

# 연차(단계)실적계획서

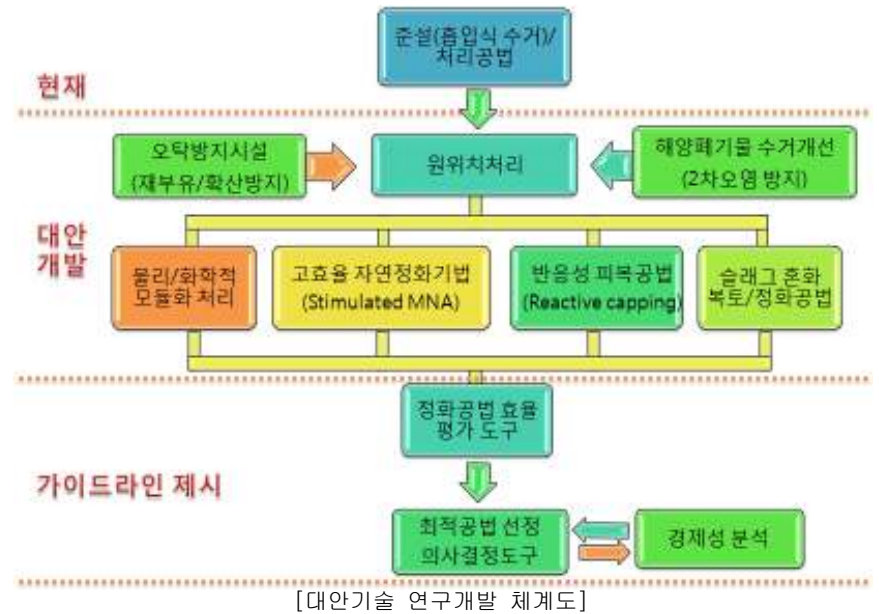
| 연 차 ( 단 계 ) 실 적 계 획 서  |   |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
|--|---|--|----------------|--------------|---------------------|-----------------|---------------|------------|----------------|----------|
| ① 사 업 명  | 해양환경기술개발사업                              |  |                | ②과제번호        | E21105711H190000110 |                 | 공개가능여부 (Y, N) |            |                |          |
| ④국가과학기술표준분류체계  | 연구분야                                    | 국토해양기술분류   | 대분류            | MEV          | 중분류                 | MEV01           | 소분류           | MEV0103    | ⑤국가기술지도 (NTRM) | B030306  |
|  |   | 1순위  | O              | O04          | O0402               | 30              |               |            |                |          |
|  |   | 2순위  | O              | O06          | O0602               | 40              |               |            |                |          |
|  |   | 3순위  | O              | O06          | O0601               | 30              |               |            |                |          |
| 적용분야 (대분류만 기재)   |   | O  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| ⑥ 과 제 분 류  | 과제유형                                    | * 기초:1, 응용:2, 개발:3   |                |              | 실용화 대상여부            | * 실용화:①, 비실용화:2 |               |            |                |          |
| 과 제 명  | 국문                                      | 지속가능 해양오염퇴적물 정화기술 개발   |                |              | ⑦ 보안등급              | 일반              |               |            |                |          |
|  | 영문                                      | Development of Sustainable Remediation Technology of Contaminated Marine Sediments |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| ⑧ 주관연구기관   | 환경대학교                                   |  |                | 소재지          | 경기도                 |                 |               |            |                |          |
| ⑨세부과제 연구기관 및 협동공동위탁,참여(연) 연구기관   | 구분                                      | (세부)과제명  |                | 기관명          | 당해연도 총 연구비(천원)      |                 |               |            |                |          |
|  | 공동                                      | 유형별 최적 정화공법 선정 및 자료분석  |                | 한국해양과학기술원    | 200,000             |                 |               |            |                |          |
|  | 위탁                                      | 피복공법 설계 시공 방안 개발   |                | 한국건설기술연구원    | 40,000              |                 |               |            |                |          |
|  | 위탁                                      | 오염퇴적물의 생물학적 피복정화기술 개발  |                | 서강대학교        | 50,000              |                 |               |            |                |          |
|  | 위탁                                      | 기능성 철강부산물을 활용한 오염퇴적물 정화기술 개발   |                | 포항산업과학연구원    | 50,000              |                 |               |            |                |          |
|  | 위탁                                      | 생물활성촉진제를 이용한 현장정화기술 개발   |                | 한국해양대학교      | 50,000              |                 |               |            |                |          |
|  | 위탁                                      | 해양오염퇴적물 정화기술 개발의 경제성 평가  |                | 서울여자대학교      | 70,000              |                 |               |            |                |          |
| 위탁   | 정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립                    |  | ㈜네오엔비즈         | 70,000       |                     |                 |               |            |                |          |
| ⑩ 주관연구책임자  | 성 명(한문)                                 | 김 영 기 (金 榮 琦)  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
|  | 소속 및 부서명                                | 환경대학교 화학공학과  |                | 직 위          | 교 수                 |                 |               |            |                |          |
|  | 연락처                                     | 전 화  | 031-670-5206   |              | 휴대폰                 | 010-8704-1157   |               |            |                |          |
|  |   | E-mail   | kim@hknu.ac.kr |              | Fax                 | 031-670-5209    |               |            |                |          |
| 총 연구기간   | 2011. 08. 16. ~ 2016. 08. 15. ( 5년 0월 ) |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| 다년도 협약 연구기간  |   |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| 당해연도 연구기간  | 2011. 08. 16. ~ 2012. 08. 15. ( 1년 0월 ) |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| 연구개발비 및 참여연구원수 (단위 : 천원, 명)  |   |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| 연도   | 정부 출연금                                  | 기업부담금  |                |              | 정부외 출연금             |                 |               | 상대국 부담금    | 합계             | 참 여 연구원수 |
|  |   | 현금   | 현물             | 소계           | 현금                  | 현물              | 소계            |            |                |          |
| 1차년도   | 1,144,000                               | 0  | 0              | 0            |                     |                 |               | 1,144,000  | 79             |          |
| 2차년도   | 1,145,000                               | 0  | 0              | 0            |                     |                 |               | 1,145,000  | 47             |          |
| 3차년도   | 5,900,000                               | 140,000  | 960,000        | 1,100,000    |                     |                 |               | 7,000,000  | 150            |          |
| 4차년도   | 6,056,000                               | 140,000  | 960,000        | 1,100,000    |                     |                 |               | 7,156,000  | 150            |          |
| 5차년도   | 6,000,000                               | 140,000  | 960,000        | 1,100,000    |                     |                 |               | 7,100,000  | 150            |          |
| 총계   | 20,245,000                              | 420,000  | 2,880,000      | 3,300,000    |                     |                 |               | 23,545,000 | 576            |          |
| 국 제 연 구  | 상 대 국 연구기관명                             |  |                | 상 대 국 연구개발비  | 신청액                 |                 | 천원            |            |                |          |
|  |   |  |                |              | 확정액                 |                 | 천원            |            |                |          |
|  | 상 대 국 연구책임자                             |  |                | 상 대 국 연구개발기간 | 신청                  |                 |               |            |                |          |
| 「국토해양부 소관 연구개발사업 운영규정」 및 제반 관계규정을 준수하면서 본 연구개발과제를 성실히 수행하고자 연차(단계)실적보고서를 다음과 같이 제출합니다. |   |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| 2012 년 8 월 일   |   |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| 주관연구책임자: 김영기 (인)   |   |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| 주관연구기관장: 환경대학교 산학협력단장 (직인)   |   |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |
| <b>한국해양과학기술진흥원장 귀하</b>   |   |  |                |              |                     |                 |               |            |                |          |

## 1. 당해연도 실적

### 1. 연구개발 목표

#### 가. 연구개발 최종목표

본 연구개발사업은 해양오염퇴적물 정화사업을 위해 주로 수행되고 있는 준설(흡입식 수거)/최종처리방법이 런던의정서에 의한 해양투기 가능 준설물질 규제강화로 위기에 놓여있는 상황에서 환경친화적이고 경제성을 가지는 대안기술을 개발하고 실증화를 추진하는 것을 목표로 하며, 구체적인 목표는 다음과 같음.



#### ○ 해역(오염)유형별 최적 정화공법 선정 의사결정도구 개발

- 현재 국내에서 사용되고 있는 흡입식 펌프에 수거를 포함한 준설공법, 본과제에서 개발하고자 하는 기술을 포함한 원위치 현장처리기술, 위치와 이동처리기술, 피복공법, 감시하 자연정화기법(Monitored Natural Attenuation) 방법 등 다양한 정화기술 중에서 해역 유형 및 오염정도에 따른 최적 정화공법을 선정할 수 있는 의사결정도구를 개발
- 다양한 대안기술의 적용이 가능하게 정책제안 ⇒ 관련된 법·규정 개정 추진

○ 해양폐기물 수거방법 개선

해양오염퇴적물 정화사업에 선행하는 해양(해저)폐기물 수거과정에서 부착 퇴적물 세척에 의해 발생하는 오염물질 발생을 최소화할 수 있는 친환경 세척 및 세척수처리 기술 개발

○ 친환경적 오탉방지시설 개발

해양오염퇴적물 정화사업 수행시 재부유 및 확산 등 2차오염을 방지하기 위해 광범위한 정화대상 해역에 설치되는 오탉방지시설에 의한 해역이용권자와의 마찰을 최소화하기 위하여 정화기술이 수행되는 최소공간에만 설치 가능한 선박부착형 오탉방지시설 개발

○ 피복(capping)정화기술 개발

- 효과적이고 경제적인 대안 정화기술인 피복공법으로 반응성 피복기술 개발
- 흡착제(중금속, 유기오염물 및 부영양화 물질 처리) 및 산화제(유기오염물 처리)에 의한 물리·화학적방법과 해양미생물 및 미세조류를 이용한 생물학적 방법(유기오염물 및 부영양화 물질 처리)에 관련하여 반응성 피복소재를 개발
- 피복공법의 설계 지침안을 개발하고, 이에 따른 실증 시범사업을 수행.

○ 현장처리기술 개발

- 오염퇴적물을 준설, 이동 중간 및 최종 처리하지 않고 현장에서 즉시 중간 처리 후 원위치에 되돌림함으로써 처리장 확보문제를 해결할 수 있는 현장 처리 기술을 개발
- 기능성 철강부산물(슬래그)을 활용하여 흡입된 오염퇴적물을 바지 상에서 혼합, 되돌리는 정화 및 복토 기술을 개발. 개발된 기술의 현장적용을 위한 엔지니어링 설계를 완성하고, 기술이전 및 상용화를 추진.
- 물리화학적처리(모돌화, 신속한 접근) 방법으로 정화하기 위한 공정 기반기술을 확립
- 토착 미생물군에 의한 자연정화능력을 활성화시키기 위하여 저질에 자생하는 황산염환원균, 아나목스균 등의 활성을 촉진시키는 방법으로 자정능력을 향상시키기 위한 생물활성촉진제(biostimulation agent)를 개발하고 효능을 검증.(장기적 접근법)
- 선정된 현장처리공법을 적용하기 위한 최적화, 파일럿 플랜트 제작·적용 및 설계 지침서를 제시

○ 정화기술 효율 평가 기법 개발

- 해역 및 오염 특성을 고려하여 해양 오염퇴적물 정화기술의 효율을 과학적으로 평가할 수 있는 방법을 탐색하고, 기존 “해양오염퇴적물 조사지침서”(해양수산부, 2006)의 ‘오염해역 정화복원준설 사업해역 환경모니터링 지침’을 기반으로 현장처리기술에 대한 효용성 검증, 생태복원 및 환경위해성 분야의 안전성을 확인할 수 있는 보완된 평가방법을 정립
- 정립된 정화기술 효율 평가기법을 활용하여 실증화사업이 수행되는 해역에 대한 모니터링 및 효율 평가를 수행

○ 사업의 경제성 분석·평가

- 해양오염퇴적물 정화기술 개발의 경제적 의의 분석을 통해 동 기술개발의 산업적인 파급효과 및 향후 기술개발로 획득할 수 있는 경제적 효과를 예상함.
- 경제성 평가는 두 차례로 나누어 실시하는데, 이 번 연구에서는 기초 및 응용 기술개발, 기초조사 등 사업의 궁극적 목적 달성을 위한 예비연구로서의 성격이 강한만큼 직접적인 “경제성 평가”보다는 환경경제적인 측면 등 전반적인 “사업성 평가”의 관점에서 투입-산출분석 방법론 등을 이용한 경제성 분석을 시도하고, 그리고 3차년도에는 활용기술 및 사업의 범위 등이 가시화되는 2단계 사업(상용화 초기단계)을 대상으로 기술평가, 재무평가, 예상편익의 추정 등 시범사업의 구체적인 “경제성 평가”를 수행함.

(1) 정량적 성과목표 및 성과지표

| 연차<br>(단계) | 연차별<br>성과목표                          | 성과지표     | 측정방법                         | 목표치 | 가중치 |
|------------|--------------------------------------|----------|------------------------------|-----|-----|
| 1차년도       | 해양퇴적물<br>정화 기술<br>역량 강화              | 총논문건수    | SCI(E)논문+<br>비SCI(E)논문 발표건수  | 5   | 20  |
|            |                                      | SCI(E)논문 | SCI(E)논문                     | 3   | 10  |
|            |                                      | 학술회의발표   | 발표한 건수                       | 8   | 10  |
|            | 연구성과<br>확산노력                         | 연구개발홍보   | 세미나, 워크샵, 등                  | 2   | 5   |
|            |                                      | 기술확산교류   | 교류실적                         | 3   | 10  |
|            | 핵심기술<br>지적재산권<br>확보                  | 특허출원     | 특허출원건수                       | 2   | 20  |
|            | 연구성과의<br>산업적 활용                      | 기술공개/이전  | 기술이전건수                       | 1   | 10  |
|            | 해양오염<br>퇴적물<br>정화기술의<br>실용화 및<br>상용화 | 시제품출시    | 시제품출시건수<br>(현장처리 피복정화재료 등)   | 1   | 10  |
|            | 해역오염도<br>시험 및<br>조사                  | 시험·조사    | 해역퇴적물 오염도 조사 및<br>관측건수       | 1   | 5   |
|            | 소 계                                  |          |                              |     |     |
| 2차년도       | 해양퇴적물<br>정화기술<br>역량 강화               | 총논문건수    | SCI(E)논문+<br>비SCI(E)논문 발표건수  | 20  | 10  |
|            |                                      | SCI논문    | SCI(E)논문                     | 10  | 5   |
|            |                                      | 학술회의발표   | 발표한 건수                       | 12  | 5   |
|            | 연구성과<br>확산노력                         | 연구개발홍보   | 세미나, 워크샵, 등                  | 1   | 5   |
|            |                                      | 기술확산교류   | 교류실적                         | 2   | 10  |
|            | 핵심기술<br>지적재산권<br>확보                  | 특허출원     | 특허출원건수                       | 5   | 15  |
|            |                                      | 특허등록     | 특허등록건수                       | 2   | 15  |
|            | 연구성과의<br>산업적 활용                      | 기술공개/이전  | 기술이전건수                       | 1   | 10  |
|            | 해양오염<br>퇴적물<br>정화기술의<br>실용화 및<br>상용화 | 현장시험     | 오염퇴적물 정화 요소기술의<br>검증 현장시험 건수 | 1   | 20  |
|            | 해역오염도<br>시험 및<br>조사                  | 시험·조사    | 해역퇴적물 오염도 조사 및<br>관측건수       | 2   | 5   |
| 소 계        |                                      |          |                              |     | 100 |
| 3차년도       | 해양퇴적물<br>정화기술<br>역량 강화               | 총논문건수    | SCI(E)논문+<br>비SCI(E)논문 발표건수  | 25  | 4   |
|            |                                      | SCI논문    | SCI(E)논문                     | 12  | 3   |
|            |                                      | 학술회의발표   | 발표한 건수                       | 13  | 1   |
|            | 연구성과<br>확산노력                         | 연구개발홍보   | 세미나, 워크샵, 등                  | 2   | 1   |
|            |                                      | 기술확산교류   | 교류실적                         | 2   | 1   |
|            | 핵심기술<br>지적재산권                        | 특허출원     | 특허출원건수                       | 8   | 5   |
|            |                                      | 특허등록     | 특허등록건수                       | 4   | 5   |
|            |                                      | 디자인·상표등록 | 등록건수                         | 1   | 5   |

| 연차<br>(단계)                                  | 연차별<br>성과목표                                 | 성과지표                   | 측정방법                         | 목표치                         | 가중치 |     |
|---|---|------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----|-----|
| 4차년도  | 연구성과의<br>산업적 활용                             | 기술공개/이전                | 기술이전건수                       | 3                           | 20  |     |
|   |   | 인증                     | 신기술승인/인정 건수                  | 3                           | 20  |     |
|   | 해양오염<br>퇴적물<br>정화기술의<br>현장적용을<br>위한<br>기술인증 | 시제품출시                  | 시제품출시건수<br>(현장처리 피복정화재료 등)   | 1                           | 10  |     |
|   |   | 현장시험                   | 오염퇴적물 정화 요소기술의<br>검증 현장시험 건수 | 2                           | 8   |     |
|   | 정책제안·활<br>용                                 | 정책제안실적                 | 정책제안건수                       | 1                           | 1   |     |
|   |   | 정책채택활용실적               | 정책채택건수                       | 1                           | 1   |     |
|   | 해역오염도<br>시험 및<br>조사                         | 시험·조사                  | 해역퇴적물 오염도 조사 및<br>관측건수       | 1                           | 5   |     |
|   | 환경개선·환<br>경산업경쟁<br>력                        | 환경규제대응기술               | 대응기술건수                       | 1                           | 5   |     |
|   | 공정공사<br>기간단축                                | 공정·공사기간 단축기술           | 정화사업 기간단축을 위한<br>기술 개발 건수    | 1건                          | 5   |     |
|   | 소 계   |                        |                              |                             |     | 100 |
|   | 4차년도  | 해양퇴적물<br>정화기술<br>역량 강화 | 총논문건수                        | SCI(E)논문+<br>비SCI(E)논문 발표건수 | 25  | 2   |
|   |   |                        | SCI논문                        | SCI(E)논문                    | 13  | 2   |
|   |   |                        | 학술회의발표                       | 발표한 건수                      | 14  | 1   |
|   |   | 연구성과<br>확산노력           | 연구개발홍보                       | 세미나, 워크샵, 등                 | 2   | 1   |
|   |   |                        | 기술확산교류                       | 교류실적                        | 2   | 1   |
| 핵심기술<br>지적재산권<br>확보                         |   | 특허출원                   | 특허출원건수                       | 5                           | 2   |     |
|   |   | 특허등록                   | 특허등록건수                       | 5                           | 5   |     |
| 연구성과의<br>산업적 활용                             |   | 기술공개/이전                | 기술이전건수                       | 1                           | 10  |     |
| 해양오염<br>퇴적물<br>정화기술의<br>현장적용을<br>위한<br>기술인증 |   | 인증                     | 신기술승인/인정 건수                  | 2                           | 10  |     |
| 해양오염<br>퇴적물<br>정화기술의<br>실용화 및<br>상용화        |   | 시제품출시                  | 시제품출시건수<br>(현장처리 피복정화재료 등)   | 0                           | 4   |     |
|   |   | 현장시험                   | 오염퇴적물 정화 요소기술의<br>검증 현장시험 건수 | 2                           | 4   |     |
| 정책제안·활<br>용                                 |   | 사업화/제품화                | 제품화건수                        | 2                           | 10  |     |
|   |   | 정책제안실적                 | 정책제안건수                       | 1                           | 1   |     |
|   |   | 정책채택활용실적               | 정책채택건수                       | 1                           | 1   |     |
| 해역오염도<br>시험 및<br>조사                         |   | 시험·조사                  | 해역퇴적물 오염도 조사 및<br>관측건수       | 1                           | 1   |     |

|              |                              |                        |                           |         |     |
|--------------|------------------------------|------------------------|---------------------------|---------|-----|
|              | 환경개선·환경산업경쟁력                 | 환경개선실적                 | 정화사업실적 및 물량               | 20,000㎡ | 40  |
|              | 공정공사기간단축                     | 신기술, 공정개발 및 개선         | 신기술 현장적용 실적 건수            | 2       | 5   |
| 소 계          |                              |                        |                           |         | 100 |
| 5차년도         | 해양퇴적물 정화기술 역량 강화             | 총논문건수                  | SCI(E)논문+ 비SCI(E)논문 발표건수  | 25      | 1   |
|              |                              | 연구성과 확산노력              | SCI(E)논문                  | 12      | 1   |
|              | 연구성과 확산노력                    | 특허                     | 발표한 건수                    | 13      | 1   |
|              |                              | 연구개발홍보                 | 세미나, 워크샵, 등               | 2       | 1   |
|              | 핵심기술 지적재산권 확보                | 실용화 및 상용화              | 교류실적                      | 1       | 1   |
|              |                              | 특허출원                   | 특허출원건수                    | 5       | 3   |
|              | 해양오염 퇴적물 정화기술의 현장적용을 위한 기술인증 | 시험 및 조사                | 특허등록건수                    | 4       | 2   |
|              |                              | 인증                     | 신기술승인/인정 건수               | 1       | 3   |
|              | 해양오염 퇴적물 정화기술의 실용화 및 상용화     | 현장시험                   | 오염퇴적물 정화 요소기술의 검증 현장시험 건수 | 2       | 13  |
|              |                              | 사업화/제품화                | 제품화건수                     | 1       | 4   |
|              | 정책제안·활용                      | 정책제안실적                 | 정책제안건수                    | 1       | 0.5 |
|              |                              | 정책채택활용실적               | 정책채택건수                    | 1       | 1   |
|              | 해양오염도 시험 및 조사                | 시험·조사                  | 해양퇴적물 오염도 조사 및 관측건수       | 1       | 0.5 |
|              | 환경개선·환경산업경쟁력                 | 환경관리능력제고               | 오염퇴적물정화기술향상               | 200%    | 5   |
|              |                              | 환경규제대응기술               | 대응기술건수                    | 3       | 3   |
|              |                              | 환경개선실적                 | 정화사업실적 및 물량               | 20,000㎡ | 30  |
|              | 공정공사기간단축                     | 비용절감효과                 | 기존정화사업단가대비                | 20%     | 20  |
| 공정·공사기간 단축기술 |                              | 정화사업 기간단축을 위한 기술 개발 건수 | 2건                        | 5       |     |
|              | 신기술, 공정개발 및 개선               | 신기술 현장적용 실적            |                           | 2       | 5   |
|              |                              | 소 계                    |                           |         | 100 |

(2) 연구목표 및 내용(총괄)

| 연 차  | 연구목표                                  | 주요 연구내용   |
|------|---------------------------------------|---|
| 1차년도 | •해양(오염)유형별 최적 정화공법 선정 (KIOST)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>•선진 처리방법 비교 검토 후 해역별 최적 정화방법 선정</li> <li>•해역 유형 및 오염도에 따른 정화공법 선정 의사결정도구 초안 개발</li> </ul>  |
|      | •해양퇴적물 오염특성별 해역유형 구분 기준개발 (한경대/KIOST) | <ul style="list-style-type: none"> <li>•오염퇴적물 오염특성 기존조사 자료 분석</li> <li>•오염퇴적물 사업해역 해역이용 특성조사 분석</li> <li>•현장특이성을 고려한 오염도 모니터링기법 및 지형탐사기술 현황 및 사례분석</li> <li>•해양퇴적물 오염특성별 해역유형 구분 기준개발</li> </ul>  |
|      | •해역유형별 해양폐기물 최적 수거공법 개발 (한경대/KIOST)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•저비용·친환경 해양폐기물 수거 방법 개발</li> <li>•선박부착형 오락확산방지 시설 설계 및 성능시험</li> </ul>   |
|      | •해양오염퇴적물 피복정화 기술 개발 (한경대/건기연/서강대)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>•국의 피복정화공법 설계지침, 피복정화 성능평가지침, 운영 사례 조사 및 분석</li> <li>•피복공법 설계·시공 매뉴얼 기본계획 수립</li> <li>•피복공법 개략 건설비 산정 및 검토</li> <li>•건설공법 및 자재운반에 대한 조사</li> <li>•설계시공 매뉴얼 주요항목 도출</li> <li>•중금속 및 유기오염물 오염퇴적물 환경영향 저감 피복물질 성능실험</li> <li>•오염지역 현장특이성 분석을 위한 지역환경 탐사기법 조사 및 분석(초음파 및 ACDP 장비의 적용성 등)</li> <li>•지형 탐사 모니터링 장비 및 운영 알고리즘 조사</li> <li>•해양퇴적물 채취 및 현장오염도 측정장비 및 운영기술 조사</li> <li>•장기 오염도 모니터링 장비 및 운영 기술 조사</li> <li>•넓은지역에 대한 신속한 사전 예비탐사기술 확립</li> <li>•정화사업 유형별 퇴적물 재부유 및 오염물질 용출특성 조사</li> <li>•질소, 인, 중금속 성분의 제거능이 우수한 미세조류 선별</li> <li>•해양퇴적 영양분을 이용한 미세조류의 고농도 세포배양법의 선정</li> <li>•저분자 유기오염물, 중금속 성분의 제거능이 우수한 해양 미생물 균주 선별</li> <li>•해양퇴적 영양분을 이용한 미생물의 배양법의 선정</li> <li>•중금속 흡착에 관련된 세포표면 기능기의 생흡착 기작 및 생체 내 축적을 통한 중금속 제거에 대한 기초적 특성 파악</li> <li>•저분자 유기오염물 활용 미생물 성장을 통한 유기오염물 제거에 대한 기초적 특성 파악</li> <li>•ArcGIS내 오염퇴적물 분포 및 자료 관리를 위한 모듈 설계</li> </ul> |

|      |   |   |
|------|---|---|
| 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 현장처리 기술 개발 (환경대/해양대/RIST)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물의 부영양화 유발 특성 기존 자료 분석</li> <li>•해양오염퇴적물의 부영양화 유발 특성 현장조사</li> <li>•해양오염퇴적물 내 부영양 물질 처리공정 및 기술 조사</li> <li>•부영양 물질의 물리화학적 처리 기반기술 확립</li> <li>•바이오스파징(biosparging)을 통한 부영양 물질의 생물학적 분해능 향상 성능 시험</li> <li>•연안저질로부터 오염물질의 용출을 막기 위한 차단제 개발</li> <li>•슬래그계 복토재 성능평가</li> <li>•슬래그계 현장처리 정화재 성능평가</li> <li>•Pilot 시험 최적 Eng 방안 도출</li> </ul>                                 |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립 ((주)네오엔비즈)</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>•오염퇴적물 정화기술(최적수거공법, 피복공법, 현장처리기술 등)의 적용 전후 효율평가 모니터링에 대한 자료 수집 및 사례 분석</li> <li>•기존 오염퇴적물 정화기술 효율평가 모니터링, 인체 및 생태계 위해성평가 방법 조사 및 기반 연구 실시</li> <li>•효율평가를 위한 모니터링 조사항목(물리, 화학, 생물학적 조사) 설정을 위한 기반 연구 실시</li> <li>•기존 오염퇴적물 환경모니터링 기법을 제외한 생물독성평가 분야의 효율평가 기법의 개발</li> <li>•퇴적물 정화기술 적용에 따른 환경영향평가 사례 및 기초적용 연구</li> </ul>  |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•사업의 경제성 분석 및 평가 (서울여대)</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 현황과 정화 실태 조사</li> <li>•해양오염퇴적물 정화기술 연구개발 현황 분석</li> <li>•오염퇴적물 정화사업의 경제적 가치 분석과 관련한 국내외 유사 연구문헌 분석</li> <li>•사업과 관련한 상위계획 및 관련 계획의 검토를 통해 사업의 적절성과 국고지원의 적정성 기준을 검토</li> <li>•해양오염퇴적물 정화기술 개발 사업의 경제성 분석</li> <li>•지역균형발전, 정책 일관성 및 추진의지, 사업추진상의 위험요인(재원조달 가능성, 환경성 등)에 대한 평가</li> <li>•퇴적물 오염이 생태계 및 인간건강에 미치는 효과 및 오염정화에 따른 경제성 분석</li> <li>•결론 및 정책 제언 제시</li> </ul> |
| 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해역유형별 해양폐기물 최적 수거공법 개발 (환경대/KIOST)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•선박탐재형 해양폐기물 세척, 분리 공법 개발</li> <li>•해양폐기물 수거시 부유물 발생으로 인한 환경 영향 저감 기준 개발</li> <li>•선박탐재형 해양폐기물 세척 및 분리기 파일럿 제작</li> <li>•선박탐재형 해양폐기물 세척 및 분리기 파일럿 성능시험</li> <li>•해역 시험용 선박부착형 오락확산방지시설 제작</li> <li>•선박부착형 오락방지 시설 실험역 성능시험</li> </ul>  |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 피복정화 기술 개발 (환경대/건기연/서강대)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•국내 오염 및 해역 특성을 고려한 반응성 피복물질 개발 (흡착제 및 산화제)</li> <li>•오염물질별 피복(반응성) 물질 도출</li> <li>•피복재 충진율에 따른 오염물질 거동 분석</li> <li>•피복공법 기본계획 타당성 검토 및 보완</li> <li>•환경을 고려한 최적 피복형상 모델링</li> <li>•최적 피복 형상에 대한 실험실증 성능평가</li> <li>•국내 전문가 설문조사 및 분석</li> </ul>  |

|      |   |  |
|------|---|--|
| 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 현장처리 기술 개발 (환경대/해양대/RIST)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•피복공법 시공 방안 제시</li> <li>•유역 후보지 해저지반 역학적 거동 분석</li> <li>•피복공법의 안정성 검토</li> <li>•피복재 최적 시공기술 개발</li> <li>•퇴적물 및 저층 해수 시료 채취 등 현장 조사기술 확립</li> <li>•동수역학적 특성에 따른 오염물질 거동특성 구명</li> <li>•지형 탐사 모니터링 장비 도입 및 운영 알고리즘 적용 및 연구</li> <li>•해양퇴적물 채취 및 현장 오염도 측정 장비 도입, 운영 기술 개발</li> <li>•장기 오염도 모니터링 장비 도입, 운영 기술 개발</li> <li>•미세조류 바이오매스의 효율적 획득을 위한 광배양 최적 조건 탐색</li> <li>•중금속 흡착에 관련된 세포표면 기능기의 생흡착 기작에 대한 기초적 특성 파악</li> <li>•해양오염물 처리를 위한 미생물 생물자원의 효율적 획득을 위한 배양조건 최적화</li> <li>•해양미생물의 중금속 생흡착 및 생체 내 축적을 통한 중금속 제거기술 확립</li> <li>•해양미생물의 저분자 유기오염물 활용 성장을 통한 해양오염물 제거 기술 확립</li> <li>•해양오염 퇴적물 정화용 미생물담체 개발을 위한 담체 확보</li> <li>•해양오염퇴적물의 정화를 위한 미생물 고정화 기법 개발</li> <li>•저분자 유기오염물, 중금속 성분의 제거능이 우수한 해양미생물 신규주 분리 동정 기술 확보</li> <li>• ArcGIS 내 오염퇴적물 및 수질 조사 자료 정리</li> </ul> |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립 (네오엔비즈)</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>•기능성 철강부산물을 활용한 해양오염퇴적물의 현장처리기술 상용화</li> <li>•Pilot 시험 기본설계 수행</li> <li>•물리화학적 처리 단계(퇴적물에서의 부영양 물질 분리, 부영양 물질 분해, 공정수 정화, 퇴적물 회수)별 최적 기술 확립 및 모듈 구조 구성</li> <li>•생물학적 분해능 향상 기술 및 생물활성촉진제와의 연계 방안 검토</li> <li>•Pilot-scale 부영양물질 처리공정 scale-up factor 도출 및 상세설계</li> <li>•오염된 연안저질의 자정능력 제고를 위한 생물활성촉진제 개발</li> </ul>   |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 현장처리 기술 개발 (환경대/해양대/RIST)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•정화기술 적용시 위해도 저감 평가 및 잔류 위해도 정량 기법 개발</li> <li>•퇴적물 정화기술 적용 효율평가 위한 장기 모니터링 계획 수립</li> <li>•분야별 모니터링 조사항목 설정 및 방법 표준화 연구</li> <li>•퇴적물 정화기술 적용에 따른 환경영향평가 기법 개발</li> </ul>  |
| 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해역유형별 해양폐기물 최적 수거공법 개발 (환경대/KIOST)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•선박탐재형 해양폐기물 세척 및 분리기 시범운용 및 운용법 작성</li> <li>•선박부착형 오락확산방지 시설 시범운용 및 운용법 작성</li> <li>•해역유형별 해양폐기물수거공법에 대한 세부기술 지침 개발</li> </ul>   |

|      |  |   |
|------|--|---|
| 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 피복정화 기술 개발 (한경대/건기연/서강대)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•선정된 피복물질의 성능 평가 및 적용 지침안 개발</li> <li>•최적 시공 모니터링 방안 제시</li> <li>•피복공법 정밀 안정성 검토</li> <li>•시범사업 대상지역 해역 및 오염 특성 조사, 분석</li> <li>•피복공법 설계·시공 매뉴얼(안) 작성</li> <li>•환경외력에 따른 장기 최적피복 형상 도출 및 분석</li> <li>•생분해로 인한 오염퇴적물 유해가스 처리 방안 마련</li> <li>•가스발생에 대한 피복재 안정성 평가</li> <li>•피복재 수명연장 기술개발</li> <li>•퇴적물 및 피복재의 중장기 유지관리 기술 도출</li> <li>•퇴적물 조사 및 시료채취를 위한 프로토콜 정립</li> <li>•오염현황 평가 및 의사결정 지원 자료 제공에 요구되는 데이터 관리용 GIS/DB 모듈 구축</li> <li>•지형 탐사 모니터링 장비 및 운영 알고리즘 개발</li> <li>•해양퇴적물 채취 및 현장 오염도 측정 장비 개발</li> <li>•장기 오염도 모니터링 장비 개발</li> <li>•해양오염퇴적물의 정화를 위한 세포 고정화 기법 개발</li> <li>•미세조류 적용을 통한 유기영양분의 감소특성 및 중금속 흡착 제거의 공정 모델링 및 매개변수 분석</li> <li>•다중 해양미생물 동시 고정화법 개발</li> <li>•저분자 유기오염물, 중금속 성분의 제거능이 우수한 해양미생물 신규주 분리 동정</li> <li>•해양오염 퇴적물 정화용 미생물담체를 활용한 해양오염물 정화공정 최적화 및 이를 통한 오염물 제거 효율 향상</li> </ul> |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 현장처리 기술 개발 (한경대/해양대/RIST)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Pilot-scale 현장처리 공정 제작</li> <li>•실해역 실증시험을 통한 부영양물질 저감 및 2차오염 방지 성능 검증 및 보완</li> <li>•부영양오염퇴적물 현장 처리 공정 설계 지침초안 작성</li> <li>•현장 조건에서 반응성 차단제 및 생물활성촉진제의 효능 검증</li> <li>•반응성 차단제 및 생물활성촉진제의 효능극대화를 위한 최적운영조건 연구</li> <li>•기능성 철강부산물을 활용 시험해역 조사</li> <li>•기능성 철강부산물을 활용 시험 기본설계</li> <li>•기능성 철강부산물을 활용 모니터링 및 평가방법 개발</li> <li>•퇴적물 정화기술 적용에 따른 환경영향평가 지침 작성</li> </ul>   |
|      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립 (네오엔비즈)</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•위해도 저감 평가 및 잔류 위해도 정량 기법 및 분야별 모니터링 지침 작성</li> <li>•분야별 조사항목별 정화기술 적용 이전 실해역모니터링 실시</li> <li>•정화기술별 사업 사전 환경영향평가 시범 실시</li> </ul>   |
|      |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•오염퇴적물 정화사업의 경제적 가치 분석과 관련한 국내외 연구문헌 분석</li> <li>•사업과 관련한 상위계획 및 관련 계획의 검토를 통해 사업의 적절성과 국고지원의 적절성 기준을 검토</li> <li>•오염퇴적물로 인한 생태적, 경제적 손실 검토</li> <li>•1단계(1-3차년도) 연구개발 기간을 통해 만들어 낼 피복정화와 현장처리 두 가지 해양오염퇴적물 처리기술의 시범사업(실해역 정화사업에 적용)의 의의를 기술</li> <li>•3차년도 국가예산 절감효과, 환경개선 효과, 상업화 효과,</li> </ul>   |

|  |  |  |
|--|--|--|
| 3차년도   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•시범사업 경제성 평가 (서울여대)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>기술 파급효과 등 측면에서 시범사업의 경제성을 검토</li> <li>•연차별 투자계획 및 유지관리비 등 사업의 비용 추정</li> <li>•해양오염퇴적물 정화사업의 편익 요인 식별 및 편익 추정</li> <li>•해양 정화로 인한 해양활용도의 증가 등 유형·무형의 가치를 분석</li> <li>•편익, 비용, 활인을 변화에 대한 민감도 분석</li> <li>•해양오염정화 시범사업이 다른 연관 산업에 미치는 파급효과 등 경제적 효과를 전망</li> <li>•지역균형발전, 정책 일관성 및 추진의지, 사업추진상의 위험요인(자원조달 가능성, 환경성 등)에 대한 평가</li> <li>•결론 및 정책 제언 제시</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 피복정화 기술 개발 (한경대/건기연/서강대)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•피복공법 건설비 산정 및 검토</li> <li>•피복공법의 최적 시공 방안 수립</li> <li>•설계 매뉴얼에 따른 건설환경을 고려한 최적 피복 형상 설계</li> <li>•설계된 피복형상에 대한 정밀 안정성 검토</li> <li>•시범사업지의 오염물질에 따른 최적 피복공법 결정</li> <li>•반응성 피복물질의 시범구역 실증상세계획(최적 공법 및 시공방안)수립</li> <li>•시범사업지역에 대한 퇴적물 분포 및 오염 현황 조사</li> <li>•시범해역에 대한 실증시험 및 기술 보완</li> <li>•오염도 모니터링 장비 개발 및 시험 운영</li> <li>•미세조류 고정화의 최적화 및 고효율 생물정화 기술 개발</li> <li>•해양미생물을 이용한 고효율 해양오염 퇴적물의 처리기술 확립</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 현장처리 기술 개발 (한경대/KIOST/해양대)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•상용화 시범사업 대상해역 조사</li> <li>•시범사업 기본설계</li> <li>•현장 시범사업 실시</li> <li>•사후 모니터링 및 평가</li> <li>•부영양오염퇴적물 현장처리 1차 시범사업 구역 상세 분석</li> <li>•1차 시범사업용 현장 처리 모듈 구성, 처리공정 상세 설계 및 제작</li> <li>•1차 시범사업 시행, 평가 및 개선</li> <li>•공정 보완 사항 개선</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>•정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립(시범운영 후 정화기술별 효율평가 최적기술 도출) (네오엔비즈)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•정화기술별 오염퇴적물 정화기술 효율평가</li> <li>•분야별 조사항목별 정화기술 적용 전후 실해역 모니터링 시범 실시</li> <li>•위해도 저감 평가 및 잔류 위해도 평가 시범 실시</li> <li>•정화기술별 사업 환경영향평가 시범 실시</li> </ul> |  |
| 5차년도   | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해역(오염)유형별 최적 정화공법 선정 (KIOST)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해역 유형 및 오염도에 따른 공법 선정 의사결정도구 개발</li> </ul>   |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•해양오염퇴적물 피복정화 기술 개발 (한경대/건기연/서강대)</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>•시공사업계획에 따른 시공 완료 및 모니터링</li> <li>•반응성 피복구역에 대한 정화성능 평가 및 이에 따른 기술 보완</li> <li>•시범사업지역에 대한 현장 계측 및 GIS/DB 시스템 구축</li> <li>•중장기 유지관리 방안 수립</li> <li>•피복공법 설계-시공 매뉴얼(안) 보완</li> <li>•시범사업지역에 대한 현장 계측 및 GIS/DB 시스템 구축</li> <li>•오염도 모니터링 장비 시험 운영 및 개선</li> <li>•저비용 고효율 생물정화공법의 현장적용 기술 개발</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•부영양화관련 해양오염퇴적물 현장처리기술 개발 (한경대/KIOST/해양대)</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>•부영양물질오염퇴적물 현장처리 현장 적용 시범사업 계속</li> <li>•사후 모니터링 및 평가</li> <li>•최종 상용화기반 구축/기술 패키징 (기술이전)</li> <li>•부영양오염퇴적물 현장처리 2차 시범사업 구역 상세 분석</li> <li>•2차 시범사업용 현장 처리 모듈 구성, 처리공정 상세 설계 및 제작</li> <li>•2차 시범사업 시행, 평가 및 개선</li> <li>•부영양오염퇴적물 현장처리 공정 설계 지침안 제시</li> </ul>                                     |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립(시범운영 후 정화기술별 효율평가 최적기술 도출) (네오엔비즈)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•정화기술별 오염퇴적물 정화기술 효율평가</li> <li>•분야별 조사항목별 정화기술 적용 전후 실효 모니터링 시범 실시</li> <li>•위해도 저감 평가 및 잔류 위해도 평가 실시</li> <li>•정화기술별 사업 환경영향평가 시범 실시</li> </ul>  |

나. 당해연도 연구개발목표

해양오염퇴적물 정화사업을 위해 수거방법 개선, 피복공법, 현장처리기술, 모니터링 기법을 위한 기초 요소기술을 개발하는 것을 목표로 함.

(1) 당해연도 정량적 성과지표 달성도

| 성과목표                     | 성과지표     | 측정방법                     | 목표치 | 가중치  | 달성치   |
|--------------------------|----------|--------------------------|-----|------|-------|
| 학술 역량 강화                 | 총논문건수    | SCI(E)논문+ 비SCI(E)논문 발표건수 | 5편  | 20%  | 4편    |
|                          | SCI(E)논문 | SCI(E)논문                 | 3편  | 10%  | 1편    |
|                          | 학술회의발표   | 발표한 건수                   | 8건  | 10%  | 16건   |
| 연구성과 확산노력                | 연구개발홍보   | 세미나, 워크샵 등               | 2회  | 5%   | 5회    |
|                          | 기술확산교류   | 기술교류실적                   | 3회  | 10%  | 3회    |
| 핵심기술 지적재산권 확보            | 특허출원     | 특허출원건수                   | 2건  | 20%  | 2건    |
| 연구성과의 산업적 활용             | 기술공개/이전  | 기술이전건수                   | 1건  | 10%  | -     |
| 해양오염 퇴적물 정화기술의 실용화 및 상용화 | 시제품출시    | 시제품출시건수 (현장처리 피복정화재료 등)  | 1건  | 10%  | -     |
| 해역오염도 시험 및 조사            | 시험·조사    | 해역퇴적물 오염도 조사 및 관측건수      | 1회  | 5%   | 1회    |
| 총 계                      |          |                          |     | 100% | 69.3% |

주) 상기 외에 연구성과물인 국내논문 3편, SCI 2편 현재 심사 중.

(2) 당해연도 연구목표 및 내용

○ 해역(오염)유형별 최적 정화공법 선정

- 선진 처리방법 비교 검토 후 해역별 최적 정화방법 선정
  - 국내 해양오염퇴적물 정화사업 정화공법 현황 사례 수집 검토
  - 해외 해양오염퇴적물 정화공법 자료수집: 외국 사례, 기술, 지침서
  - 국외 해양오염퇴적물 처리방법별 특성 비교 분석
  - 조사된 현행 처리기술을 바탕으로 오염특성 및 해역조건에 따른 최적 정화공법들 선정
- 해역 유형 및 오염도에 따른 정화공법 선정 의사결정도구 초안 개발
  - 해양오염퇴적물 관리 의사결정도구 개발 사례 수집 및 검토
  - 해양오염퇴적물 해역(오염)유형별 정화공법 선정 안내서 초안 개발

○ 해양 오염퇴적물 오염특성 기존조사 자료 분석

- 국내 퇴적물 오염조사 자료 수집 및 분석: 각종 보고서 및 논문 문헌 자료 수집 및 정리
- 오염퇴적물 사업해역 해역이용 특성조사 분석
  - 국내 해양오염퇴적물 정화사업 수행해역의 용도, 이용현황 등에 관한 자료수집
  - 국내 해양오염퇴적물 분포해역의 용도, 이용현황 등에 관한 자료수집
  - 오염퇴적물 정화사업 해역별 해역이용 특성 분류
  - 오염해역 오염물질의 source 에 대한 분석 및 이동경로 파악
- 현장특이성을 고려한 오염도 모니터링기법 및 지형탐사기술 현황 및 사례분석
  - 국내 퇴적물 오염도 모니터링 방법 기존 자료수집
  - 국외 퇴적물 오염도 모니터링기법에 관한 자료수집
  - 국내 연안 퇴적물 지형탐사기술 현황 및 사례 자료 수집
  - 국외 연안 퇴적물 지형탐사기술 현황 및 사례 자료 수집
  - 수집 퇴적물 오염도 모니터링기법 및 지형탐사기술 자료 분석 정리
- 해양퇴적물 오염특성별 해역유형 구분 기준개발
  - 오염특성, 해역이용특성별, 정화공법 분류 매트릭스 개발

○ 해역유형별 오염퇴적물 최적 수거공법 개발

- 저비용·친환경 침적폐기물 수거 방법 개발

- 해양오염퇴적물 정화사업시 침적폐기물 수거 방법 자료 수집
- 해양오염퇴적물 정화사업시 침적폐기물 수거 방법 환경 영향 검토
- 침적폐기물 수거시 부유물 발생으로 인한 환경 영향 저감 방안 개발

- 선박부착형 오탁확산방지 시설 설계 및 성능 시험

- 선박부착형 오탁확산방지 시설 국외 사례 수집
- 국내 해양오염퇴적물 정화사업 해역에 적합한 선박부착형 오탁방지 시설 설계: 재료특성 검토 및 디자인 개발
- 침적폐기물 수거 및 오염퇴적물 수거시 오탁방지를 위한 선박부착형 오탁확산방지 시설 모형 제작
- 선박부착형 오탁확산방지 모형 성능실험

○ 오염퇴적물 피복정화기술 개발

- 피복공법 설계·시공 매뉴얼 기본계획 수립
  - 유력 후보지에 대한 사전자료 수집 및 검토
  - 국외 피복공법 사례조사 및 분석
  - 피복공법 개략 건설비 산정 및 검토
  - 건설공법 및 자재운반에 대한 조사
  - 설계시공 매뉴얼 주요항목 도출
- 반응성(화학적) 정화 피복물질 개발
  - 국내외 피복정화에 사용되는 반응성(흡착제 및 산화제)물질 자료 수집, 조사 및 분석
  - 국내 오염퇴적물의 해역별 특성에 대한 자료 수집 및 분석
  - 중금속 및 유기오염물 퇴적물의 정화를 위한 반응성 피복물질(흡착제 또는 산화제) 후보군 선정
- 중금속 및 유기오염물 오염퇴적물에 대한 후보 피복물질의 환경영향 저감성능 분석 시험(전형적인 모래포설방법과의 비교실험을 수행)
- 오염지역환경 탐사기법 개발
  - 퇴적물 오염해역의 조사는 퇴적물의 공간적인 분포를 파악하기 위한 사전조사가 선행되어야 함
  - 사전 예비탐사에서는 신속하고 넓은 지역에 대해 퇴적물의 분포와 개략적인 퇴적층의 깊이 등에 대한 자료가 확보되어야 함
  - 이를 위해서 acoustic, electrical, magnetic 탐사 등 여러가지 탐사방법



- 통해 효과적인 사전 예비 탐사기술을 개발함
  - 오염퇴적물의 현장처리를 위한 작업이 이루어지면 저층 교란으로 인해 퇴적물이 재부유하므로, 퇴적물의 부유특성을 파악하는 것이 필요
  - 현장처리공법에 따른 교란 유형을 분류하고 교란에 따른 퇴적물 거동특성을 분석
  - ArcGIS 활용 오염퇴적물 분포 및 자료 관리를 위한 모듈 설계
- 오염지역 지형 탐사 및 오염도 모니터링 장비 기술 현황 및 적용 사례 조사
    - 지형 탐사 모니터링 장비 및 운영 알고리즘 기술 현황 및 적용 사례 조사
    - 해양퇴적물 채취 및 현장 오염도 측정 장비 및 운영 기술 현황 및 적용 사례 조사
  - 해양오염물 정화 미세조류의 획득에 관한 기반기술 확립
    - 기 확보된 미세조류 균종들에 대한 정보자료를 수집하고 분석결과를 토대로 질소, 인, 중금속 성분의 제거능이 있는 미세조류 선별
    - 해양퇴적물 내포 성분 중 미세조류가 섭취하여 영양분으로 이용할 수 있는 질소원, 인산원, 미세성분 등의 배지성분을 분석, 고농도로 성장할 수 있는 일차적 배양법을 개발
  - 해양미생물을 이용한 해양오염퇴적물 정화의 기반 기술 확립
    - 기 확보된 해양미생물 균주들에 대한 정보자료를 수집하고 분석결과를 토대로 PAH와 같은 유기오염물, 중금속 성분의 제거능이 있는 해양미생물 선별
    - 해양퇴적물 중에 내포된 성분 중 해양미생물이 섭취하여 영양분으로 이용할 수 있는 질소원, 인산원, 미세성분 등의 배지성분을 분석함으로써 확보한 해양미생물이 빠르게 고농도로 성장할 수 있는 일차적 배양법을 선정하고 유효한 배양조건을 탐색함
    - 우리나라 항만 해역에 오염되어 주민 건강과 생태계를 위협하는 대표적 중금속을 저감대상으로 설정하여 해양미생물 세포 표면의 음전하성 기능기에 대한 생흡착 모델과 기작, 생체 내 축적을 통한 중금속 제거 기작을 규명함으로써 해양오염물 처리용 생물자원에 의한 오염 정화의 기초적인 물리적, 화학적 특성을 파악함
    - 또한 PAH와 같은 유기오염물을 저감대상으로 설정하여 이를 활용한 성장을 통한 오염물질의 정화의 기초적인 물리적, 화학적 특성을 파악함
- 해양오염퇴적물 현장처리기술 개발
- 해양오염퇴적물의 부영양화 유발 특성 기존 자료 분석

- 부영양오염해역 퇴적물 자료 수집
  - 부영양오염해역 퇴적물 특성 유형 검토
- 해양오염퇴적물의 부영양화 유발 특성 현장조사
    - 부영양 우심 해역의 퇴적물 유기물 함량 특성조사
    - 해수-퇴적물간 부영양물질 이동조사
  - 해양오염퇴적물 내 부영양물질 처리공정 및 기술 조사
    - 국외 오염퇴적물 현장처리기술 현황 자료 수집
    - 국외 오염퇴적물 현장처리기술 현황 자료 수집
    - 처리과정에서 발생하는 부산물(공정수 및 퇴적물) 정화 및 회수기술 자료 수집
  - 기능성 철강부산물을 활용한 복토재 성능평가
    - 복토재 선정/개발 (산업재산권 1건 확보)
    - 퇴적물 종류별 정화 성능평가 (중금속 고정화 등)
    - 환경성 테스트 병행
  - 현장처리 정화재 성능평가
    - 정화재 선정/개발 (산업재산권 1건 확보)
    - 현장처리 최적 배합비 및 처리방안 도출 (Lab. test)
    - 환경성 테스트 병행
  - Pilot 시험 최적 Eng.방안 도출
    - Pilot 시험대상 퇴적물 분류
    - 대상 해역/퇴적물 종류별 최적 복토정화공법 도출
    - 대상 해역/퇴적물 종류별 최적 현장처리공법 도출
  - 연안저질로부터 중금속 등 오염물질의 용출을 막기 위한 차단제 개발
    - 경남 고성, 부산남항, 마산만 등 연안 오염퇴적물을 채취하여 부영양화 원인 물질, 유기오염물질, 중금속 등의 분포형태를 조사
    - pH, DO & ORP, 온도, 상부 유속, 질소 및 인의 존재형태 등 오염퇴적도에서 질소 및 인의 용출에 미치는 영향인자조사
    - 정화된 준설토를 기본 물질로 이용하고 제올라이트, 석회, 벤토나이트 등의 기능성물질을 다양한 비로 혼합하여 부영양화 원인물질 및 기타오염물질의 용출을 막기 위한 반응성 차단제를 개발하고자 함

- 반응성 차단제의 차단효과 검증하기 위하여 1m 깊이의 수직관에 오염저질을 충전하고 상부에 반응성 차단제를 일정한 깊이로 시공한 뒤에 해수를 충전한 해역모형을 실험실에 설치하고 반응성 차단제의 부영양화 원인물질들을 포함한 오염물질의 용출차단 효과를 시험
- 정화기술 상용화, 실증화를 위한 산학연 협력체계 구축
- 실용화 가능한 기술 개발을 위해 2차년도 사업부터 산학연 협력 연구개발을 위한 네트워크 구축
    - 유관기업을 대상으로 하는 설명회 개최
    - 기술개발 참여의지, 역량 등을 감안한 공동기술개발 업체 선정
  - 실증사업 추진 역량을 갖춘 기업과의 협력체계 구축
- 정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립
- 오염퇴적물 정화기술 적용 전후 효율평가 모니터링에 대한 자료의 수집
    - 정화기술별 효율평가 사례에 대한 조사
    - 효율평가 모니터링 방법에 대한 사례 조사
    - 기존의 환경영향평가에 활용된 방법의 적용에 대한 검토
    - 이화학적자료를 통한 효율평가 방안에 대한 사례연구
  - 효율평가 모니터링에 대한 기반연구
    - 기존 오염퇴적물 정화기술 효율평가 모니터링, 인체 및 생태계 위해성평가 방법 조사 및 기반 연구 실시
    - 효율평가를 위한 모니터링 조사항목(물리, 화학, 생물학적 조사) 설정을 위한 기반 연구 실시
    - 퇴적물 정화기술 적용에 따른 환경영향평가 사례 연구 실시
    - 생태계 모니터링을 통한 정화사업 전후의 비교 사례에 대한 연구
    - 생태영향평가 등을 통한 효율적인 평가 모니터링 사례 및 적용 가능한 생물독성평가 방법론 연구
    - 효율평가 모니터링을 위한 생물독성평가 방법론의 실험실 규모의 적용 및 현장 적용가능성 연구
- 사업의 경제성 분석
- 해양오염퇴적물 현황과 정화 실태
    - 산업화에 따른 오염물질의 해양 유입 실태와 친환경·저비용 해양오염퇴적물 수거기술 개발의 필요성을 기술

- 해양오염퇴적물 정화의 목적을 기술
- 해양오염퇴적물 정화기술 연구개발 현황 분석
    - 산학연의 기초연구 및 기술개발 현황과 환경부·국토해양부·교육과학기술부 등 정부중심의 사업추진 현황, 기술관리 실태를 조사
    - 미국·독일·네덜란드 등 주요 국가의 기술개발 현황 분석을 통해 경제적 측면에서 국내 기초연구 및 기술개발 수준과 비교 평가
  - 오염퇴적물 정화사업의 경제적 가치 분석과 관련한 국내외 유사 연구문헌 분석
  - 사업과 관련한 상위계획 및 관련 계획의 검토를 통해 사업의 적절성과 국고지원의 적정성 기준을 검토
  - 경제성 평가대상 해양 오염퇴적물 처리 기술개발
    - 본 연구개발사업에서는 선진국에서 시도하고 있는 피복정화와 현장처리 두 가지 해양오염퇴적물 처리기술의 개발을 추진 중에 있음
    - 피복정화: 오염퇴적물을 피복물질로 덮어 유해물질의 해수로의 용출을 차단하고, 분해 처리를 촉진하는 기술
    - 현장처리(혹은 원위치 처리): 바지 장치 설비를 이용하여 오염퇴적물을 흡입한 다음 그 자리에서 물리적·화학적·생물학적 처리 후 원 위치에 다시 돌려 놓는 기술
    - 1단계(1-3차년도)로 연구개발이 완료되면, 2단계(4-5차년도)로 기술개발 결과의 시범사업(실해역 정화사업에 적용)을 수행할 예정에 있음
  - 해양오염퇴적물 정화기술 개발 사업의 경제성 분석
    - 국가예산 절감효과, 환경개선 효과, 상업화 효과, 기술 파급효과 등 측면에서 사업의 경제성을 검토
    - 연차별 투자계획 및 유지관리비 등 사업의 비용 추정
    - 해양오염퇴적물 정화기술 개발 사업의 편익 요인 식별 및 편익 추정
    - 편익, 비용, 할인율 변화에 대한 민감도 분석
  - 해양오염퇴적물 오염의 건강경제성 분석
    - 오염퇴적물이 생태계 및 인간건강에 미치는 영향 분석을 경제적 지표로 분석함.
    - 오염의 정화에 따른 경제적 가치를 분석, 평가함.

- 오염퇴적물 정화사업 활성화로 관련 산업 기술 개발 유발 효과를 분석
- 관련 기술 국산화로 기술 수입 대체 효과뿐만 아니라 관련 기술 국제 경쟁력 확보로 중국 등 전세계 오염퇴적물 정화사업에의 진출 등 동 산업의 해외 시장 확보에 기여하는 효과를 분석
- 기술개발에 따른 경제적 효과로서 예상수익, 생산성 향상에 따른 비용절감, 수입대체, 수출기대, 당해 기술의 시장성 등을 기술하고, 산업적 효과로서 산업발전에 영향을 줄 수 있는 사항 등 사회경제적 파급효과 서술

- 정책적 분석

- 지역균형발전, 정책 일관성 및 추진의지, 사업추진상의 위험 요인(재원조달 가능성, 환경성 등)에 대한 평가

- 결론 및 정책 제언 제시

○ 해양오염퇴적물 정화사업 관련 법령 사전 검토 (자문)

- 해양오염퇴적물 수거, 현장처리기술 개발 후 적용을 상정 관련 법률 사전 검토
- 관련 법률 개선 방안(2차년도) 및 개정안 마련(3차년도)을 위한 사전 검토
- 자문 예정 전문가: 한양대학교 법과대학 김홍균 교수(환경법전공, 변호사)
- 주요 연구결과: 국토해양부 연구용역(해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발[II], 2009) 결과, 해양환경개선조치, 퇴적오염물질수거업 등 해양오염퇴적물 정화사업 관련 법령을 검토하여 해양환경관리법령 개정안 제시

2. 연구수행 내용 및 결과

연구개발결과 요약

| 연구개발의 내용                                     |   | 연구결과   | 관련 페이지                                       |
|--|---|--|--|
| I. 해역(오염) 유형별 최적 정화공법 선정 (KIOST)             | 1. 선진 처리방법 검토 후 해역별 최적 정화공법 선정                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국외 정화관련 지침 3건 분석 완료 (USEPA, 미육군공병단, 일본항만청)</li> <li>• 처리기술 선정 사례 분석 (미국, 일본)</li> <li>• 25개 해역 중 피복정화/현장처리 적합지 6개, 준설 후 처리 적합지 7개 선정</li> </ul> | <p>p.28-33</p> <p>p.33-44</p> <p>p.40-48</p> |
|  | 2. 해역 유형 및 오염도에 따른 정화공법 선정 의 사결정도구 초안 개발      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 정화공법선정 의사결정도구(안) 1건 개발완료</li> <li>• 다양한 정화기술 적용을 위한 법령 개정 방안 검토 완료</li> </ul>   | <p>p.49-53</p> <p>p.54-59</p>                |
| II. 해양오염퇴적물 오염특성별 해역유형 구분 기준개발 (한경대/KIOST)   | 1. 오염퇴적물 오염특성 기존조사 자료 분석                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25개 해역퇴적물의 오염현황 분석 완료</li> </ul>  | p.60-62                                      |
|  | 2. 오염퇴적물 사업해역 해역이용 특성조사분석                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 피복정화/현장처리 후보지 6개 해역의 이용특성 분석 완료</li> </ul>  | p.62   |
|  | 3. 현장특이성을 고려한 오염도 모니터링기법 및 지형탐사기술 현황 및 사례분석   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 장비유형별 기술 분석 완료 (5종)</li> </ul>  | p.63-65                                      |
|  | 4. 해양오염퇴적물 오염특성별 해역유형 구분기준개발                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 해역유형 구분을 위한 6대 평가방안 구축</li> </ul>   | p.67-73                                      |
| III. 해역유형별 해양폐기물 최적 수거공법 개발 (한경대/KIOST)      | 1. 저비용·친환경 해양폐기물 수거 방법 개발                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 선진 친환경 해양폐기물 수거 사례 분석 (미국, 일본, 유럽, 호주)</li> <li>• 해양오염퇴적물 수거공법의 선진화를 위한 3대 개선 방안 도출</li> </ul>  | <p>p.74-80</p> <p>p.80-81</p>                |
|  | 2. 선박부착형 오타확산방지 시설 설계 및 성능 시험                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험실 규모 오타방지막 제작 및 성능시험 (설계 인자 도출)</li> </ul>  | p.81-83                                      |
| IV. 해양오염퇴적물 피복정화 기술개발 (한경대/서강대/해양대/RIST/건기연) | 1. 국외 피복정화공법 설계지침, 피복정화 성능 평가지침, 운영사례 조사 및 분석 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국, 일본, 유럽의 피복정화 공법 설계 및 평가 지침 3건 및 운영사례 81건 분석</li> </ul>  | p.84-86                                      |
|  | 2. 피복공법 설계·시공 매뉴얼 기본계획 수립                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 6대 설계시공 주요항목별 기본계획 수립</li> </ul>  | p.86-91                                      |
|  | 3. 피복공법 개략 건설비 산정 및 검토                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 피복공법 개략 건설비 산정을 위한 경제성 평가 시나리오 도출</li> </ul>  | p.91-92                                      |
|  | 4. 건설공법 및 자재운반에 대한 조사                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 피복재 운반 평가 시나리오 도출</li> </ul>  | p.92-93                                      |

|   |   |   |
|---|---|---|
| 5. 설계시공 매뉴얼<br>주요항목 도출                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>6대 주요항목 도출</li> <li>· 피복재 선정</li> <li>· 피복형상</li> <li>· 침식</li> <li>· 저서생물교란</li> <li>· 암말효과</li> <li>· 반응성피복재</li> </ul>                            | p.88-91                                 |
| 6. 중금속 및 유기오염물<br>오염퇴적물 환경영향<br>저감 피복물질성능실험 | <ul style="list-style-type: none"> <li>7가지 중금속에 대한 피복소재 4종의 흡착 및 안정화 성능평가 시험 (천연광물 2종, 재활용 가능 산업부산물 2종)</li> <li>제강슬래그를 활용한 인, 황화수소 용출차단 성능시험</li> <li>피복소재 3종의 인, 질소 용출차단 성능 시험</li> </ul> | p.92 - 114<br>p.163 - 165<br>p.155 -163 |
| 7.오염지역 현장특이성<br>분석을 위한 지역환경<br>탐사기법 조사 및 분석 | <ul style="list-style-type: none"> <li>사례조사에 따른 해양오염퇴적물 모니터링 장비 개념설계 (수은, 용존산소, 포화도, 탁도, 염분, 전도도, 유속, SPC, Grap &amp; Core sampler)</li> <li>탐사기법 사례조사 및 초음파 탐사장비 현장 적용(안전복합)</li> </ul>    | p.115 - 119                             |
| 8.지형 탐사 모니터링 장<br>비 및 운영 알고리즘<br>조사         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sediment profiles camera 장비 운영 알고리즘 조사 및 제안</li> </ul>   | p.120 - 121                             |
| 9.해양퇴적물 채취 및<br>현장오염도 측정장비<br>및 운영기술 조사     | <ul style="list-style-type: none"> <li>채취 및 SPC 사례, 운영기술조사 완료</li> </ul>  | p.121 - 123                             |
| 10.장기 오염도 모니터링<br>장비 및 운영 기술 조<br>사         | <ul style="list-style-type: none"> <li>복합 모니터링장비 운영기술 조사 및 국산화 가능범위 산정</li> </ul>   | p.123 - 124                             |
| 11.넓은 지역에 대한 신<br>속한 사전 예비탐사<br>기술 확립       | <ul style="list-style-type: none"> <li>신속 예비탐사기술 국외사례 조사 분석</li> <li>수심측정, 지층탐사, 자력탐사, 해저영상, 저층탐사 장비를 활용한 예비탐사기술 개발(인천복합을 대상으로 시험적용 완료)</li> </ul>  | p.124 - 127                             |
| 12.정화사업 유형별 퇴적<br>물 재부유 및 오염물<br>질 용출특성 조사  | <ul style="list-style-type: none"> <li>3개 해역의 부영양 오염해역 퇴적물 특성조사 완료 및 오염물질 용출특성 실험</li> </ul>  | p.128 - 129                             |
| 13. 질소, 인, 중금속 성<br>분의 제거능이 우수한<br>미세조류 선별  | <ul style="list-style-type: none"> <li>오염물 제거가능 미세조류 선별(질소, 인 대상 21종, 중금속 대상 14종)</li> <li>4종의 우수 미세조류 중금속 흡착 실험 실시</li> </ul>  | p.130 - 132                             |
| 14.해양퇴적 영양분을<br>이용한 미세조류의                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>4종의 미세조류 고농도 세포배양 실험 및 배양조건 확립</li> </ul>  | p.133 - 134                             |

|  |  |  |             |
|--|--|--|-------------|
|  | 고농도 세포배양법의<br>선정   |  |             |
|  | 15. 저분자 유기오염물,<br>중금속 성분의 제거능<br>이 우수한 해양 미생물<br>균주 선별                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>중금속 제거능 미생물 3종, PCBs, PAH 등 유기오염물 제거능을 가진 미생물 4종 선별</li> <li>중금속 제거성능 실험을 통한 우수 미생물 2종 결정</li> </ul>  | p.134 - 137 |
|  | 16. 해양퇴적 영양분을 이<br>용한 미생물의 배양법<br>의 선정   | <ul style="list-style-type: none"> <li>2종의 미생물 균주 인공해수에서의 배양시험 완료</li> </ul>   | p.135 - 136 |
|  | 17. 중금속 흡착에 관련된<br>세포표면 기능기의 생<br>흡착 기작 및 생체 내<br>축적을 통한 중금속 제<br>거에 대한 기초적 특성<br>파악 | <ul style="list-style-type: none"> <li>생흡착 및 황환원을 통한 중금속 안정화 기작 분석</li> <li>두가지 기작에 의한 중금속 안정화 성능 평가 시험 완료</li> </ul>  | p.137 - 139 |
|  | 18. 저분자 유기오염물 활<br>용 미생물 성장을 통<br>한 유기오염물 제거에<br>대한 기초적 특성 파악                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>PCBs, PAH 등 유기오염물 제거능을 가진 미생물 4종 선별</li> </ul>  | p.134       |
|  | 19. ArcGIS내 오염퇴적물<br>분포 및 자료관리를 위<br>한 모듈 설계   | <ul style="list-style-type: none"> <li>오염퇴적물 분포도 작성을 위한 5가지 속성요인 도출</li> <li>오염퇴적물 분포 및 자료관리 체계 구축</li> </ul>  | p.139 - 141 |
| V. 해양오염<br>퇴적물 현장처리<br>기술 개발<br>(환경대/해양대/<br>RIST) | 1. 해양오염퇴적물의 부영<br>양화 유발 특성 기존<br>자료 분석   | <ul style="list-style-type: none"> <li>25개 해역을 대상으로 부영양화 오염현황 분석</li> <li>3개 특정해역의 부영양오염 일반특성 분석</li> </ul>  | p.142 - 143 |
|  | 2. 해양오염퇴적물의 부영<br>양화 유발 특성 현장<br>조사  | <ul style="list-style-type: none"> <li>인천복합을 대상으로 조사한 결과, 인 함량은 1.57 mg/g이며, 존재 형태는 R-P &gt; A-P &gt; Ads-P &gt; NA1-P 순임</li> <li>pH, 온도, DO는 퇴적물에서의 인 용출에 선형적 영향 파악(인 용출 농도 2-3 배 증가)</li> </ul> | p.143 - 144 |
|  | 3. 해양오염퇴적물 내 부<br>영양 물질 처리공정 및<br>기술 조사  | <ul style="list-style-type: none"> <li>입자분리, 퇴적물 처리, 공정수 처리 및 탈수 등 주요 단위기술 검토</li> <li>국내외 오염퇴적물 정화처리 주요사례 6가지 비교 분석</li> </ul>  | p.145 - 147 |
|  | 4. 부영양 물질의 물리화<br>학적   | <ul style="list-style-type: none"> <li>입자분리, 퇴적물 처리, 공정수처리, 탈수 모듈로 구분, 해당 단위기술 검토</li> </ul>   | p.147 - 150 |

|                                     |  |   |             |
|-------------------------------------|--|---|-------------|
|                                     | 처리 기반기술 확립   | <ul style="list-style-type: none"> <li>pH, 온도, DO에 따른 인 용출 최적화 실험</li> </ul>  |             |
|                                     | 5. 바이오스파징 (biosparging)을 통한 부영양 물질의 생물학적 분해능 향상 성능 실험                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>컬럼에서의 에어스파징을 통한 인 용출 특성 분석 실험 수행 (바이오스파징을 위한 예비실험)</li> </ul>  | p.150 - 154 |
|                                     | 6.연안지질로부터 오염물질의 용출을 막기위한 차단제 개발  | <ul style="list-style-type: none"> <li>용출 차단 성능실험을 통한 차단제 3종 개발 및 질소, 인 흡착성능 평가 (표면개질 준설토, 벤토나이트, 제올라이트)</li> </ul>   | p.155 - 163 |
|                                     | 7.슬래그계 복토재 성능 평가   | <ul style="list-style-type: none"> <li>인산염 및 황화수소 용출 95% 이상 억제효과 확인</li> <li>환경안전성 평가 결과 독성 영향 없음 (유해물질 용출 환경안전성, 해양생물 독성 평가 완료)</li> </ul>                   | p.163 - 164 |
|                                     | 8.슬래그계 현장처리 정화재 성능평가   | <ul style="list-style-type: none"> <li>인산염 및 황화수소 용출 90% 이상 차단</li> <li>pH 안정화, 전단강도 20 kN/m<sup>2</sup> 가능</li> </ul>  | p.164 - 165 |
|                                     | 9.Pilot 시험 최적 Eng. 방안 도출   | <ul style="list-style-type: none"> <li>혼합 및 투입 방법에 따른 6개 엔지니어링 방안 도출</li> <li>6개 엔지니어링 시공방안 개발</li> </ul>   | p.165 - 170 |
| VI. 정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립 ([주]네오엔비즈) | 1.오염퇴적물 정화기술 (최적수거공법, 피복공법, 현장처리기술 등)의 적용 전후 효율평가 모니터링에 대한 자료 수집 및 사례 분석 | <ul style="list-style-type: none"> <li>국내 해양오염퇴적물 조사 지침서 분석(해양수산부, 2006)</li> <li>National Research Council(2007), USEPA(2005)의 모니터링 절차 및 흐름 사례 분석</li> </ul> | p.171 - 173 |
|                                     | 2.기존 오염퇴적물 정화기술 효율평가 모니터링, 인체 및 생태계 위해성 평가 방법 조사 및 기반 연구 실시              | <ul style="list-style-type: none"> <li>위해 감소(net-risk reduction)의 측정 개념 조사 분석</li> <li>정화복원 효율평가를 위한 지침서(안) 개념 개발</li> </ul>                                  | p.173 - 174 |
|                                     | 3.효율평가를 위한 모니터링조사항목(물리, 화학, 생물학적 조사) 설정을 위한 기반 연구 실시                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>물리탐사, 화학분석, 생물평가방안별 세부 평가항목의 설정</li> </ul>   | p.175       |
|                                     | 4.기존 오염퇴적물 환경 모니터링 기법을 제외한 생물독성평가분야의 효율평가 기법의 개발                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>정화기술 효율평가를 위한 tiered approach, 지역특이적 평가(SSA), SPA(screening risk assessment) 등 생태독성평가 방법 분석</li> </ul>                 | p.176 - 177 |
|                                     | 5.퇴적물 정화기술 적용에 따른 환경영향평가 사례 및 기초적용 연구                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>National Research Council(2007), USEPA(2005)의 사례 분석 및 효율 평가 개념 모델 정립</li> </ul>  | p.177 - 179 |

|                             |   |  |             |
|-----------------------------|---|--|-------------|
| VII. 사업의 경제성 분석 및 평가 (서울여대) | 1.해양오염퇴적물 현황과 정화실태 조사                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>국내 연안오염 현황 조사결과 분석 (해양오염퇴적물 약 800만~1,000만 m<sup>3</sup> 추산)</li> <li>국내 정화산업 시장규모 및 정화기술 분석</li> </ul>  | p.180       |
|                             | 2.해양오염퇴적물 정화기술 연구개발 현황 분석                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>오염퇴적물 정화관련 산업 및 기술현황 파악</li> </ul>  | p.181 - 182 |
|                             | 3.오염퇴적물 정화사업의 경제적 가치 분석과 관련한 국내외 유사 연구 문헌 분석                | <ul style="list-style-type: none"> <li>오염퇴적물 정화사업 경제적 가치관련 문헌 48건(국내:19건, 국외:29건) 분석 완료</li> </ul>   | p.183 - 185 |
|                             | 4.사업과 관련한 상위계획 및 관련 계획의 검토를 통해 사업의 적절성과 국고지원의 적정성 기준을 검토    | <ul style="list-style-type: none"> <li>해양오염퇴적물 정화사업 추진에 따른 해역의 부가가치 증대, 산업연관 효과를 통한 연구·개발의 시너지 효과, 해양오염퇴적물 정화기술 국제 경쟁력 제고 분석</li> </ul>  | p.185 -186  |
|                             | 5.해양오염퇴적물 정화기술 개발사업의 경제성 분석                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>정화사업 산업연관분석 수행 (생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발효과)</li> <li>정화사업 비용-편익 연간흐름 분석</li> <li>해양오염퇴적물 정화사업의 비용대비 편익 2.1배로 평가</li> </ul>  | p.186 - 191 |
|                             | 6.지역균형발전,정책 일관성 및 추진의지, 사업추진상의 위험요인(재원조달 가능성, 환경경 등)에 대한 평가 | <ul style="list-style-type: none"> <li>공공사업이 일정한 가치를 가지고 추진되나 모든 투자가 기회비용을 수반한다는 점에서 대안적인 사업간 효율성 비교를 통해 정책이 결정되어야 함</li> <li>미래의 산업구조 변화, 수요변화, 가격변화 등 분석대상과 관련된 시장여건이 불확실한 상태에서 이루어지는 경제성 분석은 많은 불확실성을 내포</li> </ul>   | p.191 - 192 |
|                             | 7.퇴적물 오염이 생태계 및 인간건강에 미치는 효과 및 오염정화에 따른 경제성 분석              | <ul style="list-style-type: none"> <li>해양오염정화의 건강증진효과 분석</li> <li>오염정화에 따른 건강증진 경제적 가치 평가</li> <li>조기시망감소의 경제적 가치는 연간 76.99억 원으로 추정</li> </ul>   | p.192 - 193 |
|                             | 8.결론 및 정책 제언 제시   | <ul style="list-style-type: none"> <li>연구개발사업 및 구조물 투자를 민간과 공동으로 추진하는 경우 기술사용 권리문제와 민간부담금을 지불하게 되는 기업의 인센티브 고려에 따라 비용과 편익 분석의 결과가 달라질 수 있음</li> <li>비용편익분석은 사업으로 인한 현재 및 미래의 편익과 비용을 현재가치로 할인하여 비교하며 일반적으로 편익과 비용의 시간구조가 상이하므로 사업의 영향기간, 할인율의 크기에 따라 평가결과가 달라질 수밖에 없음을 감안해야 함</li> </ul> | p.193       |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>다양한 환경문제가 중·장기적으로 개인의 건강과 인적자본축적에 영향을 미친다는 선행연구들을 고려할 때, 해양오염개선의 건강증진 효과를 고려해야함</li> </ul> |  |
|--|--|---|--|

**연구개발 주요내용**

**1. 해역(오염)유형별 최적 정화공법 선정(KORDI)**

**1. 선진 처리방법 비교 검토 후 해역별 최적 정화방법 선정**

○국외 지칭 3건 분석 완료

① 미국 환경보호청(USEPA)의 오염물질 정화기술 평가방안<sup>1)</sup>

◦ 정화기술 평가 시 사용하는 정화기술 선택 행렬(The Remediation Technologies Screening Matrix: RTSM)은 정화사업을 위한 기술을 선택함에 있어 사용자에게 친숙한 도구이며, 토양과 지표수 정화에 필요한 64개 기술(현장처리, 현장외 처리)을 포함한다. 기술 선정 시 사용되는 변수는 오염원, 기술 개발상태, 총 비용, 정화 소요 시간을 포함한다. 기술평가 시, 정화기술에 대하여 다양한 요소를 평가한 결과를 행렬로 구성하여, 각 사업의 특성(오염원, 비용 등)에 가장 부합되는 기술을 선정하기위한 기초자료로 활용한다.

◦ 정화기술 선택 행렬에서 고려해야할 요소(Factor)<sup>2)</sup>는 다음과 같다.

- 기술의 종류 (Technology Profile Number)
- 기술의 개발 상태(Development Status)
- 단독적용 여부(Typical Treatment Train)
- 부산물(Residuals Produced)
- 운영비, 초기자본(O&M or Capital Intensive)
- 적용성 (Availability)
- 오염물질(Contaminants Treated)
- 시스템 신뢰성 / 유지관리성 (System Reliability/Maintainability)
- 처리시간(Clean Time)
- 총 소요경비(Overall Cost)

◦ 처리기술 선정 행렬에 사용된 범례와 기술평가 시 사용되는 요소들의 사례를 표 1-1과 표 1-2에 각각 나타내었다.

표 1-1. 처리기술 선정 행렬에 사용된 범례

| 요소   | 정의            |                |
|------|---------------|----------------|
| 개발상태 | F(Full scale) | P(Pilot scale) |

1) Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version I, EPA, USAF, 1993

2) [http://www.frtr.gov/matrix2/section3/sec3\\_int.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section3/sec3_int.html), Federal Remediation Technologies Roundtable Decision Support Tools (DSTs) Matrix (<http://www.frtr.gov/optimization/treatment.htm>)

|              |                    |                      |                          |                             |
|--------------|--------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|
|              | 실제 정화 현장에서 사용      |                      | 현장(실험실) 실증실험에 적용         |                             |
| 단독적용여부       | Y<br>단독 적용가능       |                      | N<br>타 기술과 혼합하여 적용       |                             |
| 부산물          | S<br>고체            | L<br>액체              | V<br>증기                  | N<br>없음                     |
| 운영비,<br>초기자본 | O&M<br>운영비,<br>유지비 | Cap<br>시설비,<br>초기투자비 | B<br>운영비,<br>초기투자비<br>모두 | N<br>운영비,<br>초기투자비<br>모두 아님 |

표 1-2. 기술평가 시 사용되는 요소 사례<sup>3)</sup>

| 요소 / 정의  | 나쁨<br>▲                  | 보통<br>○                  | 좋음<br>■                  | 기타<br>◆        |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|
| 적용성<br>기술 설계, 시공, 유지보수<br>가능 업체수                               | 2개미만                     | 2~4개                     | 4개이상                     | -              |
| 오염물질<br>다음 8종<br>(S)VOCs(할로겐, 비할로겐),<br>연료, 무기물, 방사성물질,<br>폭발물 | 효과없음<br>(P, F)           | 제한적<br>효과있음<br>(P, F)    | 효과있음<br>(P, F)           | 오염물질에<br>따라 다름 |
| 시스템 신뢰성<br>다른 효과적인 기술에 대한<br>기대되는 신뢰성과 유지성능                    | 신뢰성<br>낮고,<br>유지성능<br>높음 | 신뢰성<br>보통,<br>유지성능<br>보통 | 신뢰성<br>높고,<br>유지성능<br>낮음 | -              |
| 정화시간<br>20,000톤 정화시 소요 시간                                      | 3년이상<br>(현장처리)           | 1~3년                     | 1년미만                     | 오염물질에<br>따라 다름 |
|  | 1년이상<br>(현장외처<br>리)      | 0.5~1년                   | 0.5년미만                   | 오염물질에<br>따라 다름 |
| 총비용<br>설계, 제조, 운전, 유지보수<br>등 정화에 소요되는 모든<br>경비                 | \$300/톤<br>이상            | \$100~<br>300/톤          | \$100/톤<br>미만            | 오염물질에<br>따라 다름 |

② 미국 육군 공병대 기술연구센터의 환경준설 기술지침<sup>4)</sup>

- 정화기술 선정을 위해서는 사전에 대상 해역 조건과 퇴적물 특성에 대한 평

가가 필수적이다. 먼저 기존 조사결과를 기초로 대상 해역 수심, 해저지형, 해황 등 조건과 퇴적물의 입도, 오염도 등 특성을 평가하고, 추가조사 등 기존 조사결과를 보완하기 위한 방안을 강구한다.

- 공법 선정 시 대상 해역에 대하여 검토해야할 세부 조건은 다음과 같다.
  - 오염원
  - 조사정점
  - 수계로의 접근
  - 해역의 이용목적
  - 주변 인프라
  - 운송/처리 부지
  - 수심
  - 해저지형
  - 수력학
  - 기반암/경질 퇴적층
  - 해안선 안정도
  - 협잡물의 존재 여부
  - 계절적인 준설 제약과 생물 서식 고려
  - 겨울철 결빙 조건
  - 주위 수질 및 대기질
- 환경준설에 사용되는 공법의 선정은 우선 준설장비 형식에 따라 수력식(펌프식), 기계식, 혼합식으로 구분되며, 장비의 선정은 정화사업에서 설계, 대안 선정 및 가능성 평가 단계에서 매우 중요하다.
- 장비의 성능을 평가할 때 고려가 필요한 요소는 다음과 같다.
  - 수거율
  - 함니율
  - 수직/수평 수거 정밀도
  - 최소/최대 수거 심도
  - 퇴적물 재부유 제어
  - 오염물질 유출 제어
  - 잔류 퇴적물 제어 및 정화 수준
  - 이송(파이프라인, 바지선 등)
  - 공법 사용 설비의 위치 제어, 조종성 및 이동성/접근성
  - 공법의 유효성
  - 협잡물 존재 여부
  - 기반암 분포
  - 해저면 지형(경사면 등)

3) Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 1, EPA, USAF, 1993

4) Technical guidelines for environmental dredging of contaminated sediments, US Army Corps of Engineers, 2008. ERDC/EL TR-08-29

- 다양한 조건에 대한 대응 능력
- 잔류물 제거

③ 일본 항만 다이옥신류 대책 기술지침<sup>5)</sup>

○ 일본의 경우, 해양오염퇴적물 정화복원 대책 기술로서는 해저면에서 오염된 퇴적물을 물리적으로 제거하는 준설 굴착(Dredging/Excavation), 오염물질을 주변 환경과 차단시키는 청정물질에 의한 피복(Capping), 오염퇴적물을 현장에서 처리하는 현장 고화처리(In-situ solidification) 방법이 주로 사용된다. 한편, 피복과 현장 고화처리는 오염물질의 용출 방지 효과가 유지되고 있는 것을 확인하기 위하여 장기간의 모니터링이 필요하다.

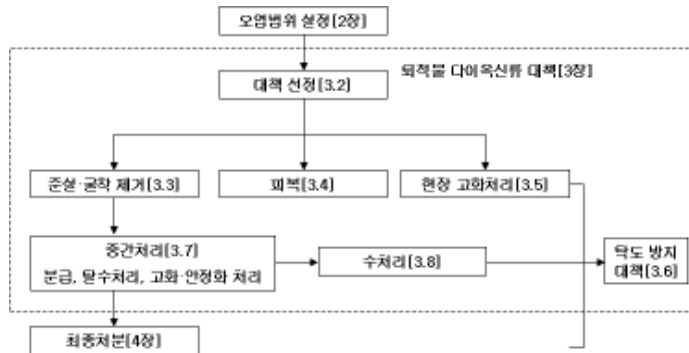


그림 1-1. 해양오염퇴적물 정화복원 대책 기술 선정 흐름

- 이러한 대책의 선정에 있어서는 조건을 충족하는 대책을 대상으로 위험(Risk) 저감효과, 시공의 난이도, 시공시 발생하는 부유물질 확산 등 2차 오염의 위험, 비용 등을 비교/검토를 실시하고, 기존 구조물에 대한 영향, 해역 이용에의 영향 등을 고려하여, 해역 특성에 대응한 최적 대책을 선정하며, 단계적 대책의 검토도 실시한다.
- 준설 굴착 제거의 경우, 오염된 퇴적물의 제거 범위(면적, 두께)는 환경 기준값을 초과하는 오염된 퇴적물의 분포 범위를 원칙으로 한다. 다만, 이 경우 반드시 제거한 퇴적물의 최종 처리를 수반하기 때문에 최종 처리량을 가능한 한 감축할 수 있는 공법 및 제거 범위를 결정하는 것이 매우 중요한 요소가 된다.

표 1-3. 준설/굴착 대책 선정 시 고려할 요소

| 요인            | 내용                           |
|---------------|------------------------------|
| 시공능력          | 해당 공사의 시공도량에 대한 적용성          |
| 범용성           | 현재 존재하는 선박, 기계에 의한 공사의 적용성   |
| 상용토질          | 제거하는 퇴적물에 대한 상용성, 부유 퇴적물의 유무 |
| 퇴적심도          | 제거 퇴적물의 퇴적심도, 층두께에 대한 적용성    |
| 퇴적형상          | 제거 대상 퇴적물이 존재하는 장소의 평면형상     |
| 파고, 유속        | 제거 퇴적 해역의 파고, 조류             |
| 장애물           | 장애물, 쓰레기 등의 혼입에 대한 상용성       |
| 선박통항 장애       | 항행 선박의 장애 유무, 정도             |
| 최종 처리장 규모, 거리 | 배수 처리의 필요 유무, 최종 처리장의 규모, 거리 |
| 시공 장소 제약      | 준설선, 기계의 규모, 이동성에 의한 적용성     |
| 탁도, 분진        | 제거시의 탁도, 분진 발생량의 많고, 적음      |
| 소음, 진동, 악취    | 제거시의 소음, 진동, 악취의 유무, 많고, 적음  |

- 피복의 경우 피복층의 두께 및 피복물질은 용출 억제효과 및 지속 기간 등을 고려하여 결정하여야 하며, 피복층 두께의 결정은 다음 조건을 충족하여야 한다.
  - 충분한 퇴적물의 부상 및 용출 억제 효과를 장기적으로 지속이 가능
  - 저서생물의 피복층내로의 침투깊이 이상
  - 대상 해역 해황의 영향에도 효과가 장기간 유지
  - 대상 해역 퇴적토의 강도특성에 적합
  - 선박의 정박장소에서는 앵커에 의한 퇴적물의 교란을 방지
- 피복의 경우 효과의 지속성을 확인하기 위하여, 수질과 피복층의 오염도 변화 및 피복층위로 오염된 퇴적물의 재 퇴적 상황과 피복층의 두께변화를 지속적으로 모니터링 하여야 하며, 결과에 따라 다른 대책을 실시하거나, 유지관리 보수 등 필요한 조치를 취해야 한다.
- 현장 고화처리는 장기적인 효과를 확보할 수 있는 고화 품질 및 소요 고화층 두께의 확보가 중요하며, 고화재, 교반혼합의 차이에 따라 현장고화와 공기중 고화로 분류된다.
- 오탁방지 대책은 공사로 인한 오탁확산을 방지하고 공사 중 감시점에서 감시 기준을 만족하는 공법을 선정하는 것이 중요하다, 이 경우 공사에 의한 부유물질 발생량을 예측해서, 오탁확산계수 등에 의한 그 범위를 구하고, 기본 감시점에서 오탁농도가 감시기준치를 초과할 경우 오탁방지판 또는 오탁방지막에 의한 오탁 대책을 검토하여야 한다.
- 한편 준설 굴착할 경우 퇴적물에 함유된 오염물질을 제어하기 위하여 중간처리가 필요하며, 최종처리를 효과적이고 경제적으로 실시하기 위하여 최종처리에 적합한 수준으로 오염도를 저감시키는 것이 중요하다. 중간처리의 목적은 1) 최종처리 대상 오염퇴적물 양의 감량화(분급, 탈수처리), 2) 용출부

5) 일본 국토교통성 항만국, 2008, 항만에 있어서 퇴적물 다이옥신류 대책 기술지침(湾における底質ダイオキシン類対策技術指針, 平成20年4月, 国土交通省港湾局)



상악제, 안정화(고화 안정화처리), 3) 주변/작업 환경의 위험 저감(고화 안정화처리)이다.

○ 선진 처리기술 선정 사례 검토

① 미국의 해양오염퇴적물 정화·복원 처리기술 사용 현황

○ 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.

표 1-4. 미국의 퇴적물 오염평가 방법<sup>6)</sup>

| 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   |
| 조식잔여 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 변화상상 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 |
|-------------------|

표 1-5. 준설퇴적물의 투기를 위한 단계별 영향 평가<sup>7)</sup>

| 단계 | 평가  | 수층  | 저층  |
|----|---|---|---|
| 1  | <기존자료분석><br>기존의 자료분석을 통해 준설물질의 악영향 가능성 평가 | 악영향 가능성에 대한 전반적 판단<br>다음단계에서 고려 또는 배제해야 할 오염물질 선택<br>악영향 가능성이 없는 오염물질 배제를 위한 제한적 실험 |   |
| 2  | <화학적 분석><br>수층과 저층 퇴적물의 화학분석을 통한 스크린      | 수층의 오염물질 농도측정 및 모델 수질환경기준과 비교   | 유기오염물질의 이론적인 생물농축 가능성 평가 관련 환경기준과 비교        |
| 3  | <생물학적 분석><br>일반적인 독성검사와 생물농축 검사           | 수층 오염물질의 독성 측정: 혼합작용 후 단계적 독성검사   | 퇴적물에 대한 독성 및 생물농축 검사: 단계적 독성평가              |
| 4  | <생물학적 분석><br>사안의 특성에 적합한 독성검사 및 생물농축 검사   | 사안특성에 따라 수층오염물질의 장기적 독성영향검사 (현장검사 병행)   | 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 폴리클로리네이트디베페닐(PCBs, 20.7%)과 다환방향족탄화수소류(PAHs, 7.4%), 비소(5.2%), 납(3.7%) 등 중금속 그리고 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

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

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

현황을 표 1-6에 나타내었다.

표 1-6. 오염퇴적물 정화·복원 지역에서 사용된 처리기술 현황<sup>8)</sup>

| 차레        | 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 1-7에 나타내었다.

표 1-7. 전체 비용 중 각 기술별 소요 비용의 비율<sup>9)</sup>

| 기술명       | 사용 수 (건) | 평균 (%) | 최소 (%) | 최대 (%) | 표준편차 (%) | 중앙값 (%) |
|-----------|----------|--------|--------|--------|----------|---------|
| 피복        | 6        | 24.26  | 0.24   | 63.68  | 24.93    | 19.78   |
| 수중 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 1-8과 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.

표 1-8. 각 오염지역에서 사용된 처리·처분 기술별 단위 비용<sup>10)</sup>

| 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       |

8) [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)

9) 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

10) 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

|         |    |        |        |         |        |        |
|---------|----|--------|--------|---------|--------|--------|
| 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  |

○ 선정 방안

- 해양오염퇴적물 정화복원 방안 선정을 위해서는 대상지역 조사를 통해 해양 퇴적물의 오염도를 평가하고, 주요 오염물질을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 조사결과에 따라 대상 범위 및 물량을 산정하는 과정을 거친 후 전문가 및 지역주민의 합의와 의견수렴을 거쳐 다양한 정화·복원 방법에 대한 선별과정을 거쳐야 한다. 이를 통하여 오염퇴적물 정화·복원사업을 위한 실시설계가 이루어지고 이에 따라 사업이 지속적 그리고 체계적으로 수행되어야 한다(그림 1-2).

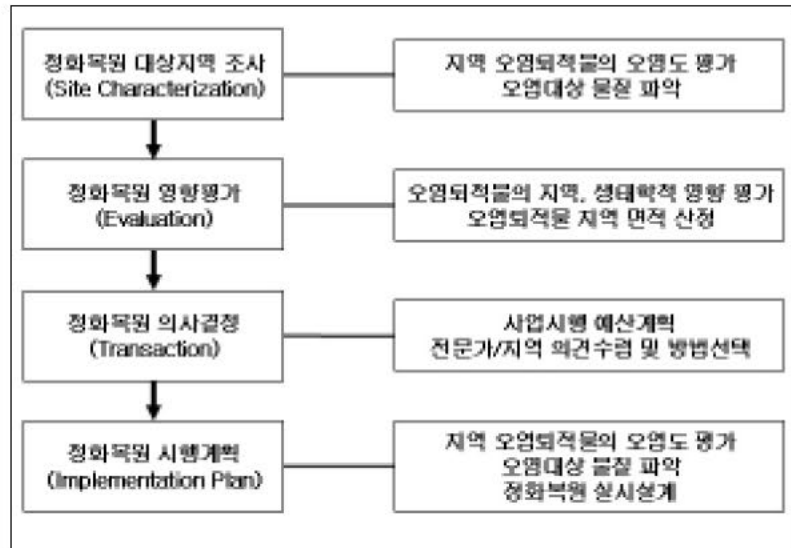


그림 1-2. 오염퇴적물 정화·복원 방법선택 순서도<sup>11)</sup>

○ 오염퇴적물 정화·복원 의사결정 및 방법선택

- 의사결정 단계에서는 사업목적의 이해, 예산집행 계획, 사업 후 장단점 분석 등을 결정하고 전문가 및 지역주민의 합의와 의견 수렴이 중요하다. 사전조

사와 영향평가를 통한 대상지역 환경에 적합한 오염퇴적물 정화·복원 방법을 선택하게 되는 과정으로 비용 분석을 통하여 비용 대 정화·복원 사업효과가 뛰어난 방법 선택을 유도해야 한다.

- 목적과 환경에 따른 오염퇴적물 정화·복원 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 정화·복원 사업 사례 분석을 통하여 시행착오가 적은 사업계획안 수립이 가능하다.
- 오염퇴적물 정화·복원 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 39는 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 요구를 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·복원되어야 할 퇴적물의 정보는 처분 대안의 적용성을 복합성의 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 항해 프로젝트로 인한 준설물질의 관리와 Clean Water Act 의 섹션 404에 따른 준설 물질 방출을 위한 허가 프로그램의 운용에 사용 되도록 요구하고 있다.

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

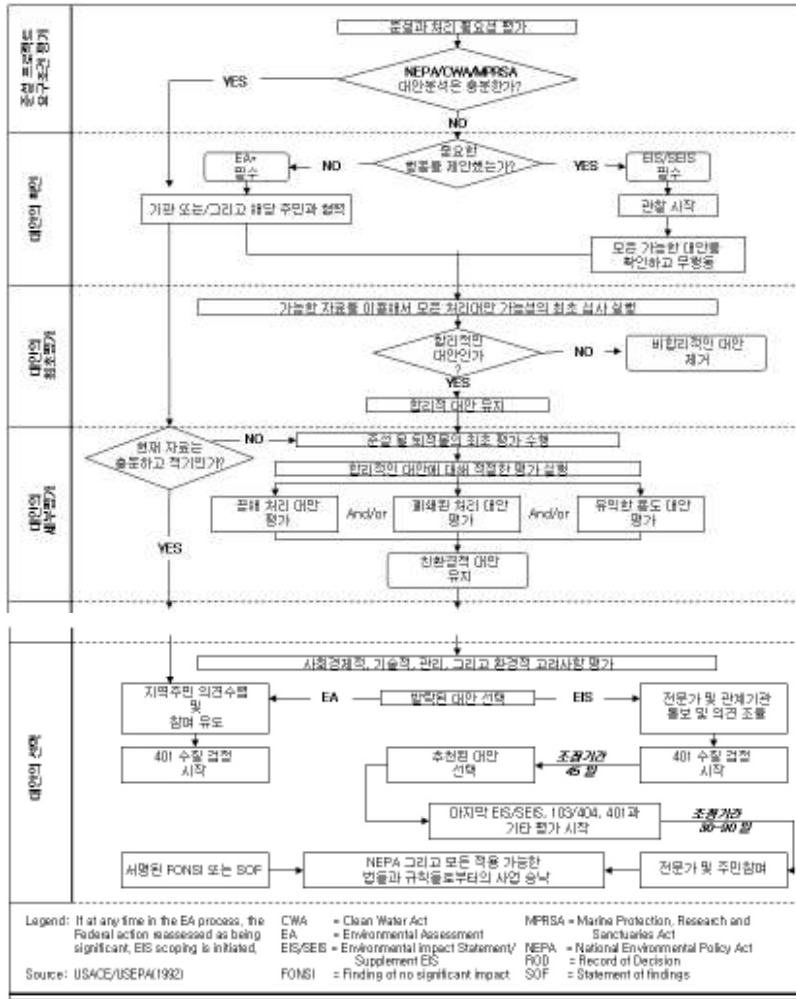


그림 1-3. 미국군공병단과 EPA의 오염퇴적물 정화 복원 방법선택 결정구조<sup>12)</sup>

② 일본의 해양오염퇴적물 정화복원 처리기술 사용 현황

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 있다<sup>13)</sup>. 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.

- 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 1-9)

표 1-9. 일본의 준설퇴적물 처리방법에 따른 주요 고려사항<sup>14)</sup>

| 처리방법  | 주요 고려 사항  |
|-------|---|
| 해역 매립 | 일본의 해양오염방지법 시행령(1971년 정령 201호)에 의거하여 매립장에서 제거 퇴적물 및 해수가 해역에 유출 또는 침출되지 않도록 보호 양반, 기타 시설을 계획<br>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 | 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    | 지하수에 관계된 공사 착공 전의 조사결과가 별도로 정하는 기준에 부적합한 수역에서는 봉입과 같은 처리는 시행 금지<br>봉입을 행하는 경우 제거 퇴적물과 물의 직접적인 접촉을 방지하기  |

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

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

|  |  |
|--|--|
|  | 위해 콘크리트 등의 불투수성 재료를 사용하여 완전히 피복하거나, 또는 실판 등으로 처리지역을 공공 용수역과 차단하지 않는 방법을 사용 |
|--|--|

- 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 감축하기 위한 것이다. 상기 지침의 시행으로 준설에 의해 제거된 퇴적물은 다양한 처리기술로 처리 후 여러 목적으로 재활용되고 있으며, 매립 등 최종 처리량은 지속적으로 감소되고 있다. 처리된 퇴적물은 주로, 토지조성을 위한 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 1-10에 나타내었다.

표 1-10. 일본의 오염퇴적물 처리기술의 개요<sup>15)</sup>

| 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<br>자연건조: 사질토, 점성토 가능 (교반이 없으면 효과 저하)              | Traffic-ability를 얻을 수 있는 콘 지수가 품질 개선의 목표임       |
|         | 기계탈수 기술 | •가압탈수<br>필터프레스: 75µm이하(모래는 사전에 제거)<br>•벨트프레스: 5mm이하 정도<br>•진공탈수: 5mm이하 정도 | 제4종 개량토 (콘 지수 200 kN/m <sup>2</sup> ) 정도를 목표로 함 |

|          |               |  |   |
|----------|---------------|--|---|
| 고도기계탈수기술 |               | •원심탈수: 5mm이하 정도<br>•고압 드럼 프레스<br>모래 분리 제거는 불필요(입경 5mm이하) 가압 처리는 불필요(함수비 100%~)<br>•고압 필터프레스<br>모래는 사전에 제거(입경 75µm이하) 오니의 함수비가 낮은 경우는 가수 처리 | 제3종 개량토 (콘 지수 400 kN/m <sup>2</sup> ) 로 사용가능                                  |
|          | 고도안정처리기술      | 실트, 점성토를 대상으로 모래가 많은 경우는 사전에 제거  | 제품의 형상은, 자갈, 모래, 분체 등의 가공이 가능 압축력에 따라 수백~2만 kN/m <sup>2</sup> 정도를 얻을 수 있다     |
| 안정처리     | 원위치 고화처리기술    | 원칙적으로 모든토질에 적용가능   | 개량토의 요구 품질을 확보할 수 있는 고화재의 종류, 첨가량을 시험에 의해 확인하는 것으로, 필요한 품질의 개량토를 얻을 수 있음      |
|          | 플랜트 고화처리기술    | 함유성분(유기물, 부식도 등)에 따라 특수 고화재를 사용  |   |
|          | 관 중 오니 혼합처리기술 | 원칙적으로 액상 한계 이상의 높은 함수비의 점성토 퇴적물을 대상으로 하고 있지만, 낮은 함수비라도 가수하여 적용가능   |   |
|          | 경량오니 처리토기술    | 원칙적으로 점성토 퇴적물을 대상으로 하지만, 사질이라도 미립분을 별도 첨가하여 적용가능   | 개량토의 요구 품질을 확보할 수 있는 고화재, 기포재의 종류, 첨가량을 시험에 의해 확인하는 것으로, 필요한 품질의 개량토를 얻을 수 있음 |
|          | 소성처리          | 대부분의 퇴적물에 사용가능하지만, 시멘트 등을 포함하는 것(고화처리토 등)은 적용 불가능  | 일반적으로는, 흡수율(JIS A 1110), 압축 강도(JIS Z 8841) 등에 의해 품질관리가 되며, 기준치는 이용 용도에 따라 설정됨 |

- 일본에서는 준설 굴착으로 제거한 해양오염퇴적물을 다음과 같은 다양한 처리기술을 사용하여 처리 산물을 여러 목적으로 재활용하고 있다.
- SGM(Super Geo-Material) 경량토공법 : 준설토사에 물을 첨가하여 슬러리상태로 만든 다음 시멘트 등의 고화재나 기포, 발포제 등 경량화재를 첨가하여 혼합함으로써, 일반적인 토사보다 밀도가 낮은 경량지반재료로서 사용하는

15) <http://www.recycle-solution.jp/2003-report.pdf/2-SHO.html/2-11.pdf#search=汚濁土砂発生量>

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 준비용지 조성 등에 사용함. 인근 나고야 항 등의 준설토사를 사용하여 약 860m<sup>3</sup>의 고화처리한 토사를 매립하여 인공섬을 조성함.

- 중성고화공법: 후지기계(주)<sup>16)</sup>: 지금까지 폐기물로 처분되었던 오염퇴적물이나 건설오니를 중성 고화제를 사용하거나, 현장에서 고화 유닛을 사용하여 균질한 품질의 중성토양으로 개질하는 방법.
- 퇴적물 환경정화공법(고오(五洋)건설(주))<sup>17)</sup>: 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 분급공법은 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))<sup>18)</sup>: 준설토사에 포함되는 자갈, 모래 등을 분리한 다음, 분리된 오수를 고압 탈수하여 큰 지수 > 800 kN/m<sup>2</sup>의 제2종 처리도로 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.
- 혼테라공법<sup>19)</sup>: 혼테라는 프랑스어로 좋은 흙을 의미함. 이 방법은, 건설오니나 준설토사에 폐 종이 파쇄물과 시멘트계 고체화재를 첨가·혼합하는 것으로서, 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 것으로서, 보수성의 높은 녹화 기반재(하천 재방 조성용)를 생성할 수도 있음.
- 한편, 일본에서는 수질개선, 녹지조성, 폐기물 호안매립 등 지금까지 항만에

서 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(港灣環境の課題と今後の港灣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.



그림 1-4. 일본의 해양오염퇴적물 재활용 사례(방파제 조성)<sup>20)</sup>

- 25개 해역 중 피복정화/현장처리 적합지 6개, 준설토 후 처리 적합지 7개 선정
- ◎ 최적 정화공법 선정 의사결정 시 고려할 요소
  - 해양오염퇴적물 정화·복원사업을 위해서는 기존 조사자료, 현지 조사 또는 주민 신고 등에 의해 오염 우려 지역에 대한 오염 현황을 정확하게 파악하여야 하며, 조사자료가 부족할 경우, 추가 정밀조사 등을 실시하여 그 결과에 따라 오염지역을 판정하며, 정화·복원 대상 범위(면적)와 물량(부피)을 결정하여야 한다.
  - 상기 과정에서 대상 지역에서 주요 오염물질 및 오염 정도 평가결과가 도출된 다음, 정화·복원사업 의사결정에 앞서서 대상 지역의 오염 방지 및 오염원 관리를 위하여 (비, 점)오염원 정비 즉, 더 이상의 오염물질 유입을 차단하기 위한 조치를 실시하여야 한다.
  - 대상 지역의 오염원 정비가 완료된 다음 더 이상의 오염물질의 유입되지 아니하는 것으로 판명될 경우에 한하여, 정화·복원사업 추진 여부 및 방안에 대한 의사를 결정하여야 한다.
  - 해양오염퇴적물 정화·복원 방안은 자연정화방법(Monitored natural

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

16) <http://www.kkk-fujiki.jp/environmental/stabilization.html>  
 17) [http://www.penta-ocean.co.jp/news/d\\_news20050118.html](http://www.penta-ocean.co.jp/news/d_news20050118.html)  
 18) <http://www.daiho.co.jp/tech/kankyol/index.htm>  
 19) <http://www.sunahara.co.jp/bontenzain/about.html>

recovery), 현장피복방법(In-situ capping), 준설(Dredging)의 3가지 방안으로 크게 나눌수 있다. 현재 우리나라에서는 해저면에서 오염된 퇴적물을 펌프식 설비에 의해서 물리적으로 제거하는 수거로만 규정되어 있지만, 향후 수거 이외의 정화 복원 방안이 개발되어 사용될 경우를 고려하여 3가지 방안 모두를 검토한다.

- 정화 복원 방안 선정을 위해서는 다음 사항에 대하여 평가<sup>21)</sup>를 실시하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

◎ 대상 지역 및 퇴적물 특성 평가

- 대상 지역 오염이 퇴적물 오염에 기인한 것인지, 오염된 퇴적물을 제거할 경우, 환경이 개선될 것인지를 기존 자료와 모델을 사용하여 평가
- 퇴적물 및 오염물질의 소멸과 이동을 평가
- 인간의 건강과 생태계에 미치는 영향을 평가
- 오염원 제어의 효율성과 필요성을 평가
- 잠재적인 정화 복원의 가능성을 평가
- 정화 복원에 앞서서 조건과 계획을 사전 검토
- 정화 복원사업 후 평가 방안 계획
- 세부 평가 항목은 다음과 같다.
  - 오염원
  - 조사정점
  - 수계로의 접근
  - 해역의 이용목적
  - 주변 인프라
  - 운송/처리 부지
  - 수심
  - 해저지형
  - 수력학
  - 기반암/경질 퇴적층
  - 해안선 안정도
  - 협잡물의 존재 여부
  - 계절적인 준설 제약과 생물 서식 고려
  - 겨울철 결빙 조건
  - 주위 수질 및 대기질

◎ 정화 복원 목적, 정화 수준, 방안 설정

- 정화·복원사업은 단순히 오염된 퇴적물을 제거 또는 정화 조치를 실시하기 위함이 아니며, 의사결정 시 상당한 규모의 예산이 소요되므로, 대상 지역의 수질을 개선하기 위함인지, 환경을 개선하기 위함인지, 환경을 개선하여 생태계를 회복시키기 위함인지 등 사업의 목적을 분명하게 설정하여야 한다.
- 또한 사업시 대상 퇴적물의 오염을 어느 정도 수준으로 저감 또는 관리할 것인지 사전 검토가 필요하다. 선진 외국의 사례에서도 정화·복원사업 대상 지역에서 어느 하나의 방안만을 실시하는 경우는 드물며, 한 지역이라도 지형, 오염도 등에 따라서 다양한 정화방안(공법)이 사용되고 있다. 또한 오염도 저감 수준은 소요 비용, 처리 시간뿐만 아니라 사회적인 수용성과도 직접 관련되므로, 저감 수준의 결정은 정화방안 및 공법 선정에 있어서 매우 중요하다.
- 한편 정화방안으로는 선진국의 경우, 자연정화방법을 기본으로 현장피복방법 및 준설을 사용한다. 이 경우, 각 방안은 대상 지역 및 오염 특성을 기초로 각 방법의 제한 조건을 평가하여 선택적으로 사용하고 있다.
- 정화방안 선택 시 제한 조건은 다음과 같다.

◎ 우선 자연정화방법의 경우

- 중금속 등 유해화학물질의 오염도가 높거나 (CIHC>2인 구역이 50% 이상),
- 지역주민의 생활환경과 직접 관련 되거나 (주거지역, 수변구역 등 존재),
- 대상 지역에 직접 영향을 미칠수 있는 오염원(산업시설 등)이 존재하거나,
- 정화 복원 조치가 단기간에 완료되어야 하는 사유가 있는 경우에는 정화방법 선정에 제한된다.

◎ 현장피복방법의 경우,

- 유해화학물질 오염도(CIHC>2인 구역의 정화지수(CIHC) 평균값 × 정점분포율)가 유기물 오염도(CIET>6인 구역의 정화지수(CIET) 평균값 × 정점분포율) 보다 높거나,
- 정화 복원 조치 시 선박의 통항 등 최소한의 수심 확보에 어려움이 예상되거나,
- 대상 지역 해황(30년 평균)을 고려 피복 형상의 장기간 유지가 곤란하거나,
- 대상 지역 특성(경사면, 퇴적 형상 등) 등으로 시공이 곤란할 경우에는 정화방법 선정에 제한된다.
- 수거(준설)의 경우, 선진 사례를 고려하면, 특별하게 제한되거나 시공에 장애가 발생하는 경우는 없다. 그러나 이 경우 해양오염퇴적물 수거 의사를 결정하기 전에 반드시 오염도 저감 등을 위한 중간처리 및 처리 후 산물을 재활용 또는 고립처리 등 최종처리 공법을 선정하여야 한다.

21) Technical guidelines for environmental dredging of contaminated sediments, US Army Corps of Engineers, 2008. ERDC/EL TR-08-29

◎ 공법(장비) 적합성

- 선진 해양오염퇴적물 정화 복원 사례 검토 결과, 수거 공법 등 장비 사용에 대한 제한은 없으며, 대상 지역 및 오염 특성에 따라 다양한 공법 또는 장비가 사용되고 있다. 특히 정화 복원 방안이 수거일 경우, 사용되는 공법(장비)에 따라 함수율 등 수거 후 처리(중간, 최종)에 영향을 미치므로 적합한 공법(장비)를 선정하는 것이 매우 중요하다.
- 상기의 경우 적합한 공법(장비) 선정을 위해서는 다음과 같은 사항들의 평가가 필요하다.
  - 시공능력, 범용성, 상용토질, 퇴적심도 및 형상, 파고/유속, 장애물 존재 여부, 최종처리장 규모(잔여 유효 용적) 및 이송 거리, 시공/장소 제약, 탁도/분진 및 소음/진동/악취 발생 여부

| 요인            | 내용                           |
|---------------|------------------------------|
| 시공능력          | 해당 공사의 시공토량에 대한 적용성          |
| 범용성           | 현재 존재하는 선박, 기계에 의한 공사의 적용성   |
| 상용토질          | 제거하는 퇴적물에 대한 상용성, 부유 퇴적물의 유무 |
| 퇴적심도          | 제거 퇴적물의 퇴적심도, 층두께에 대한 적용성    |
| 퇴적형상          | 제거 대상 퇴적물이 존재하는 장소의 평면형상     |
| 파고, 유속        | 제거 퇴적 해역의 파고, 조류             |
| 장애물           | 장애물, 쓰레기 등의 혼입에 대한 상용성       |
| 선박통항 장애       | 항행 선박에의 장애 유무, 정도            |
| 최종 처리장 규모, 거리 | 배수 처리의 필요 유무, 최종 처리장의 규모, 거리 |
| 시공 장소 제약      | 준설선, 기계의 규모, 이동성에 의한 적용성     |
| 탁도, 분진        | 제거시의 탁도, 분진 발생량의 많고, 적음      |
| 소음, 진동, 악취    | 제거시의 소음, 진동, 악취의 유무, 많고, 적음  |

※ 적합성 평가: 좋음(3), 보통(2), 나쁨(1)

- 상기 사항의 적합성 평가는 각 항목별로 적합성을 좋음(3), 보통(2), 나쁨(1)로 산정하여 전체 합이 24점 이상인 경우, 정화 복원사업에 활용 가능한 공법(장비)로 판정함이 타당하다. 또한, 활용 가능한 공법(장비) 중 적합성 평가 점수가 높은 순으로 정화복원사업에의 활용을 우선 고려하고, 만약 제약조건이 있을 경우 그 다음 공법(장비)의 사용을 검토하여 가장 적합한 공법(장비)를 선정하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한, 모니터링(사업 전, 중, 후) 결과를 기초로 공법(장비) 사용 중 2차 오염 등 환경에 저해현상이 발생할 경우, 해당 공법(장비)를 수정, 보완할 필요가 있다.
- 한편 수거 후 처리는 재활용 등 최종 처리 시 관련 환경기준에 대응할 수 있

는 처리 공법(장비)를 사용하여야 한다.

- 개발 예정인 해양오염퇴적물 정화기술을 시험하기 위한 해역으로는 개발될 기술이 최적화되기 전임을 고려하여, 중금속 등 유해화학물질의 오염도가 비교적 낮으며, 유기물 오염도가 높은 해역이 적합한데, 해역별 퇴적물의 오염도, 물성, 주요 오염물질, 수심 및 해역 특성을 검토한 결과를 종합하면 대상해역으로 6개 해역(N > K, H, M > R, S)이 적합할 것으로 사료된다.

표 1-11. 대상 해역 퇴적물의 평균 오염도 및 정화지수

| 구분   | 단위    | N     | K     | H     | M     | R     | S     |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| COD  | mg/g  | 20    | 27    | 16    | 19    | 11    | 19    |
| AVS  | mg/g  | 1.8   | 0.6   | 1.5   | 0.9   | 0.6   | 0.3   |
| IL   | %     | 11.2  | 6.9   | 7.3   | 6.8   | 7.3   | 4.2   |
| TOC  | %     | 2.3   | 3.4   | 1.7   | 1.8   | 0.9   | 0.6   |
| TN   | %     | 0.2   | 0.1   | 0.2   | 0.1   | 0.2   | 0.1   |
| Al   | %     | 6.4   | 4.4   | 8.1   | 8.8   | 7.6   | 7.6   |
| Fe   | %     | 4.5   | 2.2   |       | 3.8   | 3.3   | 3.2   |
| Mn   | mg/kg | 717   | 269   | 811   | 489   | 585   | 463   |
| Cr   | mg/kg | 79    | 21    | 54    | 93    | 82    | 70    |
| Ni   | mg/kg | 17    | 9     | 23    | 23    | 27    | 26    |
| Cu   | mg/kg | 73    | 83    | 97    | 89    | 49    | 77    |
| Zn   | mg/kg | 321   | 119   | 242   | 254   | 178   | 178   |
| As   | mg/kg | 10    | 8     | 9     | 10    | 9     | 7     |
| Cd   | mg/kg | 1.37  | 0.54  | 0.62  | 0.60  | 0.45  | 0.16  |
| Pb   | mg/kg | 74    | 34    | 58    | 73    | 45    | 40    |
| Hg   | mg/kg | 0.141 | 0.078 | 0.062 | 0.177 | 0.105 | 0.066 |
| PCBs | µg/kg | 10    | 20    | 21    | 22    | 25    | 5     |
| PAHs | µg/kg | 1,681 | 4,012 | 2,410 | 516   | 175   | 376   |
| TBT  | µg/kg | 108   | 337   | 461   | 105   | 7     | 39    |
| ClHC | -     | 2.07  | 3.99  | 4.68  | 2.49  | 0.86  | 1.17  |
| ClET | -     | 6     | 6     | 5     | 5     | 3     | 2     |



## 2. 해역 유형 및 오염도에 따른 정화공법 선정 의사결정 도구(안)

### 제1장 총칙

**제1조(목적)** 이 규정은 해양환경관리법 제18조(해양환경개선조치) 제1항의3호 '오염된 퇴적물의 수거'에 따른 정화·복원사업에서 적합한 정화공법을 선정 할 때 그 절차나 기준 등을 정함을 목적으로 한다.

**제2조(정의)** 이 규정에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “자연정화공법”이란 퇴적물에 함유된 오염물질 등을 자연적인 생화학적 반응을 촉진시켜서 분해·정화시키는 공법을 말한다.

### 제2장 정화공법 선정 절차 등

**제3조(전제 조건)** 해양오염퇴적물 정화·복원사업을 실시하기 위해서는 다음 조건에 적합하여야 한다.

1. 우려지역 오염 현황을 정확하게 조사, 평가하여 대상 범위 및 물량을 산정
2. 대상 지역 오염 방지 및 오염원 관리 조치 실시
3. 오염원 관리 조치 후 더 이상의 오염물질 유입되지 아니할 경우, 정화·복원사업 의사 결정

**제4조(대상 지역 및 퇴적물 특성 평가)** 정화·복원사업 대상 지역 및 퇴적물 특성 평가는 다음 절차에 의한다.

1. 대상 지역 평가
  - 가. 대상 지역 오염이 퇴적물 오염에 기인한 것인지, 오염된 퇴적물을 제거할 경우, 환경이 개선될 것인지를 기존 자료와 모델을 사용하여 평가
  - 나. 퇴적물 및 오염물질의 소멸과 이동을 평가
  - 다. 인간의 건강과 생태계에 미치는 영향을 평가
  - 라. 오염원 제어의 효율성과 필요성을 평가
  - 마. 잠재적인 정화·복원의 가능성을 평가
  - 바. 정화·복원에 앞서서 조건과 계획을 사전 검토
  - 사. 정화·복원사업 후 평가 방안 계획
2. 퇴적물 특성 평가
  - 가. 오염원(주요 오염물질) 및 조사정점
  - 나. 수계로의 접근
  - 다. 해역의 이용목적

- 라. 주변 인프라
- 마. 운송/처리 부지
- 바. 수심
- 사. 해저지형
- 아. 수력학
- 자. 기반암/경질 퇴적층
- 차. 해안선 안정도
- 가. 협잡물의 존재 여부
- 타. 계절적인 준설 제약과 생물 서식 고려
- 파. 겨울철 결빙 조건
- 하. 주위 수질 및 대기질

- 제5조(정화·복원 목적 및 정화 수준 설정)** ① 대상 지역 정화·복원사업의 목적을 구체적으로 설정하여야 한다.
- ② 대상 퇴적물의 오염을 어느 정도 수준으로 저감 또는 관리할 것인지 정화 수준을 설정하여야 한다.

**제6조(정화공법 선정)** ① 정화공법은 다음 각 호 중 하나 또는 여러 공법을 선정할 수 있다.

1. 자연정화방법
2. 현장피복방법
3. 수거
  - ② 자연정화방법을 선정하는 절차는 별표 1과 같다.
  - ③ 현장피복방법을 선정하는 절차는 별표 2와 같다.
  - ④ 수거는 제2항 및 제3항에 따른 공법 선정이 적합하지 아니하는 경우 선정할 수 있다.
1. 해양오염퇴적물을 수거하기 위해서는 정화복원사업 의사결정 전에 수거 예정 해양오염퇴적물의 처리(중간, 최종, 재활용 포함) 방안을 선정하여야 한다

- 제7조(수거 공법 선정)** ① 정화공법으로서 수거를 선정할 경우, 적합한 공법(장비)를 선정하는 절차는 별표 3과 같다.
- ② 수거 해양오염퇴적물의 처리는 재활용 등 최종처리 시 관련 환경기준에 대응할 수 있는 처리 공법(장치)를 사용하여야 한다.

[별표 1]

자연정화방법 선정 절차  
(제6조제2항 관련)

다음 제한 조건에 해당되지 아니할 경우 자연정화방법을 선정할 수 있다.

1. 중금속 등 유해화학물질의 오염도가 높아서 자연의 자정작용으로 정화시키기 곤란한 경우  
(예: 전체 대상 구역 중 퇴적물의 유해화학물질정화지수(CI<sub>HC</sub>)가 2 이상인 구역이 50% 이상)
2. 지역주민의 생활환경과 직접 관련 되는 지역  
(예: 대상 해역 인근에 주거지역, 수변구역, 횡집 또는 어시장 등 상업시설 존재)
3. 대상 해역에 직접 영향을 미칠 수 있는 산업시설 등 오염원이 존재할 경우
4. 정화·복원 조치가 단기간에 완료되어야 하는 사유가 있는 경우

[별표 2]

현장피복방법 선정 절차  
(제6조제3항 관련)

다음 제한 조건에 해당되지 아니할 경우 자연정화방법을 선정할 수 있다.

1. 유해화학물질 오염도(CI<sub>HC</sub>>2인 구역의 정화지수(CI<sub>HC</sub>) 평균값 × 정점분포율)가 유기물 오염도(CI<sub>ET</sub>>6인 구역의 정화지수(CI<sub>ET</sub>) 평균값 × 정점분포율) 보다 높을 경우
2. 정화·복원 조치 시 선박의 통항 등 최소한의 수심 확보가 어려울 경우
3. 대상 지역에서 피복 형상이 장기간 유지가 곤란할 경우  
(예: 해황(30년 평균)을 고려 피복이 어렵거나, 선박의 투묘, 양묘 등 영향이 예상되는 지역)
4. 지형 특성으로 시공이 곤란할 경우  
(예: 경사면 또는 퇴적 형상으로 시공이 곤란한 지역)

**수거공법 선정 절차**

(제7조 관련)

자문: 한양대학교 법학전문대학원 교수/변호사 김 흥균

수거공법은 다음 절차에 따라 선정한다.

1. 공법의 적합성은 다음과 같이 각 요인별 평가점수의 합을 산정하여 평가한다.

| 요인                             | 내용                           |
|--------------------------------|------------------------------|
| 시공능력                           | 해당 공사의 시공토량에 대한 적용성          |
| 범용성                            | 현재 존재하는 선박, 기계에 의한 공사의 적용성   |
| 상용토질                           | 제거하는 퇴적물에 대한 상용성, 부유 퇴적물의 유무 |
| 퇴적심도                           | 제거 퇴적물의 퇴적심도, 층두께에 대한 적용성    |
| 퇴적형상                           | 제거 대상 퇴적물이 존재하는 장소의 평면형상     |
| 파고, 유속                         | 제거 퇴적 해역의 파고, 조류             |
| 장애물                            | 장애물, 쓰레기 등의 혼입에 대한 상용성       |
| 선박통항 장애                        | 항행 선박에의 장애 유무, 정도            |
| 최종 처리장 규모, 거리                  | 배수 처리의 필요 유무, 최종 처리장의 규모, 거리 |
| 시공 장소 제약                       | 준설선, 기계의 규모, 이동성에 의한 적용성     |
| 탁도, 분진                         | 제거시의 탁도, 분진 발생량의 많고, 적음      |
| 소음, 진동, 악취                     | 제거시의 소음, 진동, 악취의 유무, 많고, 적음  |
| 비고                             |                              |
| 1. 적합성 평가: 좋음(3), 보통(2), 나쁨(1) |                              |

2. 각 요인별 적합성 평가 점수의 합이 24점 이상인 경우, 정화복원사업에 활용 가능한 공법(장비)로 평가한다.

3. 활용 가능한 공법(장비) 중 적합성 평가 점수가 높은 순으로 우선순위 공법(장비)로 선정한다.

4. 만약 선정된 공법(장비)으로 시공이 곤란할 경우 차순위 공법(장비)를 선정한다.

가. ‘해양환경관리법’의 개정 필요성과 방향

1) 필요성

- 해양오염퇴적물 정화·복원 기술의 필요성이 강함
- 개발 기술이 실제 현장에 도입·적용될 수 있도록 「해양환경관리법」 등 관련 법령의 정비 필요
- 현재 오염퇴적물 또는 준설토사 그리고 그 수거, 처리, 처분 등에 대한 개념 정의 및 구체적인 지침이나 기준이 미비한 상태임
- 「해양환경관리법」상 해양환경관리업의 등록기준에 따르면 전용수거선이 진입할 수 없는 해역 또는 현장 여건상 다른 장비의 사용이 요구되거나, 피복처리가 필요할 경우 등에 장비/공법의 사용이 제한되고 있음
- 개별 법률에 산재된 오염퇴적물 관련 규정의 개정이 쉽지 않고, 가능한 한 1회적인 방법으로 문제해결을 하기 위해서는 주관 부처 소관 법률인 「해양환경관리법」의 부분 개정이 바람직한 것으로 보임

2) 방향

- 관련 법령의 정비 차원에서 개정안을 조속히 마련할 필요성이 있음
- 현실성, 효율성을 고려하여 「해양환경관리법」의 부분 개정이 바람직
- 오염퇴적물 관리의 통일성과 효율성을 제고하기 위해 「해양환경관리법」 내에 오염퇴적물의 환경기준, 수거부터 처리·처분까지의 일련의 규정을 둘 필요가 있음
- 적용범위 및 관할과 관련하여 발생할 수 있는 불필요한 분쟁을 막는다는 차원에서 타법과의 충돌을 방지하기 위하여 「해양환경관리법」 적용 시 다른 법률의 적용을 배제한다는 식의 특례 규정을 둘 필요성이 있음

나. 법제의 정비방안

1) 오염퇴적물, 준설토사 등에 대한 개념 정립

- 준설토사는 수계로부터 준설된 물질을 말하지만 퇴적물이란 준설과정 이전에 수계에 있는 물질이며 오염퇴적물이란 원론적으로 “오염물질이 축적되어 오염도가 일정 기준을 넘는 퇴적물”이라 할 것임

- 「토양환경보전법」은 오염토양을 “오염도가 우려기준을 넘는 토양”이라고 정의하고 있음(제11조 제3항)
- 「해양환경관리법」을 비롯한 현행 법률은 퇴적물, 오염퇴적물, 준설토사에 대한 개념을 정의하고 있지 않고 오히려 혼동해서 사용하고 있음
- 현행 「해양환경관리법」은 (수저)준설토사를 폐기물로 파악하고 있음(동법 시행규칙 제12조 제1항, 별표 6)
- 오염된 퇴적물 자체는 폐기물이 아니나, 오염된 퇴적물을 수거(준설)하여 처리하는 경우에는 「폐기물관리법」상 (사업장)폐기물에 해당할 여지가 있음
- 준설토사를 폐기물로 본 판례가 있음(대법원 2006. 5. 11. 선고 2006도631 판결). 한편 “토양은 폐기물 기타 오염물질에 의하여 오염될 수 있는 대상일 뿐 오염토양이라 하여 동산으로서 ‘물질’인 폐기물에 해당한다고 할 수 없고, 나아가 오염토양은 법령상 절차에 따른 정화 대상이 될 뿐 법령상 금지되거나 그와 배치되는 개념인 투기나 폐기 대상이 된다고 할 수 없다”고 판시하면서 오염토양의 폐기물성을 부인한 최근 판례도 있음(대법원 2011. 5. 26. 선고 2008도2907 판결)
- 「해양환경관리법」상의 폐기물 정의와 「폐기물관리법」상의 폐기물 정의가 모호하게 규정되어 있고, 양자간에 다소 다른 점이 있어 해석·적용에 혼란을 가중하고 있음
  - 「폐기물관리법」은 ‘폐기물’을 “쓰레기·연소재·오니·폐유·폐산·폐알카리·동물의 사체 등으로서 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질”로 정의하고 있음에 비해(동법 제2조 제1호), 「해양환경관리법」은 “해양에 배출되는 경우 그 상태로는 쓸 수 없게 되는 물질로서 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 물질(제5호·제7호 및 제8호에 해당하는 물질을 제외)”로 정의하고 있음(제2조 제4호)
  - 「해양환경관리법」상의 폐기물 정의는 폐기물 개념을 예시적, 포괄적으로 정의하고 있는 「폐기물관리법」의 규정 형식과 다름
  - 「해양환경관리법」상의 폐기물 정의는 폐기물의 관리와 관련하여 일반법의 성격을 갖는 「폐기물관리법」상의 폐기물 정의와 조화를 이루는 방향으로 개정되거나 해석되어야 할 것임
- 「해양환경관리법 시행규칙」 제12조 제1항과 관련한 별표 6에 적시된 해양배출이 가능한 ‘폐기물’에는 분뇨, 액상의 폐수, 오니, 수산물가공잔재물, 수저준설토사 등 무독성의 수용성 유기성 물질이 포함되는데, 이는 단순히 의제적인 성격이 있음
- 특히 수저준설토사가 「해양환경관리법」과 「폐기물관리법」상의 폐기물 정의에 정확히 부합하는지는 의문임
  - 「폐기물관리법」상 쓰레기·연소재 등은 하나의 예시에 불과하고 “사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질”이 바로 폐기물임

- 결국 폐기물 여하의 판단기준은 ‘불필요성’임
  - 불필요성 여하를 주관적인 의사를 기준으로 하여야 한다는 견해가 있을 수 있으나, 이러한 견해는 자칫 폐기물 개념을 상대화할 수 있으므로 폐기물 여부는 객관적인 기준으로 판단하여야 할 것임
  - 즉 객관적으로 사용가치가 없다고 사회통념상 승인되는 경우에 폐기물로 보는 것이 타당함
  - 다만 버리는 자나 사용하는 자의 주관적인 사정은 폐기물인지 여부를 판단하는 데 하나의 고려요소로 작용할 것임
  - 이러한 관점에서 '수저준설토사는 사회통념상 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 않게 된 것이 아닐 뿐만 아니라 배출자의 의사에 의해 버린 것이거나 버리고자 하는 것이 아니기 때문에 폐기물이라고 단정할 수 없음
  - 폐기물의 해양배출제도와 관련하여 런던협약과 1996년 의정서에서는 폐기물 및 기타물질(Waste and other matter)로 표현하고 있는데, 이에 부합하기 위해 차후 해양배출과 관련된 해양환경관리법령(법 제23조, 시행규칙 12조)에서 폐기물을 ‘폐기물 및 기타물질’로 변경하는 것이 적절하다고 생각함
    - 그리고 ‘기타물질’에는 수저준설토사를 포함시킬 수 있을 것임
    - 이는 수저준설토사가 폐기물이 아니라는 입장에 부합하는 입법임
    - 이는 불필요성을 기준으로 하고 있는 「폐기물관리법」상의 폐기물 개념과도 조화를 이룰 수 있을 것임
  - 오염된 퇴적물 또는 준설토사를 폐기물로 이해할 경우에는 폐기물의 관리 및 규제와 관련하여 타법에 특별한 규정이 없는 경우 일반법의 성질을 갖는 「폐기물관리법」이 적용되고 동법상의 처리기준 및 방법에 의하여야 한다는 논란이 있을 수 있음. 이러한 귀결은 오염퇴적물을 투기나 폐기 또는 해양배출의 대상으로만 볼 수 있고, 자칫 오염된 퇴적물을 수거(준설)하는 유인을 상당부분 감소시킬 우려가 있음. 차제에 오염퇴적물 또는 준설토사를 폐기물에서 제외하거나 폐기물과 달리 취급할 필요가 있음
- 2) 오염퇴적물의 수거·처리·처분 등 개념의 정립
- 오염퇴적물은 수거(제거), 운반(이동), 저장(보관, 배치), 처리(treatment), 처분(disposal), 사용 등의 단계를 거쳐 이루어지나, 현행 「해양환경관리법」은 해양환경개선조치와 관련 오염된 퇴적물의 경우 “수거”에 대해서만 언급하고 있음
  - 오염퇴적물의 유효한 관리방안을 수립하기 위해서라도 「해양환경관리법」에서 ‘수거’의 개념을 구체적으로 정립할 필요가 있음
  - 수거가 준설을 포함하는 개념인지 불분명하나, 동법상 ‘수거’의 개념에는 퇴적오염물의 ‘준설’ 역시 포함되는 것으로 보아야 할 것임

- 법률의 공백·흠결상태에 있는 ‘운반·보관·처리·처분’ 등에 대해서는 새로이 규정해야 할 것임
- 기술개발이 추진되고 있는 해양오염퇴적물 수거 현장(해상, 선박 위)에서의 처리(분리, 세척, 오염도 저감, 발생 폐수 수처리 등), 처리 산물의 해저면에서의 배치, 처리 산물의 유효활용 등을 포함하고 있는 현장처리기술과 청정 물질로 해양오염퇴적물 위에 피복(Capping: 배치)하여 물리적(또는 화학적, 물리·화학적, 생물학적)으로 차단하려고 하는 피복정화기술 등이 현장에 효율적으로 도입·적용되기 위해서는 오염퇴적물의 수거뿐만 아니라 운반·보관·처리·처분 등에 대한 근거규정을 둘 필요가 있음
- 미국의 자원보존회복법(Resource Conservation and Recovery Act, RCRA)은 처분(disposal)과 처리(treatment)를 구분하고 있음
- 「폐기물관리법」은 처리를 “폐기물의 수집, 운반, 보관, 재활용, 처분”으로, 처분을 “폐기물의 소각(燒却)·중화(中和)·파쇄(破碎)·고형화(固化) 등의 중간처분과 매립하거나 해역(海域)으로 배출하는 등의 최종처분”으로 정의하고 있음. 이러한 구분을 「해양환경관리법」에서도 원용하는 것이 무난하다고 판단됨
- 오염퇴적물의 수거·운반·보관·처리·처분상의 특이성을 고려하여 관련 규정을 신설할 필요가 있음
- 준설물질에는 준설토사, 폐기물 등이 혼재되어 그 분리가 사실상 어려운 점을 고려하여 「해양환경관리법」에서 준설물질에 관하여 별도 규정을 두고 수거(준설), 운반(이동), 보관, 처리, 처분 등 전 과정에 걸쳐 단계별로 가능한 한 자세한 규정을 시행령 등에서 정해야 할 것임

### 3) 해양환경관리업의 정비

- 수거업의 신설
  - 「해양환경관리법」상 폐기물해양수거업 및 퇴적오염물질수거업을 수거·처리를 포함하는 처리업으로 개선해야 할 것임
  - 이를 위해 해양환경관리업을 “오염물질수거·처리업”으로 변경하는 방안을 고려
- ‘등록’에서 ‘허가’로 전환
  - 「폐기물관리법」상 다른 사람의 폐기물을 위탁받아 처리하고자 하는 경우 폐기물처리업의 ‘허가’를 요하나, 「해양환경관리법」은 보다 완화된 규제수단인 ‘등록’을 요함
  - 완화된 제재수단의 채택은 폐기물의 해양투기를 조장하고 폐기물로 인한 해양오염 문제로 이어질 수 있음
  - 폐기물해양배출업을 포함한 ‘해양환경관리업’의 범주 안에 있는 ‘해양오염방지업’, ‘폐기물해양수거업’, ‘오염퇴적물수거업’ 등을 허가제로 전환할 필요성

이 있음

### 4) 합리적인 해양환경관리업 등록기준의 마련

- 「해양환경관리법」은 해양환경관리업의 등록기준으로 퇴적오염물질 전용수거선 및 펌프식 설비를 요구하고 있음(시행규칙 별표 14)
- 그 결과 전용수거선이 진입할 수 없는 해역 또는 현장 여건상 다른 장비의 사용이 요구되거나, 피복처리가 필요할 경우 등에 장비/공법의 사용이 제한되고 있음
- 이에 등록기준 중 장비에 대한 제한 규정을 완화시킬 필요가 있으며, 개발 예정 기술을 포함하여 다양한 장비/기술/공정(외국 또는 향후 개발 예정 기술 포함)을 사용할 수 있도록 개정안을 마련할 필요가 있음
- 퇴적오염물질전용수거선에서 논란이 되고 있는 “진공흡입식 펌프 또는 이와 동등한 성능을 가진 펌프”라는 규정은 사실상 진공흡입식 펌프만을 허용함으로써, 시장진입을 지나치게 제한하기 때문에 기본적으로 문제가 있음.
- 반드시 “진공흡입식” 펌프일 것을 요하지 않는다고 보는 것이 유연성을 제고한다는 차원에서 타당하며 특정 기술의 적용을 요구하는 기술기준은 유연성·형평성 차원에서 그리고 다양한 기술개발 및 적용을 제한하는 요인이라는 점에서 지양해야 함
- “퇴적오염물질전용수거선이란 퇴적오염물질 수거작업 시 부유물질의 발생으로 인한 환경피해를 최소화할 수 있는 진공흡입식 펌프 또는 ‘이에 준하는 설비, 장비’를 장착한 선박을 말한다. 이에 준하는 설비, 장비 등 필요한 사항은 국토해양부장관의 고시로 정한다.”로 개정하는 것을 검토할 필요가 있음
- 시행규칙 제36조 제3항 관련 별표 14의 비고 제8호의 개정 필요성
  - “퇴적오염물질등 수거업무 수행 시 반드시 퇴적오염물질수거업으로 등록된 퇴적오염물질전용수거선을 사용하여야 한다.”라는 규정에 단서 규정을 드는 방안
  - 예컨대, “다만, 퇴적오염물질 전용수거선이 수거업무를 수행하는 장소에 출입할 수 없는 등 부득이한 경우에는 그러하지 아니하다”
- 전용수거선의 진입이 불가능한 경우와 같이 사용의 제약이 있을 경우, 국토해양부장관의 승인절차를 거쳐 전용수거선 이외의 설비 또는 장비로 수거가 가능하도록 함

### 5) 다른 법률과의 충돌 방지

- 「폐기물관리법」, 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」, 「토양환경보전법」, 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」, 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」, 「골재채취법」, 「환경정책기본법」, 「공유수면 관리 및

매립에 관한 법률」 등의 법률이 오염퇴적물 또는 준설토사에 대해 적용될 수 있음

- 그 결과 적용범위 및 관할의 혼란을 발생시킬 수 있음
- 오염퇴적물의 수거·운반·보관·처리·처분 등에 관하여 「해양환경관리법」 규정을 우선 적용하고 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우에만 당해 법률이 정하는 바에 따르도록 규정할 필요성 있음
- 예컨대, ① 오염물질의 수거·처리에 관한 사항은 이 법을 다른 법률에 우선하여 적용하고, 이 법에서 규정되지 아니한 사항은 관계 법률의 규정을 적용한다, ② 폐기물의 배출, 처리에 관하여 다른 법률에 특별한 규정이 있는 경우에는 그 법률이 정하는 바에 의한다. 다만, 제○조 내지 제○조의 규정은 그러하지 아니하다. 로 규정함이 타당함

## II. 해양퇴적물 오염특성별 해역유형 구분 기준개발(한경대/KORDI)

### 1. 오염퇴적물 오염특성 기존조사 자료분석

#### ○ 대상 해역 퇴적물의 오염도 평가

- 국토해양부(구 해양수산부)는 해양오염퇴적물 정화 복원체계 구축을 위하여 2004년부터 2011년까지 부산남항 등 25개 해역에서 퇴적물의 오염현황을 조사하였다. 조사결과를 퇴적물 정화 복원 기준<sup>22)</sup>에 따라 유해화학물질 정화지수(CIHC: Clean-up Index, Harmful chemicals) 및 부영양화 정화지수(CIET: Clean-up Index, Eutrophication)로 평가한 결과를 표 II-1과 II-2에 각각 나타내었다.

표 II-1. 조사 해역별 유해화학물질 정화지수(CIHC) 분포<sup>23)</sup>

| 해역 | 정점수  |       | 평균     | 정점분포율  | 유해화학<br>물질오염<br>도 | 오염<br>순위 |      |    |
|----|------|-------|--------|--------|-------------------|----------|------|----|
|    | 최소   | 최대    | (CI≥2) | (CI≥2) |                   |          |      |    |
|    | CI   | CI    | CI     | N      |                   |          | CI   | %  |
| A  | 0.59 | 111.3 | 32.2   | 10     | 35.3              | 90.9     | 32.1 | 1  |
| B  | 4.13 | 91.5  | 17.9   | 21     | 17.9              | 100      | 17.9 | 2  |
| C  | 0.22 | 271.3 | 17.8   | 5      | 58.6              | 29.4     | 17.2 | 3  |
| D  | 14.3 | 17.9  | 15.7   | 5      | 15.7              | 100      | 15.7 | 4  |
| E  | 2.79 | 69.3  | 13.1   | 18     | 13.1              | 100      | 13.1 | 5  |
| F  | 3.87 | 57.5  | 10.2   | 21     | 10.2              | 100      | 10.2 | 6  |
| G  | 0.35 | 29.9  | 8.0    | 12     | 10.3              | 75.0     | 7.7  | 7  |
| H  | 0.11 | 12.2  | 4.7    | 8      | 6.6               | 66.7     | 4.4  | 8  |
| I  | 0.1  | 16.9  | 5.0    | 7      | 8.9               | 46.7     | 4.2  | 9  |
| J  | 0.3  | 32.6  | 4.5    | 17     | 6.5               | 63.0     | 4.1  | 10 |
| K  | 1.00 | 11.5  | 4.0    | 7      | 5.4               | 63.6     | 3.4  | 11 |
| L  | 0.00 | 18.1  | 3.9    | 9      | 7.6               | 45.0     | 3.4  | 12 |
| M  | 0.30 | 4.9   | 2.5    | 12     | 3.4               | 54.5     | 1.9  | 13 |
| N  | 0.17 | 4.7   | 2.1    | 12     | 3.0               | 54.5     | 1.6  | 14 |
| O  | 0.06 | 5.5   | 1.7    | 5      | 3.9               | 38.5     | 1.5  | 15 |

22) 해양오염퇴적물 조사 및 정화복원 범위 등에 관한 규정, 국토해양부 고시 제2011-700호, 2011. 11. 30.

23) 해양오염퇴적물 조사, 정화·복원 체계 구축[III], 해양수산부, 2007. 2.

|   |      |     |     |   |     |      |     |    |
|---|------|-----|-----|---|-----|------|-----|----|
| P | 0.36 | 5.7 | 1.5 | 5 | 3.4 | 29.4 | 1.0 | 16 |
| Q | 0    | 3.4 | 1.5 | 3 | 2.8 | 33.3 | 0.9 | 17 |
| R | 0    | 2.9 | 0.9 | 2 | 2.6 | 15.4 | 0.4 | 18 |
| S | 0    | 2.5 | 1.2 | 3 | 2.4 | 13.6 | 0.3 | 19 |
| T | 0.2  | 2.0 | 0.6 | 2 | 2.0 | 10.5 | 0.2 | 20 |
| U | 0    | 0   | 0.5 | 0 | -   | 0    | -   | 21 |
| V | 0    | 0   | 0.4 | 0 | -   | 0    | -   | 22 |
| W | 0    | 0   | 0.3 | 0 | -   | 0    | -   | 23 |
| X | 0    | 0.6 | 0.4 | 0 | -   | 0    | -   | 24 |
| Y | 0    | 1.4 | 0.5 | 0 | -   | 0    | -   | 25 |

표 II-2. 조사 해역별 부영양화 정화지수(CIET) 분포<sup>24)</sup>

| 해역 | 최소 | 최대 | 평균  | 정점수<br>(CI≥6) | 평균<br>(CI≥6) | 정점<br>분포율<br>(CI≥6) | 유기물<br>오염도 | 오염<br>순위 |
|----|----|----|-----|---------------|--------------|---------------------|------------|----------|
|    | CI | CI | CI  | N             | CI           | %                   |            |          |
| A  | 0  | 13 | 7.6 | 9             | 8.9          | 81.8                | 7.3        | 1        |
| C  | 5  | 11 | 7.5 | 14            | 8.1          | 82.4                | 6.6        | 2        |
| F  | 5  | 11 | 7.3 | 15            | 8.3          | 71.4                | 5.9        | 3        |
| N  | 4  | 7  | 6.1 | 17            | 6.6          | 77.3                | 5.1        | 4        |
| E  | 5  | 9  | 6.7 | 12            | 7.5          | 66.7                | 5.0        | 5        |
| B  | 1  | 11 | 6.2 | 13            | 7.6          | 61.9                | 4.7        | 6        |
| G  | 3  | 9  | 6.2 | 10            | 7.3          | 62.5                | 4.6        | 7        |
| U  | 0  | 7  | 5.1 | 11            | 6.9          | 57.9                | 4.0        | 8        |
| T  | 1  | 10 | 5.6 | 9             | 7.6          | 47.3                | 3.6        | 9        |
| K  | 2  | 10 | 5.9 | 5             | 7.8          | 45.5                | 3.5        | 10       |
| I  | 0  | 11 | 4.3 | 5             | 8.8          | 33.3                | 2.9        | 11       |
| H  | 1  | 7  | 4.9 | 5             | 6.8          | 41.7                | 2.8        | 12       |
| M  | 4  | 9  | 5.1 | 7             | 7.1          | 31.8                | 2.3        | 13       |
| V  | 0  | 6  | 3.7 | 3             | 6.0          | 20.0                | 1.2        | 14       |
| R  | 0  | 9  | 3.5 | 2             | 7.5          | 15.4                | 1.2        | 15       |
| Y  | 0  | 6  | 4.4 | 5             | 6            | 17.2                | 1.0        | 16       |
| S  | 0  | 8  | 2.5 | 3             | 7.0          | 13.6                | 1.0        | 17       |

24) 해양오염퇴적물 조사, 정화·복원 체계 구축[III], 해양수산부, 2007. 2.

|   |   |   |     |   |     |      |     |    |
|---|---|---|-----|---|-----|------|-----|----|
| Q | 0 | 6 | 2.2 | 1 | 6.0 | 11.1 | 0.7 | 18 |
| L | 0 | 7 | 3.8 | 1 | 7.0 | 5.0  | 0.4 | 19 |
| W | 0 | 6 | 3.7 | 1 | 6.0 | 5.6  | 0.3 | 20 |
| P | 0 | 6 | 3.2 | 1 | 6.0 | 5.6  | 0.3 | 21 |
| J | 3 | 6 | 4   | 5 | 6   | 3.7  | 0.2 | 22 |
| D | 2 | 4 | 2.6 | 0 | -   | 0    | -   | 23 |
| O | 0 | 5 | 1.7 | 0 | -   | 0    | -   | 24 |
| X | 0 | 5 | 2.9 | 0 | -   | 0    | -   | 25 |

- 퇴적물의 오염평가는 "해양오염퇴적물 조사·정화·복원 체계 구축"( '04~ '07) 및 "해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발" ( '07~ '10) 연구용역 결과에 따라 고시된 정화·복원 범위 등에 관한 규정<sup>25)</sup>에 의거 평가 산정하였다.
- 유해화학물질에 대해서는 각 항목별로 기준 1과 기준 2를 설정하고, 기준 2를 초과하는 농도를 가진 오염물질을 우려대상 오염물질로 정의하고, 기준 1을 초과하고 기준 2 보다 낮은 농도를 가진 오염물질을 감시대상 오염물질로 정의한다.

## 2. 오염퇴적물 사업해역 이용특성 검토

○ 피복정화/현장처리 후보지 6개 해역의 이용특성 분석 완료

- 대상 해역 중 N은 육역에 인접한 내만이며, 무역항으로서 해상 교통과 물류의 중심 해역이다. K는 연안항으로서 어업과 수산물 유통 중심 해역이며, 화물의 운송이 빈번한 다목적 해역이다. H는 무역항으로서 해상교통의 중심 해역이다. M, R, S는 무역항으로서 화물운송과 물류가 중심이 되는 해역이다. 단 R은 일부 수로 형태로 이루어진 구역이 있으며, 이 구역에는 소형선박을 제외하면 선박의 통행이 적다.
- 6개 대상 해역은 대부분 무역항 또는 연안항 항계 내에 위치한 해역으로서 수심은 선박이 통항하는 일반적인 항만구역과 같이 약 2m ~ 13m 정도이며, 주요 오염물질은 유해화학물질의 경우, 선박활동에 기인하는 TBT 및 선박 도료의 발색제 등에 주로 사용되는 Cu, Zn이며, 유기오염물질의 경우 COD와 퇴적물의 부패 정도를 간접적으로 나타내는 AVS이다.
- 상세한 해역정보는 관련기관과 협의에 따라 첨부하지 않음.

25) 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정, 국토해양부 고시 제2011-700호, 2011. 11. 30

### 3. 현장특이성을 고려한 오염도 모니터링기법 및 지형탐사기술 현황 사례분석

#### ○ 5가지 모니터링 장비유형별 지적재산권 조사 분석 완료

##### ① 수중 환경인식용 소나/영상시스템 기술 조사

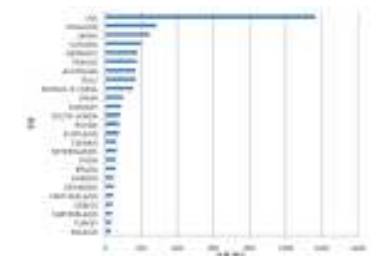
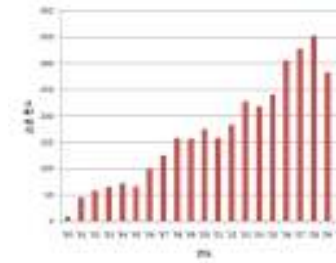
- 관련 특허는 1970년대 후반에 출원이 시작되어 1980년대 후반부터 1990년대 중반까지 빠른 속도로 출원이 증가하였으나, 1990년대 후반에 큰 폭으로 감소하였고, 2000년대 접어들어 다시 급속히 증가하는 모습을 보이고 있음. 미국특허와 일본특허가 우세하게 나타나고 있으며, 출원인도 미국 및 일본 기업이 핵심특허를 주도하고 있음[연안해역 관리 및 환경모니터링을 위한 무인수중로봇 특허동향, 특허청, 2008]



- 수중 환경 인식 기술에서는 어군 탐지 또는 수중 상황 관측 장치에 관한 특허와 해저면의 이미지를 탐색하고 기록하는 논문이 주요 기술로 발표되고 있음
- 수중 소나 및 영상/소나 신호 처리 및 분석 기술에서는 소나 장치를 사용한 수중 추적 시스템과 빔의 형성이나 조정에 관한 특허가 핵심특허로 출원되었고, 소나 시스템의 오차분석 및 처리에 관한 논문이 주로 발표됨

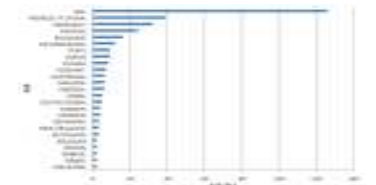
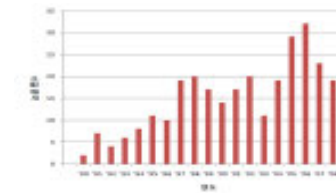
##### ② 수중 지형 탐사 기술 관련 논문 조사

- 수중 지형 탐사기술과 관련된 논문의 발행건수는 1990년 초반부터 발행되기 시작하여 최근까지 꾸준한 증가 추세를 보이고 있으며, 2008년도에 가장 높은 발표를 보임[수중작업능력 고도화를 위한 다기능 지능형 수중로봇 기술분야 특허동향, 특허청, 2009]
- 국가별 논문발행은 미국이 가장 많은 연구 결과를 보이며, 영국, 일본, 캐나다, 독일, 프랑스 순의 결과를 보이고 있는 것으로 나타났으며, USNI가 가장 많은 논문수를 보였으며, US GEOL SURVEY, WOODS HOLE OCEANOGR INST, RUSSIAN ACAD SCI, MIT, TEXAS A&M UNIV 등의 기관이 주요 선도 기관으로 나타남



##### ③ 수중 3차원 소나/레이더 기술 논문 조사

- 수중 3차원 소나/영상/레이더 기술과 관련된 논문의 발행건수는 1990년대 초반부터 발행되기 시작하여, 1997년 이후부터 최근까지 약 15건 내외로 꾸준히 발행되고 있음[수중작업능력 고도화를 위한 다기능 지능형 수중로봇 기술분야 특허동향, 특허청, 2009]



- 국가별 논문발행은 미국이 가장 많은 연구 결과를 보이고 있으며, 중국, 독일, 프랑스, 영국 순의 결과를 보이고 있는 것으로 나타났으며, USNI가 가장 많은 논문수를 보이며, 그 다음으로는 NASA, UNIV HAMBURG, UNIV KIEL, RUTGERS STATE UNIV, FLORIDA ATLANTIC UNIV 등의 기관이 주요 선도 기관으로 나타남

##### ④ 수중 지형 탐사 및 3차원 레이더 기술 관련 특허 조사

- 수중 지형 탐사기술과 관련된 핵심 특허는 시스템에 관한 특허 6건, 장치에 관한 특허가 1건으로 조사됨. 세부 기술별로 보면 물 압력, 위치, 깊이를 측정하는 계측장치, 3차원 맵핑 시스템, 계측장치의 위치변경, 진동파 검출방법, 수중센서를 이용한 DATA 보정 등에 대한 기술들이 출원됨



| 출원 번호          | 특허명                                       |
|----------------|---|
| JP2000-260273  | 해저의 지하 구조 탐사 방법 및 동 방법을 실시하기 위한 장치        |
| JP2001-208062  | 해저 지층 탐사 시스템                              |
| US2002-480072  | Underwater sampling and mapping apparatus |
| KR2004-0079373 | 수중 지반 계측 시스템 및 그 설치 방법                    |
| KR2006-0103300 | 해저 지형을 3차원적으로 가시화하는 시스템 및 이의 방법           |
| KR2006-0103301 | 해양에서 측량되는 자료를 3차원적 형태로 가시화하는 시스템 및 이의 방법  |
| JP2006-191392  | 수저토사 두께 계측 장치 및 표시 관측 시스템                 |

- 3차원 수중 소나/레이더 기술분야의 핵심특허는 방법에 관한 특허 3건, 시스템에 관한 특허 6건, 장치에 관한 특허 2건으로 조사됨
- 세부 기술별로 보면 다방면의 초음파, 광원을 이용한 수중 레이더, 전방위 개념의 레이더 방식등에 관한 특허기술들이 출원됨

| 출원 번호         | 출원명   |
|---------------|---|
| US2001-909141 | Sonar beamforming system  |
| US2002-232812 | Frequency division beamforming for sonar arrays                                 |
| US2003-397355 | Automatically tracking scanning sonar   |
| US2004-996008 | System and method for underwater target detection from broadband target returns |
| US2005-199162 | Forward-looking sonar and underwater image display system                       |
| US2008-076953 | Underwater Detection Device   |
| US2009-319586 | Side scan sonar imaging system with enhancement                                 |
| US2009-319594 | Side scan sonar imaging system with boat position on display                    |
| US2009-319604 | Side scan sonar imaging system with associated GPS data                         |
| US2009-348925 | Airborne Laser-Acoustic Mine Detection System                                   |

#### ⑤ 해양오염퇴적물 채취 및 모니터링 장비 조사

- 해양오염퇴적물 채취 및 모니터링 장비는 개별적인 장비로 개발 및 운영
- 현재 세계적으로 해양지반의 특성을 규명하기 위하여 사용하고 있는 방법은 단순 시추조사, 시료채취 및 지반조사장비의 운영 등이 있다. 표 1은 시추장비별 시추 깊이<sup>26)</sup>를 살펴보면 대체적으로 매우 깊은 수심에서도 가능하며, 코어형 시추기는 표층 0.1 ~ 6.0m 내외 까지 사용 가능하지만, 굴진형 시추기의 경우에는 원치 등의 부대장비가 지원된다면 아주 깊은 심도까지 시추가 가능하다. 우리나라의 경우, 현재까지는 별도의 해양 시추장비가 없으며, 대부분 해외 장비를 활용하고 있다.

| Equipment Description                     | Maximum Water Depth [m] | Penetration [m] |
|---|-------------------------|-----------------|
| Drill mode borings from vessels Unlimited | Unlimited*              | Unlimited*      |
| Rock corer (seabed unit)                  | 200m                    | 2m ~ 6m         |
| PRODTM seabed drilling/coring             | 20m ~ 2,000m            | 2m ~ 100m       |
| Basic gravity corer                       | Unlimited*              | 1m ~ 8m         |
| Piston corer                              | Unlimited*              | 3m ~ 30m        |
| Vibrocorer                                | 1,000m                  | 3m ~ 8m         |
| Box corer                                 | Unlimited*              | 0.3m ~ 0.5m     |
| Seabed push-in sampler                    | 250m                    | 1m ~ 2m         |
| Grab sampler (mechanical)                 | Unlimited*              | 0.1m ~ 0.5m     |
| Grab sampler (hydraulic)                  | 200m                    | 0.3m ~ 0.5m     |

#### 4. 해양퇴적물 오염특성별 해역유형 구분 기준개발

##### ○ 해역 유형 구분을 위한 6대 평가방안구축

- 개발 예정인 해양오염퇴적물 정화기술을 시험하기 위한 해역 평가는, 개발될 기술이 최적화되기 전임을 고려하여, 중금속 등 유해화학물질의 오염도가 비교적 낮으며, 유기물 오염도가 높은 해역이 적합하며 다음과 같은 순서대로 평가를 진행하여야 하며, 각 항목의 개별적 검토가 아닌 종합적 검토가 필요함

- ① 퇴적물의 오염도 평가
- ② 퇴적층의 입도, 조성 등 물성
- ③ 퇴적물의 주요 오염물질 평가
- ④ 수심
- ⑤ 해역의 지정학적 위치
- ⑥ 이용목적 및 적용 가능성

##### ○ 6개 정화기술 적용대상해역의 오염도 평가를 수행하였으며 그 결과는 앞에서 언급한 바와 같음(p.48, 표 1-11)

##### ○ 대상 해역 퇴적물의 물성 및 수심

###### ① N 해역<sup>27)</sup>

- 대상해역의 시추 퇴적물을 이용하여 오염층을 포함하는 제 1 퇴적층의 수직적 특성 파악을 위하여 고해상 지층 탐사기 기록(SES-96)과 비교할 수 있는 4개 정점을 선정하여 수중용 바이브로 코어를 이용한 시추퇴적물을 채취하였다. 채취된 시추퇴적물의 길이는 99~184 cm로 채취됐으며, 정점 2번에서 최대 184 cm, 정점 3번에서 최소 99 cm 이다. 정점 2번과 3번은 과거 준설지 내의 위치 정점이고 1번과 4번은 준설이 이루어지지 않은 정점 시추퇴적물 채취 위치이다. 정점 2의 퇴적물의 경우 1, 3, 4번 정점과 전 층에 걸쳐서 퇴적물이 검은색으로 최근의 준설지내에서의 퇴적층 오염을 나타내고 있다. 이는 준설지내의 퇴적층이 주변과 비교하여 오염 정도가 심한 퇴적물의 유입을 나타내고 있다.

- 대상해역의 수심은 2~13 m 범위이고, 과거 준설지의 경계가 뚜렷하게 나타난다. 과거 준설지역은 9~13 m의 분포가 나타난다. 준설지 이외 다른 구역(어항 지역)은 2~5 m 로 준설지와외의 경계 구역에서 5 m에서 10 m로 급격한 수심 변화를 보인다. 특히 내측의 북서쪽 경계 구역은 서쪽 경계(준설지 경계)에 비하여 수심 변화 정도가 상대적으로 완만하며 이는 북서쪽으로 부딪히 퇴적

26) 「해양지반조사분야 Geo-Mechatronics 기술 조사」 활동 보고서, 한국해양연구원, 장인성, 2008. 11.

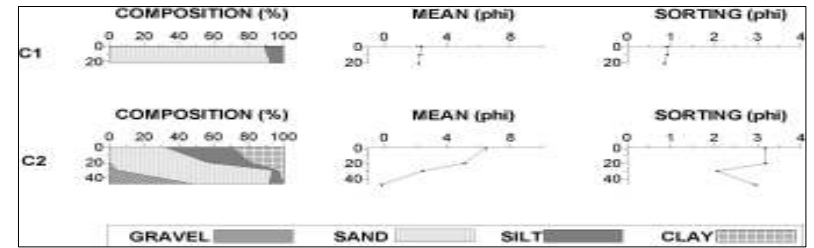
27) 해양오염퇴적물 조사, 정화복원 체계 구축(III), 해양수산부, 2007.

물 유입을 의미하는 것으로 판단된다. 유입된 퇴적물은 준설지내에서 남서 및 서쪽으로 서서히 이동되어 해저면의 불규칙한 지형분포로 나타난다.

- 대상해역의 음향영상 모자이크 결과에 의하면 해저면은 매우 불규칙한 반사 음파 형태가 조사구역의 전체에서 나타나며, 준설지역의 경계가 뚜렷하게 남북 방향의 흔적으로 3부두를 중심으로 한 좌우에서 나타난다. 특히 준설지내의 해저면 음파 반사 강도는 상대적으로 주변과 비교하여 약하게 나타내거나(밝게 나타남; 음파의 흡수를 의미) 불규칙한 영상 기록을 확인할 수 있는데, 이는 해저면을 구성하고 있는 퇴적물에 음파신호의 상대적 흡수를 크다는 것을 의미하고 해저면의 요철이 심한 것을 의미하는 것으로 역상의 오히려 퇴적물 또는 매우 부드러운 퇴적물로 구성되어 있음을 판단할 수 있다.
- 조사구역에서 오염퇴적물의 분포는 전체 조사면적 5,970,150 m<sup>2</sup> 중 약 49.8%정도인 2,974,000 m<sup>2</sup>이며, 물량은 약 1,265,819 m<sup>3</sup>에 해당한다.

② K 해역<sup>28)</sup>

- 시추퇴적물 1은 21.5 cm의 총길이를 가지고 very dark gray의 색깔을 나타내며 뚜렷한 구조를 나타내고 있지 않다. 파각이 10 cm 이후부터 나타나고 있다. 퇴적물은 80% 이상의 모래함량을 나타내고 있으며 하부로 갈수록 모래함량이 증가하고 있어 평균입도가 하향 조립해지고 분급도 또한 양호해지고 있다 시추퇴적물 2는 총길이가 48 cm로 0~23 cm은 dark grayish brown, 23~48 cm은 light brownish gray 색을 보이고 있다. 뚜렷한 구조는 보이지 않으며 41 cm부터 자갈과 파각이 증가하고 있다. 자갈은 30 cm 이후부터 나타나는 반면, 점도는 상대적으로 감소하고 있다. 퇴적물은 하향 조립해지고 있다.
- 조사해역 수심 지형 분포는 내항 안벽 부근의 조사된 수심 2m로부터 항 입구의 수심 12m로부터 외해로 점차 깊어진다. 내항의 안벽 부근은 준설로 인한 해저면의 흔적이 불규칙하게 나타난다. 어항 주변은 대부분 수심 5m 이하로 완만함을 알 수 있다.
- 조사해역의 해저면 음향영상 모자이크 결과 도면으로 수심지형의 변화에 따른 해저면의 퇴적물 분포에 따른 영상의 큰 차이는 나타나지 않는다. 그러나 외곽 방파제 즉, 항 입구 주변의 해저면에는 공사중 흘러 내린 것으로 판단되는 공사용 인공구조물등에 의한 해저면의 불규칙한 요철에 의한 해저면 영상 특성이 나타난다. 특히 어항으로 이어지는 내항의 입구 주변 해저면에는 어구에 의해 끌린 흔적이 많이 나타난다.
- 조사구역에서 대부분의 구역이 해양오염퇴적물 정화복원 사업 범위에 포함되며, 오염퇴적물 분포는 총 조사면적 361천 m<sup>2</sup> 중 91.1%인 약 329천 m<sup>2</sup>에서 물량은 약 8,441 m<sup>3</sup>에 해당한다.



| 구분   | 자갈(gravel)% | 모래(sand)% | 미사질(silt)% | 점토질(clay)% |
|------|-------------|-----------|------------|------------|
| 최소   | 0.0         | 31.7      | 3.3        | 0.0        |
| 최대   | 47.8        | 92.2      | 38.9       | 29.4       |
| 평균   | 7.5         | 70.3      | 14.7       | 7.4        |
| 표준편차 | 17.8        | 25.7      | 12.5       | 12.0       |

그림 2-1. K해역 시추퇴적물의 입도구성 및 퇴적물성

③ H해역<sup>29)</sup>

- 대상해역의 시추퇴적물은 약 25 cm 획득되었다. 퇴적물은 뽕질 모래질 퇴적물로 전층이 암회색으로 오염이 상당히 진행되어 있는 것으로 확인되었다.
- 대상해역의 수심은 3~13 m의 분포를 보인다. 해저지형은 여객터미널을 주변 연안으로부터 돌산도 사이에 조사구역중 수로의 상대적 낮은 수심의 구릉형태 지형이 나타나고, 일부 구역은 깊은 수로(9~13 m)가 북동-남서 방향으로 분포하고 있다. 특히 일부 구역은 조사구역중 가장 깊은 13 m의 수심 분포가 나타난다. 이러한 급한 수심 변화를 보이는 수로의 끝은 연안을 따라 돌산대교를 지나는 수로로 이어져 있다.
- 대상해역 해저면 음향영상 모자이크 결과 도면에 의하면 하천 하구를 중심으로 낮은 해저면 반사 강도를 나타내는 것으로 보아 하천으로 부터의 퇴적물 유입에 따른 해저면의 불규칙한 변화를 확인할 수 있으며, 다른 조사구역에서는 해저면이 굽은 입자의 모래, 자갈 등으로 구성되어 강한 반사파 해저면 기록을 나타낸다. 연안 인접 지역에는 어구, 앵커 등에 의해 끌린 흔적이 일부 나타난다. 전반적으로 연안의 인접된 지역을 제외하며, 해저면은 빠른 유속에 따른 침식 활동으로 인해 해저면의 굴곡 요철은 심하지 않고, 상대적으로 매끄러운 기록을 보인다. 따라서 해저면의 음파는 상대적으로 강하게 나타난다.
- 조사구역에서 오염퇴적물의 분포는 전체 조사면적 51,600 m<sup>2</sup> 중 약 81.0% 정

28) 해양오염퇴적물 조사, 정화복원 체계 구축(III), 해양수산부, 2007.

29) 해양오염퇴적물 조사, 정화복원 체계 구축(III), 해양수산부, 2007.

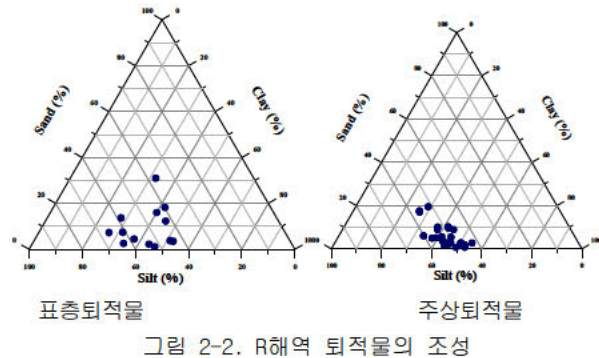
도인 41,794 m<sup>3</sup>에서 물량은 약 8,358 m<sup>3</sup>에 해당한다.

④ M해역

- 대상 해역에서 퇴적물 오염도 자료 이외의 지구물리 조사자료 없음.

⑤ R해역<sup>30)</sup>

- 대상 해역 표층 퇴적물의 평균입도는 각각 왕모래~점토인 6.6~8.9Φ (평균 7.9Φ)의 범위로 나타났다. 내측 수로구역에서는 정점 3과 4에서 상대적으로 평균입도가 커져 8Φ이상의 값을 보였으며 다른 수로 구역에서는 안쪽의 정점 IN-5, IN-6, IN-8, IN-9에서 평균입도 8Φ이상의 값을 나타냈다. Folk (1968)의 분류법에 따라 조사구역의 퇴적상은 대부분이 Mud질이나 silt질로 구성되어 있다.
- 주상퇴적물의 평균입도는 전 정점의 모든 깊이에서 실트질 퇴적물의 입도인 7.0~9.2 Φ 범위였다. 평균입도는 깊이별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 조사구역의 퇴적상은 대부분이 Mud질로 구성되어 있다.
- 대상 해역 수심은 1~10 m의 분포를 보인다.



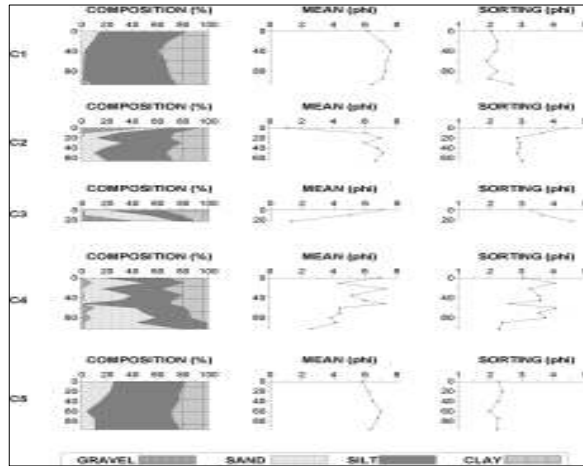
⑥ S해역<sup>31)</sup>

- 대상 해역에서는 총 5개(C1~C5)의 시추퇴적물이 채취하였다. 전반적으로 시추퇴적물 상부에서는 olive gray, gray 색을 나타내고 있으며 하부로 갈수록 gray와 dark gray을 나타내고 있다. 그리고 항 중앙에 있는 C2와 C4 시추퇴적물과 비교해서 항 구석에 위치하고 있는 C1, C3, C5 시추퇴적물에는 상대적으로 black이 부분적으로 많이 나타나고 있다. 또한 C4와 C5 시추퇴적물은 각각 98 cm 이후에 olive yellow, 69 cm 이후에 light yellowish brown과

light gray가 나타나고 있다. 전체적으로 뚜렷한 구조는 나타나지 않지만 부분적으로 불연속적이고 변형된 회미한 층리를 보이고 있다. C5 시추퇴적물을 제외한 나머지 시추퇴적물에서 자갈이 나타나고 있는데 C1과 C3은 최하부, C2 시추퇴적물은 표층에서만 나타나고 있다. C4 시추퇴적물은 10% 이하지만 전체적으로 나타나고 있다. 시추퇴적물의 평균입도와 분급도의 수직적 분포 변화는 C1과 C5보다 C2, C3, C4 시추퇴적물에서 크게 나타나고 있다. 먼저, C1, C5의 경우, C1의 퇴적물이 C5의 퇴적물보다 상대적으로 세립하지만 수직적 분포에서는 60 cm 까지 세립해지다가 그 이후 조립해지고 있고 분급도의 수직적 분포도 유사하게 분포하고 있다. 나머지 시추퇴적물인 C2, C3, C4는 평균입도가 상대적으로 조립과 세립을 반복하는 반면에 분급도는 평균입도와 반대로 조립해지면 불랑해지고 세립해지면 양호해지고 있지만 뚜렷한 경향성을 보이고 있지는 않다.

- 조사구역은 안벽 부근의 약 2m로부터 가장 중앙의 약 9.5 m의 수심 분포를 보인다. 특히 선박 통행 구간에서 해저면에 깊은 골이 형성되어 있음을 확인할 수 있다. 일부 구역을 제외하면 수심 유지를 위한 전 구역에서의 준설 등에 의한 지형 변화를 확인할 수 있으며, 특히 중앙에는 인위적일 것으로 판단되는 폭 3~5 m의 남북을 통과하는 골이 형성되어 있는 특이한 지형변화가 나타난다. 해저면의 상층부는 다양한 규모의 요철로 인해 매우 복잡한 지형 특징이 나타나고, 일부 안벽 부근에는 주변과 비교하여 상대적으로 2 m 이상 낮은 수심의 지형 형태가 보이기도 한다.
- 대상 해역 해저면 음향영상에서는 일부 안벽 부근의 상대적인 단단한 해저면에 의한 강한 해저면 반사파 음향영상을 제외하고 전반적으로 일정한 해저면 퇴적물에 의한 기록 양상이 나타난다. 그러나 선박 통행 구역 주변의 해저면은 해수의 유통에 따라 해저면의 노출을 확인할 수 있으며, 주변과 비교하여 단단한 정도를 확인할 수 있다.
- 조사구역에서 오염퇴적물의 분포는 전체 조사구역 2,220,573 m<sup>2</sup> 중 약 7.9%인 176,500 m<sup>2</sup>에서 물량은 약 64,276m<sup>3</sup>에 해당한다.

30) 해양오염퇴적물 분포 현황 조사[I], 국토해양부, 2011.  
31) 해양오염퇴적물 조사, 경과복원 체계 구축(III), 해양수산부, 2007.



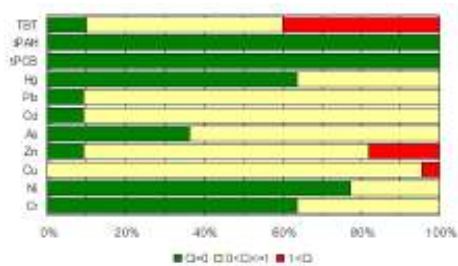
| 구분   | 자갈 (gravel)% | 모래 (sand)% | 미사질 (silt)% | 점토질 (clay)% |
|------|--------------|------------|-------------|-------------|
| 최소   | 0.0          | 0.0        | 12.8        | 1.1         |
| 최대   | 49.4         | 78.0       | 69.7        | 39.9        |
| 평균   | 3.9          | 22.3       | 49.4        | 24.5        |
| 표준편차 | 10.6         | 18.1       | 15.8        | 9.6         |

그림 2-3. S해역 시추퇴적물의 입도구성 및 퇴적물성

○ 대상 해역 퇴적물의 주요 오염물질<sup>32), 33)</sup>

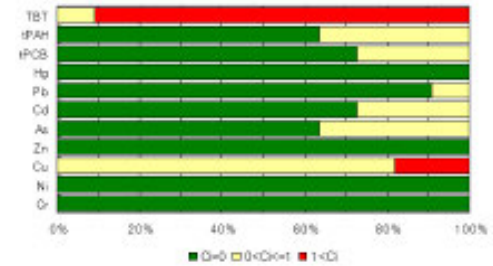
① N 해역

- TBT, Cu, Zn가 소수의 정점에서 기준 2를 초과하는 것으로 나타났다. Cu는 전 정점에서 기준 1을 초과하고 있으며 Pb, Cd, Zn는 90% 이상의 정점에서 기준 1을 초과하고 있다.



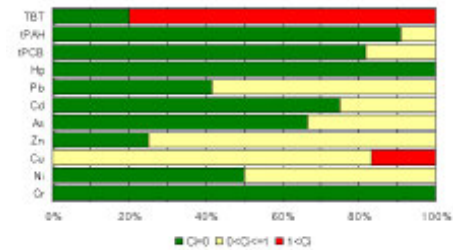
② K 해역

- 우려 대상 오염물질은 TBT > Cu이며, 감시 대상 오염물질은 PAH, AS > PCB, Cd > Pb이다.



③ H 해역

- 80%의 정점에서 TBT가, 그리고, 약 15%의 정점에서 Cu가 기준 2를 초과하고 있다. Cu는 모든 정점에서, 그리고, Pb, Zn, Ni이 50% 이상의 정점에서 기준 1을 초과하고 있다.

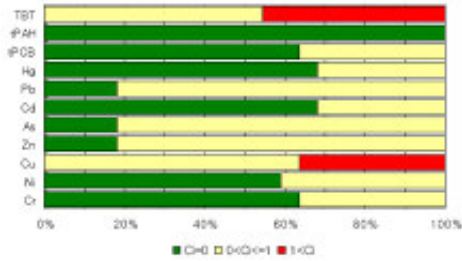


④ M 해역

- 전체 정점 중 약 30-40% 이상의 TBT와 Cu 항목들이 기준 2를 초과하는 것으로 나타났다. Cu는 그 외 모든 정점들에서도 기준 1을 초과하였다.

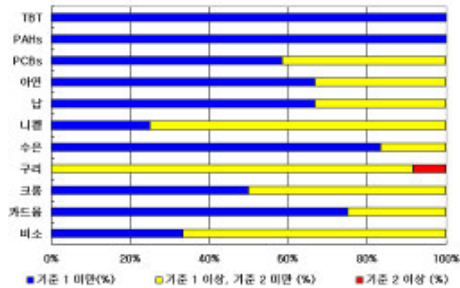
32) 해양오염퇴적물 조사, 경화복원 체계 구축(III), 해양수산부, 2007. (연구기관: 한국해양연구원).

33) 해양오염퇴적물 분포 현황 조사[1], 국토해양부, 2011 (연구기관: 한국해양연구원).



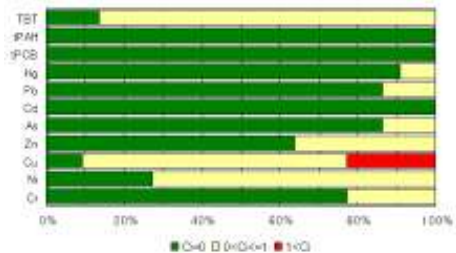
⑤ R 해역

- 해양오염퇴적물 정화·복원기준 중 기준 2를 초과하는 우려대상 오염물질은 구리이며, 기준 1 이상, 기준 2 미만인 감시대상 오염물질은 니켈>비소>크롬>PCBs>아연, 납>카드뮴>수은이다. 한편, 주상퇴적물 조사결과 역시 니켈, 구리, 비소는 모든 정점에서, 크롬과 수은은 일부 정점의 퇴적층에서 해양오염퇴적물 정화복원기준 중 기준 1을 초과하였다.



⑥ S해역

- Ni이 20% 이상의 정점에서 기준 2 이상이었으며, TBT, Hg, Pb, As, Zn, Ni 및 Cr이 부분적으로 기준 1 이상의 농도를 보였다.



III. 해역유형별 해양폐기물 최적 수거공법 개발(한경대/KORDI)

1. 저비용·친환경 해양폐기물 수거방법 개발

○ 선진 친환경 해양폐기물 수거 사례 분석 (미국, 일본, 유럽, 호주 중심으로)

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 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.

- Puget Sound

- 워싱턴주 콜롬비아강을 중심으로 펼쳐진 반폐쇄성 해역으로 주정부의 퇴적물 관리기준을 바탕으로 1993~1999년 Puget Sound의 퇴적물오염현황조사 실시 후 현재 정화·복원사업이 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.

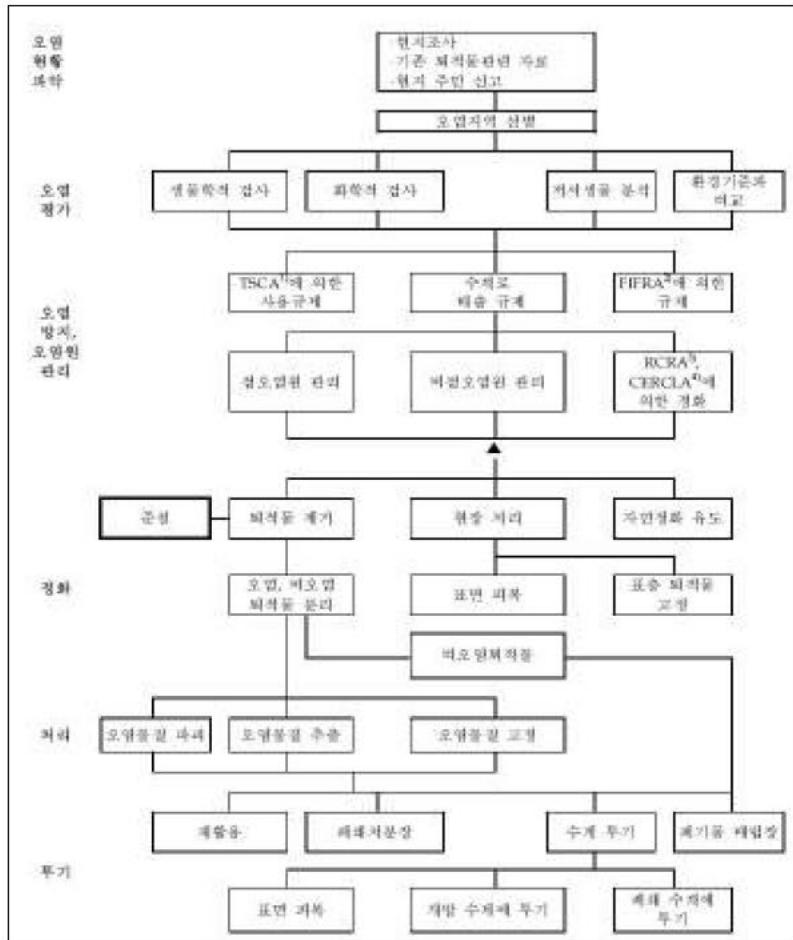


그림 III-1. 미국 환경보호청의 오염퇴적물 관리구조<sup>34)</sup>

- 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 정화·복원사업이 시행되고 있다.

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

◦ 해양환경생태계조사를 통해 오염이 매우 심한 지역 (Hot Spot)과 그 외의 지역으로 구분하여 오염퇴적물의 정화·복원 우선순위 선정하여 정화·복원 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.

- 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 단일 재료로 재활용하여 준설이후 퇴적물 처리의 좋은 사례를 보여주고 있다.

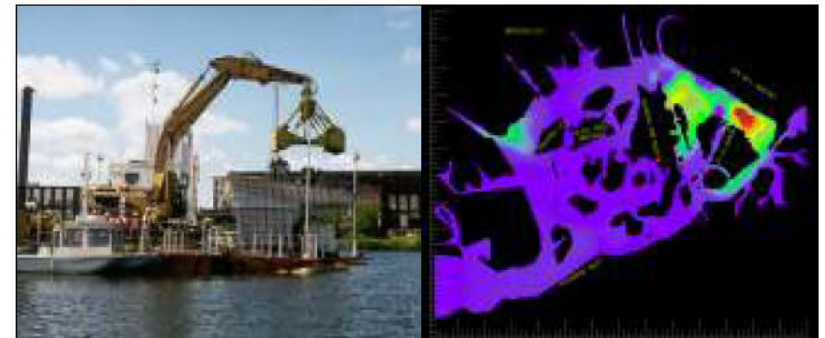


그림 III-2. 미국 뉴욕항에서의 준설 모습 및 PCB 농도 측정 연구 결과

표 III-1. 기타 지역에서의 해양오염퇴적물 정화·복원 사례

| Site                           | 지역          | 내용   |
|--------------------------------|-------------|--|
| NewPort Naval Education Center | 로드아일랜드 해군기지 | 해군기지이용에 따른 유류, PCBs 및 중금속 등 오염<br>직접적인 악영향은 없으나 장기적 환경영향<br>주요 오염지역을 표면피복방식과 준설방식을 병행하여 정화작업 시행(2000~2006) |

|                                |                           |  |
|--------------------------------|---------------------------|--|
| Cold Spring pier, Hudson River | 뉴욕 허드슨강 하구                | 주변 배터리공장에서 배출되는 오페수의 영향으로 중금속 (카드뮴, 아연, 니켈 등)오염 오염이 심각하고 연안해양생태계에 악영향을 미치는 지역은 일차적으로 준설을 통해 정화사업 시행 (1995)<br>그 외의 지역은 장기적 감시와 정화사업 시행 (진행 중)  |
| Lavaca Bay                     | 텍사스주 라바카만                 | 주변 공업지역으로부터의 유기합성화합물 (PAHs) 및 수은 오염<br>약 60km <sup>2</sup> 의 수은오염퇴적물 준설(1994)<br>오염도가 낮은 퇴적물은 자연정화방법을 사용하여 정화 복원 시행 (5-10년 주기의 장기간 환경모니터링 시행)  |
| Bailey Waste Disposal Site     | 텍사스주 베일리 연안               | 연안도시지역 오페수를 통해 중금속, 벤젠, 페놀 등 주요오염 관리대상<br>오염도가 심하지 않고 연안 안쪽에 위치하고 있어 오염퇴적물을 표면피복처리하여 정화 복원 사업시행(1996)  |
| Commencement Bay               | 워싱턴주 Puget Sound 타코마시 연안항 | 약 1,400km <sup>2</sup> 의 오염퇴적물 준설하여 연안해역 저층과 육상에 매립(2000~2004)<br>세부적으로 4개 지역으로 구분하여 중금속(Cd, Cu, Pb)에 의해 오염도가 높은 지역은 준설하여 오염퇴적물 제거<br>기타 지역은 표면피복 혹은 자연정화 방법을 사용하여 오염퇴적물 정화 복원 사업 시행 |

평균조차 및 용출률 등을 고려하여 결정하고 있으며 제거된 퇴적물 중 수은, 시안을 포함하고 판정기준에 부적합한 퇴적물은 콘크리트 고품화로 누출을 방지한 후 공용수역 및 지하수와 차단되는 장소에 매립하는 방법을 선택하고 있다.

표 III-2. 일본의 오염퇴적물 정화 복원사업 주요지침<sup>35)</sup>

| 구분          | 내용  |
|-------------|---|
| 퇴적물 오염평가    | 화학적 오염도 평가: 퇴적물의 화학적 분석 (감열감량, COD, 황화물, PCB, 수은 등 유해물질)<br>생물학적 오염도 평가: PCB, 수은 등 특정유해물질에 대해서는 퇴적물에서의 용출량과 어업실태 등 반영                 |
| 오염퇴적물 정화 복원 | 준설: 오염퇴적물 제거<br>현장처리: 표층퇴적물 고정, 표면피복 등  |
| 오염퇴적물 처분    | 오염물질 추출, 고정: 폐쇄처분장 이용 / 투기 / 매립<br>유해물질에 따라 적합한 처리/처분 방법 고려   |
| 2차 오염 방지    | 공사수역 외부에 미치는 영향 모니터링<br>악취, 유해물질 및 부유물질 모니터링<br>감시대상이 PCB일 경우 대기 중 PCB농도 모니터링<br>3개월 이상 장기간 공사가 진행될 경우 유해물질(수은, PCB 등)이 어패류에 미치는 영향조사 |
| 효과검증        | 퇴적물 제거 후 유해물질의 화학적 분석 등을 통하여 사후환경영향 관리<br>공사 후 식용어패류에 대한 오염평가   |

② 일본의 사례

- 1990년대 말 오염퇴적물 제거, 감시, 공사방법, 처리와 관련된 [퇴적물 처리 및 처분 등에 관한 잠정치침] 제정하여 관리하고 있다 (표 III-2). [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 정화 복원 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

(다) 호주의 사례

- 준설에 의해 오염퇴적물을 정화 복원할 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
- 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

35) 일본 환경청환경법령연구회, 1998, 퇴적물 처리 및 처분 등에 관한 잠정치침.

### 영향

- 퇴적물의 물리, 화학, 지질적 구성
  - 퇴적물의 오염도 현황: 주요 관리대상 오염물질의 현황파악
  - 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 지역 주민에 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 사례 지역으로는 호주 멜버른시 빅토리아만 지역의 연안항인 Western Port 및 Port Phillip Bay 등이 있다.

### (라) 유럽의 사례

- 1980년대 초반부터 퇴적물질 오염평가 기준과 정화방법 개발을 위한 연구가 영국, 프랑스, 독일, 네덜란드 등지에서 개별적 추진하여 왔다. 현재는 유럽 퇴적물관리 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 저서생물보호를 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 유럽조약에 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 III-3. 유럽 로테르담항에서의 오염퇴적물 정화·복원 사례

- 해양오염퇴적물 수거공법의 선진화를 위한 3대 개선 방안 도출
- ① 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 오락방지막이 사용되는데, 이 경우 대형 선박의 통행이 제한될 수 있다. 일본의 경우 소형 이동식 오락방지막을 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 오락방지막은 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.

## 2. 선박 부착형 오탁확산방지 시설 설계 및 성능실험

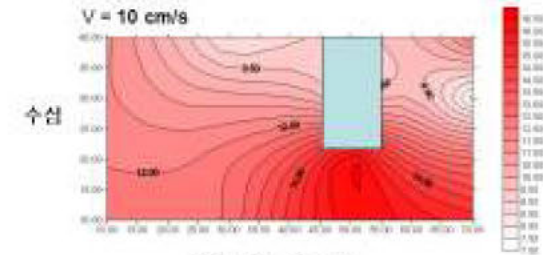
### ○ 실험실 규모 오탁방지막 제작 및 성능 시험

- 현행 오탁방지막의 문제점
  - 사업의 종류, 해역의 지형과 물리적 특성을 고려치 않음
  - 파손 사고가 발생하는 경우가 많으며
  - 선박 운행에 지장 초래함으로써 각종 민원이 유발되고 있음
- 새로운 오탁방지막의 필요성
  - 준설과 같은 오탁유발 사업에 대한 특성을 충분히 반영하지 못하고 형식적으로 설치
  - 오탁방지효과를 충분히 고려하지 못하고 있음
  - 제원에 따른 설치 조건을 설정하여야 하며, 유지관리가 필수적임
- 오탁방지막 설계를 위한 수
  - 오탁방지막 설치에 따른 유속분포 조사
  - 유속에 따른 오탁방지막의 변형을 고찰하고 이를 최소화할 수 있는 방안에 대해 검토
- 오탁방지막 변형 최소화 방안
  - 제원의 변경
  - 운동량 최소화
- 개수로 실험 방법
  - 30X40cm 의 개수로 단면에서 수행
  - Froud 상사법칙을 적용하여 결과 해석
  - 1/100 축소 모형
  - 3차원 유속계를 이용하여 유속과 흐름방향을 측정

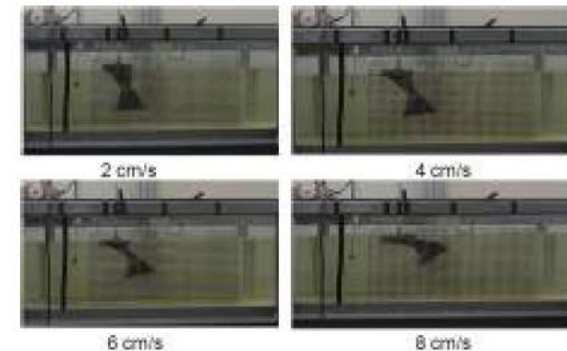


### ○ 오탁방지막 설계 인자 도출

- 오탁방지막의 거동
  - 유속의 증가에 비례하여 오탁방지막에 가해지는 힘이 증가
  - 현장 실 유속 1m/s 조건에서는 오탁방지막이 제 기능을 상실하게 되는 것을 확인
  - 바닥에 chain 등을 통해 중량을 높이더라도 변형도를 줄이는데에는 한계가 있음
- 오탁방지막 설계 방안
  - 오탁방지막 단독으로는 변형도를 최소화하는데 한계가 있고, 제기능을 하지 못하므로, 흐름의 상류측에서 유속을 저감할 수 있는 barrier 가 절대적으로 요구됨
  - 접근 유속을 저감할 수 있는 Barrier는 하단에 H빔 등으로 가라 앉히고, 부체를 상부에 고정시키는 방법이 바람직함
  - 유속의 증가에 따라서 Barrier가 바닥으로 기우는 것을 줄이기 위하여 가운데 부분이 돌출되는 형식으로 설계할 필요 있음
  - Barrier의 재질은 오탁방지막과 같은 고가의 투수성이 매우 작고, 인장강도가 크지 않고, 흐름을 낮출 수 있는 구조와 재질로 설계가 가능



측면 (상류 → 하류)



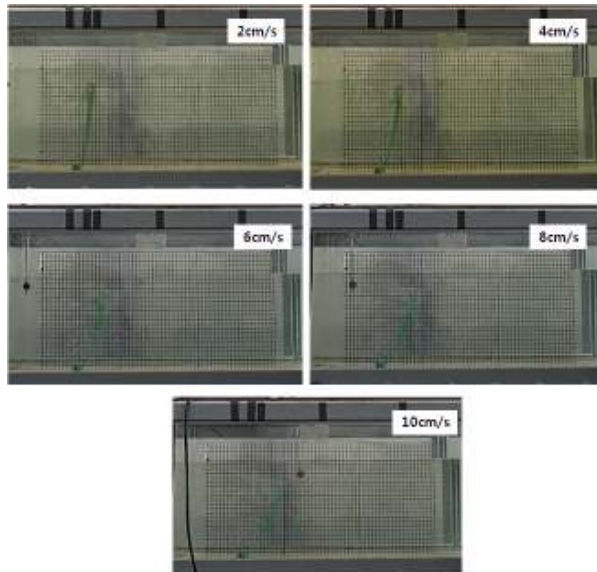
○ Barrier 설치에 따른 유속 저감 효과

◦ Barrier의 제원

- 건설용 안전망 : 메쉬크기 3-5mm
- 재질 : 나일론
- weight : D10mm 원형철근 X 120mm
- 부체 : 폴리스타이렌 - 20X20X120mm

◦ Barrier 하류측 유속

- 유속이 적은 2cm/s인 경우에는 barrier 하류측의 유속이 거의 정체상태
- 유속 4cm/s 이상인 경우 상류측 유속의 50% 이하로 관측



IV. 해양오염퇴적물 피복정화기술 개발(한경대/건기연/서강대)

1. 국외 피복정화공법 사례조사 및 분석

○ 미국, 일본의 피복정화 공법 설계 및 평가 지침분석은 “1-1. 국외지침 자료 분석” 참조 (p.28-33)

○ 피복 정화 공법 운영 사례 81건 분석

- 선진 국외 사례 고찰을 통해 피복공법에 필요한 엔지니어링 접근법을 분석하고 국내 오염퇴적토의 특성과 연구 인프라를 반영한 향후 연구내용을 도출하여 설계 매뉴얼 작성에 필요한 기초자료를 확보하고자 함
- 미국에서는 1970년부터 현장 피복공법이 사용되어 왔으며, 1990년 이후 피복공법의 적용사례가 급격히 증가하고 있음
  - 오염퇴적물이 주로 배출되는 상업지역에 접한 연안과 하천에서 피복공법이 사용되고 있으며 피복재의 두께는 10cm이하에서 3m이상까지 다양하게 시공되고 있음.
  - 표 1은 캐나다 McGill대학 Catherine N. Mulligan교수와와의 서신을 통해 입수한 자료를 토대로 작성하였음. 부록 1(연구결과 별첨)에는 미국, 일본, 유럽 국가에서 시공된 현장 피복공법을 수록하고 있음.

표 IV-1. 미국 현장 피복공법 적용 건수와 피복재 두께

| 연도   | 건수 | 피복재 두께                             | 건수 |
|------|----|------------------------------------|----|
| 1970 | 2  | $t \leq 10\text{cm}$               | 2  |
| 1980 | 12 | $10\text{cm} < t \leq 30\text{cm}$ | 9  |
| 1990 | 29 | $30\text{cm} < t \leq 60\text{cm}$ | 23 |
| 2000 | 26 | $t > 60\text{cm}$                  | 37 |
| 계획 중 | 12 |                                    |    |
| 합계   | 81 | 합계                                 | 71 |

- 다수의 시공을 통한 경험을 바탕으로 미국에서는 압밀에 의한 오염물 격리 성능저하, 하저생물에 의한 교란, 그리고 조류(파동에너지)에 의한 침식을 고려한 설계의 필요성이 제기되었고, 마침내 미국에서는 1987년에 ARCS(Assessment and Remediation of Contaminated Sediment) 프로그램을 통해 다양한 오염퇴적토의 현장 처리방안에 관한 연구가 진행되었음.
- ARCS 프로그램은 우선 오염퇴적토의 화학적 특성과 오염물 분석을 1994년까지 완료하였고, 오염퇴적토의 특성에 적합한 현장 처리방안을 제시하였음.
- 피복공법은 ARCS 프로그램에 기술된 다양한 현장 처리방안에 선정되었으며 1998년에는 미국 환경보호청(United State Environmental Protection Agency, USEPA)에서 피복공법에 필요한 고려사항을 정리한 “Guidance for

In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments"가 발간되었음.

- 다양한 오염퇴적물 현장 처리공법 중에서 최적공법 선정에 위한 타당성 조사는 설계과정에서 결정됨. USEPA에서는 현장 피복공법을 적용하기 전에 시공성과 경제성을 고려한 타당성조사를 실시해야 한다고 강조하고 있음.
- USEPA의 보고서를 토대로 현장 피복공법의 적용 단계를 분석하면 다음과 같다.
  - 1) 오염퇴적물 처리 후 최종 목표 농도
  - 2) 오염퇴적물이 위치한 지역의 지리적 특성
    - 가) 지리적 측면: 수심, 조류, 저면 경사, 파동에너지
    - 나) 사용적 측면: 항해, 해저스포츠, 상수원, 폐수 방류
    - 다) 공학적 측면: 오염퇴적물 하부 지층구조와 물리적 특성, 기반암의 깊이, 지하수흐름
  - 3) 오염퇴적물의 특성
    - 가) 물리적, 화학적, 생물학적 특성
    - 나) 심도별 특성과 확장 영역
    - 다) 오염퇴적물 처리 후 최종 목표 농도를 고려한 피복재 포설 면적 선정
  - 4) 현장 피복공법의 1차 적용성 검토
    - 가) 1에서 3까지의 데이터를 토대로 현장 피복공법의 1차 적용성 검토
  - 5) 피복재 선정
    - 가) 운송과 하역을 고려한 피복재 활용지 선정
  - 6) 피복재의 형상 결정
    - 가) 피복 두께와 필요시 반응성 물질을 고려한 다층형 피복 적용
    - 나) 반드시 장기적 측면에서 접근: 화학적 격리와 생물학적 교란, 압밀, 침식을 고려
    - 다) 일반적으로 사용되는 깨끗한 사질토가 대상지역에서 침식에 민감한 경우, 굵은 자갈을 이용한 보호층 형성: 필요시 부직포를 이용한 사질토와 자갈의 경계면 분리
  - 7) 장비와 최적 피복시공법 선정
  - 8) 설계된 피복공법으로 최종 목표 농도 확보 가능성 평가
  - 9) 모니터링과 유지관리 시스템 구축
    - 가) 시공 모니터링: 피복재 시공에서 발생하는 오염퇴적물 교란 정도 확인
    - 나) 장기 모니터링: 피복공법의 성능평가 및 필요시 추가 피복 시공
  - 10) 경제성 분석
- 그림 IV-1에서는 현장 피복공법 적용 10단계를 도식화하여 보여주고 있음. 10단계의 과정에서 가장 공학적 접근이 필요한 피복형상결정과 피복재 포설에 관한 실증적 연구를 미공병단(U.S. Army Corps of Engineers)에서 실시하

였음(Palermo et al., 1999).

- 미공병단에서 수행한 피복공법 연구는 Los Angeles에 위치한 Palos Verdes Shelf에 1,1,1-trichloro-2,2-bis (p-chlorophenyl) ethane (DDT)와 polychlorinated biphenyl hydrocarbon(PCB)로 오염된 퇴적토를 대상으로 피복공법의 타당성을 평가하고 설계하였으며, 연구결과를 바탕으로 시험적용(Pilot Test)하였음 (Fredette et al., 2002).

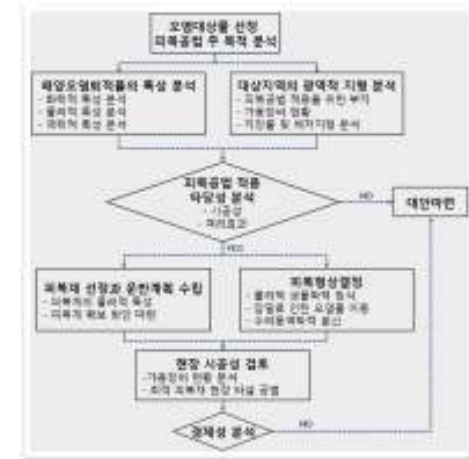


그림 IV-1. 현장 피복공법 적용 단계 도식

## 2. 설계시공 매뉴얼 주요항목 도출 및 기본계획

### ○ 6대 설계시공 주요항목별 기본계획 수립

#### ① 피복재 선정(Capping Materials)

- 피복재 선정에서 피복재 시공방법은 우선적으로 고려되어야 함. 일반적으로 사용되는 시공방법으로는 수면에서나 일정수심에서 피복재를 투하하여 자중에 의한 침강으로 오염퇴적도 위에 포설함.
- 만약 피복재의 자중이 적고 입자크기가 적은 경우에는 수중에서 부유하며 주변 수질을 악화 시킬뿐만 아니라 조류의 흐름에 영향을 받아 피복재가 목표 지점에 도달(오염퇴적물 상부)하기 어려움.

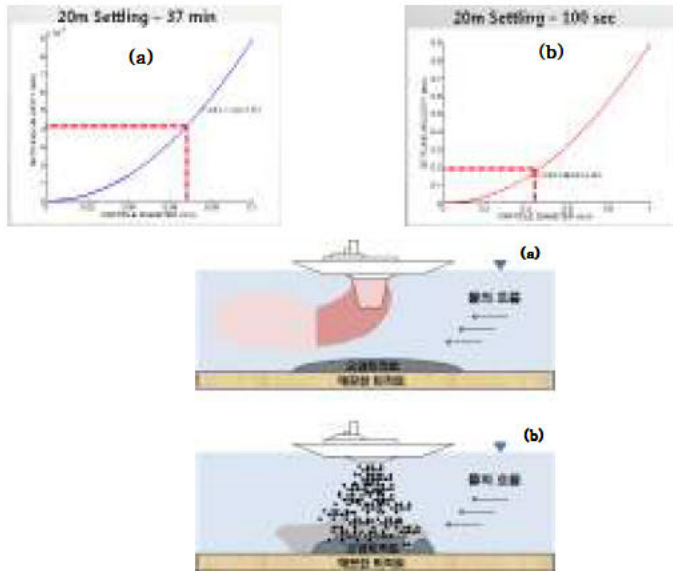


그림 IV-4. 입자 크기에 따른 수심 20m 침강 시간(Stoke's Law);  
a) 실트와 점토 (약 37분소요), b) 모래 (약 100초소요)

② 피복형상(Cap Dimension)

- 피복형상은 피복보호층(Armor layer), 피복재 두께(Thickness), 피복범위(Area)를 포함.
- 피복재의 두께는 오염퇴적물과 피복재의 물리적 화학적 특성, 조류와 파동에너지, 저서생물의 교란, 피복재의 자중에 따른 오염퇴적물의 압밀, 그리고 시공방법을 고려하여 결정함.

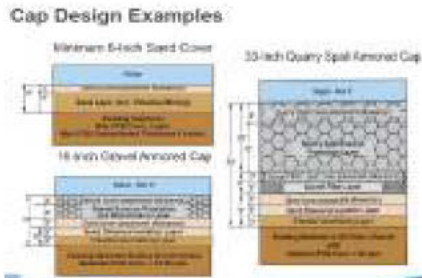


그림 IV-5. 현장 캡핑 설계 예시 (Schuck, 2010)

- 따라서 저서생물의 특성, 압밀, 침식, 시공방법, 그리고 장기적 오염물 이동

(이류와 확산)을 고려하여 최종 두께를 선정함.

- 선행연구 결과에 따르면 피복재의 두께가 50cm인 경우 저서생물의 교란에 따른 피해는 미미하다고 밝혀졌음(Brannon et al., 1985).
- 피복재 두께를 결정하는 순서를 정리하면 다음과 같다.
  - 태풍을 포함한 파동에너지에 따른 침식 검토
  - 지진에 의한 교란 검토
  - 저서생물에 의한 교란 검토
  - 피복재와 오염퇴적물의 압밀 검토
  - 시공방법 검토
  - 이류(advection)와 확산(dispersion)을 고려한 오염물 이동 검토

③ 침식(Erosion)

- 파동에너지에 따른 침식의 영향을 고려하기 위해서는 외적 환경요인을 분석하는 것이 가장 중요함.
- 또한 피복재의 생애주기를 설정하고 생애주기 내에서 발생 가능한 최악의 기상조건을 반영하여 설계하는 것이 바람직함.
- 미공병단에서는 수치해석 모델(USACE Long Term FATE, LTFATE)을 이용하여 가상의 태풍조건을 고려한 피복재의 입자크기에 따른 침식영향 두께를 산정하였음(Palermo et al., 1999).
- 이밖에도 지진에 따른 교란과 오염퇴적물의 액상화에 따른 피복재의 함몰 파괴를 고려할 필요가 있음.
- 또한 오염퇴적물이 위치한 저면의 지질학적 형상, 특히 저면 경사로 지진에 따른 오염퇴적물과 피복재의 자중으로 인한 흐름을 고려해야 함.

④ 저서생물 교란(Bioturbation)

- 생물교란이란 저서동물들의 섭이 또는 서식처 형성과정에서 야기되는 저서 환경의 물리-화학적 교란현상을 의미함.

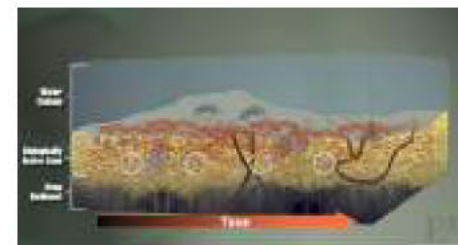


그림 IV-6. Bioturbation 개념도

- 퇴적물 및 표층수의 교란을 야기하는 저서동물의 모든 행동은 크게 굴진, 잠행, 포복 등의 운동과 서식을 위한 굴착 활동 그리고 먹이 섭취와 배설 활동 등으로 구분할 수 있으며, 이에 따라 굴착, 관개, 퇴적입자의 섭취 및 정화 등이 생물교란에 포함됨.
- 생물교란 활동상의 수직분포의 이해는 효과적인 피복 디자인을 위하여 도움이 되며, 이에 따라 저서생물군들의 생물학적 활동성의 이해가 가장 중요함.
- 또한 생물교란이 발생하는 깊이는 미생물의 활동이나 기질의 특성(결정입도, 유기물함량, 공극수 등)에 영향을 받으며, 일반적인 생물교란은 그림 13-11과 같이 깊이에 따라 3개의 구역으로 나눌 수 있음.

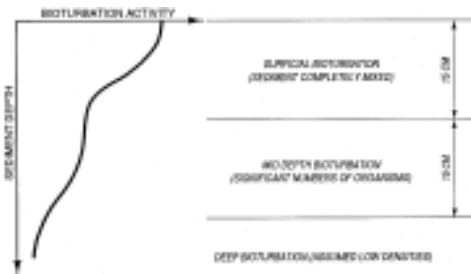


그림 IV-7. Illustration of zones of bioturbation

- 과거의 경험을 비추어 볼 때, 생물교란은 주로 대형 저서동물의 지속적인 퇴적물 내 지화학적 반응과 물질 플럭스를 바꾸는 역할을 하고 있지만 얼마나, 어떻게 이들 과정을 통제하는가에 관한 내용은 아직 풀리지 않고 있어 생물교란에 관한 정량적, 역학적인 연구가 필요함.

#### ⑤ 압밀효과(Consolidation)

- 피복재의 자중에 따른 피복재와 오염퇴적물에 압밀이 발생함. 오염퇴적물의 초기 높은 함수율로 인해 비교적 작은 상재하중에서 압밀이 발생함.
- 압밀로 인해 발생하는 오염퇴적물의 침하량과 압밀속도의 정확한 예측을 위해서는 불교란 시료를 이용한 실내실험이 필수적임.
- 압밀은 오염물 격리와 피복 시공성에 직접적인 영향을 미치므로 불교란 시료 확보를 통한 실내시험 결과를 토대로 정량적 침하량 산정과 압밀속도 분석이 필요하며, 수치해석을 통한 오염물 격리 효과를 검증할 필요가 있음.

#### ⑥ 반응성 피복재(Reactive Capping Materials)

- 최근에는 현장 캡핑의 여러 방법 중 반응성물질을 사용하여 오염된 퇴적도를 물리적으로 분리하거나, 보다 적극적으로 오염물질을 흡착하거나 분해할 수 있는 반응성 피복재(Active/Reactive caps)에 대한 연구가 활발히 수행되고

있음.

- 반응성 피복재는 흡착(sorption), 반응(reaction), fixation, 또는 투수성을 감소시키는 방법을 통하여 기존의 방법보다 적극적으로 오염물의 이동을 제어하는 방법으로 기존의 Permeable Reactive Barrier(PRB)와 반응면에서 거의 유사하여 수평형(Horizontal) PRB라는 이름으로 불리기도 함(그림 IV-8).

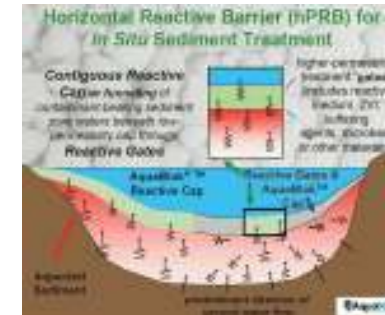


그림 IV-8. hPRB를 이용한 현장 캡핑 개념도

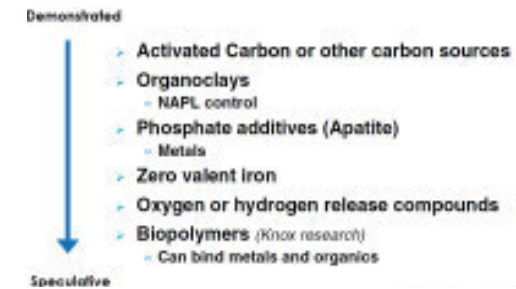


그림 IV-9. 반응성물질(Reactive materials)의 실용화 단계 (Madalinski, 2008): 위에서 아래로 내려올수록 최근에 연구가 시작된 재료들로 효과 및 성능이 뛰어날 것으로 기대

- 현재 다음과 같은 반응성 피복재들이 각기 다른 목적으로 사용되고 있으며 그림 IV-9는 이러한 재료들의 실용화 정도를 보여주고 있음.
  - Clay(bentonite 등): 투수성 조절
  - 탄소재질의 흡착제(활성탄 등): 소수성 유기오염물 sequestration
  - Organoclays: NAPL과 일부 용존오염물 control
  - Clay와 흡착제의 혼합물
  - Phosphate additives: metals

- Iron Sulfide: Hg와 MeHg control
- Siderite(FeCO<sub>3</sub>): pH control
- Zero valent iron: chlorinated organic compounds
- Oxygen or hydrogen release compounds/technologies
- Biopolymers
- Electrochemical controls on redox conditions(Speculative)

### 3. 피복공법 개략 건설비 산정(자재운반) 및 현장 시공성 검토

#### ○ 피복공법 개략 건설비 산정을 위한 경제성 평가 시나리오 도출

- 국외사례 조사를 바탕으로 피복공법의 경제성이 미치는 1차적 요인은 피복재 공급원에 따른 시공성에 기인함.
- 피복공법의 시공성은 피복재 공급원과 오염퇴적물 거리에 따라 3가지 경우로 요약됨.
  - CASE I : 오염퇴적물 인근 피복재 공급원 선정 (선박1대사용, 준설 후 포설)
  - CASE II : 오염퇴적물 근해에서 피복재 공급원 선정 (선박 2대이상 활용방안 검토)
  - CASE III : 육상 피복재 공급원 선정
- CASE III의 경우, 다양한 운송수단과 피복재 야적을 위한 여유부지 조성이 필요하여 경제성 측면에서 가장 비효율적임. 육상운송은 트레일러를 이용하여 운송하는 것으로 계획하고 피복공법 적용대상 지역 사전조사를 통해 접안여건 및 하역여건을 조사하여 하역장을 선정하며, 현장조사 시 피복재 포설 장비가 접안시설로 접근이 가능한지를 판단하고 필요시 포설 장비가 탑재된 선박을 접근가능 거리에 정박하고 바지선을 이용하여 포설재를 환적하여 운반하는 방법을 적용함.

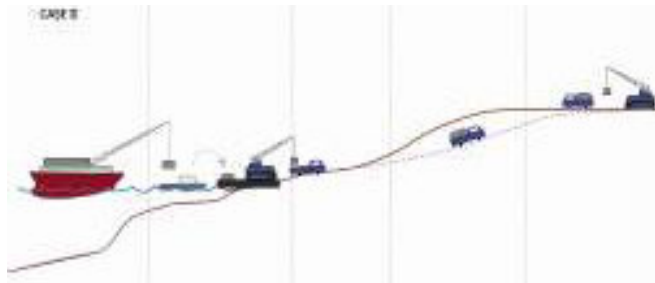


그림 IV-2. CASE III 시나리오 개념도

- 피복재 공급원을 오염대상 지역 인근에서 확보가 어려울 경우(CASE III), 4

대강 준설사업과 연계하여 양질의 준설토를 피복재로 활용하는 연계 방안 수립을 통해 피복재 구매 비용을 절감하여 경제적인 측면에서 효과를 확대할 필요가 있음.

#### ○ 피복공법의 현장 시공성 검토

- 미국과 일본에서는 피복공법이 보편적으로 현장에서 적용되고 있으며, 지속적인 연구를 통해 피복 전용 선박을 제작하여 활용하고 있음.
- 피복 전용 선박과 같은 대형 인프라 개발은 본 사업의 연구범위와 예산에는 포함되지 않음. 따라서, 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 장비를 활용하여 피복공법을 적용하고자 국내 건설업체 전문가 자문을 통해 준설선을 활용하는 것으로 결정함.
  - 미국에서도 피복공법 적용 초기에는 바지선(barge)이나 호퍼준설선(Hopper dredger)에서 피복재를 수면에서 한번에 투하하였음.
  - 결과적으로 피복재 포설에는 성공하였으나 대량의 피복재 투하에 따른 충격 에너지로 인한 교란, 오염퇴적물 영향 범위를 벗어난 광범위 포설, 그리고 수저면 형상 변경에 따른 세굴(scour) 발생의 문제를 야기 시켰음.
  - 정확한 피복재 포설은 포설범위의 최소화, 저서생물 피해 최소화, 피복재 용량 최소화, 그리고 모니터링 최소화를 통한 공기단축, 오염물 격리 효과 극대화, 그리고 비용절감과 직결됨.
  - 피복재 포설 장비는 일반적으로 사용되는 바지선과 호퍼준설선을 이용하여 부가적으로 피복재의 포설을 위한 장비를 의미함. 이러한 장비를 크게 분류하면 다음과 같음.
    - 수면 투하 개조식(Modified surface release)
    - 수저 유출식(Submerged discharge)
    - 수저 확산식(Submerged diffuser)
    - Tremie 방식(Gravity-fed downpipe, tremie)
    - 강제 펌프식(Hopper dredge pumpdown)

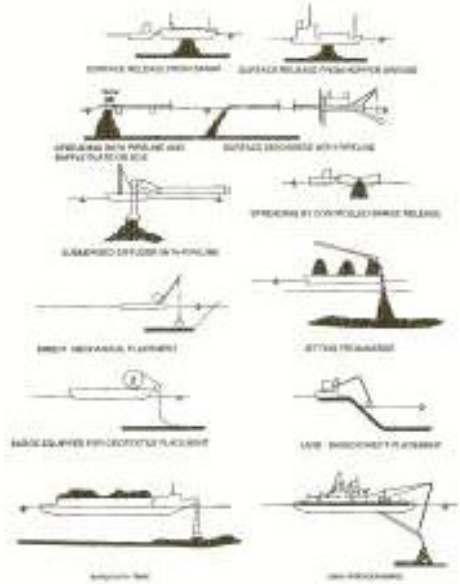


그림 IV-3. 피복재 포설 장비별 피복공법 적용 개념도

#### 4. 중금속 및 유기오염물질 환경영향 저감 피복물질 성능실험

○ 7가지 중금속에 대한 피복소재(천연광물 2종, 재활용 가능 산업부산물 2종) 4종의 흡착 성능 시험

① 석회석(천연광물)

◦ 동적흡착특성

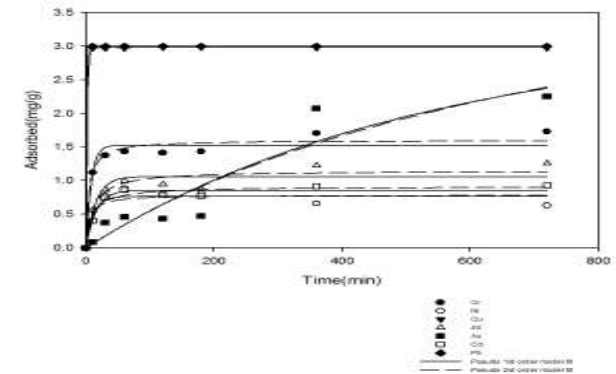


그림 IV-10. 석회석의 흡착평형

표 IV-2. 석회석 동적흡착 모델 값

|            |    | Pseudo 1st model |          |        |
|------------|----|------------------|----------|--------|
|            |    | qe (mg/g)        | k1 (1/h) | R2     |
| Lime Stone | Cr | 1.5257           | 0.1260   | 0.9457 |
|            | Ni | 0.7635           | 0.0883   | 0.9138 |
|            | Cu | 2.9766           | 0.5847   | 1.0000 |
|            | Zn | 1.0589           | 0.0657   | 0.8940 |
|            | As | 3.1747           | 0.0019   | 0.8961 |
|            | Cd | 0.8540           | 0.0658   | 0.9690 |
|            | Pb | 2.9984           | 4.8963   | 1.0000 |

◦ 매질체인 석회석을 0.5g과 중금속 농도 50mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 7, 25℃, 100rpm의 조건으로 24시간 교반하여 동적흡착실험을 수행한 결과 Cr, Cu, Pb, Cd, Zn, Ni은 1시간대 흡착평형을 이뤘지만 As의 경우 흡착평형에 도달하지 않았다(그림 4-1). 또한 Pseudo First model을 이용한 흡착속도는 Pb>Cu>Cr>Ni>Cd>Zn>As의 순으로 빠른 반응속도를 나타냈다(표 4-5).

- 석회석의 경우 Cr, Cu, Pb, Cd, Zn, Ni에 대하여 흡착제거에 상대적으로 빠른 반응을 나타냈지만 As의 경우 흡착의 용량의 적정성 및 속도를 파악하기 위해서는 장시간의 반응시간이 필요한 것으로 판단되며 추가실험에 의한 데이터구축이 필요하다고 판단된다.

◦ 평형흡착특성

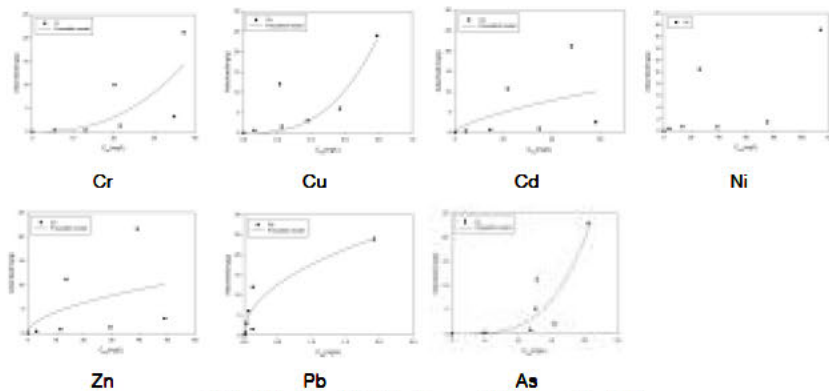


그림 IV-11. 석회석 Freundlich model fit

- 석회석 0.5g과 중금속 농도 10, 25, 50, 100, 200, 400mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 7, 25°C, 100rpm, 교반시간 6시간의 조건으로 평형흡착실험을 수행하였다.
- Freundlich 모델을 적용한 결과 흡착 분배계수는 Cu>Pb>Zn>Cd>Cr>As 순으로 높았으며 Pb>Zn>Cd 순으로 흡착경향이 강한 것으로 나타났다.
- 하지만 석회석의 Ni 흡착제거의 경우 Freundlich 모델에 부합하지 않는 결과를 나타내었다.

표 IV-3. 석회석 평형흡착 모델 값(Freundlich model fit)

|    | K(L/g)  | 1/n    | R2     |
|----|---------|--------|--------|
| Cr | 0.0018  | 2.4764 | 0.5176 |
| Cu | 44.8198 | 2.8524 | 0.6830 |
| Cd | 0.6614  | 0.6705 | 0.2399 |
| Ni | -       | -      | -      |
| Zn | 1.2910  | 0.5282 | 0.2208 |
| Pb | 17.5736 | 0.4757 | 0.8672 |

|    |        |        |        |
|----|--------|--------|--------|
| As | 0.0004 | 3.6185 | 0.7793 |
|----|--------|--------|--------|

◦ pH 변화에 따른 흡착 특성

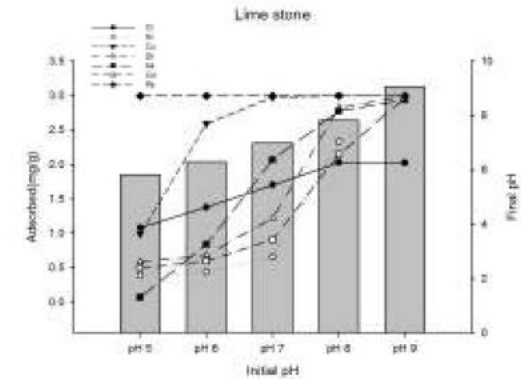


그림 IV-12. 석회석 pH 변화에 따른 흡착

- 석회석 0.5g과 중금속 농도 50mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 5~9사이로 조절하여 교반시간 6시간의 조건으로 흡착실험을 수행한 결과 pH가 높아짐에 Cr을 제외한 중금속의 흡착제거량이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 pH의 상승에 따른 중금속이온의 공침 및 수산화 침전에 의한 제거가 동반되는 것으로 판단된다.
- 하지만 해양환경의 조건이라 할 수 있는 pH 7 범위에서는 상대적으로 낮은 pH에서 침전반응이 일어나는 Pb와 Cu를 제외한 나머지 중금속은 80% 이하의 흡착제거율을 나타내었다.
- 해수에서의 제거 특성



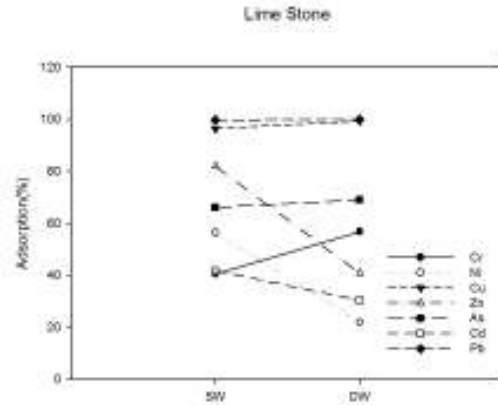


그림 IV-13. 해수와 증류수에서의 제거특성 비교

- 석회석 0.5g, 혼합중금속 농도가 50mg/L이 되도록 해수에 희석하여, 6시간의 조건으로 흡착실험을 수행하였다. 그 결과 Zn, Ni, Cd의 해수에서의 흡착제거 경향은 증류수에서의 흡착제거 경향보다 높은 것으로 나타났지만 Cr, Cu, As의 흡착제거 경향은 감소하는 추세로 나타났다.
- 이는 해수에서의 다양한 성분들이 중금속 흡착제거에 영향을 주는 것으로 판단된다.

② 제올라이트(천연광물)  
 ◦ 동적흡착특성

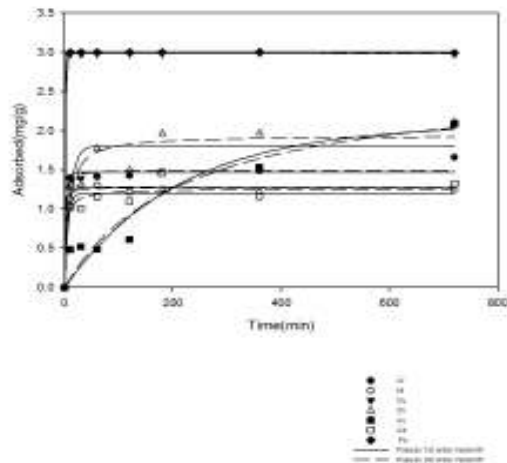


그림 IV-14. 제올라이트의 흡착평형

- 매질체인 제올라이트 0.5g과 중금속 농도 50mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 7, 25℃, 100rpm의 조건으로 24시간 교반하여 동적흡착실험을 수행한 결과 Cr, Cu, Pb, Cd, Zn, Ni은 3시간대 흡착평형을 나타내었고 As의 경우 석회석의 실험과 유사하게 실험 기간내에는 평형에 도달하지 않았다. 제올라이트의 동적흡착결과(Pseudo First model fit)도 석회석과 유사한  $Pb > Cu > Cr > Ni > Cd > Zn > As$ 의 순서의 반응속도를 나타내었다.

표 IV-4. 제올라이트의 동적흡착 모델 값

| Pseudo 1st model |    |           |           |        |
|------------------|----|-----------|-----------|--------|
|                  |    | qe (mg/g) | k1 (1/h)  | R2     |
| Zeolite          | Cr | 1.4725    | 0.2937    | 0.9758 |
|                  | Ni | 1.2767    | 0.2175    | 0.9745 |
|                  | Cu | 2.9824    | 0.6308    | 1.0000 |
|                  | Zn | 1.8082    | 0.0987    | 0.8648 |
|                  | As | 2.0792    | 0.0048    | 0.8856 |
|                  | Cd | 1.2035    | 0.1815    | 0.9036 |
|                  | Pb | 2.9976    | 6717.3535 | 1.0000 |

◦ 평형흡착특성

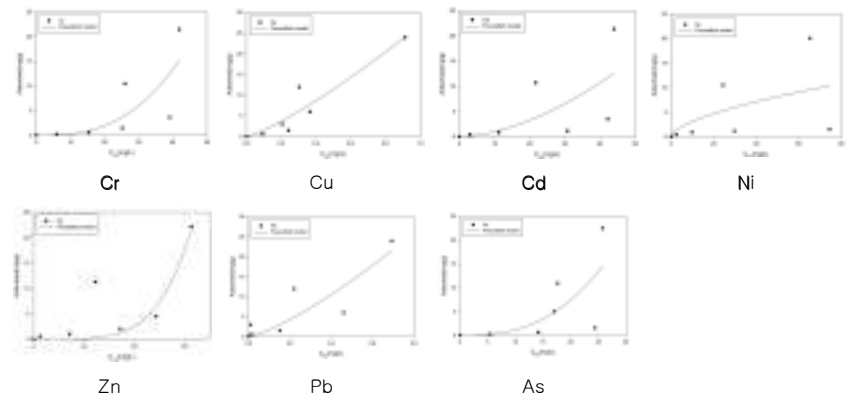


그림 IV-15. 제올라이트 Freundlich model fit

- 제올라이트 0.5g과 중금속 농도 10, 25, 50, 100, 200, 400mg/L의 혼합중금

속 30ml를 pH 7, 25°C, 100rpm, 교반시간 6시간의 조건으로 평형흡착실험을 수행하였다.

- Freundlich 모델을 적용한 결과 흡착 분배계수는 Pb>Cu>Ni>Cd>As>Cr 순으로 높았으며 흡착의 친화도를 나타내는 n 값이 Ni의 경우 0.5986으로 타 중금속 이온에 비하여 흡착경향이 강한 것으로 나타났다.

표 IV-5. 제올라이트 평형흡착 모델 값(Freundlich model fit)

|    | K(L/g)      | 1/n    | R2     |
|----|-------------|--------|--------|
| Cr | 0.0005      | 2.7718 | 0.5689 |
| Cu | 26.8687     | 1.2365 | 0.8922 |
| Cd | 0.0192      | 1.7149 | 0.4055 |
| Ni | 0.7855      | 0.5986 | 0.2972 |
| Zn | 1.7361E-006 | 4.7397 | 0.6796 |
| Pb | 34.5730     | 1.2979 | 0.7513 |
| As | 0.0026      | 2.6496 | 0.4628 |

- pH 변화에 따른 흡착 특성

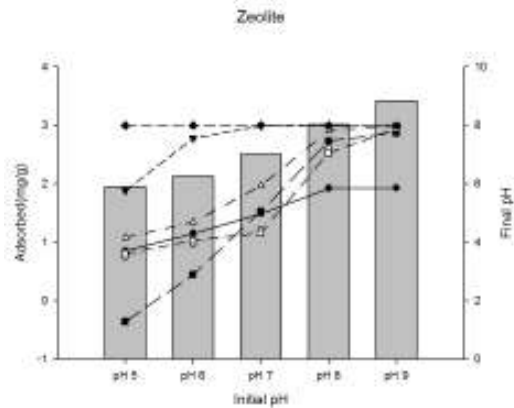


그림 IV-16. 제올라이트 pH 변화에 따른 흡착

- 제올라이트 0.5g과 중금속 농도 50mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 5~9사이로 조절하여 교반시간 6시간의 조건으로 흡착실험을 수행한 결과 pH가 높아짐에 따라 중금속의 흡착제거량도 높아지는 경향이 나타났다. 이는 석회석을 이용한 실험과 마찬가지로 pH의 상승에 따른 중금속이온의 공침 및 수산화 침전

에 의한 제거가 동반되는 것으로 판단된다.

- 제올라이트의 경우도 해양환경의 조건이라 할 수 있는 pH 7 범위에서는 Pb, Cu를 제외하고는 80% 이하의 흡착제거율을 나타냈다.
- 해수에서의 제거 특성

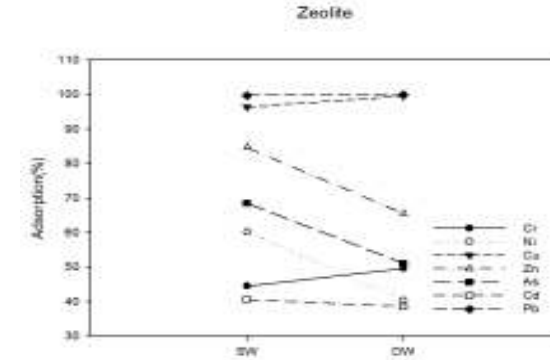


그림 IV-17. 해수와 증류수에서의 제거특성

- 제올라이트 0.5g, 혼합중금속 농도가 50mg/L이 되도록 해수에 희석하여 6시간의 조건으로 해수에서의 흡착실험을 수행하였다. 그 결과 Zn, As, Ni, Cd의 해수에서의 흡착제거 경향은 증류수에서의 흡착제거 경향보다 높은 것으로 판단되지만 Cr과 Cu의 흡착제거 경향은 감소하는 추세로 나타났다.

### ③ 적니(재활용 가능 산업부산물)

- 동적흡착특성

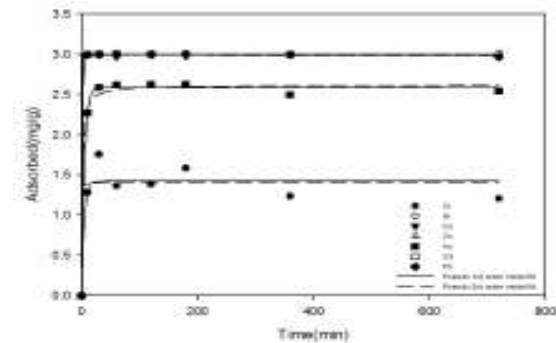


그림 IV-18. 적니의 흡착평형 그래프

- 매질체인 적니 0.5g을, 중금속 농도 50mg/L의 혼합중금속 30ml에, pH 7, 25°C, 100rpm의 조건으로 24시간 교반하여 동적흡착실험을 수행한 결과 7가지 중금속에 대하여 1시간대 평형을 나타내었다.
- 적니의 동적흡착결과(Pseudo First model fit) Ni>Cu>Pb>Cd>Zn>Cr>As의 순으로 빠른 반응속도를 나타냈음

표 IV-6. 적니 동적흡착 모델 값

| Pseudo 1st model |    |           |            |        |
|------------------|----|-----------|------------|--------|
|                  |    | qe (mg/g) | k1 (1/h)   | R2     |
| Red Mud          | Cr | 1.4218    | 0.2376     | 0.8854 |
|                  | Ni | 2.9991    | 32160.6665 | 1.0000 |
|                  | Cu | 2.9906    | 137.0083   | 0.9999 |
|                  | Zn | 2.9912    | 0.7362     | 1.0000 |
|                  | As | 2.5847    | 0.2109     | 0.9975 |
|                  | Cd | 2.9986    | 5.9881     | 1.0000 |
|                  | Pb | 2.9934    | 17.3660    | 0.9999 |

◦ 평형흡착특성

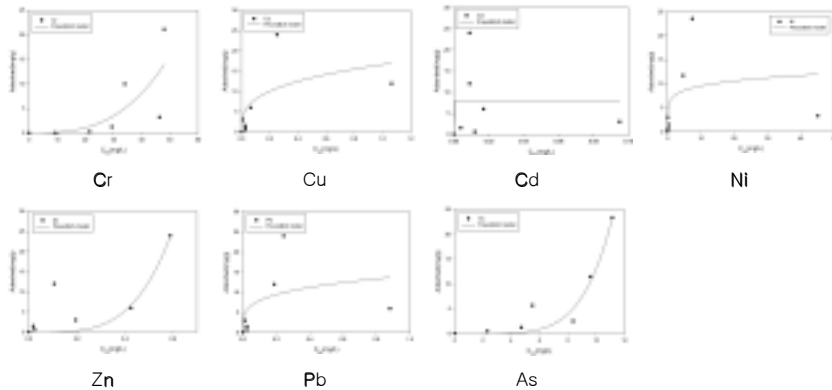


그림 IV-19. 적니 Freundlich model fit

- 적니 0.5g과 중금속 농도 10, 25, 50, 100, 200, 400mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 7, 25°C, 100rpm, 교반시간 6시간의 조건으로 평형흡착실험을 수행하였다.
- Freundlich 모델을 적용한 결과 분배계수는 Zn>Cu>Pb>Cd>Ni>Cr>As 순으로 높았으며 Cd>Ni>Pb>Cu 순으로 흡착경향이 강한 것으로 나타났다.

표 IV-7. 적니 평형흡착 모델 값(Freundlich model fit)

|    | K(L/g)      | 1/n         | R2     |
|----|-------------|-------------|--------|
| Cr | 0.0002      | 2.9531      | 0.5500 |
| Cu | 16.6134     | 0.3140      | 0.4670 |
| Cd | 7.8485      | 8.4925E-011 | 0.1171 |
| Ni | 6.7288      | 0.1506      | 0.2417 |
| Zn | 187.1995    | 3.8951      | 0.6588 |
| Pb | 14.1003     | 0.2509      | 0.3124 |
| As | 5.4095E-005 | 5.3803      | 0.9191 |

◦ pH 변화에 따른 흡착 특성

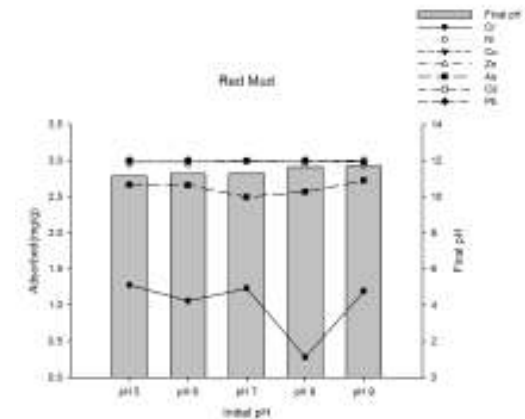


그림 IV-20. 적니 pH 변화에 따른 흡착

- 적니 0.5g과 중금속 농도 50mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 5~9사이로 각각 조절하여 교반시간 6시간의 조건으로 흡착실험을 수행한 결과 Cr을 제외한 모든 중금속에 대하여 높은 흡착제거율을 나타내었다. pH의 변화를 살펴본 결과 적니의 경우 초기 pH와는 무관하게 10이상의 pH를 나타내었다. 이는 알칼리성분이 많이 포함되어있는 적니의 영향으로 판단된다.

◦ 해수에서의 제거 특성

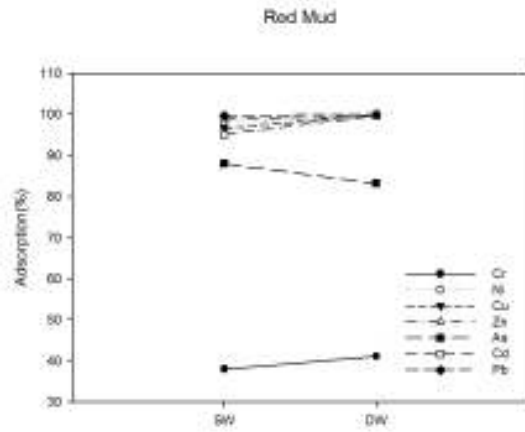


그림 IV-21. 해수와 증류수에서의 제거특성

- 적니 0.5g, 혼합중금속 농도가 50mg/L이 되도록 해수에 희석하여 6시간의 조건으로 해수에서의 흡착실험을 수행하였다. 그 결과 As는 해수에서의 흡착제거 경향이 증류수에서의 흡착제거 경향보다 높은 것으로 판단되지만 Cr, Cu, Ni, Cd, Zn의 흡착제거 경향은 약간씩 감소하는 추세로 나타났다.
- 이는 해수에서의 다양한 성분들이 중금속 흡착제거에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 적니에 포함된 강한 알칼리성분이 해수에 중화되면서 영향을 미치는 것으로 판단된다.

④ 굴폐각(재활용 가능 산업부산물)

◦ 동적흡착특성

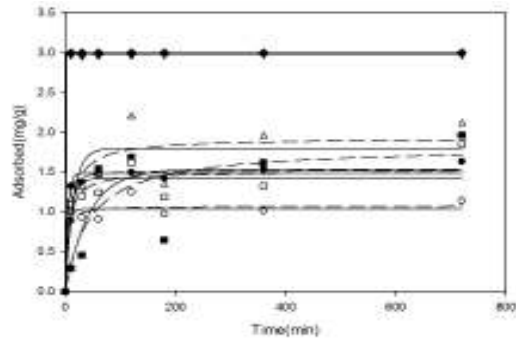


그림 IV-22. 굴폐각 흡착평형 그래프

- 매질체인 굴폐각 0.5g을 중금속 농도 50mg/L의 혼합중금속 30ml에, pH 7, 25°C, 100rpm의 조건으로 24시간 교반하여 동적흡착실험을 수행한 결과 Cr, Cu, Pb, Cd, Zn, Ni은 3시간대 평형을 이뤘고 As의 경우 6시간대에 평형을 나타내었다. 굴폐각의 Pseudo First model을 이용한 흡착속도는 Cu>Pb>Cr>Ni>Cd>Zn>As의 순으로 빠른 반응속도를 나타내었다.

표 IV-8. 굴폐각 동적흡착 모델 값

| Pseudo 1st model |    |           |           |        |
|------------------|----|-----------|-----------|--------|
|                  |    | qe (mg/g) | k1 (1/h)  | R2     |
| Red Mud          | Cr | 1.4859    | 0.2185    | 0.9795 |
|                  | Ni | 1.0367    | 0.1914    | 0.9141 |
|                  | Cu | 2.9667    | 2188.0568 | 1.0000 |
|                  | Zn | 1.7957    | 0.0711    | 0.7946 |
|                  | As | 1.5331    | 0.0235    | 0.6870 |
|                  | Cd | 1.4177    | 0.1109    | 0.8307 |
|                  | Pb | 2.9983    | 6.9821    | 1.0000 |

◦ 평형흡착특성

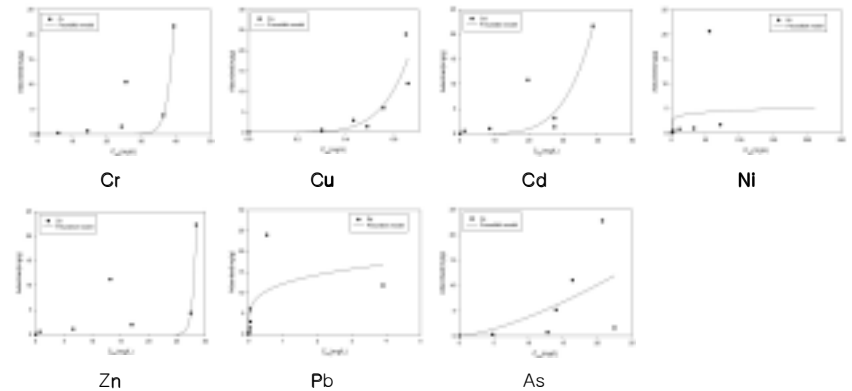


그림 IV-23. 굴폐각 Freundlich model fit

- 굴폐각 0.5g과 중금속 농도 10, 25, 50, 100, 200, 400mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 7, 25°C, 100rpm, 교반시간 6시간의 조건으로 평형흡착실험을 수행하였다.
- Freundlich 모델을 적용한 결과 흡착 분배계수는 Cu>Pb>Ni>As>Cd>Cr>Zn 순으로 나타났다.

로 높았으며 Ni>Pb 순으로 흡착경향이 강한 것으로 나타났다.

표 IV-9. 굴폐각 평형흡착 모델 값(Freundlich model fit)

|    | K(L/g)      | 1/n     | R2     |
|----|-------------|---------|--------|
| Cr | 2.2489E-034 | 21.9268 | 0.7085 |
| Cu | 217.5098    | 5.9167  | 0.7905 |
| Cd | 7.7657E-007 | 4.6870  | 0.7178 |
| Ni | 2.5141      | 0.1323  | 0.0543 |
| Zn | 1.1604E-068 | 47.6587 | 0.6738 |
| Pb | 12.1436     | 0.2354  | 0.4454 |
| As | 0.1398      | 1.4288  | 0.3171 |

◦ pH 변화에 따른 흡착 특성

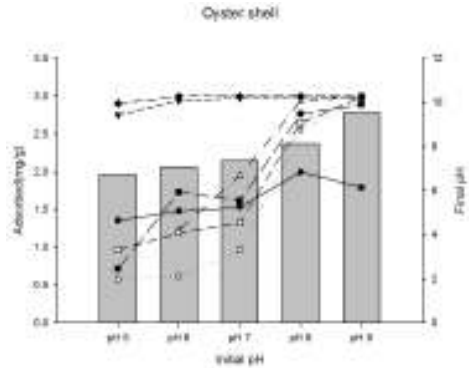


그림 IV-24. 굴폐각 pH 변화에 따른 흡착

- 굴폐각 0.5g, 중금속 농도 50mg/L의 혼합중금속 30ml를 pH 5~9사이로 각각 조절하여 교반시간 6시간의 조건으로 흡착실험을 수행한 결과 Cr을 제외한 다른 중금속 이온은 pH가 높아짐에 따라 흡착제거율도 높아지는 경향을 나타내었다.
- 하지만 해양환경의 조건이라 할 수 있는 pH 7 범위에서는 Pb, Cu를 제외한 중금속은 80% 이하의 흡착제거율을 나타내었다.

◦ 해수에서의 제거 특성

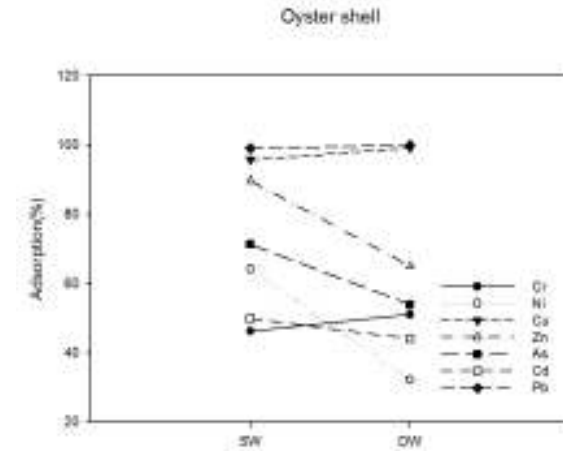


그림 IV-25. 해수와 증류수에서의 제거특성 비교

- 굴폐각 0.5g, 혼합중금속 농도가 50mg/L이 되도록 해수에 희석하여, 6시간의 조건으로 해수에서의 흡착실험을 수행하였다. 그 결과 Cr, Cu를 제외한 중금속의 흡착제거 경향은 증류수에서 보다 해수에서 더 높은 것으로 나타났다.

○ 천연광물 및 산업폐기물의 중금속 흡착성능결과

| 구분    | 소재    | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Cd | Pb |
|-------|-------|----|----|----|----|----|----|----|
| 천연광물  | 석회석   | △  | ×  | ◎  | ×  | △  | ×  | ◎  |
|       | 제올라이트 | ×  | ×  | ◎  | △  | △  | ×  | ◎  |
| 산업폐기물 | 적니    | ×  | ◎  | ◎  | ◎  | ○  | ◎  | ◎  |
|       | 굴폐각   | △  | ×  | ◎  | △  | △  | ×  | ◎  |

◎ : 매우우수(90% 이상), ○ : 우수(70-90%), △ : 보통(50-70%), × : 나쁨(50% 미만)

- 천연광물인 석회석, 제올라이트와 산업폐기물인 굴폐각, 적니를 이용한 반응성 피복 소재별 흡착성능을 평가한 결과하였다.
- 천연광물인 석회석과 제올라이트, 산업폐기물인 굴폐각은 Cu, Pb의 흡착제거에 우수한 편이지만 나머지 Cr, Ni, Zn, As, Cd의 흡착제거에는 70% 이하의 흡착제거능력을 나타내었다.

- 산업폐기물인 적니는 Ni, Cu, Zn, Cd, Pb에 매우 우수한 흡착제거능력을 나타냈고 As에 대해서는 70%이상의 흡착제거능력을 나타내어 다른 소재에 비해 상대적으로 높은 제거율을 나타내었다. 하지만 Cr의 흡착제거에는 큰 영향을 보이지 않아 향후 Cr의 흡착제거에 효율적인 소재의 개발 및 평가가 필요하다.

○ 천연광물 및 재활용 가능 산업부산물의 중금속 안정화성능결과

- 실험실 규모의 반응성 피복소재의 현장적용성 평가를 위하여 오염퇴적물을 채취, 실험에 사용하고자 하였으며 오염퇴적물은 인천광역시 동구 화수동에 위치한 인천북항에서 표층 약 10~30cm 깊이의 토양을 채취하였다. 습시료는 원소분석을 실시하고 건시료는 상온에서 풍건 후 체를 사용하여 이물질을 분리하여 실험 및 분석에 사용하였다. 인천북항 퇴적물의 물리화학적 특성은 아래와 같다.

인천북항 퇴적물의 물리화학적 특성

| Sediment | Values |
|----------|--------|
| pH       | 8.04   |
| Sand(%)  | 15.0   |
| Silt(%)  | 77.5   |
| Clay(%)  | 7.5    |
| C(%)     | 1.54   |
| N(%)     | 0.17   |

○ 해양퇴적물 내 중금속의 존재 형태

- 일반적으로 해양퇴적물은 90%가 silicate와 carbonate로 구성되어 있으며, 5%가 iron oxides, manganese oxides 그리고 5% 미만이 sulfides로 구성되어 있음
- 인천 북항에 퇴적물 시료의 중금속 존재 형태를 조사하였음.
- 실험에 사용된 방법은 1979년 A. Tessier에 의해서 Anal. Chem에 발표된 "Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals"에 근거하여 진행함. (표 IV-10)

표 IV-10. Extraction conditions used per gram of soil according to the fractionation scheme

|              |   |
|--------------|---|
| Exchangeable | 8ml 1M MgCl <sub>2</sub> (pH7), 1hr, room temperature, continuous agitation |
| Carbonate    | 8ml 1M NaOAc (pH5), 5hrs, room temperature, continuous agitation            |

|          |  |
|----------|--|
| Oxide    | 20ml 0.04M NH <sub>2</sub> OH · HCl in 25%HOAc, 5hrs, 96°C, some agitation   |
| Organic  | 3ml 0.02M HNO <sub>3</sub> and 2ml 30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (pH2), 2hrs, 85°C, some agitation; additional 3ml 30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 3hrs, 85°C, some agitation; 5ml 3.2M NH <sub>4</sub> OAc in 20% HNO <sub>3</sub> , 0.5h, room temperature, continuous agitation |
| Residual | 0.5ml conc. HNO <sub>3</sub> , 5ml HF and 2ml HCl, digestion in Teflon bomb, dissolution in 15% HCl  |
| Total    | Triple acid attack of 0.5ml conc. HNO <sub>3</sub> + 5ml HF + 2ml HCl, digestion in Teflon bomb, dissolution in 15% HCl  |

표 IV-11. 인천 북항 해양퇴적물 내의 중금속 존재 형태 (단위 PPM)

|    | Exchangeable | carbonate | Oxide | Organic | Residual | Total | 기준        |
|----|--------------|-----------|-------|---------|----------|-------|-----------|
| Cr | 1.2          | 1.3       | 6.9   | 4.2     | 19.6     | 33.2  | 80-370    |
| Ni | 0.5          | 1.4       | 2.7   | 2.6     | 8.3      | 15.5  | 23-52     |
| Cu | 0.8          | 0.6       | 4.5   | 60.7    | 18.6     | 85.2  | 24-108    |
| Zn | 1.5          | 6.6       | 97.9  | 18.6    | 25.2     | 149.8 | 200-410   |
| As | 2.6          | 1.3       | 2.6   | 0.2     | 31.1     | 37.8  | 9-41.6    |
| Cd | 0.1          | 0.0       | 0.4   | 0.0     | 0.3      | 0.7   | 0.68-4.21 |
| Pb | 0.3          | 4.2       | 22.9  | 8.1     | 14.9     | 50.4  | 50-220    |

- 표 IV-11는 인천 북항의 해양퇴적물의 중금속 추출 결과를 나타내었고, 각 시료의 원소별 함량 백분율을 그림 4-20에 나타내었음.
- 퇴적물에서 추출 가능한 총 Cu의 농도가 85.2 PPM, As의 농도는 37.8 PPM, Cd의 농도는 0.7 PPM, Pb는 50.4 PPM으로 기준 하한 허용치를 초과함으로 이러한 중금속이 용탈되어 수계로 지속적으로 유입될 가능성이 높을 것으로 사료됨.
- 그림 IV-26을 보면, Cr, Ni의 경우, 잔류상과 산화성 비율이 높으며 이는 광물 격자 내에 존재하여 이동도가 다른 금속에 비해 낮음을 의미함.
- Cu, As의 경우 비록 기준치를 초과하였지만, 상대적으로 이동도가 낮은 잔류상과 산화성 비율이 높게 나타남.
- 그러나 Cd, Pb의 경우는 기준치를 초과함과 동시에 상대적으로 다른 금속에

비해 이동도가 높은 형태로 존재하기 때문에 지속적으로 수계로 쉽게 유입될 가능성이 높아 각별한 주의가 필요함.

- 인천북항 퇴적물의 중금속 함량을 분석하였다. 분석방법은 Tessier 등(1979)이 제안한 연속추출법을 사용하여 중금속의 존재별 함량을 파악하고 각 중금속의 존재형태 총합을 함량을 산정하였다.
- 전체적으로 안정화 존재(광물형태+유기물형태) 비율은  $Cu > As > Cr > Ni > Pb > Cd > Zn$  순으로 나타났다.
- 인천북항의 퇴적물 분석결과 Cu, As의 오염도가 기준치를 초과하여 오염이 심각한 상태이며 Cr, Ni, Zn, Cd, Pb의 함량은 기준치를 미달하였다.

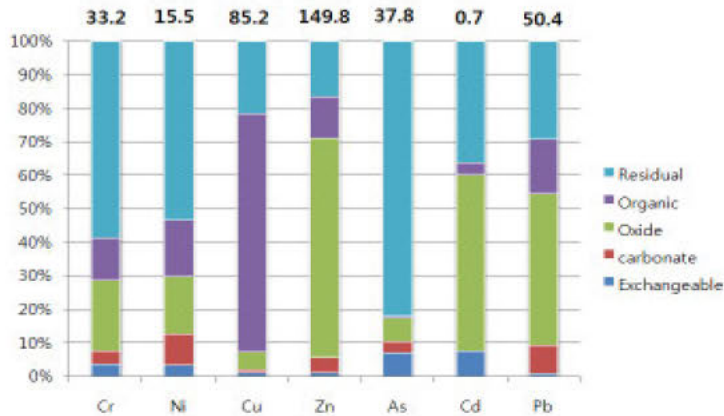


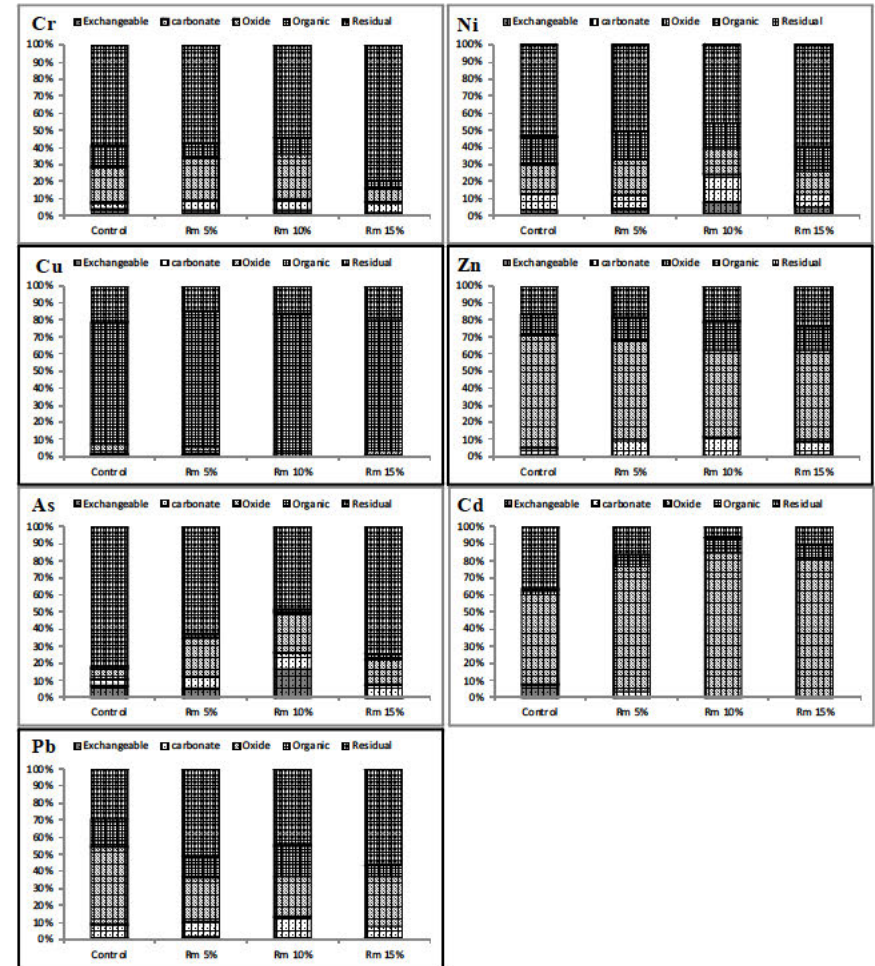
그림 IV-26. 인천 북항 해양퇴적물 내의 중금속 존재 형태 비율

○오염퇴적물의 중금속 존재형태 변화 평가

- 재활용 가능 산업부산물 2종(적니, 굴패각)과 천연광물 2종(제올라이트, 인회석)에 의한 오염 퇴적물 내 중금속 존재형태 변화를 평가하기 위하여 Tessier 등(1979)이 제안한 연속추출법을 수행하였음
- 안정화제의 첨가량 변화(5%, 10%, 15%)에 의한 중금속(Cr, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn, As) 안정화의 변화를 평가하였음

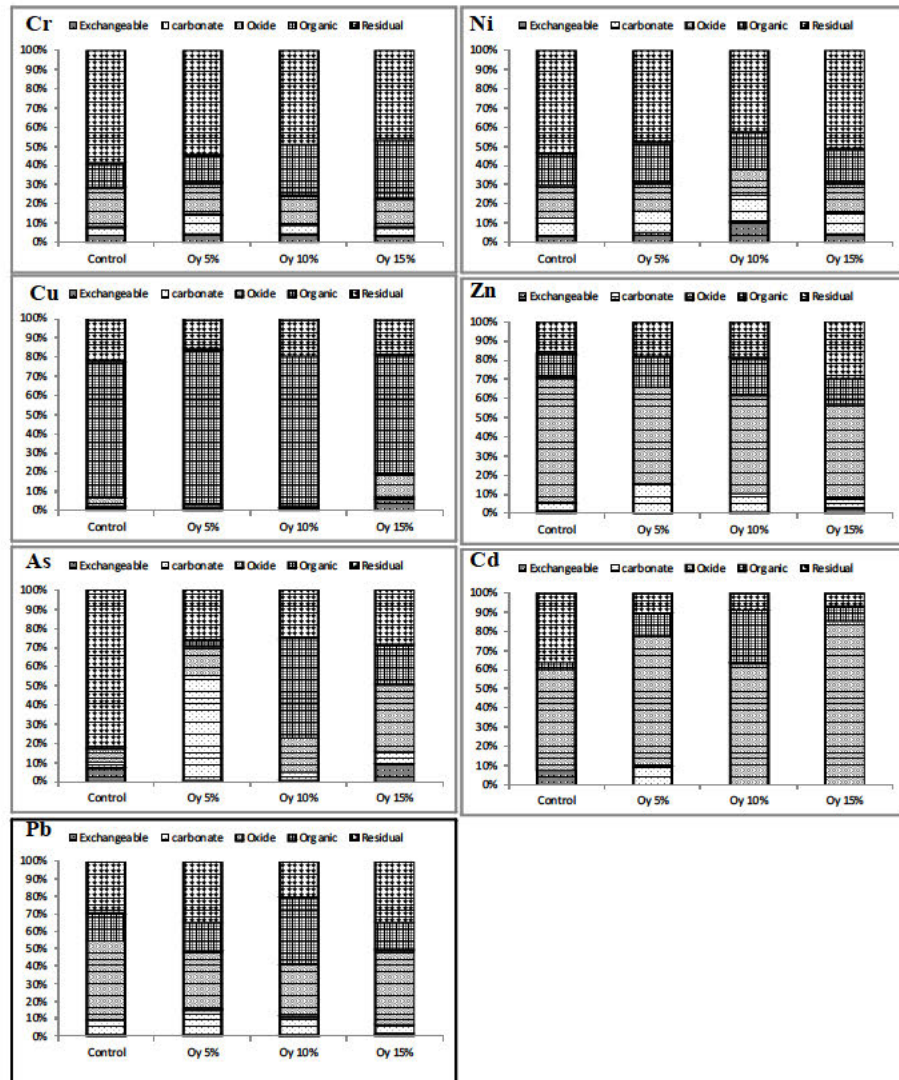
○재활용 가능 산업부산물

①적니(재활용 가능 산업부산물)



- 가장 안정한 광물 형태의 존재 변화는 Cr, Pb에서 높은 효율을 보임
- 첨가량 증가와 효율에서는 상관관계를 보이지 않음

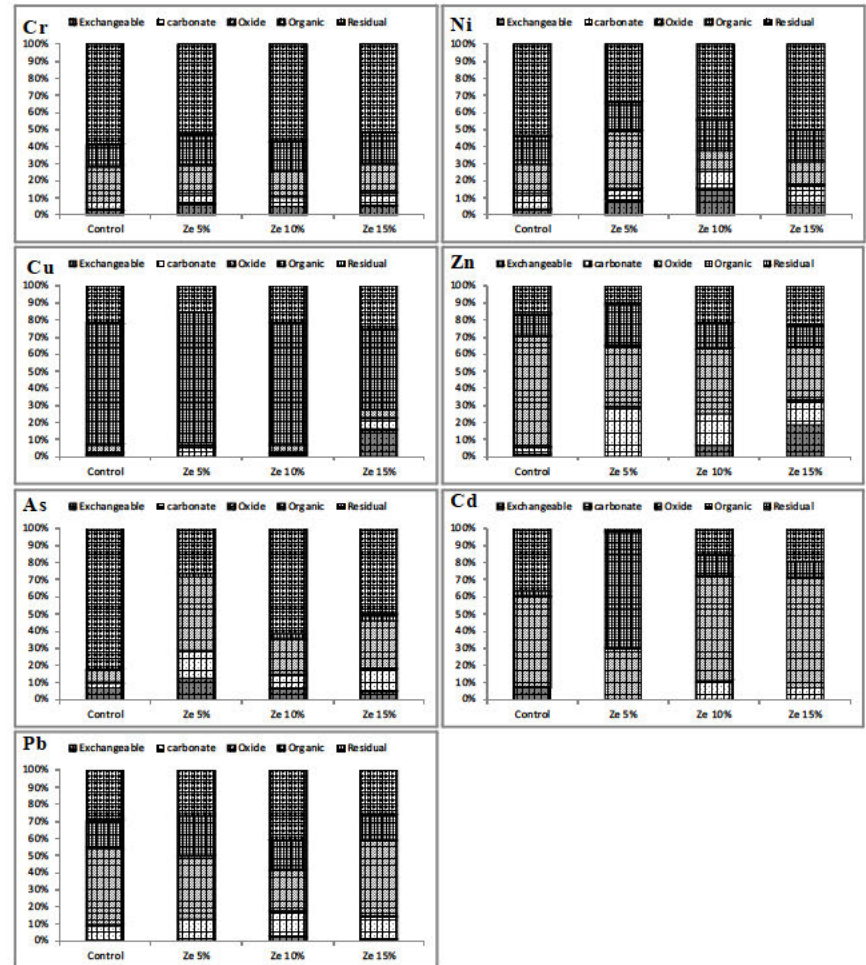
② 골패각



- 가장 안정한 광물 형태의 존재 변화는 Zn에서 높은 효율을 보임
- 첨가량 증가와 효율에서는 상관관계를 보이지 않음

○ 천연광물

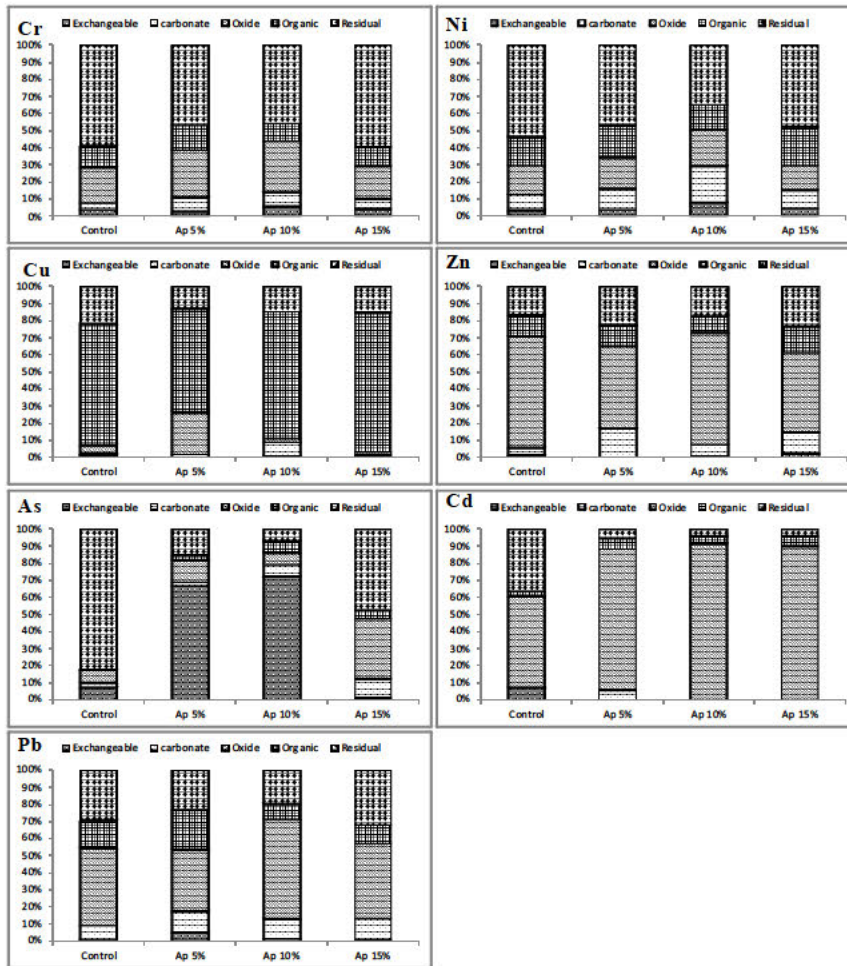
③ 제올라이트



- 가장 안정한 광물 형태의 존재 변화는 Zn에서 높은 효율을 보였다.
- 첨가량 증가와 효율에서는 상관관계를 보이지 않았다.



#### ④ 인회석



- 가장 안정한 광물 형태의 존재 변화는 Pb에서 높은 효율을 보였다.
- 첨가량 증가와 효율에서는 상관관계를 보이지 않았다.

#### ○ 피복소재별 안정화 성능 분석표

| TCLP 용출결과 |     | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Cd | Pb |
|-----------|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| 적 니       | 5%  | ○  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
|           | 10% | ○  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
|           | 15% | ○  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
| 제올라이트     | 5%  | ◎  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
|           | 10% | ◎  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
|           | 15% | ◎  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ○  |
| 석회석       | 5%  | ◎  | ◎  | ◎  | ○  | ◎  | ◎  | ○  |
|           | 10% | ◎  | ◎  | ○  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
|           | 15% | ◎  | ◎  | ○  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
| 골패각       | 5%  | ◎  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
|           | 10% | ◎  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |
|           | 15% | ◎  | ◎  | ◎  | ×  | ◎  | ◎  | ◎  |

◎: 매우 우수(90-100%), ○: 우수(70-90%), △: 보통(50-70%), ×: 나쁨(50% 미만)

- 안정화제로 사용한 적니, 제올라이트, 석회석, 골패각은 전체적인 중금속 용출을 감소 시켰다.
- 중금속 중 Zn에서는 모조 안정화제가 낮은 효율을 보였다.

○ 표면개질된 피복소재 3종의 인, 질소 용출차단 성능 시험

- 해양오염퇴적물 현장처리 기술 개발(V-6) 내용 참조(p.155-163)

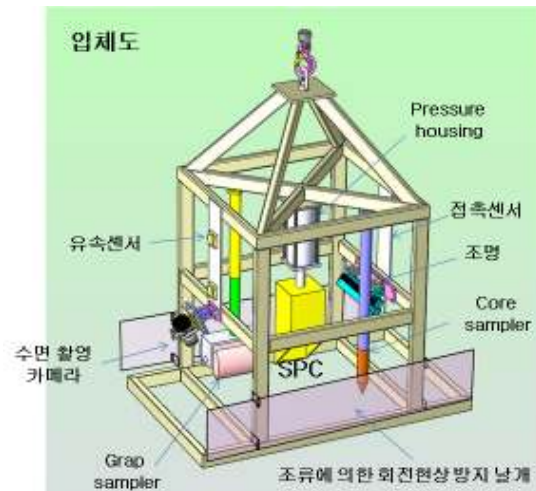
○ 제강슬래그를 활용한 인, 황화수소 용출차단 성능 시험

- 해양오염퇴적물 현장처리 기술 개발(V-7) 내용 참조(p.163-165)

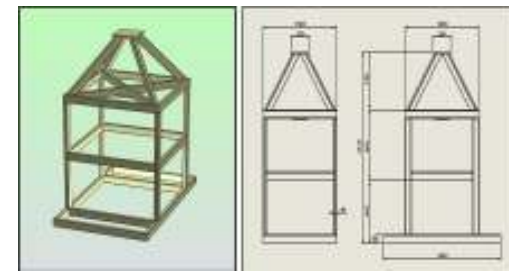
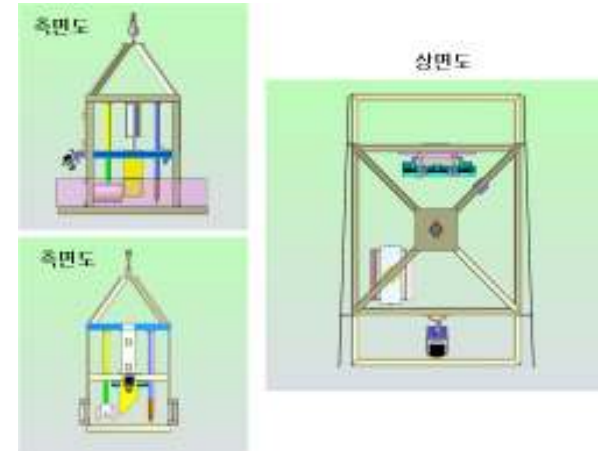
## 5. 오염지역 현장특이성 분석을 위한 지역환경 탐사기법 조사 및 분석

### ○ 해양오염퇴적물 모니터링 장비 개명설계<sup>36)</sup>

- 다음 그림은 앞서 언급한 지역환경탐사 장비 사례 조사결과에 따라 본 연구에서 제안하는 해양오염퇴적물 모니터링 장비의 구상도이고 주요 구성 부분은 수온, 용존산소, 포화도, 탁도, 염분, 전도도, 유속 등을 측정하는 접촉센서들, 수면의 현재 상태를 실시간으로 촬영하는 수면촬영 카메라, 퇴적물의 퇴적층을 실시간으로 촬영하는 SPC(Segment Profile Camera), 해저 표층의 퇴적물을 채취하는 Surface Grap Sampler와 Core Sampler, 배위에서 센서 데이터, 영상 데이터를 모니터링 가능하도록 하는 무선통신 모듈로 구성된다. 표면의 상태 영상은 수면촬영카메라, 해저표층 30cm 이하 퇴적층 영상은 SPC, 해저표층 50cm 이하의 퇴적물 채취는 surface grap sampler, 해저표층 1m 이하의 퇴적물 채취는 core sampler가 이용할 수 있어서 다양한 깊이의 해저표층의 오염도를 모니터링 가능하다.

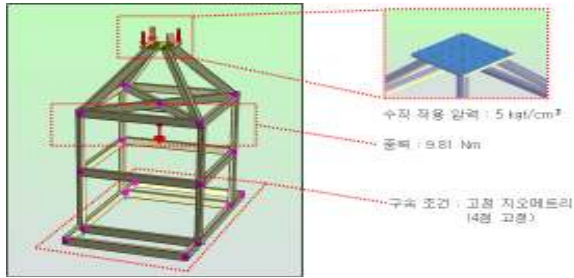


- 다음 그림은 사각 파이프를 이용한 장비설계의 모델링에 사용된 구조의 실제 치수를 나타낸다.

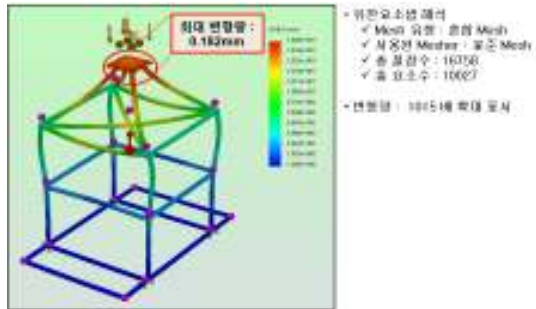


- 다음 그림은 구속조건과 하중조건을 나타낸다. 수직 작용 압력은 5 kgf/cm<sup>2</sup> 이고 중력 9.81 Nm이 작용하고 구속조건은 4점을 고정한 고정 지오메트리를 사용한다.
- 시험 조건 : 수중 50m 잠수시 받는 수직압력 5kgf/cm<sup>2</sup> 작용 가정
- Design/Analysis Program: Solidworks
- 해석 유형: 정적 해

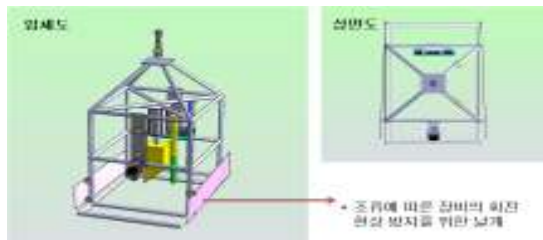
36) 특허출원: 해양 오염 퇴적물 모니터링 시스템, 유윤섭 등, 특허 출원 번호 10-2012-0019361, 2012



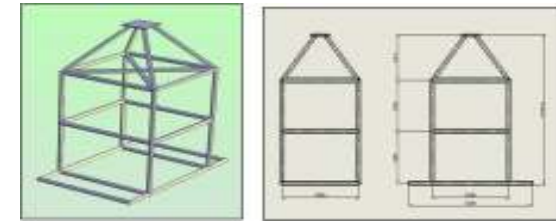
- 다음 그림은 유한요소법 해석한 결과와 프레임의 변형량을 해석한 결과를 나타낸다. 최대 변형량이 0.182 m으로 변형이 거의 발생하지 않으므로 수중 50m까지 사용이 가능함을 보인다.



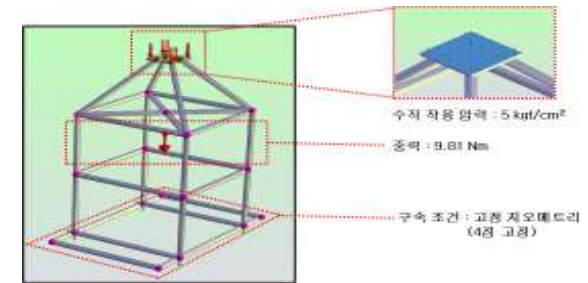
- 원형 파이프를 이용한 장비 설계도
- 다음 그림은 원형 파이프를 이용한 장비설계도면을 나타낸다.



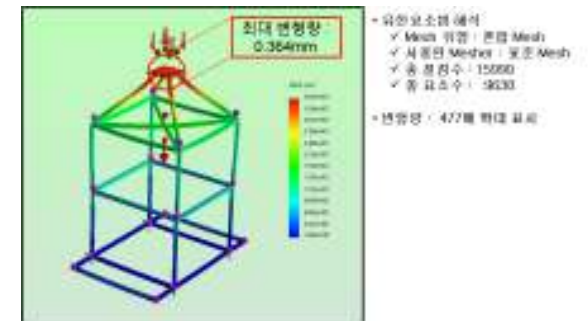
- 다음 그림은 원형 파이프를 이용한 장비설계의 모델링에 사용된 구조의 실제 치수를 나타낸다.



- 다음 그림은 원형 파이프를 이용한 장비설계의 구속조건과 하중조건을 나타낸다. 수직 작용 압력은 5 kgf/cm2이고 중력 9.81 Nm이 작용하고 구속조건은 4점을 고정한 고정 지오메트리를 사용한다.



- 다음 그림은 원형 파이프를 이용한 장비설계의 유한요소법 해석한 결과와 프레임의 변형량을 해석한 결과를 나타낸다. 최대 변형량이 0.364 m으로 변형이 거의 발생하지 않으므로 수중 50m까지 사용이 가능함을 보인다.



- 탐사기법 사례조사
  - 수중 환경인식용 소나/영상시스템 기술조사는 1970년대 후반에 출원이 시작되어

2000년대 접어들어 급속히 증가하는 모습을 보임

- 수중 소나 및 영상/소나 신호 처리 및 분석 기술에서는 소나 장치를 사용한 수중 추적 시스템과 빔의 형성이나 조정에 관한 특허가 핵심특허로 출원되었고, 소나 시스템의 오차분석 및 처리에 관한 논문이 주로 발표됨
- 수중3차원 소나/레이더 기술과 관련된 논문의 발행건수는 1990년대 초반부터 발행되기 시작하여, 1997년 이후부터 최근까지 약 15건 내외로 꾸준히 발생하고 있음

○ 초음파 탐사장비 현장적용(인천북항)

- 탄성파탐사 장비를 이용하여 해저층으로부터 반사되어 오는 음파를 디지털 신호로 처리한 결과 준설작업이 이루어진 북측과 퇴적층이 아직 남아 있는 남측의 저층을 확인할 수 있었다. 암석이나 퇴적물 내에서 음파 전달 속도를 비교해 보면 미고결 퇴적물에 비해 고결퇴적물에서 더 빠르게 나타난다. 그리고 포화된 퇴적물이 불포화된 퇴적물보다 음파 전달속도가 더 빠르다. 그림 3-35는 천부지층탐사기(sub-bottom profiler)를 이용하여 얻은 조사지역에서의 결과를 보여주고 있다. 그림 3-39의 A는 북측의 동서 단면에 대한 탐사 영상을 나타내고, B는 남측의 동서단면에 대한 영상을 나타내고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 북측에서는 준설사업이 완료되어 비교적 퇴적물이 없어 2, 3차 반향파를 나타내고 있으나 남측의 동쪽에서는 퇴적물이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 수심이 비교적 낮은 남동쪽의 지역에서는 퇴적물이 약 3m 내외로 존재하는 것을 알 수 있다. 반면 상대적으로 수심이 깊은 북측 지역에서는 표층에 세립질 퇴적물이 존재하고 표층 아래로는 고형층이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

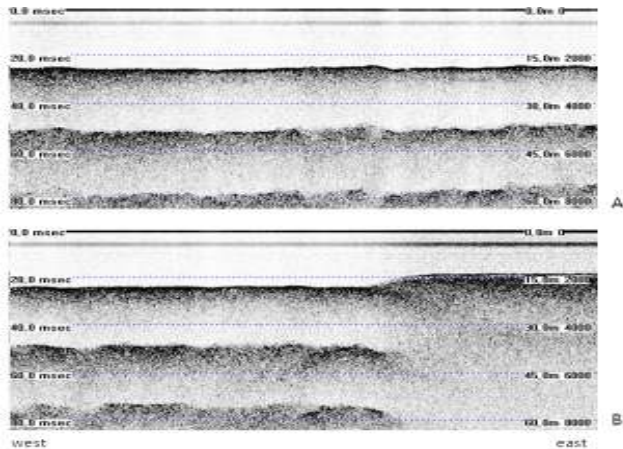
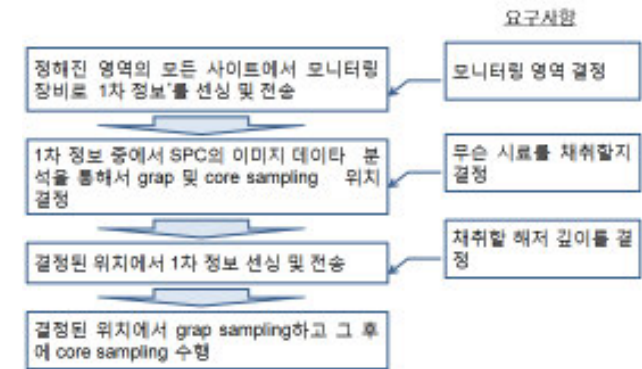


그림 IV-27. Sub-bottom profiles in the survey area (A: northern section, B : southern section)

6. 지형 탐사모니터링 장비 및 운영알고리즘 조사<sup>37)</sup>

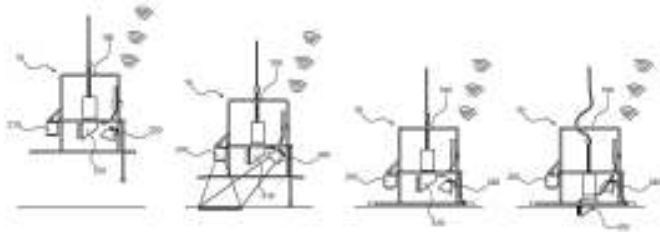
○ Sediment profile camera(SPC) 장비 운영 알고리즘 조사 및 제안

- 해양오염퇴적물 모니터링 장비의 운영은 다음 그림과 같은 순서도에 따라서 진행된다. 먼저, 해양오염퇴적물의 오염도를 모니터링할 영역을 결정 한 후에 그 정해진 영역의 모든 사이트에서 1차 정보를 감지하여 관리자에게 전송한다. 둘째, 1차정보 중에서 SPC 영상 분석을 통해서 좀 더 세밀한 정보를 얻기위한 시료채취 사이트를 결정한다. 셋째, 결정된 시료채취 사이트에서 다시 1차정보를 감지하고 그 후에 시료채취를 수행한다. 이러한 장비 운영 알고리즘을 이용하면 모니터링 시간을 줄이고 해양오염퇴적물의 오염도 정보를 깊이별(해저표층 ~ 최대 2 m)로 검출할 수 있다.



- 여기서 1차 정보는 다음 그림과 같이 퇴적물 샘플링 장치 중에서 SPC 촬영을 운영에 의해서 얻어진다. 먼저 모니터링 장비가 해저표면으로 내려가면서 실시간으로 수온, 용존산소, 포화도, 탁도, 염분, 전도도, 유속을 센싱한 데이터와 수면 및 수중의 현재 상태를 실시간으로 촬영한 영상 데이터를 관리자에게 무선(음향신호)으로 전송한다. 둘째, 수중촬영에 의한 해저표층의 상태를 모니터링에 의해서 모니터링 장비를 해저표면에 안전하게 안착한다. 셋째, SPC를 해저표층에 유압장비를 이용해서 침투시킨 후에 해저면 퇴적층 영상을 관리자에게 무선으로 전송한다.

37) 특허출원: 해양 오염 퇴적물 모니터링 시스템, 유윤섭 등, 특허 출원 번호 10-2012-0019361, 2012



◎ SPC의 이미지 분석 알고리즘 조사

- 이미지 분석 개발 환경 검토 및 조사
- OpenCV 등 컴퓨터비전의 상용 최적 개발 환경 활용 검토하고 The VSG IPA TOOLBOX 등 MATLAB의 무료 제공 개발 환경 구축한다. 또한, 연구자의 다년간 비전 검사 목적의 개발 모듈을 최적화하여 적용한다.
- SPC 이미지 분석 기존 알고리즘 정리 및 검토(논문/ 특허): SPI DB 구축
- SPC 이미지 분석 단계별 방법
- 먼저, 잡음 제거 전처리는 Low Pass Filtering, Histogram Equalization, Median Filtering, Gaussian Filtering을 수행한다. 둘째, Enhancement는 Minterm Filtering, Region Stretching을 수행한다. 셋째, Featuring extraction & Frequency Analysis는 color transform, LoG, Edge detection, FFT, Kalman Filtering을 수행한다. 넷째, Grouping은 Autocorrelation, feature oriented clustering을 수행한다. 마지막으로 퇴적물 및 그 크기를 검출하기 위해서 Region growing, Quad Tree Segmentation, Labeling, Morphological operation 등을 수행한다.



7. 해양오염퇴적물 채취 및 현장오염도 측정장비 및 운영기술 조사

○ 채취 및 측정장비 사례조사

- 현재 세계적으로 해양지반의 특성을 규명하기 위하여 사용하고 있는 방법은 단순 시추조사, 시료채취 및 지반조사장비의 운영 등이 있다. 표 IV-2은 시

추장비별 시추 깊이<sup>38)</sup>를 살펴보면 대체적으로 매우 깊은 수심에서도 가능하며, 코어형 시추기는 표층 0.1 ~ 6.0m 내외 까지 사용 가능하지만, 굴진형 시추기의 경우에는 원치 등의 부대장비가 지원된다면 아주 깊은 심도까지 시추가 가능하다. 우리나라의 경우, 현재까지는 별도의 해양 시추장비가 없으며, 대부분 해외 장비를 활용하고 있다.

표 IV-2. 시추장비의 성능 (일반적인 경우에 대한 데이터). \*의미는 원치와 각종 부대 장비에 의해서 결정.

| Equipment Description           | Maximum Water Depth [m] | Penetration [m] |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Drill mode borings from vessels | Unlimited*              | Unlimited*      |
| Rock corer (seabed unit)        | 200m                    | 2m ~ 6m         |
| PRODTM seabed drilling/coring   | 20m ~ 2,000m            | 2m ~ 100m       |
| Basic gravity corer             | Unlimited*              | 1m ~ 8m         |
| Piston corer                    | Unlimited*              | 3m ~ 30m        |
| Vibrocoring                     | 1,000m                  | 3m ~ 8m         |
| Box corer                       | Unlimited*              | 0.3m ~ 0.5m     |
| Seabed push-in sampler          | 250m                    | 1m ~ 2m         |
| Grab sampler (mechanical)       | Unlimited*              | 0.1m ~ 0.5m     |
| Grab sampler (hydraulic)        | 200m                    | 0.3m ~ 0.5m     |

◎ SPC의 이미지 분석방법 및 개발환경 조사

- SPC의 PARAMETER 및 관측범위 조사

| PHYSICO-CHEMICAL SPI PARAMETERS | Observation   |
|---------------------------------|---|
| Grain size                      | usually estimated visually; coarser sediments may be quantified through automated particle analysis |
| Prism penetration depth         | as a proxy for sediment fabric  |
| Mud clasts                      | number, size, oxidized or reduced   |
| Sediment surface relief         | must allow for image orientation/scale  |
| Redox area/depth                | ARPD  |
| Redox contrast                  | Relict redox boundaries   |
| Methane gas vesicles            | number, size, depth   |
| Hydrocarbons                    | H-spots (Diaz et al. 1993), or spectroscopically (Rhoads et al. 1997)                               |
| Site-specific observations      |   |
| Biological SPI Parameters       | Observation   |

38) 『해양지반조사분야 Geo-Mechatron cs 기술 조사』 활동 보고서, 한국해양연구원, 장인성, 2008. 11.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Epifauna                   | number, taxa   |
| Tube density               | number per linear centimetre   |
| Feeding voids              | epifaunal, infaunal, mixed, area   |
| Apparent species richness  |  |
| Successional stage         | I, II, or III defined in relation to the Pearson-Rosenberg model and that of Rhoads and Germano (1982) |
| Site-specific observations | particular fauna, bacterial mats, etc.   |

◎ SPC 영상을 통한 검출 주요 정보

- SPC 영상은 대개 해양퇴적물이 산화층을 포함하고 있는지를 검출(해양동물이 퇴적층의 환기시키고 있는 양), 산화된 해양퇴적물을 검출, burrow나 void를 강조하기 위한 해양퇴적물-물-표면(sediment-water-interface; SWI) 검출, 퇴적물의 알갱이 크기 검출한다.

8. 장기 오염도 모니터링 장비 및 운영 기술 조사

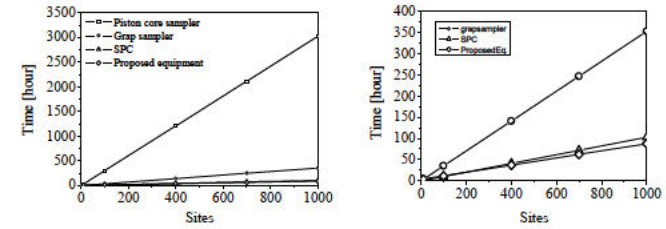
○ 복합 모니터링 장비 운영기술 조사

- 수심이 20m에서 해양오염퇴적물의 1회 시료채취 및 모니터링 시간을 장비별로 비교한 결과는 다음과 같다. 단, 각 처리시간은 대략적인 평균 시간을 사용한다. 1회 모니터링인 경우에 제안한 해양오염퇴적물 모니터링 장비의 모니터링 운영속도가 가장 오랜 시간이 걸림을 나타낸다.

| 시간            | Piston core sampler | grap sampler | SPC | Proposed equipments |
|---------------|---------------------|--------------|-----|---------------------|
| 준비시간          | 7200                | 600          | 300 | 7200                |
| 입수시간          | 5                   | 5            | 5   | 5                   |
| 시료채취/모니터링 시간  | 5                   | 5            | 5   | 15                  |
| 출수시간          | 60                  | 60           | 60  | 60                  |
| 출수 후 샘플링 분석시간 | 3600                | 600          | 0   | 3600                |
| 총 채취 시간       | 10870               | 1270         | 370 | 10880               |

- 제안한 모니터링 장비를 앞에서 설명한 장비 운영 알고리즘에 따라서 1회 침수에 1회 코어 채취, 1회 그랩 채취, 여러 사이트의 SPC 촬영에 의한 분석이 이루어진다. 여러 사이트를 모니터링 및 채취하는 경우에 시간을 비교한 결과는 다음 그림과 같다. 각 처리시간은 대략적인 평균 시간을 사용해서 정확한 예측 결과를 보이지는 않으나 대략적인 모니터링 운영 시간의 경향은 알 수 있다. 제안한 해양오염퇴적물 모니터링 장비가 사이트가 100개 이상이면

코어 채취기, 그랩 채취기, SPC보다 모니터링 시간을 단축함을 보인다.



- 해양오염퇴적물 모니터링 장비 구성에서의 주요 업무 및 국산화 가능범위 결정 (0~100%)
  - 해양오염퇴적물 모니터링 장비의 설계 기술 (100% 주관)
  - 해양오염퇴적물 모니터링 장비를 위한 개별 장비 및 부품들의 조립 기술 (기본 프레임 외주 제작 및 센서부분 조립설계)
  - 해양오염퇴적물 모니터링 장비의 운영 메커니즘(100%)
  - 개별 구성 요소 기술: SPC image processing 알고리즘 (80%, 개발 TOOL에 기반을 둔 자체개발)
  - 개별 구성 요소 기술: 센서 기술 ( 기존 센서 최적화 및 적용 기술 개발)

9. 넓은 지역에 대한 신속한 사전 예비탐사기술 확립

○ 신속 예비탐사기술 국외사례 조사 분석

- 넓은 지역에 대한 신속한 시료조사 방법의 대안으로 적용이 가능한 것이 지구물리학적 방법이다. 최근에는 하천이나 호소에서 오염퇴적물의 조사를 위해 음향, 전기, 자력 탐사 등의 방법이 시도된 바 있음
- 음향탐사법을 이용하여 오염퇴적물의 두께를 파악하거나, 오염도 분류, 그리고 오염물 흡착에 영향을 미치는 퇴적물의 밀도나 조성 등을 조사한 연구도 있음
- 자력탐사는 기존의 시료 채취에 의한 방법의 대안으로 평가받고 있고, 자력탐사법은 토양오염도 조사와 대기오염물질 분포 조사에 적용된 바 있음
- 이 후 오염된 토양의 대자율과 탄화수소, 중금속, 기타 연소와 관련된 오염물질의 존재와의 관계 및 자력 특성과 오염퇴적물의 두께 등이 밝혀지기도 함
- 캐나다의 온타리오 호 해밀턴 항에서 수행된 연구에서는 중금속의 농도와 자성 산화물의 농도가 밀접하게 관련되어 있는 것으로 나타남
- 자력탐사에 의한 퇴적층의 오염도는 퇴적물이 지속적으로 쌓여 있어도 파악할 수 있는 장점이 있고 홍콩에서도 이와 유사한 연구 결과가 보고된 바 있음

음

- 수심측정, 지층탐사, 자력탐사, 해저영상, 저층탐사 장비를 활용한 예비탐사기술 개발 (인천북항을 대상으로 시험적용 완료)
  - 현장조사 지역은 인천 북항, 만석부두 전면해상을 선택하였다. 최근에 항만 준설이 이루어진 곳으로서, 오염퇴적물의 존재 가능성이 높으므로 이 지역을 선정하여 수심, 지자기, 해저 영상, 저층탐사를 수행하였다. 해상에서의 위치는 DGPS(Trimble DSM132)에 의하여 파악하였다. 정확도는 1m 미만이다.

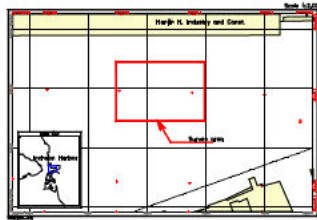


그림 IV-28. Site location of field survey

◎ 수심

- 조사지역에서의 수심은 DL(-) 7.9~14.3m 범위로 나타났다. 북측이 상대적으로 깊은 수심 14m 내외를 보였고, 동남동 방향으로는 수심이 8m 범위를 가지는 것으로 나타났다. 북측의 수심이 깊은 것은 선박운항의 안전성을 확보하고 원활한 항만기능을 지원하기 위하여 2009년 시행된 항로 증심준설사업의 결과이다(MMK, 2009).

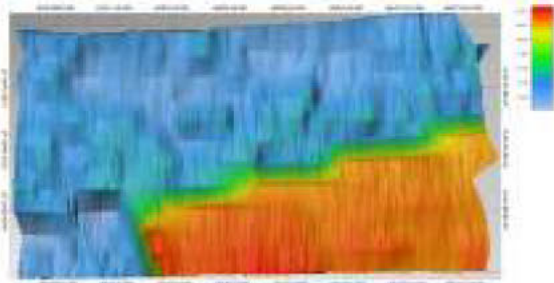


그림 IV-29. Distribution of sea water depth in the survey area

◎ 초음파 탐사장비를 활용한 지층탐사

- 탄성파탐사 장비를 이용하여 해저층으로부터 반사되어 오는 음파를 디지털 신호로 처리한 결과 준설작업이 이루어진 북측과 퇴적층이 아직 남아 있는

남측의 저층을 확인할 수 있었다. 암석이나 퇴적물 내에서 음파 전달 속도를 비교해 보면 미고결 퇴적물에 비해 고결퇴적물에서 더 빠르게 나타난다. 그리고 포화된 퇴적물이 불포화된 퇴적물보다 음파 전달속도가 더 빠르다. 그림 IV-27은 천부지층탐사기(sub-bottom profiler)를 이용하여 얻은 조사지역에서의 결과를 보여주고 있다. 그림 IV-27의 A는 북측의 동서 단면에 대한 탐사 영상을 나타내고, B는 남측의 동서단면에 대한 영상을 나타내고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 북측에서는 준설사업이 완료되어 비교적 퇴적물이 없어 2, 3차 반향파를 나타내고 있으나 남측의 동쪽에서는 퇴적물이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 수심이 비교적 낮은 남동쪽의 지역에서는 퇴적물이 약 3m 내외로 존재하는 것을 알 수 있다. 반면 상대적으로 수심이 깊은 북측 지역에서는 표층에 세립질 퇴적물이 존재하고 표층 아래로는 고형층이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

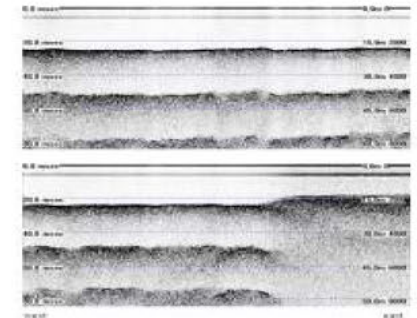


그림 IV-30. Sub-bottom profiles in the survey area (A: northern section, B : southern section)

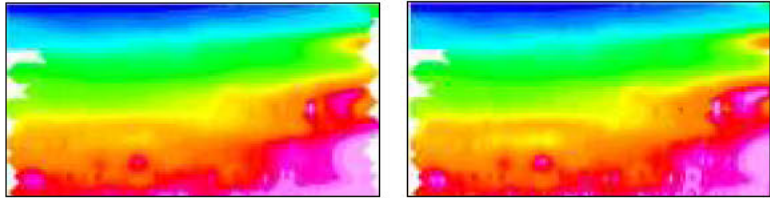
◎ 자력탐사

- 걸보기 대자율은 퇴적층의 실제 대자율에 대한 정성적 지표로서 이용되어야 한다.

걸보기 대자율을 추정하기 위한 자료처리 과정은 다음과 같다.

1. 일 보정
2. 위치보정
3. 극치 또는 outlier 제거
4. 격자망 구성 - 최소곡률 알고리즘
5. 수심 보정
6. 자극화 변환

7. 자성물질에 의한 자장 영향의 제거



a) 전자기장의 분포      b) Downward continuation 필터링 후 대자율 분포

그림 IV-31. Oasis montaji™를 이용한 자력값의 해석 결과(인천북항)

◎ 해저영상

- 사이드스캔소나(Sidescan Sonar)를 이용하여 얻어진 자료는 모자이크 영상구성과 후처리과정을 통해 조사 지역에 대한 영상도로 작성된다. 영상기록으로 로프의 존재와 앵커에 의한 바닥 교란 등이 확인되었다. 그 외에 저층에서의 특이한 상태는 파악되지 않았다. 영상자료는 그림 3-34에 보이는 바와 같다.

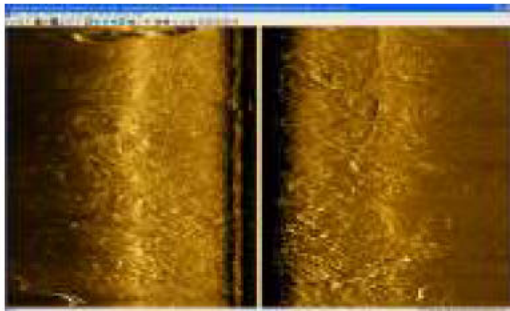


그림 IV-32. Ropes shown in sidescan sonar images in the survey area

10. 정화사업 유형별 퇴적물 재부유 및 오염물질 용출특성 조사

- 3개 해역의 부영양 오염해역 퇴적물 특성조사 완료
  - 2004년부터 2011년까지 25개 해역을 대상으로 한 국토해양부(구 해양수산부)의 퇴적물 오염현황 조사 결과 활용.(해양수산부, 2007; 국토해양부, 2011)
  - 조사 해역 중 퇴적물이 부영양화 물질에 의해 오염되어 있고, 향후 3년간 해양오염퇴적물 정화·복원 사업이 추진되지 않을 3개 해역을 분석 대상으로 함.
  - 해당 해역의 부영양화 관련 퇴적물 평균 오염도는 다음 표와 같음.

표 IV-12. 부영양 오염해역 퇴적물 평균 오염도

| 구분    | 단위   | 가    | 나   | 다   |
|-------|------|------|-----|-----|
| 강열감량  | %    | 11.2 | 6.9 | 7.3 |
| COD   | mg/g | 20   | 27  | 16  |
| AVS   | mg/g | 1.8  | 0.6 | 1.5 |
| TOC   | mg/g | 23   | 34  | 17  |
| TN    | mg/g | 2    | 1   | 2   |
| CIET* | -    | 6    | 6   | 5   |

\*부영양화 정화지수 (Clean-up Index, Eutrophication)

- “가” 해역 및 퇴적물 특성
  - 내만에 위치한 무역항으로 해상 교통과 물류의 중심 해역임.
  - 수심: 2-13 m (어항 지역은 2-5 m, 준설 지역은 9-13 m)
  - 과거 준설로 인해 불규칙한 지형 분포를 나타내며, 퇴적물 입도 특성에 의해 해저면의 요철이 심함.
  - 퇴적물은 검은 색으로 역상의 옹기 또는 매우 부드러운 입자로 구성되어 있음.
- “나” 해역 및 퇴적물 특성
  - 연안에 위치한 다목적 해역으로 어업과 수산물 유통, 화물 운송이 활발함.
  - 수심: 2-12 m (어항 지역 2-5 m, 준설지역 5-12 m)
  - 과거 준설로 인해 불규칙한 지형 분포를 나타냄.
  - 퇴적물은 암회색 또는 갈색을 띄며, 다음 표와 같이 모래의 함량이 높고, 하부로 갈수록 큰 입자(모래+자갈)의 비율이 늘어남.

표 IV-3. “나” 해역 퇴적물이 입도 구성

| 구분   | 자갈(gravel)% | 모래(sand)% | 미사질(silt)% | 점토질(clay)% |
|------|-------------|-----------|------------|------------|
| 평균   | 7.5         | 70.3      | 14.7       | 7.4        |
| 표준편차 | 17.8        | 25.7      | 12.5       | 12.0       |

- “다” 해역 퇴적물 특성



- 무역항으로 해상 교통의 중심 해역임.
- 수심: 3-12 m
- 빠른 유속으로 인해 해저면의 굴곡과 요철이 심하지 않음.
- 퇴적물은 암회색이며, 미사질과 모래가 대부분을 차지함.
- 연안지역을 비롯하여 수심이 얕은 지역이 상당 수준 존재함. 따라서 피복 만으로는 전체 오염 해역을 정확히 평가할 수 없고, 준설 및 현장처리가 일정 부분 이상 적용되어야 할 것으로 사료됨.
- 퇴적물 평균 오염도가 유사한 경우에도 퇴적물 입도 구성이 상이하게 나타남. 퇴적물의 입도 분포는 부영양 물질을 포함한 오염 물질의 함유량, 용출 정도, 투수 계수, 골재로서의 활용 가능성 등에 영향을 미치므로, 해양오염 퇴적물 정화기술 적용 지역 및 기술 선정 시 이에 대한 면밀한 검토가 필요함.

○ pH, DO, 온도에 따른 퇴적물내 오염물질 용출특성

표 IV-4. pH, 온도, DO가 인산염 용출속도에 미치는 영향에 대한 ANOVA 분석

| Fit tests                |                |                   |                    |                     |                     |
|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Source                   | Sum of Squares | Degree of Freedom | Mean Square        | F-Value             | p-value<br>Prob > F |
| Mean vs Total            | 0.99           | 1                 | 0.99               | -                   | -                   |
| Linear vs Mean           | 1.64           | 3                 | 0.55               | 3.03                | 0.0930              |
| 2FI vs Linear            | 0.72           | 3                 | 0.24               | 1.68                | 0.2846              |
| Quadratic vs 2FI         | 0.37           | 1                 | 0.37               | 4.19                | 0.1102              |
| Cubic vs Quadratic       | 0.32           | 3                 | 0.11               | 3.57                | 0.3668              |
| Residual                 | 0.03           | 1                 | 0.03               | -                   | -                   |
| Total                    | 4.08           | 12                | 0.34               | -                   | -                   |
| Model summary statistics |                |                   |                    |                     |                     |
| Source                   | Std. Dev.      | R-squared         | Adjusted R-squared | Predicted R-squared | PRESS               |
| Linear                   | 0.42           | 0.5322            | 0.3568             | -0.0956             | 3.38                |
| 2FI                      | 0.38           | 0.7673            | 0.4880             | -0.4360             | 4.43                |
| Quadratic                | 0.30           | 0.8863            | 0.6872             | -0.1309             | 3.49                |
| Cubic                    | 0.17           | 0.9903            | 0.8931             | -1.0987             | 6.47                |

- 일반적으로 인의 용출은 생물학적, 또는 비생물학적 요인에 의해 영향을 받으나, (조우정 등, 2011) 본 연구에서는 해수 내 chloroform 주입으로 미생물 활동이 배제되었으므로, pH, 온도, DO의 변화가 비생물학적 요인으로서 인 용출에 영향을 미치는 것을 확인함

11. 질소, 인, 중금속 성분의 제거능이 우수한 미세조류 선별

- N,P의 제거능력을 가진 21종의 미세조류 선별
- 해양오염퇴적물의 정화작용 능력을 가진 미세조류 및 부영양화에 영향을 미치는 N과 P의 제거가 가능한 미세조류 종을 기존 선행연구에 대한 분석을 통하여 탐색하였다. 따라서 기 확보된 미세조류 균종들에 대한 정보자료를 수집하고 분석결과를 토대로 질소, 인, 중금속 성분의 제거능이 있는 미세조류 선별하였다 (표 IV-15, 16).

표 IV-15. N과 P 제거가 가능한 미세조류 균주

| 중금속 오염 정화능력을 가진 미세조류  |   |
|---|---|
| - <i>Chlamydomonas reinhardtii</i><br>: Cd, Hg, Pb              | - <i>Nannochloris oculata</i><br>: Cr                               |
| - <i>Chlorella sorokiniana</i><br>: Cr, Ni, Pb, Zn              | - <i>Phaeodactylum tricornutum</i><br>: Al, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn      |
| - <i>Chlorella vulgaris</i><br>: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn | - <i>Porphyridium purpureum</i><br>: Al, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn |
| - <i>Chlorella miniata</i><br>: Cu, Ni                          | - <i>Scenedesmus abundans</i><br>: Cd                               |
| - <i>Cyclotella cryptica</i><br>: Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, U         | - <i>Scenedesmus quadricauda</i><br>: Cu, Ni, Zn                    |
| - <i>Heterosigma akashiwo</i><br>: Cd, Pb                       | - <i>Spirulina platensis</i><br>: Cd, Cr, Cu                        |
| - <i>Lyngbya taylorii</i><br>: Cd, Cu, Ni, Pb, Zn               | - <i>Ulothrix cylindricum</i><br>: As                               |

○ 중금속 제거능력을 가진 14종의 미세조류 선별

표 IV-16. 중금속 제거가 가능한 미세조류 균주

| N, P 제거능력을 가진 미세조류                 |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| - <i>Anabaena doliolum</i>         | - <i>Palmellopsis gelatinosa</i>   |
| - <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> | - <i>Phormidium sp.</i>            |
| - <i>Chlorella vulgaris</i>        | - <i>Selenastrum capricornutum</i> |
| - <i>Chlorella sorokiniana</i>     | - <i>Scenedesmus bijugatus</i>     |
| - <i>Chlorella kesslerii</i>       | - <i>Scenedesmus intermedius</i>   |
| - <i>Chlorella emersonii</i>       | - <i>Scenedesmus quadricauda</i>   |
| - <i>Chlorosarcinopsis sp.</i>     | - <i>Scenedesmus bicellularis</i>  |
| - <i>Dunaliella salina</i>         | - <i>Scenedesmus obliquus</i>      |
| - <i>Euglena sp.</i>               | - <i>Scenedesmus acutus</i>        |
| - <i>Macrochloris sp.</i>          | - <i>Spirulina maxima</i>          |
| - <i>Nannochloris sp.</i>          |                                    |

○ 4종의 미세조류 중금속 흡착 실험 실시

◎ 중금속 독성에 대한 미세조류의 생존능력

○ 중금속이 함유되지 않은 조건에서의 세포수를 1000으로 정하여 기준으로 정하고 중금속의 농도를 100ppm까지 점차 증가시켜 실험해보았다. 이때, 중금속 용액에서 활성상태의 미세조류의 세포수를 haemato cytometer로 측정하였다. 중금속 용액에서 세포 수는 처음에 비해 감소하나 일정 농도 이상의 중금속에서는 *Chlamydomonas reinhardtii*를 제외하고 완만하게 감소하였다 (그림 IV-33).

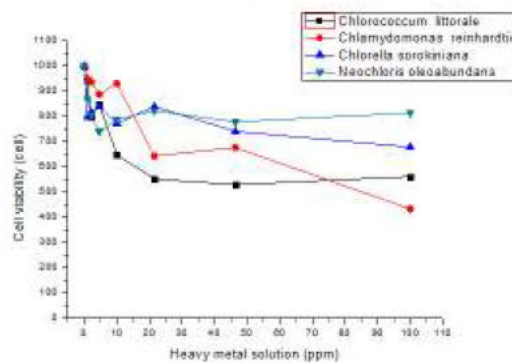


그림 IV-33. 미세조류의 중금속 독성에서의 생존능력

◎ 미세조류에 의한 중금속 흡착

○ 중금속 흡착능의 측정은 다음과 같이 실행하였다 (그림 IV-34). 먼저 K2Cr207, CdSO4, CuSO4, ZnSO4 등의 성분을 함유하는 인위적인 중금속용액을 제작하였고, 중금속 stock용액을 희석하여 1ppm에서 100ppm까지 여러 (6단계) 농도의 중금속 용액을 만들었고 이를 미세조류 세포와 혼합하여 일정한 온도(23℃)와 pH 6에서 흡착반응을 일으켰다.

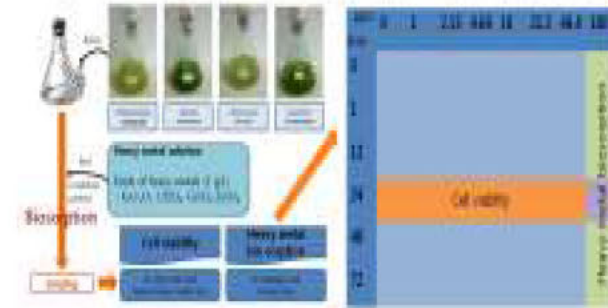
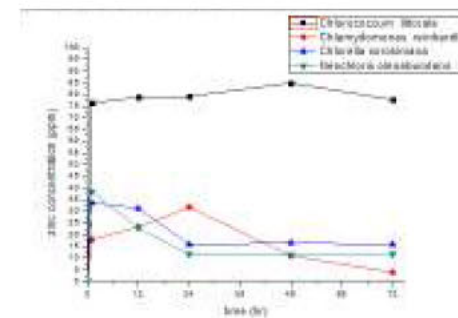


그림 IV-34. 중금속 제거능의 측정 방법

○ 시간과 농도에 따라 측정하여 최종적으로 분석된 결과, 중금속의 종류에 따라 흡착율이 달랐으며 농도에 따라 미세조류의 중금속 독성에 대한 내성에 의해서 흡착율이 낮아지거나 탈착율이 증대되기 하였고, Zn용액을 이용한 중금속 제거 실험을 통해 *Chlorococcum littorale* 이 가장 높은 흡착율(79.4 mg/L)을 보이는 것으로 나타났다 (그림 IV-35).



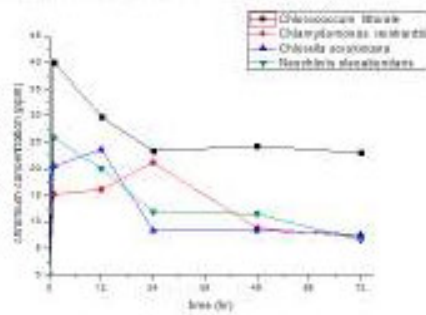


그림 IV-35. 미세조류에 의한 중금속(Zn, Cr)의 흡착 곡선

## 12. 해양퇴적 영양분을 이용한 미세조류의 고농도 세포배양법 선정

○ 4종의 미세조류 고농도 세포배양 실험 및 배양조건의 확립

- 다음의 균주들은 *Chlorococcum littorale*를 제외하고 TAP 배지를 사용하였으며 *Chlorococcum littorale*는 ASW와 MC(KNO<sub>3</sub>) 배지를 1:1로 섞어 배지로 사용하였다. 미세조류의 광배양은 삼각 플라스크와 광배양 incubator를 이용하였고, 배양 조건으로는 23°C, 175 rpm으로 광량 45 uE/m<sup>2</sup>/s에서 배양하였다.
- *Chlorella sorokiniana*는 1.4 g/l까지 배양하였고 *Chlamydomonas reinhardtii*는 1.33 g/l, *Chlorococcum littorale*은 1.15 g/l 그리고 *Neochloris oleoabundans*는 1.32 g/l까지 고농도로 배양한 후 1 g/l 로 희석하여 중금속 제거를 위한 초기조건을 동일하게 설정하였다. 고농도 세포 배양은 각 균주별로 모두 세포농도를 OD660가 3.0 이상 도달할 때까지 고농도로 배양하였다.

표 IV-17. TAP(Tris Acetate Phosphate) 배지 조성

| Stock solution                                 | Volume | Component  | Concentration in stock solution | Concentration in final media |
|--|--------|--|---------------------------------|------------------------------|
| tris base                                      | 2.42 g | H <sub>2</sub> NC(CH <sub>2</sub> OH) <sub>3</sub> |                                 | 2.00 · 10 <sup>-2</sup> M    |
|  |        | NH <sub>4</sub> Cl                                 | 15 g/l                          | 7.00 · 10 <sup>-3</sup> M    |
| TAP slats                                      | 25ml   | MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O              | 4 g/l                           | 8.30 · 10 <sup>-4</sup> M    |
|  |        | CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O              | 2 g/l                           | 4.50 · 10 <sup>-4</sup> M    |
| Phosphate solution                             | 1ml    | K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>                    | 28.8 g/100ml                    | 1.65 · 10 <sup>-3</sup> M    |
|  |        | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                    | 14.4 g/100ml                    | 1.05 · 10 <sup>-3</sup> M    |
|  |        | NaEDTA · 2H <sub>2</sub> O                         | 5.00 g/100ml                    | 1.34 · 10 <sup>-4</sup> M    |
|  |        | ZNSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O              | 2.20 g/100ml                    | 1.36 · 10 <sup>-4</sup> M    |
|  |        | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                     | 1.14 g/100ml                    | 1.84 · 10 <sup>-4</sup> M    |
|  |        | MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O              | 0.50 g/100ml                    | 4.00 · 10 <sup>-5</sup> M    |
| Trace elements solution(Hutner trace elements) | 1ml    | FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O              | 0.50 g/100ml                    | 3.29 · 10 <sup>-5</sup> M    |
|  |        | CoCl <sub>2</sub> · 5H <sub>2</sub> O              | 0.16 g/100ml                    | 1.23 · 10 <sup>-5</sup> M    |
|  |        | CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O              | 0.16 g/100ml                    | 1.00 · 10 <sup>-5</sup> M    |
|  |        | (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MoO <sub>3</sub>   | 0.11 g/100ml                    | 4.44 · 10 <sup>-6</sup> M    |
| Acetic acid                                    | 1ml    | CH <sub>3</sub> COOH                               |                                 |                              |

표 IV-18. MC media 조성

| Solution                              | Concentration | Concentration in final media |
|---------------------------------------|---------------|------------------------------|
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>       | 1 25          | 1 25 g / 500ml               |
| KNO <sub>3</sub>                      | 1 25          | 1 25 g / 500ml               |
| MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O | 1 25          | 1 25 g / 500ml               |
| A5 solution                           |               | 1ml / 500ml                  |
| Fe solution                           |               | 1ml / 500ml                  |

표 IV-19. ASW(Artificial Sea Water media) 배지 조성

| a. Dry component                      |               |                                 |                              |
|---------------------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|
| Mineral Salt                          | Concentration | Concentration in stock solution | Concentration in final media |
| NaCl                                  | 400 mM        |                                 | 23.38 g/l                    |
| MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O | 20 mM         |                                 | 4.93 g/l                     |
| CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O | 10 mM         |                                 | 1.1 g/l                      |
| KBr                                   | 1.7 mM        |                                 | 0.12 g/l                     |
| KCl                                   | 10 mM         |                                 | 0.74 g/l                     |
| MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O | 20 mM         |                                 | 4.06 g/l                     |
| b. Wet component                      |               |                                 |                              |
| Solution                              | Concentration | Concentration in stock solution | Concentration in final media |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>        | 0.2 mM        | 12.36 g/l                       | 1 ml                         |
| NaNO <sub>3</sub>                     | 0.88 mM       | 75 g/l                          | 1 ml                         |
| Vitamin Mix                           | stock*        |                                 | 0.5 ml                       |
| TRIZMA                                | 5%, pH7.8     | 50 g/l                          | 5 ml                         |

\*stock of vitamin solution : Vitamin B12(1.0 g/l) 1ml/l, Biotin(0.1 g/l) 10ml/l, Thiamine HCl 0.2 g/l

## 13. 저분자 유기오염물, 중금속 성분의 제거능이 우수한 해양 미생물 균주 선별 및 해양퇴적 영양분을 이용한 미생물의 배양

○ 중금속 및 유기오염물 제거능이 우수한 해양 미생물 선별

- 중금속에 대해서 *Enterobacter cloacae* [KCTC1685, KCTC2361], *Desulfovibrio desulfuricans* [KCTC5768], PCBs에 대해서 *Dehalococcoides ethenogenes* [ATCC BAA-2100] 그리고 PAHs에 대해서 *Pseudomonas stutzeri* [ATCC 14405], *Vibrio cyclotrophicus* [ATCC 700982]을 선별함.
- 당해연도 연구에서는 중금속에 대한 것 *Enterobacter cloacae*, *Desulfovibrio desulfuricans*을 가지고 연구하였음.
- 위에서 언급한 균주 및 해양퇴적물 상에서의 조건은 절대 혐기성 조건이기 때문에 혐기성 균주 배양 조건을 구비함.



◦ 두 가지 배지 조건으로 실험을 하였음. 하나는 영양배지이며 다른 하나는 인공바닷물을 제조하여 pH 5 (약산성), pH 7 (중성), pH 9 (약알칼리성)로 변화시키면서 두 미생물의 성장곡선을 측정하였음.

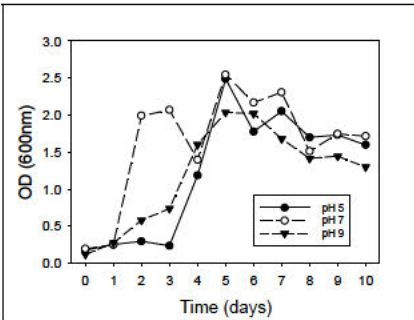


그림 IV-36. 영양배지에서 다른 pH에서의 *Enterobacter cloacae*의 성장곡선

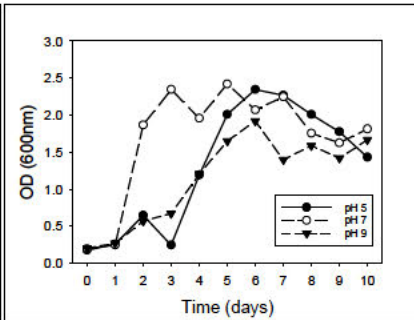


그림 IV-37. 인공바닷물에서 다른 pH에서의 *Enterobacter cloacae*의 성장곡선

◦ 대체적으로 영양배지와 인공바닷물에서 모두 *Enterobacter cloacae*은 잘 성장하는 것을 볼 수 있으며, pH 7에서 빠른 적응에 접종 하루 만에 급격한 성장을 하는 경향을 보이고 있으나 pH 5, pH 9에서는 접종 후 3일정도가 지난 후에 급격한 성장을 함. 모두는 급격한 성장 후 2틀 정도 후에 정지상태의 경향을 보이기 시작함.

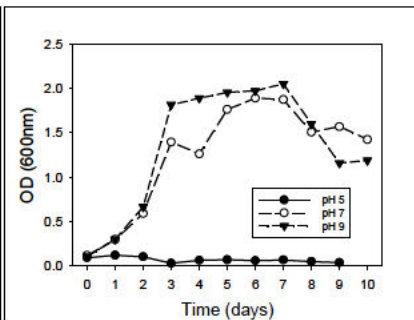
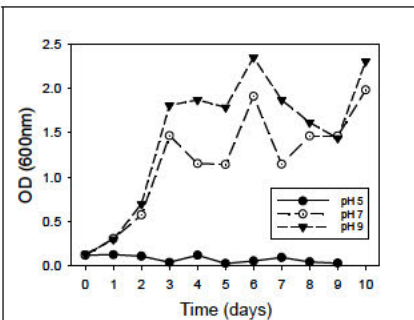


그림 IV-38. 인공바닷물에서 다른 pH에서의 *Desulfovibrio desulfuricans*의 성장곡선

그림 IV-39. 인공바닷물에서 다른 pH에서의 *Desulfovibrio desulfuricans*의 성장곡선

◦ pH 7과 pH 9에서 대체적으로 영양배지와 인공바닷물에서 모두 *Desulfovibrio desulfuricans*은 잘 성장하는 것을 볼 수 있으나, pH 5에서 접종 후 9일이 지나도 성장하지 않는 특성을 보임. pH 7과 pH 9에서는 접종 후 이틀이 지난 후부터 급격한 성장을 하다가 4-5일이 지난 후부터 정지 상태의 특성을 보임.

○ 중금속에 대한 해양미생물의 내성

- 해양오염물에서 처리하고자 하는 대상 중금속으로 총 8개를 선정하였음. 용해상태에서 양전하를 띠고 있는 Ni, Cu, Zn, Pb, Hg, Cd 그리고 용해된 상태에서 산소와 결합한 음이온을 형성하여 최종적으로 음전하를 띠거나 전하를 띠지 않으므로 정전기적 결합을 통한 제거를 기대할 수 없는 Cr, As 임.
- 해양미생물을 이용한 중금속 처리에 앞서 먼저 선별된 해양미생물이 선정된 중금속에 대해 내성을 가지고 있는지 검사를 할 필요가 있음.
- 아래 그림 IV-38은 *Enterobacter cloacae*의 8개의 중금속에 대한 내성을 나타냄.
- 실험에 사용된 중금속의 농도는 8개 각각에 대해서 50 PPM임.

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

그림 IV-40. *Enterobacter cloacae*의 중금속에 대한 내성

그림 IV-41. *Desulfovibrio desulfuricans*의 중금속에 대한 내성

- 위의 그림에서 보는 바와 같이 8개의 중금속에 대해서 대체적으로 좋은 내성을 가지고 있음을 볼 수 있으나, Cu의 경우 접종 후 4일 후부터 서서히 성장이 떨어지는 경향을 보이고 있음.
- 아래 그림 IV-40은 *Desulfovibrio desulfuricans*의 8개의 중금속에 대한 내

성을 나타냄.

- 실험에 사용된 중금속의 농도는 8개 각각에 대해서 50 PPM임.
- 위의 그림에서 보는 바와 같이 8개의 중금속에 대해서 대체적으로 좋은 내성을 가지고 있음을 볼 수 있으나, Cu의 경우 미생물의 OD가 다른 금속에 비해 다소 떨어지는 경향을 보이고 있음.
- 실험결과를 이용하여 2종의 우수한 중금속 제거능을 가지는 미생물 균주를 선별함.

#### 14. 중금속 흡착에 관련된 세포표면 기능기의 생흡착 기작 및 생체 내 축적을 통한 중금속 제거기작 특성 파악 및 안정화 성능 시험

- 생흡착을 통한 중금속 안정화 기작 분석 및 실험 결과
- 중금속의 생물학적 처리기법은 매우 경제적이고 효율적이며, 환경에 적응이 용이하여 이를 오염지역에 직접 도입함으로써, 보다 효율적이고 환경 친화적으로 오염물질의 경감을 기할 수 있음.
- 생물흡착 과정은 음이온으로 하전된 미생물의 표면 특성을 이용하여 미생물을 흡착공정의 흡착제로 사용 가능한 방법으로서 다당류, 단백질 및 지방질로 구성된 미생물 세포벽의 음전하 작용기(카르복실기, 인산기, 수산기 등)가 용해상태에서 양전하를 띠는 Ni, Cd, Cu, Pb, Zn 등의 중금속을 흡착할 수 있음.
- 일반적으로 As, Cr 등의 몇 가지 금속은 용해된 상태에서 산소와 결합한 음이온을 형성하여 최종적으로 음전하를 띠거나 전하를 띠지 않으므로 정전기적 결합을 통한 제거를 기대할 수 없는 것으로 알려져 있음.

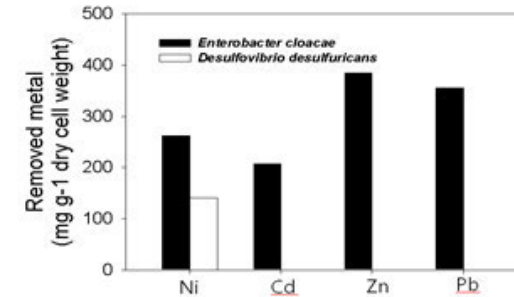
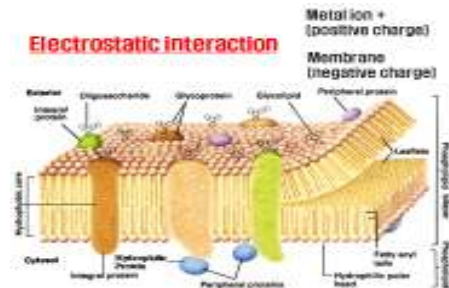


그림 IV-42. 생물흡착을 통한 중금속 안정화 모식도 및 실험 결과

- 황환원 미생물의 중금속 안정화 기작 분석 및 실험 결과

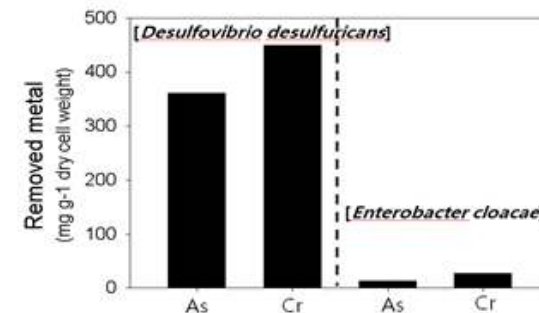
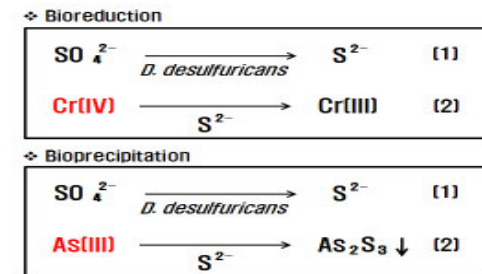


그림 IV-43. 황환원 미생물을 통한 중금속 안정화 모식도 및 실험 결과

- 황환원 미생물에 의해서 sulfate(SO42-)가 sulfide(S2-)로 환원되고 hydrogen sulfide를 형성하고 그 sulfide에 의해서 금속이 환원되어 비용해성 metal sulfide를 생성하여 침전시켜서 제거되거나 독성이 경감됨.
- Cr(IV)는 독성이 매우 강하나, 그것이 전자를 받아서 환원되면 Cr(III)로 변

하게 되고 이것은 독성이 매우 낮고 침전물을 쉽게 형성함.

- 이동도가 상대적으로 높고 독성이 강한 비소 As(III)는 미생물학적으로 금속 화합물로 만들어 지질매체에 고정화하는 효과로 제거함.
- 그 밖에 에너지를 이용하여 능동적으로 금속을 체내에 전달시켜 무기금속화 합물 동화과정을 거치면서 금속을 체내에 축적하는 것을 생물축적 과정을 통해서 제거되기도 함.
- 실험결과로부터 두 종류의 미생물이 각각 다른 형태의 중금속 안정화 기작에 의해 상보적인 안정화 성능을 보이는 것을 확인함(아래 표 참고)

| 구분                                 | Cr | As | Ni | Cd | Zn | Pb |
|------------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| <i>Enterobacter cloacae</i>        | ×  | ×  | ◎  | ○  | ◎  | ◎  |
| <i>Desulfotribriodesulfuricans</i> | ◎  | ◎  | △  | ×  | ×  | ×  |

※ 중금속 안정화 성능

◎: 매우 우수(250mg 이상), ○: 우수(250mg - 200mg), △: 보통(200mg-100mg), ×: 나쁨(100mg 미만) / Dry cell weight (g)

### 15. ArcGIS내 오염퇴적물 분포 및 자료관리를 위한 모듈 설계

#### ○오염퇴적물 분포도 작성을 위한 5가지 속성 요인 도출

##### ◎ GIS를 이용한 오염퇴적물 분석 모듈 설계의 필요성

- GIS는 위치정보와 속성정보를 동시에 가질수 있으며 공간상의 방대한 자료를 신속하고 정확하게 공간적으로 분석할 수 있음
- 공간정보에 대한 수정과 갱신이 용이하고 다양한 시각화가 가능한 장점이 있음
- GIS를 이용한 공간적 분석 및 이를 지도화 하는 연구는 대기, 지하수 관련 분야에서 활발하며, 토양 및 해양퇴적물에 대한 부분은 오염자료 등 GIS 기초자료의 데이터가 부족하고 다양한 변수의 문제로 인하여 미흡함
- 대부분의 오염측정 자료는 공간적으로 독립된 위치와 속성을 가지고 있지만 해양환경에서는 조류의 이동 및 기후, 주변환경의 영향 등에 의하여 그속성 값의 변화가 클것으로 예상됨

#### ① 공간추정방법

- GIS에서 가능한 오염도 평가를 위한 분포도 작성을 위해서는 미측정 지점의 오염도 수준을 추정하여야 하며 다음과 같은 공간 보간법을 적용함

#### ○ 거리반비례평균법

- 가장 일반적인 보간법 중 하나로 IDW법은 인접한 기지점들과 미지점까지의 거리에 따라 비선형적인 가중치를 계산하여 사용함

#### ○ 크리깅 보간법

- Kriging 보간법은 IDW법과 마찬가지로 주변 관측값을 이용하여 미지점의 값을 추정하는 방법임

#### ② 오염퇴적물질

- 오염퇴적물의 분포도를 작성하기 위해서 대상지역의 시료채취 정점을 선정 좌표화 하여야 하며 선정지점별로 중금속, 유기물, 유기오염물질의 농도를 분석 정량화 함

#### ③ 퇴적물의 지질특성

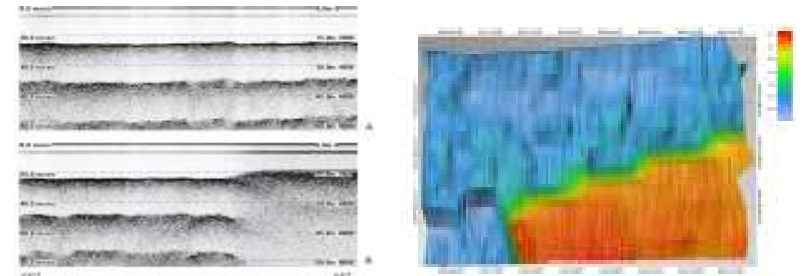
- 조류변화 및 기후변화에 따른 퇴적물의 이동도 및 오염도와와의 상관성을 예측 하기 위하여 퇴적물의 입도 및 기본적 특성을 정량화 함

#### ④ 기후 및 조류변화자료

- 해당지역의 기후 및 조류변화를 예측 판단하기 위하여 최소 10년 빈도의 기후 및 조류변화 자료를 정량화 함

#### ⑤ 해저지형자료

- 오염퇴적물의 분포특성 및 이동도 등의 영향을 분석하기 위하여 해저지형 및 수심을 정량화 함



#### ○ 오염퇴적물 분포 및 자료관리 체계 구축

- GIS를 이용한 공간분석기능은 여러 가지로 분류될 수 있으나 공간 계획적 관점에서의 공간분석은 대부분 도형정보와 속성정보의 연계하에서 이뤄짐
- GIS에서 수행되는 이러한 통합된 공간분석기능이 CAD나 데이터베이스 관리 시스템에서 제공되는 분석기능과 구별되는 점은 도형정보와 속성정보가 연계 됨으로써 다양한 분석이 가능함

- GIS를 활용한 오염퇴적물 분포도 작성을 위한 공간자료 입력과정을 간단하게 표현하면 다음과 같음
  - GIS내에 수치데이터베이스를 구축하기 위하여 DXF파일 형식으로 변환 후 ArcGIS에서 레이어 별로 저장함
  - 자료에 위상관계를 주어 공간자료들의 위치와 형상에 관한 관계구조를 부여한 후에 약간의 보정 후 분석을 위한 공간데이터베이스를 구축함
  - TM좌표 값을 이용하여 ArcGIS상의 공간자료의 기준좌표계를 설정함
  - 속성자료의 입력은 이미 구축된 공간자료에 속성값 등을 추가함



그림 IV-44. GIS 시스템의 세부구성 및 정보연계

## V. 해양오염퇴적물 현장처리 기술 개발(한경대/해양대/RIST)

### 1. 해양오염퇴적물의 부영양화 유발 특성 기존 자료 분석

- 25개 해역을 대상으로 부영양화 오염현황 분석
  - 2004년부터 2011년까지 25개 해역을 대상으로 한 국토해양부(구 해양수산부)의 퇴적물 오염현황 조사 결과 활용 (p.60~62 참조).
- 3개 특정해역의 부영양오염 일반 특성 분석
  - 조사 해역 중 퇴적물이 부영양화 물질에 의해 오염되어 있고, 향후 3년간 해양오염퇴적물 정화·복원 사업이 추진되지 않을 3개 해역을 분석 대상으로 함.
  - 해당 해역의 부영양화 관련 퇴적물 평균 오염도는 다음 표와 같음.

표 V-1. 부영양 오염해역 퇴적물 평균 오염도

| 구분    | 단위   | 가    | 나   | 다   |
|-------|------|------|-----|-----|
| 강열강량  | %    | 11.2 | 6.9 | 7.3 |
| COD   | mg/g | 20   | 27  | 16  |
| AVS   | mg/g | 1.8  | 0.6 | 1.5 |
| TOC   | mg/g | 23   | 34  | 17  |
| TN    | mg/g | 2    | 1   | 2   |
| CIET* | -    | 6    | 6   | 5   |

\*부영양화 정화지수 (Clean-up Index, Eutrophication)

- “가” 해역 및 퇴적물 특성
  - 내만에 위치한 무역항으로 해상 교통과 물류의 중심 해역임.
  - 수심: 2-13 m (어항 지역은 2-5 m, 준설 지역은 9-13 m)
  - 과거 준설로 인해 불규칙한 지형 분포를 나타내며, 퇴적물 입도 특성에 의해 해저면의 요철이 심함.
  - 퇴적물은 검은 색으로 액상의 오니 또는 매우 부드러운 입자로 구성되어 있음.
- “나” 해역 및 퇴적물 특성
  - 연안에 위치한 다목적 해역으로 어업과 수산물 유통, 화물 운송이 활발함.
  - 수심: 2-12 m (어항 지역 2-5 m, 준설지역 5-12 m)
  - 과거 준설로 인해 불규칙한 지형 분포를 나타냄.
  - 퇴적물은 암회색 또는 갈색을 띠며, 다음 표와 같이 모래의 함량이 높고, 하부로 갈수록 큰 입자(모래+자갈)의 비율이 늘어남.

표 V-2. “나” 해역 퇴적물 입도 구성

| 구분   | 자갈(gravel)% | 모래(sand)% | 미사질(silt)% | 점토질(clay)% |
|------|-------------|-----------|------------|------------|
| 평균   | 7.5         | 70.3      | 14.7       | 7.4        |
| 표준편차 | 17.8        | 25.7      | 12.5       | 12.0       |

○ “다” 해역 퇴적물 특성

- 무역항으로 해상 교통의 중심 해역임.
- 수심: 3-12 m
- 빠른 유속으로 인해 해저면의 굴곡과 요철이 심하지 않음.
- 퇴적물은 암회색이며, 미사질과 모래가 대부분을 차지함.
- 연안지역을 비롯하여 수심이 얕은 지역이 상당 수준 존재함. 따라서 피복 만으로는 전체 오염 해역을 정화할 수 없고, 준설 및 현장처리가 일정 부분 이상 적용되어야 할 것으로 사료됨.
- 퇴적물 평균 오염도가 유사한 경우에도 퇴적물 입도 구성이 상이하게 나타남. 퇴적물의 입도 분포는 부영양 물질을 포함한 오염 물질의 함유량, 용출 정도, 투수 계수, 골재로서의 활용 가능성 등에 영향을 미치므로, 해양오염 퇴적물 정화기술 적용 지역 및 기술 선정 시 이에 대한 면밀한 검토가 필요함.

2. 해양오염퇴적물의 부영양화 유발 특성 현장조사

○ 인천북항을 대상으로 한 인 용출 특성 조사

- 퇴적물 및 해수는 서해 연안(인천 북항)에서 채취하였으며, 퇴적물은 간조 시 표층 10 cm 이내, 해수는 만조 시 해수면 50 cm 이내에서 채취함.
- 해양환경공정시험기준에 따라 분석된 퇴적물과 해수의 특성은 다음 표와 같음.
- 퇴적물 내 강열감량, COD, AVS로부터 도출된 부영양화 정화지수(CIET)는 7로 해당 해역은 정화복원 대상 구역으로 설정이 가능한 지역으로 판단됨.
- 부영양 물질인 인의 퇴적물 내 함량은 1.57 mg P/g 임.
- 퇴적물 내 인의 존재형태는 수중 생태계에서 인의 농도를 결정하는데 매우 중요한 요인이며, Williams et al. (1976)이 제안한 방법에 따라 본 퇴적물을 분석한 결과 R-P > A-P > Ads-P > NA1-P의 순으로 인이 분포하고 있는 것으로 파악됨.
- A-P: 미립자의 표면에 흡착된 인(adsorbed P: Ads-P)
- NA1-P: 철이나 알루미늄 등과 착물을 이룬 인(nonapatite inorganic P)
- A-P: 인회석과 같은 광물에 포함된 인(apatite P)

- R-P: 유기인 (residual P)

- 본 연구에 사용된 해수의 총인 농도는 해역별 수질기준의 III 등급에 해당되어 부영양 우심 해역임을 확인.(국토해양부, 2008)

표 V-3. 부영양 우심 해역에서 채취한 퇴적물 및 해수 특성 분석

| 퇴적물     |              |                  |                  |              |            |          |            |            |  |
|---------|--------------|------------------|------------------|--------------|------------|----------|------------|------------|--|
| 함수율 (%) | 강열감량 (% 건중량) | CODMn (mg/g 건중량) | A V S (mg/g 건중량) | 인 (mg/g 건중량) |            |          |            |            |  |
|         |              |                  |                  | T-P          | Ads-P      | NA1-P    | A-P        | R-P        |  |
| 50.72   | 10.20        | 33.4             | 0.53             | 1.57 (100%)  | 0.19 (12%) | 0.9 (6%) | 0.63 (40%) | 0.66 (42%) |  |
| 해수      |              |                  |                  |              |            |          |            |            |  |
| pH      | T-P (mg/L)   | PO4 (mg/L)       | T-N (mg/L)       | CODMn (mg/L) |            |          |            |            |  |
| 8.12    | 0.08         | 0.02             | 0.71             | 1.1          |            |          |            |            |  |

- 해수와 퇴적물 간의 부영양 물질 이동 조사를 위해서는 계절 및 기타 요인에 의한 온도, pH, DO 등의 환경 인자 변동을 고려해야 함.
- 해당 연안 해역의 수질 관련 통계자료(국가해양환경통합정보시스템, 1997~2011)에 따르면 평균 pH는 7.4~8.4이며, 온도는 2, 5, 8, 11월 각각 평균 3, 14, 24, 16°C이고, DO는 평균 최소 5.3 mg/L, 최대 12.7mg/L 임.
- pH 증가 (7.0→9.0), 온도 증가 (10 → 20°C), DO 감소 (7 → 0.7 mg/L)는 각각 인산염 평형 용출 농도를 2-3 배 증가시킴.
- 환경 조건이 해수-퇴적물간 부영양 물질에 미치는 영향 수식화
- 수리학적 흐름의 영향을 배제한 상태에서 pH, DO, 온도가 해수와 퇴적물간의 부영양 물질 이동에 미치는 영향을 회분식 실험을 통해 고찰함.
  - 퇴적물 대 해수 비율 = 1:4 (w/v)
  - pH: 7~9
  - 온도: 10~20°C
  - DO: 0.7~7 mg/L
  - 교반: 200 rpm
  - Chloroform 주입 (생물학적 요인 배제)



그림 V-1. 회분식 실험 장치



### 3. 해양오염퇴적물 내 부영양 물질 처리공정 및 기술 조사

#### ○ 입자분리, 퇴적물 처리, 공정수 처리 및 탈수 등 주요 단위기술 검토

##### ① 입자분리

- 입자분리는 일반적으로 스크린, 사이클론, 자력선별 등 물리적인 방법을 이용하여 입자의 크기에 따라 선별할 수 있음.
- 입자분리 공정들은 습식으로 진행되기 때문에 오염된 공정수가 발생하며, 후속처리가 반드시 필요함.

##### ② 퇴적물 처리

- 세척(washing)공정은 난분해성 유기물 및 중금속으로 오염된 퇴적물을 처리할 수 있는 방법으로서 처리시간이 짧고 오염물질의 제거효율이 좋음.
  - 세척공정은 퇴적물의 입경이 작을수록 처리효율이 감소함.
  - 세척 시 첨가되는 세척제의 특성에 따라 대상물질, 제거효율 다름.
- 부상(flotation)은 장치가 간단하여 공간을 줄일 수 있는 장점과, 미세기포를 이용하여 미세입자(silt 및 clay)에 대해서도 분리능이 있음.
- Bubble 생성량은 압력에 비례하지 않는 특징을 가지고 있고, Flotation은 단독공정보다는 H2O2와 같은 산화제와 복합적으로 사용할 시 TPH와 같은 난분해성 물질에 대한 제거효율이 증가함.
- 산화(oxidation)공정은 펜톤 및 오존 등의 강력한 산화력을 바탕으로 난분해성 유기물질을 빠른 시간에 제거 가능 하지만, 과량의 슬러지발생 이라는 문제점을 가지고 있음.
- 최근 연구되고 있는 동전기법은 입자사이가 작은 clay성 토양에서 효율이 증가하고 전압 2.5 mA일 때 styrene의 제거율이 37.2%에서 1.0% H2O2 주입 시 53.2%의 제거율을 나타내는 등 복합공정에서 제거율이 상승하는 것으로 나타나고 있지만, 현재까지는 유류 및 중금속으로 오염된 토양처리에 시도되고 있음.

##### ③ 공정수 처리

- 공정수는 오염퇴적물 처리 시 입자분리, 세척, 탈수 등 공정 전반에 걸쳐 발생 예상되는 폐수로 토양세척 및 토양수세공정의 폐수처리 방법을 포함하여 유사기술을 검토하였음.
- 처리방법은 물리화학적 처리와 생물학적 처리로 크게 구분할 수 있으며, 실증화 이상의 대규모 육상 토양처리시설의 경우 배출되는 폐수를 인근 폐수처리시설과 연계하거나 전처리를 조합하여 생물학적 처리방법을 적용하는 사례가 많음.
  - 물리 화학적 처리방법으로는 응집 침전, 막 여과, 흡착, 이온교환법, 전기

화학법 등이 연구됨.

- 가압부상법은 유입농도에 영향을 받지 않고 안정적인 처리효율을 유지. 온도에 영향을 거의 받지 않으며 짧은 체류시간으로 안정화가 가능하며, 침전조가 필요 없음.
- 막 여과법을 사용할 경우 해수의 염으로 인해 유발될 수 있는 문제점들과 막힘현상을 고려하여야 함.
- 흡착처리법은 오염물질들에 포함된 부유성 고형물, 유기물, 실리카 물질 등에 의해 흡착제 표면이 막힐 수 있고, 유량이 많은 상태에서는 오염물질의 흡착효과를 감소시킴.
- 전기응집/산화 공법은 다양한 종류의 유기물과 합성오염물질이 포함된 폐수 처리에 적용. 기존의 물리화학적 처리방법에 비하여 간단. 저온조작, 빠른 반응속도, 고가 또는 유해한 산화제가 불필요한 장점이 있음. 소형화가 가능함. 또한 해수를 전해질로 사용할 수 있을 것으로 사료되나 검증이 필요함.

##### ④ 탈수

- 입자분리 단계, 퇴적물처리 단계 및 공정수처리 단계에서 배출되는 분리된 입자, 처리된 퇴적물, 공정 슬러지는 높은 함수량을 가지고 있어 2차오염 유발 우려가 있으며, 유효활용이나 최종처분을 위한 이송 등 후속적인 프로세스를 위하여 탈수과정이 필연적으로 요구됨.
  - 토양/퇴적물 정화 공정에 사용되는 퇴적물 탈수방법을 중심으로 살펴본 결과, 원심분리기, Filter Press, Belt Press를 주로 이용하는 것으로 조사됨.
  - 탈수보조제 주입장치를 포함한 진공벨트필터(Vacuum Belt Filter)를 이용하여 미세토(<0.075 mm 이하) 탈수 시도.
  - 원심분리장치를 이용하여 0.02~1 mm를 포함한 슬러지를 함수율 44%로 탈수하였고 Filter Press를 이용하여 농축된 슬러지를 탈수하여 처리.
  - Biogenesis는 원심분리를 이용하여 정화된 오염토양을 탈수.
  - METHA Plant에서는 Filter Press와 Belt Press를 이용하여 미세토를 처리함. METHA Plant에서 Silt의 처리를 위해 Screen Belt Press를 이용하여 48%의 함수율로 처리.

#### ○ 국내외 오염퇴적물 정화처리 주요사례 6가지 비교 분석

##### ◎ 국내 사례(3가지)

- 중금속으로 오염된 토양을 처리하기 위해 pilot 규모의 토양세척설비를 구축하여 시간당 3 ton의 토양을 사이클론으로 입자분리 후 세척공정을 이용하여 처리하였으며, 세척공정에서 발생된 폐수는 3가 철로 개질된 활성탄을 이용하여 처리 후 탈수하여 처리함. 유류와 중금속으로 오염된 토양을 연속 입자선별을 거친 후 미세기포반응조에서 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 및 NaOH를 첨가하여 유류 및 중금속

을 제거하고, 세척공정에서 발생된 폐수는 약품반응조, 침전조, 농축조로 구성된 폐수처리공정으로 유입되어 처리함. TPH는 약 90%, As의 경우 88%의 제거효율을 보임. 어장정화시험사업으로 전기분해/침전반응을 이용하여 오염된 퇴적물을 처리. 드럼스크린과 자력선별기, 원심분리기를 이용하여 중금속 및 자갈, 모래 등을 분리하고, 미세부유물질 및 폐수처리는 전기반응 침전분리공정을 통한 응집침전과 막여과공정(3~5 μm)을 통하여 최종 해양 배출함.

◎ 국외 사례(3가지)

- 미국 Biogenesis는 New York 등지에서 중금속, PAHs, PCBs, Dioxin 등으로 오염된 토양을 시간당 15 m<sup>3</sup> 처리하는 플랜트 운영. 유입된 퇴적물은 계면활성제 및 세척제와 혼합하고, Collision Chamber에서 Cavitation/Oxidation의 반응을 이용하여 퇴적물 입자에 붙어있는 오염물질을 분리/산화시켜 처리함. 공정에서 발생된 폐수는 Sand Filter와 Carbon Filter에서 미세입자를 제거함. METHA Plant는 항로의 유지준설을 위해 매년 600,000 ton의 퇴적물을 세척공정을 이용하여 처리하는 공정으로 Bar-Screen과 Rotary Screen을 이용하여 입자분리하고, 사이클론을 이용하여 부유물질들을 제거함. 공정수는 SARA Plant에서 철염(Fe ClSO4)과 생물학적 처리를 이용하여 중금속(60~90%), 암모늄 이온(75~85%)의 처리효율을 냄. 벨기에의 DEME는 중금속 및 PAH로 오염된 토양을 스크린, 사이클론 및 세척공정을 이용하여 50~100 ton/hr의 규모로 처리하는 시스템으로 PAH: 80~90%, Mineral Oil: >90%, Cyanides: 65~75%, Heavy metals: 65~75%의 제거효율을 나타냄.

4. 부영양 물질의 물리화학적 처리 기반 기술 확립

- 입자분리, 퇴적물 처리, 공정수처리, 탈수 모듈로 구분, 해당 단위기술 검토
  - 해양오염퇴적물의 정화처리에 적용 가능한 기술들을 단계별로 구분, 해당 단위기술들을 검토하여 다음과 같이 모듈화 기본 계획을 작성하였음(V-3:p. 134~135 참조)

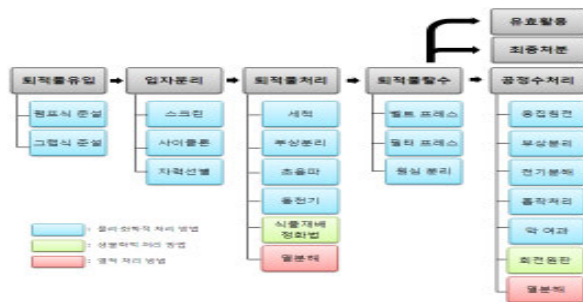


그림 V-2. 해양오염퇴적물 처리단계별 단위기술

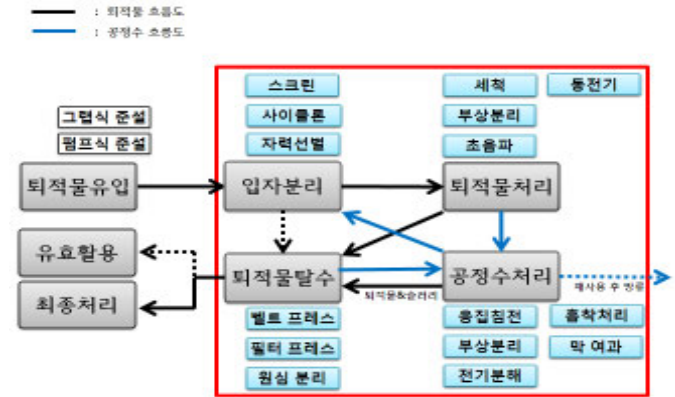
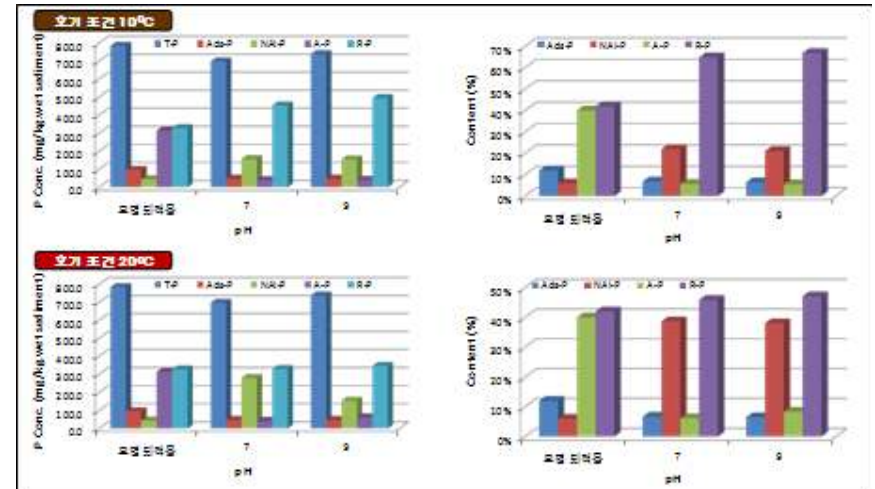
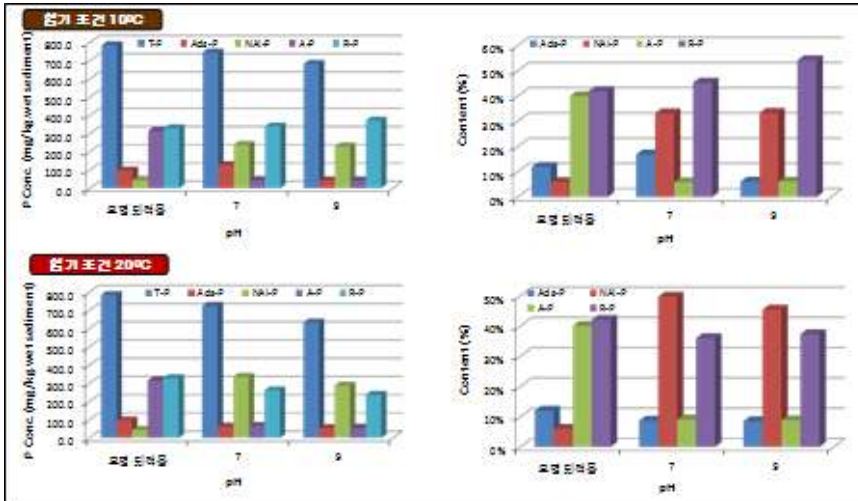


그림 V-3. 해양오염퇴적물 현장처리 모듈 및 단위기술 예시

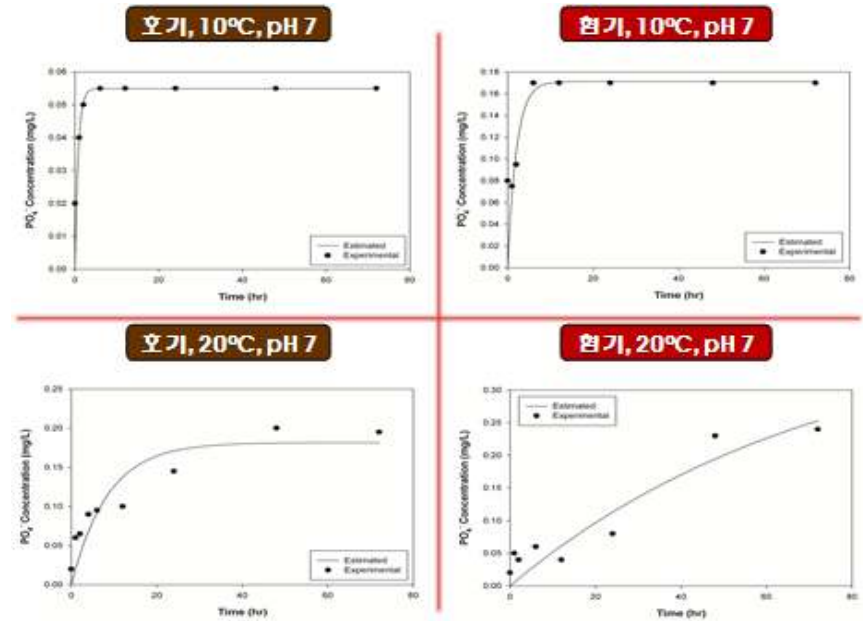
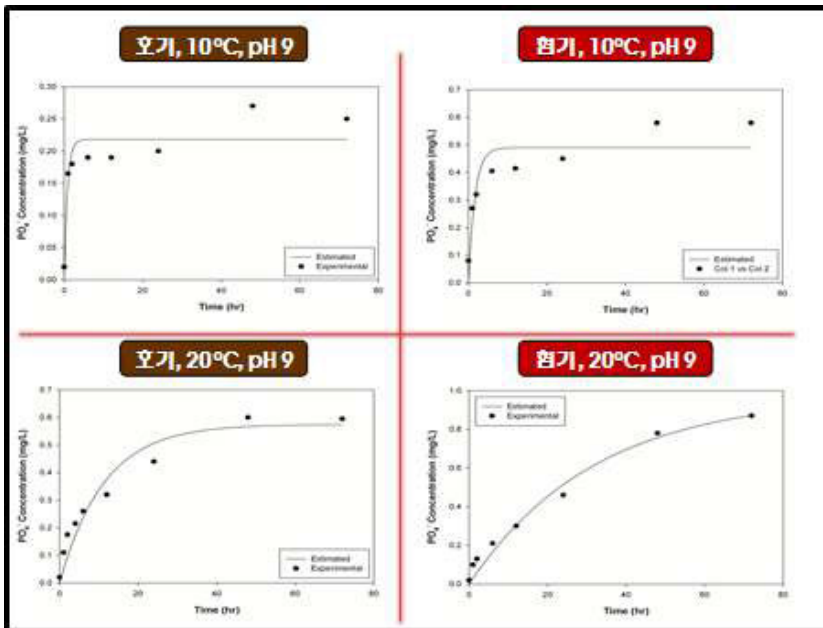
- pH, DO, 온도에 따른 인용출 최적화 실험
  - 호기조건 용출전후 오염퇴적물 내 인함량 변화



◦ 혐기조건 용출전후 오염되적물 내 인함량 변화



◦ pH, 온도, DO 조건에 따른 실험결과를 이용한 흡착평형 분석결과



◦ pH, 온도, DO 조건에 따른 실험결과를 이용한 흡착평형 모사결과 파라미터

| Condition |             | $C_{eq}$ (mg/L) | $k$ (mg/hr) | $R^2$  |
|-----------|-------------|-----------------|-------------|--------|
| 호기        | pH 7 (10°C) | 0.0551          | 0.8935      | 0.9989 |
|           | pH 9 (10°C) | 0.1918          | 1.7748      | 0.9946 |
|           | pH 7 (20°C) | 0.2045          | 0.0480      | 0.9478 |
| 혐기        | pH 9 (20°C) | 0.6080          | 0.0575      | 0.9737 |
|           | pH 7 (10°C) | 0.1734          | 0.2127      | 0.9031 |
|           | pH 9 (10°C) | 0.5117          | 0.2662      | 0.8613 |
|           | pH 7 (20°C) | 0.3203          | 0.0160      | 0.9393 |
|           | pH 9 (20°C) | 1.0761          | 0.0232      | 0.9921 |

5. 바이오스파징(Biosparging)을 통한 부영양 물질의 생물학적 분해능 향상 성능 실험

○ 컬럼에서의 에어스파징을 통한 인 용출 특성 분석 실험 수행(바이오스파징을 위한 예비실험)

◦ 실제 해역 환경을 모사한 칼럼 실험 수행.(그림 V-4, V-5 참조)

- 칼럼 총 부피: 18 L (높이: 90 cm, 지름 16 cm)

- 반응조의 아래 부분에 오염 퇴적물을 3.2 kg 채우고, 표면 부분은 고르게 한

후 퇴적물 채취 해역의 해수 12.8 L를 채워 용출실험 실시.(총 유효부피 13 L)

- 시료 채취는 실험 시작 후 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144시간이 경과하여 25 cm 지점의 밸브에서 실시함.
- pH: 7.5-8.0
- 온도: 22±2oC
- DO: 7-10 mg/L

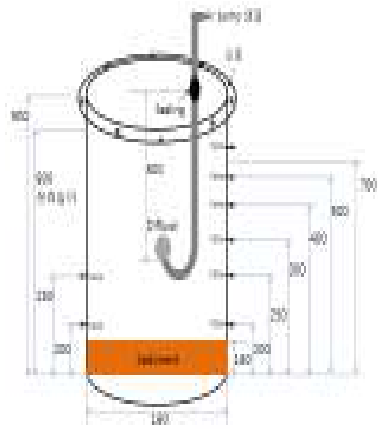


그림 V-4, 5. 칼럼 실험 도면 및 장치

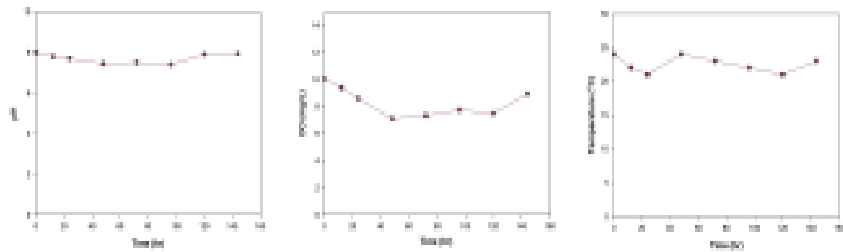


그림 V-6. 칼럼 실험 시 pH, DO, 온도

- 칼럼 실험 결과, 회분식 실험 결과와 유사하게 DO가 충분한 호기조건에서는 부영양 물질 용출농도가 높지 않다는 사실을 확인함.
- 인산염은 12시간 경과 후부터 용출이 시작되어 96시간까지 농도가 증가한 후에는 증가폭이 미미하였으며, 95시간에서의 인산염 농도는 0.12 mg/L로, 회

분식 실험 결과에서 도출된 평형 용출 농도 (0.4178 mg P043--P/L)에 비해 낮음.(그림 V-7 참조)

- 이는 회분식 실험에서는 pH, 온도, DO 외에는 진탕 교반을 통해 용출을 방해할 수 있는 다른 요인이 배제되었는데 반해, 실제 해역 상황과 유사한 칼럼 실험에서는 퇴적물 내에서의 물질 전달, 퇴적물과 해수 경계면에서의 물질 전달 등 다양한 요인이 포함되었기 때문으로 판단됨.(조대철 등, 2011)

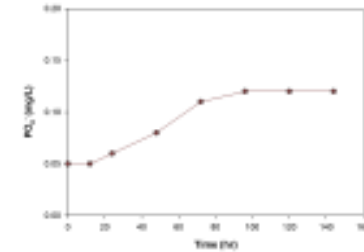


그림 V-7. 칼럼실험 시간에 따른 인산염 농도 변화

- T-N은 72 시간에 최대 용출 농도를 나타낸 후 다시 낮아진 후 96시간 이후에는 농도 변화가 거의 없음.(그림 V-8 참조)
- CODMn은 시간 경과에 따라 변동하다가 96시간이후 농도변화가 거의 없는 것으로 분석됨.
- T-N, CODMn 과 같이 입자성 유기물을 포함하는 측정값의 경우 칼럼 실험 초기에 수리학적 유동에 영향을 받아 농도가 증가하였다가 이후 평형 상태로 수렴한 현상으로 사료됨. (기보민 등, 2010; 조대철 등, 2011)

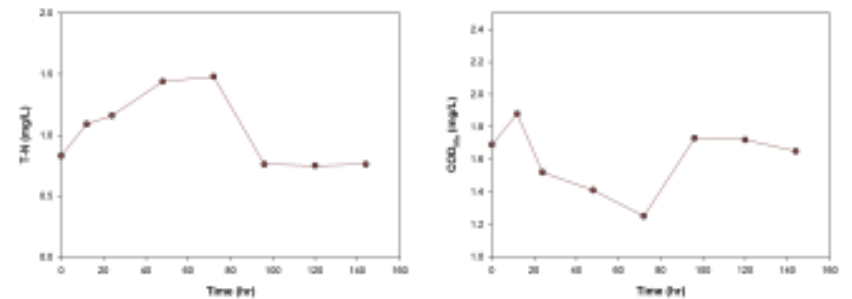


그림 V-8. 칼럼실험 시간에 따른 T-N, CODMn 농도 변화

○ 와류강도가 질소 및 인의 용출에 미치는 영향조사

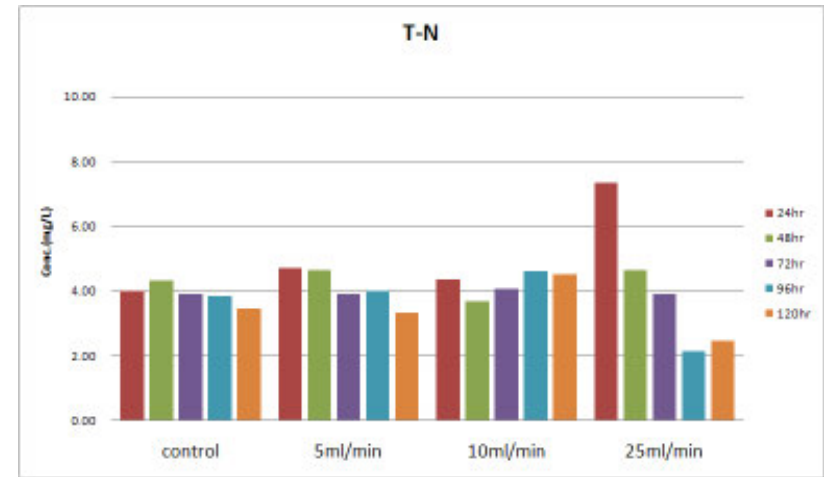
◦ Column 시험에서 해수의 와류강도에 따른 질소 및 인의 용출농도를 평가하였다. 실험결과, 해수의 와류강도가 증가할수록 부유사의 양은 증가하였으며, 5일후 부유한 부유사의 양은 각각 115.74, 254.52, 294.34, 590.48mg (0L/min, 5L/min, 10L/min, 25L/min)으로 와류강도가 증가함에 따라 부유사의 양도 증가하는 것을 볼 수 있었다.

표 5-11. Column 시험에서 와류강도에 따른 부유사 농도

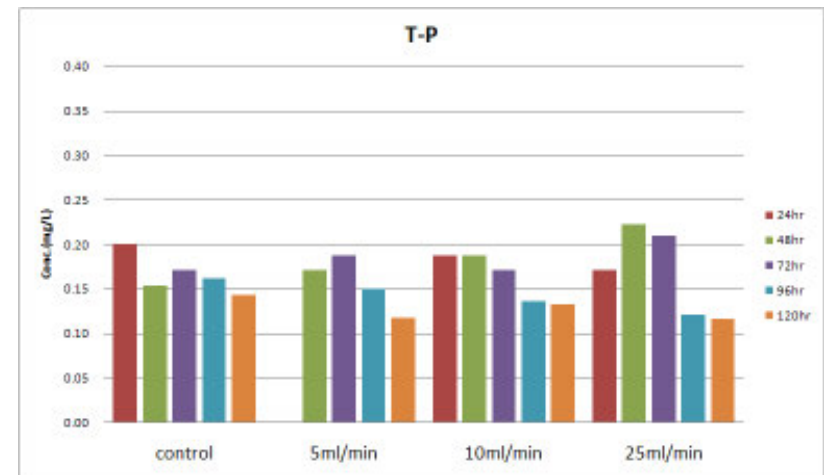
| 조건      | 72 hr (mg/L) | 120 hr (mg/L) | 부유한 흙의 양(mg) |
|---------|--------------|---------------|--------------|
| 0L/min  | 38.24        | 46.67         | 115.7416     |
| 5L/min  | 82.54        | 102.22        | 254.5278     |
| 10L/min | 112.25       | 131.11        | 294.34195    |
| 25L/min | 298.64       | 324.44        | 590.4808     |

◦ 오염저질에서 와류강도에 따른 질소의 용출 농도는 0ml/min(control), 5ml/min 10ml/min 조건에서는 질소의 용출농도가 약 4ppm으로 비슷한 용출경향을 나타내었다. 그러나 25ml/min 조건에서는 7.3ppm(반응시간 24hr)의 질소 용출이 일어났으며, 점차적으로 감소하였다. 이러한 결과는 25ml/min 이상(태풍 및 강한 조류가 존재하는 연안)조건에서 활발하게 질소의 용출현상이 일어나며, 특히, 강한 흐름이 시작되는 초기 급격하게 질소용출이 일어나는 것으로 보여진다.

◦ 이러한 결과는 연안저질의 부유사가 인의 용출에 별 다른 영향을 주지 않으며, 오염된 저질에서 인의 재용출은 외부요인의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 문헌에는 인(인산)의 경우 pH 3~9의 토양용액에서는 HP04-2로 존재하며, 인의 거동에 관여하는 주된 금속이온은 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup> 등이다. 인은 가용성염으로서 토양에 첨가해도 대부분의 인은 Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup> 등의 난용성 인화합물이 되어 토양에 집적되기 때문에 토양 용액중의 인 농도는 극히 낮고, 또 토양에 집적되어 있는 유기인 화합물은 인산이 Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup> 등의 양이온과 결합해서 난용성의 형태로 되는 경우가 많다고 설명하고 있다.(渡辺紀元, 토양정화능에 관한 연구). 결국 연안저질 내에 존재하는 점토광물에 의해 인은 난용성의 형태로 존재하며, 주변 해역환경에 주는 영향이 적은 것으로 보여진다.



Column 시험에서 와류강도에 따른 총질소의 용출



Column 시험에서 와류강도에 따른 총인의 용출

## 6. 연안저질로부터 오염물질의 용출을 막기 위한 차단제 개발

○용출차단 성능실험을 통한 차단제 3종 개발

① 준설토의 흡착제 사용에 대한 적합성 평가

- 연안 준설토는 대부분 미세한 실트질로 구성되어 있으며, 오염물질의 흡착력이 크고 공극률이 낮아 오염물질의 차단제(흡착제)로 적합한 물질임
- 따라서 다양한 분야에서 흡착제로 연구되어지는 제올라이트, 벤토나이트와 준설토를 비교·분석하여 준설토의 사용적합성을 판단하고자 함

② 계면활성제의 종류 및 개질방법에 따른 준설토 표면개질연구

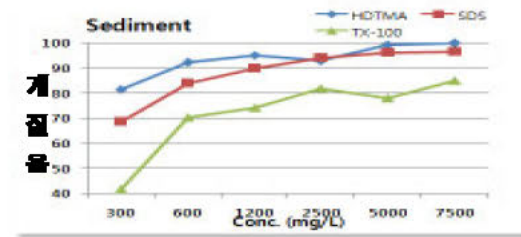
- 계면활성제를 이용하여 준설토의 표면특성을 변화시켜 선택적으로 오염물질 흡착능을 증가시킴
- 효율적인 반응성 차단제 제작을 위해 3가지 계면활성제(HDTMA, SDS, TX-100)을 3가지 개질방법(Microwave, Sonicate, Shaking 방법)으로 표면개질 하였음
- 흡착된 계면활성제의 농도를 측정하기 위해 TOC 분석방법을 사용하였으며, 실험개요는 다음과 같다.



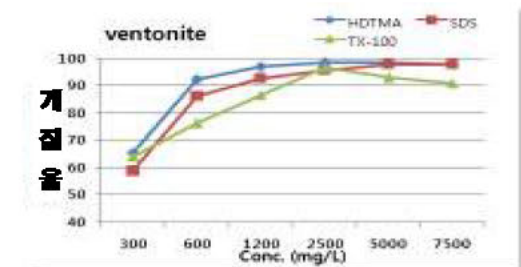
그림 V-9. 반응성 차단제 개발을 위한 토양표면개질 방법

◎ Shaking 방법을 이용한 준설토 표면개질 연구

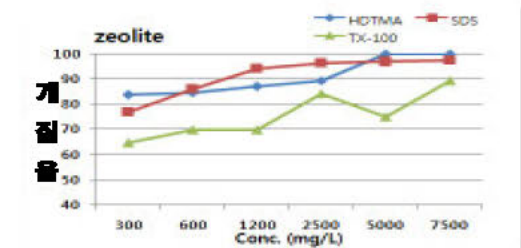
- Shaking 방법을 이용한 토양 표면개질 실험에서는 계면활성제의 농도가 낮을 경우 70-80%의 개질효율을 보였으며, 계면활성제의 종류에 따라 개질효율이 차이를 보였다. 그러나 계면활성제의 농도가 증가하면서 토양의 표면개질효율은 증가하였으며, 양이온 및 음이온 계면활성제는 600ppm 농도에서 90% 이상의 개질율을 나타냈다.



진탕법을 이용한 계면활성제의 준설토 표면 개질율



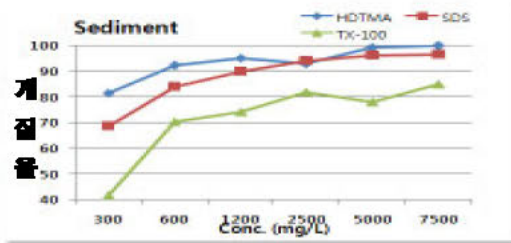
진탕법을 이용한 계면활성제의 벤토나이트 표면 개질율



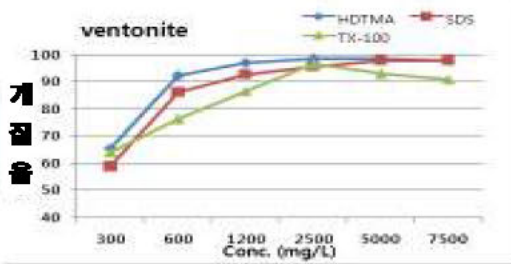
진탕법을 이용한 계면활성제의 제올라이트 표면 개질율

◎ 초음파조사를 이용한 준설토 표면개질 연구

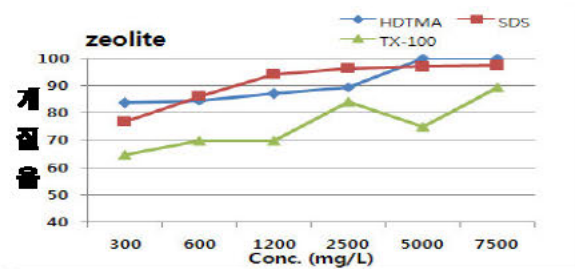
- 초음파조사를 이용한 토양 표면개질 실험에서는 계면활성제의 농도가 낮을 경우 65-85%의 개질효율을 보였다. 그러나 진탕법에서와 같이 계면활성제의 농도가 증가하면서 토양의 표면개질효율은 증가하였으며, 양이온 및 음이온 계면활성제의 경우 1200ppm 농도에서 개질율은 90% 이상이었다.



초음파조사법을 이용한 계면활성제의 준설토 표면 개질율



초음파조사법을 이용한 계면활성제의 벤토나이트 표면 개질율

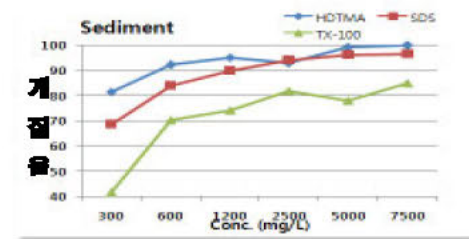


초음파조사법을 이용한 계면활성제의 제올라이트 표면 개질율

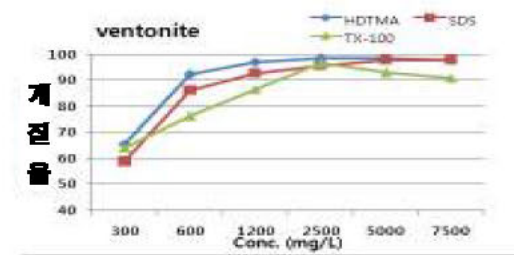
◎ 극초단파조사법을 이용한 준설토 표면개질 연구

- 극초단파조사법을 이용한 토양 표면개질 실험의 경우 계면활성제 농도가 낮은 경우 개질율은 60~70%이었다. 그러나 계면활성제의 농도가 증가하면서 토양의 표면개질효율은 증가하였다. 극초단파조사법을 이용한 제올라이트, 벤토나이트, 준설토의 개질율을 비교하였을 때, 토양의 종류에 따른 표면개질율은 양이온, 음이온 계면활성제를 이용한 표면개질율은 토양별로 큰 차이를 보이지 않았지만, 비이온성 계면활성제를 이용한 표면개질율은 벤토나이트와

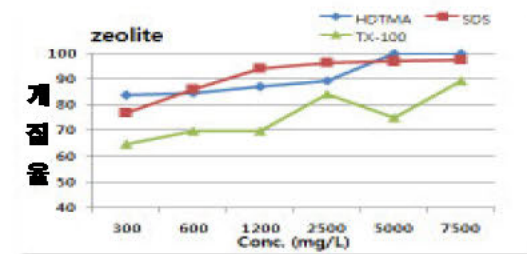
제올라이트에 비해 준설토가 효율이 떨어지는 것으로 나타났다.



극초단파조사법을 이용한 계면활성제의 준설토 표면 개질율



극초단파조사법을 이용한 계면활성제의 벤토나이트 표면 개질율

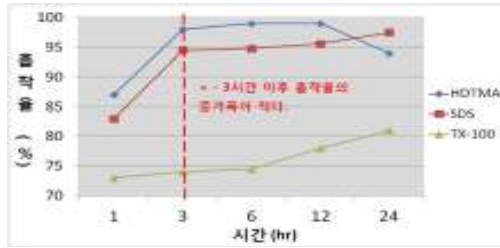


극초단파조사법을 이용한 계면활성제의 제올라이트 표면 개질율

◎ 반응시간별 표면개질 효율 연구

- 반응성 차단제를 개발하기 위해 개질 방법에 따른 개질 효율을 평가하였을 때, Shaking방법, 초음파조사법, 극초단파조사법 등과 같은 개질방법에 따른 개질율의 차이는 보이지 않았다. 따라서 현장 적용이 용이하고, 경제적인 Shaking 방법을 준설토 표면개질방법으로 채택하였다.
- 추가적으로, 효율적인 준설토 표면개질을 위해 반응시간에 따른 개질효율 연구를 실시하였다. 연구 결과, 반응 약 3시간 이후 개질 효율은 90%이상으로 증가하였으며, 반응 시간에 따른 개질율 증가폭이 급격히 감소하는 것으로

나타났다.



Shaking 방법을 이용한 반응시간별 개질 효율

③ 반응성 차단제의 오염물질 흡착능 평가

- 회분식 실험을 통해 해수에서 반응성 차단제의 질소 및 인의 흡착능을 평가하였음
- 반응성 차단제의 흡착능 평가를 위해 HDTMA, SDS, TX-100을 이용하여 진탕 방법으로 표면개질한 반응성 차단제와 준설토(Non-modified dredging soil)를 준비하였음
- 회분식 실험은 제작된 반응성 차단제와 해수를 1:20의 비율로 12시간동안 반응시켰으며, 반응온도는 15°C, 교반강도는 200rpm에서 실시하였음

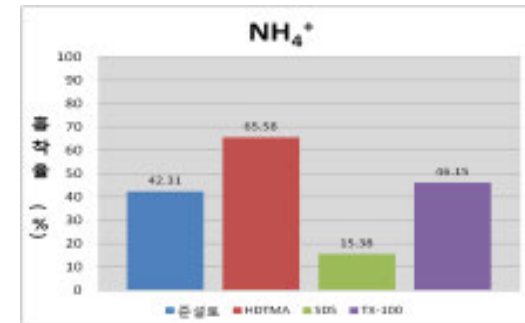


그림 V-10. 반응성 차단제의 오염물질 흡착능 평가를 위한 연구개요

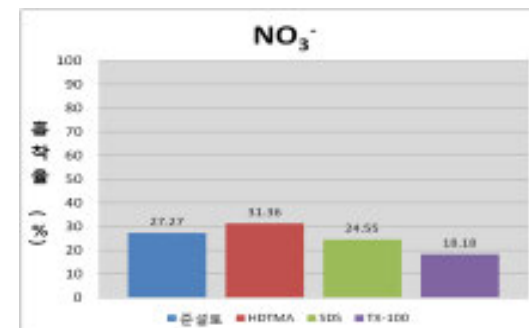
- 반응성 차단제의 오염물질 흡착능력을 평가하기 위해 회분식 실험을 실시하였다. 먼저 양이온(HDTMA), 음이온(SDS), 비이온성(TX-100)계면활성제를 사용하여 준설토의 표면을 개질하여 반응성 차단제를 제작하였으며, 제작된 반응성 차단제의 질소 및 인 오염물질의 흡착능력을 비교하였다. 실험결과, 계면활성제 종류에 따른 반응성 차단제의 암모니아성 질소 흡착효율은 양이온 계면활성제에 의해 표면개질된 준설토가 65.58%로 가장 높은 효율을 나타냈으며, 음이온 계면활성제에 의해 표면개질된 준설토는 15.38%로 가장 낮은 암모니아성 질소 흡착효율을 보였다.
- 질산성 질소의 흡착효율은 양이온 계면활성제에 의해 표면개질된 준설토가

31.36%로 가장 높은 효율을 나타냈으며, 비이온성 계면활성제로 표면개질된 준설토는 18.18%로 가장 낮은 질산성 질소 흡착효율을 보였다.

- 총인의 흡착효율은 양이온 계면활성제에 의해 표면개질된 준설토가 69.20%로 가장 높은 효율을 나타냈으며, 비이온성 계면활성제로 표면개질된 준설토는 20.00%로 가장 낮은 총인 흡착효율을 보였다.
- 본 연구팀이 직접 개발한 반응성 차단제에 대해 적조유발 오염물질인 질소, 인의 흡착능을 평가하였을 때, 양이온 계면활성제를 이용하여 표면개질한 반응성 차단제가 암모니아성 질소, 질산성 질소, 인에 대해 가장 높은 흡착효율을 보였다. 이에 더하여 양이온 계면활성제를 사용하여 표면개질한 반응성 차단제의 질소, 인 흡착효율은 준설토(Non-treatment)와 비교하였을 때, 암모니아성 질소 55%, 질산성 질소 15%, 인 33% 더 증가하였다.



<계면활성제로 표면 개질된 반응성 차단제의 암모니아성 질소 흡착율>



<계면활성제로 표면 개질된 반응성 차단제의 질산성 질소 흡착율>





<계면활성제로 표면 개질된 반응성 차단제의 총인 흡착율>

- 반응성 차단제의 오염물질 차단효과를 평가하기 위해 Column 실험을 실시하였다. 먼저 준설토(Column-1, Non modified soil)와 양이온(HDTMA)계면활성제를 사용하여 제작한 반응성 차단제(Column-2, Reactive barriers)를 인공오염토양위에 2cm 깊이로 복토하였다. Column-1, 2를 비교한 결과, 암모니아 오염물질에 대한 반응성 차단제의 차단율은 Column-1보다 Column-2가 약 10-12%정도 증가한 것을 볼 수 있었다. 또한, 인 오염물질에 대한 차단율은 Column-1보다 Column-2가 20-47%증가하였다. 따라서 실제 해양환경에 반응성 차단제를 복토할 경우, 연안저질을 외부 환경에서 물리적, 화학적으로 보호할 수 있으며 용출되는 오염물질의 양도 줄일 수 있는 것으로 증명되었다.

batch 및 column 실험에서 오염물질 차단율 비교

| 오염물질        | Batch 실험          | Column 실험         |
|-------------|-------------------|-------------------|
|             | 반응성 차단제           | 반응성 차단제           |
| 총 질소 차단율(%) | 준설토에 비해 20.82% 증가 | 준설토에 비해 10-12% 증가 |
| 총 인 차단율(%)  | 준설토에 비해 33% 증가    | 준설토에 비해 20-47% 증가 |

- 이에 더하여 batch 실험과 column 실험의 오염물질(총질소, 총인)차단율을 비교해 보았다. 비교결과, 총인의 경우에 비슷한 차단율을 보이는 반면, 총 질소의 경우는 차단율이 감소하는 것을 볼 수 있다.

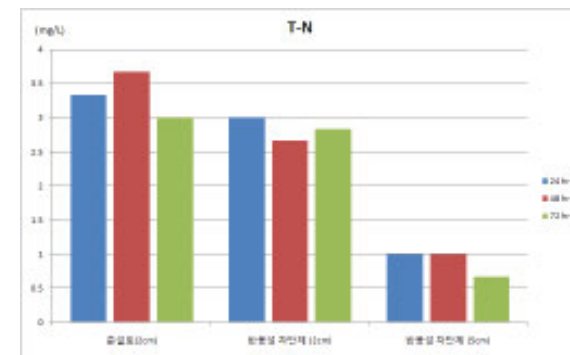
- 암모니아성 질소의 차단율이 감소하는 이유는 3가지로 볼 수 있다.
- 와류를 발생시키기 위한 공기공급으로 암모니아성 질소의 탈기현상 발생.
- 와류를 발생시키기 위한 공기공급으로 암모니아성 질소가 질산성 질소로 산화됨.
- 이온화경향이 큰 질산성 질소의 생성은 총 질소의 차단율을 감소시킴. (반응

성 차단제의 질산성 질소 흡착율은 암모니아성 질소에 비해 약 1/2 정도이다.)

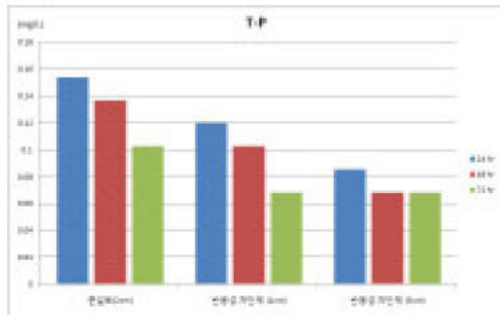
- 이러한 결과는 해수속의 DO 농도 증가는 반응성 차단제의 차단율을 감소시킬 수 있다는 것을 증명하는 것이다.
- 반응성 차단제의 복토 두께에 따른 오염물질 차단효과를 평가하기 위해 Column 실험을 실시하였다. 2개의 column중 하나의 column에 양이온(HDTMA)계면활성제를 사용하여 제작한 반응성 차단제를 인공오염토양위에 2cm(Column-2)깊이로 복토하고 나머지 column에 상기 동일한 반응성 차단제를 5cm(Column-3)깊이로 복토하였다. 총질소와 인 오염물질의 차단율은 column-3이 column-2보다 각각 25-33%, 57-69% 증가하였다. 반응성 차단제의 두께가 증가할수록 토양에서 용출되는 오염물질에 대한 차단율이 증가하는 것으로 나타났으며, 3차년도 과제 수행시 반응성 차단제의 복토두께와 관련된 연구가 추가적으로 필요하다고 생각된다.

반응성 차단제의 질소 및 인 오염물질 차단율

| 오염물질 | 반응성 차단제의 오염물질 차단율 |
|------|-------------------|
| 총 질소 | 84% (60% 이상)      |
| 총 인  | 72.4% (80% 이상)    |



<반응성 차단제를 복토한 Column 실험에서 총질소의 용출농도 >



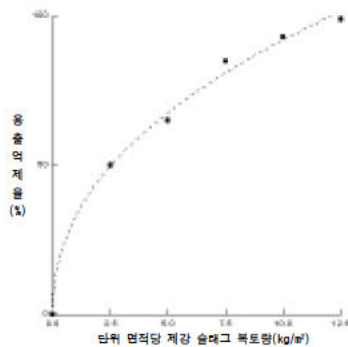
<반응성 차단제를 복토한 Column 실험에서 총인의 용출농도>

### 7. 슬래그계 복토재 성능 평가

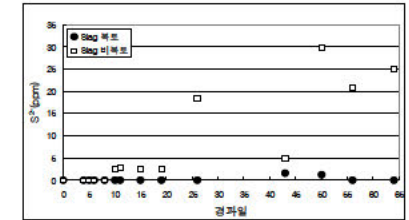
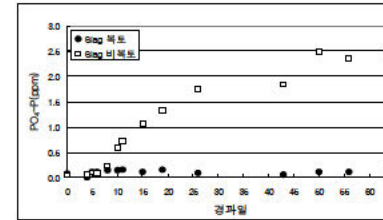
- 적정 입도 및 복토량 : 오염 정도에 따라 5~8 mm 이하 입도의 제강슬래그를 최소 1에서 7~8cm 두께로 복토

표 V-4. 제강 슬래그 입도별 복토후 최종 인 농도

| 대조구(퇴적물 미복토시) | 실험구(제강슬래그 입도별) |       |
|---------------|----------------|-------|
| 1.67          | <1 mm          | 0.21  |
|               | 1 - 5 mm       | 0.018 |
|               | 5-10 mm        | 0.015 |
|               | 10-20 mm       | 0.029 |
|               | >20 mm         | 0.042 |



- 오염되적물 대상 철강슬래그 피복 정화 성능 평가 (Lab.) : 인산염 및 황화수소 용출 95% 이상 억제, 중금속 흡착제거능 확인



- 환경안전성 평가 (해양생물 영양단계별 독성평가) 결과 독성 영향 없음 : 박테리아, 식물플랑크톤, 해조류, 로티퍼, 어류 등
- 생태환경 안정성 평가
  - 유해물질 용출 등 환경안전성 영향 없음
  - 해양생물 영양단계별 독성평가 결과 독성 영향 없음

| 기준 및 항목 구분                 | Hg                             | B                             | Cu                         | Zn                          | As                         | Se                           | Cd                           | Pb    | Cr <sup>6+</sup> | CN   |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------|------------------|------|
| 폐기물 용출 기준 (환경부)            | 0.005                          | -                             | 3                          | -                           | 1.5                        | -                            | 0.3                          | 3     | 1.5              | 1    |
| 해역 수질 기준 (국토해양부)           | 0.0005                         | -                             | 0.02                       | 0.1                         | 0.05                       | -                            | 0.01                         | 0.05  | 0.05             | 0.01 |
| 적조구제물친용출기준 (농수식품부)         | 0.0005                         | -                             | 0.02                       | 0.1                         | 0.05                       | 0.01                         | 0.01                         | 0.05  | 0.05             | 0.01 |
| 제강슬래그 용출시험 결과              | <0.0001                        | <0.005                        | <0.005                     | <0.005                      | <0.005                     | <0.0002                      | <0.0002                      | <0.01 | <0.005           |      |
| 시험 생물종                     | 박테리아<br><i>Vibrio fischeri</i> | 식물플랑크톤<br><i>Iso. galbana</i> | 해조류<br><i>Ulva pertusa</i> | 로티퍼<br><i>B. plicatilis</i> | 어류<br><i>C. variegatus</i> | 단각류<br><i>M. acherusicum</i> | 다모류<br><i>P. aduhimensis</i> |       |                  |      |
| 평가 기준 (표준시험법)              | 30min EC <sub>50</sub>         | 72h EC <sub>50</sub>          | 24h EC <sub>50</sub>       | 24h LC <sub>50</sub>        | 96h LC <sub>50</sub>       | 10d LC <sub>50</sub>         | 96h LC <sub>50</sub>         |       |                  |      |
| 제강슬래그 용출 실험의 독성 분류 (<2 mm) | X                              | X                             | X                          | X                           | X                          | X                            | X                            |       |                  |      |

### 8. 슬래그계 현장처리 정화재 성능평가

- 준설토 현장 처리 기술 : 제강슬래그를 활용한 준설토 혼합 개량(현장처리) 공법 (강도 향상, pH 저감, 인/황화수소/중금속 흡착 등)
- 준설토 대 제강슬래그 혼합비 : 겉보기체적으로 입도 5mm 이하의 제강슬래그 20~40% 대 준설토 80~60% 혼합 처리



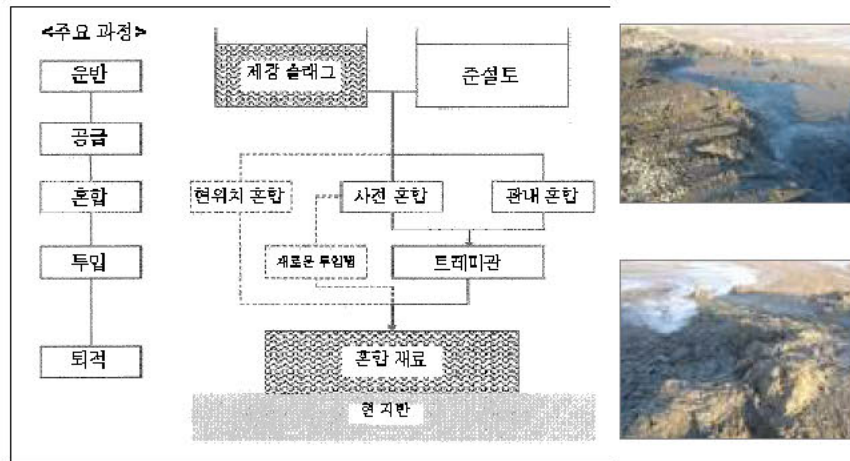
- 준설토 및 제강슬래그 혼합 개량 (현장처리) 효과 평가 : 인산염 및 황화수소 용출 90% 이상 억제, pH 안정화, 전단강도 20 kN/m<sup>2</sup> 가능



- 유해물질 용출 등 환경안전성 영향 없음

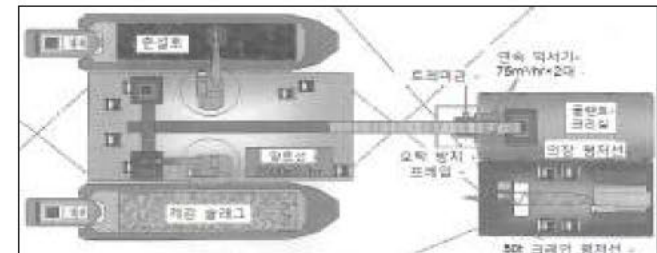
### 9. Pilot 시험 최적 Eng. 방안 도출

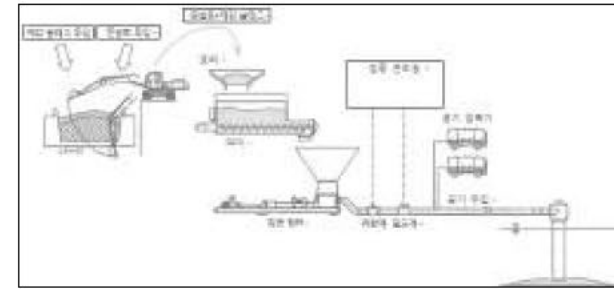
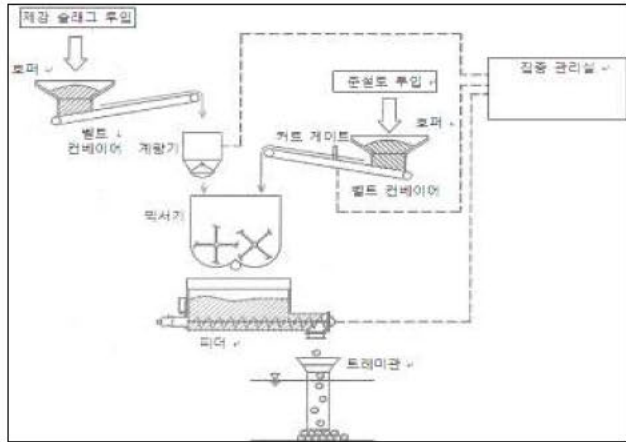
<현장 적용 Flow>



| 혼합 과정         | 투입 과정          | 실해역 시공 기술 실시 예                     |
|---------------|----------------|------------------------------------|
| ① 바지선 내 교반 공법 | (a) 직접 투입 공법   | (1) 프리믹스 공법×트레이미 투입 공법             |
| ② 프리믹스 공법     | (b) 트레이미 투입 공법 | (2) 프리믹스 공법×펌프 타설 공법               |
| ③ 관중 혼합 공법    | (c) 펌프 타설 공법   | (3) 바지선 내 교반 공법×트레이미 투입 공법         |
| ④ 트레이미관 혼합 공법 |                | (4) 플랜트 혼합×트레이미 투입 공법              |
| ⑤ 원위치 혼합 공법   |                | (5) 트레이미관 내 혼합 공법<br>(6) 원위치 혼합 공법 |

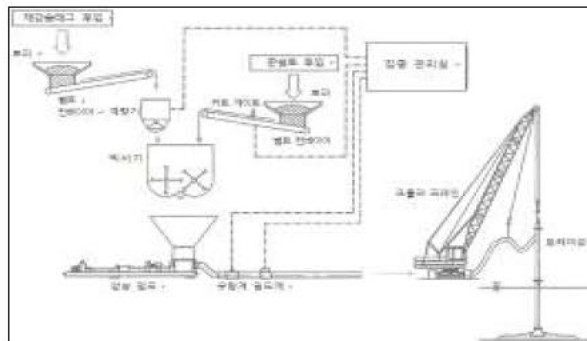
- 프리믹스 공법 × 트레이미 투입 공법
- 준설토와 전로계 제강슬래그를 작업선상 사전 혼합 플랜트에서 혼합한 뒤 연속적으로 혼합 재료를 만드는 공법
- 석재 운반선 등으로 운반한 준설토와 제강슬래그를 사전 혼합 플랜트의 각 호퍼에 공급한 뒤 계량해서 소정의 혼합비가 되도록 조정 후 기계식 믹서기에 재료를 넣고 강제적으로 교반·혼합해서 혼합 재료 생성
- 믹서기에서 혼합 시간을 조정함으로써 혼합 품질을 향상시킬 수 있음
- 시간당 혼합 재료 생성량은 믹서기 능력에 따라 결정되므로, 대규모 시공일 경우 시공 비용의 상승 가능성이 있음.





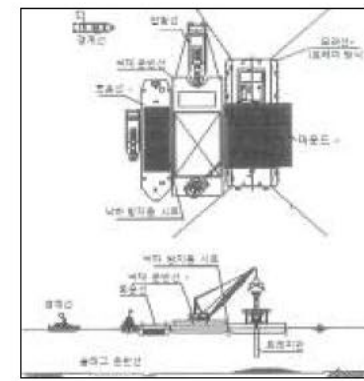
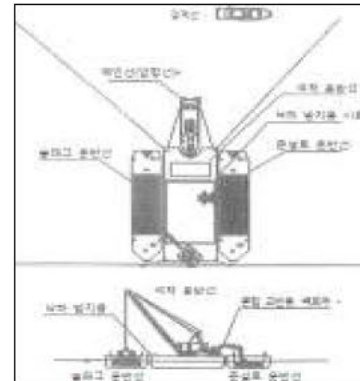
- 프리믹스 공법 × 펌프 타설 공법

- 펌프 압송 방식은 강도 발현이 작고 분리성이 큰 혼합 재료에 적합하며, 구조물의 강도 기준값이 큰 경우에 적합



- 바지선 내 교반 공법 × 트레미 투입 공법

- 바지선 내 교반 공법은 바지선 내의 준설도에 전로계 제강 슬래그를 투입한 뒤, 백 호우로 교반·혼합해서 혼합 재료를 생성하는 공법
- 특별한 기술을 필요로 하지 않기 때문에 비교적 비용이 낮은 공법이지만, 프리믹스 공법에 비해 혼합 재료의 혼합 품질이 떨어진다는 점, 혼합 재료의 강도가 증가됨에 따라 작업성이 현저히 저하된다는 점에 유의해야 함

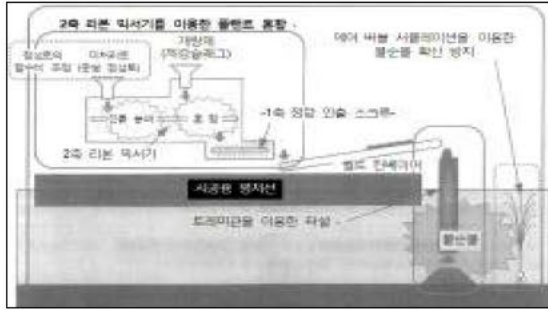


준설도 및 제강슬래그 교반 상황

혼합 재료 투입 상황

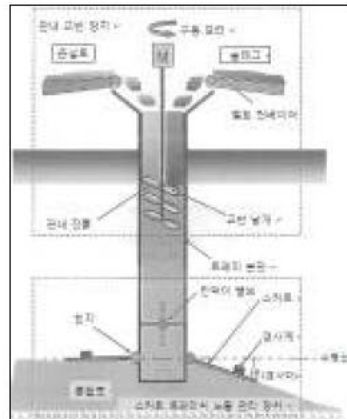
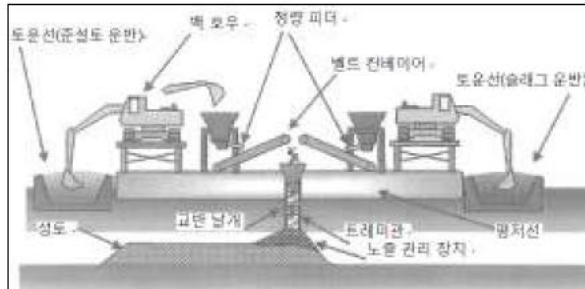
- 플랜트 혼합 × 트레미 투입 공법

- 평저선에 장착한 플랜트식 2축 리본 믹서기로 준설도와 제강슬래그를 혼합한 뒤, 벨트 컨베이어로 반송하고 트레미를 이용해 해중에 투입해서 구조물을 구축하는 시스템
- 준설도는 플랜트 평저선에 접안한 바지선에서 백 호우로 인도하고, 제강슬래그도 접안한 석재 운반선에서 인도함



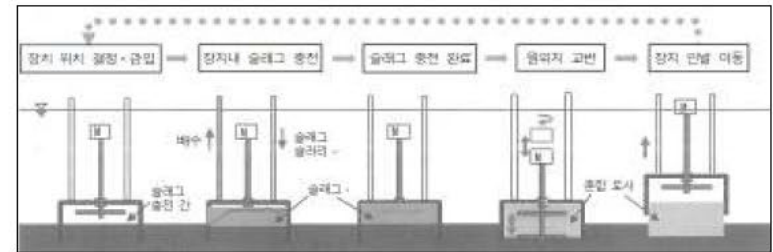
- 트레이관 내 혼합 공법

- 트레이관 안에서 준설토와 제강슬래그를 혼합하는 연속식 혼합 투입 시스템
- 혼합 타설 장치는 수중 타설용 평저선에 현수되어 관 상부의 준설토와 슬래그 투입구, 준설토와 슬래그를 혼합·교반하는 관내 교반 장치 부분, 칸막이 밸브, 트레이관 하단의 트레이관 노즐 관리 장치 등으로 구성



- 원위치 혼합 공법

- 복토 시공 및 복토재와 현지 저질과의 혼합을 동시에 실시하는 새로운 복토 시공 방법으로, 준설토와 모래, 저질 개량재의 혼합을 목적으로 함
- 복토 교반 장치를 소정의 깊이까지 관입한 뒤에 제강슬래그를 슬러리 충전하고, 그 후에 현지 저질과 제강슬래그가 소정의 혼합비가 되도록 혼합
- 특징점
  - 슬래그 충전 및 퇴적물과의 혼합은 프레임에 둘러싸인 내부에서 실시하므로 시공 장소 주변 해수에 불순물 발생이 적음
  - 프레임의 관입 깊이를 조정함으로써 슬래그 충전량을 정확하게 관리할 수 있음
  - 교반장치의 스트로크를 조정해 퇴적물과 혼합 비율을 자유롭게 조정할 수 있음



VI. 정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립((주)네오엔비즈)

1. 오염퇴적물 정화기술(최적수거공법, 피복공법, 현장처리기술 등)의 적용 전후 효율평가 모니터링에 대한 자료 수집 및 사례 분석

○ 국내 해양오염퇴적물 조사 지침서 분석

- 해양오염퇴적물 정화기술 효율평가 방법에 있어서 기존 해양오염퇴적물 조사 지침서(해양수산부, 2006)의 ‘오염해역 정화·복원·준설 사업해역 환경모니터링 지침’은 일반적인 해양환경모니터링 체계를 그대로 답습하고 있어 정화기술 효율평가 적용에 한계가 있을 것으로 예상되며, 따라서 본 연구를 통해 해양오염퇴적물 특성별, 정화기술별 특화된 정밀한 모니터링 기술의 개발이 요구됨.
- 특히, 정화기술별 해양환경의 교란 정도가 매우 상이할 것으로 예측되며, 이의 회복 및 복원의 정도도 차이가 있을 것으로 예상됨에 따라 차이를 확인하고 오염퇴적물 정화에 최적의 기술을 선택할 수 있는 평가 기술개발이 요구됨.

<해양오염퇴적물 조사 지침서(해양수산부, 2006)의 구성>

| 장                                   | 항                                 | 내용 및 비고                                 |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1장 총칙                               | • 목적, 적용범위                        | • 오염퇴적물 실태조사의 목적 및 범위를 규정               |
| 2장 조사항목                             | • 조사항목 선정                         | • 선정대상 항목의 소개 및 나열                      |
| 3장 퇴적물의 지질특성 및 오염조사에 위한 시료채취        | • 시료채취 위치확인, 정정선정, 밀도, 방법 및 시료 취급 | • 항목별 구체적인 방법의 소개 및 유의사항 기술             |
| 4장 퇴적물의 분석항목별 시험방법                  | • 입도, 함수율, 중금속, 유기화합물 등에 대한 시험방법  | • 개별 항목별 시험방법 (해양환경공정시험기준과 동일)          |
| 5장 수심지형 및 지구물리 탐사방법                 | • 수심지형, 해저면 탐사, 지층탐사              | • 수심 및 지형확인을 위한 지구물리탐사 기법의 소개           |
| 부록: 오염퇴적물 정화, 복원, 준설 사업해역 환경모니터링 지침 |                                   | • 조사지점 선정, 조사기간 및 항목, 시료채취 및 시험분석, 조사기관 |

<기존 해양오염퇴적물 조사 지침서(해양수산부, 2006)와 차별성 구현>

| 분야 | 기존                        | 효율평가 모니터링                | 차이점                      |
|----|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 목적 | 오염해역 준설에 따른 효과분석, 2차오염, 해 | 오염퇴적물 정화기술에 따른 효율평가 및 종합 | 정화기술 효율평가에 목적을 두고 정밀 해양환 |

|                | 양환경 변화의 모니터링   | 적 모니터링  | 경 모니터링                                      |
|----------------|--|---|---|
| 적용범위           | - 퇴적물의 정화, 복원에 대한 필요성이 제기되는 해역<br>- 기타 퇴적물 오염 가능성이 존재한다고 판단되는 해역 | 오염퇴적물 정화를 실시한 해역  | 정화기술 효율평가 및 정화효율 평가에 적용                     |
| 지점선정 기준        | 해수 수질, 해저퇴적물, 부유퇴적물, 생물독성영향, 저서 생물서식환경 등 일반적 분류에 따른 지점의 지정       | 오염퇴적물 특성별 정화기술 적용 효율을 평가하기 위해 충분한 광역적 지정 선정 및 모니터링 목적에 따른 지정 분류 | 중합적 고려에 따른 모니터링 지점의 선정 및 지정별 모니터링 목적에 따른 분류 |
| 조사 시료의 채취      | 퇴적물 지질특성 및 오염조사를 위한 시료 채취  | 정화 효율평가를 위한 시료채취  | 제한된 지역에서 효율평가를 위한 시료채취 방법의 개발               |
| 조사기간 및 주기      | 해수 수질 4회/년, 해저퇴적물, 수중생물독성영향 등 1회/년                               | 정화기술별 기간 및 주기의 설정   | 기존 지침은 너무 일반적이면, 모니터링 목적에 특화된 기간 및 주기의 설정   |
| 조사항목           | 해수 수질, 해저퇴적물 오염물질 분석, 수중생물독성, 생물 농축 등                            | 오염퇴적물 특성 또는 분류별 오염물질 분석 및 정화기술별 생물독성평가, 생물농축 조사 등               | 오염퇴적물 특성별, 정화기술별로 특화된 생물독성평가 등의 적용          |
| 분석항목별 시험방법     | 총 20항의 시험방법을 수록, 유해물질 분석에 초점                                     | 생물독성평가 항목의 시험방법의 개발 및 수록  | 신규 시험방법의 개발 및 적용                            |
| 시료채취 및 시험분석 방법 | 해양환경공정시험법에 따름  | 해양환경공정시험법에 따름   | 일치  |
| 조사기관           | 공신력 있는 기관  | 전문기관  | 유사  |
| 참고문헌           | 해양수산부, 2006  | 개발 예정   |   |

- National Research Council과 USEPA의 모니터링 절차 및 흐름 사례 분석
- 미국 EPA가 관할하는 superfund지역에 대한 오염된 퇴적물 관리를 위해 정화복원사업의 효율을 평가하고, 대규모로 진행되는 정화복원사업들을 관리하기 위한 목적으로 퇴적물 준설에 대한 효율평가 수행에 대한 방법론을 제시하고 있음.
- 유해폐기물처리 지역에 대한 오염된 퇴적물의 복원을 위한 가이드를 제시하고 있으며, 이는 미국 national sediment quality survey를 기초로 하여 미

국 전역에 대한 퇴적물의 오염정도를 확인하고, 복원을 위한 정화사업을 시행할 때, 고려해야 할 사항들에 대해 언급하고 있음.

표 VI-1. 대표적인 국외사례(미국)

|       |  |  |
|-------|--|--|
| 제목    | Sediment dredging at superfund megasites: Assessing th effectiveness   | Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites   |
| 발간    | Committee on Sediment Dredging at Superfund Megasites Board on Environmental Studies and Toxicology Division on Earth and Life Studies | US EPA Office of Emergency and Remedial Response (now Office of Superfund Remediation and Technology Innovation (OSRTI)) |
| 기관    | National Research Council, 2007  | US EPA, 2005   |
| 주요 내용 | 오염퇴적물의 관리<br>환경위저감의 효과 (평가체계)<br>준설효과의 평가<br>준설효과 확인을 위한 모니터링  | 오염퇴적물 개선을 위한 의사결정<br>퇴적물 개선 실시를 위한 고려<br>자연적 개선에 대한 모니터링<br>퇴적물 개선 실시 및 장기 모니터링  |
| 표지    |    |                                        |

2. 기존 오염퇴적물 정화기술 효율평가 모니터링, 인체 및 생태계 위해성 평가 방법 조사 및 기반 연구 실시

- 효율평가를 위한 위해 감소(net-risk reduction)의 측정 개념
  - 정화복원의 잠재적인 효과를 고려한 위해 감소의 정도를 측정하는 것
  - 위해란 오염된 퇴적물에 노출되는 강도, 노출의 정도를 통해 평가
  - 특히, 단일화학물질보다는 다양한 물질의 복합적이고 부정적인 영향을 고려하는 것
  - 오염된 지역에서의 위해 감소의 정도를 측정하는 것은 오염된 퇴적물의

- mass, volume, 농도의 변화를 측정하는 것
- 직접적인 측정방법은 surrogate matrices를 이용하여 위해를 측정
- 현장분석의 가장 좋은 방법은 쉽고, 충분한 정확성과 정밀한 방법을 이용하는 것 (시간과 비용을 고려한)
- 생태독성시험, biological community indexes, tissue-residue analyses
- 하지만 이러한 방법도 정확한 위해를 표현하는데 있어서는 제한적임.

- 정화복원 효율평가를 위한 지침서(안) 개념 개발
  - 정화복원 효과평가를 위한 framework
    - 오염된 퇴적물에 의한 위해 감소에 초점을 두고 평가
    - 위해감소를 평가하는데 있어서 중요한 요인들
    - 수서생물에 있어서 특정 오염물의 농도분포
    - 오염된 퇴적물이 분포하는 수괴에서의 농도분포
    - 표층퇴적물에서의 농도분포
    - 수서생태계 서식지 질에 대한 평가
    - 기타 요인으로는 정화복원 계획 및 비용 등이 있음
  - 특이적 효율평가 기법의 정립
    - 정화사업의 대상이 되는 오염된 퇴적물 및 이용되는 정화공법, 오염된 지역, 퇴적물의 특성에 맞는 효율평가 기법의 정립이 요구됨
    - 정화사업 특이적(project-specific) 효율평가 기법
    - 정화사업의 특성, 오염된 퇴적물의 양, 면적, 두께 등을 고려
    - 지역특이적(site-specific) 효율평가 기법
    - 수리, 수문, 기후, 사회기반시설, 잠재적 자원 요소 등을 고려
    - 오염퇴적물 특성 특이적(sediment-specific) 효율평가 기법
    - 쇄설물, 오염퇴적물의 물리화학적 특성, 관심오염물질(COCs) 등의 고려
    - 정화공법 특이적(engineered-specific) 효율평가 기법
    - 수거, 피복, 현장처리, 복합공법 등의 다양한 정화공법을 고려
  - 환경준설의 효율평가를 위한 개념의 정립
    - 정화복원 사업이 요구되는 지역 및 다른 대규모 환경준설사업을 확인
    - Define criteria for selecting projects for committee evaluation from the list of environmental-dredging projects
    - Select projects that represent a variety of site conditions
    - Evaluate each project with respect to measures of short-term and long-term effectiveness
    - Make recommendations for improved design, implementation, and monitoring of future environmental-dredging projects

3. 효율평가를 위한 모니터링 조사항목(물리, 화학, 생물학적 조사) 설정을 위한 기반 연구 실시

- 물리탐사, 화학분석, 생물평가방안별 세부 평가항목의 설정
  - 오염되적물 정화복원 효율평가를 위하여 활용 가능한 물리탐사, 화학분석, 생물평가의 방안을 다양하게 고려한 세부 평가항목의 설정
  - 물리탐사 모니터링 방안으로는 퇴적물의 침식 또는 퇴적물의 측정, 입도분석, 퇴적물 균질성 또는 이질성의 평가를 위한 퇴적물의 지구물리적 특성의 측정 등의 활용
  - 퇴적물 화학과 관련된 화학분석 방안으로는 오염물질의 공극수에서의 분포, 거동 파악을 위한 총유기탄소 함량의 측정 등이 적용
  - 오염되적물 위해 관련하여 독성영향평가, 생물학적 군집의 변화 측정 등이 활용되는 생물평가 방안이 적용될 수 있음

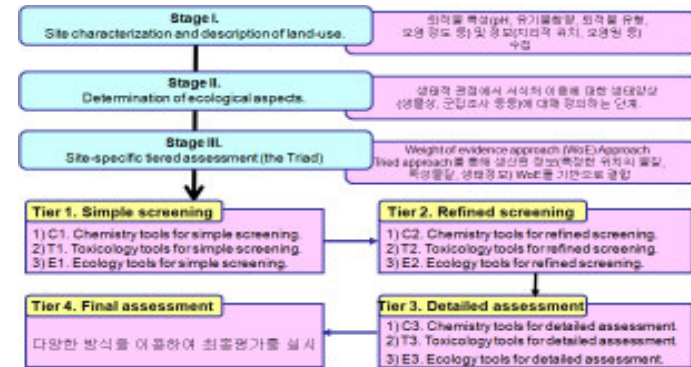
| 물리탐사 방안   | 화학분석 방안   | 생물평가 방안  |
|---|---|--|
| 퇴적물 침식 도는 퇴적의 측정<br>지하수 advective flow<br>Particle size<br>Surface water flow rates<br>퇴적물 균질성/이질성  | 퇴적물화학<br>공극수에 대한 생분해, 분포<br>총유기탄소 함량 등  | Toxicity bioassay<br>Changes in the biological assemblages at sites  |
| Sediment Geophysical Properties<br>Water column Physical Measurement (e.g., turbidity, total suspended solids)<br>Bathymetry Data<br>Side scan Sonar data<br>Settlement Plate data<br>Sediment profile camera data<br>Subbottom profiler data | Sediment grab samplers<br>Core devices (e.g., vibracore, gravity piston, or drop tube samplers)<br>Direct water column measurements (probes)<br>Surface water samplers<br>Semi-permeable membrane devices<br>Seepage meters | Benthic community analysis<br>Toxicity testing (acute and chronic lethal and sublethal effects)<br>Tissue sampling<br>Caged fish/invertebrate studies (bioaccumulation)<br>Sediment profile camera studies |

4. 기존 오염되적물 환경모니터링 기법을 제외한 생물독성평가 분야의 효율평가 기법의 개발

○정화기술 효율평가를 위한 tiered approach, 지역특이적 평가(SSA), SRA (screening risk assessment) 등 생태독성평가 방법 분석

①정화기술 효율평가를 위한 tiered approach

- 정화복원 이행에 앞서 현재 상태에 대한 조사 및 보고
- 선택된 복원 방법에 대한 디자인 및 이행



②정화복원 효율평가를 위한 지역특이적 평가(SSA, site-specific assessment)

- Generic guidance for contaminated site
- 일반 가이드에서 제시하는 기준과 상대적인 오염농도 비교를 통한 평가
- 관심물질(유해화학물질)에 의해 영향을 받을 수 있는 잠재적으로 민감한 지역에 대한 선별
- 적절한 일반적 기준을 적용하여 기술-경제적으로 실현 가능한 평가





③ 효율평가를 위한 SRA (Screening Risk Assessment)의 활용

- 오염퇴적물의 잠재적인 관심
- 오염물질 (COPCs, contaminants of potential concern)에 대한 확인과 정화복원 지역의 오염 정도가 인간 건강 또는 환경에 대한 위해의 정도가 수용가능 정도인지 여부를 확인하는 과정
- 퇴적물 오염 정도에 대한 screening value가 인간의 건강(간접적) 또는 직접적으로 퇴적물과 접촉하는 생물 등에 대해 위해가 우려되는 정도를 평가
- 2차 오염 또는 이차독성(생물농축에 의한 영향) 등에 대해서는 제한적임
- Site-specific에 따른 Specific screening value의 활용
- 오염된 퇴적물에 대한 노출 시나리오에 따라 인간건강에 대한 위해와 생태위해를 개별적으로 고려한 screening value를 따로 설정할 수 있음

5. 퇴적물 정화기술 적용에 따른 환경영향평가 사례 및 기초적용 연구

○ National Research council(2007)과 USEPA(2005)의 사례 분석

- 정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립의 VI-1 부분을 참고(p.172~173)

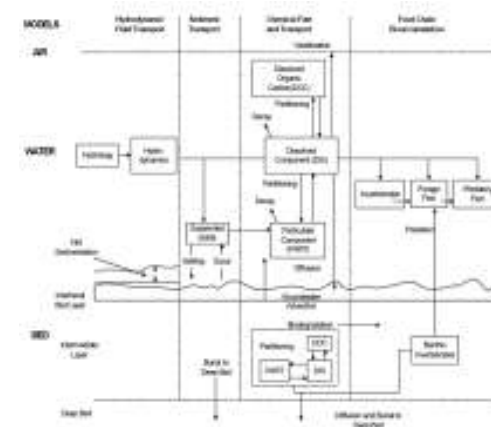
○오염퇴적물 위해성과 관련하여 독성영향 평가, 생물학적 군집의 변화 등 생물평가 방안 적용

- ◎ 오염퇴적물로 인한 위해 관리의 원리 (평가기반)
  - 배출원 관리가 우선적
  - 이해관계자의 참여 및 개방
  - 중앙정부, 지자체, 이해관계자의 조직화 및 신탁관리
  - 퇴적물 안정성이 고려된 conceptual site model의 정의 및 개발
  - 오염된 퇴적물의 위해에 기반을 둔 반복적 접근방식(iterative approach)의 사용
  - 정화복원 대상 지역(오염된 퇴적물) 정확한 평가 및 site model에 대한 가정 및 불확실성에 대한 고려
  - 오염된 퇴적물로 인한 위해에 기반을 둔 목표를 달성하기 위하여 site-specific, project-specific, sediment-specific 위해 관리의 접근
  - 오염된 퇴적물로 인한 위해 관리 목표를 달성하기 위해 퇴적물 정화 수준에 대한 보장
  - 정화복원의 한계를 인식하고 최대한의 효과를 달성하기 위한 노력
  - 단기간의 위해를 최소화하고 장기간의 보호를 목표로하는 정화복원 방법의 고려

- 퇴적물 정화복원 활동 동안의 모니터링 및 효율에 대한 평가 및 기록

◎ 효율평가를 위한 선행 모니터링의 필요

- 오염지역 특성 파악
- 퇴적물 내에 존재하는 오염물질, 표층수, 생물상,
- 지하수, 일반토양 등의 오염물질의 정도를 확인.
- 퇴적물과 범람원의 오염물질의 수직적, 수평적 요소의 분포를 확인.
- 오염물질의 근원을 파악하고 지속적인 오염요소를 관찰.
- 퇴적물의 안정성에 영향을 끼치는 지형학적 특징과
- 오염과정을 이해.
- 오염물질이 화학적, 생물학적인 영향을 미치는 요인을 파악하고, 오염물질의 생체이용률을 이해.
- 생태학적, 인간적인 관점에서 오염물질의 노출경로를 파악.
- 오염물질의 지형학적인 위험요소와 현재 및 미래에 인간에게 미치는 위해성을 파악.
- 자연적 회복의 가능성 및 정화효율성을 평가하기 위한
- 데이터를 수집하고 원위치 캠핑과 퇴적물의 제거 등 혁신적인 기술을 개발.
- 모든 자료를 통하여 정화작업의 효과를 모니터링하고 사용할 수 있는 데이터의 기준을 제공.



<오염퇴적물 노출 시나리오 모델링 framework>

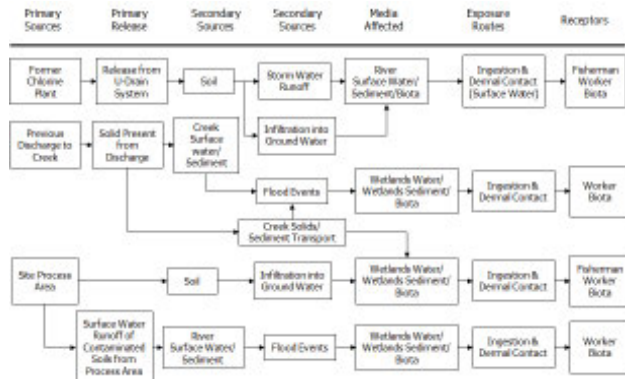
◎ 효율평가를 위한 사전준비 단계에의 요구자료

- 정화복원 대상지역에 대한 지역특이적(site-specific) 개념 모델의 개발

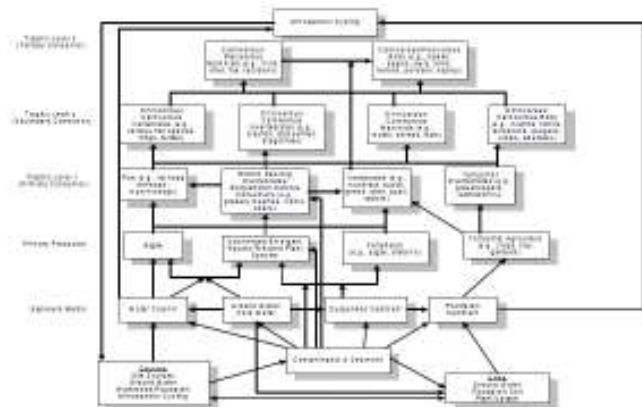
- 퇴적물과 오염물질의 거동 및 이동에 대한 평가
- 인간건강과 생태위해성평가의 실시
- 오염원(유입원) 관리의 효과에 대한 평가
- 복원효과의 잠재성에 대한 평가
- 정화복원 이행에 앞서 현재 상태에 대한 조사 및 보고
- 선택된 복원 방법에 대한 디자인 및 이행

◎ 개념모델의 설정

- 인간건강보호의 관점에서 효율평가를 위한 개념 모델의 구성
- 오염물질의 거동에 따른 노출경로를 고려한 개념모델의 설정
- 생태복원 관점에서 효율평가를 위한 개념 모델의 구성



<인간건강보호를 위한 효율평가를 위한 개념 모델>



<생태복원 관점의 효율평가를 위한 개념 모델>

Ⅶ. 사업의 경제성 분석 및 평가(서울여대)

1. 해양오염퇴적물 현황과 정화 실태 조사

- 우리나라는 과거 오염물질에 대한 관리가 부실한 상태에서 급속한 경제발전을 이룩해 온 결과 오염물질이 해양으로 유입되어 퇴적물에 의한 해양오염을 가속화시켜 왔음
- 우리나라 항만 해역 등 20여 곳 이상의 도시해역이 중금속, 유기염소계 화학물질, 부영양화 등을 유발하는 해저퇴적물로 인해 주민 건강과 생태계를 위협할 정도로 오염되어 있는데, 최근 조사 자료에 의하면 정화대상 해양오염 퇴적물의 양이 약 800만~1,000만  $m^3$ 에 달하는 것으로 추산되고 있음
- 하지만 이에 대한 관리는 제대로 수행되지 않고 있어 오염물질이 해양으로 유입됨에 따라 해양오염 수준이 날로 심각해지고 있음
- 현재 준설에 의해 수거된 오염퇴적물은 외해 투기나 고립처분(특정 근해에 쌓는 것)에 의해 최종 처분되고 있음
- 해양오염퇴적물 정화는 준설에 의해 침적 쓰레기 수거 후 흡입방식으로 이루어지고 오염퇴적물을 수거하여 중간처리 및 최종처리 과정을 거치는 방식을 따르고 있음
- 그러나 기존의 해양퇴적오염물질 제거 방식은 중간 처리에 시간과 비용이 많이 소요되고 2차 오염문제를 유발할 가능성이 있으며, 수거효율도 그리 높지 않은 등 개선의 여지가 많은 것으로 평가되고 있음
- 더욱이 폐기물의 해양투기로 인한 해양오염을 방지하기 위해 마련된 국제협약인 「런던협약」(London Convention, 1975년 발효)의 배출조건을 강화한 「런던협약 의정서」(우리나라는 2009년 1월 22일 가입)에 의해 2012년 이후에는 준설물질의 외해 투기가 매우 어려워질 전망으로 외해투기를 위해서는 물리적 화학적 세척 등의 중간처리가 필요하고 이에 대해 막대한 비용 증가가 예상되고 있음
- 이러한 가운데 침적 쓰레기 수거 과정에서 오염퇴적물 수층 확산, 빈번한 흡입구 막힘 현상으로 효율성이 떨어져 이를 해소하기 위한 새로운 기술개발이 필요함
- 또한 해양오염퇴적물 정화사업 해역 대부분은 선박밀집 해역으로 오염퇴적물 수거시 오락방지막 설치로 인한 선박통행 지장으로 해역이용권자와의 마찰이 상존하므로 해역 이용권자와의 마찰을 최소화할 수 있는 수거공법 개발 및 적용이 필요함

## 2. 해양오염퇴적물 정화기술 연구개발 현황 분석

- 해양오염퇴적물 정화사업은 「해양환경관리법」 상 ‘퇴적오염물질수거업’ 이라는 등록업으로 규정되어 있으며, 법령에 규정된 ‘퇴적오염물질전용수거선’을 사용하여 해양오염퇴적물을 수거하여 처리하고 있음
- 해양오염퇴적물 정화사업 외에 현재 우리나라의 해양환경 보전과 관련된 대표적인 정책사업으로는 2002년부터 실시 중인 오염상태가 심각한 5개 해역(인천-시화호 연안, 광양만, 마산만, 부산연안, 울산연안)을 특별관리해역으로, 환경상태가 양호하고 보전가치가 높은 해역(함평만, 완도-도암만, 득량만, 가막만)을 환경관리해역으로 설정한 제도가 있음
- 그리고 마산만처럼 오염물질의 해역내 유입량이 환경수용량을 초과하여 해양환경이 지속적으로 악화되는 지역에서는 각종 오염물질 배출량의 총량이 해역의 환경수용량 범위 내에서 유지되도록 관리하는 “연안오염총량관리제도”를 도입하여 추진하고 있음
- 아직까지 해양오염퇴적물 정화사업과 관련한 국내 시장규모는 크지 않아 2011년 현재 15개 업체가 등록되어 있는 수준임
- 참고로 중금속, 유해화학물질 등 각종 오염물질에 의해 오염된 퇴적물의 처리에 활용 가능한 유사한 기술을 보유하고 있는 업종으로 「토양환경보전법」에 규정된 ‘토양정화업체’ (2011년 현재 120개 업체가 등록)가 있음
- 그러나 해양수산부(2004-2007)와 국토해양부 부산지방해양항만청(2008)의 국가 해양오염퇴적물 분포조사 및 오염해역 퇴적물 정화 복원 타당성 조사 결과에 의하면, 우리나라의 정화 복원이 요구되는 오염퇴적물의 물량은 18개 해역에 600만㎡ 이상에 달해 잠재적인 시장규모가 크다고 할 수 있음
- 해양오염퇴적물을 현재 사업이 시행 중인 부산남항 오염퇴적물 정화사업의 평균단가인 105,000원/㎡으로 산술적으로 환산할 경우, 약 1조원의 사업비가 소요되는 새로운 시장이 형성될 것으로 전망됨
- 특별관리해역, 전국 무역항 등에 대한 추가 조사가 이루어질 경우, 정화소요 오염퇴적물 물량 및 시장규모도 현재의 2배 이상이 될 것으로 추정되고 있음
- 여기에 장기적으로 해외시장성까지 고려한다면 오염퇴적물 정화 시장 규모는 더욱 커질 수 있음
- 현재까지 시장성이 크지 않았던 해양오염퇴적물 정화 복원 관련 연구는 한경대학교, 한국해양대학교, 고려대학교, 한국해양과학기술원, 건설기술연구원, 포항산업과학연구원 등에 소속된 부족한 수의 전문인력들이 진행해 왔음
- 해양오염퇴적물의 조사, 오염특성규명, 해양환경모니터링 분야는 관련 대학 및 전문 연구기관에 인력 장비 등 인프라가 갖추어져 있으나, 해양오염퇴적물 정화사업과 관련된 수거 피복 등 현장처리, 오염도 저감 등 중간처리, 최종처리에 대한 연구 인프라는 기초적인 수준에 머물러 있는 실정임

- 정부는 2010년까지 해양오염퇴적물 정화사업에 약 1,400억 원의 사업비를 투입하였으나, 현재까지의 국내 기술개발은 주로 주민 요구를 수용하기 위한 소극적인 수준에 머물러 있는 것으로 평가됨
- 2008년 준설물질의 해양배출 처리기준이 법제화되기 이전에는 준설 후 외해 투기의 단순한 사업 과정으로 수행되었으며, 미국 일본 유럽 등과 같은 다양한 정화기술 개발에 대한 수요가 전무했다고 볼 수 있음
- 2008년부터 해양오염퇴적물 정화사업에서 발생한 오염 준설물질에 대한 해양 투기가 사실상 불가능하게 됨에 따라 해양투기 이외의 최종처리 방안을 마련하기 위한 수요가 발생함
- 이에 정화사업 유사기술의 평가, 준설토 투기장에서의 최종처리시 환경관리 방안 연구, 수중고립처분장 마련을 위한 설계기술 확보 등의 연구가 수행되어 왔음
- 주요 선진국들은 일찍부터 해양오염퇴적물 정화사업에 많은 기술적 재정적 투자를 해왔음
- 미국은 1980년 「포괄적환경배상책임법」(Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act; CERCLA)에 근거한 특별기금 조성을 통해 연방정부 주도로 정화사업을 추진하고 있으며, 주정부도 자체적인 오염퇴적물 정화프로그램에 많은 예산을 투입하고 있음
- 캐나다는 연방정부가 모두 11,000 곳의 오염부지를 설정하여 2006년까지 15년간 35억 달러를 정화사업비로 사용하였으며, 2007-2013년 기간 중에는 오염퇴적물 정화사업비로 2.56억 달러를 계상하고 있음
- 독일은 오염부지 정화사업에 매년 약 5억 유로의 공공사업비를 소요하고 있음
- 일본은 역사상 최악의 수산물 수은 중독 사건인 미나마타병 사건으로 일찍이 해양오염퇴적물 정화사업을 시작했는데, 1977년 10월부터 1990년 3월까지 14년간 486억 엔을 투자함
- 현재까지도 전국 각지의 해양오염퇴적물 정화사업에 상당한 비용을 사용하고 있는 것으로 알려지고 있으며, 최근에는 「공해방지 사업비 사업자 부담법」(公害防止事業費事業者負担法)에 따라 오염 원인자가 정화사업 비용을 부담하는 사례가 증가하고 있음 (예: 시마네 현의 마카타 공업단지 부근 폐기물 처리업자 등이 이 지역 정화사업에 소요되는 비용을 부담하고 있음)

### 3. 오염퇴적물 정화사업의 경제적 가치 분석과 관련한 국내외 유사연구문헌 분석

- 오염퇴적물 정화사업의 경제적 가치 분석과 관련한 국내문헌 19건, 국외문헌 29건의 유사 연구문헌을 정리, 분석하였음

| 국내외 관련 문헌  |
|--|
| <p><b>■ 국내 문헌</b></p> <p>국토해양부 (2008), 『해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발 1』 (연구기관: 한국해양연구원)</p> <p>국토해양부 부산지방해양항만청 (2008), 『부산 옹호만 오염해역 정화복원 타당성 조사』</p> <p>국토해양부 부산지방해양항만청 (2009), 『감천항 오염퇴적물 수거 타당성 조사』</p> <p>국토해양부(2011), 『기후변화에 따른 항만구역내 재해취약지구 정비계획수립용역 보고서: 아라미르 프로젝트』</p> <p>김영아·김영남·조경동·김미영·김은진·백옥화·이복희 (2011), 국민건강영양조사 제4기 2차년도 (2008)를 이용한 어패류 섭취빈도에 따른 한국 성인의 혈중 중금속 농도 조사, 『한국영양학회지』 44(6): 518-526</p> <p>김태윤·이형우 (2003), 정책적 맥락에서의 우리나라 인명의 가치측정, 『한국행정정보』 37(2): 379-398</p> <p>김홍배(2000), 『비용편익분석론』, 홍문사</p> <p>손부순 외 7인 (2005), 『환경영향평가』, 동화기술</p> <p>신영철 (2008), 질병예방행위 분석을 통한 확률적 인간생명가치 추정: 암검진 행위분석을 중심으로, 『자원·환경경제연구』 17(4): 845-873</p> <p>신영철·조승현 (2003), 미래의 사망가능성 감소에 대한 지불의사금액과 통계적 인간생명의 가치 추정: 환경적 피해와 환경정책의 평가를 위한 통계적 인간생명의 가치, 『자원·환경경제연구』 12(1): 49-74</p> <p>안소은·전철현·배두현 (2010), 『환경가치를 고려한 통합정책평가 연구 II』, 한국환경정책 평가연구원, 연구보고서 2010-21</p> <p>이용진·김예신·신동천·신영철 (2004), 울산 지역에서 대기중 벤젠으로 인한 암 사망 손실비용 추정 모형에 관한 연구, 『자원·환경경제연구』 13(1): 49-82</p> <p>이효진·김기범 (2010), 충남 서산에서 어획된 낙지(Octopus Minor)의 중금속 함량과 인체 위해성 평가, 『한국수산과학회지』 43(3): 270-276</p> <p>정채용·이의용 (1995), 도로교통사고 비용의 추계와 평가, 『교통안전연구논집』 14: 61-78</p> <p>통계청, KOSIS 국가통계포털, www.kosis.kr</p> <p>한국보건산업진흥원 (2008), 「응급의료체계 구축에 의한 사회적 비용편익분석」</p> <p>한국은행, 『산업연관표』, 한국은행 경제통계국</p> <p>해양수산부 (2004-2007), 『해양오염퇴적물 조사·정화·복원 체계 구축』</p> <p>Kim, E H, I K Kim, J Y Kwon, S W Kim, and Y W Park (2006), “The Effect of Fish Consumption on Blood Mercury Levels of Pregnant Women,” Yonsei Medical Journal 47(5): 626-633</p> |
| <p><b>■ 국외 문헌</b></p>  |

|  |
|--|
| <p>Adler, Nancy E, and Joan Ostrove (1999), “Socioeconomic Status and Health: What We Know and What We Don’t,” Annals of the New York Academy of Sciences 896: 3-15</p> <p>Almond, Douglas (2006), “Is the 1918 Influenza Pandemic Over? Long-term Effects of In Utero Influenza Exposure in the Post-1940 US Population,” Journal of Political Economy 114: 672-712</p> <p>Barker, D J P (1998), Mothers, Babies, and Health in Later Life, Edinburgh: Churchill Livingstone</p> <p>Behrman, Jere R, and Mark Rosenzweig (2004), “Returns to Birth weight”, Review of Economics and Statistics 86(2): 586-601</p> <p>Bleakley, Hoyt (2007), “Disease and Development: Evidence from Hookworm Eradication in the American South,” Quarterly Journal of Economics 122(1): 73-117</p> <p>Chima, R I, C A Goodman, and A Mills (2003), “The Economic Impact of Malaria in Africa: A Critical Review of the Evidence,” Health Policy 63(1): 17-36</p> <p>Cutler, David, Adriana Lleras-Mune (2006), “Education and Health: Evaluating Theories and Evidence,” NBER Working Paper #12352</p> <p>Cutler, David, and Grant Miller (2005), “The Role of Public Health Improvement in Health Advances: The Twentieth-Century United States,” Demography 42(1): 1-22</p> <p>Deschênes, O, and M Greenstone (2011), “Climate Change, Mortality, and Adaptation: Evidence from Annual Fluctuations in Weather in the US,” American Economic Journal: Applied Economics 3(4): 152-185</p> <p>Deschênes, O, M Greenstone, and J Guryan (2009), “Climate Change and Birth Weight,” American Economic Review: Papers and Proceedings 99(2): 211-217</p> <p>Environmental Chemistry Branch (2005), “Cost Estimating for Contaminated Sediment Treatment - A Summary of the State of the Practice,” US Army Engineer Research and Development Center</p> <p>Floud, Roderick, Robert Fogel, Bernard Harris, and Sok Chul Hong (2011), The Changing Body: Health, Nutrition, and Human Development in the Western World since 1700, Cambridge: Cambridge University Press</p> <p>Haile R W, J S Witte, M Gold, R Cressey, C McGee, R C Millikan, A Glasser, N Harawa, C Ervin, P Harmon, J Harper, J Dermand, J Alamillo, K Barrett, M Nides, and G Wang (1999), “The Health Effects of Swimming in Ocean Water Contaminated by Storm Drain Runoff,” Epidemiology 10(4): 355-63</p> <p>Hallegraef, G M (1993), “A Review of Harmful Algal Blooms and Their Apparent Global Increase,” Phycologia 32(2): 79-99</p> <p>Harrison, R M (2001), Pollution: Causes, Effects and Control, Royal Society of Chemistry</p> <p>Hoagland, D M, Y Anderson, Y Kaoru, and A W White (2002), “The Economic Effects of Harmful Algal Blooms in the United States: Estimates, Assessment Issues, and Information Needs,” Estuaries 25(4b): 819-837</p> <p>Hong, Sok Chul (2007), “The Burden of Early Exposure to Malaria in the United States, 1850-1860: Malnutrition and Immune Disorders,” The Journal of Economic History 67(4): 1001-35</p> <p>Karl, Thomas R, J M Melillo, and T C Peterson (2009), Global Climate Change Impacts in the United States, Cambridge: Cambridge University Press</p> <p>Longo, L (1977), “The Biological Effects of Carbon Monoxide on the Pregnant Woman, Fetus, and Newborn Infant,” American Journal of Obstetrics and Gynecology 129: 69-103</p> |
|--|

Maccini, Sharon and Dean Yang (2009), "Under the Weather: Health, Schooling, and Economic Consequences of Early-Life Rainfall," American Economic Review 99(3): 1006-1026

Marmot, Michael, and Richard G Wilkinson (1999), Social Determinants of Health, Oxford: Oxford University Press

OECD (2012), Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies, OECD Publishing

Patz, J, D Campbell-Lendrum, T Holloway, and JA Foley (2005), "Impact of Regional Climate Change on Human Health," Nature 438(17): 310-317

Sachs, Jeffrey, and Pia Malaney (2002), "The Economic and Social Burden of Malaria," Nature 415(7): 680-685

Steckel, Richard, and Jerome C Rose (2002), The Backbone of History: Health and Nutrition in the Western Hemisphere, Cambridge: Cambridge University Press

Thomson, M C, F J Doblas-Reyes, S J Mason, R Hagedorn, S J Connor, T Phindela, A P Morse, and T N Palmer (2006), "Malaria Early Warnings based on Seasonal Climate Forecasts from Multi-Model Ensembles," Nature 439(7076): 576-579

Wang, D Z (2008), "Neurotoxins from Marine Dinoflagellates: A Brief Review," Marine Drugs 6(2): 349-371

Waring, R H, and R M Harris (2005), "Endocrine Disrupters: A Human Risk?," Molecular and Cellular Endocrinology 244: 2-9

WHO (2009), Protecting Health from Climate Change: Connecting Science, Policy and People, Geneva: World Health Organization

#### 4. 사업과 관련한 상위계획 및 관련 계획의 검토를 통해 사업의 적절성과 국고지원의 적정성 기준을 검토

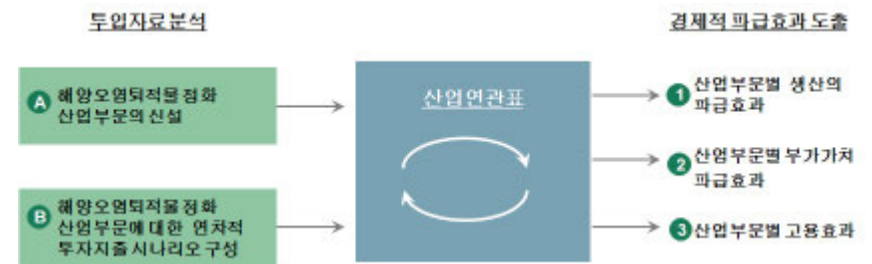
- 해양오염퇴적물 정화사업 추진에 따른 해역의 부가가치 증대
  - 해양오염퇴적물 정화를 통해 얻을 수 있는 효과로는 해양환경 개선으로 지역 주민 생활환경 개선 및 관광 레저 등 다양한 목적으로 해역이용 활성화와 해역이용의 부가가치 상승을 기대할 수 있음
  - 즉 해양오염퇴적물이 제거되면 수질개선 및 악취 감소 등을 통해 지역주민의 생활환경이 개선되고 해당지역에 대한 관광 및 레저산업이 활성화됨에 따라 지역의 부가가치가 상승하게 됨
  - 예를 들어 연안 등지에서 포획되는 낙지 같은 수산물 내에 식품안전 기준치를 초과하는 양의 카드뮴 등 중금속이 포함되어 있거나 흙게에 폐기물이 부착되는 문제가 언론에 보도된 바 있는데, 해양오염퇴적물 정화사업을 통해 이러한 문제가 해소된다면 관련 지역의 수산업이 보다 활성화될 수 있어 단순히 환경이 개선되는 효과를 넘어 해양의 경제적 가치가 크게 증대되는 실질적 효과도 거둘 수 있을 것임

- 산업연관효과를 통한 연구 개발의 시너지 효과
  - 해양오염퇴적물 정화기술 개발 및 사업시행 과정에서 해양 대형 토목구조물 설계 시공기술 등과 관련된 건설업 부문, 연구사업 부문, 기타 화학 생물학적 기술과 관련된 산업에 이르기까지 해양오염퇴적물 정화복원과 관련된 직접 간접적인 경제활동부문에 대한 산업연관효과를 통한 연구 개발의 시너지 효과를 기대할 수 있음
- 해양오염퇴적물 정화기술 국제 경쟁력 제고
  - 기술개발을 통해 국내 해양오염퇴적물 정화기술의 선진화와 신기술의 해외시장 진출이 가능함
  - 산업화가 급속도로 진전되고 있는 중국과 동남아시아 지역에서는 현재 하천, 호수, 연안 등의 오염퇴적물 정화사업이 시작 또는 준비 단계에 있으므로 관련 기술을 개발하여 산업화할 경우 향후 해외시장 개척이 가능함

#### 5. 해양오염퇴적물 정화기술 개발 사업의 경제성 분석

- 연구에서는 그림 VII-1과 같이 산업연관분석을 통해 해양오염퇴적물 정화기술 개발의 국내 전 산업부문에 걸친 경제적 파급효과를 분석함
- 이를 위해 한국은행의 「산업연관표」(2009년 연장표 기준자료)를 이용하여 생산, 부가가치, 고용의 파급효과를 계량화함

그림 VII-1. 투입-산출분석의 흐름도



- 해양오염퇴적물 정화기술 중 피복정화기술을 실시하기 위해서는 현장시공 인프라 구축과 관련하여 오염퇴적층의 격리 등을 위해 선박이나 특수기계를 필요 하고, 기타 하역 여건, 접하 여건 인프라와 장비가 소요됨
- 이를 감안하여 본 연구에서의 해양오염퇴적물정화부문은 403부문 산업연관표에서 239부문(기타특수목적용기계), 282부문(기타 선박), 311부문(항만시설), 315부문(농림수산토목), 319부문(기계조립설치), 320부문(기타건설)을 포함함

- 한편 산업연관분석을 위해 해양오염퇴적물정화부문에서의 최종지출액이 시설투자가 집중되는 1차년도에 초기투자비용으로 85%가 사용되고 나머지 15%는 사업운영비로 이후 9년간 균등 배분된다고 가정함
- 즉 1차년도 6,426억 원, 나머지 9개년 도에 연도별로 126억 원씩 투자된다고 가정함
- 이상과 같은 시나리오 하에서의 산업별 총생산효과가 <표 VII-2>에 나타나 있는데, 시설투자가 이루어지는 1차년도에 1조 3,469억원의 직·간접 생산유발효과가 발생하고, KDI 예산타당성분석에서와 같이 연간 할인율을 5.5%로 동일하게 적용하였을 때 이후 사업운영비가 투입되는 9년간 1,836억원 등 10년간 총 1조 5,305억원의 생산유발효과가 발생함
- 생산유발효과는 실제 소요사업비의 약 2배 수준으로 나타났으며, 이를 산업별로 살펴보면 최종수요 발생으로 직접효과의 영향을 많이 받는 정화부문이 가장 큰 생산유발효과를 보이며, 다음으로 1차금속제품, 금속제품, 부동산 및 사업서비스, 일반기계, 화학제품, 도소매 등의 순으로 생산유발효과가 큰 것으로 나타남

표 VII-2. 해양오염퇴적물 정화사업의 생산유발효과

(단위: 백만원)

|           | 1차      | 2차    | 3차    | 4차    | 5차    | 6차    | 7차    | 8차    | 9차    | 10차   | 연도      |
|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|           | 년도      | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 합계      |
| 농림수산물     | 3,032   | 56    | 53    | 51    | 48    | 45    | 43    | 41    | 39    | 37    | 3,445   |
| 광산물       | 4,012   | 75    | 71    | 67    | 64    | 60    | 57    | 54    | 51    | 49    | 4,559   |
| 음식료품      | 4,621   | 86    | 81    | 77    | 73    | 69    | 66    | 62    | 59    | 56    | 5,251   |
| 섬유및가죽제품   | 3,493   | 65    | 62    | 58    | 55    | 52    | 50    | 47    | 45    | 42    | 3,970   |
| 목재및종이제품   | 9,278   | 172   | 163   | 155   | 147   | 139   | 132   | 125   | 119   | 112   | 10,542  |
| 인쇄및복제     | 1,614   | 30    | 28    | 27    | 26    | 24    | 23    | 22    | 21    | 20    | 1,834   |
| 석유및석탄제품   | 31,844  | 592   | 561   | 532   | 504   | 478   | 453   | 429   | 407   | 386   | 36,185  |
| 화학제품      | 44,934  | 835   | 792   | 750   | 711   | 674   | 639   | 606   | 574   | 544   | 51,060  |
| 비금속광물제품   | 34,969  | 650   | 616   | 584   | 554   | 525   | 497   | 471   | 447   | 424   | 39,736  |
| 제1차금속제품   | 178,809 | 3,323 | 3,150 | 2,986 | 2,830 | 2,683 | 2,543 | 2,410 | 2,285 | 2,165 | 203,184 |
| 금속제품      | 67,290  | 1,251 | 1,185 | 1,124 | 1,065 | 1,010 | 957   | 907   | 860   | 815   | 76,462  |
| 일반기계      | 49,314  | 916   | 869   | 823   | 780   | 740   | 701   | 665   | 630   | 597   | 56,036  |
| 전기및전자기기   | 27,414  | 509   | 483   | 458   | 434   | 411   | 390   | 369   | 350   | 332   | 31,151  |
| 정밀기기      | 6,906   | 128   | 122   | 115   | 109   | 104   | 98    | 93    | 88    | 84    | 7,847   |
| 수송장비      | 11,929  | 222   | 210   | 199   | 189   | 179   | 170   | 161   | 152   | 144   | 13,555  |
| 기타제조업제품   | 2,459   | 46    | 43    | 41    | 39    | 37    | 35    | 33    | 31    | 30    | 2,794   |
| 전력가스및수도   | 16,719  | 311   | 295   | 279   | 265   | 251   | 238   | 225   | 214   | 202   | 18,997  |
| 건설        | 1,977   | 37    | 35    | 33    | 31    | 30    | 28    | 27    | 25    | 24    | 2,247   |
| 도소매       | 36,460  | 678   | 642   | 609   | 577   | 547   | 518   | 491   | 466   | 442   | 41,430  |
| 음식점및숙박    | 9,288   | 173   | 164   | 155   | 147   | 139   | 132   | 125   | 119   | 112   | 10,554  |
| 운수및보관     | 22,143  | 412   | 390   | 370   | 350   | 332   | 315   | 298   | 283   | 268   | 25,161  |
| 통신및방송     | 8,450   | 157   | 149   | 141   | 134   | 127   | 120   | 114   | 108   | 102   | 9,602   |
| 금융및보험     | 23,408  | 435   | 412   | 391   | 371   | 351   | 333   | 316   | 299   | 283   | 26,599  |
| 부동산및사업서비스 | 57,281  | 1,065 | 1,009 | 957   | 907   | 859   | 815   | 772   | 732   | 694   | 65,089  |
| 공공행정및국방   | 289     | 5     | 5     | 5     | 5     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 329     |

|          |           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
|----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 교육및보건    | 7,372     | 137    | 130    | 123    | 117    | 111    | 105    | 99     | 94     | 89     | 8,376     |
| 사회및기타서비스 | 9,220     | 171    | 162    | 154    | 146    | 138    | 131    | 124    | 118    | 112    | 10,477    |
| 기타       | 17,298    | 322    | 305    | 289    | 274    | 260    | 246    | 233    | 221    | 209    | 19,656    |
| 정화부문     | 655,037   | 12,174 | 11,540 | 10,938 | 10,368 | 9,827  | 9,315  | 8,829  | 8,369  | 7,933  | 744,330   |
| 총계       | 1,346,859 | 25,032 | 23,727 | 22,490 | 21,318 | 20,207 | 19,153 | 18,155 | 17,208 | 16,311 | 1,530,460 |

주: 연차별 금액은 연간할인율을 5.5%로 적용한 수치 기준임

- 정화사업의 실시로 인해 예상되는 부가가치 유발효과가 <표 VII-3>에 나타나 있는데, 그 규모는 10년간 총 4,887억 원에 달하는 것으로 예상됨
- 부가가치 유발효과의 경우도 정화부문의 최종수요가 발생함에 따라 정화부문이 가장 크게 나타났으며, 이어서 부동산 및 사업서비스, 1차금속제품, 도소매, 금속제품, 금융 및 보험, 일반기계 등의 순으로 부가가치 유발효과가 큰 것으로 나타남

표 VII-3. 해양오염퇴적물 정화사업의 부가가치 유발효과

(단위: 백만원)

|           | 1차      | 2차    | 3차    | 4차    | 5차    | 6차    | 7차    | 8차    | 9차    | 10차   | 연도      |
|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|           | 년도      | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 합계      |
| 농림수산물     | 1,581   | 29    | 28    | 26    | 25    | 24    | 22    | 21    | 20    | 19    | 1,797   |
| 광산물       | 2,347   | 44    | 41    | 39    | 37    | 35    | 33    | 32    | 30    | 28    | 2,667   |
| 음식료품      | 1,175   | 22    | 21    | 20    | 19    | 18    | 17    | 16    | 15    | 14    | 1,335   |
| 섬유및가죽제품   | 1,042   | 19    | 18    | 17    | 16    | 16    | 15    | 14    | 13    | 13    | 1,183   |
| 목재및종이제품   | 2,547   | 47    | 45    | 42    | 40    | 38    | 36    | 34    | 33    | 31    | 2,894   |
| 인쇄및복제     | 629     | 12    | 11    | 10    | 10    | 9     | 9     | 8     | 8     | 8     | 714     |
| 석유및석탄제품   | 6,465   | 120   | 114   | 108   | 102   | 97    | 92    | 87    | 83    | 78    | 7,347   |
| 화학제품      | 9,016   | 168   | 159   | 151   | 143   | 135   | 128   | 122   | 115   | 109   | 10,245  |
| 비금속광물제품   | 10,620  | 197   | 187   | 177   | 168   | 159   | 151   | 143   | 136   | 129   | 12,068  |
| 제1차금속제품   | 26,469  | 492   | 466   | 442   | 419   | 397   | 376   | 357   | 338   | 321   | 30,077  |
| 금속제품      | 18,184  | 338   | 320   | 304   | 288   | 273   | 259   | 245   | 232   | 220   | 20,663  |
| 일반기계      | 12,967  | 241   | 228   | 216   | 205   | 194   | 184   | 175   | 166   | 157   | 14,734  |
| 전기및전자기기   | 5,771   | 107   | 102   | 96    | 91    | 87    | 82    | 78    | 74    | 70    | 6,558   |
| 정밀기기      | 1,763   | 33    | 31    | 29    | 28    | 26    | 25    | 24    | 23    | 21    | 2,003   |
| 수송장비      | 2,834   | 53    | 50    | 47    | 45    | 43    | 40    | 38    | 36    | 34    | 3,220   |
| 기타제조업제품   | 693     | 13    | 12    | 12    | 11    | 10    | 10    | 9     | 9     | 8     | 787     |
| 전력가스및수도   | 4,850   | 90    | 85    | 81    | 77    | 73    | 69    | 65    | 62    | 59    | 5,511   |
| 건설        | 790     | 15    | 14    | 13    | 13    | 12    | 11    | 11    | 10    | 10    | 898     |
| 도소매       | 21,303  | 396   | 375   | 356   | 337   | 320   | 303   | 287   | 272   | 258   | 24,207  |
| 음식점및숙박    | 3,525   | 65    | 62    | 59    | 56    | 53    | 50    | 48    | 45    | 43    | 4,005   |
| 운수및보관     | 8,301   | 154   | 146   | 139   | 131   | 125   | 118   | 112   | 106   | 101   | 9,433   |
| 통신및방송     | 3,734   | 69    | 66    | 62    | 59    | 56    | 53    | 50    | 48    | 45    | 4,243   |
| 금융및보험     | 12,990  | 241   | 229   | 217   | 206   | 195   | 185   | 175   | 166   | 157   | 14,760  |
| 부동산및사업서비스 | 38,881  | 723   | 685   | 649   | 615   | 583   | 553   | 524   | 497   | 471   | 44,181  |
| 공공행정및국방   | 195     | 4     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 2     | 2     | 221     |
| 교육및보건     | 4,891   | 91    | 86    | 82    | 77    | 73    | 70    | 66    | 62    | 59    | 5,557   |
| 사회및기타서비스  | 4,706   | 87    | 83    | 79    | 75    | 71    | 67    | 63    | 60    | 57    | 5,348   |
| 기타        | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       |
| 정화부문      | 221,840 | 4,123 | 3,908 | 3,704 | 3,511 | 3,328 | 3,155 | 2,990 | 2,834 | 2,687 | 252,080 |
| 총계        | 430,106 | 7,994 | 7,577 | 7,182 | 6,808 | 6,453 | 6,116 | 5,797 | 5,495 | 5,209 | 488,738 |

주: 연차별 금액은 연간할인율을 5.5%로 적용한 수치 기준임

- 한편 해양오염퇴적물정화사업의 총생산유발효과(10년간 1조 5,305억원)에 취업유발계수의 대각행렬을 곱해서 구한 전산업의 고용창출효과는 9,858명에 이르는 것으로 분석됨
- 산업부문별로는 정화사업이 전체 고용효과의 43.2%로 가장 높게 나타났으며, 이어서 노동집약적인 산업인 광산품, 도소매, 부동산 및 사업서비스, 금속제품, 운수 및 보관업 등의 순으로 나타남(표 VII-4).

표 VII-4. 해양오염퇴적물 정화사업의 취업유발효과 (단위: 명)

|           | 1차   | 2차  | 3차  | 4차  | 5차  | 6차  | 7차  | 8차  | 9차  | 10차 | 연도   |
|-----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
|           | 년도   | 년도  | 년도  | 년도  | 년도  | 년도  | 년도  | 년도  | 년도  | 년도  | 합계   |
| 농림수산물     | 99   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 112  |
| 광산품       | 1586 | 29  | 28  | 26  | 25  | 24  | 23  | 21  | 20  | 19  | 1802 |
| 음식료품      | 14   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 16   |
| 섬유및가죽제품   | 24   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 27   |
| 목재및종이제품   | 36   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 41   |
| 인쇄및복제     | 15   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 17   |
| 석유및석탄제품   | 5    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 6    |
| 화학제품      | 89   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 101  |
| 비금속광물제품   | 111  | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1   | 1   | 126  |
| 제1차금속제품   | 137  | 3   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 156  |
| 금속제품      | 337  | 6   | 6   | 6   | 5   | 5   | 5   | 5   | 4   | 4   | 383  |
| 일반기계      | 184  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 2   | 2   | 2   | 209  |
| 전기및전자기기   | 60   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 68   |
| 정밀기기      | 39   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 44   |
| 수송장비      | 28   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 31   |
| 기타제조업제품   | 16   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 18   |
| 전력가스및수도   | 18   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 21   |
| 건설        | 17   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 19   |
| 도소매       | 853  | 16  | 15  | 14  | 13  | 13  | 12  | 11  | 11  | 10  | 969  |
| 음식점및숙박    | 192  | 4   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 2   | 2   | 218  |
| 운수및보관     | 217  | 4   | 4   | 4   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 247  |
| 통신및방송     | 23   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 25   |
| 금융및보험     | 122  | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1   | 139  |
| 부동산및사업서비스 | 460  | 9   | 8   | 8   | 7   | 7   | 7   | 6   | 6   | 6   | 522  |
| 공공행정및국방   | 3    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3    |
| 교육및보건     | 104  | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 118  |
| 사회및기타서비스  | 144  | 3   | 3   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 164  |
| 기타        | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    |
| 정화부문      | 3745 | 70  | 66  | 63  | 59  | 56  | 53  | 50  | 48  | 45  | 4255 |
| 총계        | 8675 | 161 | 153 | 145 | 137 | 130 | 123 | 117 | 111 | 105 | 9858 |

- 구체적으로 해양오염퇴적물 정화사업을 10년간 수행하는 것으로 가정하여 전체 투입비용 7,560억 원의 85%인 6,426억 원을 1차년도 시설투자비 등 사업비용으로 지출하고 나머지 15%인 1,134억 원을 이후 9개년 도에 관리비용 명목으로 균등 지출한다고 가정함

- 연간 직접 편익의 하한을 100억 원으로 가정하고 상기비용 투입시 산업연관 분석으로부터 도출한 간접편익을 이용하여 총편익을 산정함
- 통상 국가적으로 특정 할인율을 권고하고 있지는 않으나, 상이한 시점에서 발생하는 수익과 비용을 1차년도와 동일한 가치로 환산하기 위해 연구시점 현재 「한국개발연구원」이 대규모 사업의 예산타당성 분석에서 사용하고 있는 할인율 5.5%를 연도에 대해 적용함
- 단 해양오염퇴적물의 정화로 인해 얻게 되는 연간 직접편익(100억 원)은 해마다 경상가치가 5.5%씩 증가한다고 보아 할인을 통해 현재가치화한 금액이 매년 100억 원으로 일정하다고 가정함
- 이상과 같은 가정을 반영하여 다음과 같은 세 가지의 시나리오 분석을 수행함
- 첫째, 사업성공확률 및 R&D 기여도 모두 100%일 경우의 Baseline scenario임
- 둘째, 사업성공확률을 한국과학기술평가연구원(KISTEP) 지침에 따라 한국산업기술진흥원과 한국산업기술평가원에서 집계한 2005년~2009년의 R&D 수행 과제 중 사업화에 성공한 사업의 비율 48.74%를 적용할 경우의 Medium scenario임
- 셋째, Medium scenario에 R&D 기여도도 KISTEP 지침에 따라 28.1%를 적용할 경우의 Worst scenario임
- 시나리오별 비용과 편익의 연간 흐름이 표 VII-5에 제시되어 있는데, 해양오염퇴적물 정화사업을 10년간 시행하는 경우의 B/C 비율은 가장 낙관적인 경우 2.1096로 나타났으나, 사업 성공확률 48.74%를 적용할 경우 B/C 비율은 1.0282 수준으로 낮아지며, 여기에 R&D 기여도를 28.1% 적용할 경우에는 B/C 비율이 0.2889 수준에 불과하게 됨

표 VII-5. 해양오염퇴적물 정화사업 비용-편익의 연간 흐름 (단위: 백만원)

|       | Baseline scenario (사업성공 확률=100%, R&D 기여도=100%) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |           |
|-------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
|       | 1차   | 2차     | 3차     | 4차     | 5차     | 6차     | 7차     | 8차     | 9차     | 10차    | 연도        |
|       | 년도   | 년도     | 년도     | 년도     | 년도     | 년도     | 년도     | 년도     | 년도     | 년도     | 합계        |
| 직접 편익 | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 1,000  | 10,000    |
| 간접 편익 | 1,346,859                                      | 25,032 | 23,727 | 22,490 | 21,318 | 20,207 | 19,153 | 18,155 | 17,208 | 16,311 | 1,530,460 |
| 비용    | 642,600  | 11,943 | 11,321 | 10,730 | 10,171 | 9,641  | 9,138  | 8,662  | 8,210  | 7,782  | 73,0198   |

Medium scenario (사업성공 확률=48.74%, R&D 기여도=100%)

|       | 1차        | 2차     | 3차     | 4차     | 5차     | 6차    | 7차    | 8차    | 9차    | 10차   | 연도      |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|       | 년도        | 년도     | 년도     | 년도     | 년도     | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 합계      |
| 직접 편익 | 487.4     | 487.4  | 487.4  | 487.4  | 487.4  | 487.4 | 487.4 | 487.4 | 487.4 | 487.4 | 4,874   |
| 간접 편익 | 1,346,859 | 12,201 | 11,565 | 10,962 | 10,390 | 9,849 | 9,335 | 8,849 | 8,387 | 7,950 | 745,946 |
| 비용    | 642,600   | 11,943 | 11,321 | 10,730 | 10,171 | 9,641 | 9,138 | 8,662 | 8,210 | 7,782 | 73,0198 |

Worst scenario (사업성공 확률=48.74%, R&D 기여도=28.1%)

|       | 1차        | 2차     | 3차     | 4차     | 5차     | 6차    | 7차    | 8차    | 9차    | 10차   | 연도      |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|       | 년도        | 년도     | 년도     | 년도     | 년도     | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 년도    | 합계      |
| 직접 편익 | 137       | 137    | 137    | 137    | 137    | 137   | 137   | 137   | 137   | 137   | 1,370   |
| 간접 편익 | 1,346,859 | 3,428  | 3,250  | 3,080  | 2,920  | 2,768 | 2,623 | 2,486 | 2,357 | 2,234 | 209,611 |
| 비용    | 642,600   | 11,943 | 11,321 | 10,730 | 10,171 | 9,641 | 9,138 | 8,662 | 8,210 | 7,782 | 73,0198 |

주: 사업 1차년도에 발생하는 해양오염퇴적물 정화사업 투자비용은 사업성공확률 및 R&D 기여도와 무관하게 투입되는 투자개념으로 간주하였고, 이후의 관리비용 투입은 사업성공확률과 R&D기여도를 감안하여 지출이 발생하는 것으로 가정하였기 때문에 1차년도의 간접편익이 모든 시나리오 분석에 있어 동일하게 제시됨

- 본 연구에서는 기존 방식에 비해 효율성 및 단가 측면에서 개선된 새로운 기술 개발에 의해 해양오염퇴적물 정화사업을 실시하는 경우 얻을 수 있는 비용과 편익을 중심으로 동 사업의 경제성 타당성을 살펴 보았음.
- 이를 위해 사업성공 여부와 관계없이 R&D 사업 자체로 발생하는 거시경제적 관점에서의 편익인 산업연관분석 및 비용편익분석을 실시하였는데, 해양오염퇴적물 정화사업의 비용대비 편익이 가장 낙관적인 경우 2.1배로 나타나 경제성이 높은 것으로 판단되나, 평균적인 R&D 수행과제의 사업성공확률과 R&D 기여도 모두를 감안할 경우 1보다 작게 나타나는 것으로 분석됨.

#### 6. 지역균형발전, 정책 일관성 및 추진의지, 사업추진상의 위험요인(재원조달 가능성, 환경성 등)에 대한 평가

- 대부분의 공공사업이 일정한 가치를 가지고 추진되나 모든 투자가 기회비용을 수반한다는 점에서 대안적인 사업간 효율성 비교를 통해 정책이 결정되어야 할 것임
- 그런데 이러한 정책결정에 있어서의 문제는 공공사업의 '비용' (cost)은 공적자금의 투입액으로 파악이 가능하지만, '편익' (benefit)은 사업의 특성

상 시장가격기구를 통하여 직접적으로 표현되지 않는다는 특성을 지닌다는데 있음

- 또한 미래의 산업구조 변화, 수요변화, 가격변화 등 분석대상과 관련된 시장 여건이 불확실한 상태에서 이루어지는 경제성 분석은 많은 불확실성을 내포하고 있다고 할 수 있음
- 질병환경, 수질오염, 기후변화, 대기오염 등 다양한 환경문제의 중요성을 장기적인 관점에서 살펴보았다. 환경의 유형이 다름에도 불구하고, 각 환경문제는 공통적으로 생애주기에 걸쳐 건강수준을 낮추고 인적자본축적에도 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 검토하였다. 무엇보다 환경문제의 중요성은 개인의 삶에 미치는 영향이 중장기적이라는 점이다. 또한 태아기 그리고 영유아기 유해환경에의 노출은 막대한 사회경제적 손실을 초래할 수 있다는 점도 강조할 필요가 있다.

#### 7. 퇴적물 오염이 생태계 및 인간건강에 미치는 효과 및 오염 정화에 따른 경제성 분석

표 VII-6. 해양오염정화 시나리오별 연간 예방가능 조기사망자수 추정

| 시나리오          | 화학적 산소요구량 |      | 인구10만 명 당 사망률 예상 |       | 분석 시군의 인구합계 | 분석 시군 내 추정 사망자수 |       | 분석 시군 내 연간 예방가능 조기사망자수 |       |     |
|---------------|-----------|------|------------------|-------|-------------|-----------------|-------|------------------------|-------|-----|
|               | mg/l      | 개선율  | 호흡기              | 비노생식기 |             | 호흡기             | 비노생식기 | 호흡기                    | 비노생식기 | 합계  |
| 2005-2010년 평균 | 1.07      |      | 30.56            | 7.67  | 4,584,027   | 1,401           | 352   |                        |       |     |
| 시나리오 1        | 0.96      | 0.90 | 30.16            | 7.48  | 4,584,027   | 1,382           | 343   | 19                     | 9     | 27  |
| 시나리오 2        | 0.54      | 0.50 | 27.99            | 6.48  | 4,584,027   | 1,283           | 297   | 118                    | 54    | 172 |
| 시나리오 3        | 0.25      | 0.23 | 25.42            | 5.39  | 4,584,027   | 1,165           | 247   | 236                    | 105   | 340 |
| 시나리오 4        | 0.11      | 0.10 | 22.83            | 4.39  | 4,584,027   | 1,047           | 201   | 354                    | 150   | 505 |

주: 추정방법은 별첨 참조

- 1인당 평균 임금손실 추정치를 앞 절의 <표 VII-6>에서 구한 해양오염개선시나리오별 예방가능 사망자수에 적용해보자. 표 VII-7의 결과 중 시나리오 2를 기준으로 살펴보면, 오염정화기술개발로 연안의 화학적 산소요구량 평균이 현행의 50% 수준으로 감소한다면 호흡기 및 비노생식기 질환에 따른 사망을 연간 172명 예방할 수 있다. 이들 예방가능 사망자의 1인당 기대여명까지 임금의 현재가격은 약 4,473만원으로 추정되므로 이를 적용하면, 오염정화기술개발에 따른 사망감소의 경제적 가치는 연간 76.99억 원으로 추정된다.



표 VII-7 해양오염 정화기술개발의 건강증진효과의 연간 경제적 가치

| 시나리오          | 화학적 산소요구량 |      | 연간 예방가능<br>조기사망수<br>(명) | 조기사망예방경<br>제적 가치<br>(억원, 2010년<br>기준) |
|---------------|-----------|------|-------------------------|---------------------------------------|
|               | mg/l      | 개선율  |                         |                                       |
| 2005-2010년 평균 | 1.07      |      |                         |                                       |
| 시나리오 1        | 0.96      | 0.90 | 27                      | 12.27                                 |
| 시나리오 2        | 0.54      | 0.50 | 172                     | 76.99                                 |
| 시나리오 3        | 0.25      | 0.23 | 340                     | 152.09                                |
| 시나리오 4        | 0.11      | 0.10 | 505                     | 225.76                                |

주: 추정방법은 별첨 참조

8. 결론 및 정책 제언 제시

- 연구개발사업 및 구조물 투자를 민간과 공동으로 추진하는 경우 기술사용 권리문제와 민간부담금을 지불하게 되는 기업의 인센티브 고려에 따라 비용과 편익 분석의 결과가 달라질 수 있음
- 비용편익분석은 사업으로 인한 현재 및 미래의 편익과 비용을 현재가치로 할인하여 비교하며 일반적으로 편익과 비용의 시간구조가 상이하므로 사업의 영향기간, 할인율의 크기에 따라 평가결과가 달라질 수 밖에 없음을 감안해야 함
- 다양한 환경문제가 중 장기적으로 개인의 건강과 인적자본축적에 영향을 미친다는 선행연구들을 고려할 때, 해양오염개선의 건강증진효과를 간과해서는 안 될 것임

3. 연구목표의 달성도

가. 연구개발 수행 진도를

| 구분<br>개발내용               | 연구개발기간 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 진도(%) |     |
|--------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------|-----|
|                          | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |       |     |
| 사업총괄                     |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |
| 해역(오염) 유형별 최적 정화공법 선정    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |
| 해양퇴적물오염특성별 해역유형 구분 기준 개발 |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |
| 해역유형별 해양폐기물 최적 수거공법 개발   |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |
| 해양오염퇴적물 피복정화 기술개발        |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |
| 오염퇴적물 현장처리 기술개발          |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |
| 정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립     |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |
| 사업의 경제성 분석 및 평가          |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |
| 총 진도율                    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |       | 100 |

..... 당초계획  
 \_\_\_\_\_ 실적

나. 연구개발 목표의 달성도

| 목 표                   | 달 성 도 (%) | 내 용   |
|-----------------------|-----------|---|
| 해역(오염) 유형별 최적 정화공법 선정 | 100       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내·외 정화사업에 사용되는 다양한 공법의 선정 방안 및 사례를 검토하여 최적 정화공법선정 의사결정도구(안) 개발</li> </ul> |

|                                 |     |  |
|---------------------------------|-----|--|
| 해양퇴적물오염특성<br>별 해역유형 구분<br>기준 개발 | 100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25개 해역의 해양퇴적물에 대한 오염도, 지형적 특징, 주요오염물질, 퇴적물 물성 결과를 활용하여 유형을 구분할 수 있는 특성 제시</li> <li>• 해양오염퇴적물 피복정화/현장처리 기술을 적용할 수 있는 6개 대상해역 선정</li> <li>• 지형탐사 모니터링 장비, 해양퇴적물 채취 및 현장 오염도 측정 장비 기술 조사</li> <li>• 복합 모니터링 및 채취장비 개념설계</li> </ul>                                       |
| 해역유형별<br>해양폐기물 최적<br>수거공법 개발    | 100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양오염퇴적물 정화 복원사업에 사용되는 수거(준설)공법의 특성 및 조건 등을 검토</li> <li>• 선진 사례 및 국내 정화 복원 사업현황, 처리기술, 수거 공법 분석을 통하여 환경 수거공법 대안 제시</li> <li>• 자력탐사기술을 이용한 겔보기 대자율 산정 및 오염도와의 관계 도출로 신속한 광역 탐사 현장적용 가능성 검증</li> <li>• 선박부착형 오탁방지막 제작을 위한 설계 인자 도출 및 실험실규모 시험</li> </ul>                 |
| 해양오염퇴적물<br>피복소재 개발              | 100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 피복소재 개발을 위한 후보군 선정</li> <li>• 중금속 대상 피복소재(4종)을 이용한 흡착 및 안정화 성능 시험</li> <li>• 오염퇴적도의 유기오염물, 부영양화 원인물질(질소, 인)의 오염물질 분포 및 특성 조사</li> <li>• 반응성 차단제 3종 개발 및 질소, 인에 대한 용출 차단효과 시험</li> <li>• 중금속 제거능이 우수한 해양 미생물 균주 확보 (2종)</li> <li>• 미세조류 4종에 의한 중금속 제거 성능 시험</li> </ul> |
| 피복 설계·시공 방법<br>개발               | 100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 후보지 정밀지반조사 계획 수립 및 경제성 평가 시나리오 도출</li> </ul>  |

|                         |     |  |
|-------------------------|-----|--|
|                         |     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국외사례 조사 및 분석을 통한 피복형상 결정 핵심설계 항목 도출</li> </ul>  |
| 오염퇴적물<br>현장처리 기술개발      | 100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 부영양 우심 해역 퇴적물 오염 유발물질 함량 및 특성 조사</li> <li>• 해수-퇴적물 간 부영양 물질 이동에 미치는 환경영향 수식화 및 해역 환경 모사 실험을 통한 검증</li> <li>• 국내외 오염 토양/퇴적물 처리 단위기술 및 처리시스템 비교 검토</li> <li>• 해양오염퇴적물 처리공정 모듈화 기본계획 도출</li> <li>• 제강슬래그의 복토재 및 정화재로의 성능 검증 시험</li> <li>• Pilot 시험 최적 Eng.방안 도출</li> </ul> |
| 정화기술 효율평가<br>모니터링 방법 정립 | 100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 오염퇴적물 정화에 대한 효율 평가와 위해관리 framework</li> <li>• 환경준설의 효율평가를 위한 개념 정립</li> </ul>   |
| 사업의 경제성 분석<br>및 평가      | 100 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 산업화에 따른 오염물질의 해양 유입 실태와 해양오염퇴적물 정화관련 산업 현황 분석</li> <li>• 오염퇴적물 정화사업으로 인한 경제적 가치 평가</li> <li>• 해양오염 개선에 따른 건강증진의 경제적 가치 평가</li> </ul>  |

4. 연구개발 추진전략 및 방법

| 연구범위                     | 연구수행방법<br>(이론적·실험적 접근 방법)   |
|--------------------------|---|
| 해역(오염) 유형별 최적 정화공법 선정    | <ul style="list-style-type: none"> <li>정화·복원사업에 사용되는 공법의 특성, 조건, 처리기술 현황 등 기존 문헌 및 관련 전문가 교류를 통한 자료 수집, 분석, 평가</li> <li>국내외 정화사업에 사용되는 다양한 공법의 선정 방안 및 사례를 기존 문헌을 통한 자료 수집, 평가</li> <li>정화기술의 원활한 적용을 위하여 해양환경관리법 등 관련 법령 개정 방안을 전문가 자문을 통한 정리, 검토 의견 제시</li> </ul>       |
| 해양퇴적물오염특성별 해역유형 구분 기준 개발 | <ul style="list-style-type: none"> <li>25개 해역의 퇴적물 오염도 및 물성 등을 취합, 정리, 평가하여 정화·복원 기술 시험 대상 해역을 선정, 제안</li> <li>오염지역 지형 탐사 장비 및 오염도 모니터링 장비 기술 현황 및 적용사례 조사를 통한 해양퇴적물 채취 및 현장 오염도 모니터링 장비 기능제안 및 설계</li> </ul>   |
| 해역유형별 해양폐기물 최적 수거공법 개발   | <ul style="list-style-type: none"> <li>친환경 수거 장비에 대한 자료 수집 및 검토를 통하여 국내환경에 적합하고 재부유를 최소화할 수 있는 수거장비 대안 제시</li> <li>대자율 측정치와 현장 조사결과와의 비교를 통한 신속하고 효율적인 오염지역 조사기법 정립</li> <li>오막방지막에 가해지는 외력저감을 위한 barrier 형상, 재질, 구조 등의 요인 도출 및 Barrier 모형별 유속 조건에 따른 동수역학적 해석</li> </ul> |
| 해양오염퇴적물 피복소재 개발          | <ul style="list-style-type: none"> <li>해양오염퇴적물 내 중금속 및 유기물 함량을 조사하기 위해 ICP 및 원소분석기를 이용한 중금속 및 유기물 함량 조사법 이용(중금속 연속추출 방법을 이용한 중금속 존재형태 분석법 적용)</li> <li>흡착 및 안정화 실험을 통한 피복소재의 중금속</li> </ul>   |

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>제거 성능 시험</li> <li>연속추출방법과 TCLP 방법 등을 이용한 오염퇴적물 내 중금속의 안정화 평가</li> <li>오염된 연안저질에서 상부유속에 의한 질소 및 인의 용출 정도 조사</li> <li>반응성 차단제의 부영양화 오염물질의 용출차단 효과를 시험</li> </ul>   |
| 피복 설계·시공 방법 개발  | <ul style="list-style-type: none"> <li>유역 후보지 정밀지반조사 및 피복공법 현장 시공성 검토를 위해 건설 전문업체 방문 및 전문가 자문을 통한 자료 수집 및 분석</li> <li>문헌조사를 토대로 국외 피복공법 사례조사 및 분석</li> <li>피복재 공급원 유형별 피복공법 개략 건설비 산정을 위한 경제성 평가 시나리오 도출</li> <li>암말이 오염물 이동에 미치는 영향과 반응성 피복재 성능의 정량적 평가를 위한 모델(Consolidation Solute Transport 2)을 활용한 수치해석</li> <li>저서생물 교란에 따른 피복재 두께 결정에 관한 문헌조사 수행</li> </ul> |
| 오염퇴적물 현장처리 기술개발 | <ul style="list-style-type: none"> <li>부영양 우심 해역 퇴적물 및 해수 채취 및 분석</li> <li>통계학적 기법에 기반한 실험과 결과 해석을 통한 해수-퇴적물 간 부영양 물질 이동에 미치는 환경영향 수식화</li> <li>실제 해역 환경을 모사한 칼럼 실험 수행</li> <li>철강부산물정화재의 현장처리 적용성 및 환경성 검토</li> <li>퇴적물 종류별/복토재 종류별/대상 오염물질 종류별 복토정화 성능시험(Lab.test) 및 환경성 테스트</li> <li>실해역 대상 적용 가능한 시공기술 및 개념설계안 도출(복토정화공법 및 현장처리 개량공법)</li> </ul>              |
| 정화기술 효율평가       | <ul style="list-style-type: none"> <li>국내 해양오염퇴적물 정화사업 정화공법 현황사례</li> </ul>   |

|                 |  |
|-----------------|--|
| 모니터링 방법 정립      | 수집 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국외 해양오염퇴적물 정화공법 자료수집: 외국 사례, 기술, 지침서 등</li> <li>• 국내 오염퇴적물 조사자료, 해역 이용 현황 수집, 분석</li> <li>• 오염퇴적물 정화기술 적용 전후 효율평가 모니터링 자료 수집: 사례, 지침서</li> <li>• 효율평가 모니터링에 대한 기반연구</li> </ul> |
| 사업의 경제성 분석 및 평가 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 산업동향 및 기술개발로 예상되는 경제적 효과 조사</li> <li>• 비용편익분석, 산업연관 분석 및 비용편익분석에 의한 경제성 평가</li> <li>• 우리나라 연안환경과 국민건강 실증분석</li> <li>• 조기사망에 따른 임금손실만을 고려한 편익 산출</li> </ul>                    |

## 5. 연구성과 및 활용계획

### 가. 연구성과

#### (1) 논문게재 성과

| 게재연도 | 논문명  | 저자           |                |                    | 학술지명                                      | Vol. (No.)   | 국내외 구분 | SCI구분 |
|------|--|--------------|----------------|--------------------|---|--------------|--------|-------|
|      |  | 주저자          | 교신저자           | 공동저자               |   |              |        |       |
| 2011 | 준설물질로 생태계 복원사업 추진  | 홍기훈          | 홍기훈            | 류재근                | 한국환경준설학회지                                 | 1(1), 3-12p  | 국내     | 비SCI  |
| 2011 | 오염퇴적물 관리 전략  | 김경련          | 김경련            | 김석현                | 한국환경준설학회지                                 | 1(1), 21-32p | 국내     | 비SCI  |
| 2011 | 환경준설사업 모니터링 사례   | 김경련          | 김경련            | 김석현, 최기영, 김창준      | 한국환경준설학회지                                 | 1(1), 33-52p | 국내     | 비SCI  |
| 2012 | Cell Chip-Based Monitoring of Toxic Effects of Cosmetic Compounds on Skin Fibroblast Cells | Jeung Hee An | Jeong-Woo Chol | Byung-K eun Oh외 3명 | Journal of Nanoscience and Nanotechnology | 12, 1-6p     | 국외     | SCI   |

#### (2) 학술대회 발표 성과

| 발표일        | 발표명  | 저자       | 학술대회명               | 국내외 구분 |
|------------|--|----------|---------------------|--------|
| 2012.05.10 | 산업폐기물인 Red mud를 이용한 수용액상에서의 중금속 제거 특성        | 신우석 외 2명 | 한국폐기물자원순환학회         | 국내     |
| 2012.05.31 | 산업폐기물인 Red mud의 중금속 흡착 제거 특성 (다양한 피복소재의 중금속) | 신우석 외 4명 | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내     |

|            |   |                   |                     |    |
|------------|---|-------------------|---------------------|----|
|            | 흡착 제거 특성)   |                   |                     |    |
| 2012.05.31 | 수치해석을 이용한 대변형 압밀에 의한 오염물 거동해석 (피복공법 설계 및 시공방안 개발)   | 이장근, 강재모          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | 해양오염퇴적물 현장피복의 지반공학적 설계 고려사항   | 조성은               | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | 오탁방지막 제원과 유속에 따른 흐름 특성의 고찰  | 홍성구, 김영기          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | 기능성 철강부산물을 활용한 오염퇴적물 정화기술   | 박광석 외 3명          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | 연안저질로부터의 오염물 재용출을 저감시키기 위한 반응성 피복제 연구   | 송영채 외 2명          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | pH가 해양퇴적물 내 인 용출에 미치는 영향  | 김상현, 천효창          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | 해역(오염) 유형별 최적 정화공법 선정 방안  | 김경련 외 2명          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | 육상과 연안의 오염물질의 분포 및 이동특성   | 최진영 외 6명          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | 환경위해 저감 확인을 통한 해양 오염퇴적물 정화기술 효율 평가  | 최태섭 외 2명          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.05.31 | 해양오염퇴적물 정화 모니터링 장비 설계   | 최태섭 외 4명          | 한국해양과학기술협의회 공동 학술대회 | 국내 |
| 2012.04.11 | Immunomagnetic Aptamer PCR Method for the Detection of Protein and Pathogen                       | Hyun-soo KIM 외 3명 | 한국생물공학회             | 국내 |
| 2012.04.25 | Silicon Nanowire-Based Biosensor for the Rapid Detection of MMP-2 via Enzymatic Cleavage Reaction | 표수현 외 3명          | 한국화학공학회             | 국내 |
| 2012.04.25 | Gold Nanoparticle-Based   | 최진하 외             | 한국화학공학회             | 국내 |

|            |   |                  |          |    |
|------------|---|------------------|----------|----|
|            | Biosensor for the Rapid and Simple Detection of Heavy-Metal Ion                             | 3명               |          |    |
| 2012.05.23 | Detection of <i>E. coli</i> O157:H7 by Aptamer PCR Method Using Gold Nanoparticle Complexes | Su-Hyun Pyo 외 6명 | 한국바이오칩학회 | 국내 |

(3) 특허 성과

| 출원된 특허의 경우 |                               |             |     |                 | 등록된 특허의 경우 |     |     |     |      |
|------------|-------------------------------|-------------|-----|-----------------|------------|-----|-----|-----|------|
| 출원연도       | 특허명                           | 출원인         | 출원국 | 출원번호            | 등록연도       | 특허명 | 등록인 | 등록국 | 등록번호 |
| 2012       | 해양오염 퇴적물 모니터링 시스템             | 환경대학교 산학협력단 | 한국  | 10-2012-0019361 |            |     |     |     |      |
| 2012       | 해양오염퇴적물 정화를 위한 피복소재의 개발과 그 이용 | 환경대학교 산학협력단 | 한국  | 10-2012-0081200 |            |     |     |     |      |

(4) 기술료 징수 현황(해당사항 없음)

(단위 : 백만원)

| 기 징수액 | 해당연도 징수액 | 향후 징수액 | 합계 |
|-------|----------|--------|----|
|       |          |        |    |

(5) 사업화 현황(해당사항 없음)

(단위 : 백만원)

| 사업화명 | 사업화내용 | 사업화 업체 개요 |     |      |       | 기매출액 | 해당연도 매출액 | 매출액 합계 |
|------|-------|-----------|-----|------|-------|------|----------|--------|
|      |       | 업체명       | 대표자 | 종업원수 | 사업화형태 |      |          |        |
|      |       |           |     |      |       |      |          |        |

(6) 인력활용/양성 성과

(가) 인력지원 성과

| 지원<br>총인원 | 지원 대상 (학위별, 취득자) |    |    |    | 성별 |   | 지역별 |    |      |
|-----------|------------------|----|----|----|----|---|-----|----|------|
|           | 박사               | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 대전 | 기타지역 |
| 11        | 1                | 3  | 1  | 6  | 6  | 5 | 7   |    | 4    |

(나) 장·단기 연수지원 성과(해당사항 없음)

| 장기 (2개월 이상) |  |    |  | 단기 (2개월 미만) |  |    |  |
|-------------|--|----|--|-------------|--|----|--|
| 국내          |  | 국외 |  | 국내          |  | 국외 |  |
|             |  |    |  |             |  |    |  |

(다) 산업기술인력 양성 성과(해당사항 없음)

| 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육기관 | 교육 개최회수 | 총 교육시간 | 총 교육인원 |
|-------|---------|------|---------|--------|--------|
|       |         |      |         |        |        |

(7) 국제화/협력 성과

(가) 인력교류 성과(해당사항 없음)

| 외국 연구자 유치 |    |    |    | 해외 파견   |     |    |    |
|-----------|----|----|----|---------|-----|----|----|
| 유치기간(월)   | 국적 | 학위 | 전공 | 파견기간(월) | 파견국 | 학위 | 전공 |
|           |    |    |    |         |     |    |    |

(나) 기술무역 성과(해당사항 없음)

(단위 : 백만원)

| 기술명 | 분야 | 징수액 | 해당연도<br>징수액 | 향후<br>예정액 | 계약<br>업체명 | 계약업체<br>소속국가 | 수출/수입 |
|-----|----|-----|-------------|-----------|-----------|--------------|-------|
|     |    |     |             |           |           |              |       |

(다) 학술회의 개최 성과(해당사항 없음)

| 명칭 | 기술분야 | 규모  |    |       | 개최장소 | 지원금액<br>(백만원) |
|----|------|-----|----|-------|------|---------------|
|    |      | 참가국 | 인원 | 기간(일) |      |               |
|    |      |     |    |       |      |               |

(라) 국제협력 기반

| MOU 체결 |                |                         | 수요조사 |             |             | 공동연구 |                |
|--------|----------------|-------------------------|------|-------------|-------------|------|----------------|
| 대상국    | 대상기관           | 수집자료<br>(건)             | 대상국  | 과제접수<br>(건) | 과제도출<br>(건) | 대상국  | 협약연구비<br>(백만원) |
| 인도네시아  | IPB<br>(보고르농대) | 슬래그활용<br>기술 및<br>환경성 평가 |      |             |             |      |                |

(8) 경제사회 파급효과(해당사항 없음)

| 산업지원 성과 (단위 : 건) |      |      |    | 고용창출 성과 (단위 : 명) |        |    |
|------------------|------|------|----|------------------|--------|----|
| 기술지도             | 기술이전 | 기술평가 | 합계 | 창업               | 사업체 확장 | 합계 |
|                  |      |      |    |                  |        |    |

나. 연구성과 활용계획

- 해양오염퇴적물 정화사업 대상 해역 특성 검토 및 정화기술 시험 해역 제안 결과를 향후 정화·복원사업 및 정화기술 시험에 활용
- 최적 수거공법 선정 의사결정 도구(초안) 개발 결과를 실제 정화·복원사업 및 관련 기술 개발에 활용
- 해양 뿐만아니라 하천, 호수 등의 현장 처리 오락방지막에 활용
- 오염퇴적물 정화기술의 효율평가 모니터링 방안의 표준화
- 해양오염퇴적물의 처리를 위해 고비용의 준설, 처리, 최종 처분방법의 대안 기술로 활용
- 연안 저질 환경 개선에 활용
- 기술개발 완료시 연안 어장환경 개선에 즉각적인 실용화 가능
- 철강업체 등을 통한 철강 슬래그 활용 복토재의 안정적, 장기적 수급 유도
- 오염양식장 환경개선을 통한 생산성 증대 및 어민소득 향상
- 수·저질 개선을 위한 저비용 소재 개발 및 보급
- 제철부산물의 환경친화적 활용을 통한 국내 고유의 환경 복원기술 확보
- 준설 및 준설 퇴적물 처리에 따른 막대한 예산 절감
- 오염퇴적물 현장정화 및 모니터링에 활용
- 유력 후보지 선정을 위한 기초 자료로 활용
- 연안 어장환경 개선에 활용
- 저질 개선 등이 기반기술 축적을 도모하고 이를 바탕으로 실용 기술 연계 가능
- 피복공법 현장 정화 설계 시공 매뉴얼 마련에 활용
- 피복재별 시공성 평가를 위한 실험실 시험 계획 수립 및 유력 후보지 환경외력 평가를 위한 기초 자료로 활용
- 오염퇴적물 현장처리 모듈화 마련에 활용
- 현장처리 시스템 수립을 위한 기초 자료로 활용

다. 구매금액이 3천만원 이상인 기자재 구매현황(해당사항 없음)

| 기자재명 | 구매금액(원) | 구매일자 | 기자재 활용용도 | 보관장소 |
|------|---------|------|----------|------|
|      |         |      |          |      |

라. 연구비 집행실적

(단위 : 천원)

| 항목       | 비목       | 금액   | 계획금액      | 사용액     | 잔액      | 비고     |  |
|----------|----------|------|-----------|---------|---------|--------|--|
|          |          |      |           |         |         |        |  |
| 인건비      | 내부인건비    | 미지급용 | -         | -       | -       |        |  |
|          |          | 지급용  | -         | -       | -       |        |  |
|          | 외부인건비    | 현금   | 189,087   | 160,965 | 28,122  |        |  |
|          |          | 현물   | -         | -       | -       |        |  |
|          | 소 계      |      |           | 189,087 | 160,965 | 28,122 |  |
| 직접비      | 연구장비·재료비 | 현금   | 250,152   | 206,041 | 44,111  |        |  |
|          |          | 현물   | -         | -       | -       |        |  |
|          | 연구활동비    |      |           | 75,082  | 52,656  | 22,425 |  |
|          | 연구수당     |      |           | 43,860  | 31,000  | 12,860 |  |
|          | 소 계      |      |           | 369,094 | 289,697 | 79,396 |  |
| 위탁연구개발비  |          |      | 530,000   | 461,060 | 68,940  |        |  |
| 간접비      |          |      | 55,818    | 55,818  | 0       |        |  |
| 연구사업비 총액 |          |      | 1,144,000 | 967,540 | 176,460 |        |  |

| 구분 | 계획 | 변경내역 | 변경사유 |
|----|----|------|------|
|    |    |      |      |
|    |    |      |      |

6. 연구수행에 따른 문제점 및 개선방향

| 문제점  | 개선방향   |
|--|--|
| - 당해연도 참여기업 선정을 위한 프로세스 진행 미비: 참여기업이 민감부담금을 부담하는 연구 참여의 경우 발생할 지식재산권에 대한 권리 요구로 인하여 참여기업 선정과정 보류 | - 개발된 기술을 일반에 공개하여 공공기술로 폭넓게 사용하고자 하는 연구성격에 따라 기술개발 단계(3년)에서는 민간부담금없이 용역 성격의 기업참여만 시행하고, 현장적용시험 또는 시범사업을 수행하는 4,5차년도에 민간부담금을 내는 기업 참여 추진. 2차년도 사업에 민간부담금없이 기업((주)코오롱위터앤에너지)이 참여하여 공정설계 수행. |
| - 오염퇴적물 정화를 위한 대안 기술로 피복기술과 현장처리기술의 두 개 핵심기술 개발에 집중할 필요성이 대두되어 이를 위한 효율적 연구체계 구축이 요구됨.           | - 피복기술과 현장처리기술 두 개 핵심기술을 각각 환경대학교(주관기관)와 한국해양과학기술원이 주도적으로 개발하는 연구체계를 구축하고자 함. 이를 위해 한국해양과학기술원의 참여역할을 위탁기관에서 협동기관으로 조정하고자 함.  |

7. 중요 연구 변경 사항 (해당사항 없음)

## II. 차년도 계획

※ 과제명 변경 : “지속가능 해양오염퇴적물 정화기술 개발: 피복 및 현장처리기술” 로 변경함.

### 1. 국내외 관련분야의 환경변화

#### 가. 국내 기술 및 산업 동향

- 현행 해양오염퇴적물 정화·복원사업 체계에 따른 정화사업은 2008년 이후 시작되어 부산 옹호만과 여수 신항 2개 해역에서 정화사업이 수행되었으며, 부산 남항에서 정화사업이 수행 중에 있음
- 오염이 확인된 여러 오염 우려 해역에서 정화사업이 계획되고 있으므로, 향후 정화사업이 전국 연안의 오염 우려 해역으로 지속적으로 확대 실시가 예상됨
- 국토해양부에서 2012년 현재까지 25개 해역을 대상으로 실시한 해양오염퇴적물 분포 현황 조사결과에 따르면 최소 8천4백억원 ~ 1조원 이상 해양오염퇴적물 정화복원 시장이 형성될 것으로 판단됨(정화복원 대상 물량 최소 8백만 $m^3$  이상, 처리비용: 105,000원/ $m^3$  기준)
- 현재 추진되는 정화사업에서는 오염된 퇴적물을 수거한 후 적절한 중간처리를 거쳐 연안매립으로 최종 처리하고 있지만, 현재까지 사용되고 있는 중간처리 기술이 다양한 해역 및 오염 특성에 대응할 수 없으며, 정화사업 현장 인근에 중간처리용 부지 확보에 애로가 발생하고 있음
- 이에 따라 정화사업의 추진에 문제가 발생하고 있고, 향후 지속적인 연안오염 정화사업 수행에 걸림돌이 될 것으로 예상됨
- 이를 해소하기 위하여 정화사업 현장의 다양한 해역 및 오염 특성에 대응할 수 있는 새로운 정화처리기술 개발이 시급히 요구됨
- 해양오염퇴적물 현장처리 기술이 개발될 경우, 해양뿐만 아니라 하천, 호소 등 다양한 오염퇴적물 정화사업에 활용할 수 있으므로 국내외 관련산업 활성화를 통하여 기술적, 경제적 사회적 파급 효과가 상당할 것으로 예상됨

#### 나. 국외 선진 기술 및 산업 동향

- 해양오염퇴적물 정화기술 및 산업은 미국을 중심으로 캐나다, 일본, 노르웨이, 독일, 영국 등 선진국이 주도하고 있음.
- 선진국에서는 해양오염퇴적물의 정화기술로 감시하 자연정화기법(Monitored Natural Attenuation, MNA), 준설후 처리기법, 피복기법의 세가지가 동등한 가치를 인정받고 있으며 정화사업 대상 해역의 지정학적 특성과 오염 특성

에 따라 정화기법을 선정하여 사용하고 있음.

- 오염퇴적물이 있는 해역에서도 오염특성에 따라 오염정도가 심하지 않고 해수로의 유출이 주변 생태계 및 인간활동을 제한하지 않는 정도라면 감시하 자연정화기법을 적용하고 있으며, 오염에 의한 생태계 파괴 및 인간활동에 상당한 제약이 일어나는 경우에는 준설 및 피복기법을 해역 특성에 따라 선택적으로 적용하고 있음.
- 기술 분야에서는 물리/화학적 처리기술로 현장 복토, 봉쇄, 고행화/안정화 처리방법 및 고립처분 방법 등이 지속적으로 개발되어 활용되고 있음
- 해양오염퇴적물의 중간 처리기술은 입자분리, 생물학적처리, 화학적처리, 추출/세척, 고정화(고행화/안정화), 열처리(파괴, 탈착) 등 주로 6가지 처리기술이 개발되어 사용되고 있음
- 최근 독일에서는 오염된 퇴적물을 수거 현장에서 처리하여 해저면으로 되돌려 주는 기술이 개발되었으며, 파일럿 장비 시범운용을 거쳐 현장 적용 단계에 있음
- 피복기술로는 오염퇴적물을 수계로부터 고립시키는 물리적 차단을 위한 단순 피복기술에서 오염물질의 안정화, 고정화를 통하여 오염의 근본적 완화를 도모하는 반응성 피복기술의 개발 및 적용이 활발히 이루어지고 있음
- 현재 산업화가 급속도로 진행되고 있는 중국, 동남아시아 등 지역에서 해양 환경에 대한 인식 변화로 해양오염퇴적물 정화·복원산업에 대한 새로운 시장 창출이 기대되고 있음



## 2. 연구개발 목표 및 내용

### 가. 차년도 정량적 성과지표 달성도

| 연차별 성과목표 | 성과지표              | 측정방법                      | 목표치 | 가중치 |
|----------|-------------------|---------------------------|-----|-----|
| 연구 성과물   | 논문                | 총논문편수                     | 8   | 10  |
|          | 학술회의 발표           | 학술회의 발표건수                 | 6   | 5   |
|          | 연구개발홍보            | 세미나, 워크샵 개최 건수            | 2   | 5   |
|          | 기술확산교류            | 기술교류회 개최 건수               | 3   | 5   |
|          | 특허출원              | 특허출원 건                    | 3   | 10  |
|          | 시험 및 조사           | 오염해역 조사/관측 건수             | 1   | 5   |
| 기술적 성과   | 반응성 피복소재 개발       | 중금속·유기오염물 피복소재 개발 건수      | 6   | 10  |
|          |                   | 피복소재 상호 간섭효과 분석건수         | 5   | 10  |
|          | 오염정화 생물소재 개발      | 자정능력 제고를 위한 생물활성촉진제 개발 건수 | 1   | 5   |
|          |                   | 중금속 안정화 미생물 개발 종수         | 3   | 5   |
|          | 피복 설계·시공기술 개발     | 피복재 침강 및 침식 해석시스템구축 건수    | 1   | 10  |
|          | 현장처리기술 개발 시험 및 조사 | 처리 단위공정별 개념설계 건수          | 3   | 10  |
|          |                   | 부영양물질 처리기작 개발 건수          | 2   | 10  |
|          | 총 계               |                           |     |     |

- 주 1. 정량적 성과지표는 연구성격이 상용화를 목표로 함으로 연구성과물 40%와 기술적 성과 60%로 구성함.
2. 연구성과물로 논문, 학술회의, 특허 등 학술적 성과 25%와 홍보, 기술확산, 조사 및 시험에 15%를 배분함. 특히, 전문가 초청 세미나와 워크샵을 통한 성과 검증을 2회 이상 수행함.
3. 기술적 성과로 피복소재 개발 30%, 피복설계 및 시공 10%, 현장처리기술 20%의 가중치를 부여함.

### 나. 차년도 연구목표 및 내용

#### 1) 차년도 연구목표

해양오염퇴적물 정화·복원사업에서 현재 사용되는 기술(준설, 중간 및 최종처리)의 문제(수거 해양오염퇴적물 처리, 최종처리장 확보 애로 등)를 해결하기 위한 대안으로 피복정화 및 현장처리기술을 개발하기 위한 기반연구 수행(2차년도).

- 피복정화기술로는 유기오염물질 및 중금속 안정화를 위한 피복소재와 피복정화공법 설계 시공을 위한 피복재 침강 및 침식 해석시스템을 개발
- 현장처리기술은 퇴적물의 부영양물질 처리 기작(Mechanism)을 개발하고 처리공정별 설계인자를 도출하며 개념설계를 실시

#### 2) 차년도 세부연구 내용 및 범위

##### <차년도 세부연구목표 및 주요연구내용 요약>

| 연구목표                             | 세부연구목표               | 주요연구내용  |
|----------------------------------|----------------------|---|
| 오염퇴적물 피복정화기술 개발<br>(주관기관: 환경대학교) | 반응성 피복소재 개발<br>(환경대) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내해역 오염특성을 고려한 중금속 및 유기오염물질 안정화 성능을 가진 반응성 피복소재 도출 (6종)</li> <li>- 중금속대상 반응성 피복소재 3종</li> <li>- 유기오염물대상 반응성 피복소재 3종</li> </ul>   |
|                                  |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도출된 반응성 피복소재들의 오염물질 이동 물리적 차단 및 오염물질 안정화·고정화 성능 평가</li> <li>- 중금속 존재형태 변화에 의한 안정화성능 평가</li> <li>- 유기오염물질 흡착에 의한 고정화 성능 평가</li> </ul>   |
|                                  |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 오염특성에 부합하기 위하여 각각 다른 특징을 가지는 반응성 피복소재를 복합사용할 경우 단일피복소재 사용과 비교하여 피복성능 비교(간섭효과, 상승효과 등 분석)</li> <li>- 단일 피복소재와 혼합 피복소재간의 비교시험</li> <li>- 중금속과 유기오염물질간 상호 간섭작용 시험</li> </ul> |
|                                  |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 현장적용시의 생태학 영향 파악을 위한 피복소재의 안정성 검증 시험</li> <li>- 산업부산물 피복소재의 위해성 분석을 위한 독성평가 수행</li> </ul>  |
|                                  |                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 컬럼 및 모형수조를 이용한 현장 모사조건에서의 피복소재 성능 검증</li> <li>- 회분식과 연속식 조건에서의 중금속 및 유기오염물질 용출</li> </ul>  |

|                               |  |   |
|-------------------------------|--|---|
|                               |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>차단 컬럼 실험</li> <li>- 모형수조를 이용한 현장 모사 시험</li> </ul>  |
| 오염 정화를 위한 생물소재 개발 (서강대/한국해양대) |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>국내해역별 오염특성을 고려한 중금속 안정화 성능을 가진 생물소재 도출 (2종)</li> <li>- 양이온성 중금속에 대한 생물소재 1종</li> <li>- Cr, As와 같은 비양이온성 중금속에 대한 생물소재 1종</li> <li>해양오염 퇴적물 생물학적 정화를 위한 미생물 담체 확보</li> <li>- 천연광물 또는 활용 가능한 산업부산물 등 저가 후보물질 선별</li> <li>연안저질에 존재하는 자생미생물(황산염환원균 등)의 활성 연구</li> <li>생물활성촉진제의 조성 및 제법연구</li> <li>생물활성촉진제의 효능검증 (유기물분해, 중금속고정 등)</li> </ul>   |
| 피복공법 적용을 위한 설계·시공기술 개발 (건기연)  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>오염정화대상지의 현장 시공조건과 환경외력 분석</li> <li>- 정화대상지의 가용장비 도출 및 환경외력(대풍, 파고, 수심별 유속 등) 분석</li> <li>피복공법 적용을 위해서는 경제성과 시공성에 가장 영향을 미치는 피복재 공급원 선정</li> <li>- 준설사업현황, 피복재 육상 공급원, 여유부지 조성, 장비현황 분석</li> <li>지반환경공학적인 측면에서 필요한 시료채취를 위해 현장 정밀 지반 조사 상세 계획 수립</li> <li>- 오염물 심도를 고려한 Setting Barge 현황, 지반조사 장비 보급현황, 소요일정과 경비도출</li> <li>현장조건을 반영한 실대형 모형실험과 수치해석을 통한 피복공법 현장 적용성 평가</li> <li>- 피복재 침강 및 침식 해석 기법을 정립</li> </ul> |
| 개발기술 적용 예정해역 사전 조사 (한경대/해양    |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>현장 모사를 위한 컬럼 및 수조 실험에 필요한 오염해역 해양퇴적물 채취</li> </ul>   |

|                                    |                                       |  |
|------------------------------------|---------------------------------------|--|
|                                    | 연/건기연 공동추진)                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>처리기술 시험을 위한 대상 해역 기초 조사 및 퇴적물 시료 채취</li> <li>- 대상 해역 퇴적물 특성(오염도 및 물성) 기초 조사</li> <li>- 단위 공정 시험, 개발을 위한 퇴적물 시료채취</li> </ul>   |
| 오염 퇴적물 현장처리기술 개발 (협동기관: 한국해양과학기술원) | 해양오염 퇴적물 처리 기작 (Mechanism) 개발 (KIOST) | <ul style="list-style-type: none"> <li>부영양물질 오염퇴적물 처리 기작 규명 및 기술개발</li> <li>- 부영양물질 오염퇴적물 처리기작 규명 및 기술개발 방안 개발</li> <li>- 세척 기반 처리기술 조사, 검토 및 단위 공정 개발</li> <li>- 입자분리 기반 처리기술 조사, 검토 및 단위 공정 개발</li> <li>- 관련 사례, 유사기술 조사 및 세척/입자분리 기반 처리기술 통합 방안 기초 개발</li> <li>- 대상 해역 퇴적물을 시료로 사용하여 처리기술 공정별 처리 능력 검토(실험실 규모)</li> </ul> |
|                                    | 현장 처리기술 공정 설계 (KIOST/코오롱위터앤에너지)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>국내·외 관련 처리기술 공정 검토 및 설계인자 도출</li> <li>- 관련 처리기술 및 유사기술(입자분리 및 세척 기반 처리기술, 현장 처리기술 등) 세부 공정별 검토</li> <li>- 공정별 처리 흐름, 반응기 특성(용량, 재질, 첨가제, 처리시간, 에너지 등) 검토 및 설계인자 도출</li> <li>현장처리장치를 구성하는 단위공정별 개념설계</li> <li>- 단위 공정별 처리 흐름, 소요 설비 검토 및 개념설계</li> </ul>                               |
|                                    | 해양 오염퇴적물 정화·복원 관련 법령 개정안 개발 (한양대)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>해양환경관리법 개정 논리 및 방향 개발</li> <li>- 해양환경관리법 개정 필요성 검토 및 논리개발</li> <li>- 해양환경관리법 개정 방향 및 범위 설정</li> <li>정화사업 관련 법률 용어 개념 정립 및 해양환경관리법 정비 방안 개발</li> <li>- 해양오염퇴적물 정화·복원 관련 법률 용어의 개념 정립 방안 개발</li> <li>- 다양한 처리기술 실현을 위한 법령 정비(법, 시행령, 시행규칙) 방안 기초 개발</li> </ul>                          |

가) 오염된적물 피복정화기술 개발 (주관연구기관)

(1) 반응성 피복소재 개발

- 국내 해역별 오염특성을 고려한 중금속 및 유기오염물 안정화 성능을 가지는 반응성 피복소재의 도출
  - 중금속 및 유기오염물 안정화 성능을 가지는 반응성 피복소재 6종(천연광물 4종, 활용 가능한 산업부산물 2종)을 선별함
  - 1차년도(천연광물:제올라이트,석회석, 활용 가능한 산업부산물:적니, 굴폐각)에 이어서 혼합 중금속 (Cd, Cr, Zn, Cu, Pb, Ni, As) 제거를 위한 반응성 피복소재 3종 선별 및 혼합 중금속 제거 성능 평가
  - 유기오염물질(TBT, PCB) 제거를 위한 반응성 피복소재 3종 선별
- 도출된 반응성 피복소재들의 오염물질 용출 물리적 차단 및 오염물질 안정화 고정화 성능 평가
  - 해양오염물에서 중금속은 크게 5가지 형태로 존재하고 있다. 물리화학적 환경변화 발생시 가장 쉽게 수계로 용출이 되는 순서로 이온교환(Exchange) 형태, 탄산염(Carbonate)형태, 철 망간(수)산화물(Oxide)형태, 유기물 결합(Organic)형태, 잔류물(Residual)형태로 구분된다. 잔류물 형태가 물리화학적으로 가장 안정화 상태에 있기 때문에 반응성 피복소재 3종을 이용해 수계로 쉽게 용출할 가능성이 큰 이온교환 형태, 탄산염 형태, 수산화물 형태를 비교적 안정한 형태인 유기물 결합 형태 및 잔류물 형태로의 변화를 측정함. 또한 7가지 중금속 각각의 형태 변화의 차이를 파악함으로써 피복소재간의 안정화 성능을 비교 평가함
  - 유기오염물질인 TBT와 PCB에 있어서 각각의 피복소재(3종)별에 따른 흡착에 의한 물리적 차단 특성을 알아보고, 그 결과에 의한 각각의 피복소재(3종)의 오염물질 차단 성능을 평가함
- 국내 오염특성에 부합하기 위하여 각각 다른 장점을 가지는 반응성 피복소재를 복합사용할 경우 단일피복소재 사용과 비교하여 피복성능 비교(간섭효과 등 분석)
  - 중금속과 유기오염물질 제거에 대한 단일피복소재와 복합 피복소재 사용시, 중금속과 유기오염물질의 제거 성능의 차이를 분석하여 복합 소재사용의 적용성을 평가함
  - 해양오염된적물은 단순히 중금속 또는 유기오염물질처럼 단일 오염이 아닌 다종의 중금속과 유기오염물질 포함되어 있는 다중 오염의 특성을 가지므로 피복소재에 따른 목적 용출 차단 물질의 제거능 평가시 타 오염

물질에 의한 간섭효과에 대한 평가가 필요함. 따라서 서로간의 간섭효과를 평가하기 위해 단일 오염물질과 다중 오염물질에 있어서 피복소재의 제거 기작을 파악하고 그 간섭효과를 평가함.

- 현장적용시의 생태학 영향 파악을 위한 피복소재의 안정성 검증 시험
  - 활용 가능한 산업부산물 중 위해성이 예상되는 피복소재에 대해 해양생물에 대한 생태환경 안전성 평가를 전문기관에 의뢰하여 분석함.
- 컬럼 및 모형수조를 이용한 현장 모사조건에서의 피복소재 성능 검증
  - 컬럼 실험을 통해 피복소재들에 의한 해양오염된적물로부터 용출되는 중금속 및 유기오염물질 차단 및 안정화 효과 검증함(그림. 1)
  - 모형 수조를 이용해서 해양오염된적물에 있어서 현장 피복 소재에 대한 수리학적 영향(유속 등)에 따른 피복소재의 변동 상황 평가



그림 1. 컬럼 실험장치 개념도(왼쪽)와 실제 사진(오른쪽)

(2) 오염정화를 위한 생물소재 개발

- 생물학적 정화기법에서 미생물들이 에너지를 사용하여 능동적으로 금속을 체내로 전달시켜 무기금속화합물 동화과정을 거치면서 금속을 생체내 축적하거나 능동적인 에너지의 사용없이 미생물의 세포벽 표면에 있는 리간드나 기능성 그룹과 금속이온이 복합체를 형성하여 흡착하면서 오염물질인 중금속이 제거되는 기작을 이해하고 이를 통한 효과적인 중금속 제거 기술을 확립함(Cd, Zn, Cu, Pb, Ni). 그리고 As, Cr과 같이 용해된 상태에서 산소와 결합한 음이온을 형성하여 최종적으로 음전하를 띠거나 전하를 띠지 않으므로 정전기적 결합을 통한 제거를 기대할 수 없는 중금속에 대한 제거 기작을 이해하고 황산염환원균을 통한 제거 기술을 확립함.

- 해양오염 퇴적물 생물학적 정화를 위한 미생물 담체를 확보하고 담체와 미생물의 고정화 조건을 확립함. 담체는 향후 실용화에 대한 경제성을 고려하여 천연광물과 활용 가능한 산업부산물에서 선별함.
- 연안저질에 존재하는 자생미생물(황산염환원균)의 활성 연구
  - 회분식 실험을 통하여 자생미생물의 활성에 미치는 영향인자(pH, 온도, 유기물 등) 연구
  - 자생미생물의 활성에 대한 석회, 황산염, 철염, 질소, 인등의 전자수용체, 영양염 등의 영향 연구
- 생물활성촉진제의 조성 및 제법연구
  - 자생미생물의 활성촉진에 구성성분(석회, 제올라이트, 황토, 영양염 등)에 대한 연구
  - 생물활성촉진제의 크기, 용해속도 등이 자생미생물의 활성에 미치는 영향 연구
  - 생물활성촉진제의 제조기법(건조, 소결 등)을 연구
- 생물활성촉진제의 효능검증 (유기물분해, 중금속고정 등)
  - 실험실 규모의 연안 모형 수직관에 생물활성 촉진제를 혼합한 오염저질을 충전하고 상부에 1차년도에 개발한 반응성 차단제를 일정한 깊이(15cm 이상)로 복토한 뒤에 해수를 충전하여 유기오염물질 분해에 대한 생물활성 촉진제의 효능 검증
  - 황산염 환원균에 의해 생성되는 황화물을 이용한 중금속 고정화정도를 시험하고, 중금속(Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, As 등) 위해성 감소효과를 평가.

### (3) 피복공법 적용을 위한 설계·시공기술 개발

- 피복공법의 현장시공에 필요한 오염정화대상지의 현장 시공조건과 환경외력을 분석하고자 함
  - 피복재로 일반적으로 사용되는 깨끗한 모래 포설을 위해 필요한 최적 피복공법 적용 장비를 도출
  - 피복재 침강 및 침식해석을 위해 오염퇴적물 정화사업지의 환경외력(태풍빈도, 파고, 수도별 유속 등) 분석 수행
  - 일반 피복재를 이용하여 개발된 기술은 본 연구를 통해 발생한 반응성 피복소재에도 적용 가능
- 피복공법 적용을 위해서는 경제성과 시공성에 가장 영향을 미치는 피복

재 공급원 선정이 필요함

- 1차년도 기 작성된 시나리오를 바탕으로 정화사업지 주변의 준설사업현황, 피복재 육상 공급원의 필요성, 여유부지 조성, 장비현황 등과 같은 주변여건을 분석
- 지반환경공학측면에서 필요한 시료채취를 위해 현장 정밀지반 조사 상세 계획을 수립하고자 함
  - 오염물 심도를 고려한 Setting Barge 현황, 지반조사 장비 수급현황, 소요일정과 경비 도출
- 성공적인 피복공법 현장시공을 위해 우선적으로 현장조건(적용장비 및 환경외력)을 반영한 실험대형 모형실험과 수치해석을 통한 피복공법 현장 적용성을 평가하고자 함
  - 정화사업지의 환경외력과 적용장비를 토대로 현장과 유사한 상황에서 피복재(모래)의 침강 및 침식을 모사하도록 실험대형 파랑전파 실험장비와 피복재 포설 윈치 개폐장비를 활용한 실험대형 모형실험과 수치해석을 통해 결과를 비교하고 분석(그림.2)
  - 이러한 일련의 절차를 통해 피복재별 침강 및 침식 해석 기법을 정립



그림 2. 실험대형 파랑전파 실험장비

### (4) 유력한 해양오염퇴적물 정화사업지 사전 조사(환경대/KIOST/건기연 공동수행)

- 현장 모사 실내 실험을 위한 컬럼 및 수조 실험에 필요한 오염 해역 해양퇴적물 채취
- 처리기술 시험을 위한 대상 해역 기초조사 및 퇴적물 시료 채취
  - 1차년도 관련 기관 협의로 기 선정된 처리기술 시험 대상 해역 퇴적물

특성(오염도, 물성 등)을 기초 조사

- 채취한 퇴적물은 단위 공정별 시험, 기술개발을 위한 시료로 사용

나) 오염퇴적물 현장처리기술 개발 (협동연구기관)

(1) 해양오염퇴적물 처리 기작(Mechanism) 개발

• 부영양물질 오염퇴적물 처리 기작 규명 및 기술개발

- 기존 오염 우려 해역 조사자료를 기초로 주로 부영양물질에 의해 오염된 퇴적물의 특성(퇴적물의 오염도, 주요 오염물질, 물성 등)에 대응할 수 있는 처리 기작을 문헌 검토 및 실험(실험실 규모)을 통하여 개발 (예: 오염물질의 분리, 산화, 용출, 추출 등)
- 우리나라 오염해역 특성에 부합하는 현장처리기술 개발을 위하여 필요한 공정을 검토하고, 상기 개발된 처리 기작을 실현할 수 있는 처리기술의 개발 방안을 개발

• 세척 기반 처리기술 조사, 검토 및 단위 공정 개발

- 오염물질의 처리 기작이 유사하며, 국내 상용 오염토양 정화·복원기술 중 일부 보완시 해양오염퇴적물 정화·복원에 사용 가능한 세척(Soil washing)에 기반한 처리기술 및 유사 기술의 실제 적용 사례를 조사, 검토하여 오염해역 특성에 적합한 단위 공정을 개발
- 이를 위하여 용수에 의한 처리 한계, 첨가제(산화제, 계면활성제, 킬레이트제, 산/염기) 사용 시 처리 가능성, 초음파 등 사용 가능한 부가공정의 활용 가능성 및 처리 과정에서 발생하는 폐액의 처리 및 처리수를 공정수로 재활용 방안을 위주로 단위 공정을 개발

• 입자분리 기반 처리기술 조사, 검토 및 단위 공정 개발

- 오염물질의 처리 기작이 유사하며, 국내 상용 오염토양 정화·복원기술 중 일부 보완시 해양오염퇴적물 정화·복원에 사용 가능한 입자분리(Particle separation)에 기반한 처리기술 및 유사 기술의 실제 적용 사례를 조사, 검토하여 오염해역 특성에 적합한 단위 공정을 개발
- 공정의 개발은 기존 오염해역 퇴적물의 오염도와 물성을 기초로 싸이클론(마이크로 싸이클론 포함) 등 상용 입자분리기의 사용 한계를 고려하여 현장처리를 위해서 필요한 입경별 분리 범위를 규명하고, 효율적인 입자분리 방안을 위주로 개발

• 관련 사례, 유사기술 조사 및 세척/입자분리 기반 처리기술 통합 방안 기초 개발

- 국내외 처리기술 및 유사기술의 사례 연구를 기초로 세척과 입자분리에 기반한 처리기술 각 공정의 장점과 단점, 처리 능력, 제한 사항 등을

검토하여, 각 공법의 장점을 극대화 시킬 수 있는 처리기술 통합 방안을 기초 개발

- 현장처리기술 개발 과정에서는 대상해역(1차년도 관련 기관 협의로 선정)에서 채취한 퇴적물을 시료로 사용하여 각 공정별 처리 능력을 검증(실험실 규모)
- 또한, 학회, 세미나, 기술교류회 등을 통하여 관련 분야 전문가들의 의견을 수렴하고, 이를 기술개발에 활용.

(2) 현장처리기술 공정 설계

- 국내 외 관련 처리기술 공정 검토 및 설계인자 도출
  - 해양오염퇴적물 정화·복원 관련 처리기술 및 유사기술(입자분리 및 세척 기반 처리기술, 현장 처리기술(In-situ treatment)등)을 세부 공정별로 조사, 검토
  - 검토 결과를 기초로 현장처리기술 개발에 필요한 각 공정별 처리 흐름, 반응기의 특성(재질, 용량, 첨가제, 처리시간, 에너지 등)을 개발하고 설계인자를 도출
- 현장처리장치를 구성하는 단위공정별 개념설계
  - 개발된 단위 공정별 처리 흐름에 따라 소요 설비 등을 검토하고 현장처리기술 개발을 위한 개념설계(오염물질 저장 목표, 처리기작, 처리 절차 등)를 수행

(3) 해양오염퇴적물 정화 복원 관련 법령 개정안 개발

- 해양환경관리법 개정 논리 및 방향 개발
  - 해양오염퇴적물 관리의 통일성과 효율성을 제고하기 위하여 해양환경관리법에 해양오염퇴적물의 환경기준, 수거부터 처리(중간, 최종)까지 일련의 규정을 설정하고 다른 법령과의 충돌을 방지하는 규정을 만드는 방향으로 법령 개정 방안을 개발
- 정화사업 관련 법률 용어 개념 정립 및 해양환경관리업 정비 방안 개발
  - 퇴적물, 오염퇴적물, 준설토사 및 오염퇴적물의 수거, 처리 등 정화사업 관련 법률용어에 대한 개념을 정립하고, 해양환경관리업 등록기준을 보완하여 개발 예정 처리기술을 포함하여 다양한 장비, 기술, 공정이 실현될 수 있도록 해양환경관리법 개정안 기초 개발
  - 또한, 해양오염퇴적물 정화·복원 관련 분야 학계, 연구계 및 산업계 등

전문가의 의견을 수렴(예: 전문가 세미나 개최 등)하고, 그 결과를 법령 개정안 개발에 반영

다. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

| 중복성 의견                      | 지원기관 (사업명)   | 과제명   | 예산 (억원) |
|-----------------------------|--|---|---------|
| 탈수장치에 대한 것으로                | 국토해양부 (건설기술혁신사업)   | PVDF와 바이오 계면활성제를 이용한 준설토의 탈수/정화기술 개발            | 8.79    |
| 본과제에서 참고함                   | 준설토사 재활용증대를 목적으로 하며 준설토 및 복합오염토의 처리문제를 해결할 통합탈수정화법 및 장치를 개발  |   |         |
| 해수교환에 대한 것으로 무관함            | 국토해양부 (미래해양기술개발사업)   | 해류의 수직혼합(Eco-Mill) 시스템을 이용한 부영양화 해역의 환경 개선기술 개발 | 1.72    |
|                             | 내부파를 이용한 해수교환으로 빈산소해역의 용존산소 공급 장치에 해당, 부영양물질로 오염된 퇴적물의 현장정화 처리기술과는 무관  |   |         |
| 본 과제와 무관함                   | 지식경제부 (연구회소관출연기관(공공))  | 자연공생호소실형사업                                      | 4.20    |
|                             | 하천변 자연공생호소 조성기술 개발을 위하여 퇴적토의 생태적 처분기술을 개발, 목표수질별 적용안 구성을 위하여 목표 수질별 기술지침 작성  |   |         |
| 유류오염 정화기술로 본과제와 무관함         | 교육과학기술부 (연구회소관출연기관(기초))  | 기능성 미생물커뮤니티를 이용한 유류오염환경의 생물학적 정화기술              | 2.41    |
|                             | 유류로 오염된 토양환경복원을 위한 생물정화기술로 해양 정화용 복합 미생물 제재를 개발  |   |         |
| 중금속분리 기술로 본과제에서 참고함         | 교육과학기술부 (일반연구자지원)  | 중금속 오염 해양 준설토의 전기역학적 정화 연구                      | 0.54    |
|                             | 동전기기술을 이용한 퇴적물의 중금속 분리를 위한 기술로 전세계적으로 상용화의 애로가 있으며 정화된 준설토의 최종처리장 확보 문제를 포함하여 본 과제에서 참고함                           |   |         |
| 내수면의 유기화합물 생물분해에 대한 것으로 참고함 | 환경부 (차세대핵심환경기술개발)  | 독성유기화합물 오염퇴적토의 생물정화기술 개발                        | 3.58    |
|                             | 헵기성 PAHs 분해미생물을 선별하여 헵기성 조건 하에서의 현장정화 및 호기성 조건 하에서의 준설토적도 처리기술을 개발, 피복물질에 의한 오염물질의 환경위해성 차단 및 부영양물질 현장처리기술 개발과는 무관 |   |         |
| 오염토양 정화기술로 본 과제에서           | 환경부 (토양지하수오염방지기술 개발)   | 복합오염토양 정화용 다기능성 토양세척시스템의 상용화 연구                 | 5.71    |

|                               |   |                            |      |
|-------------------------------|---|----------------------------|------|
| 참고항                           | 기존 사용중인 토양세척장치의 단점을 보완한 기표연행과 토탄산화 및 산처리 기술을 바탕으로한 세척시스템의 설계, pilot scale 장치 제작 |                            |      |
| 유류오염<br>복원기술로<br>직접관련<br>없음   | 중소기업청<br>(산학연공동기술개발)  | 유류오염도 복원을 위한 고효율 토양세척장치 개발 | 0.64 |
|                               | 한 공정내에서 토양의 선별·세척·탈수가 가능한 기존 토양세척공정 장치를 개선한 기술                                  |                            |      |
| 오염토양정<br>화기술로<br>본과제에서<br>참고항 | 중소기업청<br>(중소기업기술혁신개발)   | 오염토양정화를 위한 초음파 토양세척장치 개발   | 0.64 |
|                               | 초음파 토양세척 적용성 확보를 위한 토양세척 pilot 설계 완성, 유류오염토양 및 중금속 오염토양세척 효율 확보                 |                            |      |

라. 연구개발과제의 차별화 방안

- 선진국의 피복소재는 주로 유기오염물질의 안정화를 대상으로 개발된 것으로 활성탄, organic clay계가 주를 이루고 있음. 본 과제에서 시도되는 중금속 대상 다양한 피복소재의 개발과 중금속 잔류형태 분석을 통한 안정화 성능 검증은 차별성을 가지는 시도임. 특히, 국내 오염특성에 맞게 중금속, 유기오염물 등 복합 오염물질의 존재로 단일 피복소재가 아닌 복합소재를 사용할 경우 소재상호가 간섭효과 등이 안정화 성능에 미치는 영향 평가는 복합 오염해역의 정화기술로 매우 유용함.
- 본 과제에서 제안하는 해양미생물이 고정화된 생물담체를 활용한 해양오염 퇴적물의 생물학적 정화처리기술은 일반적인 물리적/화학적 처리와 차별화되어 다성분 중금속을 동시에 제거할 수 있는 혁신적이고 미래지향적인 장점이 있음. 다공성 고체기반의 생물담체는 미생물 고정화 방법이 비교적 용이하고 우수한 효율을 보일 것이라고 예상됨. 생물소재를 적용한 해양오염퇴적물 정화 기술은 국내외의 연구 개발이 기초연구 단계로 세계적 기술 우위를 선점할 수 있는 핵심 기술의 확보가 가능할 것으로 사료됨.
- 피복재별 침강 및 침식에 관한 연구는 미공병단에서 개발한 프로그램을 기본적으로 사용하여 해석을 수행하고자 함. 기존 선진 해외 연구와의 차별성은 1) 국내 환경외력 반영, 2) 실험을 통한 프로그램 정밀성 분석, 3) 검증된 프로그램을 활용한 침강 및 침식 해석과 같은 보다 합리적이고 체계적인 해석방안을 마련하여 연구성과를 극대화함.
- 본 연구개발 과제에서 개발하고자 하는 현장처리기술은 기존 해양오염퇴적물 정화 복원사업과 달리 대상 해역 및 오염 특성에 대응할 수 있으며,

사업비와 처리 효율을 고려한 단위공정을 조합하여 도입하는 차별성을 가짐.

- 미국, 유럽 등에서는 준설 오염퇴적물의 최종처리의 어려움을 해결하기 위한 방편으로 최근 현장정화가 지속적으로 증가 추세에 있으며, 독일 등에서는 수거 후 선상에서 오염물질 감출 공정을 거친 후 해저면으로 되돌려 주는 현장처리 기술이 개발하고, 파일럿 제작 및 시험운용이 된 바가 있음
- 국내에는 토양정화기술에서 퇴적물에 적용 가능한 요소 기술들이 존재하고 있으나, 해양오염퇴적물이 주로 니질, 점토질을 다량 포함한 세립질로 구성, 토양정화기술의 직접적인 적용에 많은 어려움이 있음
- 이에 본 과제를 통하여 국내 오염토양, 하천 및 호소 퇴적물 정화기술 등에서 활용되는 요소기술을 응용함과 동시에 새로운 공정 개발을 통하여 현행 국내 해양오염퇴적물 정화사업 과정에서 중간처리 기술의 부재로 인한 애로사항을 해소하기 위하여 현장처리기술을 개발하여, 국내 해양오염퇴적물 정화 복원사업 선진화 기반을 구축하고자 함

### 3. 연구개발 추진 계획

(단위:천원)

| 세부연구내용  | 월 단위 추진계획 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 소요연구비     |
|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-----------|
|   | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |           |
| 총괄  | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 1,145,000 |
| 중금속 유기<br>오염물 피복<br>소재 개발                           | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 200,000   |
| 피복소재 복<br>합사용 성능<br>평가                              | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 218,000   |
| 오염물 제거<br>메커니즘 분<br>석                               | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 100,000   |
| 생물활성촉진<br>제 개발                                      | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 40,000    |
| 해양 미생물<br>활용 중금속<br>오염정화기술<br>유력 후보지<br>환경외력 분<br>석 | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 40,000    |
| 피복재별 침<br>강 및 침식해<br>석기법 개발                         | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 30,000    |
| 피복 적용장<br>비 및 모니터<br>링기법 신뢰<br>성 분석                 | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 30,000    |
| 부영양물질<br>정화처리 기<br>작 개발                             | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 397,000   |
| 부영양물질<br>처리공정 설<br>계                                | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 30,000    |
| 정화기술 실<br>현을 위한 법<br>령개정안 검<br>토                    | →         |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    | 30,000    |

### 4. 연구결과의 활용방안 및 기대효과

#### 가. 활용방안

- 연구개발의 결과물로 얻어진 현재 국내 보유한 해양오염퇴적물 정화기술의 대안기술로서 피복기술과 현장처리기술은 국내 오염퇴적물 정화사업에 활용하고 오염퇴적물 현장정화 지침서 마련에 기여함.
- 본 연구과제에서 개발될 정화기술은 환경적인 측면에서 환경오염 방지 및 산업적 측면에서 오염퇴적물 정화 신산업 창출에 이바지하여 새로운 환경산업을 창출할 수 있을 것임.
- 오염도양 정화기술을 기초로 해양오염퇴적물 정화 복원사업에 활용 가능성 시험을 제외하면 현재 정화 복원사업에 활용할 수 있는 검증되거나 상용화된 처리기술은 없으므로 피복기술 및 현장처리기술 개발 즉시 상용화 및 정화 복원사업에 활용 가능.
- 현장처리기술은 해양오염퇴적물뿐만 아니라 오염도양, 하천 또는 호수 퇴적물 정화사업에 활용 가능.
- 우리나라는 아직까지 오염된 연안자질을 포함한 연안환경오염과 관련된 방지 시설이나 정화 기술에 대한 뚜렷한 기술인프라를 구축하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구개발과제가 성공적으로 완료될 경우 연안수질/저질오염 문제에 적극적으로 대처할 수 있는 기술적 기반을 마련할 수 있다는 큰 의의가 있음.
- 본 연구의 성과물인 반응성 차단제 및 생물활성촉진제 그리고 이들의 시공 기술들은 연안국가 들을 대상으로 수출함으로써 국가 기술경쟁력 제고에도 큰 도움이 될 것으로 평가됨.
- 해양오염물질을 처리할 수 있는 생물소재를 활용한 해양오염퇴적물의 정화 기술은 세계적 선도기술로 원천기술의 확보가 가능함.

#### 나. 기대효과

- 기술적 측면



- 피복성능평가 시스템 구축을 통한 설계 기술 고도화 및 합리적이고 체계적인 피복공법 설계 기법 정립을 통해 한국형 피복공법 설계 매뉴얼 마련을 위한 발판 마련
- 선진국의 기술이전 기피와 신기술 적용으로 발생하는 기술적 격차 극복
- 생물 활성촉진제는 오염된 연안저질을 경제적인 방법으로 정화/관리하는 첨단 기술이며, 연안해역에서의 자생하는 황산염 환원균에 대한 생리학적 특성 및 활성 촉진에 관한 기술개발은 연안해역의 적극적인 관리에 크게 기여할 것으로 평가됨.
- 해양오염물질을 처리할 수 있는 생물담체를 활용하여 해양오염퇴적물의 정화를 위한 생물학적 처리공정 기술은 기존의 화학적 처리법에 비하여 상대적으로 높은 생물학적 처리비용 저감할 수 있으며, 일부 오염물질에 대한 낮은 처리능력, 처리공정에서의 높은 체류시간 등의 생물학적 해양오염물 처리 기술의 기술적 한계를 극복할 수 있음.
- 오염퇴적물 정화사업 활성화로 관련 산업 기술 개발 유발 효과
- 해양퇴적오염물 현장 정화 기술 적용과 신기술 개발을 통한 응용과학분야(해양환경공학, 환경공학, 토목공학, 화학공학, 재료공학 등)에 막대한 파급효과 기대
- 관련 기술의 국제 경쟁력 확보로 중국, 동남아시아 등 개발 진행 국가의 정화복원사업 진출 및 해외 시장 창출

○ 경제·산업적 측면

- 설계 기술 고도화를 통한 최적 피복용량 산정으로 피복공법 시공 및 유지관리 비용 절감 효과
- 한국형 피복공법 기술 정립에 따른 개발도상국 기술이전 및 국내기업 참여를 통한 외화 획득 효과
- 생물 활성 촉진제의 경우 오염퇴적물 정화사업 외에 우리나라 남·서해안의 어패류 양식어장에 적용할 경우 지금까지 오염으로 인하여 사양화되었던 연안어장을 복원시켜 수산양식업의 활성화에도 크게 기여할 것으로 기대됨.
- 오염된 연안 해역뿐 아니라 육지의 토양오염 분야에도 확대적용이 가능할 것으로 판단되며, 세계 환경정화 시장에 수출할 경우 부가적인 경제적 효과도 볼 수 있을 것으로 판단됨.
- 피복기술 및 현장처리기술 개발로 중앙정부의 정화·복원사업 예산 절감과 정화·복원사업의 효율 극대화 사업활성화가 기대됨.
- 해양퇴적오염물 현장처리기술 실용화를 통한 신규 정화·복원사업 시장 창출

다. 관련 후속연구개발의 전망

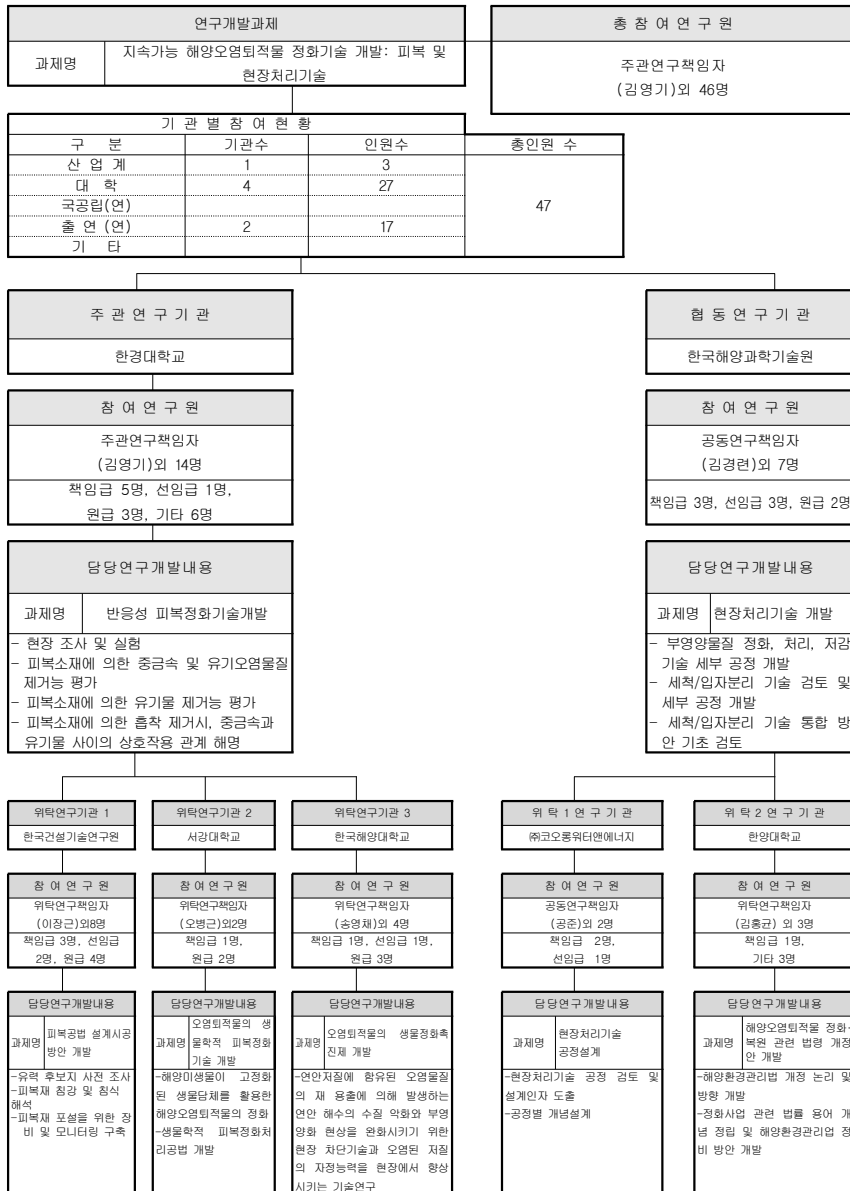
- 선진국에서도 피복공법 시공 후 장기 모니터링에 대한 결과 부재로 설계 및 해석 기술의 신뢰성 평가 미미
- 국내에서 최초로 수행되는 피복공법 현장 시공 후 장기 모니터링 사업을 통한 지속적인 설계 기술의 신뢰성 분석과 보안을 통해 향후 세계 최고 수준의 피복공법 설계 기술 보유 가능
- 해양 연안저질생태계의 자정능력을 향상 시키는 미생물 활성 촉진제 개발은 기존의 외부요인에 따라 많은 변수가 적용되어지는 상황을 피하고, 반응성 차단제를 통해 물리적, 화학적 외부요인들을 최소화 함으로써, 환경친화적인 현장 기술로서 적용 가능할 것으로 전망됨
- 미생물 담체를 이용하여 해양오염퇴적물 피복정화공정은 국내에서 최초로 수행되는 기술로 장기 모니터링 사업을 통하여 지속적인 신뢰성 분석과 보안을 통해 향후 세계 최고 수준의 생물소재 활용 피복기술 보유 가능
- 저비용, 고효율의 다양한 해양오염퇴적물 정화·복원 기술 지속 개발
- 부영양물질 현장처리기술의 고도화, 최적화 방안 개발 및 유해화학물질 현장처리기술 개발

6. 기타 주요 변경사항

- 연차평가위원회의 의견에 따라 당초 연구사업의 과제명인 “지속가능 해양오염퇴적물 정화기술 개발”을 2차년도부터 “지속가능 해양오염퇴적물 정화기술개발: 피복 및 현장처리기술”로 변경함.
- 2차년도 사업으로 예정되어 있던 해역유형별 오염퇴적물 최적 수거공법 개발, 정화기술 효율평가 모니터링 방법 정립 등의 세부연구개발 목표를 차년도 사업의 계획대비 예산 확보 미흡(계획 70억원/년)에 따라 차년도에 수행하지 않고, 추후 예산 확보를 통해 3차년도 이후에 진행하고자 함.
- 정화사업 대안기술개발이라는 본 연구개발의 최종목표를 위한 핵심기술인 피복과 현장처리 기술 개발에 집중하기 위하여 연구개발 계획의 부분 수정을 시행하고자 함.
- 차년도 연구개발의 목표를 현재 시행 중인 준설-중간처리의 대안기술인 피복정화와 현장처리기술 개발로 계열화함으로써 각 핵심기술인 피복기술은 한경대학교(주관연구기관)가 현장처리는 한국해양과학기술원(협동연구기관)이 주도하는 체제로 전환하여 핵심기술별 효율적 연구개발을 도모함. 이를 위하여 한국해양과학기술원의 연구 참여역할을 공동연구기관에서 협동연구기관으로 변경하고자 함.

7. 연구수행체계 및 연구참여진(연구조직)

가. 연구수행체계



나. 연구참여진(연구조직) 현황

(1) 주관연구책임자

| 주관연구책임자 |            |                        |        |                       |
|---------|------------|------------------------|--------|-----------------------|
| 성명      | 한글         | 김영기                    |        | 주민등록번호                |
|         | 한문         | 金榮奇                    |        | E-mail kim@hknu.ac.kr |
| 소속      | 한경대학교      | 직위                     | 교수     |                       |
|         |            |                        | 전화     | 031-670-5206          |
|         |            |                        | H.P.   | 010-8704-1157         |
|         |            |                        | 팩스     | 031-670-5209          |
| 직장 주소   |            |                        |        |                       |
| 학력      | 졸업 연도      | 학교                     | 전공     | 학위                    |
|         | 1991       | 서강대학교                  | 화학공학   | 학사                    |
|         | 1993       | 서강대학교                  | 화학공학   | 석사                    |
|         | 2002       | 서강대학교                  | 화학공학   | 박사                    |
| 직장경력    | 연도 (부터~까지) | 기관                     | 직위(직명) | 비고                    |
|         | '93-'96    | (주)SK케미칼               | 연구원    |                       |
|         | '08-'09    | Auburn University (미국) | 방문연구원  |                       |
|         | '02-현재     | 한경대학교                  | 교수     |                       |

(2) 참여연구원

| 참여연구원현황정보 |       |     |        |                |             |      |        |              |            |         |            |       |
|-----------|-------|-----|--------|----------------|-------------|------|--------|--------------|------------|---------|------------|-------|
| 연구수행 기관   | 소속기관  | 성명  | 주민등록번호 | 직급 (소속기관 해당직급) | 최종학위 및 자격사항 |      |        |              | 참여 기간 (개월) | 참여율 (%) | 구분 (정규·임시) |       |
|           |       |     |        |                | 학위          | 연도   | 전공     | 학교           |            |         |            | 자격 사항 |
| 주관-한경대    | 한경대학교 | 김영기 |        | 수석급 (부교수)      | 박사          | 2002 | 화학공학   | 서강대          |            | 12      | 30         | 정규    |
| 주관-한경대    | 한경대학교 | 홍성구 |        | 수석급 (교수)       | 박사          | 1995 | 생물자원공학 | 버지니아주립공대     |            | 12      | 10         | 정규    |
| 주관-한경대    | 한경대학교 | 남세용 |        | 수석급 (부교수)      | 박사          | 2000 | 건설환경   | KAIST        | 수질환경기사1급   | 12      | 10         | 정규    |
| 주관-한경대    | 한경대학교 | 박성직 |        | 조교수            | 박사          | 2010 | 농촌환경   | 서울대          |            | 12      | 20         | 정규    |
| 주관-한경대    | 한경대학교 | 엄병환 |        | 조교수            | 박사          | 2007 | 화공     | Auburn Univ. |            | 12      | 20         | 정규    |
| 주관-한경대    | 한경대학교 | 신우석 |        | 전임급 (연구교수)     | 박사          | 2009 | 환경     | 일본 Tohoku    | 수질기사1급     | 12      | 100        | 임시    |
| 주관-한경대    | 한경대학교 | 강 구 |        | 원급 (연구원)       | 석사          | 2004 | 농토목    | 한경대          |            | 12      | 100        | 임시    |
| 주관-한경대    | 한경대학교 | 권희선 |        | 원급 (연구원)       | 학사          | 2012 | 화학공학   | 한경대          |            | 12      | 100        | 임시    |

|              |           |     |              |                    |            |      |                 |                         |            |       |      |    |
|--------------|-----------|-----|--------------|--------------------|------------|------|-----------------|-------------------------|------------|-------|------|----|
| 주관-한경대       | 한경대학교     | 이윤미 | 900201-***** | 원급(연구원)            | 학사         | 2012 | 영어학             | 한경대                     | 12         | 100   | 임시   |    |
| 주관-한경대       | 한경대학교     | 황 용 |              | 외국인                | 연구원보(박사과정) | 석사   | 2010            | 지역사<br>원공학              | 한경대        | 12    | 40   | 학생 |
| 주관-한경대       | 한경대학교     | 윤도식 | 850708-***** | 연구원보(석사과정)         | 학사         | 2011 | 지역사<br>원공학      | 한경대                     | 12         | 55.6  | 학생   |    |
| 주관-한경대       | 한경대학교     | 조대성 | 540812-***** | 연구원보(석사과정)         | 학사         | 1980 | 지역사<br>원공학      | 한경대                     | 12         | 55.6  | 학생   |    |
| 주관-한경대       | 한경대학교     | 박소은 | 871202-***** | 연구원보(석사과정)         | 학사         | 2010 | 화학<br>공학        | 한경대                     | 12         | 80.38 | 학생   |    |
| 주관-한경대       | 한경대학교     | 우은정 | 900228-***** | 연구원보(석사과정)         | 학사         | 2011 | 화학<br>공학        | 한경대                     | 12         | 69.45 | 학생   |    |
| 주관-한경대       | 한경대학교     | 윤지영 | 890503-***** | 연구원보(석사과정)         | 학사         | 2011 | 화학<br>공학        | 한경대                     | 12         | 69.45 | 학생   |    |
| 협동-한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 김경련 | 700825-***** | 선임급(선임)            | 박사         | 2004 | 환경<br>생명<br>공학  | 토요하<br>시과학<br>기술대       | -          | 12    | 92.8 | 정규 |
| 협동-한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 홍기훈 | 540817-***** | 책임급(책임)            | 박사         | 1986 | 해양<br>화학        | 일라<br>스카이대              | -          | 12    | 9.8  | 정규 |
| 협동-한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 김석현 | 580820-***** | 책임급(책임)            | 박사         | 1997 | 해양<br>화학        | 한양대                     | -          | 12    | 10.0 | 정규 |
| 협동-한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 정창수 | 590212-***** | 책임급(책임)            | 박사         | 1998 | 해양학             | 인하대                     | -          | 12    | 10.0 | 정규 |
| 협동-한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 김창준 | 720925-***** | 원급(연구원)            | 석사         | 2003 | 무기<br>화학        | 동국대                     | -          | 12    | 16.1 | 정규 |
| 협동-한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 최기영 | 731119-***** | 선임급(연수<br>연구원)     | 박사         | 2009 | 지구<br>시스템<br>공학 | 서울대                     | -          | 12    | 71.9 | 임시 |
| 협동-한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 최진영 | 770916-***** | 선임급(연수<br>연구원)     | 박사         | 2011 | 해양<br>환경<br>과학  | 한양대                     | -          | 12    | 65.8 | 임시 |
| 협동-한국해양과학기술원 | 해양연구원     | 조기철 | 880124-***** | 원급(연구원)            | 학사         | 2010 | 해양생<br>산과학      | 제주대                     | -          | 12    | 41.3 | 임시 |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 이장근 | 741031-***** | 수석급(수석)            | 박사         | 2007 | 토목<br>공학        | 오하이<br>오주립<br>미국<br>기술사 | 12         | 17    | 정규   |    |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 김영석 | 730630-***** | 수석급(연구위원)          | 박사         | 2005 | 토목<br>공학        | 교토대                     | 12         | 5     | 정규   |    |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 정재형 | 690901-***** | 수석급(수석)            | 박사         | 2003 | 토목<br>공학        | 교토대                     | 12         | 5     | 정규   |    |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 김영택 | 730920-***** | 책임급(연구위원)          | 박사         | 2010 | 수공학             | 한양대                     | 토목기사<br>1급 | 12    | 5    | 정규 |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 최준우 | 710719-***** | 수석급(수석)            | 박사         | 2008 | 수공학             | 한양대                     | 12         | 10    | 정규   |    |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 강재모 | 740814-***** | 원급(전임)             | 석사         | 2002 | 토목<br>공학        | 한양대                     | 토목기사<br>1급 | 12    | 34   | 임시 |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 오민영 | 840514-***** | 원급(학생연구생)          | 학사         | 2011 | 토목<br>공학        | 단국대                     | 12         | 16    | 임시   |    |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 김학승 | 780210-***** | 원급(Post<br>Master) | 석사         | 2005 | 토목<br>공학        | 국민대                     | 12         | 9     | 임시   |    |
| 위탁-건기연       | 한국건설기술연구원 | 권형석 | 860711-***** | 원급(학생연구생)          | 학사         | 2011 | 토목<br>공학        | 국민대                     | 토목기사<br>1급 | 12    | 12   | 임시 |

|                 |                  |     |              |            |        |      |          |                          |                 |       |    |    |
|-----------------|------------------|-----|--------------|------------|--------|------|----------|--------------------------|-----------------|-------|----|----|
| 위탁-서강대          | 서강대학교            | 오병근 | 690701-***** | 수석급(부교수)   | 박사     | 2003 | 항공<br>생명 | 서강대                      | 12              | 20    | 정규 |    |
| 위탁-서강대          | 서강대학교            | 김은정 | 790707-***** | 연구원        | 석사     | 2004 | 식품<br>공학 | 성신<br>여대                 | 12              | 100   | 임시 |    |
| 위탁-서강대          | 서강대학교            | 류수연 | 870224-***** | 연구원보(석사과정) | 학사     | 2012 | 항공<br>생명 | 서강대                      | 12              | 16.6  | 학생 |    |
| 위탁-해양대          | 한국해양대학교          | 송영채 | 661023-***** | 수석급(교수)    | 박사     | 1995 | 환경<br>공학 | KAIST                    | 수질<br>기술사       | 12    | 25 | 정규 |
| 위탁-해양대          | 한국해양대학교          | 우정희 | 740405-***** | 선임급(연구교수)  | 박사     | 2005 | 환경<br>공학 | 한국<br>해양대                | 환경<br>기사        | 12    | 15 | 정규 |
| 위탁-해양대          | 한국해양대학교          | 임현진 | 841024-***** | 연구보조(석사과정) | 학사     | 2011 | 환경<br>공학 | 한국해<br>양대                | 환경<br>기사        | 12    | 20 | 정규 |
| 위탁-해양대          | 한국해양대학교          | 최대선 | 851223-***** | 연구보조(석사과정) | 학사     | 2011 | 환경<br>공학 | 한국<br>해양대                | 12              | 20    | 정규 |    |
| 위탁-해양대          | 한국해양대학교          | 김대성 | 870624-***** | 연구보조(석사과정) | 학사     | 2011 | 환경<br>공학 | 한국<br>해양대                | 12              | 20    | 정규 |    |
| 위탁-코오롱위타엔에너지(주) | 코오롱위타엔에너지(주)     | 공준  | 710305-***** | 책임급(팀장)    | 석사     | 1999 | 환경<br>화학 | 광운대                      | 토양<br>환경<br>기술사 | 12    | 30 | 정규 |
| 위탁-코오롱위타엔에너지(주) | 코오롱위타엔에너지(주)     | 신정영 | 720113-***** | 책임급(차장)    | 석사     | 1998 | 환경<br>화학 | 서울<br>과학<br>기술대          | 12              | 20    | 정규 |    |
| 위탁-코오롱위타엔에너지(주) | 코오롱위타엔에너지(주)     | 김희연 | 740203-***** | 선임급(차장)    | 학사     | 1999 | 환경<br>화학 | 연세대                      | 토양<br>환경<br>기술사 | 12    | 20 | 정규 |
| 위탁-한양대          | 한양대학교<br>법학전문대학원 | 김홍근 | 610710-***** | 책임급(교수)    | S.J.D. | 1998 | 법학       | Univ.of<br>Wiscon<br>sin | 12              | 20    | 정규 |    |
| 위탁-한양대          | 한양대학교<br>대학원     | 장철원 | 761213-***** | 연구원급(박사수료) | 석사     | 2008 | 법학       | 한양대                      | 12              | 24.17 | 임시 |    |
| 위탁-한양대          | 한양대학교<br>대학원     | 김선미 | 851125-***** | 연구보조(석사)   | 석사     | 2012 | 법학       | 한양대                      | 12              | 25    | 임시 |    |
| 위탁-한양대          | 한양대학교<br>대학원     | 홍홍석 | 810802-***** | 연구보조(석사과정) | 학사     | 2008 | 법학       | 한양대                      | 12              | 25    | 임시 |    |

다. 전문가 초청 활용

[단위 : 천원]

| 전문가 현황정보 |                |     |            |    |                     |           |            |                       |                  |          |
|----------|----------------|-----|------------|----|---------------------|-----------|------------|-----------------------|------------------|----------|
| 구분       | 세부<br>연구내용     | 성명  | 주민등록<br>번호 | 국명 | 소속                  | 직급        | 전공<br>(학위) | 초청활용<br>기간            | 활용<br>내용         | 소요<br>경비 |
| 주관-한경대   | 피복 소재<br>물성 특성 | 김성배 |            | 국내 | 서울대                 | 부교수       | 환경<br>공학   | 2012. 9 ~<br>2012. 12 | 연구수행<br>자문       | 300      |
| 주관-한경대   | 흡착구명           | 이상철 |            | 국내 | KIST                | 책임<br>연구원 | 환경<br>공학   | 2013. 1 ~<br>2013. 4  | 연구수행<br>자문       | 300      |
| 주관-한경대   | 침강 및<br>침식 해석  | 윤인택 |            | 국내 | 한국기후<br>변화대응<br>연구소 | 소장        |            | 5개월                   | 침강 및<br>침식<br>해석 | 5,000    |

8. 연구개발비 소요 명세서

가. 연구개발비 총괄 소요 명세서

(단위 : 천원)

| 항목      | 비목    | 연도       | 1차년도<br>(2011.08.) |         | 2차년도<br>(2012.08.) |           | 3차년도<br>(2013.08.) |           | 4차년도<br>(2014.08.) |           | 5차년도<br>(2015.08.) |           | 합계         |            | 비고    |  |
|---------|-------|----------|--------------------|---------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|------------|------------|-------|--|
|         |       |          | 금액                 | 비율      | 금액                 | 비율        | 금액                 | 비율        | 금액                 | 비율        | 금액                 | 비율        | 금액         | 비율         |       |  |
|         |       |          |                    |         |                    |           |                    |           |                    |           |                    |           |            |            |       |  |
| 직접비     | 내부인건비 | 미지급용     | 130,000            |         | 101,280            |           | 300,000            |           | 300,000            |           | 300,000            |           | 1,131,280  |            |       |  |
|         |       | 예산       |                    |         | 106,880            | 9.3%      | 250,000            | 4.2%      | 250,000            | 4.5%      | 250,000            | 4.2%      | 912,147    | 4.5%       |       |  |
|         | 외부인건비 | 현금       | 180,420            | 15.8%   | 279,460            | 24.4%     | 1,100,000          | 18.6%     | 1,100,000          | 18.3%     | 1,100,000          | 18.3%     | 3,826,980  | 18.9%      |       |  |
|         |       | 현물       |                    |         |                    |           |                    |           |                    |           |                    |           |            |            |       |  |
|         | 소계    |          | 180,420            | 15.8%   | 386,340            | 33.7%     | 1,650,000          | 22.8%     | 1,650,000          | 22.7%     | 1,650,000          | 22.5%     | 5,639,127  | 23.4%      |       |  |
|         | 직접비   | 연구장비·재료비 | 현금                 | 217,762 | 19.0%              | 228,845   | 20%                | 2,090,000 | 35.4%              | 2,246,000 | 36.5%              | 2,190,000 | 36.5%      | 6,963,682  | 34.4% |  |
|         |       |          | 현물                 |         |                    |           |                    |           |                    |           |                    |           |            |            |       |  |
|         |       | 연구활동비    | 현금                 | 98,000  | 8.6%               | 108,098   | 9.4%               | 550,000   | 9.3%               | 550,000   | 9.2%               | 550,000   | 9.2%       | 1,879,729  | 9.2%  |  |
|         |       |          | 연구수당               | 62,000  | 5.4%               | 63,371    | 5.5%               | 380,000   | 6.4%               | 380,000   | 6.3%               | 380,000   | 6.3%       | 1,269,546  | 6.3%  |  |
|         |       | 소계       |                    | 377,762 | 33.0%              | 400,314   | 35%                | 3,020,000 | 51.1%              | 3,176,000 | 52%                | 3,120,000 | 52%        | 10,112,957 | 49.9% |  |
| 위탁연구개발비 |       | 530,000  | 46.3%              | 230,000 | 20.1%              | 1,000,000 | 16.9%              | 1,000,000 | 16.7%              | 1,000,000 | 16.7%              | 3,587,000 | 17.7%      |            |       |  |
| 간접비     |       | 55,818   | 4.9%               | 128,346 | 11.2%              | 530,000   | 8.6%               | 530,000   | 8.5%               | 530,000   | 8.5%               | 1,804,916 | 8.9%       |            |       |  |
| 연구개발비총액 |       | 현금       | 1,144,000          | 100%    | 1,145,000          | 100%      | 5,900,000          | 100%      | 6,056,000          | 100%      | 6,000,000          | 100%      | 20,244,000 | 100%       |       |  |
|         |       | 현물       |                    |         |                    |           |                    |           |                    |           |                    |           |            |            |       |  |
|         |       | 총액       | 1,144,000          | 100%    | 1,145,000          | 100%      | 5,900,000          | 100%      | 6,056,000          | 100%      | 6,000,000          | 100%      | 20,244,000 | 100%       |       |  |

나. 차년도 연구개발비 총괄 소요 명세서

(단위 : 천원)

| 항목      | 비목    | 연도       | 주관기관    |         | 협동기관    |        | 위탁(건기연) |        | 위탁(서강대) |        |       |
|---------|-------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|
|         |       |          | 금액      | 비율      | 금액      | 비율     | 금액      | 비율     | 금액      | 비율     |       |
| 직접비     | 내부인건비 | 미지급용     | 50,400  |         |         |        |         |        |         | 16,080 |       |
|         |       | 예산       |         |         |         |        | 106,880 | 23.39% | 26,358  | 29.29% |       |
|         | 외부인건비 | 현금       | 200,960 | 29.21%  | 78,500  | 17.18% | 23,326  | 25.92% | 24,000  | 60%    |       |
|         |       | 현물       |         |         |         |        |         |        |         |        |       |
|         | 소계    |          | 200,960 | 29.21%  | 185,380 | 40.56% | 49,684  | 55.20% | 24,000  | 60%    |       |
|         | 직접비   | 연구장비·재료비 | 현금      | 147,271 | 21.41%  | 81,574 | 17.85%  | 1,000  | 1.11%   | 1,308  | 3.27% |
| 현물      |       |          |         |         |         |        |         |        |         |        |       |
| 연구활동비   |       | 현금       | 59,348  | 8.63%   | 48,750  | 10.67% | 16,380  | 18.20% | 1,200   | 3%     |       |
|         |       | 연구수당     | 42,856  | 6.23%   | 20,515  | 4.49%  | 9,936   | 11.04% | 4,500   | 11.25% |       |
| 소계      |       | 249,457  | 36.26%  | 150,839 | 33.01%  | 27,316 | 30.35%  | 7,008  | 17.52%  |        |       |
| 위탁연구개발비 |       | 170,000  | 24.71%  | 60,000  | 13.13%  |        |         |        |         |        |       |
| 간접비     |       | 67,565   | 9.82%   | 60,781  | 13.30%  | 13,000 | 14.44%  | 8,992  | 22.48%  |        |       |
| 연구개발비총액 |       | 현금       | 688,000 | 100%    | 457,000 | 100%   | 90,000  | 100%   | 40,000  | 100%   |       |
|         |       | 현물       |         |         |         |        |         |        |         |        |       |
|         |       | 총액       | 688,000 | 100%    | 457,000 | 100%   | 90,000  | 100%   | 40,000  | 100%   |       |

| 세원          | 내부<br>인건비 | 위탁(해양대)      |        | 위탁(코오롱<br>위더앤에너지) |        | 위탁(한양대) |        | 합계        |         | 비고            |        |  |
|-------------|-----------|--------------|--------|-------------------|--------|---------|--------|-----------|---------|---------------|--------|--|
|             |           | 금액           | 비율     | 금액                | 비율     | 금액      | 비율     | 금액        | 비율      |               |        |  |
|             |           |              |        |                   |        |         |        |           |         |               |        |  |
| 인건비         | 내부인건비     | 미지급용         | 18,000 |                   |        |         | 16,800 |           | 101,280 |               |        |  |
|             |           | 예산           | 현금     |                   |        |         |        |           | 133,238 | 11.64%        |        |  |
|             |           |              | 현물     |                   |        |         |        |           |         |               |        |  |
|             | 외부<br>인건비 | 현금           | 22,080 | 55.2%             |        |         | 18,050 | 60.17%    | 366,916 | 32.05%        |        |  |
|             |           | 현물           |        |                   |        |         |        |           |         |               |        |  |
|             |           | 소계           | 22,080 | 55.2%             |        |         | 18,050 | 60.17%    | 500,154 | 43.68%        |        |  |
|             | 직접비       | 연구장비·<br>재료비 | 현금     | 2,720             | 6.8%   | 10,585  | 35.28% |           |         | 244,458       | 21.35% |  |
|             |           |              | 현물     |                   |        |         |        |           |         |               |        |  |
|             |           | 연구<br>활동비    | 현금     | 3,900             | 9.75%  | 19,415  | 64.72% | 2,040     | 6.8%    | 151,033       | 13.19% |  |
|             |           |              | 연구수당   | 4,650             | 11.63% |         |        | 3,210     | 10.7%   | 85,667        | 7.48%  |  |
| 소계          |           | 11,270       | 28.18% | 30,000            | 100%   | 5,250   | 17.5%  | 481,158   | 42.02%  |               |        |  |
| 위탁연구개발비     |           |              |        |                   |        |         |        | 230,000   |         | 비목별 합계<br>미포함 |        |  |
| 간접비         |           | 6,650        | 16.63% |                   |        | 6,700   | 22.33% | 163,688   | 14.3%   |               |        |  |
| 연구개발비<br>총액 | 현금        | 40,000       | 100%   | 30,000            | 100%   | 30,000  | 100%   | 1,145,000 | 100%    | 위탁중복계산<br>제외  |        |  |
|             | 현물        |              |        |                   |        |         |        |           |         |               |        |  |
|             | 총액        | 40,000       | 100%   | 30,000            | 100%   | 30,000  | 100%   | 1,145,000 | 100%    |               |        |  |

다. 비목별 연구개발비 총괄 소요 명세서

(가) 인건비

① 내부인건비

- 미지급 내부인건비

[단위 : 천원]

| 당해 연도 미지급 내부인건비 |           |                     |                             |       |           |           |               |            |         |                      |            |         |  |
|-----------------|-----------|---------------------|-----------------------------|-------|-----------|-----------|---------------|------------|---------|----------------------|------------|---------|--|
| 연구<br>수행<br>기관  | 기관명       | 성 명<br>(주민등록<br>번호) | 부서명<br>(직급)                 | 월급여   | 시작일       | 종료일       | 참여<br>개월<br>수 | 참여율<br>(%) | 금 액     | 타 연구사업<br>참여현황       |            | 비 고     |  |
|                 |           |                     |                             |       |           |           |               |            |         | 사업명                  | 참여율<br>(%) |         |  |
| 주관-<br>환경대      | 환경대       | 김영기                 | 화학<br>공학과<br>(부교수)          | 5,000 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12            | 30         | 18,000  | 한국연구<br>재단           | 20         | 미지급     |  |
| 주관-<br>환경대      | 환경<br>대학교 | 홍성구                 | 지역자원<br>시스템공<br>학과<br>(교수)  | 6,000 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12            | 10         | 7,200   | 농식품부                 | 30         | 미지급     |  |
| 주관-<br>환경대      | 환경<br>대학교 | 남세용                 | 환경<br>공학과<br>(부교수)          | 5,000 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12            | 10         | 6,000   | -                    | -          | 미지<br>급 |  |
| 주관 -<br>환경대     | 환경대       | 박성직                 | 지역자원<br>시스템<br>공학과<br>(조교수) | 4,000 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12            | 20         | 9,600   | 한국연구<br>재단           | 20         | 미지급     |  |
| 주관 -<br>환경대     | 환경대       | 임병환                 | 화학<br>공학과<br>(조교수)          | 4,000 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12            | 20         | 9,600   | 한국연구<br>재단,<br>환경대학교 | 50         | 미지급     |  |
| 위탁 -<br>서강대     | 서강대       | 오병근                 | 화공생명<br>공학과<br>(부교수)        | 6,700 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12            | 20         | 16,080  | 특정기초<br>과제 외<br>3개   | 60         | 미지급     |  |
| 위탁 -<br>해양대     | 한국해양대     | 송영채                 | 환경<br>공학과<br>(정교수)          | 6,000 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12            | 25         | 18,000  | 신재생에너<br>지기술개발       | 30         | 미지급     |  |
| 위탁 -<br>한양대     | 한양대       | 김홍균                 | 법학<br>전문<br>대학원<br>(교수)     | 7,000 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12            | 20         | 16,800  | -                    | -          | 미지급     |  |
| 합계              |           |                     |                             |       |           |           |               |            | 101,280 |                      |            |         |  |

- 지급 내부인건비

[단위 : 천원]

| 당해 연도 지급 내부인건비 |           |                |                       |       |            |           |       |            |         |                        |            |      |
|----------------|-----------|----------------|-----------------------|-------|------------|-----------|-------|------------|---------|------------------------|------------|------|
| 연구수행기관         | 기관명       | 성명<br>(주민등록번호) | 부서명<br>(직급)           | 월급여   | 시작일        | 종료일       | 참여개월수 | 참여율<br>(%) | 금액      | 타 연구사업 참여현황            |            | 비고   |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | 사업명                    | 참여율<br>(%) |      |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 김경현            | 해양환경보전연구부             | 6,009 | 2012.8.16  | 2013.8.15 | 12    | 92.8       | 66,880  | 폐기물해양배출                | 7.2        |      |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 홍기훈            | 해양순환기후연구부             | 8,544 | 2012.8.16  | 2013.8.15 | 12    | 9.8        | 10,000  | 폐기물해양배출 외              | 90.2       |      |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 김석현            | 해양순환기후연구부             | 8,260 | 2012.8.16  | 2013.8.15 | 12    | 10.0       | 10,000  | 폐기물해양배출 외              | 90         |      |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 정창수            | 해양환경보전연구부             | 8,141 | 2012.8.16  | 2013.8.15 | 12    | 10.0       | 10,000  | 폐기물해양배출 외              | 90         |      |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 김창준            | 해양환경보전연구부             | 5,153 | 2012.8.16  | 2013.8.15 | 12    | 16.1       | 10,000  | 폐기물해양배출 외              | 83.9       |      |
| 위탁 - 건설기술연구원   | 건설기술연구원   | 이장근            | Geo-인프라연구실<br>(수석연구원) | 5,122 | 2012.8.16  | 2013.8.15 | 12    | 17         | 10,449  | 극한지반 안정화               | 51         | 57   |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | 국내포장국도의동결              | 2          |      |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | Elevation Zero 지하빌딩 건설 | 2          |      |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | 상수도관 등력메커니즘분석          | 2          |      |
| 위탁 - 건설기술연구원   | 건설기술연구원   | 김영석            | Geo-인프라연구실<br>(연구위원)  | 6,170 | 2012.10.16 | 2013.3.15 | 5     | 10         | 3,085   | 극한지반 평가                | 65         | 84   |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | 극한지반 안정화               | 12         |      |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | 국내포장국도의동결              | 5          |      |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | 상수도관동파방지               | 2          |      |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         |                        | 84         |      |
| 위탁 - 건설기술연구원   | 건설기술연구원   | 정재형            | Geo-인프라연구실<br>(수석연구원) | 6,333 | 2012.10.16 | 2013.3.15 | 5     | 10         | 3,167   | 서울향당지구매립폐기물처리용역        | 70         | 70   |
| 위탁 - 건설기술연구원   | 건설기술연구원   | 김영택            | 하천해안연구실<br>(연구위원)     | 6,235 | 2012.11.16 | 2013.5.15 | 6     | 10         | 3,741   | 항만구조물물파랑부하인정중량산정연구     | 17.1       | 22.5 |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | 항만건설 Test-bed 구축       | 5.4        |      |
| 위탁 - 건설기술연구원   | 건설기술연구원   | 최준우            | 하천해안연구실<br>(수석연구원)    | 4,930 | 2012.8.16  | 2013.8.15 | 12    | 10         | 5,916   | 항만구조물물파랑부하인정중량산정연구     | 12.5       | 17.1 |
|                |           |                |                       |       |            |           |       |            |         | 항만건설 Test-bed 구축       | 4.6        |      |
| 합계             |           |                |                       |       |            |           |       |            | 133,238 |                        |            |      |

② 외부인건비(주관 - 한경대)

| 당해 연도 외부인건비 |       |                |                     |       |           |           |       |            |         |    |
|-------------|-------|----------------|---------------------|-------|-----------|-----------|-------|------------|---------|----|
| 연구수행기관      | 기관명   | 성명<br>(주민등록번호) | 부서명<br>(직급)         | 월급여   | 시작일       | 종료일       | 참여개월수 | 참여율<br>(%) | 금액      | 비고 |
| 주관 - 한경대    | 한경대학교 | 신우석            | 해양과학기술연구소<br>(연구교수) | 3,800 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12    | 100        | 45,600  |    |
| 주관 - 한경대    | 한경대학교 | 강구             | 해양과학기술연구소<br>(연구원)  | 2,500 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12    | 100        | 30,000  |    |
| 주관 - 한경대    | 한경대학교 | 권희선            | 해양과학기술연구소<br>(연구원)  | 1,800 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12    | 100        | 21,600  |    |
| 주관 - 한경대    | 한경대학교 | 이윤미            | 해양과학기술연구소<br>(연구원)  | 1,700 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12    | 100        | 20,400  |    |
| 합계          |       |                |                     |       |           |           |       |            | 117,600 |    |

| 당해 연도 학생인건비 |       |      |       |                 |        |    |
|-------------|-------|------|-------|-----------------|--------|----|
| 연구수행기관      | 기관명   | 과정   | 월 급여  | man-mouth 투입 총량 | 금액     | 비고 |
| 주관 - 한경대    | 한경대학교 | 박사과정 | 2,500 | 4.8             | 12,000 |    |
| 주관 - 한경대    | 한경대학교 | 석사과정 | 1,800 | 39.65           | 71,360 |    |
| 합계          |       |      |       |                 | 83,360 |    |

외부인건비(협동 - 한국해양과학기술원)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 외부인건비    |           |                |             |       |           |           |       |            |        |    |
|----------------|-----------|----------------|-------------|-------|-----------|-----------|-------|------------|--------|----|
| 연구수행기관         | 기관명       | 성명<br>(주민등록번호) | 부서명<br>(직급) | 월급여   | 시작일       | 종료일       | 참여개월수 | 참여율<br>(%) | 금액     | 비고 |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 최기영            | 해양환경보전연구부   | 4,055 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12    | 71.9       | 35,000 |    |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 최진영            | 해양환경보전연구부   | 3,800 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12    | 65.8       | 30,000 |    |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 한국해양과학기술원 | 조기철            | 해양환경보전연구부   | 2,725 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12    | 41.3       | 13,500 |    |
| 합계             |           |                |             |       |           |           |       |            | 78,500 |    |

외부인건비(위탁 - 한국건설기술연구원)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 외부인건비 |          |              |                          |       |           |           |         |         |        |    |
|-------------|----------|--------------|--------------------------|-------|-----------|-----------|---------|---------|--------|----|
| 연구 수행 기관    | 기관명      | 성명 (주민등록 번호) | 부서명 (직급)                 | 월급여   | 시작일       | 종료일       | 참여 개월 수 | 참여율 (%) | 금액     | 비고 |
| 위탁 - 건기연    | 건설기술 연구원 | 강재모          | Geo-인프라 연구실(전임 연구원)      | 3,967 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12      | 34      | 16,185 |    |
| 위탁 - 건기연    | 건설기술 연구원 | 김학승          | Geo-인프라 연구실(Post Master) | 3,345 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12      | 10      | 3,613  |    |
| 위탁 - 건기연    | 건설기술 연구원 | 오민영          | Geo-인프라 연구실(학생 연구생)      | 1,050 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12      | 16      | 2,016  |    |
| 위탁 - 건기연    | 건설기술 연구원 | 권홍석          | Geo-인프라 연구실(학생 연구생)      | 1,050 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12      | 12      | 1,512  |    |
| 합계          |          |              |                          |       |           |           |         |         | 23,326 |    |

외부인건비(위탁 - 서강대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 외부인건비 |       |              |          |       |           |           |         |         |        |    |
|-------------|-------|--------------|----------|-------|-----------|-----------|---------|---------|--------|----|
| 연구 수행 기관    | 기관명   | 성명 (주민등록 번호) | 부서명 (직급) | 월급여   | 시작일       | 종료일       | 참여 개월 수 | 참여율 (%) | 금액     | 비고 |
| 위탁-서강대      | 서강대학교 | 김은정          | 화공생명 공학과 | 1,700 | 2012.8.16 | 2013.8.15 | 12      | 100     | 20,400 |    |
| 합계          |       |              |          |       |           |           |         |         | 20,400 |    |

| 당해 연도 학생인건비 |       |      |       |                 |       |    |
|-------------|-------|------|-------|-----------------|-------|----|
| 연구 수행 기관    | 기관명   | 과정   | 월 급여  | man-mouth 투입 총량 | 금액    | 비고 |
| 위탁 - 서강대    | 서강대학교 | 석사과정 | 1,800 | 2.0             | 3,600 |    |
| 합계          |       |      |       |                 | 3,600 |    |

외부인건비(위탁 - 한국해양대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 학생인건비 |         |         |       |                 |        |    |
|-------------|---------|---------|-------|-----------------|--------|----|
| 연구 수행 기관    | 기관명     | 과정      | 월 급여  | man-mouth 투입 총량 | 금액     | 비고 |
| 위탁 - 해양대    | 한국해양대학교 | 박사 후 과정 | 5,000 | 3.55            | 17,760 |    |
| 위탁 - 해양대    | 한국해양대학교 | 석사과정    | 1,800 | 2.4             | 4,320  |    |
| 합계          |         |         |       |                 | 22,080 |    |

외부인건비(위탁 - 한양대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 학생인건비 |       |      |       |                 |        |    |
|-------------|-------|------|-------|-----------------|--------|----|
| 연구 수행 기관    | 기관명   | 과정   | 월 급여  | man-mouth 투입 총량 | 금액     | 비고 |
| 위탁 - 한양대    | 한양대학교 | 박사과정 | 2,500 | 2.9             | 7,250  |    |
| 위탁 - 한양대    | 한양대학교 | 석사과정 | 1,800 | 6               | 10,800 |    |
| 합계          |       |      |       |                 | 18,050 |    |

(나) 직접비

(나) 직접비

① 연구장비·재료비(주관 - 환경대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구장비·재료비 |    |                     |               |        |    |       |       |    |
|----------------|----|---------------------|---------------|--------|----|-------|-------|----|
| 연구수행기관         | 구분 | 품명                  | 규격            | 단위     | 수량 | 단가    | 금액    | 비고 |
| 주관-환경대         | 구입 | 과망간산나트륨             | 500g          | bottle | 20 | 100   | 2,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | 과황산염나트륨             | 500g          | bottle | 20 | 100   | 2,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Filter, syringe     | 0 45µm        | EA     | 20 | 150   | 3,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Filter, syringe     | 0 23µm        | EA     | 20 | 150   | 3,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | GF/C filter         | 100ea         | pk     | 10 | 60    | 600   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | 진공펌프                |               | EA     | 2  | 500   | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | 수조                  | 3×5(m)        | 조      | 1  | 2,500 | 2,500 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | 펌프                  |               | 대      | 2  | 1,500 | 3,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | H2SO4               | 1kg           | EA     | 10 | 80    | 800   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | K2Cr2O7             | 500g          | EA     | 18 | 50    | 900   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | HNO3                |               | bottle | 5  | 693   | 3,465 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Kjeldhal tablet     | 50ea          | pk     | 5  | 200   | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | 마그네슘바               | L=38mm, Ø=8.0 | EA     | 10 | 4     | 40    | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Starch              | 500g          | bottle | 20 | 10    | 200   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Casein              | 500g          | bottle | 10 | 100   | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Yeast extract       | 500g          | bottle | 20 | 50    | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Potassium phosphate | 500g          | bottle | 20 | 50    | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Calcium chloride    | 500g          | bottle | 20 | 50    | 1,000 | 현금 |

| 당해 연도 연구장비·재료비 |    |                           |           |        |    |     |       |    |
|----------------|----|---------------------------|-----------|--------|----|-----|-------|----|
| 연구수행기관         | 구분 | 품명                        | 규격        | 단위     | 수량 | 단가  | 금액    | 비고 |
| 주관-환경대         | 구입 | Manganese chloride        | 500g      | bottle | 20 | 50  | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Sodium chloride           | 500g      | bottle | 20 | 30  | 600   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Soybean meal              | 500g      | bottle | 20 | 60  | 1,200 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Glucose                   | 500g      | bottle | 20 | 50  | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | PCBs 표준물질                 |           | bottle | 3  | 450 | 1,350 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | 휘발성유기물 표준물질               |           | bottle | 3  | 450 | 1,350 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | PAHs 표준물질                 |           | bottle | 3  | 450 | 1,350 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Sodium nitrate            | 500g      | bottle | 20 | 50  | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Sodium phosphate          | 500g      | bottle | 20 | 50  | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Nitritotriacetic acid     | 500g      | bottle | 16 | 60  | 960   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Magnesium sulfate         | 500g      | bottle | 20 | 50  | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Manganese sulfate         | 500g      | bottle | 20 | 30  | 600   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Zinc sulfate              | 500g      | bottle | 20 | 30  | 600   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Agar                      | 500g      | bottle | 10 | 100 | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Micro syringe             | 20µl      | 100/pk | 10 | 100 | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Membrane filter           | 0.45µm    | 100/pk | 30 | 100 | 3,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Micropipette              | 5ml       | EA     | 2  | 300 | 600   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Micropipette              | 1ml       | EA     | 2  | 300 | 600   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Micropipette tip          | 5ml       | pk     | 10 | 100 | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Automatic pipet           |           | EA     | 2  | 500 | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Micropipette tip          | 1ml       | pk     | 10 | 100 | 1,000 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Disposable Transfer pipet | PE, 1.5mL | pk     | 5  | 291 | 1,455 | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | Disposable                | PS,1mL    | EA     | 4  | 200 | 800   | 현금 |
| 주관-환경대         | 구입 | LC column                 |           | EA     | 1  | 800 | 800   | 현금 |



| 당해 연도 연구장비·재료비 |    |                    |                      |     |    |       |       |     |
|----------------|----|--------------------|----------------------|-----|----|-------|-------|-----|
| 연구 수행 기관       | 구분 | 품 명                | 규격                   | 단위  | 수량 | 단가    | 금 액   | 비 고 |
| 주관 - 환경대       | 구입 | GC column          |                      | EA  | 1  | 800   | 800   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | GC vials           | 1.5 ml               | Bx  | 10 | 50    | 500   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | GC vial cap        |                      | Bx  | 10 | 50    | 500   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | GC septa           | 11.1 mm              | Bx  | 3  | 80    | 240   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | GC syringe         | 5, 10 $\mu$ l        | EA  | 3  | 90    | 270   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | TBA                | 25g                  | EA  | 2  | 600   | 1,200 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Gel-extraction kit | 250 prep.            | Bx  | 2  | 600   | 1,200 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 멸균 피펫              | 각종                   | Bx  | 10 | 300   | 3,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | parafilm           | M                    | EA  | 10 | 30    | 300   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 라텍스글러브             | S                    | Bx  | 10 | 100   | 1,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 중금속표준물질            |                      | 종   | 8  | 600   | 4,800 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | TBT표준물질            |                      | 종   | 2  | 1,000 | 2,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | PCBs표준물질           |                      | 종   | 2  | 1,000 | 2,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | PAHs표준물질           |                      | 종   | 2  | 1,000 | 2,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | DO probe           |                      | set | 2  | 980   | 1,960 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Kaolinite          | 1kg                  | ea  | 20 | 100   | 2,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Montmorillonite    | 1kg                  | 회   | 5  | 250   | 1,250 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Smectite           | 1kg                  | ea  | 20 | 200   | 4,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Steel slag         | 1kg                  | ea  | 30 | 10    | 300   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 초순수기 Progard 필터    |                      | ea  | 8  | 450   | 3,600 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 초순수기 필터            | ultra organex filter | ea  | 6  | 600   | 3,600 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Conical tube       | 50 mL                | box | 20 | 150   | 3,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Conical tube       | 15 mL                | box | 40 | 100   | 4,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 멸균 시료팩             | 5 L                  | box | 40 | 100   | 4,000 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 글로브                | 대                    | box | 25 | 100   | 2,500 | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 퀵워이프스              |                      | box | 30 | 60    | 1,800 | 현금  |

| 당해 연도 연구장비·재료비 |    |             |           |    |    |       |         |     |
|----------------|----|-------------|-----------|----|----|-------|---------|-----|
| 연구 수행 기관       | 구분 | 품 명         | 규격        | 단위 | 수량 | 단가    | 금 액     | 비 고 |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Micro pipet | 1ml       | ea | 2  | 380   | 760     | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | Micro pipet | 10ml      | ea | 2  | 500   | 1,000   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | pipet tip   | 1ml       | ea | 20 | 20    | 400     | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | pipet tip   | 10ml      | ea | 10 | 60    | 600     | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 삼각 플라스크     | 250ml     | ea | 20 | 4     | 80      | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 비이커         | 500ml     | ea | 50 | 30    | 1,500   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 시험관         |           | ea | 40 | 20    | 800     | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | NaOH        | 1kg       | ea | 40 | 10    | 400     | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 메탄올         | 20L       | ea | 10 | 50    | 500     | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | HCl         | 1L        | ea | 50 | 20    | 1,000   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | pH probe    |           | ea | 4  | 380   | 1,520   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | EC probe    |           | ea | 4  | 350   | 1,400   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 기타 시약       |           | ea | 32 | 100   | 3,200   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 기타 초자 기구    |           | 회  | 1  | 2,021 | 2,021   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 시험분석료       | GC        | 회  | 90 | 50    | 4,500   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 시험분석료       | ICP       | 회  | 90 | 50    | 4,500   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 시험분석료       | 원소분석기     | 회  | 80 | 50    | 4,000   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 시험분석료       | SEM       | 회  | 20 | 150   | 3,000   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 시험분석료       | HPLC      | 회  | 50 | 70    | 3,500   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 구입 | 시험분석료       | ICP-MS    | 회  | 80 | 50    | 4,000   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 임차 | 승합차         | 시료수송      | 회  | 4  | 300   | 1,200   | 현금  |
| 주관 - 환경대       | 임차 | 선박          | 샘플링, 현장조사 | 회  | 4  | 700   | 2,800   | 현금  |
| 합 계            |    |             |           |    |    |       | 147,271 |     |

| 구분   | 품 명 | 필요성 및 용도               |
|------|-----|------------------------|
| 연구장비 | 승합차 | 샘플링 및 현장조사시 임차하여 사용    |
|      | 선박  | 시료 채취 및 현장 조사시 임차하여 사용 |

연구장비·재료비(협동 - 한국해양과학기술원)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구장비·재료비      |    |               |                |    |    |       |       |     |
|---------------------|----|---------------|----------------|----|----|-------|-------|-----|
| 연구<br>수행<br>기관      | 구분 | 품 명           | 규격             | 단위 | 수량 | 단가    | 금 액   | 비 고 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 세이프 스킨        |                | 개  | 10 | 23    | 230   | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Rope          | PE<br>(1.0phi) | 롤  | 5  | 15    | 75    | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 육도            |                | 장  | 6  | 13    | 78    | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 수치해도          |                | 장  | 6  | 15    | 90    | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 코아라이너         |                | 개  | 6  | 50    | 300   | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Dry Ice       |                | 개  | 7  | 30    | 210   | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | DGPS 건전지 등    |                | 개  | 5  | 50    | 250   | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 기타 현장재료비      |                | -  | -  | -     | 12    | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Acetone       | 분석용            | 병  | 16 | 20    | 320   | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Acetonitrile  |                | 병  | 15 | 38    | 570   | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | AG1x4 resin   |                | 병  | 6  | 600   | 3,600 | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | AG1MP1 resin  |                | 병  | 6  | 600   | 3,600 | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 염산(ultrapure) |                | 병  | 10 | 394   | 3,940 | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 기타 초차류        |                | 회  | 1  | 2,000 | 2,000 | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 불산(ultrapure) |                | 병  | 10 | 410   | 4,100 | 현금  |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 질산(ultrapure) |                | 병  | 10 | 393   | 3,930 | 현금  |

|                     |    |                     |            |    |    |       |       |    |
|---------------------|----|---------------------|------------|----|----|-------|-------|----|
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 초산(ultrapure)       |            | 병  | 10 | 300   | 3,000 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 과염소산<br>(ultrapure) |            | 병  | 11 | 350   | 3,850 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Amonium chloride    |            | 병  | 12 | 35    | 420   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Automatic pipet     |            | 개  | 5  | 500   | 2,500 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 시료 채집병              | PE         | 박스 | 10 | 65    | 650   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 시료 채집병              | Glass      | 박스 | 10 | 156   | 1,560 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | GC 컬럼               |            | 개  | 2  | 800   | 1,600 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Nuclepore 여과지       |            | 박스 | 7  | 180   | 1,260 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 염산                  | GR         | 병  | 10 | 15    | 150   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 질산                  | GR         | 병  | 10 | 15    | 150   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | IN-line filter      |            | 개  | 5  | 175   | 875   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 영양염 표준물질            |            | 종  | 2  | 990   | 1,980 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Milli-Q Kit         | 초순수<br>제조용 | 개  | 2  | 600   | 1,200 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 테플론 병               |            | 개  | 2  | 300   | 600   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 중금속 표준된적물           |            | 종  | 3  | 600   | 1,800 | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | W 촉매                |            | 병  | 3  | 120   | 360   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | Tin capsule         |            | 박스 | 5  | 150   | 750   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 속실험추출장치             |            | 대  | 1  | 550   | 550   | 현금 |
| 협동 -<br>해양과학<br>기술원 | 구입 | 유해물질분석<br>표준물질      |            | 종  | 2  | 1,500 | 3,000 | 현금 |

|              |    |              |      |    |    |     |       |    |
|--------------|----|--------------|------|----|----|-----|-------|----|
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 진공펌프         |      | 대  | 2  | 500 | 1,000 | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 아르곤가스        | 고순도  | 병  | 12 | 65  | 780   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | ICP 표준용액     |      | 개  | 2  | 200 | 400   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | Hot plate    |      | 대  | 2  | 600 | 1,200 | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 헬륨           | 초고순도 | 병  | 13 | 150 | 1,950 | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 스포이드         |      | 개  | 10 | 44  | 440   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 시료채취용 지퍼백    |      | 박스 | 10 | 13  | 130   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 유기인 표준물질     |      | 병  | 2  | 450 | 900   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 진공여과 깔대기     |      | 박스 | 5  | 330 | 1,650 | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 크로우          | 일반형  | 박스 | 10 | 43  | 430   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 퀵와이프스        |      | 박스 | 10 | 119 | 1,190 | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 피펫펌프         |      | 개  | 5  | 37  | 185   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 핵산           |      | 병  | 7  | 176 | 1,232 | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 취발성유기물질 표준물질 |      | 병  | 2  | 450 | 900   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 4각 광구병       | 1L   | 병  | 7  | 42  | 294   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | PAHs 표준물질    |      | 병  | 2  | 450 | 900   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | PCBs 표준물질    |      | 병  | 2  | 450 | 900   | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 페트리디쉬        |      | 병  | 7  | 198 | 1,386 | 현금 |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입 | 바이알          | 2ml  | 박스 | 7  | 18  | 126   | 현금 |

|              |        |                |               |    |    |     |       |        |
|--------------|--------|----------------|---------------|----|----|-----|-------|--------|
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 광구병            | FEP, 1L       | 개  | 7  | 264 | 1,848 | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 광구병            | FEP, 500ml    | 개  | 7  | 94  | 658   | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 광구병            | FEP, 250ml    | 대  | 7  | 55  | 385   | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 정량펌프           |               | 대  | 6  | 50  | 300   | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 모터             |               | 대  | 6  | 50  | 300   | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 임펠러            |               | 대  | 8  | 15  | 120   | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 전동기            |               | 대  | 2  | 60  | 120   | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 실리콘튜브          | STHT-C-06 2-4 | 박스 | 10 | 94  | 940   | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 구입     | 석영관            | EA1112        | 세트 | 10 | 135 | 1,350 | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 시험, 분석 | 시료분석 (공인기관 검증) | ICP           | 회  | 5  | 500 | 2,500 | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 시험, 분석 | 시료분석 (공인기관 검증) | GC-MS         | 회  | 5  | 500 | 2,500 | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 임차     | 소형선박           | 10톤급          | 회  | 5  | 700 | 3,500 | 현금     |
| 협동 - 해양과학기술원 | 임차     | 승합차            | 12인승          | 회  | 15 | 100 | 1,500 | 현금     |
| 합 계          |        |                |               |    |    |     |       | 81,574 |

- 필요성 및 용도

| 구분   | 품 명     | 필요성 및 용도         |
|------|---------|------------------|
| 연구장비 | 선박, 승합차 | 국내 출장시에 임차하여 사용함 |

연구장비·재료비(위탁 - 한국건설기술연구원)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구장비·재료비 |    |         |       |     |    |     |       |     |
|----------------|----|---------|-------|-----|----|-----|-------|-----|
| 연구 수행 기관       | 구분 | 품 명     | 규격    | 단위  | 수량 | 단가  | 금 액   | 비 고 |
| 위탁 - 건기연       | 구입 | 위치고정가이드 | 상하    | SET | 1  | 250 | 250   | 현금  |
|                | 구입 | 철근      | SM45C | kg  | 20 | 15  | 300   | 현금  |
|                | 구입 | 입도조정모래  | 20kg  | ea  | 15 | 30  | 450   | 현금  |
| 합 계            |    |         |       |     |    |     | 1,000 |     |

연구장비·재료비(위탁 - 서강대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구장비·재료비 |    |      |    |    |    |     |       |     |
|----------------|----|------|----|----|----|-----|-------|-----|
| 연구 수행 기관       | 구분 | 품 명  | 규격 | 단위 | 수량 | 단가  | 금 액   | 비 고 |
| 위탁 - 서강대       | 구입 | 균주   |    | g  | 4  | 200 | 800   | 현금  |
| 위탁 - 서강대       | 구입 | 소모품류 |    | 식  | 1  | 508 | 508   | 현금  |
| 합 계            |    |      |    |    |    |     | 1,308 |     |

연구장비·재료비(위탁 - 한국해양대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구장비·재료비 |    |                                 |       |     |    |     |       |     |
|----------------|----|---------------------------------|-------|-----|----|-----|-------|-----|
| 연구 수행 기관       | 구분 | 품 명                             | 규격    | 단위  | 수량 | 단가  | 금 액   | 비 고 |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | Master flex                     | Φ2mm  | ea  | 1  | 120 | 120   | 현금  |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | Syringe filter                  | 0.45μ | ea  | 1  | 150 | 150   | 현금  |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | Membrane filter                 | Φ50mm | ea  | 1  | 80  | 80    | 현금  |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | N <sub>2</sub> ,He gas          | 고순도   | ea  | 2  | 330 | 660   | 현금  |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | HgSO <sub>4</sub>               | 500g  | ea  | 2  | 600 | 1,200 | 현금  |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 1kg   | box | 2  | 80  | 160   | 현금  |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> | 500g  | ea  | 1  | 50  | 50    | 현금  |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | Teflon tubing                   | Φ5mm  | m   | 1  | 100 | 100   | 현금  |
| 위탁 - 해양대       | 구입 | Kjeldhal tablet                 | 50ea  | ea  | 1  | 200 | 200   | 현금  |

|     |       |  |
|-----|-------|--|
| 합 계 | 2,720 |  |
|-----|-------|--|

연구장비·재료비(위탁 - 코오롱위터에너지)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구장비·재료비   |    |                  |       |    |    |     |        |     |
|------------------|----|------------------|-------|----|----|-----|--------|-----|
| 연구 수행 기관         | 구분 | 품 명              | 규격    | 단위 | 수량 | 단가  | 금 액    | 비 고 |
| 위탁 - 코오롱위터에너지(주) | 구입 | 중금속 분석용 Standard | 100ml | 개  | 10 | 250 | 2,500  | 현금  |
| 위탁 - 코오롱위터에너지(주) | 구입 | 분석용 컬럼           |       | 개  | 1  | 560 | 560    | 현금  |
| 위탁 - 코오롱위터에너지(주) | 구입 | 분석용 Vials        | 2ml   | 개  | 5  | 145 | 725    | 현금  |
| 위탁 - 코오롱위터에너지(주) | 구입 | 시약류              | 1kg   | 개  | 10 | 20  | 200    | 현금  |
| 위탁 - 코오롱위터에너지(주) | 구입 | 도양시료분석 (유기물)     | GC-MS | 개  | 10 | 300 | 3,000  | 현금  |
| 위탁 - 코오롱위터에너지(주) | 구입 | 도양시료분석 (중금속)     | ICP   | 개  | 10 | 300 | 3,000  | 현금  |
| 위탁 - 코오롱위터에너지(주) | 구입 | 폐기물시료분석          |       | 개  | 3  | 200 | 600    | 현금  |
| 합 계              |    |                  |       |    |    |     | 10,585 |     |

② 연구활동비  
- 주관연구기관(한경대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구활동비                 |  |                                     |        |  |
|-----------------------------|--|-------------------------------------|--------|--|
| 구분                          | 산출내역   | 금 액                                 | 비고     |  |
| 여비                          | 국내   | 책임급:90,000원×2인×7회, 원급:70,000원×8인×8회 | 5,740  |  |
|                             | 국외   | 책임급 2회, 선임급2회                       | 16,202 |  |
| 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비           | 인쇄복사비 50원/장×500장×40회<br>제본 100천원×8회                        | 1,800                               |        |  |
| 공공 요금·제세공과금 및 수수료           | 공공요금 15천원×20회  | 300                                 |        |  |
| 사무용품비                       | 사무용품구입   | 4,402                               |        |  |
| 연구환경 유지를 위한 기기·비품의 구입·유지 비용 |  |                                     |        |  |
| 위탁정산수수료                     | 1,080천원+5%가산*6개 위탁기관                                       | 1,404                               |        |  |
| 전문가활용                       | 300,000원 × 2회<br>700,000원 × 2회<br>객원연구원(전문가)활용 1,000천원×5개월 | 7,000                               |        |  |
| 국내·외 교육훈련                   |  |                                     |        |  |
| 기술정보수집비                     |  |                                     |        |  |
| 문헌구입비                       | 문헌구입 100천원×25회   | 2,500                               |        |  |
| 회의비                         | 20천원×15회×20명   | 6,000                               |        |  |
| 세미나 개최비                     | 40천원×10회×20명   | 8,000                               |        |  |
| 학회·세미나 참가비                  | 학술대회참가비 100천원×4회×15명                                       | 6,000                               |        |  |
| 원고료, 통역료, 속기료               |  |                                     |        |  |
| 기술도입비                       |  |                                     |        |  |
| 특허정보조사비                     |  |                                     |        |  |
| 식대                          |  |                                     |        |  |
| 세부과제관리비                     |  |                                     |        |  |
| 합 계                         |  | 59,348                              |        |  |

- 국외여비 산출근거

(단위 : 천원)

| 연구수행 기관  | 차수                           | 직급                     | 인원       | 횟수  | 국외여비 세부산출 내역  | 금 액         |               |
|----------|------------------------------|------------------------|----------|---|---|-------------|---------------|
| 주관 - 한경대 | 1                            | 책임급                    | 1        | 1   | 항공료 : 2인×2,400=4,800<br>일비: 35\$×1,100원/\$×7일=269<br>26\$×1,100원/\$×7일=200<br>식비: 78\$×1,100원/\$×7일=600<br>49\$×1,100원/\$×7일=377<br>숙박비: 136\$×1,100원/\$×7일=1,047<br>105\$×1,100원/\$×7일=808 | 8,101       |               |
|          |                              |                        |          |   | 선임급   |             | 1             |
|          |                              | 소계                     |          |   |   |             | 8,101         |
|          |                              | 출장 목적 및 사유             |          | 2012 Dredging   |   |             |               |
|          |                              | 당해 연구개발과제 관련 내용        |          | 지속가능 청정기술을 이용한 환경복원을 주요 주제로 다루는 국제적 학술대회 및 전시회로 파복물질의 개발을 위한 정보습득이 가능함.                   |   |             |               |
|          |                              | 국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유 |          | 국내에 아직 본 연구가 초기단계라서 관련 기술 자료를 수집하는데 한계가 있음.   |   |             |               |
|          |                              | 출장자                    | 김영기 외 1인 |   |   | 출장 목적지 및 기관 | San Diego, 미국 |
| 출장기간     | ('12. 10. 21 ~ '12. 10. 27 ) |                        |          |   |   |             |               |
| 연구수행 기관  | 차수                           | 직급                     | 인원       | 횟수  | 국외여비 세부산출 내역  | 금 액         |               |
| 주관 - 한경대 | 2                            | 책임급                    | 1        | 1   | 항공료 : 2인×2,400=4,800<br>일비: 35\$×1,100원/\$×7일=269<br>26\$×1,100원/\$×7일=200<br>식비: 78\$×1,100원/\$×7일=600<br>49\$×1,100원/\$×7일=377<br>숙박비: 136\$×1,100원/\$×7일=1,047<br>105\$×1,100원/\$×7일=808 | 8,101       |               |
|          |                              |                        |          |   | 선임급   |             | 1             |
|          |                              | 소계                     |          |   |   |             | 8,101         |
|          |                              | 출장 목적 및 사유             |          | Seventh International Conference on Remediation of Contaminated Sediments (최신기술습득 및 정보교환) |   |             |               |
|          |                              | 당해 연구개발과제 관련 내용        |          | 지속가능 청정기술을 이용한 환경복원을 주요 주제로 다루는 국제적 학술대회 및 전시회로 파복물질의 개발을 위한 정보습득이 가능함.                   |   |             |               |
|          |                              | 국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유 |          | 국내에 아직 본 연구가 초기단계라서 관련 기술 자료를 수집하는데 한계가 있음.   |   |             |               |
|          |                              | 출장자                    | 김영기 외 1인 |   |   | 출장 목적지 및 기관 | Texas, 미국     |
| 출장기간     | ('13. 02. 03 ~ '13. 02. 10 ) |                        |          |   |   |             |               |
| 합계       |                              |                        |          |   |   | 16,202      |               |

- 협동(공동)연구기관(한국해양과학기술원)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구활동비                 |    |   |        |     |
|-----------------------------|----|---|--------|-----|
| 구분                          |    | 산출내역  | 금 액    | 비고  |
| 여비                          | 국내 | 책임급 2인×200천원×5회 = 2,000천원<br>선임급 2인×200천원×10회 = 4,000천원<br>원급 2인×300천원×10회 = 6,000천원  | 12,000 |     |
|                             | 국외 | 항공료: 1인×2,323천원×2회 = 4,646천원<br>일 비: 1인×30\$×1,100원/\$×8일 = 264천원<br>식 비: 1인×59\$×1,100원/\$×8일 = 519천원<br>숙박비: 1인×95\$×1,100원/\$×7일 = 732천원 | 6,161  | 선임급 |
|                             | 국외 | 항공료: 1인×2,323천원×2회 = 4,646천원<br>일 비: 1인×30\$×1,100원×8일 = 264천원<br>식 비: 1인×59\$×1,100원×8일 = 519천원<br>숙박비: 1인×120\$×1,100원×7일 = 924천원         | 6,564  | 책임급 |
| 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비           |    | (천원 미만 절삭)<br>복사 60원/장×300장×30회 = 540천원<br>전산소모품(토너 및 잉크) =240천원  | 1,995  |     |
| 공공 요금·제세공과금 및 수수료           |    | 우편료 15천원×3명×12월 = 480천원<br>통신료 15천원×3명×12월 = 480천원<br>시내교통비 4시간 이내<br>10천원×3명×12월 = 360천원<br>시내교통비 4시간 이상<br>20천원×3명×12월 = 720천원            | 2,160  |     |
| 사무용품비                       |    | 사무용품구입 50천원/회×12회 =600  | 600    |     |
| 연구환경 유지를 위한 기기·비품의 구입·유지 비용 |    |   |        |     |
| 위탁정산수수료                     |    |   |        |     |
| 전문가활용                       |    | 전문가 자문 500천원/회×10회 = 5,000천원  | 5,000  |     |
| 국내·외 교육훈련                   |    | 100천원/회×5회 = 500천원  | 500    |     |
| 기술정보수집비                     |    | 100천원/회×15회 = 1,500천원   | 1,500  |     |
| 문헌구입비                       |    | 문헌자료 구입 110천원×6회= 660천원   | 1,100  |     |
| 회의비                         |    | 20천원/인×10인×19회= 3,800천원   | 3,800  |     |
| 세미나 개최비                     |    | 1,000천원/회(장소임차500천원,25천원×20명)   | 1,000  |     |
| 학회·세미나 참가비                  |    | 국내 학회 참석 6인×80천원= 480천원<br>국제학회 참가비 2인×900천원= 1,800천원   | 2,280  |     |
| 원고료, 통역료, 속기료               |    | 영문번역 13천원×130%×50면= 845천원<br>일문번역 13천원×130%×50면= 845천원<br>(천원 미만 절삭)  | 1,690  |     |
| 기술도입비                       |    |   |        |     |
| 특허정보조사비                     |    |   |        |     |
| 식대                          |    | 20천원/인×10인×12회= 2,400천원   | 2,400  |     |
| 세부과제관리비                     |    |   |        |     |
| 합 계                         |    |   | 48,750 |     |

- 국외여비 산출근거

(단위 : 천원)

| 연구수행 기관        | 차수                        | 직급                     | 인원  | 횟수   | 국외여비 세부산출 내역   | 금 액         |               |
|----------------|---------------------------|------------------------|-----|--|--|-------------|---------------|
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 1                         | 선임급                    | 1   | 1  | 항공료: 1인×4,646 =4,646 (왕복)<br>일 비: 1인×30\$×1,100원/\$×8일 = 264<br>식 비: 1인×59\$ ×1,100원/\$×8일 = 519<br>숙박비: 1인×95\$×1,100원/\$×7일 = 732  | 6,161       |               |
|                |                           |                        |     |  | 소계   | 6,161       |               |
|                |                           | 출장 목적 및 사유             |     | 선진 해양오염퇴적물 현장처리기술 관련 자료, 기술동향 파악 및 학회참석(7th International Conference on Remediation of Contaminated Sediments) |  |             |               |
|                |                           | 당해 연구개발과제 관련 내용        |     | 정화사업 현장 특성, 오염유형별 다양한 선진 처리기술 및 공법 관련 자료 조사  |  |             |               |
|                |                           | 국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유 |     | 국내 정화사업은 '08년 이후 시작되어, 초기단계로서 관련 기술의 적용 사례가 없으며, 자료가 매우 제한됨  |  |             |               |
|                |                           | 출장자                    | 김경련 |  |  | 출장 목적지 및 기관 | Dallas, 미국    |
| 출장기간           | 8일 ('13. 2. 2 ~'13. 2. 9) |                        |     |  |  |             |               |
| 연구수행 기관        | 차수                        | 직급                     | 인원  | 횟수   | 국외여비 세부산출 내역   | 금 액         |               |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 2                         | 책임급                    | 1   | 1  | 항공료: 1인×4,646 =4,646 (왕복)<br>일 비: 1인×35\$×1,100원/\$×8일 = 308<br>식 비: 1인×78\$ ×1,100원/\$×8일 = 686<br>숙박비: 1인×120\$×1,100원/\$×7일 = 924 | 6,564       |               |
|                |                           |                        |     |  | 소계   | 6,564       |               |
|                |                           | 출장 목적 및 사유             |     | 선진 해양오염퇴적물 현장처리기술 관련 자료, 기술동향 파악 및 학회참석(World Dredging Congress and Exhibition)                                |  |             |               |
|                |                           | 당해 연구개발과제 관련 내용        |     | 유럽의 오염퇴적물 처리 후 재활용 방안 및 현장 처리 기술 관련 자료 조사  |  |             |               |
|                |                           | 국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유 |     | 국내 정화사업은 '08년 이후 시작되어, 초기단계로서 관련 기술의 적용 사례가 없으며, 자료가 매우 제한됨  |  |             |               |
|                |                           | 출장자                    | 김석현 |  |  | 출장 목적지 및 기관 | Brussels, 벨기에 |
| 출장기간           | 8일 ('13. 6. 1 ~'13. 6. 8) |                        |     |  |  |             |               |
| 합계             |                           |                        |     |  |  | 12,725      |               |

- 위탁연구기관(한국건설기술연구원)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구활동비                 |    |   |       |    |
|-----------------------------|----|---|-------|----|
| 구분                          |    | 산출내역  | 금 액   | 비고 |
| 여비                          | 국내 | 위원 : 250,000원×1인×2회=500,000원<br>수석 : 188,000원×1인×4회=750,000원<br>정임 : 188,000원×1인×4회=750,000원<br>(대전 2박 3일 기준) | 2,000 |    |
|                             | 국외 | ※ 세부내역 추가 작성  |       |    |
| 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비           |    | 복사 제본료  | 380   |    |
| 공공 요금·제세공과금 및 수수료           |    |   |       |    |
| 사무용품비                       |    |   |       |    |
| 연구환경 유지를 위한 기기·비품의 구입·유지 비용 |    |   |       |    |

|               |                       |        |  |
|---------------|-----------------------|--------|--|
| 위탁정산수수료       |                       |        |  |
| 전문가활용         | 전문가 자문비 = 11,000,000원 | 11,000 |  |
| 국내·외 교육훈련     |                       |        |  |
| 기술정보수집비       |                       |        |  |
| 문헌구입비         |                       |        |  |
| 회의비           | 과제관련 회의비              | 3,000  |  |
| 세미나 개최비       |                       |        |  |
| 학회·세미나 참가비    |                       |        |  |
| 원고료, 통역료, 속기료 |                       |        |  |
| 기술도입비         |                       |        |  |
| 특허정보조사비       |                       |        |  |
| 식대            |                       |        |  |
| 세부과제관리비       |                       |        |  |
| 합 계           |                       | 16,380 |  |

- 위탁연구기관(서강대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구활동비                 |                                   |  |       |    |
|-----------------------------|-----------------------------------|--|-------|----|
| 구분                          |                                   | 산출내역   | 금 액   | 비고 |
| 여비                          | 국내                                | 책임금 : 1인×300,000원×1회=300,000<br>원 급 : 1인×200,000원×1회=200,000 | 500   |    |
|                             | 국외                                |  |       |    |
| 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비           |                                   |  |       |    |
| 공공 요금·제세공과금 및 수수료           |                                   |  |       |    |
| 사무용품비                       |                                   |  |       |    |
| 연구환경 유지를 위한 기기·비품의 구입·유지 비용 |                                   |  |       |    |
| 위탁정산수수료                     |                                   |  |       |    |
| 전문가활용                       |                                   |  |       |    |
| 국내·외 교육훈련                   |                                   |  |       |    |
| 기술정보수집비                     |                                   |  |       |    |
| 문헌구입비                       |                                   |  |       |    |
| 회의비                         | 회의비 : 5회×100,000원=600,000         |  | 500   |    |
| 세미나 개최비                     |                                   |  |       |    |
| 학회·세미나 참가비                  | 국내학회 참가비 : 1인×2회×100,000원=200,000 |  | 200   |    |
| 원고료, 통역료, 속기료               |                                   |  |       |    |
| 기술도입비                       |                                   |  |       |    |
| 특허정보조사비                     |                                   |  |       |    |
| 식대                          |                                   |  |       |    |
| 세부과제관리비                     |                                   |  |       |    |
| 합 계                         |                                   |  | 1,200 |    |

- 위탁연구기관(한국해양대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구활동비                 |  |   |       |    |
|-----------------------------|--|---|-------|----|
| 구분                          |  | 산출내역  | 금 액   | 비고 |
| 여비                          | 국내                                       | 연구책임자:160(서울)*5회=800<br>연구원:130(서울)*5회=650<br>석사과정:110(서울)*5회=550 | 2,000 |    |
|                             | 국외                                       |   |       |    |
| 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비           | 300                                      |   | 300   |    |
| 공공 요금·제세공과금 및 수수료           | 600                                      |   | 600   |    |
| 사무용품비                       | A4지: 40/box*10=400<br>바인더: 5/ea*20ea=100 |   | 500   |    |
| 연구환경 유지를 위한 기기·비품의 구입·유지 비용 |  |   |       |    |
| 위탁정산수수료                     |  |   |       |    |
| 전문가활용                       |  |   |       |    |
| 국내·외 교육훈련                   |  |   |       |    |
| 기술정보수집비                     |  |   |       |    |
| 문헌구입비                       | 50/1개월*10개월= 500                         |   | 500   |    |
| 회의비                         |  |   |       |    |
| 세미나 개최비                     |  |   |       |    |
| 학회·세미나 참가비                  |  |   |       |    |
| 원고료, 통역료, 속기료               |  |   |       |    |
| 기술도입비                       |  |   |       |    |
| 특허정보조사비                     |  |   |       |    |
| 식대                          |  |   |       |    |
| 세부과제관리비                     |  |   |       |    |
| 합 계                         |  |   | 3,900 |    |

- 위탁연구기관(코오롱위터앤에너지)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구활동비            |   |  |       |    |
|------------------------|---|--|-------|----|
| 구분                     |   | 산출내역   | 금 액   | 비고 |
| 여비                     | 국내  | [숙박비(45,000)+식비(36,000)+일비(20,000)+왕복<br>교통비(115,000 KTX)]<br>x 3인 x 7회 (서울~부산 1박2일기준) | 4,515 |    |
|                        | 국외  |  | -     |    |
| 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작<br>비  | 인쇄비 : 50,000원/권 x 30권<br>복사비 : 200원/장 x 1000장 |  | 1,700 |    |
| 공공 요금·제세공과금 및 수<br>수수료 | 제세공과금 및 수수료 :<br>50,000원/월 x 12월              |  | 600   |    |
| 사무용품비                  | 5,000원×3명×12월                                 |  | 600   |    |
| 연구환경 유지를 위한 기기·비       |   |  | -     |    |

|               |                             |        |  |
|---------------|-----------------------------|--------|--|
| 품의 구입·유지 비용   |                             |        |  |
| 위탁정산수수료       |                             | -      |  |
| 전문가활용         | 자문(국내) : 500,000원 x 2인 x 4회 | 4,000  |  |
| 국내·외 교육훈련     |                             | -      |  |
| 기술정보수집비       |                             | -      |  |
| 문헌구입비         | 도서구입 : 50,000원/권 x 10권      | 500    |  |
| 회의비           | 회의비 : 300,000원/회x12회        | 3,600  |  |
| 세미나 개최비       |                             | -      |  |
| 학회·세미나 참가비    |                             | 300    |  |
| 원고료, 통역료, 속기료 |                             | -      |  |
| 기술도입비         |                             | -      |  |
| 특허정보조사비       |                             | -      |  |
| 식대            | 연구원식대 : 300,000원/월 x 12월    | 3,600  |  |
| 세부과제관리비       |                             | -      |  |
| 합 계           |                             | 19,415 |  |

- 위탁연구기관(한양대학교)

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구활동비                 |    |  |       |    |
|-----------------------------|----|--|-------|----|
| 구분                          |    | 산출내역   | 금 액   | 비고 |
| 여비                          | 국내 | 책임연구원<br>{ 교통비(30,000×2)+숙박(50,000)+일비(20,000×2)+식비(25,000×2)}×1회                            | 200   |    |
|                             | 국외 |  |       |    |
| 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비           |    | 복사 : 50원×50면×3명×12월 = 90,000<br>용지 : 15,000×0.5박스×12월 = 90,000<br>전산소모품(프린터 토너및잉크) : 200,000 | 380   |    |
| 공공요금·제세공과금 및 수수료            |    |  |       |    |
| 사무용품비                       |    | 5,000원×12개월  | 60    |    |
| 연구환경 유지를 위한 기기·비품의 구입·유지 비용 |    |  |       |    |
| 위탁정산수수료                     |    |  |       |    |
| 전문가활용                       |    |  |       |    |
| 국내·외 교육훈련                   |    |  |       |    |
| 기술정보수집비                     |    |  |       |    |
| 문헌구입비                       |    |  |       |    |
| 회의비                         |    | 전문가 회의<br>주제발표 : 100,000원×4명×2회<br>회의경비(식사 및 다과) : 30,000원×10명×2회                            | 1,400 |    |
| 세미나 개최비                     |    |  |       |    |
| 학회·세미나 참가비                  |    |  |       |    |

|               |  |       |  |
|---------------|--|-------|--|
| 원고료, 통역료, 속기료 |  |       |  |
| 기술도입비         |  |       |  |
| 특허정보조사비       |  |       |  |
| 식대            |  |       |  |
| 세부과제관리비       |  |       |  |
| 합 계           |  | 2,040 |  |

③ 연구수당

[단위 : 천원]

| 당해 연도 연구수당     |      |                             |        |    |
|----------------|------|-----------------------------|--------|----|
| 연구수행기관         | 내역   | 산출내역                        | 금 액    | 비고 |
| 주관 - 한경대       | 연구수당 | (50,400×0.3+200,960)×19.84% | 42,856 |    |
| 협동 - 한국해양과학기술원 | 연구수당 | 185,380 × 11.07%            | 20,515 |    |
| 위탁 - 건기연       | 연구수당 | 49,684 × 20.00%             | 9,936  |    |
| 위탁 - 서강대       | 연구수당 | (16,080×0.3+24,000)×11.2%   | 4,500  |    |
| 위탁 - 해양대       | 연구수당 | (18,000×0.3+22,080)×16.9%   | 4,650  |    |
| 위탁 - 한양대       | 연구수당 | (16,800×0.3+16,050)×15.22%  | 3,210  |    |
| 합계             |      |                             | 85,667 |    |

(다) 간접비

[단위 : 천원]

| 당해 연도 간접비 |         |               |                 |        |    |  |
|-----------|---------|---------------|-----------------|--------|----|--|
| 연구수행기관    | 항목      | 세부항목          | 산출내역            | 금 액    | 비고 |  |
| 주관 - 한경대  | 인력지원비   | 지원인력 인건비      |                 |        |    |  |
|           |         | 행정지원 전담요원 인건비 |                 |        |    |  |
|           | 연구지원비   | 연구개발능력성과급     |                 |        |    |  |
|           |         | 기관 공통지원경비     | (인건비+직접비) × 15% | 67,565 |    |  |
|           |         | 사업단(연구단) 운영비  |                 |        |    |  |
|           |         | 연구실 안전관리비     |                 |        |    |  |
|           |         | 연구보안관리비       |                 |        |    |  |
|           |         | 연구윤리활동비       |                 |        |    |  |
|           |         | 연구개발준비금       |                 |        |    |  |
|           | 성과활용지원비 | 대학 연구활동 지원금   |                 |        |    |  |
| 과학문화활동비   |         |               |                 |        |    |  |
|           |         | 지식재산권 출원·등록비  |                 |        |    |  |



|                       |             | 소계            | (인건비+직접비)×15%         | 67,565            |
|-----------------------|-------------|---------------|-----------------------|-------------------|
| 협동 -<br>한국해양<br>과학기술원 | 인력지원비       | 지원인력 인건비      | 사업비(위탁비제외)의<br>11.51% | 45,695            |
|                       |             | 행정지원 전담요원 인건비 |                       |                   |
|                       |             | 연구개발능률성과급     |                       |                   |
|                       | 연구지원비       | 기관 공통지원경비     | 사업비(위탁비제외)의 1%        | 3,970             |
|                       |             | 사업단(연구단) 운영비  |                       |                   |
|                       |             | 연구실 안전관리비     | 사업비(위탁비제외)의 0.8%      | 3,176             |
|                       |             | 연구보안관리비       |                       |                   |
|                       |             | 연구윤리활동비       |                       |                   |
|                       |             | 연구개발준비금       | 사업비(위탁비제외)의 0.5%      | 1,985             |
|                       | 성과활용<br>지원비 | 대학 연구활동 지원금   |                       |                   |
|                       |             | 과학문화활동비       | 사업비(위탁비제외)의 1.5%      | 5,955             |
|                       |             | 지식재산권 출원·등록비  |                       |                   |
|                       |             |               | 소계                    | (인건비+직접비) ×18.08% |
| 위탁 -<br>건기연           | 인력지원비       | 지원인력 인건비      |                       |                   |
|                       |             | 행정지원 전담요원 인건비 |                       |                   |
|                       |             | 연구개발능률성과급     |                       |                   |
|                       | 연구지원비       | 기관 공통지원경비     | 사업비×3.3%              | 3,000             |
|                       |             | 사업단(연구단) 운영비  |                       |                   |
|                       |             | 연구실 안전관리비     |                       |                   |
|                       |             | 연구보안관리비       |                       |                   |
|                       |             | 연구윤리활동비       |                       |                   |
|                       |             | 연구개발준비금       | 사업비×11.1%             | 10,000            |
|                       | 성과활용<br>지원비 | 대학 연구활동 지원금   |                       |                   |
|                       |             | 과학문화활동비       |                       |                   |
|                       |             | 지식재산권 출원·등록비  |                       |                   |
|                       |             |               | 소계                    | (인건비+직접비)×16.9%   |
| 위탁 -<br>서강대           | 인력지원비       | 지원인력 인건비      |                       |                   |
|                       |             | 행정지원 전담요원 인건비 |                       |                   |
|                       |             | 연구개발능률성과급     |                       |                   |
|                       | 연구지원비       | 기관 공통지원경비     | 사업비×22.48%            | 8,992             |
|                       |             | 사업단(연구단) 운영비  |                       |                   |
|                       |             | 연구실 안전관리비     |                       |                   |
|                       |             | 연구보안관리비       |                       |                   |
|                       |             | 연구윤리활동비       |                       |                   |
|                       |             | 연구개발준비금       |                       |                   |
|                       | 성과활용<br>지원비 | 대학 연구활동 지원금   |                       |                   |
|                       |             | 과학문화활동비       |                       |                   |
|                       |             | 지식재산권 출원·등록비  |                       |                   |
|                       |             |               | 소계                    | (인건비+직접비)×28.9%   |
| 위탁 -<br>해양대           | 인력지원비       | 지원인력 인건비      | 321.9/월×12월           | 3,862.8           |
|                       |             | 행정지원 전담요원 인건비 |                       |                   |
|                       |             | 연구개발능률성과급     |                       |                   |
|                       | 연구지원비       | 기관 공통지원경비     | 직접비×20.8%             | 2,348             |
|                       |             | 사업단(연구단) 운영비  |                       |                   |
|                       |             | 연구실 안전관리비     | 인건비×1.99%             | 439.2             |
|                       |             | 연구보안관리비       |                       |                   |
|                       |             | 연구윤리활동비       |                       |                   |
|                       |             | 연구개발준비금       |                       |                   |
|                       | 성과활용<br>지원비 | 대학 연구활동 지원금   |                       |                   |
|                       |             | 과학문화활동비       |                       |                   |

|             |             | 지원비           | 지식재산권 출원·등록비 |               |                 |
|-------------|-------------|---------------|--------------|---------------|-----------------|
|             |             | 소계            |              | (인건비+직접비)×20% | 6,650           |
| 위탁 -<br>한양대 | 인력지원비       | 지원인력 인건비      | 30,000천원×22% | 6,700         |                 |
|             |             | 행정지원 전담요원 인건비 |              |               |                 |
|             |             | 연구개발능률성과급     |              |               |                 |
|             | 연구지원비       | 기관 공통지원경비     |              |               |                 |
|             |             | 사업단(연구단) 운영비  |              |               |                 |
|             |             | 연구실 안전관리비     |              |               |                 |
|             |             | 연구보안관리비       |              |               |                 |
|             |             | 연구윤리활동비       |              |               |                 |
|             |             | 연구개발준비금       |              |               |                 |
|             | 성과활용<br>지원비 | 대학 연구활동 지원금   |              |               |                 |
|             |             | 과학문화활동비       |              |               |                 |
|             |             | 지식재산권 출원·등록비  |              |               |                 |
|             |             |               | 소계           |               | (인건비+직접비)×28.8% |
| 합계          |             |               |              |               | 163,688         |

### 9. 연구성과의 등록·기탁 의향

향후 참여 기관들의 연구자들과 협의하여 등록·기탁 여부 의사결정