

해양오염퇴적물 처리문제 및 정화기술



우정희
한국해양대학교
원전기자재연구센터 연구교수
sky-woo@hanmail.net

1. 서론

우리나라는 지난 수십여 년간 급속한 도시화와 괄목할 만한 산업발전을 이룩하는 동안 연안 해역은 생활하수, 산업폐수 등의 육상기원 오염물질을 처분하는 최종 처분지로서 그 역할을 담당하여 왔다. 그러나 그 동안 우리는 연안해역이 가지는 자정능력의 한계를 인식하지 못하고 일관성 없이 연안 해역을 개발하고 관리하였으며, 과도한 오염물질을 연안 해역으로 유입시킴으로서 우리나라 연근해는 최근 부영양화가 급격히 진행되어 왔다.

우리나라 남서해 연안은 지형학적인 특성으로 해수의 순환이 원활하지 못하여 작은 양의 오염물질 유입에 쉽게 타격을 받으며, 오염물질에 대한 자정능력이 상대적으로 작다. 특히, 남해 연안의 경우 지난 수십년간 생산 위주의 양식업에 의한 자가오염과 연안 도시로부터 배출되는 육상오염부하의 증가로 인해 연안 생태계의 파괴 정도는 심각한 것으로 알려지고 있다. 준설은 오염도

가 심한 연안지역의 정화를 위해 시행되는 오염된 해저 퇴적물을 제거하는 것으로 오염해역의 수질과 저질을 동시에 개선함을 목적으로 한다. 하지만, 준설퇴적물은 경제성 등의 이유로 그 동안 특별한 처리 없이 해양투기 또는 육상매립 등의 방법으로 최종처분하여 왔고, 해역의 오염도에 따라 준설 퇴적물에는 중금속과 분해성/난분해성 유기물질이 다량 함유되어 있을 수 있으므로, 이 경우 2차 오염 문제를 유발할 가능성이 크다. 오염준설 퇴적물의 적절한 처리 및 정화기술개발은 현재 문제시 되고 있는 오염된 준설토의 외해투기와 육상매립으로 인한 환경오염을 방지하고 오염이 심한 해역의 퇴적물의 정화 및 해수수질개선을 위하여 시급하게 국가적으로 관심을 가져야 할 사안이다. 그동안 오염된 해양 퇴적물의 정화 및 처리기술에 대한 연구는 해양 또는 수산 관련연구자들에 의해 극히 제한적으로 진행되어 왔으며, 본 글에서는 해양오염퇴적물의 정화기술개발의 필요성 및 활용방안, 그리고 국내의 관련기술개발 현황 및 향후 전망을 소개하고자 한다.

2. 기술개발의 필요성 및 활용방안

우리나라 연안 생태계는 육지로부터 유입되는 과도한 외부 오염원과 어장의 장기연작에 따른 노후화와 자가 오염으로 인하여 어장능력 상실 및 환경악화로 대량폐사가 매년 반복적으로 발생하여 수산물생산량이 크게 감소하고 있는 실정이다. 패류양식은 바다에서 부착·정착을 하는 방식으로 양식을 하였기에 어류양식에 비해 이동으로 유실될 염려가 적고 사료비가 거의 들지 않는 안정된 생산성으로 영리를 추구 할 수 있었으나, 최근 들어 우리나라 패류양식업은 여러 가지 상황으로 어려운 처지에 놓여있다. 천해 패류 중 저면을 이용하는 피조개는 생산량의 대부분을 수출하는 수산물로서 1980년대부터 본격적으로 개발되기 시작하여 1987년 58,092톤에 외화소득이 1억4천만 달러 이상을 기록하였다. 그러나 1990년 61,713톤의 생산량을 나타낸 후 지속적으로 감소하여 1998년 17,174톤, 2002년 10,652톤만, 2003년에는 연간 총생산량이 3,286톤에 2,506만 달러로 1987년의 생산량대비 5%, 금액대비 1.8%에 불과한 실정으로 현저하게 감소하였다(김, 2004). 또한, 연안어장의 경우, 장기연작으로 인한 연안환경 노화 및 먹이생물 부족 등에 의한 성장부진과 연안환경 오염에 의한 어업생산성이 점차 저하되므로 어장의 지속적인 생산성 유지를 위하여 보전관리를 위한 대책이 절실히 요구되고 있다. 이에 연안 환경 개선을 위해 연안 어장을 사용한 후 바닥을 청소하는 것을 의무화하고 있으며, 연안양식어장 주변에 불법 투기된 오·폐물 및 침전물을 수거하기 위하여 연안 어장 정화 사업을 추진하고 있는 실정이다. 정부에서는 연안 환경개선을 통한 연안 어장정화 및 생산성 향상을 목적으로 연안양식어장 정

화사업을 1986년부터 추진하게 되었고 1986-2003년까지 365천ha, 1,023억원을 투입하여 186천톤의 오폐물을 인양 처리하였다. 경상남도의 경우 품종별 정화사업 실적을 보면 전체 53,882ha중 마을어장 및 패류양식장이 49,048ha로 91%를 차지하였다.

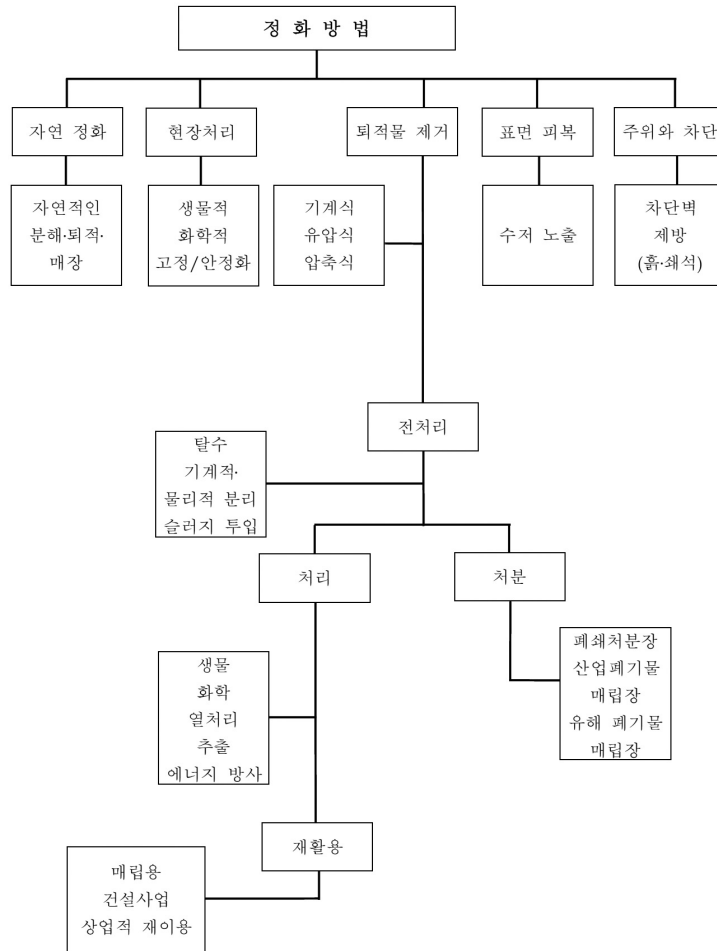
연안 오염저질 환경개선을 위해서 대표적으로 사용되고 있는 방법은 준설, 경운, 굴괘각·소석회 살포, 황토객토, 화학물질(수산화마그네슘, 백반, 철 등) 투여 방법 등이 일반적으로 알려져 있다. 이와 같은 방법들 중 소석회, 황토, 기타 화학물질의 살포는 수중의 환경적 요인과 영향에 대한 충분한 검토가 이루어져 있지 않고, 저질정화에 많은 효과를 보지 못하거나 이들의 사용으로 인한 해양생태계의 악영향에 대한 우려가 고조되고 있다. 또한, 저질 준설의 경우, 준설 작업 시 해수의 탁문제와 육상매립금지 및 런던의정서 가입에 따라 내년 이후에는 해양투기가 현실적으로 불가능해지므로 저질 준설폐기물의 최종처리문제가 난제로 남아있다.

최근, 국외 특히, 선진국에서는 해양오염퇴적물을 오염물질 이동에 대한 부작용과 준설 및 매립의 문제점을 극복할 수 있는 원위치 처리 방안으로 피복 공법이 각광을 받고 있다. 우리나라는 그동안 해양오염퇴적물의 정화기술로서 준설퇴적물의 중간처리기술 및 토양세척시스템 연구 등 실험실 규모의 현장외정화기술에 관한 연구가 대부분 이었으며, 현장정화기술에 대하여 실험실 규모의 기초적인 연구만 있었을 뿐 실증화 연구결과는 드문 상태이다. 따라서, 우리나라 현지에 맞는 해양오염저질의 현장 복원기술개발이 조속히 이루어져 안전한 수산 식량자원 확보뿐만 아니라, 쾌적한 해양환경을 조성하여 풍요로운 어촌을 유지하는 근간이 되어야 한다.

3. 해외기술 개발 현황

지난 수년전, 선진 외국에서도 해양오염퇴적물에 대해 많은 연구가 있었으나 실용화되지 못하고 준설풀 방법으로 주로 제거하였으며, 오염준설풀퇴적물 처리기술에 대한 연구사례는 드문 실정 이었다. 오염도가 비교적 적은 항만 준설풀에 대한 연구사례를 토대로 현황 및 문제

점을 조사한 결과 항만 준설풀의 경우, 국내외를 막론하고 대부분 해양투기에 의존하여 처분하고 있었다. 오염도가 심한 준설풀의 처리는 중금속, 난분해성 유기물, 일반 유기물 등으로 오염된 토양을 처리하는 기술을 대부분 응용하고 있었다. 일본에서는 해저 준설풀를 오염물질에 대한 고려는 하지않고 고화 처리하여 육상에 고성토 처분하는 기술을 개발하였다.



자료 : Ancheta(1998); 이창희(1998) 재인용

그림 3.1 오염 퇴적물의 처리방법

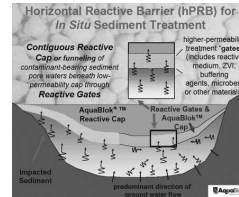
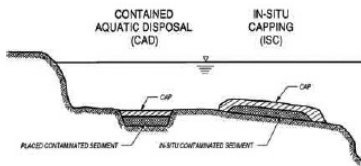


그림 3.2 현장급속 처리 피복공법의 개념도

미국 및 캐나다에서 오염퇴적물 정화에 일반적으로 사용하는 방법으로 자연정화, 현장처리(in-situ treatment), 퇴적물 제거, 표면피복(capping) 및 주위 환경과의 차단 등이 있다. 이러한 미국 및 캐나다의 오염퇴적물을 처리·처분 또는 정화하는 과정은 그림 3.1 과 같다. 자연정화가 불가능한 경우의 정화방법으로는 오염퇴적물을 제거하지 않고 현장에서 직접 처리하는 방법(고정화/안정화, 표면피복, 주위와 차단 또는 봉인) 과 제거 후 처리하는 방법으로 크게 구분되는데 기술적인 측면에서 보면 직접처리보다는 준설 후 처리가 연구가 많이 된 상태이다.

수거·준설을 통해 육상으로 운반된 준설물질은 전처리 과정을 거쳐 처리·처분된다. 전처리는 주로 탈수, 잔해(debris) 제거, 입자의 분리 및 분류, 폴리머(polymer), 영양분(nutrient)의 슬러리 주입 등의 방법이 이용되는데 이 방법은 원활한 처리공정을 위한 준비 단계로서 활용된다. 실제로 많은 처리 공정들은 단독으로 그 기능을 발휘하는 경우가 드물며 보통 다양한 처리공정의 조합에 의하여 복합적인 오염물의 처리에 활용되고 있으며, 대부분의 처리공정들은 한 가지 혹은 그 이상의 전처리 공정을 필요로 한다.

3.1 피복기술

미국과 일본에서는 피복공법의 적용이 일반화되어 각

종 기술적용 사례와 문제점 분석을 통해 지침서 정립을 준비하고 있다. 국내에서는 피복공법의 현장 적용 사례는 전무하며 대학을 중심으로 소규모 학술적 연구에만 치중하였으므로 피복공법에 관한 선진국과의 기술격차는 심각하다. 또한, 피복공법은 준설/매립에 비해 준설 과정, 준설지에서 매립지 이송, 매립지 건설 및 유지관리와 같은 준설/매립 전 과정에서 발생하는 부작용들을 해소할 수 있는 해양오염퇴적물 처리기술이다.

3.2 생물학적 처리(Bioremediation)

생물학적 처리는 미생물에 의하여 오염물질을 분해시키거나 독성을 저감시키는 기술로 최근에 유기물질에 의해 오염된 퇴적토를 처리하는데 많이 사용되고 있다. 이 공법은 환경친화적으로 이용될 수 있으나 현장 특이적(site specific)조건에 크게 좌우되는 특징이 있으므로 토양특성에 따른 적절한 적용이 필요하다.

3.3 화학적 처리(Chemical Treatment)

화학적 처리는 약품을 투여하여 오염물질을 완전히 제거하거나 독성을 저감시키는 기술로 효과가 빠르고 효율이 높은 장점이 있으나 화학물질로 인한 2차오염의 우려가 있고 토양의 생태적 기능의 완전파괴로 인하여 정화된 준설토를 복토재 등으로 재활용에 제한이 있을 수 있다. 준설토 처리에 가장 널리 쓰이는 방법은 킬레

이트화(chelation), 탈염소화(dechlorination), 산화(oxidation) 등이 있다.

3.4 세척(Extraction/Washing)

세척은 오염물질을 퇴적토로부터 탈착시키는 제거기술로 크게 extraction과 washing을 함께 일컫으나 정확히 말하면 추출용매에 물이 포함된 경우가 washing이다. 세척 후 오염퇴적토는 정화된 입자와 물, 그리고 오염물질 농축오니로 나누어지는데, 후에 기술될 입도분리를 통해서 정화된 입자의 양을 최대화 하고 농축오니의 양을 최소화하기 위한 최신 기술들이 개발되고 있다. 정화기작이 비교적 간단하여 편리하고 오염물질을 근본적으로 제거할 수 있으나 처리 후 폐수의 양이 많이 발생하므로 여기에 따른 대책이 같이 고려되어야 한다.

3.5 안정화(Immobilization or Solidification/Stabilization)

안정화는 안정화제(stabilizing agent)를 투여하여 오염물질의 이동성을 떨어 뜨리는 위해도 저감개념의 공법으로 퇴적토 물리화학적 특성을 변화시킬 수 있는 적합한 안정화제의 투입이 중요하다. 오염물질의 제거가 아닌 용출을 최소화 시키는 공법으로 경제적인 처리가 가능하나 적절한 고형화 등으로 안정성을 확보하여야 한다. 정화가 어려운 미세오염토에 적용 가능한 기술이다.

현재 일본의 준설토사 해양투기 및 유효활용에 관한 기술지침(일본 국토교통성 항만국, 2006)에 의해 준설토를 해양환경에 미치는 영향을 고려하여 가능한 부분을 활용하고 있다. 그 기술로 안정화 기술이 활용되어지고 있다.

안정화 기술에는 플랜트 안정화 기술, 현장 안정화 기술, 고도 안정화 기술이 있다. 플랜트 안정화 기술은 플

랜트선 또는 육상 처리 플랜트에서 고화제를 첨가하여 준설토사를 화학적으로 개량하는 방법이다. 현장 안정화 처리는 매립지 등 현장에서 준설토사의 표층에 고화제를 첨가, 혼합하여 준설토사를 개량하는 방법이다. 고도 안정화 처리는 고화제를 사용하여 화학적으로 개량 시 보조 수단을 함께 사용하여 고강도의 고화물을 제조하는 방법이다.

3.6 열처리(Thermal Treatment)

소각, 열분해 등의 열처리공법으로 유기오염물질의 완전제거가 가능하나 비용이 많이 들고 에너지 소비가 많으며 중금속에 대한 적용이 어렵다.

3.7 입자분리(Particle Size Separation)

일반적으로 준설토 퇴적토 처리에는 입도분리가 선행되거나 입도에 따른 오염도가 차이가 뚜렷하여 미세입자에 오염물질이 집중되어 있는 경우 물리적인 입도분리 공정만을 통하여 미세입자를 분리해내고, 분리된 미세오염토를 폐기처분한다. 입도에 따른 오염도 차이가 큰 경우에 제한적으로 사용될 수 있다.

4. 국내 기술 개발 현황 및 계획

4.1 국내 해양오염저지처리 및 문제점

현재까지 국내에 알려진 일반적인 정화방법(Clack, 1992; 국립수산진흥원, 1993; 국립수산진흥원, 1996; Mohan et al, 2000; 박 등, 2003; USEPA, 2005)의 원리와 목적을 알아보고 이에 따른 문제점을 살펴보고자 한다(표 4.1).

표 4.1에 기술된 방법 중 먼저 해저경운은 퇴적층에

표 4.1 연안해역 오염저질 정화방법별 원리, 목적 및 평가 방법

정화방법	원리 및 목적	조사 및 평가방법	병행조사 및 평가
해저 경운	퇴적층 산소공급 및 유기물 분해 촉진	경운 전후의 유기물함량 변화 및 산소투과층 두께 변화 조사	부유토 및 오염물질 이동 확산 조사(이동확산량 조사)
준 설	오염퇴적물 및 오염물질의 물리적 제거	준설 전후의 퇴적물 중 오염물질 농도변화 조사	
모래 살포	오염물질 용출 억제	살포 전후의 퇴적물 용출속도 조사	살포물질의 이동, 확산 조사 (이동침강량 조사)
황토 살포	오염물질 흡착 제거 및 용출 억제	살포 전후의 해수 중 오염물질 농도 및 퇴적물 용출속도 조사	
수산화마그네슘 살포			
제강 슬래그 살포			
생석회 살포			
굴폐각 살포	오염물질 용출 억제 (인의 불용화)		

산소를 공급하여 유기물의 분해를 촉진시키고자 하는 방법이므로 실제 현장에서 이 방법을 적용할 경우에는 당초의 목적에 맞게 일정한 시간 간격을 두고 경운 전후에 퇴적물의 유기물 함량 변화를 조사해야 할 것이며, 경운 전후에 퇴적층에서 일어나는 산소 투과층의 깊이 변화를 아울러 조사할 필요가 있다고 판단된다.

그리고 황토, 모래, 수산화마그네슘, 제강 슬래그 및 생석회 등을 살포하는 방법은 이들 물질을 퇴적층 상부에 피복시킴으로서 영양염과 같은 오염물질의 용출을 억제하거나 해수 중의 오염물질을 흡착제거하는 것이 주된 목적일 것이므로 살포 전후의 퇴적물로부터 오염물질의 용출량 또는 용출속도를 조사하여 실제 용출 억제 정도를 측정할 필요가 있으며, 살포된 물질이 해저층으로 침강하면서 오염물질을 흡착 제거할 목적으로 물질을 살포할 경우에는 살포 전후의 해수 중 오염물질 농도 변화도 측정되어야 할 것이다.

준설이란 하천이나 해안의 바닥에 쌓인 흙이나 암석을 파헤쳐 바닥을 깊게 하는 일을 말하는 것으로 항만을 포함한 연안역 개발, 항로, 정박지의 조성 및 개량, 매립 공사를 위한 토사 채취, 해저의 퇴적된 오염물질 제거에 의한 환경유지 및 개선, 하천의 개수 및 수로 조성 등의 목적으로 행해진다. 준설에 의한 방법은 일본의 경우 오염퇴적물 수거사업에 사용되는 공법으로는 고농도 박층 준설선, 펌프식/진공식 오니준설선, 밀폐형 그랩준설선의 의한 준설제거공법과 굴착제거 공법을 사용하고 있다. 국외의 환경준설에 사용되는 준설공법으로는 기계식, 유압식 준설이 있다. 기계식 준설은 크랩셀, 밀폐형 버킷, 다관절기계식(articulated mechanical: 다관절 고정압에 지지되는 백호우 디자인, 클램셀형태의 밀폐형 버킷, 유압식 폐쇄기구)이 있고, 유압식 준설은 커터헤드를 구비한 유압파이프라인 준설, 수평 오거준설기 헤드(예: 머드켓)를 장착한 유압 파이프라인 준설, 굴

삭기를 갖지 않은 준설 헤드를 가진 유압식 파이프라인 준설, 공압에 의한 수중 펌프(예: 일본의 Oozer, 이탈리아의 Pneuma, 독일의 "d", 일본의 Refresher 등), 준설기 헤드 또는 펌핑 시스템을 구비한 특수 준설기(예: 네덜란드 Boskalis Environmental 사의 디스크 커트, 슬로프 클리너, Clean Sweep, Water Refresher, Clean Up, Swam 21 등) 등이 있다. 국내 준설기술은 크게 수저토사의 굴착, 운반 매립분야로 분류할 수 있으며 첨단장비의 발전 및 관련기술의 발전으로 크게 변화하고 있지만 여전히 해결해야 할 많은 문제를 가지고 있다. 이는 해양환경의 영향을 받는 지역에서 준설, 준설 및 투기 과정에서 발생하는 오염 확산, 준설토 운반에 드는 비용 및 문제점 등이 있다.

이러한 해양오염퇴적물의 일반적인 정화 방법들은 그 적용에 따른 효과뿐만 아니라 각 방법마다 몇 가지 단점들을 가지고 있다. 우선 해저경운과 준설의 경우 부유토 발생으로 인해 사업 실시해역에서 인근해역으로의 오염물질 이동과 확산이 가장 큰 단점으로 보고되어 있으며 또한 황토, 모래 및 수산화마그네슘 등과 같은 물질을 살포하는 경우에도 살포되는 물질이 대상해역 이외의 해역으로 확산, 이동되는 문제점이 알려져 있다 (WDE, 1991; 국립수산과학원, 2003). 이처럼 각각의 방법이 가진 단점 또는 문제점까지도 고려하여 오염저질정화사업을 실시하고 그 효과를 평가하기 위해서는 정화사업이 실시되는 대상해역뿐만 아니라 주변 해역에서도 부유토 또는 살포물질의 이동과 확산에 대한 정보를 확산 침강량을 측정하는 방법 등을 이용하여 확보할 필요가 있다.

4.2 해양오염퇴적물 처리기술개발 현황 및 계획 준설이 활발하여 그동안 중간처리기술개발에 치중하

였다. 하지만 대외적인 상황 및 국내 특성상 최종처분 문제가 난간이었고, 하여 부작용이 비교적 적은 현장처리 기술공법으로 방향을 전환중이다.

한국해양연구원에서 “해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발” 과제를 통해 해양오염퇴적물의 처리방안 및 퇴적물 재활용에 대한 법제화 문제를 다루고 있다. 최근, 국토해양부 해양환경기술개발사업에 한경대학교 김영기 교수팀에서 “지속가능 해양오염퇴적물 정화기술 개발” 이 진행 중에 있으며, 본 연구의 핵심은 준설물질 규제강화로 처리방안이 없는 상태에서 환경 친화적이고 경제적인 해양오염퇴적물의 새로운 정화방법을 개발하고 실증화를 목표로 하고 있음으로 큰 기대를 모으고 있다.

5. 맺음말

연안의 해양오염퇴적물은 저서생물은 물론 인간의 건강에도 직접적으로 영향을 미치고 있다. 이에 따라 오염된 퇴적물을 수거함으로써 연안수질 및 저질 등을 정화·복원해야 할 필요성이 증대되었다. 하여, 그동안 준설작업이 활발히 진행되었으며, 수거된 오염퇴적물을 해양에 다시 투기하여 왔으나, 이를 규제하게 됨으로써 수거된 오염퇴적물의 처리·처분을 어떻게 할 것인가라는 문제도 발생하게 되었다.

아직 “해양환경관리법”과 “폐기물관리법”, “토양환경보전법”, “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률” 등의 국내 법령이 오염퇴적물의 개념 정의조차 내리지 못하고 있으며, 오염퇴적물의 정화·복원조치의 기준조차 마련하지 못하고 있다. 나아가 수거된 오염퇴적물 또는 준설물질을 사업장일반폐기물로 보아 퇴적물의 오염도와 상관없이 일률적으로 처리·처분함으로써 골재나 매립토

등으로 유효하게 활용 가능한 자원을 투기하거나 단순 매립하여 왔고, 정화·복원사업의 수행을 어렵게 하였다. 법제의 정비와 국내의 연구개발의 지원을 통하여 활발한 기술개발이 이루어져 기술수준을 높이고 지속적인 관리와 제도개선이 이루어짐으로써 해양오염퇴적물 처리문제를 국내기술로 해결하여야 한다.

참고문헌

- 강창근, 이필용, 박주석, 김평중, 1993, 한국연안 표층퇴적물층의 유기물함량 분포특성, 한국수산학회지, 26(6), 557-566.
- 국립수산과학원, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 한국해양환경조사연보.
- 국립수산과학원, 2003, 노후 양식어장의 효율적 저질 개선 방안 연구 최종보고서, 해양수산부
- 국립수산진흥원, 1993, 양식어장 퇴적물개선 기술개발
- 국립수산진흥원, 1996, 저질 및 수질개선제(클리어워터)가 수산생물에 미치는 병리학적 영향 및 유효성에 대한 연구
- 김성재, 1998, 적조제거를 위하여 사용하는 자연상태 황토입자의 해수중에서의 침강특성, 해양산업연구소보, 10, 51-55.
- 김성재, 2000, 적조생물의 구제(2. 황토에 의한 적조생물의 응집제거), 한국수산학회지, 33(5), 455-462.
- 김성재, 2003, 소성골패각분말과 황토의 동시 사용에 의한 적조생물의 응집, 한국수산학회지, 36(6), 716-722.
- 김숙양, 윤성규, 박영태, 김귀영, 전상호, 2005, 황토살포에 의한 해양환경 및 생물 변화 특성, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동춘계학술발표회, 747-751.
- 김영일, 2003, 준설퇴적물 해양배출 평가체제 개발 연구용역, 한국해양연구원
- 김인규, 서성훈, 강진양, 2000, 황토의 일반적 특성 및 산화철 함량, 약제학회지, 30(3), 219-222.
- 김평중, 허승, 오봉철, 이원찬, 주현희, 이필용, 1998, 황토피복에 의한 해저 퇴적물층의 영양염 용출 억제효과, 한국수산학회지 추계학술발표대회, 397-398.
- 김평중, 허승, 윤성중, 2002, 황토살포에 의한 해수중 영양염류의 흡착제거기구, 한국수산학회지, 35(2), 146-154.
- 나기환, 박경대, 최우정, 박영철, 1997, 황토살포에 의한 *Cochlodinium polykrikoides* 적조제거 기술개발, 한국수질보전학회 학술연구발표회 논문초록집, 53-55.
- 노일현, 윤양호, 김대일, 박종식, 2006, 가막만 표층퇴적물중 유기물량의 시공간적 분포 특성, 한국해양환경공학회지, 9(1), 1-13.
- 박광석, 전희동, 2002, 해저 퇴적물 오염 개선을 위한 제강슬래그 복토 정화법의 활용, RIST 연구논문, 16(2), 132-139.
- 유선재, 김종구, 김종배, 2000, 갯벌과 황토에 의한 중금속 (Cu, Cd, Pb)의 흡착 kinetics, 한국수산학회지, 33(3), 250-256.
- 이대인, 조현서, 2002, 가막만 유역의 오염부하 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 11(9), 945-954.
- 이성재, 배범한, 박규홍, 강성원, 황규대, 지재성, 2003, 준설퇴적물 분류 및 오염물질의 물리화학적 전처리, 대한환경공학회지, 25, 55-63
- 이창희, 1997, 오염퇴적물 관리의 필요성과 정책방향, 한국환경정책평가연구원 환경포럼
- 이창희, 유혜진, 2000, 수저퇴적물 환경기준 개발에 관한 연구, 한국환경정책평가연구원 연구보고서.
- 해양수산부, 2005, 해양환경공정시험방법
- 환경부, 2002, 토양오염공정시험방법
- 환경부, 2007, 환경정책기본법
- 황응주, 고문정, 강미연, 송영채, 김명진, 고성정, 조규태, 2006, 연안어장 준설퇴적물 내 유기물의 안정화 연구, 한국폐기물학회, 23(3), 222-268.
- Clack R. B., 1992, Metals. In: Marine Pollution, Oxford University Press, New york, pp. 64-82.
- USEPA, 2005, Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites, EPA-540-R-05-012, OSWER 9355.0-85.
- USEPA, NOAA, FWS, AND USGS, 2005, National Coastal Condition Report II, EPA-620/R-03/002.

기획: smk@ksae.re.kr (사무국)