

정책논단

연안 해양오염퇴적물 처리·관리 및 재활용 방안

제주발전연구원 책임연구원 강진영
국립한경대학교 해양과학기술연구소 연구교수 신우석

그동안 국내 오염퇴적물 정화사업을 위한 준설 작업이 이루어져 왔지만, 준설의 기준뿐만 아니라 설계시 고려해야할 가이드라인이 없고, 특히 기존의 오염퇴적물 정화사업은 준설을 중심으로 이루어짐에 따라 다양한 정화복원 방법을 고려하지 않은 것이 사실이다. 또한 최종처리방법 중 경제성 등의 이유로 가장 빈번하게 사용되었던 해양투기방법은 “런던의정서”가입에 따라 2012년 이후 현실적으로 불가능해졌다

1. 연구배경

급속한 산업화 등 인위적인 행위에 기인한 유기물, 지속성유기오염물질(persistent organic pollutants: POPs), 중금속을 포함한 각종 오염물질들은 하천, 대기 등 다양한 경로를 통하여 해양에 유입되고 있으며(김 등, 2006; 이 등, 2009), 유입된 오염물질들은 해류에 의해 이동, 확산 되면서, 침강, 재부유 및 재침강의 순환을 거치면서 해저면에 침적되어 궁극적으로 퇴적물을 오염시킨다(이 등, 2004; 주 등, 2000, Stevenson, 2001). 우리나라 남해안인 경우 해수의 순환이 원활하지 못해 적은 양의 오염물질이 유입에도 해저 생태계는 쉽게 타격을 받으며, 오염물질에 대한 자정능력 또한 비교적 낮다(이 등, 2008; 나춘기, 2004). 특히, 폐쇄적인 해역에 유기물이 다량 축적된 퇴적물이 존재하면, 유기물을 분해하는 과정에서 산소가 소모되므로 해저는 점차 혐기성화 되어 저서생물의 서식환경이 파괴되고, 이러한 과정에서 황화수소 및

메탄 등 악취를 수반한 가스가 발생하여 생활환경에 악영향을 미치게 된다(김 등, 2011). 게다가 중금속과 지속성유기오염물질은 장기간 분해되지 않기 때문에 사람을 포함한 생물에 영향을 미칠 수 있다(Seija and Jaakko, 2000). 우리나라는 연안해역 하수처리시설 등 투자 확충으로 육상오염부하량은 점차 감소 추세에 있으나 우리나라 항만 해역 등 도시해역 20 여곳 이상의 해양퇴적물이 주민건강과 생태계를 위협할 정도로 오염되어 있으며, 폐쇄적인 해역에서는 퇴적된 오염물질의 용출작용에 의하여 해양환경은 여전히 좋지 않은 상태에 있다. 퇴적물의 용출은 질소계 영양염의 경우 육상오염부하량의 5~20%, 인산계 영양염의 경우 50~100%로서 오염퇴적물은 연안환경에 심각한 악영향을 주고 있는 것으로 파악되고 있다(국토해양부, 2010).

결국 이러한 문제로 인하여 수질위주의 전통적인 연안환경 평가방법에서 벗어나 생태계, 저층 퇴적물 등을 모두 고려한 종합적인 연안환경 관리기준의 도입성에 대한 필요성과 더불어 이를 통한 효과적인 해양환경 개선이 요구되고 있는 실정이다.

이와 관련해 국토해양부에서는 “해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정(안)”을 2011년 11월에 고시해, 정화·복원에 관한 다양한 지침을 전하고 있다. 그러나 효과적인 해양환경 개선을 위해서는 오염퇴적물로 인해 발생하는 각종 유해성 문제에 대한 범정부적인 관리와 제도적인 마련이 필요한 실정이다.

현재 우리나라에서는 “해양환경개선조치”의 일환으로 오염된 해양퇴적물을 정화·복원함으로써 주민생활환경을 개선하고, 오염으로 인하여 훼손된 해양생태계를 복원함과 동시에 오염된 유해물질의 생물축적으로부터 초래할지도 모르는 인간건강에 대한 위험 가능성을 배제하기 위하여 오염퇴적물 정화사업을 추진하고 있다.¹⁾

그러나 그동안 국내 오염퇴적물 정화사업을 위한 준설 작업이 이루어져 왔지만, 준설의 기준뿐만 아니라 설계시 고려해야 할 가이드라인이 없고, 특히 기존의 오염퇴적물 정화사업은 준설을 중심으로 이루어짐에 따라 다양한 정화·복원 방법을 고려하지 않은 것이 사실이다. 또한 최종처리방법 중 경제성 등의 이유로 가장 빈번하게 사용되었던 해양투기방법은 “런던의정서”가입에 따라 2012년 이후 현실적으로 불가능해졌기 때문에 오염퇴적물의 처리와 오염퇴적물의 정화기술 개발에 대한 필요성이 절실한 실정이나, 그동안 오염된 해양퇴적물의 정화 및 처리기술에 대한 연구는 해양 또는 수산 관련연구자들에 의해

1) 상기 사업은 해양환경관리법 제 18조의 1 제3항에 규정된 “오염된 퇴적물의 수거”에 법적 근거를 가짐

극히 제한적으로 진행되어 왔다.

이에 본 연구에서는 해양오염퇴적물의 정화기술개발의 필요성과 오염원 그리고 처리 기술을 알아보고, 처리기술을 국내에 적용하기 위한 방안을 소개하고자 한다.

II. 연안 해양퇴적물의 오염원과 생태계에 미치는 영향

1. 오염원

생태학적으로 퇴적물은 저서생물이 부착 또는 생활할 수 있는 공간을 제공하는 수생태계의 중요한 요소로 수체(water body)와 유기적으로 연결되어 있다. 일반적으로 해저 퇴적물은 육지, 대기 및 해양 생태계 자체 순환에서 생성된 물질의 침전으로 형성된 것을 말하나, 연안의 해저 퇴적물은 주로 육지로부터 유입되어 해저에 쌓이는 모래, 점토, 유기물질, 광물질을 통칭한다. 그러므로 연안의 해저 퇴적물을 오염시키는 주된 인자는 육지로부터 유입된 산업폐수 및 도시하수이며, 그 외 식물성 플랑크톤과 같이 자체적으로 생성되는 자생 유기물, 수산생물 양식과 선박에 의한 오염이 일부분을 차지한다(감 등, 2003; 이 등, 2005).

1) 생활하수 및 공장폐수에 의한 오염

생활하수는 음식물류 폐기물, 합성세제, 분뇨 등으로 유기물이나 영양염류를 많이 함유하고 있다. 육상으로부터 발생한 유기물질은 미생물에 의해 분해되는 과정을 거치면서 해양으로 유입되고 분해되지 않은 유기물질은 퇴적물 내에 축적된다. 또한 유기물이 분해되어 발생하는 다량의 질소와 인이 해양으로 배출되어 식물플랑크톤의 증식을 촉진함으로써 자생 유기물의 생성을 유발한다. 산업활동으로 인해 배출되는 폐수는 일반적으로 유기물질이 함유된 부유물질의 농도가 높으며, 중금속이나 유해화학물질을 함유하는 경우가 많다. 중금속이나 유해화학물질의 경우 저 농도로 해역에 유입될 경우에도 연안 퇴적물 내에 축적되고, 먹이 사슬 과정을 거치면서 문제시되는 경우가 많다(최 등, 2003).

2) 농·축산폐수

농경활동에 이용되는 각종 농약에는 살충제, 살균제, 제초제, 착색제, 방부제, 향생제 등 그 종류가 400여종에 달하는 것으로 보고하고 있으며(교육인적

자원부, 2002), 인이나 질소 성분을 함유한 각종 비료도 인구 증가에 따른 생산 증대를 목적으로 활발히 사용되기 시작했다. 이들 농약 비료 성분은 빗물이 토양을 통과하거나 지표수로 흐를 때 해양으로 유입되며, 먹이사슬 과정 또는 자생 유기물 생성 과정을 통하여 해저의 퇴적물을 오염시키는 원인이 된다. 가축 사육으로 인한 오염은 주로 가축 분뇨에 포함되어 있는 유기물을 비롯하여 인과 질소 때문이다. 가축 분뇨의 많은 부분은 유기질 비료 등으로 재이용되나 일부는 바다로 흘러든다.

3) 양식어장 자가오염

대부분의 양식장은 만을 중심으로 발달되어 왔기 때문에 양식생물의 배설물이나 사료 찌꺼기 등이 외양으로 확산되지 못하고 인근해역의 저층에 축적되기 쉬운 지형적인 특징을 지니고 있다. 그러므로 같은 장소에서 집약적으로 장기간 양식을 하면 사료 찌꺼기나 양식생물 배설물이 바닥에 퇴적하게 되고 자정능력을 초과할 경우 연안역의 중요한 오염원으로 작용하게 된다. 이와 같이 양식장에 의한 자체 오염을 육상기인 오염원과 구분하여 양식장 자가오염이라 한다(최 등, 2003).

4) 간척 매립에 의한 오염

간척·매립 과정에서는 부유토사가 발생하며, 최종적으로 연안 바닥에 침강된다. 침강된 오염물질은 퇴적물 속에 축적되었다가 확산, 재부유, 생물교란 등의 물리·화학 및 생물학적 과정에 의해 다시 수중으로 용출되어 수질과 수생태계에 직·간접적으로 영향을 미치게 된다.

5) 대기로부터 유입

대기로부터 오염물질이 해양으로 유입되는 경로는 해면에서의 기체교환, 강하분진 그리고 강우 시 유입 등으로 나눌 수 있다. 오염물질의 종류로는 방사능 물질의 낙진, 황사물질의 강하, 불안전하게 연소된 대기오염 물질을 비롯한 유기성 오염물질 그리고 무기영양염 등이 있다. 대기에 의해 운반되는 입자는 그 크기와 주변 환경에 따라 발생원으로부터 비교적 짧은 거리에 떨어지나 때때로 상당히 먼 거리까지 운반될 수 있다.

2. 수서 생태계에 미치는 영향

수질 및 수서 생태계에 대한 퇴적물의 악영향은 오래 전부터 많은 연구가

진행되어 비교적 잘 알려져 있다. 오염된 해저 퇴적물이 수질 및 생태계에 미치는 영향은 다음과 같다.

1) 용존산소 결핍

퇴적물에 포함된 유기물은 미생물에 의해 산소를 소모하면서 분해된다. 만일 이 과정에서 수층(水層)의 혼합이 이루어지지 않아 지속적인 산소 공급이 중단되면, 유기물이 다량 포함된 퇴적물 주위의 산소가 고갈되어 퇴적물 내의 저서생물은 생존에 위협을 받게 된다. 더욱이 유기물을 분해하는 미생물은 무산소 환경에서는 황화수소 등의 유독성가스를 생성하는데 이는 저서생물의 생존에 악영향을 미치게 된다.

2) 부영양화 초래

침전된 유기물이 분해되어 환원조건이 되면 퇴적물 중에 존재하는 불용성 인산제Ⅱ철이 가용성인 인산제Ⅰ철로 환원되어, 인산염이 용출하게 됨으로써 부영양화를 초래하게 된다.(최 등, 2003).

3) 수생 생물의 악영향

퇴적물에 포함된 중금속 등의 유해물질은 환경의 변화에 따라 생화학적 반응을 통해 수중으로 재용출되어 수생생물에게 악영향을 미친다. 또한 오염 퇴적물은 퇴적물에 서식하는 저서생물은 물론이고 먹이사슬을 통해 연결되어 있는 수생생물, 나아가 인류의 건강에도 악영향을 크게 미친다는 사실이 최근 일련의 연구에 의해 명확히 밝혀지고 있다 (USEPA, 1994; 1998a).

Ⅲ. 해양오염퇴적물 처리방안

오염된 퇴적물의 정화 및 처리방법과 기술에 대한 연구는 1980년대 미국 오대호 관리프로그램을 시작으로 다양한 기술방법이 소개되었고 “오대호 오염퇴적물 평가와 복구 프로그램”을 통해 체계화되었다. 이러한 연구를 통하여 약 250여 가지 이상의 오염퇴적물 처리방안이 개발되었고 각각의 기술과 방법에 대한 안정성, 경제성 및 효율성 평가를 통하여 다양한 오염우심해역에서 오염된 퇴적물의 정화 복원 사업에 적용되어 왔다(USEPA, 1992). 현재 일반적으로 많이 사용되는 정화복원 방법은 장기간 모니터링을 병행한 자연정화방법

(Monitored Natural Recovery), 오염된 퇴적물을 오염되지 않은 청정물질로 피복하는 현장피복방법(In-Situ Capping) 및 오염된 퇴적물을 물리적으로 제거하는 준설(Dredging) 등이 있다. 적절한 처리방안의 선택은 특정 오염물질의 존재 및 유해성, 정화 기간 중 해역의 이용 문제, 영향을 받는 지역의 면적, 복구 방안의 실용 가능성, 해당 지역의 수리특성, 정화에 소요되는 시간, 정화와 관련된 책임 소재 및 지역의 사회·경제학적 요소 등의 많은 요인에 의해 좌우된다. 한편, 미국 등 선진국의 경우 조건만 충족된다면 자연정화법을 해양오염퇴적물 처리를 위한 기본적인 방법으로 간주한다. 그러나 이 경우, 지속적이고 체계적인 환경모니터링을 통해 관리할 필요가 있다.

1. 자연정화(Monitored Natural Recovery)

오염퇴적물에 대한 자연복원(MNR)은 퇴적물에 존재하는 오염원 및 이의 독성이 자연적으로 차단되거나 파괴 또는 저감되는 현상을 이용하는 기술로서, 지반 및 지하수 오염원에 대한 정화 기술인 Monitored Natural Attenuation(MNA) 기술과 흡사하다. 자연적 현상은 물리적, 화학적 및 생물학적 현상으로 구분되며, MNR기술 적용을 위해서는 위 자연현상에 의한 오염원의 저감효과를 지속적으로 확인하기 위한 모니터링이 필수적이다.

이 방법의 가장 큰 장점은 비용이 적게 들고, 오염물 확산의 위험이 적다는 것이다. 하지만, 이 방법은 저농도의 오염퇴적물에서만 가능하고, 유입오염원을 차단해야한다는 단점을 가지고 있다. 또한 관리프로그램을 잘 확립하여 오염물의 방출률과 오염물의 영향권역이 가속화되지 않도록 주의해야 한다(한국 건설기술연구원, 2002).

2. 현장피복(In-Situ Capping)

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

이러한 현장 피복의 기능은 다음과 같다. 첫째, 저서 생물체의 오염원에 대

한 직접 차단 및 오염원의 이동을 줄이기 위한 물리적인 고립, 둘째로는 오염퇴적토사 및 덮개의 침식, 오염원의 재 부유 및 거동을 막기에 충분한 오염퇴적물의 안정화, 셋째로는 용출되지 않도록 하기 위한 오염퇴적물의 화학적 안정화를 들 수 있다.

현장피복 종류에 따라서는 매우 심하게 오염된 퇴적물에는 부적절할 수도 있지만 시행의 용이성, 추가적인 처분지의 불필요, 상대적으로 낮은 비용, 효과적인 오염물질 봉쇄 효능 때문에 실용성이 크다. 그러나 장기적인 관점에서의 효용성, 향후 투기지역의 정화가 재요구될 경우 문제가 복잡해 질수 있다는 단점이 있다(한국건설기술연구원, 2002).

3. 준설(Dredging)/굴착(Excavation)

오염퇴적물을 기계적 장비에 의해 오염퇴적물을 제거하는 굴착(Excavation)과 수중에서 펌프준설장비를 이용하여 오염퇴적물을 제거하는 준설(Dredging)은 오염 퇴적물 복원 현장에서 가장 흔히 활용되는 기술이다.

제거된 오염퇴적물을 준설토사(dredged sediment)라 칭하며, 이는 임시 지정공간으로 수송된 후 오염정도 및 제반 여건에 따라 여러 과정을 거쳐 최종 처리(treatment), 처분(disposal) 또는 재활용(reuse)된다. 오염준설퇴적물 처리는 물리적, 화학적 및 생물학적 기술을 통해 오염물질을 제거, 분리 및 고정화하여 인간 및 환경에 악영향이 미치는 것을 방지하고자 하는 기술이다. 처분은 유효활용이 제한되는 오염준설퇴적물을 일정 장소 및 시설에 영구히 방치하거나 차후 유효활용을 위해 일정량을 처분시설에 보존하는 방법을 말한다. 오염준설퇴적물 재활용은 말 그대로 오염원 처리가 된 양질의 토사를 재사용하는 것이다.

오염정도가 낮은 오염퇴적토사는 탈수 및 입도분리 등의 단순한 전처리 과정만을 거친 후 재활용되거나, 재활용 계획이 없을 경우 처분된다. 중간정도의 오염퇴적토사는 전처리 또는 처리 기술 적용 후 처분되거나 혹은 처리 기술 적용 후 재활용 될 수 있다. 오염이 심각한 오염퇴적토사는 처리 기술을 적용한 이후에도 재활용되지 않을 수도 있다.

IV. 오염준설퇴적물의 처리, 처분 및 재활용 방안

1. 오염준설퇴적물의 처리기술

오염준설퇴적물의 재활용을 위한 획기적인 처리 기술이 개발되거나 정부 정책상 재활용을 위한 여건을 마련한다면 가까운 미래에 오염준설퇴적물에 대한 처리 기술을 적용하는 것은 가장 적합한 방안이 될 수도 있다.

미국 의회는 수자원개발법 1990, 1992, 1996의 항목에 부합한, 오염준설퇴적물에 대한 처리기술을 체계화시키기 위한 프로그램을 승인하였는데, (USEPA, 1999) 이 프로그램에 의해 기존의 수많은 오염준설퇴적물 처리 기술 중에서 효과적이고 실용 가능한 기술들이 선정되었고, 추가 실험을 통해 그 가치를 평가하였으며, 명시된 처리기술을 간략히 요약하면 다음과 같다(김 등, 2007).

1) 저온처리(저농도 오염)

- 가. Manufactured Soil(농업용 토양 생산) : 낮은 농도로 오염된 준설토사에 퇴비, 톱밥, 동물 배설물 및 하수 오니 등을 섞어 농업용 토양을 생산하는 기술로서 미 공병단(US Army Corps of Engineers)에 의해 수행되었다.
- 나. Solidification(고형화)/Stabilization(안정화) : 오염준설퇴적물에 포틀랜드 시멘트, fly ash, 석회 및 적절한 화학물질을 첨가하여 단단한 합성물질을 생산하는 기술이다.
- 다. Sediment Washing (토양세척) : 적당한 표면활성제, 킬레이트제 및 산화제 등의 첨가물을 넣고 고압의 물을 발사하여 오염준설퇴적물의 유기오염물질 및 무기 오염물질을 제거하는 방법이다.

2) 중간온도(중간오염)

- 가. Solvent Extraction(용매추출) : 토양세척 기술과 유사하나, 퇴적물에서 오염물질을 제거하기 위해 알코올과 같은 용매제를 첨가하고 보다 높은 온도(37.7~60℃)를 필요로 한다는 점이 다르다. 이소프로필기 알코올(isopropyl alcohol) 및 이소프로필기 아세테이트(isopropyl acetate) 용매제를 필요로 한다.
- 나. Thermal Decomposition(열분해)/Thermal Desorption(열탈착) : Base-catalyzed decomposition(BCD, 염기촉매분해)은 유기오염물

질을 제거하기 위한 열탈착 과정을 먼저 거친 후, 무해한 물질로 변형시키기 위해 다음 처리 단계를 거치는 기술로서, 미국 환경청 등에서 1978년부터 개발되었다. 첫 번째 단계에서 PCBs, dioxins 및 furans 과 같은 할로젠화오염물질을 포함한 오염준설퇴적물은 탄산수소 나트륨(sodium bicarbonate)과 교반된 후 340℃의 온도로 가열되어 오염물질이 기화되거나 일부 분해된다. 두 번째 단계에서 기화된 오염물질 및 유기물 응축액은 수소 공급체, 수산화 나트륨(sodium hydroxide) 및 촉매제와 함께 340℃의 온도에서 비할로젠화 과정을 거친다. 휘발성 및 준휘발성 유기오염물질 또한 제거되며, 동시에 높은 공기압 및 용해도로 인해 무기물질도 제거된다.

- 다. Thermal Desorption(열탈착) : International Technology Corporation(IT) : 오염준설퇴적물을 함유한 건조로의 온도를 충분히 높이고 건조로를 회전시킴으로써 오염물질이 골고루 탈착된다. 이 기술의 효과는 오염준설퇴적물이 있는 건조로의 온도와 지속시간 등에 의해 달라진다.

3) 고온처리(고농도 오염)

- 가. Thermal Destruction(열에 의한 파괴, BioSafe) : 오염준설퇴적물의 모든 유기오염물질을 파괴하기 위한 고열처리 기술이다. 고열은 발전소에서 흔히 사용되는 유동상 가열 처리(Fluidized Bed Treatment, FBT) 기술을 이용한다.
- 나. Thermal Destruction : Institute of Gas Technology(IGT)/EN-DESCO : 시멘트와 혼합물 생산에 활용된 회전 건조로 가열 기술에 의해 수행되며, 모든 유기오염물질을 파괴하는 고온 처리 기술이다. 고온 처리된 준설퇴적물은 곱게 가루로 분쇄한 후 포틀랜드 시멘트와 혼합되어 건설용 시멘트로 생산된다.
- 다. Thermal Destruction : Westinghouse Science and Technology Center : 쓰레기 소각시설에서 활용되거나 도료산업에서 적용하고 있는 플라즈마 기술을 적용하는 방법으로서 오염물질을 고온으로 파괴하고 고정화하는 기술이다. 각각의 처리기술에 대한 예비실험 결과 오염원의 제거효율을 중 열파괴에 의한 유기오염 물질은 99.9% 이상이 제거되었으나 중금속 오염물질의 제거율은 다소 제한적이었다. 고형화 및 안정화 처리 기술은 비용이 적은 반면에 효율이 낮게 나타나기 때문에 저농도 오염준설퇴적물에 대한 적용을 고려해야 할 것이다.

오염준설퇴적물 처리기술 적용과 관련하여 다음과 같이 요약해 볼 수 있다. 첫째, 오염준설퇴적물 처리 기술은 오염원의 종류 및 농도에 따라 복합 기술의 적용이 가능하다. 둘째, 다양한 기술이 개발되었음에도 불구하고 과다한 처리 비용으로 인해 적용 사례는 제한된다. 특히, 오염정도가 높을수록 고온처리를 필요로 하여 과다한 에너지비용을 소요로 한다. 셋째, 일일 처리 능력이 제한되어 처리 기술을 적용할 때 임시 저장 공간이 필수적이다. 넷째, 본 공정 처리 과정 뿐만 아니라 처리시설로부터 발생하는 유해가스, 유출수 처리기술의 적용을 필요로 한다. 마지막으로, 오염정도가 높은 잔류물의 위해도에 대한 대책 및 처분 계획을 필요로 한다(김 등, 2007).

2. 오염준설퇴적물 재활용

우리나라에서 지난 5년 여 간 발생한 일반 준설퇴적물의 약 10%만이 각 준설 지역에서 유용되었으며 80% 이상은 단순 투기장에 투기되었다. 물론, 투기장은 장래 항만 부지 및 매립장 매립 용도로 재활용 될 수 있겠으나, 준설퇴적물의 다양한 재활용 방안을 연구하고 적용하는 것은 준설 설계에 있어 중요한 요소로 부각될 것이다. 미국 공병단(United States Army Corps of Engineers, USACE)은 다양한 목적에 일반 준설퇴적물을 재활용하였으며, 해당 홈페이지에서는 다양한 준설퇴적물 재활용 사례를 확인할 수 있다(USACE, 2006). 오염준설퇴적물에 대한 처리기술의 개발과 적용은 처리된 퇴적물의 재활용을 위한 판단을 필요로 하며, 다양한 목적에 맞게 재활용될 수 있다. 그러나 오염준설퇴적물 처리기술의 제한 및 과다 처리 비용으로 인해, 현재까지 오염준설퇴적물을 재활용한 사례는 극히 제한적이며, 낮은 오염도를 갖는 물질만이 재활용되었다. 오염준설퇴적물을 재활용하기 위한 의사결정과정에서 꼭 필요로 하는 사항은, ① 오염원과 오염 정도 파악, ② 비용/효과 분석, ③ 재활용 대상(목적) 파악, ④ 규제적 측면 검토, ⑤ 기술적인 가능성 검토 등이다.

V. 국내 적용 방안

기준에 오염준설토의 대부분은 육상 매립 및 해양투기에 의해 처분되었다. 해양투기가 금지된 현재 육상의 매립지 및 해안의 투기장에 의존하여야 한다. 그러나 현재 육상 및 해안의 투기여건이 마련되어 있지 않아 이에 대한 대책이

필요한 실정이다. 비록, 폐쇄처분시설을 준비한다고 해도 준비하는 과정에서 닥치게 될 환경단체 및 주민과의 갈등, 가용 공간의 부족, 잠재적인 환경문제 및 과도한 부지 비용 등 극복해야할 난제들이 많을 것으로 예상된다. 뿐만 아니라 지난 5년여간 발생한 준설토의 약 10%만이 각 준설토 지역에서 유용되었으며 80% 이상은 단순 투기장에 투기되었다.

정부(해양수산부)는 종합적이고 체계적인 해양오염퇴적물을 관리하고 준설토 퇴적물의 재활용을 위한 기준안을 마련하기에 분주하다. 이에 대한 대책으로 워크숍 등을 개최해 준설토 퇴적물의 법적 지위 재정립 시도 및 규제적 측면의 검토와 함께, 준설토 퇴적물의 오염정도를 파악하고 있다. 오염준설토 퇴적물의 외해투기를 제한하기 위한 노력으로, 오염준설토 퇴적물의 유효활용을 위한 처리기술과 유효활용이 불가한 분량에 대한 처분방법 등에 관심이 증대되고 있으나, 준설토사 처리기술이 거의 전무한 우리나라로써는 일부 선진사례를 중심으로 기술적 접근을 할 수 있다. 그러나 오염준설토 처리기술이 제한되고 과도한 처리비용이 예상되기 때문에 현재까지 오염준설토를 재활용한 사례는 극히 제한적이며, 오염정도가 낮은 준설토만이 일부 재활용되는 실정이다. 하지만 당장 경제적으로 현실성이 없다고 하여 처리기술을 개발하지 않고 적용하는 노력을 게을리해서는 안 될 것이기에 정부차원의 기술개발 프로젝트가 절실하다. 최근 이와 관련한 연구가 국토해양부 해양환경기술개발사업에 한경대학교 해양과학기술연구센터 김영기 교수팀에서 “지속가능 해양오염퇴적물 정화기술 개발”이 진행중에 있다. 본 연구의 핵심은 준설토물질 규제강화로 처리방안이 없는 상태에서 환경친화적이고 경제적인 해양오염퇴적물의 새로운 정화방법을 개발하고 실증화를 목표로 하고 있으므로 큰 기대를 모으고 있다. 이처럼 우리나라 실정에 맞는 처리기술들을 개발할 필요성이 있다고 판단된다.

VI. 결론

연안의 해양오염퇴적물은 저서생물은 물론 인간의 건강에도 직접적으로 영향을 미치고 있다. 이에 따라 오염된 퇴적물을 수거함으로써 연안수질 및 저질 등을 정화·복원해야 할 필요성이 증대되었고, 우리나라의 경우 해상의 오염퇴적물의 복원은 주로 준설토에 의해 이루어지고 있다. 해외 선진국은 준설토 오염퇴적물을 폐쇄처분시설에 처분하거나 처리기술을 적용하여 오염원을 제거, 분리 및 고정화한 후 재활용하고 있으나, 국내는 전량 외해 투기에 의존하는 실

정이다. 이에 우리나라 해양오염퇴적물에 대한 처리기술 개발과 재이용을 위한 전제조건, 또한 이에 따른 제주지역의 해양퇴적오염물질에 대한 처리와 향후 방향은 다음과 같다.

첫째, 준설토의 유효활용의 사례분석을 통하여 준설토에 따른 적절한 유효활용방안의 수립은 국가경쟁력의 강화 및 지역의 환경개선 등에 도움이 될 것으로 판단되기 때문에 준설토 유효활용을 위한 제도적 장치의 마련과 인식의 전환이 시급한 과제로 판단된다. 준설토 유효활용의 제도적 장치를 마련하기 위해서는 기존의 해양환경관리법의 개정을 통하여 유효활용의 근거에 대한 시행규칙을 마련할 필요가 있다. 또한, 시행규칙 마련에 있어서, 준설토 처리·활용 기준에 우선적으로 중금속, 유기물 함량, 영양염류 및 유기오염물질을 포함시켜 각 항목에 대한 활용가능기준과 우려기준을 제시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

둘째, 개정된 해양환경관리법에 따라 제주지역에서는 우선적으로 제주 연안 해저 퇴적물(항내 퇴적물 포함)에 대한 오염현황 조사를 주요 항만을 대상으로 선정하여 오염도를 조사하고, 오염도에 따른 처리 및 활용방안을 모색할 필요가 있다.

셋째, 준설토의 유효활용을 통하여 사회적, 경제적 또는 부수적인 이익을 창출할 수 있을 것으로 판단되지만 준설토를 활용한 해당지역에 대해서는 지속적인 모니터링을 통하여 사업의 성공여부를 평가하는 것이 중요할 것으로 판단된다. 더 나아가 현재의 유효활용기술뿐만 아니라 지속적인 연구개발을 통하여 활용기술의 범위를 꾸준히 확대시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다. **JDI**

*참고문헌

- 감상규, 김현정, 허출구, 최영찬, 이민규(2003), "제주도 한림항내 표층퇴적물 중의 부틸주석화합물의 분포", 『한국환경과학회지』 제12권 pp. 753~762.
- 교육인적자원부(2002), 『해양오염』.
- 국토해양부(2010), 『해양오염퇴적물 정화·복원사업 추진을 위한 실무 지침서』.
- 김경련, 김석현, 최기영, 김창준(2011), "환경준설토사업 모니터링 사례: 부산 용호만 및 남항", 『한국환경준설토학회지』 제1권 pp. 33~52.
- 김세종, 박준범(2007), "해상 오염준설토사의 처리, 처분 및 재활용 방안", 『환경기술동향』 제55권 pp. 66~74.

- 김순오, 정영일, 조현구(2006), "삼산제일·삼봉 동광산 주변 수계의 중금속 오염도 평가", 『한국광물학회지』 제19권 pp. 171~187.
- 나춘기(2004), "목포연안 갯벌 및 서식생물에서의 중금속 함량", 『자원환경지질』 제37권 pp. 335~345.
- 이미경, 배우근, 엄인권, 정희수(2004), "영일만 해역 표층퇴적물의 금속 분포 특성", 『대한환경공학회지』 제26권 pp. 543~551.
- 이민규, 최영찬, 고병철, 감상규(2005), "제주도 서귀포항내 퇴적물 중의 부틸주석화합물의 분포 특성", 『한국환경과학회지』 제14권 pp. 1141~1153.
- 이준기, 김석규, 송재홍, 이태윤(2009), "부산시 하천퇴적물의 유기 오염도 평가", 『대한환경공학회지』 제31권 pp. 975~982.
- 이찬원, 전홍표, 하경애(2008), "마산만 오염 준설토사의 생태회복", 『한국환경과학회지』 제17권 pp. 29~36.
- 주현수, 박종천, 김진, 이우범, 이성우(2000), "광양만의 퇴적물에 대한 이화학적 조성 및 중금속 함량", 『한국육수학회지』 제33권 pp. 31~37.
- 최우정(2003), "노후 양식어장의 효율적 저질 개선 방안 연구", 『해양수산부』.
- 한국건설기술연구원(2002), 『호소 및 하천의 퇴적오니 분포조사 및 환경 친화적인 준설·재이용 기술 개발』.
- A.G. Stevenson(2001) "Metal concentrations in marine sediments around scotland: a baseline for environmental studies", 『Continental shelf research』 Vol. 21 pp. 879~897.
- S. Sinkkonen and J. Paasivirta(2000) "Degradation half-life times of PCDDs, PCDFs and PCBs for environmental fate modeling", 『Chemosphere』 Vol. 40 pp. 943~949.
- USACE(2006), 『Beneficial uses of dredged material, <http://el.erdc.usace.army.mil/dots/budm/intro.cfm?Topic=Intro>』.
- USEPA(1992), 『Assessment and remediation of contaminated sediments (ARCS)』.
- USEPA(1994), 『EPA's contaminated sediment management strategy [Online], URL: <http://www.epa.gov/waterhome/pubs>』.
- USEPA(1998), 『National conference on management and treatment of contaminated sediments』.
- USEPA(1999), 『Fast track dredged material decontamination demonstration for the port of new york and new jersey, prport to congress on the water resources and development acts of 1990(section 412), 1992(section 405C), and 1996(Section 226), EPA 000-0-99000』.