경 126도 25분 19.64초

- 마. 철도 남단 북위 37도 03분 05.27초, 동경 126도 24분 40.64초
- 바. 북위 37도 03분 12.27초, 동경 126도 22분 45.65초
- 사. 북위 37도 01분 52.28초, 동경 126도 18분 34.67초
- 아. 장안퇴 암초 북위 37도 00분 37.28초, 동경 126도 15분 56.69초
- 자. 만대 북단 북위 36도 58분 43.30초, 동경 126도 18분 16.68초
- 차. 자각산 서단 북위 36도 58분 25.30초, 동경 126도 20분 06.67초

② 주변 인구

- 충청남도 서산시 : 161,238명

마) 장항항

① 위치

- 충청남도 서천군
- 소치곶과 북위 36도 00분 7.16초, 동경 126도 38분 1.68초 지점, 북위 36도 00분 24.52초, 동경 126도 37분 46.51초 지점, 북위 36도 00분 33.09초, 동경 126도 39분 47.61초 지점을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 충청남도 서천군 : 60,030명

바) 군산항

① 위치

- 전라북도 군산시
- 전라북도 군산시 구포산정 30미터 지점에서 소치곶을 연결한 선과 소치곶과 북위 36도 00분 7.16초, 동경 126도 38분 1.68초 지점, 북위 36도 00분 24.52초, 동경 126도 37분 46.51초 지점, 북위 36도 00분 06.70초, 동경 126도 25분 52.66초 지점, 북위 35도 52분 57.75초, 동경 126도 25분 52.67초 지점, 북위 35도 52분 57.75초, 동경 126도 30분 37.64초 지점(새만금제방)을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라북도 군산시 : 266,922명

사) 목포항

① 위치

- 전라남도 목포시, 영암군

- 영암방조제 및 영산강하구둑과 목포시 산정동 목도 돌출부 남서단 북위 34도 48분 51.19초, 동경 126도 22분 11.72초 지점에서 다음 각 목의 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

가. 정주도 남단 북위 34도 48분 48.19초, 동경 126도 21분 33.72초

나. 구례도 남단 북위 34도 48분 25.19초, 동경 126도 21분 02.72초

다. 장좌도 동북단 북위 34도 47분 41.19초, 동경 126도 20분 25.72초

라. 장좌도 동남단 북위 34도 46분 55.20초, 동경 126도 20분 19.73초

마. 달리도 동남단 북위 34도 45분 34.21초, 동경 126도 19분 05.73초

바. 해남군 화원면 구림리 동북단 북위 34도 43분 47.07초, 동경 126도 19분 47.85초

사. 북위 34도 44분 12.71초, 동경 126도 20분 24.91초

아. 해남군 산이면 달도 북단 북위 34도 42분 52.23초, 동경 126도 22분 42.71초

② 주변 인구

- 전라남도 목포시 : 244,801명

- 전라남도 영암군 : 62,905명

아) 여수항

① 위치

- 전라남도 여주시

- 여주시 봉산동 북위 34도 43분 49.24초, 동경 127도 43분 57.29초 지점에서 우두리 조선붕, 오동도 동단을 거쳐 북북동 30도 방향으로 1,500미터까지 이은 지점 및 마래산정을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 여수시 : 293,546명

③ 기타 특이사항

- 여수신항 해역: 타당성조사('09. 10, 여수지방해양항만청)
- 여수여객터미널 앞 해역

자) 광양항

① 위치

- 전라남도 광양시, 여수시 및 순천시
- 전라남도 여수시 한구미 동단(북위 34도 50분 13.20초, 동경 127도 46분 24.27초)에서 북위 34도 50분 53.20초, 동경 127도 48분 22.26초 지점, 북위 34도 51분 29.19초, 동경 127도 48분 18.26초 지점, 북위 34도 52분 11.19초, 동경 127도 48분 36.26초 지점 및 북위 34도 54분 56.17초, 동경 127도 48분 49.26초 및 태인도 동남단(북위 34도 56분 42.16초, 동경 127도 45분 57.27초)을 연결하는 선, 태인 연륙교(북위 34도 56분 01.16초, 동경 127도 44분 49.28초 및 북위 34도 55분 54.16초, 동경 127도 44분 49.28초), 광양만철교(북위 34도 55분44.1초·동경 127도41분58.8초 및 북위 34도55분41.9초·동경 127도42분15.1초), 광양시 초남(북위 34도 55분 21.16초, 동경 127도 36분 37.32초)에서 광양시 세풍리 남단(북위 34도 55분 35.16초, 동경 127도 35분 55.33초)을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 광양시 : 144,051명
- 전라남도 여수시 : 293,546명
- 전라남도 순천시 : 271,106명

③ 주변 주요 산업시설

- 제철소, 임해공업단지

차) 마산항

① 위치

- 경상남도 마산시, 창원시
- 마산시 덕동동 상대말(북위 35도 08분 36.10초, 동경 128도 35분 51.01초)과 진해시 동도(북위 35도 08분 54.09초, 동경 128도 36분 36.00초)를 연결한 선이북의 해면

② 주변 인구

- 경상남도 마산시 : 150,964명
- 경상남도 창원시 : 502,727명

카) 부산항

① 위치

- 부산광역시, 경상남도 진해시
- 진해시 명동 신명 남단을 기점으로 하여 우도 남동단, 연도 서남단, 가덕도 남측 끝단(북위 34도 59분, 동경 128도 49.5분) 지점, 생도 남단, 오륙도 남단, 북위 35도 08분 33.20초, 동경 129도 08분 51.60초 지점, 광안대로 남측 축도부 남단(북위 35도 08분 08.90초, 동경 129도 06분 53.20초) 및 육지 끝단(북위 35도 08분 06.00초, 동경 129도 06분 44.00초) 지점을 연결한 선안의 해면 중 다음 각 목의 해면을 제외한 해면

가. 북위 35도 05분 47.13초, 동경 129도 02분 10.87초 지점에서 진북 164도 방향으로 그은 선(영도대교) 및 부민동 남단과 절영도 대봉포를 연결한 선 안의 해면

나. 선가대(부산광역시 사하구 다대1동 375-16번지 해양경찰청 함정수리창내) 기부(基部)로부터 정서쪽으로 136미터 떨어진 해상점을 중심으로 하여 건너편 산(부산광역시 사하구 다대동 368번지) 정점을 연결하는 일직선상에 있는 육지부와 만나는 지점 안의 해면

② 주변 인구

- 부산광역시 : 3,596,000명
- 경상남도 진해시 : 173,911명

③ 기타 특이사항

- 용호만, 감천항 해역 : 타당성조사('09, 부산지방해양항만청)
- 부산남항, 북항 해역 : 현황조사('06, 해양수산부)
- 다대포항, 감만항 해역 조사 필요

타) 울산항

① 위치

- 울산광역시
- 동대산 삼각점(△) 116지점에서 남방 173도 1,730미터 지점(북위 35도 28분 39.98초, 동경 129도 24분 52.74초)과 북위 35도 25분 44.00초, 동경 129도 27분 51.72초 지점, 북위 35도 24분 11.01초, 동경 129도 27분 51.73초 지점, 북위 35도 24분 11.01초, 동경 129도 21분 13.76초 지점을 순차적으로 연결한 해안선까지 선 안의 수면과 돌안산 최동단 북위 35도 30분 58.97초, 동경 129도 26분 46.73초 지점을 중심으로 한 반경 2,000미터 원 내의 해면

② 주변 인구

- 울산광역시 : 1,129,478명

③ 기타 특이사항

- 울산분항, 온산항, 미포항 등 해역으로 구성

파) 포항항

① 위치

- 경상북도 포항시
- 용한리 동단(북위 36도 07분 15.72초, 동경 129도 24분 58.71초)에서 북위 36

도 07분 15.72초, 동경 129도 29분 44.69초 지점을 거쳐 술미 북위 36도 01분 23.76초, 동경 129도 29분 44.69초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상북도 포항시 : 513,347명

③ 기타 특이사항

- 신히, 구항, 영일만항 해역으로 구성
- 포항구항 정화사업('97~'06)

하) 동해·묵호항

① 위치

- 강원도 동해시
- 동해시 냉천 동단에서 북위 37도 31분 10.14초, 동경 129도 10분 21.73초와 북위 37도 28분 54.16초, 동경 129도 10분 21.73초 및 동해항 남쪽 호안 끝단을 순차적으로 연결한 선 안의 해면과 어달동 오도 동방 북위 37도 33분 22.13초, 동경 129도 07분 16.75초에서 진방위 90도로 1,350미터 지점과, 북위 37도 32분 10.13초, 동경 129도 06분 53.75초에서 진방위 90도로 1,900미터 지점을 각각 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 강원도 동해시 : 95,271명

③ 기타 특이사항

- 동해항, 묵호항 해역으로 구성
- 묵호항 해역 : 현황조사('04, 해양수산부)
- 해양배출 처리대안 부재로 묵호항 정화사업('06~'08) 중단

2) 지방관리항

지방관리항의 위치, 주변인구, 산업시설 및 과거 오염여부 등 주요 현황은 아래와 같다.

가) 태안항

① 위치

- 충청남도 태안군
- 방갈리 북측 북위 36도 54분 19.33초, 동경 126도 13분 21.71초의 지점에서 다음 각 목의 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면
 - 가. 북위 36도 54분 26.33초, 동경 126도 11분 44.71초
 - 나. 북위 36도 53분 50.33초, 동경 126도 10분 48.72초
 - 다. 북위 36도 55분 34.32초, 동경 126도 12분 41.71초
 - 라. 북위 36도 55분 26.32초, 동경 126도 14분 33.70초
 - 마. 북위 36도 54분 48.32초, 동경 126도 15분 04.70초

② 주변 인구

- 충청남도 태안군 : 64,000명

나) 보령항

① 위치

- 충청남도 보령시
- 면화박골 서단(북위 36도 27분 14.52초, 동경 126도 29분 12.63초)에서 월도 동단(북위 36도 24분 36.54초, 동경 126도 28분 10.64초), 원산도 도투머리 산정을 거쳐 북위 36도 19분 08.57초, 동경 126도 26분 51.65초의 지점과 보령시 신후동 서단(북위 36도 19분 28.57초, 동경 126도 30분 03.63초) 및 송도 서단(북위 36도 23분 07.55초, 동경 126도 28분 45.64초)을 거쳐 오천국교 서단(북위 36도 26분 17.53초, 동경 126도 31분 00.62초)까지 해안선과 혜독동 동단(북위 36도 26분 24.53초, 동경 126도 30분 44.63초)을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 충청남도 보령시 : 106,704명

다) 완도항

① 위치

- 전라남도 완도군

- 신지도 상산산정과 동망봉 산정을 연결한 선 및 신지도 장항곶 서산에서 가미구미 동측 돌단을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 완도군 : 56,506명

라) 삼천포항

① 위치

- 경상남도 사천시

- 사천시 대방동 남방 지점(북위 34도 55분 45.17초, 동경 128도 03분 19.18초)에서 장구도 북단, 신수도 북단, 추도 북단, 신수도 최동단 돌출부(북위 34도 53분 51.18초, 동경 128도 05분 03.17초), 삼천포외항 방과제 서단(북위 34도 54분 00.18초, 동경 128도 06분 09.17초)과 외항 방과제 동단(북위 34도 54분 10.18초, 동경 128도 06분 55.16초) 및 고성군 하이면 덕호리(북위 34도 54분 16.18초, 동경 128도 07분 04.16초)를 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상남도 사천시 : 114,554명

③ 주변 주요 산업시설

- 화력발전소

마) 통영항

① 위치

- 경상남도 통영시
- 나부동산 동단(북위 34도 49분 29.78초, 동경 128도 23분 31.27초)과 해말당단 서단(북위 34도 49분 50.81초, 동경 128도 23분 32.13초)을 연결한 선 안의 해면 및 전송말(북위 34도 49분 34.22초, 동경 128도 26분 29.07초)에서 매일봉(북위 34도 50분 42.21초, 동경 128도 26분 53.06초) 동남으로 그은 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상남도 통영시 : 137,415명

바) 장승포항

① 위치

- 경상남도 거제시
- 호엄산 202미터 산정과 동북 방향 북위 34도 51분 48.21초, 동경 128도 44분 07.97초 지점을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상남도 거제시 : 225,522명

사) 옥포항

① 위치

- 경상남도 거제시
- 호엄산 202미터 산정과 동북 방향 북위 34도 51분 48.21초, 동경 128도 44분 07.97초 지점을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상남도 거제시 : 225,522명

아) 고희향

① 위치

- 경상남도 거제시
- 중촌돌단(북위 34도 55분 09.19초, 동경 128도 36분 32.01초 지점)에서 열너봉 삼각점(△)(북위 34도 56분 37.17초, 동경 128도 35분 17.01초 지점)과 사두도 북단(북위 34도 54분 54.18초, 동경 128도 33분 50.02초) 지점 및 사곡곶(북위 34도 54분 25.19초, 동경 128도 34분 14.02초) 지점을 차례로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상남도 거제시 : 225,522명

③ 주변 주요 산업시설

- 조선 등 선박관련 산업시설

자) 진해항

① 위치

- 경상남도 진해시
- 고출산 산정(북위 35도 07분 39.10초, 동경 128도 40분 16.98초)에서 마당서(북위 35도 06분 22.11초, 동경 128도 40분 48.98초) 및 대일산 서단(북위 35도 06분 12.11초, 동경 128도 41분 16.98초)을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상남도 진해시 : 173,911명

차) 호산항

① 위치

- 강원도 삼척시
- 비화진 돌출부(북위 37도 12분 41.87초, 동경 129도 20분 51.36초)로부터 정동으로 2,600m 지점(북위 37도 12분 41.87초, 동경 129도 22분 36.00초)과

고포측 돌출부(북위 37도 08분 42.00초, 동경 129도 21분 52.20초)로부터 정
동으로 3,000m 지점(북위 37도 08분 42.00초, 동경 129도 23분 55.20초)을
연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 강원도 삼척시 : 72,037명

카) 삼척항

① 위치

- 강원도 삼척시

- 북위 37도 26분 02.18초, 동경 129도 11분 25.73초 지점에서 삼척시 오분동
고성산 산정 97미터, 북위 37도 25분 50.18초, 동경 129도 12분 06.73초 지점,
북위 37도 26분 15.18초, 동경 129도 12분 06.72초 지점 및 북위 37도 26분
29.18초, 동경 129도 11분 33.73초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 강원도 삼척시 : 72,037명

타) 옥계항

① 위치

- 강원도 강릉시

- 주수천 하구의 북방파제 서단에서 진방위 65도 연장선상 2,550미터 지점, 진
방위 90도로 북위 37도 38분 10.09초, 동경 129도 05분 21.75초 지점, 용바위
남단으로부터 진방위 90도로 북위 37도 36분 58.10초, 동경 129도 05분 21.75
초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 강원도 강릉시 : 219,171명

파) 속초항

① 위치

- 강원도 속초시
- 속초시 동북방 삼각점(△) 36지점(북위 38도 12분 47.84초, 동경 128도 36분 00.88초)으로부터 조도 동단을 거쳐 그은 선 안의 해면과 조도 남단에서 북위 38도 11분 35.35초, 동경 128도 36분 07.39초를 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 강원도 속초시 : 83,683명

하) 제주항

① 위치

- 제주특별자치도 제주시
- 서방과제 기점에서 북위 33도 31분 21.70초, 동경 126도 31분 39.69초 지점, 북위 33도 31분 58.70초, 동경 126도 32분 20.69초 지점, 북위 33도 31분 59.70초, 동경 126도 33분 43.68초 지점과 곤을동 북단을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 제주특별자치도 제주시 : 562,663명

거) 서귀포항

① 위치

- 제주특별자치도 서귀포시
- 삼해봉 남동단 해안선(북위 33도 14분 19.82초, 동경 126도 33분 19.69초)에서 북위 33도 14분 10.82초, 동경 126도 33분 17.69초 지점, 북위 33도 13분 51.82초, 동경 126도 33분 39.69초 지점, 북위 33도 13분 51.82초, 동경 126도 34분 00.69초 지점, 북위 33도 14분 07.82초, 동경 126도 34분 21.69초 지점, 북위 33도 14분 26.82초, 동경 126도 33분 58.69초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면과 북위 33도 14분 38.81초, 동경 126도 24분 58.73초 지점, 북위 33도 14분 30.81초, 동경 126도 24분 51.74초 지점, 북위 33도

14분 30.81초, 동경 126도 24분 58.73초 지점, 북위 33도 14분 30.81초, 동경 126도 25분 01.73초 지점, 북위 33도 14분 34.81초, 동경 126도 25분 06.73초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 제주특별자치도 서귀포시 : 155,024명

③ 주변 주요 산업시설

- 항만시설

3) 연안항

연안항의 위치, 주변인구, 산업시설 및 과거 오염여부 등 주요 현황을 정리하여 아래에 나타내었다.

가) 용기포항

① 위치

- 인천광역시 옹진군 백령면

- 북위 37도 57분 26.86초, 동경 124도 44분 46.16초(용기원산 동단) 지점에서 북위 37도 56분 45.87초, 동경 124도 44분 06.16초 지점과 북위 37도 57분 10.86초, 동경 124도 43분 20.17초(사곶해안) 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 인천광역시 옹진군 백령면 : 4,716명

③ 주변 주요 산업시설

- 수산물 가공(까나리, 멸치, 전복, 해삼 등)

나) 연평도항

① 위치

- 인천광역시 옹진군 백령면
- 남방과제 기점에서 북위 37도 39분 20.01초, 동경 127도 42분 54.97초 지점을 연결한 선과 그 점에서 동방과제 기점에 그은 선 안의 해면점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 인천광역시 옹진군 백령면 : 4,716명

③ 주변 주요 산업시설

- 수산물 가공(까나리, 멸치, 전복, 해삼 등)

다) 대천항

① 위치

- 충청남도 보령시
- 송도 서단(북위 36도 23분 07.55초, 동경 126도 28분 45.64초)과 신희동 서단(북위 36도 19분 28.57초, 동경 126도 30분 03.63초)을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 충청남도 보령시 : 106,704명

라) 비인항

① 위치

- 충청남도 서천군 서면 마량리
- 북위 36도 08분 10초, 동경 126도 30분 09초 지점에서 북위 36도 08분 10초, 동경 126도 30분 50초 지점, 북위 36도 07분 10초, 동경 126도 30분 50초 지점, 북위 36도 07분 10초, 동경 126도 30분 09초 지점, 북위 36도 07분 44초, 동경 126도 30분 09초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 충청남도 서천구 서면 : 5,027명

마) 대흑산도항

① 위치

- 전라남도 신안군 흑산면
- 남방과제 기점에서 외영산도 동단, 내영산도 최북단을 거쳐 읍동 북동단을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 신안군 흑산면 : 4,735명

바) 홍도항

① 위치

- 전라남도 신안군 흑산면 홍도리
- 북위 34도 40분 29.22초, 동경 125도 11분 36.09초 지점과 북위 34도 40분 54.22초, 동경 125도 12분 00.09초 지점을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 신안군 흑산면 : 4,735 명

사) 팽목항

① 위치

- 전라남도 진도군 임회면
- 북위 34도 22분 42.36초, 동경 126도 07분 32.80초 지점에서 북위 34도 21분 58.36초, 동경 126도 07분 27.80초 지점, 북위 34도 21분 56.36초, 동경 126도 07분 44.80초 지점, 북위 34도 22분 09.86초, 동경 126도 07분 53.80초 지점 및 북위 34도 22분 03.36초, 동경 126도 08분 07.80초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 진도군 임회면 : 4,110명

아) 송공항

① 위치

- 전라남도 신안군 압해면 송공리

- 북위 34도 50분 54.17초, 동경 126도 13분 40.76초 지점에서 북위 34도 50분 54.17초, 동경 126도 13분 25.76초 지점, 북위 34도 51분 01.17초, 동경 126도 12분 54.76초 지점, 북위 34도 50분 21.17초, 동경 126도 12분 54.76초 지점, 북위 34도 50분 21.17초, 동경 126도 14분 52.75초 지점, 북위 34도 50분 41.17초, 동경 126도 14분 52.75초의 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해

② 주변 인구

- 전라남도 신안군 압해면 : 7,600명

자) 신마항

① 위치

- 전라남도 강진군 마량면

- 북위 34도 26분 56.34초, 동경 126도 49분 26.08초 지점에서 북위 34도 26분 41.34초, 동경 126도 49분 26.08초 지점, 북위 34도 26분 41.34초, 동경 126도 50분 22.58초 지점 및 북위 34도 26분 57.34초, 동경 126도 50분 22.58초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 강진군 마량면 : 2,202명

차) 녹동신항

① 위치

- 전라남도 고흥군 도양읍

- 고흥군 도양읍 소록도 동측 돌출부로부터 정동으로 250미터 지점(해상)에서 정북으로 육지와 연결하고, 같은 지점에서 방파제 종점부, 방파제 시점부에서 정동으로 하송도, 상송도 및 상송도에서 진북 10도 방향으로 고흥군 도양읍 봉암리 북측 육지를 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 고흥군 도양읍 : 12,229명

카) 나로도항

① 위치

- 전라남도 고흥군 봉래면
- 애도 최남단에서 북측파제 북쪽 끝단, 동측파제 시점부를 순차적으로 연결한 선과 애도 최북단과 본도 돌출부를 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 고흥군 봉래면 : 2,366명

타) 거문도항

① 위치

- 전라남도 여수시 삼산면
- 안노루섬 방파제 끝단에서 정서 방향으로 그은 선과 안노루섬 방파제 시점부에서 정북으로 그은 선, 고도 남방파제 끝단에서 정서로 그은 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 여수시 삼산면 : 2,633명

파) 갈두항

① 위치

- 전라남도 해남군 송지면

- 북위 34도 17분 46.10초, 동경 126도 31분 41.02초 지점에서 북위 34도 17분 46.19초, 동경 126도 32분 04.19초 지점, 북위 34도 18분 07.87초, 동경 126도 32분 04.07초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 해남군 송지면 : 8,225명

하) 중화항

① 위치

- 경상남도 통영시 산양읍
- 북위 34도 47분 33.69초, 동경 126도 22분 54.15초 지점에서 북위 34도 46분 47.48초, 동경 126도 22분 50.64초 지점 및 북위 34도 46분 47.57초, 동경 126도 33분 09.15초 지점을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상남도 통영시 산양읍 : 5,899명

거) 한림항

① 위치

- 제주특별자치도 제주시 한림읍
- 수원리 돌각 제1삼각점으로부터 남서로 그은 선과 옹포리 제4삼각점으로부터 북서로 그은 선 안의 해면(한림향교 이내의 해면은 제외한다)

② 주변 인구

- 제주특별자치도 제주시 한림읍 : 19,394명

③ 주변 주요 산업시설

- 항만시설

너) 화순항

① 위치

- 제주특별자치도 서귀포시 안덕면
- 용머리 전면(북위 33도 13분 57.82초, 동경 126도 18분 55.77초)에서 북위 33도 13분 43.82초, 동경 126도 18분 55.77초 지점, 북위 33도 13분 41.82초, 동경 126도 19분 34.76초 지점, 북위 33도 13분 51.82초, 동경 126도 20분 07.76초 지점, 북위 33도 14분 06.82초, 동경 126도 20분 12.76초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 제주특별자치도 서귀포시 안덕면 : 10,317명

더) 성산포

① 위치

- 제주특별자치도 서귀포시 성산읍
- 서방과제 기점에서 북위 33도 28분 53.73초, 동경 126도 55분 42.57초 지점과 북위 33도 28분 51.73초, 동경 126도 56분 20.57초의 지점 및 동방과제 기점을 차례로 연결한 선 안의 해면(갑문교 이내의 해면은 제외한다)

② 주변 인구

- 제주특별자치도 서귀포시 성산읍 : 14,115명

러) 애월항

① 위치

- 제주특별자치도 제주시 애월읍
- 서방과제 기점으로부터 북위 33도 28분 12.72초, 동경 126도 19분 39.76초의 지점과 북위 33도 28분 08.72초, 동경 126도 19분 42.76초의 지점을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 제주특별자치도 제주시 애월읍 : 26,541명

며) 추자항

① 위치

- 제주특별자치도 제주시 추자면
- 상추자도 대서리 북위 33도 57분 45.53초, 동경 126도 17분 57.76초 지점에서 북위 33도 57분 45.53초, 동경 126도 18분 25.75초 지점, 북위 33도 57분 35.53초, 동경 126도 18분 32.75초 지점 및 북위 33도 57분 29.53초, 동경 126도 18분 06.76초 지점을 순차적으로 연결한 선 안과 하추자도 예초리 북위 33도 57분 21.53초, 동경 126도 19분 57.75초 지점에서 북위 33도 57분 33.53초, 동경 126도 19분 43.75초 지점, 북위 33도 57분 31.53초, 동경 126도 19분 33.75초 지점 및 북위 33도 57분 06.53초, 동경 126도 19분 30.75초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 제주특별자치도 제주시 추자면 : 2,549명

버) 부산남항

① 위치

- 부산광역시
- 북위 35도 05분 47.13초, 동경 129도 02분 10.87초 지점에서 진북 164도 방향으로 그은 선(영도대교) 및 부민동 남단과 절영도 대봉포를 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 부산광역시 중구 : 52,618명
- 부산광역시 서구 : 140,319명
- 부산광역시 영도구 : 164,069명

③ 과거 오염여부 (조사자료, 언론보도 등)

- 현황조사: 해양오염퇴적물 조사·정화·복원체계 구축(Ⅲ), 해양수산부, 2006년
- 실시설계 : 2009년

④ 기타 특이사항

- 해양오염퇴적물 정화·복원사업 실시(2010년 3월~)

서) 화홍포항

① 위치

- 전라남도 완도군 완도읍
- 북위 34도 19분 01.39초, 동경 126도 40분 09.63초 지점에서 북위 34도 18분 44.39초, 동경 126도 39분 38.64초 지점, 북위 34도 18분 00.40초, 동경 126도 40분 13.63초 지점 및 북위 34도 18분 15.40초, 동경 126도 40분 43.63초 지점을 순차적으로 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 전라남도 완도군 : 54,999명

어) 구룡포항

① 위치

- 경상북도 포항시 구룡포읍
- 사라말과 병포리 북돌단을 연결한 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상북도 포항시 구룡포읍 : 12,558명

저) 후포항

① 위치

- 경상북도 울진군 후포면
- 동방파제 기점으로부터 북위 36도 40분 10.76초, 동경 129도 27분 25.48초 지점을 연결한 선과 그 점에서 73도로 북서쪽 육지를 향하여 그은 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상북도 울진군 후포면 : 9,451명

처) 울릉항

① 위치

- 경상북도 울릉군
- 가두봉 남단에서 살구남 동단을 직선으로 이은 선 안의 해면

② 주변 인구

- 경상북도 울릉군 : 10,200명

키) 주문진항

① 위치

- 강원도 강릉시 주문진읍
- 주문진리 동단에서 정남으로 그은 선 안의 해면

② 주변 인구

- 강원도 강릉시 주문진읍 : 21,291명

4) 국가어항

전체 110개 국가어항의 위치와 현황을 그림 2-2-1과 표 2-2-1에 나타내었다.

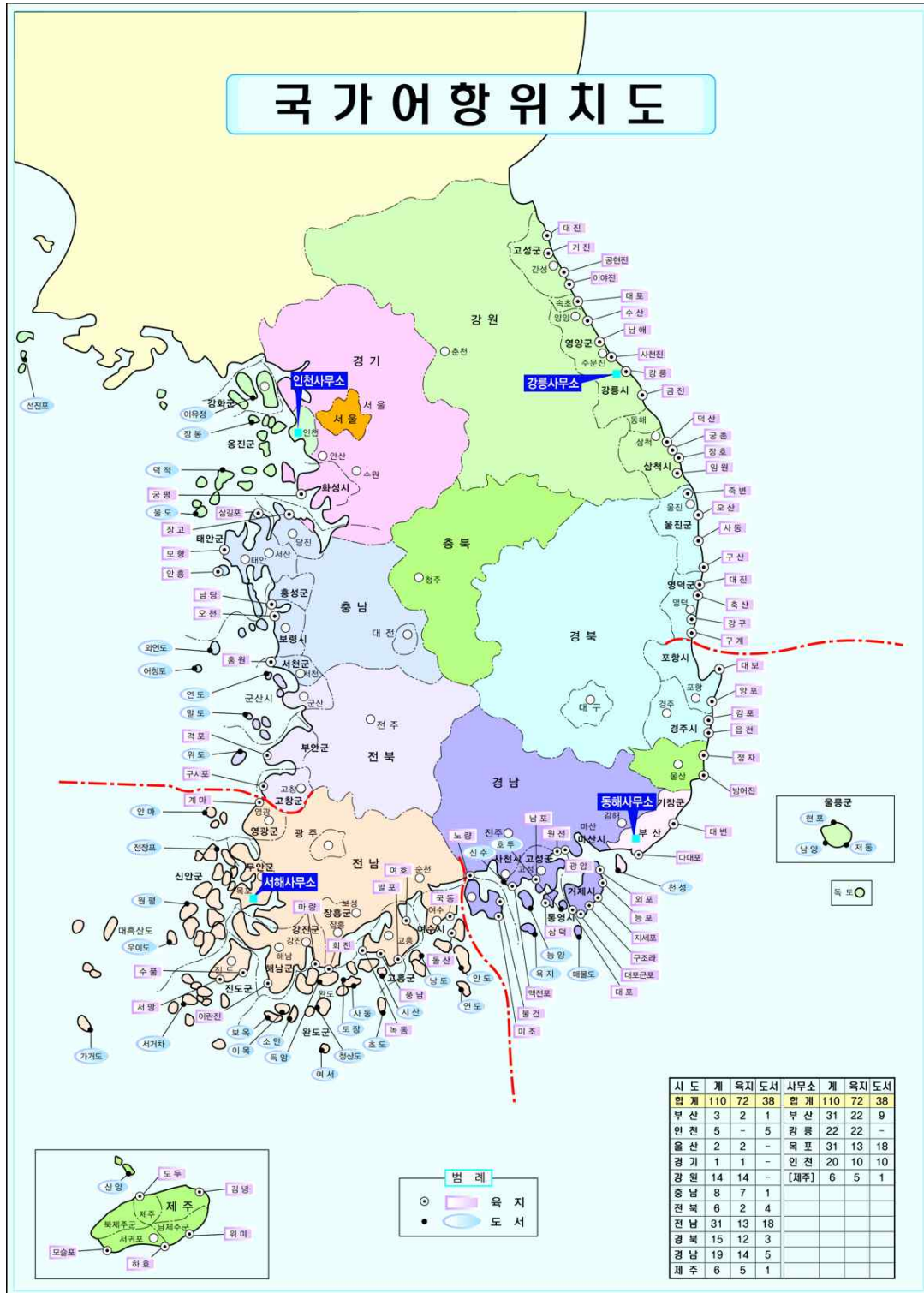


그림 2-2-1. 국가어항위치도

5) 어촌어항협회, 어항편람, 2009.

표 2-2-1. 국가어항 현황 (총 110개)

연 번	시·도	항명	위치	비고
1	부산광역시	다대포항	사하구 다대동	
2		대 변 항	기장군 기장읍 대변리	
3		천 성 항	강서구 천성동	신규지정
4	인천광역시	어유정항	강화군 삼산면 매음리	
5		장 봉 항	옹진군 북도면 장봉리	
6		덕적도항	옹진군 덕적면 북리	
7		울 도 항	옹진군 덕적면 울도리	
8		선진포항	옹진군 대청면 대청리	
9	울산광역시	정 자 항	북구 정자동	
10		방어진항	동구 방어동	
11	경기도	궁 평 항	화성시 서신면 궁평리	신규지정
12	강원도	대 진 항	고성군 현내면 대진리	
13		거 진 항	고성군 거진읍 거진리	
14		공현진항	고성군 죽왕면 공현진리	
15		아야진항	고성군 토성면 아야진리	
16		대 포 항	속초시 대포동	
17		수 산 항	양양군 손양면 수산리	
18		남 애 항	양양군 현남면 남애리	
19		사천진항	강릉시 사천면 사천진리	
20		강 룡 항	강릉시 견소동	구)안목항
21		금 진 항	강릉시 옥계면 금진리	
22		덕 산 항	삼척시 근덕면 덕산리	
23		궁 촌 항	삼척시 근덕면 궁촌리	
24		장 호 항	삼척시 근덕면 장호리	
25		임 원 항	삼척시 원덕읍 임원리	
26		충청남도	삼길포항	서산시 대산읍 화곡리
27	모 항 항		태안군 소원면 모항리	
28	장 고 항		당진군 석문면 장고항리	신규지정

연 번	시·도	항명	위치	비고
29	충청남도	안 흥 항	태안군 근흥면 신진도리	
30		남 당 항	홍성군 서부면 남당리	
31		오 천 항	보령시 오천면 소성리	
32		외연도항	보령시 오천면 외연도리	
33		홍 원 항	서천군 서면 도둔리	
34	전라북도	어청도항	군산시 옥도면 어청도리	
35		연 도 항	군산시 옥도면 연도리	
36		말 도 항	군산시 옥도면 말도리	
37		격 포 항	부안군 변산면 격포리	
38		위 도 항	부안군 위도면 진리	
39		구시포항	고창군 상하면 자룡리	
40	전라남도	계 마 항	영광군 흥농읍 계마리	
41		안 마 항	영광군 낙월면 월촌리	
42		전장포항	신안군 임자면 도찬리	
43		원 평 항	신안군 비금면 신원리	
44		우이도항	신안군 도초면 우이도리	
45		가거도항	신안군 흑산면 가거도리	구)소흑산도항
46		수 품 항	진도군 의신면 금갑리	
47		서 망 항	진도군 임회면 남동리	
48		서거차항	진도군 조도면 서거차도리	
49		어란진항	해남군 송지면 어란리	
50		마 량 항	강진군 마량면 마량리	
51		득 암 항	완도군 약산면 득암리	
52		사 동 항	완도군 금일읍 사동리	
53		도 장 항	완도군 금일읍 장정리	
54		청산도항	완도군 청산면 도청리	
55		소 안 항	완도군 소안면 맹선리	
56		보 옥 항	완도군 보길면 부황리	
57		여 서 항	완도군 청산면 여서리	
58		이 목 항	완도군 노화읍 이목리	신규지정

연 번	시·도	항명	위치	비고	
59	전라남도	회 진 향	장흥군 회진면 회진리		
60		녹 동 향	고흥군 도양읍 봉암리		
61		풍 남 향	고흥군 풍양면 풍남리		
62		발 포 향	고흥군 도화면 발포리		
63		여 호 향	고흥군 점암면 여호리		
64		시 산 향	고흥군 도양읍 시산리		
65		국 동 향	여수시 국동		
66		낭 도 향	여수시 화정면 낭도리		
67		돌 산 향	여수시 돌산읍 군내리		
68		안 도 향	여수시 남면 안도리		
69		연 도 향	여수시 남면 연도리		
70		초 도 향	여수시 삼산면 초도리		
71		경상북도	죽 변 향	울진군 죽변면 죽변리	
72			오 산 향	울진군 원남면 오산리	
73	사 동 향		울진군 기성면 사동리		
74	구 산 향		울진군 기성면 구산리		
75	대 진 향		영덕군 영해면 대진리		
76	축 산 향		영덕군 축산면 축산리		
77	강 구 향		영덕군 강구면 강구리		
78	구 계 향		영덕군 남정면 구계리		
79	대 보 향		포항시 남구 대보면 대보리		
80	양 포 향		포항시 남구 장기면 양포리		
81	감 포 향		경주시 감포읍 감포리		
82	읍 천 향		경주시 양남면 읍천리		
83	현 포 향		울릉군 북면 현포리		
84	저 동 향		울릉군 울릉읍 저동리		
85	남 양 향		울릉군 서면 남양리		
86	경상남도	외 포 향	거제시 장목면 외포리		
87		능 포 향	거제시 능포동		
88		지세포향	거제시 일운면 지세포리		

연 번	시·도	항명	위치	비고	
89	경상남도	구조라항	거제시 일운면 구조라리		
90		다대다포항	거제시 남부면 다대리		
91		대포근포항	거제시 남부면 저구리	구)대포항	
92		광 암 항	마산시 합포구 진동면 요장리		
93		원 전 항	마산시 합포구 구산면 심리		
94		맥전포항	고성군 하일면 춘암리		
95		남 포 항	고성군 고성읍 수남리	신규지정	
96		삼 덕 항	통영시 산양읍 삼덕리		
97		호 두 항	통영시 한산면 용호리		
98		능 양 항	통영시 사랑면 양지리		
99		육 지 항	통영시 육지면 동항리		
100		매물도항	통영시 한산면 매죽리		
101		신 수 항	사천시 신수동		
102		물 건 항	남해군 삼동면 물건리		
103		미 조 항	남해군 미조면 미조리		
104		노 량 항	하동군 금남면 노량리	신규지정	
105		제주도	김 녕 항	제주시 구좌읍 김녕리	
106			도 두 항	제주시 도두동	
107			신 양 항	제주시 추자면 신양리	
108			모슬포항	서귀포시 대정읍 하모리	
109	위 미 항		서귀포시 남원읍 위미리		
110	하 효 항		서귀포시 하효동		

(어촌어항협회, 2009년 7월 28일 현재)

최근 천성항(부산), 궁평항(경기), 장고항(충남), 이목항(전남), 남포항(경남)의 5개 어항이 신규로 지정되었으며, 동암항(경남)은 제외되어 전체 110개 항이다.

3. 해양오염퇴적물 조사 현황

1) 해역별 퇴적물 오염현황 (학술잡지, 연구보고서)

해양오염퇴적물 조사계획을 수립하기 위하여 1990년부터 2010년까지 최근 20년간 학술잡지 및 연구보고서 등에서 보고된 해역별 퇴적물 오염현황을 정리하여 표 2-2-2에 나타내었다.

표 2-2-2. 문헌에 보고된 해역별 퇴적물 오염현황(1990년~2010년)

조사지역	조사항목	오염정도	조사 연도	논문 및 보고서명	발행 연도	학술지 및 발행처	비고
광양만	중금속	Cu (3.0~129 ppm) As (3.9~18.8 ppm) Cr (26.2~284 ppm) Cd (ND~4.0 ppm)	1996 - 1997	광양만의 퇴적물에 대한 이화학 조성 및 중금속 함량	2000	한국육수학회지	제철소, 임해공업단지
삼천포	중금속	Ni, Pb	1997	석탄화력발전소 주변해역 퇴적물 내의 중금속원소의 함량과 지화학적 존재형태	2000	한국환경영향평가학회	화력발전소
고성만, 강진만	유기물	AVS (0.01~0.64 mg/g) COD (10~ 30 mg/g)	1999	패류 양식장에서 지속적인 생산성 유지를 위한 최적 생산 기술 개발	2001	해양수산부	양식장

표 2-2-2 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사 연도	논문 및 보고서명	발행 연도	학술지 및 발행처	비고
울산만, 온산만, 영일만, 광양만	중금속	울산만 (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) 온산만 (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) 영일만 (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) 광양만 (As, Cu, Ni, Zn)	1999 - 2000	연안 저서환경 평가기술	2001	과학기술부	오염퇴적물 기준초과
인천, 경기만	중금속	Cu (7~38 ppm) Pb (24~86 ppm) Cd (0.29~0.83 ppm) Zn (43~374 ppm)	2000	인천 해양퇴적물의 오염현황과 관리대책	2001	인천발전연구원	세어도, 매립지, 울도, 만석부두
가막만	COD, AVS, 중금속	COD (4~38 mg/g) AVS (0.07~10.5 mg/g) Cu (22~70 ppm) Zn (99~226 ppm) Ni (25~76 ppm) Cd (0.3~3.44 ppm)	2000	환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립연구: 가막만 환경보전해역 현황	2001	해양수산부	

표 2-2-2 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사 연도	논문 및 보고서명	발행 연도	학술지 및 발행처	비고
경기도 화성시 매항리	중금속	Pb, Cu, Cd, Zn	2001 - 2002	사격장 주변 해양퇴적물내의 중금속 분포와 해양 생물체의 생흡수도에 관한 예비 고찰	2002	한국지하수토양환경학회 춘계학술대회	해양사격장
영일만	중금속	Cu (24~91 ppm) Pb (4.7~108 ppm) Cd (0.4~31.9 ppm) Zn (259~1001 ppm)	2001	환경관리해역 환경개선연구	2002	해양수산부	구항 근처
제주 한림항	TBT	41~309 ppb	2001	제주도 한림항내 표층퇴적물 중의 부틸주석화합물의 분포	2003	한국환경과학회지	항만
진해만, 부산, 영일만, 울산	TBT	진해만 (16~114 ppb) 부산 (18~766 ppb) 울산 (ND~370 ppb) 영일만 (61~1495 ppb)	1999 - 2000	Contamination of Tributyltin in Sediment from Four Bays in the Southeastern Part of Korea	2003	한국환경과학회지	항만, 공업단지

표 2-2-2 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사 연도	논문 및 보고서명	발행 연도	학술지 및 발행처	비고
목포 북항, 북길리	중금속	Cu (32.3~121 ppm) Zn (81.4~365 ppm) Cd (6.5~10.3 ppm)	2003	목포연안 갯벌 및 서식생물에서의 중금속 함량	2004	대한자원환경지질학회지	항만
9개 하구역	중금속, PCBs	한강 (As, Hg, Ni, Pb) 금강 (As, Ni) 만경강 (As, Cd, Ni) 동진강 (As, Cd, Ni, Pb) 영산강 (Ni) 섬진강 (Cd, Cr, Ni) 낙동강 (PCBs) 태화강 (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) 형산강 (Cd, Cu, Zn)	2004	지속가능한 하구역 관리방안(I)	2004	한국환경정책평가연구원	오염퇴적물 기준초과
제주 서귀포	TBT	7~74 ppb	2001	제주도 서귀포항내 퇴적물 중의 부틸주석화합물의 분포 특성	2005	한국환경과학회지	항만

표 2-2-2 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사 연도	논문 및 보고서명	발행 연도	학술지 및 발행처	비고
진해만	중금속	Cu (50.4 ppm) Cd (4.01 ppm) Cr (97.5 ppm)	2003	연안어장 준설퇴적물내 함유된 유기물 및 중금속 환경친화적 처리기술 개발	2005	해양수산부	양식장
경남 고성	중금속	Cu (86~250 ppm) As (20~52 ppm) Pb (67~93 ppm) Cd (0.46~1.53 ppm) Zn (171~258 ppm)	2004 - 2005	고성 폐구리광산의 중금속 오염과 환경위해성 평가	2006	학위논문(목포 대학교)	폐광산, 갯벌
여수	강열감량, COD, AVS	강열감량 (4.8~21.9%) AVS (0~12.8 mg/g) COD (0.6~31.1 mg/g)	2005 - 2006	하수종말 처리장 방류구 주변해역에서의 해양환경 특성에 관한 연구	2006	해양환경안전 학회 추계학술 발표회	하수처리장
가막만	강열감량, AVS	강열감량 (4.4~11.6%) AVS (0~4.08 mg/g)	1999 - 2000	가막만의 저서환경과 다모류군집 특성	2007	한국해양학회 지-바다	생활하수, 어패류 양식

표 2-2-2 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사 연도	논문 및 보고서명	발행 연도	학술지 및 발행처	비고
당진화력발전소	중금속	As (3.5~23.5 ppm) Cu (19.5~44.7 ppm) Ni (22.9~109.4 ppm)	2005	당진화력발전소의 석탄회 연안매립과 중금속 원소의 용출에 대한 생지화학적 연구	2007	한국지구과학회지	화력발전소, 매립호
영광원자력발전소	중금속	Cr (14~154 ppm) Pb (21~409 ppm) Cu (20~171 ppm) Zn (9~213 ppm)	2006	영광원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서	2007	한국전력공사 환경평가그룹	원자력발전소
인천, 태안, 군산, 부산, 광양	TBT	인천 (ND~241 ppb) 태안 (18~59 ppb) 군산 (ND~433 ppb) 부산 (ND~51 ppb) 광양 (12~129 ppb)	2006	한국연안의 갯벌 중에 유기주석화합물 및 새로운 방오도료제의 분석	2008	한국해양환경공학회지	항만, 갯벌
동해안 7개 석호	강열감량	15~30 %	2007	동해안 석호 보전 및 복원을 위한 생태계 정밀조사 및 관리방안 연구	2008	원주지방환경청	화진포호, 송지호, 광포호, 영랑호, 매호, 향호, 경포호

표 2-2-2 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사 연도	논문 및 보고서명	발행 연도	학술지 및 발행처	비고
시화	중금속	Cr (40~113 ppm) Ni (14~41 ppm) Cu (20~187 ppm) Zn (85~426 ppm) As (3.8~11.2 ppm) Cd (0.16~0.76 ppm) Pb (27~96 ppm) Hg (0.01~0.19 ppm)	2007	시화호 표층 퇴적물의 유기탄소와 금속의 분포	2008	해양환경안전 학회 추계학술 발표회	
전북 부안군 줄포만	중금속	Cu (8.4~54.9 ppm) As (4.5~84.5 ppm) Pb (67~93 ppm) Cd (0.01~1.79 ppm) Zn (59~385 ppm)	2007	줄포만 갯벌의 입도특성 및 중금속 오염도 평가	2008	해양환경안전 학회지	갯벌
거제 고현만	PAHs,	560~21,912 ppb	2003 - 2004	고현만 조선소 주변해역 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 시공간적 분포특성	2009	한국해양환경 공학회지	조선소

경상남도 고성만의 경우, 1999년도 조사에서 인근 양식장에서 유기물 오염으로 인하여 산취발성황화물(AVS)이 0.01~0.64 mg/g, 화학적산소요구량(COD)이 10~30 mg/g로 보고되었다. 또한 고성만의 폐광산 인근 갯펄에서는 구리 86~250 ppm, 비소 20~52 ppm, 납 67~93 ppm, 카드뮴 0.46~1.53 ppm, 아연 171~258 ppm 등 중금속이 검출된 것으로 보고되었다. 울산만의 경우, 크롬, 구리, 니켈, 납, 아연 등 중금속과 선박활동에 기인한 트리부틸주석화합물(TBT)이 검출되는 것으로 2001년과 2003년에 각각 보고되었다. 진해만의 경우, 2003년 조사에서 구리 50 ppm, 카드뮴 4 ppm, 크롬 98 ppm 등의 중금속이 검출되는 것으로 보고되었다. 또한, 선박활동이 활발한 경상남도 거제시 고현만의 경우, 조선소 주변해역 퇴적물에서 단환방향족탄화수소(PAHs)가 검출되는 것으로 2209년에 보고되었다.

2) 해역별 퇴적물 오염현황

해양오염퇴적물 조사계획을 수립하기 위하여, 2004년부터 현재까지 언론에 보도된 해역별 퇴적물 오염현황 자료를 정리하여 표 2-2-3에 나타내었다.

표 2-2-3. 언론에 보도된 해역별 퇴적물 오염현황 자료 (2004년 ~ 2010년)

지역	항목	오염정도	보도일	보도매체	비고
여수항	COD, AVS	AVS (0.84 mg/g) COD (23.2 mg/g)	2004년 9월	파이낸셜투데이	오동도-장군도 인근해역
인천	중금속, PCBs	Cr, Cd, Hg, PCBs	2004년 12월	한겨레21	동양제철화학 인천공장

표 2-2-3 (계속)

지역	항목	오염정도	보도일	보도매체	비고
충남 당진	중금속, 하역낙탄		2006년 9월	당진시대	화력발전소
충남 장항	COD		2006년 11월	중도일보	산업단지
동해항	중금속	Pb, Cd, Cu, Zn	2006년 11월	연합뉴스	아연정광석 하역
전남 여천	다이옥신	산업단지 폐수 일본허용기준 3배 유입	2007년 1월	문화일보	산업단지
충남 삼교호	악취		2007년 4월	충청투데이	
경남 고성군 마동호	질소, 인		2007년 6월	경남도민일보	담수호 공사
전남 영산호	수질 악화		2007년 8월	매일경제	
경기도 화성시 매향리	중금속	Cu, Pb, Cd	2008년 1월	연합뉴스	해양사격장
여주시, 부서도~소죽도	COD, AVS	AVS (0.2 mg/g 이상) COD (20 mg/g 이상)	2008년 2월	한국일보	가두리 양식장
군산 직도	중금속		2009년 8월	경향신문	해양사격장

표 2-2-3 (계속)

지역	항목	오염정도	보도일	보도매체	비고
충남 보령 대천사격장	중금속		2009년 6월	연합뉴스	해양사격장
광양	PAHs	19,500 ppb	2009년 10월	오마이뉴스	광양제철소

4. 조사계획 수립

1) 기 조사 해역 검토

2004년 이후 현재까지 중앙정부 즉, 국토해양부(2008년 2월 29일 해양수산부 통합)에서는 2004년부터 2006년까지 3년간 전국 17개 해역에서 해양퇴적물 오염현황을 조사하였다⁶⁾. 또한 울산 방어진항에서는 2004년도에 울산시 주관으로 해양오염퇴적물 정화사업을 추진하기 위한 실시설계 과정에서 퇴적물의 오염현황이 조사되었다⁷⁾.

부산 용호만(2008년)⁸⁾, 부산 감천항(2009년)⁹⁾, 여수신항(2009년)¹⁰⁾은 지방해양항만청 주관으로 해양오염퇴적물 정화사업 추진 여부를 결정하기 위한 타당성 조사를 실시하였다. 2004년부터 현재까지 전국 21개 해역(조사면적 1,457,095m²)에서 오염퇴적물 현황을 조사한 결과, 유기물, 중금속, 지속성유기오염물질 등에 오염되어 정화복원이 필요한 퇴적물은 18개 해역에서 면적 1,457,095m²에서 물량 1,365,872m³을 확인하였다. 한편, 퇴적물 오염이 확인된 해역 중 부산 남항과 부산 용호만에서는 2009년 12월부터 정화·복원사업이 추진되고 있다.

2004년 이후 현재까지의 해양퇴적물 오염도 조사 현황을 정리하여 표 2-2-4에 나타내었다.

6) 해양오염퇴적물 조사 정화복원체계 구축(Ⅲ), 해양수산부, 2007년 2월
7) 울산방어진항 오염해역 준설사업 실시설계, 울산광역시, 2004년 12월
8) 부산 용호만 오염해역 퇴적물 정화·복원 타당성 조사, 부산지방해양항만청, 2008년 12월
9) 감천항 오염퇴적물 수거 타당성 조사, 부산지방해양항만청, 2009년 6월
10) 여수신항 오염퇴적물 정화·복원 타당성 조사, 여수지방해양항만청, 2009년 12월

표 2-2-4. 해양퇴적물 오염도 조사 현황 (2004년 ~ 2009년)

해역명칭	구분		조사 면적	정화복원 대상		해역 관리청	비고
	해역	조사(년도)		면적(m ²)	물량(m ³)		
부산북항	국가관리항	2006	1,457,095	1,457,095	1,365,872	중앙정부	감만항 물량포함, 재개발 중
부산감만항	국가관리항	2006			166,000	중앙정부	
부산감천항*	국가관리항	2009	5,224,000	300,370	140,049	중앙정부	
부산용호만*	국가관리항	2008	105,498	105,498	70,491	중앙정부	정화사업 추진 중
부산남항	연안항	2006	993,496	377,878	255,038	중앙정부	정화사업 추진 중
울산항(온산항)	국가관리항	2005	3,720,918	1,826,095	1,073,346	중앙정부	
울산항(장생포항)	국가관리항	2006	566,552	566,552	401,321	중앙정부	
울산방어진항*	국가어항	2004	250,000	132,000	203,316	중앙정부	실시설계(2004), 사업준비
마산항	국가관리항	2005	5,970,150	2,974,000	1,265,819	중앙정부	
진해항(행암만)	지방관리항	2006	1,510,811	861,234	243,736	지자체	실시설계(2004), 사업준비
인천선거	국가관리항	2006	220,573	176,500	64,276	중앙정부	

표 2-2-4 (계속)

해역명칭	구분		조사 면적	정화복원 대상		해역 관리청	비고
	해역	조사(년도)		면적(m ²)	물량(m ³)		
광양항	국가관리항	2005	2,750,000	-	-	중앙정부	정화복원대상 없음
평택항	국가관리항	2006	3,120,000	-	-	중앙정부	정화복원대상 없음
목포항	국가관리항	2005	902,550	72,600	54,888	중앙정부	
여수항(구항)	국가관리항	2005	51,600	41,794	8,358	중앙정부	
여수항(신항)*	국가관리항	2009	2,250,059	558,006	177,568	중앙정부	
목호항	국가관리항	2004	435,800	127,150	14,520	중앙정부	
통영항	지방관리항	2006	360,260	356,997	128,685	지자체	
삼척항	지방관리항	2004	215,187	40,175	12,814	지자체	
구룡포항	연안항	2006	361,255	329,183	84,411	지자체	
고흥해창만	기타해역	2006		-	-	지자체	정화복원대상 없음
합계			30,465,804	10,303,127	5,730,508		

주]*: 개별조사 해역

2) 무역항 및 연안항 추가조사 범위 및 소요 예산

2004년부터 현재까지 무역항 및 연안항에 대한 퇴적물 오염현황 조사율은 전체 수면적에 대비하여 5개 특별관리해역은 3.6%, 무역항 중 국가관리항은 0.9%, 지방관리항은 0.3%이며 연안항은 0.5%에 불과하다.

향후 조사가 필요한 해역의 면적은 특별관리해역 52,990,000m², 국가관리항(무역항) 27,189,000m², 지방관리항(무역항) 15,268,500m², 연안항 6,509,000m²로서 전체 101,956,500m²이다.

한편, 퇴적물 오염현황 조사에서는 상기 조사 대상 면적에 비례하여 조사 정점을 선정¹¹⁾하며, 조사대상 정점(표층퇴적물)수의 1/4의 비율로 주상퇴적물 정점을 선정하고, 각 주상퇴적물 정점에서 통상 1m 이상을 채취한 다음 20cm 간격으로 시료를 채취하여 평가한다. 또한, 시료채취, 유기물, 중금속 및 지속성 유기오염물질 등 필요한 모든 항목들의 분석, 자료처리 및 평가 등에 소요되는 경비를 산출하면 시료 1개당 약 4,282,000원이며, 정점 1개당 약 10,000,000원이다. 그러므로 각 해역별 조사에 소요되는 정점수와 비용은 특별관리해역은 271개 정점으로 2,680백만원, 국가관리항(무역항) 195개 정점으로 1,969백만원, 지방관리항(무역항) 198개 정점으로 2,046백만원, 연안항 202개 정점으로 1,961백만원으로 전체 866개 정점에서 8,658백만원이 소요될 것으로 사료된다.

각 해역별로 퇴적물 오염현황 조사가 필요한 범위 및 예산액을 정리하여 표 2-2-5 ~ 표 2-2-8에 나타내었다.

11) 해양오염퇴적물 조사지침서, 해양수산부, 2006년 10월

표 2-2-5. 특별관리해역 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산

항만명	항내 수면적 (m ²)	기 조사범위 (m ²)	조사율 (%)	잔여 면적 (m ²)	조사 대상 면적(m ²)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천원)	비고
소계	718,606,000	25,827,785	3.6	692,778,215	52,990,000	271	626	2,680,532	특별관리해역
부산항	226,332,000	6,787,095	3.0	219,544,905	9,380,000	51	116	496,712	
인천항	263,982,000	2,220,600	0.8	261,761,400	4,370,000	47	112	479,584	
광양항	118,003,000	2,750,000	2.3	115,253,000	19,860,000	71	161	689,402	
여수항	4,706,000	2,301,659	48.9	2,404,341	1,340,000	18	43	184,126	
마산항	13,776,000	5,970,150	43.3	7,805,850	6,750,000	27	62	265,484	
울산항	83,164,000	4,287,470	5.2	78,876,530	9,060,000	34	79	338,278	
진해항	8,643,000	1,510,811	17.5	7,132,189	2,230,000	23	53	226,946	지방관리항

표 2-2-6. 국가관리항(무역항) 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산

항만명	항내 수면적 (m ²)	기 조사범위 (m ²)	조사율 (%)	잔여 면적 (m ²)	조사 대상 면적(m ²)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천원)	비고
소계	496,677,000	4,458,350	0.9	492,218,650	27,189,000	195	460	1,969,720	국가관리항
평택,당진항	98,972,000	3,120,000	3.2	95,852,000	3,940,000	24	54	231,228	
대산항	69,646,000		-	69,646,000	2,250,000	23	53	226,946	
군산항	164,045,000		-	164,045,000	12,500,000	45	105	449,610	
장항항				-					군산항과 합산
목포항	39,616,000	902,550	2.3	38,713,450	2,169,000	44	109	466,738	
포항항	104,338,000		-	104,338,000	4,010,000	37	87	372,534	
동해,목호항	17,874,000	435,800	2.4	17,438,200	2,320,000	22	52	222,664	
경인항	2,186,000		-	2,186,000					공사중

표 2-2-7. 지방관리항(무역항) 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산

항만명	항내 수면적 (㎡)	기 조사범위 (㎡)	조사율 (%)	잔여 면적 (㎡)	조사 대상 면적(㎡)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천원)	비고
소계	188,314,425	575,447	0.3	187,738,978	15,268,500	198	478	2,046,796	지방관리항
태안항	8,245,000		-	8,245,000	557,000	13	38	162,716	
보령항	34,679,000		-	34,679,000	196,500	8	23	98,486	
완도항	4,677,000		-	4,677,000	1,230,000	17	42	179,844	
삼천포항	83,156,000		-	83,156,000	823,000	20	45	192,690	
통영항	3,396,000	360,260	10.6	3,035,740	1,680,000	21	51	218,382	
장승포항	718,000		-	718,000	232,000	10	25	107,050	
옥포항	6,234,000		-	6,234,000	4,770,000	32	72	308,304	
고현항	12,063,000		-	12,063,000	4,220,000	31	71	304,022	
호산항	20,690,425		-	20,690,425					개발예정
삼척항	996,000	215,187	21.6	780,813					조사완료
옥계항	5,646,000		-	5,646,000	265,000	10	25	107,050	
속초항	3,533,000		-	3,533,000	335,000	11	26	111,332	
제주항	3,355,000		-	3,355,000	640,000	14	34	145,588	
서귀포항	926,000		-	926,000	320,000	11	26	111,332	

표 2-2-8. 연안항 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산

항만명	항내 수면적 (m ²)	기 조사범위 (m ²)	조사율 (%)	잔여 면적 (m ²)	조사 대상 면적(m ²)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천원)	비고
소계	290,548,99	1,354,751	0.5	289,194,241	6,509,000	202	458	1,961,156	연안항
용기포항	226,332,000		-	226,332,000	-	-	-	-	접경지역제외
연평도항	791,000		-	791,000	-	-	-	-	접경지역제외
대천항	22,954,000		-	22,954,000	575,000	13	29	124,178	
비인항	15,113,000		-	15,113,000	223,000	10	23	98,486	
송공항	2,930,000			2,930,000	64,000	7	16	68,512	
홍도항	463,000		-	463,000	95,000	7	16	68,512	
대흑산도항	1,992,000		-	1,992,000	586,000	13	29	124,178	
팽목항	101,000		-	101,000	40,000	7	16	68,512	
갈두항	450,000			450,000	72,000	7	16	68,512	
화홍포항	2,160,000		-	2,160,000	706,000	14	32	137,024	
신마항	859,000			859,000	107,000	7	16	68,512	
녹동신항	1,174,000		-	1,174,000	1,020,000	17	38	162,716	

표 2-2-8 (계속)

항만명	항내 수면적 (㎡)	기 조사범위 (㎡)	조사율 (%)	잔여 면적 (㎡)	조사 대상 면적(㎡)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천원)	비고
거문도항	378,000		-	378,000	192,000	8	18	77,076	
나로도항	910,000		-	910,000	559,000	12	27	115,614	
중화항	528,992		-	528,992	121,000	7	16	68,512	
부산남항*	1,304,000	993,496	76.2	310,504				-	,사업중
구룡포항	633,000	361,255	57.1	271,745				-	조사완료
후포항	910,000		-	910,000	452,000	12	27	115,614	
울릉항	2,301,000		-	2,301,000	108,000	7	16	68,512	
주문진항	1,290,000		-	1,290,000	300,000	10	23	98,486	
추자항	772,000		-	772,000	113,000	7	16	68,512	
애월항	101,000		-	101,000	91,000	7	16	68,512	
한림항	2,892,000		-	2,892,000	393,000	11	25	107,050	
화순항	2,109,000		-	2,109,000	564,000	12	27	115,614	
성산포항	1,101,000		-	1,101,000	128,000	7	16	68,512	

주] *: 특별관리해역

3) 해역별 퇴적물 오염현황 조사계획

향후 조사가 필요한 해역은 면적 전체 101,956,500m²에서 866개 정점인데, 2004년부터 2007년까지 퇴적물 오염현황 조사결과¹²⁾로부터 퇴적물의 오염이 확인되며, 시급히 정화복원이 필요한 해역은 부산 남항, 부산 북항, 진해 행암만, 장생포항, 온산항 여수항 등 14개 해역이다. 이러한 해역들은 대부분 5개 특별관리해역에 포함되며, 인근에 인구밀도가 높은 대도시가 존재하며, 대규모 산업시설이 집중되어 있다. 그러므로 향후 해양오염퇴적물 정화·복원사업의 원활한 추진을 위한 퇴적물 오염현황 확인 및 대상물량을 기초 산정하기 위하여, 퇴적물의 오염도가 높아서 시급히 정화·복원이 필요할 것으로 추정되는 특별관리해역 중 추가 조사가 필요한 부산항, 인천항, 광양항, 여수항, 마산항, 울산항 및 진해항에서 면적 52,990,000m², 271개 정점에서 우선적으로 퇴적물 오염현황 조사할 필요가 있다.

그 다음, 무역항(국가관리항, 지방관리항) 29개 및 연안항 25개 등 전체 54개 해역에서 추가 조사가 필요한 면적 48,966,500m², 595개 정점에서 퇴적물 오염현황 조사를 지속적으로 실시하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

해역별 퇴적물 오염현황 조사는 조사대상 해역이 전국에 산재하며, 그 범위가 매우 넓으므로, 상기와 같이 2단계로 나누어 실시하고, 각 단계별로 5년씩 조사기간을 설정하는 것이 적합할 것으로 사료된다. 또한, 국가어항은 2단계 조사가 완료된 다음 조사계획을 수립하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 그러므로 이러한 검토결과를 기초로 향후 10년간 연차별 퇴적물 오염현황 조사에 필요한 정점 및 소요 예산을 추산한 결과를 정리하여 표 2-2-9에 나타내었다.

표 2-2-9. 향후 10년간 연차별 퇴적물 오염현황 조사 정점 및 소요 예산(제안)

구분	소 계	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
'11~'15	271/2,681	54/536	54/536	54/536	54/536	55/537
'16~'20	595/5,978	119/1,196	119/1,196	119/1,196	119/1,195	119/1,195

(정점/백만원)

12) 해양오염퇴적물 조사 정화복원체계 구축(III), 해양수산부, 2007년 2월

제3절 해양오염퇴적물 처리방안 체계도 작성

1. 해양오염퇴적물 처리방안

오염된 퇴적물의 정화 및 처리방법과 기술에 대한 연구는 1980년대 미국 오대호 관리프로그램을 시작으로 다양한 기술방법이 소개되었고 “오대호 오염퇴적물 평가와 복구 프로그램”을 통해 체계화되었다. 이러한 연구를 통하여 약 250여 가지 이상의 오염퇴적물 처리방안이 개발되었고 각각의 기술과 방법에 대한 안정성, 경제성 및 효율성 평가를 통하여 다양한 오염우심해역에서 오염된 퇴적물의 정화 복원 사업에 적용되어 왔다¹³⁾. 현재 일반적으로 많이 사용되는 정화복원 방법은 장기간 모니터링을 병행한 자연정화방법 (Monitored Natural Recovery), 오염된 퇴적물을 오염되지 않은 청정물질로 피복하는 현장피복방법(In-Situ Capping) 및 오염된 퇴적물을 물리적으로 제거하는 준설(Dredging) 등이 있다.

적절한 처리방안의 선택은 특정 오염물질의 존재 및 유해성, 정화 기간 중 해역의 이용 문제, 영향을 받는 지역의 면적, 복구 방안의 실용 가능성, 해당 지역의 수리특성, 정화에 소요되는 시간, 정화와 관련된 책임 소재 및 지역의 사회·경제학적 요소 등의 많은 요인에 의해 좌우된다. 이 중 실제 정화방법을 선택할 때 가장 기본적으로 고려해야할 사항을 표 2-3-1에서 나타내었다. 한편, 미국 등 선진국의 경우 조건만 충족된다면 자연정화법을 해양오염퇴적물 처리를 위한 기본적인 방법으로 간주한다. 그러나 이 경우, 지속적이고 체계적인 환경모니터링을 통해 관리할 필요가 있다.

13) USEPA, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) 1992 Work Plan, EPA/Great Lakes National Program Office, Chicago, IL., 1992.

표 2-3-1. 오염퇴적물 정화방법 선택을 위한 기본조건

구분	조건
자연정화	<ul style="list-style-type: none"> 오염원이 관리되지 않아 복구의 대안이 없음 인위적인 조치 없이도 적절한 기간 내에 정화 가능 인위적인 복구조치가 더 큰 악영향을 끼칠 가능성 정화 추이에 대한 모니터링 필요
현장처리	<ul style="list-style-type: none"> 유체의 흐름이 약해 침식이 일어날 가능성이 없음 준설이나 공사 등 퇴적물을 교란시킬 계획 없음 오염물질의 성질 파악 필요 공사 중·후 효과에 대한 모니터링 필요
표면피복	<ul style="list-style-type: none"> 주변지역에 미치는 영향, 오염퇴적물 이동, 생물교란 지역의 물리, 지질, 화학적 파악 시간에 따른 피복물질의 변화 예측 및 모니터링
준설	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적물 제거로 인한 악영향이 미약 수로 유지 등을 위해 퇴적물 제거가 반드시 필요 제거퇴적물의 투기 등 처리에 따른 문제점 고려

1) 자연정화방법 (Monitored natural recovery)

가) 개요

자연정화방법은 퇴적물의 오염물질의 독성 등을 자연의 생화학적 반응을 통하여 자연스럽게 분해되고 정화되는 과정에 근간하고 있다. 그러나 단순히 자연분해에 의지하여 정화되는 것을 기대하는 것이 아니라 장기적인 모니터링과 오염원 차단에 집중적인 시간과 예산을 투자하여야 성공적인 자연정화방법이 효과를 거둘 수 있다. 이를 위하여 오염물질의 종류와 거동특성, 정화기간 중 해역의 이용 계획 및 해역의 생지화학적 특성 등을 정확히 파악하고 모니터링하는 것이 중요하다. 퇴적물의 자연정화방법은 물리적, 생물학적 그리고 화학적 기작(mechanism)을 통하여 이루어지는데 성공적인 자연정화방법을 위해서는 이러한 메커니즘에 대한 이해와 평가가 중요하다.

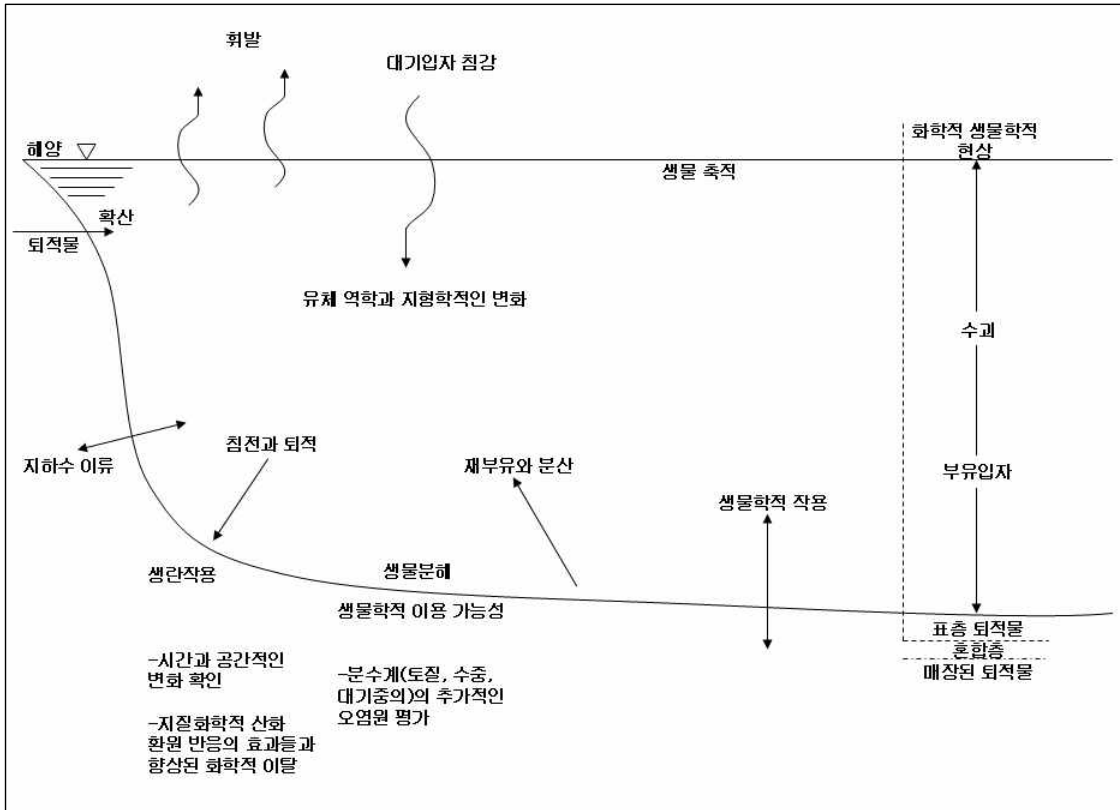


그림 2-3-1. 자연정화방법과 관련된 해양오염퇴적물 정화기작¹⁴⁾

자연정화방법을 선택하기 위해서는 몇 가지 사전 고려사항이 있는데, 일차적으로 퇴적물과 주변 환경에서 자연정화가 어떠한 과정을 거쳐 발생하고 어떠한 결과를 도출하는지 이해하는 것이 필요하다. 사후결과에 대해서는 충분한 양의 자료를 바탕으로 시뮬레이션을 통하여 예측되어야 하는데 이러한 예측은 시행 전뿐만 아니라 자연정화방법이 시행되는 순간에도 지속적으로 시행되어야 한다. 이를 위해서는 오염된 퇴적물 현장과 더불어 그 주변해역에서 지속적으로 환경모니터링이 이루어지고 그 자료를 바탕으로 위험도 조사, 환경영향평가 및 사회경제학적 영향평가가 수행되어야 한다.

미국, 유럽 등에서는 오염된 퇴적물을 인위적인 방법을 사용하여 정화복원하기 위해 앞서 일차적으로 자연정화방법이 효과를 거둘 수 있는지 사전검토 후 인위적인 자연정화방법을 선택하는 시스템을 주로 활용하고 있다. 비록 전체적으로 자연정화방법을 시행하기 어려운 경우에도 일부분 혹은 상당히

14) Luthy, R.G., G.R. Aiken, M.L. Brusseau, S.D. Cunningham, P.M. Gschwend, J.J. Pingnatello, M. Reinhard, S.J. Traina, W.J. Weber, Jr., and J.C. Wentall. 1997. Sequestration of Hydrophobic Organic Contaminants by Geosorbents. Environ. Sci. Tech. 31: 3341-3347.

많은 면적에 대해 자연정화방법을 다른 정화복원방법과 병행하여 시행하고 있다(표2-3-2)¹⁵⁾.

표 2-3-2. 오염퇴적물 자연정화방법 사전고려사항

사전고려사항	평가방법
자연정화복원 주변지역에 대한 육상 및 개발 가능성	사회경제학적 조사/평가
오염퇴적물이 장시간 자연정화 시 미치는 주변지역의 영향	
오염퇴적물 해역으로의 오염원 유입 가능성	오염유입원 조사/평가
시간에 따른 자연정화가 해역의 오염퇴적물을 정화시키는 속도와 범위에 대한 타당성	퇴적환경조사/평가 (물리, 지질학적 평가)
오염퇴적물의 지지기반 움직임	
오염퇴적물의 재부유 및 침식 가능성	
오염퇴적물내의 생화학적 분해 정도	퇴적환경조사/평가 (생화학적 평가)
오염퇴적물 내 주요오염인자의 농도 정도 및 생물학적 축적 가능성	

나) 특성

자연정화방법의 최대 장점은 환경변화에 민감한 생태계에 큰 변화 없이 시행이 가능하다는데 있다. 현장처리방법이나 준설 등은 최대한 2차 오염을 방지하는데 노력을 기울여도 어느 정도는 역효과가 발생할 가능성이 있기 때문에 생태계 그 자체의 정화능력을 통하여 오염된 퇴적물을 복원하는 것은 큰 의미가 있다. 그러나 관리자의 입장에서 자연정화방법은 자연정화능력에 힘입어 이루어지기 때문에 저예산으로 시행이 가능할 수 있다는 오해가 가능하다. 그러나 시행 그 자체에 따른 비용은 매우 적으나 사전조사와 지속적인 모니터링에 많은 예산이 투입되어야 하기 때문에 반드시 저예산으로 실행이 가능하지는 않다는 것은 주지의 사실이다. 또한, 사업 시행을 위한

15) Swindoll, M., R.G. Stahl, and S.J. Ells., eds. 2000. Natural Remediation of Environmental Contaminants: Its Role in Ecological Risk Assessment and Risk Management. Society of Environmental Toxicology and Chemistry.

건설물이나 인프라 구축이 필요하지 않다는 것이다. 그에 따라 오염퇴적물 정화에 필요한 준설선이나 오염퇴적물 운반선 등이 필요하지 않아 해역의 자연적인 이용 및 관리에 친환경적으로 적용이 가능하다. 그러나 해양환경모니터링을 위한 무인자동화 측정시설이나 모니터링을 위한 해양조사선의 활동은 불가피하기 때문에 완전한 자연정화방법은 현실적으로 어렵다. 그러나 다른 오염정화활동과 비교하여 상대적으로 인위적인 관리가 덜하기 때문에 육상에서의 오염유입원이 완전하게 차단되고 해역의 정화능력이 뒷받침된다면 자연정화방법이 가장 환경친화적으로 활용될 수 있다.

자연정화방법의 단점은 해역의 자연정화능력이 항상 일정하지 않고 외부의 인위적 혹은 자연적인 요소로 인하여 정화능력이 현저히 떨어지고 오염퇴적물의 확산이 일어날 가능성이 있다는 것이다. 일차적으로 자연정화방법을 선택하게 될 때 오염된 퇴적층의 침식이나 운반이 매우 적은 상황에서 시행하게 되는데 강한 자연적인 원인 (태풍이나 자연적인 침식활동 등)이나 예측 불가능한 인위적인 요소가 개연하게 될 경우 안정적으로 퇴적되어 있는 오염물질이 이동하거나 확산되어 자연정화 기작이 불안정화할 수 있다. 또한 자연정화방법은 표면피복이나 준설과 같은 정화복원 방법에 비해 그 효과가 매우 더디게 나타나게 되기 때문에 정화복원 효과에 대해 단기적으로는 불확실성이 높아지게 된다. 실제 많은 사전조사와 데이터를 바탕으로 자연정화능력에 대해 시뮬레이션을 시행하게 될 경우 자연정화능력수치 (flux rate of natural recovery)를 산정하는데 어려움이 많다. 예측된 정화능력수치보다 정화기간이 길어지고 빠른 정화복원 결과를 도출할 필요가 있는 지역이나 사회적인 조건이 평가에 영향을 미칠 경우 장기간동안 자연정화방법을 지속할 당위성이 떨어지게 되고 실패할 가능성이 높아지게 된다. 따라서 자연정화방법을 시행할 경우에는 과학적인 요소뿐만 아니라 사회경제학적인 요소까지 반영한 다양한 변수에 대해 세밀하고 체계적인 예측모델링의 수립이 필수적이다.

다) 평가방법

자연정화방법의 평가 즉, “지정된 해역에서 오염된 퇴적층이 자연정화방법을 선택할 경우 정화·복원 될 것인가?” 하는 질문에 답을 해야 하는데 이

를 위해서는 자연정화의 기작뿐만 아니라 지역의 특성 및 다양한 환경의 예측모델링 결과에 크게 좌우된다. 다른 정화방법의 선택 및 평가와 같이 자연정화방법의 평가를 위해서 계절별 그리고 다년간의 주변 육상, 해양 및 퇴적 환경에 대한 자료축적이 중요하며 이를 바탕으로 오염퇴적물이 자연적으로 분해과정을 거치며 해양생태계에 미치는 영향을 시간과 공간 개념을 도입하여 정확하게 파악되어야 한다.

이와 같은 지역적, 생지화학적 특성을 파악하고 다양한 변수에 대하여 모델을 구축한 후 예측가능한 자연정화방법의 장단점을 파악하여 평가한다. 이러한 사전평가를 기초로 기타 다양한 정화복원 방법의 사전평가와 비교하여 비용적, 환경적 및 정책적인 측면에서 우위에 있다고 판단될 경우 관련기관의 전문가와 지역의 이해당사자들과 충분한 논의를 거쳐 시행하는 것이 바람직하다(표2-3-3)¹⁶⁾.

표 2-3-3. 자연정화방법 평가에 요구되는 주요 고려사항

주요 고려 사항
오염유입원의 종류 및 특성
퇴적물의 지질학적 특성 (Bed Mapping 등)
해역의 현재 및 과거 오염물질의 분포
퇴적물의 침식, 운반 및 생화학적 분해작용 특성
해역의 수심 및 물리학적 특성
자연적인 고에너지 상태(태풍 등)에서의 퇴적물 부유물질의 확산 특성
과거 인위적인 영향에 따른 퇴적물의 이동 혹은 주변생태계 영향 특성

16) Davis, J.W., T. Dekker, M. Erickson, V. Magar, C. Patmont, & M. Swindoll, 2004, Framework for evaluating the effectiveness of monitored natural recovery as a contaminated sediment management option, Sediment Remediation Action Team Working Draft.

이상과 같이 육상오염원이 완벽하게 제어되고 안정된 퇴적층 환경과 생화학적 분해 가능성이 매우 높은 지역일 경우에는 자연정화방법이 비용대효과면에서 오염된 퇴적물을 정화복원하기 위한 주요한 방법 중의 하나이다. 그러나 인구밀집이 높은 연안지역의 경우 인위적인 많은 변수가 작용하기 때문에 한 지역에서 하나의 정화복원 방법으로 오염된 퇴적물을 완벽하게 정화복원 하는 것은 어렵다. 따라서 다양한 인위적인 정화복원 방법을 병행하여 시행하는 것을 현대의 적절한 오염퇴적물 정화복원 사업설계의 기본이라고 할 수 있다.

2) 현장피복방법 (In-Situ Capping)

가) 개요

자연정화가 불가능한 경우, 선택할 수 있는 처리공법으로는 오염퇴적물을 제거하지 않고 현장에서 직접 처리하는 방법 (고정화/안정화, 표면피복, 주위와 차단 또는 봉입)과 제거 후 처리하는 방법으로 크게 구분되는데 표면피복은 수저의 오염된 지역만 정밀하게 피복하여 피복물질을 수저에 잔류시키는 방법과 피복물질이 수상으로 노출될 만큼 다량의 피복물질을 투입하는 방법이 있는데 앞의 경우에 모래, 자갈, 지오텍스타일, 지오그리드 등의 다양한 피복재가 이용될 수 있다 (그림 2-3-2).

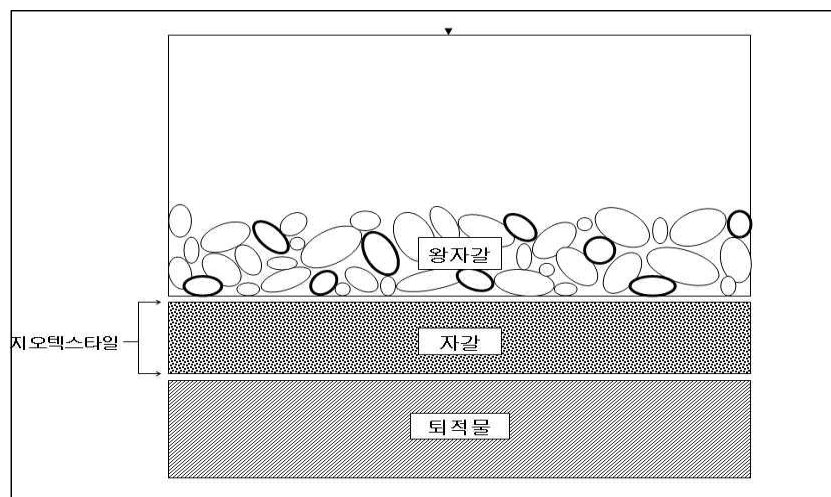


그림 2-3-2. 표면피복방법 디자인 사례17)

17) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

오염퇴적물이 주위에 미치는 악영향을 차단하기 위해 오염물질의 종류와 차단지역의 안정성에 따라 금속 쉬트, 흙벽, 자갈 (흙 혼합)벽 등을 삽입 및 설치하는 방법이 사용될 수 있으며 그 외 다양한 방법이 있다.

표면피복방법은 오염된 퇴적물을 수계에서 고립화 시키는 목적으로 사용되는데 퇴적물의 종류, 오염도 및 주변환경에 따라 다양한 피복물질을 사용하게 된다. 대표적으로는 깨끗한 퇴적층, 모래 혹은 자갈을 사용하며 좀 더 발전된 형태로는 Geo Textile 등 다양한 성분의 물질을 피복재로서 사용하고 있다. 피복물질의 종류와 방법 등은 다음과 같은 기본 조건을 고려하여 결정한다.

- 오염퇴적물에서의 유해한 생물 혹은 화학성분이 수층으로 용해되거나 이동하지 못하기 물리적인 고립이 가능한 여부
- 오염퇴적물이 표면피복방법을 선택하여 고립화 시킨 후 퇴적물의 이동 혹은 침식 여부

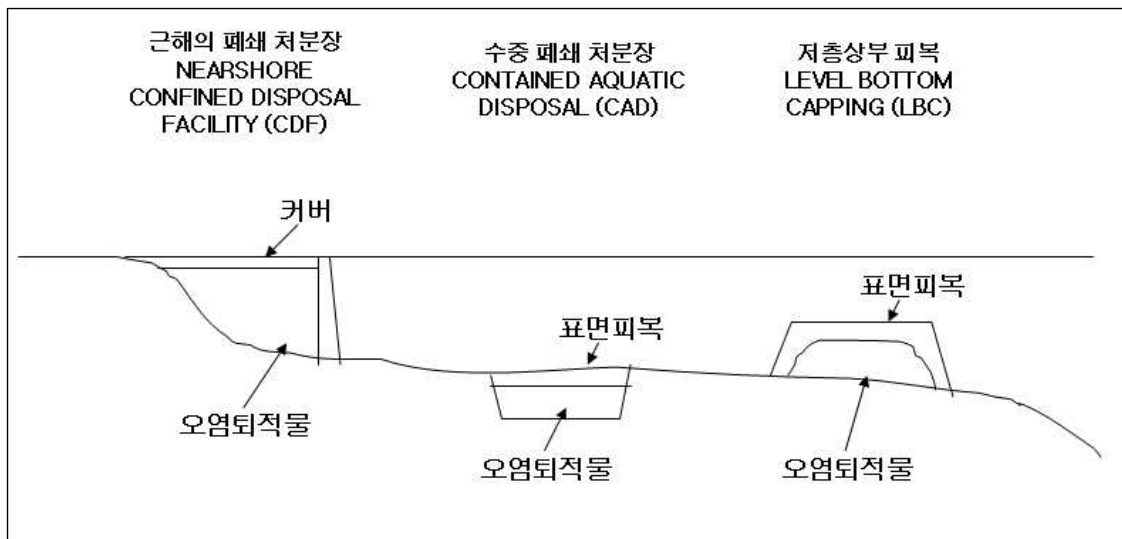


그림 2-3-3. 표면피복방법의 대표적인 사례18)

그림 2-3-3은 오염퇴적물의 형상과 위치에 따른 표면피복방법의 다양한 사례를 보여주고 있는데 해안가가 아닌 경우에는 대부분 오염된 퇴적물을 저층 표면 아래에 위치시키고 그 위에 표면피복물질로 고립화 시키는 방법

18) U.S. Army Corps of Engineering. 1998. Guidance for Subaqueous Dredged Material Capping.

이 대표적이다. 이와 같은 경우 다른 방법에 비해 표면피복물질이나 오염퇴적물의 침식 혹은 이동이 제한되기 때문에 보다 효과적인 오염퇴적물의 독립효과를 보일 수 있다¹⁹⁾.

미국 북서부 지역 등의 수퍼펀드 지역 중 약 15개소에서 독립적으로 표면피복방법을 사용하여 오염퇴적물을 정화하고 있으며, 기타 지역에서도 자연정화방법 및 준설방법 등과 병행하여 오염된 퇴적물을 관리하고 있다. 그러나 표면피복방법을 사용하는 것은 연안지역 저층의 퇴적층의 움직임이나 육상에서 운반 혹은 침식된 부유물질이 저층에 퇴적되는 환경영향을 정확히 파악해서 표면피복 후 발생할 수 있는 오염물질의 확산을 최소화시키는 방안 마련이 필수적이다. 미국에서 표면피복방법의 연구와 사례는 미국 환경청의 Assessment and Remediation of Contaminated Sediment (ARCS) Program Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments (U.S. EPA 1998d)와 Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program Remediation Guidance Document (U.S. EPA 1994d) 등에 잘 나타나 있는데, 표면피복방법 선택을 위한 필수조건을 다음과 같이 강조하고 있다.

- 표면피복방법에 사용될 표면피복물질의 종류와 특징
- 표면피복방법을 사용하기에 필요한 인프라 종류
- 표면피복물질을 오염퇴적물 위에 설치하기에 적합한 수심 정도
- 표면피복방법을 사용하는 해역의 생지화학적 특성
- 자연 혹은 인위적인 사고로 인하여 발생할 수 있는 표면피복물질의 손실 가능성
- 장기간 표면피복물질의 이동이나 침식 가능성
- 표면피복물질을 통해 자연적으로 배출 혹은 운반될 수 있는 오염퇴적물의 변화

19) Palermo, M.R., J.E. Clausner, M.P. Rollings, G.L. Williams, T.E. Myers, T.J. Fredette, and R.E. Randall. 1998a. Guidance for Subaqueous Dredged Material Capping. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station.

나) 특성

현장피복방법의 가장 큰 장점은 자연정화방법이나 준설 등에 비해 상대적으로 빠른 시일 안에 오염된 퇴적물을 해양환경에서 고립화시킬 수 있다는 것이다. 또한 오염퇴적물의 처리, 운반에 필요한 인프라 시설이 필요하지 않기 때문에 비용적인 측면에서도 매우 유리한 것으로 알려져 있다. 특히 준설방법을 시행할 경우 준설오염물질의 수분을 제거하고 처리하기 위한 육상처리시설이 필요하게 되는데 현장피복방법을 사용할 경우 이러한 육상처리시설을 최소화할 수 있고 준설퇴적물 처리에 불가피한 악취나 지하수 오염 등 이차오염 방지를 최소화할 수 있기 때문에 지역에서의 반감도 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 깨끗한 퇴적층으로 오염퇴적층을 분리시키기 때문에 깨끗한 퇴적층 위에 새로운 해양생태계 조성이 가능해지고 이에 따른 자연정화능력이 증가하게 되어 자연스럽게 해양퇴적층의 생태계 복원이 가능해지는 장점을 가지고 있다.

그러나 표면피복방법의 가장 큰 단점으로 지적되는 것은 해양퇴적층에 여전히 오염퇴적물질이 존재한다는 것이다. 예기치 않은 인위적인 사고 혹은 자연적인 재해에 의해 표면피복물질이 손상받을 수 있고 이에 따라 오염물질이 해양생태계에 유출될 경우 많은 비용을 투자한 표면피복공법이 수포로 돌아갈 수 있기 때문이다. 또 다른 단점은 표면피복물질로 사용된 퇴적층이 원래의 해양저층환경과 조화를 이루지 못하여 오히려 해양생태계에 악영향을 미칠 가능성이 있다는 것이다. 기존 퇴적환경과 전혀 다른 퇴적층이 인위적으로 생성되기 때문에 이로 인하여 저층의 해양생태계에 교란이 일어날 수 있고 이에 따른 환경오염이 발생할 가능성이 있기 때문이다. 따라서 표면피복방법을 오염퇴적물의 정화복원 방법으로 선택할 경우 기존의 해양퇴적층의 생지화학적 환경조사를 세밀하고 체계적으로 사전조사가 이루어져야 하며 사업시행 전·후에 지속적인 해양환경모니터링을 통하여 환경영향평가가 수행되어야 한다²⁰⁾.

표면피복방법 사업 시행 시 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 표면피복방법의 주요요소에 대한 이해: 물리적인 고립, 안정화 및 오염물질 이동제거

20) U.S. EPA. 1998. Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments.

- 표면피복물질의 선택은 오염퇴적물의 재부유, 용해 혹은 이동하지 않을 상황을 고려하여 선택
- 육상오염유입원이 제어되어 방법 시행 후 퇴적층이 재오염될 가능성이 낮은 지역
- 표면피복물질방법은 수심이 얇고 퇴적환경의 경사가 적으며 저층유동이 적은 지역에 적합
- 해역의 주요이용 용도가 선박의 왕래가 적고 비교적 인위적인 사고 가능성이 적은 지역에 적합
- 해양저층환경에 대하여 과거 생지화학적 자료가 풍부하여 사업시행 후 미래예측모델링 수립이 가능 여부
- 풍부한 경험의 해양토목공사 경험이 많은 시행사 선택 가능성 여부
- 사업 시행 전후 해양환경모니터링이 지속적으로 가능한지의 여부
- 주기적으로 표면피복물질의 사후관리 가능 여부

다) 표면피복방법의 기능적요소

표면피복방법은 세 가지 주요한 기능을 위해 디자인 되었다. 이 세 가지 기능은 물리적 고립, 안정화/침식방지, 그리고 화학적 고립이다. 몇몇 경우에서, 다수의 층에 있는 서로 다른 물질들이 예의 기능들을 만족시키기 위해 사용되기도 하고, 어떤 때는 한 개의 층에서 여러 가지 기능을 수행 할 수도 있다.

① 물리적 고립

표면피복방법은 해양 환경이 오염된 침적물에 노출된 정도를 감소시킬 수 있는 수준이 되어야 한다. 또한 표면피복방법의 물리적 고립은 표면피복방법 물질들의 고화도 고려해야한다. 장기간의 보호를 제공하기 위해서, 표면피복방법은 오염된 침전물로부터 유기화합물을 충분히 분리시킬 수 있을 정도로 두꺼워야 한다. 여기에는 두 가지 목적이 있다. 1) 유기화합물이 오염물질로부터 노출된 부위를 줄이기 위해서, 2) 저서생물이 침적된 오염물을 표면으로 이동시키는 능력을 저하시키기 위해서이다. 두 번째 목표를 구성하기 위해서는, 효과적인 혼합층의 깊이와 침적물의 운곽과 연관 되어진 유기

물의 밀도를 고려해서 표면피복방법의 두께를 결정해야한다. 특히 해양 환경에서는, 저서생물의 군체 형성 잠재력에 의해 표면피복방법의 두께가 결정될 여지가 크다. 군체 형성이나 표면피복방법이 저서생물에 의해 방해되는 것을 예방하는 것은 표면피복방법의 디자인에 고려될 수 있으며, 생물학적 모니터링 개발에도 관계가 있다. 관리자는 표면피복방법을 디자인 할 때 고화에 대해서 고려해야 한다. 세밀한 특징을 가지는 표면피복물질이 고화 될 수 있는 것은 그들의 무게 때문이다. 고화될 수 있는 양이 한정되어 있기 때문에 그에 따라서 표면피복방법의 최소한의 두께를 알 수 있다. 고화에 대한 평가는 침식에 반대되는 의미로 표면피복방법 표층 깊이 또는 고화에 의한 표면피복방법 두께에 대한 차별화된 모니터링 데이터를 이해하는데 있어서 중요하다.

② 안정화 및 침식방지

표면피복방법의 이 기능은 오염된 침적물과 표면피복방법 그 자체를 표면 피복된 장소에서 중지되어지거나 이동되어지는 것으로부터 안정화하기 위해 고려되어야 한다. 일반적으로 침식의 가능성은 강, 조수, 파도에 의해 야기된 흐름, 선박에 의해 발생한 난류, 그리고 극소한 크기의 침적물 영역, 광물학과 저층바닥 용적 밀도(*bed bulk density*)에 의해 적용된 침식작용의 크기에 기반 한다. 지진의 간섭에 의한 가능성도 있으며, 특히 오염된 침적물과/또는 표면피복 물질을 침식시키는 작용을 최소화하고자 설계되어야 한다. 침식 보호의 디자인의 특징은 표면피복의 크기와 대상지역에서 측정된 극심한 침식력이 일어날 확률로 결정되며, 일반적으로 표면피복방법은 백년에 한번 발생할 힘에 대해서도 견뎌낼 수 있도록 디자인 되어야 한다.

다른 고려해야 할 점으로는 특히 고농도의 유기화합물로 구성된 오염된 침적물을 표면피복 내부에서 혐기성 분해가 발생함으로 위험한 가스가 생길 가능성이 있다는 것이다. 특히 약한 삼투를 할 수 있는 물질로 만들어진 표면 피복 침적물에서 가스 발생은 현격한 상승 힘들과 표면피복물질 위에서 물리적 안정성의 위협이 발생 할 수 있기 때문에 지속적인 모니터링을 통하여 점검해야 한다.

③ 화학적 고립

표면피복방법이 물리적 고립에 맞게 디자인 되었다면, 이동하는 오염물과 함께하는 작은 입자로 된 침적물의 이동 역시 통제되어야 한다. 오랜 시간에 걸쳐 분자 확산에 의해 오염물이 이류에 의해 용해되어 발생하는 수직 이동은 가능하나 초기 표면피복방법 디자인 선택에서는 화학적 고립에 관한여 숙고한 후 디자인이 되어야 한다. 표면피복물질의 수압 전도성, 오염된 침적물, 밑에 있는 깨끗한 침적물과 기반암을 포함시켜야 한다. 그와 같은 조건들은 표면피복 디자인에서 신중하게 고려되어야 한다. 오염된 침적물에 고비율로 흐르는 지하수는 용납되어서는 안 될 노출을 야기할 수도 있다. 이 부분에 대해서, 추가적인 보호 대책 없이 표면피복을 하는 것은 효과적인 개선책이 안 될 수도 있다.

표면피복을 해야 할 일부 지역에서 non-aqueous phase liquids(NAPL)가 나타나면, 잠재적인 오염물의 이동 과정을 신중하게 고려해야 한다. NAPL은 피복물질의 압밀작용에 따라 또는 지하수로의 유출에 따라 외부수역으로 이동 될 수도 있다. 필드 샘플링과 실험실 규모 테스트를 통해 이러한 테스트를 할 수 있도록 설계 되어야 하며 전통적인 표면피복 설계가 별로 영향을 미치지 못하는 상황에서는 피복 설계를 위해 불침투성의 물질 또는 반응이 좋은 물질을 고려해 볼 수 있다.



그림 2-3-4. 실험실에서 표면피복방법의 형성과정 실험 사례21)

21) U.S. EPA. 1998. Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments.

실험실 테스트는 구체적인 침적물의 확산과 화학적 분배 계수를 계산할 수 있다. 몇 가지 수치 모델들은 피복물질로 들어가거나 통하는 이류와 확산 과정에 기반하는 오염물의 장기간의 움직임에 예측 가능하게 해준다. 모델들은 영역을 달리하는 표면피복물질들의 다양한 두께에 대한 영향성을 평가할 수 있다. 침적물, 전체 침적물의 공극수 농도 그리고 시간에 따른 피복물질의 침식을 포함한 모델에 의해 결과를 도출한다.

④ 표면피복물질의 선택

표면피복은 일반적으로 깨끗한 조립질 퇴적물로 구성되어 있다. 관리자는 예상된 생물교란 효과, 고화, 침식, 그리고 연관되어진 다른 길고 짧은 노출 과정, 오염물과 연관되어진 위험도 등을 고려해야 한다. 예를 들어 표면피복 방법의 침식 가능성이 크다면 보호의 정도는 표면 피복의 두께를 증가 시킨다던가 아니면 표면 피복이 침식에 더 강한 내성을 갖출 수 있도록 표면 피복 구성 물질을 더 큰 알갱이로 쓰거나 또는 방호물질로서 사용할 수 있을 것이다. 다공질 토목섬유는 오염물의 고립에 기여하지 않으나 표면 피복 물질과 함께 아래 깔려진 침적물이 혼합되거나 이동되어지는 것을 감소시킬 수 있다. 표면 피복은 공정된 모래 위에 자연적으로 생긴 모래로 구성되는 것이 일반적이다. 그 이유는 표면 피복 방법을 통한 오염물의 이동 봉쇄를 자연적인 모래에 포함된 양호한 결정과 유기탄소가 화학적 고립을 더 효과적으로 해주기 때문이다.

특수화된 물질들은 화학적 고립 용적을 향상시키거나, 모래 표면 피복에 비교해서 표면 피복의 두께를 감소시키는데 사용할 수 있다. 예로 가공된 점토 물질, carbon, apatite, coke, organoclay, zero-valent iron 그리고 zeolite 와 같은 물질들이 있으며 합성 토목섬유는 예의 물질들 중 한 가지 이상 포함되는 것이 일반화 되고 있다.

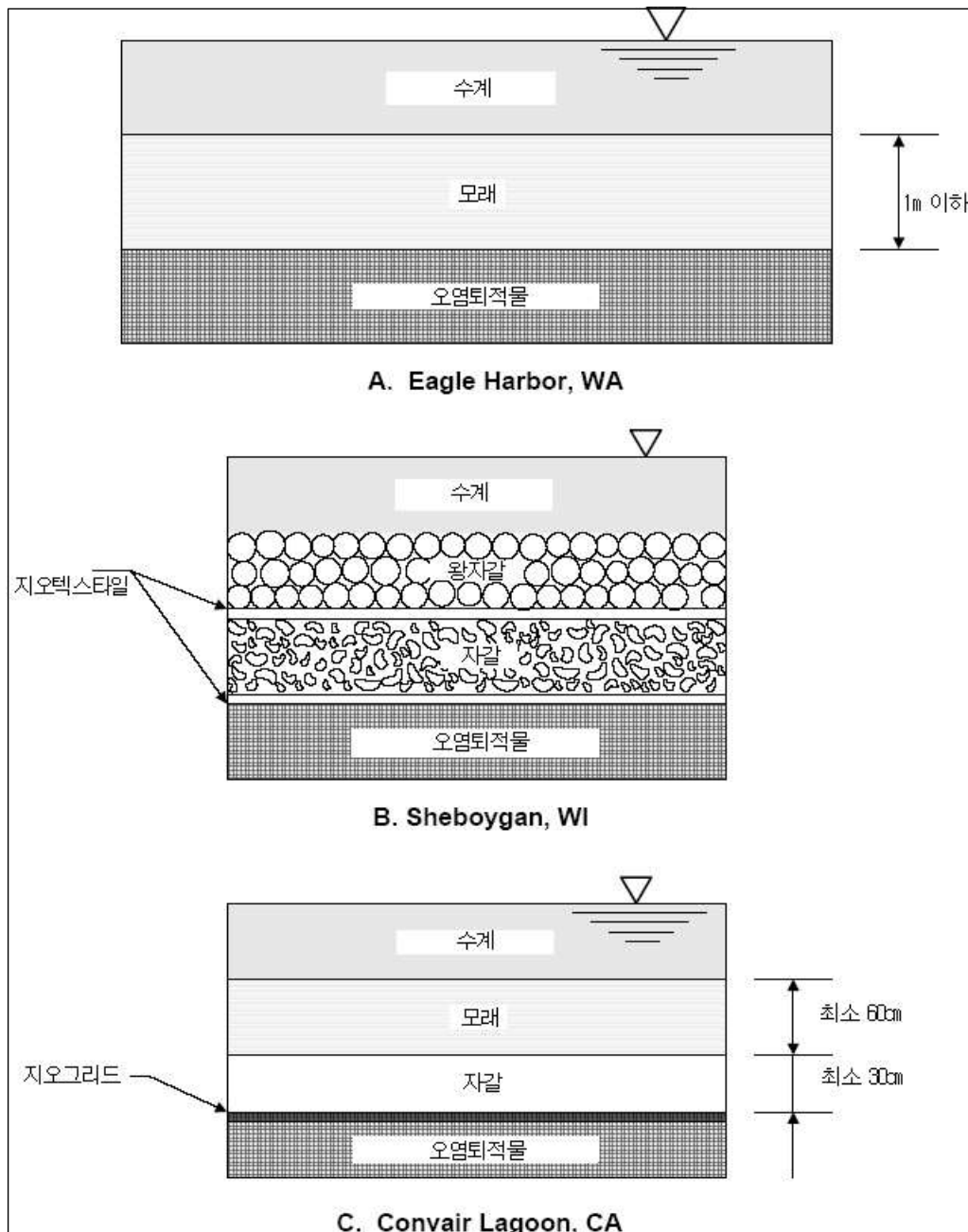


그림 2-3-5. 표면피복방법의 다양한 디자인 사례22)

라) 표면피복의 배치방법

세립질 표면피복물질, 지오텍스타일 및 기타 보호물질 등 다양한 장비 투입과 배치 방법이 표면피복에 사용되어 왔다. 중요한 고려사항 배치방법의 선택의 중요한 고려사항은 표면피복물질의 정확한 배치의 필요성이 포함되

22) U.S. EPA. 1998. Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments.

어 있다. 표면피복물질의 층들을 점진적으로 쌓이도록 만들어 주는 것이 바닥에 깔려 있는 오염된 침전물을 바꾸어 놓거나 혼합 하는 것을 감소시키는 데 중요한 배치과정이다.

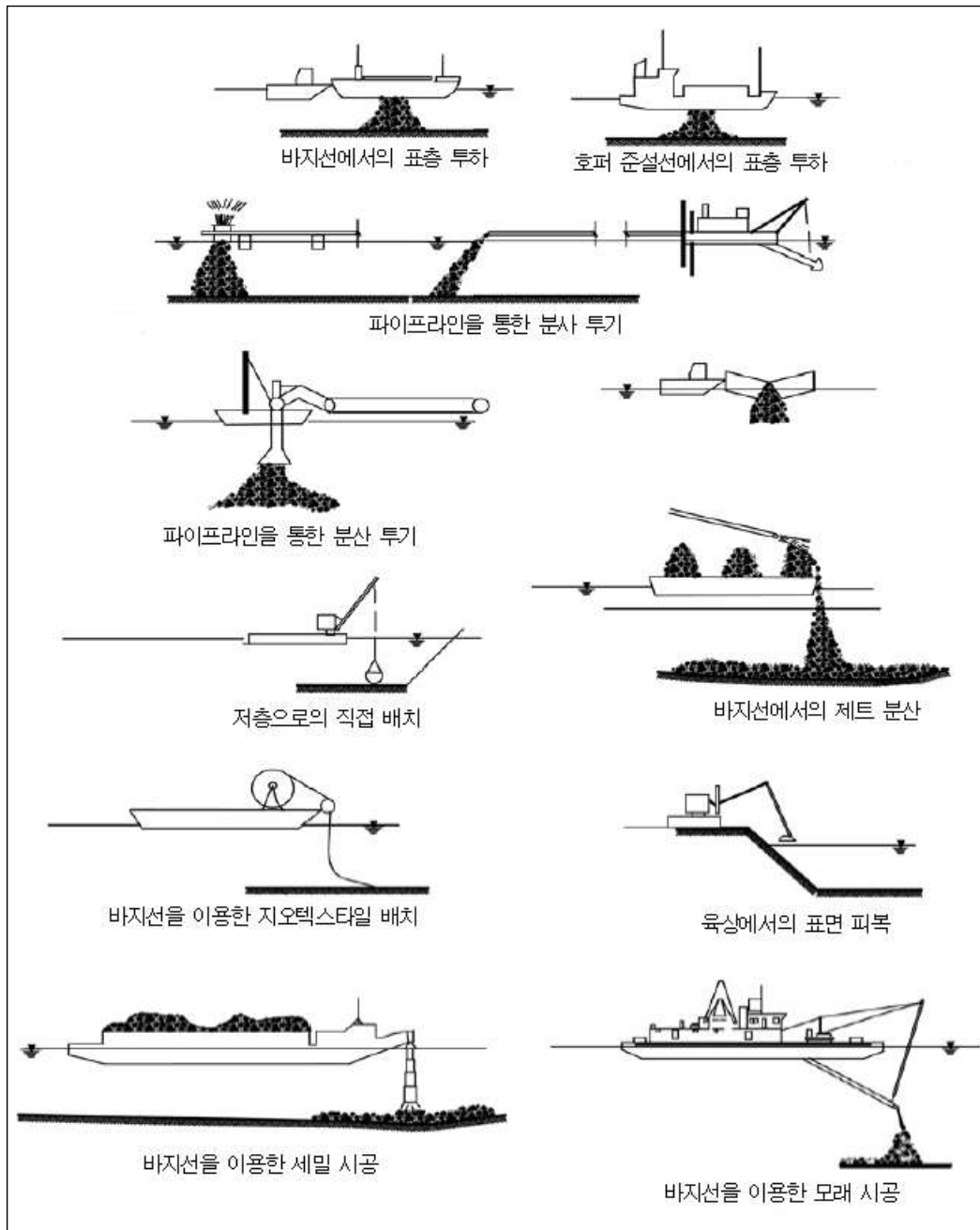


그림 2-3-6. 표면피복방법의 다양한 방법 사례23)

23) Bailey, S. E., and Palermo, M. R., 2005. "Equipment and placement techniques for subaqueous capping," DOER Technical Notes Collection.

세립질 표면피복물질은 몇 가지 방법으로 조정되고 위치할 수 있다. 기계적 방법으로 표면피복물질을 해저에 설치 할 때 중력에 의지하며, 그들이 적용할 수 있는 깊이에 제한을 받는다. 세립질 물질은 또한 액체상태로 표면피복방법에 사용될 수 있는데 수층 표면이나 수중에 파이프를 이용해서 해저에 방출할 수 있는 곳에서 이러한 액체상태의 방법들은 오염퇴적물의 재부유를 방지하면서 정확한 배치 가능성을 제공한다. 보호용 물질을 표면피복방법에 사용하는 것은 바지선이나 해안선에서 전통적인 장비인 크램셸 혹은 특수한 장치를 이용해 설치할 수 있다. 설치하는데 필요한 장비의 종류 예는 그림 2-3-6에서 볼 수 있다.

침전물 재부유와 표면피복 설치시 오염물 방출을 관찰하는 것은 중요하다. 표면피복설치는 오염된 침전물을 재부유시킬 수 있다. 오염물 역시 압밀작용 또는 표면피복 설치시 바닥에 깔린 침전물의 혼란으로 인해 수괴에 유입될 수 있다. 표면피복물질을 천천히 그리고 균일하게 적용시키면 침전물 파괴와 재부유의 양을 최소화 할 수 있다. 그러므로 설계 계획에 최소화 계획과 건설 중·후에 지속적으로 관찰 하는 것을 계획해야 한다.

3) 준설방법 (Dredging)

가) 개요

많은 오염퇴적물의 처리방법이 있지만 오염퇴적물을 근본적으로 수저에서 제거한다는 점에서 준설을 통한 퇴적물 제거가 지금까지는 가장 기본적인 처리방법이라 할 수 있다. 수로유지, 레저시설의 수심유지 등과 같은 일반퇴적물의 준설과는 달리 최근 주요 논의되고 있는 환경준설(Environmental Dredging) 즉, 오염퇴적물의 준설에 있어 특별히 고려해야할 점은 오염퇴적물의 재부유와 수반된 오염물질 누출의 최소화 및 제거작업의 정확성이 더욱 요구된다는 사실이다. 특히 오염퇴적물의 준설은 오염된 퇴적물질을 해양 환경에서 제거하여 대상해역의 오염도를 저감시키고 준설된 오염물질을 수분제거부터 시작된 처리과정을 거쳐 후처리하는 것이 매우 중요하다.

그림 2-3-7은 준설과정의 일반적인 처리과정 사례를 보여주고 있는데 간단한 준설공법의 경우에는 2~3가지의 처리과정을 거쳐 준설오염물질이 처리되는 반면 복잡한 공법의 경우에는 위의 모든 과정으로 처리되기 때문에 관리자의 입장에서 이러한 처리과정에 대한 이해와 개념정립이 필요하다.

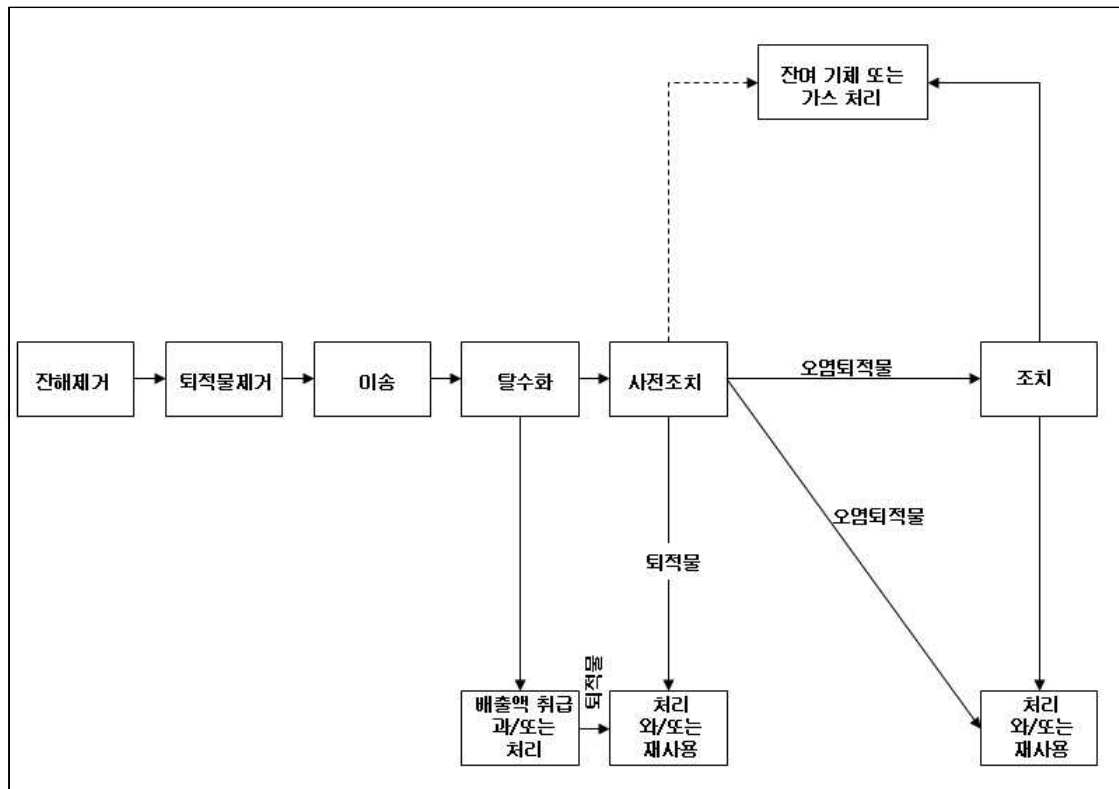


그림 2-3-7. 준설과정의 일반적인 처리과정²⁴⁾

오염퇴적물의 준설방법 선택은 미국에서 수행되는 수퍼펀드 지역에서 대부분 시행되고 있는데 지역적, 사회경제적 및 환경적 특성에 따라 앞서 소개된 자연정화방법이나 표면피복방법과 병행하여 오염퇴적물 정화복원 사업을 시행하고 있다. 국내에서도 80년대 말부터 마산만을 시작으로 수행되고 있는 오염퇴적물 정화복원 사업에서 주로 사용되고 있는 정화복원 방법이다. 특히 준설방법이 선택되는 경우에는 관리대상 오염물질의 영향이 해양생태계나 주변지역에 미치는 영향이 크고 단기간 내에 정화복원이 필요한 경우 시행되고 있다.

나) 특성

해양오염퇴적물을 정화 혹은 제거하는데 있어 준설방법을 선택했을 때의 가장 큰 장점은 무엇보다 오염퇴적물을 대상 환경 내에서 제거가 가능하다는 것이다. 이러한 장점은 오염퇴적물이 장기간적으로 해양생태계에 미치는

24) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

영향이 크거나 혹은 예측하는데 어려움이 많을 경우 수행되는데 준설 후 단기간 내에 해양환경에 미치는 효과가 크기 때문에 많은 경우 우선적으로 선택되어 시행된다. 그러나 준설방법을 시행할 경우 준설된 퇴적물질을 후처리해야 하기 때문에 전체적인 비용은 자연정화방법이나 표면피복방법에 비해 높다. 특히 준설된 오염물질을 환경안정수치에 근접시키기 위해서는 수배에서 수십배의 추가비용 부담이 들기 때문에 비용대 효과를 고려하여 처리하는 체계적인 관리가 필요하다. 또한 준설방법이 현대화되고 그와 관련된 경험과 다양한 연구가 진행되고 있지만 준설 및 운반 등에 따른 이차오염을 완벽하게 관리하기 어렵기 때문에 준설에 따른 환경피해는 준설방법 선택에 있어서 간과하지 못할 단점으로 지적받고 있다. 이와 같이 준설방법에 대해서는 다양한 장단점이 나타나고 있으나 해양환경이나 퇴적층의 생지화학적 특성 등에 대하여 사전조사 및 영향평가가 부족할 경우 비교적 용이한 방법으로 오염된 퇴적물을 현장에서 제거하는 것을 시각적으로 인지하고 단기적으로 대상 해역의 오염도가 감소하기 때문에 많은 국가와 지역에서 선택되어 수행되어 왔다.

다) 준설방법의 기술선택

준설방법은 크게 기계식, 유압식 방법으로 나뉘는데 기계식은 퇴적물에 직접적인 힘을 가하여 퇴적물을 제거한 후 떠내는 방법이고 유압식은 원심펌프를 이용하여 퇴적물을 흡입하는 방법으로 일반적으로 퇴적물 제거를 원활히 하기 위해서 흡입부에 커터헤드를 장착하고 있다. 기계식의 경우 밀폐형 버킷 (또는 크램셴)을 이용한다 하더라도 준설과정에서 상당량의 퇴적물이 재부유되기 때문에 오염퇴적물 제거에 이용되기 위해서는 사전에 치밀한 부유물 확산 방지책이 수반되어야 한다. 미국 및 캐나다의 경우 퇴적물의 재부유를 감소시킬 수 있다는 점에서 유압식준설방법이 많이 이용되고 있는데 최근에는 재부유를 저감하고 흡입퇴적물에 포함된 수분의 함량을 줄이기 위한 준설기술 개발에 주력하고 있다. 유압식의 경우 커터의 종류 및 운용방식에 따라 다양한 준설방법이 사용되고 있는데 유럽이나 일본에서는 유압식의 일종인 압축식 준설방법이 오염퇴적물 준설에 사용되고 있다. 압축식 준설방법은 준설물질의 흡입을 위해 원심력 대신 압축공기 또는 정수압을 이용한

다는 차이점이 있으며 타 방법에 비해 준설 중 퇴적물 재부유가 상대적으로 적다는 장점이 있다. 표 2-3-4와 그림 2-3-5는 기계식 및 유압식 준설방법에 대한 비교와 운용사례를 나타낸 것이다.

표 2-3-4. 준설방식의 장단점 비교

준설방식	장점	단점
기계식	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적물의 함수량과 관계없이 굴착 가능 고도의 준설 운용성 대부분의 고형물질 제거 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 다량의 퇴적물 재부유 준설물질의 재처리 필요 유압식에 비해 높은 준설 비용
유압식	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적물의 재부유 적음 처리지역으로 직접 수송되기 때문에 재처리과정 단순 기계식 준설에 비해 낮은 준설 비용 	<ul style="list-style-type: none"> 처리장으로 수송된 퇴적물에 함유된 수분 제거 과정 필요 수송관이 해양교통에 방해 고형물질의 완전한 제거어려움



그림 2-3-8. 기계식 및 유압식 준설방법 사례

표 2-3-5은 준설능력 및 기술에 따라 사전에 고려해야할 준설 대상지역의 환경 평가 및 특성을 위한 것으로 각각의 기술에 대하여 상대적으로 효율성이 높은 방법을 선택하는데 중요한 참고자료로 활용될 수 있다²⁵⁾. 그러나 지역적인 특성과 퇴적층의 환경에 따라 다양한 변수가 존재하기 때문에 더 많은 상황을 고려해야만 비용 및 효과적인 측면에서 성공적인 사업수행이 이루어져야 한다. 또한 새로운 기술과 방법이 지속적으로 개발되기 때문에 신기술에 대한 이해와 효과검증이 병행되어야 보다 환경친화적인 방법의 선택이 가능하다.

표 2-3-5. 준설방법의 특징 및 선택 고려사항²⁶⁾

구분	기계식 준설		유압식 준설		
	클램셸	버킷	커터헤드	단순흡입	유압식
준설능력 (m ³ /hr)	45~200		20~90		지역특성
수직정확도 (cm)	15	15	10	10	15
수평정확도 (cm)	10	10	10	10	10
준설깊이 (m)	N/A	N/A	15	15	45
퇴적물 재부유 가능성	고	고	중	저	저
퇴적물 유출 가능성	고	고	중	중	중
기동성 및 기기운반성	고	고	저	저	저
퇴적물 제거능력	고	고	저	저	중
상대적 제거 비용	저	저	고	고	중
외부환경에 따른 운용 유연성	고	고	고	저	저

25) U.S. Army Corps of Engineering. 1998. Guidance for Subaqueous Dredged Material Capping.

26) EPA. 2005. Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites.

2. 처리방안 사례

1) 미국의 사례

미국에서는 1970년대 이후부터 오염퇴적물 문제가 지속적으로 제기되어 이에 대한 관리가 수행되었음에도 불구하고 큰 성과를 거두지 못했다는 자체 평가가 있었다. 이에 대한 근본적인 원인 중 하나로 지적된 것은 오염퇴적물의 평가가 기형어류 발생, 오염에 강한 종의 출현, 특정 저서생물 종의 사멸 등의 현상에만 의존하였기 때문에 생태계 및 국민건강에 미치는 악영향을 근거로 설정된 연방정부 차원의 퇴적물 평가기준이 부재하였다는 점이다.

실제로 퇴적물 오염평가를 위해 프로그램마다 다양한 방법들이 사용되어 왔는데 이는 퇴적물 오염은 수질오염의 경우와는 달리 같은 오염물질 농도라 하더라도 지역적인 특성, 퇴적물 특성, 생물에 의한 이용성 (Bioavailability) 등에 따라 실제 생물에 미치는 독성이 매우 달라지기 때문이다(그림 2-3-9) 현재 미국 환경보호청에서 개발한 오염퇴적물 관리 방법은 퇴적물 오염현황 파악을 위한 스크린 단계에서부터 최종적인 유해성 평가까지 각 단계마다 오염퇴적물 영향을 평가할 수 있는 다단계 검사구조 (Tiered Testing Structure)를 기본으로 한다. 이는 각 단계마다의 검사방법을 표준화해야 한다는 어려움은 있으나 일단 완성되면 지역적 특성 및 관리 목적에 따라 유연하게 적용할 수 있고 평가에 일관성을 유지할 수 있는 장점이 있다.

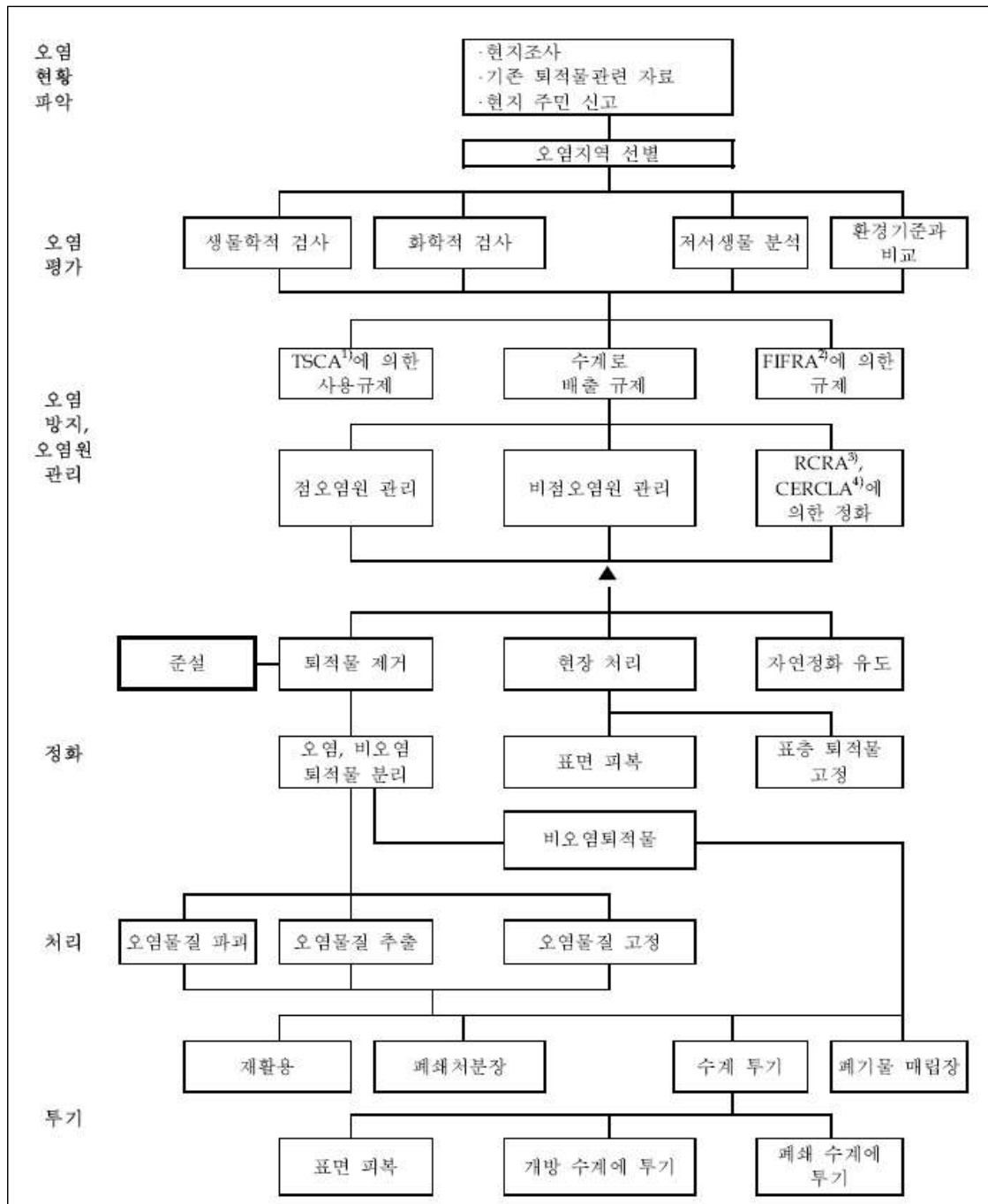


그림 2-3-9. 미국 환경보호청의 오염퇴적물 관리구조²⁷⁾

가) Puget Sound

워싱턴주 콜롬비아강을 중심으로 펼쳐진 반폐쇄성 해역으로 주정부의 퇴적물관리기준을 바탕으로 1993~1999년 Puget Sound의 퇴적물오염현황조사

27) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

실시 후 현재 정화복원사업이 진행 중에 있다. 대상지역을 총 93개 지역으로 세분화하여 각 지역의 특성 및 현황에 맞는 오염퇴적물 정화방법(자연정화방법 포함)을 선택하고 있으며, 각 세부지역은 0.2~266에이커에 달하는 다양한 면적을 가지고 있고 그에 따라 소요되는 예산도 최소 50만달러에서 최고 1,000만달러까지 책정하고 있다. 연방정부(EPA)의 기준설정방법이외에 생태영향 등 다양한 방법을 고려하여 오염퇴적물의 오염도를 평가하고 있으며, 준설퇴적물의 처리 및 투기와 관련된 비용의 지나친 증대를 고려하여 이와 관련된 지침을 폐지하거나 완화하여 현실적 대응 가능토록 조치하고 있다.

나) New Bedford Harbor (Superfund Site)

메사추세츠주 반페쇄성 Buzzards Bay 내에 위치한 상업항으로서 주변 공장지대에서부터 많은 양의 PCBs와 중금속 오염부하가 심한 지역으로 알려져 있다. 1970년대 후반부터 항만 주변 퇴적물뿐만 아니라 해양생태계에서 매우 높은 농도의 PCBs가 발견되어 오염우심해역으로 알려졌고 1980년대부터 오염퇴적물 제거를 위한 다양한 정화복원사업이 시행되고 있다.

해양환경생태계조사를 통해 오염이 매우 심한 지역 (Hot Spot)과 그 외의 지역으로 구분하여 오염퇴적물의 정화복원 우선순위 선정하여 정화복원 사업을 시행하고 있으며 각각의 오염퇴적물 정화방법에 대하여 장단점 분석 및 소요예산을 산정하여 오염이 매우 심하고 선박운항을 위해 준설이 필요한 항로에 대해서는 오염퇴적물을 준설제거하고, 오염이 심하지 않은 지역은 피복을 덮어 복원하는 방법 등을 다각적 선택하고 있다.

다) New York-New Jersey Harbor

미국에서 가장 활동이 활발한 항구 중의 하나인 뉴욕-뉴저지항은 다양한 유기성 및 무기성물질에 의해 오염되어 있는 대표적인 지역이다. 특히 다이옥신, PCBs, PAHs 및 중금속에 의한 오염도는 매우 심각한 수준으로 알려져 항로개선을 위한 준설과 함께 오염퇴적물 제거준설 사업을 실시하고 있다.

특히 준설된 오염퇴적물의 해양투기는 금지되어 있기 때문에 [Dredged Material Management Plan]을 설정하여 오염도에 따라 분류하고 오염도가

높은 퇴적물은 폐쇄처리장에서 처리하고 기준 이하의 퇴적물은 벽돌이나 타일재료로 재활용하여 준설이후 퇴적물 처리의 좋은 사례를 보여주고 있다.

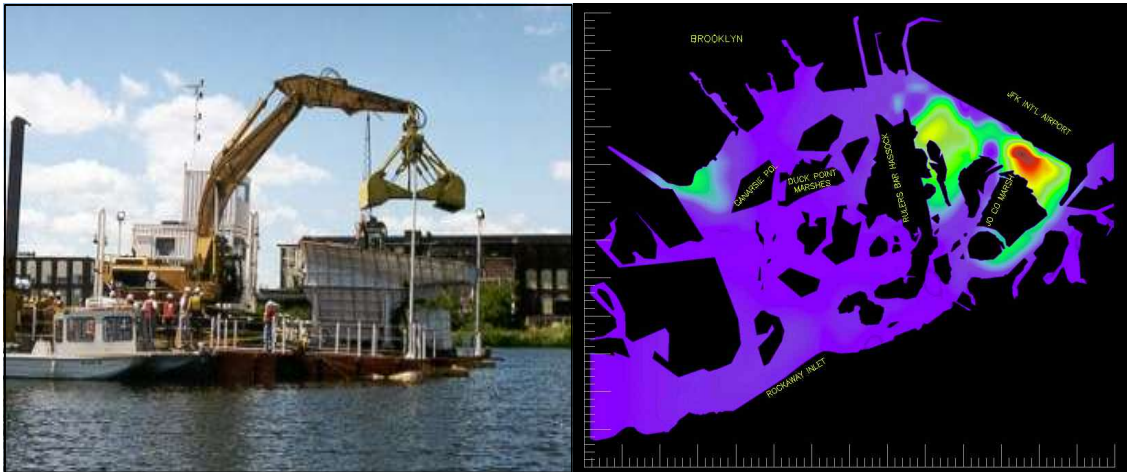


그림 2-3-10. 미국 뉴욕항에서의 준설 모습 및 PCB 농도 측정 연구 결과

표 2-3-6. 기타 지역에서의 해양오염퇴적물 정화복원 사례

Site	지역	내용
NewPort Naval Education Center	로드아일랜드 해군기지	<ul style="list-style-type: none"> • 해군기지이용에 따른 유류, PCBs 및 중금속 등 오염 • 직접적인 악영향은 없으나 장기적 환경영향 • 주요 오염지역을 표면피복방식과 준설방식을 병행하여 정화작업 시행(2000~2006)
Cold Spring pier, Hudson River	뉴욕 허드슨강 하구	<ul style="list-style-type: none"> • 주변 배터리공장에서 배출되는 오폐수의 영향으로 중금속 (카드뮴, 아연, 니켈 등)오염 • 오염이 심각하고 연안해양생태계에 악영향을 미치는 지역은 일차적으로 준설을 통해 정화사업 시행(1995) • 그 외의 지역은 장기적 감시와 정화사업 시행 (진행 중)

표 2-3-6 (계속)

Site	지역	내용
Lavaca Bay	텍사스주 라바카만	<ul style="list-style-type: none"> 주변 공업지역으로부터의 유기합성화합물 (PAHs) 및 수은 오염 약 60km²의 수은오염퇴적물 준설(1994) 오염도가 낮은 퇴적물은 자연정화방법을 사용하여 정화복원 시행 (5-10년 주기의 장기간 환경모니터링 시행)
Bailey Waste Disposal Site	텍사스주 베일리 연안	<ul style="list-style-type: none"> 연안도시지역 오폐수를 통해 중금속, 벤젠, 페놀 등 주요오염 관리대상 오염도가 심하지 않고 연안 안쪽에 위치하고 있어 오염퇴적물을 표면피복처리하여 정화복원 사업시행(1996)
Commencement Bay	워싱턴주 Puget Sound 타코마시 연안항	<ul style="list-style-type: none"> 약 1,400km²의 오염퇴적물 준설하여 연안해역 저층과 육상에 매립(2000~2004) 세부적으로 4개 지역으로 구분하여 중금속(Cd, Cu, Pb)에 의해 오염도가 높은 지역은 준설하여 오염퇴적물 제거 기타 지역은 표면피복 혹은 자연정화 방법을 사용하여 오염퇴적물 정화복원 사업 시행

2) 일본의 사례

1990년대 말 오염퇴적물 제거, 감시, 공사방법, 처리와 관련된 [퇴적물 처리 및 처분 등에 관한 잠정지침] 제정하여 관리하고 있다 (표 2-3-7). [감시], [공사방법] 및 [보관 및 처리]에 관한 기본조건과 유의사항을 지침으로 제시하며 퇴적물의 특성, 해당 수역의 지형, 해역의 상태, 해류 특성 및 어업기간과 어류 현황 등의 지역적 특성을 감안하여 탄력적인 운용 권고하고 있다.

오염퇴적물 정화복원 방법으로 자연정화, 현장처리 및 준설 등을 사용하여 오염퇴적물을 처리하며 특히 2차 오염 방지를 위하여 공사전후 철저한 모니터링을 통하여 관리하는 것이 특징이다. 주요관리대상 오염물질은 수은 및 PCB를 중점적으로 관리하여 대상 해역의 퇴적물의 유해물질 농도와 해역의 평균조차 및 용출률 등을 고려하여 결정하고 있으며 제거된 퇴적물 중

수은, 시안을 포함하고 판정기준에 부적합한 퇴적물은 콘크리트 고형화로 누출을 방지한 후 공용수역 및 지하수와 차단되는 장소에 매립하는 방법을 선택하고 있다.

표 2-3-7. 일본의 오염퇴적물 정화복원사업 주요지침²⁸⁾

구분	내용
퇴적물 오염평가	<ul style="list-style-type: none"> • 화학적 오염도 평가: 퇴적물의 화학적 분석 (감열감량, COD, 황화물, PCB, 수은 등 유해물질) • 생물학적 오염도 평가: PCB, 수은 등 특정유해물질에 대해서는 퇴적물에서의 용출량과 어업실태 등 반영
오염퇴적물 정화복원	<ul style="list-style-type: none"> • 준설: 오염퇴적물 제거 • 현장처리: 표층퇴적물 고정, 표면피복 등
오염퇴적물 처분	<ul style="list-style-type: none"> • 오염물질 추출, 고정: 폐쇄처분장 이용 / 투기 / 매립 • 유해물질에 따라 적합한 처리/처분 방법 고려
2차 오염 방지	<ul style="list-style-type: none"> • 공사수역 외부에 미치는 영향 모니터링 • 악취, 유해물질 및 부유물질 모니터링 • 감시대상이 PCB일 경우 대기 중 PCB농도 모니터링 • 3개월 이상 장기간 공사가 진행될 경우 유해물질(수은, PCB 등)이 어패류에 미치는 영향조사
효과검증	<ul style="list-style-type: none"> • 퇴적물 제거 후 유해물질의 화학적 분석 등을 통하여 사후환경영향 관리 • 공사 후 식용어패류에 대한 오염평가

3) 호주의 사례

준설에 의해 오염퇴적물을 정화복원할 경우 다음 내용과 같은 사항에 대해 검증절차를 거친 후 시행하고 있다: 준설지역의 선정 - 준설지점의 선정 - 준설지역의 물리적 화학적 현황 - 퇴적물의 생화학적 분석결과 - 환경기준치와의 비교분석 - 준설 시행 중 및 사후 환경적 영향예측 - 장기적 환경모니터링 방법

28) 일본 환경청환경법령연구회, 1998, 퇴적물 처리 및 처분 등에 관한 잠정지침.

준설과 관련된 운영지침(Best Practice Environmental Management Guidelines for Dredging)은 준설해역 수괴 및 생태계에 미치는 영향 등을 고려하여 다음과 같이 설정되어 있다.

- 수괴에 미치는 영향: 오염퇴적물로 인해 주변수역에 미치는 화학, 생물학적 영향
- 퇴적물의 물리, 화학, 지질적 구성
- 퇴적물의 오염도 현황: 주요 관리대상 오염물질의 현황 파악
- 준설방법: 주변해역이나 대기에 영향을 최소화할 수 있는 준설방법 선택
- 준설량 설정: 공사 후 양호한 환경으로 정화시킬 수 있고 경제적인 여건을 고려하여 준설량 선정
- 이차오염방지 방법선정: 준설에 따른 주변지역으로의 확산방지 방법 등 선정
- 주민의견 수렴: 공사 전 상세한 계획, 예측자료 및 도표 등을 활용하여 지역주민에 통보하고 의견 수렴
- 모니터링방법 선정: 준설공사 중 그리고 사후 환경모니터링 방법 선정

중앙 및 지방정부에서는 이와 같은 내용을 받아 Coastal Management Act (1995), Environmental Effects Act (1978), Environment Protection Act (1981) 및 Environment Protection and Biodiversity Conservation Act (1999) 등을 고려하여 시행 결정 및 관리감독을 수행하고 있으며 주요 사례지역으로는 호주 멜버른시 빅토리아만 지역의 연안항인 Western Port 및 Port Phillips Bay 등이 있다.

4) 유럽의 사례

1980년대 초반부터 퇴적물질 오염평가 기준과 정화방법 개발을 위한 연구가 영국, 프랑스, 독일, 네덜란드 등지에서 개별적 추진하여 왔다. 현재는 유럽퇴적물관리 네트워크(SedNet)를 구성하여 유럽연합차원에서 오염퇴적물의 오염도 평가 및 정화, 복원 체계 확립 (디마스 2005 회의) 하고 있는 상황이다. 전통적인 수질오염원 관리차원에서 발전된 수저퇴적물에 서식하는 저

서생물보호를 위한 생태적인 관점에서 관리하고 있으며 오염정도가 심각한 경우(지역주민의 건강성 문제, 오염의 확산 및 저서생태계 장기적인 생태계 영향 등 고려)를 제외하고 대부분 자연정화 방안 선택을 권고하고 있다. 특히 비용에 비해 효과가 미비한 준설-처리 공법을 탈피하여 환경친화적인 오염퇴적물 제거기술 개발 확대에 집중하고 있다.

주요사례로는 독일이 발원지인 라인강 하구역에 위치한 로테르담항에서 오염퇴적물 제거사업을 들 수 있는데 2003년부터 적용된 TBT 사용금지 유럽 조약에 따라 연안항내 퇴적물에 축적되어 있는 유기화합물질을 제거하기 위하여 해양오염퇴적물 정화사업을 시행하고 있다. 특히 비소, 아연 등 포함한 중금속류와 PCBs등 유기화합물을 중점관리대상으로 선정하여 오염된 퇴적물 준설범위를 최소화하여 설정, 준설된 오염퇴적물을 육상 폐쇄처분장에서 분리 및 처리하는 방법을 시행하고 있다.



그림 2-3-11. 유럽 로테르담항에서의 오염퇴적물 정화복원 사례

3. 처리방안 선정시 고려사항

1) 오염퇴적물 정화복원 방법선택

오염퇴적물을 정화·복원하는 방법은 대표적으로 자연정화, 표면피복방법 및 준설방법 등이 있으며 앞서 언급한 바와 같이 대상지역의 특성, 해역 및 퇴적층의 생지화학적 특성 그리고 주변지역의 사회·경제학적 특성 등을 고려하여 가장 효율적인 방법을 선택하는 것이 중요하다. 표 2-3-8은 다양한 오염퇴적물 정화복원 방법 및 그와 관련된 장단점을 비교한 내용이다.

표 2-3-8. 오염퇴적물 정화복원방법 및 주요내용

정화복원 방법	주요 내용	장점	단점/한계점
자연정화	<ul style="list-style-type: none"> 자연적인 분해, 퇴적 	<ul style="list-style-type: none"> 인위적인 복구에 따른 2차 오염 방지 	<ul style="list-style-type: none"> 장시간 기간 필요 정화추이에 따른 장기모니터링 필요
현장처리법 표면피복법	<ul style="list-style-type: none"> 생물적, 화학적 고정 및 안정화 오염지역 피복 (모래, 자갈, 지오그리드 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 환경친화적인 기술 상대적으로 저비용 효과적인 오염물질 봉쇄 2차 오염 영향 적음 	<ul style="list-style-type: none"> 해수유동 특성 등에 따라 효과미비 가능 피복물질의 침식가능 피복물질의 변화 및 장기 모니터링 필요
퇴적물제거법	<ul style="list-style-type: none"> 준설 	<ul style="list-style-type: none"> 안정적인 기술체계 확립 항만에서는 항로개선 준설 효과 	<ul style="list-style-type: none"> 제거퇴적물 처리에 따른 2차 오염 가능 상대적 고비용

다양한 오염퇴적물 정화복원 방법에서 각 지역 및 환경 특성에 맞는 정화복원 방법을 단수 혹은 복수로 선택하게 될 경우 동일한 환경조건에서 각각의 정화복원 방법을 평가하여 최적의 방법을 선택하는 것이 중요하다. 이를 위하여 각각의 정화복원방법이 지역적 특성, 수환경적 특성 및 오염정도 등과 관련한 사전조건들을 표 2-3-9에 나타내었다.

표 2-3-9. 오염퇴적물 정화복원방법과 사전인지 조건²⁹⁾

주요특징	자연정화방법	표면피복방법	준설방법
지역적 특성	<ul style="list-style-type: none"> • 미래의 주변육상 지역의 이용 및 새로운 구조물 건설이 예정된 지역에는 부적합 • 수용가능한 시간내에서 생물학적 유용성 혹은 오염물의 독성 감소가 지속적으로 나타나는 지역에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 적절한 형태 및 양의 표면피복물질 공급이 양호한 지역 • 수심이 비교적 얕아 표면피복방법을 수행하기에 적합한 지역 • 대형선박의 이동이나 정박에 따라 표면피복물질이 손상받을 가능성이 적은 지역에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 준설된 오염퇴적물의 처리 및 폐기장소의 확보가 가능한 지역 • 해저에 케이블 혹은 기타 구조물이 존재하는 지역에서는 부적합 • 항해준설이 예정되거나 시행 중인 지역에 적합
인간 및 생태학적 환경	<ul style="list-style-type: none"> • 표면피복방법 혹은 준설방법에 의해 비가역적으로 손상될 수 있고 환경적으로 민감한 지역에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> • 장기간에 걸친 오염퇴적물의 영향이 생태계 환경에 악영향을 미치나 서식지 파괴 혹은 퇴적층 교란이 일어나지 않아야 하는 지역 	<ul style="list-style-type: none"> • 퇴적물 제거가 퇴적물의 교란이나 생태서식지 파괴보다 우선되는 지역에 적합

29) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

표 2-3-9 (계속)

주요특징	자연정화방법	표면피복방법	준설방법
유체역학적 조건	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적층의 침식이나 이동 가능성이 적어 오염물질의 확산 가능성이 낮은 경우에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> 유체역학적 특성이 표면피복물질을 침식가능성이 적을 경우 육상유입원이 표면피복지역에 재퇴적되지 않고 오염물질이 확산 가능성이 낮을 경우 적합 	<ul style="list-style-type: none"> 조류나 수괴의 움직임이 적어 준설 중 재부유 혹은 이동 가능성이 비교적 낮은 경우에 적합
퇴적물의 특징	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적물이 응집성이 높아 재부유 가능성이 적을 경우 적합 	<ul style="list-style-type: none"> 표면피복방법을 통해 퇴적물이 피복을 지지할 수 있는 충분한 힘의 고밀도를 가지고 수분이 낮을 경우에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적층 상부에 해양쓰레기나 기타 유해물질의 제거가 준설과 병행하여 쉽게 처리될 수 있는 경우
오염물질의 특징	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질이 쉽게 생물학적으로 분해되거나 낮은 독성물질로 변형될 가능성이 높을 경우에 적합 오염정도가 낮으며 확산영역이 크지 않을 경우 적합 오염물질이 낮은 정도의 생물학적 축적 정도를 갖을 경우 적합 	<ul style="list-style-type: none"> 표면피복방법을 통해 오염물질의 확산이나 이동이 일어날 가능성이 적은 경우에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> 비교적 높은 오염도를 가지고 있으며 불연속적인 영역까지 확산될 가능성이 높을 경우 적합

앞선 언급한 것처럼 오염된 퇴적물의 정화 대안을 선택하는 것은 몇 가지로 한정되어 있기 때문에, 일반적으로, 관리자는 자연정화방법, 표면피복방법, 그리고 준설을 통한 제거 등 주요한 방법을 통해 평가해야 한다. 모든 해양오염퇴적물 정화복원 기술들은 특정의 장소에 적용되는 경우에 장점들과 단점들을 가지며, 이들은 각 장소에 대해 개별적으로 그리고 가능한 한 완전하게 확인되어야 함이 오염퇴적물 관리에는 절대적이다. 예를 들면, 해양의 환경에서의 오염된 퇴적물로부터의 관리는 해양 및 지상의 환경들 양쪽 모두에 부가의 위험들의 발생의 결과를 가져올 수 있다. 오염된 물질들의 제거는 역으로 현존하는 생태계에 충격을 줄 수 있으며, 오염물들을 다시 유통화시켜 인간 및 환경에 부가의 위험들을 가져올 수 있다. 따라서 오염된 퇴적물 장소에서의 관리 결정들은 각 대체 관리 활동들의 상대적 위험요소들에 기초하여야 한다. 표 2-3-10은 관리자가 정화복원 방법을 결정하는데 도움을 줄 수 있는 비교표이며, 이 비교들은 다양한 조건에 기초해서 구성되었다. 해당 지역의 구체적인 비교 분석이 아닌 세 가지 정화복원 방법 간의 차이점을 구별하기 위해 구성되었으며 구체적인 지역분석은 더 복잡적이고 많은 지역 고유의 상황 등을 포함해야 한다.

표 2-3-10. 다양한 정화복원 방법을 결정하기 위한 주요 요소³⁰⁾

결정요소	자연정화방법	표면피복방법	준설방법
환경보호	<ul style="list-style-type: none"> • 일반적으로 환경보호를 위한 자연적인 진행과정에 따라 결정 • 저수준의 짧은 시간 동안의 보호를 제공할 수 있으나 육상 오염원이 적절한 차단으로 장기간의 환경보호 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 충분한 표면피복물질에 따라 지속성 확인 가능 • 일반적으로 보통의 환경보호를 제공 확장된 지역, 표면 피복 방법의 설계 등에 따라 장기간의 유지 가능 • 	<ul style="list-style-type: none"> • 부유토사와 준설 잔여물질의 확산 정도에 따라 결정 • 보통의 환경보호를 제공할 수 있으나 잔여물질 및 부유토사 그리고 준설토사 등의 처리방법에 따라 주변환경 피해 우려

30) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

표 2-3-10 (계속)

결정요소	자연정화방법	표면피복방법	준설방법
법적인 요건	<ul style="list-style-type: none"> 일반적으로 화학 및 생물학적 오염평가 등을 적용하여 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 화학 및 생물학적 오염평가 등을 적용 수질환경보호법, 공유수면이용관련법 및 연안지역보호관련법 등을 고려하여 결정 	<ul style="list-style-type: none"> 화학 및 생물학적 오염평가 등을 적용 수질환경보호법, 공유수면이용관련법 및 연안지역보호관련법 등을 고려하여 결정 준설토 등의 처분은 폐기물관리관련법 등을 고려하여 결정
장기적인 영향	<ul style="list-style-type: none"> 지역적인 특성에 따라 (오염원 유입현황 등) 저수준에서 고수준까지의-위험 감소와 잔여 위험도-장기적인 영향 개발계획 등에 따른 오염원 유입으로 인하여 체계적인 자연정화복원이 불가능할 가능성 등에 대한 주의 5년 이상의 장기적인 사후관리 필수 	<ul style="list-style-type: none"> 표면피복물질의 설계, 종류, 방법, 저질지역의 지질학적 특성 등에 따라 저수준의 잔여위험도에서 고수준의 위험도 까지 영향을 가짐 오염물질이 피복물질 하부에 남겨져 있기 때문에 장기적으로 오염물질의 유출을 주의 5년 이상의 장기적인 사후관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 오염원 유입이 차단될 경우 준설 후 잔여퇴적물에 의해 고수준의 위험도를 가지나 일반적으로 낮은 장기적 영향을 가지고 있음 오염퇴적물을 제거할 때 발생하는 부유토사에 의한 이차오염 주의 준설퇴적물의 이동 및 처리과정에 발생하는 이차오염 주의

표 2-3-10 (계속)

결정요소	자연정화방법	표면피복방법	준설방법
단기간의 영향	<ul style="list-style-type: none"> • 자연정화 초기에는 오염된 퇴적물에 의한 주변생태계의 영향이 있으나 오염유입원이 차단된 이후 점차 감소 • 초기 단계에는 자연정화지역에서의 어폐류 개발 제한 • 보호를 달성할 수 있는 최장의 시간은 자연적인 진행상황과 오염물질의 생물학적 분해 가능성에 좌우 • 보호를 달성하기 위해 걸리는 시간은 불확실 	<ul style="list-style-type: none"> • 표면피복설계, 피복물질의 종류 등에 따라 단기간적인 생태계 영향이 틀림 • 표면피복의 배치와 최초 단계에서 방출될 수 있는 오염물질로 인하여 단기간적으로 영향 존재 • 목표를 달성하기 위해 가장 단기간에 완료 가능 • 생물군의 완벽한 회복은 장시간 소요 	<ul style="list-style-type: none"> • 준설에 따른 부유토사의 방출과 준설토의 이동 및 처리에 따른 이차오염 영향이 큼 • 준설하는 동안 생물군에 영향을 끼칠 가능성이 있음 • 준설 물질과 준설토의 취급 방법과 처리는 준설하는 동안 지역사회에 혼란을 야기 • 보호를 달성하는데 걸리는 시간은 프로젝트의 크기와 복잡성에 따라 상이함 • 생물군의 완벽한 회복은 장시간 소요

표 2-3-10 (계속)

결정요소	자연정화방법	표면피복방법	준설방법
시행 능력	<ul style="list-style-type: none"> 자연적인 진행과정에 대한 불확실성과 퇴적물의 안정성과 관련한 불확실성 때문에 지역환경 특성에 따라 성공여부가 좌우됨 모니터링과 사후평가에 따른 분석 작업은 체계적으로 확립되어 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 표면피복방법 및 피복물질선택 그리고 설계와 관련된 토목기술은 체계적으로 확립되어 있음 표면피복 건설은 수심과 흐름, 경사와 해저 물질의 지질학적 안정성, 그리고 피복물질 자체의 안정성을 포함한 몇 가지 조건 중요 피복물질의 보존성을 모니터링하는 방법과 피복물질을 통한 오염물질의 이동에 관련된 이해도 높음 표면피복물질의 안정도를 높이기 위해 수역의 사용과 관련된 규제 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 준설방법과 기술과 관련된 토목기술 확립은 우수함 육상 매립지에의 처분 기술은 잘 확립되어 있으나 수중 처분 방법들은 덜 확립되어 있고 장기적인 모니터링 요구 준설효과 및 이차오염에 따른 환경영향평가 기술은 체계적임 준설과 관련하여 수역이용과 관련한 규제 필요 준설토 처리를 위한 육상시설에 대하여 규제와 지역의 이해 필요
비용	<ul style="list-style-type: none"> 일반적으로 정화복원 방법시행에 대한 직접적인 지출이 필요치 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 기본적인 지출은 MNR보다 높고 준설보다는 낮음 장기간의 지속비용과 모니터링비용은 일반적으로 MNR과 준설 비용보다 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 기본적인 비용은 MNR이나 표면피복보다 높음 장기간의 모니터링 비용은 MNR과 표면피복방법 보다 낮음

표 2-3-10 (계속)

결정요소	자연정화방법	표면피복방법	준설방법
비용	<ul style="list-style-type: none"> 장기간의 모니터링은 정화복원 목표점이 일치했을 때까지 지출되며, 장기간의 모니터링은 일반적으로 퇴적물 안정성에 따라 결정 	<ul style="list-style-type: none"> 장기간의 오퍼레이션과 지속성 (O&M)은 표면피복의 안정성과 표면피복을 통한 오염물질 흐름을 차단하는 시간에 따라 결정 	<ul style="list-style-type: none"> 기본적인 비용은 MNR이나 표면피복보다 높음 장기간의 모니터링 비용은 MNR과 표면피복방법 보다 낮음 장기간의 O&M 기간은 잔여 오염물질과 준설토의 처리비용과 시간에 따라 결정
지역의 수용	<ul style="list-style-type: none"> 표면피복이나 준설과 같은 인위적인 정화복원방법 시행에 따른 지역적인 교통량 증가, 혼란 등이 적음 인위적인 방법사용에 따른 생태계의 혼란이 적음 	<ul style="list-style-type: none"> 적극적인 정화복원 시행과 함께 보다 자연친화적인 방법사용에 따른 효과 준설이나 자연정화방법에 비해 단시간에 빠른 효과 가능 비용대효과면에서 오염퇴적물 정화방법으로 신뢰도가 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 가장 적극적인 정화복원 방법으로 해당수역에서 오염퇴적물을 제거 항로유지 등 일반준설이 필요한 지역일 경우 예산절감 효과 준설에 따른 이차오염 가능성이 있으며 생태계에 혼란 가능성

표 2-3-10 (계속)

결정요소	자연정화방법	표면피복방법	준설방법
지역의 수용	<ul style="list-style-type: none"> • 난점으로는 “아무 것도 안하는” 치료법으로 인식되어 관리의 부재에 대한 불만제기 가능성 • 자연정화능력 산정의 불확실성에 따른 목표도달 가능성이 떨어질 경우의 혼란 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> • 난점으로는 지역내에 여전히 오염퇴적물이 표면피복물질에 의해 덮여 있는 것으로 인식 • 표면피복물질의 침식이나 이동 가능성에 따른 혼란 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> • 준설선의 이동, 작업, 준설물질의 처리 등에 따른 지역적인 교통량 증가 등 혼란

2) 처리방안 선정을 위한 시행방법

오염퇴적물 정화복원 방법선택을 위해서는 기본적으로 정화복원 대상지역에 대한 조사를 통해 지역의 오염퇴적물의 오염도를 평가하고 오염물질을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 그에 따라 오염퇴적물의 지역 및 생태학적 영향평가를 통해 오염퇴적물의 대상 지역 면적과 범위를 산정하는 과정을 거친 후 전문가 및 지역주민의 합의와 의견수렴을 거쳐 다양한 정화복원 방법에 대한 선별과정을 거쳐야 한다. 이를 통하여 오염퇴적물 정화복원을 위한 사업실시설계가 이루어지고 이에 따라 사업이 지속적 그리고 체계적으로 수행되어야 한다(그림 2-3-11).

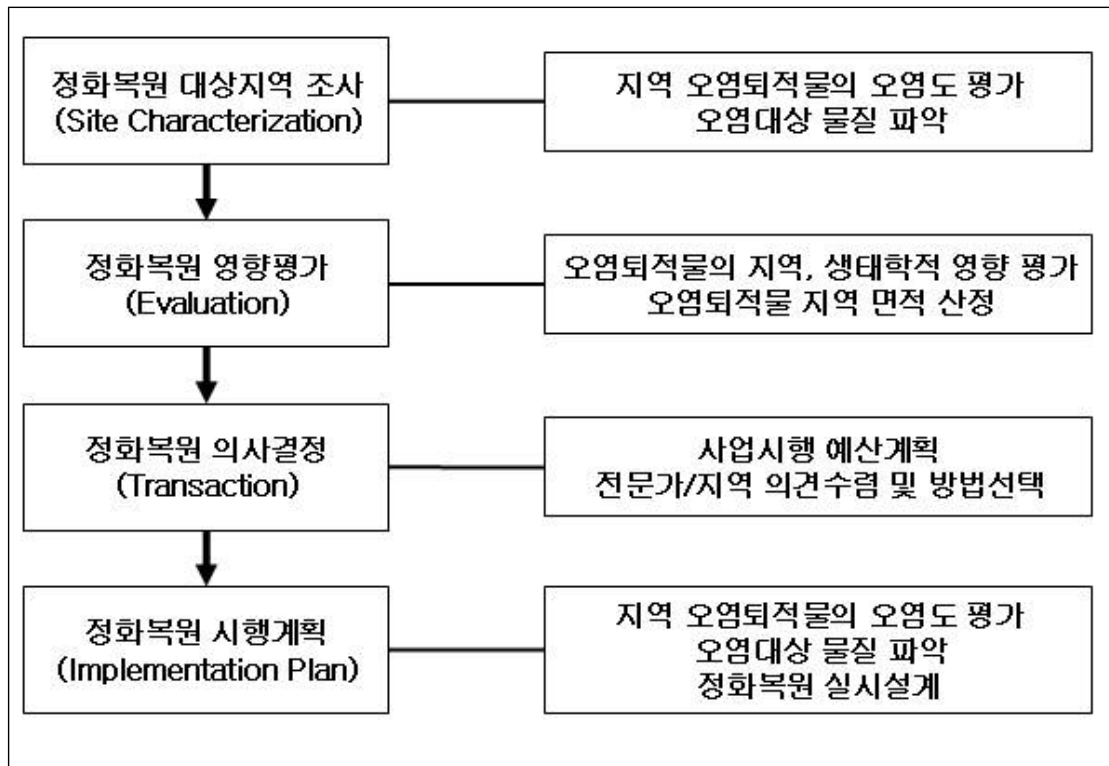


그림 2-3-12. 오염퇴적물 정화복원 방법선택 순서도³¹⁾

가) 정화복원 대상지역 조사 (Site Characterization)

대상지역의 조사는 지역의 특성과 오염현황을 판단하는 가장 중요한 일차적인 과정이다. 사전조사를 통하여 정화복원 사업예산의 원활한 운영이 가능하며 예기치 않은 변수로 인한 변경이 적어져 효과적인 사업을 진행할 수 있다. 이러한 과정을 통하여 기본적인 수질, 퇴적물, 생물조사 뿐만 아니라 생물독성 실험, 어류조사 등을 통해 퇴적물과 생태계와의 오염상관도 작성하고 오염퇴적물이 해양생태계 혹은 지역에 미치는 영향을 분석하는 과정의 기본적인 데이터를 제공하고 사후 사업평가의 Background DB를 제공할 수 있다.

나) 오염퇴적물 정화복원 영향평가 (Evaluation)

영향평가 과정은 오염퇴적물 지역에 대한 생태계에 미치는 영향에 대한 과학적인 접근과정으로 오염원 추적, 역학조사 등을 통하여 오염퇴적물의 범

31) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

위를 산정한다. 사전조사를 통해 파악된 퇴적물 오염지역에 대한 세부적 과학적인 연구가 수행되어야 하고 사전조사와 영향평가를 바탕으로 오염된 퇴적물 정화복원 범위를 산정하고 이에 따른 예산상의 계획을 수립할 수 있다. 또한 환경생태계 및 사회경제학적 관점에서 접근법을 통하여 오염퇴적물 정화복원 범위, 방법 선택을 위한 의사결정 단계를 추진하게 되고 다양한 정화복원 시행에 따른 환경에 미치는 영향 평가 및 오염저감예측 모델링 과정을 수행한다.

다) 오염퇴적물 정화복원 의사결정 및 방법선택

의사결정 단계에서는 사업목적의 이해, 예산집행 계획, 사업 후 장단점 분석 등을 결정하고 전문가 및 지역주민의 합의와 의견 수렴이 중요하다. 사전조사와 영향평가를 통한 대상지역 환경에 적합한 오염퇴적물 정화복원 방법을 선택하게 되는 과정으로 비용 분석을 통하여 비용 대 정화복원 사업효과가 뛰어난 방법 선택을 유도해야 한다.

목적과 환경에 따른 오염퇴적물 정화복원 기술 및 방법을 Screening Process 를 통하여 선별하는 다기준평가기법(Multi-Criteria Decision)을 통하여 분석요소간 상대적 중요도를 수치화하여 정량적인 형태로 결론을 도출하는 과정을 거치며 과거의 정화복원 사업 사례 분석을 통하여 시행착오가 적은 사업계획안 수립이 가능하다.

오염퇴적물 정화복원 방법을 선택하는 정책 결정 계획은 복잡한 문제나 논리적 순서 또는 결과로 인한 문제에 접근하는데 있어서의 거쳐야 할 과정이다. 계획은 순서도나 활동의 구조 그리고 정해져야 하는 결정들로 나타낼 수 있다. 정책 결정 계획은 보통 매우 특수한 곳에 적용시키기 위해 개발된다. 오염된 퇴적물을 관리하는 것은 다른 환경 정화, 회복보다 다양한 목적을 야기한다. 다른 목적들에는 항로의 건설과 유지, 급수를 받아들이는 곳에 퇴적된 퇴적물을 깨끗이 하는 것, 수로 내부에서의 건설, 저수지와 흐름제어, 급수, 재활용 또는 다른 목적을 위한 저수지로서의 활용 등이 있다. 오염된 퇴적물 관리의 모든 목적에 맞는 단 하나의 정책 결정 계획은 없다. 오염된 퇴적물 관리에 적용된 두 가지의 적용된 계획은 미육군공병단과 미환경보호청에 의해 개발된 기술적 관리 구조와 수퍼펀드 프로젝트를 위해 확립된 결정 구조가 있다.

그림 2-3-13은 미육군공병단과 미환경보호청에 의해 개발된 기술적 관리 구조로 Clean Water Act; Marine Protection, Research and Sanctuaries Act; 그리고 the National Environmental Policy Act(NEPA)간의 평균적인 요구들 도출하기 위해 계획 되었다. 이 구조는 오염된 준설 물질을 깨끗이 정화하는 것을 관리하기 위해 개발 되었으며 기존의 정책 결정 계획에서 발전 되었다. Corps/USEPA의 관리 구조는 여러 단계의 정책 결정 과정이다. 정화·복원 되어야 할 퇴적물의 정보는 처분 대안의 적용성을 복잡성의 증가 순으로 결정하기 위해 평가한다. 비오염화 되기로 한 퇴적물은 더 넓고 다양한 처분대안에 적용될 수 있고 평가 과정 초기에 결정될 수 있다. 정책 결정 구조에서 더 확장된 평가를 요구하는 오염된 퇴적물은, 추가적인 테스트를 하고 보통 더 적은 처분 옵션을 가진다. Corps 규정은 이 구조가 향해 프로젝트로 인한 준설물질의 관리와 Clean Water Act 의 섹션 404에 따른 준설 물질 방출을 위한 허가 프로그램의 운용에 사용 되도록 요구하고 있다.

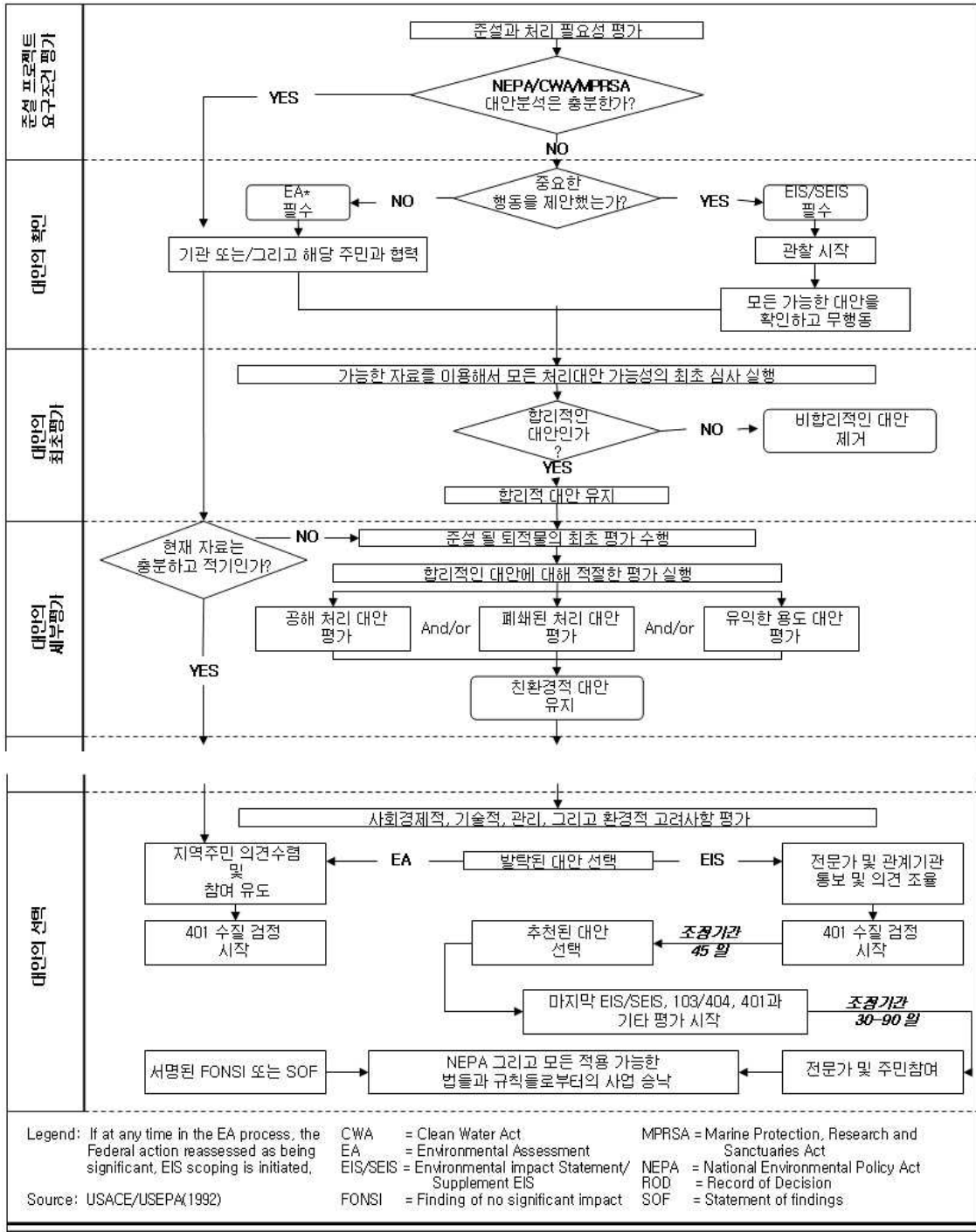


그림 2-3-13. 미육군공병단과 EPA의 오염퇴적물 정화복원 방법선택 결정구조³²⁾

32) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

수퍼펀드 프로젝트의 정책 결정 구조는 그림 2-3-14에 묘사되어 있다. 수퍼펀드 정책 결정 구조에는 두 가지의 주요 구성요소가 있다: 구체적인 조사와 실행가능성 연구 (RI/FS)이다. 오염된 퇴적물이 포함된 수퍼펀드 사이트에서 구체적인 조사는 다른 정보들과 함께 퇴적물의 성분과 오염물질의 확장성을 알 수 있다. 실행가능성 연구는 취급되거나 취급되지 않은 모든 합리적이고 구체적인 대안을 포함해야 한다.

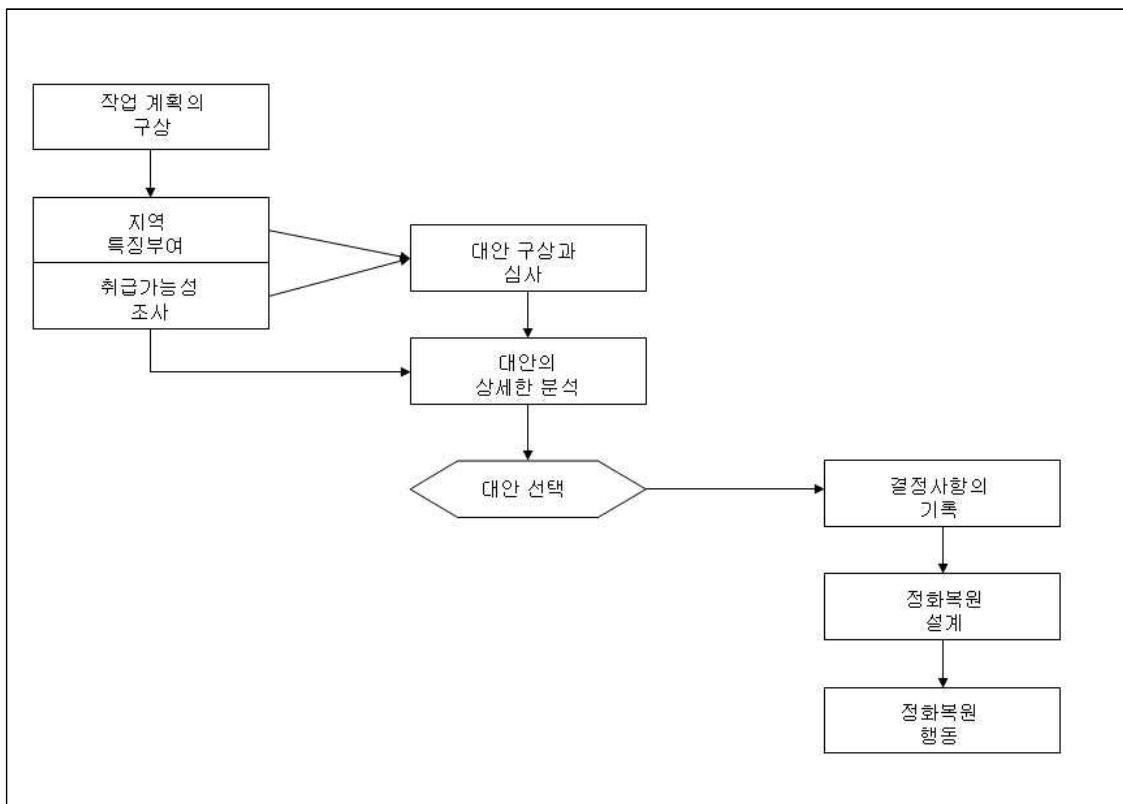


그림 2-3-14. Super Fund 프로젝트의 오염퇴적물 정화복원 방법선택 결정구조³³⁾

그림 2-3-15는 오염퇴적물 정화복원 방법 선택에 대한 접근방향의 사례로 미국의 환경청과 육군공병단에서 주로 사용하는 방법 중의 하나이다. 각각의 접근방법은 이익과 불이익이 있다. 수평적인 접근방법을 선택하게 될 경우 다양한 오염퇴적물 정화복원 방법을 동일한 조건에서 평가하여 최적의 조건

33) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

을 선택할 수 있는 장점과 다양한 옵션을 비교하여 다양한 방법을 선택적으로 적용이 가능하다. 그러나 많은 정화복원 방법에 대해 개별적으로 평가를 내리기 위해서는 그만큼 비용과 시간이 투자되어야 하기 때문에 빠른 판단이 요구되는 오염퇴적물 관리를 위해서는 부적절한 경우도 발생할 수 있다. 그에 반해 수직적인 접근방법은 현재 가용한 예산 및 기술적 가능성이 높은 정화복원 방법을 기준으로 하여 대상지역 현황에 따라 보충적인 성격의 정화복원 방법을 추가 선택하여 시행할 수 있다. 그러나 한정적인 방법을 채택하고 수행할 가능성이 높기 때문에 좀 더 미래지향적인 기술개발에 대해 소홀히 할 수 있다는 단점이 있다.

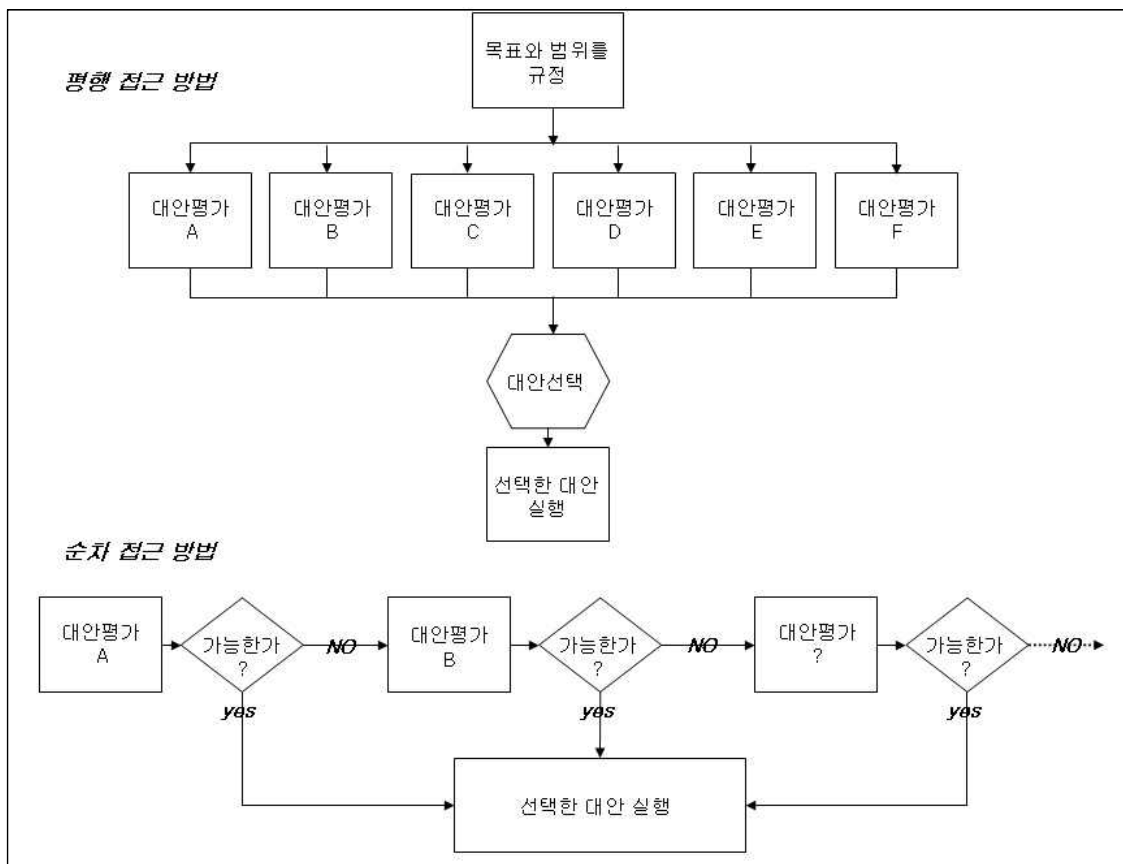


그림 2-3-15. 정화복원 방법 선택의 접근 방향 사례34)

34) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

라) 오염퇴적물 정화복원 사업실시설계

사업실시설계 단계에서는 설정된 예산과 선택된 정화복원 방법 등에 대하여 실시지역의 세부적인 설계도를 작성하는 과정이다. 사업 시행 전후의 환경모니터링 뿐만 아니라 사업 중의 환경모니터링과 발생가능성이 있는 다양한 사고대책과 관련된 매뉴얼이 필요하며 효과적인 시간 및 예산 배분을 통하여 시행계획을 수립해야 한다.

표 2-3-11. 오염퇴적물 정화복원 사업실시설계 주요 구성

예산 운용 계획	<ul style="list-style-type: none"> 장단기간의 정화복원 사업 관련 예산 운용 분배 사업공정과 예산시행 계획 	
세부 시행 계획	<ul style="list-style-type: none"> 사업방법에 대한 예비 및 시행 검사 및 시뮬레이션 사업대상 지역의 정화복원 세부 실시설계 	
	준설	범위, 심도(준설량), 방향, 공법, 처리방법 등
	표면피복	범위, 피복종류, 두께, 공법, 안정화방법 등
환경모니터링 계획	<ul style="list-style-type: none"> 사업 시행 후 공사중 및 공사후의 환경모니터링 방법 오염정화사업 효과검증 방법 	

4. 처리방안 체계도

해양오염퇴적물 정화사업을 효율적으로 추진하기 위하여, 다양한 처리방안, 국외 활용 사례, 처리방안 선정시 고려사항 등 검토결과를 기초로, 실제 정화사업 시 필요한 오염 현황 파악, 오염 평가, 오염원 제어, 정화, 처리 및 사후 관리 등 일련의 과정을 모두 포함하는 처리방안 체계도를 작성하였다(그림 2-3-16).

먼저 오염 현황 파악은 중앙정부의 현황조사, 기존 퇴적물 관련 조사 자료 또는 현지 주민의 신고 등에 의한 조사 및 검사(화학적, 생물학적, 저서생물 등)를 실시하여 해양오염퇴적물에 함유된 주요 오염물질을 평가하는 과정이다. 이 과정에서 해당 지역의 주요 오염물질과 오염원이 규명될 수 있으며, 이 결과에 근거하여 오염물질의 사용 중단, 배출규제, 하수관거 정비 등 오염물질을 감축하고, 제어하는 과정이 필요하다. 이러한 오염원 제어가 완료된 해역을 대상으로 정화사업 추진 여부를 결정할 수 있으며, 이 과정에서는 해역관리청, 관계기관 및 지역주민 등 모든 당사자의 의견을 수렴할 필요가 있다. 만약 정화사업 추진이 결정된다면 현장처리 또는 현장 외 처리에 대한 의사결정이 필요하다. 현장처리는 감시하 자연정화, 오염물질 고정, 피복 등 공법으로 처리할 수 있다. 현장 외 처리는 준설(수거)에 의해 해저면으로부터 오염된 퇴적물을 물리적으로 제거하여 처리하는 과정이다. 한편 우리나라에서 해양오염퇴적물의 수거는 해양환경관리법 제70조, 같은법 시행령 별표 11 해양환경관리업의 기술능력 기준 및 시행규칙 별표 14 해양환경관리업의 등록기준에 의거 펌프설비를 갖춘 퇴적오염물질수거업 등록 업체가 퇴적오염물질전용수거선 등 규정된 시설과 장비를 사용하여 수거하도록 규정되어 있다. 그러나 부산 용호만 등 퇴적오염물질전용수거선 사용이 곤란한 해역에서는 상기 이외의 수거 방법을 선정할 필요가 있다. 현장 외 처리의 경우, 수거 해양오염퇴적물의 탈수, 물리적 분리, 약취제어, 오염물질 제어 등을 위한 중간처리 공법과 중간처리 후 육상, 연안, 해상에서 고립처리 또는 매립 등을 위한 최종처리 공법을 사전에 검토하여 선정할 필요가 있다. 정화사업 동안 해양오염퇴적물의 수거, 이송, 처리 등 과정에서 2차 오염 여부, 오염물질의 유출, 확산 등을 관리하기 위하여 정화사업 현장감시 및 해

양환경 모니터링(수질, 퇴적물, 생물)이 필요하다. 또한 정화사업 종료 후, 사업효과를 평가하고, 재오염 여부 확인 등을 위하여 5년 이상 해양환경 모니터링이 요구된다.

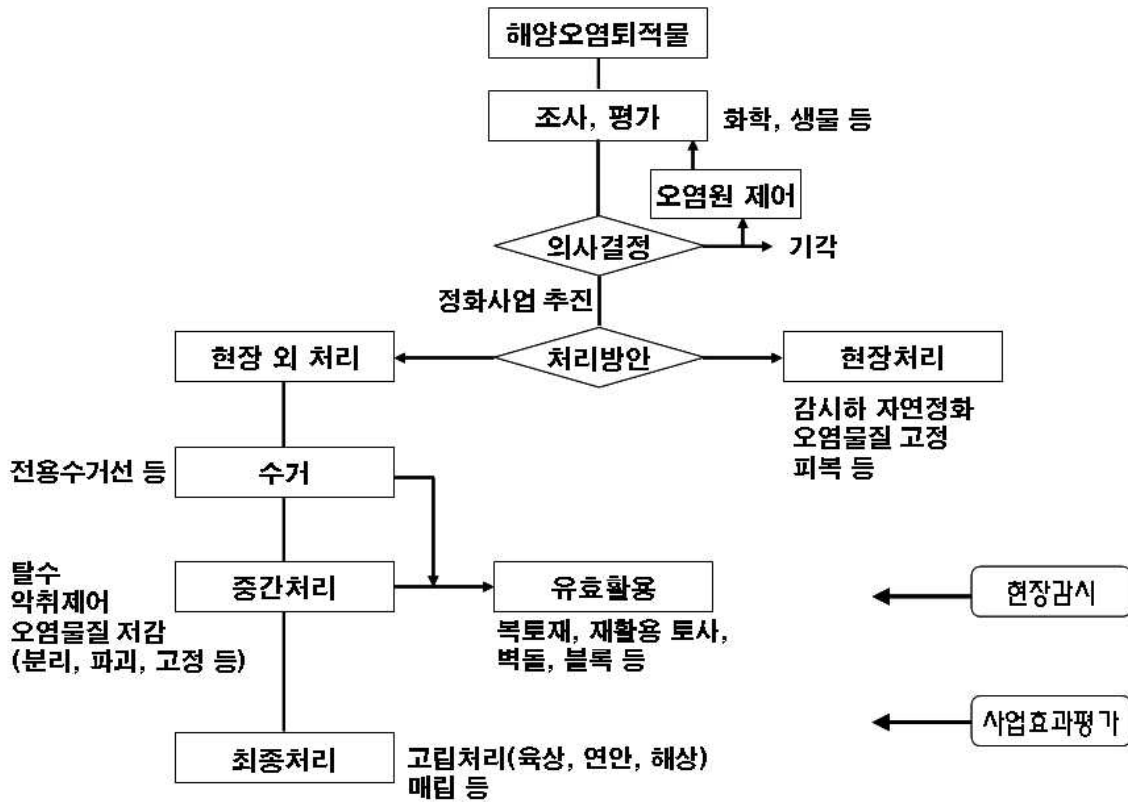


그림 2-3-16. 해양오염퇴적물 처리방안 체계도

제4절 해양오염퇴적물 정화사업 대상 해역별 적정 처리방안 검토

1. 개요

해양오염퇴적물 정화사업에서 현장 외 처리를 선택하는 경우, 해저면으로부터 오염된 퇴적물을 물리적으로 제거하는 준설(수거)하는 과정이 필요하다. 수거된 퇴적물은 전처리 및 (중간)처리 후 복토재, 골재, 벽돌, 블록 등 다양한 목적으로 재활용되거나 육상, 연안, 해양에서 매립 등 다양한 공법으로 (최종)처리된다. 현재 국내 해양오염퇴적물 정화사업에서 수거되는 퇴적물의 처리는 수거 후 탈수 등 전처리 후, 퇴적물에 함유된 중금속 등 오염물질의 농도에 따라 오염도를 저감시키는 (중간)처리를 한 다음, 인근 지역에 위치한 준설토투기장에서 매립하여 (최종)처리하고 있다. 준설토투기장은 전국적으로 무역항 및 연안항에 30여개소가 분포하고 있으며 항로준설, 유지준설 및 중심준설 등에 의해 발생하는 준설토를 투기하고 있다.

미국, 일본, 유럽 등에서 해양오염퇴적물의 처리는 현장처리와 현장 외 처리가 주로 사용되며, 제거된 퇴적물을 매립하여 처리하는 것이 일반적이다. 현장처리의 경우 플랜트를 갖춘 처리선박을 이용하는 방법과 오염된 수역을 폐쇄하거나 표면피복방법을 이용하여 봉입하는 방법 등이 대표적이다. 표면피복을 시행하는 경우에는 정화 대상 오염퇴적물과 해수의 직접적인 접촉을 피하기 위해 콘크리트 등 불투수성 재료를 사용하여 피복을 하여 공공수역과 완전히 차단하도록 하고 있다. 한편, 현장 외 처리의 경우, 준설(Dredging) 또는 굴삭(Excavation)을 통해 제거된 해양오염퇴적물은 육상, 연안 및 해양에서 매립 또는 투기된다. 제거된 해양오염퇴적물이 수은이나 시안 혹은 PCB와 같이 독성오염물질을 기준치 이상 함유하고 있는 경우엔 적절한 처리과정을 거쳐 오염물질을 저감시키거나 콘크리트 등을 이용하여 고형화를 시킨 후 오염물질의 누출을 방지하고 유해 폐기물 매립장에 처분하는 방법을 주로 선택하고 있다. 제거된 해양오염퇴적물은 화학적, 생물학적 오염도 평가 후, 그 오염도가 관련된 환경규정의 기준치 이하로 경미하거나, 적절한 처리과정을 거쳐서 상기 기준치를 충족하는 경우에는 경량벽돌 생산, 매립장 복토제로서의 활용 및 서식지 개발 등 경제적이고, 환경적인 측면에

서 다양한 목적으로 재활용되고 있다. 해양오염퇴적물에 대한 재활용 방법은 계획, 경제적인 가치, 특성 등에 따라 다르며 정치, 경제 그리고 환경적인 조건들이 만족될 때 재활용 재료로서 사용할 수 있다.

한편, 2008년 해양배출처리기준(해양환경관리법 시행규칙 제12조제2항 관련 별표9)이 강화됨에 따라, 수거 해양오염퇴적물은 기준 이상의 오염물질을 함유하고 있을 경우, 해양배출이 금지된다. 또한, 사회의 발전으로 인하여 육상 매립장 및 연안 준설토투기장의 수용량이 감소하고 있으므로, 해양오염퇴적물 정화사업의 원활한 추진을 위하여 수거 해양오염퇴적물에 적합한 처리 기술 및 재활용 방안의 개발과 보급이 시급히 필요한 것으로 판단된다.

2. 전처리(Pretreatment)

1) 운반 (Transportation)

해역에서 준설토(수거)된 퇴적물은 일련의 처리과정을 거치기 위해 운반된다. 관리자의 입장에서는 준설토 이후 운반에서부터 처리까지의 과정을 단순화하고 효율적으로 운영해야 비용의 절감과 발생가능성이 높은 2차 오염을 방지할 수 있다. 또한 처리과정에서 발생할 수 있는 지역주민과의 마찰 (소음, 악취, 교통량 증가 등)에 대해서도 관리를 해야 하는 여러 가지 어려운 점이 있다. 수거 해양오염퇴적물의 운반 방법은 다음과 같다.

- 파이프라인을 통한 운반: 준설토지역이 연안과 매우 가까울 경우 (대체적으로 수 km 이내인 경우) 파이프라인을 통해 준설토를 육상의 처리장까지 직접 운반할 수 있다.
- 바지선을 이용한 운반: 육상처리시설이 준설토지역과 거리가 멀 경우 일반적으로 사용되는 방법으로 준설토 오염준설토를 준설토기에서 바지선으로 운반하는데 일반적으로 준설토가 수분을 많이 함유하는 경우 이차오염 방지차원에서 주로 활용된다.
- 컨베이어 벨트를 통한 운반: 준설토지역이 육상처리시설과 매우 가까울 경우 (일반적으로 수백 m 이내인 경우) 혹은 바지선이나 기타 운반선을 통해 연안으로 운반된 준설토를 컨베이어 벨트를 통해 준설토를 운반한다.

- 육상교통수단을 통한 운반: 바지선이나 기타 운반선을 통해 연안항으로 운반된 준설토를 철도나 트럭 등을 통해 육상 처리시설로 운반한다. 일반적으로 많이 사용되는 방법으로 육상처리시설이 준설토의 침출수 등의 문제로 해양오염을 야기시킬 수 있기 때문에 대부분 내륙지역에 위치하고 이에 따라 준설토를 연안항에서 운반하여 처리공정을 거치게 된다.

해양오염퇴적물 관리자는 준설토지역과 육상 처리시설간의 거리, 교통 인프라 구축 현황 및 비용 등의 현황을 파악하여 보다 경제적으로 그리고 2차 오염을 방지할 수 있는 방안을 도출하여 준설토의 운반에 대해 세부적인 계획을 수립하여 시행하여야 한다³⁵⁾.

2) 전처리

전처리는 최종 처리에 앞서서 수거 해양오염퇴적물을 조정하거나 변화를 주는 처리 방안의 한 과정이다. 전처리를 하는 이유는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 처리(중간, 최종)를 위하여 처리 대상물을 조정할 필요가 있다. 대부분의 경우, 처리공정에서 퇴적물은 균질하여야 하며, 처리효율을 높이기 위하여 물리적 특성(고형물 함량, 입경 등)은 좁은 범위 이내로 조정되어야 한다. 두 번째, 운반, 중간처리 및 최종처리의 효율을 높이기 위하여 대상이 되는 퇴적물의 부피와 무게를 감축할 필요가 있다. 일반적으로 최종처리과정은 유사한 특징을 가지는 물질별로 구분하여 수행되는 것이 그 효율성을 높일 수 있기 때문에 이러한 전처리과정을 통해 모래(Sand), 니질(Silt), 점토질(Clay) 등으로 퇴적물의 성상을 구분하여 처리한다. 입경이 작아질수록 표면적이 상대적으로 증가하기 때문에, 작은 입자일수록 오염물질들이 표면에 흡착되거나, 결합하기가 용이해진다. 그러므로 입경이 큰 모래의 경우, 오염물질을 함유하는 비율이 퇴적물 중 니질 또는 점토질에 비하여 상대적으로 적을 가능성이 높기 때문에 모든 퇴적물을 혼합하여 처리할 경우 그 효율이 떨어질 수 있다.

35) Churchward, V., E. Isely, and A.T. Kearney. 1981. National Waterways Study. Overview of the Transportation Industry. U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.

전처리는 주로 탈수(Dewatering)와 물리적 분리(Physical separation)로 나눌 수 있으며, 탈수는 수동 탈수(Passive dewatering), 기계식 탈수(Mechanical dewatering), 능동 휘발식 탈수(Active evaporation dewatering) 공법이 주로 사용된다. 각 공법의 특성은 다음과 같다.

- 수동 탈수 : 이 공법은 주로 자연적인 증발과 배수에 의해 수분을 제거하는 방법이다. 준설품질의 탈수는 전통적으로 고립형 처분장에서 1차 침전, 표면 배수, 증발 및 표면하 배수 등이 이루어져 왔다. 이 공법은 넓은 면적의 부지가 필요하며, 만약 퇴적물이 넓게, 얇은 막으로 펼쳐질 수 있으면 가장 효율적이다.
- 기계식 탈수 : 기계식 탈수는 하폐수 오니, 광물 가공에서 많이 활용되는 공법이다. 이 공법은 퇴적물을 압축하거나 수분을 제거하기 위한 에너지가 필요하며, 일반적으로 고형물 함량을 약 70%까지 증가시킬 수 있다.

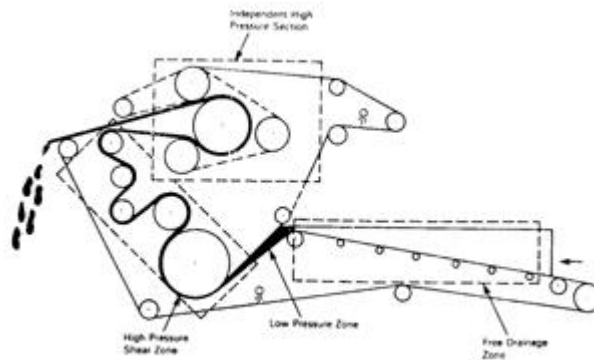


그림 2-4-1 벨트 필터 프레스의 예

- 능동 휘발식 탈수 : 능동 휘발식 탈수는 자연적인 증발에 의한 탈수와 달리 에너지 소모에 의한 열에 의해 퇴적물을 가열하여 수분을 강제로 증발시킨다. 비록 에너지, 비용 효과적인 방법이지만, 거의 대부분의 수분을 제거시킬 수 있으므로, 고형물 함량을 약 90% 정도까지 증가시킬 수 있다. 이 공법에서는 가능한 한 입자의 크기가 작을수록 효율적이다.

일반적으로 준설(수거)된 오염퇴적물은 수분을 많이 함유하고 있고, 그 수분에는 다양한 종류의 오염물질이 존재할 수 있으므로, 오염퇴적물 처리에 앞서 수분을 제거함으로써 오염물질의 분리 혹은 재처리 공정을 보다 효과적으로 처리할 수 있게 된다. 대표적인 탈수화 과정의 사례는 그림 2-4-1과 같다.

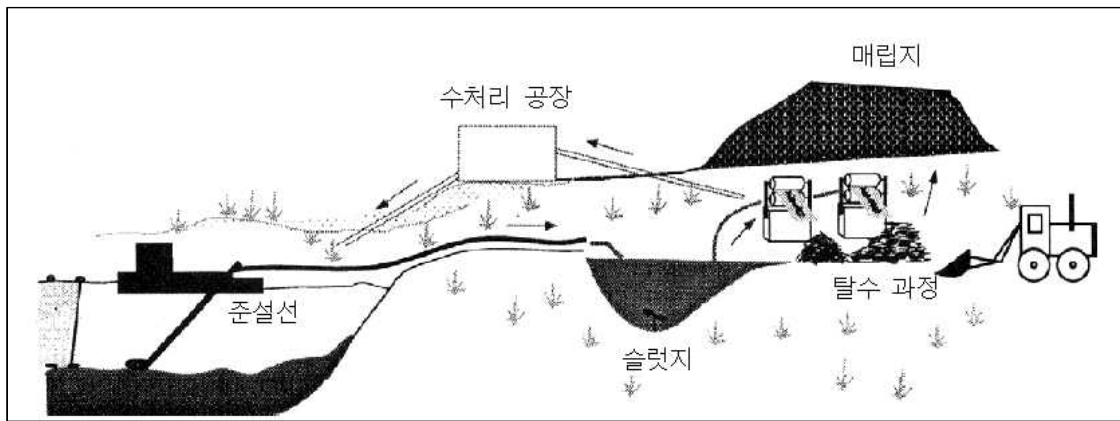


그림 2-4-2. 탈수화 과정의 사례³⁶⁾

퇴적물의 수분 함량에 따라 그리고 수분이 포함하고 있는 오염물질의 농도에 따라 탈수화 과정, 기기사용 및 탈수기간이 결정되는데 이러한 과정은 준설방법을 선택하게 될 경우 준설 그 자체의 비용에 부가되기 때문에 오염퇴적물을 준설방법을 활용하여 제거할 경우 이와 같은 비용증가 문제에 대하여 정확한 예측조사가 필수적이다. 또한 탈수화 과정 중에 진행될 수 있는 침출수의 유출이나 대기 중으로 오염물질이 확산될 수 있기 때문에 탈수화 과정 중 계속적으로 퇴적물의 2차 오염 방지에 주의해야 한다. 이와 같은 비용증가와 2차 오염의 문제점으로 토목섬유(Geotextiles)를 활용하여 오염퇴적물을 탈수 및 저장하는 공법이 주목을 받고 있다. 이 방법을 활용할 경우 처리물의 용량감소 측면과 오염물질 유출방지를 통해 무해화 측면에서 경제적이고 효율적인 방법으로 인정되고 있는 상황이다. 특히 용융처리과정 등 2차적인 처리과정이 필요하지 않기 때문에 오염준설토의 처리에 적합한 경제적인 방법으로 알려져 있다³⁷⁾. 토목합성재료는 1960년대 이래 구조물 공학, 지

36) EPA. 2005. Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites.

37) 오준영, 2004, Geosystem공법을 이용한 오염물질 탈수 및 보관처리 공법, 해양오염퇴적물관리워크샵.

반공학 등 토목공학 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며 미육군공병단 등이 참여한 건설자재개발 연구결과에서 밝혀졌듯이 이러한 공법은 환경보호의 관점뿐만 아니라 경비절감의 측면에서도 효율적인 것으로 알려져 있다³⁸⁾.

표 2-4-1. 토목합성재료 컨테이너 탈수 및 저장공법을 활용한 오염폐기물 처리사례

지역	처리 폐기물	비고
홍콩 Wan Chai 개발지역	PCB 오염 퇴적물	
미국 Badger 육군 탄약창	오염(납, 구리, 수은 등) 토양	2001년
미국 Scarborough Boat 항구	준설토	
미국 Kansas 시	하수 오니	2000년
미국 뉴올리언즈시	하수 오니	2001년
미국 볼티모아 시, Millenium plant	산업 sludge	2001년
콜롬비아 Buenaventura 항구	오염준설토	



그림 2-4-3. 토목섬유를 활용한 퇴적물 처리 사례³⁹⁾

38) 이희재, 2001, 국산지오텍스타일을 활용한 환경지오투브의 적용성 평가에 대한 연구, 인천대 대학원.

39) 이희재, 2001, 국산지오텍스타일을 활용한 환경지오투브의 적용성 평가에 대한 연구, 인천대 대학원.

물리적 분리는 잔재물 제거(Debris removal), 스크린 및 분리장치(Screen / Classifiers), 하이드로싸이클론(Hydrocyclones), 중력 분리(Gravity separation), 부상분리 (Forth flotation), 자석분리(Magnetic separation) 공법이 주로 사용되고 있으며, 각 공법의 특성은 다음과 같다.

- 잔재물 제거 : 수거 해양오염퇴적물은 상당한 양의 쓰레기, 자갈 등 협잡물을 포함하므로, 수거 과정 또는 수거 후 처리에 앞서서 분리하여 제거하는 공정이 필요하다. 다양한 처리공정에서 요구되는 투입물질의 크기는 표 2-4-2와 같다.

표 2-4-2. 처리기술에 따른 투입물질의 제한

처리기술	처리 가능 입경 (cm)	최적 고형물 함량 (%)
화학적 추출	0.6	>20
열 흡착	0.6	50-100
소각	15	95-100
화학적 처리	2.5	>80
고정화	15	>60
하이드로싸이클론		5-25

- 스크린 및 분리장치 : 스크린 및 분리장치는 하나의 단순한 장치로서 복합적인 탈수 공정에서 널리 사용되는 공법이다(그림 2-4-4).

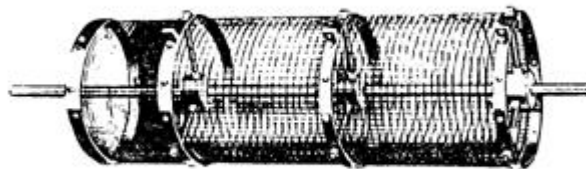


그림 2-4-4. 드럼형 스크린 장치의 예

- 하이드로싸이클론 : 하이드로싸이클론은 가장 널리 사용되는 분리장치로서 일반적으로 원통형 용기의 아래에 콘 형태로 구성되는 장치이다. 이 장치를 사용할 경우, 퇴적물을 조립질로부터 세립질까지 비교적 정확하게 입경별로 분리할 수 있다(그림 2-4-5).

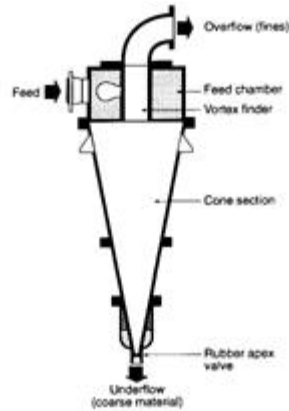


그림 2-4-5. 하이드로싸이클론 장치의 예

- 중력 분리 : 중력 분리 장치는 입자들의 밀도에 따라 분리시키는 장치로서 입자에 함유된 오염물질의 농도가 높을수록 오염되지 않은 입자들 보다 밀도가 높은 원리를 이용하여 입자를 분리한다.
- 부상분리 : 부상분리는 구리, 철 등 광물 원광석 가공에 주로 활용되는 공법으로서, 분리시킬 물질의 표면을 소수성으로, 나머지를 친수성으로 변환시킨 다음 공기방울을 주입하면, 소수성 물질이 공기방울의 표면에 흡착되어 부상하는 원리를 이용하여 선택적으로 입자를 분리시킨다.
- 자석분리 : 자석분리는 자성을 이용하여 철 등 금속류를 선택적으로 분리시키는 공법으로, 해양오염퇴적물의 수거나 처리에 활용되는 사례가 많다.

3. 처리(treatment)

수거 해양오염퇴적물이 매우 높은 농도의 유해물질을 포함하고 있는 경우 그대로 폐기 혹은 고립화시키기에 적합하지 않을 경우가 있다. 그러므로

수거 해양오염퇴적물에 함유된 오염물질의 종류, 특성, 농도, 분포 등에 따라서 처리하는 과정이 필요하다. 일반적으로 해양오염퇴적물의 처리는 함유된 오염물질을 저감시키는 과정으로 물리적, 생물학적, 화학적 또는 복합적인 기작(Mechanism)을 활용하여 처리하는 것이 일반적이다.

- 생물학적 처리 (Bioremediation): 생물학적 처리는 퇴적물내의 오염물질을 미생물의 생물학적 작용을 활용하여 분해시키거나, 독성을 낮추는 처리방법이다. 최근 미생물의 다양한 활용방안 연구를 통하여 많은 지역에서 생물학적 처리방법이 시행되고 있다.
- 화학적 처리 (Chemical Treatment): 화학적 처리방법은 해양오염퇴적물에 화학물질을 첨가하여 화학반응을 통하여 오염물질을 분리, 분해 또는 오염물질의 독성을 낮추거나 그 형태를 변형시키는 방법이다. 첨가제로는 주로 킬레이트화제, 산화제, 분산제, 탈염소제 등이 주로 사용되고 있다
- 추출/세척처리 (Extraction/Washing): 추출, 세척처리 공법은 물리적, 화학적 방법으로 퇴적물에 함유된 유기오염물질 또는 중금속 등 오염물질을 용출시켜 분리하거나, 특정 오염물질을 선택적으로 추출하여 제거하는 공법이다.
- 고정화/안정화 처리 (Immobilization/Stabilization): 고정화/안정화 처리는 퇴적물의 물리적, 화학적 특성을 변화시켜서 함유된 오염물질이 외부로 유출되지 않도록 처리하는 공법이다. 이 공법은 퇴적물의 물리적, 화학적 상태를 변화시켜서 퇴적물에 함유된 오염물질의 이동성 (Mobility)을 억제하거나, 독성을 저감시키기 위하여 첨가제를 사용하여 가공하는 과정이 필요하다. 퇴적물에 포틀란트 시멘트 등 고화제를 첨가 가공하여 블록, 벽돌 등 고형물질을 형성시키는 것이 이 공법의 사례다.
- 열처리기술 (Thermal Treatment): 열처리기술은 퇴적물에 매우 높은 온도를 가하여 열적 탈착, 열분해, 소각 열 탈기, 소결 등 다양한 방법으로 처리하는 공법이다. 열처리기술은 퇴적물에 함유된 유기오염물질 제거에는 효율적인 방법이지만, 비용 효과적(Cost effective)이며, 중금속 등 무기물질을 처리하기에는 다소 제약이 된다.

한편, 수거 해양오염퇴적물은 해역별 특성에 따라 자갈이나 모래 등 골재로 재활용할 수 있는 성분이 포함되어 있는 경우가 많기 때문에, 퇴적물의 오염정도에 따라 적절한 처리 후, 처리산물을 재활용하는 사례가 많다. 미국에서는 조류, 어류 등 생물의 서식지 조성, 모래가 유실되는 해안의 모래공급(양빈) 등에 퇴적물을 재활용하고 있으며, 일본에서는 퇴적물을 이용하여 수중잡제를 조성하여 해역의 수온을 유지하거나 오염된 퇴적물의 복토용으로 재활용하고 있다. 유럽의 경우 퇴적물을 기존 토양과 적절하게 혼합하여 영양분이 풍부한 표토 또는 고품화 처리 후 생산된 골재를 다양한 목적으로 재활용하고 있다. 국내에서도 퇴적물에 다양한 혼합물질을 이용하여 점토블록을 제작하거나⁴⁰⁾, 인공서식지 조성을 위한 활용방안⁴¹⁾과 관련된 연구가 진행되고 있으며, 해양오염퇴적물 정화사업이 고려되고 있는 해역인 울산 방어진과 진해 행암만에서 채취한 퇴적물을 시멘트로 고화처리하여 생산한 블록, 경량토 등의 활용 가능성이 보고⁴²⁾되었다. 그러므로 수거 해양오염퇴적물을 환경에 미치는 영향을 최소화시키는 적절한 처리 후, 상기와 같은 다양한 목적으로 재활용하는 것이 환경적, 사회적, 경제적인 면에서 타당한 것으로 사료된다. 이를 위하여 중앙정부 및 관련 당국의 정책적인 지원과 대책마련이 절실하다.

수거된 해양오염퇴적물을 최종처리(처분)하는 방법은 개방수계 투기, 재활용, 폐쇄수계처분장(Confined Aquatic Disposal, CAD) 이용, 폐쇄처분장(Confined Disposal Facility, CDF) 이용, 육상매립장 또는 폐기물매립장에서 매립 등 크게 5가지로 분류할 수 있다. 해양오염퇴적물에 포함되어 있는 오염물질의 처리과정은 이차적으로 세척/추출, 분리 등 처리기술을 이용하여 추가 처리 대상이 되는 퇴적물의 양을 감축시키고 적절히 분류하여 재활용하며 이차적으로 중금속 등 고농도로 오염된 퇴적물을 별도로 분리하여 처리하는 것이 일반적이다. 그러나 현재의 처리기술은 유기오염물질 혹은 중금속 등의 특정 오염물질별로 특화되어 있으며, 일부 방법들은 여러 종류의 오염물질을 동시에 처리할 수 없고, 특정 조건 또는 환경에서 특정 퇴적물의 처리에 최적화되기 때문에, 해역별 퇴적물에 따라 처리조건을 조정할 필요가

40) 한국건설기술연구원, 2003, 호소 및 하천의 퇴적오니 분포조사 및 환경친화적인 준설 및 재이용 기술개발.

41) 한국해양연구원, 2002, 준설토 재활용방안 연구.

42) 국토해양부, 2009, 해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발(II)

있다. 그리고 퇴적물에 존재하는 다른 오염물질로 인해 처리과정 중 예기치 않은 반응 기작이 일어나는 등 문제점이 발생할 수 있다. 그러므로 상기와 같은 문제점들이 있기 때문에 경제성과 오염물질의 처리 효율성 등을 감안하여 폐쇄처분 등 다양한 방법으로 최종 처리하고 있다.

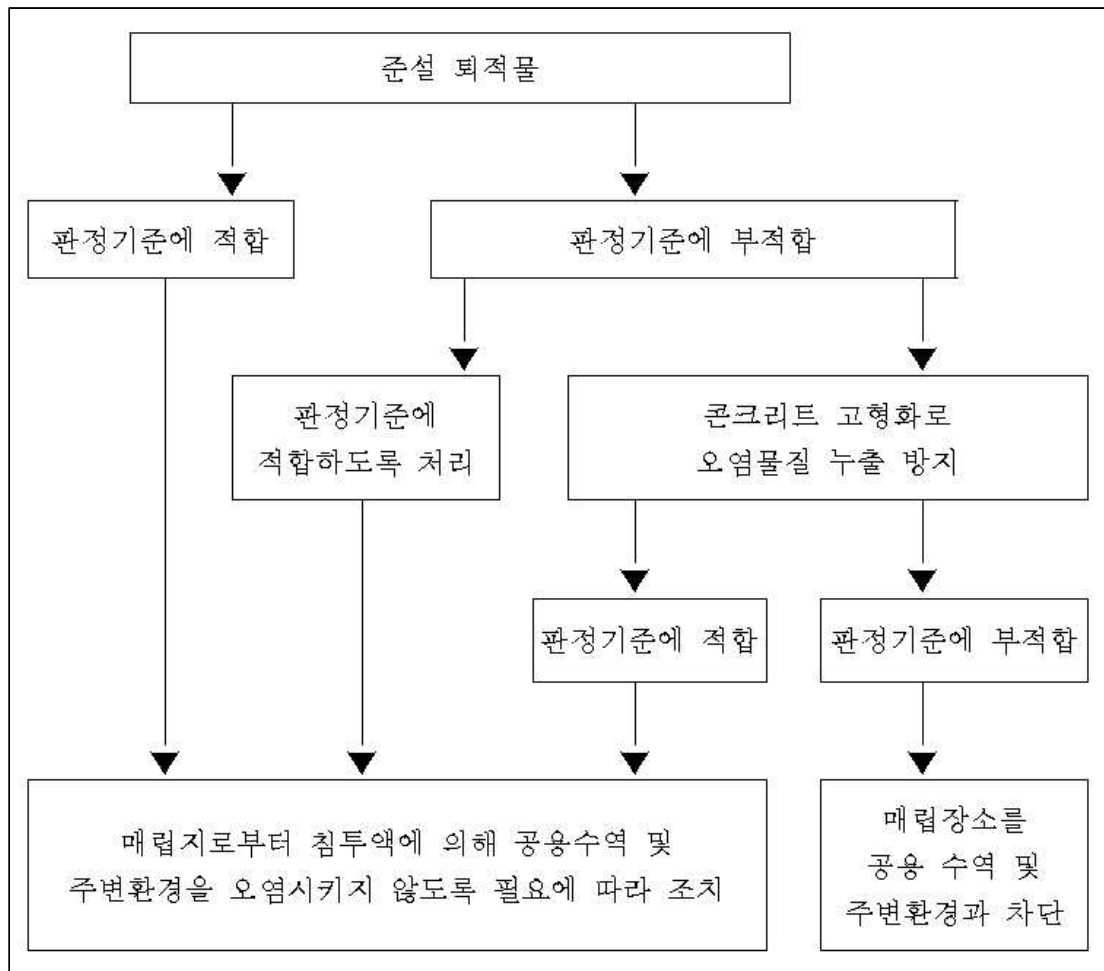


그림 2-4-6. 준설퇴적물의 처리 기준 방안⁴³⁾

- 표면피복 또는 봉합: 개방수계에 투기하는 경우, 환경에 대한 장기적인 악영향을 감소시키기 위한 방안으로는 다양한 피복재를 이용하여 현장에서 피복하거나 준설을 통해 퇴적물을 제거한 후 폐쇄수계처분장이나 폐쇄처분장에 투기한 후 봉입하는 방법이 사용될 수 있다. 봉합은 봉합

43) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

재료에 따라서는 매우 심하게 오염된 퇴적물에는 부적절할 수도 있지만 시행의 용이성, 추가적인 처분지의 불필요, 상대적으로 낮은 비용, 효과적인 오염물질 봉쇄 효능 때문에 실용성이 크다. 그러나 장기적인 관점에서의 효용성, 향후 투기지역의 정화가 재요구될 경우 문제가 복잡해 질 수 있다는 단점이 있다.

- 매립: 매립은 오염이 매우 심각한 퇴적물 또는 처리 과정 후 발생한 잔여물을 처분할 때 고려될 수 있다. 위해 가능성이 있는 오염퇴적물 또는 오염퇴적물 잔여물은 반드시 유해폐기물 매립장을 이용해야 하며 이는 미국이나 일본 모두 유해폐기물 관리규정에 의해 관리하고 있다. 준설된 오염퇴적물의 매립은 일반적으로 다량의 수분을 감소시키기 위한 탈수 등의 전처리 처분량의 감소를 위한 오염물질의 처리 과정 등이 요구되기에 많은 비용이 소요된다.
- 폐쇄처분장: 폐쇄처분장은 미국에서 오염퇴적물 처분을 위해 가장 전통적으로 사용되는 방법으로 준설퇴적물이 외부로 유출되지 않도록 차단벽이 설치된 폐쇄형 구조를 가지고 있으며 퇴적물을 투기하는 투기구역과 여수처리를 위한 구역으로 구성되어 있다. 폐쇄처분장은 대부분 육상에 설치되며 필요에 따라서는 수변지역 또는 완전히 물에 둘러싸인 수역에 폐쇄수계처분장의 형태로 설치되기도 한다. 처분장은 오염물질의 누출이 최소화되도록 설치되어야 하고 처분장의 구조가 유지되어 누출이 발생하지 않도록 관리되어야 한다. 폐쇄처분장 설계의 일차적인 목적은 오염물질과 고형물질의 보유이다. 오염물질은 침출수의 형태로 처분장의 바닥을 통과하면서 또는 처분장의 제방을 통해 침투, 대기로의 휘발 등에 의해 오염도가 저감된다. 퇴적물의 처분지가 물에서 멀리 떨어져 조류의 영향권 밖에 있는 경우에는 지상으로의 이동이 필요로 하게 되며, 준설 중, 이동과 이동 후, 하역 중, 매체에 의한 이송 중에 오염물이 방출될 위험이 있는 것은 폐쇄처분장 운영에의 단점으로 지적되고 있다.

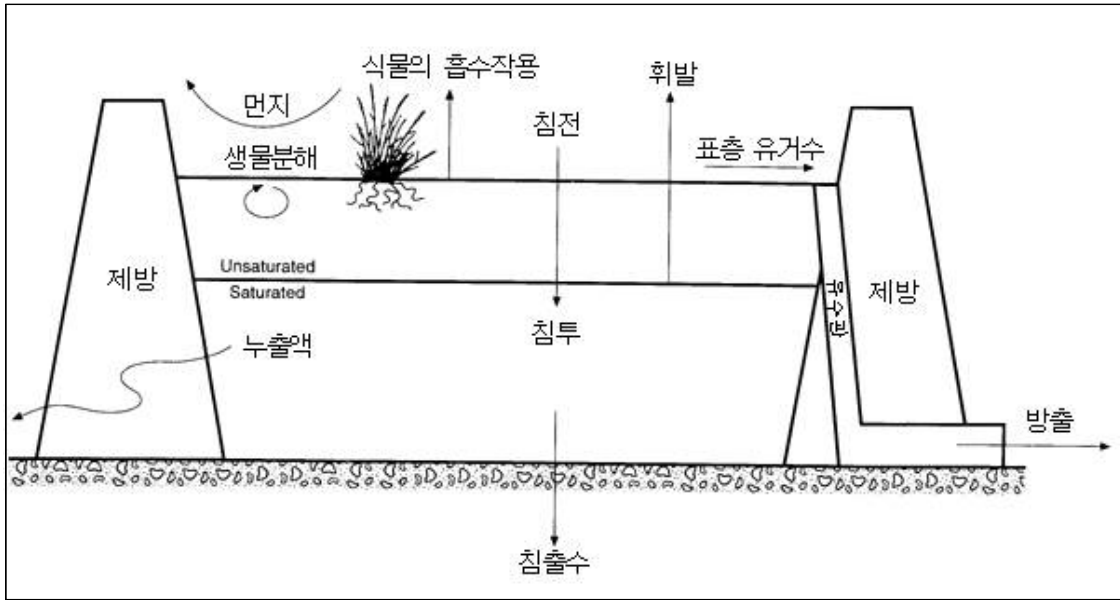


그림 2-4-7. 폐쇄처분장의 오염물질 순환 개념도44)

4. 외국의 해양오염퇴적물 처리 사례

1) 미국의 해양오염퇴적물 처리 사례

미국에서의 퇴적물 관련 기준은 준설된 퇴적물을 수계에 투기하기 위해 현실적으로 필요한 퇴적물 투기기준의 설정에서 비롯되었다. 최초의 투기기준은 1973년 미국 환경보호청이 준설퇴적물을 관리하기 위해 마련된 연방수질국의 오염평가방법과 기준이다. 준설퇴적물의 경우에도 종합적인 독성평가를 통하여 조사한 후 연방정부 혹은 지방정부 차원의 평가방법에 따라 평가한 후 기준을 초과하면 수계에 악영향을 미칠 것으로 판단하여 투기를 허용하지 않거나 투기 전에 적절한 처리를 요구하고 있다. 준설퇴적물의 투기를 위한 평가는 단계적으로 수행되며 각각의 단계마다 투기대상의 준설퇴적물이 환경에 미치는 영향, 특히 저서생물에 미치는 영향을 정확히 판단할 수 있도록 자세한 분석과 조사를 요구하고 있으며 이러한 단계화된 영향평가는 기존의 자료를 효과적으로 이용할 수 있고 불필요하게 많은 검사를 요구하지도 않으며 환경에 대한 악영향을 정확히 파악할 수 있는 검사체계라는 장점이 있다(표2-4-4).

44) EPA. 2005. Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites.

표 2-4-3. 미국의 퇴적물 오염평가 방법⁴⁵⁾

방법	주요 내용
퇴적물 독성	독성오염물질을 함유한 퇴적물에 실험대상 생물을 일정시간 노출시켜 생물의 반응과 생물학적 독성실험을 통하여 퇴적물의 독성을 측정
공극수 독성	퇴적물 공극수의 독성을 화학적 분석을 통하여 정량화한 후 독성원인물질 파악
조직잔여 검사	특정오염물질에 대해 생물조직에 악영향이 없는 수준의 안전한 퇴적물에 함유된 오염물질 농도를 경정, 허용기준 이상의 잔여 농도는 만성수질기준, 생물농출계수, 만성 오염물질 반응실험 등을 통하여 검사
저서생물 군집검사	오염된 퇴적물에 의한 해양저서생물 군집구조 변화양상 파악
종합적 퇴적물 오염평가	같은 퇴적물에 대해 퇴적물 오염물질 농도 퇴적물 독성, 저서생물 군집변화 조사, 퇴적물 오염물질 농도, 퇴적물 독성과 생물학적 영향을 비교하여 생물에 대한 악영향 정도를 파악하여 종합적으로 퇴적물의 오염도 평가

45) US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

표 2-4-4. 준설퇴적물의 투기를 위한 단계별 영향 평가⁴⁶⁾

단계	평가	수층	저층
1	<기존자료분석> 기존의 자료분석을 통해 준설퇴적물의 악영향 가능성 평가	<ul style="list-style-type: none"> • 악영향 가능성에 대한 전반적 판단 • 다음단계에서 고려 또는 배제해야 할 오염물질 선택 • 악영향 가능성이 없는 오염물질 배제를 위한 제한적 실험 	
2	<화학적 분석> 수층과 저층 퇴적물의 화학분석을 통한 스크린	<ul style="list-style-type: none"> • 수층의 오염물질 농도측정 및 모델 • 수질환경기준과 비교 	<ul style="list-style-type: none"> • 유기오염물질의 이론적인 생물농축 가능성 평가 • 관련 환경기준과 비교
3	<생물학적 분석> 일반적인 독성검사와 생물농축 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 수층 오염물질의 독성 측정: 혼합작용 후 단기적 독성 검사 	<ul style="list-style-type: none"> • 퇴적물에 대한 독성 및 생물농축 검사: 단기적 독성평가
4	<생물학적 분석> 사안의 특성에 적합한 독성검사 및 생물농축 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 사안특성에 따라 수층오염물질의 장기적 독성영향검사 (현장검사 병행) 	<ul style="list-style-type: none"> • 사안특성에 따라 저층퇴적물 및 저서생물의 장기적 독성영향검사 (현장검사 병행)

1980년 폐기물에 의해 오염된 환경을 복원하기위한 법률(The Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act: CERCLA)을 제정한 이후, 이 법률에 근거하여 조성된 슈퍼펀드(Superfund)를 재원으로 현재까지 약 150곳의 오염지역을 정화·복원하였다. 정화·복원한 지역 중 11곳은 각 지역에서 정화·복원 비용만 5천만\$가 넘는 대규모 오염지역이었다. 전체 오염퇴적물 처리·처분을 실시한 지역 중 122개 지역의 오염 원인물질은 난분해성 미량 유기오염물질인 폴리클로리네이티드비페닐(PCBs, 20.7%)과 다환방향족탄화수소류(PAHs, 7.4%), 비소(5.2%), 납(3.7%) 등 중금속 그리고

46) USEPA & USACE, 1991, Evaluation of Dredged Material Proposed for Ocean Disposal-Testing Manual.

난분해성 독성물질인 DDT(4.4%), 다이옥신(1.5%) 등 17종류였다. 이러한 오염지역에서 사용된 처리기술은 현장 처리(on-site treatment/disposal)과 현장 외 처리(off-site treatment/disposal) 등 11개 기술을 기초로, 한 가지 또는 몇 가지 기술이 함께 사용되었다. 상기 오염지역에서 사용된 처리기술 현황을 표 2-4-5에 나타내었다.

표 2-4-5. 오염퇴적물 정화·복원 지역에서 사용된 처리기술 현황⁴⁷⁾

차례	처리 기술	사용현황 (건)	비율 (%)
1	현장 피복	1	0.8
2	기타 현장 처리(중간, 최종)	1	0.8
3	매립	36	28.3
4	지오투브 처리 후 매립	2	1.6
5	고화처리 후 매립	3	2.4
6	안정화 처리 후 매립	5	3.9
7	건조 후 재이용 및 최종처리	1	0.8
8	열처리 후 최종처리	3	2.4
9	소각 후 최종처리	2	1.6
10	처리시설에서 처리 후 최종처리	6	4.7
11	수중 고립 최종처리	6	4.7
12	기타 (미보고)	66	48.0
사용된 기술 총계		127	100

슈퍼펀드 오염지역에서 주로 사용된 처리기술은 매립으로, 단순 매립과 적절한 처리 후 매립이 46건 (36.2%)이며, 고화처리 등 중간처리 후 최종처리(처분)이 12건 (9.5%)이다. 또한, 수중 고립 처분이 6건 (4.7%)이며, 현장 처리/처분은 2건 (1.6%)으로써, 그 사용 빈도가 매우 낮다. 각 오염지역의 정화·복원에서 전체 비용 중 각 기술별 소요 비용이 차지하는 비율을 정리하여 표 2-4-6에 나타내었다.

47) [http://yosemite.epa.gov/r10/CLEANUP.NSF/PH/Technical+Documents/\\$FILE/Overall_Status_Summary.pdf](http://yosemite.epa.gov/r10/CLEANUP.NSF/PH/Technical+Documents/$FILE/Overall_Status_Summary.pdf)

표 2-4-6. 전체 비용 중 각 기술별 소요 비용의 비율⁴⁸⁾

기술명	사용 수 (건)	평균 (%)	최소 (%)	최대 (%)	표준편차 (%)	중앙값 (%)
피복	6	24.26	0.24	63.68	24.93	19.78
수계 고립	5	11.52	0.49	26.09	9.20	10.39
찌꺼기 제거/처리	4	4.10	1.85	6.20	1.79	4.18
환경 모니터링	4	5.38	1.25	11.73	4.92	4.26
굴착	18	33.17	2.96	100.00	27.58	26.53
매립	18	19.71	4.98	45.95	11.44	17.39
흡착 / 탈착	8	16.66	1.92	39.46	15.03	13.18
지역 관리	7	11.96	3.14	18.19	6.33	14.73
토양 처리	9	23.06	3.27	69.38	18.86	22.06
지역 처리장	9	6.71	0.80	19.57	5.76	5.20
지역 저장	7	3.24	0.42	15.56	5.51	0.87
투입비용	1	10.56	10.56	10.56		10.56
운송	3	25.52	7.37	58.23	28.39	10.94
수처리	11	9.85	0.77	35.50	10.38	6.16

전체 비용 중 굴착(33.17%)과 매립(19.71%) 그리고 운송(25.52%) 비용이 많은 부분을 차지하며, 피복(24.26%)과 토양처리(23.06%) 순으로 비용이 소요된다. 또한, 소요되는 비용은, 처리할 부피가 증가함에 따라 단위 부피당 처리 비용이 감소하는 것으로 나타났다. 각 오염지역에서 사용한 처리(중간, 최종) 기술별로 소요되는 단위 비용은 표 2-4-7과 같다. 수처리를 제외하면, 각 기술별 단위 비용은 수력 준설(56.58 \$/cubic yard)과 건조 굴착(63.01\$/cubic yard)이 가장 저렴하다. 이와 반대로, 습식 굴착(98.96 \$/cubic yard), 굴착(153.66 \$/cubic yard) 그리고 TSCA 매립장 매립(187.96 \$/cubic yard) 비용이 높게 나타났다. 또한, 매립은 최소 비용과 최대 비용 사이에 편차가 매우 크지만, 평균은 70.62 \$/cubic yard(중앙값은 50.85 \$/cubic yard)로서 다른 기술에 비하여 상대적으로 단위 비용이 저렴하다. 이런 이유 때문에 전체 사용된 처리기술 중에서 매립이 가장 많이 사용되었다.

48) Trudy J. Estes, "Environmental dredging project costs? The mystery, the mystique...the muddle", 4th International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, 2007 January, Savannah, USA

표 2-4-7 각 오염지역에서 사용된 처리·처분 기술별 단위 비용⁴⁹⁾

기술명	사용 수 (건)	평균 (\$/cy)	최소 (\$/cy)	최대 (\$/cy)	표준편차 (\$/cy)	중앙값 (\$/cy)
건조 굴착	5	63.01	11.33	123.63	47.57	43.65
굴착	18	153.66	11.39	735.39	213.50	71.03
수력 준설	8	56.58	11.47	176.46	59.05	30.94
매립	15	70.62	1.89	199.97	64.58	50.85
기계적 준설	5	69.77	11.55	197.96	75.68	43.65
지역 관리	7	80.97	0.88	216.63	80.94	92.86
전체 경비	59	572.81	8.91	3,010.3	695.34	333.63
TSCA 매립	10	187.96	9.24	439.51	129.54	177.39
수처리	11	0.04	0.0026	0.15	0.05	0.03
습식 굴착	3	98.96	34.49	177.26	72.39	85.13

2) 일본의 해양오염퇴적물 처리 사례

일본은 아직까지 미국처럼 저서생물 보호를 위한 퇴적물 환경기준 또는 지침이 개발되지 않은 상태이다. 그러나 유기물 또는 유해물질로 오염되어 수질이나 어패류에 악영향을 미칠 가능성이 있는 퇴적물의 제거 여부를 판단하는 기준으로서의 퇴적물 제거 기준은 설정되어 있다. 일반적으로 유기물이나 영양염류 등에 의해 오염된 유기오염퇴적물에 대해서는 용수이용 목적, 자연환경적인 특성 등을 고려하여 단위 사업별로 퇴적물과 준설토의 관리기준을 설정하고 있다⁵⁰⁾. 준설 등으로 제거된 퇴적물의 처리방안은 해당 퇴적물이 존재하는 수역을 폐쇄한 후 복토에 의해 봉입하거나 복토만에 의해 봉입하는 방법, 준설 또는 굴삭 후 처리지 등으로 수송하여 보관 또는 처분하는 방법 등을 활용하고 있으며 신규 기술의 채용에 있어서는 실험시공을 시행하는 등 신중히 수행하고 있다. 제거 퇴적물의 입도, 강열감량 등을 측정하며, 해당 제거 퇴적물의 성상을 파악함과 동시에 해당 수역의 지형, 해상, 해류의 현황 및 조업 시기, 어류 현황 등을 고려하여 기준에 적합한 퇴적물의 처리를 관리하고 있다.

49) Trudy J. Estes, "Environmental dredging project costs? The mystery, the mystique...the muddle", 4th International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, 2007 January, Savannah, USA

50) 이창희, 김은정, 1998, 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안, 한국환경정책·평가연구원, pp.54-56.

표 2-4-8. 일본의 준설퇴적물 처리방법에 따른 주요 고려사항

처리방법	주요 고려 사항
해역 매립	<ul style="list-style-type: none"> 일본의 해양오염방지법 시행령(1971년 정령 201호)에 의거하여 매립장소에서 제거 퇴적물 및 해수가 해역에 유출 또는 침출되지 않도록 보호 암반, 기타 시설을 계획 시안을 함유하는 제거 퇴적물은 「해양오염방지법 시행령 제5조 제1항에서 규정하는 매립장소 등에 배출하려고 하는 유해폐기물과 관련된 판정기준을 정하는 총리부령」(1973년 총리부령 제6호)의 제3조에서 정하는 판정기준에 적합한 상태로 매립
육상 매립	<ul style="list-style-type: none"> 제거 퇴적물을 육상 등에 매립하는 경우는 「유해 산업폐기물에 관한 판정기준을 정하는 총리부령」(1973년 총리부령 제5호)의 제1조에서 정하는 판정기준 (이하 「판정기준」 이라 한다)에 의하여 처리
봉입	<ul style="list-style-type: none"> 지하수에 관계된 공사 착공 전의 조사결과가 별도로 정하는 기준에 부적합한 수역에서는 봉입과 같은 처리는 시행 금지 봉입을 행하는 경우 제거 퇴적물과 물의 직접적인 접촉을 방지하기 위해 콘크리트 등의 불투수성 재료를 사용하여 완전히 피복을 하거나, 또는 실판 등으로 처리지역을 공공 용수역과 차단하지 않는 방법을 사용

제거 퇴적물의 입도, 강열감량 등을 측정하며, 해당 제거 퇴적물의 성상을 파악함과 동시에 해당 수역의 지형, 해상, 해류의 현황 및 조업 시기, 어류 현황 등을 고려하여 기준에 적합한 퇴적물의 처리를 관리하고 있다. 제거 퇴적물의 처리는 해역에서 선박으로 매립하는 방법, 육상에 매립하는 방법, 그리고 표면피복방법을 사용하여 봉입하는 방법 등을 주로 수행하고 있다(표 2-4-8)⁵¹⁾. 또한 일본은 퇴적물질의 효율적인 관리를 위하여 “준설토사의 해양투기 및 유효활용에 관한 기술지침”(2006년(H16) 6월, 국토교통성 항만국)을 제정하였다. 이 지침은 준설토사 등으로부터 제거된 퇴적물질을 처리가 가능한 부분까지 처리하여 재활용하고, 폐기물로서 해양에 배출되는 양을 최대한 감축하기 위한 것이다. 상기 지침의 시행으로 준설토에 의해 제거된 퇴적물은 다양한 처리기술로 처리 후 여러 목적으로 재활용되고 있으며, 매립 등 최종 처리량은 지속적으로 감소되고 있다. 처리된 퇴적물은 주로, 토지조성을 위

51) 일본 환경청환경법령연구회, 1998, 퇴적물 처리 및 처분 등에 관한 잠정지침.

한 항만매립, 복토재로 사용, 해안선 보전을 위한 양빈, 간석지 조성 등의 목적으로 재활용되고 있다.

일본에서 주로 사용되는 오염퇴적물의 처리기술은 분리, 탈수·건조, 안정화, 소성가공 등으로 크게 네 가지로 구분할 수 있다. 이 중 고도안정처리나 소성처리는 건설오니를 대상으로 개발이 진행된 기술인데, 처리비가 다소 비싸다는 점을 제외하면 오염퇴적물에도 충분히 적용 가능한 기술이다. 그러나 오염퇴적물의 소성처리를 위해서는 전처리로서 탈염공정이 필요하다. 오염퇴적물 처리기술은, 지금까지 각 지방 정비국 또는 관련 단체 등을 중심으로 개발이 계속 진행되고 있다. 일본에서 주로 사용되는 오염퇴적물 처리기술을 정리하여 표 2-4-9에 나타내었다.

표 2-4-9 일본의 오염퇴적물 처리기술의 개요⁵²⁾

공법분류	기술명	대상 토질	개량토 품질
	분리처리	사질의 퇴적물이 대상	분리에 의해 사질토를 얻을 수 있으며, 분리 가능한 입경은 0.02~0.3mm이상임
탈수·건조처리	토목탈수 기술	탈수: 자갈, 모래자갈, 모래 등의 조립토 자연건조: 사질토, 점성토 가능 (교반이 없으면 효과 저하)	Traffic-ability를 얻을 수 있는 콘 지수가 품질 개선의 목표임
	기계탈수 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 가압탈수 필터프레스: 75μm이하(모래는 사전에 제거) • 벨트프레스: 5mm이하 정도 • 진공탈수: 5mm이하 정도 • 원심탈수: 5mm이하 정도 	제4종 개량토 (콘 지수 200 kN/m ²) 정도를 목표로 함
	고도기계탈수기술	<ul style="list-style-type: none"> • 고압 드럼 프레스 모래 분리 제거는 불필요(입경 5mm이하) 가압 처리는 불필요(함수비 100%~) • 고압 필터프레스 모래는 사전에 제거(입경 75μm이하) 오니의 함수비가 낮은 경우는 가수 처리 	제3종 개량토 (콘 지수 400 kN/m ²)로 사용가능

52) <http://www.recycle-solution.jp/2003-report.pdf/2-SHO.html/2-11.pdf#search='浚渫土砂 発生量'>

표 2-4-9 (계속)

공법분류	기술명	대상 토질	개량토 품질
안정처리	고도안정 처리기술	실트, 점성토를 대상으로 모래가 많은 경우는 사전에 제거	제품의 형상은, 자갈, 모래, 분체 등의 가공이 가능 압축력에 따라 수백~2만 kN/m ² 정도를 얻을 수 있다
	원위치 고화 처리기술	원칙적으로 모든 토질에 적용가능	개량토의 요구 품질을 확보할 수 있는 고화제의 종류, 첨가량을 시 험에 의해 확인하는 것으로, 필요 한 품질의 개량토를 얻을 수 있 음
	플랜트 고화처리 기술	함유성분(유기물, 부식토 등)에 따라 특수 고화제를 사용	
	관 중 오니 혼합처리 기술	원칙적으로 액상 한계 이상의 높은 함수비의 점성토 퇴적물을 대상으로 하고 있지만, 낮은 함수비라도 가수하 여 적용가능	
	경량오니 처리토기술	원칙적으로 점성토 퇴적물을 대상으 로 하지만, 사질이라도 미립분을 별도 첨가하여 적용가능	
소성처리	대부분의 퇴적물에 사용가능하지만, 시멘트 등을 포함하는 것(고화처리토 등)은 적용 불가능	일반적으로는, 함수율(JIS A 1110), 압축 강도(JIS Z 8841) 등에 의해 품질관리가 되며, 기준치는 이용 용도에 따라 설정됨	

일본에서는 오염퇴적물을 처리한 다음, 다음과 같이 다양한 목적으로 재
활용하고 있다.

- SGM(Super Geo-Material) 경량토공법 : 준설토사에 물을 첨가하여 슬
러리상태로 만든 다음 시멘트 등의 고화제나 기포, 발포제 등 경량화제
를 첨가하여 혼합함으로써, 일반적인 토사보다 밀도가 낮은 경량지반재
료로서 사용하는 방법. 실제 적용 사례는, 츄부국제공항(中部國際空港,
일본 아이치(愛知)현 소재) 인공섬 조성공사 시 인공섬 북쪽 1/3 및 준
비용지 조성 등에 사용함. 인근 나고야 항 등의 준설토사를 사용하여
약 860m³의 고화처리한 토사를 매립하여 인공섬을 조성함.
- 중성고화공법: 후지기계(주)⁵³⁾ : 지금까지 폐기물로 처분되었던 오염퇴

53) <http://www.kk-fujiki.jp/environmental/stabilization.html>

적물이나 건설오니를 중성 고화제를 사용하거나, 현장에서 고화 유닛을 사용하여 균질한 품질의 중성토양으로 개질하는 방법.

- 퇴적물 환경정화공법(고요(五洋)건설(주))⁵⁴⁾ : 준설토사의 분급처리(관로 분급공법)와 분급 후의 세립분을 포함한 수처리(클레이 필터공법)의 두 개의 공법으로 구성되어, 기존 방식으로는 처리가 곤란한 처리수에 포함되는 세립분을 대량으로 처리하여 모래를 회수할 수 있음. 관로 분급 공법은 토사 압송 중의 관로 도중에 연속성을 해치지 않고 준설토사를 모래와 세립자로 분리해, 모래만을 회수하는 공법으로, 기존의 펌프선이나 화물 운반선 배치선과의 편성으로 대량 처리가 가능함. 클레이 필터공법은 특수한 배수 재질을 이용한 간단한 설비로 효율적으로 처리수를 탈수·여과 해, 세립질의 회수와 처리수의 직접 방류를 가능하게 하는 공법임.
- DRES 공법(준설토사 재생 처리 공법, Daiho(주))⁵⁵⁾ : 준설토사에 포함되는 자갈, 모래 등을 분리한 다음, 분리된 오수를 고압 탈수하여 콘 지수 > 800 kN/m²의 제2종 처리토로 처리함으로써, 준설토사의 용적을 감축시키고 처리토사의 재이용을 가능하게 하는 방법. 이 시스템은, 준설토사를 균질인 슬러리 상태로 하는 오니 분해기, 자갈과 모래를 분리하는 분급기, 실트와 점토를 4 MPa의 초고압으로 탈수하는 필터 프레스, 탈수 케이크를 해쇄하는 해쇄기를 조합해 시스템화한 것임. 처리 후 배출되는 자갈·모래(10~25%)는 건축자재로 재이용되며, 탈수 케이크(40~60%)는 노상재나 성토재로 유효 활용할 수 있음. 항만 준설토사 이외 하천 등 육상기인 준설토사에도 적용할 수 있음.
- 혼테란공법⁵⁶⁾ : 혼테란은 프랑스어로 좋은 흙을 의미함. 이 방법은, 건설오니이나 준설토사에 폐 종이 파쇄물과 시멘트계 고체화제를 첨가·혼합하는 것으로써, 뛰어난 강도특성, 높은 내구성을 가지는 성토재, 매반환재, 방초재를 생성하는 기술임. 또한, 용도에 따라서, 건설오니(침전이 어려운 오니)나 정수오니에 폐 종이 파쇄물, 응집제 및 조제를 첨가·혼합하는 것으로써, 보수성의 높은 녹화 기반재(하천 재방 조성용)를 생성할 수도 있음.

54) http://www.penta-ocean.co.jp/news/d_news20050118.html

55) <http://www.daiho.co.jp/tech/kankyo1/index.htm>

56) <http://www.sunahara.co.jp/bonterrain/about.html>

일본에서는 수질개선, 녹지조성, 폐기물 호안매립 등 지금까지 항만에서 주로 시행한 환경정책에 추가하여 최근 여러 나라에서 주목받고 있는 해양환경, 자연재생, 환경교육, 경관, 재이용, 지구 온난화 등에 대한 정책을 반영하기 위하여, “항만환경의 관리와 향후 정책의 기본적인 방향(港湾環境の課題と今後の港湾環境政策の基本的な方向)”(2004년(H16) 9월 7일, 국토교통성 항만국)이 수립되었다. 이러한 정책의 변화에 따라, 현재까지 준설토사를 이용하여 자연환경을 재생한 사례는, 홋카이도현 쿠시로 항과 카나가와현 카와사키 항의 두 경우가 있다.

- 홋카이도현 쿠시로 항(北海道縣 釧路港) : 홋카이도현 쿠시로 항 서항 구역에서는 1998년부터 2001년까지 공사를 하여 기존 방파제 560m 중 연장 100m의 배후에 준설토사를 투입하여 인공섬형 방파제를 조성함. 이것은 환경배려형 방파제의 좋은 사례임.
- 카나가와현 카와사키 항(神奈川県 川崎港) : 기존의 호안을 일부 제거하여 해수 유입 호로 정비한 사례로서, 카나가와현 카와사키 항에서는 일반폐기물, 건설발생토, 준설토사를 매립하여 부유섬을 조성하였고(부유섬 1기 계획), 1995년(H7)부터 부유 섬 2기 계획이 현재 진행 중이다.



그림 2-4-8 일본의 해양오염퇴적물 재활용 사례(방파제 조성)⁵⁷⁾

57) 항만환경의 문제와 향후 항만환경정책의 기본적인 방향, 2004, 일본 국토교통성 항만국

3) 유럽의 해양오염퇴적물 처리 사례

가) 네덜란드

네덜란드의 오염퇴적물 처리방법은 단순처리(simple treatment)와 고도처리(advanced treatment)로 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

- 단순처리: 입자분리, 토질개량, 토양경작, 생물정화, 화학적 고정, 화학적 안정화
- 고도처리: 열처리, 소성가공 등

단순처리 중 입자분리는 네덜란드에서 정책적으로 추진하고 있는 중요한 기술이다. 입자분리를 위한 처리시설은 소규모 또는 대규모의 플랜트로 조성되며, 이러한 처리 플랜트는 조립질로 구성된 모래를 입자분리 및 세척을 통하여 회수하여 재활용하고, 오염된 점토질(clay)과 미사질(silt)을 탈수 등 처리를 통하여 그 처분량을 감축시키는 공정으로 구성되어 있다. 또한 분리된 고형물을 고화 및 안정화 처리를 하여 재활용하거나 최종처리(처분)하고 있다. 오염퇴적물의 최종처리(처분)는 대규모 고립처분장(Confined Disposal Facility: CDF)을 조성하여 처분하고 있다. 고립처분장의 기본적인 개념은 모두 같다. 고립처분장의 최소 용량은 천만 m^3 이상이며, 최대 수심은 45m(수면 기준)이다. 개별 고립처분장을 조성할 경우 독의 폭과 경사도를 현장 상황에 맞게 결정한다. 특히 독의 높이에 대한 경사도는 모래나 점토 등 재질에 따라서 1:3 ~ 1:5 정도로 한다. 대규모 수중 고립처분장 조성 시 컷터 흡입 준설선(Cutter Suction Dredgers: CSD) 또는 항적 흡입 호퍼 준설선(Trailing Suction Hopper Dredgers: TSHD)를 이용하여 정확하게 준설한다. 이때 제거된 모래나 점토 등은 인공섬이나 독 조성을 위한 재료로 재활용된다. 대규모 고립처분장 조성 사례는 다음과 같다.

- Ketelmeer 호수 정화·복원 및 Ijsseloog 고립처분장 사례 : 1950년 이후로 오염된 퇴적물은 전체 면적 $2,800 \times 10^4 m^2$ 의 지역에서 50cm 높이의 층이 생성되었으며, 비소, 아연, PCB-153이 네덜란드의 환경기준을 초과하였다(1993년). 1995년~1996년에 시험 준설을 실시하였으며, 제거된 물질은 100천 m^3 이며, 고립처분장에서 처분됨. 그 후 2000년부터 약 4년간 4.5~5.5백만 m^3 퇴적물이 Ketelmeer 호수의 동쪽에서 제거되어 처분됨. 고립처분장 조성 시 호수 주변에 호수 보다 낮은 간척지가 존

재하기 때문에 호수로부터 간척지로 강한 삼투현상이 발생함. 고립처분장에서 오염물질의 플럭스를 최소화하기 위하여 처분장의 표면적을 가능한 한 작게 조성함. 처분장은 깊이 45m이며, 높이 10m의 제방으로 조성됨.



그림 2-4-9 네덜란드의 인공섬 조성 최종처리 사례

나) 독일

독일은 항로의 수심을 유지하기 위한 유지준설로 매년 약 600천m³ 정도의 퇴적물을 준설하고 있다. 준설한 퇴적물은 상업용 규모의 처리시설에서 처리하여 상당한 부분을 벽돌 등 건축용 재료로 재활용 하고 있다. 준설물질은 벽돌 등 건축용 재료로 사용하는 원재료성분(영구성, 동질성, 광물질, 암석, 화학적성분 등)과 유사하여 산업기준에 문제가 없다. 또한 재활용품을 생산하는 과정에서 중금속 및 각종 유해물질들은 소결(Sintering)과 고형화 과정에서 고정되기 때문에 제품으로 생산된 다음에는 어떤 유해물질도 용출되지 않는다. 특히 생산된 벽돌은 각 인자별 pH, 입자크기, 용출실험 등에서

기존벽돌과 유사한 것으로 나타났다. 그러므로 항만 준설물질로 벽돌 등 건축용 재료를 생산하는 것은 준설물질을 처리(중간, 최종)하기위한 한 가지 대안으로서 적합하다. 실제 이 기술의 적용 사례는 다음과 같다.



그림 2-4-10 독일의 준설물질 처리시설 사례58)

이러한 대단위 퇴적물 처리공장을 설치하게 되면 한 지역에서 발생하는 일반 혹은 오염퇴적물을 탈수과정부터 시작하여 오염도별로 분류하고 재활용이 가능한 퇴적물은 재분류하여 벽돌이나 다양한 용도로 사용하고 오염도가 높은 퇴적물의 경우에는 고형화 혹은 생화학적 분해작용을 통해 처리하는 과정을 장기간동안 효과적으로 수행할 수 있다59).

다) 영국

영국은 2005년에 Tyne강의 오염퇴적물을 정화·복원하기 위하여 피복(Capping) 처분을 실시하였다. 초기에는 Tyne강 하구언 인근 9개 지점에서 준설대상 오염퇴적물은 5백만 톤으로 추정되었다. 그러나 실제 조사결과 160

58) http://www.coastalmanagement.net/ftpbrowser2.php?download=docs%2FJuurikas_Hamburg.pdf

59) Detzner, H.D., W. Schramm, U. Doring, and W. Bode, 1998, New Technologie of mechanical treatment of dredged material from Hamburg harbour, Water Science Technology Vol 37, No6-7, pp.337-343.

천m³(~224천톤)의 퇴적물이 방오도료인 트리부틸주석(Tributyltin: TBT) 화합물과 중금속에 의해 오염된 것으로 나타났다. 이 범위 이상의 오염퇴적물은 영국에서는 일반적으로 해양처분이 허용된다. 오염퇴적물의 관리방안으로서 약 60천m³의 오염된 준설물질(Contaminated dredge material: CDM)을 시범적으로 피복하여 처분하였다. 영국에서 주로 사용되는 오염퇴적물 처리방법은

- 해저면에 처분장 신설(created depression in sea bed)
- 자연적 함몰지에 처분(natural depression in sea bed)
- 해저면에 처분(mound on sea bed)
- 해저면 하에서 처분(sub aqueous berms)
- 인공 환초에서 처분(artificial atoll confined disposal)
- 인공 섬에서 처분(artificial island)
- 호안매립 또는 개방수계 처분(inland lake or other open water confined disposal)
- 기타 이익적 이용(beneficial use)이다.

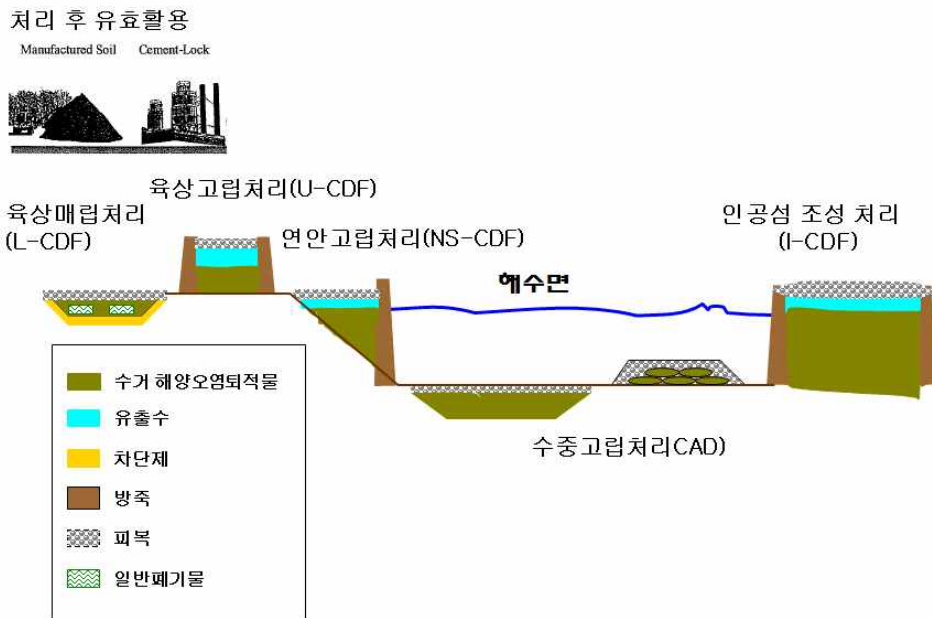


그림 2-4-11 영국에서 사용되는 오염퇴적물 처리기술⁶⁰⁾

60) Capping of contaminated dredged material case study, port of tyne, United Kingdom, International Maritime Organization(IMO), 2007. 3. 15, LC/SG 30/INF.3

4) 오염퇴적물 처리기술별 소요 비용 검토

오염된 해역에서 수거(준설)한 퇴적물의 처리는 물리적, 화학적, 생물학적 기작에 기초한 한 가지 또는 몇 가지 기술을 사용하여 퇴적물에 함유된 유기물, 지속성유기오염물질, 중금속 등 각종 오염물질들을 저감시키는 것이다. 이러한 오염퇴적물 중간처리에는 입자분리, 세척, 안정화·고형화, 오염물질 파괴·추출·열처리 등의 처리기술이 주로 사용되고 있다. 중간처리 과정에서 생성된 물질은 복토재 등 다양한 용도로 재활용 될 수 있으며, 더 이상의 처리 또는 재활용이 어려운 물질은 육상, 연안, 또는 해양에서 매립, 고립처분장 등 다양한 공법으로 최종처리(처분)된다. 오염퇴적물의 최종처리(처분)시 소요되는 비용은 연안처분(매립)은 8~25유로, 수중처분은 7~36유로(평균 11유로)로서, 다른 처리방안에 비하여 다소 낮으며, 열처리는 49~68유로로 나타났다. 열처리는 처리과정에서 에너지 소모를 수반하기때문에, 다른 처분기술 보다 소요비용이 높은 것으로 나타났다. 처리 후 벽돌 등 제품을 생산하여 재활용하기 위해서는 약 14~20유로/m³가 소요되며, 수거 해양오염퇴적물을 탈수 후 육상에서 매립하기 위해서는 약 33~43유로/m³가 소요되는 것으로 나타났다⁶¹⁾.

미국, 일본, 유럽에서는 오염퇴적물 처리에서 특별한 경우를 제외하고는 기술적인 한계나 오염물질 제어에 문제점이 없기 때문에, 대상 오염퇴적물의 처리기술의 선정시 오염물질의 저감에 가장 효과적이며, 최소의 비용으로 환경에 가장 적합한 처리기술을 선택하고 있다. 오염된 해역의 퇴적물을 준설(수거)하여 육상에서 처리하는 것이 해양환경 보전의 관점에서는 가장 적합한 방법이다. 그러나 상기 처리기술별 소요 비용에 많은 차이가 있으므로, ①연안처분(매립), ②수중처분, ③준설 후 처리, 재활용 및 육상매립의 순서로 처리방안이 사용되고 있다. 미국, 일본, 유럽 등에서 오염퇴적물 처리에 주로 사용하는 처리기술의 특징, 장점과 단점 그리고 처리비용을 정리하여 표 2-4-10에 나타내었다.

61) Dutch-German Exchange on Dredged Material, Treatment and confined disposal of dredged material, Sep. 2002

표 2-4-10 미국, 일본, 유럽의 해양오염퇴적물 처리기술 현황⁶²⁾

처리기술	세부 기술	사용 국가	비용	특징	장점	단점	비고	
중 간 치 리	입자분리	입자분리	일본	2,000 ¥/m ³	-원심분리 -여과	-입경별로 분리 -소규모 플랜트	-분리 후 오염물질이 많이 포함된 세립토 처리가 필요	1
	세척기술	세척정화	미국	30~40 \$/m ³	-물리·화학적 방법으로 세척 -오염물질 분리	-오염물질과 오염되지 않은 퇴적물을 분리 -최종 처분량을 감축 -소규모 플랜트	-세척 과정에서 폐수발생, 처리가 필요	2
		토양세척	미국	29~35 \$/cy				3
	안정화·고형화	고화	일본	3,000~8,000 ¥/m ³	-오염퇴적물과 고화재 등 약품을 혼합하여 처리	-처리 후 건축자재로 재활용 가능 -최종 처분 시 오염물질이 유출되지 않음 -소규모 플랜트 설치가 가능	-입자분리, 세척 기술에 비하여 소요 비용이 많음	1
		현장고화	일본	2,000~8,000 ¥/m ³				1
		경량오니토	일본	8,000~10,000 ¥/m ³				1
		고도안정	일본	5,000~13,000 ¥/m ³				1
		고화	네델란드	23~41 유로/m ³				4
		고형안정화	미국	195 \$/cy				3
		시멘트 고정	미국	45~60 \$/cy				2,3
		오염물질 파괴·추출·열처리	유리화	미국				46 \$/cy
	소성처리		일본	7,000~15,000 ¥/m ³	1			
	열적고정		네델란드	45~70 유로/m ³	4			
	용매추출		미국	219 \$/cy	3			
	생물정화		미국	270 \$/cy	3			
탈염	미국		313 \$/cy	3				
열적기체상저감	미국		426 \$/cy	3				
소각	미국		37~1,285 \$/cy	3				

62) 해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발(I), 2008, 국토해양부

표 2-4-10 (계속)

처리기술	세부 기술	사용 국가	비용	특징	장점	단점	비고
최	육상처분	매립	미국 2~200 \$/cy	-매립 처분	-기존 매립장 활용 가능 -매립 후 부지 조성 등 유효활용 가능 -내륙 폐쇄수계(호수)에 매립 처분 가능 -오염퇴적물을 육상에서 생물화학적 반응에 의해 개량	-침출수 처리 필요 -토양 및 지하수 오염 우려 -준설 현장에서 내륙까지 이송에 비용과 시간이 소요	4
		준설, 탈수, 매립	독일 33~43 유로/m ³				4
		준설, 탈수, 매립	독일 10~20 유로/m ³				4
		토양경작	네델란드 11~25 유로/m ³				4
중	연안처분	인공섬 조성 후 매립처분	네델란드 8~25 유로/m ³	-매립 처분	-연안 지역 매립 후 부지 조성 등 유효활용 가능 -연안 인근 반폐쇄수계에 매립처분 가능 -수중 고립 처분장에 비해 일부만 제방을 축조하면 되므로 매립장 조성에 유리	-지형에 따라서 처분장 구성에 영향을 받음	4
처	수중처분	준설 이동배치	유럽 1~5 유로/m ³	-수중 고립 처분장 조성, 배치 후 피복	-준설 현장 주위에 적지가 있을 경우 고립 처분장 조성 용이 -자연적으로 오목한 지형인 경우, 처분장 조성 없이 배치한 다음 피복으로 처분 가능 -피복재로 처분장 주위의 오염되지 않은 토사를 사용할 수 있음	-전처리한 오염퇴적물을 수중 고립 처분장에 배치할 때 오염물질이 주위에 확산되거나 해류에 의해 이동할 수 있음 -처분 후 모니터링 필요 -반수중처분일 경우 오염물질이 해수로 유출될 가능성이 있음	4
		반수중처분(Subaqueatic disposal)	유럽 7~36 유로/m ³				4
		모래분리 반수중처분	유럽 9~17 유로/m ³				4
		현장피복	미국 10~4만 \$/Acre				2
리	처리 후 재활용	METHA 처리	독일 15~20 유로/m ³	-오염물질들의 열분해 -생물·화학적 반응에 의한 오염물질 제거 -소결	-처리된 오염퇴적물을 성형 후 고온에서 소성처리에 의해 오염물질들이 열분해로 제거	-여러 단계의 처리 필요 -소요 비용이 많음 -재활용품을 소비할 시장이 필요 -재활용품에 관한 법규가 미비	4
		경량골재 생산	유럽 15~32 유로/m ³				4
		블럭생산	유럽 15~20 유로/m ³				4
		고형물 생산	유럽 20~40 유로/m ³				4

[비고]

1. [http://www.recycle-solution.jp/2003-report.pdf/2-SHO.html/2-21.pdf#search='浚渫土砂リサイクル 技術']
2. Trudy J. Estes, Sediment treatment technology evaluations, USACE ERDC.

3. Cost Estimating for Contaminated Sediment Treatment - A Summary of the State of the Practice, USACE, Sep. 2005 (<http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/doerr8.pdf>)
4. Dutch-German Exchange on Dredged Material, Treatment and confined disposal of dredged material, Sep. 2002

한편, 2004년부터 2006년까지 국내 17개 해역의 퇴적물의 오염도를 조사한 최근의 연구결과⁶³⁾에 의하면, 해양오염퇴적물 정화사업이 필요한 해역은 부산 북항(1,365,872m³), 마산항(1,265,819m³) 등 14개 해역이며, 대상 물량은 약 5백만m³이다. 국내 해양오염퇴적물 정화사업을 원활하게 추진하기 위해서는 미국, 일본 및 유럽에서 사용되는 다양한 처리기술을 국내에 신속히 도입하여 우리나라 실정에 맞는 처리기술의 개발하여 보급하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

5. 국내 개발이 필요한 처리방안

수거 해양오염퇴적물에 활용 가능한 국내 처리기술 개발과 실현을 위해서는 다음과 같은 기본방향을 설정할 필요가 있다.

- 정화사업이 고려되는 해역별로 맞춤형 오염퇴적물 처리방안 확보
- 지속적인 정화사업 추진을 위한 수거 오염퇴적물 처리기술 개발 및 시장 창출 유도
- 수거 오염퇴적물의 안전한 최종처리(처분) 실현을 위한 기술개발 및 장기간 안정적으로 사용할 수 있는 대규모 최종처리장 확보
- 수거 오염퇴적물을 처리 후 유효활용도 증대
- 오염퇴적물의 수거 이외의 현장처리 기술 개발 및 보급
- 전국 해양오염퇴적물 분포 현황도를 작성하여 이를 근거로 정화사업 추진을 위한 해역별 우선순위 결정
- 해양오염퇴적물의 수거, 처리(중간, 최종)기술의 원활한 실현을 위하여 관련 법·제도 정비를 지속적으로 정비

63) 해양오염퇴적물 조사, 정화, 복원체계 구축(Ⅲ)(연구보고서), 2007, 해양수산부

우선, 향후 5년 이내의 단기간에 해결이 필요한 과제는,

- ① 국내 상용 처리기술 중 해양오염퇴적물 정화사업에 활용할 수 있는 처리기술의 성능검증을 통하여 환경안전성을 확인,
- ② 상기 처리기술로 처리된 물질의 유효활용 가능성을 검증,
- ③ 성능이 검증된 처리기술 또는 국내 개발된 처리기술을 실제 정화사업 현장에서 활용할 수 있도록 관련 법·제도의 검토 및 정비,
- ④ 전국 해양오염퇴적물 분포 현황도 조사 추진, 기타 오염해역 발견, 조사를 통하여 정화사업 대상 오염퇴적물 물량 산정 및 관리가 필요하다.

그 다음 6년 내지 10년 이내의 중·장기간에 해결이 필요한 과제로는,

- ① 해양오염퇴적물 정화사업 현장 특성에 적합한 다양한 처리기술의 개발 및 보급,
- ② 전국 각 권역별로 장기간 사용할 수 있는 대규모 전용 해양오염퇴적물 최종 처리장 확보,
- ③ 해양오염퇴적물을 처리 후 다양한 목적으로 재활용 극대화,
- ④ 전국 연안 오염해역 조사 지속 추진, 국가 해양오염퇴적물 분포 현황도 작성 및 관리,
- ⑤ 개발, 보급되는 처리기술의 실현을 관련 법·제도의 지속적인 정비가 필요하다.

이를 해결하기 위한 추진 전략으로서,

- 현존 국내 상용 처리기술의 적합성을 평가를 통하여 실시설계 완료 및 사업 추진해역에 대한 처리기술을 확보,
- 처리된 퇴적물에 대하여 단기적으로 사업해역 인근 준설토 투기장에서의 처분을 추진하고, 도로공사 복토용, 보도블록 제작 등 육상에서의 활용을 위하여 공학적 적합성과 환경 안전성을 검증,
- 처리된 퇴적물의 유효활용 증대를 위하여 관련 지방자치단체와 협력하여 유효활용을 적극 촉진,
- 처리된 퇴적물을 육상 환경에서 최종처리(처분) 및 활용을 위하여 관련 법·제도를 검토하고, 필요시 관계 부처 협의를 통하여 개정,

- 오염퇴적물 정화사업의 지속적이고 안정적인 수행을 위하여 우리나라 현실에 적합한 처리기술 개발을 지원하여 상용화를 실현,
- 수거된 오염퇴적물의 처리(중간, 최종) 과정에서 발생할지 모르는 사회적 마찰을 최소화하고 처리 부지 확보가 어려운 해역에 적용 가능한 현장처리기술을 개발 적용,
- 오염퇴적물 처리 과정의 환경 안전성 유지를 위하여 해양오염퇴적물 처리 환경 관리 지침을 개발 시행,
- 오염퇴적물 정화사업이 밀집된 권역을 중심으로 안정적인 처리(중간, 최종)를 위한 전용 부지 확보를 위하여 타당성 조사 실시 및 그 결과를 근거로 대규모 전용 처리 부지 및 처리 플랜트 개발,
- 전국 연안에 대한 오염퇴적물 분포 현황도를 작성하고, 정화사업 대상 물량을 추산하여 이를 근거로 국가 해양오염퇴적물 중·장기 사업 계획 수립 및 예산 확보,
- 오염퇴적물의 발생, 정화·복원 및 사후관리를 포함한 오염퇴적물 관리 전반을 위한 과학적 도구 개발(오염물질 분석, 평가방법 등),
- 상기 사항을 실현하기 위한 연차별 계획 수립 및 관련 예산 확보가 필요하다.

상기 추진 전략에 따라 향후 5년 이내의 단기간에 개발이 필요한 처리방안은 다음과 같다.

- ① 선박 항행을 방해하지 않는 해양오염퇴적물 수거기술 개발,
- ② 해양오염퇴적물 수거 효율을 높임과 동시에, 탈수 등 중간처리 비용을 낮출 수 있는 해양오염퇴적물 수거기술 개발,
- ③ 수거 해양오염퇴적물의 처리비용 절감 및 최종 처리장 확보에 대한 대안으로 피복(Capping)처리에 의한 정화기술 개발,
- ④ 부영양화 관련 해양오염퇴적물 정화를 위한 현장 처리기술(In-situ treatment) 개발,
- ⑤ 국내 상용 해양오염퇴적물 처리기술 검증, 환경안전성 평가 및 처리기술 검증 시스템 구축,

- ⑥ 처리된 퇴적물의 유효활용(복토재, 블록, 건축용 골재 등) 적합성 검증 방안 개발,
- ⑦ 대규모 고립처분장 설계기술 확보

한편, 6년 내지 10년 이내의 중·장기간에 개발이 필요한 처리방안은 다음과 같다.

- ① 현장 특성에 적합한 다양한 처리 대안기술(분리, 세척, 추출, 고화, 열처리, 생물학적 처리) 개발,
- ② 대규모 해양오염퇴적물 전용 고립처리장 조성을 위하여 기술 실증용 소규모 고립처리장 시범조성, 환경안정성 평가 및 관리방안 개발,
- ③ 전국 각 권역별 안전한 대규모 해양오염퇴적물 전용 처리(중간, 최종)를 위한 후보지 사전 조사, 부지 확보 및 처리 플랜트 기술개발,
- ④ 처리된 퇴적물을 공공사업에 사용하고, 클리어링하우스 구축 및 시장창출을 통하여 오염퇴적물의 안전한 처리 후 재활용 증대 방안 개발,
- ⑤ 해양오염퇴적물 관리(발생, 조사, 평가, 의사결정, 정화·복원, 모니터링 및 사후관리 등)를 위한 과학적이고 합리적인 방안 개발

제5절 해양오염퇴적물 정화사업 시 해역 관리방안 검토

1. 사전 오염원 제어방안

오염퇴적물의 정화사업과 관련하여 더 이상의 오염을 방지하기 위한 퇴적물 오염발생을 예방하는 프로그램을 이행하는 것이 환경적으로나 경제적으로 가장 효과적인 방법이다. 이를 실행하기 위하여서는 정화사업해역 퇴적물의 오염특성 자료를 기반으로 오염원인과 그 오염원을 추적 관리 제어하기 위한 전략을 수립 실천하여야 한다. 미국환경보호청에서 발간한 오염퇴적물 정화 지침서(U.S. EPA, 2005)에서는 퇴적물 오염의 잠재적 발생원으로 다음과 같이 다양한 원인을 제시하고 있다.

- 산업 시설, 폐수 처리 시설, 우수 방출 또는 통합된 하수구 범람, 방류구를 통한 배출
- 수계로 화학물질 유출
- 범람원 또는 쓰레기 하치장, 화학물질 저장 시설, 광산, 광산 폐수, 농업 또는 도시 지역과 같은 기타 육상의 오염된 발생원의 지표 유거수 또는 토양의 침식
- 발전소, 소각로, 살충제 사용 또는 기타 다른 발생원들로부터의 대기 방출
- 오염된 지하수 또는 비수용성 액체의 수계로의 용승 또는 누출
- 선거 및 건설거내의 선박으로부터의 직접 투기, 또는 수중 및 수상 구조물 또는 선박 수리시설에서 오염물질 방출

오염원 제어는 직접적 혹은 간접적으로 지속되는 오염원으로부터 오염물질의 유입을 가능한한 없애거나 감소시키는 노력으로 정의된다. 경우에 따라, 어느 특정한 오염퇴적물 정화사업해역에서는 오염원이 이미 제어가 되었으나 우수를 통한 표토수의 유입 등으로 계속적인 오염을 일으킬 수도 있다. 퇴적물의 이동이 큰 해역에서는 오염 농도가 높은 구역의 퇴적물이 오염이 덜 된 해역에 대하여 지속적인 오염원으로 작용할 수도 있다. 따라서, 오염퇴적물 정화사업에서 오염도가 높은 퇴적물의 완전한 수거가 매우 중요하다.

오염원 제어에서 1) 첫번째로 확인할 사항은 정화해역 퇴적물의 오염특성이다. 2) 다음 단계에서는 오염특성 자료를 기반으로 오염도가 높은 항목들을 대상으로 오염제어 우선관리 대상물질을 선정한다. 3) 우선관리 대상물질별 오염원을 확인한다. 4) 확인된 오염원으로부터 오염물질 유입 감축을 위한 이행 방안을 수립하고 실행한다.

미국은 수계에서의 퇴적물 오염을 관리하기 위하여 미국환경보호청에서 3년 단위로 퇴적물 오염특성을 조사하여 이를 국회에 제출하도록 하고 있다(U.S. EPA, 2004). 그림 2-5-1은 2004년 미국 특별기금사업에서 확인된 140개 오염퇴적물 부지에서의 위해를 초래하는 오염물질들의 분포를 보여주고 있다.

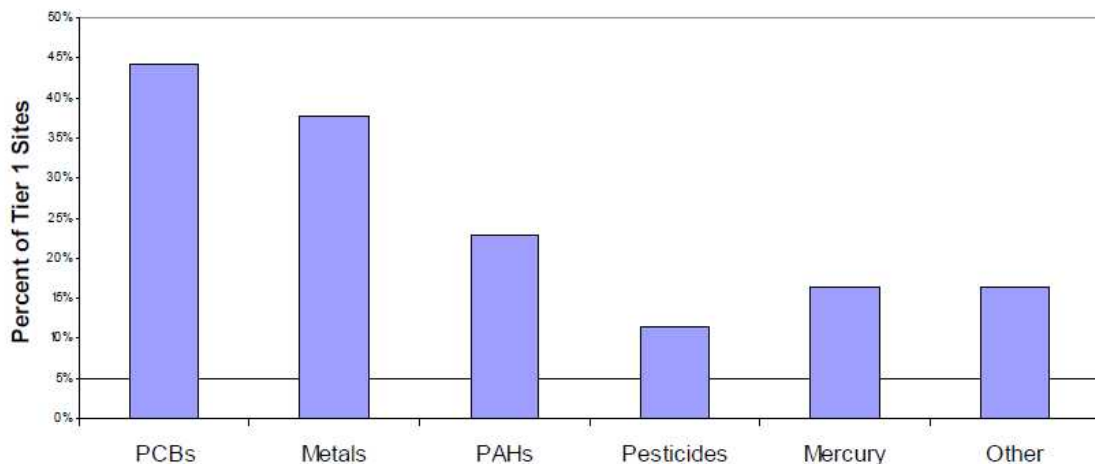


그림 2-5-1. 미국 특별기금사업 오염퇴적물 부지의 오염물질 분포

상기 그림에서와 같이, 미국에서 오염퇴적물 정화사업과 관련하여 가장 문제가 되는 오염물질들은 PCBs, 중금속, PAHs, 농약 및 살충제, 수은 등으로 나타났다.

일본의 경우, 유해화학물질의 오염으로 인한 퇴적물의 정화사업에서 주 대상이 되었던 항목으로는 수은, PCBs, 다이옥신류 등이다.

우리나라의 경우, 2004년부터 3년간 퇴적물 오염이 의심되는 전국 17개 항 및 연안에서 조사된 퇴적물 오염현황자료에 의하면, 유해화학물질의 경

우, 선박용방오도료로 오랫동안 사용되어 온 유기주석화합물인 TBT의 기여율이 가장 높았다. 그 다음으로 오염원의 확인 및 제어가 요구되는 항목들은 구리(Cu), 아연(Zn), 납(Pb), 수은(Hg), 니켈(Ni), 카드뮴(Cd) 과 같은 중금속류이며, 미국의 퇴적물 오염에서 가장 문제시 되고 있는 PCBs와 PAHs는 소수의 해역에 국한되어 그 오염의 심각성이 나타났다(해양수산부, 2007). 그림 2-5-2에서 빨간색은 조사된 전체 표층퇴적물 356정점들 중 정화복원 기준 농도 중 상위기준인 제1기준을 초과하는 정점들의 비율이며, 노란색은 상위 기준 미만이지만 하위기준을 초과하는 농도를 보인 정점들의 비율이며, 초록색은 하위기준 농도 미만을 보인 즉, 오염이 되지 않은 것으로 간주되는 정점들의 비율을 나타낸다.

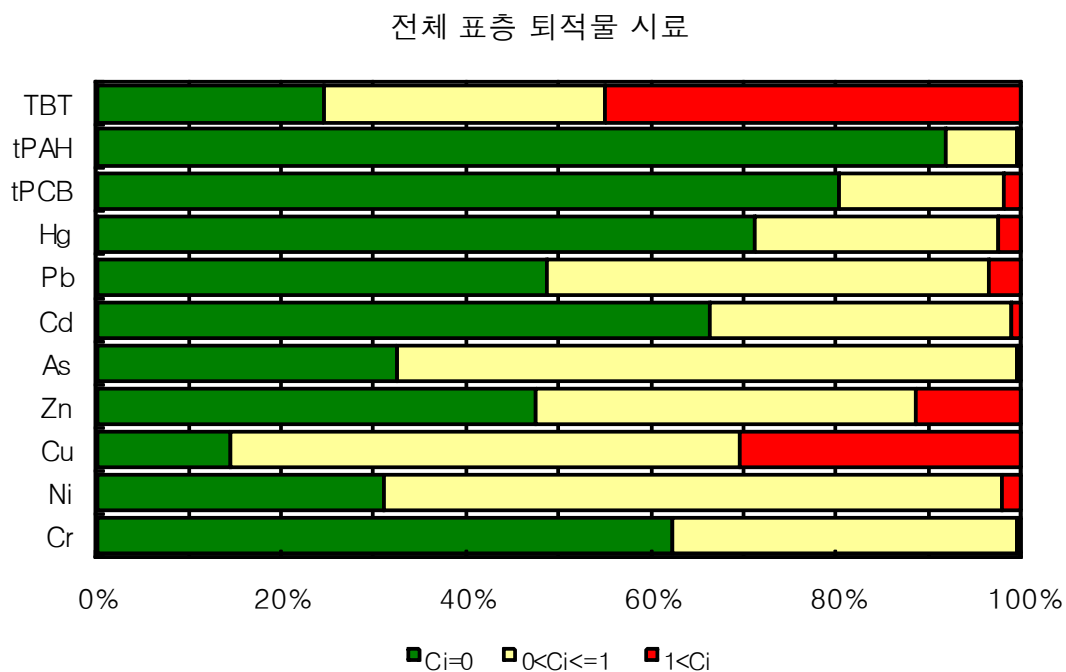


그림 2-5-2. 17개 항만 전체표층퇴적물의 정화기준 농도에 따른 정점 비율

TBT는 굴, 홍합 등의 양식생물의 성장을 억제할 뿐만 아니라 고등류의 성전환을 유발하는 등 생태계에 악영향을 끼치는 대표적인 유해물질로 국제해사기구에서 국제협약으로 이미 그 사용이 규제가 된 유해물질로 2003년 1월 1일 이후 군사용 및 정부 운영선박을 제외한 선박에 대하여 선체 사용이

금지되었으며, 2008년 이후 선체 잔존 또한 금지되고 있다. 따라서, TBT의 오염원은 법적으로 잘 규제가 되고 있는 항목이다.

한편, 국내에서는 유해화학물질에 의한 퇴적물오염 뿐만 아니라, 유기물질의 과다축적으로 인한 부영양화 유발, 퇴적물의 부패로 인한 악취발생 등의 이유로 퇴적물을 정화복원이 이루어진 사례들이 많으며, 이에 대한 기준은 퇴적물의 화학적 산소요구량, 강열감량, 산취발성황화물의 농도에 다른 평가점수를 부여하여 그 평가점수들의 합이 6 이상인 퇴적물에 대하여 정화복원 범위로 설정할 수 있는 지침(안)을 마련한 바 있다(해양수산부, 2007). 17개 해역의 퇴적물 오염현황 자료에서 부영양 관련 평가항목이 6이상으로 나타난 정점들은 전체 조사대상정점들의 41%에 해당된다(그림 5-2-3).

표층 정점별 유기물 관련 항목 평가점수(EI)

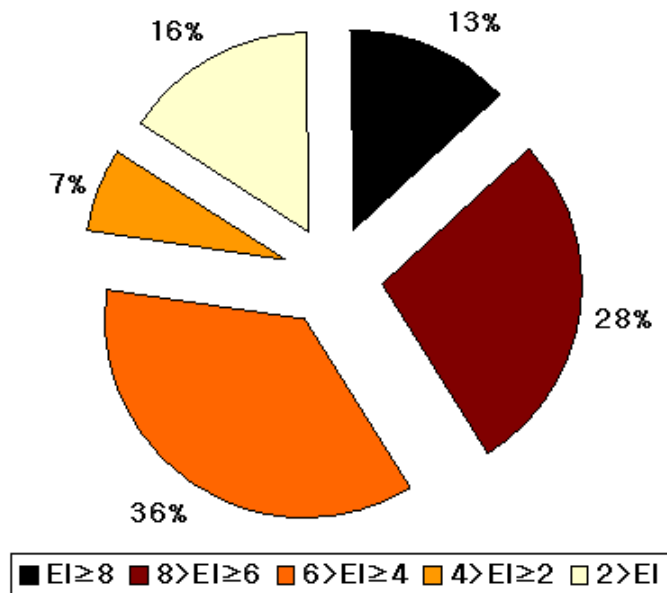


그림 2-5-3. 17개 항만 전체표층퇴적물의 부영양항목 평가지수 분포 비율

퇴적물에 유기물질이 과다하게 축적되어 정화사업이 수행되었거나 고려가 되고 있는 해역들은 대부분 인구가 밀집된 도시에 인접된 항만 등이다. 이들 해역 퇴적물의 유기물 과다 증가는 인구증가로 인한 미처리 오수의 장기간에 걸친 유입과 무관하지 않다. 국내의 하수도 보급율은 1990년대 이후

비약적으로 상승하였다. '91년도 보급율 35.7%, 시설용량 5,258천톤/일, 처리장 22개소에서 2000년도에는 보급율 70.5%, 시설용량 18,400천톤/일, 처리장 172개소로 대폭 증가하였다. 2008년도에는 하수도보급율이 전국 88.6%, 시설용량 24,430천톤/일에 이른다.

확인된 오염원에 대하여 오염방지전략을 수립 이행하는 것은 오염퇴적물 정화 단계에서 그 효과를 높이는데 있어서 매우 중요하다. 첫번째로 확인한 사항은 법적 제도적 장치이다. 육상으로부터 유입되는 오염원의 제어와 관련된 현행 법규로는 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”, “폐기물관리법”, “유해화학물질관리법”, “잔류성유기오염물질관리법”, “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률” 등이 있다. 이에 대한 집행의 관리주체는 중앙정부 또는 지방정부를 포함한다. 따라서, 효과적인 오염감축실현을 위하여서는 개별 오염원에 대한 관리주체를 확인하고 오염원 감축에 대한 이행계획을 수립하고 그 실행정도를 감시, 확인하는 과정이 요구된다. 이를 위하여 정화사업대상 해역에 대하여 정화사업관리기관, 정화사업관리기관, 오염원 관리주체를 포함한 오염퇴적물정화해역 오염원제어 위원회를 두어 각 담당부서간의 의사소통의 기구로 삼을 필요가 있다.

2. 정화사업 중 대상해역의 해양환경모니터링 및 수질 관리 방안 검토

정화사업대상해역에 대한 환경모니터링 계획은 정화사업 시행 이전과 시행기간 및 시행 이후에 매우 중요할 수 있다. 모니터링 계획의 개발은 모니터링의 목적, 의사결정항목, 자료수집, 해석방법 등을 확인하기 위한 체계적인 과정이다.

정화사업이 수행중인 해역에서 제기될 수 있는 해양환경문제는 1)수거과정, 2) 수거된 오염퇴적물의 처리과정에서 발생될 수 있다. 오염퇴적물 수거과정에서는 수거가 이루어지는 동안 오염퇴적물의 재부유로 인한 수거현장과 주변 해역으로의 오염물질의 확산이 이루어질 수 있다. 수거는 현행 법률에 의해 퇴적물의 재부유로 인한 2차 오염을 최소화하기 위하여 진공식 흡입 펌프 또는 이와 동등한 성능을 지닌 장비로 수거를 하게 규정되어 있다. 흡입방식으로 수거된 오염퇴적물은 일반적으로 함니율이 낮다. 최종처리장이 수거현장 인근에 존재하지 않을 경우, 운송비 절감을 위해 현장에서 응집·

침전 등의 방식으로 함니율을 높이기 위한 전처리공정이 이루어질 수 있다. 이 과정에서 침전, 탈수 등을 통하여 잔여수가 발생되며 이를 해역에 방류하게 된다. 방류수는 마찬가지로 오염물질을 함유할 수 있다. 따라서, 정화사업 중 현장에서 실시하여야 하는 해양환경모니터링은 오염퇴적물의 수거과정 발생될 수 있는 부유물질의 확산 및 수거된 오염퇴적물의 전처리 단계에서 해역으로 방류할 지도 모르는 방류수로 인한 환경 역영향 가능성을 억제시키는데 그 목적을 두어야 할 것이다.

폐기물 및 기타물질의 해양투기로부터 해양오염을 방지하기 위한 국제협약인 런던협약에서 개발된 준설물질 평가체제에는 준설 및 이와 관련된 행위로부터 발생할 지도 모르는 잠재적 역영향을 감소시키기 위하여 모니터링 프로그램이 설계되고, 이를 통한 적절한 감시와 조기 발견을 통하여 역영향을 경감시켜야 한다고 되어 있다.

1992년 채택된 런던협약1972의 '투기가 고려되는 폐기물 또는 기타물질의 평가 지침서의 부속서 4'에는 환경감시 모니터링 프로그램을 설계와 관련, 다음과 같은 사항들이 충족되어야 할 것을 요구하고 있다(IMO, 1992)

- 환경감시 모니터링 프로그램의 목적
- 목적을 달성하기 위하여 사용되어질 검정 가능한 영향가설
- 가설을 확인하거나 거부하기 위하여 사용되어지는 조치사항
- 조치를 통하여 그 영향가설을 확인하는데 사용되어질 기준
- 조치사항과 관련, 수행되어질 수준, 범위 및 주기
- 자료의 질을 보증하기 위한 수단, 제기된 영향 혹은 변화에 대한 신뢰성 있는 결론을 뒷받침해 줄 수 있는 검증 가능한 통계적 방법
- 가설 확인을 위한 또는 목적 달성을 위한 자료의 처리 및 해석 방법
- 영향 가설이 거부되어지는 과정에서 이행될 수 있는 수단
- 조치들을 이행할 책임 당사자
- 환경감시 모니터링 프로그램의 결과 제출처

1) 해양환경모니터링 목적 수립

오염퇴적물의 수거 및 수거 현장에서의 사전처리 과정에서 실시하여야 하는 해양환경모니터링의 목적과 우선순위를 결정하기 위하여서는 사업 착수시에 사업의 수행에 의하여 제기되는 문제점으로 영향 받을 수 있는 구역

및 대상과 용도를 확인하는 것이다. 이를 위하여 사업 착수 이전의 사업해역의 구역별 보호하여야 할 시설 및 해양환경에 대한 구체적인 자료를 확보하는 것이다.

구역별 사업의 영향으로부터 보호하여야 할 시설은 사업해역의 이용권자 및 관리주체와의 의견교환을 통하여 확인이 가능하다. 사업 착수 이전의 해양환경상태에 대한 자료는 착수 이전에 실시된 각종 해양조사 및 사전 해양환경모니터링 자료 등으로부터 확인이 가능하다.

오염퇴적물 수거사업 현장에서 실시하는 해양환경모니터링의 일반적인 목적은 사업의 시행으로 인한 2차 오염을 방지하고, 해역 이용권자와의 마찰을 방지하는 것이다. 보다 구체적인 목적은 사업수행과 관련된 영향 가설 수립으로부터 보다 명확하게 제시될 수 있다.

2) 영향가설 수립

영향 기작이 확인되고, 분계점이 결정되면, 여러 환경 인자들에 대한 검정 가능한 영향 가설이 수립될 수 있다. 예를 들어, 환경감시 모니터링 프로그램은 생태계의 요소들에 대한 사업의 잠재적 영향에 대한 정확한 의문점들을 제기하여야 하기 때문에, 사업과 생태계 요소들에 관련된 행위 사이의 원인과 영향 관계에 대한 지식의 현 상태를 기술하는 영향 가설에 근거하여야만 한다.

영향 가설은 일반적으로 환경평가에 근거하며 (또는 허가나 당국의 확인서 발급을 위한 신청서와 관련하여 수행되는 검토), 환경감시 모니터링 프로그램의 개별 목적은 검정 가능한 영향 가설의 형태로 표현되거나 반영된다. 예를 들어, 환경감시 모니터링 프로그램이 준설물질의 해양처분장에 대하여 개발되어 왔다면, 이러한 가설들은 일반적으로 해양의 기타 적법한 사용과의 마찰, 서식지 파괴, 어류 및 어로에 대한 수용하기 어려운 영향, 민감지역 보호, 처분장 생태계의 주요 해양 생물체에 대한 급성 또는 만성적인 영향과 식용 어류, 갑각류 등의 화학물질 오염 등과 관련된다.

예를 들어, 준설사업에 대하여, 다음과 같은 질문을 할 수 있다: 준설과 퇴적물 운송이 사업지역과 사업경계지역 바깥의 퇴적물 화학질 저하를 초래할만큼 많은 양의 오염물질 재부유가 수층에서 발생하는가? 이에 대한, 영(null)의 영향가설은, '퇴적물 화학질 저하를 초래할만큼 많은 양의 오염물질 재부

유가 수층에서 발생하지 않을 것이다.’ 라는 것이 된다. 따라서, 이를 검정하기 위하여서는 재부유를 확인하기 위한 탁도, 퇴적물의 화학질 정도를 확인하기 위한 퇴적물의 화학성분 검사를 실시하면 된다.

오염퇴적물의 수거(준설) 및 수거된 오염퇴적물의 현장에서의 탈수, 응집·침전과 같은 전처리과정에서 제기될 수 있는 문제점 및 영향은 표 2-5-1과 같다.

표 2-5-1. 오염퇴적물 준설 및 처리과정에서 제기되는 문제점

과정	제기되는 문제점들	
	현상	영향
준설	<ul style="list-style-type: none"> - 오염물질의 재부유 및 재용출 - 정화퇴적물의 오염위험도 	<ul style="list-style-type: none"> - 수질 저하 - 오염물질의 확산 - 생물독성, 오염물질 생물축적 - 퇴적물 2차 오염 - 해역이용권자와의 마찰
전처리	<ul style="list-style-type: none"> - 오염물질의 해역 방류 	<ul style="list-style-type: none"> - 수질 저하 - 오염물질의 확산 - 생물독성, 오염물질 생물축적 - 퇴적물 2차 오염 - 해역이용권자와의 마찰

오염퇴적물 수거과정에서 발생하는 오염퇴적물의 재부유와 관련, 오염물질은 부유입자 및 용존성 형태를 포함하게 된다. 현재 국내에서 시행되는 오염퇴적물정화사업에서는 수거과정에서 오염퇴적물의 재부유를 최대한 억제하기 위한 준설장비의 사용을 사업 등록기준에 규정하고 있다. 또한, 수거시 사고 등으로 인한 오염퇴적물의 재부유로 인한 확산을 방지하기 위하여 오탐방지막 설치를 설계에 반영하고 있다.

오염퇴적물 정화사업현장에서 준설 및 수거된 오염퇴적물의 전처리 과정에서 발생할 수 있는 환경 역영향은 사업 수행해역의 오염퇴적물 특성과 일차적으로 관련이 있다. 예를 들어, 중금속 또는 유해유기화합물질로 오염된 퇴적물을 가진 해역에서는 이들 항목들의 오염영향을 감시하여야 할 것이다. 이들 항목에 대하여서는 오염물질의 입자/용존 분배계수에 따라 수질에 미

치는 영향 정도가 달라질 수 있다. 퇴적물의 유기물질의 농도가 높은 해역에서는 유기물질의 수층 방출로 인한 용존산소소모, 영양염류의 수층 방출에 의한 식물성플랑크톤의 이상증식 현상이 발생할 수도 있다.

표 2-5-2. 오염퇴적물 수거사업해역 해양환경감시 프로그램 영향가설

행위	질문사항	영향가설
오염퇴적물 준설		
수질 오락 및 주변 해역 오염 방지	<p>질문1: 오염퇴적물 준설로 오염퇴적물의 재부유가 발생하여 수층으로 오염물질이 확산되어 주변 수질에 영향을 미칠 것인가?</p> <p>질문2: 재부유된 오염퇴적물들이 이동하여 오염되지 않은 곳의 퇴적물을 이동시킬 것인가?</p> <p>질문3: 퇴적물의 재부유로 주변의 용수 취득에 지장을 초래할 것인가?</p> <p>질문4: 준설로 인한 오염물질 이동으로 수중 생물들이 인간건강에 충분히 위해를 가할 정도로 오염물질을 높은 농도로 흡수할 가능성이 있는가?</p>	<p>가설1: 흡입준설방식을 사용하여 오염퇴적물의 재부유가 심각하게 발생하지 않을 것이며, 주변 수질에 미치는 영향은 무시할 수준일 것이다.</p> <p>가설2: 오염퇴적물의 재부유발생량이 많지 않아 주변 퇴적물을 오염시키지는 않을 것이다.</p> <p>가설3: 퇴적물의 재부유가 미미하여 용수 취득에 지장을 초래하지는 않을 것이다. 하지만, 사고로 인한 영향에 대비하기 위하여 용수 취수의 대안을 마련하였다.</p> <p>가설4: 퇴적물 이동이 인간건강에 잠재적 영향이 없는 범위를 벗어날 정도로 수확되는 생물종들에 오염물질의 섭취가 일어나지는 않을 것이다.</p>
오염 퇴적물 전처리		
오염퇴적물 전처리 잔여 방류수의 수질 저하 방지	<p>질문1. 선정된 전처리 방법으로 발생된 잔여수의 방출로 해역의 수질이 영향을 받을 것인가?</p>	<p>가설1. 방류수의 오염물질 농도를 법규에 규정된 농도 이하로 오염물질을 차단 수질에 영향을 주지 않을 것이다.</p>

3) 모니터링 항목선정

가) 사업해역

해양환경모니터링 프로그램을 위한 시료채취 항목의 선정은 영향가설과

관리를 요하는 정보 사이를 직접 연결할 수 있어야 한다.

물리 항목들에는 다소 덜 적용되지만, 화학, 생물 항목들에 대하여서는, 가장 중요하게 감시를 수행할 화학, 생물 항목들을 결정하는 것은 작업구역과 비교정점에서 발견되어지는 기초 조건들이다(예, 오염물질 종류, 현존 생물 군집 유형). 반면에, 모든 해양환경감시 및 모니터링 프로그램에 적용될 수 있는 분석항목들의 목록을 만드는 것은 불가능하며, 특정의 준설 및 퇴적물 관리 사업에 대하여 영향가설에 답할 수 있는 법적 관리 항목들을 준수하기 위한 조건들을 충족시키는 것도 한 방법이다.

현재 국내에서 해양환경에 대한 관리기준은 해양환경관리법시행규칙제4조에서 해역별 특성에 따라 해역이용 및 목적별로 해수수질, 해저퇴적물, 해양생물에 대하여 설정하여야 한다고 규정되어 있으나, 아직 세부적인 기준이 마련되어 있지 않다. 한편, 환경정책기본법에서는 국민의 건강을 보호하고 쾌적한 환경을 조성하기 위하여 환경기준을 설정하고 환경여건의 변화에 따라 그 적정성이 유지되도록 환경기준을 설정하고 있다. 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]에 규정된 해역의 환경기준은 생활환경에 대하여 수소이온농도(pH), 화학적산소요구량(COD), 용존산소(DO), 총대장균수, 용매추출유분, 총질소, 총인의 7항목을 사람의 건강항목으로 6가크롬(Cr^{6+}), 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 아연(Zn), 구리(Cu), 시안(CN), 수은(Hg), 폴리클로리네이티드비페닐(PCB), 다이아지논, 파라티온, 말라티온, 1,1,1-트리클로로에탄, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 디클로로메탄, 벤젠, 페놀, 음이온계면활성제(ABS) 등 총 19항목을 포함하고 있다.

이웃 일본의 경우, 오염퇴적물 처리·처분사업의 해양환경모니터링 항목으로 1) 대책대상물질(단, 다이옥신류에 의한 오염이고, PCB의 존재가 우려되는 경우에는 필요에 따라서 PCB에 대해서도 감시를 하는 것으로 함), 2) 생활환경항목(수질오염에 관한 생활환경의 보전에 관한 환경기준이 정해져 있는 항목중 부유성물질 (이하 "SS"라고 함) 및 대장균군수를 제외한 항목), 3) 탁도, 투시도 또는 부유물질(SS) 이 포함되어 있다⁶⁴).

64) 환수관 제 211호, 2002년 8월 30일. 환경성 환경관리국 수환경부장이 각 지자체장에게 보내는 "저질의 처리·처분 등에 관한 지침에 대하여 (통지)"

표 2-5-3. 국내 해역별 수질환경기준

[별표 1] 환경기준(환경정책기본법시행령제2조관련)

라. 해역

(1) 생활환경

등급	기 준						
	수소이온 농도 (pH)	화학적산 소요구량 (COD) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총대장균 (총대장균 군수/100 mL)	용매추출 유분 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)
I	7.8-8.3	1 이하	7.5 이상	1,000 이하	0.01이하	0.3 이하	0.03 이하
II	6.5-8.5	2 이하	5 이상	1,000 이하	0.01이하	0.6 이하	0.05 이하
III	6.5-8.5	4 이하	2 이상			1.0 이하	0.09 이하

(2) 사람의 건강보호

등급	항목	기준(mg/L)
전 수 역	6가크롬(Cr ⁶⁺)	0.05
	비소(As)	0.05
	카드뮴(Cd)	0.01
	납(Pb)	0.05
	아연(Zn)	0.1
	구리(Cu)	0.02
	시안(CN)	0.01
	수은(Hg)	0.0005
	폴리클로리네이티드비페닐(PCB)	0.0005
	다이아지논	0.02
	파라티온	0.06
	말라티온	0.25
	1.1.1-트리클로로에탄	0.1
	테트라클로로에틸렌	0.01
	트리클로로에틸렌	0.03
	디클로로메탄	0.02
	벤젠	0.01
페놀	0.005	
음이온계면활성제(ABS)	0.5	

표 2-5-3 (계속)

<p>비 고</p> <ol style="list-style-type: none">1. 등급 I 은 참돔·방어 및 미역 등 수산생물의 서식·양식 및 해수욕에 적합한 수질을 말한다.2. 등급 II 는 해양에서의 관광 및 여가선용과 송어 및 김 등 등급 I 의 해역에서 서식·양식에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식·양식에 적합한 수질을 말한다.3. 등급 III 은 공업용 냉각수, 선박의 정박 등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다.
--

캐나다의 경우, 준설물질을 처분하는 장소에서 설정하고 있는 모니터링은 물리, 화학, 생물의 특성들에 대한 평가를 포함한다. 허가 검토의 영향가설을 근거로 모니터링을 수행한다. 물리분야 모니터링은 퇴적되는 지역 결정, 처분장소의 경계선 확정, 퇴적 지역내에서의 준설물질의 축적 조사, 처분장소로부터 퇴적물 이동의 증거를 확인하기 위한 적절한 지질학적 정보의 수집과 관계된다. 생물과 화학 평가는 동시에 수행되어지며, 이들 항목들에 대한 모니터링 설계는 처분장의 크기와 확산 특성을 고려한다. 화학 모니터링은 퇴적물에서의 화학물질의 농도를 측정하는데 목적이 있다. 생물 모니터링은 일차적으로 실험실에서의 생물 시험과 저서 군집 조사에 집중된다. 화학 및 생태독성 자료의 해석은 일차적으로 허가를 평가하는 단계에서 채택된 기준에 의한다. 자료 해석은 시·공간적 대조군과의 비교를 고려하여야 하지만, 과거의 자료에 의하여 알려진 곳에서는 일반적으로 기초자료가 생략된다. 퇴적물 주상시료에 대하여서는 자료 해석을 돕기 위하여 총유기탄소와 입도 자료를 포함한다. 항목으로는 퇴적물 이동모델을 확인하기 위한 음파 또는 기타 이미지 조사를 포함하여, 퇴적물의 화학물질과 농도 경향을 측정하는 항목으로 카드뮴, 수은, PCBs, 총PAHs, 저분자량 PAHs, 고분자량 PAHs, 총유기탄소, 독성시험결과 해석에 요구되는 기타 항목을 포함하고 있으며, 생물평가를 위하여 저서생물체의 오염물질생물축적, 생물독성, 저서생물군집 등을 포함하고 있다.

미국의 경우, 준설물질의 해양처분시 수층, 퇴적물, 생물 특성을 조사하게 하고 있으며, 수층에서는 용존산소, 탁도, 오염물질 농도를 퇴적물 특성으로

는 수심, 퇴적물 입도, 총유기탄소, 중금속, 고분자량 탄화수소화합물, PCBs, 염소계농약을, 생물특성으로는 갑각류, 중형저서생물, 대형저서생물, 오염물질의 생물축적을 포함한다.

오염퇴적물 정화사업해역에서의 해양환경모니터링 항목 선정과 관련하여서는 2005년 해양오염퇴적물 조사, 정화·복원체계 구축(II)(해양수산부, 2005)에서 이들 미국, 캐나다, 일본 등의 사례를 검토하여 모니터링 항목들을 도출한 바 있다.

나) 방류수

오염퇴적물 수거사업에서 해역으로 방출되는 방류수는 수거 후 운송의 편의를 위하여 응집·침전, 탈수 등 부피를 감축시키거나 물리적으로 분리하는 과정에서 발생하는 상등액과 화학적, 생물학적 과정 등을 포함하는 처리시설을 사용하여 오염물질을 감축하는 공정을 수행하는 과정에서 발생하는 처리 폐수 등이 있다. 또한, 폐쇄형 처분장에서 수거된 오염퇴적물을 배치하는 과정에서 처분장의 방류구를 통하여 해역으로 방출되는 방류수 등이 있다.

일본의 오염퇴적물 처리·처분에 관한 지침에는 처리시설의 잔여수 배출구로부터 배출되는 방류수에 의한 2차 오염을 유발하지 않도록 방출구에서 다음과 같은 감시를 하도록 하고 있다.

표 2-5-4. 일본의 오염퇴적물 처리시설 방류수 감시 방안

가. 조사 항목

- ① 대책대상물질
- ② 탁도, 투시도 또는 SS (대책대상물질에 관한 조사횟수를 줄여서 1일 1회 이상 조사를 수행하지 않을 경우 또는 그러한 예정이 있는 경우)

나. 조사 횟수

대책 대상물질의 조사는 하루중 여수의 수질이 가장 악화될 것으로 생각되는 시각을 포함하여 매일 1회 이상 할것.

단 다음에 해당하는 경우에 한해서 대책 대상물질에 관한 조사횟수를 적절히 줄일수 있음.

- ① 탁도, 투시도 또는 SS의 조사결과로부터 대책대상물질의 농도를 추정할 수 있는 경우로 대책대상물질을 대신하여 탁도, 투시도 또는 SS 조사를 계속해서 수행할 경우
- ② 공사에 관련된 여러조건에 현저한 변화가 없고, 대책대상물질의 조사횟수를 줄여도 라. 의 감시기준에 적합하지 않는 여수의 유출을 충분히 방지할 수 있다고 판단되는 경우

다. 측정방법

측정방법은 3의 (3) 나.에서 정하는 것으로 함.

단. 대책대상 물질에 대해서 3의 (3) 나.에서 규정하는 측정방법을 대신하여 간이분석방법을 이용하는 것은 상관없지만, 공사기간 중 적어도 1회는 3의 (3) 나.에서 규정하는 방법으로 측정 할것.

라. 감시 기준

(가) 감시기준치

- ① 대책대상물질
“해양오염 및 해상재해의 방지에 관한 법률” (1970년 법률 제 136호, 이하 “해양오염방지법”이라고 함)에 바탕을 둔 “잔여수 배출구(여수토)로부터 유출되는 해수의 수질에 대한 기준을 정하는 소령” (1977년 8월 26일 총리부령 제 38호) 제 2항에 나타낸 기준

표 2-5-4 (계속)

② 탁도, 투시도 또는 SS

대책대상물질의 조사횟수를 줄일 경우에 정하는 것으로, 그 값은 대책대상물질의 농도와 상관을 고려하여 감시기준에 충분히 적합할 수 있도록 대책대상물질의 값에 상당하도록 적절히 정할 것.

(나) 판정방법

여수에 관한 수질의 적부 판정은 그 최고치가 감시기준치를 초과하지 않을 것을 목표로 수행할 것.

마. 감시의 결과에 따라서 마련해야할 조치

라.의 감시기준에 적합하지 않은 결과를 얻었을 경우에는 즉시 여수의 방류를 중단하고 감시기준에 적합하도록 할 것이며, 필요한 조치를 마련 할 것.

또한 조사결과가 감시기준에 적합할 경우에도 처분지로부터의 영향으로 경계에서 감시기준이 유지되지 않는다고 인정되는 경우에는 처분지에서 여수의 수질관리를 강화하는 등의 대처를 할 것.

표 2-5-5는 미국에서의 퇴적물 관리 사업에서 적용하는 준설물질 폐쇄처분장 방류수질 모니터링 항목 사례이다.

표 2-5-5 미국 퇴적물 폐쇄처분장 방류수 모니터링 항목 목록

범 주	항 목	문제점
물리, 물리/화학	<ul style="list-style-type: none"> • 수온 • 부유물질(SS) • 용존산소(DO) • pH • 탁도 	드물게 항상 드물게 드물게 항상
영양염	<ul style="list-style-type: none"> • 총유기탄소(TOC) • 암모니아 • 질산염 • 인산염 	항상, 이들 요소들이 퇴적물 내 에 문제가 될만한 농도로 존재할 경우
금속*	<ul style="list-style-type: none"> • 철 • 망간 • 니켈 • 아연 • 카드뮴 • 크롬 	항상, 이들 요소들이 퇴적물 내 에 문제가 될만한 농도로 존재할 경우
유기화합물**	<ul style="list-style-type: none"> • PCBs • PAHs • 농약류 	항상, 이들 요소들이 퇴적물 내 에 문제가 될만한 농도로 존재할 경우

Thackson and Palermo (1988)

* : 규제, 허가당국에서 지정한 모든 항목들

** : 잠재적으로 존재하는 모든 기타 오염물질

해양오염퇴적물 정화사업에서 발생하는 처리수의 방류로 인한 2차 오염을 방지하기 위한 모니터링 및 기준은 2장6절과 제4장 방류수 수질기준 편에서 자세하게 기술하기로 한다.

3. 정화사업 시 해역 관리방안

1) 오염원 제어

- 정화해역 퇴적물 오염특성 자료 검토

- 사업 설계 단계에서 퇴적물 오염현황조사, 오염해역 정화·복원 타당성 조사 등에서 나타난 자료로부터 퇴적물의 오염항목들을 확인한다.
- 오염항목은 유해화학물질 관련 평가항목 및 부영양화 관련 평가항목들로 한다. 기타, 이들 항목들 외에 오염이 심각하여 퇴적물 정화가 고려되는 항목들이 있을 경우, 이들 항목들을 포함시킨다.
- 유해화학물질 관련 평가항목은 표 2-5-6의 항목들로 한다.
- 부영양화 관련 평가항목은 표 2-5-7의 항목들로 한다.

표 2-5-6. 유해화학물질 관련 평가항목

항 목	단 위	기준1	기준2
비소(As)	ppm(건중량)	9.0	41.6
카드뮴(Cd)	"	0.68	4.21
크롬(Cr)	"	80	370
구리(Cu)	"	24	108
수은(Hg)	"	0.15	1.0
니켈(Ni)	"	23	52
납(Pb)	"	50	220
아연(Zn)	"	200	410
폴리클로리네이티드비페닐(PCBs)	ppb(건중량)	21.6	189
다환방향족탄화수소(PAHs)	"	4,000	45,000
클로로데인(Chlordane)	"	0.5	6.0
다이엘드린(Dieldrin)	"	0.02	8.0
디디티(DDT)	"	1.6	46
유기주석화합물(TBT)	"	5.0	105

- 오염제어 우선관리 대상항목 선정

- 유해화학물질의 오염으로 인하여 정화를 계획하고 있을 경우, 유해화학물질 관련 평가항목에서 기준2 이상을 초과하는 항목들에 대하여 기준 농도 대비 농도가 높은 항목의 순서로 목록을 작성한다.
- 부영양화 관련 평가항목의 합이 6 이상이고, 부영양화 관련으로 퇴적물 정화를 실시할 경우, 부영양화 물질을 우선관리 대상항목으로 선정한다.

표 2-5-7. 부영양화 관련 평가항목 및 농도별 평가점수

항 목	단위	기준농도	평가점수
강열감량 (IL)	% (건중량)	5 미만	0
		15 미만	3
		15 이상	6
화학적산소요구량 (COD)	mg/g (건중량)	13 미만	0
		20 미만	1
		30 미만	2
		40 미만	4
		40 이상	6
산취발성황화물 (AVS)	mg/g (건중량)	0.6 미만	0
		1 미만	1
		5 미만	2
		10 미만	4
		10 이상	6
<p>비고</p> <p>1. 부영양화 관련 항목들에 대한 각각의 평가점수는 해저퇴적물시료에서 구한 항목들의 분석치로부터 기준농도 구간별 설정된 수치로 한다.</p>			

- 우선관리 대상물질별 오염원 확인

- 오염원 확인은 조기에 이루어질수록 좋다.
- 오염유입원으로 영향을 미칠 수 있는 시설들의 목록을 작성한다.
- 점원 오염원으로는
 - 산업시설;
 - 쓰레기 적치장;
 - 오염물질 저장시설;
 - 폐수처리시설 방류구;
 - 하수처리장의 방류구;
 - 차집하수관거 방류구;

기타 해양시설 등

- 비점원 오염원으로는

선박활동으로부터의 오염물질 무단 투기;

어시장, 재래시장 등 생물의 보관, 처리 과정에서 발생하는 폐수를

처리시설을 통하지 않고 해역으로 유입되는 시설;

지표 유거수;

오염된 지하수 등

- 우선관리 대상물질별 오염원 목록 작성한다. 목록에는 해역으로 유입되는 오염물질의 총량의 자료가 포함되어지는 것이 좋다. 기존 자료에서 이를 확인하기 어려울 경우, 개별 오염원에 대한 기여율 조사가 병행되어야만 한다.

- 오염원 관리주체 확인

- 오염원에 대한 소유주, 법적 관리 기관을 확인한다.

- 오염물질 유입 감축 이행 방안 수립

- 확인된 오염원에 대한 관리주체를 통하여 오염원 제어 계획 및 이행방안을 수립한다.

2) 정화사업 기간 해양환경 모니터링

정화사업이 진행되는 동안 사업해역에서 실시하여야 할 해양환경 모니터링의 내용은 다음과 같다.

- 해양환경

조사 항목	<p>가. 해수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 일반항목 : 수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN (NO₂-N, NH₄-N, NO₃-N), TP, DIP (PO₄-P), SiO₂-Si, SS, 투명도, 클로로필-a ○ 유해화학물질 관련 항목 : 정화사업해역의 퇴적물에서 유해화학물질 관련 평가항목에서 규정된 기준 2 이상의 농도가 발견된 항목 <p>나. 해저퇴적물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 일반항목 : 강열감량(IL), COD, 산취발성 황화물(AVS), 입도 ○ 유해화학물질 관련 항목 : 정화사업해역의 표층 퇴적물에서
----------	--

	<p>유해화학물질 관련 평가항목에서 규정된 기준 1 이상의 농도가 발견된 항목들로 한다. 다만, 크롬(Cr), 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 비소(As), 납(Pb), 수은(Hg), 니켈(Ni) 중 1 항목이라도 그 농도가 기준1 이상일 경우, 이들 항목 전부와 알루미늄(Al)을 포함한다.</p> <p>다. 해양생물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생물독성 : 단각류 치사율, 마이크로톡스(Microtox) 발광율, 성계 수정율 ○ 유해화학물질 생물농축 : 정화사업해역의 퇴적물이 유해화학물질 관련 평가항목에서 규정된 기준2 이상의 농도를 포함하고 있는 항목들에 한하며, 주요 어·패류 수산물 식용부위
조사 정점	<p>가. 해수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 당해연도 사업구역 및 총 사업구역을 포함하여 5개 이상 <p>나. 해저퇴적물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 당해연도 사업구역에서 최소한 3개의 격자형 조사정점을 포함하여 총 사업구역에서 500m 이하의 간격으로 조사정점을 선정하며, 사업구역 바깥의 대조정점을 1개 이상 포함 <p>다. 해양생물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생물독성 : 해저퇴적물 조사정점들 중에서 대조정점을 포함하여 최소한 5개 이상 ○ 저서생물서식환경 : 총 사업구역과 대조정점을 포함하여 최소한 5개 이상 ○ 유해화학물질 생물농축 : 사업으로 인하여 영향을 받을 수 있는 해역에 양식장이나 보호하여야 할 어장 등이 존재하는 경우, 각각 1 개 이상의 적절한 조사정점을 선정
조사 시기	<p>가. 해수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 계절별 변화를 파악할 수 있도록 년 4회 실시 <p>나. 해저퇴적물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 당해연도 사업이 종료된 이후, 년 1회 실시

	<p>다. 해양생물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생물독성 : 당해연도 사업이 종료된 이후, 년 1회 실시 ○ 유해화학물질 생물농축 : 년 1회 실시
<p>비고</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 해수는 표·저층을 조사를 원칙으로 하며, 단, 클로로필-a 및 유해화학물질 관련 항목은 표층 조사만 실시 2. 해저퇴적물은 표층퇴적물 조사를 원칙으로 하며, 평가항목들의 수직변화를 파악할 필요가 있는 경우 주상퇴적물에 대하여 조사를 실시 3. 생물독성은 표층퇴적물 시료를 대상으로 조사를 실시 4. 공사지점 주변에 대하여 탁도의 이상 증가 등에 대하여 상시 관찰 	

- 방류수

사업해역 현장에서 수거된 퇴적물을 처리한 후 그 처리수를 방류할 경우에 다음과 같이 방류수의 수질에 대하여 조사를 실시한다.

<p>조사 항목</p>	<p>가. 전처리시설 방류수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ COD, TN, DIN (NO₂-N, NH₄-N, NO₃-N), TP, DIP (PO₄-P), SiO₂-Si, SS <p>나. 중간처리시설 방류수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정한 항목
<p>조사 정점</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방류구
<p>조사 시기</p>	<p>가. 전처리시설 방류수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 일 1회 이상 <p>나. 중간처리시설 방류수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 주 1회 이상
<p>비고</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. “전처리시설 방류수”란 수거된 퇴적물의 함니율을 높이기 위하여 응집·침전, 탈수 등 단순한 물리적 처리를 거친 후 발생된 잔여수를 방 	

류하는 것을 말한다.

2. “중간처리시설 방류수”란 상기의 단순한 물리적 처리 외에 오염물질 감축을 위하여 생물학적이거나 화학적인 처리 과정에서 발생된 폐수를 방류하는 것을 말한다.

3) 수질 관리 방안

해양오염퇴적물 정화사업해역에서 다음과 같이 사업기간 중 공사로 인한 2차 오염 등을 방지하기 위한 조치를 이행하여야 한다.

가) 오염원 제어

- 정화사업해역의 효과적인 오염원 제어를 전략을 수립하고 이행한다.
- 제어할 오염항목은 퇴적물 오염특성 자료를 바탕으로 한다.
- 유해화학물질이 정화사업의 주목적일 경우, 유해화학물질 관련 평가항목○[서 기준 2 이상을 초과하는 항목들에 대하여 오염제어 우선관리 대상항목을 선정한다.
- 수질의 부영양화, 악취 등의 사유로 정화사업을 실시하는 경우, 부영양화 물질을 우선관리 대상항목에 포함시킨다.
- 우선관리 대상물질별 잠재 오염유입원에 대한 시설 및 목록을 작성한다.
- 오염원에 대한 법적 관리 주체를 확인한다.
- 확인된 오염원에 대하여 관리 주체, 규제 담당기관 등과 오염원 제어 계획 및 그 이행방안을 수립한다.
- 확인된 오염원들 중에서 사업기간 중 오염원 제어가 불가능하여 사업수행 후 빠른 시간 내에 재오염이 될 가능성이 있을 경우, 정화사업을 실시하여서는 아니된다.
- 정화사업의 관리기관은 오염원 제어 및 그 이행방안에 대하여 매년 감시 결과를 확보하여야 한다.

나) 사업해역 해양환경 관리방안

- 정화사업이 진행되는 동안 오염퇴적물의 재부유 현상 등으로 인한 해역의 2차 오염을 방지하기 위하여 해양환경 모니터링을 실시한다.
- 해양환경 모니터링은 공사로 인한 해양환경의 급격한 악화를 방지하고 사업

전, 사업기간 중, 사업 이후의 해양환경변화 추세를 파악하여 정화사업의 효능을 검증하기 위한 목적을 충족시킬 수 있어야 한다.

- 해양환경 변화 추세를 파악하기 위한 목적으로 실시하는 모니터링은 수질의 경우, 현장에서 관측이 이루어지는 부유물질 항목에 대하여서는 관측이 종료된 이후, 즉시 관리자에게 그 결과를 통보한다.
- 해양환경 모니터링 항목 중 실험실에서 분석이 요구되는 항목들에 대하여서는 그 분석 결과가 나오는 즉시, 사업해역 관리자에게 통보하여야 한다.
- 해양환경 모니터링 결과, 수행중인 공사가 해양환경을 현저하게 저해하거나, 공사로 인하여 피해가 발생할 우려가 있다고 판단될 경우, 관리자는 즉시 공사를 중지시키고 이에 대한 대책을 논의하여야 한다.
- 공사로 인한 2차 오염을 방지하기 위하여 공사가 진행중인 구역에서 부유물질 농도 변화를 관측한다.
- 공사 기간 중에 사업으로 인하여 탁도의 이상 증가 등으로 인한 환경저하 및 피해를 예방하기 위하여 오염퇴적물 수거가 이루어지는 흡입구 주변에서 일정 거리가 떨어진 지점에 탁도계를 설치하여 매 시간 간격으로 탁도를 측정한다. 동시에 공사지점 주변을 항시 육안으로 관찰한다. 탁도계에 의한 시간별 탁도 현황 및 육안관찰 결과는 열람이 가능하도록 기록으로 보존되어야 한다.
- 정화사업 공사 담당자는 탁도가 일정 수준 이상 발생하여 부유물질의 이동 현상이 관측되면, 즉시 공사를 중지하고 관리자에게 통보한다.
- 정화사업 공사 관리자는 정화사업 공사 담당자와 함께 탁도의 이상 발생 현상의 원인을 규명하고, 공사의 재개는 그 원인에 대한 정상적인 수정이 이루어진 이후에 시행하도록 한다.
- 사업해역에서 수거된 퇴적물에 대한 처리시설을 통한 처리가 이루어질 경우, 처리 결과 발생된 방류수로 인한 오염을 방지하기 위하여 감시가 이루어져야 한다.
- 처리시설은 수거된 퇴적물의 함니율을 높이기 위하여 응집·침전, 탈수 등 단순한 물리적 처리를 하는 “전처리시설” 과 오염물질 감축을 위하여 생물학적이거나 화학적인 처리 과정을 수행하는 “중간처리시설” 로 구분한다.
- 전처리시설에서 발생하는 잔여수를 해역으로 방류할 경우, 사전에 정화사업해

역 퇴적물을 대상으로 수거장비의 가상 함니율을 기준으로 가동될 처리과정에서 발생하는 잔여수에 대한 수질검사를 수행하고 그 결과를 바탕으로 방류수 관리기준을 정한다.

- 잔여수에 대한 수질검사는 부영양화 관련 항목으로 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소, 무기질소, 무기인), 부유물질(SS) 및 유해물질 관련 평가항목 중 사업해역의 퇴적물에서 기준 2 이상을 초과하는 항목으로 한다.
- 잔여수에 대한 사전 수질검사를 바탕으로 부유물질을 제외한 항목들의 농도는 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준 농도를 초과하지 않아야 한다.
- 잔여수의 사전 수질검사에서 측정항목들이 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 농도를 초과할 경우, 이들 오염물질들의 농도를 기준 이하로 저감시키기 위한 별도의 장치를 마련한다.
- 전처리시설에서 발생하는 방류수에 대하여서는 부유물질을 일 1회 이상 측정하여야 한다. 측정 기록은 열람이 가능하게 보관하여야 한다. 부유물질의 농도가 배출허용기준 이상을 초과할 경우, 즉시 공사 담당자는 방류를 중단하고 관리자에게 보고하고 대책을 강구하여야 한다.
- 중간처리시설에서 발생하는 방류수의 수질기준은 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준 농도를 초과하지 않아야 한다.
- 중간처리시설에서의 수질검사는 주 1회 이상으로 하고, 수질검사 기록은 열람이 가능하게 보관되어야 한다. 수질검사서에서 방류수의 수질이 배출허용기준을 초과할 경우, 즉시 공사 담당자는 방류를 중단하고 관리자에게 보고하고 대책을 강구하여야 한다.

제6절 해양오염퇴적물 최종처리장의 환경관리방안 검토

1. 해양오염퇴적물 최종처리장 환경관리방안 검토

과거 국내에서는 해양오염퇴적물 정화사업 수행 과정에서 발생된 수거된 오염퇴적물에 대하여 최종처리 방안으로 주로 외해의 개방수역에 투기하는 방안을 시행하여 왔다. 이는 수저준설토사의 해양배출에 대한 처리기준이 마련되어 있지 않았기 때문이다. 그러나, 최근 정부는 수저준설토사의 해양배출 처리기준을 마련한 바 있으며 해양환경관리법시행규칙제12조제2항 관련 [별표 8]에 그 규정을 두고 있다. 따라서, 해양오염퇴적물 정화사업에서 수거된 오염퇴적물이 해양배출 처리기준을 만족하지 못할 경우, 이외의 대안을 마련 실행하여야 한다.

오염된 퇴적물의 최종처리방안은 처리하고자 하는 장소에서의 환경위해성을 감소 또는 차단하는 것이다. 경우에 따라서는 처리하고자 하는 장소 또는 시설에서의 오염물질 노출을 방지하기 위한 법적 제도적 장치가 마련되어 있기도 하지만, 국내에서는 해양배출 이외의 최종처리에 대한 사례 및 경험이 매우 미약하여 오염퇴적물 최종처리에 대한 환경관리방안이 제대로 수립되어 있지 않은 실정이다.

수거된 오염퇴적물의 최종처리방안으로는 1)오염도를 저감하거나 활용 목적에 맞게 변형시켜 이익적으로 활용, 2)육상의 폐기물매립장에 처분, 3)육상에 폐쇄형 처분장을 조성, 4)연안폐쇄처분장 조성, 5)수중폐쇄처분장 조성, 6)폐쇄형 인공섬 조성 등의 방안이 있다(Driscoll et al, 1999).

상기 6가지의 최종처리 대안 중 이익적 활용을 제외하고는 모두 임시 또는 영구 구조물, 부지, 또는 시설에 배치하는 것을 말한다. 최종처리의 목적은 일반적으로 퇴적물의 최종처리로 인한 연관된 오염물질이 인간의 건강 및 환경에 미치는 충격을 막는데 있다. 최종처리는 수거방식에 의한 오염퇴적물 정화사업에서 전형적으로 대안의 주요 부분에 해당되며 운반과도 관련된 성분이다. 따라서, 최종처리장 위치의 확인은 종종 오염퇴적물 수거 정화사업의 계획 및 실행의 가장 논쟁의 여지가 있는 부분이며, 사업 이행 계획 단계에서 상당히 초기에 고려해야 한다.

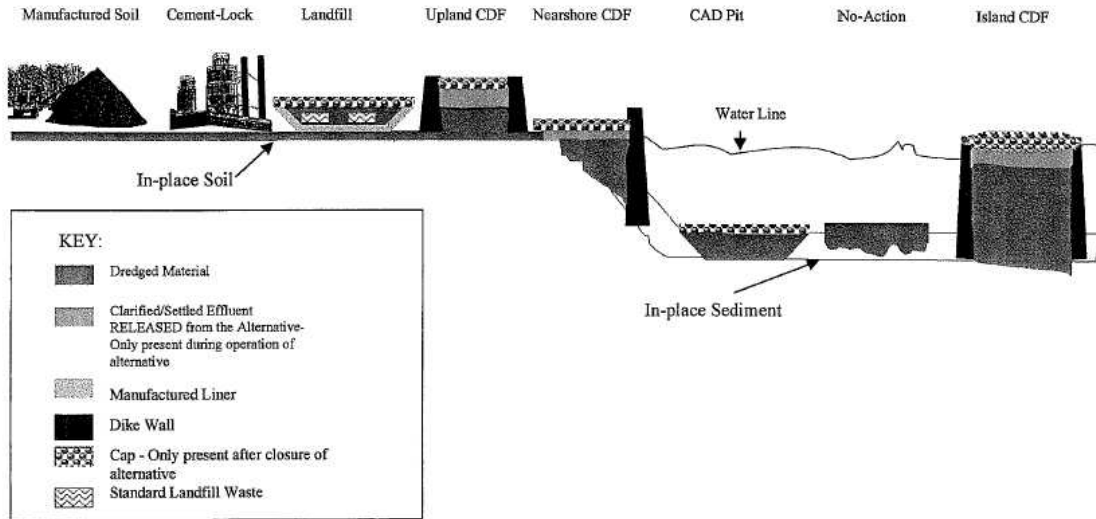


그림 2-6-1 오염퇴적물 처리 대안

수거하고자 하는 오염퇴적물이 매우 높은 농도의 유해물질을 포함하고 있는 경우 그대로 폐기 혹은 고립화시키기에 적합하지 않을 경우가 있다. 그러나 대부분 비용적인 측면과 그 효과가 크지 않기 때문에 처리과정을 생략하고 수거된 오염퇴적물을 폐기하거나 매립하는 경우가 많다. 그러나 오염퇴적물의 처리는 몇몇 상황에서 매우 효과적으로 평가하고 있으며 장기적인 관점에서든 수행되어야 할 과정으로 알려져 있다.

매립은 오염이 매우 심각한 퇴적물 또는 처리 과정 후 발생한 잔여물을 처분할 때 고려될 수 있다. 위해 가능성이 있는 오염퇴적물 또는 오염퇴적물 잔여물은 반드시 유해폐기물 매립장을 이용해야 하며 이는 미국이나 일본 모두 유해폐기물 관리규정에 의해 관리하고 있다. 준설했던 오염퇴적물의 매립은 일반적으로 다량의 수분을 감소시키기 위한 탈수 등의 전처리 처분량의 감소를 위한 오염물질의 처리 과정 등이 요구되기에 많은 비용이 소요된다. 육상 폐기물매립장에 최종처리할 경우, 폐기물관리법에 규정된 환경관리기준들을 준수하여야 한다. 폐기물매립장은 법에 명확하게 그 조성방법 및 관리주체가 정해져 있기 때문에 이를 따르면 된다.

폐쇄처분장은 미국에서 오염퇴적물 처분을 위해 가장 전통적으로 사용되는 방법으로 준설했던 퇴적물이 외부로 유출되지 않도록 차단벽이 설치된 폐쇄형 구조를 가지고 있으며 퇴적물을 투기하는 투기구역과 여수처리를 위한 구역

으로 구성되어 있다. 폐쇄처분장은 대부분 육상에 설치되며 필요에 따라서는 수변지역 또는 완전히 물에 둘러싸인 수역에 폐쇄수계처분장의 형태로 설치되기도 한다. 처분장은 오염물질의 누출이 최소화되도록 설치되어야 하고 처분장의 구조가 유지되어 누출이 발생하지 않도록 관리되어야 한다.

1) 연안매립장

폐쇄형 처분장은 제방에 의해 둘러 쌓여 있고, 퇴적물을 수용하도록 특수하게 설계된 축조 구조물이다. 그 위치에 따라 연안의 해안선에 접촉하여 물에 호안을 조성하여 축조할 경우, 연안매립장(Nearshore Confined Disposal Facility)이라 하고, 육상 위에 독을 쌓아 조성할 경우, 육상매립장(Upland Confined Disposal Facility)이 된다. 그리고, 해안선에 떨어져서 고립된 인공섬 형태로 조성할 경우, 인공섬매립장(Island Confined Disposal Facility)가 된다(그림 2-6-1). 외국에서 폐쇄형 처분장은 항로 준설 및 일부 항로/환경 복합 준설 사업을 위해 널리 사용되지만, 부분적으로 부지를 고려하면 환경 준설 부지보다는 덜 일반적이다.

오염퇴적물 처분을 위해 가장 전통적으로 사용되는 방법인 폐쇄처분장은 처분하는 준설퇴적물이 외부로 유출되지 않도록 차단벽이 설치된 폐쇄형 구조를 가지고 있으며 퇴적물을 투기하는 투기지역과 여수처리를 위한 구역으로 구성되어 있다. 폐쇄처분장 설계의 일차적인 목적은 오염물질과 고형물질의 보유이다. 오염물질은 침출수의 형태로 처분장의 바닥을 통과하면서 또는 처분장의 제방을 통해 침투, 대기로의 휘발 등에 의해 오염도가 저감된다. 준설물의 처분지가 물에서 멀리 떨어져 조류의 영향권 밖에 있는 경우에는 지상으로의 이동이 필요로 하게 되며, 준설 중, 이동과 이동 후, 하역 중, 매체에 의한 이송 중에 오염물이 방출될 위험이 있는 것은 폐쇄처분장 운영에의 단점으로 지적되고 있다.

폐쇄형 처분장에서 준설물질의 처분이 이루어지는 동안 물은 독 구조물 위로 방출되거나 제방벽을 통하여 이동하도록 허용된다. 전형적으로 유출물 가이드라인이나 방출은 회수되는 물의 감시 요구에 대한 제어를 허용한다. 폐쇄형 처분장의 이용 및 엔지니어링 설계에 관한 세부사항은 미국 육군공병단에서 매뉴얼로 만든 바 있다(U.S. ACE 2003).

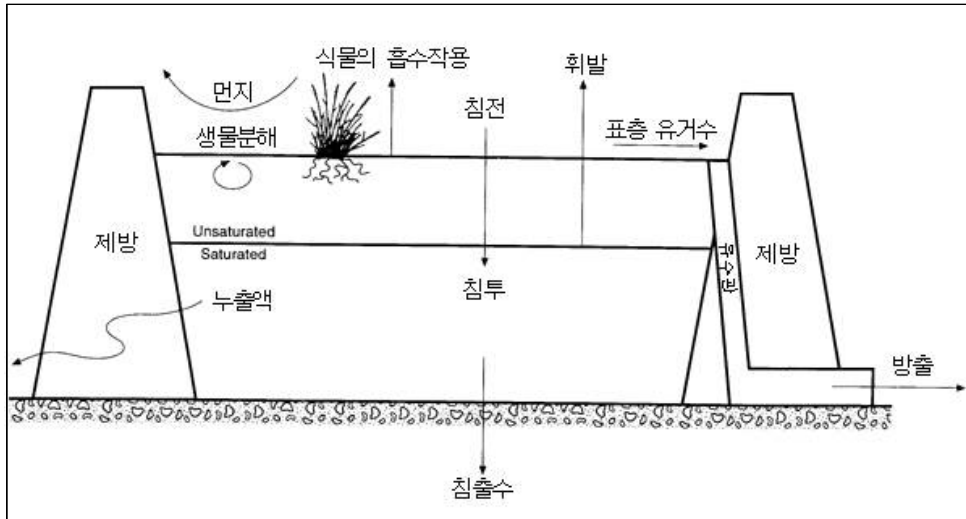


그림 2-6-2 폐쇄처분장에서의 오염물질 순환 개념도

오염된 퇴적물의 배치를 위한 새로운 현장 폐기시설의 평가는 오염물 이동 경로의 평가를 포함해야 하며, 필요에 따라서는 시설설계에서 관리 제어와 협력해야 한다. 매립지 폐기 옵션은 단기간 방출을 가질 수 있는데, 이것은 운반 및 퇴적물의 건조에 따른 대기로의 휘발 동안 흐름을 포함한다. 어떤 폐기 옵션에 따라서, 장기간 방출은 크게 오염물의 특성과 폐기 시설의 설계 및 유지보수에 좌우된다.

폐쇄형 처분장에 대해서, 오염물질은 매움 공사중에 유출물, 강우로 인한 표면 유출수, 바닥 및 제방벽을 통한 누출, 대기로의 휘발, 및 식물이나 동식물에 의한 흡인을 통해 유실될 수 있다. 각각의 이들 경로를 평가하기 위한 시험 방법의 개발 또한 요구된다. 미국 육군공병대에서는 오염물 경로 시험을 기술한 Testing Manual(U.S. ACE 2003)을 개발하였다. 한정된 퇴적물로부터 침출 가능성 있는 오염물에 따라서, 오염물 유실을 최소화하기 위해서, 다양한 독과 바닥 라이닝 및 캡 물질을 사용할 수 있다(Palermo and Averett 2000). 오염의 특성에 따라서, 토양 정화 프로젝트용 폐쇄형 처분장은 바닥 또는 측벽 라이너 또는 저투과성 독 코어 같은 평가를 제어할 필요가 있다. 프로젝트 관리자는 이들 격벽을 통한 투과성이 병합 공정 및 미세 물질에 의한 구멍 공간의 막힘으로 인해서 시간에 따라 크게 쇠퇴하는 것을 알아야 한다. 따라서, 특정 부지에 대한 평가는 중요하다.

캐나다 온타리오주에서는(Ontario Ministry of the Environment and

Energy, 1994) 연안 및 육상 폐쇄형 처분장에서의 오염퇴적물 처분 모니터링 프로그램에 다음과 같은 6가지 사항들에 대하여 주의를 요구하고 있다.

- 주변 지하수 및 표층수의 침투
- 호안의 구조 유지
- 탈수 방류수의 수질
- 주변 수층의 수질
- 현장 접근성 유지
- 공공 및 주변 지역 소유주 및 이용자들에 대한 영향

폐쇄처분장에 배치하고자 하는 물질이 오염되어 있기 때문에 처분장은 주변 지하수 및 표층수로 침투되는 것을 방지하기 위한 설계 및 시공이 이루어져야 한다. 표층수 모니터링은 표층수 시료 채취로부터 확인 가능하다; 지하수에 대한 모니터링은 압출관정(piezometer wells)의 설치가 요구되며 지하수를 펌프하여 확인 가능하다. 침투 여부는 공사 전후의 수질을 비교함으로써 가능하다. 호안 구조의 유지는 호안 양쪽 면으로부터의 침출을 방지할 수 있어야 하며, 구조적으로 안정을 확증할 수 있어야 한다. 이에 대한 최소한의 노력은 처분장이 적절하게 설계되었는지 필요한 공학적 검사가 이루어졌는지를 확인하는 것이다. 연안폐쇄형처분장은 호안 외부의 물이, 폭풍 등에 의하여 호안의 기저부나 호안의 위로 침투하거나, 침식시킴으로서 구조의 안정성을 해칠 우려가 있는지 확인되어야 한다. 적절한 설계에 대한 검토가 요구된다. 처분장에 배치하고자 하는 물질이 오염되어 있기 때문에, 방류수는 특정한 요구사항을 충족시켜야 한다. 이러한 요구사항들은 경우에 따른 근거를 바탕으로 설정되어져야 하지만, 대부분의 오염물질은 세립질 입자 퇴적물과 친화성이 매우 높다는 것이 알려져 있기 때문에 일반적으로 방류수는 부유물질 기준을 충족시켜야 한다. 방류수 기준은 주변 수역의 수질기준에 근거하여 설정되어질 수 있다. 처분장의 크기를 최소화하기 위하여서는 처분 과정에서 탈수가 매우 중요하다. 모니터링 프로그램은 준설 일정을 유지하기 위하여 방류수 수질에 대한 신속한 분석을 요구한다. 분석은 총 부유물질 함량과 함께 방류수의 용존성, 입자성 성분의 오염물질 농도를 포함할 수도 있다.

방류수 수질기준이 주변 수역의 수질에 근거하여 설정되어지기 때문에, 모니터링은 수층의 총 부유물질 농도와 입자성 용존성 오염물질의 농도를

포함하여야 한다.

처분장에 배치된 물질이 오염되어 있고 함수율이 높기 때문에 처분장이 단기적으로나 장기적으로 위험도를 가지고 있기 때문에 공공의 출입으로부터 안전을 보호하여야 한다.

처분 공사 중에는 주변 주민 및 인근 부지의 소유주/이용자에 대하여 영향이 최소화되도록 주의하여야 한다. 처분장에서의 오염퇴적물 배치는 주변이 위락 등(예, 수영)으로 사용되어지지 않는 기간으로 한정하고, 처분시 소음, 냄새 및 먼지 발생을 억제시켜야 한다. 먼지의 발생은 식생으로 덮거나 탈수를 천천히 함으로서 억제되어질 수 있다. 먼지가 과도하게 발생될 가능성이 있다면, 먼지 채집 모니터링이 요구되어 진다. 시설의 관리자는 불편사항들에 즉각 반응하여야 하며 적절한 조치는 사업에 대한 공중의 수용성을 크게 개선시켜 줄 것이다.

국내에는 아직 수거된 오염퇴적물의 처분을 목적으로 건설 운용중인 폐쇄형 처분장은 없다. 현재, 오염퇴적물 정화사업에서 발생된 준설물은 일반 항로 유지 및 조성을 목적으로 준설된 물질을 처리하기 위한 목적으로 건설된 준설토투기장에 병합하여 처리가 이루어지고 있다(예, 부산남항 정화사업, 부산용호만 정화사업). 따라서, 이들 폐쇄형 처분장에서의 환경관리는 우선적으로 준설토투기장에서의 환경관리계획을 수립하고, 이후 오염퇴적물 전용 폐쇄처분장에 대하여서는 세부적인 설계 및 관리계획에 대한 기술지침서가 별도로 개발되어야 한다.

2) 수중고립처분장

오염퇴적물의 수중고립처분은 오염물질이 잠재적 영향을 가지기 때문에 수중의 저서환경으로부터 오염물질을 격리시키기 위한 기술과 방법을 사용하여 처분하는 방안을 총칭하는 것이다.

수중고립처분은 준설한 퇴적물을 해저면에 자연 또는 굴착된 함몰부 내에 처분하는 일종의 수중 피복이다. 함몰부 내에 수중고립 처분하는 경우 적은 유지 보수의 필요성 및 평탄한 바닥에서 처분 후 피복하는 것보다 강한 안정성을 가지는 이점이 있다. 수중고립처분 갯으로 사용하는 함몰부는 통상 준설장비를 이용하여 굴착할 수 있으며, 자연적으로 또는 이전에 준설된 함

물부도 사용할 수 있다. 함몰부를 조성하기 위하여 굴착된 오염되지 않은 퇴적물은 후속 피복 시에 사용할 수 있다.

오염퇴적물의 수중고립처분 방안으로는 오염된 준설물을 해저면 바닥에 배치하여 둔덕이 생기게 하고, 그 둔덕 위에 오염되지 않은 깨끗한 퇴적물로 덮는 평해저면 피복 (Level-bottom capping: LBC)과 비슷하지만, 해저면에서의 오염 준설물질의 확산을 최소화하기 위하여 자연적으로 오목하게 경사진 지형의 바닥에 오염 준설물을 배치하거나 인위적으로 해저면 하를 준설 또는 굴착하여 갯을 만들거나 안벽을 조성하여 처분하고 역시 오염퇴적물의 환경에 대한 영향을 차단하기 위하여 깨끗한 퇴적물로 덮씌우기를 하는 수중고립처분(Contained aquatic disposal: CAD)이 있다 (Palermo et al., 1998).

LBC의 목적은 기존의 평탄하거나 미약하게 경사진 바닥에 오염퇴적물의 격리된 둔덕을 만드는 것이다. 피복은 다양한 기술들에 의하여 배치된 오염퇴적물 위에 이루어질 수 있다. CAD는 일반적으로 오염퇴적물의 물리적 특성 또는 바닥의 조건이 배치하는 동안에 수평적으로 퍼져나가는 것을 제어할 필요가 있을 때에 사용된다. CAD의 사용은 또한, 요구되어지는 피복물질의 양을 감소시킬 수 있고 따라서, 비용을 절약하게 해준다.

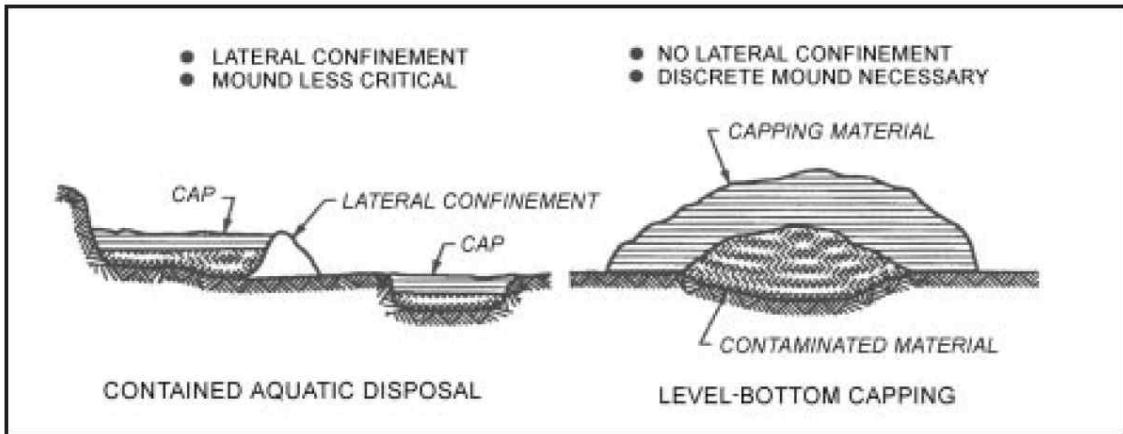


그림 2-6-3 수중고립처분장 개념도

미국 뉴욕/뉴저지항의 오염준설물을 처리, 처분하기 위한 방안 연구에서 연안고립처분장, 인공섬, 수중고립처분장 조성 방안들에 대한 해양생물체에 대한 영향을 비교 분석한 결과, 수중고립처분장을 조성하는 것이 해양생물에

대한 위해도지수가 가장 낮은 것으로 나타났다 (Driscoll et al., 2002). 또한, 위험도 대비 관리비용 측면에서도 수중고립처분장 조성이 가장 우수한 것으로 나타났다 (Bridges et al., 2005).

수중고립처분장 조성은 연안고립처분장이나 인공섬 등에 비하여 초기 건설비용이 적게 든다는 장점이 있으며, 준설구역에 인접한 항만구역 내에서 공사가 진행될 경우에 제 3의 해역 이용권자와의 마찰 또한 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 상대적으로 조성 기술이 간단하기 때문에 우리나라처럼 오염된 퇴적물 처리, 처분 기술 적용 사례가 미천한 현실을 감안할 때에, 단기적으로 도입이 가능한 방안 중에 하나이다.

수중고립처분장 조성에 의한 오염준설물의 처분은 1980년대부터 미국을 중심으로 도입 사용되기 시작하였으며, 미국, 네덜란드, 일본, 홍콩, 브라질, 벨기에, 영국, 푸에르토리코 등에서 이를 적용하여 왔다. 오염준설물의 수중고립처분과 관련된 관리 기술은 현재 미국 육군공병대가 세계에서 선도적이며, 1998년 이와 관련된 지침서를 발간한 바 있다(Palermo et al., 1998).

수중고립처분장에 대한 안정성을 평가하고, 향후 국내에의 활용 가능성을 모색하기 위하여 2007년 오염퇴적물 수거사업이 진행중인 묵호항을 대상으로 미국 육군공병대 기술 연구센터의 기술협력을 통하여 수중고립처분장 조성에 의한 시범사업 설계가 수행된 바가 있다(국토해양부, 2008).

처분하고자 하는 퇴적물이 일반적으로 입도가 작은 니질 혹은 점토질로 구성되어 있기 때문에 처분 과정에서 오염물질이 처분장의 경계 밖으로, 또는 수층으로 방출되기도 한다. 피복층의 침식 또는 피복층을 통한 오염물질의 이동을 통해서 누출이 발생할 수 있다. 따라서, 수중고립처분장의 관리는 처분이 이루어지는 기간을 포함하여 장기간에 걸친 오염물 누출의 진행 및 잠재적인 영향을 고려하여야 한다.

가) 모니터링 설계

오염퇴적물 수중고립처분장에 대한 모니터링의 목적은 효과적인 제어 수단으로서의 수중고립처분 공사를 확인하고, 오염물질이 고립되고 처분장이 장기적으로 잘 유지되고 있는 지를 확인하는 것이다.

오염퇴적물의 수중고립처분을 위한 피복-모니터링의 기획 단계에서 적합한 목적을 선정하기 위해서는 다음을 고려해야 한다.

- 피복지점의 수심 측량, 생물 및 퇴적물 형태의 측정
- 침식 및 확산 가능성 평가를 위하여 조류를 측정
- 피복 물질을 배치하기 위하여 오염물질의 넓이와 두께의 결정
- 피복의 넓이와 두께의 결정
- 요구되는 피복 두께의 결정
- 저서환경으로부터 오염물질 고립에 있어 피복의 유효성 측정
- 생태학적 재 군집형성과 생태교란 가능성 평가

나) 모니터링 항목 및 시기

수중고립처분장을 조성하기 위한 모니터링은 처분 전, 처분 시 그리고 처분 후로 크게 세 단계로 구분된다.

- 처분 이전의 모니터링: 수거 퇴적오염물질의 처분과 피복에 앞서 예정 구역의 특성에 대한 정보를 취득
- 처분 과정 모니터링: 처분공사 기간동안의 수층으로의 퇴적물의 누출과 확산을 감시; 수층으로의 관련 오염물질의 누출을 감시
- 처분 후 모니터링: 단기, 장기로 나누어 단기적으로는 공사 직후, 수층에서 오염물질의 분포 정도를 감시; 장기적으로는 피복층의 구조적 안정성과 오염물질의 피복층으로의 이동, 저서생물에 대한 영향 등을 감시

다) 수중고립처분장 공사 시행 전 모니터링

처분장 조성 공사 전에 다음 10개 항목에 대한 모니터링을 실시해야 한다.

- 지형도: 멀티빔을 사용하여 수심분포 현황을 조사
- 지형특성 영상도: 측심기를 사용하여 해저면의 지형특성을 파악
- 퇴적층 분포도: 퇴적층의 분포현황(Sub-bottom profiles)을 조사
- 저층해류: 해류계(ADCP)를 이용하여 저층해류 측정. 저층해류는 공사 시 영향을 줄 수 있고, 공사 후 지형변화에 원인이 될 수 있음
- 수층의 부유물질: 공사 전 부유물질의 배경농도를 측정
- 표층퇴적물 오염물질 분포: 표층퇴적물의 오염물질 분포 특성 조사
- 지공학 특성: 설계 검증용 기술자료로 활용하기 위하여 지공학 특성 파악
- 저서생물 분포: 공사 전 저서생물의 분포 특성을 파악

- 저서생물 채집: 빔 트롤(Beam trawl)로 저서생물을 채집하여 생물체 내 오염물질 함유량을 평가
- 수층의 오염물질 분포: 공사 전 수층 오염물질의 배경농도를 조사
- 수중고립처분장 공사시행 이전 모니터링

모니터링 항목	제공정보
지형도조사 (멀티빔)	수심분포
지형특성 영상도 (Sidescan sonar)	해저면 지형특성
퇴적층 분포도 (Sub-bottom profiles)	퇴적층 분포현황
저층해류 (ADCP)	공사시 영향, 공사후 지형변화
수층의 부유물질	부유물질 배경농도
표층퇴적물 오염물질 분포	표층퇴적물의 오염물질 분포 특성
지공학 특성	설계 검증용 기술자료
저서생물 분포	저서생물 분포 특성
저서생물 채집 (Beam trawl)	저서생물 오염물질 함유량
수층의 오염물질 분포	수층 오염물질 배경농도

라) 수중고립처분장 공사 시행기간 모니터링

- 수중고립처분장에서의 오염퇴적물 처분 중 모니터링

모니터링 항목	제공정보
주변해역 부유물질	부유물질 확산범위 및 농도 (허용범위)
수층의 오염물질 분포	배경농도와의 비교

- 오염퇴적물 처분 후 피복 이전 모니터링

모니터링 항목	제공정보
지형도조사 (멀티빔)	오염물질 배치 후의 지형특성 피복물질 배치를 위한 처분물질의 두께, 설계 처분용량과 관측처분용량 비교
퇴적층 분포도 (Sub-bottom profiles)	피복물질로 인한 처분오염물질의 압축 고려 피복 두께 결정
지형특성 영상도 (Sidescan sonar)	배치오염퇴적물의 분포 결정, 해류에 의한 변형 평가

설계된 대로 배치될 경우, 기준선, 사후 오염퇴적물 배치, 중간기, 그리고 사후 피복물질 배치 조사를 위하여 모니터링이 실시되어야 한다.

기준선 조사는 처분의 결과로 깊이에 변화가 있는지 측정을 위하여 현장 수심의 측정으로 이루어진다. 사후 오염퇴적물-배치 모니터링은 오염퇴적물이 배치됨으로서 피복 배치 위치의 최종 계획이 개발될 것인지를 결정한다.

마) 수중고립처분장에서의 오염퇴적물 처분공사 이후 모니터링

사후 오염물질 배치 시료는 수심 측정에 기초한 피복 두께 결정을 위한 기준선으로서 필요하다. 중간기 조사는 대규모 프로젝트에서 충분한 피복이 배치되었는지 그리고 추가 물질이 배치되어야 하는지를 결정하기 위하여 활용될 수 있다. 최종적으로 사후 피복 물질 배치 모니터링은 최종 피복 두께를 결정하고 그리고 향후 모니터링 효과를 위한 기준선으로서 활용하기 위함이다.

수중고립처분장에 오염퇴적물을 처분한 이후, 오염물질이 물리적으로 화학적으로 충분하게 고립이 되었는지를 확인하고, 처분공사로 인하여 주변의 생물에 역영향을 미치지 않는지를 확인하기 위하여 피복물질의 피복 효율에 대한 모니터링이 수행되어야 한다.

▪ 오염퇴적물의 물리적 고립

피복된 침적층을 위한 장기 고려 원칙은 피복이 현장에 잔류할 것인가, 침식이 일어날 것인가, 오염층 내의 오염물질이 퇴적물 표층이나 수층으로 이동할 것인가이다. 침식은 일상 조류나, 태풍에 의한 파랑으로 발생할 수 있다. 10~20년 주기의 큰 태풍 후에는 피복층이 심각한 영향을 받았는지 반드시 적합한 모니터링을 실시하여야 한다.

▪ 오염퇴적물의 화학적 고립

침적층 내 오염물질의 분포에서 화학적 구매나 변화는 모니터링 될 수 있지만, 오염된 침적층과 피복층 내에서 오염물질의 기준선 불균일의 이해가 필요하다. 준설 전에 표층에 오염물이 존재하는 경우 관측이 어렵지만, 보다 관측이 어려운 큰 전이나 구매는 발견할 수 있다.

- 생물 모니터링

모니터링을 위하여 어류와 저서생물을 시료로 채취한다. 어류와 조개류는 이동성 생물이기 때문에 오염물질이 미치는 영향을 해석하는데 어려움이 있으며, 생물의 이동 기작과 범위를 고려할 때 주의가 요구된다.

저서생물은 환경에서 물리적, 화학적 변화의 영향을 나타내는 좋은 지표로서 일반적으로 부가적으로 고려된다.

저서생물 트롤, 그랩, 박스코아 등을 사용하여 채집한다. 이 중 트롤은 정성 시료 채집에 사용되며, 그랩과 박스코아는 정량 시료 채집에 활용된다. 일반적으로 시료 채취기는 0.02~0.5m² 면적과 5~100cm 퇴적 두께의 퇴적물을 채취할 수 있다.

- 공사 후 - 단기 (2-3주)

모니터링 항목	제공정보
지형도조사 (멀티빔)	공사 완료 후의 수심지형 특성 파악
퇴적층 분포도 (Sub-bottom profiles)	처분오염퇴적물과 피복물질의 두께 피복물질 무게로 인한 처분장 두께 변형 평가
지형특성 영상도 (Sidescan sonar)	배치오염퇴적물 및 피복물질의 분포 결정, 해류에 의한 변형 평가
수층의 부유물질	공사 이전 상태로의 복원 확인
수층의 오염물질 분포	공사 이전 배경 농도로의 복원 확인

- 공사 후 - 중기 모니터링 (2-3 개월: 계절별)

모니터링 항목	제공정보
표층퇴적물 오염물질 분포	표층퇴적물의 오염물질 분포 특성, 배경 농도와의 비교 및 표층퇴적물 입도 변화 정도
저서생물 분포	초기 영향정도를 공사 이전과 비교, 저서 생물 분포 특성
저서생물 채집 (Beam trawl)	초기 영향정도를 공사 이전과 비교, 저서생물 오염물질 함유량
지형도조사 (멀티빔)	공사 완료 후의 수심지형 특성 파악
해저면 영상 촬영	공사 성공 육안 확인

▪ 공사 후 - 장기 모니터링

(매년: 문제가 발견되지 않으면 항목별 모니터링 강도 축소)

모니터링 항목	제공정보
지형도조사 (멀티빔)	피복물질의 침식, 압축에 의한 전체 처분장 두께 및 지형 변화 평가 (Sub-bottom profiles 및 Sidescan sonar과 결합)
퇴적층 분포도 (Sub-bottom profiles)	피복 두께 감소, 처분오염퇴적물, 피복물질 고형안정화 예측, 피복의 물리적 특성 변화 평가 (예, 해류, 파고에 의한 세립물질 쓸림현상 등)
퇴적물 주상시료	오염물질의 이동 정도 파악, 침식이 있을 경우, 피복물질 및 오염층의 두께 확인
지형특성 영상도 (Sidescan sonar)	수리학적, 인위적 요인에 의한 피복물질 유실 정도, 해저면 피복물질의 이동
표층퇴적물 오염물질 분포	피복 표층에서의 오염물질 분포, 처분 오염물질의 피복물질에의 영향 정도 확인, 배경 농도와의 비교,
저서생물 분포	저서생물 분포 공사 이전과 비교, 처분장에서의 장기 영향 평가, 피복 표층에서의 군집의 정착, 천이 파악
저서생물 채집 (Beam trawl)	초기 영향정도를 공사 이전과 비교, 저서생물 오염물질 함유량
해저면 영상 촬영	육안 확인

사) 모니터링 시료채취 계획 및 방법

모니터링 계획의 요소들은 목적과 직접 관련되어야하며, 그 관계의 과정을 기술하는 물리적, 화학적 그리고 생물학적 요소들을 포함해야한다. 요소들과 과정들의 구분에서, 생물학적 반응은 처분에 의한 물리적, 화학적 변화의 결과에 대한 직접적인 결과로 나타난다. 이 사실은 보다 낮은 단들에 물리적 감시를 강조하는 적합한 계단식으로 된 모니터링 프로그램을 설립하는 것을 위한 논리적인 기초를 제공한다.

물리적 과정의 주요 대상은, 처분 동안 오염물과 피복층의 확산과 축적의 거동과, 조류와 파도에 의해 두 침적물의 침식 가능성 그리고 침적물과 하부 퇴적층과 강화(Consolidation)다. 침식과 강화 과정을 이용하여 피복층의 장기 두께를 예견할 수 있다. 모니터링 계획 요소들은 주기적인 정확한 수심 측량과 SPC 조사, 기반 층 또는 다른 도구에 의해 보충이 필요하다.

화학적 과정의 주요 대상은 건설하는 동안 오염물질과 피복물질들의 혼합의 가능성, 장기간에 걸친 생태교란, 유동이나 확산에 의한 오염물질이 피복물질을 통하여 윗 방향으로 이동 가능성을 포함한다. 모니터링 계획의 요소들은 퇴적물의 화학적 분석을 위한 퇴적물 시료채취 또는 오염물질과 깨끗한 피복층에서 화학적 분포를 측정하기 위한 공극수 채취를 포함한다. 동일한 지점에서 주기적으로 채취되는 주상 시료는 어떤 오염물질의 윗 방향 이동을 측정할 수 있다.

생물학적 과정의 주요 대상은 현존 생물의 형태와 양, 오염물질의 이동에 의한 잠재적인 오염물질의 영향 또는 피복층 보전의 확보다. 모니터링 계획의 요소들은 피복 후 군집이 형성된 저서생물의 채집과 분석을 포함한다.

아) 모니터링 장비 및 기술

모니터링 과정에서 어떤 장비와 기술을 사용할 것인지는 모니터링 계획과 직접 관계된다. 경우에 따라 모니터링은 수심측정, 피복 투계, 퇴적물의 물리적 특성, 조류와 파도를 포함하는 물리 관측만으로 구성될 수 있다.

모니터링에 필요한 장비는 다음과 같다.

- 심층 음향기
- 측심기
- 해저 지형 관측기

- 표층 및 주상 퇴적물 채취기
- 퇴적물 프로파일 카메라
- 퇴적물의 공학적 특성 측정을 위한 기구
- 항해 및 위치 측정용 장비

오염퇴적물의 처분장을 모니터링하기 위한 일반적으로 이용되는 해저면 또는 그 하부의 퇴적층 변화를 판단하기 위한 지구물리탐사 장비 및 방법과 지구물리 탐사기법에 이용되는 주파수 분별 장비 이용은 표 2-6-1로 그 내용을 요약할 수 있다.

표 2-6-1 수중고립처분장 모니터링을 위한 지구물리 탐사장비 요약

이 용 장 비	조 사 내 용	비 고
DGPS 측위	정밀위치 조사	12Channel 2pps 이상
Side Scan Sonar	해저면 상황(실태) 파악	300kHz 대 이상 이용
Sub-Bottom Profiler - General SBP - Special SBP	해저면 하부 지층탐사 - 해저면 하부 ~100m 층 - 해저면 하부 ~10m 층	2~10kHz의 Chirp신호이용 2~8kHz 및 100kHz 이용
Multi-Beam Echo Sounder	해저면 수심지형 파악	100kHz 이상
Single Beam Echo Sounder	해저면 수심지형 파악	200kHz 이상(MBES 보정)
Grab Sampler	해저면 퇴적물 채취	해저면 오염 실태 파악
Gravity Core Sampler or BoreHole Sampleing	해저면 하부 시추 시료 채취	해저면 하부 층별 실태 파악
Under Water Camera	해저면 상황(실태) 확인	해저면 오염 정도 파악

물리 관측에 필요한 장비는 심층 음향기, 측심기, 해저 지형 관측기, 표층 및 주상 퇴적물 채취기, 퇴적물 프로파일 카메라, 퇴적물의 공학적 특성 측정을 위한 기구 등이 있다. 또한 항해 및 위치 측정용 장비는 처분장 내에서 정확한 위치에서 시료채취를 위하여 필요하다.

정확한 수심의 측정은 오염물질이 침적되거나 쌓여진 층 그리고 피복층의 위치, 크기, 두께를 측정할 수 있기 때문에 피복 처분에서 가장 중요한 모니터링 수단이다.

수심 측정의 정밀도는 관측 가능한 침적물의 면적과 두께에 의해 제한된다. 측정의 정밀도는 위치 측정기, 수심, 파랑 등을 포함한 다양한 요소들에 영향을 받는다.

해저면 부터 해수면까지 모니터링을 위한 대부분의 방법들은 약 20cm 이내의 정밀도를 가진다.

관측시 해저면과 해수층 경계면은 분명히 구분되지 않는다. 특히, 수심 측정 시 이 층에서 발생하는 노이즈는 측정 장비에 영향을 줄 수 있다.

침적층의 수심 측정 시 퇴적물 유실을 판단하기 위해서는 오염물과 피복층 또는 퇴적층의 강화 과정을 파악해야 한다. 처분 후 약 6~12개월 이내에 이 세 물질의 강화가 발생하며, 이로 인하여 침적 층 높이가 다소 낮아지지만 이 과정은 침적층의 유실이 아니다.

물리, 화학적 변수 측정을 위한 퇴적물 시료는 그랩 또는 주상 시료 채취기를 사용하여 채취할 수 있다. 통상 굴착 장비, 진동 코아 채취기, 중력 코아 채취기 등도 시료 채취에 활용될 수 있다. 또한, 침적 판, 무인 관측 장비, 수중사진 촬영기, 비디오카메라 등도 현장 상황을 관측하는데 사용된다.

처분장 건설로 인한 지형변화를 파악하기 위하여 실시하는 모니터링은 약 3개월 단위로 정밀해저지형, 해저면 영상, 해저지층탐사 및 주변 표층퇴적물의 변화를 처분장 조성후 1~2년간 실시하고 이를 토대로 매년 1회 이상 향후 5년 이상은 지속적으로 조사 되어야 할 것이다.

자) 수중고립처분장 관리 조처 사항

모니터링시 어떤 수용 가능 한계치를 초과할 경우, 이에 따른 관리행위가 수행되어야 한다. 적절한 관리행위는 반드시 처분 계획 과정에서 사전에 결정되어져야 한다.

초기 단계에서 관리대안은 다음 단계의 모니터링 수준을 높이거나, 퇴적물을 추가하여 두꺼운 피복층을 형성하거나, 처분장의 이용을 중단하는 것이다. 그 다음 단계의 관리 대안은 처분장 사용의 중지, 피복 물질 교체, 생물학적 또는 물리적 과정으로 오염물질의 이동이 발생하는 경우 조밀한 입경의 피복물질의 추가이다. 또한, 침식이 발생한 피복층을 위해서는 피복물질을 추가하는 것도 가능하다.

처분장에서 극단적인 오염 문제가 발생할 경우에는 오염물질의 제거나 다른 장소로 이동 배치도 고려하여야 한다.

다음은 미국 보스톤항에서의 오염퇴적물 수중고립처분장 조성공사의 모니터링 사례이다.

표 2-6-2. 미국 보스턴항 오염퇴적물 수중고립처분장 모니터링 사례

위 치	보스턴항, 메사추세츠주, 미국
특성	보스턴항 유지준설사업. 보스턴내항 연방 수로에 2단계에 걸쳐 시공
건설기간	1997년 1단계: 1개 수중고립처분장 1998년 2단계: 8개 수중고립처분장
기술	표면 이토에 대하여서는 level cut/친환경 크랩셀을 아래의 점토층에 대하여서는 open-toothed 버켓을 사용하여 수로에 수중고립처분갱을 굴착
처분용량	1단계: 23,000 cy 2단계: 1,000,000 cy
오염물질 종류	중금속, PCBs, PAHs 를 포함한 다양한 오염물질
수심	15 m
모니터링	
기초조사	1단계에서 화학, 생물, 물리 자료 생산. 부유물질 영향 예측 모델 수행
갱 건설 단계	한정된 어로 관측
준설단계	한정된 탁도 검사. 심각한 부유물질 영향 없음
오염퇴적물 배치 단계	탁도 실시간 추적. 오염물질 수층조사. 모니터링 결과 부유물의 한정된 이동이 나타났으나 수질기준을 초과하지 않음. 생물검사결과 영향 없음. 생물농축 시험 결과 뚜렷한 영향 없음. 용존산소 실험결과 뚜렷한 영향 없음
복토단계	수심지형도. 지층, 해저음향영상 조사. 시추물 화학분석, 1단계에서 비디오 촬영. 1단계에서 심한 복토 두께 변화 관측. 최종 2단계에서 복토 완료, 복토층과 오염물과의 현저한 혼합 현상 없음
시공 후	3 m 시추, 표층시료채취, 퇴적물 수직 단면 영상 촬영 수행. 복토에 뚜렷한 변화 없음. 생물평가 결과 주변 해저면과 비슷한 생물군집으로 1단계의 채천이를 관찰
교훈	
비이해관계자가 계약당자사와 행정당국사이의 갈등을 성공적으로 해결함	준설 시공 견지 (시간, 운반선 세척, 작업도 경험): 수층에서의 잠재적 영향의 견지에서 장비사양을 보다 중시함
실시간 부유물 모니터링은 현장 밖으로 물질들의 잠재 이동 가능성에 대한 좋은 지시자 역할을 함	더욱 효과적인 모니터링은 용존형태 구성분에 대한 특별한 관심이나 심각한 부유물질의 플룸 형성에 주안을 둔 시료채취 및 분석으로 부유물질을 평가하기 위한 실시간 측정을 강조하는 모든 측면들을 주기적으로 모니터링 하는 것을 포함한다
숙련된 모니터링 요원이 허용한계 초과로 인한 잠재적 작업 중단 비용과 비교하여 훨씬 비용 효과적임	해저면 유체변동은 가벼운 물질의 상부에 밀도가 더 큰 물질을 배치함으로써 갭 바깥으로 밀려나게 함으로서 형성되어졌다

2. 해양오염퇴적물 최종처리장의 환경관리방안

1) 준설토투기장 환경관리

국내에 아직 오염퇴적물 전용 폐쇄처분장의 설계 및 조성이 이루어지지 않고 있기 때문에 이에 대한 세부 설계 및 관리에 대한 기술적인 지침의 개발이 요구된다.

여기서는 현재 오염퇴적물의 투기가 이루어지고 있는 준설토투기장에서의 환경관리방안에 대하여 기술하기로 한다.

가) 처분 단계에서의 처분이 고려된 퇴적물질의 오염도 확인

- 준설토투기장에 수거 오염퇴적물을 처분하고자 할 경우, 설계 단계에서 처분장의 향후 용도를 확인하고 처분하고자 하는 수거 오염퇴적물이 토양환경보전법시행규칙제1조의5관련 [별표 3] 토양오염우려기준에 적합한지를 확인한다.
- 만일 수거 오염퇴적물이 준설토투기장의 토양오염우려기준에 부적합하여 오염도를 감축하기 위한 중간처리가 필요할 경우, 선택된 처리기술이 기준을 충족시킬 수 있는지 사전에 확인한다.
- 확인이 필요한 오염물질은 수거 전의 정화사업해역 퇴적물에서 토양오염우려기준을 초과한 항목들에 한한다. 이들 항목들에 대한 오염도 분석은 적어도 수일에서 1-2주일이 소요되기 때문에 처분과정에서의 마찰을 방지하기 위하여서는 수거해역 중 오염도가 가장 높은 것으로 확인된 구역의 퇴적물을 수거하여 수거공사가 본격적으로 이루어지기 이전에 처리기술의 성능을 미리 확인할 필요가 있다.
- 중간처리 후 퇴적물의 오염도가 토양오염우려기준을 충족시키는 것이 확인될 경우, 공사의 정상적인 수행을 허가한다.
- 처분은 처리 후 오염도를 확인하고 처리가 정상적으로 이루어지지 않은 부분에 대하여 재처리를 수행할 수 있도록 투기장에 별도의 구역을 설정하여 처분 일정별 물량과 위치를 확인할 수 있도록 처분하도록 한다.
- 사업 기간중 처리 물량과 처리시설의 처리용량을 감안하여 처리가 이루어진 퇴적물에 대하여 처분 일정에 따라 처분하고자 하는 퇴적물에 대

하여 시료를 취하여 퇴적물의 오염도를 분석한다. 시료채취는 사업 관리자의 입회하에 분석용 시료가 전체 시료를 대표할 수 있도록 처분 이전에 저장된 시설에서 위치가 서로 다른 3 군데에서 500 mL 이상의 부시료를 취하여 이들을 균질하게 혼합한 후, 일정부분을 취하여 분석을 실시한다.

- 분석은 토양환경보전법에서 규정된 분석기관에서 실시하도록 한다. 공사 담당자는 분석결과를 일정별로 처분위치 및 처분물량에 대한 자료와 함께 보관하여야 한다.
- 처리된 퇴적물의 분석결과가 토양환경보전법시행규칙제1조의5관련 [별표 3]의 토양오염우려기준을 충족시키지 못한 것으로 나타날 경우, 즉시, 처분을 중단하고, 이전에 처분된 부분 중 기준을 초과한 부분에 대하여 기준을 충족시킬 수 있는 조치를 명하여야 한다.
- 처분이 완료된 이후, 처분된 전체 퇴적물에 대하여 최종 승인 검사를 받기 위한 검증을 실시하여야 한다.

나) 방류구를 통한 인접해역 오염방지 등

- 준설토투기장에 수거된 오염퇴적물을 미처리된 상태로 혹은 응집·침전 등의 전처리만을 한 채로 투입하고자 할 경우, 처분과정에서 준설토투기장에 인접한 해역의 수질에 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 투입과정에서 오염퇴적물이 바깥으로 누출되는 것을 방지할 수 있어야 한다.
- 수거 오염퇴적물을 준설토투기장에 투입하는 동안 준설토투기장과 외해를 연결하는 방류구를 통하여 외해로 방출되는 방류수로 인한 인접한 해역의 환경질 저하를 가져와서는 아니된다.
- 준설토투기장에 수거 오염퇴적물의 투입이 이루어지는 기간 동안 방류구에서의 환경모니터링이 이루어져야 한다.
- 방류구의 수질검사는 사전에 수거 대상해역 퇴적물을 대상으로 준설토투기장에 투입시의 전처리 방법, 함니율 등을 근거로 잔여수에 대한 수질검사를 수행한 결과를 바탕으로 한다.
- 잔여수에 대한 수질검사는 부영양화 관련 항목으로 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소, 무기질소, 무기인, 규산염), 부유물질(SS) 및

유해물질 관련 평가항목 중 사업해역의 퇴적물에서 기준 2 이상을 초과하는 항목으로 한다.

- 잔여수에 대한 수질검사 결과 유해화학물질 관련 항목의 농도가 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준을 초과하지 않을 경우, 방류구의 수질 측정 항목은 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소, 무기질소, 무기인, 규산염), 부유물질(SS)로 한정한다.
- 잔여수에 대한 수질검사 결과 유해화학물질 관련 항목의 농도가 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준을 초과할 경우, 이들 항목을 포함하여 측정한다.
- 방류구에서의 방류수 수질기준은 유해화학물질 관련 항목의 경우, 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준으로 하고, 그 외의 항목들에 대하여서는 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준으로 한다.
- 방류구에서의 수질검사는 수거 오염퇴적물의 수거가 이루어지는 기간동안 적어도 1주일에 1회 이상 실시하고, 부유물질에 대하여서는 탁도계를 이용하여 매일 1회 이상 실시한다.
- 검사결과는 해역에 미치는 영향을 검토하기 위한 자료로 사용된다. 공사기간 중 부유물질의 농도가 기준을 초과할 경우, 즉시, 준설투기장에서의 투입을 중지하고, 이를 관리자에게 보고하여야 한다. 관리자는 공사 담당자와 함께 부유물질 확산을 방지하기 위한 대책을 수립하고 시행하여야 한다.
- 준설투기장에서의 외해로의 부유물질 확산을 억제하는 방법으로는 투입 지점을 되도록 방류구에서 먼 곳에 배치하거나, 또는 해저면 가까이에 배치하는 등의 방안이 있다.
- 방류구에서의 수질검사 결과를 바탕으로 해역의 수질에 미치는 영향에 대한 검토한다. 방류구에서의 측정항목들의 농도와 방류구를 통하여 외해로 유입되는 방류수의 양으로 이들 항목들에 대한 총 유입량을 계산하고, 총 유입량이 해역의 수질에 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 나타날 경우, 방류구에서 흐름이 있는 방향으로 100 m 되는 지점에서의

표층과 저층의 수질을 조사한다.

- 투기장 주변해역의 수질 조사는 수거 퇴적물의 투입으로 인한 영향이 가장 클 것으로 예상되는 시기에 수행한다.
- 투기장 방류구로부터의 오염물질 유출로 인한 해역의 환경저하를 미연에 방지하기 위하여서는 사업의 계획 및 설계 단계에서 해역의 혼합계수를 산정하여 사전에 검토가 이루어지는 것이 적절하다.

제7절 해양오염퇴적물 정화사업 종료후 해역 관리방안 검토

1. 정화사업 종료 후 해역 관리 사항 검토

오염퇴적물 정화사업 실시 해역은 시행 이후, 공사가 설계사항을 준수하였는지 확인하고 감시하는 것이 무엇보다 중요하다.

모니터링 계획은 정화사업 기간을 포함하여 사업 종료 이후 모든 형태들의 오염퇴적물 정화사업들에 대하여 추천된다. 모니터링은 1) 설계 및 기준들에 대한 부합 정도를 평가; 2) 퇴적물 정화 수준들에 부합하는 단기간 정화 성능 및 유효성 평가; 3) 정화 목적들의 달성 및 인간의 건강 및/또는 환경상 위협에서의 장기간 정화 유효성 평가, 들을 포함하여 여러 이유들에 대하여 오염퇴적물 해역들에서 수행되어야 한다. 게다가, 모니터링 자료는 미국, 일본에서는 5년간의 검토 과정을 필요로 하고 있다.

성공적인 오염퇴적물 정화사업은 전형적으로 선택된 퇴적물의 화학적 또는 생물학적 정화 수준들이 시간 경과에 대하여 충족되고 또한 유지되는 곳과, 또한 모든 관련 환경 문제들이 해역의 용도 및 정화 목적들에 기초한 수용가능한 수준들로 감소되어지는 것이다.

어떤 해역에서는 심각한 정화사업 이후의 오염물질 잔존으로 인하여, 혹은 해역에서 모든 오염원을 제어하는 것이 불가능하기 때문에, 무해한 퇴적물 또는 생물 수준에의 도달하기까지는 수십년은 아닐지라도 몇 년은 걸릴 수 있다. 적절한 경우에는, 장기간 위협 감소의 주요 측정에 더해 그 장소에서 여러 번의 정화사업 유효성의 중간 측정이 평가되어야 한다.

다음 표 2-7-1은 미국의 수퍼펀드 오염퇴적물 정화사업의 효능 검사를 위한 4가지 고려사항들을 나타낸다(U.S.EPA, 2005).

적절한 측정에 접근하는 모니터링 계획은 일반적으로 모든 퇴적물 장소들에서 개발되고 그리고 이행되어야 한다. 표 2-7-1에 사용된 바와 같은 용어 “정화 효능”은 대안들을 측정 과정에서 모니터링의 잠재적 역할에 접근하는 것이다.

표 2-7-1 미국 수퍼펀드 오염퇴적물 정화사업 해역 효능 측정

<p><u>중간 측정 :</u></p> <ol style="list-style-type: none">1 - 단기간 정화 성능(예, 퇴적물 정화 수준들이 달성되었는가? 피복물질이 설계와 같이 배치되었는가?)2 - 장기간 정화 성능(예, 퇴적물 정화 수준들이 달성되었고, 적어도 5년간 그리고 그 이후에 적절하게 유지되었는가? 피복이 침식되지 않고 견디고 있는가?)3 - 단기간 위험 감소(예, 5년 후에 자료가 어류 조직에서 오염물질 감소, 저서생물 독성 감소, 종다양성 또는 기타 지표들에서 나아지고 있다는 증명 또는 적어도 암시되고 있는가?) <p><u>주요 측정 :</u></p> <ol style="list-style-type: none">4 - 장기간 위험 감소(예, 어류 조직에서 정화사업의 목적들이 달성되었는지, 또는 생태 회복이 달성되었는가?)

2. 정화사업 종료 후 대상해역 관리방안

1) 정화사업 종료 후 해양환경 모니터링

정화사업이 종료된 이후 사업해역에서 정화사업이 계획과 같이 이루어졌는지를 확인하고 정화사업의 효과를 검증하기 위하여 실시하여야 할 모니터링의 내용은 다음과 같다.

가) 정화사업 준수 검증

- 정화사업이 수거에 의하여 수행될 경우, 수거가 계획대로 이루어졌는지를 확인하기 위하여 사업 당해구역에 대하여 정밀 수심지형을 측정한다.
- 수심지형 측량은 멀티빔을 이용하여 가로 세로 10 m 이하, 수심 오차 5 cm 이하의 정밀도를 가져야 한다. 수심 측량은 반드시 조석에 대한 시간 보정이 이루어져야 한다.
- 정밀 수심측량 결과를 바탕으로 설계도에 대한 만족 여부를 판단한다.
- 수거가 설계기준을 만족하지 못한 것으로 판단되면 즉각 관리자는 공사

담당자에게 이에 대한 시정 이행을 요구하여야 한다.

- 수거가 제대로 이루어졌는지를 검증하여 이에 대한 시정조치가 해역의 기타 이용 측면에서 일정상 이행하기가 어렵다고 판단된 공사에 대하여서는 수거가 절반 이상 이루어진 시점에서 중간 검사를 실시하여 사업의 준수 여부를 이행하도록 하여야 한다.
- 수거 후 청정 퇴적물로 피복이 이루어지는 사업에 대하여서는 피복 공사가 종료된 이후 적어도 1개월 이내에 피복이 설계를 준수하였는지 여부를 검증하여야 한다.
- 피복의 설계 기준 충족 여부에 대한 검사는 피복 구역이 500m²를 초과하지 않을 경우, 등면적으로 구분되는 3지점 이상에서, 500m²를 초과할 경우에는 적어도 200m²당 한 지점에서 피복의 두께와 피복물질의 성상에 대하여 조사를 실시한다.
- 검사 결과, 피복에 대한 설계기준을 충족하지 못하였을 경우, 관리자는 공사 담당자에게 시행조치를 요구하여야 한다.

나) 사업해역 해양환경 모니터링

- 오염퇴적물 정화사업이 종료된 해역에서는 정화사업의 시행으로 인한 해양환경개선효과를 검증하고, 오염원이 적절하게 제어되어 사업구역의 재오염이 발생하지 않는지를 확인하기 위하여 해양환경에 대한 모니터링을 수행하여야 한다.
- 수행하여야 할 해양환경 모니터링 내용은 다음과 같다.

조사 항목	<p>가. 해수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 일반항목 : 수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN (NO₂-N, NH₄-N, NO₃-N), TP, DIP (PO₄-P), SiO₂-Si, SS, 투명도, 클로로필-a ○ 유해화학물질 관련 항목 : 정화사업해역의 퇴적물에서 유해화학물질 관련 평가항목에서 규정된 기준 2 이상의 농도가 발견된 항목 <p>나. 해저퇴적물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 일반항목 : 강열감량(IL), COD, 산취발성 황화물(AVS), 입도
-------	---

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유해화학물질 관련 항목 : 정화사업해역의 표층 퇴적물에서 유해화학물질 관련 평가항목에서 규정된 기준 1 이상의 농도가 발견된 항목들로 한다. 다만, 크롬(Cr), 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 비소(As), 납(Pb), 수은(Hg), 니켈(Ni) 중 1 항목이라도 그 농도가 기준1 이상일 경우, 이들 항목 전부와 알루미늄(Al)을 포함한다. <p>다. 해양생물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생물독성 : 단각류 치사율, 마이크로톡스(Microtox) 발광율, 성계 수정율 ○ 저서생물서식환경 : 저서생물군집, 저서생물현존량 ○ 유해화학물질 생물농축 : 정화사업해역의 퇴적물이 유해화학물질 관련 평가항목에서 규정된 기준2 이상의 농도를 포함하고 있는 항목들에 한하며, 주요 어·패류 수산물 식용부위
조사 정점	<p>가. 해수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 총 사업구역을 포함하여 5개 이상 <p>나. 해저퇴적물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 총 사업구역에서 500m 이하의 간격으로 조사정점을 선정하며, 사업구역 바깥의 대조정점을 1개 이상 포함 <p>다. 해양생물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생물독성 : 해저퇴적물 조사정점들 중에서 대조정점을 포함하여 최소한 5개 이상 ○ 저서생물서식환경 : 총 사업구역과 대조정점을 포함하여 최소한 5개 이상 ○ 유해화학물질 생물농축 : 사업으로 인하여 영향을 받을 수 있는 해역에 양식장이나 보호하여야 할 어장 등이 존재하는 경우, 각각 1 개 이상의 적절한 조사정점을 선정
조사 시기	<p>가. 해수</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 계절별 변화를 파악할 수 있도록 년 4회 실시 <p>나. 해저퇴적물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 년 1회 실시

	<p>다. 해양생물</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 생물독성 : 년 1회 실시 ○ 저서생물서식환경 : 년 1회 실시 ○ 유해화학물질 생물농축 : 년 1회 실시
<p>비고</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 해수는 표·저층을 조사를 원칙으로 하며, 단, 클로로필-a 및 유해화학물질 관련 항목은 표층 조사만 실시 2. 해저퇴적물은 표층퇴적물 조사를 원칙으로 하며, 평가항목들의 수직변화를 파악할 필요가 있는 경우 주상퇴적물에 대하여 조사를 실시 3. 생물독성은 표층퇴적물 시료를 대상으로 조사를 실시 4. 총 조사기간은 사업 종료 후 3년간 실시 	

- 사업 종료 후 해양환경 모니터링 조사 결과, 해역의 환경이 다시 악화되는 것으로 나타날 경우, 해역관리자는 오염원에 대한 재조사와 함께 추가 해양환경에 대한 모니터링을 실시하여야 한다.
- 제어되지 않은 확인된 오염원이 존재하는 것으로 나타날 경우, 오염원 제어에 대한 대책을 강구하여야 한다.
- 추가 해양환경 모니터링은 해양환경의 개선 여부를 판단할 수 있도록 충분한 기간 동안 이루어져야 한다.

제8절 외국의 해양오염퇴적물 정화사업 추진 사례 검토

1. 미국의 해양오염퇴적물 정화사업 현황

1) 이글 항(Eagle harbor)-과업 2(west harbor)

▶ 개요

대상구역의 주요 오염물질은 수은이며, 정화사업은 1994년부터 1997년 10월까지 실시됨. 정화사업은 자연정화, 피복, 준설, 고립처분, 안정처리 및 오염원 제어 등 다양한 처리, 처분방안이 사용됨.

▶ 소요비용

총 소요비용은 3백만 \$ (약 33억, 1,100원/\$ 기준)

▶ 제거(준설) 대상 물량

총 물량: 2,950yard³ (2,255m³)

▶ 처리, 처분 방법

- 현장 피복 처리: 모래 30,000톤
 - 22,600톤(면적: 24,281m², 두께: 0.15m)
 - 7,400톤(면적: 2,023~2,833m², 두께: 1m)
- 대상구역에서 1,032m³을 준설, 765m³을 습식굴착(Wet excavation) 후, 4,047m² 면적의 연안 고립처분장에서 처분
- 간조시 497m³을 습식굴착 및 안정화 처리 후 상용 매립장에서 매립처분

2) 커멘스먼트 만(Commencement bay)-과업 2(Sitcum 수계)

▶ 개요

커멘스먼트 만 연안과 조간대는 1983년 국가 오염정화 우선순위(National priorities list: NPL)에 등록되었음. Sitcum 수계는 블레어(Blair) 수계와 밀워키(Milwaukee) 수계의 중간에 위치함. 이 지역은 정화사업뿐만 아니라 항로 유지의 목적으로 1993년 10월부터 1994년 9월까지 사업이 실시됨.

▶ 소요비용

총 소요비용은 17.5백만\$ (약 192.5억, 1,100원/\$ 기준)

▶ 정화사업 물량

총 물량: 2.83백만yard³ (2.16백만m³)

오염구역: 425천yard³ (324.9천m³)

비오염 구역: 2.4백만yard³ (1.83백만m³)

▶ 처리, 처분 방법

- 대상구역에서 준설 후 바지선과 펌프를 사용하여 버려진 밀워키 수계로 이송하여 바닥에 배치(placement). 장기간 침전시킨 다음 청정물질로 피복 처분함

3) 포드 강 하구(Ford outfall)

▶ 개요

1993년 미국 환경보호청(EPA)는 슈퍼펀드 가속 정화 모델(Superfund accelerated cleanup model: SACM) 하에서 시급하지 않는 정화 조치(Non-time critical action: NTCRA)로서 포드 강 하구를 재 지정함. 대상 구역에서는 1994년부터 1997년까지 3년간 기계식, 유압식(펌프식) 준설방법 모두를 사용하여 준설함.

▶ 소요비용

총 소요비용은 5.65백만\$ (약 62.15억원, 1,100원/\$ 기준)

▶ 제거(준설) 대상 물량

총 물량: 2.6acre에서 약 28,500yard³ (10,522m²에서 21,789m³)

▶ 처리, 처분 방법

- 대상 구역에서 일반 크랩셸(Clamshell) 버킷에 케이블 암을 연결한 크랩셸 버킷을 사용하여 준설함. 준설한 퇴적물은 시멘트를 사용한 안정화

또는 고정화 처리 후, 12,140m² 면적의 특정 폐기물 매립장에 매립 처분함.

- 최종 퇴적물 검증용 시료 평가로부터 PCBs의 농도 범위는 준설지역 중 60% 지역은 0.5에서 20ppm로 나타났고, 40% 지역에서는 해당 구역에서 설정한 정화복원 기준인 10ppm 이상으로 나타남.
- 준설 후 1년이 지난 시점에서 조사결과, 16개 주상퇴적물에서 PCBs 평균 함량은 약 10ppm 정도로 나타났다. 정화사업 이전, 주된 오염지역에서 채취한 두 시료의 경우, 각각 64ppm, 110ppm으로 나타남.

4) 그로브 만(Gruber's grove bay)

▶ 개요

그로브 만은 인공호인 위스콘신호의 일부 구역(면적: 101,170 m²)이며, 위스콘신주 Sauk 지역(country), Merrimac과 Sumpter 타운 인근의 이전 군용 탄약공장의 바로 남쪽 지역이다. 대상구역의 주요 오염물질은 수은이며, 대상 구역 퇴적물에서는 24ppm을 초과함. 위스콘신호 퇴적물에서 수은의 배경 농도는 0.36ppm임. 정화사업에서는 퇴적물에서 수은의 배경 농도 이상인 구역 전부를 정화사업 대상 범위로 설정.

▶ 소요비용

총 소요비용은 7백만\$ (약 77억원, 1,100원/\$ 기준)

▶ 제거(준설) 대상 물량

총 물량: 87,000yard³ (196,211천m³)

▶ 처리, 처분 방법

- 해당구역의 정화사업은 2001년 4월부터 2001년 11월까지 실시되었음.
- 펌프식 오거형 준설선(토출관 직경 10인치)을 사용하여 준설(8~12시간/일, 5~6일/주, 준설량: 63.5m³/h)함.
- 준설로 제거한 퇴적물을 토목섬유(Geotube)에 직접 주입하여 탈수 처리함. 탈수과정에서 분리된 액상은 검사결과 기준에 적합하여 살수용수로 사용.

- 탈수처리 후, 약 102개의 토목섬유를 사용하여 평형하게 한 층을 배치한 다음 그 위로 2개 층으로 총 3개 층으로 쌓아서 배치함.
- 배치시 표층토양 17cm(0.5ft) 아래에 배치한 다음, 비오염 토양을 85cm(2.5ft) 두께로 쌓아서 매립 처분함.

5) Manistique 강 / 항만

▶ 개요

대상 구역의 정화사업은 1995년부터 1997년까지 총 3년간 실시됨. 대상 구역은 면적 40,000,000m²인 A 및 B 구역(1995년 준설)과 면적 8,094m²이며, 오염도가 높은 C구역 그리고 면적 60,702m²인 항구내의 D구역(1997년 준설)으로 구분된다.

▶ 소요비용

총 소요비용은 48.2백만\$ (약 530억원, 1,100원/\$ 기준)

▶ 제거(준설) 대상 물량

총 물량: 187,500yard³ (143,346m³)

▶ 처리, 처분 방법

- 대상 구역에서의 정화기준은 PCBs 10ppm 이상이며, 준설지역 중 C, D 구역은 준설심도까지 준설한 다음, 오염되지 않은 모래로 피복하여 최종 처리함.
- 대상구역에서 준설로 제거된 퇴적물은 탈수 처리한 다음, 탈수된 고형물 중 대부분은 D 구역의 매립장에서 처분되었고, 오염도가 높은 나머지는 유타주의 폐기물 매립장에서 처분됨.
- 정화사업 후 검증결과, 대상구역 중 84.5% 구역에서는 주요 오염물질이었던 PCBs가 검출되지 않거나, 1ppm 이하로 나타남.
- 나머지 구역 중 6.1% 구역에서는 1~10ppm, 6.3% 구역에서는 10~50ppm, 3.1 구역에서는 50ppm 이상으로 나타남.

6) Saginaw 강 / 만

▶ 개요

대상 구역의 정화사업은 2000년부터 2001년까지 총 2년간 실시됨. 대상 구역은 5개의 구역으로 구분되는데, 각각의 구역은 “준설구역 1(17,584m³)”, “준설구역 2(130,731m³)”, “준설구역 3(3,440m³)”, “준설구역 4(48,929m³)”로 구성됨.

▶ 소요비용

총 소요비용은 8.9백만 \$ (약 97.9원, 1,100원/\$ 기준)

- 고립 처분장 조성 및 고립 처분 비용 (1.54\$/yard³ ≅ 2,216원/m³) 포함.

▶ 제거(준설) 대상 물량

총 물량: 52.7 Acre에서 320,000yard³ (213,266m²에서 244,643m³)

▶ 처리, 처분 방법

- 대상 구역에서 준설로 제거된 퇴적물은 바지선을 사용하여, 현장에서 약 3.2km 떨어진 거리에 있는 섬의 고립 처분장에서 최종 처분함.

7) 오염퇴적물 정화비용

- ▶ **미국에서의 오염퇴적물 정화비용** 단가는 567\$/m³(623,700원/m³, 1,100원/\$ 기준)이 소요되는 것으로 추정되고 있다. 2002년 미의회에 제출된 보고서에서 확인된 오염퇴적물 부피인 150억m³의 10%를 정화한다고 가정할 경우, 8,500억\$(약 935조 8,500억원/m³, 1,100원/\$ 기준)의 비용이 요구될 것이다.

- **수퍼펀드 프로그램**은 미의회에서 연간 약 13억\$ 가 할당된다. 이중 약 16% 정도가 오염원인자가 확인되지 않은 수퍼펀드부지의 정화비용으로 사용된다. 미국 오염퇴적물 부지의 많은 부분은 오래된 도시지역에 위치하여 있으며 따라서 이들 수역에서 수십년이 경과된 오염의 원인자를

확인하는데에 있어서 많은 법적인 문제들이 존재한다. 그러한 부지들에 수퍼펀드의 여러 책무 당사자를 적용시키는데 있어서 충분한 문제점들이 밝혀져 왔으며, 따라서, 다다음과 같은 두가지 대안의 체제가 시범적으로 검증되어지고 있다: 도시하천복원발의(Urban Rivers Restoration Initiative); 오대호유산법(Great lakes Legacy Act). 각 경우에 있어서 정화비용은 연방정부에서 65% 지방정부에서 35%를 충당한다. 또한 환경보호청과 주 환경청은 오염퇴적물 정화조치를 위한 기금을 조성하거나 오염 정화를 위한 다양한 프로그램들을 사용하고 있다.

- **수퍼펀드 프로그램 현황:** 2005년 9월까지, 수퍼펀드는 150개가 넘는 장소들을 정화하기 위하여 선정하여 왔다. 이들 중 11개 지역은 정화비용이 50백만불 이상이 소요된 "mega sites" 라 부른다. 대략 50개가 넘는 장소들이 퇴적물에 대한 조사가 이루어 지고 있으며, 이들 중 몇몇은 mega sites 가 될 것으로 여겨진다.
- **오대호유산법(Great KLakes Legacy Act 2002)**을 통하여 2004~2008회계년도에 31개 미국측 오염퇴적물부지를 정화하기 위하여 270백만\$ 을 승인하였다. 이 법안은 2002년 3월 발의 및 11월 승인되었으며, 사업 비용으로 연간 50백만\$ (오염퇴적물 부지 조사, 평가, 모니터링, 정화 비용), 기술개발에 연간 3백만\$, 공공 정보제공 프로그램에 연간 1백만\$을 할당하는 것으로 구성되어 있다.
- **미해군(US Navy):** 미국해군시설과 관련된 오염퇴적물 부지는 총 223 해역에 이르며, 이에 대한 정화비용으로는 총 13억\$이 소요될 것으로 추정하고 있다. 미해군 오염퇴적물 부지의 전형적인 오염물질들은 중금속, PCBs, PAHs, 유기주석 염소계 살충제 등으로 알려져 있다. 미해군시설과 관련된 퇴적물에서의 잠재오염물질에 대한 조사는 1993년에 실시된 바가 있음.
- **오대호 주변:** 오염퇴적물은 오대호에서 심각한 문제이다. 과거 20여년간에 걸쳐서 오대호에 독성 및 지속성 화학물질들의 유입을 상당량 감소시키는 큰 진전이 있었지만, 강아니 항구의 바닥 퇴적물에 높은 농도의 오염물질들이 지속적으로 존재하고 이는 수생생물, 야생동물 및 인간에게 잠재적 위험으로 큰 관심을 불러 일으켰다. 결과적으로, 어류 소비에

대한 주의가 오대호의 대부분의 지역에서 존재한다.

이러한 오염퇴적물들은 수십년간의 산업 및 도시하수 방류, 하수도 범람 및 도시와 농촌의 비점오염원에 의하여 발생되어졌다. 심각한 인간 및 생태학적 건강에 대한 관심사를 야기하는 버려진 오염물질들은 폭풍, 선박활동, 저서 서식생물들에 의하여 재부유될 수도 있다. 이러한 작은 저서 서식자들은 대부분 니질에서 먹이를 섭취함에 따라 독성물질들을 섭취한다. 더 큰 개체들은 더 작은 개체들을 먹이로 하기 때문에, 독성물질들은 먹이사슬에 따라 더 높은 농도, 심지어 수천배가 더 높은 농도로 이동하게 된다. 먹이사슬의 상부에 있는 송어나 연어와 같은 어류는 조직에 높은 농도의 독성물질들을 가지게 되기 때문에 어딘 곳에서는 식품으로 섭취하기에는 안전하지 않을 수도 있다. 물고기를 먹는 조류는 낮은 산란율을 가지게 되거나 결함을 가진 개체를 출산할 수도 있다.

오대호에서 항구나 지류들 중에 문제가 되는 지역들이 확인되고 그러한 곳들은 “관심지역(Areas of Concern: AoCs)로 분류되어져 왔다. 오대호 분지의 미국측에 31 AoCs가 있으며 그곳들은 용도가 손상받았다. 이러한 손상에 대응하기 위하여 각 AoCs는 복원조치계획(Remedial Action Plan: RAP)을 개발하였다. 모든 복원조치계획들은 심각한 문제로서 오염퇴적물을 확인하였으며, 이러한 오염퇴적물 문제들을 어떻게 정화할 것인지 구체적인 계획을 개발하기 전에, 오염퇴적물의 특성과 범위를 특성화하는 것이 중요하다.

1997년부터 2007년까지 5.5백만 입방야드의 오염퇴적물이 오대호 분지에서 정화되어졌다. 향후 정화활동은 오대호유산번(GLLA)의 예산기회가용으로 더욱 가속화될 예정이다.

2. 일본의 해양오염퇴적물 정화사업 현황

1) 개요

일본에서 처음으로 환경백서에 퇴적물에 대한 언급이 시작된 것은 1971년(쇼와46년) 공해백서이며, 그전까지는 대기 및 수질오염, 소음, 진동, 지반

침하, 악취의 6종을 공해의 대상으로 설정하였지만, 이 시기부터 냉각용수에 의한 온·배수 문제, 퇴적물 문제를 대처하기 위하여 “수저 퇴적물 악화”를 공해의 대상으로 인식하게 되었다. 상기의 퇴적물 문제는 도쿄만, 오사카만, 타코노우라항, 도카이만, 이요미시마항의 퇴적물이었고, 문제점은 COD(생물의 대량 죽음)와 황화물 량(악취)이 중요하다. 도쿄만과 도카이만에서는 카드뮴, 크롬, 수은, 납 등도 퇴적물에서 검출되고 있지만, 최근에는 생물의 폐죽음이나 해조류의 이상 번성이 문제시되고 있기 때문에 퇴적물에 다량의 유기물 축적이 주목되고 있다.

1972년(쇼와47년)에 처음으로 퇴적물의 PCBs 오염 실태 조사를 전국 1,445개 지점에서 실시한 결과, 공장 인접 지역의 4곳에서 수질은 0.011ppm 이상, 퇴적물은 500ppm 이상의 PCB를 측정되어 “PCBs 취급 공장 주변의 공공에 대한 수역의 퇴적물이 상당히 오염되어있는 것으로 밝혀졌다”라고 환경백서에서 기술하였다.

1970년(쇼와45년) 12월 “공해방지사업비용사업자부담법률”이 제정되어, 1971년 5월 10일부터 시행됨. 5년 뒤인 1975년 2월말까지 이 법에 따라 시즈오카현 타코노우라만(유기물 오염퇴적물 준설), 후쿠오카현 하천수계(PCBs 함유 퇴적물 준설) 등 총 17곳에서 퇴적물 오염 방지 대책 사업이 실시되었다.

수은에 관한 퇴적물 오염은 1973년도 조사에서는 27개 수역에서 잠정 제거 기준값을 초과하는 것이, 1974년~1977년도는 잠정 제거 기준값을 초과하는 수역이 42개 수역 중 7수역이 감소함. PCBs에 관한 퇴적물 오염은 1972년~1977년 조사에서 제거 등 조치를 취할 필요가 있는 69개 수역 중 54개 수역의 제거 사업이 완료됨. 약 십 년 후인 1987년(쇼와62년)에는 수은의 잠정 제거 기준값을 초과하여 제거 등 조치를 취할 필요가 있는 42개 수역 중 41개 수역에서 사업을 완료하고, PCBs의 잠정 제거 기준값을 초과하여 제거 등 조치를 취할 필요가 있는 71개 수역의 모든 사업을 완료하였다.

다이옥신에 관한 퇴적물 오염은 1987년 조사로부터 모니터링이 시작되고, 낮은 농도지만 0.001~0.006ppb의 2,3,7,8-TCDF 18개 검체로부터 검출되었다. 약 10년 후인, 2000년(헤이세이11년) 환경백서에서도 “바다, 강, 호수의 퇴적물, 생물에 대해서도 지금까지 10 년 넘게 매년 조사하고 있지만, 다이옥신류 농도에 특별한 큰 변화는 없다. 그러나 환경 중에서 광범위하게 발견되고

있으므로 계속 조사가 필요하다."고 환경백서에서 기술함. 2003년도에 다이옥신의 환경 기준이 개정된 다음, 퇴적물의 다이옥신류에 대해서는 757개 지점 중 18개 지점에서 환경기준(150pg-TEQ/g)을 초과하였다.

가) 오염퇴적물 관리실태

일본에서 중앙정부의 퇴적물 관리 기구 및 오염에 대한 관리실태는 다음과 같다.

- 환경성: 퇴적물 환경기준을 정하고 퇴적물 오염 상황을 조사
- 국토교통성: 감시 매뉴얼과 대책 매뉴얼을 작성
 - 호쿠리쿠지방 정비국 니가타 항만 공항 기술 조사 사무소가 실증 실험을 하여 퇴적물 다이옥신류 무해화에 관한 결과를 정리 중
 - 본 성 하천국 하천환경과는 퇴적물 다이옥신 대책 기술 자료집을 2007년에 정리. 또한 츠루미강 유수지에서도 무해화 대책이 진행중
 - 독립 행정 법인 항만 공항 기술 연구소 등이 저서 생물과 유해 금속의 상호 관계에 대한 자료를 정리하여 발표
- 농림수산성: 어패류에 포함된 수은, 다이옥신류에 대한 자료를 공개
- 후생노동성: 어패류 등에 포함된 수은에 대한 자료를 공개

나) 오염퇴적물 정화사업의 현안문제

현재 일본에서 오염퇴적물과 관련하여 나타난 현안문제는 다음과 같다.

- **오염원인 규명;**
다이옥신류의 총 독성량 논의뿐만 아니라 다이옥신류의 이성체 형태와 화학물질 수치 등 환경감식학의 발전에 따라 오염물질의 식별 및 오염 원인 물질의 기여 비율을 산정하여 오염 원인에 대해 공해방지사업비용사업자부담법에 의거 합법적으로 오염 원인자에게 비용 부담액이 산정된다. 돗토리 현 나카해 지역의 기업이 상응하는 비용을 부담하고 있다.
- **준설토 문제;**
퇴적물 잠정 제거 기준에 의거 PCBs 및 수은이 고농도로 함유된 수역의 준설이 과거에 실시됨. 이 준설토는 무해화 처리되지 않고 임시 적치하거나 매립에 이용되고 있다.

환경위험이나 사람의 건강 피해 예방의 관점에서 충분한 검토가 필요하며, 예를 들면, 효고현 다카사고시에서는 학계 등에 의한 검토회를 개최하여 논의의 진행되고 있다.

- **침적 쓰레기 문제;**

해저에는 많은 쓰레기가 있고, 특히 세토내해, 도쿄만, 오사카만 이세만 등 폐쇄성 해역에는 쓰레기가 많이 침적되고 있음. 침적 쓰레기는 수저 환경을 악화시킬뿐만 아니라 퇴적물 오염 대책에 방해가 되기도 한다.

- **퇴적물 정화 비용부담;**

오염된 퇴적물 정화에는 고액의 비용이 필요하다. 공해방지사업비사업자부담법에 의해 오염 원인자가 그 비용을 부담하는 사례가 증가하고 있다. 최근에는 시마네현의 마카타 공업단지 부근의 폐기물 처리업자등이 비용을 부담하고 있다.

- **법적 규제;**

오랫동안의 불필요한 물질이나 유해물질이 축적된 퇴적물에는 많은 법규제가 적용됨. 우선 다이옥신류의 퇴적물 환경기준을 들 수 있다. 다이옥신류 대책 특별 조치법에 의해 도도부현 지사는 퇴적물 등에 포함되는 다이옥신류를 측정하여 기준을 초과하고 있는 경우 정화 계획을 수립하여 조치할 의무가 있으며, 조치가 실시되고 있는 지역이 있다.

덧붙여 수질에 정해져 있듯이 사람의 건강 피해에 관한 환경기준에서 규정된 수은, 납, 비소, 시안, 육가크롬 등 유해물질에 관한 퇴적물 환경기준은 정해져있지 않지만, 지하수 오염의 위험이나 준설 후의 토양오염의 관점에서로부터 토양 환경기준을 적용하는 것이 많다.

수질오염방지법과 해양오염등및해상재해방지에관한법, 및 폐기물 처리법이 오염 원인자에게 적용된다. 현장확인 및 시효문제로 실제 적용 사례는 많지 않다. 그러나 오염자 부담원칙에 의거 공해방지사업비용사업자부담법은 오염 원인자에게 응분의 부담을 요구하는 사례가 증가하고 있다.

다) 오염퇴적물 정화사업 현황

일본에서 오염퇴적물 정화사업의 역사는 다음과 같다.

- **1969년** 전국적으로도 오염의 현저한 도쿄도의 스미다강, 오사카시의 간자

키천, 나고야시의 호리강, 후쿠오카시의 미카사강, 아мага사키시의 장시모강, 요코하마시의 가타비라강, 와카야마시의 와카강의 준설 실시

- **1970년** 수질오탁방지법의 제정
 - 타코노우라항의 오염퇴적물로 후지시 주민이 제지회사와 시즈오카현 지사를 고발.
- **1973년** 세토내해 환경보전 특별 조치법 제정
- **1974년** 수은이나 PCBs등에 오염된 타카사고 분항, 키타큐슈시 도카이만, 이와쿠니시의 거주지 해역 등에서 오염 준설 실시
- **1975년** 퇴적물 잠정 제거 기준
- **1979년** 사카타항, 토쿠시마 만, 오에강, 미나마타만, 츠루가항, 타카사고 서항 등에서 퇴적물의 제거 등 대책을 실시
- **1995년** 도쿄만내 우라가항 내부의 스미토모 중기계공업이 실시한 준설 공사에서 고액의 어업 피해 발생
- **1998년** 고아야세강 마츠에신바시 지점의 퇴적물로부터 과거 최고 농도(당시)인 720pg-TEQ/g가 검출
 - 다이옥신류 대책 특별 조치법에 근거하는 퇴적물 환경기준의 시행
- **2000년** 다이옥신류에 관한 퇴적물 조사 측정 매뉴얼
- **2004년** 국토교통성이 강, 호수 등에서 퇴적물 다이옥신류 간이 측정 매뉴얼(안)을 정리
 - 국토교통성이 "강, 호수 등에서 다이옥신 상시 모니터링 설명서"(안)
 - 이치하라항에서 "고농도 (12,000pg-TEQ/g)의 다이옥신이 검출, "이치하라항"전역에 다이옥신류에 의한 고농도 오염 확인
- **2005년** 국토교통 니가타 항구 공항 기술 조사 사무소 가 퇴적물 다이옥신류 분해 무해화 처리기술을 정리
- **2005년** 하천, 호수 등에서 퇴적물 다이옥신류 대책 매뉴얼(안) 개정
- **2006년** 미나마타병 공식 확인 50주년
- **2007년** 요코스카에 퇴적물 오염 등을 이유로 준설공사 금지 소송을 제소
 - 11월 키타큐슈시 항만공항국이 토카이만의 퇴적물 다이옥신류 오염을 발표(농도: 환경 기준의 30배, 부피: 62,000m³)
 - 9월 오사카가 상가마키 수로 퇴적물 대책을 완료, 보고서를 정리

- 3월 국토교통성 하천환경과가 "퇴적물 다이옥신류 대책 기술 자료집"을 정리
- 3월 국토교통성이 "퇴적물 다이옥신류 대책 검토 보고서"와 "퇴적물 다이옥신류 대책의 기본적인 방침"을 정리

• 2008년

- 5월 국토교통성이 "강, 호수 등에서 퇴적물 다이옥신류 대책 매뉴얼"(안)과 "항만의 퇴적물 다이옥신 대책 기술 지침"을 개정
- 11월 오사카부가 "상가마키 수로 퇴적물 대책에 관한 비용 부담 계획에 대하여"(부회보고)를 정리

이상과 같이 일본에서 해양오염퇴적물 정화사업은 각 지역별로 관리위원회를 조직하여 소요 재원을 확보하고, 각 지역의 실정에 맞는 형태(수거, 중간 및 최종처리, 모니터링, 사후관리 등)로 추진되고 있다.

2) 미나마타(Minamata) 만 정화사업 사례

▶ 개요

해양퇴적물의 오염에 의한 최악의 환경피해 사례 중 한 사례는 일본 구마모토현 미나마타 만에서 발생한 오염된 퇴적물에 기인한 수산물의 수은 중독에 의한 피해 사례(미나마타 병)임. 미나마타만에 위치한 “Chiso(치소)”사가 1932년 5월부터 수은을 촉매로 아세트알데하이드를 생산하였는데, 이 과정에서 부산물로 발생한 메틸수은이 포함된 폐수를 바다로 방류함. 메틸수은이 퇴적물에 축적된 결과, 먹이사슬을 통하여 어·패류의 체내에 농축됨. 당시 미나마타 만과 시라누이 해에 서식하는 물고기의 수은 함량은 9~24 ppm임에도 불구하고 지역 주민들은 이러한 사실을 모른채 계속 어·패류 등 수산물을 섭취함. 그 결과 수은중독에 의한 신경계 장애로 지역주민들의 신체와 정신에 이상 현상이 발생하기 시작함. 이상 현상은 손과 발에 운동장애가 오거나, 마비가 되기도 하고, 근육이 쇠약해지고, 시계가 축소되어 옆을 잘 볼 수 없게 되고, 소리를 듣기 어렵게 되고, 발음이 부정확하게 되고, 심한 경우에는 정신이상, 마비, 무의식, 사망에까지도 이르게 되었음. 또한 태아에도 영향을 미쳐서 기형아의 출산이 보

고되기도 함. 이 질병은 1956년에 와서야 진단되었고, 1963년이 되어서야 역학조사 결과 그 원인이 수은 때문이라는 것이 규명됨. 미나마타병으로 인한 피해는(2001년 기준) 사망자 1천784명을 포함, 총 2천265명에 달하며, 약 1만 명이 “치소”사로부터 보상을 받았고, 현재까지도 일부는 소송중임.

▶ 소요비용

총 소요비용은 486억 \yen (약 6,561억원, 1,350원/100 \yen 기준)

▶ 제거(준설) 대상 물량

총 물량: 면적 151만 m^2 에서 약 78만 m^3 준설

(면적 약 58만 m^2 를 강판으로 차단 후 현장 매립)

▶ 처리, 처분 방법

- 역학조사 결과에 따라, “치소”사는 1966년 메틸수은이 함유된 폐수의 방류를 중지하였고, 1968년에는 수은 사용을 중지하여 오염원을 완전히 제거함.
- 구마모토현은 1977년 10월 1일부터 미나마타 만에서 총수은 25ppm(환경성이 정한 “저질의 잠정 제거 기준”에 의한 기준) 이상의 오염된 퇴적물을 처리하는 “미나마타만 공해방지 사업”을 시작하여 1990년 3월까지 총 14년간에 걸쳐서 486억 \yen (약 6,561억원, 1,350원/100 \yen 기준)이 소요되는 사업을 완료하였음.
- 미나마타 만 정화사업은 수은의 함량이 높은 미나마타 만의 안쪽 약 58만 m^2 를 강판으로 차단하고, 비교적 수은의 함량이 낮은 구역 약 151만 m^2 에서 약 78만 m^3 의 오염된 퇴적물을 펌프 준설선(cutterless pump dredger)으로 준설한 다음, 육상 폐기물 매립장에서 매립하여 최종 처리함. 강판으로 차단한 구역은 시트 등으로 표면처리 후, 산토로 복토하여 수은에 오염된 퇴적물을 고립하여 최종 처분하였음.
- 정화사업 후 장기간 모니터링한 결과, 1997년 10월 미나마타만의 안전을 선언하고, 만 내부와 외부의 생물 이동을 차단하는 사절망을 제거함.

제9절 국가 해양오염퇴적물 기본계획 제시

1. 개요

1988년 마산만 오염해역 정화사업의 일환으로 시작된 우리나라의 해양오염퇴적물 정화사업은 지난 20년 동안 마산만 등 6개 해역에서 실시되어 오염된 퇴적물이 제거됨에 따라 수질 및 퇴적물이 개선되었고, 해양생태계의 회복과 해양환경이 개선되어 국민들의 삶의 질을 높이는데 크게 기여하였다. 상기 정화사업은 해양환경관리법 제18조의1 제3항 “오염된 퇴적물의 수거”에 법적 근거를 가진다.

퇴적물이란 육지로부터 유입되어 호소, 하천 및 해양 등의 수저에 쌓이는 모래, 점토, 유기물질 및 광물질 등을 말한다. 사회의 발전에 따라 중금속, 지속성유기오염물질 등 각종 유해 오염물질들과 유기물, 부영양물질(질소, 인) 등이 대기, 하천, 육상 등 다양한 경로를 통하여 환경으로 유입되며, 이러한 물질들은 궁극적으로 해양으로 유입된다. 해양으로 유입된 오염물질들은 해류에 의해 이동, 확산되면서 침강되며, 해저면에 침강된 오염물질들은 재부유, 재침강의 과정을 거치면서 해양환경에 영향을 미친다. 퇴적물이 해양생태계 혹은 지역주민 건강에 악영향을 미칠 수 있는 농도 이상의 중금속 등 상기 오염물질을 포함하는 경우 오염퇴적물이라 통칭하고 있다. 일반적으로 유기물 및 무기영양염류를 많이 포함하여 부영양화를 발생시켜 육상오염 유입원과 더불어 해양수질 악화의 주요인으로 작용할 때 넓은 의미의 오염퇴적물로 정의하고 있다.

해양은 육상으로부터 발생된 오염물질이 최종적으로 유입되는 저장고이다. 1900년대 이후, 전세계적으로 산업화, 도시화의 과정을 거치면서 많은 양의 오염물질들이 해역으로 유입되어 왔으며 이들 오염물질들은 입자에 흡착, 침강과정을 거치면서 해역 퇴적물을 급속하게 오염시켜왔다. 오염퇴적물로 인한 악영향의 대표적인 사례는 1950년대초 일본 미나마타만에서 발생한 수은 중독 사고를 들 수 있다. 이로 인하여 43명이 사망하고, 111명이 치유불능의 마비증상을 보였다. 이 사건을 계기로 일본은 1970년대 관련법을 제정하여 오염퇴적물 정화사업을 대대적으로 수행해 오고 있다. 미국의 경우,

1980년 CECLA(Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act: 포괄적 환경대응, 보상 및 책임법)를 제정하여 특별기금을 조성하여 연방정부 차원에서 오염부지 정화를 위한 조사, 계획, 기술개발 및 정화사업을 추진하여 왔다. 이와는 별도로 퇴적물의 오염이 극심한 오대호 인접 주정부와 워싱턴주 등에서는 주정부 차원에서도 대규모 오염퇴적물 정화사업을 수행해 오고 있다. 그 외 유럽의 각국에서도 오염퇴적물 정화사업을 활발하게 수행해 왔다.

한편, 국내에서는 오염퇴적물 정화사업이 주로 민의가 제기된 해역에서 사업이 수행되어 왔다. 우리나라 국민들은 하루 동물성 단백질의 섭취량 중 41.7%를 수산물에서 얻고 있으며, 예로부터 바다는 좋은 여가활동의 장소로 이용되어 왔다. 따라서, 퇴적물이 오염된 해역을 체계적인 조사를 통하여 발견하고, 보다 적극적인 오염퇴적물 정화사업의 수행이 절실히 요구된다.

특히 기존의 오염퇴적물 관리는 준설로 제거한 다음 해양투기로 최종처리(처분)하였기 때문에 다양한 정화·복원 방법을 고려하지 않았다. 해양환경을 보호하기 위한 국제협약인 런던의정서의 국내 적용과 국민들의 환경에 대한 인식의 변화로 오염된 퇴적물의 해양투기로 인한 2차오염의 우려가 꾸준히 제기되었다. 이러한 국내외 상황을 반영하여 2008년 해양배출처리기준(해양환경관리법 시행규칙 제12조 제2항 관련 [별표 8])이 강화됨에 따라, 수거 해양오염퇴적물이 기준 이상의 오염물질을 함유하고 있을 경우, 해양배출이 금지된다. 따라서 해양오염퇴적물 정화사업을 추진하기 위해서는 수거 해양오염퇴적물의 해양투기를 대체할 수 있는 다양한 처리(중간, 최종) 및 재활용 방안의 확보가 시급히 요구되고 있다.

오염퇴적물 정화사업은 인간 및 환경에 위해를 가하는 오염물질을 관리하는 과정이다. 그동안 국내 오염퇴적물 정화사업은 오염물질을 다루는 사업임에도 불구하고, 준설 및 해양투기라는 매우 단순한 구조로 수행되어 왔으며, 이를 어떻게 환경적으로 안전하게 관리하고 처리, 처분하여야 하는 것에 대한 기술적 논의 및 기술개발 또한 미진한 편이었다.

미국, 유럽, 일본 등에서는 해양오염퇴적물에 함유된 오염물질이 환경에 노출되지 않도록 열처리, 고형화, 세척, 추출, 분리 등 다양한 처리방안을 사용하고 있다. 또한, 최종 처리방안으로는 오염물질을 환경으로부터 차단시키

기 위하여 폐쇄형 고립처분장을 건설하여 처리하거나, 다양한 기술을 사용하여 오염물질이 환경에 노출되지 않도록 변형 처리하거나, 오염물질을 분리하여 준설물질의 오염물질의 농도를 감축하여 다양한 환경에서 처리하거나, 육상의 폐기물 매립장에서 병합하여 처리하는 방안이 있다. 그리고 육상, 연안, 수중에서 매립하거나 인공섬 등 다양한 형태의 폐쇄형 고립처분장을 조성하여 활용하고 있다. 그러므로 이러한 다양한 처리방안을 도입하여, 우리나라의 실정에 맞는 처리방안을 신속히 개발하여, 정화사업이 원활하게 추진될 수 있도록 이를 널리 보급할 필요가 있다.

국민의 소득이 증가함에 따라, 환경에 대한 국민의 관심 또한 증가하며 따라서, 위험을 줄이고, 쾌적한 환경을 조성하기 위한 환경산업은 빠른 속도로 발전해 오고 있다. 환경산업인 해양오염퇴적물 정화사업의 확대를 통하여 일자리 창출과 더불어 국민 복지를 실현시키기 위하여 국가는 보다 적극적인 노력을 경주할 필요가 있다.

이러한 시급한 현안문제들을 해결함과 동시에 해양오염퇴적물 정화사업의 추진방향과 목표를 설정하고, 세부 추진과제를 설정하여, 향후 효율적인 정화사업 추진과 합리적인 정책수립 및 과학적인 관리를 실현할 수 있도록 국가 해양오염퇴적물 기본계획을 수립하여 제시하고자 한다.

2. 기간별 추진 과제 검토

해양오염퇴적물 정화사업의 원활한 추진을 위해서는 향후 10년 이내의 기간 동안 다음 사항들의 해결이 필요하다.

1) 단기 추진 과제

우선, 향후 5년 이내의 단기간에 해결이 필요한 과제는,

- ① 오염이 확인된 해역의 체계적인 정화사업 실시;
- ② 국내 상용 처리기술 중 해양오염퇴적물 정화사업에 활용할 수 있는 처리기술의 성능검증 및 상용화 유도;
- ③ 오염퇴적물 유효활용 가능성 검증 및 시범사업실시;

- ④ 성능이 검증된 처리기술 또는 국내 개발된 처리기술을 실제 정화사업 현장에서 활용할 수 있도록 관련 법·제도 정비;
- ⑤ 전국 해양오염퇴적물 분포 현황도 조사 추진, 기타 오염해역 발견, 조사를 통하여 정화사업 대상 오염퇴적물 물량 산정 및 관리 계획 수립

2) 중·장기 추진 과제

그 다음 6년 내지 10년 이내의 중·장기간에 해결이 필요한 과제로는,

- ① 해양오염퇴적물 정화사업 현장 특성에 적합한 다양한 처리기술의 개발 및 보급;
- ② 전국 각 권역별로 장기간 사용할 수 있는 대규모 전용 해양오염퇴적물 최종 처리장 확보;
- ③ 해양오염퇴적물을 처리 후 유효활용 유도 및 증대;
- ④ 전국 연안 오염해역 조사 지속 추진, 국가 해양오염퇴적물 분포 현황도 작성 및 관리;
- ⑤ 개발, 보급되는 처리기술의 실현을 위한 법·제도의 지속적인 정비

3. 해양오염퇴적물 기본계획

해양오염퇴적물 정화사업의 원활한 추진을 위하여, 필요한 사항들을 해결할 수 있도록 연차별 계획을 포함하는 국가 해양오염퇴적물 정화사업 기본계획을 작성하여 아래에 제시한다.

국가 해양오염퇴적물 기본계획

제 1 장 개요

1. 기본계획의 수립 배경

- 1988년 해양오염퇴적물 정화사업이 시작된 이후, 지금까지 마산만 등 6개 해역에서 정화사업을 완료하여 오염해역의 해양환경 개선에 크게 기여하여 왔다.
- 그러나, 오염퇴적물 준설사업에서는 오염퇴적물의 조사, 평가가 부족했으며, 준설의 기준 뿐만 아니라 설계, 사업추진시 고려할 수 있는 가이드라인이 없었기 때문에 과학적이고 합리적인 관리가 미흡하였고, 관련 정책 수립, 예산확보 및 정화사업 실무에 어려움이 많았다.
 - 기존 오염퇴적물 관리는 준설로 제거한 다음 해양투기로 최종처리(처분)하였기 때문에 다양한 정화복원 방법을 고려하지 않았다.
- 2008년 해양배출처리기준(해양환경관리법 시행규칙 제12조 제2항 관련 별표8)이 강화됨에 따라, 수거 해양오염퇴적물이 기준 이상의 오염물질을 함유하고 있을 경우 해양배출이 금지된다.
 - 해양투기를 대체할 수 있는 다양한 처리(중간, 최종) 및 재활용 방안의 확보가 시급히 요구된다.
- 미국, 유럽, 일본에서는 오염퇴적물의 안전한 처리를 위하여 다양한 처리 방안을 사용하고 있으며, 처리 후 재활용하거나 육상, 연안, 해상에서 다양한 형태의 폐쇄형 고립처분장을 조성하여 활용하고 있다.
 - 다양한 처리방안을 도입하여 우리나라 실정에 맞는 처리방안을 신속히 개발하여 정화사업이 원활하게 추진될 수 있도록 널리 보급할 필요가 있다.
- 따라서 시급한 현안문제들을 해결함과 동시에 향후 정화사업의 효율적인 추진과 합리적인 정책수립 및 과학적인 관리를 실현할 수 있도록 기본계획을 마련한다.

2. 기본계획의 수립 근거

■ 해양환경관리법 제6조 (해양환경 관련 과학기술 및 국제협력의 촉진)

- 제1항: 국토해양부장관은 해양환경의 효과적인 관리에 필요한 과학기술을 개발하고 관련 산업의 발전을 촉진시키기 위하여 필요한 시책을 강구하여야 한다.

■ 해양환경관리법 제14조 (해양환경관리종합계획의 수립 등)

- 제1항: 국토해양부장관은 해양환경의 보전·관리에 관한 사항에 대하여 대통령령이 정하는 바에 따라 해양환경관리종합계획을 5년마다 수립·시행하여야 한다. 이 경우 국토해양부장관은 관계 중앙행정기관의 장과 미리 협의하여야 한다.

■ 해양환경관리법 제16조 (환경관리기본계획의 수립 등)

- 제1항: 국토해양부장관은 환경관리해역에 대하여 다음 각 호의 사항이 포함된 환경관리에 관한 기본계획(이하 "환경관리기본계획"이라 한다)을 수립·시행하여야 한다. 이 경우 관계 행정기관의 장과 미리 협의하여야 한다.
 1. 해양환경의 관측에 관한 사항
 2. 오염원의 조사·연구에 관한 사항
 3. 해양환경 보전 및 개선대책에 관한 사항
 4. 환경관리에 따른 주민지원에 관한 사항
 5. 그 밖에 환경관리해역의 관리에 관하여 필요한 것으로서 대통령령으로 정하는 사항

■ 해양환경관리법 제18조 (해양환경개선조치)

- 제1항의1 제3호 오염된 퇴적물의 수거
- 제4항: 제1항의 규정에 따른 해양환경개선조치와 관련하여 오염물질 유입방지시설의 설치방법, 오염물질의 수거·처리방법 및 오염된 퇴적물의 수거방법 등에 관하여 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다.

3. 기본계획의 성격 및 역할

■ 계획기간 : 2011 ~ 2020 (총 10년)

■ 성격

- 원할한 해양오염퇴적물 정화사업 시행을 통한 국민건강과 해양환경의 악영향을 해소하고 훼손된 생태계 회복, 해양환경 개선 및 국민의 삶의 질을 향상
- 해양오염퇴적물에 관한 국가의 관리 목표를 설정하고, 정화사업 추진 방향을 제시하는 국가 해양오염퇴적물 기본계획

■ 역할

- 해양오염퇴적물 관련 중앙행정기관, 지방자치단체의 정화사업 원칙과 기본방향을 제시하고,
- 해양환경관리공단 등 관련 기관들의 정화사업 실무처리에 대한 지침의 역할

4. 기본계획의 주요내용

- 해양오염퇴적물 조사, 평가방안을 지속적으로 개발하고, 정화사업 선진화를 실현시킬 수 있는 기반을 구축
- 수거 해양오염퇴적물의 안전한 처리를 위하여 다양한 처리방안의 개발 및 보급
- 수거 해양오염퇴적물을 처리 후 유효활용 증진
- 수거 해양오염퇴적물의 안전한 처리를 위한 대규모 전용 처분장 적지 선정 및 설계기술을 개발하고, 이를 실현시킬 수 있는 기반을 구축
- 해양오염퇴적물 관련 법·제도를 지속적으로 정비하며, 선진 관리기반을 구축

제 2 장 해양오염퇴적물 현황 및 정화사업 전망

1. 해양오염퇴적물 현황

2004년 해양오염퇴적물 조사가 처음으로 중앙정부 차원에서 시작된 이후 현재까지 총 20개 해역에서 조사가 실시되었다(그림 2-1).

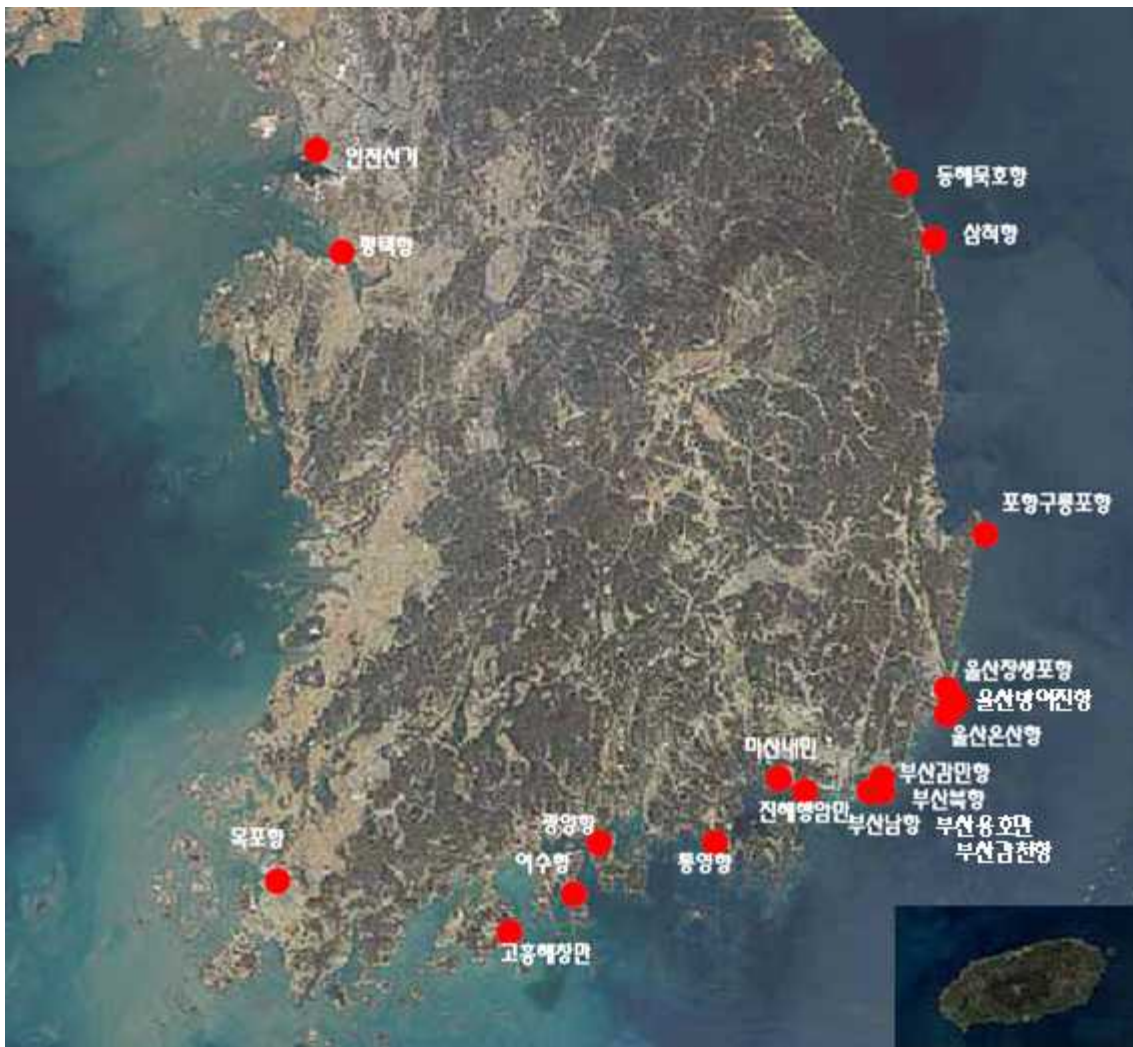


그림 2-1. 해양오염퇴적물 조사 현황조사 지역 (2004년 ~ 현재)

해양오염퇴적물 현황조사 결과, 조사 해역별 퇴적물의 유해화학물질에 의한 오염도 평가결과와 조사현황을 각각 표 2-1과 표 2-2에 나타내었다.

표 2-1. 해역별 퇴적물의 유해화학물질 정화·복원지수(CI) 분포

구분	최소 CI	최대 CI	평균 CI	정점수 (CI≥2) N	평균 (CI≥2) CI	정점 분포율 (CI≥2) %	오염 순위	비 고
부산남항 ¹⁾	0.59	111.3	32.2	10	35.3	90.9	1	정화사업중
부산북항 ¹⁾	4.13	91.5	17.9	21	17.9	100	2	무역항
행암만 ¹⁾	0.22	271.3	17.8	5	58.6	29.4	3	무역항, 어항, 친수공간
방어진항 ²⁾	14.3	17.9	15.7	5	15.7	100	4	국가어항
통영항 ¹⁾	2.79	69.3	13.1	18	13.1	100	5	무역항, 어항, 관광거점항
장생포항 ¹⁾	3.87	57.5	10.2	21	10.2	100	6	무역항
부산감천항 ³⁾	0.3	32.6	4.5	10	9.0	37.0	7	무역항
부산용호만 ⁴⁾	0.1	16.9	5.0	7	8.9	46.7	8	정화사업중
여수항 ¹⁾	0.11	12.2	4.7	8	6.6	66.7	9	무역항, 친수공간
구룡포항 ¹⁾	1.00	11.5	4.0	7	5.4	63.6	10	연안항, 친수공간
온산항 ¹⁾	0.00	18.1	3.9	9	7.6	45.0	11	무역항
부산감만항 ¹⁾	0.30	4.9	2.5	12	3.4	54.5	12	무역항
마산항 ¹⁾	0.17	4.7	2.1	12	3.0	54.5	13	무역항, 친수공간
목호항 ¹⁾	0.06	5.5	1.7	5	3.9	38.5	14	무역항, 어항, 친수공간
목포항 ¹⁾	0.36	5.7	1.5	5	3.4	29.4	15	무역항, 친수공간
삼척항 ¹⁾	0	3.4	1.5	3	2.8	33.3	16	무역항, 어항, 친수공간
인천선거 ¹⁾	0	2.5	1.2	3	2.4	13.6	17	무역항
평택항 ¹⁾	0	0	0.5	0	-	0	18	무역항
광양항 ¹⁾	0	0	0.4	0	-	0	19	무역항
고흥해창만 ¹⁾	0	0	0.3	0	-	0	20	양식장

주] 1) 해양오염퇴적물 조사 정화복원 체계 구축, 해양수산부, 2007

2) 해저퇴적물 시료분석결과 보고서, 국립수산과학원, 2004년

3) 감천항 오염퇴적물 수거 타당성 조사, 부산지방해양항만청, 2009

4) 부산 용호만 오염해역 퇴적물 정화·복원 타당성 조사, 부산지방해양항만청, 2008

표 2-2 해양퇴적물 오염도 조사 현황 (2004년 - 현재)

해역명칭	구분		조사 면적	정화복원 대상		해역 관리청	비고
	해역	조사(년도)		면적(m ²)	물량(m ³)		
부산북항	국가관리항	2006	1,457,095	1,457,095	1,365,872	중앙정부	감만항 물량포함, 재개발 중
부산감만항	국가관리항	2006			166,000	중앙정부	
부산감천항*	국가관리항	2009	5,224,000	300,370	140,049	중앙정부	
부산용호만*	국가관리항	2008	105,498	105,498	70,491	중앙정부	정화사업 추진 중
부산남항	연안항	2006	993,496	377,878	255,038	중앙정부	정화사업 추진 중
울산항(온산항)	국가관리항	2005	3,720,918	1,826,095	1,073,346	중앙정부	
울산항(장생포항)	국가관리항	2006	566,552	566,552	401,321	중앙정부	
울산방어진항*	국가어항	2004	250,000	132,000	203,316	중앙정부	실시설계(2004), 사업준비
마산항	국가관리항	2005	5,970,150	2,974,000	1,265,819	중앙정부	
진해항(행암만)	지방관리항	2006	1,510,811	861,234	243,736	지자체	실시설계(2004), 사업준비
인천선거	국가관리항	2006	220,573	176,500	64,276	중앙정부	

표 2-2 (계속)

해역명칭	구분		조사 면적	정화복원 대상		해역 관리청	비고
	해역	조사(년도)		면적(m ²)	물량(m ³)		
광양항	국가관리항	2005	2,750,000	-	-	중앙정부	정화복원대상 없음
평택항	국가관리항	2006	3,120,000	-	-	중앙정부	정화복원대상 없음
목포항	국가관리항	2005	902,550	72,600	54,888	중앙정부	
여수항(구항)	국가관리항	2005	51,600	41,794	8,358	중앙정부	
여수항(신항)*	국가관리항	2009	2,250,059	558,006	177,568	중앙정부	
목호항	국가관리항	2004	435,800	127,150	14,520	중앙정부	
통영항	지방관리항	2006	360,260	356,997	128,685	지자체	
삼척항	지방관리항	2004	215,187	40,175	12,814	지자체	
구룡포항	연안항	2006	361,255	329,183	84,411	지자체	
고흥해창만	기타해역	2006		-	-	지자체	정화복원대상 없음
합계			30,465,804	10,303,127	5,730,508		

현황조사 결과 총 20개 해역 중 17개 해역에서 정화·복원이 필요한 오염퇴적물을 확인하였으며, 대상물량은 약 5백만 m^3 이다. 이들 해역 중 현재 부산 남항과 용호만에서 정화사업이 실시되고 있다. 대략 확인된 오염퇴적물 정화에 필요한 사업비는 10만원/ m^3 단가로 계산할 경우, 5,000억원의 재정이 요구된다.

1990년부터 현재까지 학술잡지 및 연구보고서 등에 광양만 등 전국 51개 연안지역 퇴적물 오염이 보고되었다(표 2-3).

2004년부터 현재까지 언론에는 여수항 등 14개 해역의 퇴적물 오염이 보도되었다(표 2-4).

표 2-3 문헌에 보고된 해역별 퇴적물 오염현황(1990년~2010년)

조사지역	조사항목	오염정도	조사연도	논문 및 보고서명	발행연도	학술지 및 발행처	비고
광양만	중금속	Cu (3.0~129 ppm) As (3.9~18.8 ppm) Cr (26.2~284 ppm) Cd (ND~4.0 ppm)	1996~1997	광양만의 퇴적물에 대한 이화학 조성 및 중금속 함량	2000	한국육수학회지	제철소, 임해공업단지
삼천포	중금속	Ni, Pb	1997	석탄화력발전소 주변해역 퇴적물 내의 중금속원소의 함량과 지화학적 존재형태	2000	한국환경영향평가학회	화력발전소
고성만, 강진만	유기물	AVS (0.01~0.64 mg/g) COD (10~ 30 mg/g)	1999	패류 양식장에서 지속적인 생산성 유지를 위한 최적 생산 기술 개발	2001	해양수산부	양식장
울산만, 온산만, 영일만, 광양만	중금속	울산만 (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) 온산만 (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) 영일만 (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) 광양만 (As, Cu, Ni, Zn)	1999~2000	연안 저서환경 평가기술	2001	과학기술부	오염퇴적물 기준초과

표 2-3 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사연도	논문 및 보고서명	발행연도	학술지 및 발행처	비고
인천, 경기만	중금속	Cu (7~38 ppm) Pb (24~86 ppm) Cd (0.29~0.83 ppm) Zn (43~374 ppm)	2000	인천 해양퇴적물의 오염현황과 관리대책	2001	인천발전 연구원	세어도, 매립지, 율도, 만석부두
가막만	COD, AVS, 중금속	COD (4~38 mg/g) AVS (0.07~10.5 mg/g) Cu (22~70 ppm) Zn (99~226 ppm) Ni (25~76 ppm) Cd (0.3~3.44 ppm)	2000	환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립연구: 가막만 환경보전해역 현황	2001	해양수산부	
경기도 화성시 매항리	중금속	Pb, Cu, Cd, Zn	2001~ 2002	사격장 주변 해양퇴적물내의 중금속 분포와 해양 생물체의 생흡수도에 관한 예비 고찰	2002	한국지하수토 양환경학회 춘계학술대회	해양사격장
영일만	중금속	Cu (24~91 ppm) Pb (4.7~108 ppm) Cd (0.4~31.9 ppm) Zn (259~1001 ppm)	2001	환경관리해역 환경개선연구	2002	해양수산부	구항 근처

표 2-3 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사연도	논문 및 보고서명	발행연도	학술지 및 발행처	비고
제주 한림항	TBT	41~309 ppb	2001	제주도 한림항내 표층퇴적물 중의 부틸주석화합물의 분포	2003	한국환경과학회지	항만
진해만, 부산, 영일만, 울산	TBT	진해만 (16~114 ppb) 부산 (18~766 ppb) 울산 (ND~370 ppb) 영일만 (61~1495 ppb)	1999~ 2000	Contamination of Tributyltin in Sediment from Four Bays in the Southeastern Part of Korea	2003	한국환경과학회지	항만, 공업단지
목포 북항, 복길리	중금속	Cu (32.3~121 ppm) Zn (81.4~365 ppm) Cd (6.5~10.3 ppm)	2003	목포연안 갯벌 및 서식생물에서의 중금속 함량	2004	대한자원환경지질학회지	항만

표 2-3 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사연도	논문 및 보고서명	발행연도	학술지 및 발행처	비고
9개 하구역	중금속, PCBs	한강 (As, Hg, Ni, Pb) 금강 (As, Ni) 만경강 (As, Cd, Ni) 동진강 (As, Cd, Ni, Pb) 영산강 (Ni) 섬진강 (Cd, Cr, Ni) 낙동강 (PCBs) 태화강 (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) 형산강 (Cd, Cu, Zn)	2004	지속가능한 하구역 관리방안(I)	2004	한국환경정책 평가연구원	오염퇴적물 기준초과
제주 서귀포	TBT	7~74 ppb	2001	제주도 서귀포항내 퇴적물 중의 부틸주석화합물의 분포 특성	2005	한국환경과 학회지	항만

표 2-3 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사 연도	논문 및 보고서명	발행 연도	학술지 및 발행처	비고
진해만	중금속	Cu (50.4 ppm) Cd (4.01 ppm) Cr (97.5 ppm)	2003	연안어장 준설퇴적물내 함유된 유기물 및 중금속 환경친화적 처리기술 개발	2005	해양수산부	양식장
경남 고성	중금속	Cu (86~250 ppm) As (20~52 ppm) Pb (67~93 ppm) Cd (0.46~1.53 ppm) Zn (171~258 ppm)	2004 - 2005	고성 폐구리광산의 중금속 오염과 환경위해성 평가	2006	학위논문(목포 대학교)	폐광산, 갯벌
여수	강열감량, COD, AVS	강열감량 (4.8~21.9%) AVS (0~12.8 mg/g) COD (0.6~31.1 mg/g)	2005 - 2006	하수종말 처리장 방류구 주변해역에서의 해양환경 특성에 관한 연구	2006	해양환경안전 학회 추계학술 발표회	하수처리장
가막만	강열감량, AVS	강열감량 (4.4~11.6%) AVS (0~4.08 mg/g)	1999 - 2000	가막만의 저서환경과 다모류군집 특성	2007	한국해양학회 지-바다	생활하수, 어패류 양식

표 2-3 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사연도	논문 및 보고서명	발행연도	학술지 및 발행처	비고
당진화력발전소	중금속	As (3.5~23.5 ppm) Cu (19.5~44.7 ppm) Ni (22.9~109.4 ppm)	2005	당진화력발전소의 석탄회 연안매립과 중금속 원소의 용출에 대한 생지화학적 연구	2007	한국지구과학회지	화력발전소, 매립호
영광원자력발전소	중금속	Cr (14~154 ppm) Pb (21~409 ppm) Cu (20~171 ppm) Zn (9~213 ppm)	2006	영광원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서	2007	한국전력공사 환경평가그룹	원자력발전소
인천, 태안, 군산, 부산, 광양	TBT	인천 (ND~241 ppb) 태안 (18~59 ppb) 군산 (ND~433 ppb) 부산 (ND~51 ppb) 광양 (12~129 ppb)	2006	한국연안의 갯벌 중에 유기주석화합물 및 새로운 방오도료제의 분석	2008	한국해양환경공학회지	항만, 갯벌
동해안 7개 석호	강열감량	15~30 %	2007	동해안 석호 보전 및 복원을 위한 생태계 정밀조사 및 관리방안 연구	2008	원주지방환경청	화진포호, 송지호, 광포호, 영랑호, 매호, 향호, 경포호

표 2-3 (계속)

조사지역	조사항목	오염정도	조사연도	논문 및 보고서명	발행연도	학술지 및 발행처	비고
시화	중금속	Cr (40~113 ppm) Ni (14~41 ppm) Cu (20~187 ppm) Zn (85~426 ppm) As (3.8~11.2 ppm) Cd (0.16~0.76 ppm) Pb (27~96 ppm) Hg (0.01~0.19 ppm)	2007	시화호 표층 퇴적물의 유기탄소와 금속의 분포	2008	해양환경안전 학회 추계학술 발표회	
전북 부안군 줄포만	중금속	Cu (8.4~54.9 ppm) As (4.5~84.5 ppm) Pb (67~93 ppm) Cd (0.01~1.79 ppm) Zn (59~385 ppm)	2007	줄포만 갯벌의 입도특성 및 중금속 오염도 평가	2008	해양환경안전 학회지	갯벌
거제 고현만	PAHs,	560~21,912 ppb	2003 - 2004	고현만 조선소 주변해역 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 시공간적 분포특성	2009	한국해양환경 공학회지	조선소

표 2-4. 언론에 보도된 해역별 퇴적물 오염현황 자료 (2004년 ~ 2010년)

지역	항목	오염정도	보도일	보도매체	비고
여수항	COD, AVS	AVS (0.84 mg/g) COD (23.2 mg/g)	2004년 9월	파이낸셜투데이	오동도-장군도 인근해역
인천	중금속, PCBs	Cr, Cd, Hg, PCBs	2004년 12월	한겨레21	동양제철화학 인천공장
충남 당진	중금속, 하역낙탄		2006년 9월	당진시대	화력발전소
충남 장항	COD		2006년 11월	중도일보	산업단지
동해항	중금속	Pb, Cd, Cu, Zn	2006년 11월	연합뉴스	아연정광석 하역
전남 여천	다이옥신	산업단지 폐수 일본허용기준 3배 유입	2007년 1월	문화일보	산업단지
충남 삽교호	악취		2007년 4월	충청투데이	
경남 고성군 마동호	질소, 인		2007년 6월	경남도민일보	담수호 공사
전남 영산호	수질 악화		2007년 8월	매일경제	
경기도 화성시 매향리	중금속	Cu, Pb, Cd	2008년 1월	연합뉴스	해양사격장
여수시, 부서도~소죽도	COD, AVS	AVS (0.2 mg/g 이상) COD (20 mg/g 이상)	2008년 2월	한국일보	가두리 양식장

표 2-4 (계속)

지역	항목	오염정도	보도일	보도매체	비고
군산 직도	중금속		2009년 8월	경향신문	해양사격장
충남 보령 대천사격장	중금속		2009년 6월	연합뉴스	해양사격장
광양	PAHs	19,500 ppb	2009년 10월	오마이뉴스	광양제철소

2. 정화사업 전망

퇴적물의 오염 현황 파악은 중앙정부의 현황조사, 기존 퇴적물 관련 조사 자료 또는 현지 주민의 신고 등에 의한 조사 및 검사(화학적, 생물학적, 저서 생물 등)를 실시하여 해양오염퇴적물에 함유된 주요 오염물질을 평가하는 과정이다. 이 과정에서 해당 지역의 주요 오염물질과 오염원이 규명될 수 있으며, 이 결과에 근거하여 오염물질의 사용 중단, 배출규제, 하수관거 정비 등 오염물질을 감축하고, 제어하는 과정이 필요하다. 이러한 오염원 제어가 완료된 해역을 대상으로 정화사업 추진 여부를 결정할 수 있으며, 이 과정에서는 해역관리청, 관계기관 및 지역주민 등 모든 당사자의 의견을 수렴할 필요가 있다. 만약 정화사업 추진이 결정된다면 현장처리 또는 현장 외 처리에 대한 의사결정이 필요하다. 현장처리는 감시하 자연정화, 오염물질 고정, 피복 등 공법으로 처리할 수 있다. 현장 외 처리는 준설(수거)에 의해 해저면으로부터 오염된 퇴적물을 물리적으로 제거하여 처리하는 과정이다. 한편 우리나라에서 해양오염퇴적물의 수거는 해양환경관리법 제70조, 같은법 시행령 별표 11 해양환경관리업의 기술능력 기준 및 시행규칙 별표 14 해양환경관리업의 등록기준에 의거 펌프설비를 갖춘 퇴적오염물질수거업 등록 업체가 퇴적오염물질전용수거선 등 규정된 시설과 장비를 사용하여 수거하도록 규정되어 있다. 그러나 부산 용호만 등 퇴적오염물질전용수거선 사용이 곤란한 해역에서는 상기 이외의 수거 방법을 선정할 필요가 있다. 현장 외 처리의 경우, 수거 해양오염퇴적물의 탈수, 물리적 분리, 약취제어, 오염물질 제어 등을 위한 중간처리 공법과 중간처리 후 육상, 연안, 해상에서 고립처리 또는 매립 등을 위한 최종처리 공법을 사전에 검토하여 선정할 필요가 있다. 정화사업 동안 해양오염퇴적물의 수거, 이송, 처리 등 과정에서 2차 오염 여부, 오염물질의 유출, 확산 등을 관리하기 위하여 정화사업 현장감시 및 해양환경 모니터링(수질, 퇴적물, 생물)이 필요하다. 또한 정화사업 종료 후, 사업효과를 평가하고, 재오염 여부 확인 등을 위하여 5년 이상 해양환경 모니터링이 요구된다.

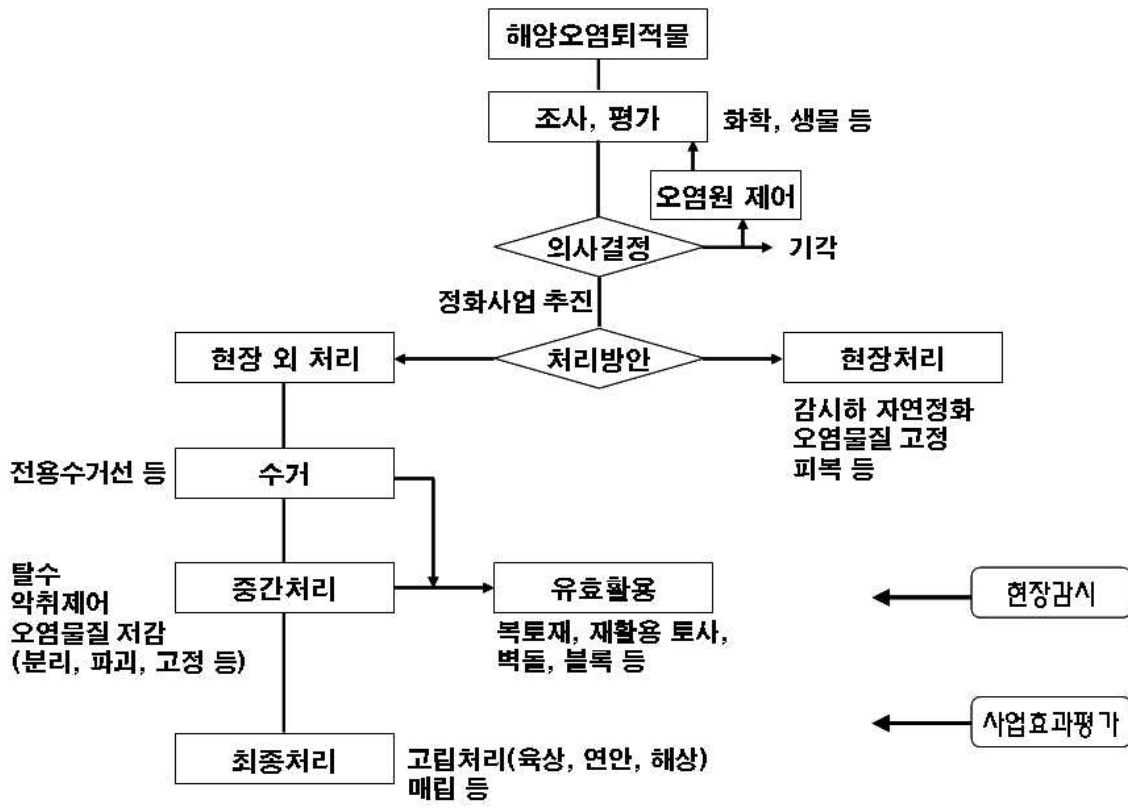


그림 2-2. 해양오염퇴적물 처리방안 체계도

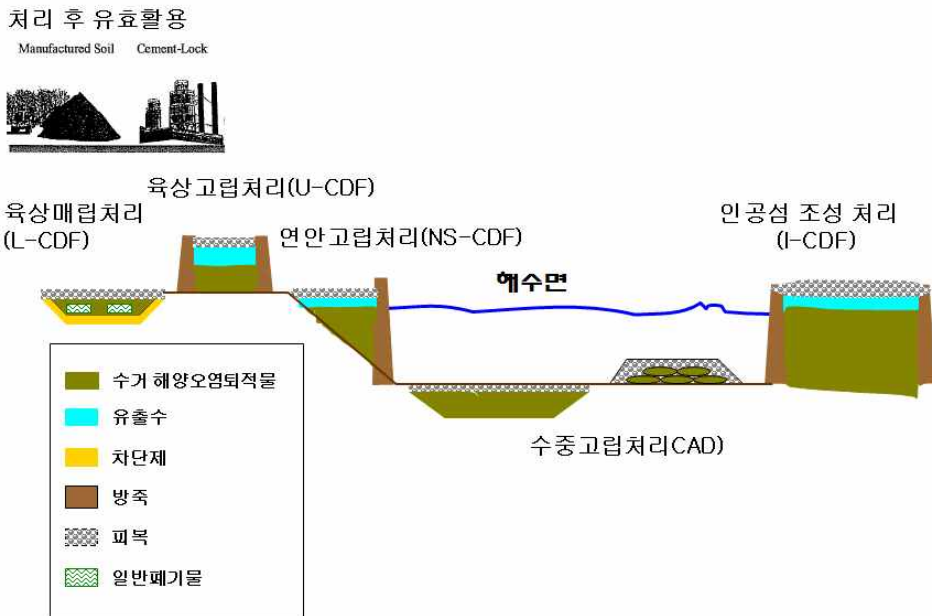


그림 2-3. 미국, 유럽, 일본 등에서 사용되는 오염퇴적물 처리방안 사례

제 3 장 해양오염퇴적물 정화사업 추진방향

1. 기본목표

- 생물 또는 사람의 건강을 포함하여 해양환경에 영향을 줄 수 있는 오염된 퇴적물이 더 이상 오염되는 것을 방지
- 수질, 생물 또는 사람의 건강을 포함하여 해양환경에 나쁜 영향을 초래하는 해양오염퇴적물을 정화
- 해양오염퇴적물의 수거 및 처리(중간, 최종)가 환경적으로 안전한 방법으로 관리
- 해양오염퇴적물의 조사, 분석, 평가 방법을 지속적으로 개발 및 보완하여 일관되게 적용

2. 추진방향

- 오염퇴적물 감소실현을 위한 안정적인 사업 재정 마련
- 정화사업이 고려되는 해역별로 맞춤형 오염퇴적물 처리방안 확보
- 지속적인 정화사업 추진을 위한 수거 오염퇴적물 처리기술 개발 및 시장 창출 유도
- 수거 오염퇴적물의 안전한 최종처리(처분) 실현을 위한 기술개발 및 장기간 안정적으로 사용할 수 있는 대규모 최종처리장 확보
- 수거 오염퇴적물을 처리 후 유효활용도 증대
- 오염퇴적물의 수거 이외의 현장처리 기술 개발 및 보급
- 전국 해양오염퇴적물 분포 현황도를 작성하여 이를 근거로 정화사업 추진을 위한 해역별 우선순위 결정
- 해양오염퇴적물의 수거, 처리(중간, 최종)기술의 원활한 실현을 위하여 관련 법·제도 정비를 지속적으로 정비

3. 추진전략

■ 기본목표를 달성하기 위한 추진 전략은 다음과 같다.

- 현존 국내 상용 처리기술의 적합성을 평가를 통하여 실시설계 완료 및 사업 추진해역에 대한 처리기술을 확보,
- 처리된 퇴적물에 대하여 단기적으로 사업해역 인근 준설토 투기장에서의 처분을 추진하고, 도로공사 복토용, 보도블록 제작 등 육상에서의 활용을 위하여 공학적 적합성과 환경 안전성을 검증,
- 처리된 퇴적물의 유효활용 증대를 위하여 관련 지방자치단체와 협력하여 유효활용을 적극 촉진,
- 처리된 퇴적물을 육상 환경에서 최종처리(처분) 및 활용을 위하여 관련 법·제도를 검토하고, 필요시 관계 부처 협의를 통하여 개정,
- 오염퇴적물 정화사업의 지속적이고 안정적인 수행을 위하여 우리나라 현실에 적합한 처리기술 개발을 지원하여 상용화를 실현,
- 수거된 오염퇴적물의 처리(중간, 최종) 과정에서 발생할지 모르는 사회적 마찰을 최소화하고 처리 부지 확보가 어려운 해역에 적용 가능한 현장 처리기술을 개발 적용,
- 오염퇴적물 처리 과정의 환경 안전성 유지를 위하여 해양오염퇴적물 처리 환경 관리 지침을 개발 시행,
- 오염퇴적물 정화사업이 밀집된 권역을 중심으로 안정적인 처리(중간, 최종)를 위한 전용 부지 확보를 위하여 타당성 조사 실시 및 그 결과를 근거로 대규모 전용 처리 부지 및 처리 플랜트 개발,
- 전국 연안에 대한 오염퇴적물 분포 현황도를 작성하고, 정화사업 대상 물량을 추산하여 이를 근거로 국가 해양오염퇴적물 중·장기 사업 계획 수립 및 예산 확보,
- 오염퇴적물의 발생, 정화·복원 및 사후관리를 포함한 오염퇴적물 관리 전반을 위한 과학적 도구 개발(오염물질 분석, 평가방법 등),
- 상기 사항을 실현하기 위한 연차별 계획 수립 및 관련 예산 확보가 필요하다.

4. 기본원칙

- 수립된 네 가지 기본목표 및 추진전략에 따른 해양오염퇴적물 정화사업의 11개 기본원칙은 다음과 같다.
- **(법적근거)** 해양오염퇴적물을 효율적으로 관리하기 위해서는 관련 법, 제도에 의거 조사, 평가, 정화 등 각 단계별로 수행하여야 한다.
- **(조사)** 해양오염퇴적물을 조사하는 방법을 지속적으로 개발하여 보급한다.
- **(현황조사)** 해역별 퇴적물 오염도 조사를 지속적으로 실시하여 전국 해양오염퇴적물 분포 현황도를 작성, 관리한다.
- **(평가)** 해양환경 변화 및 새로운 오염물질 발생 등을 고려한 해양오염퇴적물 평가 방법을 지속적으로 개발, 보완한다.
- **(예방)** 해양퇴적물 오염을 유발할 수 있는 육상기인 오염물질 유입 차단 및 연안 점오염원(산업시설)을 정비한다.
- **(의사결정)** 해양퇴적물의 오염 원인이 과학적으로 규명되고, 유입되는 오염원이 정비된 경우에 해양오염퇴적물 정화사업을 추진 여부를 결정한다. 단, 국가 정책상 정화의 우선순위가 있거나 대규모 행사 개최 등 시급한 사항이 있을 경우 정화사업을 추진할 수 있다.
- **(정화사업 시행)** 해역에 오염된 퇴적물이 존재할 경우, 더 이상의 오염을 방지하기 위해서 적절한 조치를 취한다. 오염된 퇴적물을 수거할 경우, 사전에 처리(중간, 최종) 방안을 확보한 다음 실시한다.
- **(정화사업 중 환경관리)** 정화사업에 따른 2차 오염 등 영향을 최소화한다.
- **(모니터링 및 사후 관리)** 정화사업의 효과를 유지하기 위하여 정화사업 전, 정화사업 중 및 정화사업 종료 후 일정기간 동안 모니터링을 실시하고, 그 결과에 따라 대상 해역을 관리한다.
- **(국제협력)** 해양오염퇴적물 평가 및 관리를 위해서는 관련 기관, 민간 이해관계자 및 외국 관련 기관과 상호 협력을 강화한다.
- **(녹색성장)** 국내 해양오염퇴적물 정화사업 활성화로 시장을 확대하고, 기술인력 육성 및 정화사업 선진화를 촉진한다.

5. 주요 추진 과제

해양오염퇴적물 정화사업의 원활한 실행과 선진화를 위하여 다음과 같은 주요 사항들의 추진이 필요하다.

1) 단기 추진 과제

5년 이내의 기간 동안에 추진이 필요한 과제는 다음과 같다.

- 해양오염퇴적물 수거기술의 선진화
- 해양오염퇴적물 현장 처리기술 개발
- 처리기술 검증, 환경안전성 평가 및 처리기술 검증 시스템 구축
- 해양오염퇴적물 재활용 적합성 검증 방안 개발
- 대규모 고립처분장 설계기술 확보

2) 중·장기 추진 과제

6년 내지 10년 이내의 중·장기간에 추진이 필요한 과제는 다음과 같다.

- 현장 특성에 적합한 다양한 처리 대안기술 개발
- 대규모 해양오염퇴적물 전용 고립처리장 조성 기반구축
- 수거 해양오염퇴적물 재활용 방안 극대화
- 해양오염퇴적물 선진 관리방안 실현

제 4 장 세부 추진과제

1. 추진과제

1) 단기 추진 과제

5년 이내의 기간 동안에 추진이 필요한 과제는 다음과 같다.

■ 해양오염퇴적물 수거기술의 선진화

- 선박 항행을 방해하지 않는 해양오염퇴적물 수거기술 개발
- 해양오염퇴적물 수거 효율을 높임과 동시에, 탈수 등 중간처리 비용을 낮출 수 있는 해양오염퇴적물 수거기술 개발

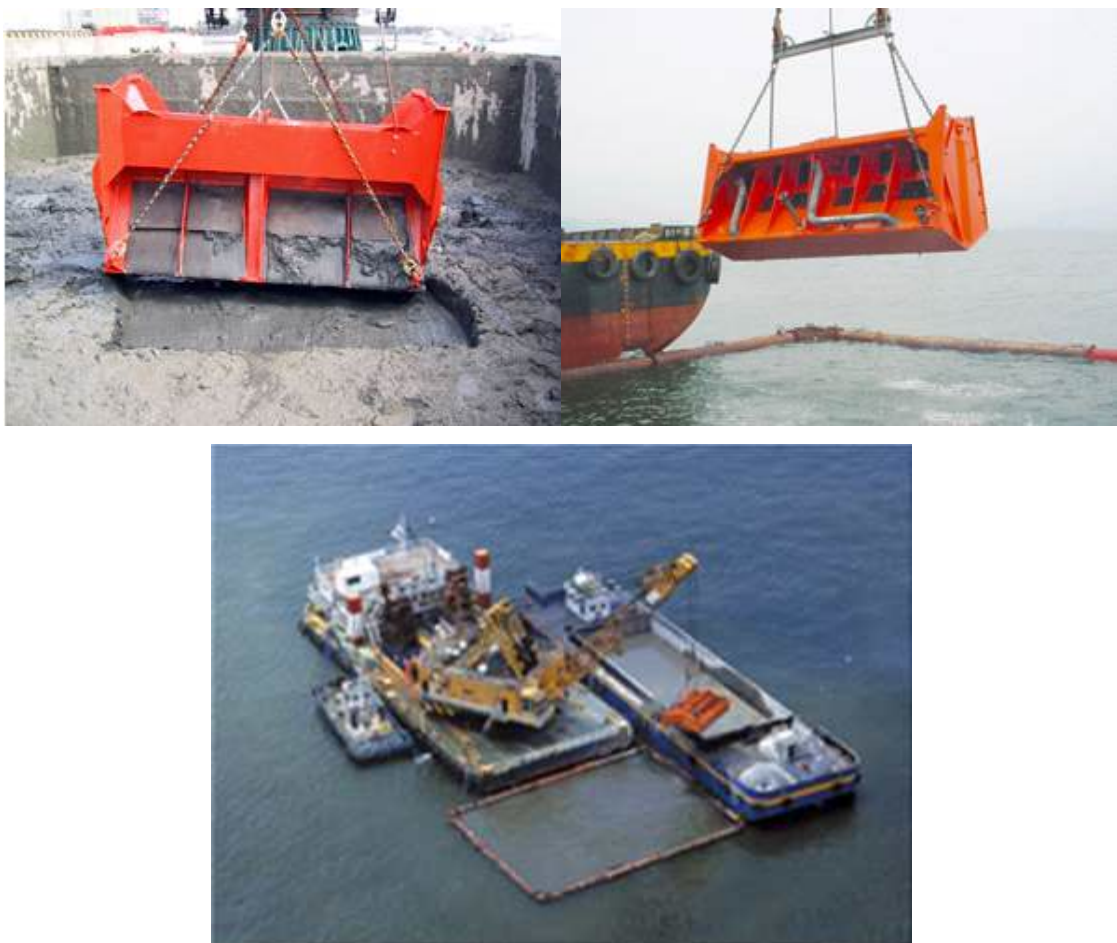


그림 4-1. 외국의 소형 이동식 오락방지막과 밀폐형 그랩에 의한 준설 사례

■ 해양오염퇴적물 현장 처리기술 개발

- 수거 해양오염퇴적물의 처리비용 절감 및 최종 처리장 확보에 대한 대안으로 피복(Capping)처리에 의한 정화기술 개발
- 부영양화 관련 해양오염퇴적물 정화를 위한 현장 처리기술(In-situ treatment) 개발

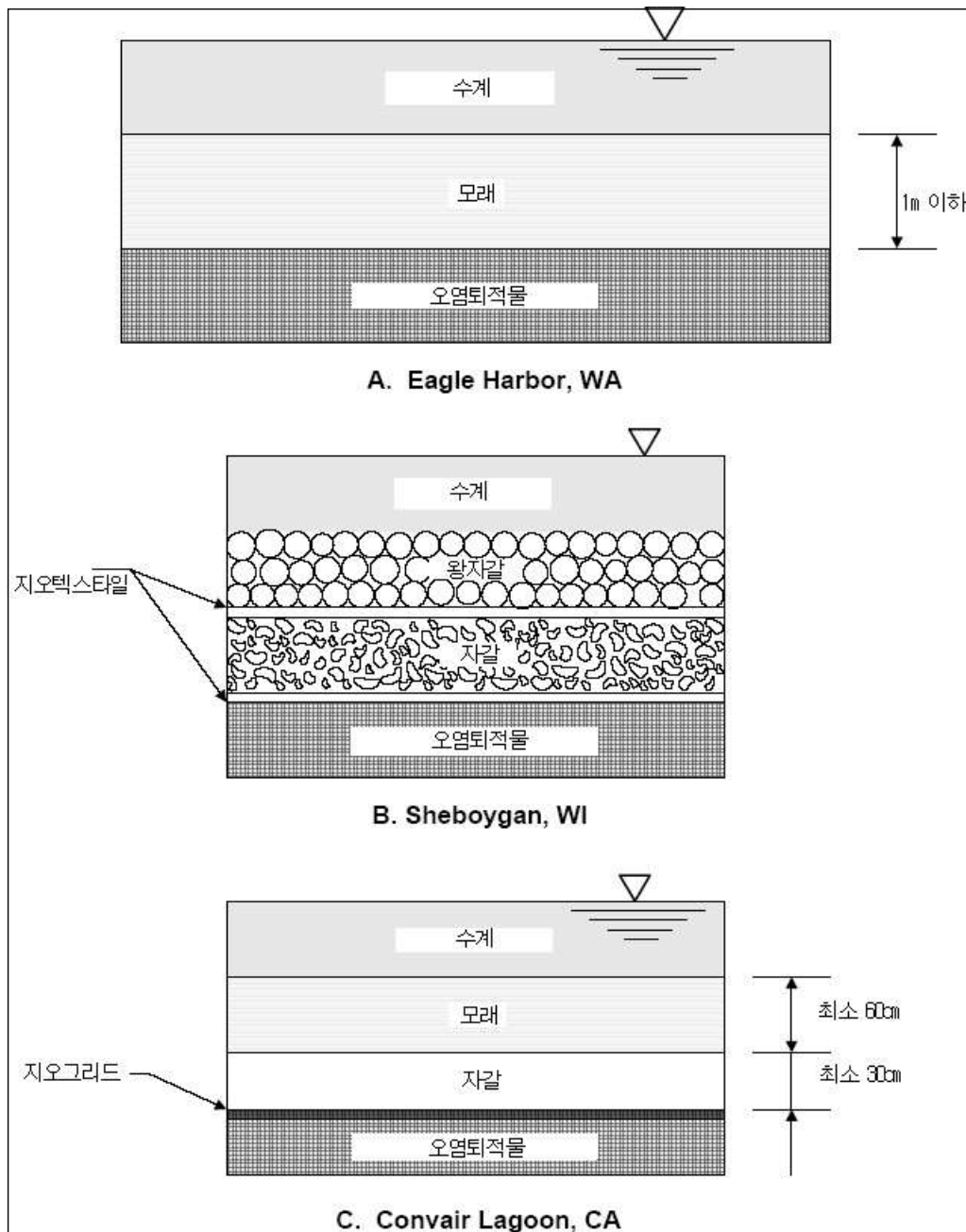


그림 4-2. 외국의 다양한 표면피복방법 디자인 사례

- 처리기술 검증, 환경안전성 평가 및 처리기술 검증 시스템 구축
 - 국내 상용 해양오염퇴적물 처리기술 검증, 환경안전성 평가 및 처리기술 검증 시스템 구축

- 해양오염퇴적물 재활용 적합성 검증 방안 개발
 - 처리된 퇴적물의 유효활용(복토재, 블록, 건축용 골재 등) 적합성 검증 방안 개발



그림 4-3. 독일의 준설물질 처리(입자분리) 및 재활용 사례

- 대규모 고립처분장 설계기술 확보
 - 대규모 고립처분장 설계기술 개발



그림 4-4. 네덜란드의 인공섬 조성 최종처리 사례

2) 중·장기 추진 과제

6년 내지 10년 이내의 중·장기간에 추진이 필요한 과제는 다음과 같다.

- 현장 특성에 적합한 다양한 처리 대안기술 개발
 - 현장 특성에 적합한 다양한 처리 대안기술(분리, 세척, 추출, 고화, 열처리, 생물학적 처리) 개발

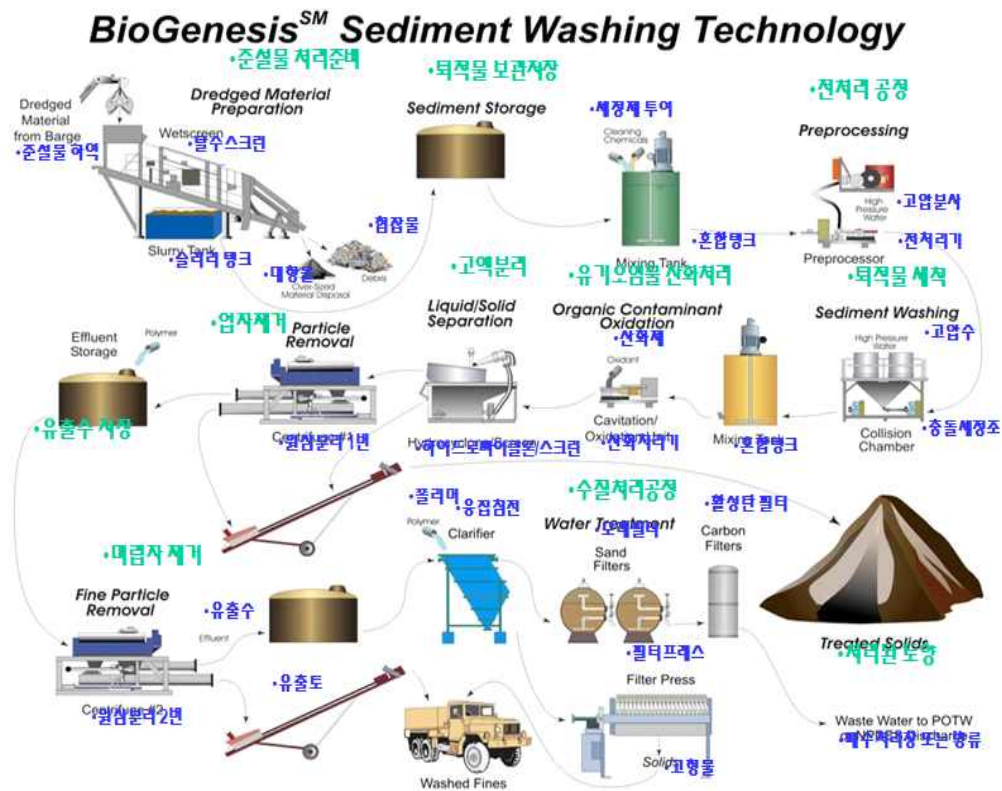


그림 4-5. 미국의 세척 처리기술 사례 (Biogenesis 사)

- 대규모 해양오염퇴적물 전용 고립처리장 조성 기반구축
 - 대규모 해양오염퇴적물 전용 고립처리장 조성을 위하여 기술 실증용 소규모 고립처리장 시범조성, 환경안정성 평가 및 관리방안 개발
 - 전국 각 권역별 안전한 대규모 해양오염퇴적물 전용 처리(중간, 최종)를 위한 후보지 사전 조사, 부지 확보 및 처리 플랜트 기술개발

■ 수거 해양오염퇴적물 재활용 방안 극대화

- 처리된 퇴적물을 공공사업에 사용하고, 클리어링하우스 구축 및 시장창출을 통하여 오염퇴적물의 안전한 처리 후 재활용 증대 방안 개발

■ 해양오염퇴적물 선진 관리방안 실현

- 해양오염퇴적물 관리(발생, 조사, 평가, 의사결정, 정화·복원, 모니터링 및 사후관리 등)를 위한 과학적이고 합리적인 방안 개발

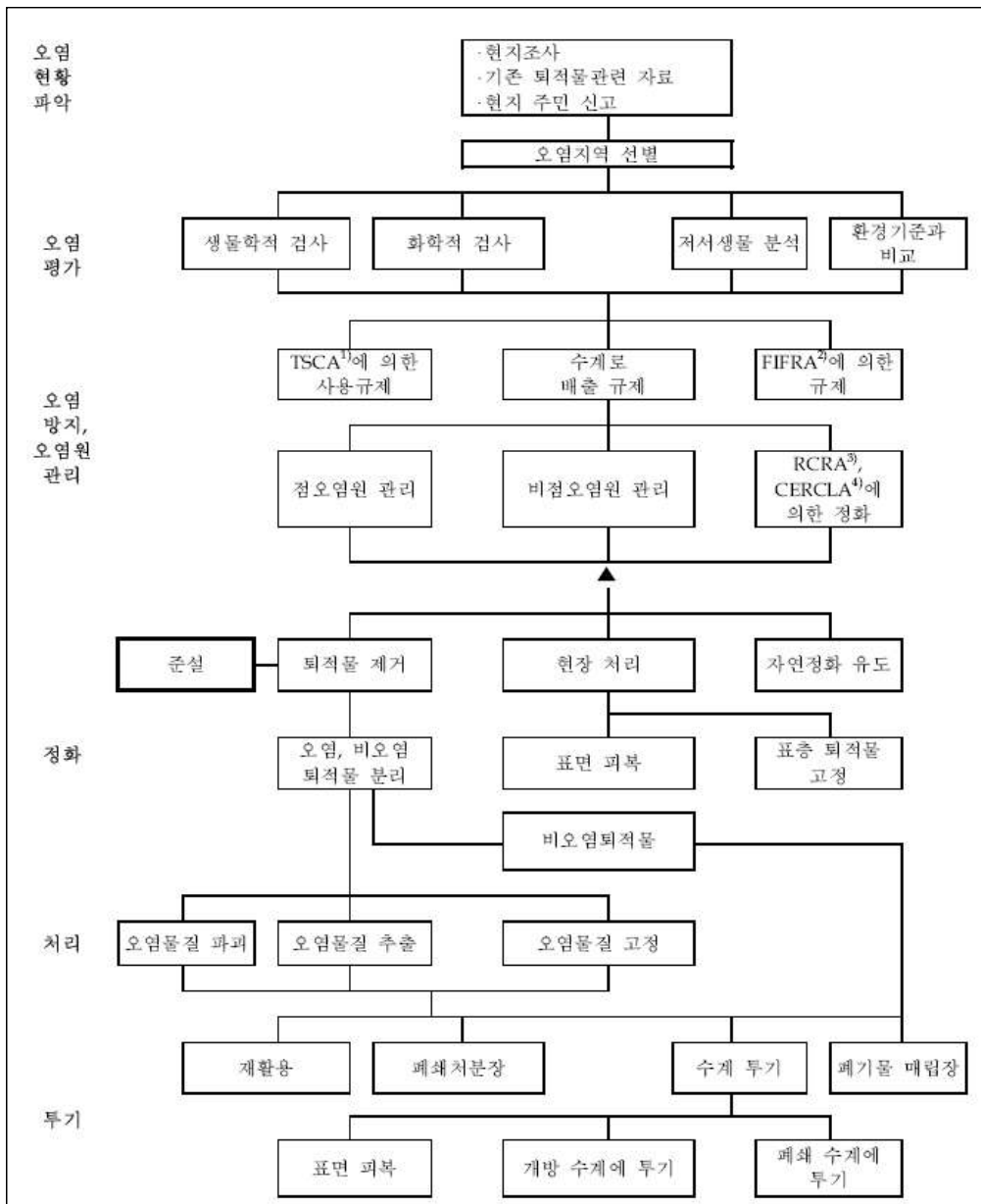


그림 4-6. 미국 환경보호청의 오염퇴적물 관리방안 사례

제 5 장 연차별 계획 및 실현 방안

1. 연차별 계획 및 소요 예산 (총 4,962억원)

1) 해양오염퇴적물 현황 조사 (87억원)

■ 향후 조사가 필요한 해역의 전체 조사대상 면적은 101,956,500m²이며, 조사 정점은 866개이다.

- 현재 시급히 정화복원이 필요한 해역은 부산 남항, 부산 북항, 진해 행암만, 장생포항, 온산항 여수항 등 14개 해역이다.
- 상기 해역들은 대부분 5개 특별관리해역에 포함되며, 인근에 인구밀도가 높은 대도시가 존재하며, 대규모 산업시설이 집중되어있다.

■ 현황조사 계획

- 해역별 퇴적물 오염현황 조사는 조사대상 해역이 전국에 산재하며, 그 범위가 매우 넓다.
- 그러므로 2단계로 나누어 실시하고, 각 단계별로 5년씩 조사기간을 설정하는 것이 적합하다.
- 1단계 조사: 특별관리해역 중 추가 조사가 필요한 부산항, 인천항, 광양항, 여수항, 마산항, 울산항 및 진해항에서 면적 52,990,000m², 271개 정점에서 우선적으로 해양오염퇴적물 현황 조사 실시
- 2단계 조사: 무역항(국가관리항, 지방관리항) 29개 및 연안항 25개 등 전체 54개 해역에서 추가 조사가 필요한 면적 48,966,500m², 595개 정점에서 지속적으로 현황조사 실시

■ 향후 10년간 연차별 퇴적물 오염현황 조사계획과 소요예산은 표 5-1과 같다.

표 5-1. 향후 10년간 연차별 퇴적물 오염현황 조사 정점 및 소요 예산
(총8,659백만원)

구분	소 계	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년
'11 ~ '15	271/2,681	54/536	54/536	54/536	54/536	55/537
'16 ~ '20	595/5,978	119/1,196	119/1,196	119/1,196	119/1,195	119/1,195

(정점/백만원)

표 5-2. 특별관리해역 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산

항만명	항내 수면적 (㎡)	기 조사범위 (㎡)	조사율 (%)	잔여 면적 (㎡)	조사 대상 면적(㎡)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천원)	비고
소계	718,606,000	25,827,785	3.6	692,778,215	52,990,000	271	626	2,680,532	특별관리해역
부산항	226,332,000	6,787,095	3.0	219,544,905	9,380,000	51	116	496,712	
인천항	263,982,000	2,220,600	0.8	261,761,400	4,370,000	47	112	479,584	
광양항	118,003,000	2,750,000	2.3	115,253,000	19,860,000	71	161	689,402	
여수항	4,706,000	2,301,659	48.9	2,404,341	1,340,000	18	43	184,126	
마산항	13,776,000	5,970,150	43.3	7,805,850	6,750,000	27	62	265,484	
울산항	83,164,000	4,287,470	5.2	78,876,530	9,060,000	34	79	338,278	
진해항	8,643,000	1,510,811	17.5	7,132,189	2,230,000	23	53	226,946	지방관리항

주] 정점 1개당 약 10,000,000원 소요 (시료 1개당 약 4,282,000원)

표 5-3. 국가관리항(무역항) 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산

항만명	항내 수면적 (m ²)	기 조사범위 (m ²)	조사율 (%)	잔여 면적 (m ²)	조사 대상 면적(m ²)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천원)	비고
소계	496,677,000	4,458,350	0.9	492,218,650	27,189,000	195	460	1,969,720	국가관리항
평택,당진항	98,972,000	3,120,000	3.2	95,852,000	3,940,000	24	54	231,228	
대산항	69,646,000		-	69,646,000	2,250,000	23	53	226,946	
군산항	164,045,000		-	164,045,000	12,500,000	45	105	449,610	
장항항				-					군산항과 합산
목포항	39,616,000	902,550	2.3	38,713,450	2,169,000	44	109	466,738	
포항항	104,338,000		-	104,338,000	4,010,000	37	87	372,534	
동해,목호항	17,874,000	435,800	2.4	17,438,200	2,320,000	22	52	222,664	
경인항	2,186,000		-	2,186,000					공사중

주] 정점 1개당 약 10,000,000원 소요 (시료 1개당 약 4,282,000원)

표 5-4. 지방관리항(무역항) 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산

항만명	항내 수면적 (m ²)	기 조사범위 (m ²)	조사율 (%)	잔여 면적 (m ²)	조사 대상 면적(m ²)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천 원)	비고
소계	188,314,425	575,447	0.3	187,738,978	15,268,500	198	478	2,046,796	지방관리항
태안항	8,245,000		-	8,245,000	557,000	13	38	162,716	
보령항	34,679,000		-	34,679,000	196,500	8	23	98,486	
완도항	4,677,000		-	4,677,000	1,230,000	17	42	179,844	
삼천포항	83,156,000		-	83,156,000	823,000	20	45	192,690	
통영항	3,396,000	360,260	10.6	3,035,740	1,680,000	21	51	218,382	
장승포항	718,000		-	718,000	232,000	10	25	107,050	
옥포항	6,234,000		-	6,234,000	4,770,000	32	72	308,304	
고현항	12,063,000		-	12,063,000	4,220,000	31	71	304,022	
호산항	20,690,425		-	20,690,425					개발예정
삼척항	996,000	215,187	21.6	780,813					조사완료
옥계항	5,646,000		-	5,646,000	265,000	10	25	107,050	
속초항	3,533,000		-	3,533,000	335,000	11	26	111,332	
제주항	3,355,000		-	3,355,000	640,000	14	34	145,588	
서귀포항	926,000		-	926,000	320,000	11	26	111,332	

주] 정점 1개당 약 10,000,000원 소요 (시료 1개당 약 4,282,000원)

표 5-5. 연안항 퇴적물 오염현황 조사 범위 및 소요 예산

항만명	항내 수면적 (m ²)	기 조사범위 (m ²)	조사율 (%)	잔여 면적 (m ²)	조사 대상 면적(m ²)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천 원)	비고
소계	290,548,99	1,354,751	0.5	289,194,241	6,509,000	202	458	1,961,156	연안항
용기포항	226,332,000		-	226,332,000	-	-	-	-	접경지역제외
연평도항	791,000		-	791,000	-	-	-	-	접경지역제외
대천항	22,954,000		-	22,954,000	575,000	13	29	124,178	
비인항	15,113,000		-	15,113,000	223,000	10	23	98,486	
송공항	2,930,000			2,930,000	64,000	7	16	68,512	
홍도항	463,000		-	463,000	95,000	7	16	68,512	
대흑산도항	1,992,000		-	1,992,000	586,000	13	29	124,178	
팽목항	101,000		-	101,000	40,000	7	16	68,512	
갈두항	450,000			450,000	72,000	7	16	68,512	
화홍포항	2,160,000		-	2,160,000	706,000	14	32	137,024	
신마항	859,000			859,000	107,000	7	16	68,512	
녹동신항	1,174,000		-	1,174,000	1,020,000	17	38	162,716	

주] 정점 1개당 약 10,000,000원 소요 (시료 1개당 약 4,282,000원)

표 5-5. (계속)

항만명	항내 수면적 (㎡)	기 조사범위 (㎡)	조사율 (%)	잔여 면적 (㎡)	조사 대상 면적(㎡)	소요 정점수	시료수	소요예산 (천 원)	비고
거문도항	378,000		-	378,000	192,000	8	18	77,076	
나로도항	910,000		-	910,000	559,000	12	27	115,614	
중화항	528,992		-	528,992	121,000	7	16	68,512	
부산남항*	1,304,000	993,496	76.2	310,504				-	,사업중
구룡포항	633,000	361,255	57.1	271,745				-	조사완료
후포항	910,000		-	910,000	452,000	12	27	115,614	
울릉항	2,301,000		-	2,301,000	108,000	7	16	68,512	
주문진항	1,290,000		-	1,290,000	300,000	10	23	98,486	
추자항	772,000		-	772,000	113,000	7	16	68,512	
애월항	101,000		-	101,000	91,000	7	16	68,512	
한림항	2,892,000		-	2,892,000	393,000	11	25	107,050	
화순항	2,109,000		-	2,109,000	564,000	12	27	115,614	
성산포항	1,101,000		-	1,101,000	128,000	7	16	68,512	

주] *: 특별관리해역

2) 정화사업 선진화 (875억)

가) 단기 추진 계획 및 소요 예산 (365억원)

우선, 향후 5년 이내의 단기 연차계획은 다음과 같다.

■ 해양오염퇴적물 수거기술의 선진화 (90억원)

- 선박 항행을 방해하지 않는 해양오염퇴적물 수거기술 개발(15억원/년, 3개년)
- 해양오염퇴적물 수거 효율을 높임과 동시에, 탈수 등 중간처리 비용을 낮출 수 있는 해양오염퇴적물 수거기술 개발(15억원/년, 3개년)

■ 해양오염퇴적물 현장 처리기술 개발 (100억원)

- 수거 해양오염퇴적물의 처리비용 절감 및 최종 처리장 확보에 대한 대안으로 피복(Capping)처리에 의한 정화기술 개발(10억원/년, 5개년)
- 부영양화 관련 해양오염퇴적물 정화를 위한 현장 처리기술(In-situ treatment) 개발(10억원/년, 5개년)

■ 처리기술 검증, 환경안전성 평가 및 처리기술 검증 시스템 구축 (75억원)

- 국내 상용 해양오염퇴적물 처리기술 검증, 환경안전성 평가 및 처리기술 검증 시스템 구축(15억원/년, 5개년)

■ 해양오염퇴적물 재활용 적합성 검증 방안 개발 (50억원)

- 처리된 퇴적물의 유효활용(복토재, 블록, 건축용 골재 등) 적합성 검증 방안 개발(10억원/년, 5개년)

■ 대규모 고립처분장 설계기술 확보 (50억원)

- 대규모 고립처분장 설계기술 개발(10억원/년, 5개년)

해양오염퇴적물 처리방안 등 기술개발은 개념설계(1차년), 기술개발(2차년), 실증실험(3차년), 플랜트 설치 및 적용성 평가(4차년), 수정, 보완 및 기술보급(5차년)의 과정으로 각 기술의 난이도에 따라서 3개년 내지 5개년에 걸쳐서 실시한다.

나) 중·장기 추진 계획 및 소요 예산 (510억원)

그 다음 6년 내지 10년 이내의 중·장기 연차계획은 다음과 같다.

■ 현장 특성에 적합한 다양한 처리 대안기술 개발

- 현장 특성에 적합한 다양한 처리 대안기술(분리, 세척, 추출, 고화, 열처리, 생물학적 처리) 개발 (10억원/년, 5개년, 각 분야 1개 기술: 250억원)

■ 대규모 해양오염퇴적물 전용 고립처리장 조성 기반구축

- 대규모 해양오염퇴적물 전용 고립처리장 조성을 위하여 기술 실증용 소규모 고립처리장 시범조성, 환경안정성 평가 및 관리방안 개발 (15억원/년, 5개년)
- 전국 각 권역별 안전한 대규모 해양오염퇴적물 전용 처리(중간, 최종)를 위한 후보지 사전 조사, 부지 확보 및 처리 플랜트 기술개발 (15억원/년, 5개년)

■ 수거 해양오염퇴적물 재활용 방안 극대화

- 처리된 퇴적물을 공공사업에 사용하고, 클리어링하우스 구축 및 시장창출을 통하여 오염퇴적물의 안전한 처리 후 재활용 증대 방안 개발 (10억원/년, 5개년)

■ 해양오염퇴적물 선진 관리방안 실현

- 해양오염퇴적물 관리(발생, 조사, 평가, 의사결정, 정화·복원, 모니터링 및 사후관리 등)를 위한 과학적이고 합리적인 방안 개발 (10억원/년, 5개년)

3) 정화사업 지속 추진 (4,000억원)

- 확인된 오염퇴적물 500만^m³를 향후 10년내에 정화 실현하고, 해양오염퇴적물 정화사업의 활성화 및 시장 창출을 위해서는 연간 최소 400억 규모(50만^m³)로 향후 10년간 지속적으로 사업을 추진(400억원/년, 10개년)할 필요가 있다.

2. 실현 방안

연차별 계획을 실현하기 위하여 다음과 같이 예산의 확보가 필수적이다.

- 국토해양부의 주도로 해양환경 관리를 위한 '기금'을 조성하여 일부를 충당
 - 기금 중 해양오염퇴적물 정화사업 분야에 사용할 수 있는 예산을 확보하여 연차별 계획 실현에 사용

- 해양오염퇴적물 정화사업을 위한 해양환경 부담금 제도 도입
 - 해역 이용권자(항만사용자, 공유수면점사용자, 해양으로 수질오염물질 배출자 등)로부터 부담금을 징수하여 기금을 조성하고, 이를 해양오염퇴적물 정화사업 추진 등에 사용

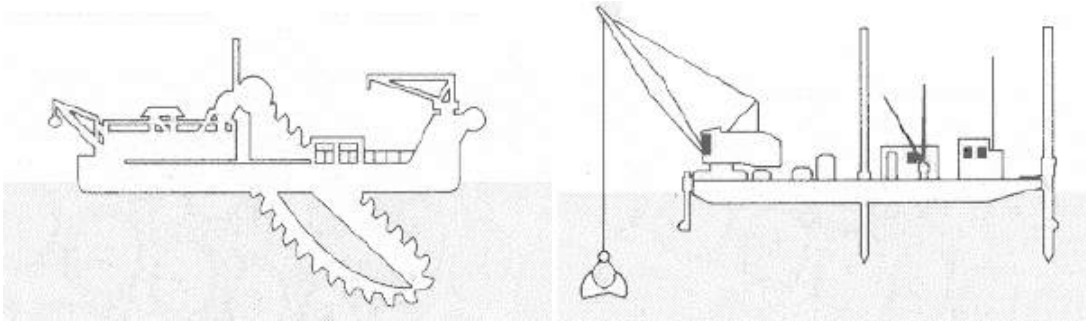
제 3 장
해양오염퇴적물 수거 공법
특성 조사

제 3 장 해양오염퇴적물 수거 공법 특성 조사

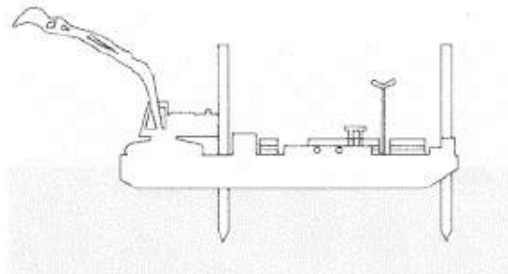
제1절 해양오염퇴적물 수거 공법 현황 및 실태조사

1. 수거공법 개요

오염퇴적물해역을 정화하는 가장 직접적인 방안은 환경에 위해성을 가하는 오염된 퇴적물을 제거하는 것이다. 해저에 존재하는 오염된 퇴적물을 제거하는 방법은 준설공법에 의한다. 준설은 일반적으로 기계식(mechanical)과 유압식(hydraulic)의 두가지 넓은 범주로 분류될 수 있다. 기계식 준설은 준설될 물질을 끌어 올리기 위하여 다양한 디자인의 하나 또는 여러 개의 버킷 등의 용기를 사용하여 퇴적물을 퍼올리는 방법이다. 기계식 준설은 수거 방법 및 용기의 모양, 작동 방법 등에 따라 버킷, 그랩, 디퍼를 사용하는 방식으로 구분된다(그림 3-1-1). 유압식 준설은 커다란 진공청소기와 비슷하며, 흡입구에 절삭기를 장착한 것과 그렇지 않은 것이 있다(그림 3-1-2)¹⁾.



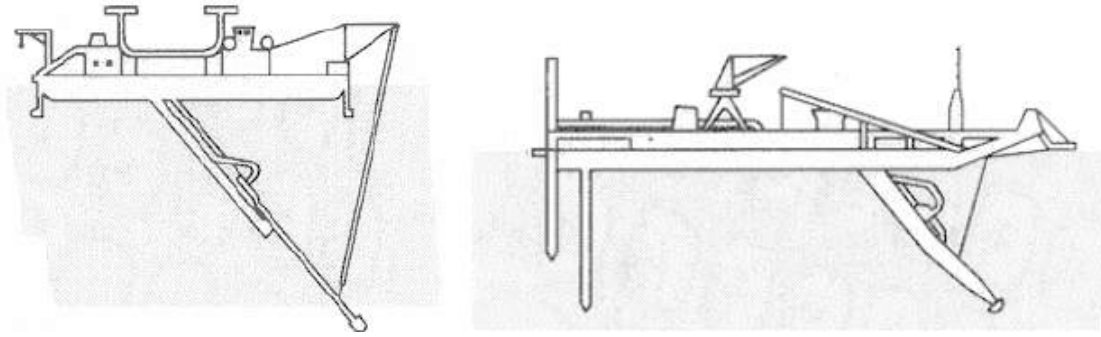
a) 버킷 레더(Bucket ladder dredger) b) 그랩(Grab dredger)



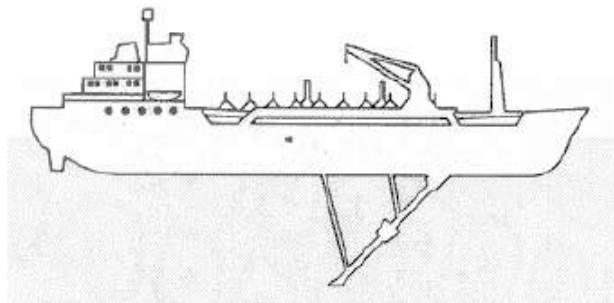
c) 디퍼, 백호우(Dipper and backhoe dredger)

그림 3-1-1. 기계식 준설장비

1) Vlasblom, W.J., 2003. Introduction to Dredging Equipment. In: Dredging and Offshore Engineering Lecture Notes. <http://www.dredgingengineering.com>.



a) 플레인 석션(Plain suction dredger) b) 컷터(Cutter dredger)



(c) 트레일 석션 호퍼(Trailing suction hopper dredger)

그림 3-1-2. 유압식 준설장비

1) 기계식 준설

가) 버킷라다 준설 (Bucket ladder dredge)

버킷라다 혹은 버킷 체인 준설기는 일련의 버킷들이 사다리라고 불리는 장치에 붙어 있다. 버킷은 롤러에 의하여 지지되는데, 순환식으로 아랫 부분에서 채워진 준설물은 최상부에서 비워진다. 버킷의 크기는 30 ~ 1,200리터로 다양하다.

① 작동방법

버킷라다준설기는 6가닥의 앵커 와이어에 의하여 위치를 제어한다. 후미 앵커 주위를 좌우로 움직이며 준설한다. 후미 앵커와이어와 선미 와이어는 1,000m 보다 길어질 수 있다. 좁은 작업 반경에서 퇴적물 위로 와이어가 끌리는 것을 방지하기 위하여, 와이어는 끝단의 플랫폼에 의해 지지된다. 준설 범위는 200m 이상을 커버할 수 있다. 좌우로 이동하는 속도는 퇴적물의 상태에 따라 조절 가능하며, 준설 폭은 멈춤쇠의 길이에 의한다.



그림 3-1-3. 버킷라다 준설기 (Bucket ladder dredger)²⁾

② 적용 지역

버킷 준설은 부드러운 오니부터 부드러운 암석까지 거의 모든 퇴적물의 준설에 적용 가능하다. 그 적용범위는 버킷 체인의 강도 및 동력의 크기에 좌우된다. 최대 준설수심은 준설기의 크기에 따른다. 보통 최대 준설수심은 30m 이상이다. 최소수심은 약 8m 이다. 현장의 밀도조건하에서 퇴적물을 그대로 펴 수 있기 때문에, 최근 오염된 오니준설에 자주 사용된다. 버킷라다 준설기는 외해 조건에서는 사용이 어렵고 유압식 준설기들에 비해 작업효율이 비교적 낮다.

2) <http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom1-introduction-to-dredging-equipment.pdf>

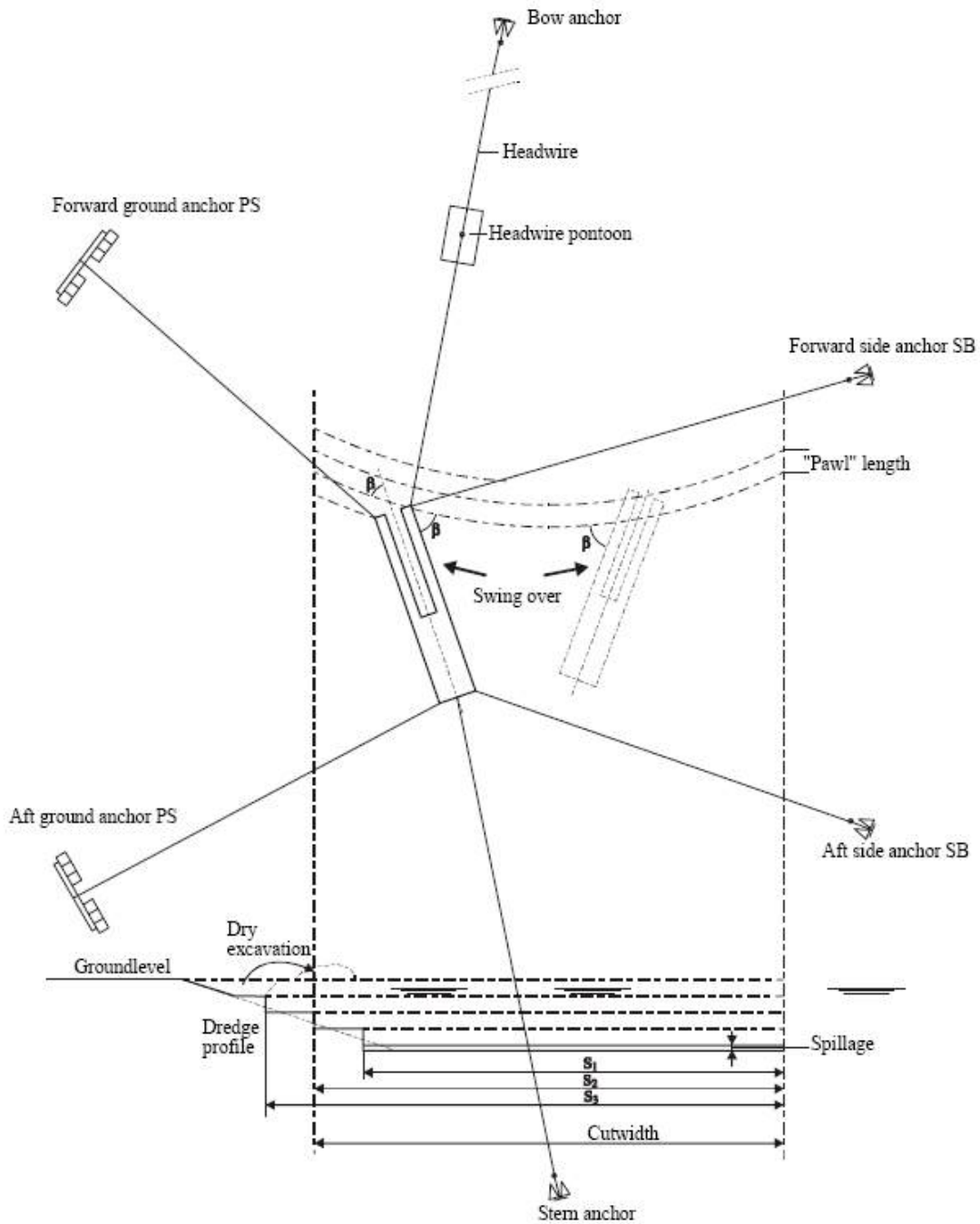


그림 3-1-4. 버킷라다 준설기의 위치제어 및 운용 방법³⁾

나) 그랩, 크랩셸 준설기 (Grab or Clamshell dredger)

그랩준설기는 세계적으로 가장 보편적으로 사용되는 준설방법의 하나이다. 준설물을 저장할 수 있는 호퍼를 가진 경우도 있고, 그렇지 않은 경우에는

3) <http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom1-introduction-to-dredging-equipment.pdf>

바지에 의해 운송된다. 준설기는 앵커나 지지대에 의해 계류된다. 용량은 그랩의 부피로 표현되며, 1 ~ 200m³ 까지 다양하다. 그랩의 개폐는 호이스트 와이어나 유압식 실린더에 의하여 제어된다.

① 작동방법

그랩준설기는 앵커링과 위치제어 시스템이 준설의 효율을 크게 좌우한다. 매 정치위치에서 가능한 넓은 면적에서 준설이 이루어질 수 있다. 중앙선을 기점으로 멀어질수록 준설용량은 감소한다. 한 조각의 그랩을 정치하여 준설을 하기 때문에 위치제어가 중요하다. 지지대를 가진 준설기가 와이어에 의하여 작동되는 것보다 더 정밀하게 준설을 수행할 수 있다.



그림 3-1-5. 그랩 준설선⁴⁾

② 적용 지역

대형 그랩준설선은 대규모 준설에 사용된다. 반면에 작은 용량의 그랩준설은 대부분 항내에서 접근이 어렵거나, 수심변화가 크고 소용량일 경우, 안벽을 따라 와이어나 쓰레기 등이 많은 장소, 깊은 구덩이에서 모래나 자갈 등을 채취할 때 등 특별한 목적에 사용된다.

4) <http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom1-introduction-to-dredging-equipment.pdf>

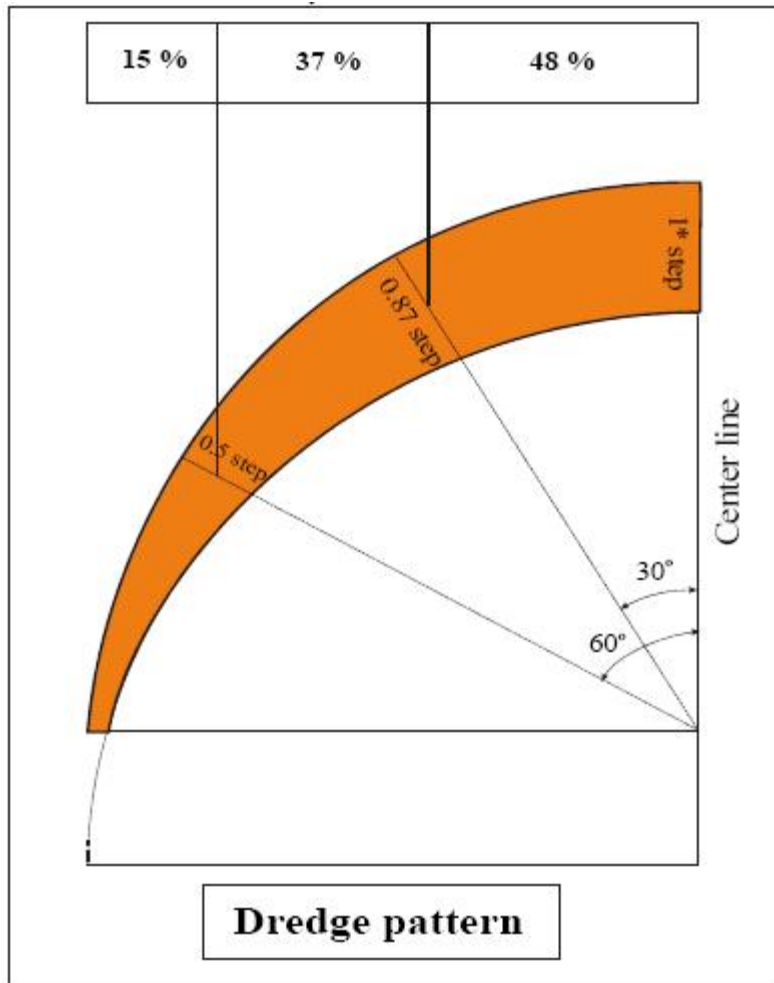


그림 3-1-6. 그랩 준설선의 준설 유형⁵⁾

다) 굴삭형 준설기 (Backhoe and front shovel)

유압식 크래인이 굴삭기와 전방향 삽에 장착될 수 있다. 굴삭기가 대부분 사용되며 두 장비의 차이는 굴삭기는 버킷을 준설선에서 끌어당겨 준설하는데 반해 전면 삽날형은 미는 방식이다. 정치는 세 개의 지지대에 의하여 확보되고 두 개는 플랫폼의 선수 양편에 고정되고 하나는 후면에서 움직인다. 준설 수심은 약 15m (최대 25m) 이다. 버킷의 크기는 수 m³에서 20m³까지 다양하다.

5) <http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom1-introduction-to-dredging-equipment.pdf>



그림 3-1-7. 굴삭형 준설기⁶⁾

① 작동방법

준설장비의 무게가 지지대를 통하여 바닥으로 전달되기 때문에 퇴적물을 굴삭할 때에 충분하게 앵커링이 된다. 따라서, 파도에 덜 예민하게 반응한다. 붐대와 팔의 작은 반경으로 굴삭폭은 10 ~ 20 m로 한정된다. 효율적인 준설 범위는 좌우로 벌릴 수 있는 각도와 플랫폼에서 앞쪽으로 뺄 수 있는 거리에 따른다.

② 적용 지역

수심이 25m를 넘지 않는 지역에서 그랩준설과 비슷하게 사용된다.

6) <http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom1-introduction-to-dredging-equipment.pdf>

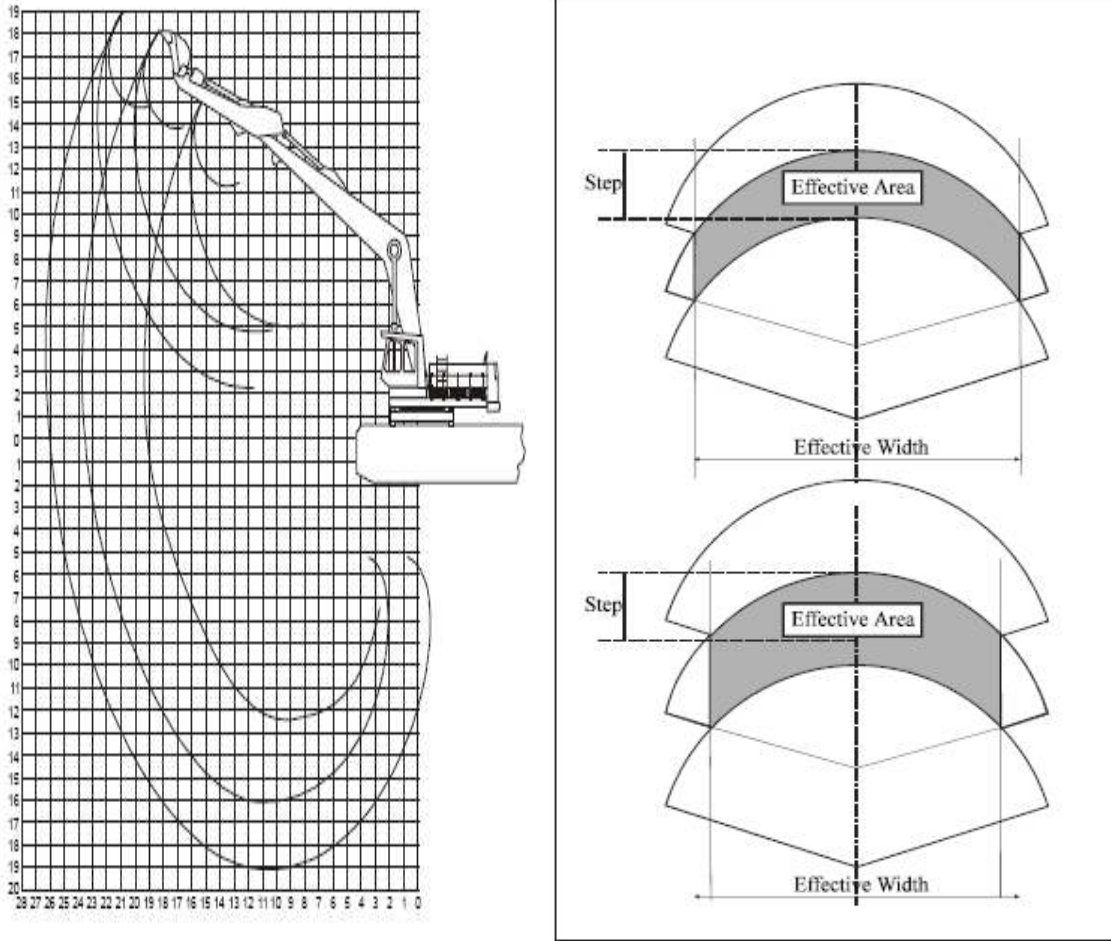


그림 3-1-8. 굴삭형 준설기의 준설 유형⁷⁾

2) 유압식 준설

가) 플레인 흡입 준설기 (Plain suction dredger)

플레인흡입 준설기는 하나의 준설펌프를 가지며, 하나 이상의 와이어에 의하여 위치가 제어되는 정적인 준설기이다. 준설 펌프는 흡입 파이프와 운송용 파이프에 연결된다. 흡입 파이프는 플랫폼의 전면에 위치해 있다. 이런 종류의 준설기는 퇴적물이 자유롭게 흐르는 모래이거나 깎아야 할 벽의 높이가 충분할 때 (적어도 10m) 효율적이다. 대부분의 흡입준설기는 흡입구 근처에서의 혼합 형성 과정을 개선하기 위하여 물분사 펌프를 장착하고 있기도 한다. 플레인 흡입 준설기의 종류는 바지에 준설물을 실을 수 있는 바지

7) <http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom1-introduction-to-dredging-equipment.pdf>

저장고 흡입준설기(Barge loading suction dredger): 직접 펌프로 운송하기에는 거리가 너무 길 경우 사용된다. 표준형 플레인 흡입 준설기(Standard suction dredger)는 파이프라인을 통하여 준설물질을 매립지로 보낼 때, 사용된다. 깊은 수심에서 사용되는 대수심 흡입 준설기(Deep suction dredger)는 수중펌프가 장착되고 준설 수심이 30m 를 초과할 경우 일반 표준형 보다 더 적절하게 사용될 수 있다. 더스트팬준설기(Dustpan dredger)는 넓은 흡입구를 가지고 있으며 얇은 심도의 준설을 가능하게 해 준다.

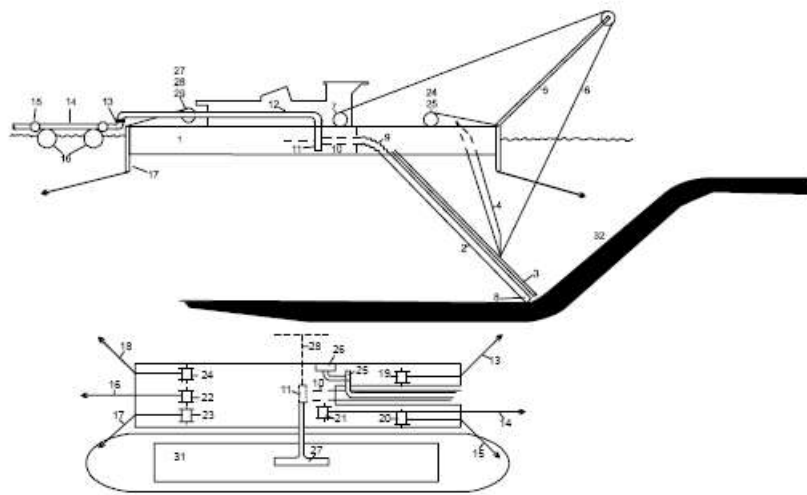


그림 3-1-9. 바지 이송형 흡입 준설선 (Barge loading suction dredger)

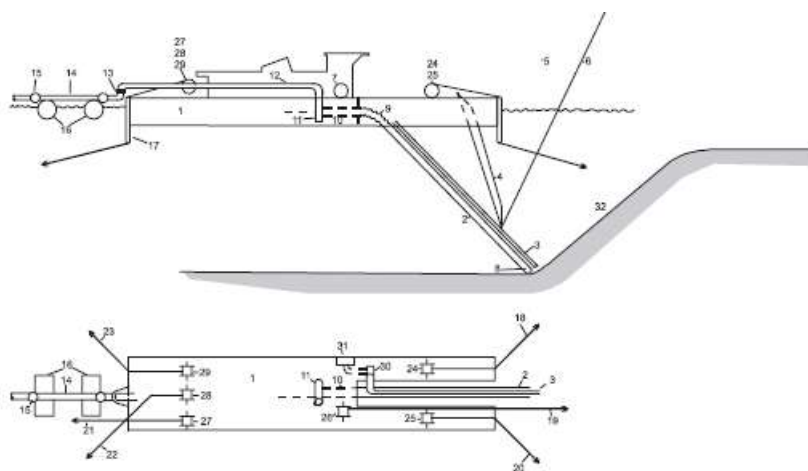


그림 3-1-10. 표준 플레인 흡입 준설선 (Standard plain suction dredger)

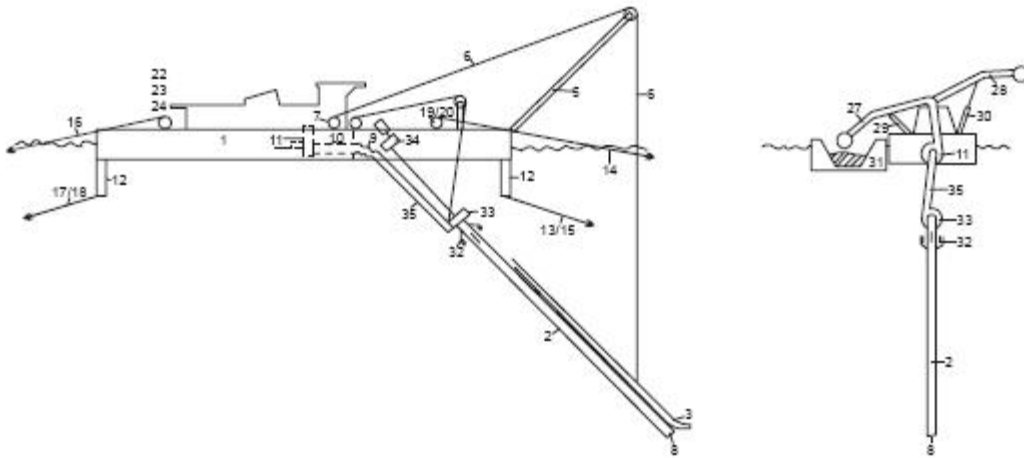


그림 3-1-11. 심층 흡입 준설선 (Deep suction dredger)

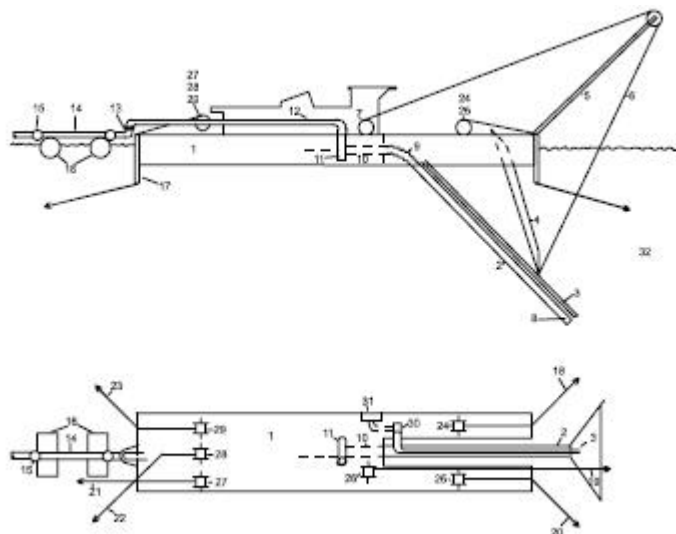


그림 3-1-12. 더스트팬형 준설기 (Dustpan dredger)

① 작동 방법

준설펌프에 의하여 형성되는 흡입구 주변의 흐름에 의해 만들어지는 배사과정(breaching process)과 침식에 기초하여 준설이 이루어진다. 배사과정이란 지역적 불안정 혹은 흡입구 경사면을 따라 흐르는 밀도류의 침식으로 인하여 퇴적물이 절단되는 과정으로 준설된다. 플레인 흡입준설의 유형은 그림 3-1-13과 같다.

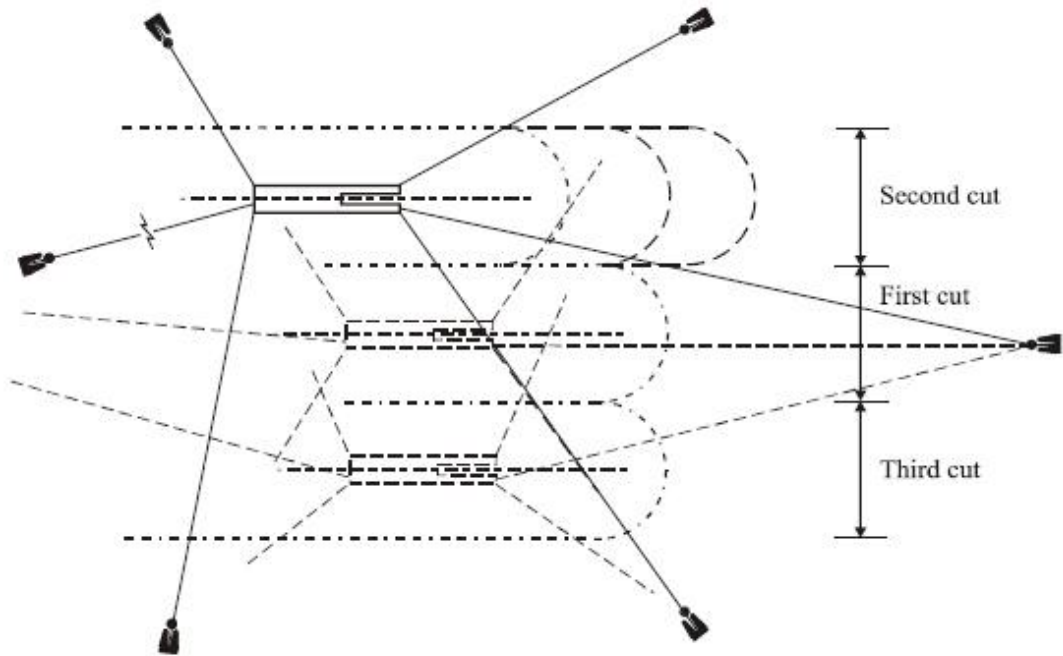


그림 3-1-13. 플레인 흡입준설기에 의한 준설 유형⁸⁾

준설의 길이는 채취구역내에서 앵커의 위치에 의한다. 앵커의 위치를 재 조정하지 않고보다 많은 준설이 가능하도록 앵커를 놓는다. 앵커 와이어의 길이와 퇴적물의 배사가능성이 준설길이를 좌우한다.

② 적용 지역

절삭기가 없기 때문에 이런 유형의 준설기는 점착성이 없는 퇴적물에 적합하다. 특별한 장치가 있으면 외해 조건에서도 준설이 가능하다. 100m 가 넘는 깊은 구덩이에서도 채취가 가능하다. 이런 종류의 준설기는 시멘트산업 용 모래 채취나 매립지에서 채취갱을 파는데 흔히 사용된다.

2. 상용 준설기의 환경영향 검토

일반적으로 상용 준설선에 의한 준설작업은 간혹 환경에 역영향을 미칠 수 있다. 이러한 영향 간략히 기술하면 다음과 같다:

- 오염된 물질의 과다 준설: 상용 준설선은 준설깊이에 대하여 그 조절

8) <http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom1-introduction-to-dredging-equipment.pdf>

범위가 낮은 정밀도를 가진다. 이러한 이유로 처리 혹은 저장할 준설물질에 대하여 과도한 부피를 초래한다. 특히 큰 면적에 대하여 오염퇴적물 층을 준설할 경우 준설물량이 커질 수 있다.

- 과다 부유퇴적물: 준설지역 혹은 처분지역 인근에서 상용 준설선에 의한과다한 부유물질의 생성은 민감한 지역 생물들에 위험을 초래할 수 있다. 부유물질이 오염되었을 경우, 오염물질이 수층으로 확산될 수 있다.
- 유출층의 형성: 상용 준설선에 의하여 느슨해진 층을 불안정하게 제거할 경우, 자연적으로 해저면의 침식 작용에 의하여 많은 양의 부유물질이 발생하게 된다. 이러한 부유물질은 산호초와 같이 민감한 지역 인근이라면 또는 퇴적물에 흡착된 오염물질들이 방출 혹은 확산될 경우 위험을 초래할 수 있다.
- 준설물질의 희석: 상용 준설선에 의하여 제거된 가는 입자를 가진 물질들은 많은 양의 물과 혼합될 때, 저장 혹은 처리하여야 할 준설물질의 부피를 증가시키게 된다.

상기 영향의 각각은 개별 사업의 준설 대상 물질의 특성과 사용되어지는 준설장비/기술의 종류에 따라 크게 좌우된다. 준설은 퇴적물을 부수고, 채취하고, 준설물질을 수직·수평 방향으로 이동 및 재배치하는 과정들을 포함한다. 이러한 과정들에 대한 운용원칙들은, 세 가지 범주의 준설방법으로 분류될 수 있다: 기계식 준설, 흡입식 준설, 기계식/흡입식 혼합 준설.

1) 기계식 준설

기계식 준설은 물질을 자르거나 끌어올리기 위한 기계식 발굴 장치들을 사용하는 모든 설비들을 포함한다. 이러한 범주에 속하는 준설은 그랩준설, 백호준설, 버킷라다준설이 있다.

가) 그랩준설

준설지점의 정확도가 제한된다. 발굴용 버킷은 매회 위치를 재조정해야 되며 상용장비의 위치조정 능력은 부족하다. 개방형 버킷을 가진 상용 그랩준설선은 퇴적물을 끌어 올리는 동안 발굴물질들이 누출되어 손실이 발생한다. 이러한 끌어 올리는 동작에, 그랩으로부터의 누출은 수층의 전 깊이를

통하여 일어날 수 있다. 퇴적물을 바지에 실을 동안 넘치거나 튀어서 손실이 발생될 수 있다. 더구나, 아주 넓은 면적의 앵커를 요구한다. 때문에 해상교통에 지장을 초래할 수 있다.

그랩준설선의 준설량은 준설지점의 수심에 제한을 받는다. 대형 그랩준설선의 작업량은 시간당 1,000~2,000m³/hr 까지 이른다.

나) 백호 준설선

백호준설선의 주요 단점들은 다음과 같다:

- 준설지점의 정밀도가 낮다. 발굴용 버켓을 매회 위치를 조정하여야 한다. 상요장비의 위치 제어 능력이 빈약하다.
- 개방형 버켓으로 준설물질을 부상시킬 때 막대한 양의 부유 퇴적물이 누출될 수 있다. 누출은 전수층에 걸쳐서 발생할 수 있다.

백호준설선의 작업능력은 작업자의 숙련도에 크게 의존된다. 가장 큰 백호준설선으로 작업 능력은 500m³/hr 까지 이른다.

다) 버켓라다준설선

버켓라다준설선은 유럽에서 처음 사용되었다. 사다리 모양의 무궤도 버켓 체인을 가지고 있다. 준설시 체인이 사다리를 따라 회전한다. 가장 낮은 위치의 버켓이 해저면을 파서 버켓으로 끌어 올린다. 버켓 체인이 회전할 때, 위로 올라와 최상단부의 사다리에서 발굴물질이 부어지게 된다. 버켓라다준설선은 그랩준설선과 백호준설선들 이상의 장점들을 가지고 있다. 사다리가 동일 지점에 있는 한 준설위치의 정밀도가 더 높아지게 된다. 물에 의한 준설물의 희석은 크지 않지만, 다음과 같은 단점들을 가지고 있다:

- 개방형 버켓으로 발굴물을 부상시킬 때, 많은 양의 부유 퇴적물이 누출될 수 있다;
- 비슷한 양의 작업능력을 가진 기타 준설선과 비교하여 작업단가가 높다;
- 넓은 면적을 차지하는 앵커들이 해상교통을 방해할 수 있다.

버켓라다준설선의 작업량은 소량에서 1,500m³/hr 까지 이른다.

2) 유압식준설선

가) 흡입준설선(Suction Dredger)

흡입준설선은 가장 간단한 유형의 유압식준설선이다. 부유바지로부터 흡입파이프를 바닥에 내려 준설펌프로 흡입하는 방식이다. 간혹 흡입라다가 장착되기도 한다. 흡입파이프로 물질을 끌어 올린 후에 유압을 이용하여 부유파이프라인을 통하여 해안가나 바지에 배출한다. 흡입준설선은 준설위치의 정밀도가 낮다는 단점이 있으며 흡입 과정에 제어할 수 없는 과정으로 인하여 상당량의 유출이 있을 수 있다. 수송목적으로 발굴물질에 물이 첨가되기도 하며, 발굴물질의 희석이 상당하다. 흡입준설선의 용량과 발굴물질의 특성에 따라, 준설량이 좌우되며 50~5,00m³/hr 까지 다양하다.

나) 절삭흡입준설선(Cutter Suction Dredger)

절삭흡입준설선은 보통 자력선이 아니고 절삭 톱날을 가진 회전 절삭기로 해저면을 파헤친다. 떨어져 나간 물질은 절삭기에 정지된 흡입구로 흡입된다. 준설헤드의 이동이 고정점으로부터 제어되기 때문에 준설위치에 대한 정밀도가 좋다. 회전 절삭기 주변 해저면의 교란으로 준설지역에 상당량의 부유퇴적물을 형성하는 높은 위험도를 가진다. 준설물과 함께 흡입파이프를 통하여 물도 함께 흡입되기 때문에 준설물질의 희석이 크다. 흡입준설선과 같이, 준설율은 절삭흡입준설선의 크기와 발굴물질의 특성에 따라, 50~5,00m³/hr 까지 다양하다.

다) 배향흡입호퍼준설선(Trailing Suction Hopper Dredger)

배향흡입호퍼준설선(TSHD)는 흡입라다를 가진 자향식 준설선이다.

3. 기타 혁신 준설기술

과거 약 30년에 걸쳐서, 환경문제가 오염된 퇴적물을 포함하는 기본 혹은 유지준설작업에서 중요한 고려사항으로 증가하여 왔다. 환경적으로 수용가능하고 경제적으로 가용한 기술들이 거의 모든 현대 준설사업에서 주요 고려사항중의 하나가 되었다. 지난 10년간, 환경적으로 친화적인 방법으로 오염 퇴적물을 제거하기 위한 목적으로 많은 준설선과 준설헤드들이 특정한 사업들에 고안되어 왔다. 이러한 환경준설(Environmental dredging)의 바람직한 특성들은 다음과 같다:

- 오염되지 않은 물질과의 혼합 및 과다 준설을 방지하면서, 높은 준설위치 정밀도로 오염퇴적물층을 제거;
- 주변수층으로의 오염퇴적물의 확산 및 부유물을 최소화하면서 오염퇴적물을 준설;
- 가능한 준설과정에서 희석을 최소화함으로써 해저면에서의 밀도와 유사하게 준설.

준설시 발생하는 부유물을 최소화하는 것은 환경에 역영향을 감소시키는 데 있어 확실히 중요하다. 준설위치의 높은 정밀도는 운송, 저장, 처리 부피를 줄여주며 오염퇴적물을 보다 효율적으로 제거하는 것이다. 준설과정에서 희석을 최소화함으로써 달성되는 준설물질의 높은 밀도는 저장 혹은 처리하여야 할 부피를 줄여준다. 몇 종류의 개선된 환경준설선들과 여러 나라에서 사용중인 환경 친화적으로 개선된 새로운 준설기술과 적절한 변경사항들을 가진 상용 준설선들을 아래에 정리하여 기술한다.

1) 환경그랩

환경그랩은 과다준설을 최소화하고 그랩버킷으로부터의 유출을 방지하기 위하여 다음의 특징들을 갖는 특별히 고안된 그랩이다. 환경그랩의 특성은 다음과 같다.

- 그랩을 열고 닫을 때, 절삭면이 동일한 수평면을 가진다(그림 3-1-14).
- 그랩의 개폐가 유압 혹은 기계식으로 특별히 조작되는 케이블에 의해 수행된다(그림 3-1-15);
- 그랩이 닫힐 때, 유출을 최소화하기 위하여 모든 개방구가 봉쇄된다;
- 케이블의 전환점 위치를 정밀하게 측정하기 위하여 크레인 붐대 꼭대기에 위치 확인 장치가 설치된다. 준설시 그랩의 깊이를 정확하게 확인하기 위하여 케이블길이 측정 장치가 사용된다.

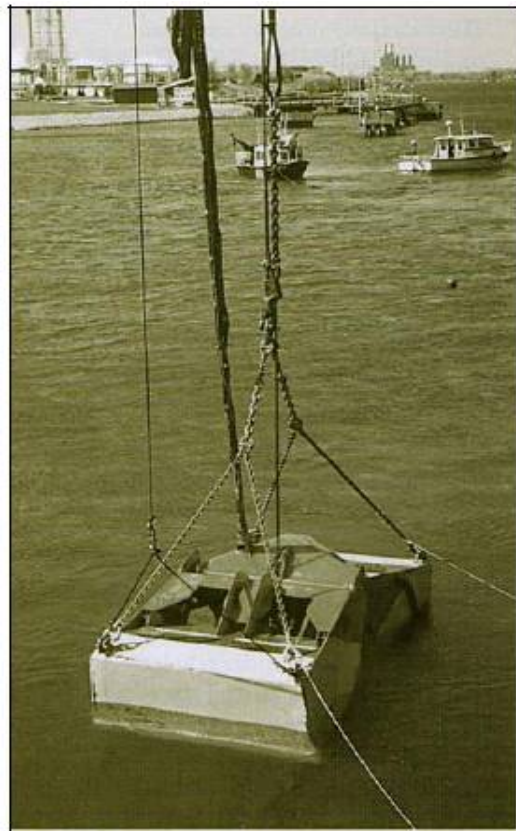
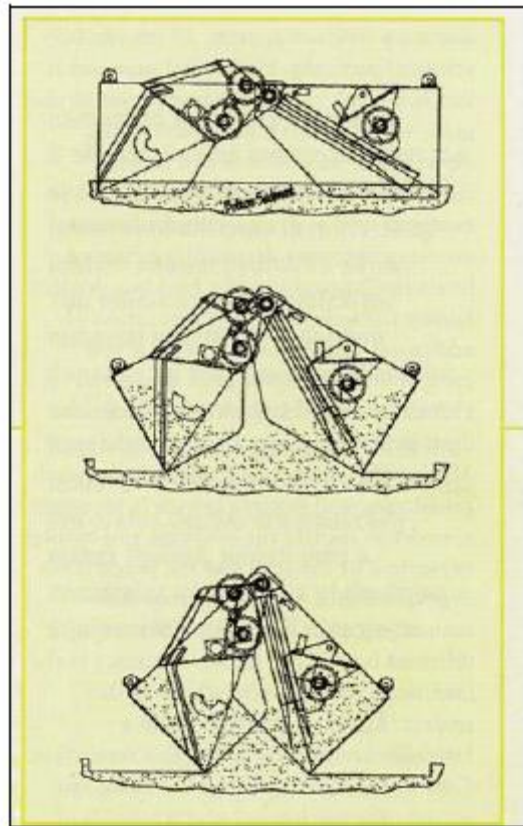
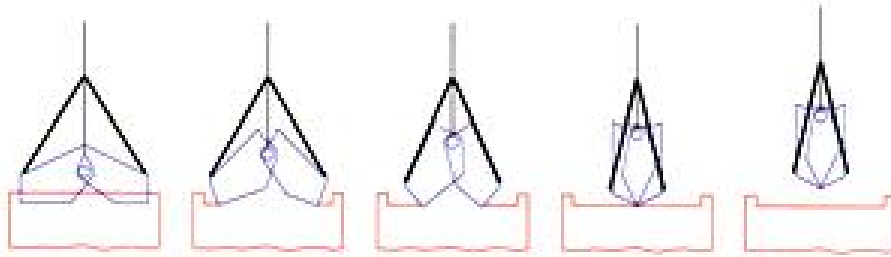


그림 3-1-14. 환경그랩의 모식도 그림3-1-15. 케이블에 매달린 환경그랩⁹⁾

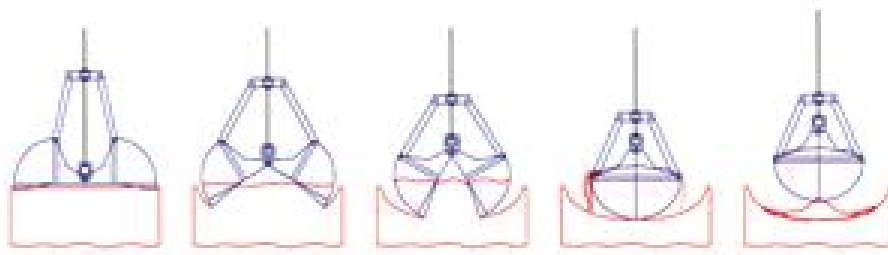
환경그랩은 그랩준설선이나 백호준설선에 장착될 수 있다. 케이블크레인에 매달린 그랩의 위치제어 정밀도가 높다. 환경그랩은 실트커턴과 같은 기타 보호 수단과 함께 보통 사용된다. 환경그랩의 준설율은 그랩버킷의 크기에 주로 좌우되며 시간당 수백 m³ 로 제한된다.

일반적으로 밀폐형으로 제작되는 환경그랩은 수거과정에서 컷터로 수평 굴착하므로 얇은층 준설이 가능하며, 필요한 최소한의 퇴적물을 “넓게”, “얇게” 또는 “균일”하게 준설할 수 있다. 특히, 준설과정에서 밀폐형 구조의 특성에 의해 수질오염이나 잉여 퇴적물의 발생을 차단할 수 있기 때문에 부유물질의 발생 등 2차 오염을 예방할 수 있다. 환경그랩과 달리, 항로 유지준설 등에는 가장 일반적으로 사용되는 일반 그랩 또는 버킷은 개폐 구조 등의 관계로 잉여 퇴적물이 발생하며, 준설시 두께제어가 어려워서 필요 이상의 두께를 준설한다(그림 3-1-16).

9) IADC (1998). Environmental Aspects of Dredging - Guide 4: Machines, Methods and Mitigation. International Association of Dredging Companies (IADC), The Netherlands, 80p.



(a) 환경그랩의 준설과정



(b) 일반 그랩 준설과정

그림 3-1-16. 환경그랩과 일반 그랩의 준설과정의 차이¹⁰⁾

2) 환경오거준설선

오거준설선은 수년간 유럽에서 주로 호수의 정화사업에 사용되어져 왔다. 아래에 열거된 몇가지 특정한 환경 특성을 가진 작동원리들과 결합되어, 환경오거준설선은 오염퇴적물의 얇은 층들을 제거하기 위하여 고안되어졌다(그림 3-1-17). 환경오거준설선의 특성은 다음과 같다.

- 준설물질이 흡입헤드에 의해 펌프로 끌어 올려진다, 때문에 슬러리가 고농도로 압축될 수 있다;
- 준설과정이 밀폐된 공간내에서 이루어질 수 있다;
- 실트스크린이 오거 주변에 설치되어 혼탁도가 보호망 내에 한정될 수 있다.

환경 범주에서 상용준설선과 비교하여, 환경오거준설선은 다음과 같은 여러가지 개선점들을 가진다:

- 매우 정적인 준설선으로 절산헤드의 정밀위치 조정 및 자동으로 조절되는 제어 시스템과 결합하여 5cm 이내의 허용오차로 작업을 할 수 있다;

10) 향만 토목공사의 기초지식: 준설 (<http://www.umeshunkyo.or.jp/108/prom/231/page.html>)

- 오거는 스커트에 의하여 환경으로부터 폐쇄되어 있다. 때문에 절삭도구 주변에서 퇴적물의 부유가 거의 없다;
- 오거는 준설선의 흡입구를 향하여 퇴적물을 자르고 운송한다. 이러한 특징으로 펌핑과정을 잘 제어하면, 준설층을 최소한도로 제거할 수 있다;
- 물에서 감시가 잘 되는 제어시스템을 가져 준설물질 운송시 필요로 하는 물의 양을 최소한도로 줄일 수 있다.

환경오거준설선의 준설율은 오거의 크기에 따라 500m³ 정도까지 된다.



그림 3-1-17. 환경오거준설선

3) 디스크바닥준설선(Disc Bottom Dredger)

디스크바닥준설선은 기계식과/유압식을 혼용한 준설선이다. 평평하고 바닥이 폐쇄된 수직적으로 회전하는 축을 가진 원통형 모양의 절삭기를 장착한 정적인 준설선이다(그림 3-1-18).

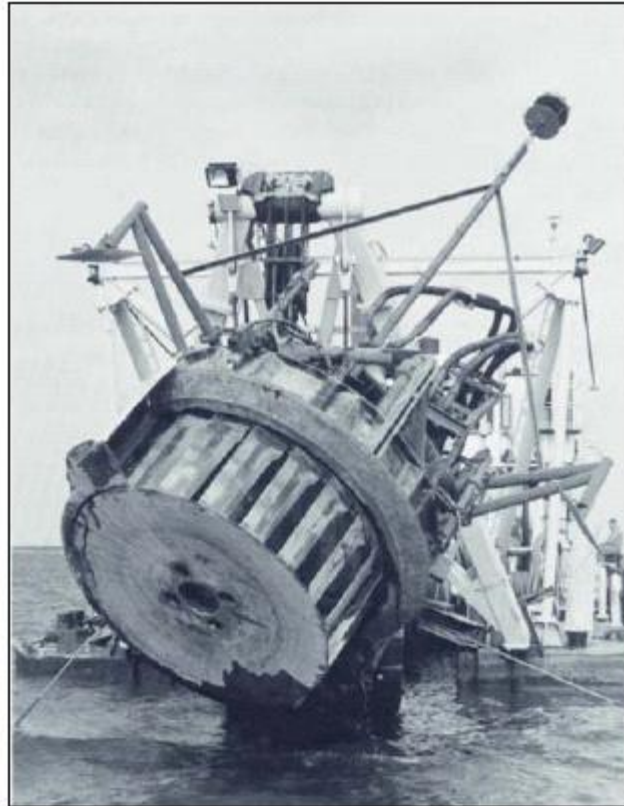


그림 3-1-18. 원통형 모양의 디스크바닥준설선

절삭 퇴적물을 제거하기 위한 흡입구는 유출을 방지하기 위하여 절삭기의 내부에 위치하여 있다. 절삭된 퇴적물을 봉쇄하여 과도한 용량의 물이 들어오는 것을 방지한다. 준설위치 조절이 아주 높은 정밀도로 이루어질 수 있다. 절삭면을 목표로 하는 수 cm의 두께로 위치를 조정할 수 있다. 디스크바닥 절삭 도구 주위를 완전하게 밀폐되게 설계하여 절삭된 퇴적물의 확산을 방지한다. 따라서, 부유퇴적물의 형성이 최소화되며 절삭도구에 아주 근접하게 제한된다(IADC, 1998).

4) 국자형준설기(Scoop Dredger)

국자형준설기는 절삭흡입준설기를 특별히 오염퇴적물 준설에 맞게 성능을 향상시킨 것이다. 반대 회전방향에서 준설이 가능하도록 양날형 기능을 가진드랙헤드가 달려 있다(그림 3-5). 준설선의 흡입구에 퇴적물을 긁어 넣기 위하여 방향을 바꿀 수 있는 날을 사용한다. 회전 끝단에서 날은 반대방향으로 바뀌며, 준설선은 앞으로 1.5~2.5m 움직이고 반대방향으로 계속하여 긁

어낸다(Vandycke and Lefever, 1997)¹¹⁾. 국자 끝에 회전 절삭기가 없기 때문에 혼탁과 물의 첨가가 최소화된다. 동시에 회전부가 없다는 것은 준설지역의 폐기물들에 대한 방해를 최소화시킨다. 준설물질에서의 기포 버블의 발생으로 라다 펌프의 공동화현상을 유발할 수 있으며 이로 인하여 펌프의 성능을 저하시킬 수 있다. 이를 방지하기 위하여 특별히 제작된 가스제거장치가 부착되기도 한다.

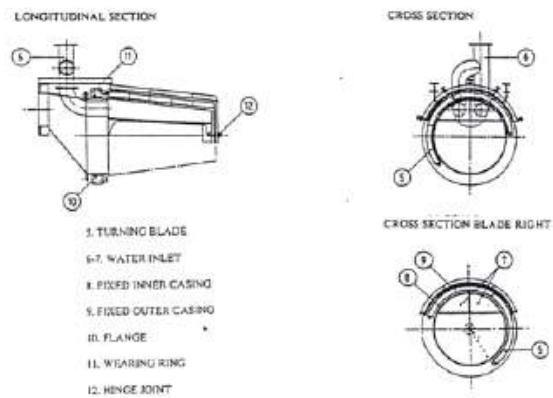


그림 3-1-19. 국자형헤드와 일반적인 모양

5) 저혼탁준설헤드(Low-Turbidity Dredge Head)

저혼탁준설헤드(LTDH) 혹은 청소헤드(Sweephead)라고 불리는 장비가 벨기에의 Jan de Nul에 의하여 개발되었다. 저혼탁준설헤드는 절삭기흡입준설선에 장착된다(그림 3-1-20). 특징은 다음과 같다(McLellan and Hopman, 2000)¹²⁾

- 고정밀도로 퇴적물의 얇은 층을 제거할 수 있다;
- 현장 퇴적물과 비슷한 밀도로 준설할 수 있다;
- 얇은 수심에서도 작업이 가능하다;
- 혼탁도 발생과 오염물질의 이동을 감소시키기 위하여 퇴적물에 기계적인 혼란을 최소화한다.

11) Vandycke, s> and Lefever, J., 1997. Instrumentation of environmental dredgers. Proceedings of the CEDA Dredging Days, pp.209-221..

12) McLellan, T.N. and Hopman, R.J., 2000. Innovations in dredging technology: equipment, operations, and management. Dredging Operations and Environmental Research Program, US Army Coprs of Engineers.

저혼탁준설헤드는 두 개의 입구를 가지며 추가적으로 기계식 움직임없이 작업을 할 수 있다. 헤드에 유압식 밸브가 준설방향을 향하여 입구를 열게 해 준다.



그림 3-1-20. 저혼탁준설헤드

6) 일본의 오염해역 준설에 사용되는 장비 사례

일본의 오염해역 준설사업에서 사용되는 장비¹³⁾는 다음과 같다.

- 그랩 준설선: 타고노우라항의 다이옥신 오염해역 준설(2000년)에 사용
- 펌프준설선: 일반 해역 준설에 사용하는 장비를 사용
- 드래그석션 준설선: 일반해역 준설에 사용하는 장비를 사용
- 고농도 오니 준설선: 오니를 대상으로 높은 함니율로 수거가 가능하며, 일반 해역 준설에도 사용
- 환경보호형 밀폐형 그랩 준설선: 수거시 2차 오염 예방을 위한 밀폐형 그랩을 사용¹⁴⁾

13) 항만 토목공사의 기초지식: 준설 (<http://www.umeshunkyo.or.jp/108/prom/231/page.html>)

한편, 오염해역 준설에서 그랩 등 일반 준설장비도 사용되고 있지만, 소형 이동식 오타방지막 등 2차 오염을 예방할 수 있는 장비와 공법을 사용하고 있다.

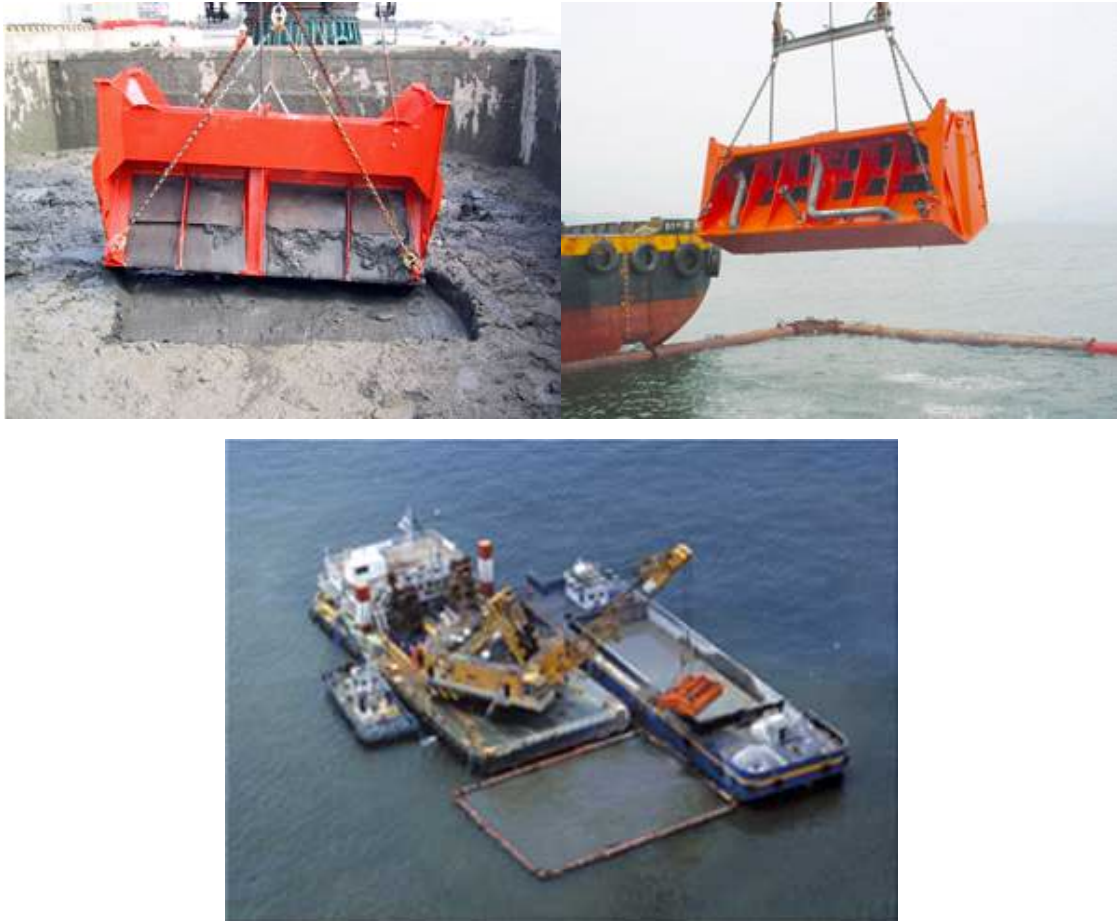


그림 3-1-21. 소형 이동식 오타방지막과 밀폐형 그랩에 의한 준설¹⁵⁾

4. 환경준설의 고려사항 검토

환경준설은 퇴적물 정화를 목적으로 오염된 퇴적물을 제거하는 것이다. 환경준설은 여러 종류의 장비 및 접근법이 사용되어 왔으며, 오염된 준설물질을 처리·처분과 잔류물들에 대한 관리가 따르게 된다. 준설이 항구나 수로에서 선박통항을 증가시키고 유지하기 위하여 수세기에 걸쳐서 수행되어 왔

14) 환경보호를 위한 준설공법 (<http://www.umeshunkyo.or.jp/108/prom/232/page.html>)

15) END 공법(http://www.ktr.mlit.go.jp/kangi/kengaku/techno-kan/shutten/kankyou/kankyou_58.htm)

지만, 환경준설 개념은 비교적 새로운 영역에 속한다. 미국에서도 정화복원 경험에 기초한 환경준설에 대한 가용한 출판자료들은 과거 약 20여년 이내에 개발되어져 왔다. 그러나, 오늘날까지 계획단계에서의 세부적인 정보, 장비의 선정, 작업전략 설계, 효능의 예측 등을 포함한 포괄적이고 기술적인 환경준설에 대한 지침서가 존재하지 않고 있다. 환경준설의 개념과 중요한 관련 과정들을 그림 3-1-22에 나타내었다.

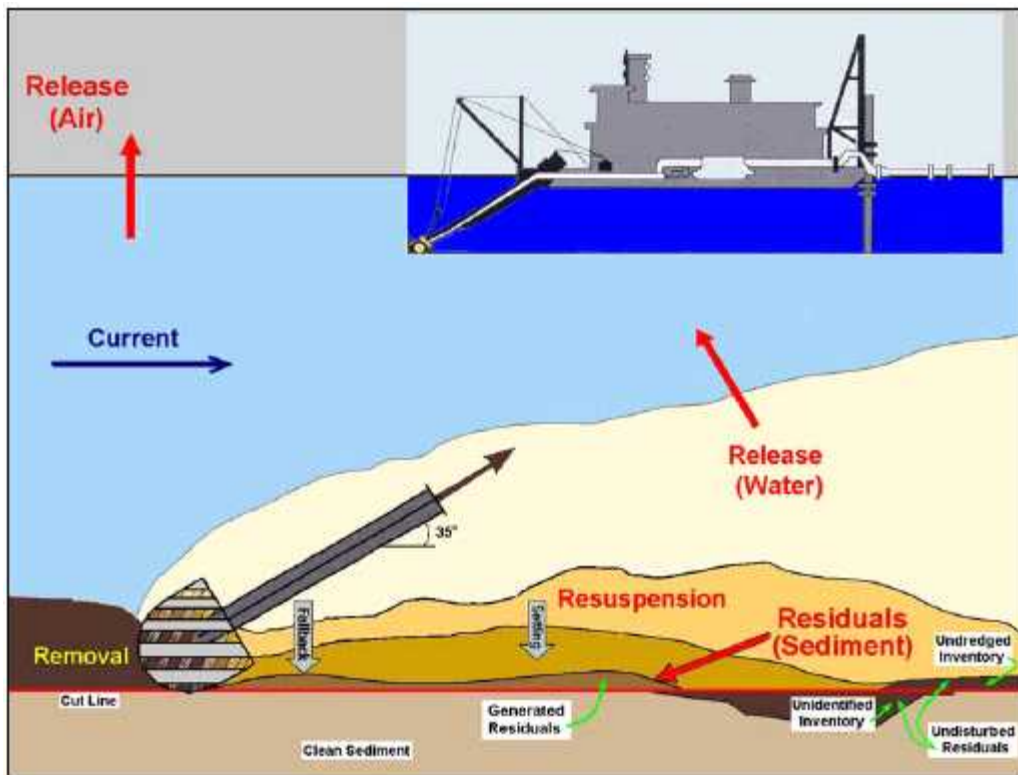


그림 3-1-22. 환경준설의 개념 모식도 및 과정들

환경준설작업의 목적들은 통상 다음과 같은 내용을 포함하고 있다:

- 제거될 오염퇴적물을 깨끗한 퇴적물을 과도하게 제거하지 않고 충분히 정확하게 준설;
- 후속의 처리 혹은 처분 조건을 고려하여 적절한 작업기간내에 준설
- 오염퇴적물의 재부유를 감소/제어, 재부유 퇴적물의 하류방향으로의 이동 제어, 수층과 대기로 관심 오염물질들의 누출 감소/제어;
- 잔류물 형성을 감소/제어

환경준설에서 사용되는 다양한 장비들의 유용성을 정리하여 표 3-1-1에 나타내었다.

표 3-1-1. 환경준설에서 사용되는 장비들의 유용성

준설 형태	유용성	제조사	분류
Enclosed clamshell	세계적	다수	M
Backhoe	세계적	다수	M
Cutterhead	세계적	다수	H(M)
Clean-up	일본	TOA Harbor Works	H(M)
Matchbox	네덜란드	Volker Stevin Dredging Co.	H
Refresher	일본	Penta Ocean Construction Co.	H(M)
Plain suction	세계적	다수	H
Dustpan	미국	다수	H
Hopper dredges	세계적	다수	H
Horizontal auger	세계적	다수	H(M)
Delta	미국	Delta Dredge & Pump	H(M)
PNEUMA	세계적	PNEUMA S.R.L. (Italy)	H(P)
Oozer	일본	Toyo Construction Co.	H(P)
Airlift	세계적		H(P)
Bucket wheel	세계적		H(M)
Screw-impeller	일본	Ube Industries, Ltd.	H(M)
Disc-bottom	네덜란드	다수	H(M)

주] M:기계식, H:유압식, H(M):유압식(기계식 컷터 포함), H(P):유압식(정압펌프)

일반적으로 특별한 사업 목적에 적합한 유형의 준설 장비들을 선택하는데 있어서, 다음과 같이 주요 요인들이 고려되어야 한다:

- 규모 요인 - 수심, 준설지의 크기, 준설심도. 수심은 준설장비가 통과하기에 충분히 깊어야 한다. 어떤 특수 준설선을 사용하기에 적절한 공간이 있어야 한다.

- 물리적 요인 - 기상조건과 준설물질의 특성에 제한을 받지 않아야 된다. 해황조건은 준설선의 위치제어에 영향을 미친다.
- 작업 조건 - 해양구조물 인근에서의 준설과 같이 제한된 작업 면적 혹은 해상교통으로 인하여 작업 요인이 제한을 받는다.
- 환경 요인 - 수질 해양생태계에 대하여, 특히 오염퇴적물의 처분과 관련된 작업시, 준설 및 처분 작업의 환경 영향과 관련된다.

특히, 환경준설을 위한 장비들을 선택하는 경우에는 다음과 같은 사항들의 검토가 필요하다.

- 퇴적물의 준설(흡입)방법: 기계식, 유압식, 혼합식, 기타
- 퇴적물의 준설(흡입)특성: 굴삭, 흡입, 컷터 장착 여부, 차폐막 장착 여부
- 준설 깊이 제어: 박층준설 시 최소 준설 가능 깊이 등
- 준설시 양수량과 함니율: 유압식일 경우 평균 양수량과 함니율
- 단위시간당 준설범위: 퇴적물 조성별 단위시간당 준설범위 및 물량
- 준설장치(흡입구) 위치 제어 방안
- 탁도(부유물질) 발생 정도

환경준설에서는 사용되는 준설장비의 특성 그리고 해저면 퇴적물 조성, 유속, 유향 등 해역의 특성에 따라 탁도의 발생 정도가 달라진다. 그러므로 준설장비별 탁도 영향을 예측·평가하여 그 결과를 기초로 준설장비를 선정하는 것이 타당하다¹⁶⁾. 환경준설에서 사용되는 대표적인 준설선의 탁도 발생 정도와 일반 준설선에 의한 탁도 발생정도를 표 3-1-2와 표 3-1-3에 각각 나타내었다.

16) 항만공사에서 탁도 영향 예측 절차(港湾工事における濁り影響予測の手引き), 2005, 일본 국토교통성 항만국(国土交通省港湾局); <http://www.mlit.go.jp/kowan/nigori/pdf/0.PDF>

표 3-1-2. 환경준설에 사용되는 준설선별 탁도 발생원단위 사례17)

형식	사양	입경 분율		발생 원단위 ($\times 10^{-3}t/m^3$)	시간당 발생량 ($\times 10^{-3}t/s$)	수거 능력 (m^3/h)
		실트 이하	점토 이하			
밀폐형 그랩	8m ³	80.0	14.0	3.5	0.185	190
펌프식 오니준설선	4,000PS	90.0	40.0	1.35	0.13	347
펌프식 오니준설선	1,590PS	99.5	50.5	1.34	0.080	215
펌프식 오니준설선	147PS	98.0	57.0	0.44	0.017	215
고농도 오니준설선		93.7	64.8	0.21	0.012	200

표 3-1-3. 일반 준설에 사용되는 준설선별 탁도 발생원단위 사례18)

공법	사용선박	형식	취급 토사			발생원단위 ($10^{-3} t/m^3$)
			조립토	세립토	실트, 점토(%)	
준설공정	펌프준설선	4,000PS (2,942KW)		○	99.0	36.35
				○	98.5	22.47
				○	69.2	45.23
	그랩준설선	8m ³ 4m ³		○	74.0	24.83
				○	58.0	89.03
				○	54.8	84.20

17) <http://www.mlit.go.jp/kowan/kankyoo/031218DXNGidline/3syoo.pdf#search=浚渫,汚濁?生原?位>

18) 항만공사에서 탁도 영향 예측 절차(港湾工事における濁り影響予測の手引き), 2005, 일본 국토교통성 항만국(国土交通省港湾局); <http://www.mlit.go.jp/kowan/nigori/pdf/0.PDF>

5. 국내 수거 공법 현황 및 실태

우리나라에서 해양오염퇴적물 수거는 해양환경관리법 제70조 제1항5호(퇴적오염물질수거업), 같은 법 시행령 제56조 관련 별표11(기술능력 기준) 및 같은 법 시행규칙 제36조 제3항 관련 별표14(등록기준)에 의거 퇴적오염물질수거업 등록 업체가 펌프설비를 갖춘 퇴적오염물질전용수거선을 사용하여 해양오염퇴적물을 수거하도록 규정되어 있다. 2010년 9월 현재 퇴적오염물질수거업 등록업체는 총 13개이다. 이들 업체에서 보유하고 있는 수거공법의 현황을 조사하기 위하여 2010년 1월에 8개 업체, 2010년 7월에 5개 업체를 대상으로 사전에 공문을 발송한 다음 각 업체를 방문하여 현황조사를 실시하였다.

퇴적오염물질수거업 등록업체의 수거공법 현황을 파악하기 위하여, 등록된 퇴적오염물질전용수거선박과 관련하여 제원, 특성 등 자료를 수집하였고, 펌프 및 수거장치와 관련하여 제원, 흡입장치 형태, 수거능력(양수용량) 등의 특성을 위주로 조사하였다. 전체 13개 퇴적오염물질수거업 등록업체별 수거공법의 특성을 조사한 결과를 종합하여 표 3-1-4에 나타내었다.

현재 등록된 퇴적오염물질전용수거선은 총 13척이며, 국내에서 개발된 선박은 4척, 미국 또는 일본에서 정화사업에 사용되었던 오톤선 등 장비를 중고로 도입한 선박은 5척, 바지선을 활용한 선박은 4척이다. 퇴적오염물질전용수거선에 설치된 펌프설비의 종류는 진공흡입식 펌프 5개, 원심펌프 1개, 유압트래쉬펌프 2개, 기압차 펌프 2개, 우즈펌프 1개 등 다양한 펌프설비가 활용되고 있다. 상기 등록된 전용수거선 13척 중 총 7척은 실제 외국의 오염퇴적물 정화사업에서 사용된 장비들이다. 등록된 전용수거선 중 4척은 수거 가능 심도가 13 ~ 20m이며, 나머지는 수거 가능 심도가 9m까지로 나타났다. 등록된 전용수거선 중 1척은 선박 내부에 해양오염퇴적물을 수거하기 위한 설비 이외에 수거한 퇴적물의 오염도 저감을 위한 처리장치와 수처리 설비가 설치되어있다.

표 3-1-4. 퇴적오염물질수거업 등록업체별 수거공법의 특성

구분		퇴적오염물질수거업 등록업체							
		가	나	다	라	마	바	사	아
수거선 제원 (㉔)	길이	29	27.9	38.4	38.9	28.5	28.8	26.4	38
	폭	14	9	18	14.5	9.6	10.99	7	13
	높이	2.1	2.5	2.8	3	2.5	2.3	2.4	2.1
수거선 총톤수		149	137	794	263	118	218	72	155
조선지		일본	일본	국내	-	일본	일본	국내	국내
재질		강	강	강	강	강	강	강	강
수거선 특성	바지선 활용	고농도 오니준 설선	선상 처리 가능	바지선 활용	오니 준설선	고농도 오니준 설선	오니층 준설에 효과	오니층 준설에 효과	
펌프 종류	수평다 단터빈	진공흡 입식	유압트 래쉬	기압차	우즈 (Ooze)	인버터 제어 튜브	진공 흡입식	진공 흡입식	
수거 능력 (m ³ /h)	400	192	210	360	100	160	120	360	
흡입구 형태	소형관 형태	드럼 형태	소형관 형태	소형관 형태	박스 형태	박스 형태	쇄기 모양 박스형	쇄기 모양 박스형	
작업 심도 (m)	~ 13	2 ~ 8	~ 13	~ 20	1 ~ 8	1 ~ 8	~ 9	~ 9	
기타	-	중고 도입	어장 정화에 활용	-	중고 도입	중고 도입	-	-	

표 3-1-4. (계속)

구분		퇴적오염물질수거업 등록업체				
		자	차	카	타	파
수거선 제한 (㉔)	길이	30	11.4	30.7	7.2	29.8
	폭	12	3.1	16	3.3	11
	높이	2.5	1.2	2.8	0.6	2.6
수거선 총톤수		122	4.93	260	2.45	169
조선지		국내	미국	일본	국내	일본
재질		강	강	강	알루미늄 합금	강
수거선 특성		바지선 활용	오니층준설 에 효과	바지선 활용	좁은 지역 적합	오니층준설선
펌프 종류		기압차	진공흡입식	진공흡입식	유압트래쉬	원심
수거 능력 (m ³ /h)		450	626	240	120	300
흡입구 형태		정사각형 박스	직사각형 박스	소형관형태	직사각형 박스	소형관형태
작업심도 (m)		~ 9	~ 9	~ 9	~ 9	~ 15
기타		-	중고 도입	-	한강 준설	중고 도입

1) 수거공법 현황: “가” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	29 × 14 × 2.1m, 149톤, 국외(일본) 건조
재질	강
특성	바지선 위에 수거작업에 필요한 장비 장착
이동	이동시 예선활용, 닻줄로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	수평다단터빈펌프
제원	-
특성	<p>[HYM 80 ~ 150]</p> <p>물면지 방향 (View From Driver End)</p> <p>주 의 1. 파란 플랜지 방향 흡입측 : No. 3 오른쪽 수평방향 토출측 : No. 1 수직방향 (TOP) 2. 비표준 플랜지는 별도 문의</p> <p>흡입 및 토출 노즐(표리측에서 본것) 방향</p>
수거능력(양수용량)	400 m ³ /h
흡입장치 형태	소형 관 형태(250~350mm)
기타	앞뒤, 좌우 각 8m 작업, 작업심도: ~13m

다) 수거공법 사진자료: “가”업체



2) 수거공법 현황: “나” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	27.9 × 9 × 2.5m, 137톤, 국외(일본) 건조
재질	강
특성	고농도 오니전용 준설선(중고 도입)
이동	이동시 예선헌용, 닻줄과 스퍼드로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	진공흡입식 펌프(VVVF제어 방식)
제원	-
특성	오니층을 고농도로 효과적으로 준설
수거능력(양수용량)	192 m ³ /h
흡입장치 형태	 <p>드럼형 구조, 작업심도: 2~8m</p>
기타	외국(일본) 오니 준설사업에 활용한 장치

다) 수거공법 사진자료: “나”업체

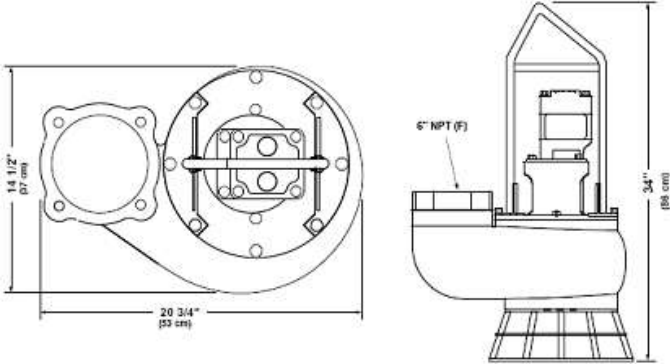


3) 수거공법 현황: “다” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	38.4 × 18 × 2.8m, 794톤, 국내 건조
재질	강
특성	수거 해양오염퇴적물 선상 처리, 수처리 가능
이동	이동시 예선타용, 닻줄로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	유압트래쉬펌프
제원	 <p>86 × 53cm, 116kg, 배출구: 6inch</p>
특성	오니층을 효과적으로 준설
수거능력(양수용량)	210 m ³ /h
흡입장치 형태	소형 관 형태, 작업심도: ~13m
기타	어장정화사업에 활용된 장치

다) 수거공법 사진자료: “다”업체




4) 수거공법 현황: “라” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	38.9 × 14.5 × 3m, 263톤
재질	강
특성	바지선 위에 수거작업에 필요한 장비 장착
이동	이동시 예선활용, 닻줄로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	기압차펌프(효성에바라, PMV-1502)
제원	480마력, 흡입관 직경: 200mm
특성	
수거능력(양수용량)	360 m ³ /h
흡입장치 형태	소형 관 형태
기타	작업심도: ~ 20m

다) 수거공법 사진자료: “라”업체



5) 수거공법 현황: “마” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	28.5 × 9.6 × 2.5m, 118톤
재질	강
특성	오니준설선(일본에서 중고로 도입)
이동	이동시 예선활용, 닻줄과 스퍼드로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	우즈(Ooze)펌프
제원	-
특성	
수거능력(양수용량)	100 m ³ /h
흡입장치 형태	박스형
기타	흡입장치에 컷터가 있음, 작업심도: 1~8m

다) 수거공법 사진자료: “마”업체




6) 수거공법 현황: “바” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	28.8 × 10.99 × 2.3m, 218톤
재질	강
특성	고농도 오니준설선(일본에서 중고로 도입)
이동	이동시 예선활용, 닻줄과 스퍼드로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	인버터제어튜브펌프
제원	-
특성	 <p>차폐판을 사용하여 오니층을 교란시키지 않고 퇴적상태 그대로 흡입하여 고밀도 오니준설</p>
수거능력(양수용량)	160 m ³ /h
흡입장치 형태	박스형
기타	작업심도: 1 ~ 8m

다) 수거공법 사진자료: “바”업체



7) 수거공법 현황: “사” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	26.4 × 7 × 2.4m, 72톤, 국내 건조
재질	강
특성	오니층 준설에 효과
이동	이동시 예선활용, 닻줄로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	진공흡입식펌프
제원	-
특성	 <p>석션헤드 바로 위에 3개의 진공흡입식펌프를 배치, 각 펌프를 교대로 사용하여 퇴적층 아래에서 고밀도로 오니층 준설 가능</p>
수거능력(양수용량)	120 m ³ /h
흡입장치 형태	쇄기모양의 박스형
기타	작업심도: ~9m

다) 수거공법 사진자료: “사”업체




8) 수거공법 현황: “아” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	38 × 13 × 2.1m, 155톤, 국내 건조
재질	강
특성	오니층 준설에 효과
이동	이동시 예선헌용, 닻줄로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	진공흡입식펌프
제원	-
특성	 <p>석션헤드 바로 위에 3개의 진공흡입식펌프를 배치, 각 펌프를 교대로 사용하여 퇴적층 아래에서 고밀도로 오니층 준설 가능</p>
수거능력(양수용량)	360 m ³ /h
흡입장치 형태	쇄기모양의 박스형
기타	작업심도: ~9m

다) 수거공법 사진자료: “아”업체




9) 수거공법 현황: “자” 업체

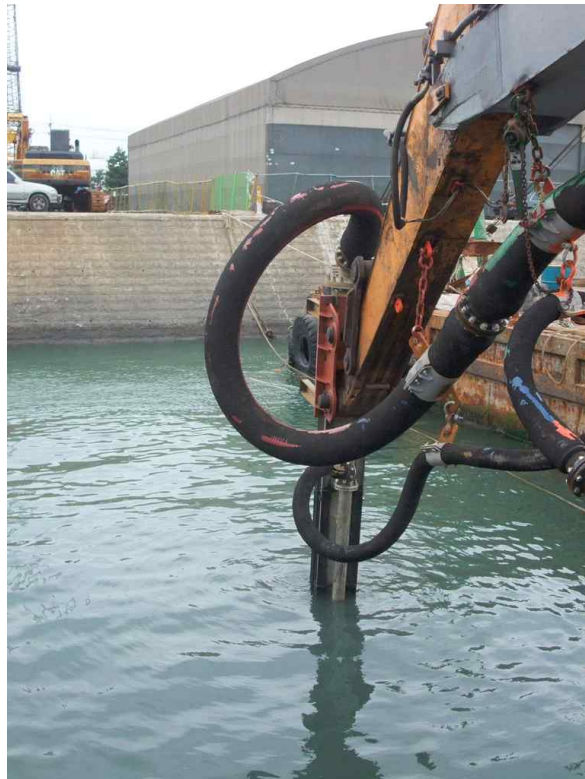
가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	30 × 12 × 2.5m, 122톤, 국내 건조
재질	강
특성	오니층 준설에 효과
이동	이동시 예선탄용, 닛줄로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	기압차 펌프
제원	효성에바라 HTM150/3
특성	 <p>정사각형 형태의 흡입구(1 × 1 m) 주위에 워터제터를 설치, 수거시 퇴적물의 확산을 방지하고 수거효율을 높임</p>
수거능력(양수용량)	450 m ³ /h
흡입장치 형태	정사각형 모양의 박스형
기타	작업심도: ~9m

다) 수거공법 사진자료: “자”업체



10) 수거공법 현황: “차” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	11.4 × 3.1 × 1.2m, 4.93톤, 국외(미국) 건조
재질	강
특성	오니층 준설에 효과
이동	자력 이동(~9m), 닻줄로 이동, 조정(9m~)
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	진공흡입식
제원	MDV-110
특성	 <p>수거시 자갈, 협잡물 등을 분리하여 배출하므로 오니 이외의 퇴적층에 사용 가능</p>
수거능력(양수용량)	626 m ³ /h
흡입장치 형태	직사각형 모양의 박스형
기타	작업심도: ~9m

다) 수거공법 사진자료: “차”업체



11) 수거공법 현황: “카” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	30.7 × 16 × 2.8 m, 260톤, 국외(일본) 건조
재질	강
특성	좁은 지역, 정밀한 퇴적물 수거 가능
이동	이동시 예선활용, 닻줄로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	진공흡입식 펌프
제원	SH-220SP
특성	 <p>수거시 모래, 자갈이 포함된 퇴적층에 사용가능</p>
수거능력(양수용량)	240 m ³ /h
흡입장치 형태	소형관형태 (직경 200mm)
기타	작업심도: ~9m

다) 수거공법 사진자료: “카”업체

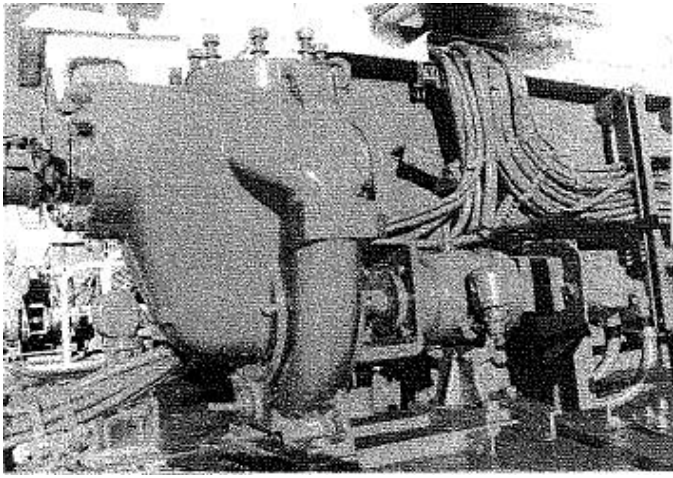


12) 수거공법 현황: “타” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	7.2 × 3.3 × 0.6 m, 2.45톤, 국내 건조
재질	알루미늄합금
특성	수심이 얇고, 좁은 지역 퇴적물 수거에 적합
이동	자력 이동(~9m)
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	유압 트레이 펌프
제원	S4THLDI
특성	
수거능력(양수용량)	120 m ³ /h
흡입장치 형태	직사각형 모양의 박스형 (수정, 보완 중)
기타	작업심도: ~9m

다) 수거공법 사진자료: “타”업체




13) 수거공법 현황: “과” 업체

가) 선박(수거선)

제원(길이×폭×높이, 톤수)	29.8 × 11 × 2.6 m, 169톤, 국외(일본) 건조
재질	강
특성	오니준설선(일본에서 중고로 도입)
이동	이동시 예선탄활용, 스퍼드와 닛줄로 미세조정
기타	작업시 양묘선을 보조선으로 활용

나) 펌프(수거장치)

종류	원심펌프
제원	-
특성	
수거능력(양수용량)	300 m ³ /h
흡입장치 형태	소형관형태 (직경 200mm)
기타	작업심도: ~15m

다) 수거공법 사진자료: “과”업체



14) 수거공법에 사용되는 펌프설비

펌프(Pump)란 “전동기나 내연기관 등의 원동기로부터 기계적 에너지를 받아서, 액체에 운동 및 압력에너지를 주어 액체의 위치를 바꾸어 주는 기계로 정의되며, 흡입작용은 펌프내를 진공상태로 만들어 흡상시키는 것을 말한다. 펌프의 종류로는 구조 및 작동원리에 따라 터보형, 용적형, 특수형으로 나누고, 용도에 따라 급수용, 배수용, 순환용, 소화용, 기름용 등이 있다¹⁹⁾, 또는 펌프에는 피스톤 왕복운동으로 액체를 흡입하고 토출하는 (왕복동)식 펌프와, 날개바퀴를 액체들 중에서 고속으로 회전시켜 그 원심력으로 액체를 흡입해서 토출시키는 소용돌이형 펌프, 증기 또는 압력수를 노즐로 분출시켜 진공을 만들어서 액체를 흡입해서 토출(분사)하는 펌프 등이 있다²⁰⁾.

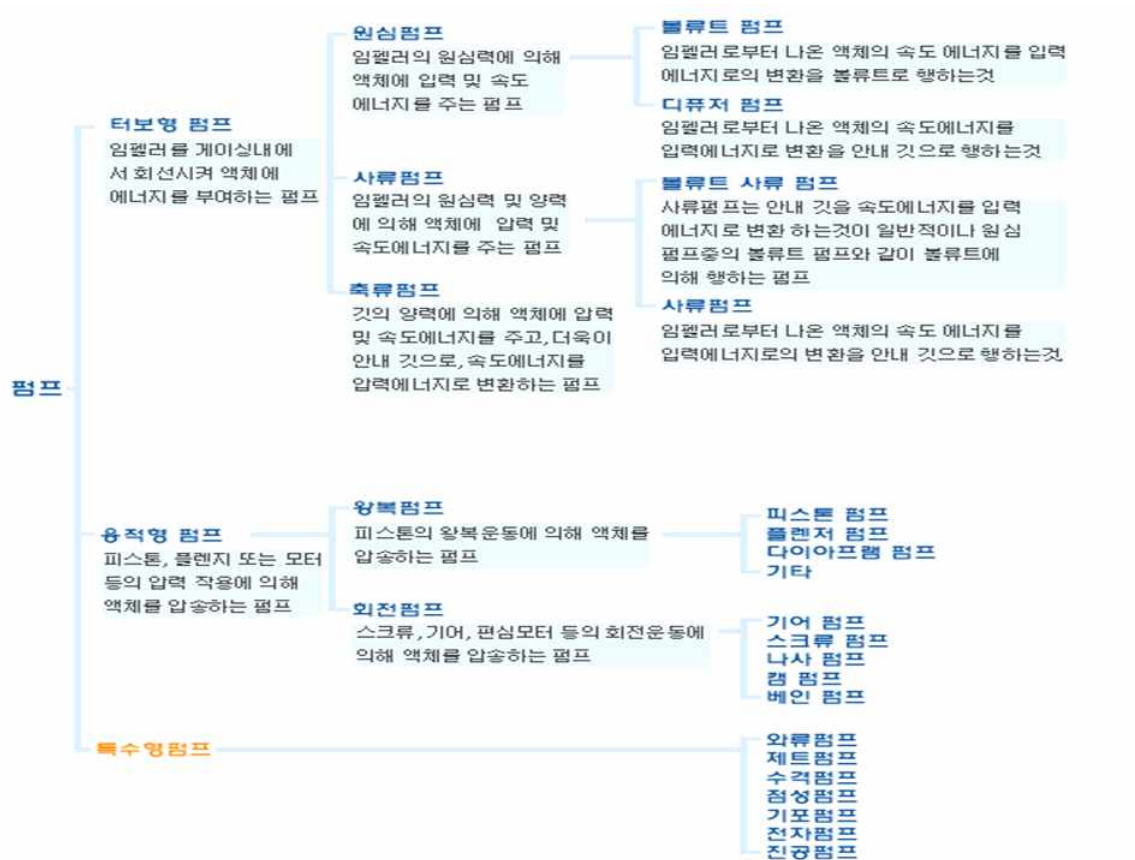


그림 3-1-23. 펌프의 종류 및 구분

19) 벨프포럼(<http://cafe.naver.com/valveqna.cafe>), 펌프의 종류

20) 벨프포럼(<http://cafe.naver.com/valveqna.cafe>), 펌프의 종류와 용도설명

해양환경관리법 제18조 제1항의3에 따른 해양오염퇴적물 수거는 같은 법 시행규칙 별표 14 해양환경관리업의 등록기준에 규정된 진공흡입식 펌프 또는 이와 동등한 성능을 가진 펌프를 갖춘 퇴적오염물질 전용 수거선을 사용하여 수거하도록 규정되어 있다.

표 3-1-5. 준설선의 특성 비교²¹⁾

구 분	일반 펌프 준설선	개량 오니 준설선	진공흡입식 오니 전용 준설선
특 징	· 원심력펌프를 이용 토사를 컷터로 교반 굴착 준설하는 방법	· 일반펌프준설선의 흡입구에 특수 흡입장치(COVER)를 부착하여 준설하는 방법	· 진공흡입식으로 퇴적물을 흡입하여 준설하는 방법
사용처	· 기초 지반 굴착 · 매립 준설	· 매립 준설 · 퇴적 오니 준설	· 퇴적 오니 준설
토질조건	· 모래, 자갈, 점토 등	· 모래, 점토, 퇴적오니	· 퇴적오니
장 점	· 준설 단가 저렴 · 국내 보유 장비가 많아 현장 반입 용이 · 대량 준설에 적합	· 2차 오염이 크게 염려되지 않는 지역준설시에 적합	· 준설작업으로 인한 미세오니토의 수중 확산을 최소화 할 수 있어 2차오염 최소화 · 진공 흡입 방식에 의한 高 含泥(50%~60%) 준설 · 오니층의 두께가 얇을 경우 도 작업가능(최소 20cm) · 含泥率이 높아 약품비가 작다.
단 점	· 능률이 좋고 시공속도는 빠르나 처리장의 여수처리가 많다. · 국부적인 준설에는 부적당 · 준설시 토사유출이 많아 수중확산으로 2차수질 오염발생이 많다. · 함니율이 4%~10% 내외로 침전시 약품비가 과다하다.	· 2차오염이 오니전용선에 비하여 크다. · 含泥率이 10%~20%이다. · 약품비가 과다	· 준설에 따른 2차오염 발생이 문제가 되지 않는 곳에서는 적용성이 떨어짐.
준설시 2차오염(SS) 발생량	330 PPM(mg/l)	30 PPM(mg/l)	5 PPM(mg/l)
결 론	· 2차오염이 염려되지 않는 지역의 대단위 매립용에 적합하다. · 일반적으로 오니준설에는 부적합함.	· 2차오염이 어느정도 허용되는 지역에서의 오니준설에 적합하다. · 현재 일본에서 사용중	· 2차오염이 문제시 되는 지역 및 장거리 배송(최대 10 km)이 가능하며 含泥率이 50%이상으로 높고, 박층 준설 지역등에 매우 유리

21) 서울특별시 한강관리사업소, 1993. 한강수질보전 대책수립 조사보고서.

“진공흡입식 펌프”란 ‘진공상태를 유지시키는 진공펌프와 진공펌프에 의하여 생성된 강력한 진공 흡입력을 이용한 펌프’로 일반적으로 준설설비로서 사용될 때에는, ‘부압차를 이용하여 퇴적오염물질을 흡입하기 위한 설비의 일종으로, 일반펌프준설선처럼 굴삭기가 장착되어 있지 않은 흡입 방식의 펌프’를 지칭하는 것으로 사료된다(표 3-1-5 참고)²²⁾ 또한, 부압차를 발생시킬 수 있는 펌프의 종류로는 우즈펌프(Oozer Pump), 기압펌프(Pneumatic Pump), 피스톤펌프(Piston Pump), 증기 또는 압력수를 노즐로 분출시켜 진공을 만들어서 액체를 흡입시키는 수압차펌프 등 매우 다양하다.

전체 13개 퇴적오염물질수거업 등록업체의 수거공법별 펌프설비는 다음과 같다. “가”업체의 경우 터빈펌프를 사용하며, 진공흡입펌프는 “나, 사, 아, 차, 카”업체의 수거공법에서 사용된다. 유압 트래쉬(Trash) 펌프는 “다”와 “타”업체의 수거공법에서 사용되며, 기압차 펌프는 “라”와 “자”업체의 수거공법 그리고 우즈(Ooze) 펌프는 “마”업체의 수거공법에서 사용된다. 한편 인버터제어 튜브 펌프와 원심펌프는 “바”와 “파”업체의 수거공법에서 각각 사용된다. 조사결과 개별 수거공법별로 사용하는 진공흡입식 펌프 설비는 7종류 이상으로 다양한 종류가 사용되는 것으로 나타났다.

일반적으로 펌프는 터보형, 용적형 및 특수펌프로 구분된다. 각 펌프의 특성은 다음과 같다.

가) 터보형 펌프²³⁾

깃(vane)을 가진 임펠러(impeller)의 회전에 의해 유입된 액체에 운동에너지를 부여하고, 다시 와류실(spiral casing)등의 구조에 의해 압력에너지로 변환시키는 형식의 펌프로서, 원심펌프, 사류펌프, 축류펌프가 있다. 그림 3-1-24에 터보형 펌프의 비교를, 그림 3-1-25에 임펠러 모양의 계통적 변화를 나타냈다. 터보형 펌프는 용적형 펌프에 비해 진동이 적고 연속송수가 가능하다. 또한 구조가 간단하고, 취급이 용이하며, 운동성능도 양호하다. 토출량은 압력에 따라 변한다.

22) 서울특별시 한강관리사업소, 1993. 한강수질보전 대책수립 조사보고서.

23) 펌프의 종류(<http://blog.naver.com/sosa321/60772810>)

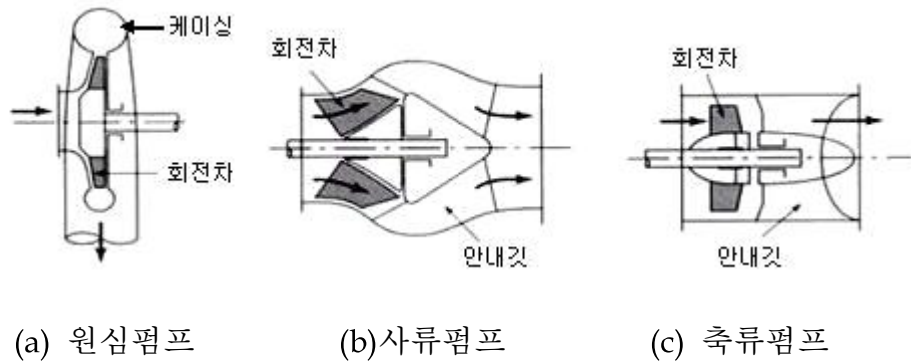


그림 3-1-24. 터보형 펌프의 비교

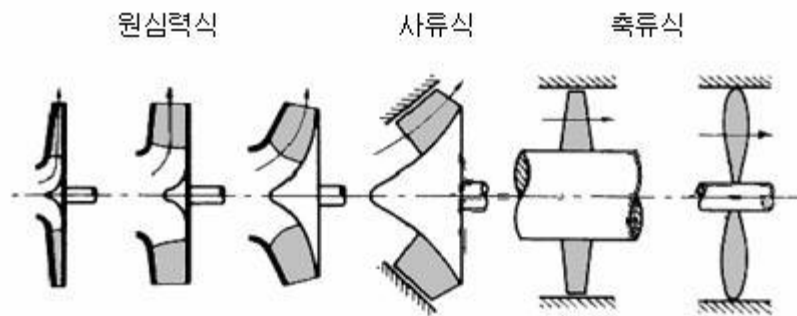


그림 3-1-25. 임펠러형상의 계통적 변화

① 원심펌프(centrifugal pump)

물이 축과 직각방향으로 된 임펠러로부터 흘러나와 스파이럴 케이싱에 모여서 토출구로 이끌리는 펌프로써, 와권펌프라고도 한다. 급수용은 물론 설비의 각종 용도로 가장 많이 사용되고 있는 펌프이다. 원심펌프는 임펠러(회전차;impeller)를 회전시켜 물에 회전력을 주어서 원심력 작용으로 양수하는 펌프로써, 깃(날개;vane)이 달린 임펠러, 안내깃(guide vane) 및 스파이럴 케이싱(spiral casing)으로 구성되었다. 물은 먼저 흡입관을 통하여 임펠러 중심부에 들어가 깃 사이를 통과하는 사이에 회전력을 받아 압력이 증가하고, 안내깃을 지나는 동안 속도에너지는 압력에너지로 변화하면서 스파이럴 케이싱에 들어간다. 안내깃은 임펠러의 바깥둘레에 배치한 고정 깃으로서, 임펠러에서 나오는 빠른 속도의 물을 안내하면서 속도에너지를 압력에너지로 바꾸어 주는 역할을 한다. 스파이럴 케이싱은 임펠러 또는 안내깃에서 나오는 물을 모아서 토출구에 유도하는 것으로, 점차로 통로를 넓게 하여 속도수

두를 압력수두로 변화시킨다. 원심펌프는 안내깃의 유무, 단(Stage)수 및 흡입구의 수에 따라 분류할 수 있다.

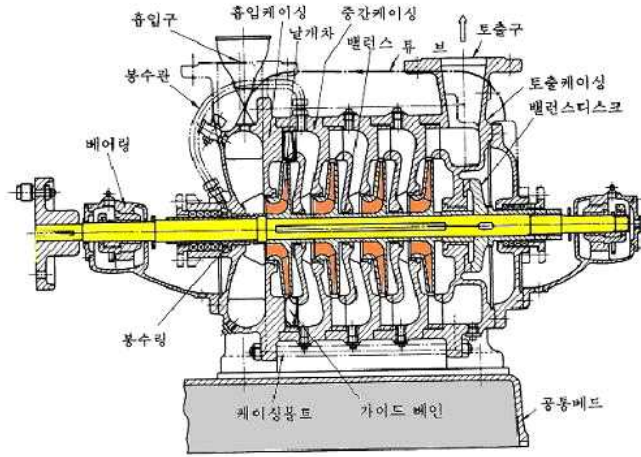
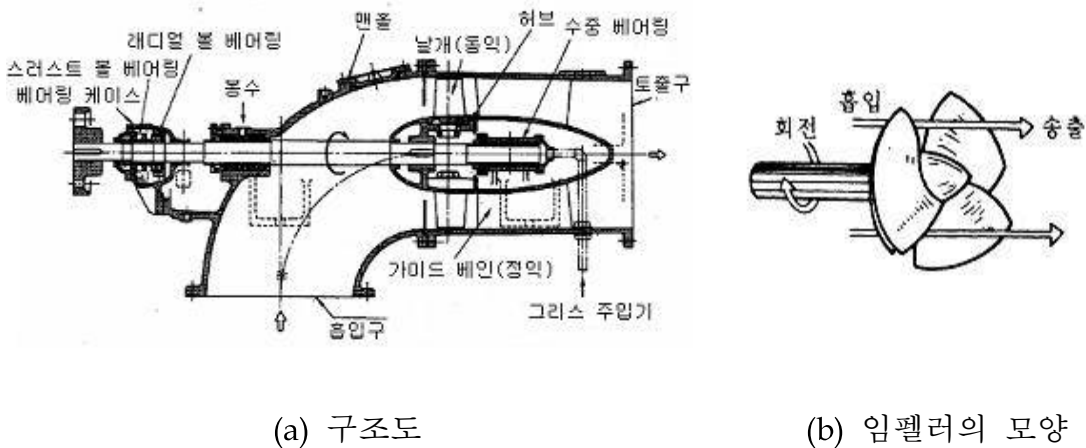


그림 3-1-26. 원심펌프의 구조

② 축류펌프(axial flow pump)

임펠러가 프로펠러형(그림 3-1-27)이고 물의 흐름이 축방향인 펌프로서, 저양정(보통 10m이하) 대유량에 사용한다. 농업용의 양수펌프, 배수펌프, 상·하수도용 펌프에 이용되고 있다. 운전중에 임펠러 깃의 각도를 조정할 수 있는 장치가 설치된 가동의 축류펌프와 조정할 수 없는 고정의 축류펌프가 있다. 고정의 축류펌프를 단순히 축류펌프라 부른다.



(a) 구조도

(b) 임펠러의 모양

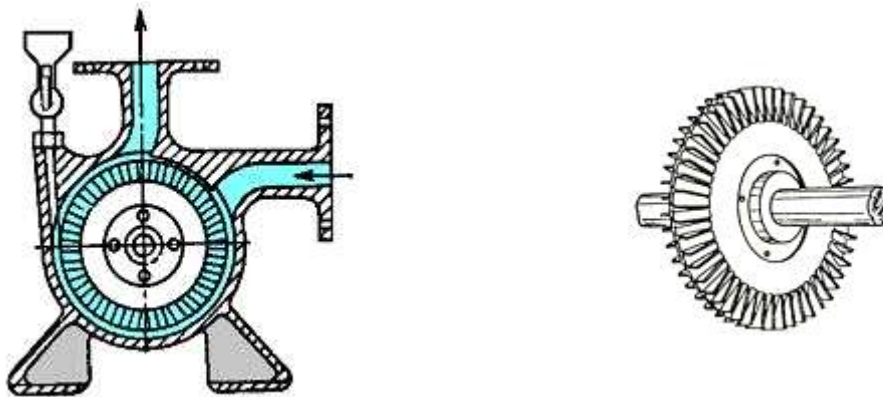
그림 3-1-27. 축류펌프

③ 사류펌프(mixed flow pump)

축류펌프와 구조가 거의 같으나 임펠러의 모양은 그림 1.16(b)와 같이 물이 축과 경사방향으로 흐르도록 되어 있으며, 저양정 대유량에 사용되고 있다.

④ 마찰펌프(friction pump)

둘레에 많은 홈을 가진 임펠러(그림 3-1-28)를 고속 회전시켜 케이싱 벽과의 마찰에너지에 의해 압력이 생겨 송수하는 펌프로서, 대표적인 것으로는 와류펌프(vortex pump) 일명 웨스코펌프(Westco rotary pump)가 있다. 구조가 간단하고 구경에 비해 고양정이나, 토출량이 적고 효율이 낮다. 운전 및 보수가 쉬어 주택의 소형 우물용 펌프, 보일러의 급수펌프에 적합하다.



(a) 구조도

(b) 임펠러의 모양

그림 3-1-28. 마찰펌프

⑤ 보어홀 펌프(bore-hole pump)

깊은 우물물을 양수하는 펌프이나, 수중모터펌프의 보급에 따라 최근에는 별로 사용되지 않는다. 모터를 지상에 설치하고 펌프의 임펠러 부분과 스트레이너는 우물 속에 넣어 긴 축으로 원동기와 임펠러를 연결하였다. 펌프의 구성은 우물 속에 있는 펌프부분과 이를 구동시키는 지상에 설치된 원동기 부분, 그리고 펌프와 원동기를 연결하는 긴 축부분과 축 외부의 양수관으로 구성되어 있다.

⑥ 수중모터펌프(submerged motor pump)

깊은 우물물을 양수하기 위한 펌프이다. 전동기와 펌프를 직결하여 일체로 만들고 여기에 양수관을 접속해서 우물 속에 넣어 전동기도 펌프와 같이 수중에서 작동하는 다단터빈펌프의 일종이다.

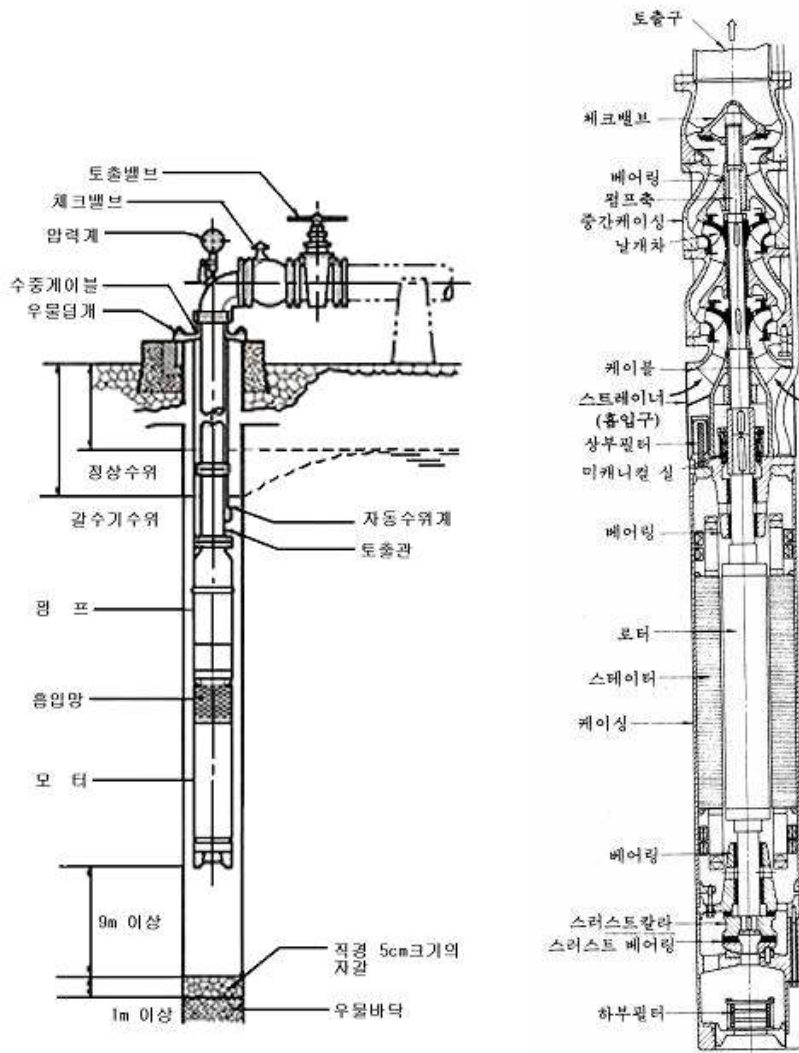


그림 3-1-29. 깊은 우물용 펌프(수중 모터펌프)

나) 용적형 펌프²⁴⁾

왕복부 또는 회전부에 공간을 두어 이 공간 내에 유체를 넣으면서 차례로 내 보내는 형식의 펌프로서, 왕복펌프와 회전펌프로 나눈다. 용적형 펌프의

24) 펌프의 종류(<http://blog.naver.com/sosa321/60772810>)

특징은 운전 중 토출량의 변동이 있으나, 고압이 발생되며 효율이 양호하다. 압력이 달라져도 토출량은 변하지 않는다.

① 왕복펌프(reciprocating pump)

피스톤(piston) 또는 플런저(plunger)가 실린더 내를 왕복운동 함으로서 액체를 흡입하여 소요의 압력으로 압축하여 토출하는 펌프이다. 펌프의 형식에는 여러 가지가 있다. 토출밸브를 피스톤에 장치한 수동형 펌프, 그림 1.27(a)와 같이 봉모양의 플런저가 왕복할 때마다 흡입과 토출을 하는 단동 플런저 펌프, 그림 (b)와 같이 플런저의 1왕복마다 2회의 흡입과 토출이 이루어지는 복동 플런저 펌프가 있으며, 이 외에 유량을 많게 하고 토출량의 변화를 적게 하기 위해 단동을 2개 이상 병렬로 연결한 펌프도 있다. 왕복펌프는 양수량이 적으나 구조가 간단하며, 고양정(고압용)에 적당하다. 그러나 왕복동에서 생기는 송수압의 변동이 심하므로 토출량의 변화가 있으며 수량조절이 어렵다.

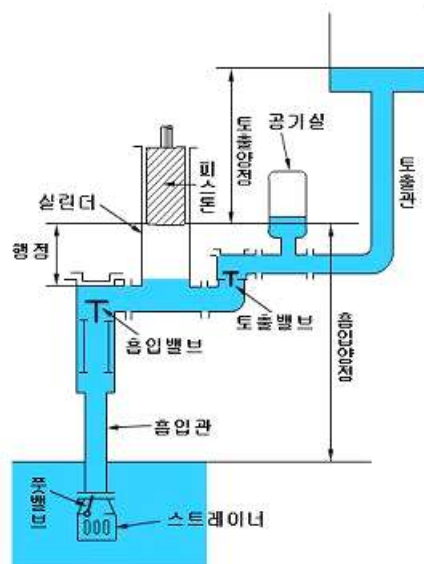
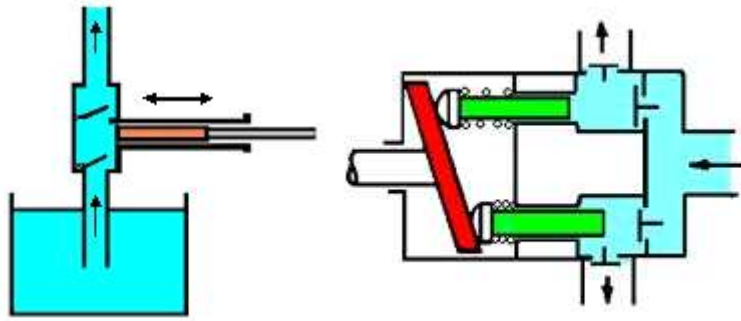


그림 3-1-30. 왕복펌프의 구조

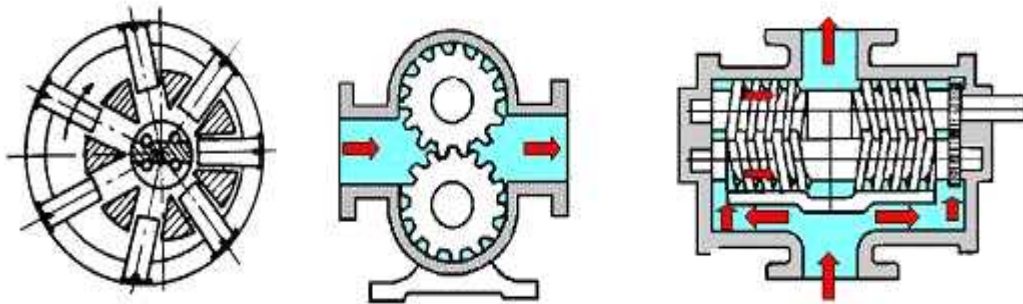


(a) 단동 플런저 펌프 (b) 복동 플런저 펌프

그림 3-1-31. 플런저 펌프

② 회전펌프(rotary pump)

1~3개의 회전자(rotor)의 회전에 의해 액체를 압송하는 펌프로서, 구조가 간단하고 취급이 용이하다. 펌프의 특징은 양수량의 변동이 적고, 고압을 얻기가 비교적 쉬우며, 기름 등의 점도가 높은 액체 수송에 적합하다. 회전자의 형상이나 구조에 따라 많은 종류가 있으나 대표적인 것으로는 베인펌프(vane pump), 톱니펌프(gear pump), 나사펌프(screw pump)등이 있다.



(a) 베인펌프

(b) 톱니펌프

(c) 나사펌프

그림 3-1-32. 회전펌프

다) 특수펌프²⁵⁾

① 기포펌프(air lift pump)

양수관 하단의 물속으로 압축공기를 송입하여 물의 비중을 가볍게 하고, 발생하는 기포의 부력을 이용해서 양수하는 펌프로서 공기양수펌프라고도 한다. 펌프자체에 가동부분이 없어 구조가 간단하고 고장이 적다. 모래나 고형물 등 이물질은 포함한 물의 양수에 적합하다.(그림 3-1-33)

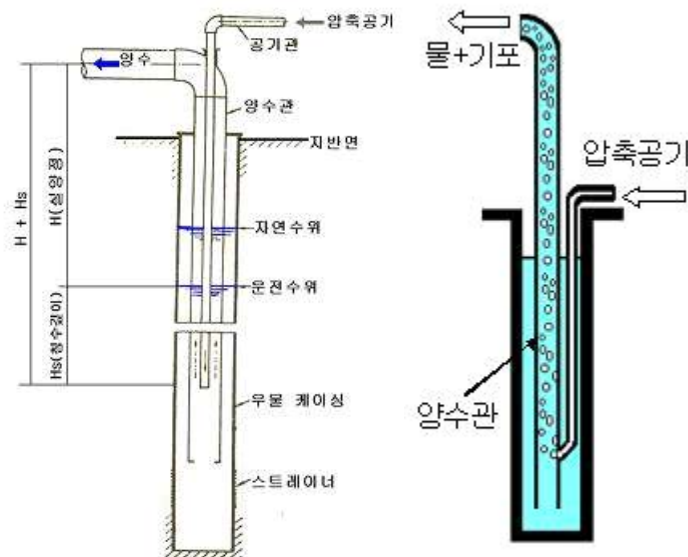


그림 3-1-33. 공기양수펌프

② 분사펌프(jet pump)²⁶⁾

수중에 제트(jet)부를 설치하고 벤투리관의 원리를 이용하여 증기 또는 물을 고속으로 노즐에서 분사시켜 압력저하에 의한 흡인작용으로 양수하는 펌프이다. 가동부가 없어 고장이 적고 취급이 간단하나 효율이 낮다. 증기를 사용하여 보일러의 급수에 사용하는 인젝터(injector), 물 또는 공기를 사용해서 오수를 배출시키는 배수펌프, 깊은 우물의 양수에 사용되는 가정용 제트 펌프(흡상높이 12m까지 가능) 등에 사용된다(그림 3-1-34).

25) 펌프의 종류(<http://blog.naver.com/sosa321/60772810>)

26) 펌프의 종류(<http://blog.naver.com/sosa321/60772810>)

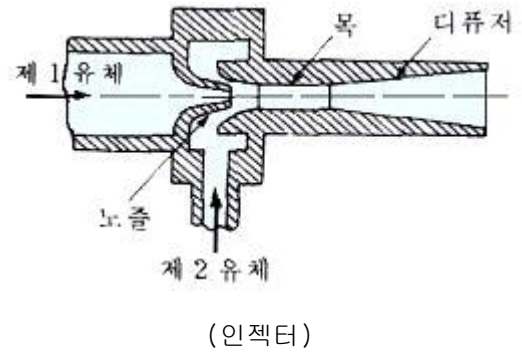
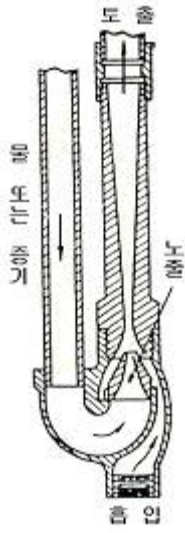


그림 3-1-34. 분사펌프

제2절 해양오염퇴적물 수거 공법별 특성 조사

1. 연구배경 및 필요성

오염퇴적물 수거사업은 주변해역의 해양물리 및 지질환경의 장·단기적인 변화를 유발시킬 수 있으며, 궁극적으로는 다양한 방식으로 연안 생태환경에 변화를 초래할 가능성이 있다. 특히 수거 과정에서 해양환경에 미치는 주요 오염원은 공사 중에 발생하는 부유퇴적물이다. 부유퇴적물의 발생은 순간적으로, 대규모로 일어날 수 있으며, 부유퇴적물 발생시 수면 아래의 부유물의 낙하상황, 해저면에서의 움직임은 실제로 정확히 관찰한다는 것은 불가능에 가깝다. 부유퇴적물의 발생상황 및 규모는 수거 지역 퇴적물의 종류와 양, 수거방법, 수심, 유동, 해저면의 상태 등 여러 가지이나, 이들 각각의 차이가 부유퇴적물의 발생상황에 어느 정도 관계하는지는 명확하지 않다.

오염퇴적물 수거 과정에 발생하는 부유퇴적물은 특히, 오염물질을 포함하고 있으므로 주변해역으로 확산될 경우 해양생태계에 악영향을 발생시킬 수 있으며, 이와 같은 영향은 부유퇴적물의 발생정도에 따라 국부적으로 차이를 나타내게 된다. 한편 부유퇴적물이 생물의 생태에 미치는 영향은 부유퇴적물의 정도 및 지속시간, 해양생물 및 해역환경의 특성에 따라 상이하어 현재 이에 대한 완전한 해명이 되어 있지 않다. 그러나 현재까지 밝혀진 해양 생태계에 미칠 수 있는 주요 영향으로는 해양생물 서식지의 소멸, 부유퇴적물의 확산으로 인한 탁도의 증가로 광투과율의 저하에 따른 식물플랑크톤 및 해조류 등 1차 생산자 감소현상, 어패류의 이동에 따른 어업생산의 피해로 인한 경제상의 문제 등이 초래될 가능성이 있다. 그러므로 해양오염퇴적물 정화·복원사업의 원활한 추진을 위하여 현행 해양오염퇴적물 수거 공법에 의한 수거 작업 중 발생하는 탁도, 부유퇴적물 등이 해양환경에 미치는 영향에 대한 조사가 필요하다.

2. 조사 공법 특성

국내 해양오염퇴적물수거업 등록업체의 수거공법 13개 중 현재 정화사업에서 오염퇴적물 수거에 사용되는 2개 공법을 대표적인 수거공법으로 선정하여 특성조사를 진행하였다.

1) '아'업체 수거공법

퇴적오염물질전용수거선의 제원은 38×13×2.1m(길이×폭×높이), 155톤으로 국내에서 건조되었으며, 수거장치로는 선미에 3개의 썰기모양의 박스형 진공 흡입식펌프를 배치하였다. 수거능력(양수량)은 360 m³/h 으로 작업이 가능한 수심은 9m까지이다(그림 3-2-1).



그림 3-2-1. '아' 업체 수거공법

2) '나'업체 수거공법

퇴적오염물질전용수거선의 제원은 27.9×9×2.5m(길이×폭×높이), 137톤으로 국외에서 건조되어 오니준설사업에 활용하였던 장비를 도입하였다. 수거장치로는 VVVF (Variable Voltage Variable Frequency : 가변전압 가변주파수)제

어 방식의 진공흡입식펌프를 선수에 드럼형구조로 배치하였으며, 수거능력(양수량)은 192m³/h 으로 작업이 가능한 수심은 2~8m까지이다(그림 3-22).



그림 3-2-2. '나' 업체 수거공법

3. 조사지역

1) 수거공법특성 현장조사지역

수거공법 특성을 조사하기 위하여 현재 오염퇴적물 수거사업이 진행되고 있는 부산남항의 1차년도 수거사업구차역과 2차년도 수거사업구역을 수거공법 특성조사 해역으로 선정하여 수거 공정에서 발생하는 탁도를 측정하였다.

'아' 업체의 조사는 1차년도 사업구역에서 2010년 6월 4일부터 5일까지 실시하였으며, '나' 업체의 조사는 2010년 9월 14일에 2차년도 사업구역에서 실시하였다(그림 3-2-3).

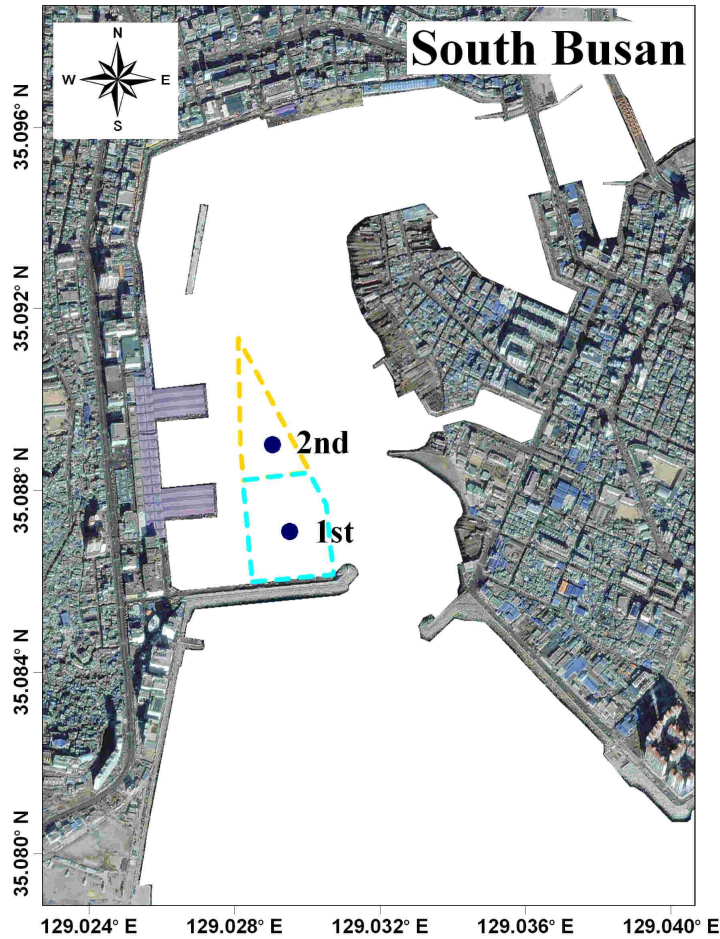


그림 3-2-3. 수거공법 특성 현장조사 지역

2) 조사지역의 해상조건

부산남항의 항내수면적은 약 93만 4,000m²이며 산과 섬으로 둘러싸여 항내수면이 잔잔하고 수심은 2.5~8.5m로 조수간만의 차는 거의 없을 정도인 1.3m로써 천혜의 자연조건을 갖추고 있다.

조류의 특성은 남항외측에서 오륙도-생도 사이에서 남서쪽으로 흐르는 창조류가 생도를 지나면서 영도의 해안선을 따라 북서쪽으로 흐르다가 남항내측에서 유출되는 창조류와 함께 시계 반대 방향으로 돌면서 두도 남쪽으로 빠진다. 낙조류는 창조류시의 유도와 반대방향으로 흐르며 두도 남쪽에서 동쪽으로 흐르는 항 외측의 조류가 남 외항의 지형세를 따라 유입 시계방향으로 생도 부근으로 빠지며, 그 일부가 송도와 영도 중간에서 분류하여 남항내측으로 흘러 영도대교 밑으로 흘러, 북항 방파제 입구를 지나 북 외항으로 빠져서 오륙도 앞 해역에서 항 외측의 북동쪽으로 흐르는 본류와 합류한다.

일반적으로 낙조류가 창조류에 비하여 약 30% 정도 우세하다. 유속은 0.49knot(만조시 영도대교-남항방파제 방향)이다.

부산항 인근해역에서 파랑은 발생하지 않으나 대안거리에 의한 항내 파의 영향만 받을 것으로 예상되며, 항내의 설계 파고는 1.2m이며, 풍향은 봄과 여름에는 북동풍과 남서풍이, 가을에는 북동풍, 겨울에는 북서풍이 우세하고 북서쪽에 있는 높은 산맥이 가로 놓여있어, 겨울철에는 북서풍을 막고, 남쪽과 동쪽은 바다에 임하고 있기 때문에 온화한 해양성 기후를 이루고 있다. 풍속은 연간 3.6~4.6m/s의 범위가 가장 많고 평균 풍속은 4.1m/s로써 비교적 높은 편이다.

4. 조사방법

1) 탁도 발생량 측정

탁도 발생량 측정시 각 공법별로 수거가 이루어지는 흡입구를 중심으로 수평 방향으로 일정 거리별로 관측점과 대조정점을 설정하고, 각 정점에서 수심별로 수거 전부터 수거 후까지 일정 시간 간격으로 탁도를 측정하여, 수거시 각 공법별 탁도발생 정도를 산정한다.

2) 조사장비

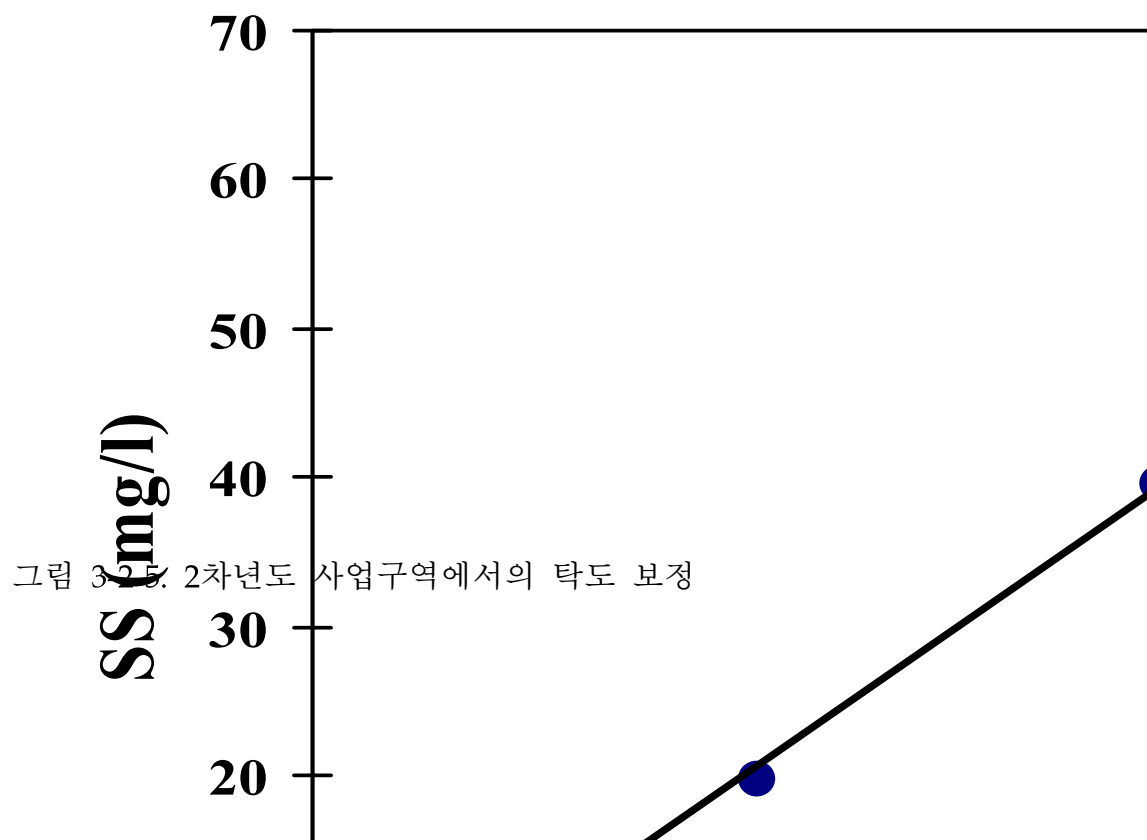
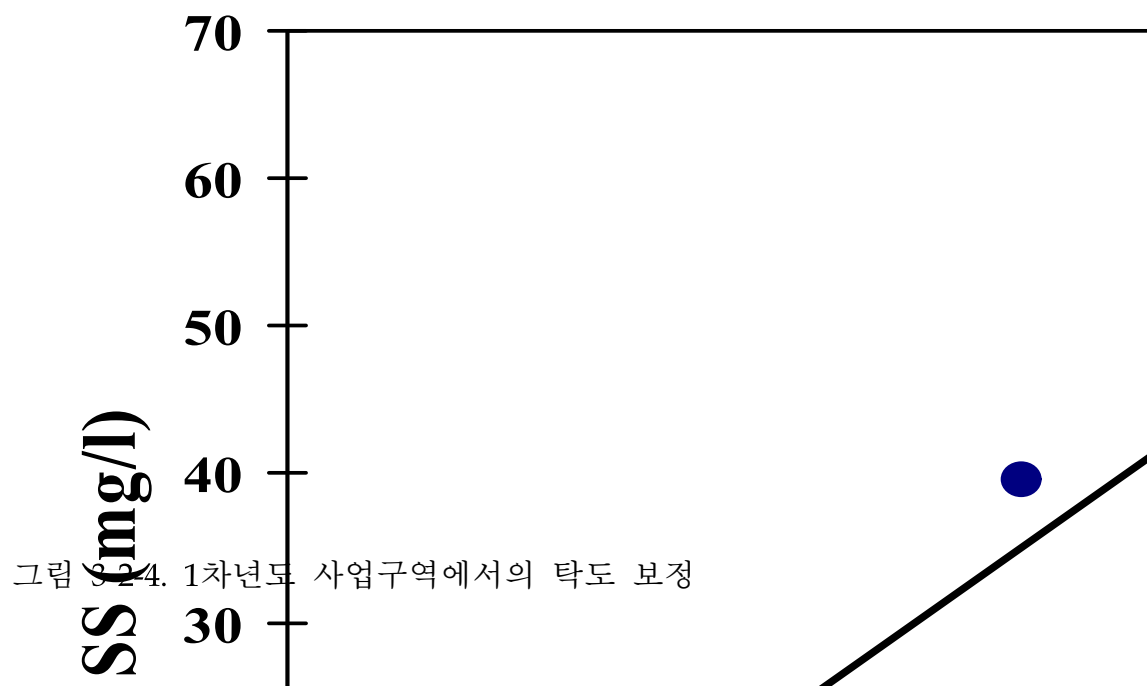
수거 공정시에 발생하는 탁도를 측정하기 위해 다항목 수질측정기 (YSI 6600, YSI) 장비를 이용하였으며, 유속과 유향을 관측하기 위해 유속계 (Recording Current Meter : RCM11, Aanderaa)를 저층에 설치하여 조사기간 동안의 해류의 자료를 수집하였다.

3) 탁도 보정

YSI 6600은 광후산란 센서(Optical Backscattering Sensor : OBS)를 이용하여 수중탁도를 NTU(Nephelometric Turbidity Unit)로 관측한다. 그러나 OBS는 적외선을 수중에 투사한 후 수중입자에 의한 반사광의 세기로 탁도를 측정하므로, 같은 농도일지라도 구성입자의 표면적이 큰 경우에는 반사광의 세기가 높다. 즉, 부유퇴적물의 입도구성에 따라 탁도가 크게 다를 수 있으

며, 일반적으로 같은 농도일지라도 부유입자가 응집체를 형성하는 미세퇴적물일 경우의 탁도가 사질일 경우보다 높다.

따라서 이러한 탁도 관측장비는 부유퇴적물 농도를 간접적으로 측정하는 것이므로 이들 부유퇴적물을 농도로 환산하는 과정이 필요하며, 본 조사에서는 실험을 통해 구한 부유퇴적물 농도와 탁도계의 기록과의 상관관계를 구하여 부유퇴적물 농도를 환산하였다(그림 3-2-4, 그림 3-2-5).

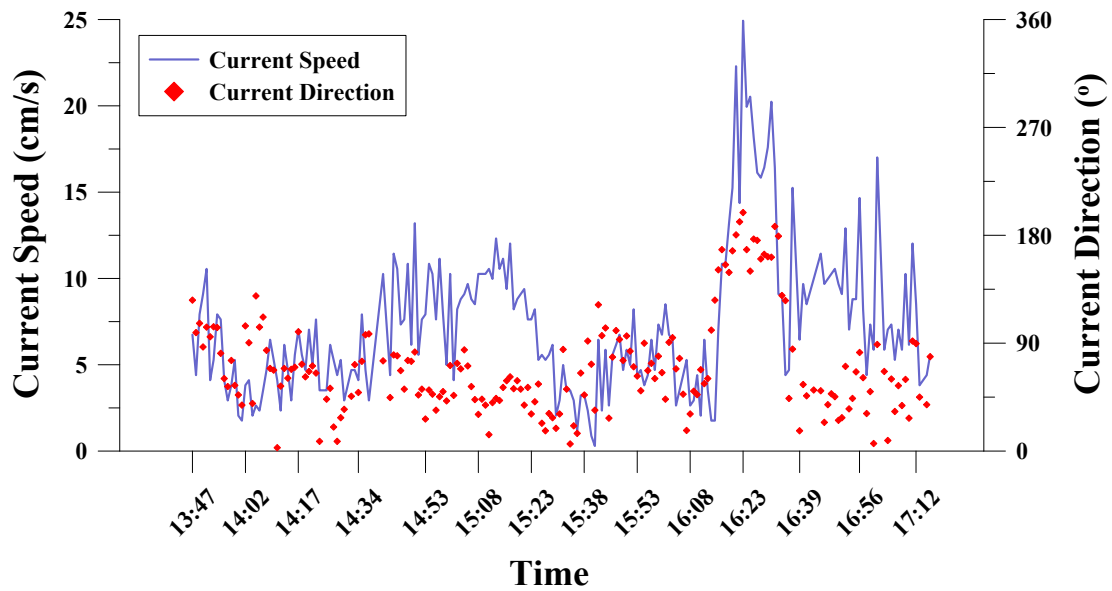


5. 조사결과 및 검토

1) '아'업체

가) 해류 특성

2010년 6월 4~5일에 유속계 RCM11를 수심 5m 지점에 계류하여 얻은 결과를 그림 3-2-6에 나타내었다. 조사시 수거선의 선수는 남부민방파제(서방파제) 방향, 선미는 자갈치시장 방향으로 작업방향을 향하고 있었으며 6월 4일에는 고조기에서 저조기로 해수면이 하강하는 낙조(ebb tide)시기에 해당하고, 조류의 방향은 영도대교 방향으로 약 15cm/s의 유속을 나타내었다. 6월 5일에는 창조시기에 동방파제 방향으로 약 4cm/s의 유속을 보였다(그림 3-2-6).



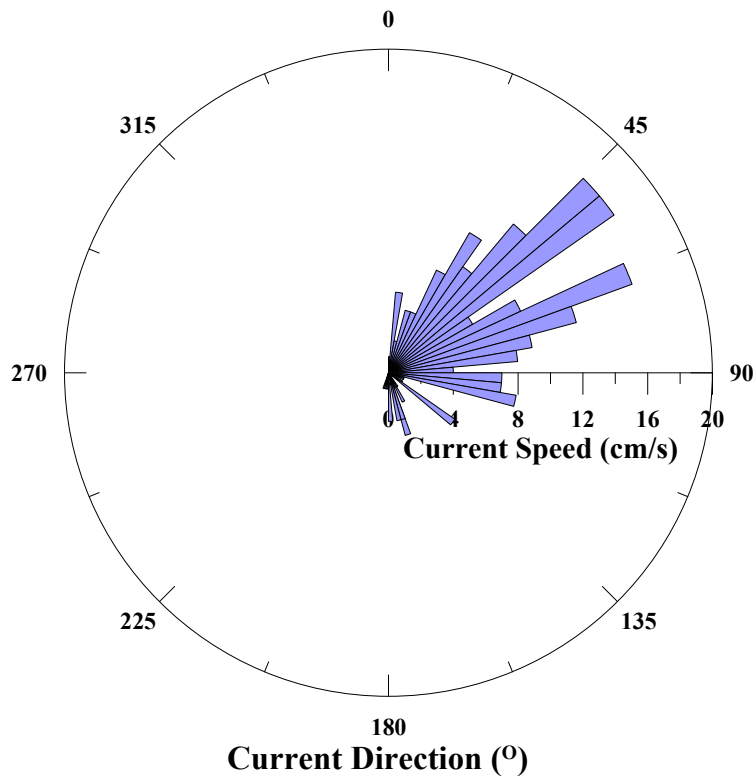
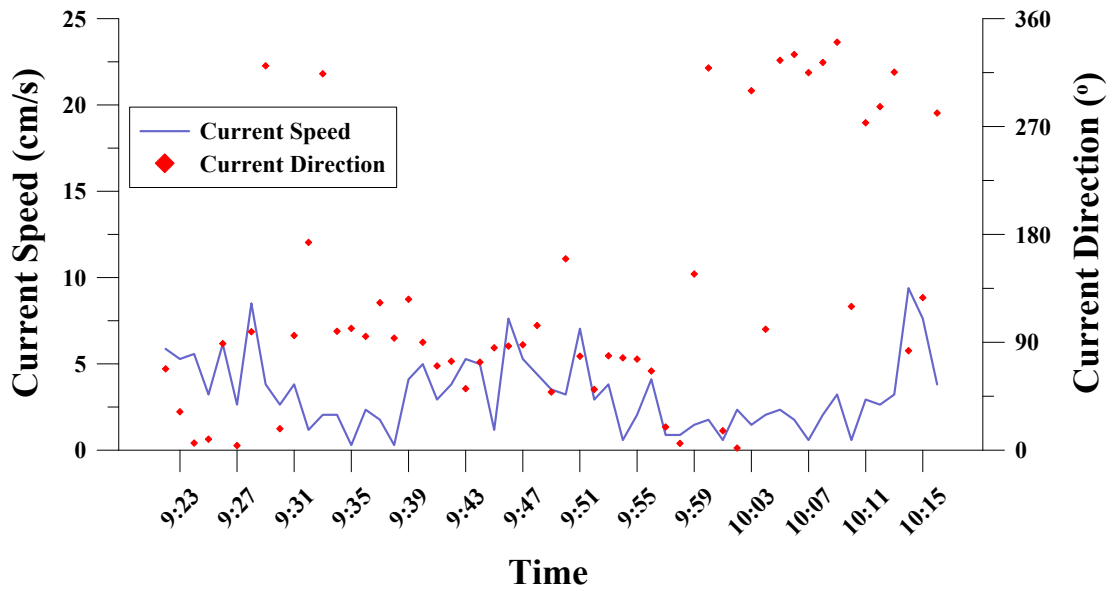


그림 3-2-6. 1차년도 사업구역 현장 조사시 조류의 시계열



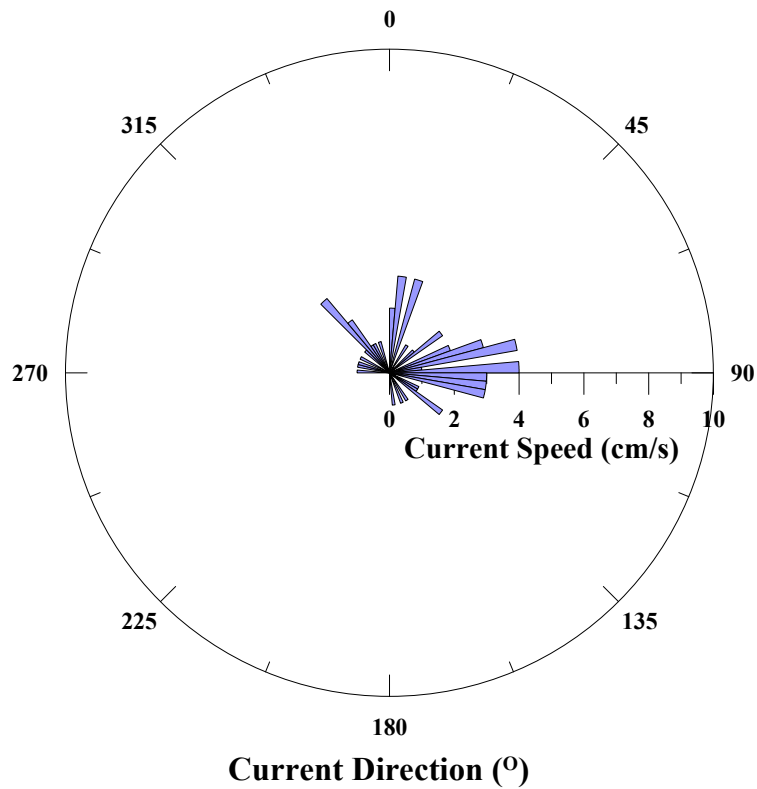


그림 3-2-6 (계속)

나) 탁도 발생량 결과

수거 작업시 발생하는 탁도를 비교하기 위해 수거 작업 전 배경농도 (Background level)를 수거선의 흡입구에서 약 30m 떨어진 지점에서 측정하였으며 흡입구 주변의 3개 지점(그림 3-2-7의 녹색지점)에서도 측정하였다. 수거작업이 진행되는 동안 수거선 위에서 흡입구 주변 3m 지점(그림 3-2-7의 적색지점)과 흡입구 주변 5m 지점(그림 3-2-7의 황색지점)에서 YSI 6600을 이용하여 2초 간격으로 탁도의 수심별 변화를 측정하였다. 그리고 수거선의 부에서 흡입구와 10m 떨어진 지점(그림 3-2-7의 청색지점)에서 부채꼴 형태로 관측지점을 정하여 수심별 탁도 변화를 조사하였다. 탁도 관측지점은 그림 3-2-7에 나타내었다.

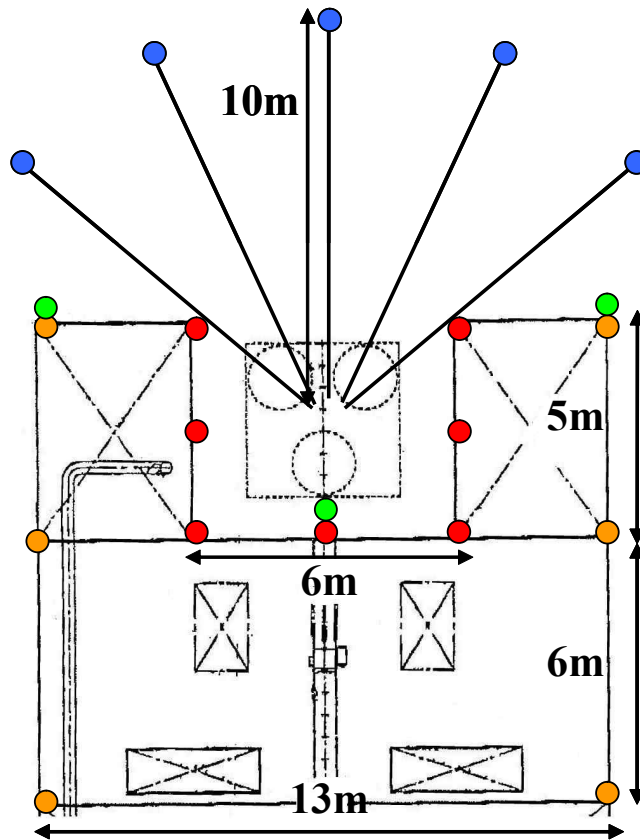


그림 3-2-7. 1차년도 사업구역 현장 조사 탁도 관측지점

1차년도 사업구역 현장의 배경농도는 17.2~24.3mg/l (평균 20.6mg/l)의 범위를 나타냈으며, 흡입구 주변 3m 지점에서는 17.8~41.7mg/l (평균 22.6mg/l), 흡입구 주변 5m 지점에서는 17.8~25.6mg/l (평균 19.9mg/l), 흡입구 주변 10m 지점에서는 15.9~23.2mg/l (평균 18.4mg/l)의 범위를 나타냈다.

흡입구 주변 3m 지점에서는 조류의 영향을 받는 우측 지점에서 수심에 따라 탁도가 증가하는 양상을 보이고 있으며 수심 6m이하 저층에서는 19.4~41.7mg/l의 부유퇴적물 농도를 나타냈다(그림 3-2-8).

흡입구 주변 5m와 10m 지점에서는 배경농도와 유사한 부유퇴적물의 농도 분포를 보이고 있으며 수심에 따른 부유퇴적물의 농도 변화도 거의 나타나지 않았다(그림 3-2-8).

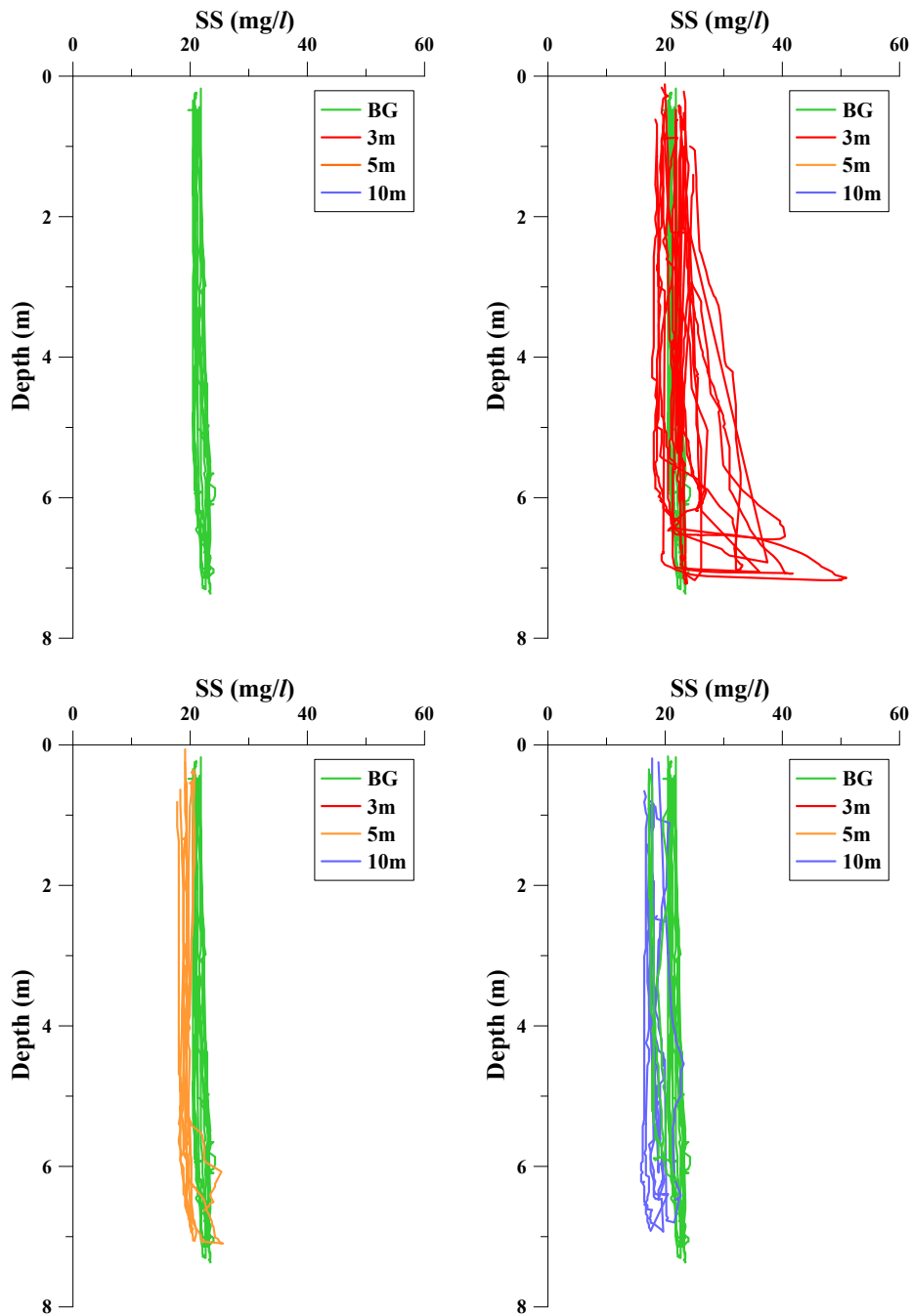


그림 3-2-8. 1차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물의 농도

수거 공정시 발생하는 부유퇴적물의 농도변화를 자세히 살펴보기 위해 조사지점의 부유퇴적물 농도와 배경농도와의 편차를 백분율로 나타내보았다. 흡입구 주변 3m지점의 우측 3개 지점에서는 표층부터 수심 6m까지 편차가 $\pm 20\%$ 로 지점별로 일정한 분포를 보였으나 6m아래 저층에서는 급격하게 증가하여 배경농도보다 최대 50%까지 증가하였다. 이는 수거과정에서 발생한

부유퇴적물이 조류에 영향을 받는 3m지점의 수심6m이하 저층에서 영향을 미치고 있음을 시사한다. 그러나 흡입구 주변 5m 지점과 10m 지점에서는 편차가 $\pm 20\%$ 로 지점별로 일정한 분포를 나타내고 있고, 수심에 따른 편차의 증감도 일정한 분포를 보이고 있어 수거공정시 발생하는 부유퇴적물의 영향이 흡입구 주변 5m 이상 지점에서는 미미한 것으로 판단된다(그림 3-2-9).

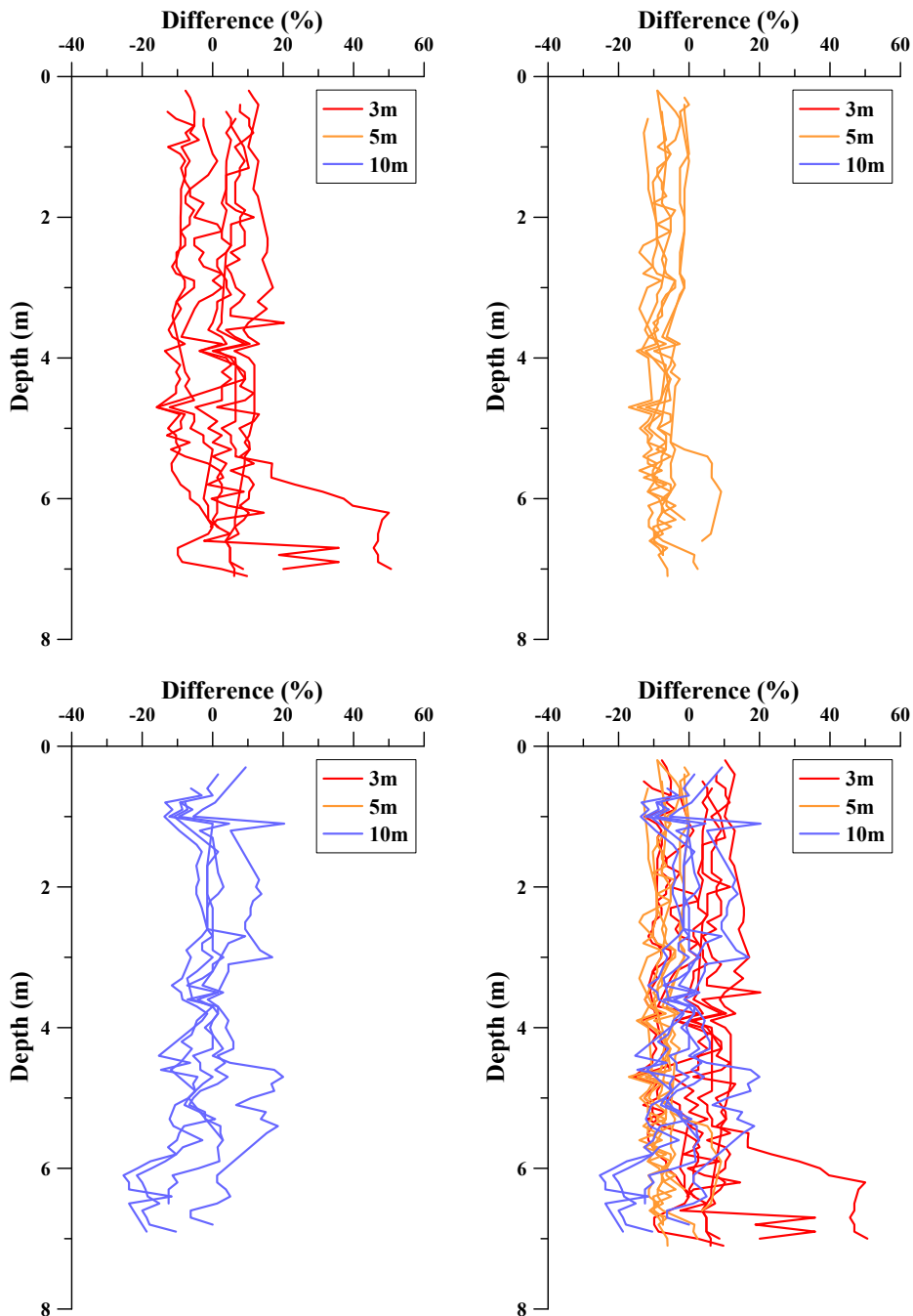


그림 3-2-9. 1차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물의 백분율 편차

표층과 저층에서 관측된 부유퇴적물 농도와 배경농도와의 편차 백분율의 수평적인 분포를 살펴보면, 표층에서는 수거공정 과정에서 발생하는 부유퇴적물의 영향이 거의 나타나지 않았으며 저층에서는 부유퇴적물의 농도가 수거공정 전보다 약 1.5배 증가하였으며, 그 영향이 조류의 방향을 따라 확산되고 있으나 반경 10m 지점까지 영향을 미치지 않는(그림 3-2-10).

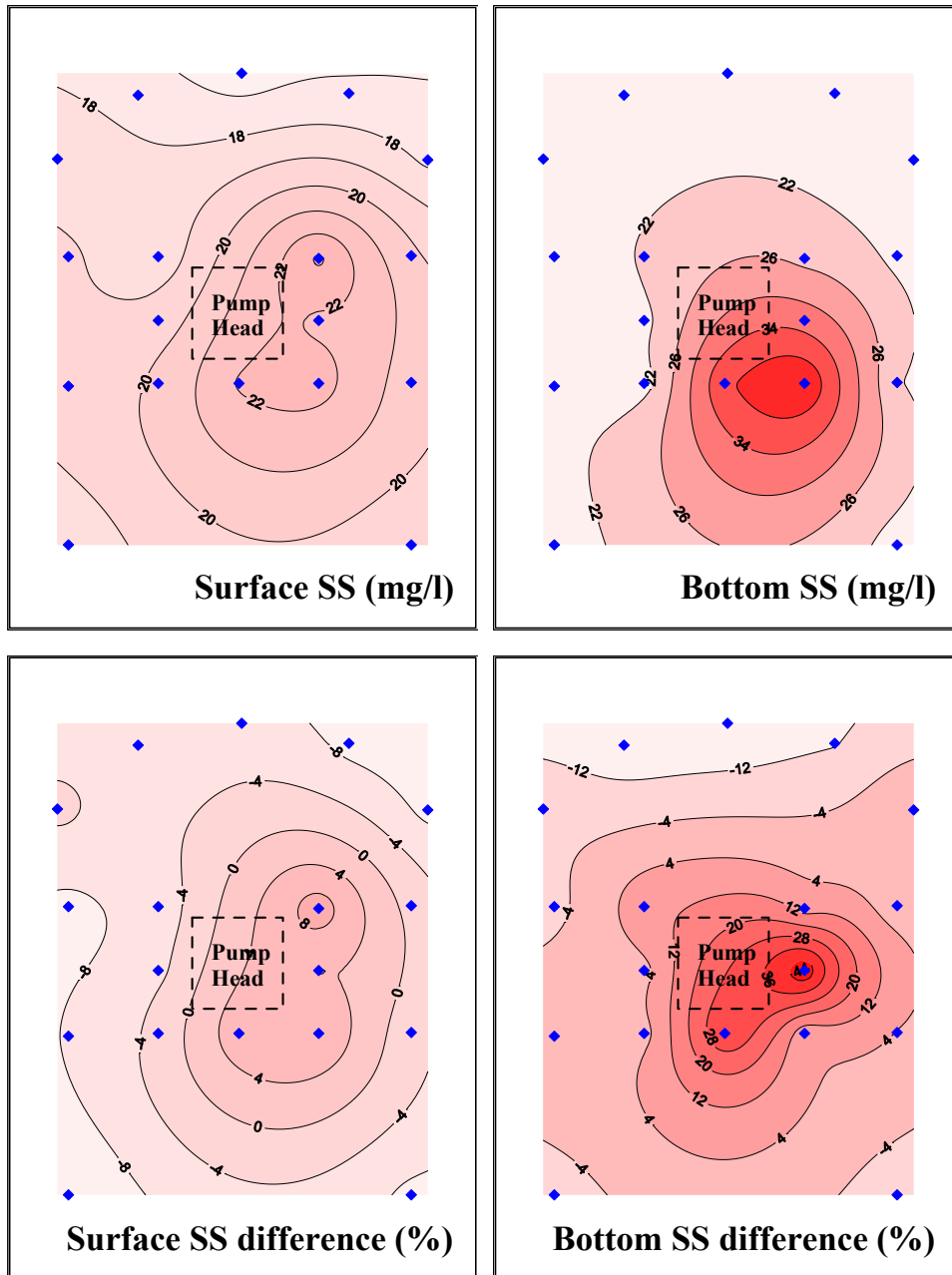


그림 3-2-10. 1차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물 표·저층 수평분포

2) '나'업체

가) 해류 특성

2010년 9월 14일에 유속계를 수심 5m 지점에 계류하였으나, 2010년 6월 4~5일에 유속계 RCM11를 수심 5m 지점에 계류하여 얻은 결과를 그림 3-2-11에 나타내었다. 조사시 수거선의 선수는 공동어시장 방향으로 약 30°로 작업방향을 향하고 있었으며, 선미는 동방과제 방향으로 향하고 있었다. 고조기에서 저조기로 해수면이 하강하는 낙조시기에 해당하고, 조류의 방향은 영도대교 방향으로 약 14cm/s의 유속을 나타내었다(그림 3-2-11).

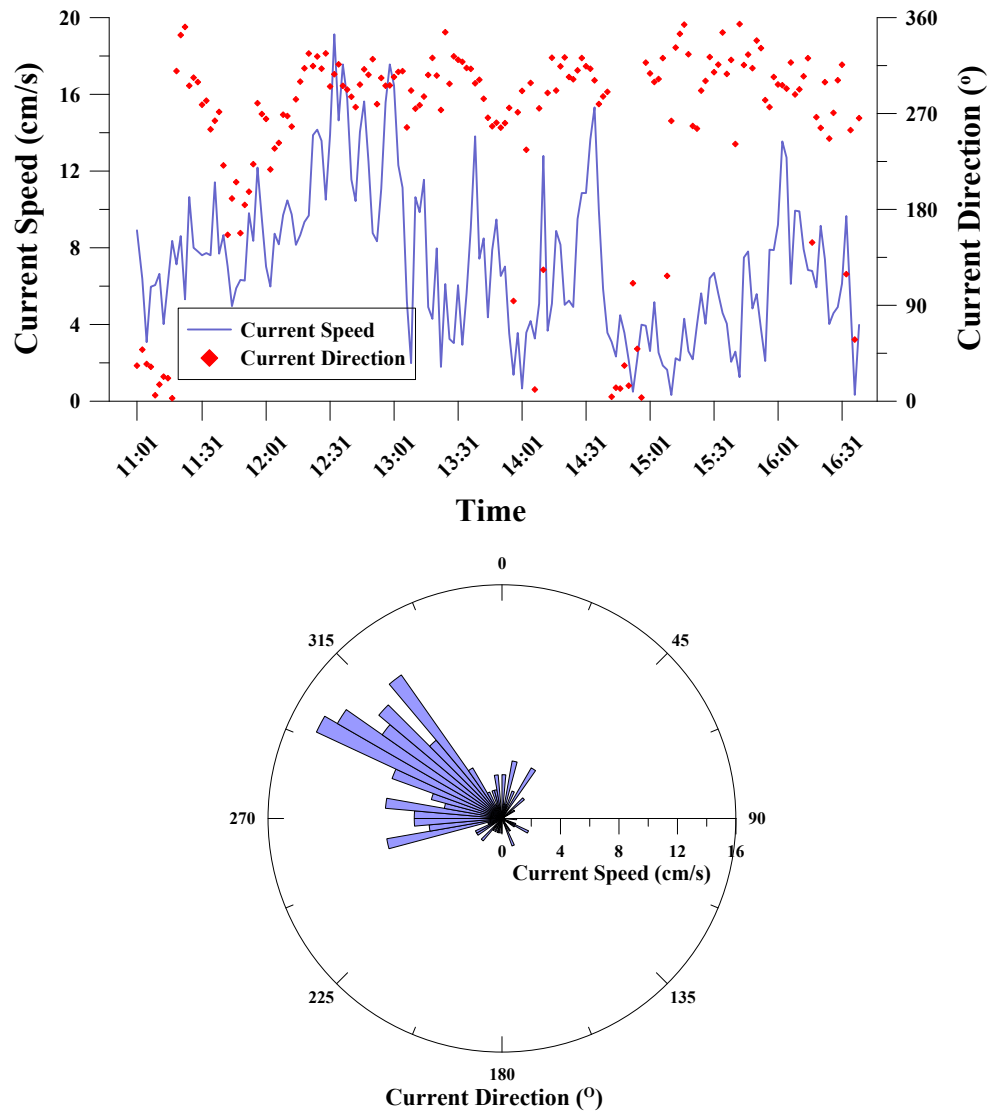


그림 3-2-11. 2차년도 사업구역 현장 조사시 조류의 시계열

나) 탁도 발생량 결과

수거 작업시 발생하는 탁도를 비교하기 위해 수거 작업 전 배경농도(그림 3-2-12의 녹색지점)를 수거선의 흡입구에서 약 25m 떨어진 지점에서 측정하였으며 흡입구 주변의 2개 지점, 수거선 선수 양쪽 2개 지점, 흡입구 주변 45° 5m지점, 흡입구 주변 10m 지점에서 측정하였다. 수거작업이 진행되는 동안 수거선 위에서 흡입구 주변 3m 2개 지점(그림 3-2-12의 적색지점), 수거선외부에서 흡입구 주변 5m 5개 지점(그림 3-2-12의 황색지점), 10m 5개 지점(그림 3-2-12의 청색지점)에서 부채꼴 형태로 관측지점을 정하여 YSI 6600을 이용하여 2초 간격으로 탁도의 수심별 변화를 측정하였다. 탁도 관측지점은 그림 3-2-12에 나타내었다.

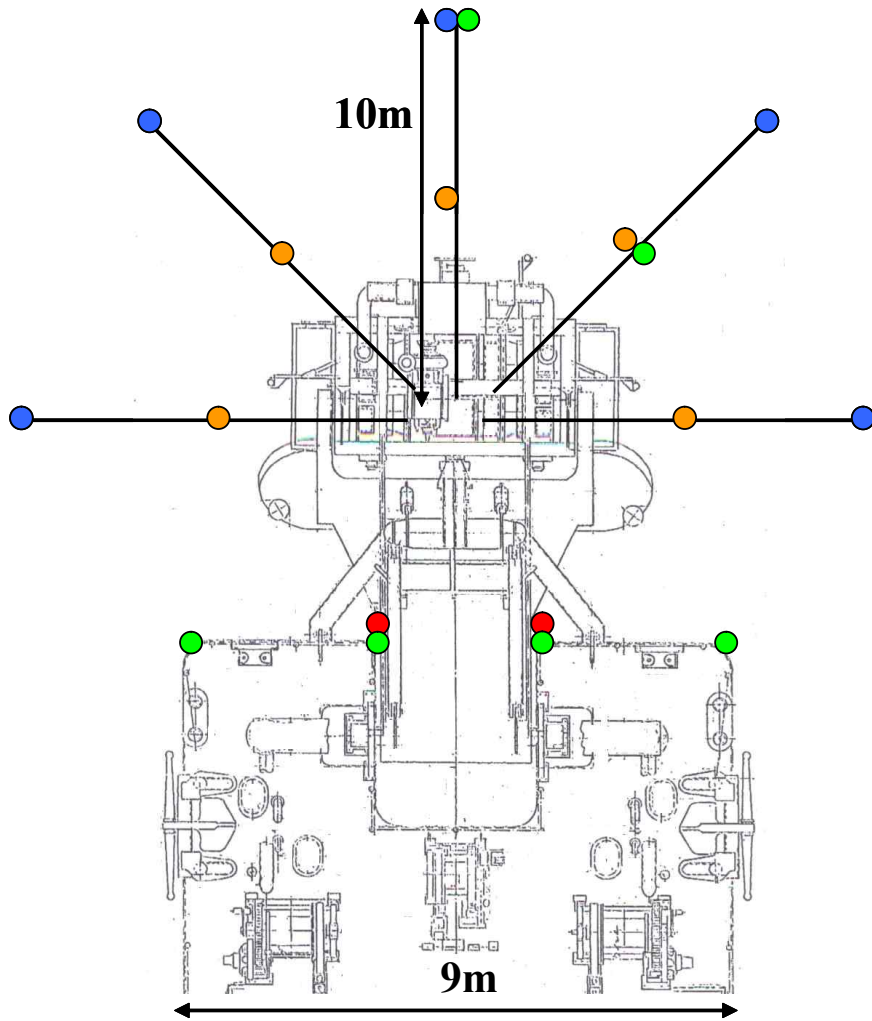


그림 3-2-12. 2차년도 사업구역 현장 조사 탁도 관측지점

1차년도 사업구역 현장의 배경농도는 6.2~19.8mg/l (평균 12.5mg/l)의 범위를 나타냈으며, 흡입구 주변 3m 지점에서는 15.8~168mg/l (평균 45.6mg/l), 흡입구 주변 5m 지점에서는 10.5~135mg/l (평균 26.0mg/l), 흡입구 주변 10m 지점에서는 12.2~125mg/l (평균 23.1mg/l)의 범위를 나타냈다.

흡입구 주변 3m 지점에서는 수심에 따라 탁도가 증가하는 양상을 보이고 있으며 수심 7m부근의 저층에서 급격히 부유퇴적물의 농도가 증가하는 양상을 나타냈다(그림 3-2-13).

흡입구 주변 5m지점에서는 조류의 영향을 받는 좌측 지점에서 수심 7m 부근의 저층에서 급격히 부유퇴적물의 농도가 증가하는 양상을 보였으며 흡입구 주변 10m지점에서도 비슷한 흡입구 주변 5m지점과 비슷한 경향을 나타냈다(그림 3-2-13).

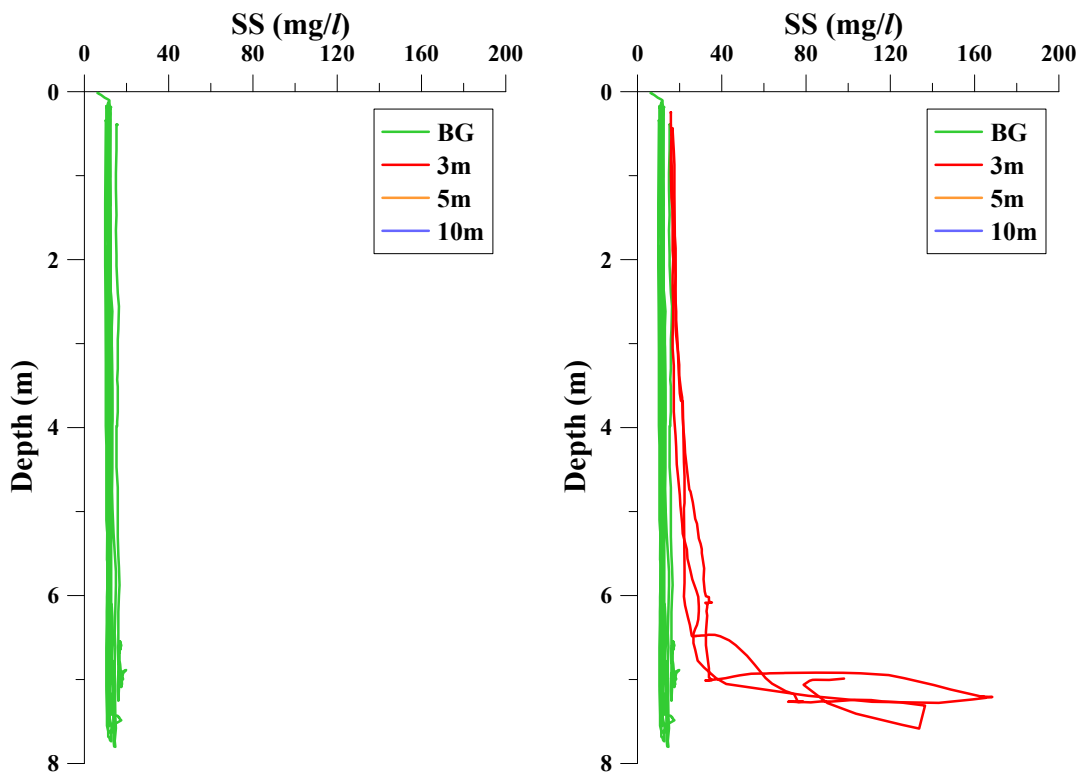


그림 3-2-13. 2차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물의 농도

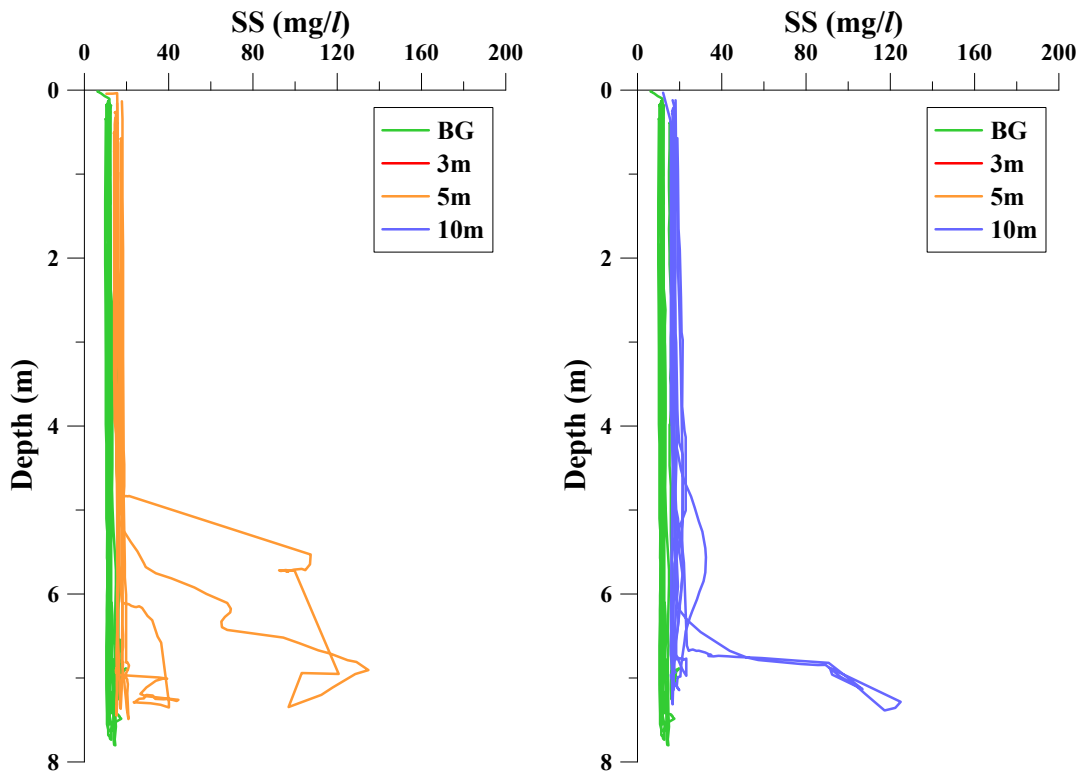


그림 3-2-13. 계속

부유퇴적물 농도와 배경농도와의 편차 백분율을 살펴보면, 흡입구 주변 3m지점에서는 표층부터 수심 4m까지 편차가 20%내외로 지점별로 일정한 분포를 보였으나 4m아래 저층부터 수심이 증가함에 따라 편차도 증가하여 수심 7m부근에서 급격하게 증가하여 배경농도보다 최대 900%까지 증가하였다. 흡입구 주변 5m 지점에서는 표층부터 수심 5m까지 편차가 20%내외로 지점별로 일정한 분포를 보였으나 조류의 영향을 받는 좌측 2개 지점에서 5m아래 저층부터 수심이 증가함에 따라 편차도 증가하며 수심7m부근에서 급격하게 증가하여 배경농도보다 최대 730%까지 증가하였다. 흡입구 주변 10m 지점에서도 표층부터 수심 5m까지 편차가 20%내외로 지점별로 일정한 분포를 보였으나 조류의 영향을 받는 좌측 2개 지점에서 5m아래 저층부터 수심이 증가함에 따라 편차도 증가하며 수심 7m부근에서 급격하게 증가하여 배경농도보다 최대 570%까지 증가하였다(그림 3-2-14). 이는 수거과정에서 발생한 부유퇴적물이 흡입구 주변 3m 지점에서는 수심 4m이하 저층에서 영향을 주고 있으며 흡입구 주변 5m와 10m 지점에서도 조류에 영향을 받는 지

점의 수심 6m이하 저층에서 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 또한 흡입구 주변 10m 지점의 저층에서도 영향이 큰 것으로 보아 조류의 흐름을 따라 더 멀리 떨어진 지역까지 수거공정으로 발생한 부유퇴적물이 영향을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

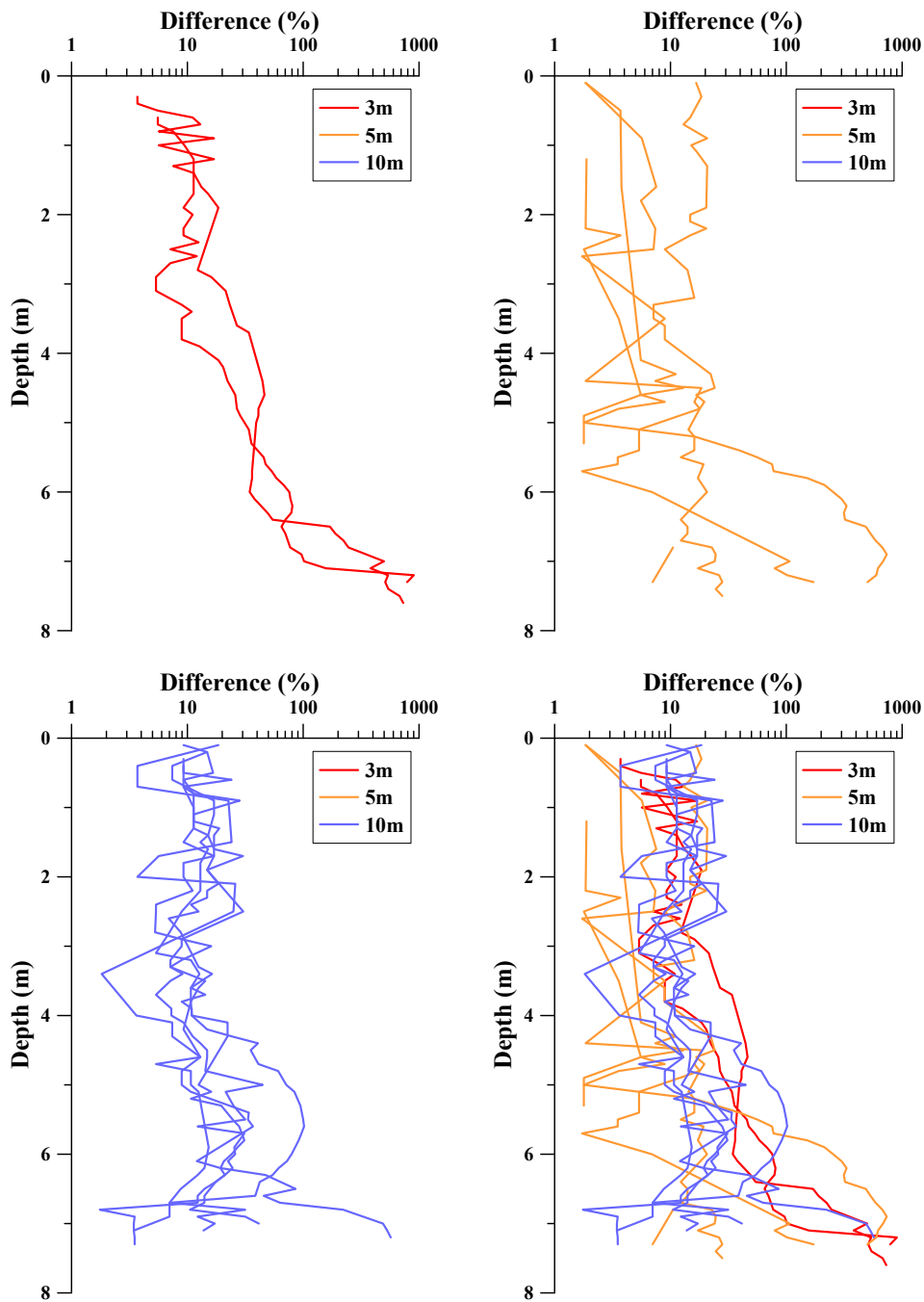


그림 3-2-14. 2차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물의 백분율 편차

표층과 저층에서 관측된 부유퇴적물 농도와 배경농도와의 편차 백분율의 수평적인 분포를 살펴보면, 표층에서는 수거과정 과정에서 발생하는 부유퇴적물의 영향이 거의 나타나지 않았으며 저층에서는 흡입구 주변 3m지점에서는 부유퇴적물의 농도가 수거과정 전보다 약 9배 증가하였으며, 흡입구 주변 5m지점에서는 부유퇴적물의 농도가 수거과정 전보다 약 7배 증가하였고, 흡입구 주변 10m지점에서는 수거과정 전보다 약 5.7배 증가하였다. 수거과정 과정에서 발생하는 부유퇴적물의 영향은 조류의 방향을 따라 확산되는 양상을 보이고 있으며, 10m이상 떨어진 저층에도 확산될 수 있는 것으로 판단된다(그림 3-2-15).

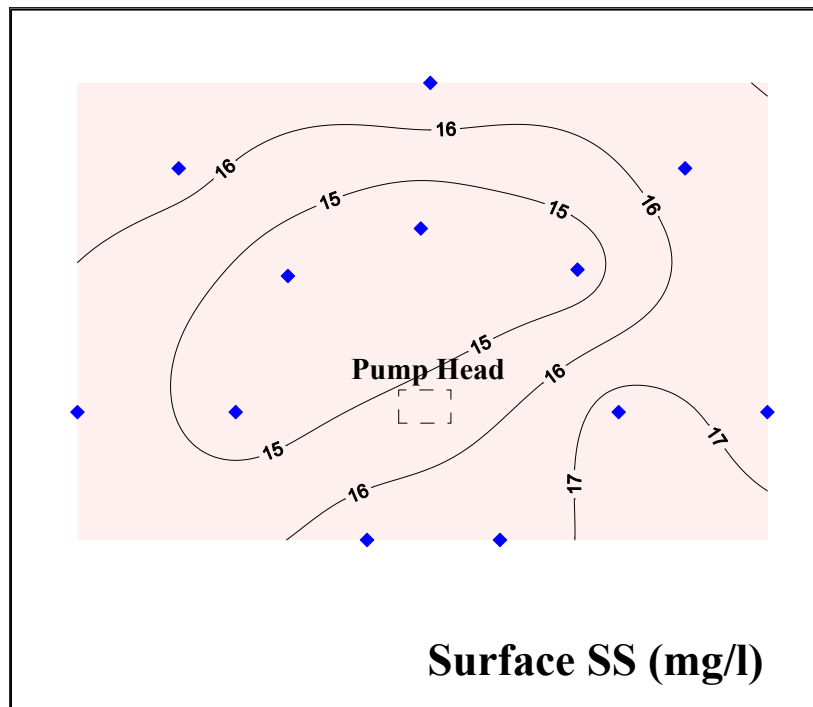


그림 3-2-15. 2차년도 사업구역 현장 조사 지점의 부유퇴적물 표·저층 수평분포

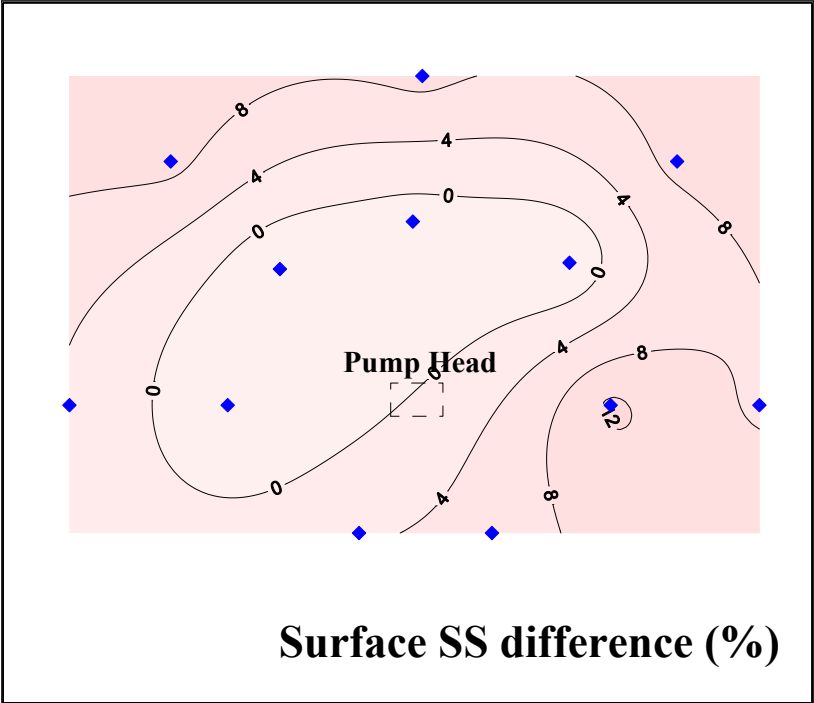
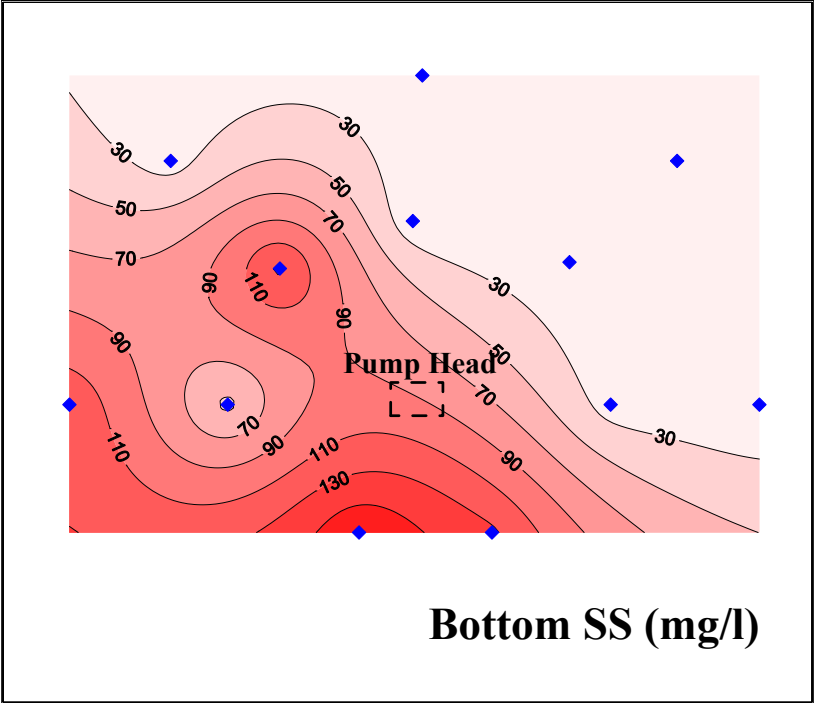


그림 3-2-15. 계속

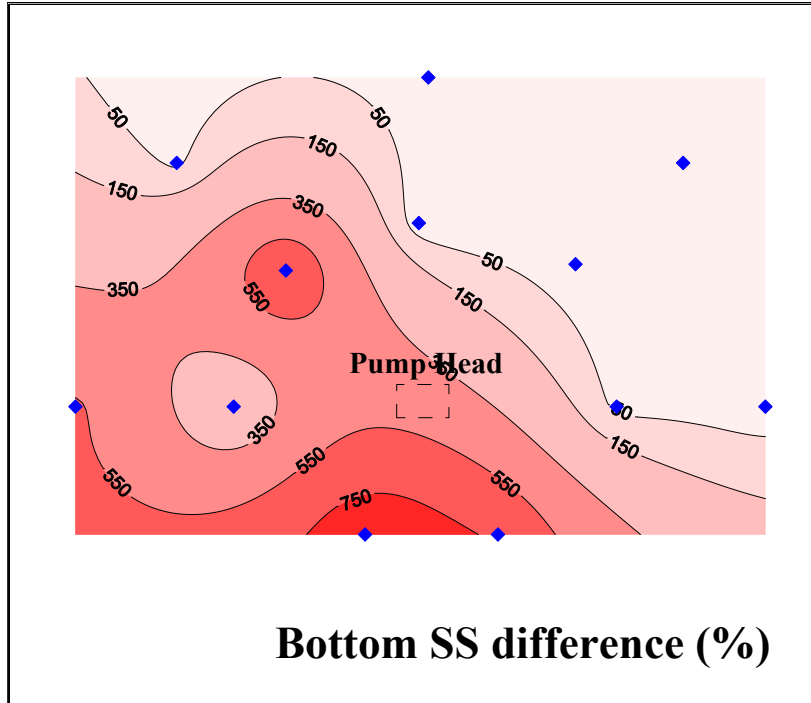


그림 3-2-15. 계속

6. 해양환경 영향 검토

해양오염퇴적물은 중금속, 지속성유기오염물질 등 각종 오염물질과 부영양물질 등을 함유하고 있다. 해양오염퇴적물의 수거 과정에서 부유물질이 발생할 경우, 주변해역으로 확산되어 해양생태계에 영향을 줄 수 있다. 부유퇴적물이 해양 생물에 미치는 영향은 다음과 같다:

- 광선의 투과율 감소로 광합성이 저하되고, 수중식물의 성장이 억제되며, 어류의 산란장소 및 서식지 감소로 수중 어패류가 감소한다.
- 아가미에 부유물질 부착으로 호흡장애가 발생하여 어패류의 성장률이 감소하거나, 질식 또는 사멸한다.
- 부화율 저하된다.
- 탁도 증가에 의한 장애사의 경우, 활성도가 떨어진 생활사 말기의 어류와 초기 치자어 등에 선택적으로 동시적인 죽음으로 나타나는 반면, 어체에 가시적인 증후는 나타나지 않는 것이 일반적이다.
- 해저면에 퇴적될 경우, 어류의 먹이와 산란장소를 파괴시킨다.

한편 생물이 영향을 받을 수 있는 부유물질의 농도는 다음과 같다.

- 양식을 위한 부유물질의 최대 노출농도: 80mg/L 이하
- 하천 냉수어종(송어 등): 탁도 20NTU

1) 환경피해 최소화 기준 검토

해양오염퇴적물 수거 과정에서 부유물질 발생으로 인하여 상기와 같은 환경피해를 최소화하기 위해서 다음과 같은 사항들의 검토가 필요하다.

가) 수질기준 충족 여부

현재 우리나라에는 해역별 부유물질에 대한 수질기준은 규정되어 있지 않다. 현행 환경정책기본법 개정 이전에는 해역별 수질기준(환경부고시 제 1995-8호)에는 I 등급은 10mg/L 이하, II등급은 25mg/L 이하로 규정되어 있었다. 그러므로 환경정책기본법 개정 이전의 II등급 수질기준을 준용한다면, 오염퇴적물 수거해역이 II등급 수준인 25mg/L 이하의 부유물질 발생을 허용하는 조건을 설정하는 것이 적합하다.

※ 참고: 환경정책기본법시행규칙 제2조 관련 [별표1]

라. 해역

(1) 생활환경

등급	기 준						
	수소이온 농도 (pH)	화학적산 소요구량 (COD) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총대장균군 (총대장균군 수/100mL)	용매추출 유분 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)
I	7.8-8.3	1 이하	7.5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
II	6.5-8.5	2 이하	5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
III	6.5-8.5	4 이하	2 이상			1.0 이하	0.09 이하

(2) 사람의 건강보호

등 급	항 목	기 준(mg/L)
전 수 역	6가크롬(Cr ⁶⁺)	0.05
	비소(As)	0.05
	카드뮴(Cd)	0.01
	납(Pb)	0.05
	아연(Zn)	0.1
	구리(Cu)	0.02
	시안(CN)	0.01
	수은(Hg)	0.0005
	폴리클로리네이티드비페닐(PCB)	0.0005
	다이아지논	0.02
	파라티온	0.06
	말라티온	0.25
	1.1.1-트리클로로에탄	0.1
	테트라클로로에틸렌	0.01
	트리클로로에틸렌	0.03
	디클로로메탄	0.02
	벤젠	0.01
	페놀	0.005
음이온계면활성제(ABS)	0.5	

나) 부유물질 허용농도 관련

수거작업으로부터 발생하는 부유물질을 특정시설 또는 공사로부터 발생 원으로 가정할 경우, 유사하게 적용 할 수 있는 범조항은 다음과 같다.

• 수질오염물질의 배출허용기준

수질오염물질의 배출허용기준(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표13])은 부유물질에 대하여 다음 기준의 적용을 검토할 수 있다. 이 경우는 통상적인 폐수배출시설에서 배출되는 수질오염물질의 배출허용기준이다(수질 및 수생태계 보전에 관한 법 제32조제1항).

1일 폐수배출량이 2천 세제곱미터 이상일 경우:

- 청정지역: 30mg/L 이하;

- 가지역: 60mg/L 이하;
- 나지역: 80mg/L 이하;
- 특례지역: 30mg/L 이하

1일 폐수배출량이 2천 세제곱미터 이하일 경우:

- 청정지역: 40mg/L 이하;
- 가지역: 80mg/L 이하;
- 나지역: 120mg/L 이하;
- 특례지역: 30mg/L 이하

● 폐수종말처리시설의 방류수 수질기준

폐수종말처리시설의 방류수 수질기준(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 제26조 관련 [별표 10])은 부유물질에 대하여 역시 다음의 기준 적용을 검토할 수 있다. 이 경우는 공공수역의 수질오염방지를 위하여 특히 필요하다고 인정하는 때에 적용된다(수질 및 수생태계 보전에 관한 법 제12조제1항).

- 2008.1.1부터 2012.12.31까지: 20(30) mg/L 이하;
- 2013.1.1 이후: 10(10) mg/L 이하

※ ()는 농공단지의 경우

※ **참고:** 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙

[별표 13] <개정 2008.10.29>

수질오염물질의 배출허용기준(제34조 관련)

1. 지역구분 적용에 대한 공통기준

가. 제2호 각 목 및 비고의 지역구분란의 청정지역, 가지역, 나지역 및 특례지역은 다음과 같다.

- 1) 청정지역 : 「환경정책기본법 시행령」 별표 1 제3호에 따른 수질 및 수생태계 환경기준(이하 "수질 및 수생태계 환경기준"이라 한다) 매우 좋음(I a)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 2) 가지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 좋음(I b), 약간 좋음(II)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역

- 3) 나지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 보통(Ⅲ), 약간 나쁨(Ⅳ), 나쁨(Ⅴ) 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 4) 특례지역 : 환경부장관이 법 제49조제3항에 따른 공동처리구역으로 지정하는 지역 및 시장·군수가 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제8조에 따라 지정하는 농공단지

나. 이하 생략

다. 이하 생략

2. 항목별 배출허용기준

가. 생물화학적산소요구량·화학적산소요구량·부유물질량

대상 규모 항목 지역구분	1일 폐수배출량 2천 세제곱미터 이상			1일 폐수배출량 2 천세제곱미터 미만		
	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)
청정지역	30 이하	40 이하	30 이하	40 이하	50 이하	40 이하
가지역	60 이하	70 이하	60 이하	80 이하	90 이하	80 이하
나지역	80 이하	90 이하	80 이하	120 이하	130 이하	120 이하
특례지역	30 이하	40 이하	30 이하	30 이하	40 이하	30 이하

비고 : 1. 하수처리구역에서 「하수도법」 제28조에 따라 공공하수도관리청의 허가를 받아 폐수를 공공하수도에 유입시키지 아니하고 공공수역으로 배출하는 폐수 배출시설 및 「하수도법」 제27조제1항을 위반하여 배수설비를 설치하지 아니하고 폐수를 공공수역으로 배출하는 사업장에 대한 배출허용기준은 공공하수처리시설의 방류수 수질기준을 적용한다.

2. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제6조제2호에 따른 관리지역에서의 같은 법 시행령 별표 20 제2호타목 및 별표 27 제2호타목(별표 20 제2호타목에 따른 공장만 해당한다)에 따른 공장에 대한 배출허용기준은 특례지역의 기준을 적용한다.

2) 2008년 1월 1일부터 2010년 12월 31일까지 적용되는 기준

항 목	지역구분	청정 지역	가 지역	나 지역	특례 지역
수은이온농도		5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
노말핵산추출 물질함유량	광유류(mg/L)	1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
	동식물유지류(mg/L)	5 이하	30 이하	30 이하	30 이하
페놀류함유량(mg/L)		1 이하	3 이하	3 이하	5 이하
시안함유량(mg/L)		0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
크롬함유량(mg/L)		0.5 이하	2 이하	2 이하	2 이하
용해성철함유량(mg/L)		2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
아연함유량(mg/L)		1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
구리함유량(mg/L)		1 이하	3 이하	3 이하	3 이하
카드뮴함유량(mg/L)		0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
수은함유량(mg/L)		0.001 이하	0.005 이하	0.005 이하	0.005 이하
유기인함유량(mg/L)		0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
비소함유량(mg/L)		0.05 이하	0.25 이하	0.25 이하	0.25 이하
납함유량(mg/L)		0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
6가크롬함유량(mg/L)		0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
용해성망간함유량(mg/L)		2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
플로오르(불소)함유량(mg/L)		3 이하	15 이하	15 이하	15 이하
PCB함유량(mg/L)		불검출	0.003 이하	0.003 이하	0.003 이하
총대장균군(群)(총대장균군수)(mL)		100 이하	3,000 이하	3,000 이하	3,000 이하
색도(도)		200 이하	300 이하	400 이하	400 이하
온도(℃)		40 이하	40 이하	40 이하	40 이하
총질소(mg/L)		30 이하	60 이하	60 이하	60 이하
총인(mg/L)		4 이하	8 이하	8 이하	8 이하
트리클로로에틸렌(mg/L)		0.06 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.3 이하
테트라클로로에틸렌(mg/L)		0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
음이온계면활성제(mg/L)		3 이하	5 이하	5 이하	5 이하
벤젠(mg/L)		0.01 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
디클로로메탄(mg/L)		0.02 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하
생태독성(TU)		1 이하	2 이하	2 이하	2 이하

비고 : 1. 색도항목의 배출허용기준은 별표 4 제2호18)의 섬유염색 및 가공시설, 19)의 기타 섬유제품 제조시설 및 23)의 펄프·종이 및 종이제품(색소첨가 제품만 해당한다) 제조시설에만 적용한다.

2. 별표 4 제2호20) 가죽·모피가공 및 제품제조시설(19101 원피가공시설만 해당한다) 및 같은 호 80) 도금시설과 도금시설 외의 폐수배출시설로서 도금공정이 있는 시설(도금공정에서 발생하는 폐수를 다른 폐수와 섞어서 처리하지 아니하는 시설만 해당한다)에 대하여는 위 표의 총 질소 항목의 배출허용기준에도 불구하고 다음의 기준을 적용한다. 다만, 「한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률」 제2조제5호, 「낙동강수

계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률」 제2조제5호, 「금강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률」 제2조제5호 및 영산강·섬진강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률」 제2조제5호에 따른 상수원관리지역은 그러하지 아니하다.

※ **참고:** 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙

[별표 10] <개정 2008.4.7>

폐수종말처리시설의 방류수 수질기준(제26조 관련)

구 분	적용기간 및 수질기준			
	2007. 12. 31.까지	2008. 1. 1.부터 2010. 12. 31.까지	2011. 1. 1.부터 2012. 12. 31.까지	2013. 1. 1. 이후
생물화학적산소요구량(BOD)(mg/L)	30(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	10(10) 이하
화학적산소요구량(COD)(mg/L)	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하
부유물질량(SS)(mg/L)	30(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	10(10) 이하
총 질소(T-N)(mg/L)	60(60) 이하	40(60) 이하	40(60) 이하	20(20) 이하
총 인(T-P)(mg/L)	8(8) 이하	4(8) 이하	4(8) 이하	2(2) 이하
총대장균군(총대장균수/mL)	-	3,000 이하	3,000 이하	3,000(3,000) 이하
생태독성(TU)	-	-	1(1) 이하	1(1) 이하

비 고

1. 산업단지 및 농공단지의 폐수종말처리시설의 폐놀류 등 수질오염물질의 방류수 수질기준은 위 표에도 불구하고 해당 처리시설에서 처리할 수 있는 수질오염물질 항목으로 한정하여 별표 13 제2호나목의 표 중 특례지역에 적용되는 배출허용기준의 범위에서 해당 처리시설 설치사업시행자의 요청에 따라 환경부장관이 정하여 고시한다.

2. 적용기간에 따른 수질기준란의 ()는 농공단지의 경우의 폐수종말처리시설의 방류수 수질기준을 말한다.
3. 생태독성 항목의 방류수 수질기준은 물벼룩에 대한 급성독성시험을 기준으로 한다.

따라서, 통상적인 발생원에서 현행법률에서 인정하는 방류기준의 청정지역을 적용할 경우, 수거선(발생원) 주변의 가까운 지점에서 부유물질의 농도가 주변의 공사의 영향을 받지 않는 지점보다 30 mg/L 을 초과하지 않도록 규정하는 것이 타당한 것으로 사료된다. 그러나 해양오염퇴적물의 수거조치 즉, 정화사업이 오염이 극심하게 이루어진 장소에서 행하여진다는 점을 고려, 수질오염방지를 위하여 특히, 제한을 가할 필요를 있다는 사실을 감안할 경우, 역시 수거선 주변에서 20(30) mg/L 초과하지 않도록 설정하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

다) 부유물질 농도별 해역수질 영향 평가

부유물질로 인하여 해역수질기준(환경정책기본법시행규칙 제2조 관련 [별표1])을 초과하지 않도록 설정할 경우,

- 가설1: 오염퇴적물 수거기준 설정지침(안)(이하 “수거기준” 이라 함)상의 유해화학물질의 항목들 중 어느 특정 항목의 농도가 문제가 되어 수거조치를 하여야 하고(이 경우, 어느 특정 항목을 제외한 농도는 전혀 문제가 없고, 특정 유해화학물질의 농도가 수거기준 [별표 2]의 기준2 농도의 4배 이상일 경우에 해당됨), 해수 중의 사람의 건강보호 항목의 농도가 0 일 경우, 퇴적물의 특정 유해화학물질로 인하여 해수 중에 농도가 수질기준 농도로 될 부유물질의 농도는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} & \text{최대부유물질 허용농도(mg/L)} \\ & = \text{수질기준농도(mg/L)} / (\text{퇴적물에서의 농도(mg/kg)} / 10^6) \end{aligned}$$

표 3-2-1 퇴적물의 유해화학물질 최대농도치에서의 수질기준 충족 최대 부유물질 허용농도

	기준 2(퇴적물)	기준 2의 4배	수질기준	부유물질**
	(ppm)	(ppm)	(mg/L)	(mg/L)
비소	42	166	0.05	300
카드뮴	4	17	0.01	594
크롬*	370	1,480	0.05	34
구리	108	432	0.02	46
수은	1	4	0.0005	125
니켈	52	208		
납	220	880	0.05	57
아연	410	1,640	0.1	61
클로로데인	0.006	0.024		
다이엘드린	0.008	0.032		
디디티(DDT)	0.046	0.184		
PCBs	0.189	0.756	0.0005	661
PAHs	45	180		
TBT	0.105	0.42		

* 표 3-2-1에서 크롬의 수질기준은 Cr⁺⁶(6가 크롬)상태의 농도를 말하며, 해수 중 용존성 크롬은 산화환경에서 6가 상태이나 퇴적물에서는 대부분 3가 상태로 존재

** 표 3-2-1에서 부유물질의 농도는 퇴적물이 재부유하여 100% 용존성으로 전환하였을 경우의 허용농도를 말함, 실제 해수중(연안역)에서 중금속의 입자성/용존성 비를 결정하는 분배계수 Kd 는 1000 이상이기 때문에 실제 수질기준에 도달할 최대 부유물질농도는 표 1의 1000 배에 해당됨

※ 해양공정시험법에서 해수중의 중금속 농도는 용존성 성분만을 분석

따라서, 중금속으로 오염된 퇴적물의 재부유로 인하여 수질기준에 초과할 부유물질의 농도는 적어도 수백 mg/L 이상에 해당됨.

- 가설 2: 퇴적물의 화학적 산소요구량(COD)이 문제가 되어 오염퇴적물 수거조치를 해양 할 경우, 퇴적물의 COD 는 40,000ppm 에 해당되며 이로 인하여 수질 등급 III 등급을 만족시킬 수 있는 부유물질의 최대 허용량은 100mg/L이 되며, II 기준을 만족시킬 부유물질의 최대 허용량은 50mg/L 가 된다. 이 경우는 배경 농도를 0으로 가정하였을 경우이다.

라) 수거장비 주변 부유물질 허용 범위

수질오염방지를 위하여 특히, 제한을 가할 필요가 있을 경우, 상기 세 가지 고려사항 중 가장 엄격하게 적용할 수 있는 부유물질의 농도는 20mg/L에 해당된다.

국내 등록된 퇴적오염물질전용수거선의 길이는 최소 7.2 ~ 최대 38.9m로서, 평균 $28.1 \pm 9.4\text{m}$ 임을 감안 흡입구 또는 준설 펌프를 중심으로 등록선박 점용거리 정도에 해당되는 20m를 수거 작업에 의한 발생원으로 간주할 수 있다. 따라서, 흡입구 또는 준설펌프를 중심으로 반경 20m의 바닥으로부터 2m 수층에서 부유물질 농도가 주변 즉 배경농도 보다 20mg/L 보다 더 초과하지 않도록 설정하는 것이 타당하다.

한편, 오염퇴적물 수거작업시 각 공법별로 상기 부유물질 기준 충족 여부에 대한 검사를 위해서는 다음과 같은 조건의 고려가 필요하다. 검사조건은 퇴적오염물질전용수거선이 주로 미립자(실트, 점토) 성분들이 우세한 해역의 퇴적물을 수거한다는 작업 조건을 고려하고, 실트나 점토의 재부유는 7cm/sec 이상의 물 흐름에서 발생이 가능하다는 조건 등을 감안하면, 해저 퇴적물의 입도분포가 50% 이상이 점토 및 실트로 구성된 해역이며, 해수의 유속이 7cm/sec 보다 적은 정온 상태가 적합한 조건인 것으로 사료된다.

2) 외국 사례 검토

미국, 일본, 유럽에서는 오염퇴적물 수거(준설)와 관련, 사업 수행시 어느 특정한 장비를 선택하도록 하는 규정은 없다. 미국은 오염퇴적물 정화사업에서 준설장비의 선택시 오염퇴적물 준설현장의 특성 및 이후 수송 및 처리과정을 감안하여 선택할 것을 안내하고 있다²⁷⁾. 또한 부유물질에 대한 기준은 광항성작용 10%를 저해하지 않는 농도이다. 일본은 오염퇴적물 준설시, 준설장비의 유형을 제한하는 규정은 없음: 장비의 선택과 시공방법은 작업현장의 특성에 맞게 작업가능성 및 경제적인 효율을 고려하여 정할 것으로 되어 있음. 준설시 발생하는 혼탁은 기준을 초과하여서는 아니 되며, 공사시 오염물질이 확산되지 않도록 모니터링을 하여야 한다고 규정되어 있다²⁸⁾. 네덜란드는 일반적으로 준설기술이나 부유물에 대한 포괄적 기준은 없음. 혼탁도는

27) U.S. EPA, 1993. Selecting Remediation Techniques For Contaminated Sediment. EPA-823-B93-001

28) 国土交通省港湾局,平成20年4月. 港湾における底質ダイオキシン類対策技術指針(改訂版)

수질, 생물계의 취약성, 퇴적물의 오염도 등에 따라 장소 특성에 맞게 의사 결정을 하며, 따라서, 특정 기술은 사용되어지는 기술보다는 오히려 특정한 장소의 환경기준을 초과하지 않을 것을 요구, 오염된 퇴적물일 경우, 폐쇄처분장에서 방류수에 대하여서는 50mg/L 의 기준을 가지고 있음. 또한, 혼탁물에 의한 영향을 최소화하기 위한 방류 방법을 설계한다.

캐나다의 준설장비 환경성능 평가를 위한 기준치²⁹⁾ 예에 의하면,

- 탁도(turbidity): 준설지점으로부터 25m 떨어진 곳의 바닥에서 30% 이상을 초과하여서는 아니 되며,
- 부유물질: 농도가 100mg/L 이하인 곳에서는 25m 떨어진 곳에서 본래 바닥농도의 25mg/L 이상을 초과하여서는 아니 된다. 농도가 100mg/L 이상인 곳에서는 25m 떨어진 곳에서 10% 이상을 초과하여서는 아니 된다.

준설공법에 따른 부유물질 발생과 준설시 퇴적물 재부상 관련 자료를 그림 3-2-16 와 표 3-2-2 ~ 표 3-2-4 에 나타내었다.

표 3-2-2 준설공법에 따른 부유물질 발생량

준설공법	사질토사 (g/L)	점토질 토사 (g/L)
펌프준설	2.8	23.8
오니전용펌프준설	-	1.6
그래브준설	8.4	38.0
밀폐 그래브 준설	-	3.5
드래그 석션 준설	-	14.8

주] 일본, 유속 7cm/sec 인 경우

29) Environment Canada, 2000. Environmental Surveillance and Monitoring Program for Dredging and Sediment Management Projects_Design and Implementation Procedures

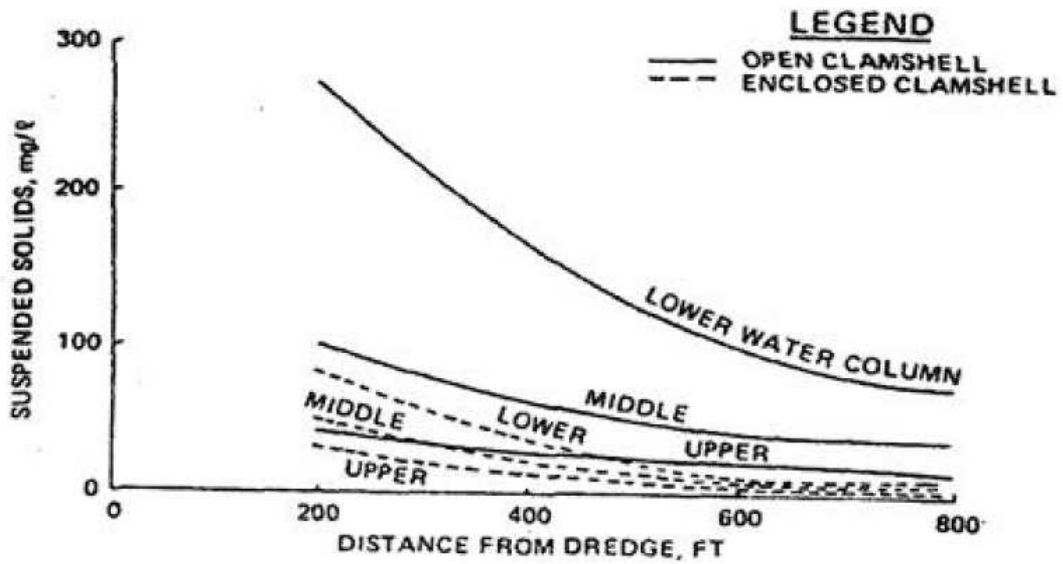


그림 3-2-16. 개방식과 폐쇄식 크랩 셸 준설작업에 따른 재부상 고형물³⁰⁾

표 3-2-3 특정목적 준설에 의한 퇴적물의 재부상 농도 (Shinsha, 1998)

준설 유형	보고된 부유물질 농도
Pneuma pump	48mg/L (바닥 위 1m 지점)
	4mg/L (바닥 위 7m 지점)
Clean-up system	1.1 ~ 7.0mg/L (흡입지점 위 3m 지점)
	1.7 ~ 3.5mg/L (수면 기준)
Oozer pump	배경농도 수준 (pump head 3 m 지점)
Refresher system	4 ~ 23mg/L (pump head 3 m 지점)

표 3-2-4 퇴적물 특성별 임계 재부상 속도

퇴적물 특성	입자 크기 (mm)	임계 재부상 속도 (cm/sec)
Clay	0.005	0.03
Silt	0.005 ~ 0.074	0.03 ~ 7.0
Fine sand	0.074 ~ 0.42	7.0 ~ 15.0
Rough sand	0.42 ~ 2.0	15.0 ~ 35.0

30) St. John's River, Hayers, 1986

3) 환경피해 최소화 기준 제시

상기 검토결과를 종합하여 퇴적오염물질 수거작업시 부유물질의 발생으로 인한 환경피해 최소화를 위한 기준은 다음과 같다.

- 수거 작업시 수거 펌프를 중심으로 반경 20m 경계선의 바닥으로부터 2m 상부에 위치한 수층에서 측정된 부유물질 농도가 주변해수의 부유물질 농도보다 20mg/L 이상을 초과하여서는 아니 된다.
- 20m 경계선에서의 부유물질의 농도를 측정할 때에는 물의 흐름이 진행되는 방향을 포함하여 적어도 4 정점 이상을 포함하여야 한다.
- 주변해수란 퇴적물 수거 작업을 진행하기 이전의 동일한 해양환경 조건에서의 해수를 말한다. 또는, 수거 작업시에는 수거 펌프를 중심으로 적어도 100m 이상 떨어진 곳으로 퇴적물 수거작업의 영향을 받지 않는다고 판단되는 수거 작업 구역과 동일한 해양환경 조건을 가지는 지점들에서의 해수를 말한다. 주변해수에서의 부유물질 측정은 방위 및 거리를 고려하여 4 정점의 바닥으로부터 2m 수층에서 이루어져야 하고, 주변해수의 부유물질 농도는 이들 측정된 값들의 평균 농도로 한다.
- 검사를 수행할 해양환경의 조건은 바닥의 퇴적물 입도가 점토 및 실트 성분이 50% 이상이어야 하며, 해수의 흐름이 7cm/sec 보다 미약한 해역으로 한다.

7. 국내 현행 수거공법 개선방안 검토

1) 국내 수거공법 검토

해양오염퇴적물의 수거(준설)을 위한 공법 또는 장비를 평가하기 위해서는 다음 7가지 항목에 대한 검토가 필요하다.

- 퇴적물의 준설(흡입)방법: 기계식, 유압식, 혼합식, 기타
- 퇴적물의 준설(흡입)특성: 굴삭, 흡입, 컷터 장착 여부, 차폐막 장착 여부
- 준설 깊이 제어: 박층준설 시 최소 준설 가능 깊이 등
- 준설시 양수량과 함니율: 유압식일 경우 평균 양수량과 함니율

- 단위시간당 준설범위: 퇴적물 조성별 단위시간당 준설범위 및 물량
- 준설장치(흡입구) 위치 제어 방안
- 탁도(부유물질) 발생 정도

국내 퇴적오염물질수거업 등록업체의 수거공법(총 13개)을 상기 상목으로 평가한 결과는 다음과 같다.

■ “가” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	소형 관(직경 250~350 mm) 형태의 수거장치로 흡입
준설 깊이 제어	바지선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
양수량 및 함니율	양수량: 400 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	바지선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 수거 대상 범위(면적, 물량)가 작을 경우 효과적
- 단점: 수거시 스퍼드(Spud) 없이, 닛줄을 이용하여 이동하므로 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 크고, 자세제어가 어려움.
퇴적물의 정밀한 수거가 어려움.

■ “나” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	퇴적물이 오니층일 경우, 고농도로 효과적으로 준설
준설 깊이 제어	드럼형 구조의 흡입장치를 조정하여 준설 깊이를 제어
양수량 및 함니율	양수량: 192 m ³ /h, 함니율: 10~40%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선의 통제 프로그램에 의해 조정(상, 하, 좌, 우)
탁도(부유물질) 발생정도	흡입구 주변 10m 지점: 12.2~125 mg/l (평균 23.1 mg/l) 수거전 배경농도 대비 최대 5.7배 증가

- 장점: 수거 대상 퇴적물이 오니층으로 구성되어 있을 경우, 수거효율이 높음.
수거시 스퍼드(Spud)를 활용하여 이동하므로 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 작고 정밀한 자세제어가 가능함.
- 단점: 퇴적물에 준설장애물(쓰레기 등), 자갈, 패각 등이 포함되어 있을 경우 준설 효율이 낮음.

■ “다” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	퇴적물이 오니층일 경우, 효과적으로 준설
준설 깊이 제어	수거선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
양수량 및 함니율	양수량: 210 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 수거 대상 퇴적물이 오니층으로 구성되어 있을 경우, 수거효율이 높음.
수거선에 퇴적물을 수거후 탈수, 약취제어 및 오염물질 저감을 위한 중간처리 시설이 설치되어 있으며, 중간처리 공정에서 발생할 수 있는 액상을 처리하기 위한 수처리 설비도 설치되어 있음.
- 단점: 흡입구의 직경(6 inch)이 작기 때문에 퇴적물의 수거 효율이 낮으며, 퇴적물에 준설장애물(쓰레기 등), 자갈, 패각 등이 포함되어 있을 경우 준설이 곤란함.

■ “라” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	소형 관(직경 200 mm) 형태의 수거장치로 흡입
준설 깊이 제어	바지선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
양수량 및 함니율	양수량: 360 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	바지선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 수거 대상 범위(면적, 물량)가 작을 경우 효과적
- 단점: 수거시 스퍼드(Spud) 없이, 닛줄을 이용하여 이동하므로 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 크고, 자세제어가 어려움.
퇴적물의 정밀한 수거가 어려움.

■ “마” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	박스형 흡입장치에 컷터가 있음
준설 깊이 제어	박스형 구조의 흡입장치를 조정하여 준설 깊이를 제어
양수량 및 함니율	양수량: 100 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선의 통제 프로그램에 의해 조정(상, 하, 좌, 우)
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 수거시 스퍼드(Spud)를 활용하여 이동하므로 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 작고 정밀한 자세제어가 가능함.
흡입장치에 비확산형 컷터가 포함되어 있으므로, 오히려 이의 사질 등의 다양한 퇴적층 준설에 사용할 수 있음.
- 단점: 수거선 펌프설비의 양수량이 100 m³/h로 제한되므로, 대상 범위(면적, 물량)가 클 경우 효율이 낮을 수 있음.

■ “바” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	박스형 차폐판을 사용하여 오니층을 교란시키지 않고 퇴적상태 그대로 흡입하여 고밀도로 오니준설
준설 깊이 제어	박스형 구조의 흡입장치를 조정하여 준설 깊이를 제어
양수량 및 함니율	양수량: 160 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선의 통제 프로그램에 의해 조정(상, 하, 좌, 우)
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 수거시 스퍼드(Spud)를 활용하여 이동하므로 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 작고 정밀한 자세제어가 가능함.
흡입장치를 오니층에 삽입하여 수거하므로 고밀도로 오니층을 준설할 수 있음.
- 단점: 오니층 이외 사질 등의 다양한 퇴적층 준설시 제한되거나, 효율이 저하될 수 있음.

■ “사” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	흡입구를 오니층에 삽입하여 흡입하므로 고농도로 오니를 준설
준설 깊이 제어	쇄기모양의 박스형 흡입장치를 조정하여 준설 깊이를 제어
양수량 및 함니율	양수량: 120 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선의 통제 프로그램에 의해 조정(상, 하, 좌, 우)
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 흡입장치를 오니층에 삽입하여 수거하므로 고밀도로 오니층을 준설할 수 있음.
수거 대상 퇴적물이 오니층으로 구성되어 있을 경우, 수거효율이 높음.
- 단점: 오니층 이외 사질 등의 다양한 퇴적층 준설시 제한되거나, 효율이 저하될 수 있음.
퇴적물에 준설장애물(쓰레기 등), 자갈, 패각 등이 포함되어 있을 경우 준설 효율이 낮음.

■ “아” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	흡입구를 오니층에 삽입하여 흡입하므로 고농도로 오니를 준설
준설 깊이 제어	쇄기모양의 박스형 흡입장치를 조정하여 준설 깊이를 제어
양수량 및 함니율	양수량: 360 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선의 통제 프로그램에 의해 조정(상, 하, 좌, 우)
탁도(부유물질) 발생정도	흡입구 주변 10m 지점: 15.9~23.2 mg/l (평균 18.4 mg/l) 수거전 배경농도 대비 ±20 % 이내

- 장점: 흡입장치를 오니층에 삽입하여 수거하므로 고밀도로 오니층을 준설할 수 있음.
수거 대상 퇴적물이 오니층으로 구성되어 있을 경우, 수거효율이 높음.
- 단점: 오니층 이외 사질 등의 다양한 퇴적층 준설시 제한되거나, 효율이 저하될 수 있음.
퇴적물에 준설장애물(쓰레기 등), 자갈, 패각 등이 포함되어 있을 경우 준설 효율이 낮음.

■ “자” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	정사각형 모양의 박스형태의 수거장치로 흡입
준설 깊이 제어	바지선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
양수량 및 함니율	양수량: 450 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	바지선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 수거 대상 범위(면적, 물량)가 작을 경우 효과적.
수거시 정사각형 형태의 흡입구 주위에 워터제트를 사용하여 퇴적물의 확산을 방지하고 수거효율이 높음.
- 단점: 수거시 스퍼드(Spud) 없이, 닛줄을 이용하여 이동하므로 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 크고, 자세제어가 어려움.
퇴적물의 정밀한 수거가 어려움.

■ “차” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	오거 형태의 흡입장치에 굴삭장치가 포함되어 부유토사 확산이 작으며, 다양한 퇴적층의 준설에 사용할 수 있음
준설 깊이 제어	박스형 흡입장치를 조정하여 준설 깊이를 제어
양수량 및 함니율	양수량: 623 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선의 통제 프로그램에 의해 조정(상, 하, 좌, 우)
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 흡입장치를 오니층에 삽입하여 수거하므로 고밀도로 오니층을 준설할 수 있음.
수거 대상 퇴적물이 오니층 이외 사질 등의 다양한 퇴적층 준설에도 사용할 수 있음.
작업심도가 8m 이내의 천심일 경우, 자체 이동장치를 이용하여 수저에서 이동이 가능하므로 퇴적층의 정밀한 준설이 가능함.
- 단점: 퇴적물에 준설장애물(쓰레기 등), 자갈, 패각 등이 포함되어 있을 경우 준설 효율이 낮음.
수거선이 소형(길이 11.4m, 폭 3.1m, 높이 1.2m, 무게 4.93톤)이므로 넓은 해역에서 준설시 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 크고, 자세 제어가 어려움.

■ “카” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	원통형 펌프와 소형 관(직경 200mm)으로 구성된 흡입장치를 퇴적층 가까이 내려서 수거함
준설 깊이 제어	바지선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
양수량 및 함니율	양수량: 240 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	바지선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 수거 대상 범위(면적, 물량)가 작을 경우 효과적
- 단점: 수거시 스퍼드(Spud) 없이, 닛줄을 이용하여 이동하므로 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 크고, 자세제어가 어려움.
퇴적물의 정밀한 수거가 어려움.
퇴적물에 모래 또는 자갈이 포함된 퇴적층의 준설에도 사용할 수 있지만, 펌프설비가 퇴적층 가까이 내려가므로, 준설장애물(쓰레기 등), 패각 등이 포함되어 있을 경우 준설 효율이 낮아질 수 있음.

■ “타” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	차폐판을 갖춘 흡입장치에 굴삭장치가 포함되어 있으므로 다양한 퇴적층의 준설에 사용할 수 있음
준설 깊이 제어	박스형 흡입장치를 조정하여 준설 깊이를 제어
양수량 및 함니율	양수량: 120 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선의 통제 프로그램에 의해 조정(상, 하, 좌, 우)
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 흡입장치를 오니층에 삽입하여 수거하므로 고밀도로 오니층을 준설할 수 있음.
수거 대상 퇴적물이 오니층 이외 사질 등의 다양한 퇴적층 준설에도 사용할 수 있음.
작업심도가 8m 이내의 천심일 경우, 자체 이동장치를 이용하여 수저에서 이동이 가능하므로 퇴적층의 정밀한 준설이 가능함.
- 단점: 퇴적물에 준설장애물(쓰레기 등), 자갈, 패각 등이 포함되어 있을 경우 준설 효율이 낮음.
수거선이 소형(길이 7.2m, 폭 3.3m, 높이 0.6m, 무게 2.45톤)이므로 넓은 해역에서 준설시 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 크고, 자세 제어가 어려움.

■ “과” 공법

항목	내용
준설(흡입)방법	유압식 준설(펌프 설비로 흡입)
준설(흡입)특성	소형 관(직경 200 mm) 형태의 수거장치로 흡입
준설 깊이 제어	수거선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
양수량 및 함니율	양수량: 300 m ³ /h, 함니율: 10~30%
단위시간당 준설 범위	관련 자료 없음
준설장치(흡입구) 위치 제어	수거선 위에 설치된 백호우 장비로 제어
탁도(부유물질) 발생정도	관련 자료 없음

- 장점: 수거 대상 퇴적물이 오니층으로 구성되어 있을 경우, 수거효율이 높음. 수거시 스퍼드(Spud)를 활용하여 이동하므로 해황(해류, 파랑 등)에 따른 영향이 작고 정밀한 자세제어가 가능함.
- 단점: 퇴적물에 준설장애물(쓰레기 등), 자갈, 패각 등이 포함되어 있을 경우 준설 효율이 낮음.

현행 국내 해양오염퇴적물 수거공법의 평가를 위하여 상기 7가지 항목들에 대한 검토결과를 종합하면 다음과 같다.

① 준설(흡입)방법

현재 우리나라의 퇴적오염물질 수거공법(총 13개)은 모두 유압식 즉, 펌프설비를 사용하여 해양오염퇴적물을 흡입하여 수거하는 방법이 사용되고 있다. 현행 해양환경관리법 시행규칙 별표 14 해양환경관리업의 등록기준 중

5. 퇴적오염물질수거업에는펌프설비에 의한 수거만을 규정하고 있으며, 기계식, 혼합식 또는 기타 수거공법은 규정되어 있지 않다. 한편, 미국, 유럽, 일본 등에서는 환경준설(Environemntal Dredging)의 개념을 도입하여, 다양한 수거공법이 활용되고 있다. 그러므로 향후 수거시 환경에 영향을 최소화 할 수 있는 다양한 수거공법의 개발 및 현장 적용이 시급한 것으로 사료된다.

② 준설(흡입)특성

현행 수거공법 중 대부분의 수거공법은 대상 퇴적층이 오니층일 경우, 수거에 효과적인 공법이다. 사질 등 다양한 형태의 퇴적층에 적용할 수 있는 공법은 3개 공법으로 제한적이다.

③ 준설 깊이 제어

대상 해양오염퇴적물의 수거시 깊이 제어는 두 가지 방식으로 구분된다. 먼저 백호우 등 장비를 수동 조작에 의해 깊이를 제어하는 방식(6개 공법)과 프로그램에 의한 기계적 조작에 의해 흡입구를 제어함으로 깊이를 제어하는 방식(7개 공법)이 있다. 또한, 수거시 해황(해류, 파랑 등)의 영향을 받지 않고, 수거선박의 정밀한 자세제어가 가능한 공법은 전체 13개 공법 중 6개 공법이다. 현행 수거공법으로는 수거선의 자세제어가 어려우며, 전체 수거공법 중 약 절반인 6개 공법이 수동 조작으로 깊이를 제어하므로, 정밀한 수거가 이루어지기는 매우 어렵다. 그러므로 현행 수거공법에 의한 준설 깊이 제어는 시급히 개선할 필요가 있는 것으로 사료된다.

④ 양수량 및 함니율

현행 수거공법에 의한 양수량은 최소 100m³/h, 최대 623m³/h, 평균 280m³/h (표준편차 154m³/h)이며, 함니율은 10 ~ 30%(최대 40%)로 나타났다. 평균 양수량에 함니율을 고려하면 해양오염퇴적물의 실제 수거량은 약 28 ~ 84m³/h인 것으로 평가할 수 있다. 펌프설비에 의한 수거일 경우, 공법의 특성에 따른 함니율에 의해 해양오염퇴적물의 실제 수거량이 결정된다. 또한, 운반, 오염도 저감을 위한 중간처리 등을 위해서는 처리대상 물량을 감축하고, 탈수하는 과정이 반드시 필요하다. 그러므로 향후 해양오염퇴적물 수거

효율을 높이고, 탈수 등 중간처리 비용을 저감시킬 수 있는 다양한 수거공법을 개발할 필요가 있는 것으로 사료된다.

⑤ 단위시간당 준설범위

현행 수거공법의 단위시간당 준설범위에 대한 관련 자료는 없으므로, 현 단계에서 평가할 수 없다. 그러나 향후 관련 자료 축적하고, 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

⑥ 준설장치(흡입구) 위치 제어

대상 해양오염퇴적물의 수거시 준설장치(흡입구) 위치 제어는 두 가지 방식으로 구분된다. 먼저 백호우 등 장비를 수동 조작에 의해 흡입구를 제어하는 방식(6개 공법)과 프로그램에 의한 기계적 조작에 의해 흡입구를 제어하는 방식(7개 공법)이 있다. 또한, 수거 깊이 제어의 경우와 같이 해황에 영향을 받지 않고, 수거선의 정밀한 자세제어가 가능한 공법은 6개 공법뿐이므로, 대부분의 수거공법에서 흡입구의 정밀한 위치제어는 매우 어려운 것으로 판단된다. 그러므로 향후 흡입구의 정밀한 위치 제어는 시급히 개선할 필요가 있는 것으로 판단된다.

⑦ 탁도(부유물질) 발생정도

현행 수거공법의 탁도(부유물질) 발생정도에 대한 관련 자료는 일부에 국한되므로, 현 단계에서 평가하기는 매우 제한된다. 다만, '나' 및 '아' 공법의 특성조사 결과, 수거 작업시 수거 펌프를 중심으로 반경 20m 경계선의 바닥으로부터 2m 상부에 위치한 수층에서 측정된 부유물질 농도가 주변해수의 부유물질 농도보다 20mg/L 이상을 초과하지 않는 것으로 사료된다. 그러나 향후 다른 수거공법에 대한 특성조사를 실시할 필요가 있는 것으로 판단된다.

2) 외국의 환경준설 공법 검토

현재 국내에서는 유압식에 의한 펌프설비로 해양오염퇴적물을 수거하고 있다. 그러나 미국, 유럽, 일본에서는 기계식, 유압식, 혼합식, 기타 공법 등 다양한 공법들이 해양오염퇴적물 준설(수거)에 사용되고 있다. 표 3-2-5에 대표적인 수거공법의 특성을 나타내었다.

표 3-2-5. 수거공법의 특성 비교³¹⁾

구분	기계식 준설		유압식 준설		
	클램셸	버킷	커터헤드	단순흡입	유압식
준설능력 (m ³ /hr)	45~200		20~90		지역특성
수직정확도 (cm)	15	15	10	10	15
수평정확도 (cm)	10	10	10	10	10
준설깊이 (m)	N/A	N/A	15	15	45
퇴적물 재부유 가능성	고	고	중	저	저
퇴적물 유출 가능성	고	고	중	중	중
기동성 및 기기운반성	고	고	저	저	저
퇴적물 제거능력	고	고	저	저	중
상대적 제거 비용	저	저	고	고	중
외부환경에 따른 운용 유연성	고	고	고	저	저

최근 환경준설(Environmental Dredging)의 개념이 도입되어, 과도한 준설을 방지하고, 높은 정밀도로 오염된 퇴적층만을 제거하며, 수거시 오염퇴적물의 확산 및 부유물질의 발생을 억제하는 다양한 수거공법들이 사용되고 있다. 혁신적인 준설공법으로는 제3장 제1절에서 살펴본 환경그랩, 환경오거준설선, 디스크바닥준설선, 국자형준설기, 저혼탁준설헤드 등이 사용되고 있다.

2) 개선방안

현행 국내 해양오염퇴적물 수거공법의 현황 및 특성조사 결과 그리고 외국의 환경준설 공법과 비교 등을 기초로 검토한 결과, 향후 국내 해양오염퇴적물 수거공법은 다음과 같은 개선이 필요할 것으로 사료된다.

31) EPA. 2005. Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites.

① 첫째, 펌프설비 이외의 다양한 수거공법 개발

현행 수거공법은 유압식 즉 펌프설비에 의한 흡입으로 해양오염퇴적물을 수거하므로, 수거시 다량의 해수를 포함하게 되므로, 수거후 운송 및 중간처리를 위해서는 대상물량을 감축할 필요가 있다. 또한, 오염도를 낮추기 위한 중간처리는 처리 대상물질의 함수율을 공정에 적합한 수준으로 저감시킬 필요가 있다. 이 경우, 수거 직후 탈수 등을 위한 공정에 많은 시간과 비용이 요구되므로, 미국, 유럽, 일본 등의 환경준설에 사용되는 수거공법과 같은 수거시 환경에 미치는 영향이 작은 기계식, 유압식, 혼합식 및 기타 혁신적인 수거공법을 국내에 시급히 도입하여 우리나라의 특성에 적합한 수거공법을 개발하고, 이를 실제 정화사업에 사용하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

② 선박항행을 방해하지 않는 혁신적인 수거공법 개발

정화사업 현장에서는 오탁방지막이 사용되는데, 이 경우 대형 선박의 통행이 제한될 수 있다. 일본의 경우 소형 이동식 오탁방지막을 수거선에 설치하여 기계식, 유압식 또는 환경그랩 등을 사용하여 해양오염퇴적물을 수거하고 있다. 이러한 공법은 선박의 항행을 방해하지 않고, 인접지역에 선박이 통행할 경우, 신속히 이동할 수 있으므로 항로구역에서도 해양오염퇴적물의 수거가 가능하다. 또한, 사용하는 오탁방지막은 해저면까지 설치할 수 있으므로 수거과정에서 부유토사의 확산 등 2차오염을 방지할 수 있다. 그러므로 이러한 수거공법 역시 국내 정화사업에 도입이 시급한 것으로 판단된다.

③ 정화사업시 대상 해역별 최적 수거공법 선정을 위한 기술심사 도입

외국의 정화사업에서는 대상 해역별 특성에 적합한 수거공법과 처리방안을 선정하기 위한 사전 기술심사(Prequalification: PQ)가 보편화 되어있다. 현재 우리나라의 정화사업에서는 가격에 의한 투찰로 사업수행자를 선정하고 있으므로, 선정된 사업수행자의 수거선 또는 수거공법으로 수거시 수거효율이 낮거나, 대상 해역의 특성에 적합하지 않을 경우, 사업추진이 지연되는 등 많은 문제점이 발생하고 있다. 그러므로 이러한 문제점을 보완하고, 효율적인 정화사업 추진을 위해서는 향후 대상 해역별 최적 수거공법 선정을 위한 사전 기술심사(PQ) 제도의 도입을 검토할 필요가 있는 것으로 사료된다.

제3절 결론

해양오염퇴적물 수거공법 현황 및 특성을 파악하기 위하여, 2010년 9월 현재 퇴적오염물질수거업 등록업체 13개 업체를 대상으로 조사한 결과, 현재 등록된 퇴적오염물질전용수거선은 총 13척이며, 국내에서 개발된 선박은 4척, 미국 또는 일본에서 정화사업에 사용되었던 오니준설선 등 장비를 중고로 도입한 선박은 5척, 바지선을 활용한 선박은 4척으로 나타났다. 수거선에 설치된 펌프설비의 종류는 진공흡입식 펌프 5개, 원심펌프 1개, 유압트래쉬 펌프 2개, 기압차 펌프 2개, 우즈펌프 1개 등 매우 다양하다. 상기 수거선 중 총 7척은 실제 외국의 오염퇴적물 정화사업에서 사용된 장비들이다. 등록된 전용수거선 중 4척은 수거 가능 심도가 13 ~ 20m이며, 나머지는 수거 가능 심도가 9m까지로 나타났다. 등록된 전용수거선 중 1척은 선박 내부에 해양오염퇴적물을 수거하기 위한 설비 이외에 수거한 퇴적물의 오염도 저감을 위한 처리장치와 수처리 설비가 설치되어있다.

국내 해양오염퇴적물수거업 등록업체의 수거공법 13개 중 현재 정화사업에서 오염퇴적물 수거에 사용되는 2개 공법('아'업체, '나'업체)을 대표적인 수거공법으로 선정하여 현재 오염퇴적물 수거사업이 진행되고 있는 부산남항 수거사업 구역에서 각 공법별로 수거 과정에서 발생하는 탁도를 측정, 평가하였다. '아'업체의 공법은, 흡입구 주변 3m지점의 우측 3개 지점에서는 17.8 ~ 41.7mg/L로서 표층부터 수심 6m까지 편차가 $\pm 20\%$ 로 지점별로 일정한 분포를 보였으나 6m아래 저층에서는 급격하게 증가하여 배경농도보다 최대 50%까지 증가하였다. 그러나 흡입구 주변 5m 지점과 10m 지점에서는 편차가 $\pm 20\%$ 로 지점별로 일정한 분포를 나타내고 있고, 수심에 따른 편차의 증감도 일정한 분포를 보이고 있어 수거공정시 발생하는 부유퇴적물의 영향이 흡입구 주변 5m 이상 지점에서는 미미한 것으로 사료된다. '나'업체의 공법은, 수거과정에서 발생한 부유퇴적물이 흡입구 주변 3m 지점에서는 15.8 ~ 168mg/L로서 수심 4m이하 저층에서 영향을 주고 있으며 흡입구 주변 5m와 10m 지점에서도 조류에 영향을 받는 지점의 수심 6m이하 저층에서 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

특성조사 결과 및 외국 사례 검토를 기초로 퇴적오염물질 수거작업시 부

유물질의 발생으로 인한 환경피해 최소화를 위하여 제시한 기준은 수거 작업시 수거 펌프를 중심으로 반경 20m 경계선의 바닥으로부터 2m 상부에 위치한 수층에서 측정된 부유물질 농도가 주변해수의 부유물질 농도보다 20mg/L 이상을 초과하여서는 아니 되며, 20m 경계선에서의 부유물질의 농도를 측정할 때에는 물의 흐름이 진행되는 방향을 포함하여 적어도 4정점 이상을 포함하여야 한다.

한편, 국내 해양오염퇴적물 정화사업의 효율적인 추진을 위해서는 향후 펌프설비 이외에 미국, 유럽, 일본의 환경준설에 사용되는 다양한 기계식, 유압식, 혼합식 및 기타 혁신적인 수거공법을 도입하여 우리나라 실정에 적합한 수거공법을 개발하고, 이를 실제 정화사업에 사용하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 또한 정화사업시 대상해역별 최적 수거공법 및 처리방안 선정을 위한 사전 기술심사(PQ) 제도의 도입을 검토할 필요가 있다.

제 4 장
해양오염퇴적물 중간처리
방류수 수질기준 마련

제 4 장 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질기준 마련

제1절 해양오염퇴적물 중간처리 기술 현황

1. 해양오염퇴적물 중간처리 기술 개요

해양오염퇴적물의 중간처리 과정에서 방류수가 발생하는 이유는 다음 세 가지 경우이다:

- 수거한 퇴적물의 탈수과정에서 발생,
- 오염도 저감 등 중간처리 공정에서 발생,
- 준설토투기장에 투기시 발생

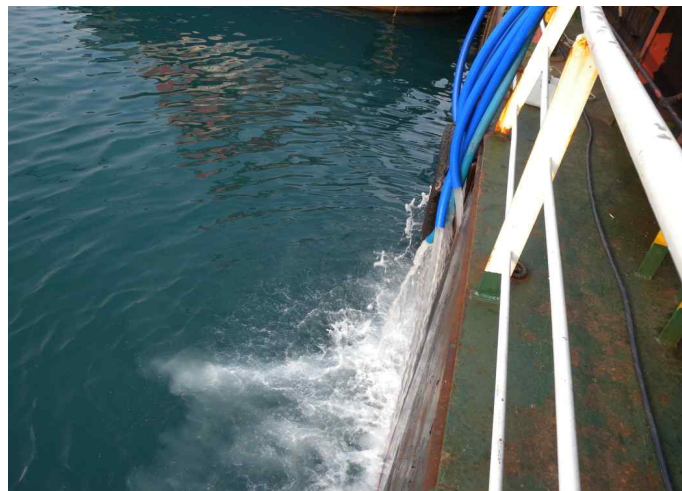
방류수는 해양오염퇴적물 정화사업이 수행되는 기간 동안 몇 주내지 몇 개월 정도 연속적으로 발생하며, 오염퇴적물의 처리과정에 기인한 유해화학물질 또는 부영양화물질이 포함된다.

현재 우리나라의 해양오염퇴적물 정화사업에서는 펌프 설비를 갖춘 퇴적오염물질전용수거선(해양환경관리법 시행규칙 제36조 제3항 관련 별표14 해양환경관리업의 등록기준)을 사용하여 오염퇴적물을 수거하고 있다. 펌프설비로 오염퇴적물을 수거하는 경우, 펌프설비의 특성상 오염퇴적물과 함께 다량의 해수를 흡입한다. 수거공법별 함유율은 펌프설비의 특성에 따라 달라지며, 약 10 ~ 30%정도이다. 수거 오염퇴적물에 함유된 오염물질 등을 저감시키기 위한 중간처리를 위해서는 탈수(Dewatering)가 필요하다. 또한 수거된 오염퇴적물을 이송할 경우에도, 탈수하여 대상물량을 감량하는 것이 보다 경제적이고 효율적이다. 해양오염퇴적물 정화사업 현장에서 주로 사용되는 탈수기술은 고분자 응집제 등을 사용하는 응집침전, 토목섬유(Geotextiles)를 사용한 여과, 원심분리 등이다. 방류수는 이러한 탈수처리 과정에서 발생하며, 방류수의 양은 오염퇴적물의 흡입량(수거량)에 비례하여 증가한다. 수거 해양오염퇴적물의 탈수 등 중간처리 과정을 그림 4-1-1에 나타내었다.



수거 오염퇴적물 중간처리선 이송

토목섬유 여과



중간처리(토목섬유 여과, 사여과) 후 방류

그림 4-1-1. 수거 해양오염퇴적물의 중간처리 과정

수거 오염퇴적물을 매립, 고립 등 최종처리(처분)에 앞서서 오염퇴적물에 함유된 중금속 등 오염물질을 저감시키는 중간처리가 필요한 경우도 있다. 오염퇴적물의 중간처리에는 분리, 세척, 추출, 고정화, 안정화, 열처리 등 처리기술이 주로 사용되고 있다¹⁾. 이러한 중간처리 과정에서 발생하는 액상 역시 방류수이다. 그러나 이 경우 발생하는 방류수는 처리공법에 포함된 자체 수처리 시설에서 처리되거나, 폐수 처리시설에서 처리 후 방류된다(그림 4-1-2).

1) Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program, USEPA, <http://www.epa.gov/greatlakes/arcs/EPA-905-B94-003/B94-003.ch6.html>

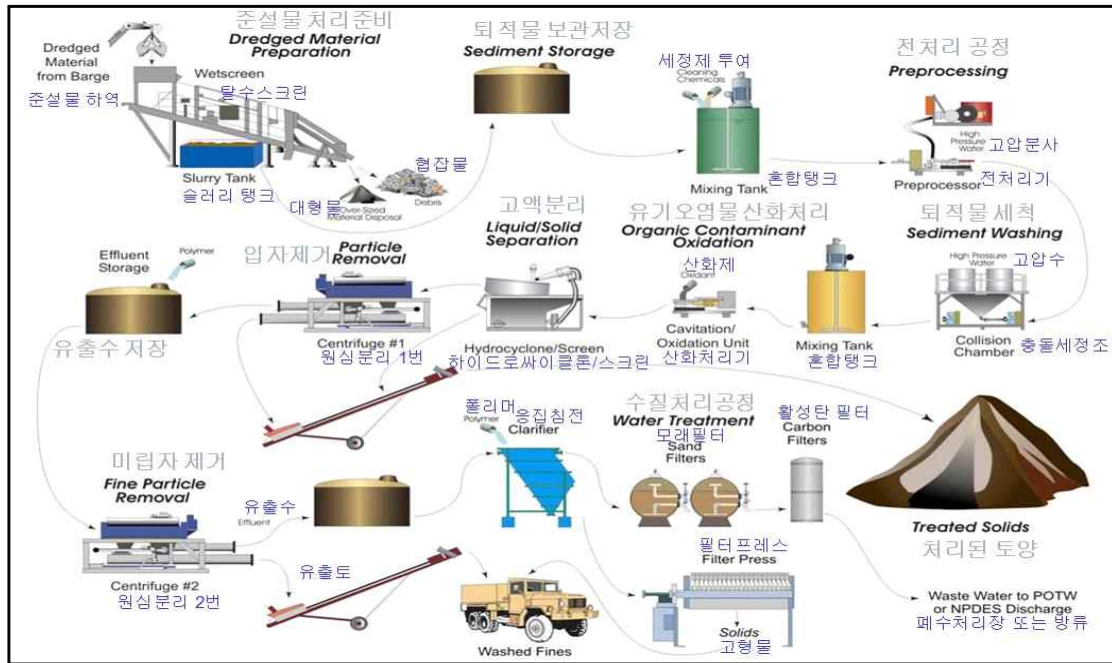
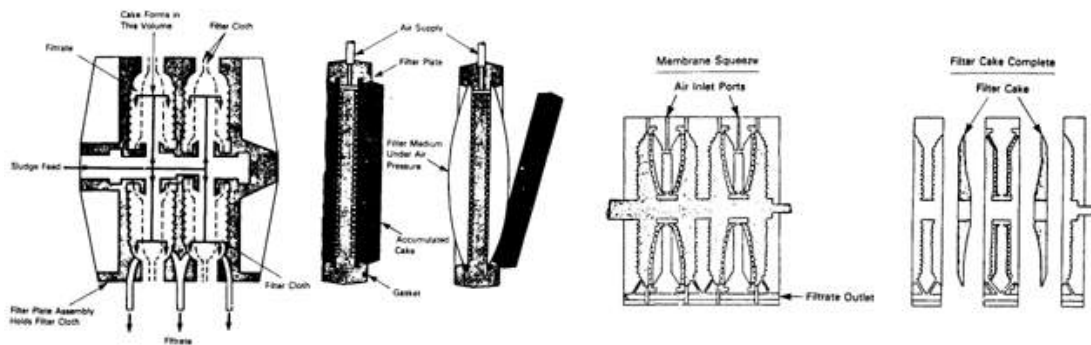


그림 4-1-2. 오염퇴적물에 함유된 오염물질을 저감시키는 중간처리 사례

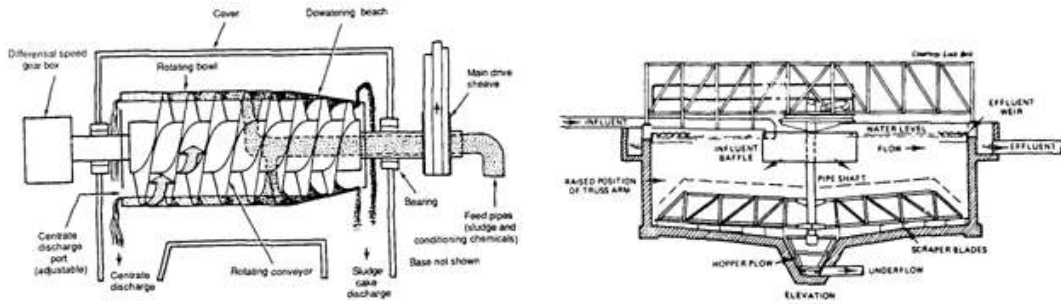
오염도 저감을 위한 중간처리 후 처리된 산물은 기계식 탈수(Mechanical dewatering)공법에 의해 탈수된 다음 최종 산물로서 탈수 케익(Cake)을 생성하는 것이 일반적이다. 기계식 탈수공법은 고형물 함량을 약 70%까지 증가시킬 수 있다. 기계식 탈수공법에는 필터 프레스, 진공 필터 등 다양한 장치가 사용된다(그림 4-1-3). 대표적인 탈수장치의 특성과 소요비용을 표 4-1-1과 4-1-2에 각각 나타내었다).



오목 판 필터(recessed plate filter) 격막 판 필터(diaphragm plate filter)

그림 4-1-3. 다양한 기계식 탈수장치

2) Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program, USEPA, <http://www.epa.gov/greatlakes/arcs/EPA-905-B94-003/B94-003.ch6.html>



원심분리(centrifugation) 중력 농축(gravity thickening)
 그림 4-1-3 (계속)

표 4-1-1. 중간처리에 사용되는 탈수 처리기술별 특성

처리기술		케익 고형물(%)	고형물 회수율 (%)
벨트 필터프레스		30 ~ 90	90 ~ 95
필터 프레스	오목 판	40 ~ 46 (90 이상)	98
	격막 판	45 ~ 50 (90 이상)	98
	회분식 판, 프레임필터	90 이상	
진공 필터		25 ~ 33 (70 이상)	85 ~ 90
고형물 불(bowl) 원심분리기		29 ~ 36	90 ~ 95
중력 농축기		10 ~ 50	

표 4-1-2. 필터프레스 사용시 소요비용 사례

공급 (고형물 함량 %)	비용 (\$/ton, 건조 고형물)	비용 (\$/cubic yard)
10	136 ~ 452	83 ~ 275
20	63 ~ 211	38 ~ 129
30	39 ~ 131	24 ~ 80
40	27 ~ 91	16 ~ 55

수거 해양오염퇴적물을 준설토투기장 등에서 최종처리(처분)하는 경우, 오염퇴적물의 투기량에 비례하여 방류수가 발생한다. 이 경우 중금속, 지속성유기오염물질 등 각종 오염물질들과 부영양물질이 포함된 방류수가 발생할 수 있으므로 각별한 주의가 필요하다. 최종처리장에서 오염퇴적물 투기에 의한 방류수 발생과정의 모식도를 그림 4-1-4에 나타내었다.

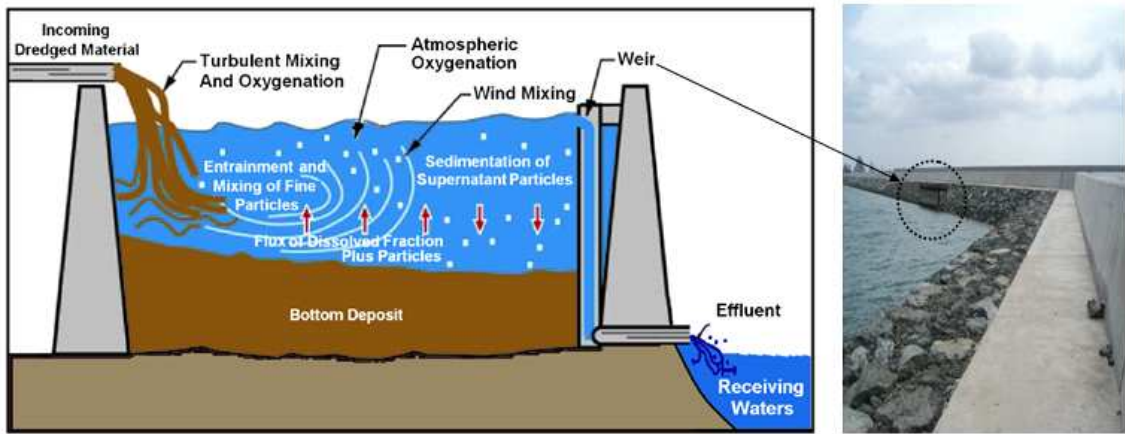


그림 4-1-4. 최종처리장에서 오염퇴적물 투기에 의한 방류수 발생과정

2. 국내 해양오염퇴적물 중간처리 기술 현황 조사

중간처리 기술 현황조사는 수거 해양오염퇴적물의 탈수, 악취제거, 물리적 분리 등에 활용 가능한 기술로서, 해양오염퇴적물 수거 기술 분야의 퇴적오염물질수거업 등록업체(13개), 준설 기술과 관련하여 전문건설업 중 준설업 면허 보유 업체(40개) 및 오염토양 정화 분야의 토양정화업 등록업체(120개) 등을 대상으로 하였다. 기술 현황 조사는 관련된 분야의 기술을 보유하고 있는 총 173개 업체에 협조조건과 기술현황 조사서를 발송한 다음, 2010년 8월 26일부터 9월 7일까지 기술현황 조사서를 접수하여 정리하였다. 상기 업체에 발송한 공문(그림 4-1-5)과 중간처리 기술현황 조사 설문지³⁾는 다음과 같다.

3) 참고자료로 본문 내용에 별첨

[참고자료: 중간처리 기술 현황조사 설문지]

해양오염퇴적물 중간처리(탈수, 악취제거, 기타 물리적 분리 등) 기술 현황조사

1. 연락처

담당자 연락처	성명: _____	전화번호: _____	팩스번호: _____
	연락처: (우편번호: _____) 주소: _____도(시) _____군(구) _____동 _____번지 _____		이메일: _____
회사 연락처	업체명: _____	대표자 성명 : _____	업종 : _____
	전화번호: _____	팩스번호: _____	이메일: _____
	연락처: (우편번호: _____) 주소: _____도(시) _____군(구) _____동 _____번지 _____		웹사이트: _____

2. 기술 현황 : 귀 업체가 보유하고 있는 기술들 중에서 해양에서 수거된 해양오염퇴적물의 중간처리 기술로서 탈수, 악취제거, 기타 물리적 분리 등에 적용 가능한 기술이 있으시면 다음의 설문지를 작성해 주시기 바랍니다.

1) 보유기술의 종류

(기술의 분류상 종류를 간략하게 기록: 예)탈수, 악취제거, 기타 등)

2) 보유하고 계신 기술 및 시설로 해양오염퇴적물의 중간처리(탈수, 악취제거, 기타 물리적 분리 등)에 적용 가능하십니까?

탈수 ()	악취제거 ()	탈수, 악취제거 ()	기타 ()
공정 변경시 가능 ()	실적은 없으나 현시설로 가능 ()	실적 있음 ()	
해양오염퇴적물 또는 퇴적물의 <u>중간처리(탈수, 악취제거, 기타) 실적</u> 이 있을 경우, <u>사업실적 횟수</u> 를 적어 주시기 바랍니다. (회) 가능하면, <u>사업실적 자료</u> 도 함께 제출하여 주시기를 부탁드립니다.			

3) 보유하고 계신 기술 및 시설이 개별적으로 또는 동시에 해양오염 퇴적물의 중간처리에 사용 가능한 상태에 있습니까?

개별 적용 가능 탈수, 악취제거, 기타 중 1개 ()	동시 적용 가능 탈수 및 악취제거 또는 기타 ()
(기타 의견이 있으시면 기록하여 주세요)	

4) 보유기술의 개발상태는 다음 중 어디에 해당됩니까?

실제 해양오염퇴적물 정화사업에 사용 가능한 상태(Full scale)의 시설 보유시 F, 시험(실험) 수준의 상태(Pilot scale)시 P, 단기간에 처리시설 확보가 가능한 상태일 경우 R

탈수			
기술은 있으나 시설은 없음 ()	R ()	P ()	F ()
악취제거			
기술은 있으나 시설은 없음 ()	R ()	P ()	F ()
귀사에서 보유하고 계시는 처리장치 관련 자료(사진, 규격 등)를 함께 제출하여 주시기를 부탁드립니다, 기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.			

5) 보유하고 계신 기술(또는 시설)은 해양오염퇴적물의 탈수, 악취제거(또는 기타 물리적 분리 등)에 효과적입니까?

탈수	효과 없음 ()	제한적 효과 있음 ()	효과 있음 ()	조건에 따라 다름 ()
악취제거 (또는 기타)	효과 없음 ()	제한적 효과 있음 ()	효과 있음 ()	조건에 따라 다름 ()
제거 가능 악취				
처리 효율과 관련, 귀 회사에서 해양오염퇴적물 또는 퇴적물(하천, 호수 등)에 대한 검증된 자료를 보유하고 계시면 함께 제출하여 주시기를 부탁드립니다, 기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.				

6) 현재 보유하고 계신 기술(또는 시설)을 정상적으로 운영할 경우, 단위 시설당 일일 처리용량은 어느 정도입니까?

탈수	
단위시설당 일일 처리용량 :	() m ³ /시간
	() m ³ /일
악취제거(또는 기타)	
단위시설당 일일 처리용량 :	() m ³ /시간
	() m ³ /일
기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.	

6-1) 현재 보유하고 계신 시설이 복수일 경우, 해양오염퇴적물의 중간처리시 운용 가능한 보유 시설의 수량 및 최대 처리 용량은 어느 정도입니까?

탈수	
시설 수량 :	() 개
최대처리용량 :	() m ³ /시간
	() m ³ /일
악취제거(또는 기타)	
시설 수량 :	() 개
최대처리용량 :	() m ³ /시간
	() m ³ /일
귀사에서 보유하고 계시는 장비의 현황 및 처리용량 관련 자료를 함께 제출하여 주시길 부탁드립니다, 기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.	

7) 시설비와 관련, 실제 정화사업에 사용 가능한 중간처리시설 보유시, 제작 비용은 어느 정도 소요되었습니까?

탈수				
0.5억원 미만 ()	0.5~1억원 ()	1~5억원 ()	5~10억원 ()	10억원 이상 ()
악취제거(또는 기타)				
0.5억원 미만 ()	0.5~1억원 ()	1~5억원 ()	5~10억원 ()	10억원 이상 ()
기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.				

8) 해양오염퇴적물의 중간처리에 사용하기 위한 용도로 시간당 100 m³ 이상의 처리용량을 가진 시설을 제작한다면, 어느 정도의 비용이 소요될 것으로 보십니까?

탈수				
0.5억원 미만 ()	0.5~1억원 ()	1~5억원 ()	5~10억원 ()	10억원 이상 ()
악취제거(또는 기타)				
0.5억원 미만 ()	0.5~1억원 ()	1~5억원 ()	5~10억원 ()	10억원 이상 ()
기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.				

8-1) 상기(100 m³/시간)와 같은 용량의 시설을 제작하는데는 어느 정도의 기일이 소요될 것으로 예상하십니까?

1 개월 미만 ()	1 ~ 2 개월 ()	2 ~ 3 개월 ()	3~ 5 개월 ()	5 개월 이상 ()
----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------

9) 보유하고 계신 기술 또는 시설로 해양오염퇴적물을 중간처리할 경우, 실제 처리시설의 설치, 운전, 유지보수 비용, 이윤 등을 감안하여 처리비용은 단위 부피당 어느 정도 소요될 것으로 예상하십니까?

9-1) 총 처리물량이 다음과 같은 경우

10,000 m ³ 미만	10,000 ~ 50,000m ³	50,000 ~ 10,0000m ³	100,000 ~ 200,0000m ³	200,000 m ³ 이상
() 원/m ³	() 원/m ³	() 원/m ³	() 원/m ³	() 원/m ³
처리비용을 추정할 수 있는 관련 자료가 있으면 함께 제출하여 주시길 부탁드립니다, 기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.				

9-2) 사용 약품 및 비용

<p>탈수, 약취제거 또는 기타 물리적 분리 등 공정별로 사용하시는 약품(품명, 주성분 등, 예: 고분자 응집제, PAC) 및 단위부피당 소요 약품 비용 관련 자료를 함께 제출하여 주시길 부탁드립니다, 기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.</p>

10) 보유하고 계신 기술 또는 시설은 어떻게 구성되어 있습니까? 또한, 탈수처리 공정 중 악취제거 기능이 포함되어 있습니까?

포함 ()	불포함 ()	필요시 포함 가능 ()
<p>귀사에서 보유하고 계시는 <u>탈수, 악취제거 등 중간처리 기술의 특성, 장점, 단점, 공정도 및 기타 관련자료(또는 공정에 대한 간략한 요약)를 함께 제출하여 주시기를 부탁드립니다, 기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.</u></p>		

11) 보유하고 계신 중간처리 시설을 실제 해양오염퇴적물 정화사업 현장(예: 해상 바지선 위)에 이동 설치할 경우, 초기 설치비용은 어느 정도 소요됩니까?

<p>탈수: 초기 설치비용/보유시설 : () 백만원 악취제거: 초기 설치비용/보유시설 : () 백만원</p>

11-1) 해양오염퇴적물 중간처리를 위한 처리용량 100 m³/시간 이상의 시설을 연안에 설치할 경우, 초기 설치비용(제작비용 제외) 은 어느 정도 소요될 것으로 예상합니까?

<p>탈수: 초기 설치비용/100 m³/시간 규모 : () 백만원 악취제거: 초기 설치비용/100 m³/시간 규모 : () 백만원</p>

12) 해양오염퇴적물의 중간처리(용량 100 m³/시간 이상)를 위하여 모든 공정을 포함한 시설(단위시설)을 설치하기 위하여 요구되는 공간(면적, 높이)은 어느 정도입니까?

탈수	면적 : () m ² , 높이 : () m
악취제거	면적 : () m ² , 높이 : () m
기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.	

12-1) 만약, 해양오염퇴적물의 중간처리를 위하여 해안에 인접하여 귀 회사의 시설을 설치, 운용하기 위하여, 그 외 요구되는 부대 시설로 필요한 사항이 있으시면 기술하여 주시기 바랍니다.

<p>운용시 필요사항(선박에 설치가능 여부, 시설 설치기간, 부대시설, 보관시설 등)과 기타 의견이 있으시면 제시 바랍니다.</p>

13) 우리나라에서는 과거 해양오염퇴적물 정화사업을 수행하면서 수거된 해양오염퇴적물에 대하여 응집·침전에 의한 탈수공정을 제외하면, 탈수 또는 악취제거 등 중간처리 기술을 사용한 사례가 없습니다. 이와 관련, 현재 국내 해양오염퇴적물의 중간처리 방안에 대한 귀하의 의견을 구하고자 합니다.

13-1) 해양오염퇴적물을 수거 현장에서 중간처리에 있어서 현재 국내의 기술 및 시설로서 충분하게 처리가 가능하다고 보십니까?

충분 ()	부족 ()
부족할 경우, 필요한 사항은 무엇이라고 생각하십니까?	

13-2) 기타 해양오염퇴적물 중간처리 혹은 정화사업과 관련하여 제안할 사항이 있으시면 기록해 주시기 바랍니다.

※ 설문지의 여백이 부족할 경우, 별지에 작성하셔서 첨부바랍니다.

설문지를 작성하시고, 회신하여 주셔서 대단히 감사합니다.

3. 국내 해양오염퇴적물 중간처리 기술 현황 조사결과

해양오염퇴적물 중간처리 기술과 관련하여 총 173개 업체를 대상으로 한 조사에서 총 10개 업체에서 회신한 기술 현황조사서를 취합한 결과는 다음과 같다.

1) 보유기술의 종류 (탈수, 악취제거, 물리적 분리 등)

구분	탈수	악취제거	물리적 분리	기타
업체수	7	8	1	

2) 보유하고 계신 기술 및 시설로 해양오염퇴적물의 중간처리(탈수, 악취제거, 기타 물리적 분리 등)에 적용 가능하십니까?

탈수	악취제거	탈수, 악취제거	기타
1	2	6	1

공정변경시 가능	실적 무, 현시설로 가능	실적 있음
	3	7

- 탈수

사업횟수 (회)	1~5	5~10	10~20	20~30	30 이상	무응답
업체수	3			1		6

- 악취제거

사업횟수 (회)	1~5	5~10	10~20	20~30	30 이상	무응답
업체수	3			1		6

- 기타

사업횟수 (회)	1~5	5~10	10~20	20~30	30 이상	무응답
업체수	1					9

3) 보유하고 계신 기술 및 시설이 단독으로 해양오염퇴적물의 처리에 사용 가능한 상태에 있습니까?

탈수, 악취제거, 기타 중 1개	탈수, 악취제거 동시	현재 적용 불가능
4	6	

4) 보유기술의 개발상태는 다음 중 어디에 해당됩니까?

- 탈수

기술 유, 시설 무	Ready	Pilot	Full
		1	7

- 악취제거

기술 유, 시설 무	Ready	Pilot	Full
1			8

- 기타

기술 유, 시설 무	Ready	Pilot	Full
			1

5) 보유하고 계신 기술(또는 시설)은 해양오염퇴적물의 탈수, 악취제거(또는 기타 물리적 분리 등)에 효과적입니까?

- 탈수

사업횟수	효과 없음	제한적 효과있음	효과있음	조건에 따라 다름
업체수		1	6	2

- 악취제거

사업횟수	효과 없음	제한적 효과있음	효과있음	조건에 따라 다름
업체수		1	8	1

- 제거 가능 악취

H ₂ S, Methylmercaptans, Thiols, Sulphides(1개 업체) VOCs, Mercaptans(1개 업체) 복합악취, 지정악취(1개 업체) 메탄, 황화합물(1개 업체)

6) 현재 보유하고 계신 기술 또는 시설을 정상적으로 운영할 경우, 단위 시설당 일일 처리용량은 어느 정도입니까?

- 탈수

처리용량 (m ³ /h)	1~10	10~20	20~30	30~50	50~70	70~100	100~200	200 이상	무응답
업체수		1	2	1		3			3

처리용량 (m ³ /d)	1~80	80~160	160~240	240~400	400~560	560~800	800~1,600	1,600 이상
업체수		1			1	1		3

- 약취제거

처리용량 (m ³ /h)	1~10	10~20	20~30	30~50	50~70	70~100	100~200	200 이상	무응답
업체수	1			1	1	2	2	1	2

처리용량 (m ³ /d)	1~80	80~160	160~240	240~400	400~560	560~800	800~1,600	1,600 이상
업체수	1				1	1	1	3

6-1) 현재 보유하고 계신 시설이 복수일 경우, 해양오염퇴적물의 중간처리시
운용 가능한 보유 시설의 수량 및 최대 처리 용량은 어느 정도입니까?

- 탈수

구분	1~2개	3개	3개 이상	무응답
시설수량	2		3	5

처리용량 (m ³ /h)	1~10	10~20	20~30	30~50	50~70	70~100	100~200	200 이상
업체수	1	1			1			2

처리용량 (m ³ /d)	1~80	80~160	160~240	240~400	400~560	560~800	800~1,600	1,600 이상
업체수	1	1			1			2

- 약취제거

구분	1~2개	3개	3개 이상	무응답
시설수량	3	1	2	4

처리용량 (m ³ /h)	1~10	10~ 20	20~ 30	30~ 50	50~ 70	70~ 100	100~ 200	200 이상
업체수	1	1	1				1	2

처리용량 (m ³ /d)	1~80	80~ 160	160~ 240	240~ 400	400~ 560	560~ 800	800~ 1,600	1,600 이상
업체수	1	1						3

7) 시설비와 관련, 실제 정화사업에 사용 가능한 중간처리 시설 보유시, 제작 비용은 어느 정도 소요되었습니까?

- 탈수

제작비용 (억원)	0.5 미만	0.5~1	1~5	5~10	10 이상	무응답
업체수			5		2	3

- 악취제거

제작비용 (억원)	0.5 미만	0.5~1	1~5	5~10	10 이상	무응답
업체수		1	3	3	1	2

8) 해양오염퇴적물을 중간처리에 사용하기 위한 용도로 시간당 100 m³ 이상의 처리용량을 가진 시설을 제작한다면, 어느 정도의 비용이 소요될 것으로 보십니까?

- 탈수

제작비용 (억원)	0.5 미만	0.5~1	1~5	5~10	10 이상	무응답
업체수			3	1	3	3

- 약취제거

제작비용 (억원)	0.5 미만	0.5~1	1~5	5~10	10 이상	무응답
업체수		1	4	1	3	1

8-1) 상기(100 m³/시간)와 같은 용량의 시설을 제작하는데는 어느 정도의 기
일이 소요될 것으로 예상하십니까?

소요기간 (개월)	1 미만	1~2	2~3	3~5	5 이상	무응답
업체수	3	1	2	4		

9) 보유하고 계신 기술 또는 시설로 해양오염퇴적물을 중간처리할 경우, 실
제 처리시설의 설치, 운전, 유지보수 비용, 이윤 등을 감안하여 처리비용
은 단위 부피당 어느 정도 소요될 것으로 예상하십니까?

9-1) 총 처리물량이 다음과 같을 경우

- 1만m³ 미만

예상비용 (만원/m ³)	5 미만	5~10	10~15	15~20	20 이상	무응답
업체수	3	1	1			5

- 1~5만m³ 미만

예상비용 (만원/m ³)	5 미만	5~10	10~15	15~20	20 이상	무응답
업체수	3		1			6

- 5~10만m³ 미만

예상비용 (만원/m ³)	5 미만	5~10	10~15	15~20	20 이상	무응답
업체수	3	1				6

- 10~15만m³ 미만

예상비용 (만원/m ³)	5 미만	5~10	10~15	15~20	20 이상	무응답
업체수	3	1				6

- 15~20만m³ 미만

예상비용 (만원/m ³)	5 미만	5~10	10~15	15~20	20 이상	무응답
업체수	4					6

9-2) 사용 약품 및 비용

응집제: 5천원/m ³ , 고화제: 30천원/m ³ (1개 업체) 응집제: 1.5천원/m ³ (1개 업체)

10) 보유하고 계신 기술 또는 시설은 어떻게 구성되어 있습니까? 또한, 탈수 처리 공정 중 악취제거 기능이 포함되어 있습니까?

포함	불포함	필요시 포함 가능	무응답
5	1	3	1

11) 보유하고 계신 중간처리 시설을 실제 해양오염퇴적물 정화사업 현장(예: 해상 바지선 위)에 이동 설치할 경우, 초기 설치비용은 어느 정도 소요 됩니까?

- 탈수

예상비용 (백만원)	1~5	5~10	10~50	50~ 100	100~ 500	500 이상	무응답
업체수	1	2		1	2	2	2

- 악취제거

예상비용 (백만원)	1~5	5~10	10~50	50~ 100	100~ 500	500 이상	무응답
업체수		2		2	1	2	3

11-1) 해양오염퇴적물 중간처리를 위한 처리용량 100 m³/시간 이상의 시설을 연안에 설치할 경우, 초기 설치비용(제작비용 제외) 은 어느 정도 소요될 것으로 예상합니까?

- 탈수

예상비용 (백만원)	1~5	5~10	10~50	50~ 100	100~ 500	500 이상	무응답
업체수	1	2		1	1	3	2

- 악취제거

예상비용 (백만원)	1~5	5~10	10~50	50~ 100	100~ 500	500 이상	무응답
업체수		2		1	3	1	3

12) 해양오염퇴적물의 중간처리(용량 100 m³/시간 이상)를 위하여 모든 공정을 포함한 시설(단위시설)을 설치하기 위하여 요구되는 공간(면적, 높이) 은 어느 정도입니까?

- 탈수

예상면적 (백m ²)	1~5	5~10	10~50	50~ 100	100~ 500	500 이상	무응답
업체수			3		3	2	2

예상높이 (m)	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6 이상	무응답
업체수		1	3	2	1	1	2

- 악취제거

예상면적 (백m ²)	1~5	5~10	10~50	50~ 100	100~ 500	500 이상	무응답
업체수			1	1	1	1	6

예상높이 (m)	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6 이상	무응답
업체수		1	2			1	6

12-1) 만약, 해양오염퇴적물의 중간처리를 위하여 해안에 인접하여 귀 회사의 시설을 설치, 운용하기 위하여 그 외 요구되는 부대 시설로 필요한 사항이 있으시면 기술하여 주시기 바랍니다.

Hopper, feeder 설치 필요(1개 업체)
 이동식으로 선박에 설치 가능, 전력공급 필요(1개 업체)
 전기, 용수 공급 필요(3개 업체)
 이동식 설비를 컨테이너에 수납 가능, 해상에 설치 가능(1개 업체)

13) 우리나라에서는 과거 해양오염퇴적물 정화사업을 수행하면서 수거된 해양오염퇴적물에 대하여 응집침전에 의한 탈수공정을 제외하면, 탈수 또는 악취제거 등 중간처리 기술을 사용한 사례가 없습니다. 이와 관련, 현재 국내 해양오염퇴적물의 중간처리 방안에 대한 귀하의 의견을 구하고자 합니다.

13-1) 해양오염퇴적물을 수거 현장에서 중간처리에 있어서 현재 국내의 기술 및 시설로서 충분하게 처리가 가능하다고 보십니까?

충분	부족	무응답
8	1	1

중간처리, 최종처리 개념 정립 및 재활용 기술개발 필요(1개 업체)
간이 탈수만으로는 매립을 위한 함수율 확보가 어려움(1개 업체)

13-2) 기타 해양오염퇴적물 중간처리 혹은 정화사업과 관련하여 제안할 사항
이 있으시면 기록해 주시기 바랍니다.

수거 해양오염퇴적물을 처리 후 일정 기준 충족시 육상에서 재활용 할
수 있도록 정책 마련이 필요(1개 업체)
국내 기술에 대한 인식의 변화가 필요(1개 업체)
최종 처리 기준제시가 필요(1개 업체)
간이 탈수 후 매립의 경우, 침출수 및 악취 발생 우려가 있으므로 세척
공정이 필요(1개 업체)

- 총 10개 업체의 중간처리 기술 현황조사서를 취합한 결과를 종합하면,
- [1] 현재 국내 상용화된 중간처리 기술 중 기계식 및 수처리 설비에 의한 탈수공법과, 약품처리, 탈취탑 등 설비, 촉매 및 바이오필터 등 악취제거 기술이 해양오염퇴적물 정화사업에 활용될 수 있으며,
 - [2] 해양오염퇴적물 정화사업을 위하여 100m³/h 이상 처리용량의 상용 처리장치 제작 등 준비에 약 5개월(제작비용 약 5억)이 소요될 것으로 예상되며,
 - [3] 탈수 및 악취제거 공법별로 각 업체의 시간당 평균 처리용량은 100m³/h이며, 일평균 처리용량은 1,600m³/d 이상으로 나타났으며, 처리용량은 공법별, 업체별로 현격한 차이가 없이 유사한 것으로 나타났다.
 - [4] 현재 상용화된 악취제거 기술로는 황화수소(H₂S), 휘발성유기화합물(Volatile organic carbons: VOCs), 메르캅탄(Mercaptans), 황화합물(Sulphides), 복합 악취 등을 제어할 수 있는 것으로 나타났다.
 - [5] 현재 상용화된 탈수 및 악취제거 공법은 처리과정에서 전기 및 용수 공급이 요구되며, 장치의 설치에는 면적 50~100m², 높이 3~4m의 공간이 필요한 것으로 나타났다. 그러므로 상기 중간처리 기술은 해양오염퇴적물의 정화사업에 활용하기 위해서는 연안 또는 해상의 바지선에 설치, 운용이 가능하도록 수정, 보완이 필요할 것으로 사료된다.

제 2 절 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 해역영향 검토

1. 탈수공법 성능 검토

1) 조사 개요

국내 해양오염퇴적물 정화사업은 해양환경관리법에 의거하여 진공흡입식 펌프 또는 이와 동등한 능력을 가진 장비로 수거해야 한다. 따라서, 함수율 저감과정이나 오염물질 감축을 위한 처리과정에서 탈수, 수처리공정 등의 중간처리가 필요하며, 이 과정에서 방류수가 발생하는 경우, 주변 해역에 악영향이 미치지 않도록 세심한 주의가 요구된다. 오염물질 감축을 위한 중간처리과정에서 발생하는 방류수는 대부분 수처리공정을 통해 공정에 재사용되거나 환경적인 영향을 저감하는 과정을 거치게 된다. 그러나 수거된 해양오염퇴적물의 중간처리 과정 중 함수율을 저감하는 탈수공정에서 발생하는 방류수는 방류시 퇴적물의 오염특성, 수거 현장 주변의 특성 및 해역의 수질 기준 등을 감안하여 주변을 오염시키지 않도록 해야 한다. 그러므로 해상의 중간처리 과정에서 발생하는 방류수가 해양환경에 미칠 수 있는 영향 등을 평가하기 위하여 응집제를 사용하여 처리되는 공정과 물리적 분리로 처리되는 공정에 대하여 수층에 오염원이 방출되는 정도를 알아보기 위해서 다음과 같이 실험하였다.

가) 응집제 처리 실험 방법

용호만 1곳과 부산남항 2곳에서 수거예정 오염퇴적물을 채취하여 잘 섞은 후 함수율 20%를 가정하여 해수와 1:4의 부피비로 혼합한 후 양이온응집제와 음이온응집제를 각각 1mg/l 첨가하였다. 이 혼합물 시료를 상온에서 마그네틱바를 이용하여 30분간 교반한 후 10분간 정치하고 다시 30분간 인력으로 교반하였다. 1시간동안 정치한 후 원심분리기를 이용하여 2000rpm으로 30분간 분리하여 상등액을 이용하여 영양염류와 용존 중금속을 분석하였다.

나) 물리적 처리 실험 방법

부산남항 4곳에서 수거예정 오염퇴적물을 채취하여 잘 섞은 후 해수와 1:4의 부피비로 혼합한다. 이 혼합물 시료를 상온에서 10분간 인력으로 교반하고 수평교반기를 이용하여 240rpm으로 회전하며 진탕시켜 수거공정과 유사한 조건이 되도록 하였으며, 각각 10분, 30분, 60분, 120분, 360분 동안 교반한 다음, 원심분리기를 이용하여 2000rpm으로 30분간 분리하여 상등액을 이용하여 영양염류와 용존 중금속을 분석하였다.

다) 분석방법

a) 용존 무기영양염류 (Dissolved inorganic nutrients)

영양염(아질산염, 질산염, 암모니아, 인산염)은 상등액 시료를 47mm GF/F filter를 통과시켜 미리 산으로 세척된 20ml HDPE병에 담아 분석 시까지 냉동 보관 후 해양환경공정시험방법에 준하여 Autoanalyzer (QuAAtro, Bran-Luebbe)를 이용하여 측정하였다.

b) 용존 중금속

미리 산세척된 47mm Polycarbonate membrane filter (0.4 μ m)를 이용하여 여과한 후 시료를 1% 질산으로 희석하여 유도결합플라즈마질량분석기 (ICP-MS, Thermo X series)로 측정하였다.

2) 조사 결과

수거예정 오염퇴적물 채취하여 탈수공정 실험을 거친 후 발생한 상등액을 분석하여 얻은 결과를 해역환경기준(환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1])과 수질오염물질의 배출허용기준(수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13])에 대하여 비교하였다. 해역환경기준과 수질오염물질의 배출허용기준은 다음과 같다.

표 4-2-1. 우리나라의 해역환경기준 (환경부, 2007)

<생활 환경>

등급	기 준						
	수소이온 농 도 (pH)	화학적산소 요구량 (COD) (mg/L)	용 존 산소량 (DO) (mg/L)	총대장균군 (총대장균군 수/100mL)	용매추출 유 분 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총 인 (mg/L)
I	7.8-8.3	1 이하	7.5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
II	6.5-8.5	2 이하	5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
III	6.5-8.5	4 이하	2 이상			1.0 이하	0.09 이하

<사람의 건강보호>

등급	항목	기준(mg/L)	항목	기준(mg/L)
전수역	6가크롬(Cr6+)	0.05	구리(Cu)	0.02
	비소	0.05	시안(CN)	0.01
	카드뮴(Cd)	0.01	수은(Hg)	0.0005
	납(Pb)	0.05	폴리클로리네이티드	0.0005
	아연(Zn)	0.1	비페닐(PCB)	
			페놀	0.005

- 비고 : 1. 등급 I은 참돔·방어 및 미역 등 수산생물의 서식·양식 및 해수욕에 적합한 수질을 말한다.
2. 등급 II는 해양에서의 관광 및 여가선용과 송어 및 김 등 등급 I의 해역에서 서식·양식에 적합한 수산생물 이외의 수산생물의 서식·양식에 적합한 수질을 말한다.
3. 등급 III은 공업용 냉각수, 선박의 정박 등 기타용도로 이용되는 수질을 말한다.

표 4-2-2. 수질오염물질의 배출허용기준 (환경부, 2008)

대상규모	1일 폐수배출량 2천 세제곱미터 이상			1일 폐수배출량 2 천세제곱미터 미만		
	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)
지역구분						
청정지역	30 이하	40 이하	30 이하	40 이하	50 이하	40 이하
가지역	60 이하	70 이하	60 이하	80 이하	90 이하	80 이하
나지역	80 이하	90 이하	80 이하	120 이하	130 이하	120 이하
특례지역	30 이하	40 이하	30 이하	30 이하	40 이하	30 이하

항 목	지역구분	청정 지역	가 지역	나 지역	특례 지역
수온이온농도		5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
노말핵산추출 물질함유량	광유류(mg/L)	1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
	동식물유지류(mg/L)	5 이하	30 이하	30 이하	30 이하
페놀류함유량(mg/L)		1 이하	3 이하	3 이하	5 이하
시안함유량(mg/L)		0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
크롬함유량(mg/L)		0.5 이하	2 이하	2 이하	2 이하
용해성철함유량(mg/L)		2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
아연함유량(mg/L)		1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
구리함유량(mg/L)		1 이하	3 이하	3 이하	3 이하
카드뮴함유량(mg/L)		0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
수은함유량(mg/L)		0.001 이하	0.005 이하	0.005 이하	0.005 이하
유기인함유량(mg/L)		0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
비소함유량(mg/L)		0.05 이하	0.25 이하	0.25 이하	0.25 이하
납함유량(mg/L)		0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
6가크롬함유량(mg/L)		0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
용해성망간함유량(mg/L)		2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
플로오르(불소)함유량(mg/L)		3 이하	15 이하	15 이하	15 이하
PCB함유량(mg/L)		불검출	0.003 이하	0.003 이하	0.003 이하
총대장균군(群)(총대장균군수)(mL)		100 이하	3,000 이하	3,000 이하	3,000 이하
색도(도)		200 이하	300 이하	400 이하	400 이하
온도(℃)		40 이하	40 이하	40 이하	40 이하
총질소(mg/L)		30 이하	60 이하	60 이하	60 이하
총인(mg/L)		4 이하	8 이하	8 이하	8 이하
트리클로로에틸렌(mg/L)		0.06 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.3 이하
테트라클로로에틸렌(mg/L)		0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
음이온계면활성제(mg/L)		3 이하	5 이하	5 이하	5 이하
벤젠(mg/L)		0.01 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
디클로로메탄(mg/L)		0.02 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하
생태독성(TU)		1 이하	2 이하	2 이하	2 이하

비고 : 지역구분 적용에 대한 공통기준

가. 지역구분란의 청정지역, 가지역, 나지역 및 특례지역은 다음과 같다.

- 1) 청정지역 : 「환경정책기본법 시행령」 별표 1 제3호에 따른 수질 및 수생태계 환경기준(이하 "수질 및 수생태계 환경기준"이라 한다) 매우 좋음(I a)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 2) 가지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 좋음(I b), 약간 좋음(II)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 3) 나지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 보통(III), 약간 나쁨(IV), 나쁨(V) 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 4) 특례지역 : 환경부장관이 법 제49조제3항에 따른 공동처리구역으로 지정하는 지역 및 시장·군수가 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제8조에 따라 지정하는 농공단지

가) 응집제 처리 실험 결과

a) 응집제 처리 시 방류수 중 용존 무기 영양염류

용존 무기 영양염류 중 총무기질소(Total Inorganic Nitrogen : TIN)는 모든 시료에서 해역환경기준의 생활환경기준 III등급인 1.0mg/l를 약 30배정도 초과하였으나, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 60mg/l보다는 낮은 농도를 나타냈다. 총무기인(Total Inorganic Phosphate : TIP)의 경우, 모든 시료에서 해역환경기준의 생활환경기준 III등급인 0.09mg/l를 넘지 않았으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 8mg/l보다 낮은 농도를 보였다(그림 4-2-1).

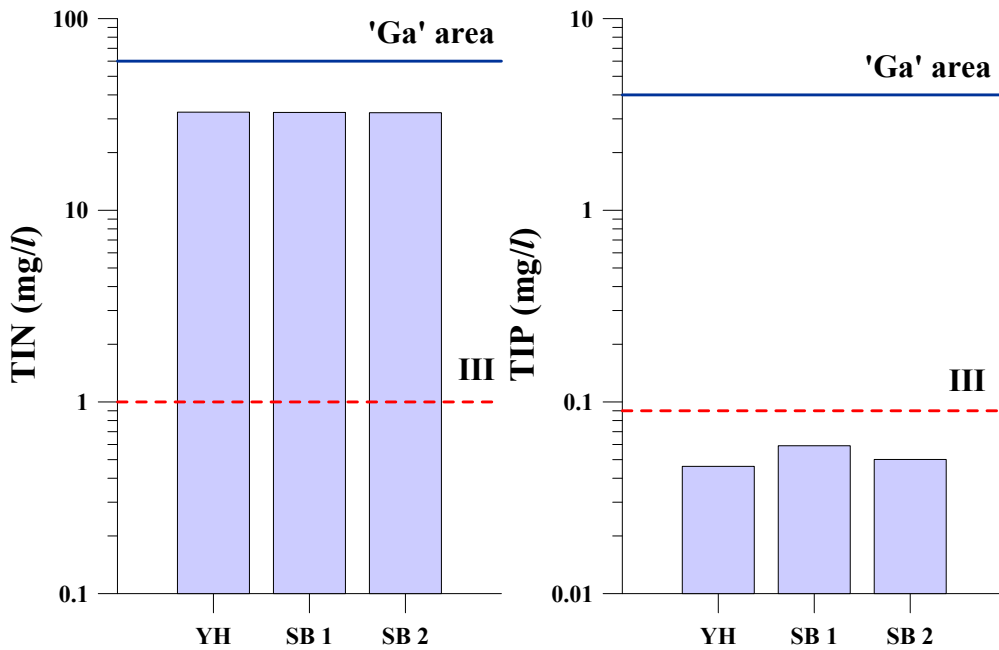


그림 4-2-1. 응집제 처리 시 방류수 중 용존 무기 영양염류의 농도

b) 응집제 처리 시 방류수 중 용존 중금속

용존 중금속 중 구리(Cu)는 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.02mg/l보다 약 2배 낮은 농도를 나타냈으며 수질오염물질 배출허용 기준의 가지역 기준인 3mg/l보다 현저히 낮은 농도를 보였다. 아연(Zn)의 경우, 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.1mg/l의 2~3배 낮은 농도를 나타냈으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 5mg/l보다 낮은 농도를 나타냈다(그림 4-2-2).

용존 중금속 중 카드뮴(Cd)은 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.01mg/l의 약 1/10에 해당하는 낮은 농도를 나타냈으며, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 0.1mg/l보다 100배 낮은 농도를 나타냈다. 납(Pb)의 경우, 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.05mg/l의 를 초과하지 않았으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 0.5mg/l보다 현저히 낮은 농도를 보였다(그림 4-2-3).

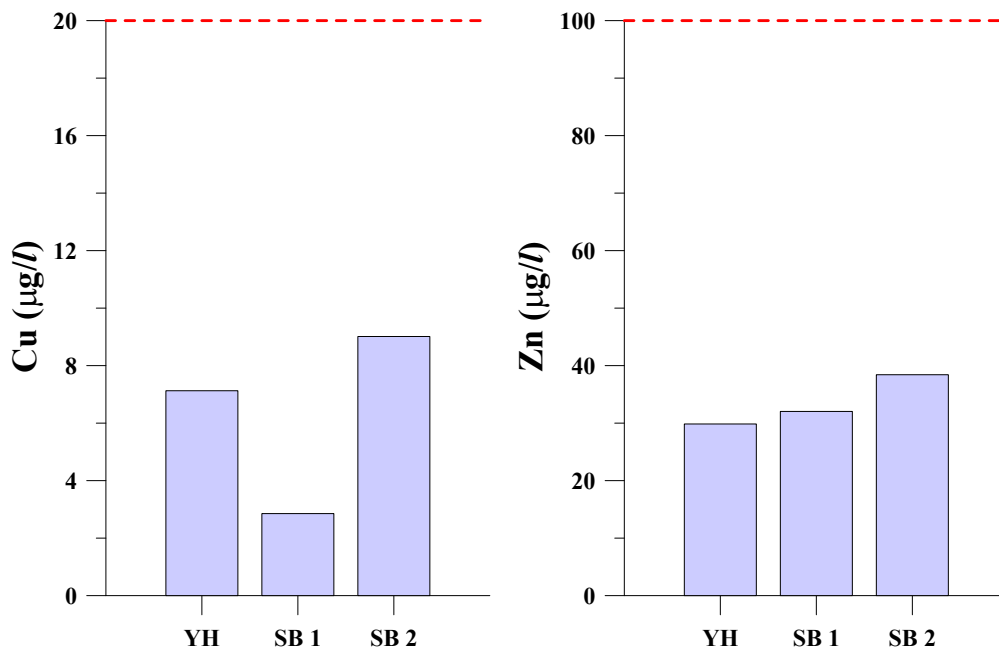


그림 4-2-2. 응집제 처리 시 방류수 중 구리(Cu)와 아연(Zn)의 농도

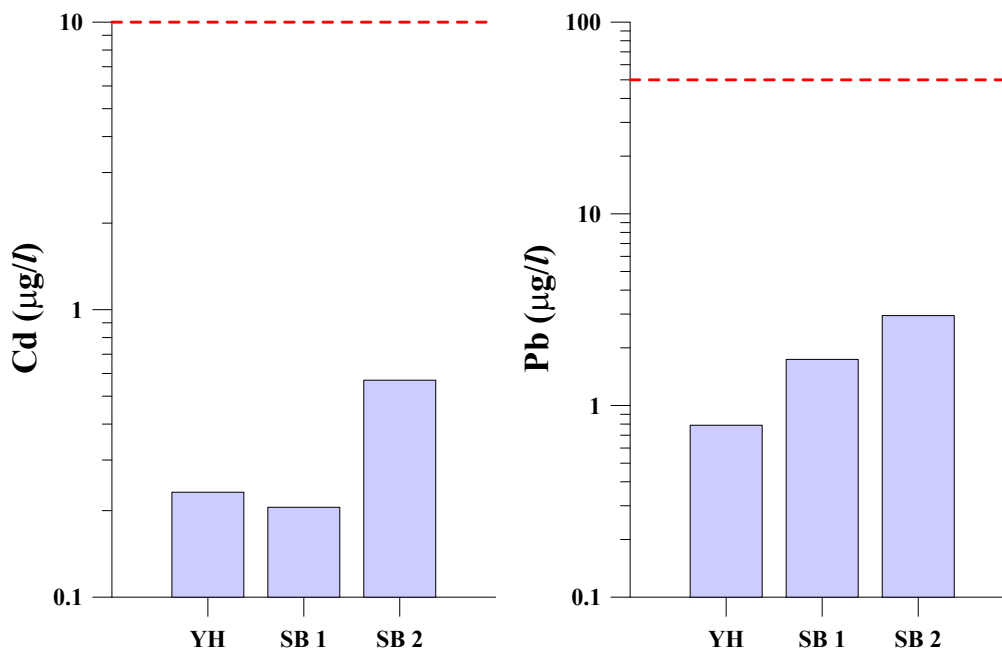
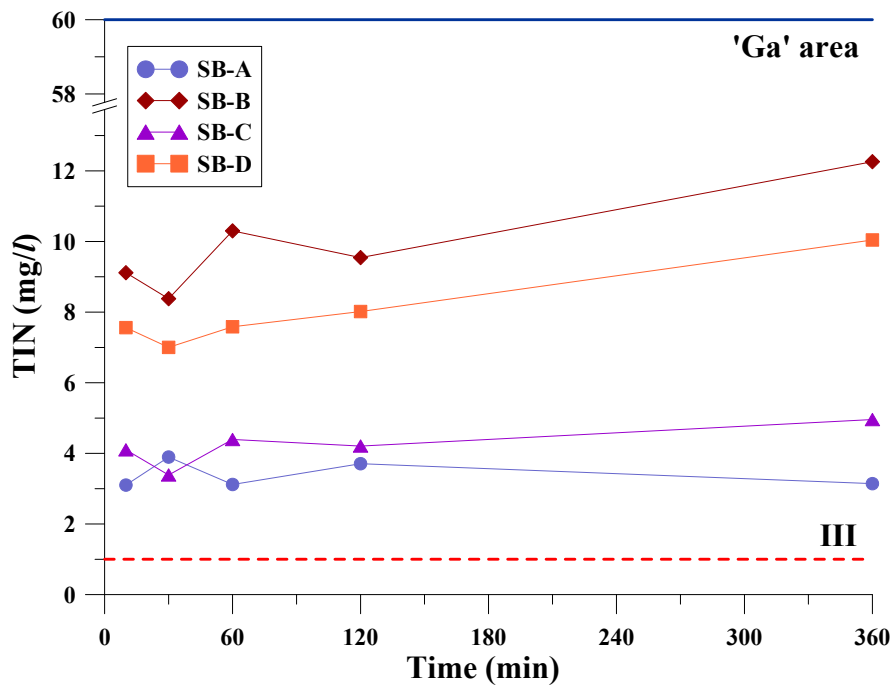


그림 4-2-3. 응집제 처리 시 방류수 중 카드뮴(Cd)과 납(Pb)의 농도

나) 물리적 처리 실험 결과

a) 물리적 처리 시 방류수 중 영양염류

용존 무기 영양염류 중 총무기질소(Total Inorganic Nitrogen : TIN)는 모든 시료에서 해역환경기준의 생활환경기준 III등급인 1.0mg/l를 약 3배에서 10배정도 초과하였으나, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 60mg/l보다는 낮은 농도를 나타냈다. 총무기인(Total Inorganic Phosphate : TIP)의 경우, 모든 시료에서 초기부터 120분까지는 해역환경기준의 생활환경기준 III등급인 0.09mg/l를 넘지 않았으나, 퇴적물에서 점차 용출되어 360분 경과 후에는 SB-A 시료를 제외한 모든 시료에서 III등급기준을 초과하였다. 그러나 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 8mg/l보다는 현저히 낮은 농도를 보였다(그림 4-2-4).



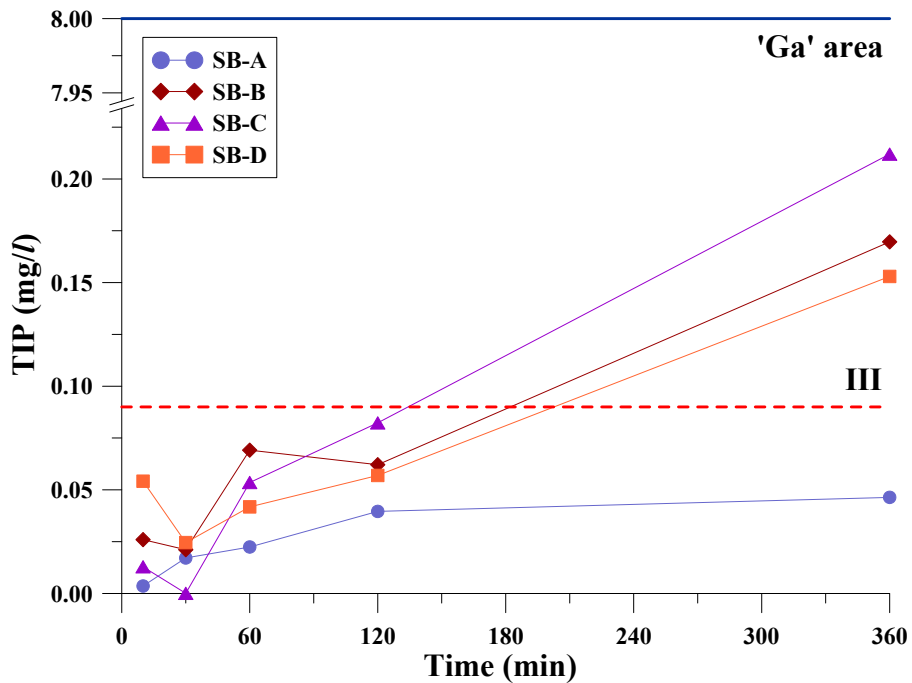


그림 4-2-4. 물리적 처리 시 방류수 중 용존 무기 영양염류의 농도

b) 물리적 처리 방류수 중 용존 중금속

용존 중금속 중 구리(Cu)는 반응시간에 따라 증가와 감소를 반복하며 360분이 경과한 후에는 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.02mg/l보다 낮은 농도를 나타냈으며, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 3mg/l보다 현저히 낮은 농도를 보였다.

아연(Zn)의 경우, SB-B, SB-C 시료에서 증가와 감소를 반복하며 360분이 경과한 후에는 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.1mg/l를 초과하는 값을 보였으며, SB-A시료는 초기부터 120분까지 농도가 증가하는 경향을 나타내며 해역환경기준의 건강보호 기준보다 높은 값을 보였다. SB-D시료는 초기부터 농도가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, SB-A, SB-D 시료 모두 360분이 경과한 후에는 건강보호 기준미만의 농도를 나타냈다. 모든 시료에서 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 5mg/l보다는 낮은 농도를 나타냈다. 구리와 아연의 농도변화는 수거퇴적물 내 높은 농도와 관련이 있는 것으로 판단되며, 시료에 따라 존재하는 형태가 다르고 퇴적물의 입자형태에 따라 해수에 용출되는 경향이 달라지는 것으로 사료된다(그림 4-2-5).

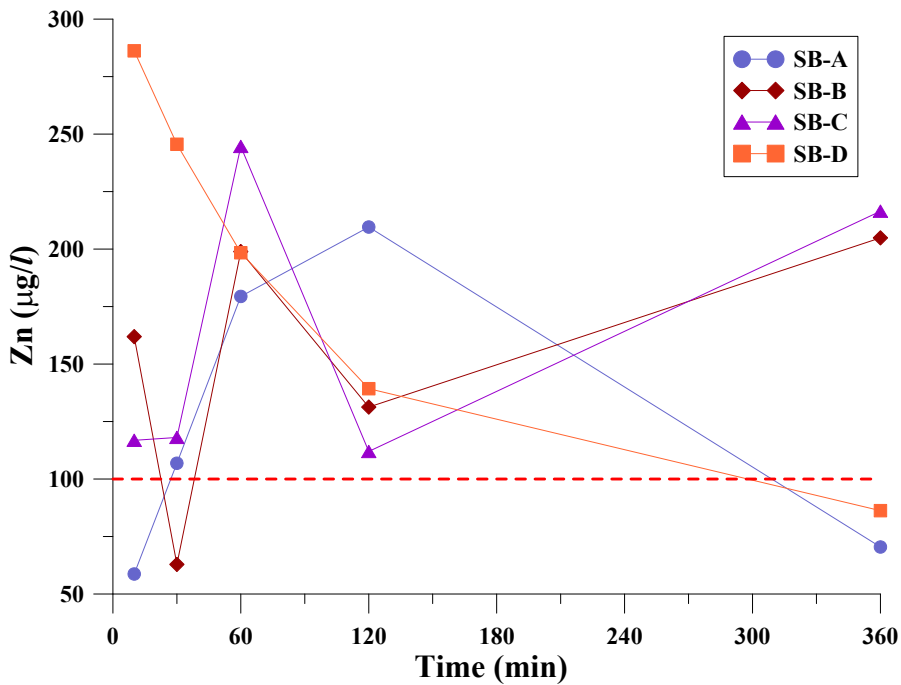
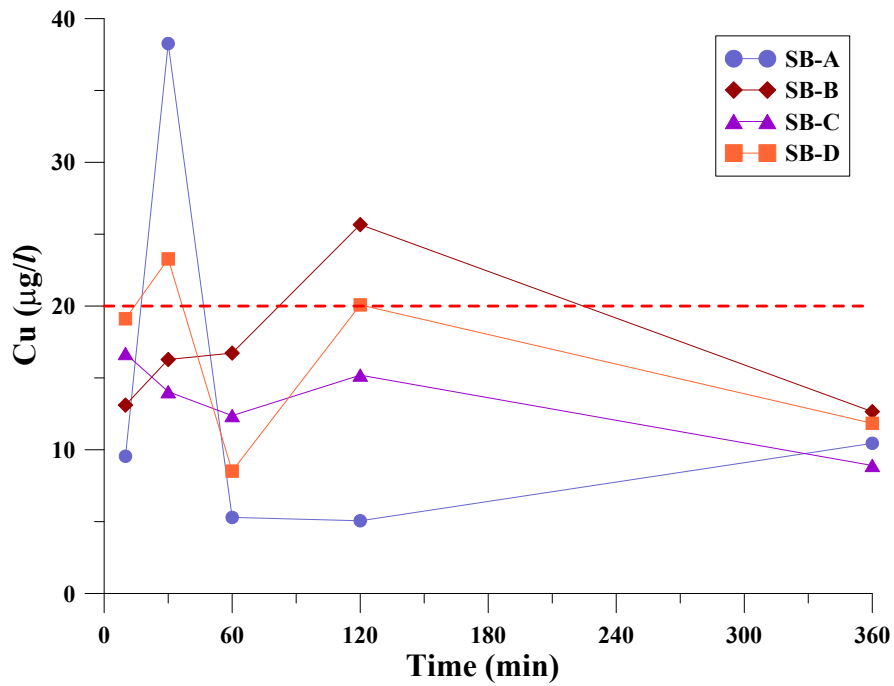


그림 4-2-5. 물리적 처리 시 방류수 중 구리(Cu)와 아연(Zn)의 농도

용존 중금속 중 카드뮴(Cd)은 모든 시료에서 해양환경기준의 건강보호 기준인 0.01mg/l의 약 1/10에 해당하는 낮은 농도를 나타냈으며, 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 0.1mg/l보다 100배 낮은 농도를 나타냈다.

납(Pb)의 경우, 모든 시료에서 해역환경기준의 건강보호 기준인 0.05mg/l 의를 초과하지 않았으며 수질오염물질 배출허용기준의 가지역 기준인 0.5mg/l보다 현저히 낮은 농도를 보였다(그림 4-2-6).

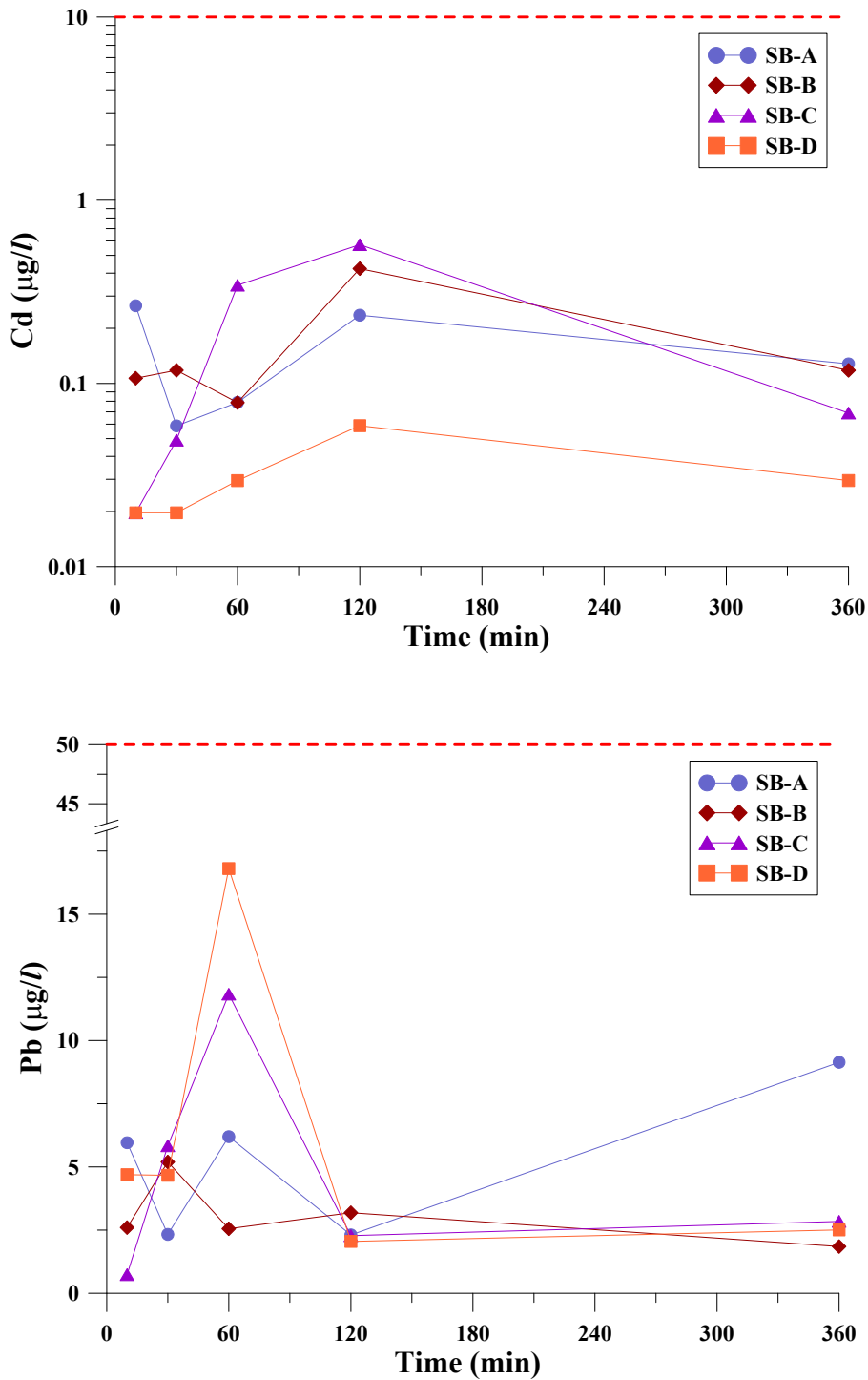


그림 4-2-6. 물리적 처리 시 방류수 중 카드뮴(Cd)과 납(Pb)의 농도

2. 악취 제거 공법 성능 검토

1) 조사 개요

오염된 퇴적물을 수거하는 과정에서 함수율저감과정이나 오염물질 감축을 위한 중간처리과정에서 응집·침전 등의 탈수공정이 필요하며, 이들 과정에서 발생할 수 있는 악취는 민원의 우려가 있다. 따라서 탈수처리와 연계한 악취제거 공정의 실현 가능성을 검토하기 위해 다음과 같이 실험하였다.

가) 악취 제거 처리 실험 방법

수거예정 오염퇴적물을 채취하여 잘 섞은 후 해수와 1:3의 부피비로 혼합한 후 25ml 차아염소산나트륨(Sodium Hypochlorite : NaClO)을 첨가하였다. 이 혼합물 시료를 상온에서 10분간 인력으로 교반하고 수평교반기를 이용하여 240rpm으로 회전하며 진탕시켜 수거공정과 유사한 조건이 되도록 하였으며, 각각 10분, 30분, 60분, 120분, 360분 동안 교반한 다음, 원심분리기를 이용하여 2000rpm으로 30분간 분리하여 상등액을 제거한 후 침전된 퇴적물에 대해서 산취발성황화물의 함량을 정량하였다. 비교를 위하여 처리전 퇴적물의 산취발성황화물의 함량도 정량하였다.

나) 분석 방법

a) 산 취발성 황화물 (AVS)

검지관을 이용하여 먼저 습시료 약 2 g의 무게를 정확히 측정하여 기체 발생관에 넣은 후 약간의 증류수를 넣고 기체가 새지 않도록 뚜껑을 닫는다. 이어 기체 발생관에 황산 2 ml를 넣고 2-3초 기다린 후 펌프를 이용하여 발생하는 황화수소가 검지관에 흡수되도록 한다. 그 후 검지관의 색 변화를 유심히 관찰하여 색이 더 이상 변하지 않을 때 그 지점의 눈금을 읽어 황화물량을 계산하였다.

2) 조사 결과

가) 악취 제거 처리 실험 결과

산취발성 황화물(AVS)은 처리전 퇴적물에서 SB-A는 2.33mg/g, SB-B는

8.52mg/g, SB-C는 3.16mg/g, SB-D는 1.75mg/g의 값을 나타냈으나, 처리 10분 후에 SB-A, SB-C, SB-D의 퇴적물에서는 모두 제거되었으며, SB-B의 퇴적물에서는 99%이상 감소하였다(그림 4-2-7). 이는 차아염소산나트륨으로 환원 환경의 퇴적물을 산화시켜 악취발생의 원인이 되는 황화물(H₂S)을 효과적으로 제거할 수 있음을 나타낸다.

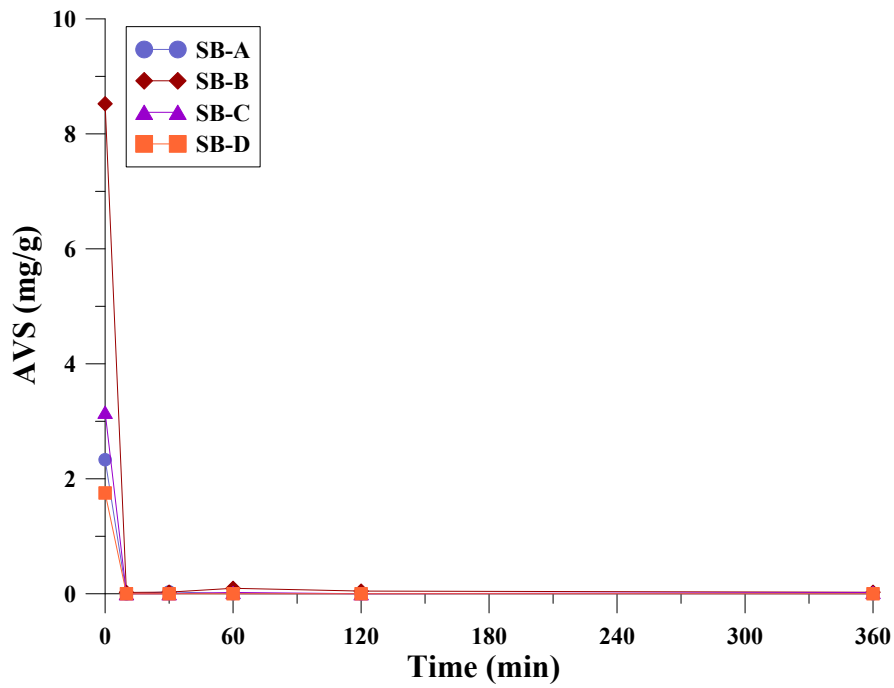


그림 4-2-7. 악취제거과정 시 시간에 따른 산취발성 황화물(AVS) 비교

제3절 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질 관리 방안

1. 해양오염퇴적물 중간처리 국내·외 유사사례

1) 국내 관련규정 검토

해양오염퇴적물정화사업과 관련된 내용을 규정하고 있는 법령은 “해양환경관리법” 으로 동법제18조제1항제3호에 해양환경개선조치의 일환으로 ‘오염된 퇴적물의 수거’가 규정되어 있으며, 제4항에서는 다. 동법시행규칙제9조제1항제3호에서는 제1항의 규정에 따른 해양환경개선조치와 관련하여 오염물질 유입방지시설의 설치방법, 오염물질의 수거·처리방법 및 오염된 퇴적물의 수거방법 등에 관하여 필요한 사항은 국토해양부령으로 정하도록 하고 있다. 이와 관련, 국토해양부령에서는 ‘수거된 오염퇴적물의 안전한 처리 및 처분’ 과 “오염된 퇴적물의 수거시에는 2차 오염을 감소시키는 방안을 강구하여야 한다’, 고 명시되어 있을 뿐, 관련 세부 규정이 마련되어 있지 않다. 따라서, 수거된 오염퇴적물의 처리과정에서 발생하는 배출물질로 인한 해역의 2차오염을 감소시키기 위한 기준의 마련이 요구된다.

한편, 해양오염방지를 위한 규제로서 공유수면을 매립하려는 장소에 배출할 수 있는 폐기물과 그 처리기준을 동법시행규칙제11조제1항관련 [별표 3]에 다음과 같이 규정하고 있으며, 해양시설등에서 발생하는 폐기물의 해역별 배출기준은 동법시행규칙제11조제3항관련 [별표 5]에서 규정하고 있다.

동법시행규칙제3조관련 [별표 1]에는 해양시설의 종류 및 범위에 대하여 규정하고 있으나, 준설토사의 처리시설에 대한 명확한 규정이 없다. 그러나, 이를 [별표 5]의 제2호에서 해양시설등에서 발생하는 유해액체물질의 경우, 자가처리시설에서 발생하는 배출기준은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 13 중 가지역에 적용하는 배출허용기준 이하로 처리하여 배출하도록 하고 있어 이를 준용하는 것도 한 방법이다.

[별표 3] <개정 2010.9.6>

폐기물의 종류 및 배출방법(제11조제1항 관련)

폐기물의 종류	배출방법
1. 수저준설토사(국토해양부장관이 정하여 고시하는 유효활용기준을 충족하는 수저준설토사는 제외한다. 이하 이 표에서 같다)·조개껍질류 및 이와 유사한 폐기물과 선박 안의 일상생활에서 생기는 유리조각류 등의 비가연성폐기물	가. 호안시설을 설치하여 해역과 차단할 것. 다만, 수저준설토사를 선박에 의하여 호안의 안쪽에 배출하는 경우에는 배출을 종료할 때까지 선박의 항해구간에 한하여 호안시설 대신에 오탃방지막을 설치할 수 있다. 나. 상등수를 해양으로 배출하는 경우 부유물질이 흘러 나가지 못하도록 하는 시설 또는 설비를 갖추는 것
2. 「폐기물관리법」 제2조제1호에 따른 폐기물	「폐기물관리법」에 따른 해당 폐기물의 처리에 적합한 시설을 갖추고 그 처리기준 및 방법에 따라 배출할 것

[별표 5]

해양시설등에서 발생하는 기름 및 유해액체물질의 처리기준 및 방법(제11조제3항 관련)

<ol style="list-style-type: none"> 1. 해양시설등에서 발생하는 기름을 처리하는 경우에는 법 제38조제1항에 따른 오염물질저장시설 설치·운영자 또는 법 제70조제1항제3호에 따른 유창청소업자에게 위탁하여 처리하거나 유분 성분이 100만분의 15 이하가 되도록 처리하여 배출하여야 한다. 2. 해양시설등에서 발생하는 유해액체물질의 경우에는 법 제38조제1항에 따른 오염물질저장시설 설치·운영자, 법 제70조제1항제3호에 따른 유창청소업자 또는 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제62조에 따른 폐수처리업자에게 위탁하여 처리하거나 자가처리시설에서 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 13 중 가지역에 적용하는 배출허용기준 이하로 처리하여 배출하여야 한다. 3. 해양시설등에서 발생하는 기름이나 유해액체물질을 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조제10호에 따른 폐수배출시설, 제48조에 따른 폐수종말처리시설 또는 「하수도법」 제2조제9호에 따른 공공하수처리시설에 유입하여 처리하는 경우에는 관계 법령이 정하는 바에 따른다.

[별표 1] <개정 2010.1.12>

해양시설의 범위(제3조 관련)

구분	시설의 종류	범위
1. 기름, 유해액체물질, 폐기물, 그 밖의 물건의 공급(공급받는 경우를 포함한다)·처리 또는 저장 등의 목적으로 해역 안 또는 해역과 육지 사이에 연속하여 설치·배치된 시설 또는 구조물(해역과 일시적으로 연결되는 시설 또는 구조물을 포함한다)	가. 기름 및 유해액체물질 저장(비축을 포함한다)시설	계류시설(돌핀), 선박과 저장시설을 연결하는 이송설비, 저장시설, 자가처리시설
	나. 법 제38조에 따른 오염물질저장시설	저장시설, 교반시설, 처리시설
	다. 선박 건조 및 수리시설, 해체시설	저장시설, 상가시설 및 수리시설(이동식 시설은 제외한다)
	라. 시멘트·석탄·사료·곡물·고철·광석·목재·토사의 하역시설	국토해양부장관이 정하여 고시하는 계류시설, 하역설비(컨베이어 벨트를 포함한다)
	마. 폐기물해양배출업자의 폐기물저장시설	폐기물저장시설, 교반시설 및 이송관
2. 해양레저, 관광, 주거, 해수이용, 그 밖의 목적으로 해역 안 또는 해역과 육지 사이에 연속하여 설치·배치·투입된 시설 또는 구조물	가. 연면적 100㎡ 이상의 해상관광시설, 주거시설(호텔·콘도), 음식점(「선박안전법」상 선박은 제외한다)	해역 안에 설치된 시설, 해역과 육지 사이에 연속하여 설치된 시설의 경우에는 취수 및 배수시설(배관을 포함한다)
	나. 환경의 지름이 600mm 이상의 취수·배수시설	취수 및 배수시설(배관을 포함한다)
	다. 유어장	유어시설, 가두리낙시터
	라. 그 밖의 시설	해상송전철탑, 해저광케이블, 해상부유구조물
3. 그 밖에 해역 안에 설치·배치·투입된 시설 또는 구조물	「해양수산발전기본법」 제17조제1항에 따른 국가해양관측을 위한 종합해양과학기지	기상관측 등 그 밖의 목적시설

비고

1. 자가처리시설이란 해양시설의 소유자가 그의 해양시설에서 발생하거나 기름 및 유해액체물질을 선박으로부터 공급받거나 선박에 공급하는 과정에서 생기는 기름 및 유해액체물질을 처리하기 위한 시설을 말한다.
2. 처리시설이란 선박 또는 해양시설에서 수거한 유성혼합물을 처리하기 위한 유수분리시설 등의 시설을 말한다.

“수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”은 수질오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하여 수질 및 수생태계를 적정하게 관리·보전하기 위하여 ‘공공수역’ : 하천·호소·항만·연안해역 그 밖에 공공용에 사용되는 수역과 이에 접속하여 공공용에 사용되는 환경부령이 정하는 수로(동법제2조 제9호)에서 ‘점오염원’, ‘비점오염원’ 및 ‘기타 수질오염원’ 으로부터 ‘수질오염물질’ 및 특정수질유해물질’에 의한 오염을 방지하기 위하여 시행규칙제26조에 ‘폐수종말처리시설의 방류수 수질기준’ 과 제34조에 ‘수질오염물질의 배출허용기준’을 규정하고 있다. 그러나, 동법령에서는 준설 및 굴착 행위로부터 발생된 물질의 처리과정에서 공공수역으로 유입되는 수질오염원에 대하여 명확하게 규정하고 있지 않다.

[별표 13] <개정 2010.4.2>

수질오염물질의 배출허용기준(제34조 관련)

1. 지역구분 적용에 대한 공통기준

가. 제2호 각 목 및 비고의 지역구분란의 청정지역, 가지역, 나지역 및 특례지역은 다음과 같다.

- 1) 청정지역 : 「환경정책기본법 시행령」 별표 1 제3호에 따른 수질 및 수생태계 환경기준(이하 "수질 및 수생태계 환경기준"이라 한다) 매우 좋음(Ia)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 2) 가지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 좋음(Ib), 약간 좋음(II)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 3) 나지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 보통(III), 약간 나쁨(IV), 나쁨(V) 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 4) 특례지역 : 환경부장관이 법 제49조제3항에 따른 공동처리구역으로 지정하는 지역 및 시장·군수가 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제8조에 따라 지정하는 농공단지

나. 「자연공원법」 제2조제1호에 따른 자연공원의 공원구역 및 「수도법」 제7조에 따라 지정·공고된 상수원보호구역은 제2호에 따른 항목별 배출허용기준을 적용할 때에는 청정지역으로 본다.

다. 정상가동 중인 공공하수처리시설에 배수설비를 연결하여 처리하고 있는 폐수배출시설에 제2호에 따른 항목별 배출허용기준(같은 호 나목의 항목은 해당 공공하수처리시설에서 처리하는 수질오염물질 항목만 해당한다)을 적용할 때에는 나지역의 기준을 적용한다.

2. 항목별 배출허용기준

가. 생물화학적산소요구량·화학적산소요구량·부유물질량

지역구분	1일 폐수배출량 2천 세제곱미터 이상			1일 폐수배출량 2천세제곱미터 미만		
	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)
청정지역	30 이하	40 이하	30 이하	40 이하	50 이하	40 이하
가지역	60 이하	70 이하	60 이하	80 이하	90 이하	80 이하
나지역	80 이하	90 이하	80 이하	120 이하	130 이하	120 이하
특례지역	30 이하	40 이하	30 이하	30 이하	40 이하	30 이하

비고 : 1. 하수처리구역에서 「하수도법」 제28조에 따라 공공하수도관리청의 허가를 받아 폐수를 공공하수도에 유입시키지 아니하고 공공수역으로 배출하는 폐수배출시설 및 「하수도법」 제27조제1항을 위반하여 배수설비를 설치하지 아니하고 폐수를 공공수역으로 배출하는 사업장에 대한 배출허용기준은 공공하수처리시설의 방류수 수질기준을 적용한다.

2. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제6조제2호에 따른 관리지역에서의 같은 법 시행령 별표 20 제1호차목 및 별표 27 제2호타목(별표 20 제1호차목에 따른 공장만 해당한다)에 따른 공장에 대한 배출허용기준은 특례지역의 기준을 적용한다.

나. 페놀류 등 수질오염물질

1) 삭제 <2010.4.2>

2) 2008년 1월 1일부터 2010년 12월 31일까지 적용되는 기준

항 목	지역구분	청정 지역	가 지역	나 지역	특례 지역
수온이온농도		5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6	5.8~8.6
노말핵산추출 물질함유량	광유류(mg/L)	1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
	동식물유지류(mg/L)	5 이하	30 이하	30 이하	30 이하
페놀류함유량(mg/L)		1 이하	3 이하	3 이하	5 이하
시안함유량(mg/L)		0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
크롬함유량(mg/L)		0.5 이하	2 이하	2 이하	2 이하

항 목	지역구분	청정 지역	가 지역	나 지역	특례 지역
용해성철함유량(mg/L)		2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
아연함유량(mg/L)		1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
구리함유량(mg/L)		1 이하	3 이하	3 이하	3 이하
카드뮴함유량(mg/L)		0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
수은함유량(mg/L)		0.001 이하	0.005 이하	0.005 이하	0.005 이하
유기인함유량(mg/L)		0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
비소함유량(mg/L)		0.05 이하	0.25 이하	0.25 이하	0.25 이하
납함유량(mg/L)		0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
6가크롬함유량(mg/L)		0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
용해성망간함유량(mg/L)		2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
플로오르(불소)함유량(mg/L)		3 이하	15 이하	15 이하	15 이하
PCB함유량(mg/L)		불검출	0.003 이하	0.003 이하	0.003 이하
총대장균군(群) (총대장균군수)(mL)		100 이하	3,000 이하	3,000 이하	3,000 이하
색도(도)		200 이하	300 이하	400 이하	400 이하
온도(℃)		40 이하	40 이하	40 이하	40 이하
총질소(mg/L)		30 이하	60 이하	60 이하	60 이하
총인(mg/L)		4 이하	8 이하	8 이하	8 이하
트리클로로에틸렌(mg/L)		0.06 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.3 이하
테트라클로로에틸렌(mg/L)		0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
음이온계면활성제(mg/L)		3 이하	5 이하	5 이하	5 이하
벤젠(mg/L)		0.01 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
디클로로메탄(mg/L)		0.02 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하
생태독성(TU)		1 이하	2 이하	2 이하	2 이하

비고 : 1. 색도항목의 배출허용기준은 별표 4 제2호18)의 섬유염색 및 가공시설, 19)의 기타 섬유제품 제조시설 및 23)의 펄프·종이 및 종이제품(색소첨가 제품만 해당한다) 제조시설에만 적용한다.

2. 삭제 <2010.4.2>

3. 생태독성 배출허용기준은 물벼룩에 대한 급성독성시험을 기준으로 하며, 별표 4 제2호의 폐수배출시설 분류 중 3), 12), 14), 17)부터 20)까지, 23), 26), 27), 30), 31), 33)부터 40)까지, 46), 48)부터 50)까지, 54), 55), 57)부터 60)까지, 63), 67), 74), 75), 80)에 해당되는 폐수배출시설에만 적용한다. 다만, 해당 사업장에서 배출되는 폐수를 모두 폐수종말처리시설 또는 「하수도법」 제2조제9호에 따른 공공하수처리시설에 유입시키는 폐수배출시설에는 적용하지 아니한다.

4. 청정지역 3종부터 5종까지의 사업장은 TU 2를 적용하되, 2016년 1월 1일부터는 TU 1을 적용한다.

5. 가지역, 나지역, 특례지역의 생태독성을 적용함에 있어서는 별표 4 제2호의 폐수배출시설 분류 중 18), 48), 80)에 해당하는 폐수배출시설은 TU 4를 적용하고, 폐수배출시설의 분류 중 31), 33)에 해당하는 폐수배출시설은 TU 8을 적용하되, 2016년 1월 1일부터는 모두 TU 2를 적용한다.
6. 생태독성은 영 별표 13에 따른 1종 및 2종 사업장은 2011년 1월 1일부터 적용하고, 3종부터 5종까지의 사업장은 2012년 1월 1일부터 적용한다.

3) 2011년 1월 1일부터 적용되는 기준

항 목	지역 구분	지역			
		청정 지역	가 지역	나 지역	특례 지역
수온이온농도		5.8 ~ 8.6	5.8 ~ 8.6	5.8 ~ 8.6	5.8 ~ 8.6
노말핵산추출 물질함유량	광유류(mg/L)]	1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
	동식물유지류 (mg/L)]	5 이하	30 이하	30 이하	30 이하
페놀류함유량(mg/L)		1 이하	3 이하	3 이하	5 이하
시안함유량(mg/L)		0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
크롬함유량(mg/L)		0.5 이하	2 이하	2 이하	2 이하
용해성철함유량(mg/L)		2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
아연함유량(mg/L)		1 이하	5 이하	5 이하	5 이하
구리(동)함유량(mg/L)		1 이하	3 이하	3 이하	3 이하
카드뮴함유량(mg/L)		0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
수은함유량(mg/L)		0.001 이하	0.005 이하	0.005 이하	0.005 이하
유기인함유량(mg/L)		0.2 이하	1 이하	1 이하	1 이하
비소함유량(mg/L)		0.05 이하	0.25 이하	0.25 이하	0.25 이하
납함유량(mg/L)		0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
6가크롬함유량(mg/L)		0.1 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
용해성망간함유량(mg/L)		2 이하	10 이하	10 이하	10 이하
플로오르(불소)함유량(mg/L)		3 이하	15 이하	15 이하	15 이하
PCB함유량(mg/L)		불검출	0.003 이하	0.003 이하	0.003 이하
총대장균군(群)(총대장균군수)(mℓ)		100 이하	3,000 이하	3,000 이하	3,000 이하
색도(도)		200 이하	300 이하	400 이하	400 이하
온도(℃)		40 이하	40 이하	40 이하	40 이하
총질소(mg/L)		30 이하	60 이하	60 이하	60 이하
총인(mg/L)		4 이하	8 이하	8 이하	8 이하
트리클로로에틸렌(mg/L)		0.06 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.3 이하
테트라클로로에틸렌(mg/L)		0.02 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
음이온계면활성제(mg/L)		3 이하	5 이하	5 이하	5 이하
벤젠(mg/L)		0.01 이하	0.1 이하	0.1 이하	0.1 이하
디클로로메탄(mg/L)		0.02 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하
생태독성(TU)		1 이하	2 이하	2 이하	2 이하
셀레늄함유량(mg/L)		0.1 이하	1 이하	1 이하	1 이하
사염화탄소(mg/L)		0.004 이하	0.04 이하	0.04 이하	0.04 이하
1,1-디클로로에틸렌(mg/L)		0.03 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.3 이하
1,2-디클로로에탄(mg/L)		0.03 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.3 이하
클로로폼(mg/L)		0.08 이하	0.8 이하	0.8 이하	0.8 이하

- 비고: 1. 색도항목의 배출허용기준은 별표 4 제2호18)의 섬유염색 및 가공시설, 같은 호 19)의 기타 섬유제품 제조시설 및 같은 호 23)의 펄프·종이 및 종이제품(색소첨가 제품만 해당한다) 제조시설에만 적용한다.
2. 생태독성 배출허용기준은 물벼룩에 대한 급성독성시험을 기준으로 하며, 별표 4 제2호의 3), 12), 14), 17)부터 20)까지, 23), 26), 27), 30), 31), 33)부터 40)까지, 46), 48)부터 50)까지, 54), 55), 57)부터 60)까지, 63), 67), 74), 75) 및 80)에 해당되는 폐수배출시설에만 적용한다. 다만, 해당 사업장에서 배출되는 폐수를 모두 폐수종말처리시설 또는 「하수도법」 제2조제9호에 따른 공공하수처리시설에 유입시키는 폐수배출시설에는 적용하지 아니한다.
3. 청정지역에 설치된 영 별표 13에 따른 제3종부터 제5종까지의 사업장에 적용하는 생태독성 배출허용기준은 TU 2를 적용하되, 2016년 1월 1일부터는 TU 1을 적용한다.
4. 가지역, 나지역, 특례지역에 적용하는 생태독성 배출허용기준의 경우 별표 4 제2호의 18), 48) 및 80)에 해당하는 폐수배출시설은 TU 4를 적용하고, 같은 호의 31) 및 33)에 해당하는 폐수배출시설은 TU 8을 적용하되, 2016년 1월 1일부터는 모두 TU 2를 적용한다.
5. 영 별표 13에 따른 제3종부터 제5종까지의 사업장에 적용하는 생태독성 배출허용기준은 2012년 1월 1일부터 적용한다.
6. 생태독성(TU) 배출허용기준 초과원인이 염(산의 음이온과 염기의 양이온)에 의해 만들어지는 화합물을 말한다. 이하 같다)으로 증명된 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우에는 생태독성(TU) 배출허용기준을 초과하지 아니한 것으로 본다.
- 가. 법 제2조제9호의 공공수역 중 항만·연안해역에 방류하는 경우
- 나. 법 제2조제9호의 공공수역 중 항만·연안해역을 제외한 곳으로 방류하는 경우(2010년 12월 31일까지 설치허가 또는 변경허가를 받거나 설치신고 또는 변경신고를 한 폐수배출시설로 한정한다). 이 경우 시·도지사는 「환경기술개발 및 지원에 관한 법률」 제12조에 따른 환경기술지원을 받게 하고, 그 결과를 제출하게 할 수 있다.
7. 제6호에 따른 생태독성(TU) 배출허용기준 초과원인이 염이라는 증명에 필요한 구비서류, 절차·방법 등에 관하여 필요한 사항은 국립환경과학원장이 정하여 고시한다.

2) 해외 사례

가) 일본

일본에서 오염퇴적물의 정화사업에서 중간처리 과정에서 발생하는 폐수로 인한 해역오염을 관리하기 위한 규정으로는 2002년 8월 환경성 환경관리국에서 마련한 “퇴적물의 처리·처분 등에 관한 지침” 과 2008년 4월 일본 국토교통성 항만국에서 제정한 “항만에 있어서 퇴적물 다이옥신류 대책 기술지침” 이 있다.

환경성에서 제정한 지침은 오염된 퇴적물의 제거 등의 공사를 시행함에 있어서 2차 오염을 발생하지 않도록 하기 위한 조치로서 잔여수배출구로부터 방류수의 감시에 대한 내용이 포함되어 있다. 여기에 대한 내용은 다음과 같다.

잔여수배출구로부터 방류수의 감시 (일본 환경성)

처리시설의 잔여수배출구로부터 배출되는 방류수에 의해 2차오염을 유발하지 않도록 잔여수배출구에서 유출되는 방류수에 관한 감시를 다음과 같이 할 것.

가. 조사 항목

- ① 대책대상물질
- ② 탁도, 투시도 또는 SS (대책대상물질에 관한 조사횟수를 줄여서 1일 1회 이상 조사를 수행하지 않을 경우 또는 그러한 예정이 있는 경우)

나. 조사 횟수

대책 대상물질의 조사는 하루중 방류수의 수질이 가장 악화될 것으로 생각되는 시각을 포함하여 매일 1회 이상 할것.

단 다음에 해당하는 경우에 한해서 대책 대상물질에 관한 조사횟수를 적절히 줄일 수 있음.

- ① 탁도, 투시도 또는 SS의 조사결과로부터 대책대상물질의 농도를 추정할 수 있는 경우로 대책대상물질을 대신하여 탁도, 투시도 또는 SS 조사를 계속해서 수행할 경우
- ② 공사에 관련된 여러조건에 현저한 변화가 없고, 대책대상물질의 조사횟수를 줄여도, 라. 의 감시기준에 적합하지 않는 방류수의 유출을 충분히 방지할 수 있다고 판단되는 경우

다. 측정방법

측정방법은 3의 (3) 나.에서 정하는 것으로 함.

<3의 (3) 나>

측정방법은 “수질오탁에 관한 환경기준에 대해서” (1971년 12월 28일 환경청 고시 제 59호) (참고자료-3) 및 다이옥신류 환경기준 고시에서 정한 방법에 의한 것으로 하고, 거기서 정해지지 않은 탁도 및 투시도에 대해서는 다음에 말하는 것으로 함.

- ① 탁도 일본공업규격 K0801에서 정하는 탁도자동계측기를 사용하는 방법
 - ② 투시도 일본공업규격 K0102의 9에서 정하는 방법
- 단. 대책대상 물질에 대해서 3의 (3) 나.에서 규정하는 측정방법을 대신하여 간이분석방법을 이용하는 것은 상관없지만, 공사기간 중 적어도 1회는 3의 (3) 나.에서 규정하는 방법으로 측정 할 것.

라. 감시 기준

(가) 감시기준치

① 대책대상물질

“해양오염 및 해상재해의 방지에 관한 법률” (1970년 법률 제 136호, 이하 “해양오염방지법”이라고 함)에 바탕을 둔 “방류수 배출구(여수토)로부터 유출되는 해수의 수질에 대한 기준을 정하는 소령” (1977년 8월 26일 총리부령 제 38호) 제 2항에 나타난 기준

② 탁도, 투시도 또는 SS

대책대상물질의 조사횟수를 줄일 경우에 정하는 것으로, 그 값은 대책대상물질의 농도와 상관을 고려하여 감시기준에 충분히 적합할 수 있도록 대책대상물질의 값에 상당하도록 적절히 정할 것.

(나) 판정방법

방류수에 관한 수질의 적부 판정은 그 최고치가 감시기준치를 초과하지 않을 것을 목표로 수행할 것.

마. 감시의 결과에 따라서 마련해야할 조치

라.의 감시기준에 적합하지 않은 결과를 얻었을 경우에는 즉시 방류수의 방류를 중단하고 감시기준에 적합하도록 할 것이며, 필요한 조치를 마련 할 것.
또한 조사결과가 감시기준에 적합할 경우에도 처분지로부터의 영향으로 경계에서 감시기준이 유지되지 않는 다고 인정되는 경우에는 처분지에서 방류수의 수질관리를 강화하는 등의 대처를 할 것.

<조사 항목>

다음에 나타내는 항목을 말함.

- ① 대책대상물질 (단, 다이옥신류에 의한 오염이고, PCB의 존재가 우려되는 경우에는 필요에 따라서 PCB에 대해서도 감시를 하는 것으로 함. 또한 감시를 위해 간이분석법을 이용할 경우에는 일반조사에 있어서 당해 간이분석법 및 공정법에 의해 병행하여 측정 하는 등, 당해 간이분석법의 사용의 가부를 확인하는 것으로 함).
- ② 생활환경항목 (수질오염에 관한 생활환경의 보전에 관한 환경기준이 정해져 있는 항목중 부유성물질 (이하 “SS”라고 함) 및 대장균군수를 제외한 항목을 말함. 이하 동일)
- ③ 탁도, 투시도 또는 SS

<잔여수 배출로부터 유출되는 해수 수질에 관한 기준을 정하는 성령>

(1977년(쇼와52) 8월 26일 총리부령 제 38호)

최종개정: 2006년(헤이세이17) 4월 19일 환경성령 제11호)

해양 오염 및 해상 재해의 방지에 관한 법률 시행령(1971년(쇼와46) 정령 제2백1호) 제 5 조 제1항 제2호와 제9호 및 같은 조 제2항의 규정에 근거하여, 잔여수 배출로부터 유출되는 해수의 수질에 대한 기준을 정하는 총리부령(1972년(쇼와47) 총리부령 제44호)의 전부를 개정하는 총리부령을 다음과 같이 정한다.

1. 해양 오염 및 해상 재해의 방지에 관한 법률 시행령(1971년(쇼와46) 정령 제2백1호. 이하 "령"이라 한다.) 제 5 조 제1항 제2호 환경성령에서 정한 잔여수 배출로부터 유출되는 해수의 수질에 관한 기준은 그 수질이 다음의 기준에 적합한 것으로 한다.

- ① 일반 폐기물의 최종 처분장 및 산업 폐기물의 최종 처분장과 관련되는 기술상의 기준을 정하는 성령(1977년(쇼와52) 총리부령·후생성령 제1호. 제2항 제1호 및 제3항에 대해 "최종 처분 기준 성령"이라고 한다.) 별표 제1의 항목별 배수기준
- ② 다이옥신류(다이옥신류 대책 특별 조치법(2000년(헤이세이11) 법률 제105호) 제2조 제1항에 규정하는 다이옥신류를 말한다. 제2항 제2호에 대해서도 같다.)에 대해서는, 다이옥신류 대책 특별 조치법 시행 규칙(2000년(헤이세이11) 총리부령 제67호) 별표 제2에서 정하는 허용 한도

2. 령 제 5 조 제1항 제 16호 및 같은 조 제2항의 환경성령으로 정하는 잔여수 배출로부터 유출되는 해수의 수질에 대한 기준은, 전항의 규정을 준용한다. 다만, 다음의 각 호의 물질에 대하여, 잔여수 배출로부터 해수가 유출되는 해안에 있어서 적용되는 해당 각 호의 기준이 있을 때는, 해당 물질과 관련되는 수질에 대해서는, 해당 각 호의 기준(해당 기준이 두개 이상 정해져 있는 경우에는, 그 중 가장 높은 배수 기준)에 적합한 것으로 한다.

- ① 최종 처분 기준 성령 별표 제1의 알킬수은화합물 항목으로부터 암모니아, 암모늄화합물, 아질산화합물 및 질산화합물 항목까지 해당하는 물질: 수질오탁방지법(1970년(쇼와45) 법률 제138호) 제3조 제3항의 규정에 근거하여 정해진 배수기준
- ② 다이옥신류: 다이옥신류 대책 특별 조치법 제8조 제3항의 규정에 근거하여 정해진 수질 배출 기준

3. 제1항 제1호 및 전항 제1호에 규정하는 기준은 최종 처분 기준 성령 제3조의 규정에 근거하여 같은 령 제1조 제2항 제14호 하(같은 령 제2조 제2항 제 3 호에 대하여 그 예에 의하는 것으로 되었을 경우를 포함한다.)의 규정에 의한 수질검사

방법으로서 환경성 장관(대신)이 정하는 방법에 의하여, 제1항 제2호 및 전항 제2호에 규정하는 기준은 다이옥신류 대책 특별 조치법 시행 규칙 제2조 제1항 제2호에 정하는 방법에 의해 검정했을 경우 검출치에 의한 것으로 한다.

<일반 폐기물의 최종 처분장 및 산업 폐기물의 최종 처분장과 관련되는 기술상의 기준을 정하는 성령 별표 제1 항목별 배수기준 (제1조, 제2조 관련)>

알킬수은화합물	검출되지 않을 것
수은 및 알킬수은 그 외 수은화합물	1L당 수은 0.005mg 이하
카드뮴 또는 그 화합물	1L당 카드뮴 0.1mg 이하
납 또는 그 화합물	1L당 납 0.1mg 이하
유기인화합물 (파라치온, 메틸파라치온, 메틸디메톤 및 EPN(C ₁₄ H ₁₄ NO ₄ PS) 으로 제한)	1L당 1mg 이하
육가크롬화합물	1L당 Cr ⁶⁺ 0.5mg 이하
비소 또는 그 화합물	1L당 비소 0.1mg 이하
시안화합물	1L당 시안 1mg 이하
폴리염화비페닐	1L당 0.003mg 이하
트리클로로에틸렌	1L당 0.3mg 이하
테트라클로로에틸렌	1L당 0.1mg 이하
디클로로메탄	1L당 0.2mg 이하
사염화탄소	1L당 0.02mg 이하
1,2-디클로로에탄	1L당 0.04mg 이하
1,1-디클로로에틸렌	1L당 0.2mg 이하
시스 1,2-디클로로에틸렌	1L당 0.4mg 이하
1,1,1-트리클로로메탄	1L당 3mg 이하
1,1,2-트리클로로메탄	1L당 0.06mg 이하
1,3-디클로로프로펜	1L당 0.02mg 이하
티우람 (Thiuram)	1L당 0.06mg 이하
시마진 (Simazine)	1L당 0.03mg 이하
티오벤칼프 (Thiobencarb, C ₁₂ H ₁₆ CINOS)	1L당 0.2mg 이하

별표 제1 (계속)

벤젠	1L당 0.1mg 이하
셀레늄 또는 그 화합물	1L당 셀레늄 0.1mg 이하
붕소 또는 그 화합물	해역 이외의 공공용수역에 배출될 경우, 1L 당 50mg 이하, 해역에 배출될 경우, 1L 당 230mg 이하
불소 또는 그 화합물	1L 당 불소 15mg 이하(해역 이외의 공공용수역에 배출되는 것은, 당분간, 적용하는 것으로 한다.)
암모니아, 암모늄화합물, 아질산화합물 및 질산화합물	1L 당 당분간, 암모니아성질소에 0.4를 곱한것, 아질산성질소 및 질산성질소의 합계량이 200mg 이하
수소이온농도	해역 이외의 공공용수역에 배출될 경우, 5.8이상 8.6 이하, 해역에 배출될 경우 5.0이상 9.0이하
생물화학적산소요구량	1L당 60mg 이하
화학적산소요구량	1L당 90mg 이하
부유물질량	1L당 60mg 이하
노말핵산추출물질함유량 (광유류함유량)	1L당 5mg 이하
노말핵산추출물질함유량 (동식물성유지함유량)	1L당 30mg 이하
페놀류 화합물	1L당 5mg 이하
구리 함유량	1L당 3mg 이하
아연 함유량	1L당 2mg 이하
용해성 철 함유량	1L당 10mg 이하
용해성 망간 함유량	1L당 10mg 이하
크롬 함유량	1L당 2mg 이하
대장균군수	1cm ² 당 일간 평균 3,000개 이하
질소 함유량	1L당 120(일평균 60)mg 이하
인 함유량	1L당 6(일평균 8)mg 이하
비 고	
	1. "검출되지 않는 것"이란, 제3조의 규정에 근거하여 환경성 장관(대신)이 정하는 방법에 의해 검사했을 경우에 있어서, 그 결과가 해당 검사 방법의 정량 한계 미만인 것을 말한다.
	2. "일간 평균"에 의한 배수 기준치는, 일간 배출수의 평균적인 오염 상태에 대해 정한 것이다.
	3. 해역 및 호수와 늪에 배출되는 방류수에 대해서는 생물화학적산소요구량을 제외하고, 그 이외의 공공용수역에 배출되는 방류수에 대해서는 화학적산소요구량을 제외한다.

비 고 (계속)
4. 질소 함유량에 대한 배수기준은, 질소가 호수와 늪 식물플랑크톤의 현저한 증식을 가져올 우려가 있는 호수와 늪으로서 환경성 장관(대신)이 정하는 호수와 늪, 해양 식물플랑크톤의 현저한 증식을 가져올 우려가 있는 해역(호수와 늪에서 연줄수의 염소 이온 함유량이 1L당 9,000mg 이상을 포함한다. 이하 같다.)으로서 환경성 장관(대신)이 정하는 해역 및 그 해역에 유입되는 공공용수역에 배출되는 배출수에 한하여 적용한다.
5. 인 함유량에 대한 배수기준은, 인이 호수와 늪 식물플랑크톤의 현저한 증식을 가져올 우려가 있는 호수와 늪으로서 환경성 장관(대신)이 정하는 호수와 늪, 해양 식물플랑크톤의 현저한 증식을 가져올 우려가 있는 해역으로서 환경성 장관(대신)이 정하는 해역 및 그 해역에 유입되는 공공용수역에 배출되는 배출수에 한하여 적용한다.

<다이옥신류 대책 특별 조치법 시행 규칙 별표 제2 수질배출기준 >
(제1조의 2 관련)

령 별표 제2 제1호 내지 제19호 시설	1L당 10pg (다이옥신)
------------------------	-----------------

2002년 일본 환경성에서 마련한 지침에 더하여 2008년 국토교통성에서 제정한 “항만에 있어서 퇴적물 다이옥신류 대책 기술지침”에서는 수거된 오염퇴적물의 중간 처리설비, 최종 처분지로부터 발생하는 폐수의 방류로부터 주변 공공수역을 오염시키지 않도록 수처리 방식의 선정 관리에 대한 내용이 상술되어 있다. "다이옥신류 대책 특별 조치법(일본)"에 따라, 다이옥신류의 방류수질 기준은 환경성에서 마련한 10 pg-TEQ/L이며, 그 밖에 "수질오탁 방지법(일본)"의 방류수 기준(도도부현의 추가 조례)"등을 고려할 것을 요구하고 있다.

“퇴적물의 처리·처분 등에 관한 지침”에서는, 폐수 배출로부터 유출수 감시에 관해서, 대책 대상물질의 감시기준치는 "해양 오염 및 해상 재해의 방지에 관한 법률(일본)"에 근거하는 "여수토(余水吐)로부터 유출하는 해수의 수질에 대한 기준을 정하는 성령"(1977년(쇼와52년) 8월 26일 총리부령 제38호) 제2항에 나타난 기준으로 하고 있다. 판정방법은, 그 최고치가 감시 기준

치를 넘지 않는 것이며, "감시 기준치에 적합하지 않는 결과를 얻었을 경우에는, 즉시 방류를 중단하고, 감시 기준치에 적합시킬 수 있도록 필요한 조치를 강)하는 것으로 한다"라고 기재되어 있다. 본 지침에는 적절한 수처리 방식의 선정에 도움을 주기 위한 목적으로 수처리 방식의 선정 순서에 대한 설명이 있다. 여기에 나타나 있는 수처리 방식 선정의 기본이 되는 입경별 적용 수처리 기술은 그림 4-3-1과 같다.

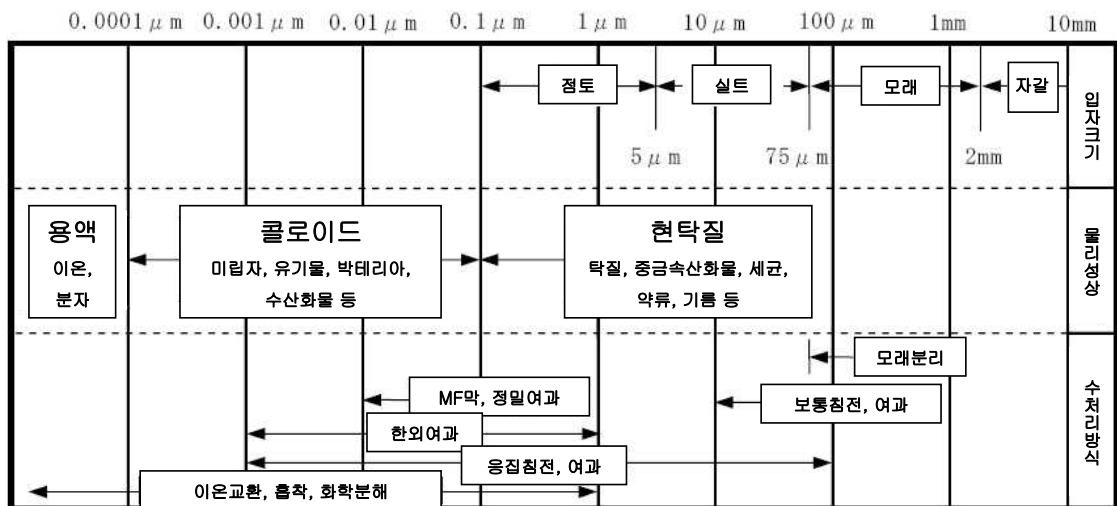


그림 4-3-1. 입자크기와 상용 수처리 기술

수처리 방식 선정은 수질분석 및 처리시험을 하여, 그 결과에 기초하여 적절한 방식을 선정할 필요가 있다. 다이옥신류는 미세한 흡입자에 부착하여 이동한다고 사료되므로, 우선 미립자 제거에 적절한 응집침전, 여과방식부터 검토하게 된다. 표 4-3-1에 수처리 방식의 선정 순서를 그림 4-3-2에 선정 흐름도를 나타내었다.

표 4-3-1. 수처리 방식의 선정 순서

선정 순서	처리방식
퇴적물 시료에 적정한 응집제를 첨가하고, Jar 테스트를 실시한 결과, 상등수가 SS=10mg/L이하, 다이옥신류 농도 10 pg-TEQ/L이하의 경우	응집침전법
퇴적물 시료에 적정한 응집제를 첨가하고, Jar 테스트를 실시한 결과, 5A 여과지로 여과 후, 여과액이 SS=5mg/L이하, 다이옥신류 농도 10 pg-TEQ/L이하의 경우	응집침전법 + 모래여과법
퇴적물 시료에 분말 활성탄과 적정한 응집제를 첨가하고, Jar 테스트를 실시한 결과, 5A의 여과지로 여과 후, 여과액이 SS=5 mg/L이하, 다이옥신류 농도 10 pg-TEQ/L이하의 경우	응집침전법 + 모래여과법 + 활성탄흡착법
퇴적물 시료에 적정한 응집제를 첨가하고, Jar 테스트를 실시한 결과, 5A 여과지로 여과 후, 여과액이 SS=5mg/L이하, 다이옥신류 농도 10 pg-TEQ/L이하의 경우	응집침전법 + 모래여과법 + 화학분해법

수처리의 관리는 응집침전처리, 모래여과처리의 관리를 하는 경우에는, 탁도(또는 부유물질(Suspended solid: SS)와 다이옥신류 농도와는 상관관계를 이용하여, 응집제를 적정량 첨가하여 응집시험을 실시한 결과로부터 잔류입자의 탁도 및 SS와 다이옥신류 농도와의 관계를 구하도록 하고 있다. 탁도를 항상 감시하는 것으로써, 다이옥신류 농도를 간접적으로 감시하는 것이 가능하다. 이처럼 각 장치에 대해서도 처리시험을 실시하여 처리성능 파악을 위한 관계도를 작성하여, 그 결과를 근거로 수처리를 실시한다.

다만, 화학분해법(촉진 산화법, 광분해법)등과 같이, 단순한 물리적 분리 목적 이외의 방법으로 처리를 하여야 할 경우에는 충분한 조사 자료가 없기 때문에, 실험에 의해 오염 농도, 체류 시간과 분해율의 관계를 조사하여, 이 결과에 근거하여 관리를 실시한다. 원수의 수질 변동 등에 의해 감시 기준치를 지킬 수 없는 경우에는, 즉시 유입을 정지하는가, 유입 부하를 낮추는 등의 조치로, 감시 기준치 이하를 유지한다.

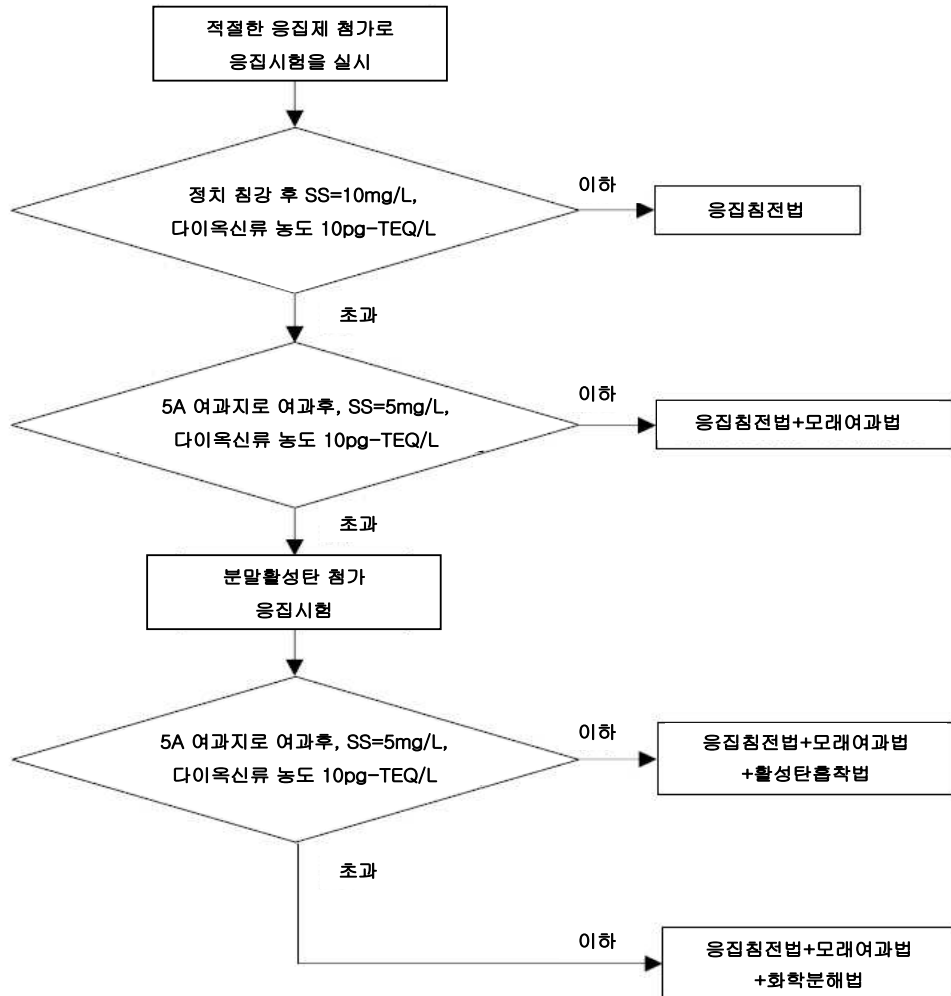


그림 4-3-2. 수처리 방식 선정 흐름도

비슷한 사례로 일본은 국가 및 지방자치단체는 공공수역에 폐수를 방류하는 여러 사업들의 적절한 환경 영향 평가에 의거하여 폐수 방류, 하수처리시설의 확장 및 개선, 하천수의 개선을 위하여 엄격한 규정을 두고 있다.

인간건강보호를 위한 방류수 수질기준은 중금속, PCB 등을 포함하며, 일 최대값에 근거하여 규제된다. 방류수 수질기준에 대한 위반여부는 기준을 초과하는 모니터링 자료로부터 쉽게 인지되어진다.

생활환경 보전을 위한 국가 방류수질기준은 부유물질(SS) 등을 포함한다. 가정의 부속탱크로부터의 방류 적용을 위하여 설정되었다. 이러한 접근은 공장 등의 시설에서도 규제가 없는 지역의 가정 부속탱크로부터의 방류와 적어도 동일한 기준을 요구한다. BOD, COD, SS에 대한 기준은 각각 최대치와 평균으로 주어진다. 최대값 혹은 평균치에 대하여 위반시 벌금이 가해진다.

표 4-3-2. 일본의 국가, 지자체 방류수 수질기준

항목	가나자와현 (연안)	시가현	국가
건강항목			
카드뮴	-	0.01	0.1
CN	-	0.1	1
유기인화합물	0.2	ND	1
납	-	-	0.1
크롬(VI)	-	0.05	0.5
비소		0.05	0.1
불소		0.05	15
생활환경			
pH	5.8-8.6	6.0-8.5	5.0-9.0
BOD	-	15-120	160(120)
COD	25(20)*	15-120	160(120)
SS	70(40)	60-150	200(150)
노말핵산추출물(광유류)	-	5	5
노말핵산추출물(동물지방산+ 식물기름)	5	20	30
페놀	0.5	1	5
구리	1	1	3
아연	1	1	5
용존성 철	3	10	10
용존성 망간	1	10	10
크롬	-	0.1	2
대장균그룹수(/cm ³)	-	(3000)	(3000)

*: ()는 평균농도

나) 미국

준설물질의 처리시 발생하는 처리수의 관리와 관련하여 미국의 경우, 미국호나경청에서 개발된 오염퇴적물 평가 및 복원 지침서(U.S.EPA, 1994)에 오염퇴적물질 처리기술의 종류 및 특성과 함께 처리과정에서 발생하는 잔여물질의 관리에 대하여 상세하게 기술되어 있다.

여기서 잔여물질을 오염퇴적물 정화사업 과정에서 발생하는 물질, 부산물, 폐수 등으로 정의 내리고 있다. 따라서, 잔여물은 물, 폐수, 고형물, 기름분리 물질, 공기 및 시체 방출물질일 수도 있다. 이러한 잔여물의 관리는 처리, 봉쇄, 환경으로 방류 등을 포함한다.

■ 잔여수

물은 발생하는 양 때문에 대부분의 오염퇴적물 정화사업에서 고려하여야 할 가장 중요한 잔여물일 수 있다. 정화사업에서 선정된 제거 및 운송공정은 처리과정에서 얼마나 많은 잔여수가 발생하는가에 따라 심각한 영향을 가질 수 있다. 예를 들어, 퇴적물이 유압식으로 준설되어 관을 통하여 운송될 경우, 넓은 면적이 중력식 침전을 위해 요구되어진다. 반면에 기계식으로 준설되어 트럭으로 운송될 경우, 취급하여야 할 잔여수는 훨씬 적을 수도 있다. 사전처리나 처리과정들은 심지어 또 다시 물의 첨가를 요구할 수도 있다. 퇴적물의 최종처분을 위해, 대부분의 물들이 제거되어야만 한다. 퇴적물을 어떻게 취급하고 처리하고, 처분하는가에 따라, 궁극적으로 관리하여야 할 물의 양이 준설퇴적물의 2분의 1보다 작을 수도, 혹은 5배보다 많을 수도 있다.

오염퇴적물 정화사업에서 발생하는 잔여수는 방류수, 세정수로 보통 언급된다. “방류” 라는 용어는 다음과 같은 다양한 잔여수에 대하여 적용되어질 수 있다.

- 폐쇄처분장(준설토투기장)으로부터의 방류(discharge)
- 육상 매립장 혹은 폐쇄처분장으로부터의 표층 유거수(runoff)
- 탈수과정에서 발생하는 여액 또는 상등수
- 전처리 혹은 처리 과정에서 발생하는 폐수

세정수는 공극수, 폐쇄처분장이나 육상처분장에 있는 퇴적물로 침윤되는 침출수와 같이 퇴적물을 통하여 흘러나오는 물에 대하여 특별히 언급된다. 세정수의 양은 일반적으로 방류수에 비하여 매우 적지만, 용존 오염물질의 농도는 특별히 더 높은 편이다.

방류수와 세정수의 유출량은 그 근원에 의한다. 유압준설과정에서 폐쇄처

분장에 적치하는 과정에서 발생하는 방류수는 분당 수백에서 수천 리터까지 이를 수 있다. 방류시간은 그러나, 준설기간에 한정된다, 즉, 수주에서 수개월 단위이다. 사전처리 혹은 처리과정에서 발생하는 배출수는 기술 의존적이지만 일반적으로 장기간(수개월에서 수년)에 걸쳐서 적은 양을 생성한다. 오염퇴적물 정화사업이 완료되면, 방류수 처리에 대한 필요성은 우수, 유거수에 제한된다. 물이 오염퇴적물과 접촉하게 되면 장기간의 오염원으로 남는다.

침출수는 장기간에 걸쳐서 발생된다, 때문에 항구적인 침출수 채집 및 처리 체계가 도시 및 산업용 육상매립지에서와 같이 공통적으로 요구된다.

■ 잔여수 처리

도시하수와 산업폐수 처리기술들은 잘 확립이 되어 있다. 이러한 기술들이 비용, 효과, 실행성 및 가용성 측면에서 오염퇴적물 정화사업에서 발생하는 유출수나 침출수에 적용될 수 있다

유출수/침출수 처리기술들은 제거하여야 할 오염물질들의 종류에 따라 다음과 같이 분류되어질 수 있다:

- 부유물질
- 중금속
- 유기화합물

처리 과정사이에 겹치는 것이 있을 수 있지만, 이러한 분류는 일차처리를 반영한다. 퇴적물 정화사업에 도입될 필요가 있는 기타 오염물질들은 다음과 같다:

- 암모니아
- 황화물(황화수소)
- 산소요구량 (BOD, COD)
- 시안

■ 부유물질 제거 기술

부유물질 제거는 일반적으로 방류수나 침출수 처리에 가장 중요한 과정

이다. 잔여수에서 대부분의 오염물질들은 고형입자들과 관여된다. 효과적인 고형물질 제거체계는 오염물질의 농도를 현저히 감소시킬 수 있다. 고형물질 제거는 빈번하게 용존성 오염물질 제거과정을 위하여 사전처리로서 요구된다. 부유물질 제거의 일차 기술 공정은 침전과 여과이다.

침전 -침전은 대부분의 하수 및 산업폐수 처리시설에서 사용되는 일차처리 형태이다. 부유입자들의 중력 침강을 향상시키기 위하여 가용한 몇가지 선택권들이 있다: 화학응집제, 폐쇄처분장, 침사지 등. 폐쇄처분장에서의 중력 침강은 오염퇴적물 침전에 가장 널리 사용되어져 왔다.

폐쇄처분장은 준설퇴적물에 대한 침강 분지 및 저장 혹은 처분시설의 역할을 한다. 폐쇄처분장에서의 중력 침강은 유압준설 슬러리 (보통, 함니율이 10-15%)에 대하여 유출수는 1-2g/L의 부유물질 함량을 가진다. 중력침강만으로 1g/L 보다 낮은 (예, 100mg/L) 부유물질 함량을 가진 유출수를 만들 수도 있다.

여과 - 여과는 도시하수와 산업 폐수 처리에서 응집과 침강에 의하여 전처리된 물을 세정하는 과정으로 흔히 사용된다. 이 기술은 음용수의 처리에도 폭넓게 사용된다. 입자상 매개 여과는 유출수 처리에 사용되기도 한다. 투수성 보가 수평방향 흐름에 대하여 중력 여과를 시킬 수도 있다. 그러나 한 번 막히면 재생이 어렵다. 여과셀과 모래를 채운 독이 수직방향 흐름에 대해 중력 여과를 위해 사용되기도 한다.

▪ 중금속 제거기술

금속 오염물질들은 오염퇴적물 정화사업에서 발생하는 대부분의 잔여수에 있는 부유입자와 일차적으로 연관된다. 따라서 부유입자 제거기술을 응용하여 금속제거 필요성을 충분히 만족시킬 수도 있다. 잔여수의 용존성 금속의 제거는 이온교환이나 침전기법을 이용하여 수행되어질 수 있다. 이러한 기술들은 산업폐수처리에 널리 사용되어져 왔으나, 오염퇴적물 정화사업에서 발생하는 잔여수에 응용되어지지 않는 않았다.

표 4-3-3. 미국의 사전처리 방류수 수질기준 사례

항목	기준 (mg/L)		
	위스콘신주*	뉴욕주**	일리노이주***
무기오염물질			
카드뮴(총농도)	1.5	2.0	0.140
크롬(총농도)	NS	8.0	0.282
구리(총농도)	6.0	5.0	0.170
시안(총농도)	5.0	2.0	0.407
철(용존성)	NS	NS	2.40
납(총농도)	2.0	1.0	0.224
수은(총농도)	0.0026	0.02	0.003
니켈(총농도)	4.0	5.0	0.390
은(총농도)	5.8	1.0	0.05
아연(총농도)	8.0	5.0	5.5
영양염류			
총인	NS	NS	5.5
암모니아(질소)	NS	NS	77
유기오염물질			
유지류	300	100	50
페놀류	NS	4.5	14
벤조피렌	0.062	NS	NS
메틸클로라이드	NS	NS	0.960
플루오르탄	NS	NS	0.690
비스프탈레이트	NS	NS	1.03
NS: 기준없음			
*: Milwaukee Metropolitan Sewage District (1985)			
**: Onondaga County Department of Drainage and Sanitation (1983)			
***: City of East Chicago (1985)			
NS : 기준 없음			

■ 유기오염물질 제거기술

대부분의 유기오염물질들은 특히 소수성 화합물질들은 퇴적물 입자에 강하게 흡착되어 있다. 따라서, 부유입자 제거기술을 통하여 해결될 것이다. 용존성 유기오염물질의 제거는 잔여수에 허용한계 이상의 농도가 존재할 경우 필요할 것이다. 유기오염물질 제거기술은 대부분 부유입자 제거를 먼저 요구하며, 탄소흡착, 기름분리, 산화 등의 기술을 이용한다.

- 수질에 근거한 방류수 제한

미국 위스콘신주 등에서는 수질에 근거한 방류수 제한사항을 설정하고 있다. 수질에 근거한 방류수 제한사항들은 수역으로 배출되는 방류수가 수질기준에 부합되도록 확인하기 위하여 계산되어진다. 수질기준은 법에서 설정한 수질범주를 포함하며, 수역의 분류 및 용도(예, 어류 및 수생생물용, 공공용수, 위락 용도, 등) 수역에 새로운 혹은 증가된 방류수 제기에 대한 저하방지조항을 사용한다. 이러한 기준들은 수역으로 유해하거나 심미적 후각적으로 역영향을 주는 물질들의 방류와 관련하여 수생생물, 야생동물, 인간건강을 보호하기 위하여 동시에 고려되어진다.

수질근거 방류수 제한사항들은 특정한 오염물질들에 대하여서는 방류가 적절한 흐름이나 확산 등에 의하여 혼합된 후 해역의 용도와 관련된 기준을 준수할 수 있도록 계산되어진 제한사항 형태를 취할 수도 있다. 이러한 제한사항들은 일반적으로 농도(예, mg/L, ug/L), 질량(예, kg/day), 농도 및 질량, 또는 온도, 수소이온농도와 같은 항목들에 적절한 단위로 표현되어진다. 제한사항들은 또한 다종의 오염물질들에 대하여서는 수질기준을 위배하지 않는다는 것을 확인할 필요가 있을 경우, 전체 방류수의 독성에 대한 규정을 가지기도 한다.

- 워싱턴주의 혼탁도 허용기준

미국워싱턴주는 인위적 행위로 인하여 발생하는 부유물질에 대하여 일최대 허용 혼탁도를 규정하고 있다⁴⁾. 혼탁도의 단위는 네펠로이드 혼탁단위인 NTU로 측정된다.

4) WAC 173-201A-210 Marine water designated uses and criteria

표 4-3-4. 미국 워싱턴주의 공사로 인한 수층의 혼탁도 허용기준

범주	NTUs
매우 좋음 (Extraordinary quality) 연어 및 기타 어류의 회귀, 양식, 산란; 조개, 굴, 홍합 양식 및 산란; 갑각류 및 기타 무척추동물(게, 새우, 가리비 등)의 양식 및 산란	배경농도가 50 NTU 이하일 때, 배경농도보다 5 NTU를 초과하여서는 안된다 배경농도가 50 NTU 보다 클 경우, 배경농도보다 10% 이상을 초과하여서는 안된다
좋음 (Excellent quality) 상동	상동
약간 좋음 (Good quality) 연어 회귀 및 양식; 기타 어류의 회귀, 양식, 산란; 조개, 굴, 홍합 양식 및 산란; 갑각류 및 기타 무척추동물(게, 새우, 가리비 등)의 양식 및 산란	배경농도가 50 NTU 이하일 때, 배경농도보다 10 NTU를 초과하여서는 안된다 배경농도가 50 NTU 보다 클 경우, 배경농도보다 20% 이상을 초과하여서는 안된다
보통 (Fair quality) 연어 및 기타 어류의 회귀	상동

공사시 물의 흐름이 있는 곳에서의 측정 지점:

- 유량이 10 cfs(cubic feet per second : 28.3 liter/second) 까지는 흐름방향으로 100 feet (30 m) 떨어진 곳
- 유량이 10 ~ 100 사이인 곳에서는 60 m 떨어진 곳
- 유량이 100 cfs 초과하는 곳에서는 90 m 떨어진 곳
- 호수, 습지, 하구역, 해양 또는 흐름이 없는 곳에서의 측정지점은 공사지점에서 45 m 되는 지점

다) 네덜란드

네덜란드에서는 오염 퇴적물을 포함하여 준설물질의 최종처리방안으로 주로 인공섬과 같은 대규모 폐쇄형처분장을 조성하여 처리를 해 오고 있다. 폐쇄처분장은 우리나라의 준설토투기장과 그 형태가 유사하다. 네덜란드 정부는 폐쇄형 대규모 처분장의 조성 이유를 준설물질들의 신속한 처리 및 환

경효율성, 용지 확보 등에서 찾고 있다. 처분장을 조성 관리함에 있어서 토지 및 지하수, 표층수, 인간, 생태/자연 등과 관련된 법적, 정책적 규정을 준수하도록 하고 있다. 이중 처리과정에서 발생하는 처리수의 방류와 관련된 부분은 오염표층수법, 수로 공공작업 관리법 등에 규정되어 있다. 오염표층수법에는 허가과정에서 표층수의 오염을 최대한 방지하기 위한 규제들이 포함된다. 폐쇄처분장에서의 방류수의 배출기준은 처분하고자하는 준설물질의 오염정도에 따라 다음과 같이 구분한다(Netherland. Department Water Construction and Environment, 2006).

표 4-3-5. 폐쇄처분장의 방류수 배출기준(네덜란드)

처분장의 준설물질 품질	부유물질 배출요구사항
• 급 3 및 4	30 mg/L
• 급 0 - 2	100mg/L

준설물질의 배출시 오염물질의 표층수로의 확산을 방지하기 위하여 다음과 같은 실험과정을 거친다.

- a) 처분장에 배출할 물질의 오염물질 농도에 근거한 검토:
- b) 표층수 농도 검토
- c) 표층수 농도에 대한 준설물질의 영향 확인

공극수 농도가 표층수의 목표치(최대 허용농도)를 초과하지 않을 경우, 허가, 이를 통과하지 못할 경우, 표층수에 미치는 농도증가가 기준거리(최대 1000 m)에서 최대허용농도 혹은 수계의 배경값과 동일한지 혹은 10% 이상을 초과하는지 실험, 퇴적물 상부의 표층수 혹은 저층수에서 생물에 대한 급성 독성이 있는지 검토. 이 검토단계에서 기준거리는 수계의 종류에 따라 다르지만, 완전히 혼합된 지점을 기준거리로 정하며, 깃누거리에서의 농도증가가 최대허용농도 혹은 표층수 배경농도의 10% 이상을 더 초과하게 되거나 급성독성이 나타나게 될 경우, 처분을 불허한다. 검토에 사용되는 항목별 농도기준은 표 4-3-3과 같다.

표 4-3-5. 네덜란드 수자원관리를 위한 농도기준

번호	성분	ER(ug/l)	MTR(ug/l)	VR(ug/l)
1	독성화학 물질	1150	32	1.3
2	카드뮴	79	2	0.4
3	크롬	2100	84	2.4
4	구리	45	3.8	1.1
5	메틸-수은	0.12	0.1	0.05
6	수은	13	1.2	0.07
7	납	3000	220	5.3
8	니켈	600	6.3	4.1
9	아연	370	40	12
10	나프탈렌	280	1.2	0.01
11	안트라센	2.9	0.08	0.0008
12	Fenantreen	55	0.3	0.003
13	Fluorantheen	59	0.5	0.005
14	벤젠(a)pyreen	3.2	0.03	0.0003
15	Chryseen	4.2	0.8	0.009
16	벤젠(k)fluorantheen	1.8	0.2	0.002
17	벤젠(a)pyreen)	9.4	0.2	0.002
18	벤젠(ghi)peryleen	1.5	0.5	0.005
19	Indenopyreen	4.9	0.4	0.004
20	5염소벤젠	134	0.3	0.003
21	6염소벤젠	22	0.009	0.00009
22	Aldrin	0.75	0.001	0.00001
23	2eldrin	1.2	0.039	0.0004
24	Fridrin	0.38	0.004	0.00004
25	DDT	0.009	0.0009	0.0000009
26	DDD	0.005	0.0005	0.000005
27	DDE	0.005	0.0004	0.000004
28	알파 endosulfan	7.4	0.02	0.0002
29	알파-HCH	111	3.3	0.033
30	베타-HCH	62	0.86	0.009
31	감마-HCH	54	0.92	0.009
32	7염소	1.2	0.0005	0.000005
33	7염소에폭시	0.061	0.0005	0.000005
34	클로르텐	0.089	0.002	0.00002
ER: 심각한 위험, MTR: 최대허용농도, VR: 목표농도				

2. 해양오염퇴적물 중간처리 방류수 수질관리 방안

1) 방류수 수질관리 항목

해양오염퇴적물 처리과정에서 발생하는 방류수의 분류 및 관련 용어의 정의는 다음과 같다.

- 전처리시설 방류수: “전처리시설” 이라함은 수거된 오염퇴적물의 함니율을 높이기 위하여 응집·침전, 탈수 등 단순한 물리적 처리를 수행하는 공정을 말하며, 전처리 방류수란 이 과정에서 발생되어 해역으로 배출하는 방류수를 말한다.
- 중간처리시설 방류수: 수거된 오염퇴적물에 포함된 오염물질의 농도를 감축시키기 위하여 생물학적이거나 화학적인 처리 공정을 포함하는 처리 과정을 수행하는 것을 말하며, 중간처리 방류수란 이 과정에서 발생되어 해역으로 배출하는 방류수를 말한다.
- 준설토투기장 방류수: 수거된 오염퇴적물을 전처리시설에서 전처리를 수행한 후, 혹은 전처리없이 준설토투기장에 투입하는 과정에서 준설토투기장과 주변 해역의 해수교환을 위하여 설치된 관거를 통하여 준설토투기장 외부의 해역으로 배출되는 방출되는 방류수를 말한다.
- 잔여수: 오염퇴적물의 수거 또는 수거 후 전처리시설에서 발생하는 물을 말한다.
- 잔여수 수질검사: 전처리시설 방류수 및 준설토투기장 방류수의 수질관리를 위하여 사전에 실시하는 검사를 말한다. 검사 방법은 해양오염퇴적물 정화사업해역의 퇴적물에 해수를 적당한 비율로 혼합한다. 퇴적물과 해수의 비율은 수거 대상장비의 오염퇴적물 수거 예상 함니율을 기준으로 한다. 예를 들어, 예상 함니율이 20%일 경우, 채취된 퇴적물 100mL에 물 400mL의 비율로 혼합한다. 검사에 사용되는 퇴적물의 양은 100mL을 기준으로 한다. 정화사업에서 전처리 공정이 포함되어 있을 경우에는 동일한 과정을 실험실에서 재현할 수 있어야 한다. 전처리가 포함되지 않을 경우, 해수와 혼합된 퇴적물을 산으로 충분히 세척된 플라스틱(HDPE) 용기에 넣고 뚜껑을 닫은 후 1시간동안 교반한다. 교반 후 부유 퇴적물이 충분히 침강이 이루어지게 한 후에 그 상등액을 여과하여 여과수에 대하여 수질검사를 수행한다.

- 잔여수 수질검사 항목은 다음과 같다.
 - 부영양화 관련항목: 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소, 무기질소, 무기인), 부유물질(SS)
 - 유해물질: 해양오염퇴적물 정화사업에서 유해물질 관련 평가항목 중 사업해역의 퇴적물에서 기준 2 이상을 초과하는 항목
- 전처리시설 방류수의 수질관리 항목은 다음과 같다.
 - 부영양화 관련항목: 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소, 무기질소, 무기인), 부유물질(SS)
 - 유해물질: 해양오염퇴적물 정화사업에서 유해물질 관련 평가항목 중 사업해역의 퇴적물에서 기준 2 이상을 초과하는 항목
- 중간처리시설 방류수의 수질관리항목은 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 항목으로 한다.
- 준설토투기장 방류수의 수질관리 항목은 다음과 같다.
 - 부영양화 관련항목: 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소, 무기질소, 무기인), 부유물질(SS)
 - 유해물질: 해양오염퇴적물 정화사업에서 유해물질 관련 평가항목 중 사업해역의 퇴적물에서 기준 2 이상을 초과하는 항목

2) 방류수 수질관리 기준

가) 전처리시설 방류수

- 전처리시설 잔여수에 대한 사전 수질검사를 바탕으로 부유물질을 제외한 항목들의 농도는 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 농도를 초과하지 않아야 한다.
- 전처리시설 잔여수의 사전 수질검사에서 측정항목들이 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준 농도를 초과할 경우, 이들 오염물질들의 농도를 기준 이하로 저감시키기 위한 별도의 장치를 마련한다.
- 전처리시설에서 발생하는 방류수에 대하여서는 부유물질을 일 1회 이상 측정하여야 한다. 측정 기록은 열람이 가능하게 보관하여야 한다. 부유물질의 농도가 배출허용기준 이상을 초과할 경우, 즉시 공사 담당자는 방류를 중단하고 관리자에게 보고하고 대책을 강구하여야 한다.

나) 중간처리시설 방류수

- 중간처리시설에서 발생하는 방류수의 수질기준은 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준 농도를 초과하지 않아야 한다.
- 중간처리시설에서의 수질검사는 주 1회 이상으로 하고, 수질검사 기록은 열람이 가능하게 보관되어야 한다. 수질검사에서 방류수의 수질이 배출허용기준을 초과할 경우, 즉시 공사 담당자는 방류를 중단하고 관리자에게 보고하고 대책을 강구하여야 한다.

다) 준설토투기장 방류수

- 준설토투기장 방류수 대상 잔여수에 대한 수질검사 결과 유해화학물질 관련 항목의 농도가 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준을 초과하지 않을 경우, 방류구의 수질 측정 항목은 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소, 무기질소, 무기인, 규산염), 부유물질(SS) 로 한정한다.
- 준설토투기장 방류수 대상 잔여수에 대한 수질검사 결과 유해화학물질 관련 항목의 농도가 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준을 초과할 경우, 이들 항목을 포함하여 측정한다.
- 준설토투기장 방류구에서의 방류수 수질기준은 유해화학물질 관련 항목의 경우, 환경정책기본법시행령제2조 관련 [별표 1]의 라목의(2)에 규정된 사람의 건강보호 항목의 기준으로 하고, 그 외의 항목들에 대하여서는 수질 및 수생태계 보호에 관한 법률 시행규칙 제34조 관련 [별표 13]에서 규정된 가지역 기준으로 한다.
- 준설토투기장 방류구에서의 수질검사는 수거 오염퇴적물의 수거가 이루어지는 기간동안 적어도 1주일에 1회 이상 실시하고, 부유물질에 대하여서는 탁도계를 이용하여 매일 1회 이상 실시한다.
- 검사결과는 해역에 미치는 영향을 검토하기 위한 자료로 사용된다. 공사기간 중 부유물질의 농도가 기준을 초과할 경우, 즉시, 준설토투기장에서의 투입을 중지하고, 이를 관리자에게 보고하여야 한다. 관리자는 공사 담당자와 함께 부유물질 확산을 방지하기 위한 대책을 수립하고 시행하여야 한다.

- 준설토 투기장에서의 외해로의 부유물질 확산을 억제하는 방법으로는 투입 지점을 되도록 방류구에서 먼 곳에 배치하거나, 또는 해저면 가까이에 배치하는 등의 방안이 있다.
- 방류구에서의 수질검사 결과를 바탕으로 해역의 수질에 미치는 영향에 대한 검토한다. 방류구에서의 측정항목들의 농도와 방류구를 통하여 외해로 유입되는 방류수의 양으로 이들 항목들에 대한 총 유입량을 계산하고, 총 유입량이 해역의 수질에 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 나타날 경우, 방류구에서 흐름이 있는 방향으로 100 m 되는 지점에서의 표층과 저층의 수질을 조사한다.
- 투기장 주변해역의 수질 조사는 수거 퇴적물의 투입으로 인한 영향이 가장 클 것으로 예상되는 시기에 수행한다.
- 투기장 방류구로부터의 오염물질 유출로 인한 해역의 환경저하를 미연에 방지하기 위하여서는 사업의 계획 및 설계 단계에서 해역의 혼합계수를 산정하여 사전에 검토가 이루어지는 것이 적절하다.

참 고 문 헌

참고문헌

- 오염퇴적물 관리원칙(<http://www.epa.gov/superfund/policy/remedy/pdfs/92-85608-s.pdf>)
- 오준영, 2004, Geosystem공법을 이용한 오염물질 탈수 및 보관처리 공법, 해양오염퇴적물관리워크샵.
- 이희재, 2001, 국산지오택스타일을 활용한 환경지오투브의 적용성 평가에 대한 연구, 인천대 대학원.
- 한국건설기술연구원, 2003, 호소 및 하천의 퇴적오니 분포조사 및 환경친화적인 준설 및 재이용 기술개발.
- 한국해양연구원, 2002, 준설토 재활용방안 연구.
- 해수유동 및 부유사확산 예측기법 개선에 관한 연구, 2003, 한국환경정책.평가연구원
- 강선중, “폐기물관리법 해설”, 폐기물처리 Newsletter 제101호, 2005. 2.
- 건설교통부, 「호소 및 하천의 퇴적오니 분포조사 및 환경친화적인 준설·재이용 기술개발」, 건설기술연구원, 2003. 8.
- 고영훈, 「환경법」, 법문사, 2002.
- 국토해양부, “수저준설토사 활용으로 친환경적 해양개발 및 예산절감”, 2009. 1.
- 길상인 외, “수거된 해양폐기물 자원화 기술 개발(I) - 해양폐기물의 폐기물 연료화 -”, 한국해양환경공학회지 제5권 제2호, 한국해양환경공학회, 2002. 5.
- 김건하 외, “저니 캡핑(Sediment Capping)을 활용한 오염퇴적물의 효율적인 처리”, 일반기사 제53권 제5호, 2005. 5.
- 배재근, 「신편 폐기물처리공학」, 구미서관, 2005.
- 안재환, “준설퇴적물의 적정관리를 위한 환경기준 고찰”, 건설기술정보, 2002. 10.
- 윤길림·조홍연, “준설토 재활용 방안 및 적용사례 분석”, 지방환경 제3권 제2호, 2002. 6.
- 이대영, 「인천해양퇴적물의 오염현황과 관리대책」, 인천발전연구원, 2001. 2.

- 이창희·김은정, 「호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안」, 한국환경정책평가연구원, 1998. 12.
- 유혜진, 「수저퇴적물 환경기준 개발에 관한 연구」, 한국환경정책·평가연구원, 2000. 12.
- 장태주, 「행정법개론(제7판)」, 1346면
- 채영근, “육상폐기물 해양투기의 문제점과 개선방안”, 환경법연구 제30권 제3호, 2008.
- 천병태, 김명길, 「환경법」, 2000.
- 최윤찬, “하수슬러지의 적정처리 및 재활용 방안”, 부산발전연구원 학술정보, 2003. 11.
- 해양수산부, 「준설토 재활용 방안 연구」, 2000.
- 해양수산부, 「준설토 재활용 방안 연구,Ⅲ :경량혼합토 개발을 중심으로」, 2002.
- 해양수산부, 「준설토사 처리 및 유효활용 -지침서-」, 2007. 6.
- 해양수산부, 해양오염퇴적물 조사 정화복원체계 구축[Ⅱ], 239-288, 2005년.
- 해양수산부, 해양오염퇴적물 조사 정화복원체계 구축[Ⅲ], 2007년 2월.
- 국토해양부, 해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발[Ⅰ], 2008년 6월.
- 국토해양부, 해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발[Ⅱ], 2009년 9월.
- 울산광역시, 오염해역(방어진항)준설토사업 실시설계용역 보고서, 2004년 12월.
- 부산지방해양항만청, 부산 용호만 오염해역 퇴적물 정화복원 타당성 조사, 2008년 12월.
- 환경부, 토양지하수 오염방지기술개발사업(GAIA Project), 2008년 1월.
- 환경부, 오염토양 정화방법 가이드라인, 2007년.
- 해양수산부. 준설토물질 해양배출 평가체제 개발 연구용역(Ⅰ) (연구보고서). pp.1-293, 2002.
- 해양수산부. 준설토사 처리 및 유효활용 기준 수립 (연구보고서). pp.1-428, 2007.
- 해양수산부. 준설토사 처리 및 유효활용 (지침서). pp.1-98, 2007.
- 해양수산부. 준설토 재활용 방안 연구(Ⅳ) (연구보고서). pp.1-329, 2003.

해양환경관리법

해양환경관리법 시행령

해양환경관리법 시행규칙

공유수면관리법

토양환경보전법

토양환경보전법 시행규칙

폐기물관리법

수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙

환경정책기본법 시행령

오창환, 유연희, 이평구, 박성원, 이영엽, 국내 토양오염 공정시험방법중 중금속 관련 오염평가의 문제점과 개선책. 한국지하수토양환경학회지, 제6권 제1호 : 63-83, 2001.

이용수, 정하익, 폐기물 매립장의 차수재 및 복토재로서 하수 슬러지 재활용. 한국지반공학회지 제13권 제4호, 5-11, 1997.

전환기, 이관호, 안정처리된 도시 하수슬러지의 건설재료활용을 위한 기본연구. 대한토목학회논문집, 제20권 제4호, 315-324, 2000.

조홍연, 최광희, 윤길림, 용출시험에 의한 항만 준설토의 오염토 평가. 한국지반환경공학회 논문집, 제2권 제2호, 5-12, 2001.

해양수산부, 준설토 재활용 방안 연구. 2000년.

해양수산부, 준설토 재활용 방안 연구 (II). 2002년.

해양수산부, 준설토 재활용 방안 연구 (III). 2002년.

해양수산부, 준설토 재활용 방안 연구 (IV). 2003년.

해양수산부, 준설토사 처리 및 유효활용 (지침서), 2007년.

윤길림, 이찬원, 정우섭, 준설토 유효활용을 위한 한국형 환경기준 개발. 한국지반공학회 논문집, 제24권 제5호, 5-13, 2008.

이송, 이재영, 채점식, 이옥환, 토목재료로서 하수준설토의 재활용 연구. 대한토목학회논문집, 제21권 제5호, 597-604, 2001.

U.S. EPA. Selecting Remediation Techniques for Contaminated Sediment. EPA 823/B93/001, 1993.

- Claudia Copeland, CRS Report for Congress Clean Water Act: A Summary of the Law, Environment and Natural Resources Policy Division, 2002.
- Congressional Research Service (Content source); Peter Saundry (Topic Editor). 2009. "Marine Protection, Research, and Sanctuaries Act, United States." In: Encyclopedia of Earth. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). [First published in the Encyclopedia of Earth December 8, 2006; Last revised January 17, 2009; Retrieved February 15, 2009].
http://www.eoearth.org/article/Marine_Protection_Research_and_Sanctuaries_Act_United_States(2009년 4월 20일).
- Paul D. C, and Kenneth M. B, and April I. Z, and Joel B. B, Wetlands, Streams, and Other Waters: Regulation·Conservation·Mitigation Planing, Solano Pressbook, 2004.
- Robert S. Meinick, Dredging: Make Waves for Commerce or Environmental Destruction, 19 Vill. Evntl. L. J. 145, Villanova University, 2008.
- SPAWAR Systems Center (SSC) San Diego, Implementation Guide for Assessing and Managing Contaminated Sediment at Navy Facilities, Naval Facilities Engineering Command, 2003.
- Todd S. Bridges, Stephen Ells, Donald Hayes, David Mount, Steven C. Nadeau, Michael R. Palermo, Clay Patmont, and Paul Schroeder, The Four Rs of Environmental Dredging: Resuspension, Release, Residual, and Risk, U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC, 2008. 1.
- US Army Corps of Engineer, Seattle District, Dredged Material Management Program: Dredged Material Evaluation and Disposal Procedures(Users' Manual), 2008.

- U.S. ACE Washington, DC and U.S. EPA, Washington, DC, Evaluating Environmental Effects Of Dredged Material Management Alternatives - A Technical Framework, 1992(Revised 2004).
- United States Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response, Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites, 2005, p. 6-1. 웹페이지 : <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/sediment/guidance.htm> (2009년 3월 5일).
- Driscoll, S. B., Wickwire, W. T., Cura, J. J., Vorhees, D. J., Butler, C. L., Williams, L., Moore, D. W., and Bridges, T. S. Screening level environmental risk assessment for select dredged material management alternatives under the New York/ New Jersey dredged material management plan, prepared for U.S. Army Corps of Engineers, New York District, 1999.
- IMO - International Maritime Organization. 1992. Guidelines for the Assessment of Wastes or other Matter that may be Considered for Dumping, London Convention 1972 - Annex 4.
- Netherlands, Department Water Construction and Environment, 2006. Appraisal leaching and distribution from Depots to a new test framework. Realm Water State Construction Service, AKWA report 06,003. Utrecht
- Palermo M, Averett D. 2000. Confined Disposal Facility (CDF) Containment Measures: A Summary of Field Experience. DOER Technical Notes Collection (ERDC TN-DOER-C18), US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 2000. www.wes.army.mil/el/dots/doer. Accessed 28 March 2008.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2003. Evaluation of dredged material proposed for disposal at island, nearshore, or upland confined disposal facilities - Testing Manual, Technical Report ERDC/EL TR-03-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

- Ontario Ministry of the Environment and Energy, 1994. EVALUATING CONSTRUCTION ACTIVITIES IMPACTING ON WATER RESOURCES PART III B: HANDBOOK FOR DREDGING AND DREDGED MATERIAL DISPOSAL IN ONTARIO - DREDGING TRANSPORT AND MONITORING. Standards Development Branch Ontario Ministry of the Environment and Energy, Canada.
- Palermo, MR, J E. Clausner, M P. Rollings, G L. Williams, T E. Myers, T J. Fredette, and R E. Randall. Guidance for Subaqueous Dredged Material Capping. Dredging Operations and Environmental Research Program Technical Report DOER-1. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 1998
- Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version I, EPA, USAF, 1993.
- Thackson, E.L. and M.R. Palermo. 1988. General Guidelines for Monitoring Effluent Quality from Confined Dredged Material Disposal Areas. Environmental Effects of Dredging Technical Notes EEDP-04-9. U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1994. "ARCS Remediation Guidance Document." EPA 905-B94-003. Great Lakes National Program Office, Chicago, IL.
- U.S. EPA, 2005. The Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC. EPA-540-R-05-012.
- 미국 준설기술 및 장비관련 자료(<http://www.dredging.org/documents/ceda/downloads/vlasblom1-introduction-to-dredging-equipment.pdf>).
- U.S. EPA, 2005. The Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC. EPA-540-R-05-012.

U.S. EPA. 2004. Updated Report on the Incidence and Severity of Sediment Contamination in Surface Waters of the United States, National Sediment Quality Survey. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. EPA-823-R-04-007.

미국 오염퇴적물 정화·복원 관련 자(<http://yosemite.epa.gov/r10/CLEANUP>).

오염퇴적물 정화·복원 지역에서 사용된 처리기술 현황:

[http://yosemite.epa.gov/r10/CLEANUP.NSF/PH/Technical+Documents/\\$FILE/Overall_Status_Summary.pdf](http://yosemite.epa.gov/r10/CLEANUP.NSF/PH/Technical+Documents/$FILE/Overall_Status_Summary.pdf)

OSWER, Early and Meaningful Community Involvement, 9230.0-99, 2001

21세기 슈퍼펀드 정화를 위한 원칙 (<http://www.epa.gov/superfund/acommp/120day/pdfs/principles.pdf>)

U.S. EPA, EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. EPA-823-R-98-001, 1998.

Churchward, V., E. Isely, and A.T. Kearney. 1981. National Waterways Study. Overview of the Transportation Industry. U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.

EPA. 2005. Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites.

US Environmental Protection Agency. 1994, Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS) Program REMEDIATION GUIDANCE

EPA. 2005. Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites.

USEPA & USACE, 1991, Evaluation of Dredged Material Proposed for Ocean Disposal-Testing Manual.

Capping of contaminated dredged material case study, port of tyne, United Kingdom, International Maritime Organization(IMO), 2007. 3. 15, LC/SG 30/INF.3

U.S. EPA., EPA's Contaminated Sediment Management Strategy, 1998. 4.

EPA 홈페이지 <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/td/index.htm>.

Trudy J. Estes, "Environmental dredging project costs? The mystery, the mystique...the muddle", 4th International Conference on Remediation of Contaminated Sediments, 2007 January, Savannah, USA

Detzner, H.D., W. Schramm, U. Doring, and W. Bode, 1998, New Technologie of mechanical treatment of dredged material from Hamburg harbour, Water Science Technology Vol 37, No6-7, pp.337-343.

Dutch-German Exchange on Dredged Material, Treatment and confined disposal of dredged material, Sep. 2002

독일의 준설물질 처리시설 사례:

http://www.coastalmanagement.net/ftpbrowser2.php?download=docs%2Fjuurikas_Hamburg.pdf

일본 환경청환경법령연구회, 1998, 퇴적물 처리 및 처분 등에 관한 잠정지침. 일본의 오염퇴적물 처리기술의 개요:

<http://www.recycle-solution.jp/2003-report.pdf/2-SHO.html/2-11.pdf#search='浚渫土砂 發生量'>

일본 오염퇴적물 관련 자료(<http://www.recycle-solution.jp/2003-report.pdf/2-SHO.html/2-11.pdf#search='浚渫土砂 發生量'>).

중성고화공법: 후지기계(주):

<http://www.kk-fujiki.jp/environmental/stabilization.html>

후지기계(주). 중성고화공법(<http://www.kk-fujiki.jp/environmental/stabilization.html>).

DRES 공법(Daiho(주)): <http://www.daiho.co.jp/tech/kankyo1/index.htm>

혼테란공법: <http://www.sunahara.co.jp/bonterrain/about.html>

시즈오카현 타고노우라(田子の浦)항 준설토사 처리공법 (<http://www.cbr.mlit.go.jp/kikaku/mirai/02/tagonoura.htm>).

고요(五洋)건설(주). 퇴적물 환경정화공법 (http://www.penta-ocean.co.jp/news/d_news20050118.html).

Daiho(주). DRES 공법(준설 토사 재생 처리 공법) (<http://www.daiho.co.jp/tech/kankyo1/index.htm>).

혼테란공법 (<http://www.sunahara.co.jp/bonterrain/about.html>).

일본 국토교통성 항만국. 항만환경의 관리와 향후 정책의 기본적인 방향 (港湾環境の課題と今後の港湾環境政策の基本的な方向), 2004.

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 해양연구용역사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 해양연구용역사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.