

하천 오염준설토 재활용을 위한 관리 및 처리방안



김영진 >>>
서울대학교 건설환경공학부 BK계약교수
yk70@snu.ac.kr



남경필 >>>
서울대학교 건설환경공학부 부교수
kpnam@snu.ac.kr



권영호 >>>
한라건설 기술연구소 수석연구원
youngho@halla.com

심사로 떠오른 4대강살리기사업의 경우, 이 사업으로 인하여 발생할 것으로 예상되는 총 준설물량은 약 5.7억 m³이며 이 중 약 46%에 해당하는 2.6억 m³의 물량은 바로 골재로 활용되고 나머지는 사토장으로 운반되어 적절한 처리 후 재활용되거나 매립하게 된다(국토해양부, 2009). 이러한 대, 소규모의 하천 정비사업은 환경에 대한 관심과 물관리의 중요성이 부각됨에 따라 계속적으로 이어질 것으로 예상되는데, 여기에 따른 지속적인 준설 수요에 맞추어 준설된 하천퇴적토의 효과적인 관리방안이 수반되어야 할 것이다.

일반적으로 강우와 함께 하천으로 유입되어 운반되다가 낮은 유속으로 하구에 침전된 물질과, 수중의 다양한 생화학작용으로 독립적으로 침전된 물질을 모두 하천 퇴적토라 일컫는데(이창희·유혜진, 1998), 하천유입 전후과정에서 오염물질과의 결합으로 생태계에 악영향을 미칠 수 있는 수준의 유해물질을 함유하게 된 퇴적토를 오염퇴적토라 부른다(USEPA, 1998). 현재 우리나라의 경우 퇴적물에 대한 환경기준이 마련되어 있지 않으나 미국의 퇴적물 관리기준인 SQGs(Sediment Quality Guidelines, NOAA, 1999)와 비교할 때 국내 일부 하천퇴적토 중 특히 중금속이 SQGs 권고기준을 상회하는 사례가 자주 보고되고 있다(신원식 외, 2006; 황경엽 외, 2007). 문제는 이러한 오염퇴적토를 준설하여 단순매립 하거나 재활용 할 때 주변 생태계에 2차오염을 발생시킬 우려가 있다는 점으로, 준설토의 안전한 처리 및 재활용을 포함하는 효과적인 관리 시스템의 확립이 시급

1. 서론

국내의 하천 준설사업은 주로 1980년대 이후 국가적인 하도정비사업의 일환으로 진행되어 왔는데, 1987년 환경부에서 시작하여 현재까지 진행 중인 자연형 하천 정비사업을 비롯하여 국토해양부, 소방방재청 등에서 현재까지 200여개의 하천을 정비하였거나 진행 중이다. 그러나 각 하천에 대한 사업의 집행이 지방자치단체별로 실시되고 있어 정확한 준설량과 골재 재활용 및 사토 처리물량 등의 종합적인 통계치의 수집은 매우 어려운 실정이다. 최근 국가적인 관

한 실정이다. 본 논문에서는 하천 준설의 제반 관심사 중 오염준설토의 관리와 정화방법을 준설토의 재활용과 연계하여 알아보기로 한다.

2. 국내 하천준설토 관리현황

국내의 경우 퇴적물은 '수질 및 수생태계 보전에 관한 법률', '해양환경관리법', '하천법', '폐기물관리법', '토양환경보전법' 등에서 오니, 퇴적물, 침전물, 수저퇴적물, 골재, 토양 등으로 다양하게 언급되고 있으나 아직 직접적인 관리의 대상으로는 취급되지 않았으며, 단지 수질개선을 위한 오염원 관리 차원에서 유기물 또는 영양염류로 오염된 퇴적물을 제거하는 것과 환경기초조사의 일환으로 퇴적물 오염도 조사를 실시한 것이 지금까지 수행된 퇴적물 관리의 전부라 할 수 있다(이창희·유혜진, 2000). 이와 더불어 지금까지 국내에서는 준설된 퇴적물을 토양으로 관리할 것인지 폐기물로 관리할 것인지에 대한 경계가 명확하지 않음으로 인해 폐기물로 처리하는 사례가 많았다. 일반적으로 정화를 목적으로 하는 준설의 경우 준설 후 발생하는 오니 및 오염퇴적토는 폐기물관리법을 적용하여 관리하고 있는데, 이러한 기준을 적용할 경우 준설토사를 폐기물로 간주하여 폐기물관리법 제12조의 폐기물 공정시험 방법에 따른 용출시험 후 적합하게 처리하여야 한다. 용출시험결과 유해물질성분이 폐기물관리법 시행규칙 별표1의 유해물질 기준 이내일 경우 일반 폐기물로 간주되어 폐기물관리법시행령 제7조에서 규정한 처리절차를 거쳐 재활용 될 수 있다. 준설토사의 유해물질성분이 유해물질 기준을 초과할 경우 지정폐기물로 간주되어 폐기물관리법 제17조에 따라 등록된 업체에 의하여 처리된다. 이와 같이, 적절한 처리에 의해 재활용이 가능한 준설토를 폐기물로 간주하여 처분하는 것은 자원의 낭비라고 할 수 있으며 보다 합리적인 관리방안이 필요하다.

한편, 최근 환경부에서는 준설토를 최종적으로 성

토재, 복토재로 재활용하거나 매립처분하는 경우 모두 결국 토양으로 유입되는 것이므로, 준설토를 토양으로 관리하기 위한 환경처리기준 및 재이용 방안 등의 체계적인 관리를 추진하고, 향후 토양정화단지 구축과 연계하여 준설토를 토양정화단지에서 처리함으로써 토양정화시장의 확대 및 활성화하는 계획을 수립하고 있다(환경부, 2009). 이와 비슷하게 최근 토목공사에 따른 준설인 경우 준설된 퇴적토를 토사로 간주하여 토양환경보전법에 따라 처리하는 경우가 많아졌는데, 동법 제14조의 규정에 의한 토양오염우려기준이내일 경우 성토재, 도로기층재 등으로 재활용이 가능하며 기준을 초과할 경우 기준치이하로 정화하여 사용한다. 이번 4대강살리기 사업의 경우 준설 후 골재활용이 가능한 물량을 '관계법령'에 따라 처리 후 공사 등에 사용하고 나머지 물량은 토사로 간주하여 토양환경보전법에 따라 처리하도록 되어 있다(국토해양부, 2009). 이 또한 퇴적토의 특성 상 악취와 변색 등 주민들에게 막연한 불안감을 제공할 수 있는 점을 감안하여 토양환경보전법상의 단순한 오염물질 함량만을 기준으로 처리여부를 결정하기 보다는 생태계로의 용출가능성 등 퇴적토의 특성을 고려한 환경기준이 필요하다고 할 수 있다.

3. 준설오염토 정화기법

준설된 오염퇴적토의 처리공법은 토양 정화공법과 유사한 점이 많으나, 수계에 직접적인 영향을 끼치고 하천의 형태와 흐름특성과 관련이 있는 등 까다로운 점이 많고, 처리 공정만을 보더라도 많은 양의 이물질과 함수율로 인해 중간처리과정이 필요하다(김건하·정우혁, 2007). 그 중 처리공정 상의 가장 큰 특징은 퇴적토 처리에 입도분리가 포함되는 점을 들 수 있다. 일반적으로 준설토사는 모래크기 이상의 골재 성분과 미립자(실트 및 점토) 성분으로 이루어져 있는데, 이 중 미립자는 큰 비표면적으로 인해 오염물질의 농도가 높으며 일반적인 세척공정에서 효율적으로

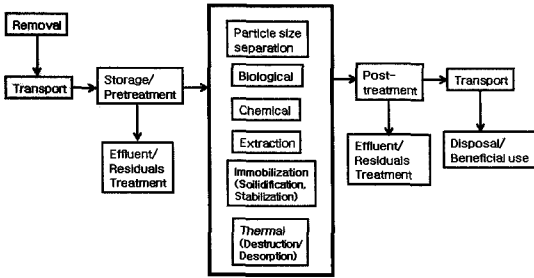


그림 1. 미국 공병단에서 제시된 준설퇴염토 처리과정 (U.S. Army, 2000)

처리되지 않는 것으로 알려져 있다(Wenning et al., 2001). 따라서 준설퇴염토 중 골재성분만을 분리하여 적절한 처리를 거쳐 건설용 자재 및 복토재 등으로 재이용 하고, 나머지 미립자는 폐기물로 간주되어 매립하거나 해양에 투기하는 것이 일반적이었다(USEPA, 2005). 그러나 폐기물의 해양투기를 금지한 런던협약 '96의정서'가 발효되면서 단계별로 배출기준이 강화되고 있으며, 이에 실질적인 해양투기가 어려워진 상태이기 때문에 한정된 매립지의 수명 및 처리비용의 상승에 대한 문제가 대두되고 있다. 따라서 적극적인 처리와 재활용 증대를 통하여 그동안 폐기처분되어왔던 사토의 양을 줄이는 노력이 필요한 시점이다.

준설퇴염된 하천퇴적토는 그림 1과 같이 준설퇴 후 이송 및 탈수과정 등의 전처리 과정, 입도분리를 포함한

표 1. 준설퇴염토 처리공법 (USEPA, 2005)

Technologies	Operational Characteristics
Bioremediation	1. Environmental-friendly 2. Effective for organic contaminants
Chemical Treatment	1. Quick response 2. Concern for secondary contamination
Extraction/Washing	1. Contaminants essentially removed 2. Sludge and wastewater treatment required
Immobilization or Solidification/Stabilization	1. Reduced risk by applying stabilizing agent 2. Applicable to fine sediment
Thermal Treatment	High energy & cost
Particle Size Separation	Limited application upon contamination characteristics

오염퇴적토 처리과정, 그리고 폐수 처리 및 매립까지의 후처리 공정으로 크게 구분할 수 있다(US Army, 2000). 여기서 함수율이 높은 준설퇴염토의 특성과 처리 후 배출되는 폐수처리, 그리고 처리 전후의 운반작업을 포함하여 고려해야 되는 전, 후처리 과정이 포함 된다는 점이 준설퇴염토처리의 특징이라 할 수 있고 오염 준설퇴염토의 처리과정은 오염토양 처리과정과 비슷하다. 그림 1에 포함되어 있는 오염준설퇴염토 처리과정은 표 1과 같이 요약할 수 있는데, 그 내용을 바탕으로 첨삭하여 다시 정리하면 다음과 같다(USEPA, 2005).

- 1) 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.
- 2) 화학적 처리(Chemical Treatment): 시약을 투입하여 오염물질을 완전히 제거하거나 독성을 저감시키는 기술로 효과가 빠르고 효율이 높은 장점이 있으나 화학물질로 인한 2차오염의 우려가 있고 토양의 생태적 기능의 완전파괴로 인하여 정화된 준설퇴염토를 복토재 등으로 재활용에 제한이 있을 수 있다. 준설퇴염토 처리에 가장 널리 쓰이는 방법은 킬레이트화(chelation), 탈염소화(dechlorination), 산화(oxidation) 등이 있다.
- 3) 세척(Extraction/Washing): 세척은 오염물질을 퇴적토로부터 탈착시키는 제거기술로 크게 extraction과 washing을 함께 일컬으나 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. 정

화기작이 비교적 간단하여 편리하고 오염물질을 근본적으로 제거할 수 있으나 처리 후 폐수의 양이 많이 발생하므로 여기에 따른 대책이 같이 고려되어야 한다.

- 4) 안정화(Immobilization or Solidification/Stabilization): 안정화는 안정화제(stabilizing agent)를 투여하여 오염물질의 유동성을 떨어뜨리는 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.
- 5) 열처리(Thermal Treatment): 소각, 열분해 등의 열처리공법으로 유기오염물질의 완전제거가 가능하나 비용이 많이 들고 에너지 소비가 많으며 중금속에 대한 적용이 어렵다.
- 6) Particle Size Separation: 일반적으로 준설퇴적토 처리에는 입도분리가 선행되나 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. 하천 오염준설토 재활용 기준 설정

국내 퇴적토 환경기준 마련을 위하여 가장 광범위하게 외국과 국내 사례를 분석한 노력으로는 이창희·유혜진(2000)의 보고서가 있고, 준설된 퇴적토의 재활용 기준에 관한 연구는 윤길림 외(2008)가 제안한 해양준설토 재활용기준마련을 위한 연구가 있는데, 두 연구 모두 외국에서 사용하고 있는 다양한 퇴적물 관리기준을 취합하여 기준의 높고 낮음에 따라

그룹별로 분류하였고, 이를 국내실정에 맞게 선택적으로 적용하였다. 본 연구에서는 준설토의 재활용 기준에 초점을 맞추어 기술하기로 한다. 두 연구는 대부분의 외국기준이 두 단계로 이루어져 있음을 보여주고 있는데, 윤길림 외(2008)의 연구에서 제안된 해양 준설토 재활용 기준도 바로 사용 가능한 기준과 처리가 필요한 기준으로 나누었다. 또한 환경 기준을 만들 수 있는 자료가 절대적으로 부족한 상황에서, 국내 퇴적물 오염물질 조사자료 중 중금속이 미흡하나 다른 유해화학물질에 비하여 외국의 퇴적물처리 기준을 이용한 간접적 오염평가가 가능한 수준이므로, 중금속과 일부 대표적인 유기오염물질에 대해서 우선적으로 퇴적토 처리기준을 만드는 것이 필요함을 시사하고 있다.

본 연구에서는 하천준설토의 안전한 재활용을 위한 기준마련을 위한 예시를 표 2와 같이 만들어 보았다. 표 2는 윤길림 외(2008)에서 외국기준을 참고하여 제시한 해양준설토 재활용기준을 외국의 담수기준을 참고로 하여 하천준설토에 맞게 재구성한 것이다. 기준 항목은 금속과 총 PCB, 총 PAH 등 일반적인 하천퇴적토 조사항목 8가지를 포함하였고 재활용 기준은 안전한 재활용이 가능한 활용가능기준과 재활용 전 정화처리가 필요한 활용 우려수준으로 나누었다. 표에 나와 있는 수치는 윤길림 외(2008)에서 인용된 외국자료 중 담수기준의 단순 평균한 하천 준설오염토 재활용 기준설정의 예시로 최종적인 수치가 아니며, 현재 이와 비슷한 방법으로 국내 하천환경에 맞는 재활용기준 제시를 위한 노력이 여러 연구진을 통

표 2. 윤길림 외(2008)의 연구를 바탕으로 한 하천 오염 준설토 재활용 기준의 예시

항 목	재활용 기준(mg/kg)	
	재활용 가능수준	재활용 우려수준
As	6.8	25
Cd	0.833	6.42
Cr	36.1	100
Cu	39.9	154
Pb	37.7	124
Hg	0.22	1.1
total PAH	5,733	17,000
total PCB	116	411

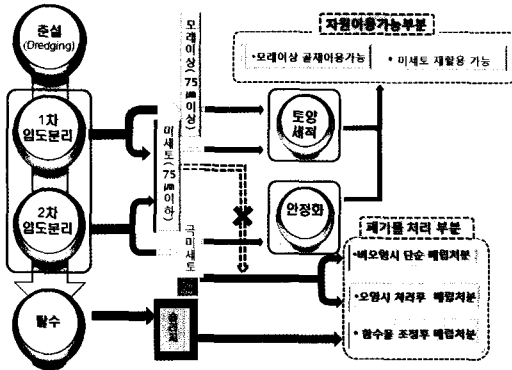


그림 2. 김영진 외(2010)의 연구에서 제안된 재활용을 고려한 하천 준설품오염토 정화 시스템 모식도

하여 진행 중이다.

5. 재활용을 고려한 정화시스템 제안

전술한 바와 같이 국내 하천 오염준설품의 관리방안 중 재활용을 통한 폐기량 최소화가 시급하며 이를 위하여 재활용 기준 마련과 재활용을 극대화 시킬 수 있는 준설품오염토 처리시스템의 개발이 필요하다. 김영진 외(2010)는 준설품된 오염퇴적토 처리공법 중 세척, 안정화, 그리고 입도분리 공법을 적용하여 정화 단계에서부터 준설품오염토의 재활용을 고려한 준설품퇴적토 정화시스템을 제안한 바 있다. 시스템 개발의 지향점은 입도분리를 통하여 정화대상물량을 늘려 재활용물량의 증대와 최종폐기대상 사토의 양을 최소화 하고, 입도 및 오염도별로 선별적인 공법적용으로 처리효율을 높이는 것이다. 제안된 정화시스템은 연속적으로 준설품퇴적토의 입도를 분리하여 처리가 용이한 조립질 퇴적토는 통상적인 세척공정으로 정화시키고, 미세토는 오염특성 및 재활용 용도에 따른 심화 처리하는 기술 개발을 포함하고 있다(그림 2). 우선 1차 선별 및 분리 과정을 통해 1차 입도분리 기준 보다 큰 입자는 일반적인 습식선별세척을 통해 정화시키고, 1차 입도분리 기준 이하의 입자에 대해서는 2차 입도분리를 실시하여 오염도에 따라 안정화 공법과 고도세척 공법을 선택적으로 적용한다. 이때, 1차 입도분

리 기준은 한국공업규격의 잔골재 입경기준이 0.074 mm이고 모래(0.075~2 mm)에 대해 통상적인 습식선별 세척기술의 효율이 일반적으로 70~80% 이상임을 근거로 0.074 mm로 결정하였다. 기존에 폐기처분되던 1차 입도분리 기준 이하의 준설품잔토(사토)에 대해서는 2차 입도분리를 실시하여 오염농도 특성과 재활용 방안에 따라 안정화와 고도세척처리 기술을 선택적으로 적용할 수 있는 시스템을 구축하여 재활용율을 극대화하고 동시에 폐기되는 사토의 양을 최소화 하였다. 지금까지 0.075 mm 이하의 준설품사가 폐기처분되었던 이유는 일반적으로 하상 퇴적물 내에서 오염물질은 미세입자에 더 많이 농축되고 미세입자가 많을수록 세척효율도 낮은 특성으로 인해 이러한 퇴적물의 처리에 있어서는 시간과 비용이 많이 들기 때문이었다. 이러한 미세입자들을 기존의 기술로 정화가능한 입도별로 다시 분리하면 폐기처분되는 사토의 양을 그만큼 줄일 수 있을 것으로 판단하였다. 2차 입도분리 기준은 외국의 하천퇴적토 입도분포 및 오염도를 조사한 결과를 분석한 결과 (Detzner et al., 1995) 80% 내외의 오염물질이 집적되어있는 0.025 mm가 적용되었으나, 체계적인 국내 하천퇴적토 조사를 바탕으로 보다 국내 실정에 맞는 기준으로 재조정 되어야 할 것이다.

제안된 시스템은 2차 입도분리 후 고농도 오염준설품토로 오염물질의 근본적인 제거가 필요할 경우에 미세토 고도세척을 적용하고, 상대적으로 중, 저농도의 오염 퇴적토가 광범위하게 분포할 경우에는 생물학적 이용성을 저감시키는 안정화 처리기술을 적용하는 것으로 하였다. 미세토에 대한 고도세척처리는 적용멀티사이클론 혹은 울트라사이클론을 이용하여 중금속 축적량이 많고 처리효율이 저하되는 극미립토(0.025mm 이하)를 분리하는 2차 선별과정 후 2차 분리 기준점 이상의 미세토 중 오염도가 높은 오염도가에 대하여 적용한다. 중금속 추출, 제거를 위해 일반적으로 쓰이는 방법은 산 분해법으로, 중금속을 산 용액과 반응시켜 중금속을 용출시키는 방법이다. 그러나 일반적으로 하구언 근처의 준설품토는 pH 8정도

의 알칼리성을 띠고 있으며, 중금속의 존재형태가 입자형의 안정한 형태(residual type) 혹은 혐기성 환경에서 황화물 결합의 형태로 존재하는 경우가 많아 산 분해법 적용 시 고농도의 산용액을 과다 투입해야 하므로 경제성 및 폐수처리 문제가 발생된다. 따라서 고농도의 산용액의 사용을 억제하고 중금속 정화효율을 향상시키기 위한 방법이 필요할 것이다.

2차 입도분리 기준 이상의 미세토 중 오염도가 낮은 준설퇴적토에 대해서 안정화 공법을 적용한다. 오염물질을 퇴적토에 포함한 채 불용화 시키는 기술인 안정화공법은, 오염물질을 근원적으로 제거하는 세척에 비하여 2차오염에 대한 우려가 존재할 수 있는 점을 고려하여 오염도가 낮은 경우에 적용하도록 하였다. 중금속 오염 퇴적토를 안정화 공법으로 처리하기 위해서는 최적안정화제의 선정이 가장 중요한데, 납과 카드뮴으로 오염된 퇴적토를 대상으로 birnessite, zeolite, apatite, Fe-loaded zeolite의 안정화 효율을 비교한 결과 birnessite와 apatite가 가장 효율적인 안정화제로 나타났다(Lee et al, 2009).

6. 결론 및 제언

본 고를 통하여 국내 하천 준설퇴적토 관리 및 재활용 기준 확립의 필요성을 알아보았고 재활용 기준과 재활용을 고려한 준설토 처리시스템을 제안하였

다. 제안된 하천 오염준설토 재활용 기준은 중금속과 총 PAH, 총 PCB 등 10가지를 항목을 포함하였고 바로 재활용이 가능한 활용가능기준과 정화가 필요한 우려기준으로 나누었는데, 향후 합리적으로 보완, 발전시켜 국내실정에 맞는 기준으로 발전시켜야 할 것이다. 더불어 제안된 준설퇴적토 정화시스템은 입도 분리 후 정화공법을 분리 적용함으로써 재활용량을 늘리고 정화효율을 높이기 위하여 개발되었다. 정화공정은 우선 1차 선별 및 분리 과정을 통해 1차 입도분리 기준인 0.074mm 보다 큰 입자는 일반적인 습식선별세척을 통해 정화시키고, 이보다 작은 입자에 대해서는 2차 입도분리(기준점 0.025mm)를 실시하여 오염도에 따라 안정화 공법과 고도세척 공법을 선택적으로 적용한다. 1차 입도분리 후 오염도가 높은 준설퇴적토에는 화학적 추출을 가미한 고도세척을, 오염도가 낮은 퇴적토에는 안정화공법을 적용하는데, 실험결과 중금속에 대하여 birnessite와 apatite가 가장 우수한 안정화제로 나타났다. 이러한 연속적인 입도분리 및 오염도별 분류작업으로, 최종적으로 정화처리 후 재활용이 가능한 부분과 단순폐기처리 될 오염도 높은 극미립토가 분리되어 재활용기준을 만족시키는 안전한 재활용과 재활용물 증대의 두가지 효과를 기대할 수 있다. 지속적인 연구를 통하여 오염현황조사, 재활용 기준확립 및 기준에 맞는 준설퇴적토 처리 등 국가적인 하천 준설수요 증대에 대응하는 체계적이고 합리적인 하천 준설퇴적토 관리방안이 완성될 수 있을 것으로 기대된다. 🍀

참고문헌

1. 국토해양부, 2009, 4대강살리기 마스터플랜.
2. 김건하, 정우혁, 2007, 오염퇴적물 관리방향 및 처리공법, 지하수도양환경, 12(3), 1-9.
3. 김영진, 남경필, 이승배, 김병규, 권영호, 황인성, 2010, 세척과 안정화기술을 적용한 오염 준설토의 처리 및 재활용 시스템 개발, 지하수도양환경, 15(2), 게재예정
4. 박준범, 김세종, 2007, 국내 오염퇴적토사 준설의 현황, 대한토목학회지, 55(4), 58-65
5. 박준범, 김세종, 2007, 해상 오염준설토사의 처리, 처분 및 재활용 방안, 대한토목학회지, 55(4), 66-74

6. 신원식, 김좌관, 이남주, 김영훈, 황인성, 2006, 낙동강 및 호소퇴적물이 수체에 미치는 영향, 낙동강물환경연구소.
7. 윤길립, 이찬원, 정우섭, 2008, 준설토 유효활용을 위한 한국형 환경기준개발, 한국지반공학회논문집, 24(5), 5-13
8. 이창희, 유혜진, 1998, 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안, 한국환경정책·평가연구원.
9. 이창희, 유혜진, 2000, 수저퇴적물 환경기준 개발에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원.
10. 황경엽, 박성열, 정재호, 김영훈, 백원석, 신원식, 이남주, 황인성, 2007, 낙동강 퇴적물 내 중금속 존재 형태 및 용출 가능성, 상하수도학회지, 21(1), 113-122.
11. 환경부, 2009, 토양보전기본계획
12. 환경부, 2007, 폐기물관리법
13. DGE, 2002, Dutch-German Exchange on Dredged Material - Part 2 Treatment and Confined Disposal of Dredged Material.
14. Lee, S., An, J. Kim, Y.-J. and Nam, K. 2009, Birnessite as an immobilizing agent in heavy metals contaminated sediments, SETAC Conference, New Orleans, LA, USA, 2009.11.19-23
15. NOAA, 1999, Sediment Quality Guidelines Developed for the National Status and Trends Program.
16. Palermo, M.R., Schroeder, P.R., Estes, T. J., and Francingues, N.R., 2008, Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, ERDC/EL TR-08-29.
17. Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M., 1979, Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metal, Anal chem, 51(7), pp 844-850.
18. USACE, 2000, Dredging and dredged materials disposal, US Army Corps Engineers, Washington, DC., EMI110-2-5025
19. USEPA, 1998, EPA's Contaminated Sediment Management Strategy, USEPA, Office of Water, Washington DC, EPA 823/R-98/001
20. USEPA, 2005, Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites, USEPA, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington DC, EPA-540-R-05-012
21. US Federal Register, 1973, Ocean dumping: Final regulations and criteria. 38(198).
22. Wenning, R.J., Stern, E.A., Jones, K.W. and Douglas, W.S., 2001, The WDRA program and emerging decontamination technologies for contaminated sediments, Contaminated Soil Sediment and Water, Dec 2001.
23. Detzner, H.D., Strom, Hafenbau, 1995, The Hamburg Project METHA: large scale separation, dewatering and reuse of polluted sediments, European Water Pollution Control, 5(5), 38-42.