

BSPE99568-11582-4

함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 처리기술 및 지반구조물 활용방안 개발

Development of stabilization technology for fine marine
sediments with high water content and improvement of
beneficial use as geotechnical structures

2018년 2월

한국해양과학기술원



제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 처리기술 및 지반구조물 활용방안 개발”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 02.

연구 책임자: 김경련

참여 연구원: 최진영, 원은지

연구 보조원: 강예희, 임지영, 임채운,
박미연

보고서 초록

과제고유 번호		해당단계 연구기간		단계 구분	
연구사업명	중사업명				
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	창의사업			
	세부과제명	함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 처리기술 및 지반구조물 활용방안 개발			
연구책임자	김경련	해당단계 참여연구원수	총 : 7명 내부: 2명 외부: 5명	해당단계 연구비	정부: 50,000천원 기업: 천원 계 : 50,000천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 7명 내부: 2명 외부: 5명	총 연구비	정부: 50,000천원 기업: 천원 계 : 50,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 환경기반연구센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약				보고서 면수	000 면
<p>연안지역 퇴적물은 육상 토양에 비하여 함수율(육상 토양 약 3~5%)이 높고, 미세입자(75μm 이하) 함량(약 70~90%)이 많으며, 염분 함유량이 많은 특성을 가짐. 이러한 특성 때문에 연안지역 퇴적물을 유효활용하기 위해서는 오염도 저감을 제외하더라도 입자분리(Particle separation), 탈수(Dewatering), 수처리(Wastewater treatment), 운반(Transportation) 등이 어렵기 때문에 현재까지 퇴적물의 유효활용이 보고된 사례가 극히 제한적임. 현재 해양퇴적물 정화기술 중 고화(Solidification) 또는 안정화(Stabilization) 기술이 처리산물의 유효활용에 보편적으로 사용됨. 기존 고화는 주로 속건성인 포틀랜드 시멘트를 주로 사용하였으나 고화 처리 후 약 8일 정도의 양생기간이 필요하며, 강도는 고화제 첨가량에 비례함. 육역의 사업현장은 격리된 구역이 대부분이며, 생활환경과 거리가 있으므로 처리 후 적치 및 보관 장소가 필요하거나, 냄새 등 심미안적 문제가 발생하는 경우라도 사업현장의 환경관리를 통하여 해소할 수 있음. 연안 또는 해역의 경우, 현장에서 제거된 퇴적물을 처리 한 다음 가능한 한 짧은 시간(예: 1시간) 이내에 처리산물의 성장 변화 및 안정성을 향상 시켜서 운반에 문제가 없으며, 유효활용이 가능한 기술개발이 필요함. 본 연구 결과 함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 기술개발을 위한 핵심 요소 기술을 확보함. 기존 고화/안정화 처리가 곤란한 것으로 보고된 해양퇴적물(함수율 60.2%, 미세입자 함량 86.7%)을 주로 수화반응을 유발하는 성분이 우세한 첨가제를 사용, 처리할 경우 처리 후 30분 이내 운송이 가능한 켈리 상태로 물성변화를 확인하였으며, 처리 조건에 따라 3일 후 일축압축강도가 0.5~1.5 MPa 이상으로 나타난 결과로 부터 처리산물은 복토재 등 지반구성용 물질로 활용 가능함</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	퇴적물, 미세입자, 함수율, 안정성 향상, 유효활용			
	영 어	Sediments, fine particles, water contents, stability improvement, beneficial use			

요 약 문

I. 연구개발의 배경 및 필요성

1. 배경

- 연안지역 퇴적물은 육상 토양에 비하여 함수율(육상 토양 약 3~5%)이 높고, 미세입자($75\mu\text{m}$ 이하) 함량(약 70~90%)이 많으며, 염분 함유량이 많은 특성을 가짐. 연안지역 퇴적물을 유효활용하기 위해서는 오염도 저감을 제외하더라도 입자분리(Particle separation), 탈수(Dewatering), 수처리(Wastewater treatment), 운반(Transportation) 등이 어렵기 때문에 현재까지 퇴적물의 유효활용이 보고된 사례가 극히 제한적임. 이를 해소할 수 있는 기술개발이 요구됨
- 기존 고화는 주로 속건성인 포틀란트 시멘트를 주로 사용하며, 고화 처리 후 약 8일 정도의 양생기간이 필요하며, 강도는 고화제 첨가량에 비례함. 양생은 넓은 부지와, 오랜 시간이 소요되며, 악취 발생 등 심미안적 문제를 발생시킬 가능성이 있음 이를 대체할 수 있는 기술개발이 요구됨.

2. 필요성

- 기존 고화는 주로 준설품질 또는 토양에 적용하고 있음. 준설품질의 경우 $75\mu\text{m}$ 이상, 모래를 대상으로 시멘트 계열 고화제 사용으로 알칼리성인 해수 환경에서는 Cr^{+6} 용출되거나 연화(Softening)되어 오염물질의 용출, 형상 파손 등이 보고되고 있으므로 이를 개선할 수 있는 기술 개발이 필요함. 또한 고화의 주요 대상인 준설품질 및 토양의 입경은 $75\mu\text{m}$ 이상인데 반하여 해양오염퇴적물 등 연안지역 퇴적물 중 처리 대상이 되는 퇴적물 약 70~90%가 $75\mu\text{m}$ 미만의 미세입자(Silt, Clay)로 구성되어 있음. 미세입자는 기존 고화 기술의 적용 대상이 아니며, 고화 기술로 처리에 한계가 있으므로 기존 고화의 처리기술의 한계를 극복할 수 있는 새로운 기술개발이 필요함

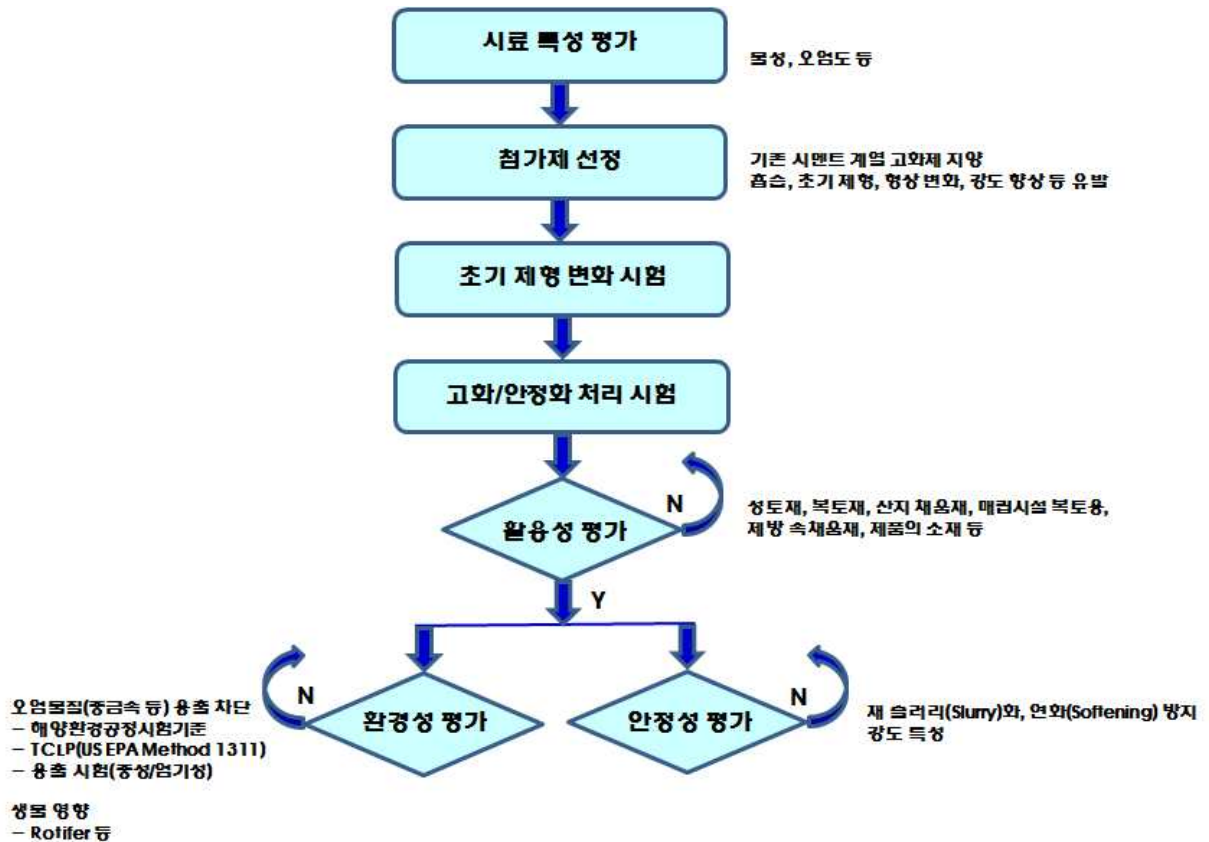
II. 연구 목표

- 함수율이 높고, 미세입자($75\mu\text{m}$ 이하)의 함량이 많은 슬러지(Sludge) 상태의 연안지역 퇴적물을 제거하는 현장에서 적용할 수 있는 공정으로 처리한 다음 지반구조물 등으로 유효활용 할 수 있는 핵심 기술개발

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 추진 전략

- 국내·외 관련 기술 동향 및 선행연구 분석
- 현재 기술의 한계점 분석 및 개선 방안 검토
- 관련 산/학/연 전문가 의견 수렴 및 연구원 내부 타 연구 그룹과 협력
- 후속 연구과제(정부 R&D 또는 고유사업) 개발을 위하여 필요한 핵심 요소 기술 개발



연구개발 추진 체계도

2. 연구개발의 범위 및 내용

- 함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 처리기술 개발
 - 퇴적물 성상 변화 유발 개량제 개발을 위한 기초 연구
 - 퇴적물 개량 기술 개발을 위한 기초 연구
- 처리산물을 기반구조물로 활용방안 개발
 - 처리산물 성상 및 오염도 평가
 - 처리산물 활용 방안 검토

IV. 연구개발결과

1. 시험용 퇴적물

- N 해역 퇴적물을 채취하여 시료로 사용



퇴적물 시료 채취

- 퇴적물 물성 평가 결과

시료로 사용한 퇴적물의 물성

TOC(%)	COD(mg/kg)	IL(%)	pH	Water contents (%)	Particle size distribution (%)		
					>75 μ m	75-32 μ m	<32 μ m
2.51	37.85	12.38	7.04	60.17	13.28	15.86	70.86

시료의 중금속 오염도

Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
54.02	27.45	100.17	386.23	11.23	1.30	73.23

2. 초기 제형 및 고화/안정화 시험

- 선정된 첨가제 총 6종(고화/안정화 4종, 흡습 특성 1종, 강도 보완 1종)을 다양한 조건에서 퇴적물에 첨가, 혼합 후 초기 제형 평가

- 초기 제형 평가 기준

시료의 함수율(60%)에 대응 가능

혼합 후 단시간(30분) 내에 혼합물로부터 액상이 누출 또는 유출되지 않는 상태

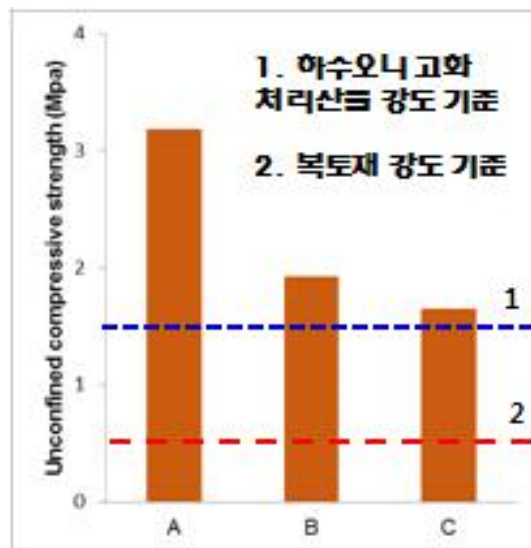
혼합 후 단시간(3시간) 후 덩어리가 형성되며, 이동이 가능한 상태

- 첨가제 M은 혼합 후 2분 30초 이내에 젤리 형태의 덩어리 형성 확인

- 첨가제 A, B, C, D의 경우 첨가량(5~15%)이 증가할수록 초기 제형 특성이 좋음
- 첨가제 첨가량이 같을 경우 첨가제 D 사용 시 초기 제형 특성이 좋음
- 첨가제 M의 최적 첨가량은 시료 중량 대비 0.05%로 평가됨

3. 처리산물의 초기 강도 시험

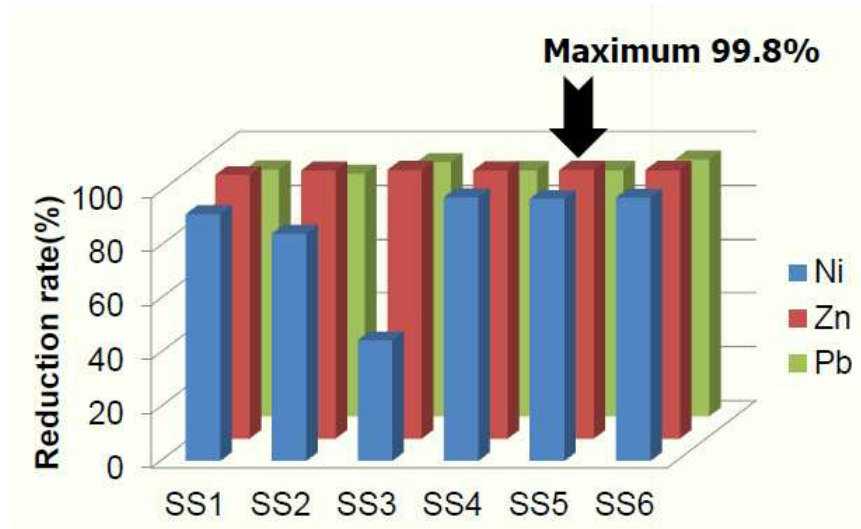
- 다양한 첨가제 혼합조건에서 시험한 결과
 - 퇴적물에 첨가제를 넣고 30분 동안 균일하게 혼합한 다음 상온에서 3일간 방치 후 강도 측정
 - 함수율과 미세입자 함량이 높은 퇴적물을 고화/안정화 처리 시험한 결과 초기 제형 변화가 가능하며, 3일 후 강도 특성이 기존 시멘트 계열 고화제 대비 우수함



첨가제에 따른 처리산물의 강도 특성

4. 처리산물의 화학적 환경 영향 평가

- 처리산물의 화학적 환경 영향 평가를 위하여 Toxicity characteristic leaching test(TCLP, USEPA Method 1311) 시험 결과를 평가
 - 중금속 용출은 첨가제의 종류 또는 첨가량에 크게 영향을 받지 않으며 최소 첨가량이 5%의 경우라도 중금속 용출 비율이 매우 낮기 때문에 환경에 미치는 영향은 미약함

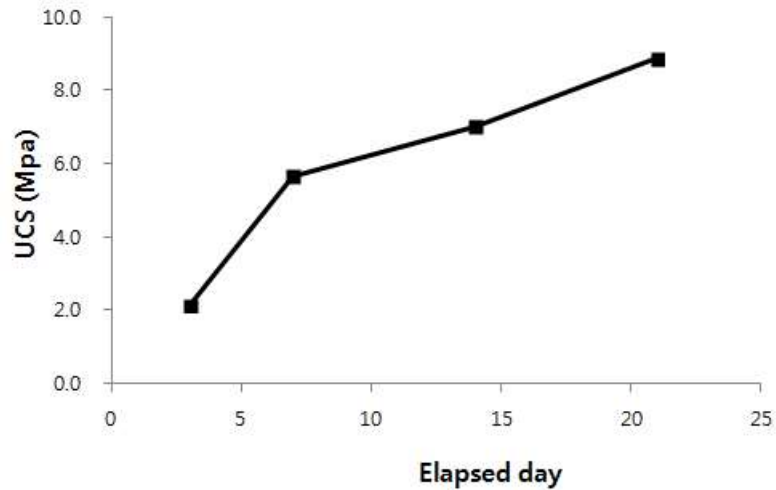


조건별 첨가제에 따른 중금속 용출 차단 비율

(SS1: A 5%, SS2: A 10%, SS3: A 15%, SS4: B 5%, SS5: B 10%, SS6: B 15%)

5. 처리산물의 안정성 평가

- 처리산물의 시간 경과에 따른 형상과 강도 변화 여부 및 화학적 환경 영향성 평가결과에 따라 최종 시험용 첨가제를 선정
 - 첨가제에 유해 중금속이 포함되어 있거나, 처리 후 강도 특성이 상대적으로 낮은 제제는 시험에서 제외하고 최종 시험용 첨가제로 첨가제 A를 선정
- 안정성 평가
 - 처리산물 100g을 500ml PE 재질의 플라스크에 배치한 다음 증류수 400ml를 첨가한 다음 밀봉한 다음 실온에서 일정 시간(7일 간격, 28일간) 동안 방치한 다음 형상과 강도 변화 여부를 평가
 - 일정 시간 이후 처리산물과 액상을 분리한 다음 분리된 처리산물은 형상 변화 및 강도 변화 정도를 평가한 결과 수침 전 2.1 MPa에서 수침 후 7일, 14일, 21일 후에도 형상 변화는 없으며, 강도는 5.7~8.9 MPa까지 증가함
 - 수침 초기 1~2일 이내 증류수의 색깔이 옅은 노란색으로 변화가 관찰됨
 - 분리된 액상은 45 μ m 실리지 필터로 여과 후 중금속 용출 여부를 평가 결과 오염 성분 용출 영향 없음



처리산물의 수침 시간에 따른 강도 변화

6. 처리산물의 유효활용 방안 검토

- 현재 퇴적물의 고화/안정화 후 처리산물의 유효활용에 대한 법규가 미비함
 - 수저준설토사 유효활용기준 등 규정(해양수산부 고시 제2016-110호, 2016.8.1.)은 “수저준설토사”를 양빈, 해안의 복원, 인공섬 조성, 어장개선사업, 항만/어항시설 공사용 재료 등으로 유효활용 하도록 규정
 - 오염 정화 또는 성상 변화 등 처리산물에 대한 유효활용 규정의 정비가 필요함
- 현행 법규에 따라 유효활용 할 경우 순환골재 또는 하수슬러지 고화처리물 적용 규정에 따라 유효활용이 가능함
 - 순환토사의 재활용 용도(건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률)에 따를 경우 처리산물의 유효활용은 건설공사용 성토용, 복토용, 폐기물처리시설 중 매립시설의 복토용으로 사용할 수 있음
 - 하수슬러지 고화처리물(폐기물의 재활용 용도 및 방법에 관한 규정 제2조제1호)에 따를 경우, 산지전용, 산지일시사용, 채석지역 내 하부복구지의 채움재로 사용할 수 있음
- 처리산물을 지반구조물 등으로 사용하기 위해서는 처리 시 고형 형태, 크기 및 강도 등 물성 및 관련 환경기준에 대한 추가 검토가 필요함
 - 강도: 복토재 0.5MPa, 하수슬러지 고화처리물 1.5MPa
 - 현행 육역 및 해양의 관련 환경기준은 총 함량 시험법으로 규정되어 있는데, 고화/안정화 처리산물의 경우 용출법으로 보완할 필요가 있음

- 현재 최종 처분장이 극히 제한적이며, 민원 등 사유로 다양한 유효활용이 곤란한 현실을 고려하면, 선진국 사례처럼 처리 후 해저면 또는 수저면 재배치(Replacement)에 대한 검토가 필요함
- 해저면 또는 수저면 재배치를 위해서는 반드시 화학적 영향평가뿐만 아니라 생물학적 영향평가도 필요함

V. 연구개발결과의 활용계획

■ 연구 성과물

- 함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 기술개발을 위한 핵심 요소기술 확보
 - 기존 고화/안정화 처리가 곤란한 것으로 보고된 해양퇴적물(함수율 60.2%, 미세입자 함량: 86.7%)의 안정화 처리 가능성을 규명
 - 기존 고화/안정화 처리 시 처리 후 약 7일간의 양생 기간이 필요하였으나, 개발된 핵심 요소기술을 적용할 경우 처리 후 3일이면 유효활용이 가능함
 - 퇴적물을 개발 기술로 처리 시 30분 후 초기 제형변화가 완료됨으로서 부가적인 수처리가 필요하지 않으며, 처리산물의 운반 등이 용이함

■ 연구 성과물 활용방안

- 연구결과를 기초로 해양퇴적물 안정성 향상 기술개발을 위한 신규 R&D사업 또는 고유사업 창출
 - R&D 과제 제안(단기)
- 상용 정화기술 중 하나로서 퇴적물 안정성 향상 기술을 개발하고, 상용화(기술이전)하여 실제 사업 현장에 적용(중·장기)

S U M M A R Y

Coastal sediments have high water contents and high fine contents(70~90%) of fine particles less than 75 μm comparing to top soils(water contents 3~5%). Because of these characteristics, it is difficult to effectively utilize sediments originated from coastal areas since particle separation, dewatering, wastewater treatment and transportation are difficult in site or near dredging sites, Currently, solidification or stabilization technologies which is remediation technology are commonly applied for the beneficial use of dredged materials or marine sediments. General solidification mainly used quick-drying portland cement, however it requires a curing period of about 8 days followed by the treatment. Moreover strength of treated materials is proportional to the amount of solidifying agent(s). In land, treatment sites are mostly isolated from human living environment. Therefore, even if there is a need for storage after treatment, or if aesthetic problems such as occurs, it could be solved through environmental management within the treatment sites.

However, in case of coastal or marine areas, it is necessary to develop technologies that can be effectively utilized within relatively short reaction time and transported also in site or near dredging sites, Based on the results of this research, core technology was secured for developing technology to improve stability of fine sediments with high water contents. Marine sediments(water content 60.2%, fine particle content 86.7%) which are reported to be difficult to treat with commercial solidification or stabilization technology, are treated with additives involving SiO_2 , Al_2O_3 which causes hydration reaction. Then treated sediments changed gelly like state within 30 min. And uniaxial compressive strength was found to be 0.5~1.5 MPa or more after 3 days depending on treatment conditions. Finally, treated sediments could be beneficially used as constituting ground materials such as soil materials.

KEYWORDS: Sediments, fine particles, water contents, stability improvement, beneficial use

C O N T E N T S

Chapter 1. Concept of this basic research	15
1.1 Final goal of this research	15
1.2 Sub-goal and main contents	15
1.3 Necessity of this research	15
Chapter 2. Analysis of conditions and environment	18
2.1 Domestic and foreign cases	18
2.2 Previous research and technology trend	19
Chapter 3. Research progress and results	33
3.1 Characteristics of sediment sample	33
3.2 Development for the improvement of stabilization technology	35
3.3 Evaluation for beneficial use as ground filling materials	37
3.4 Discussion	39
Chapter 4. Achievement	44
4.1 Achievement	44
4.2 Contribution	44
Chapter 5. Future plan and strategy	45
5.1 Resrarch results	45
5.1 Future plan	45
References	46
Appendix	48

목 차

제 1장 서론	15
1.1 연구의 최종 목표	15
1.2 세부목표 및 내용	15
1.3 연구의 필요성	15
제 2장 국내외 기술개발 현황	18
2.1 국내외 사례 분석	18
2.2 선행 연구 및 기술 동향	19
제3장 연구개발 수행 내용 및 결과	33
3.1 퇴적물 시료의 특성	33
3.2 안정성 향상 처리기술 개발 결과	35
3.3 지반구조물 활용 방안 개발 결과	37
3.4 고찰	39
제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도	44
4.1 연구개발 목표 달성도	44
4.2 대외 기여도	44
제 5장 연구개발 결과의 활용계획	45
5.1 연구개발 결과	45
5.2 활용계획	45
참고문헌	46
부록	48

그 립 목 차

그림 2.1 독일의 METHA plant	31
그림 2.2 BioGenesis사의 토양 퇴적물 세척 장치	31
그림 2.3 케이싱 공법을 이용한 수저준설토 유효활용(일본 쿠시로 항, 방파제 조성)	32
그림 3.1 퇴적물 시료 채취	33
그림 3.2 시료(T)의 XRD 분석 결과	35
그림 3.3 시료에 다양한 첨가제를 사용한 초기 제형 시험	36
그림 3.4 시간에 따른 제형 변화	36
그림 3.5 처리산물의 일축압축강도(Uniaxial compressive strength) 시험	37
그림 3.6 첨가제에 따른 처리산물의 강도 특성	37
그림 3.7 첨가제 혼합사용 시 처리산물의 강도 특성	39
그림 3.8 조건별 첨가제에 따른 중금속 용출 차단 비율	39
그림 3.9 첨가제 A의 사용량에 따른 강도 특성	40
그림 3.10 처리산물의 수침 시간에 따른 강도 변화	40
그림 3.11 시험에 사용한 생물(Brachionus sp. (B. rotundiformis, B. koreanus))	41
그림 3.12 24시간(A)과 48시간(B) 노출 시의 Rotifer 생존율	42

표 목 차

표 2.1 국내 퇴적물/토양 정화처리 및 유효활용 관련 주요 특허(등록) 현황	20
표 2.2 선진국의 준설물질 관련 기술동향	30
표 3.1 퇴적물 시료의 물리화학적 특성	33
표 3.2 퇴적물 시료의 중금속 오염도	33
표 3.3 시험용 첨가제 성분	34
표 3.4 TCLP 시험 결과	39

제 1장 서론

1.1 연구의 최종 목표

- 함수율이 높고, 미세입자(75 μ m이하)의 함량이 많은 슬러지(Sludge) 상태의 연안지역 퇴적물을 제거하는 현장에서 적용할 수 있는 공정으로 처리한 다음 지반구조물 등으로 유효활용 할 수 있는 핵심 기술개발
- 향후 관련 사업 추진 시 필요한 장기, 대형, 융·복합 연구과제 창출을 위한 기초 자료 확보

1.2 세부목표 및 내용

세부목표	연구내용 및 범위
미세입자 퇴적물의 유효활용 기술 개발	1. 함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 처리기술 개발 1) 퇴적물 성상 변화 유발 개량제 개발을 위한 기초 연구 2) 퇴적물 개량 기술 개발을 위한 기초 연구
	2. 처리산물을 지반구조물로 활용방안 개발 3) 처리산물 성상 및 오염도 평가 2) 처리산물 활용 방안 검토

1.3 연구의 필요성

가. 기술적 측면

- 연안지역 퇴적물은 육상 토양에 비하여 함수율(육상 토양 약 3~5%)이 높고, 미세입자(75 μ m 이하) 함량(약 70~90%)이 많으며, 염분 함유량이 많은 특성을 가짐. 연안지역 퇴적물을 유효활용하기 위해서는 오염도 저감을 제외하더라도 입자분리(Particle separation), 탈수(Dewatering), 수처리(Wastewater treatment), 운반(Transportation) 등이 어렵기 때문에 현재까지 퇴적물의 유효활용이 보고된 사례가 극히 제한적임. 이를 해소할 수 있는 기술개발이 요구됨.
- 기존 고화는 주로 속건성인 포틀랜드 시멘트를 주로 사용하며, 고화 처리 후 약 8일

정도의 양생기간이 필요하며, 강도는 고화제 첨가량에 비례함. 양생은 넓은 부지와, 오랜 시간이 소요되며, 악취 발생 등 심미안적 문제를 발생시킬 가능성이 있음 이를 대체할 수 있는 기술개발이 요구됨.

- 기존 고화는 주로 준설품질 또는 토양에 적용하고 있음. 준설품질의 경우 75 μm 이상, 모래를 대상으로 시멘트 계열 고화제 사용으로 알칼리성인 해수 환경에서는 Cr^{+6} 용출되거나 연화(Softening)되어 오염물질의 용출, 형상 파손 등이 보고되고 있으므로 이를 개선할 수 있는 기술 개발이 필요함. 또한 고화의 주요 대상인 준설품질 및 토양의 입경은 75 μm 이상인데 반하여 해양오염퇴적물 등 연안지역 퇴적물 중 처리 대상이 되는 퇴적물 약 70~90%가 75 μm 미만의 미세입자(Silt, Clay)로 구성되어 있음. 미세입자는 기존 고화 기술의 적용 대상이 아니며, 고화 기술로 처리에 한계가 있으므로 기존 고화의 처리기술의 한계를 극복할 수 있는 새로운 기술개발이 필요함

나. 경제·산업적 측면

- 연안지역 개발을 위하여 처리 등이 필요한 퇴적물의 양은 많이 있지만, 현재까지 적절한 처리기술이 제한되어 개발이 지연되거나, 제거된 퇴적물의 유효활용 등이 원활하지 못함. 이를 해소할 수 있는 기술이 개발 보급될 경우 관련 분야 기술 개발을 촉진할 수 있으며, 경제적 파급효과가 큼
- 연안지역 개발 시 발생하는 함수율이 높고 미세한 퇴적물은 현재 적절한 처리기술이 없으며, 준설토투기장 운송 및 처분 비용이 소요되는 문제가 있음. 특히 시멘트 계열 고화제를 사용할 경우 약 7일 정도의 양생기간이 필요하므로 임시 적치 장소가 과다하게 필요하고, 악취 및 해충 발생 등으로 민원이 발생할 가능성이 높으며, 처리산물을 상차, 하차 시 그리고 운송하는 과정에서 액상이 유출되어 운송이 제한되는 문제점이 있으므로 시급한 해결이 필요함

다. 사회·문화적 측면

- 연안지역 퇴적물 유효활용, 사업기간 단축 및 환경문제 해소를 사회적 갈등 해소에 이바지

라. 해양과기원 임무 및 경영목표 등과의 연계성

- 한국해양과학기술원의 임무 중 하나인 “해양과학기술 및 해양산업 발전에 필요한 원천 연구” 및 “해양분야 대국민 서비스”에 부합함
- 해양환경 기초 분야 연구를 통한 과학, 기술 개발과 연구결과를 상용화(기술이전)하여 산업발전 특히 해양퇴적물 정화복원, 유효활용을 촉진시키는 것은 시급한 현안문제를 해결할 수 있는 사항이므로 한국해양과학기술원의 신규과제로 추진함이 타당함

마. 국가적 아젠다와의 연계성

- 본 주요 연구 내용은 정부의 1) 140대 국정과제, 2) 국가과학기술표준 및 3) 해양수산물분류체계에 포함되어 있으므로 중앙정부에서 지원할 필요가 있음
 - ※ 정부의 140대 국정과제: 국정목표 4 안전과 통합의 사회/전략 16. 쾌적하고 지속가능한 환경 조성/국정과제 104 해양환경 보전과 개발의 조화
 - ※ 국가과학기술표준분류체계: 대분류(공공) / X09. 환경 / 인공물(환경 EH)
 - ※ 해양수산물분류체계: 대분류(해양환경 MEV), 중분류(해양환경요인평가 MEV01), 소분류(해양오염 저감 및 환경복원기술 MEV0103)
- 정부의 해양수산물관련 국정과제 중 ‘해외 신성장 동력 창출 및 체계적 해양영토 관리’의 주요 추진계획 중 6) 해양신산업 육성 - 해양 R&D를 지속 추진하되, 해양산업 활성화를 위한 기반 확충의 계획에 부합됨

제 2장 국내외 기술개발 현황

2.1 국내외 사례분석

- 준설품질 발생량은 연간 평균 약 26백만 m^3 (사업비 평균 15.2백억 원)로서 지난 10년간 총량이 서울 남산(약 5백만 m^3)의 약 5배에 해당하며 이 물량의 약 89%가 매립, 약 4.6%가 해양배출로 처분됨(해양수산부 항만국 항만개발과, 2014)
- 국제적으로 수저준설토는 폐기물이 아니라 적절한 정화나 가공처리를 거쳐 자원으로 활용될 수 있는 물질로 간주됨
 - ※ 현재 우리나라의 「해양환경관리법」은 수저준설토사를 해양에 배출 가능한 폐기물의 일종으로 보고 있으며, 사업장 일반폐기물로 분류되어 「폐기물 관리법」상의 폐기물 규정이 적용될 가능성이 있음
- 수저준설토사 해양배출량은 연평균 254천 m^3 ('99년 ~'14년)에 달하고 있음. 최근 해양환경 보전을 위한 국내외 제도개선 및 환경 기준의 강화되고 있음. 우리나라는 런던의정서 및 런던협약의 가입 당사국으로서 국제법/조약을 국내법과 동일한 수준으로 준수할 의무가 있으므로 수저준설토사의 해양배출량을 최소화할 필요가 있음
 - ※ 2016년 폐기물 해양 배출 전면 금지. 수저준설토는 유일하게 남은 배출 허용 품목
- 현재까지 퇴적물이 오염되지 아니하였다는 가정으로 수심유지, 항만개발 등 공학적 이용 목적의 준설토 사업이 추진되어 왔으나 환경관리가 미비하고 정화기술이 개발, 적용된 사례가 거의 없음
- 전국 연안 27개 오염우려 해역에서 오염퇴적물을 분포 현황을 조사, 평가한 결과 조사 해역의 약 78%해역인 21개 해역에서 시급한 정화가 필요한 것으로 파악되었음
 - ※ 27개 해역(국가관리 해역 대비 4.3%)
 - ※ 최소 8백만 m^3 , 최소 8천 4백억 원~1조원 이상 소요 예상(처리단가 105천 원/ m^3)
- 준설토투기장은 항만기본 계획(매 5년), 공유수면매립기본계획(매 10년) 수립 시 조성계획이 반영되며, 투기장 조성에 약 5~7년(타당성 검토/예산 확보/실시설계/호안축조 등 조성(3~5년))이 필요하며 최소 수백억 원 이상 예산이 투입됨
- 수저준설토 유효활용을 위한 최종처분장 확보에 어려움 발생
 - 처분장 조성에 있어 사회적 마찰(투기장 조성 애로, 잔류 수토량 감소, 민원 발생 등)
- 현재까지 준설토사업 전 수저퇴적물의 오염조사를 통한 처리방안의 검토가 포함되

어 있지 않았음

- 준설토 오염 평가기준 미비로 준설 후 활용(공유수면 매립) 및 처분 결정의 어려움
 - ※ 정화기준 미비로 인한 활용 또는 처분 방법 결정의 어려움 발생
- 연안지역 오염원 정비 및 관리 미비로 각종 오염물질이 유입되어 퇴적물에 축적되며, 퇴적물에 함유된 유기물, 중금속, 지속성유기오염물질 등 오염물질은 저서생물의 체내에 축적되어 먹이사슬을 통해 전달되어 해양생태계 및 인간에게까지 영향을 줄 수 있음
- 기존 준설사업(수심유지/항만개발)은 오염되지 아니하였다는 가정 하에 사업이 추진되어왔으며 환경관리가 미비하였고, 오염에 대한 평가를 하지 않았으며 준설/이송/고화 이외 관련 정화기술이 없었음
- 수저준설토의 물리 화학적인 특성을 고려한 최적화된 정화 기술의 부재
- 오염도 저감 만이 아닌 수저준설토의 유효활용을 위한 정화기술의 연구가 없었으며 및 국외 기술 의존성이 큼
- 기존 수저준설토 유효활용 기준이 준설토의 유효활용을 제한하는 것이 현실이며, 준설토 중 모래를 양분하거나, 모래 이상 입경 물질에 대한 고화 또는 유효활용 방법을 제외하면 유효활용 기술은 보고된다 없음
- 그러므로 다양한 유효활용 목적별에 적합한 새로운 개념의 준설토 유효활용 기술개발이 시급함

2.2 선행 연구 및 기술 동향

- 수저준설토 유효활용을 위한 현장 정화 분야와 관련된 기술은 현재까지 연구 개발된 사례가 없음
- 오염 토양 정화기술을 수정 보완하여 적용하고 있으나 수저퇴적물의 상당부분이 세립질임을 고려하였을 때 최적화 된 정화기법의 개발이 시급함
- 중앙정부(해양수산부)는 해양오염퇴적물 정화사업 추진의 활성화를 위해 해양수산 R&D과제로 “지속가능 해양오염퇴적물 정화기술 개발: 피복 및 현장 처리기술”을 추진한 결과물을 피복과 현장 처리기술 각 1건씩 상용화(기술이전) 함
- 관련기술 분야의 특허 확보 증가 등 기술 개발의 필요성이 요구되는 환경이 구축되고 있으나 일본을 비롯한 주요 선진국에 비해 기술 선점이 늦으며 해외 기술 의존도가 높은 상황임
- 최근 15년간 관련 기술 특허 동향을 표 에 나타냄
- 전체 관련 특허 중 준설(또는 수거) 기술 14건, 재활용 공법 11건, 중간처리기술 59건 및 현장처리기술 13건임

표 2.1 국내 퇴적물/토양 정화처리 및 유효활용 관련 주요 특허(등록) 현황

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
1	한국해양과학기술원, (주)에이치플러스에코	김경련 외 1명	2015. 3. 3. / 2015. 5. 20.	나노버블을 이용한 수저 오염퇴적물 정화처리 시 스템	수거된 수저오염퇴적물을 효율적 으로 정화 처리하기 위하여 입경 별로 분리, 세척 처리 및 수 나 노 크기 직경의 기포 적용을 포 함한 고도 처리 공정
2	노틸러스 미네랄즈 퍼시픽 피티 리미티드	번트 롤랜드	2015. 2. 6. / 2015. 4. 08.	자가 세척 수집 장치 및 방법	해저 물질의 수집을 위한 자가 세척 수집 장치 및 방법 제공
3	박영자	박영자	2015. 1. 19. / 2015. 2. 16.	정화조 침전과 기계식 탈수장치를 이용한 준설 토 탈수처리시스템	항만과 내수면에 퇴적되어 있는 다양한 퇴적물을 정화조 침전 및 기계식 탈수장치를 이용하여 처 리하는 정화조 침전과 기계식 탈 수장치를 이용한 준설토 탈수처 리시스템
4	주식회사 덕진 엔지니어링	정영남	2014. 11. 25 / 2015. 1. 22.	침사물 처리 방법 및 침 사물 처리장치	침사물 처리 방법 및 침사물 처 리장치에 관한 상기 수집 스크레 퍼 유니트와 이송 스크레퍼 유니 트를 흔드는 스윙기구로 구성되 는 처리장치
5	요시노 셋고 가부시기가이샤	야마구치 마사토	2014. 10. 28 / 2014. 12. 3.	특정 유해 물질의 불용 화재, 이를 이용한 특정 유해 물질의 불용화 방 법 및 토양의 개량방법	토양이나 토양 표면에 부여하여 행하는 중금속 등의 불용화 처리 에 유용한, 중금속 등을 효과적 으로 불용화하여 고정 및 재이용 이 가능하도록 개량하는 방법
6	주식회사 에취켓	장규진	2014. 6. 30 / 2014. 11. 13	하수관거 준설토 탈수장 치 및 이를 이용한 준설 토 탈수방법	하수관거에서 준설되는 모래, 흙 등의 준설토에서 덩어리진 준설 토를 잘게 분쇄하고, 분쇄된 준 설토를 탈수기까지 이송하면서 수분을 탈수하는 장치
7	한국환경기계 주식회사	김동환 외 1명	2014. 5. 30 / 2014. 8. 11	모래 및 협잡물 여과, 탈 수 장치	모래와 협잡물이 함유된 폐기액 의 고형물질을 여과 처리하는 장 치
8	한국해양과학 기술원	김경련 외 1명	2014. 3. 14 / 2014. 7. 29	수저오염퇴적물 정화처리 시스템	수거된 수저오염퇴적물에서 입자 를 입경별로 분류, 선별장치로부 터 유입된 수저오염퇴적물에 미 세기포 적용을 포함하는 고도 정 화처리 시스템
9	한국해양과학 기술원	김경련 외 1명	2014. 3. 14 / 2014. 7. 29	미세기포 전처리를 포함 하는 수저오염퇴적물 정 화처리 공정	수저오염퇴적물에 미세기포를 분 사하여 오염물질을 1-2 단계를 거쳐 분리 및 제거를 특징으로 하 는 미세기포 전처리를 포함하는 수저오염퇴적물 정화처리 공정

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
10	김상환	김상환	2014. 1. 24 / 2014. 5. 26	친환경 수중 준설장치	수중 바닥의 퇴적물을 파내는 준설장치
11	김상환	김상환	2014. 1. 3. / 2014. 1. 17	환경오염을 막기 위한 차단벽이 설치된 준설장치	환경오염을 유발하지 않는 준설장치
12	박선미	김홍국 외 1명	2013. 10. 24 / 2014. 4. 11	준설 장치	준설 장치에 관한 것으로 흡입 파이프의 설치 높이를 조절할 수 있어 펌프 및 발전기가 수중에 잠기지 않고도 퇴적물을 흡입하는 흡입력을 저하되는 것을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 펌프 및 발전기가 수중에 잠기지 않으므로 부식되는 것을 억제하는 준설장치
13	송재홍	송재홍	2013. 10. 23 / 2015. 5. 4.	미세공기 부양법을 이용한 해양 퇴적토 제거방법	미세공기 부양법을 이용한 해양 퇴적토 제거방법, 부상 처리 방법에 의해 탁도 유발물질을 영구적으로 신속하게 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 기존 준설방법에 비해 처리시간을 획기적으로 단축시키는 방법
14	케이알준설 주식회사	류신	2013. 10. 11 / 2014. 5. 21.	압축공기를 이용한 준설토 이송이 가능한 갠트리 크레인이 구비된 준설선	갠트리 크레인을 선박에 구비하여 별도로 분해, 조립의 과정 없이 준설작업을 하여 갠트리 크레인의 하측에 위치한 반송기로 선체에 준설된 흙이나 모래, 바위 등을 반출할 수 있는 선박
15	진도종합건설 (주)	고성규 외 1명	2013. 8. 27 / 2013. 11. 1.	하수처리 시스템을 이용한 준설토 처리장치 및 방법	하수처리 시스템의 침강조, 폭기조 등을 이용하여 별도의 처리장치 및 설비의 설치 없이 하수와 함께 처리함으로써 준설토 처리의 비용을 획기적으로 절감하는 방법
16	초석건설산업(주), 대호산업개발(주)	김일곤 외 1명	2013. 7. 2. / 2013. 12. 27	친환경 고화재를 이용한 준설토 고화방법	고칼슘 소각재를 주원료로 사용하고 자극제로서 TDF 소각재와 슬래그 미분말 및 페트로 코우크스 탈황석고를 활용하여 준설토를 경제적이고 성능이 향상된 물성의 토목재료 또는 연약지반 처리용으로 재활용할 수 있는 방법
17	환경대학교 산학협력단	신우석 외 1명	2013. 4. 9. / 2014. 10. 20	해양오염퇴적물 내의 중금속을 안정화시키는 방법	해양오염퇴적물 내의 중금속을 안정화시키는 방법, 안정화제에 의해 용해성 및 이동성이 낮은

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
					상태로 전환될 뿐만 아니라 중금속의 용출량을 크게 감소시키는 방법
18	주식회사 비엠, (주)세원테크	김종태 외 1명	2012. 5. 8. / 2013. 8. 29	혼합 미생물을 포함한 미생물 제제 및 이를 이용한 해양 준설토 또는 연안 슬러지의 생물학적 처리 방법 및 자가 소화 공정	혼합 미생물(BM-S-1) 을 포함한 미생물 제제 및 이를 이용한 해양 준설토 또는 연안 슬러지의 생물학적 처리 방법 및 자가 소화 공정
19	한국건설기술 연구원	송호면 외 1명	2012. 3. 30. / 2013. 12. 16	자연공생 호소에서의 준설토 제거 구조체	자연공생호소에서의 준설토 제거 구조체에 관한 것으로서 자연공생호소 내 수로의 설치를 통해 어류 은신처 및 대피로 조성 및 준설토와 오염토사물질의 효율적인 제거 및 관리가 가능한 구조체
20	김종윤	김종윤	2011. 9. 14 / 2011. 10. 14	입자분리 플랜트와 토양 개량 플랜트를 이용한 준설토의 재활용 처리장치 및 이를 활용한 재활용 처리방법	하천에 퇴적된 준설토의 재활용 처리 장치 및 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 매립 또는 투기등으로 제2의 환경오염을 유발하는 수중에 오염 준설토를 토목용 또는 농업용 토양으로 재활용 하는 방법
21	(주)우량종합 건설	김공익	2011. 9. 2. / 2012. 12. 4.	퇴적폐준설토를 활용한 토양시멘트 지반안정화공법	유수지 등에서 발생하는 폐준설토사를 현장에서 처리하여 토양시멘트로 조성함에 따라 지반을 안정화 및 재활용 방법
22	주식회사 해양 수산연구개발, (주)에이치엔	강장원 외 1명	2011. 3. 16 / 2013. 9. 10	준설토과정에서의 오탁수 처리장치	준설토과정에서 다량의 입자상물질을 포함하는 오탁수로부터 입자상물질 제거가 지속적으로 원활히 이루어질 수 있도록 함으로써 준설토과정에서의 오탁수 방출로 인한 2차 오염을 방지할 수 있도록 하는 오탁수 처리장치
23	김상환	김상환	2011. 10. 25 / 2012. 5. 25	환경오염을 유발하지 않는 준설토장치	물 바닥에 존재하는 오니나 오염물을 파내는 환경오염을 최소화할 수 있는 굴착장치
24	정석권	정석권 외 1명	2011.1.12 /	수중 오염 퇴적토 현장 정화장치	수중 오염 퇴적토를 원위치에서 처리제를 투입하여 고형화, 안정화 시키는 처리장치(간접 관련)
25	(주)신강하이텍	조성주 외 1명	2011.2.7 /	오염토양 정화방법	오염토양을 입경별로 선별한 다음 고온 증기를 주입하여 정화시키는 방법(간접 관련)
26	(주)코오롱글로벌, (주)코오롱위터	배종현 외 1명	2011.3.31 /	오염토양 처리방법 및 시스템, 오염토양 선별 트로멜	사격장 오염토양에서 입자 크기별로 오염물질을 효율적으로 선

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
	엔에너지, (주)동명엔터프 라이즈				별하기 위한 장치 및 방법 (간접 관련)
27	제이케이이앤씨 주식회사	박성근	2010. 9. 28 / 2012. 9. 18	침사 분리 종합 처리시 스템 및 처리방법	협잡물중의 크기가 큰 자갈등과 같은 협잡물을 사전에 바이브레 이터 스크린의 진동에 의해 손쉽게 고, 용이하게 인출하며, 별도의 세정기가 필요 없이 자중에 의해 하측으로 유입되는 침사물의 세 정작업을 간편하게 수행하는 방 법
28	한라건설주식 회사, (주)큐엔솔루션, 서울대학교 산학협력단	권영호 외 1명	2010. 9. 1. / 2011. 4. 27	준설토 재활용 확대를 위한 오염 퇴적토 처리 방법 및 처리 시스템	유기물 및 중금속으로 오염된 미 세 준설토를 친환경적으로 처리 하여 오염 준설토의 효율적인 처 리를 증대시키도록 한 처리 방법
29	권철기, 최종철	권철기 외 1명	2010. 8. 27 / 2013. 4. 30	미세 오염 퇴적물 탈수 장치	물속에 퇴적되어 있는 미세 입자 들을 연속적으로 탈수 및 정화시 켜 제거하는 방법
30	정세영	정세영	2010. 7. 28 / 2013. 3. 27	준설토사 함유 폐수 처리 시설 및 이를 이용한 폐수 처리방법	준설토사 함유 폐수 처리시설 및 이를 이용한 폐수 처리방법
31	(주)에코원 테크놀로지	이정무	2010. 7. 28 / 2010. 11. 16	준설토물 처리장치	하천이나 하수도 바닥에 퇴적된 준설토물을 수거하여 모래를 분리 하고 세정 처리하는 준설토물 처리 장치
32	남선개발 주식회사	백운모	2010. 6. 28 / 2011. 4. 14	준설토물 처리시스템	준설토혼합물을 준설토와 혼탁액 으로 분리하기 위한 하이드로싸 이클론으로부터 필요로 하는 고 품질의 자갈이나 모래 등을 얻을 수 있어 원자재 창출에 따른 수 입비용 등을 절감하는 처리시스 템
33	(주)에이치엔지 앤이, (주)해양연구개발	강장원 외 1명	2010. 5. 25 / 2010. 8. 5.	어장정화, 항로준설토 및 다양한 준설토사업 중 발 생되는 준설토퇴적물의 수 분을 여과 및 흡착식으 로 탈수하는 방법	필터용 부직포와 흡착포 및 에어 분사장치를 이용하여 수중 준설토 물에 포함된 물을 효율적으로 탈 수시키도록 하는 것을 특징으로 함. 어장정화, 항로준설토 및 다양 한 준설토사업 중 발생하는 준설토 퇴적물의 수분을 여과 및 흡착식으 로 탈수하는 방법
34	(주)해양연구개발, (주)에이치엔지 앤이	강장원 외 1명	2010. 5. 25 / 2010. 12. 31	어장정화, 항로준설토 및 다양한 준설토사업 중 배 출되는 배출수의 부유물	외부에서 공급되는 준설토물을 상 하 유동물러를 이용하여 압착하 면서 탈수시키도록 함으로서 탈

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
				질을 제거하는 여과장치 및 방법	수효율을 극대화시키도록 한 것 을 특징으로 함. 어장정화, 항로 준설 및 다양한 준설사업 중 배 출되는 배출수의 부유물질 을 제거하는 여과장치 및 방법
35	(주)해양연구개발, (주)에이치엔지 앤이	강장원 외 1명	2010. 5. 25 / 2010. 12. 31	어장정화, 항로준설 및 다양한 준설사업 중 발 생되는 준설 퇴적물에서 쓰레기, 자갈 및 모래를 빠른 속도로 분리하는 선별장치 및 방법	하천이나 호소 등에 쌓인 모래, 미세모래, 자갈, 슬러지 등과 같 은 준설토를 각각 별도로 분리하 여 선별토록 함으로서 골재 활용 도를 극대화시키도록 한 것을 특 징으로 하는 준설퇴적물에서 쓰 레기와 자갈 및 모래를 빠른 속도로 분리하는 수중 준설 물의 선별장치 및 방법
36	인진석, 송영채, 고성정	이진석 외 1명	2010. 5. 11 / 2012. 7. 23	오염 매질에 함유된 중 금속 처리 장치 및 방법	중금속을 처리하는 새로운 시스 템을 제공함으로써 비용 및 처리 효율을 획기적으로 개선할 수 있 는 오염 매질에 함유된 중금속 처리 장치 및 방법
37	한국지질자원 연구원	천종화 외 1명	2010. 3. 25 / 2010. 8. 19	해저퇴적물 채취장치	해저퇴적물 채취장치를 사용하 면, 해저퇴적물 채취에 소요되는 비용을 크게 절감할 수 있고, 채 취의 정확성을 높일 수 있는 채 취장치
38	제이엠모터스 주식회사	노성왕	2010. 2. 22 / 2010. 10. 28	흡입식 준설장치	하천이나 해안의 바닥에 쌓인 빨 이나 모래 등을 파 올리는 흡입 식 준설장치에 관한 것으로 보다 상세하게는 바퀴가 구동하면서 빨이나 모래 등을 부유시키면 부 유된 빨이나 모래 등을 물과 함 께 흡입하는 준설장치
39	(주)오에치케이	남양원	2010. 2. 8. / 2011. 7. 6.	준설토 및 오탁수 처리 방법 및 이를 이용한 처 리 시스템	준설토 및 오탁수의 오염 수준, 준설 방법, 및 수분 함량에 따라 처리 공정이 구분됨으로써, 준설 토 및 오탁수의 처리 공정의 부 담을 줄이고, 환경 부하를 경감 시키는 처리 시스템
40	한국기계연구원	홍원석 외 1명	2010. 1. 27 / 2012. 5. 10	마이크로 버블을 이용한 하천 준설토 정화 장치	난분해성 유기물과 오염물이 포함 된 세수 물과 버블 오존수를 혼합 하여 정화시키고, 이후 세수 물에 포함된 유해 유기물질을 산화 및 흡착하여 정화한다. 이에 의해, 안 정적이고도 효율적으로 하천 준설 토를 정화시키는 정화 장치

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
41	한국기계연구원	홍원석 외 1명	2010. 1. 27 / 2012. 3. 29	미세기포를 이용한 기름 오염 토양의 정화 장치	기름오염 토양을 세수 및 진동시 켜서 나오는 처리 대상수를 오존 버블이 함유된 버블 오존수와 혼 합하여 기름과 유기물을 분리하 는 장치
42	아주대학교 산학협력단	오수기 외 1명	2010.11.26 /	열 탈착에 의한 유류오염 토양 정화장치	유류 오염토양을 가열하여 오염 물질을 증발시킨 후 이를 냉각시 켜 배출시키는 처리장치(간접관련)
43	(주)금호기술검사	김영채 외 1명	2010.5.25. / 2010.8.23	이동 설치가 가능한 오염 토양 고층야적식 정화장치	유류 및 화학물질에 의해 오염된 토양을 처리하기 위한 이동 설치 가 가능한 고층야적식 정화장치 (간접 관련)
44	(주)삼우이엔지, (주)케이에스티	백용기	2010.5.3. / 2010.10.13	오염토양 세척 선별장치	유류, 중금속 등 복합 오염토양 을 고압으로 세척 및 물리적 충 돌을 유발시켜 처리하며, 세척수 를 처리 후 재사용하는 장치(간 접 관련)
45	(주)지오엔지 니어링, 어영식	이홍규 외 1명	2010.4.27. / 2010.12.1	원위치 토양의 오염정화 방법	시추천공기를 이용 천공 후 정화 제가 혼합된 물을 가압하여 공기 와 함께 분사시켜 오염토양을 정 화하는 방법(간접 관련)
46	(주)대일이엔씨, (주)한라건설	권영호 외 1명	2010.2.19. / 2010.5.7	오염 준설토 처리장치 및 그 처리방법	오염된 하천의 미세 준설토를 선 별, 정화하여 중금속 처리 효율 을 높이는 처리방법(간접 관련)
47	(주)제철세라믹	이준창 외 1명	2009. 5. 29. / 2010. 12. 8.	준설토의 고화방법 및 이 에 사용되는 준설토용 고 화제	준설토에 전용 고화제를 첨가하 여 혼합, 고화 처리하여 양질의 흙, 건축재용 성토재, 복토재 등 으로 재활용
48	(주)큐엔솔루션, (주)한라건설	김수곤	2009.8.7. / 2010.8.17	자기장을 이용한 중금속 오염 미세토양 슬러리 정 화 방법	미세토양 슬러리에 분산제를 투 입 분산시킨 다음 자기장을 이용 중금속 함유 광물입자를 분리하 는 정화 방법(간접 관련: 오염물 질의 자성 특성에 따라 분리될 수 있음)
49	주식회사 지지 케이, 주식회사 대명엔지니어링	홍 성 술 외 1명	2009. 7. 8. / 2010. 4. 14	기저퇴적물 제거장치 및 그 준설토방법	강이나 하천, 호수 등의 기저퇴 적물을 준설토할 수 있으며 시간당 진공흡입관으로 공급되는 에어의 양을 조절하여서 기저퇴적물의 흡입량을 조절할 수 있음
50	제드준설토 주식회사, 백도선	백도선	2009. 6. 12 / 2010. 1. 21	친환경 준설토 분리장치 및 방법	하천 등에 쌓인 모래, 슬러지 등 과 같은 준설토로부터 물과 미세 점토질 토분을 분리하여 방출시

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
					키는 동시에 사용 가능한 토사만을 용이하게 분리시킴.
51	(주)코오롱건설	이승철 외 1명	2009.5.15 / 2011.7.7	오염토양 오염물질 분리 및 정화장치	오염토양에 공기 또는 세척수를 분사하는 복수의 분리 매체 분사 노즐을 포함하는 분리 및 정화장치(간접 관련)
52	(주)큐엔솔루션	김수곤 외 1명	2009.6.15 / 2010.4.6	미세토양 세척장치 및 방법	1mm 미만 미세토양을 세척, 선별하고, 선별된 미세토양에 함유된 유류, 중금속 제거 효율을 향상시키는 처리방법(간접 관련)
53	아주대학교 산학협력단	오수기 외 1명	2009. 8. 27. / 2012. 1. 26	마이크로웨이브를 이용하는 오염토양 정화장치	마이크로웨이브를 이용하여 오염토양을 가열 및 에너지를 공급하여 처리효율을 높이는 장치(간접 관련)
54	윌텍에이티에스	송현도	2008. 3. 27. / 2008.9.25	토양 세척장치	오염토양을 파쇄 공극 넓힘, 계면활성제 주입 스크류 이용하여 세척하여 처리 효율을 높이는 장치(간접 관련)
55	(주)코스코, 장순옥	최종규 외 1명	2008. 9. 4. / 2011.09.16	침전을 이용한 약주 원심 분리방식의 준설퇴적물정 화장치	약주 원심분리방식의 준설퇴적물정화장치
56	(주)코스코	최종규 외 1명	2008. 11. 17 / 2009. 02. 27	회전로타를 이용한 친환경 퇴적물흡입 장치	퇴적물을 분쇄하여 흡입호퍼로 흡입하되, 흡입호퍼 밖으로 비산되는 부유물을 최소화하고, 준설회시에 연속식으로 퇴적물을 흡입할 수 있는 친환경 퇴적물 흡입장치
57	(주)케이디에스	김보수 외 1명	2008. 04. 16 / 2008. 10. 07	자기 충돌에 의한 준설토 처리 장치 및 방법	자기 충돌에 의한 준설토 처리장치와 방법에 관한 것으로, 자기 충돌에 의해 골재, 모래, 슬러지로 분산 선별하는 방법
58	한국지질자원 연구원	김재곤 외 2명	2007. 5. 16. / 2009. 1. 29	오염토양 차단층 및 이를 이용한 기능성 다층객토 복원공법	중금속 상승 차단층, 수분 상승 차단층, 토사유입 차단층으로 이루어지는 오염토양 차단층을 중단에 설치/비소, 6가 크롬 등 중금속 용출과 오염악화를 차단(간접 관련)
59	(주)코스코	최종규 외 1명	2007. 05. 09 / 2007. 11. 08	원심분리를 이용한 준설토 퇴적물정화 장치	퇴적물을 흡입펌프로 흡입하고, 흡입한 퇴적물을 원심분리기 및 전기반응조를 이용하여 신속하게 연속식으로 퇴적물을 분리 및 처리할 수 있는 약주원심분리방식 준설토정화장치
60	주영호,	주영호	2006. 08. 16	전기분해장치가 구비된	해양 오니 후처리 선 및 해양 오

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
	(주)선양		/ 2007. 11. 20	해양 오니 준설 후처리 선 및 해양 오니로부터 발생된 해수 처리 방법	염퇴적 오니로부터 발생된 해수 를 정화 처리하는 방법
61	(주)코스코	최종규 외 1명	2006.01.23 / 2006.03.30	해저 및 저수지의 침전물 회수 및 정화장치	침전물의 선상에서 처리하여 회 수하는 해저 또는 저수지 침전물 회수 및 정화장치
62	(주)코스코, 장순욱	최종규 외 3명	2005.07.01 / 2005.11.11	연속식 해저 및 저수지의 침전물 제거 장치	침전물을 흡입하여 작업선(바지 선) 상에서 약품처리없이 여과처 리를 하여 회수된 침전물은 농 축하여 회수하는 연속식 해저 및 저수지 침전물 제거 장치
63	(주)코스코	최종규 외 2명	2005.02.22 / 2005.09.15	흡입식 해저 및 저수지 침전물 제거 장치	침전물을 인양하여 고체침전물과 액체침전물을 분리 처리하는 수 단을 구비한 흡입식 해저 및 저 수지 침전물 제거장치
64	(주)선양, 인하대 산학협력단	손충렬 외 3명	2005. 12. 29 / 2006. 12. 04	수압차를 이용한 퇴적물 회수 장치 및 회수 방법	수압차를 이용한 해저 및 수저의 퇴적물을 제거하기 위한 장치
65	(주)후지기소 코리아, (주)후지기소공업	엔도 가즈 히사 외 1명	2004.3.12. / 2004.7.8	오염토양 개량방법	진공탱크 내에서 에어 버블링을 행하는 경우에, 바깥 기온이 낮 은 동절기에도 효율적으로 휘발 성 화학물질을 분리시키고 처리 시간을 대폭적으로 단축시킬 수 있는 오염토양 개량방법(간접 관 련)
66	(주)호동전자	김현호 외 4명	2004.11.24 /	고농도 오존수를 이용한 난분해성 오염토양 복원 방법 및 그 장치	고농도 오존수를 이용한 난분해 성 오염토양 복원방법/오염토양, 수질, 폐기물의 유기오염물질 정 화가능(간접 관련)
67	(주)코스코, 대우조선해양 이엔알(주)	우종식 외 3명	2004.11.25 / 2005.05.19	원격 조종 하저면 초음파 조사 장치	준설정보와 입체지형도를 산출해 내고 하저를 수색하는 하저면 초 음파 조사 장치
68	에스아이비(주)	주대성	2004. 09. 16 / 2006. 10. 20	준설퇴적물의 정화 시스템	오염된 퇴적물을 원심분리기를 이용하여 세척 및 선별하는 단 계, 원심분리기에서 선별된 낙하 분리물의 세척과 이송 단계 및 원심분리기의 상등액을 약품처리 및 침전과정을 거쳐 고형물을 분 리하는 단계로 구성되는 정화 시 스템
69	한국건설기술 안재환		2003. 09. 30	준설 퇴적토를 이용한 재	준설 퇴적물의 토사 성분인 준설

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
	연구원	외 5명	/ 2005. 09. 12	활용 제품의 제조 방법	퇴적토를 이용하여 건설용 블록 등 재활용 제품을 제조하는 방법
70	주영호, (주)선양	주영호	2003.12.15 / 2006.02.27	부유물에 의한 2차 오염이 없는 준설 시스템	단위 부선을 복수개 결합하여 부선을 형성하고, 상기 부선에 설치되어진 크레인의 단부에 설치된 준설펌프의 흡입구를 유동을 방지하도록 하는 준설 시스템
71	한국해양연구원	김상진 외 4명	2003.4.22. / 2005.11.10	전자수용체 처리를 통한 퇴적토의 생물학적 정화 방법	퇴적물은 원위치에서 혐기성 상태이므로 이를 이용 전자수용체 처리를 통한 생물학적 정화방법 (간접 관련)
72	(주)서해건설	정연규 외 3명	2002.3.5. / 2004.9.7	퇴적 준설물의 경량화에 의한 난분해성 물질의 처리시스템 및 방법	하천, 해안 및 폐쇄성 수역의 오염 퇴적 준설물의 처리 장치, 하이드로싸이클론, 부상탑, 제 1 슬러리 생물반응기, 제 2 슬러리 생물반응기로 구성되며, 이를 다시 컨테이너 박스 2개를 사용하여 조립, 통합함으로써 이동식 장치로 제작 개발(간접 관련)
73	(주)토다공업	가와노 주니찌 외 6명	2002.12.2. / 2009.10.5	토양·지하수의 정화 처리용 철 입자 그의 제조법 해당 철 입자를 포함하는 정화제 그의 제조법 및 토양·지하수의 정화 처리 방법	토양, 지하수 정화에 사용될 수 있는 철 입자를 포함하는 정화제 및 처리방법 (간접 관련)
74	POSCO, (재) 포항산업과학 연구원	박광석 외 1명	2001. 12. 22. / 2008. 3. 17.	준설 퇴적물의 처리 방법	적은 비용으로 환경에 악영향을 최소화하기 위해 준설 퇴적물을 인접해역에 투기 후, 제강 슬래그를 복토하여 오염물질 용출을 억제하는 방법
75	엘지건설	황학 외 5명	2001. 03. 31 / 2003. 11. 12	퇴적 준설토 처리 장치 및 방법	퇴적 준설토 중의 골재와 오염된 퇴적토를 분리하고, 분리된 오염된 퇴적토를 처리하는 장치 및 방법
76	POSCO, (재) 포항산업과학 연구원	이충일	1999. 8. 10. / 2004. 3. 5.	제강 슬래그를 이용한 수질 및 퇴적토양 오염물질 정제방법	제강 슬래그를 이용하여 수질 및 오염퇴적물의 정제방법으로 파쇄 슬래그를 살포하여 부영양물질, 중금속 등을 정화시키는 방법
77	POSCO, (재) 포항산업과학 연구원	박광석 외 1명	1999. 8. 10. / 2001. 3. 5.	해저 퇴적물로부터의 오염물 용출 억제방법	제강슬래그를 파쇄하여 오염된 퇴적물 상부에 살포하여 퇴적층으로부터 인 및 황화수소의 용출

번호	특허권자	발명자	출원일/ 등록일	기술 명칭	요약
					을 억제시켜 부영양화 방지에 활용하는 방법

- 기존 고화/안정화는 주로 조립질 (75 μ m 이상) 퇴적물을 대상으로 연구, 개발됨
 - 고화/안정화 처리 시 탈수된 퇴적물을 대상으로 함
 - 선진국의 경우 유압(펌프)식 설비 이외 기계(그랩, 환경형 그랩)식 설비도 사용
 - 유압식 대비 기계식 설비 사용 시 함수율이 낮고, 대부분 중간처리를 거침
 - 우리나라는 (환경)준설 후 바로 유효활용을 권장하나 관련 처리기술이 극히 제한됨
 - 또한 (환경)준설 현장에서 중간처리가 미흡하며, 현장 주변 처리가 매우 곤란함
 - 현장 또는 현장 인근에서 처리가 용이하며, 처리 후 빠른 시간 내에 유효활용 필요
 - 우리나라는 준설물질 중 사질에 대한 고화 이외에 유효활용에 대한 연구가 미흡함
 - 특히 퇴적물의 함수율이 높거나 미세입자(75 μ m 이하) 함량이 많을 경우 대응 불가
- 해외의 경우 준설물질 활용에 대한 연구가 활발함
 - 국외에서는 2차 오염 방지 및 경제성을 고려한 현장 정화처리 연구가 수행 중
 - 독일에서는 현장에서 수거, 바지선에서 중간처리 후 현장으로 되돌려 놓는 기술을 개발, 파일럿 장비 시범운영을 거쳐 현장 적용단계에 있음(독일 Metha 입자분리 플랜트)
 - 미국의 GTIE사, WS&T사에서 준설토 내 미립토의 중금속을 대상으로 유리화, 고형화를 이용한 퇴적물 처리기술이 상용화 단계에 있으며 기술 개발에 적극적인 자세를 취하고 있음
 - 미국의 Biogenesis사에서는 현재 미립토 세척을 위한 고압분사 세척기술이 상용화 단계에 있음
 - 독일 Metha 입자분리 플랜트
 - 일본 쿠시로 항, 기타큐슈 공항: 준설토를 매립소재로 이용한 예
- 해외 관련 기술 현황을 표 2.2에 나타냄

표 2.2 선진국의 준설물질 관련 기술동향

네덜란드	<ul style="list-style-type: none"> 전 세계의 준설사업의 준설선, 준설장비 등을 네덜란드의 IHC Merwede 및 Boskalis에서 주도하고 있음
미국	<ul style="list-style-type: none"> 미국에서는 1980년대 오대호 관리 프로그램을 시작으로 수많은 수저퇴적물 정화·복원 기술을 개발하여 현재 약 250여개 단위 기술이 오염 지역과 오염물질의 특성에 따라 개별적 또는 복합적으로 사용되고 있으며, 다양한 정화·복원 기술을 지속적으로 개발, 보완하고 있음 미국 등 선진국에서는 수저퇴적물의 정화기술로 감시 하의 자연정화 (Monitored Natural Recovery), 준설 및 처리(Dredging, Treatment/Disposal), 현장 피복(In-situ capping) 세 가지 방법을 정화사업 대상 수역의 지정학적 특성과 오염 특성에 따라 적합한 정화방법을 하나 또는 그 이상 복합적으로 선정하여 사용하고 있음
일본	<ul style="list-style-type: none"> 높은 정밀도의 준설장비, 준설공법 및 준설선 기술을 보유하고 있음 준설토사를 케이싱 공법에 이용하여 방파제 및 어초로 이용함 항만, 하천, 호수와 늪의 준설 공사에 있어서 수역 오염의 발생이나 준설 토사의 처분지 부족 문제의 해결 및 중금속이나 다이옥신 등으로 오염된 바닥 오니를 효율적으로 제거하는 「환경 준설 공법(END공법)」을 확립되어 있으며, 최소한 필요한 준설 토량으로 얇고 균일하게 물밀을 준설할 수 있다. 이 공법은 흙 속 장애물의 제거에 적합하고 수질 오염의 확산도 적어서 환경을 배려한 준설 기술임(고요건설 주식회사) 수저 준설 토사를 모래와 실트·점토로 분급해 모래를 탈수하는 분급·탈수 시스템(토양 separator 공법)에 새롭게 실트·점토의 흙탕물을 염가로 연속 처리할 수 있는 고액분리 시스템을 더한 것으로, 실트·점토도 건설 재료로서 용이하게 이용할 수 있는 기술 보유 (토아 건설공업)
독일	<ul style="list-style-type: none"> 최근 독일에서는 오염된 퇴적물을 준설하는 현장에서 처리한 다음 해저면에 재배치하는 기술이 개발되었으며, 파일럿 장비 시범운용을 거쳐 현장 적용 단계에 있음 준설된 수저준설토를 Hydro cyclone 및 METHA등으로 입자분리 하여 유효활용 함
중국	<ul style="list-style-type: none"> 최근 중국 정부 주도의 중국 준설 협회(CHINA Dredging Association; CHIDA)가 국제 시장에 진출을 시도하고 있으며, 일본은 높은 정밀도의 준설장비, 준설공법 및 준설선 기술을 보유하고 있음
영국	<ul style="list-style-type: none"> 준설된 수저준설토를 처리하여 육상매립, 육상고립, 연안고립, 수중고립, 인공섬 조성처리 등으로 유효활용 함
노르웨이	<ul style="list-style-type: none"> 준설된 수저준설토가 중금속 등으로 오염된 경우 주로 고정화 처리 후 유효활용하고 있음



Dredging Operations and Environmental Research Program
Focus Area – Innovative Technology

METHA Plant, Hamburg, Germany¹

BACKGROUND The METHA Plant is a permanent installation constructed in 1993 to address disposal of contaminated sediments dredged from Hamburg Harbor. The plant handles approximately 1M tons of dredged material every year.

TECHNOLOGY Sand and fines in the incoming dredge slurry are separated in two steps (83 µm and 20 µm) at the front end of the plant. Fine materials are processed through the dewatering circuits (Figures 1-4), then the two materials are combined in a disposal area, layering 1.5 m of dewatered silt over 0.3 m of sand, to facilitate further dewatering. Material is stacked up to 38 m above the surrounding area.

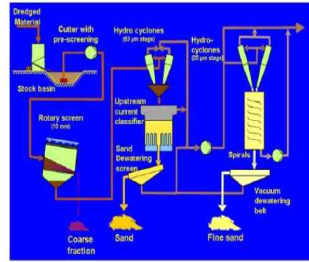


Figure 1. Process schematic – separation (Uetzner 2004)



그림 2.1 독일의 METHA plant



그림 2.2 BioGenesis사의 토양 퇴적물 세척 장치



그림 2.3 케이싱 공법을 이용한 수저준설토 유효활용(일본 쿠시로 항, 방파제 조성)

제 3장 연구개발 수행 내용 및 결과

3.1 퇴적물 시료의 특성

가. 퇴적물 시료의 특성

- 본 연구에 사용한 시료는 N 해역에서 Van Veen grab을 이용 퇴적물을 채취한 다음, 현장에서 조개껍질, 자갈 등 험잡물을 제외하였음
- 퇴적물은 채취한 직후 저온 보관 상태로 연구실로 이송하여 냉장 보관하였음
- 퇴적물은 1 mm Sieve를 사용하여 습식 채 거름 후 보관 및 사용함
- 퇴적물은 동결건조 후 균질화 한 다음 시료로 사용함



그림 3.1 퇴적물 시료 채취

- 퇴적물 시료의 물리화학적 특성 평가를 결과 표 3.1과 표 3.2에 나타냄

표 3.1 퇴적물 시료의 물리화학적 특성

TOC(%)	COD(mg/kg)	IL(%)	pH	Water contents (%)	Particle size distribution (%)		
					>75 μ m	75-32 μ m	<32 μ m
2.51	37.85	12.38	7.04	60.17	13.28	15.86	70.86

표 3.2 퇴적물 시료의 중금속 오염도

Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
54.02	27.45	100.17	386.23	11.23	1.30	73.23

나. 시험 제제의 특성

- 상용 고화/안정화제는 주로 시멘트 계열 임
 - 주성분은 CaO, MgO, Fe₂O₃ 등의 산화물 형태
 - 주요 고화 반응은 흡수발열, 이온교환, 포졸란, 탄산화 및 수화반응임
 - 처리 후 강도(Strength) 생성 까지 비교적 긴 시간 필요(양생기간 약 7일)
- 현재 토양 정화사업에서는 시멘트 계열 고화제를 지양하고, 시멘트 계열 성분에 특정 성분을 첨가하여 개량한 제제 또는 무기계 등 다양한 제제 사용
 - 퇴적물은 토양에 비하여 함수율이 매우 높으므로 토양 사용 제제 사용 곤란
 - 또한 퇴적물은 토양에 비하여 미세입자 함량이 높으므로 토양 사용 제제 사용 곤란
- 상용 제제 중 주로 수화반응을 유발할 수 있으며, 단기간 처리가 가능한 제제를 선정
 - 비교적 빠른 고화를 위한 수화 및 포졸란 반응을 위하여 상용 개량 제제 중 SiO₂, Al₂O₃ 함량이 높으며, CaO, MgO 함량이 낮은 제제를 선정
 - 수화반응(Hydration reaction)

$$2(3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2) + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO}_2\cdot\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$$

$$2(2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO}_2\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$$

$$2(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3) + 27\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CaO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 19\text{H}_2\text{O} + 2\text{CaO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 8\text{H}_2\text{O}$$
 - 포졸란반응(Pozzolanic reaction)

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + [\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3] = 3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}, 3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$$
 - 시료 T는 천연 섬유 소재로서 강도 향상을 위한 첨가제임

표 3.3 시험용 첨가제 성분

Specification	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	others	IL	Sum	Loss
A	26.8	9.5	54.6	3	1.78	1.33	0.64	97.6	2.43
B	5.74	19.4	41.3	1.32	1.24	1.13	0.93	71.0	29.0
C	20.9	4.65	63.1	2.14	3.21	1.69	1.98	97.6	2.37
D	14.3	10.1	49.4	3.02	2.7	1.88	16.4	97.8	2.2
M	57.7	4.33	0.76	0.01	0.5	5.37	31.2	99.9	0.14

단위: %

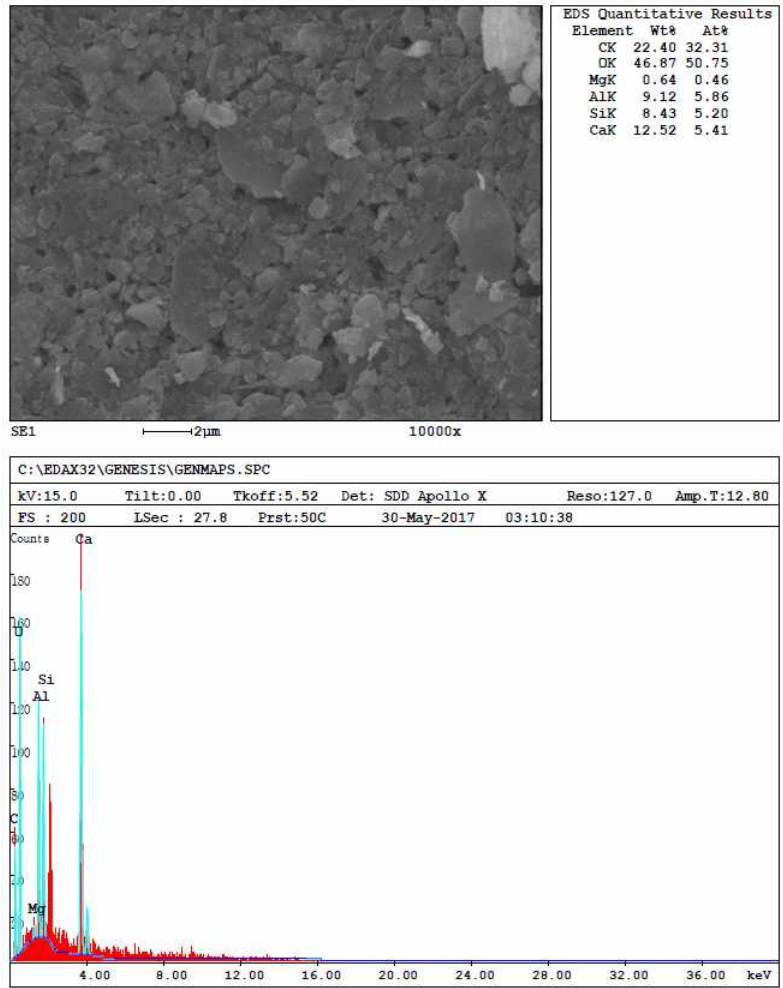
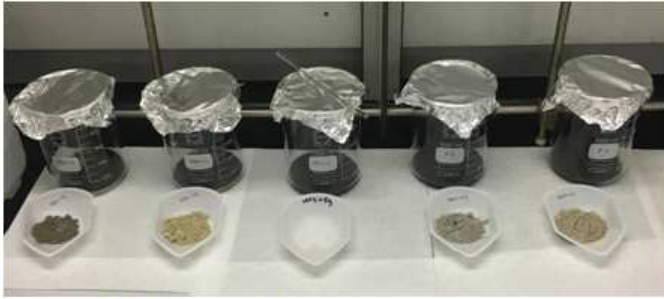


그림 3.2 시료(T)의 XRD 분석 결과

3.2 안전성 향상 처리기술 개발 결과

- 선정된 첨가제 총 6종(고화/안정화 4종, 흡습 특성 1종, 강도 보완 1종)을 다양한 조건에서 퇴적물에 첨가, 혼합 후 초기 제형 평가
 - 초기 제형 평가 기준
시료의 함수율(60%)에 대응 가능
혼합 후 단시간(30분) 내에 혼합물로부터 액상이 누출 또는 유출되지 않는 상태
혼합 후 단시간(3시간) 후 덩어리가 형성되며, 운송/이동이 가능한 상태
 - 첨가제 M은 혼합 후 2분 30초 이내에 젤리 형태의 덩어리 형성 확인
 - 첨가제 A, B, C, D의 경우 첨가량 (5~15%)이 증가할수록 초기 제형 특성이 좋음
 - 첨가제 첨가량이 같을 경우 첨가제 D 사용 시 초기 제형 특성이 좋음
 - 첨가제 M의 최적 첨가량은 시료 중량 대비 0.05%로 평가됨



퇴적물과 각종 고화제의 반응 제형 변화 확인



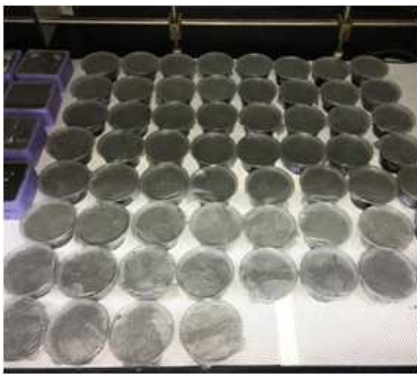
초기 제형 변화 확인 및 적정 고화제 첨가량 설정



M 첨가 시, 제형 변화

그림 3.3 시료에 다양한 첨가제를 사용한 초기 제형 시험

날짜 별 고화형태 확인



1일 후



3일 후

그림 3.4 시간에 따른 제형 변화

3.3 지반구조물 활용 방안 개발 결과

- 다양한 첨가제 혼합조건에서 시험한 결과
 - 퇴적물에 첨가제를 넣고 30분 동안 균일하게 혼합한 다음 상온에서 3일간 방치 후 강도 측정
 - 함수율과 미세입자 함량이 높은 퇴적물을 고화/안정화 처리 시험한 결과 초기 제형 변화가 가능하며, 3일 후 강도 특성이 기존 시멘트 계열 고화제 대비 우수함

강도실험



시편 제작



일축압축강도(UCS) 측정

그림 3.5 처리산물의 일축압축강도(Uniaxial compressive strength) 시험

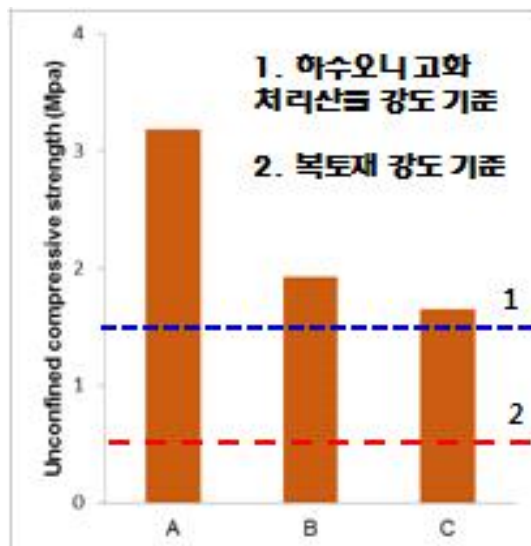
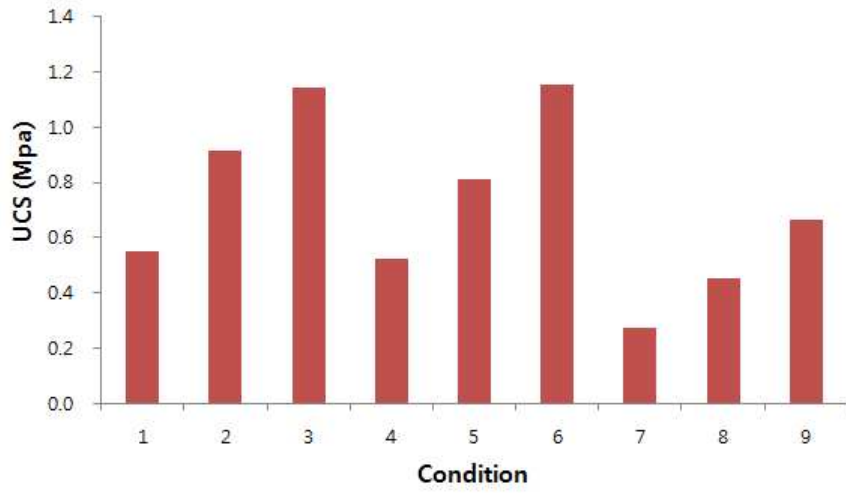


그림 3.6 첨가제에 따른 처리산물의 강도 특성



조건	내용	조건	내용	조건	내용
1	A 15%+T 5%	4	A 15%+T 5%+M 0.05%	7	Cement 5%
2	A 20%+T 5%	5	A 20%+T 5%+M 0.05%	8	Cement 10%
3	A 25%+T 5%	6	A 25%+T 5%+M 0.05%	9	Cement 15%

그림 3.7 첨가제 혼합사용 시 처리산물의 강도 특성

3.4 고찰

가. 처리산물의 화학적 환경 영향 평가

- 처리산물의 화학적 환경 영향 평가를 위하여 Toxicity characteristic leaching test(TCLP, USEPA Method 1311) 시험 결과를 평가
 - 중금속 용출은 첨가제의 종류 또는 첨가량에 크게 영향을 받지 않으며 최소 첨가량이 5%의 경우라도 중금속 용출 비율이 매우 낮기 때문에 환경에 미치는 영향은 미약함

표 3.4 TCLP 시험 결과

Agent	Agent conc. wt %	Metal of TCLP leachate (mg/L)						
		Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
		0.02	0.759	0.32	32.52	0.125	0.1213	0.083
Agent A	5	0.03	0.063	0.59	0.67	0.070	0.0010	0.007
	10	0.12	0.118	1.03	0.10	0.083	0.0008	0.008
	15	0.50	0.420	2.00	0.07	0.051	0.0007	0.005
Agent B	5	0.01	0.015	0.05	0.10	0.029	0.0009	0.007
	10	0.05	0.020	0.27	0.06	0.019	0.0006	0.007
	15	0.05	0.017	0.32	0.07	0.017	0.0007	0.004

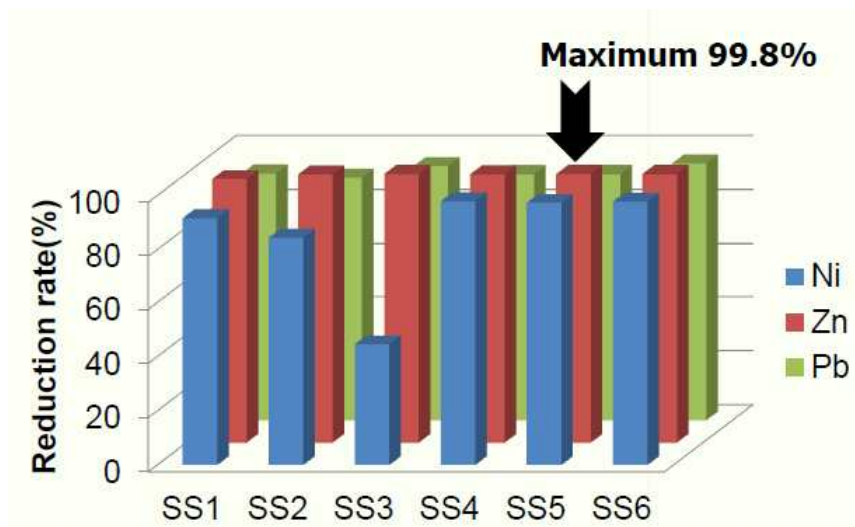


그림 3.8 조건별 첨가제에 따른 중금속 용출 차단 비율
(SS1: A 5%, SS2: A 10%, SS3: A 15%, SS4: B 5%, SS5: B 10%, SS6: B 15%)

나. 처리산물의 안전성 평가

- 처리산물의 시간 경과에 따른 형상과 강도 변화 여부 및 화학적 환경 영향성 평가결과에 따라 최종 시험용 첨가제를 선정
 - 첨가제에 유해 중금속이 포함되어 있거나, 처리 후 강도 특성이 상대적으로 낮은 제제는 시험에서 제외하고 최종 시험용 첨가제로 첨가제 A를 선정

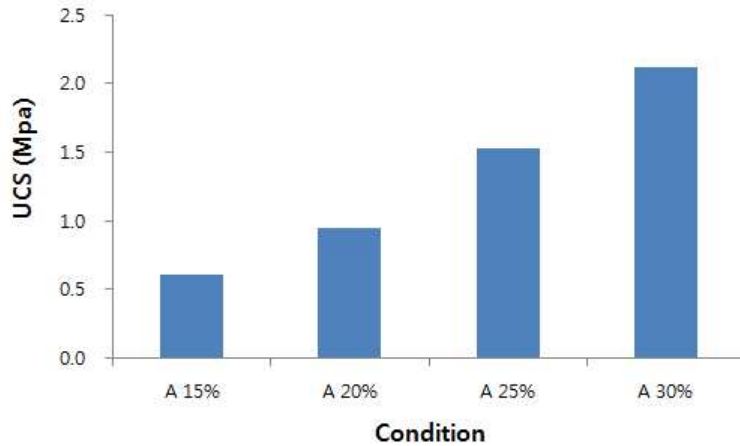


그림 3.9 첨가제 A의 사용량에 따른 강도 특성

- 처리안정성 평가
 - 처리산물 100g을 500ml PE 재질의 플라스크에 배치한 다음 증류수 400ml를 첨가한 다음 밀봉한 다음 실온에서 일정 시간(7일 간격, 28일간) 동안 방치한 다음 형상과 강도 변화 여부를 평가
 - 일정 시간 이후 처리산물과 액상을 분리한 다음 분리된 처리산물은 형상 변화 및 강도 변화 정도를 평가한 결과 수침 전 2.1 MPa에서 수침 후 7일, 14일, 21일 후에도 형상 변화는 없으며, 강도는 5.7~8.9 MPa까지 증가함
 - 수침 초기 1~2일 이내 증류수의 색깔이 옅은 노란색으로 변화가 관찰됨
 - 분리된 액상은 45 μ m 실리지 필터로 여과 후 중금속 용출 여부를 평가

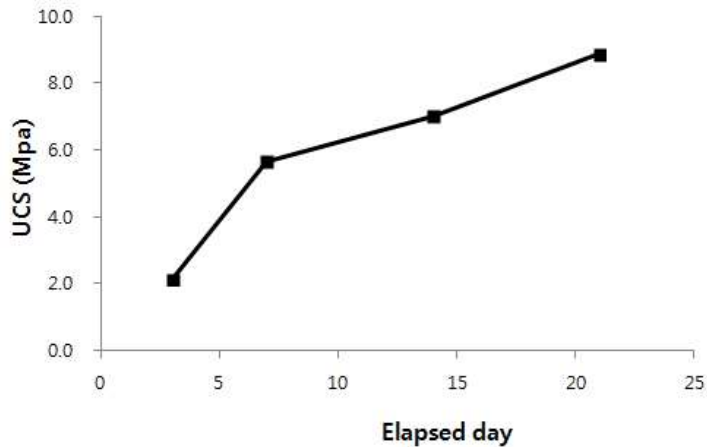


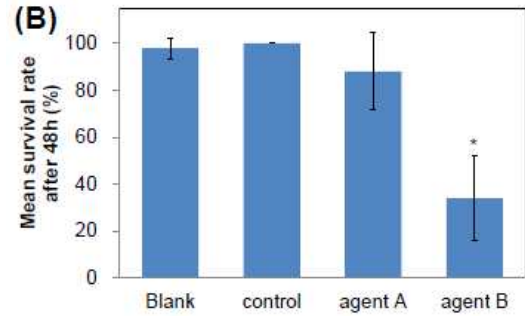
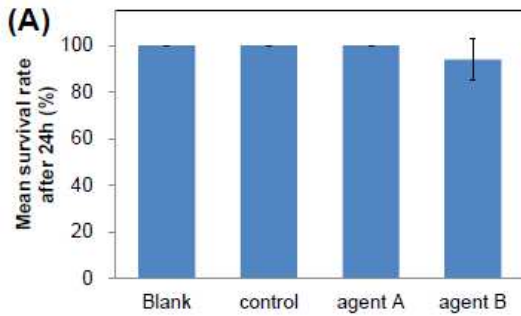
그림 3.10 처리산물의 수침 시간에 따른 강도 변화

다. 처리산물의 생물학적 영향 평가

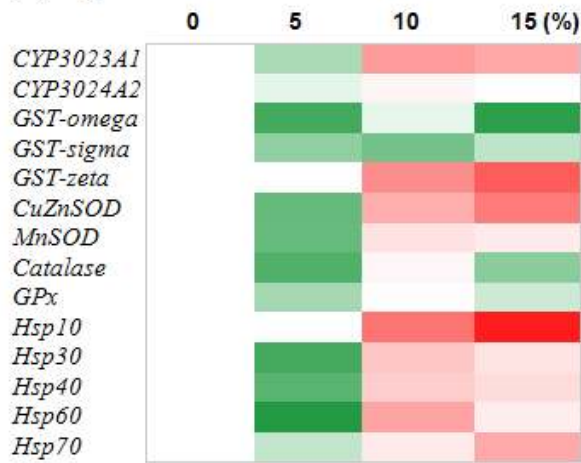
- 처리산물의 생물학적 영향 평가를 위하여 처리산물을 증류수로 용출한 다음 용출액을 생물종에 노출하여 활동도 저하, 치사 등 영향을 평가함
 - 시험 생물종은 우리나라 수생태계(강, 하천, 바다) 환경에 보편적으로 서식하는 윤형동물(크기 0.1~0.5 mm)인 *Brachionus* sp. (*B. rotundiformis*, *B. koreanus*)으로 선정함
 - 다양한 조건에 따른 시험 결과, 24시간 노출 시험의 경우 rotifer의 생존율에는 현격한 영향은 나타나지 않았음
 - 그러나 48시간 노출의 경우, 첨가제 B의 경우 생존율이 약 40%로 급격한 변화가 관찰됨



그림 3.11 시험에 사용한 생물(*Brachionus* sp. (*B. rotundiformis*, *B. koreanus*))



(a) Agent A



(b) Agent B

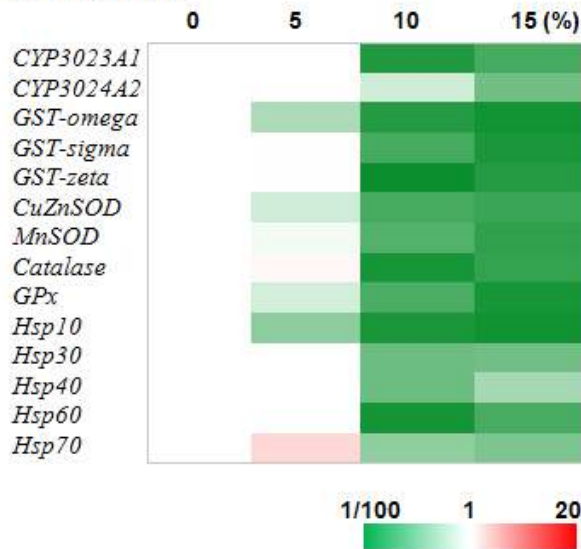


그림 3.12 24시간(A)과 48시간(B) 노출 시의 Rotifer 생존율

라. 처리산물의 유효활용 방안 검토

- 현재 퇴적물의 고화/안정화 후 처리산물의 유효활용에 대한 법규가 미비함
 - 수저준설토사 유효활용기준 등 규정(해양수산부 고시 제2016-110호, 2016.8.1.)은 “수저준설토사”를 양빈, 해안의 복원, 인공섬 조성, 어장개선사업, 항만/어항시설 공사용 재료 등으로 유효활용 하도록 규정
 - 오염 정화 또는 성상 변화 등 처리산물에 대한 유효활용 규정의 정비가 필요함
- 현행 법규에 따라 유효활용 할 경우 순환골재 또는 하수슬러지 고화처리물 적용 규정에 따라 유효활용이 가능함
 - 순환토사의 재활용 용도(건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률)에 따를 경우 처리산물의 유효활용은 건설공사용 성토용, 복토용, 폐기물처리시설 중 매립시설의 복토용으로 사용할 수 있음
 - 하수슬러지 고화처리물(폐기물의 재활용 용도 및 방법에 관한 규정 제2조제1호)에 따를 경우, 산지전용, 산지일시사용, 채석지역 내 하부복구지의 채움재로 사용할 수 있음
- 처리산물을 지반구조물 등으로 사용하기 위해서는 처리 시 고형 형태, 크기 및 강도 등 물성 및 관련 환경기준에 대한 추가 검토가 필요함
 - 강도: 복토재 0.5MPa, 하수슬러지 고화처리물 1.5MPa
 - 현행 육역 및 해역의 관련 환경기준은 총 함량 시험법으로 규정되어 있는데, 고화/안정화 처리산물의 경우 용출법으로 보완할 필요가 있음
 - 현재 최종 처분장이 극히 제한적이며, 민원 등 사유로 다양한 유효활용이 곤란한 현실을 고려하면, 선진국 사례처럼 처리 후 해저면 또는 수저면 재배치(Replacement)에 대한 검토가 필요함
 - 해저면 또는 수저면 재배치를 위해서는 반드시 화학적 영향평가뿐만 아니라 생물학적 영향평가도 필요함

제 4장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

4.1 연구개발 목표 달성도

- 함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 기술개발을 위한 핵심 요소기술 확보
 - 기존 고화/안정화 처리가 곤란한 것으로 보고된 해양퇴적물(함수율 60.2%, 미세입자 함량: 86.7%)의 안정화 처리 가능성을 규명
 - 기존 고화/안정화 처리 시 처리 후 약 7일간의 양생 기간이 필요하였으나, 개발된 핵심 요소기술을 적용할 경우 처리 후 3일이면 유효활용이 가능함
 - 퇴적물을 개발 기술로 처리 시 30분 후 초기 제형변화가 완료됨으로서 부가적인 수처리가 필요하지 않으며, 처리산물의 운반 등이 용이함

4.2 대외 기여도

- 기존 고화/안정화 대비 유효활용 전 필수적인 처리시간을 현격하게 감소시켰음
- 퇴적물의 초기 제형변화 처리기술을 개선함

제 5장 연구개발 결과의 활용계획

5.1 연구개발 결과

- 함수율이 높은 미세입자 퇴적물의 안정성 향상 기술개발을 위한 핵심 요소기술 확보

5.2 활용계획

- 연구결과를 기초로 해양퇴적물 안정성 향상 기술개발을 위한 신규 R&D사업 또는 고유사업 창출
 - R&D 과제 제안(단기)
- 상용 정화기술 중 하나로서 퇴적물 안정성 향상 기술을 개발하고, 상용화(기술이전)하여 실제 사업 현장에 적용(중·장기)
- **(기술적 측면)** 상용 정화기술 중 하나로서 해양 퇴적물 안정성 향상 기술을 상용화(기술이전)하여 실제 사업 현장에 적용
- **(경제·산업적 측면)** 그동안 폐기물로 임의 간주되어 처분되던 해양 퇴적물을 활용함으로써 새로운 경제적 가치 창출
- 연해양 퇴적물을 처리 한 다음 지반구조물 등 다양한 목적으로 활용
- **(사회적 측면)** 해양환경 보전에 대한 국민의 의식수준 향상에 이바지
- 해양오염퇴적물 활용으로 준설토 투기장 확보의 어려움 및 사회적 갈등 해소 가능

참고문헌

- 1] 해양오염퇴적물 정화복원사업 추진을 위한 실무 지침서, 2010. 10, 국토해양부 (현 해양수산부)(연구기관: 한국해양과학기술원)
- 2] 해양환경관리법 제 18조(해양환경개선조치) 제 1항의3호 “오염된 퇴적물의 수거”
- 3] 해양오염퇴적물 조사 및 정화복원 범위에 관한 규정, 해양수산부고시 제 2013-206호, 2013.8.30
- 4] 수저준설토사 유효활용기준 등 규정, 해양수산부고시 제2013-220호, 2013.9.10
- 5] 중금속 및 지속성유기오염물질 오염 수저준설토 유효활용을 위한 현장 정화기술 특허동향보고서 2016.1.(한국지식재산전략원/해양수산부 해양수산연구기획사업) (연구기관: 특허법인 태웅)
- 6] 해양환경감시 평가기술: 연안 저서환경 건강성평가 기술, 1998. 환경부(연구기관: 서울대학교)
- 7] 인공호수(주암댐) 내 중금속의 분포와 집적에 관한 전과정 평가. 2004. 과학기술부(연구기관: 한국지질자원연구원)
- 8] 잔류성 유기오염물질(POPs)측정·분석방법 연구(I). 2006. 환경부(연구기관: 국과학기술연구원)
- 9] 연안오염저질의 재부유원인과 생태학적 영향
- 10] 중금속 오염 준설토의 재활용을 위한 고형화/안정화 기술 개발 2009. 중소기업청(연구기관: 부산대학교)
- 11] 부산지역 하천 오염 준설 퇴적토의 정화처리 방법 개발 2010. 환경부(연구기관: 경성대학교)
- 12] 연안어장 준설퇴적물 내 함유된 유기물 및 중금속 환경친화적 처리기술 개발 2005. 해양수산부(연구기관: 한국해양대학교)
- 13] 양질의 농업용수 확보를 위한 융복합수처리 기술 개발 및 적용 2014. 농림수산식품부(연구기관: 한국농어촌공사 농어촌 연구원)
- 14] 미세기포와 분리막 내장형 배양조를 이용한 호소수의 조류제거 기술 2013. 중소기업청(연구기관: 가천대학교 산학협력단)
- 15] 퇴적물 환경질 평가 체계 구축-담수퇴적물 독성 평가 체계 설계를 중심으로 2014. 환경부(연구기관: 국립환경과학원)
- 16] 중금속 오염 감시를 위한 저서생물 체내 생체지표의 활용-시화호를 중심으로 2007. 환경부(연구기관: 한양대학교)
- 17] 해양준설토와 슬래그를 활용한 친환경 콘트리트 개발 2012. 교육과학기술부(연구기관: 경남과학기술대학교)
- 18] 해양준설토 재이용을 위한 친환경 고화처리시스템 개발 2013. 해양수산부(연구기관: (주)신대양)
- 19] 석탄바닥재를 이용한 기능성 건설재 제조 및 토목공학적 특성 평가 2012. 교육

과학기술부(연구기관: 경기대학교)

- 20] 탄산수 세척기법을 이용한 중금속 오염토양 정화기술 개발 2011. 중소기업청 (연구기관: 대전대학교 산학협력단)
- 21] 해양오염퇴적물 정화복원사업 추진을 위한 실무 지침서, 국토해양부(현 해양수산부), 2010.10.(연구기관: 한국해양과학기술원)
- 22] 예비타당성조사를 위한 지식기반 및 분석시스템 구축, 한국과학기술기획평가원, 이승규, 2011
- 23] Determining recovery potential of dredged material for beneficial use, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2000.
- 24] Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical technologies and field applications, G. Dermont, et al, Journal of Hazardous Materials 152, pp1-31, 2008.
- 25] An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments, Journal of Hazardous Materials, 85(1-2), 145~163, 2001.
- 26] Feasibility of present soil remediation technologies in KOREA for the control of contaminated marine sediment: heavy metals, K. Kim et al., Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 1069-1079, 2010.
- 27] Treatability of heavy metals in washing technology of marine sediments contaminated with organic matter, K. Kim et al., Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 36(120), 851-857, 2014.

부 록

연구 성과물

1. 논문: Marine Environmental Research (SCI) 심사 중

Manuscript Details

Manuscript number	MERE_2017_537
Title	Environmental assessment of contaminated marine sediments treated with solidification agents: Directions improving environmental assessment guidelines in Korea
Short title	Environmental assessment of contaminated marine sediments treated with solidification agents in Korea
Article type	Full Length Article

Abstract

Dredged material management is a recent critical issue. Managing and disposing of dredged materials require considerable amounts of money, time, and space. Particularly, environmental problems with the inclusion of pollutants are the most serious because dredged materials are likely to contain high pollutants such as metals and organic matters. It is possible to solve the environmental problems caused by polluted sediments by using them effectively after remediation. Solidification/stabilization is considered as a valuable solution for the beneficial use of marine sediments. However, remediated sediments must meet established environmental standards before they can be used and the effects of using dredged materials should be ecologically assessed. In this study, dredged marine sediments were solidified/stabilized using solidifying agents with contents of SiO₂ and Al₂O₃ higher than those of ordinary portland cement (OPC). In addition, to evaluate the chemical and biological properties of the treated materials, toxicity characteristic leaching procedures (TCLP, USEPA) and bioassay (Rotifer: *Brachionus* sp.) were performed. As a result of TCLP test, the leaching concentration of heavy metals in sediment treated with solidification agent was decreased than those without agents. However, a result of bioassay showed that significant correlation was not detected between TCLP results and survival rate of rotifers. Thus not only chemical but also biological assessments should be considered to evaluate the usability of treated dredged materials. Besides, these result suggested that the necessity of further studies on tests for evaluating reuse of sediments using marine organisms.

Keywords	Marine sediments; solidification; solidification agents; rotifer; environmental assessment
Taxonomy	Biological Assessment, Ocean Sediments, Solidification
Corresponding Author	Kyoungrean Kim
Order of Authors	Yehui Gang, Eun-Ji Won, Choi Jin Young, Kongtae Ra, Kyoungrean Kim
Suggested reviewers	Atsushi Hagiwara, Jae-Woo Park, Young-Mi Lee, Hee-Jin Kim

Submission Files Included in this PDF

File Name [File Type]

- 1._cover_letter.docx [Cover Letter]
- 2._highlights.docx [Highlights]
- 3._Manuscript.docx [Manuscript File]
- 4._Figure_legend.docx [Figure]
- 5._Figure.pptx [Figure]
- 6._Table.docx [Table]

To view all the submission files, including those not included in the PDF, click on the manuscript title on your EVISE Homepage, then click 'Download zip file'.

2. 학회 발표

Goldschmidt2017 Abstract

A case study on application of solidification/stabilization technique for remediation of contaminated marine sediments in the Republic of Korea

YEHUI GANG¹², EUN-JI WON¹, JIN YOUNG CHOI¹²,
KONGTAE RA¹², KYOUNGREAN KIM^{12*}

¹Korea Institutr of Ocean Science & Technology, 787, Haean-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea (*correspondence:kyoungrean@kiost.ac.kr)

²University of Science & Technology, 217, Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

Sediments in coastal areas where are adjacent to industrial complexes, ports and commercial facilities could be easily contaminated with harmful chemicals such as heavy metals. Solidification/stabilization is one of the ex-situ remediation methods have been widely applied.

To evaluate the effect of solidification/stabilization method to apply ex-situ remediation, heavy metal leaching test was conducted from raw and solidified/stabilized sediments sampled at Masan bay (South Korea) where polluted with heavy metals such as zinc and copper (over clean-up index Korea, CI_{HC}). The sediments were treated with 4 agents under various conditions and cured. Then, leached heavy metals were analyzed following a standard toxicity characteristic leaching procedure (TCLP,USEPA).

In results, leacheable metal contents were significantly decreased in most elements even up to 99% (Ni, Zn, Cd, Pb) after solidifation/stabilization treatment except for Cr.

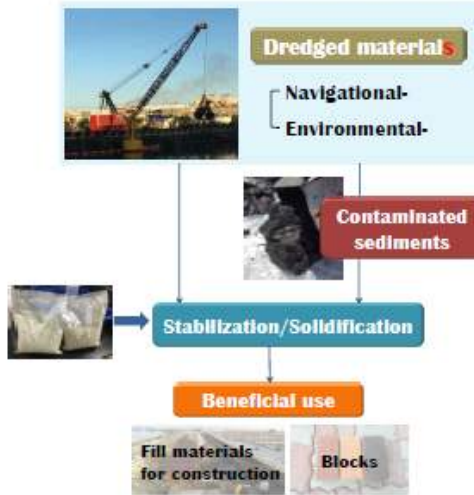
It suggests that 4 different agents have potential to be used in remediation of marine sedimets polluted with heavy metals. Futhermore, we can expect that the treated sediments could be beneficially used as coastal landfilling materials or soil filler. In futher study, however, the studies on the effects of solidified/stabilized sediment on marine organisms are required.

A case study on application of solidification/stabilization technique for remediation of contaminated marine sediments in the Republic of Korea

YEHUI GANG^{1,2}, EUN-JI WON¹, JIN YOUNG CHOI^{1,2}, KONGTAE RA^{1,2}, KYOUNGREAN KIM^{1,2*}

¹Korea Institute of Ocean Science & Technology, 767, Haean-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, Korea(Rep. of)

²University of Science & Technology, 217, Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea(Rep. of)



Abstract

Sediments in coastal areas where are adjacent to industrial complexes, ports and commercial facilities could be easily contaminated with harmful chemicals such as heavy metals. Solidification/stabilization is one of the ex-situ remediation methods which have been widely applied. To evaluate the effect of solidification/stabilization method to apply ex-situ remediation, heavy metal leaching test was conducted from raw and solidified/stabilized sediments sampled at Masan bay (Korea) where polluted with heavy metals such as zinc and copper (over clean-up index for harmful chemicals, CI_{H2O} , Korea). The sediments were treated under various conditions and cured. Then, leached heavy metals were analyzed following a standard toxicity characteristic leaching procedure (TCLP/USEPA).

Keywords: Marine sediments, contamination, remediation, technique, beneficial use

Materials & Methods

1. Sediments

- The sediment samples were collected from coastal areas, Masan-bay, in Korea, republic of, using a steel-grab sampler
- Elemental analysis was performed using the Korean standard method and measured by ICP-MS

Table 1 Characteristics of sediments from Masan Bay

COD(mg/kg)	TOC(%)	L(%)	Moisture content(%)	Particulate size		
				>75	75-32	<32
37.86	2.61	12.38	80.17	13.28	16.88	70.88

Table 2 Content of heavy metal in sediments (mg kg⁻¹)

Cr	Ni	Cu	Zn	Au	Cd	Pb
81.88	40.14	51.78	137.11	20.88	0.28	22.70

2. Solidified/stabilized samples

- Solidified/stabilized samples were prepared by mixing different proportions of agents (A, B and C)

Table 3 Composition of solidification/stabilization agents

(%)	CaO	CaCO ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Ash	Others
A	64		4	27	8			7
B	41		7	20	27			5
C	40	20	10	20			10	

- 5, 10 and 15wt% of agents were added to the sediments
- Prepared samples were cured for 28days and were subjected to toxicity characteristic leaching procedures (TCLP, USEPA)

Results & Discussion

1. Toxicity characteristic leaching procedures

Table 4 Concentration of metals for TCLP test

Sample	Agent(wt%)	Metal of TCLP leachate (mg/kg)							
		Cr	Ni	Cu	Zn	Au	Cd	Pb	Fe
control		0.02	0.750	0.32	32.52	0.126	0.1213	0.063	
S01	A(5%)	0.03	0.063	0.36	0.67	0.070	0.0010	0.007	
S02	A(10%)	0.12	0.116	1.03	0.10	0.063	0.0008	0.006	
S03	A(15%)	0.90	0.420	2.00	0.07	0.061	0.0007	0.006	
S04	B(5%)	0.01	0.015	0.06	0.10	0.029	0.0009	0.007	
S05	B(10%)	0.06	0.020	0.27	0.06	0.019	0.0006	0.007	
S06	B(15%)	0.06	0.017	0.32	0.07	0.017	0.0007	0.004	
S07	C(5%)	0.12	0.083	0.54	0.12	0.062	0.0009	0.012	
S08	C(10%)	0.76	0.083	1.64	0.22	0.071	0.0006	0.006	
S09	C(15%)	0.81	0.084	1.96	0.11	0.042	0.0019	0.015	

- The TCLP test is a leaching test to assess the harmfulness of waste based USEPA and depending on the pH of the solids(<pH5, >pH5 : the pH of the acetic acid to be used is divided by 2.28 and 4.93). Acetic acid (pH2.28) was used in the experiment

Table 5 Reduction rate of leachable metals

Sample	Reduction rate(%)			
	Ni	Zn	Au	Cd
S01	91.8	97.0	44.4	90.1
S02	84.5	90.7	34.2	90.3
S03	44.7	99.8	59.7	95.4
S04	90.0	90.7	77.2	90.5
S05	97.4	90.0	84.8	90.5
S06	97.8	90.0	86.2	90.5
S07	82.0	90.7	5.0	90.0
S08	28.3	90.0	47.7	90.9
S09	23.8	90.7	73.7	90.8

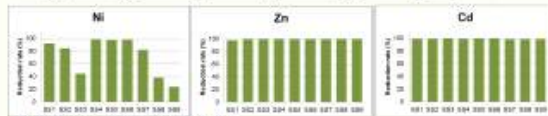


Fig. 2 Reduction rate of leachable metal (Ni, Zn, Pb)

- After treating with solidification/stabilization agents (for 28 days), leachable metal contents were significantly decreased in most elements even up to 99% (Ni, Zn, Cd, Pb) except for Cr (Table 5, Fig2)

Conclusions

- The solidification/stabilization method seems to be suitable for the method of remediation of marine sediments
- The results suggests that the contaminated marine sediments are likely to be reused as a coastal landfill or soil filler through
- The various criteria and environmental monitoring methods such as the effect of eco-system should have to research for beneficial use of dredged materials

Acknowledgement

* This study was supported by a grant of the National Research Foundation NRF-2015R1A5A1A01053437
 † This study was supported by a grant of the Korea Institute of Ocean Science and Technology PI99548

*Corresponding author (jyoungrean@kiost.ac.kr)

2. Application of solidification/stabilization for beneficial use

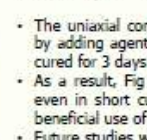
- Marine sediments are dredged in large quantities in many countries and The processing of these dredged materials requires a lot of money, time and space
- Contaminated sediments can be reused for a variety of uses through remediation and It is possible to solve the problems that have occurred during the processing

- The treated sediments can be beneficially used as materials for foundation construction, such as fill materials, cover materials, bank material, roadbed or auxiliary layer of roads

- The uniaxial compressive strength was measured after sediments treated by adding agents A, B and C(30% of the capacity of the sediments) were cured for 3 days

- As a result, Fig 3 showed high compressive strength of 1.0MPa or more even in short curing time(3 days), which also indicates the possibility of beneficial use of marine sediments (General curing time: at least 7 days)
- Future studies will consider the use of other additives to reduce the use of solidification/stabilization agents and to improve transport possibility and the stability of the strength
- In addition, It is necessary to minimize the amount of agents that reduces heavy metal elution

Fig. 3 UCS of sediment blocks with different agents (30wt%) at 3 days of curing time



[PP-99]

Biological assessment of polluted sediment using marine rotifer *Brachionus* sp. for beneficial use and replacement

Yehui Gang^{1,2}, Eun-Ji Won¹, Kongtae Ra^{1,2}, Kyoungrean Kim^{1,2,*}

¹ Marine Chemistry and Geochemistry Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan 15627, Korea, ²University of Science and Technology, Ansan 15627, Korea

*Corresponding author: kyoungrean@kiost.ac.kr

Solidification and stabilization has been considered as an approach to stabilized pollutants from marine sediments for further uses as superficial, landfill, or filler materials. Furthermore, the relocation of sediments after solidification/stabilization is carefully being considered as an alternative way to improve marine environments as a part of the project for sediment improvement in Korea. However, a little study has been conducted on the environmental effects of these treatment on human as well as marine ecosystem. Marine sediments collected from the coastal areas where there are candidate sites for the remediation of contaminated marine sediment were treated with the two solidification agents that were selected based on physical properties and characteristics. Then, elutriates were prepared for biological impact assessment. The marine rotifer (*Brachionus* sp.) was used as an experimental organism. To assess the physiological effects of the agents, the mortality and the molecular responses (Phase I related genes, antioxidant related genes, and chaperoning genes) were measured in the rotifer exposed to elutriates of solidified sediments which were treated with different concentrations of agents. TCLP (standard toxicity characteristic leaching procedures, USEPA) also showed significant effects on the stabilization of metal concentrations. In a short term exposure the effect on the survival of the rotifers was generally not noticeable at 24 h of exposure but mortality was observed at 48 h exposure in two agents. The modulations of mRNA associated with xenobiotics and stresses also increased in solidification/stabilization the agents with dose dependent manners. In particular, heat shock proteins (*hsp*s), a chaperoning protein which is responsible for chaperoning damaged proteins showed significant increase in the samples using high concentrations of agents. This result demonstrated that the agents used in this study might induce biological repercussions in seawater, although the agents showed significant effects on stabilization of pollutants (metals) in sediments. Furthermore, it also suggested that the concentrations based on physical characteristics (e.g. compressive strength) and environmental safety should be considered according to the plan for the beneficial uses of marine sediments in the environmental improvement project.

Biological assessment of polluted sediment using marine rotifer *Brachionus* sp. for beneficial use and replacement

YEHUI GANG^{1,2}, EUN-JI WON¹, KONGTAE RA^{1,2}, KYOUNGREAN KIM^{1,2,4}

¹Korea Institute of Ocean Science & Technology, 787, Haeae-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea ²University of Science & Technology, 217, Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

Abstract



Fig. 1 *Brachionus rotundiformis*

Solidification and stabilization has been considered as an approach to stabilized pollutants from marine sediments for further uses as superficial, landfill, or filler materials. Furthermore, the relocation of sediments after solidification/stabilization is carefully being considered as an alternative way to improve marine environments as a part of the project for sediment improvement in Korea. However, a little study has been conducted on the environmental effects of these treatment on human as well as marine ecosystem.

Marine sediments collected from the coastal areas where there are candidate sites for the remediation of contaminated marine sediment were treated with the two solidification agents that were selected based on physical properties and characteristics. Then, elutriates were prepared for biological impact assessment. The marine rotifer (*Brachionus* sp.) was used as an experimental organism.

Keywords : bio assessment, polluted marine sediment, rotifer, beneficial use, replacement

Results & Discussion

1. Characterization of sediments and agents

Table 1 Characteristics of sediments from Masan Bay

COO(mg/kg)	TOC(%)	IL(%)	Moisture content(%)	Particle size
37.85	2.51	12.38	60.17	>75 74-32 <32
13.25	15.86	70.86		

Table 2 Content of heavy metal in sediments (mg kg⁻¹)

Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
91.69	40.14	31.79	137.11	20.88	0.26	22.79

Table 3 Composition of solidification/stabilization agents

(%)	CaO	CaCO ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₂	Ash	Others
A	54		4	27	8			7
B	41			7	20	27		5

2. Toxicity characteristic leaching procedures

Table 4 Concentration of metals for TCLP test

Sample	Agents (wt%)	Metal of TCLP leachate (mg/kg)						
		Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
control		0.02	0.759	0.32	32.52	0.126	0.1213	0.063
SS1	A(5%)	0.03	0.063	0.06	0.67	0.070	0.0070	0.007
SS2	A(10%)	0.12	0.118	1.03	0.10	0.083	0.0008	0.008
SS3	A(15%)	0.50	0.420	2.00	0.07	0.081	0.0002	0.008
SS4	B(5%)	0.01	0.016	0.06	0.10	0.029	0.0009	0.007
SS5	B(10%)	0.08	0.020	0.27	0.06	0.019	0.0006	0.007
SS6	B(15%)	0.08	0.017	0.32	0.07	0.017	0.0002	0.004

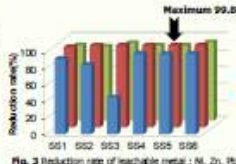


Fig. 3 Reduction rate of leachable metal; Ni, Zn, Cd, Pb

Materials & Methods

1. Sediments

- The sediment samples were collected from coastal areas, Masan-bay, in Korea, republic of, using a steel-grab sampler
- Elemental analysis was performed using the Korean standard method and measured by ICP-MS

2. Solidified/stabilized samples

- Solidified/stabilized samples were prepared by mixing different proportions of agents (A and B)
- 5, 10 and 15wt% of agents were added to the sediments
- Prepared samples were cured for 28days and were subjected to toxicity characteristic leaching procedures (TCLP, USEPA)

3. Bio assessment : Exposure test

- Toxicity test was performed on leachates against marine rotifer (*B. rotundiformis*)
- Treated sediments were maintained in rotation for 6 h with ultrapure water at a sediment to water proportion of 1:4 (v/v), and then they were left for 12 h for the particles to settle
- The leachates were centrifuged (3,000 rpm, 10min) and the supernatant liquid was removed and filtered by GF/A (0.45 μm)
- Salinity and pH of leachates were adjusted to 15 psu, pH 7~8 to used in tests
- Bioassays with *B. rotundiformis* were conducted during 48 h (24°C) in 12well plate : 5 rotifers/well



Fig. 2 Mixed sample

3. Exposure test: Mortality and alterations of molecular biomarkers

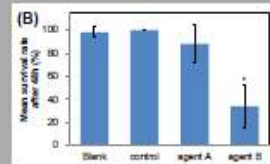
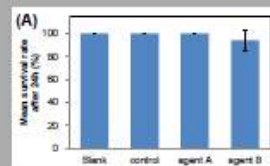


Fig. 4 Survival rate of rotifers at (A) 24h and (B) 48h

- At 24 hour exposure, the effect on survival of the rotifers was generally not noticeable. But at 48 hour exposure, survival rate decreased rapidly in agent B (Fig 4)
- As a result of analysis of the heavy metals in the leachate(SS6), Cr, Zn and Pb were higher than those of the control group. However, it is not clear whether these concentrations affect the lethality of the rotifer
- Since several contaminants are present in the effluent water, there may be other effects as well as the effects of heavy metals. In the assessment using the rotifer, it is necessary to analyze the molecular biological effect as well as the influence on the survival rate of the rotifer



Fig. 5 Relative mRNA expression levels in rotifers exposed to each elutriate for 24h

Conclusions

- The solidification/stabilization method seems to be suitable for the method of remediation of marine sediments
- The results suggests that the contaminated marine sediments are likely to be reused as a coastal landfill or soil filler through
- The various criteria and environmental monitoring methods should be discussed for beneficial use of dredged materials

Acknowledgement

This study was supported by a grant of the National Research Foundation NRF-2015R1C1A1A01051417
 This study was supported by a grant of the KIOST P59958

*Corresponding author (kyoungrean@kiost.ac.kr)

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.