

준설토 유효활용을 위한 한국형 환경기준 개발

Korean Environmental Standards for Beneficial Use of Dredged Materials

윤길림¹ Yoon, Gil-Lim

이찬원² Lee, Chan-Won

정우섭³ Jeong, Woo-Seob

Abstract

This paper proposed an environmental standard for beneficial use of dredged materials currently considered as waste materials. In Korea, even though chemical analysis of sediments are carried out frequently, their analysis results were not interrelated with the effects of biological lives due to a shortage of data, which may result in difficulty to develop Korean standards for reusing dredged materials. For these, this paper first searched existing foreign standards, analyzed local contaminated sediment data, identified their main components of contaminations and then compared clean-up standards of sediments consisting of lower and higher level. From these analyses new environmental standards considering Korean domestic circumstances are proposed. It is judged that newly proposed standards are appropriate in terms of both Korean national sedimental environments and economical recycling aspects because environmental standard levels proposed are higher than background level of sediments in Korea and foreign country's standards, where many experiences and environmental monitoring works have been already performed.

요지

지금까지 유효활용이 불가능한 항만지역의 발생 준설토사를 자원으로 활용하기 위한 환경기준을 제안하였다. 현재 국내의 경우 퇴적물의 화학적 분석은 이루어졌으나 생물영향과 연계된 자료의 부족으로 자체적 기준을 개발하는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러므로 외국의 기준을 선별하고 국내 퇴적물 오염현황, 국내 퇴적물의 주요 오염성분, 오염퇴적물 정화기준의 하위기준과 상위기준을 종합적으로 고려하여 국내여건에 적합한 환경기준을 제안하였다. 본 연구에서 제시된 환경기준은 국내퇴적물의 천연부존량보다 값이 크기 때문에 국내 환경여건에 대하여 적합하며 많은 경험과 사후 모니터링을 실시하고 있는 선진국의 환경기준과 비교하여 엄격한 수준으로서 준설토사를 경제적으로 활용할 경우, 환경에 미치는 영향은 크지 않아 향후 준설토사의 처리 및 활용의 적용기준으로 적합할 것으로 판단된다.

Keywords : Background level, Beneficial use, Dredged material, Environmental standard, Recycling

1. 서론

2000년 이후 준설량은 그림 1처럼 매년 증가하는 추

세를 나타내고 있다. 그리고 2002년과 2004년의 경우에는 컨테이너공단과 여수청에서 준설물량의 증가 및 부산청의 준설량의 증가로 급격한 증가를 나타내고 있으

1 정회원, 한국해양연구원, 책임연구원 (Member, Principal Researcher, Korea Ocean Research & Development Institute, glyoon@kordi.re.kr, 교신저자)

2 경남대학교 환경공학과, 교수 (Prof., Environmental Engrg. Department, Kyungnam Univ.)

3 정회원, 한국해양연구원, 박사후 연구원 (Member, Researcher, Korea Ocean Research & Development Institute)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

므로 향후 항만건설 및 개발시 발생하는 준설토사의 증가량은 막대할 것으로 추정된다. 현행 해양관련 법규상 모든 준설토사는 오염도와 무관하게 해양폐기물로 분류되어 유효활용 자체가 불가능한 상태이다. 그래서 현재 주요 항만 및 어항지역에서 발생하는 준설토사가 그림 2에서와 같이 외해투기, 매립장투기 및 기타방법에 의하여 처리되고 있는 실정이다. 그러나 런던협약(PIANC, 1996) 등 국제조약의 비준으로 인하여 해양투기는 더 이상 불가하며 매립장의 경우 기존매립지의 용량부족, 대규모 매립시설부지확보의 문제 등으로 많은 난관에 봉착하였다. 그러나, 일본 및 유럽 등의 선진국의 경우 단순매립보다 신기술 및 신공법의 개발로 공학적 성질이 우수하며 오염도가 낮은 준설토를 방파제, 안벽 및 호안 시공시 적절하게 건설재료로 이용 등의 유효활용기술을 적극적으로 활용하고 있으나 국내의 경우 인식의 부족, 폐기물로 분류되는 현행법규 및 관련 기술의 부족으로 현장에서 재처리 및 유효활용이 실용화되지 못하고 있는 실정이다.

본 논문에서 준설토사의 유효활용을 위한 환경기준의 정립을 위하여 타당하다고 판단되는 외국의 준설토사 활용기준을 선별하여 국내 퇴적물 오염현황, 국내 퇴

적물의 주요오염성분, 그리고 오염퇴적물 정화기준의 하위기준과 상위기준을 종합적으로 비교 및 분석하여 준설토사의 유효활용을 위한 환경기준을 제안하였다.

2. 환경기준의 자료 및 설정방법

2.1 용어 및 적용범위

본 논문에서 제시하는 주요 항만구역에서 발생하는 준설토사의 처리 및 활용을 위한 환경기준은 준설토사 처리·활용기준이라 정의하고 그림 3에서 준설토사의 오염도별 활용을 위한 모식도를 나타내고 있다. 준설토사의 경우 개발, 유지 및 오염물질의 정화목적 등의 다양한 목적으로 발생하지만 오염도에 따른 적용성을 제시할 수 있는 환경기준은 전무한 실정이다. 본 논문에서는 오염도에 따른 하위기준과 상위기준으로서 활용가능기준과 활용우려기준을 제시하였다. 활용가능기준은 인간의 건강 또는 해양생태계의 대표적이고 민감한 생물들에 미치는 급성/만성적 영향을 고려해 지정하고 기준미만의 준설토사는 유효활용 및 투기와 관련해서 환경에 미치는 영향은 거의 없다. 반면 활용우려기준을 초과하는 준설토사는 처리기술이나 공정을 거치지 않을 경우 유효활용이나 투기에 부적합하며 두 기준사이의 준설토사는 사전의 정밀한 평가가 필요하다.

2.2 국내 퇴적물 오염 및 천연부존량 현황

기준에 포함될 항목은 우리나라 퇴적물의 주요 오염

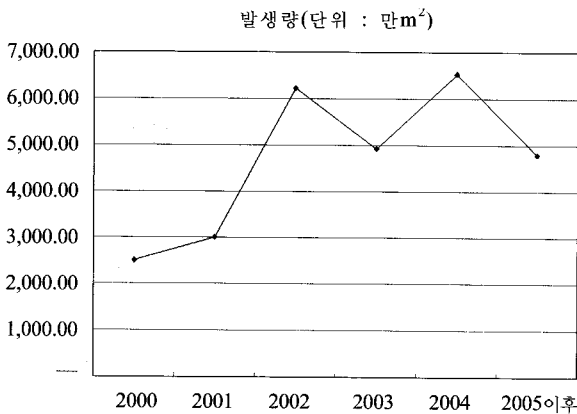


그림 1. 년도별 준설토실적(해양수산부, 2005)

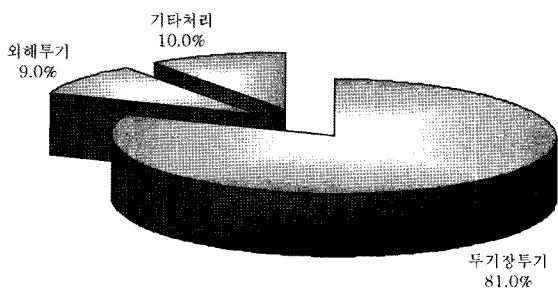


그림 2. 발생준설토 처리현황(해양수산부, 2005)

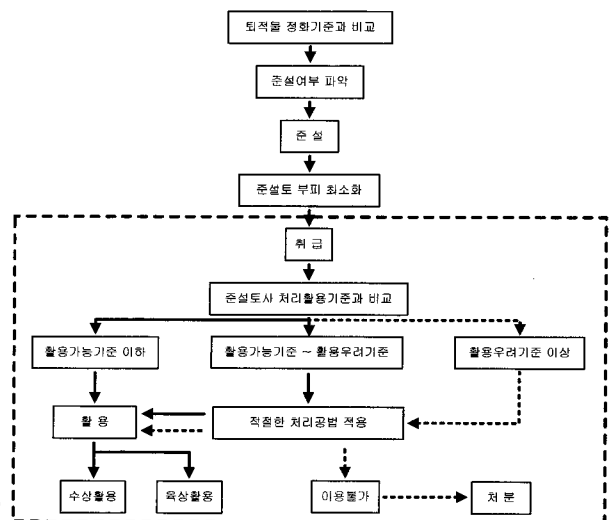


그림 3. 준설토사처리·활용기준의 적용 모식도

표 1. 오염퇴적물 정화기준 (해양수산부, 2005)

Parameter	오염퇴적물 정화복원기준	
	Lower level	Higher level
mg/kg dry weight		
Ag	1	3.7
As	9	41.6
Cd	0.68	4.21
Cr	80	370
Cu	24	108
Hg	0.15	1
Ni	23	52
Pb	50	220
Zn	200	410
µg/kg dry weight		
Chlordane	0.5	6
Dieldrin	0.02	8
DDT	1.6	46
tPCB	21.6	189
µg/kg dry weight		
Acenaphthene	16	500
Acenaphthylene	44	640
Dibenzo(a,h)anthracene	63	260
Anthracene	85	1,100
Benzo(a)anthracene	261	1,600
Benzo(a)pyrene	430	1,600
Chrysene	384	2,800
Fluoranthene	600	5,100
Fluorene	19	540
2-Methylnaphthalene	-	-
Naphthalene	160	2,100
Phenanthrene	240	1,500
Pyrene	-	-
LPAH	552	3,160
HPAH	1,700	9,600
tPAH	4,000	45,000

물질과 오염물질의 농도를 고려하여 선정하였다. 표 1은 오염퇴적물 정화기준(해양수산부, 2005)를 나타내고 있다. 국내 퇴적물의 주요 오염물질을 표 2에 나타내었으며 2003년 이후 전문기관에서 많은 항목을 동시에 분석한 해역의 자료를 수집하여(해양수산부, 2003; 해양수산부, 2005) 이 자료를 토대로 각 해역 퇴적물의 오염물질 농도 최대치를 오염퇴적물 정화기준과 비교한 것이다.

퇴적물의 농도 평균과 비교하지 않고 최대치로 비교한 것은 극심하게 오염된 퇴적물이 있음에도 불구하고 평균으로 비교할 경우 기준이치가 되어 오염되지 않는 것으로 판단하는 경우가 있기 때문이다. 또한 퇴적물의 특성상 물리적 이동 및 확산이 용이하지 않기 때문에 오염원 주변에 오염물질이 집중적으로 분포되므로 동일 해역에도 지점별로 농도차이가 심한 상태이다.

표 2에서 Cu 및 Fe의 경우 모든 해역에서 오염퇴적물 정화기준의 상위기준을 초과하는 것으로 나타나 주요 오염물질로 분류할 수 있었으며 조사항목의 대부분은 모든 해역에서 하위기준을 초과하는 것으로 나타났다. Zn, Cu, Hg, Mn, Fe, Pb, Ni, PCB, TBT, IL은 3개 해역 이상이 상위기준을 초과하고 있었으며 이것은 국내 퇴적물의 오염이 진행되고 있으며 일부 심하게 오염된 곳이 있음을 의미한다.

표 3은 국내 연안 퇴적물중 오염이 심한 2곳을 예로 들어 2005년 한국해양연구원에서 조사한 마산항과 온산항(해양수산부, 2005) 퇴적물의 표층과 주상시료 오

표 2. 각 해역의 주요 오염물질(해양수산부, 2003; 해양수산부, 2005)

지점 \ 항목	COD	IL	TOC	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg	Mn	Fe	TBT	tPCBs	tPAHs
고흥	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	●	●	○		
부산감만항	○	○	-	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●	●	○	
부산남항	○	●	○	●	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	●	○
부산북항	○	●	-	○	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	○	
울산장생포항	●	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-
인천	○	-	-	○	○	●	○	○	-	○	○	○	●	○		
진해행암만	○	●	○	-	○	●	●	○	○	○	○	○	●	●		
통영	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●	●	○	-
평택	○	○	○	○	○	○	-	○	-	-	-	●	●	-		
포항	○	○	○	-	-	●	-	○	○	○	-	-	●	●		
광양	-	○	○	-	○	○	-	○	-	-	-	○			●	○
마산	○	●	○	○	○	●	●	○	○	○	○	●	●	●	-	○
목포	-	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○			●	○
여수	-	○	○	-	○	●	○	○	○	○	-	●			●	○
온산	○	○	○	○	○	●	●	○	●	●	○	○	●	●	-	-
목호	-	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●		○	-
삼척	-		○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	●		-	-
시화	○	●	○	○	●	●	●	○	○	○	○	●	●			

(○: 하위기준 초과, ●:상위기준 초과)

염물질 농도와 천연부존량을 나타낸 것이다.

마산항의 경우 표층 22개 지점 및 주상 4지점에 대하여 조사한 결과 비소(As), 카드뮴(Cd) 및 수은(Hg)은 조사시점의 오염물질의 농도가 각각의 천연부존량 9mg/kg, 0.2mg/kg, 0.05mg/kg을 초과하였으며 온산항의 경우 표층 20개지점 및 주상 4개 지점에 대하여 조사한 결과 대

부분의 중금속에 대한 천연부존량이 존재하였으나 조사에 의한 오염물질의 농도보다 낮은 것으로 나타났다.

앞장에서 언급되었듯이 우리나라는 각 해역별로 파악된 천연부존량(background level)의 데이터가 제한되어 있으나, 그림 4와 같이 파악된 국내 퇴적물의 천연부존량(Hg, Cd, As, Pb, Cu, Ni, Cr, Zn)은 외국의 수준에

표 3. 국내 해역 퇴적물의 오염물질 농도(해양수산부, 2005)

조사항목	2005년		2005년		2005년		2005년	
	지역				지역			
	마산항 표층 22 지점 주상 4지점(Depth : ≒160cm)				온산항 표층 20 지점 주상 4지점(Depth : ≒160cm)			
parameter (mg/kg)	표층 Avg. ±SD	range	주상 Avg. ±SD	Background level	표층 Avg. ±SD	range	주상 Avg. ±SD	Background level
As	10.4±3.5	4.6~16.4	13.7±1.88	<9	10.96±3.75	4.4~20.5	12.6±2.78	<8
Cd	1.36±0.57	0.17~2.66	1.07±0.83	<0.2	1.12±1.71	0.15~7.12	0.41±0.26	<0.2
Cr	79.4±13.3	47.2~114	78.0±19.2	-	65.05±17.52	16.0~99.7	69.1±19.7	<25
Cu	73.5±21.9	28~133	71.1±34.7	-	179±294	9.05~1208	35.7±29.9	10
Hg	0.136±0.076	0.03~1.36	0.17±0.25	<0.05	0.14±0.08	0.01~0.59	0.12±0.16	<0.03
Pb	73.8±18.1	35.3~109	67.4±25.0	-	123±131	20.1~599	53.1±35.5	<20
Mn	716±106	460~978	651±93.1	-	585±66.6	305~699	429.6±77.1	<300
Ni	16.7±7.92	0.1~32.4	28.8±2.14	-	21.5±5.95	7.7~126	32.9±30.6	8
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	321±92.0	131~518	286±132	-	365±374	50.3~1662	124±64.5	55
Fe(%)	4.52±0.37	2.39~5.21	2.88±0.21	-	3.41±0.60	1.24~3.9	3.02±0.67	-
Al(%)	6.36±0.51	4.79~11.0	8.35±1.39	-	5.21±	2.77~10.1	7.92±1.54	-
Se	-	-	-	-	-	-	-	-
tPAH(μg/kg)	1681±742	764~3345	-	0	1457±613	353~2633	-	0
tPCB(μg/kg)	10.2±5.02	0.23~39.9	20.7±13.4	0	2.53±1.37	ND~14.3	3.99±5.29	0
TBT(mg/kg)	0.097±0.067	ND~0.19	0.196±0.091	0	0.257±0.60	0.028~1.76	0.45±0.39	0
tPCDDs/DFs(pg/g)	-	-	-	-	-	-	-	-
COD(mg/g)	19.6±3.94	11.3±74.9	40.2±16.4	-	18.4±5.14	7.1~37.5	25.5±7.24	-
TOC(%)	2.32±0.41	1.00~4.11	1.85±0.66	-	1.22±0.46	0.19~7.48	2.39±1.92	-
TN(%)	0.20±0.03	0.07~0.28	0.12±0.1	-	0.16±0.05	0.04~0.58	0.24±0.13	-
Volatile Sulfides(mg/g)	1.82±1.20	0.01~4.98	1.82±1.86	-	0.22±0.25	0.002~1.11	0.12±0.21	-
강열감량(%)	19.6±3.94	4.72~14.3	8.59±1.12	-	7.55±1.88	2.8~10.5	8.61±1.56	-

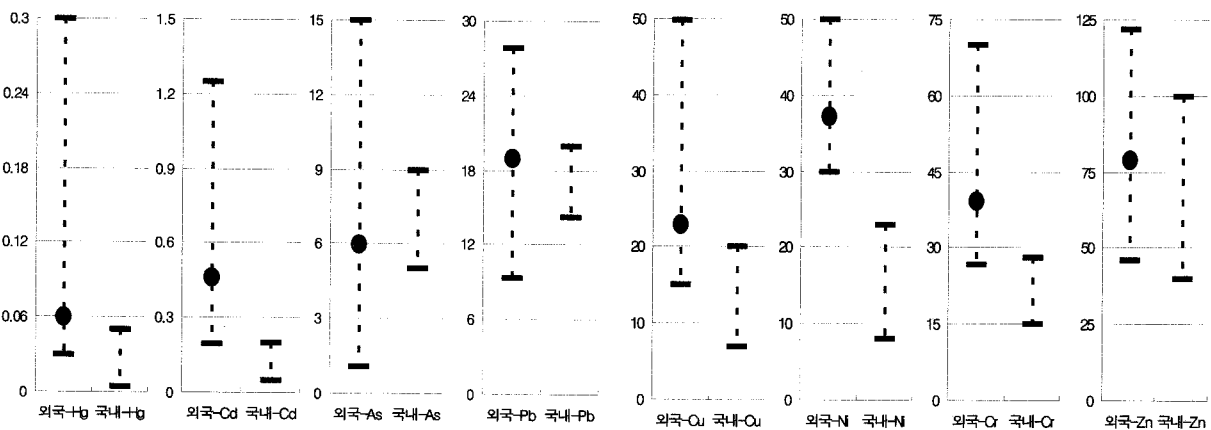


그림 4. 외국과 국내 퇴적물의 천연부존량(해양수산부, 2005)

비해 낮았다. 국내 퇴적물의 주요 오염원인 Mn과 Fe는 천연부존량이 파악되지 않았으나, 강변여과수 개발(수돗물 신뢰향상을 위한 심포지엄, 2006)에 따르면 강변여과수에 유독 철과 망간이 먹는물 수질 기준을 초과하여 문제가 되는 것으로 나타났기 때문에 천연부존량이 높을 것이라 판단된다.

2.3 외국기준의 분류

수집된 외국의 기준은 각 국가별로 기준에 포함된 항목의 종류와 수에서 차이가 많이 났으며(중금속 이외 항목), 같은 항목인데도 수치 차가 심해 각 항목별로 비슷한 기준을 선택하여 4개의 그룹으로 분류하고, 표 4에

표 4. 분류된 외국 기준

그룹	국 가	비 고
1	미국 위스콘신주, 핀란드, 영국, 덴마크	가장 엄격한 기준
2	벨기에, 스웨덴, 프랑스 네덜란드, 아일랜드	1 그룹보다 높은 기준
3	독일, 스페인, 호주	2 그룹보다 높은 기준
4	미국 육군공병단, 노르웨이	가장 높은 기준

표 5. 그룹별 분류 항목별 기하평균

Chemical	그룹 1	그룹 2	그룹 3	그룹 4	그룹 1	그룹 2	그룹 3	그룹 4
	준설토사 활용가능기준				준설토사 활용우려기준			
Metals (mg/kg)								
Antimony	-	-	2	150	-	-	25	200
Arsenic	13.1	21	36	68	49	65	128	837
Cadmium	0.45	1.17	1.55	2.3	2.97	3.6	8.55	11.8
Chromium	41	80	134	300	200	195	652	5,000
Copper	28	40	64	242	125	102	278	1,396
Lead	35	62	84	232	190	198	404	1,342
Mercury	0.16	0.32	0.45	0.50	1.13	0.94	2.47	3.39
Nickel	24	46	47	135	65	123	173	745
Selenium	-	-	-	-	-	-	-	-
Silver	-	-	1	6.1	-	-	4	8.4
Zinc	115	247	327	536	463	615	1,291	6,164
Manganese	460	-	-	-	1,100	-	-	-
Iron(%)	2	-	-	-	4	-	-	-
Organometallic compounds (µg/kg)								
Tributyltin (interstitial water µg/L)	4.6 µg/kg	17 µg/kg	10 µg/kg	0.15 (µg/L)	200 µg/kg	59 µg/kg	205 µg/kg	-
Dibutyltin	-	-	-	-	-	-	-	-
TBT + DBT + MBT	100	-	-	-	1,000	-	-	-
Organics (µg/kg)								
Total LPAH	-	-	552	5,200	-	-	3,160	29,000
Naphthalene	10	18.7	160	2,100	100	85	2,100	2,400
Acenaphthylene	-	-	44	560	-	-	640	1,300
Acenaphthene	-	-	16	500	-	-	500	2,000
Fluorene	-	-	19	540	-	-	540	3,600
Phenanthrene	50	100	240	1,500	500	1,000	1,500	21,000
Anthracene	10	100	85	960	100	800	1,000	13,000
2-Methylnaphthalene	-	-	70	570	-	-	670	1,900
Total HPAH	-	-	1,700	12,000	-	-	9,600	69,000
Fluoranthene	300	100	600	1,700	3,000	2,500	5,100	30,000
Pyrene	-	-	665	2,600	-	-	2,600	16,000
Benz(a)anthracene	30	100	261	1,300	400	1,000	1,600	5,100
Chrysene	1,100	100	384	1,400	11,000	1,000	2,800	21,000
Benzofluoranthenes(b+k)	-	-	-	3,200	-	-	-	9,900
Benzo(a)pyrene	300	50	430	1,600	3,000	900	1,600	3,600
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	600	50	-	600	6,000	800	-	4,400
Dibenz(a,h)anthracene	-	-	63	230	-	-	260	1,900
Benzo(g,h,i)perylene	800	50	-	670	8,000	1,616	-	3,200
Total PAH	3,000	-	4,000	-	30,000	-	45,000	-
Oil	170,998	50,000	300,000	-	1,500,000	1,500,000	1,000,000	-

표 5. 그룹별 분류 항목별 기하평균(계속)

Chemical	그룹 1	그룹 2	그룹 3	그룹 4	그룹 1	그룹 2	그룹 3	그룹 4
	준설토사 활용가능기준				준설토사 활용우려기준			
Pesticides ($\mu\text{s}/\text{kg}$)								
PP'-DDT	-	-	1.0	-	-	-	3.0	-
PP'-DDE	-	-	1.5	-	-	-	9.0	-
PP'-DDD	-	-	2.4	-	-	-	14.1	-
Total DDT (sum of 4,4'-DDD, 4,4'-DDE and 4,4'-DDT)	3.5	10	1.6	6.9	43	30	46.0	69
Aldrin	2.0	10	-	10	80	30	-	-
Chlordane	-	-	0.50	10	-	-	6.0	-
Dieldrin	3.1	10	0.02	10	62	30	8.0	-
Heptachlor	-	-	-	10	-	-	-	-
Gamma-BHC (Lindane)	-	10	0.32	10	-	20	1.0	-
Endrin	3.0	10	-	-	1,300	30	-	-
Toxaphene	1.0	-	-	-	2	-	-	-
PCB 28	1.0	2.0	2.0	25	30	30	6.0	50
PCB 52	1.0	2.0	1.0	25	30	30	3.0	50
PCB 101	4.0	4.0	2.0	50	30	30	6.0	100
PCB 118	4.0	4.0	3.0	25	30	30	10.0	50
PCB 138	4.0	4.0	4.0	50	30	30	12.0	100
PCB 153	4.0	4.0	5.0	50	30	30	15.0	100
PCB 180	4.0	4.0	2.0	-	30	30	6.0	50
Total PCBs	28.8	14	24.0	57	300	32	77.5	964
Dioxins and Furans ng WHO-TEQ/kg	1.4	-	-	-	10	-	-	-
Chlorinated Hydrocarbons ($\mu\text{s}/\text{kg}$)								
1,3-Dichlorobenzene	-	-	-	170	-	-	-	-
1,4-Dichlorobenzene	-	-	-	110	-	-	-	120
1,2-Dichlorobenzene	-	-	-	35	-	-	-	110
1,2,4-Trichlorobenzene	-	-	-	31	-	-	-	64
Hexachlorobenzene(HCB)	-	-	2	22	-	-	6	230
Pentachlorobenzene	-	-	1	-	-	-	1	-
Phthalates ($\mu\text{s}/\text{kg}$)								
Dimethylphthalate	-	-	-	71	-	-	-	1,400
Diethyl phthalate	-	-	-	200	-	-	-	1,200
Di-n-butyl phthalat	-	-	-	1,400	-	-	-	5,100
Butyl benzyl phthalate	-	-	-	63	-	-	-	970
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	-	-	-	1,300	-	-	-	8,300
Di-n-octyl phthalate	-	-	-	6,200	-	-	-	6,200
Phenols ($\mu\text{s}/\text{kg}$)								
Phenol	-	-	-	420	-	-	-	1,200
2-Methylphenol	-	-	-	63	-	-	-	77
4-Methylphenol	-	-	-	670	-	-	-	3,600
2,4-Dimethylphenol	-	-	-	29	-	-	-	210
Pentachlorophenol	-	-	-	400	-	-	-	690
Miscellaneous Extractables ($\mu\text{s}/\text{kg}$)								
Benzyl alcohol	-	-	-	57	-	-	-	870
Benzoic acid	-	-	-	650	-	-	-	760
Dibenzofuran	-	-	-	540	-	-	-	1,700
Hexachloroethane	-	-	-	1,400	-	-	-	14,000
Hexachlorobutadiene	-	-	-	29	-	-	-	270
N-Nitrosodiphenylamine	-	-	-	28	-	-	-	130

나타내었다.

1 그룹에 미국 위스콘신주(WPDES, 2006), 핀란드 (Helsinki commission, 2004; ICES, 2003), 영국(CEFAS, 2000; CEFAS, 2001), 덴마크(Helsinki commission 2005)

2 그룹에 벨기에(ICES, 2002; ICES, 2003), 스웨덴(ICES, 2002; ICES, 2003), 프랑스(ICES, 2002; ICES, 2003), 아일랜드(Margot Cronin et al., 2006), 네델란드(ICES 2003) 3 그룹에 독일(Helsinki commission, 2004), 스페인(T.A. Del

Valls et al., 2003; OSPAR, 2005), 호주(PORT KEMBFA CORPORATION, 2005) 그리고 4 그룹에 미국 육군공병단(USACE, 2005), 노르웨이(ICES, 2002; ICES, 2003; Margot Cronin et al., 2006)가 포함된다.

아일랜드의 기준(Margot Cronin et al, 2006)은 3단계로 구분된 기준이나 실질적으로는 Category 1과 3으로 구분된 2단계 기준으로 볼 수 있기 때문에 그룹의 분류에 포함하였으나 포르투갈의 기준은 5단계로 분류에서 제외되었다. 일본의 경우 ‘저질(수저토사)의 판정기준 환경기준’이 설정되어 있으나 퇴적물의 항목별 분석방법이 산분해법에 의한 것이 아니라 용출시험에 의한 것이므로 그룹의 분류에서 제외되었다.

표 4에 제시된 각 그룹별 수치를 기하평균 하여 표 5에 나타내었으며 항목별 수치는 대체적으로 1 그룹 < 2 그룹 < 3 그룹 < 4 그룹의 순이었으나, 유기염소계 항목은 3 그룹 < 1 그룹 < 2 그룹 < 4 그룹의 순서였다. 미국 육군공병단, 핀란드, 네덜란드, 호주를 제외한 다른 국가는 중금속 이외 항목이 기준에 포함된 것이 많지 않기 때문에 제시된 기준 값이 적은 것으로 나타났다. 중금속 이외 항목에서 1 그룹은 핀란드의 기준이, 2 그룹은 네덜란드의 기준이, 3 그룹은 호주의 기준이, 4 그룹은 미국 육군공병단의 기준이 그대로 적용된 것이 많다.

3. 환경기준의 제안

3.1 기준에 포함될 항목 선정

대부분의 선진국 ‘준설토사처리·활용기준’에 포함된 중금속 항목은 주로 As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn이다. Mn과 Fe는 주요 포함 항목이 아니며 미국 위스콘신주의 기준에 포함되어 있고, Ag는 호주의 기준에 포함되어 있다. PAHs 항목은 total PAH로만 제시한 기준과 Naphthalene과 Benzo(a)pyrene 등으로 세분화하여 제시한 기준도 있다 (ICES, 2003; OSPAR, 2005; Helsinki commission, 2005).

유기염소계는 주로 total PCB와 DDT, Aldrin, Dieldrin, Lindane, Endrin이 포함되었으며 일부 기준은 total PCB를 세분화하여 제시하였다. 선진국의 퇴적물질 기준에는

COD, TOC 등의 유기물 함량을 나타내는 항목이 포함되어 있으나 준설토사 처리·활용기준에는 유기물 함량을 나타내는 항목이 없는 것이 특징이다. 그러나 본 연구의 준설토사 처리·활용기준에는 곤충의 증식환경을 제공할 수 있는 유기물 함량을 나타내는 항목을 첨부하였다.

2006년도에 발생한 진해 신항만 준설투기장의 곤충(갈따구)사건의 경우에는 준설토사 내의 유기물 농도가 높아 곤충의 증식으로 인하여 문제를 일으킨 경우이다. 표 6은 신항만 투기장내부 준설토 조사 시기별 중금속의 평균값을 나타내고 있는데 표 1의 오염퇴적물 정화기준의 하위기준보다 낮아 준설토사의 유효활용의 경우 유기물이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

본 논문에서 준설토사처리·활용기준에 우선적으로 포함된 항목은 국내 연안 퇴적물의 주요 오염물질과 선진국의 기준에 주요하게 포함되어있는 항목을 고려하여 As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn의 중금속과 tPAH, tPCB, DDT, TBT와 유기물 함량 항목인 T-N, T-P로 선택하였다.

국내 연안퇴적물의 주요 오염물질인 Mn과 Fe는 천연부존량이 높을 것으로 예상되는 점과 다른 중금속에 비해 생물에 미치는 악영향이 적다는 점 그리고 외국의 기준항목에 주요하게 포함되지 않는다는 것을 고려하여 본 연구의 기준에 포함하지 않았다. 또한 국내 연안 퇴적물에서 IL, TOC 등도 많은 해역에서 하위기준을 초과하고 있다. PAH와 PCB를 세분화 하지 않은 것은 준설토사 활용시의 분석 편의를 고려했기 때문이다.

3.2 오염퇴적물 정화기준과 분류그룹 비교

준설토사의 활용하는데 있어 상이한 기준으로 인하여 발생할 수 있는 문제점을 해소하여 준설토사처리 및 활용기준의 실효성을 부여하기 위하여 표 1의 오염퇴적물 정화기준과 비교 평가를 실시하였으며 표 5에서 분류된 기준을 오염퇴적물 정화기준과 비교하여 표 7에 나타내었다.

표 5에 분류된 기준을 바탕으로 적절한 그룹을 선택하여 잠정적인 준설토사 활용가능기준·활용우려기준을 제시하였다. 먼저 중금속 항목은 오염퇴적물 정화기준보다 수치가 다소 높은 2 그룹을 선택하였다. PAH 항목

표 6. 신항 투기장 내부 준설토 조사 시기별 중금속 평균값의 비교(단위: mg/kg, dry weight base)

구분	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Cr
1차 조사	135.55	24.05	0.41	20.76	13.55	35.19
3차 조사	100.12	18.78	0.30	23.57	14.21	40.67
평균	117.84	21.42	0.36	22.17	13.88	37.93

표 7. 오염퇴적물 정화기준과 분류그룹의 비교

비교 항목	그룹	비교 내용
중금속	1	각 항목별 수치가 다소 낮거나 일부 비슷함
	2	각 항목별 수치가 대체적으로 다소 높음
	3	각 항목별 수치가 대체적으로 2~3배 높음
	4	각 항목별 수치가 대체적으로 4배 이상 높음
PAH 항목	1	각 항목별 수치가 매우 낮음
	2	각 항목별 수치가 대체적으로 낮음
	3	각 항목별 수치동일
	4	각 항목별 수치가 3배 이상 높음 (일부 10배 이상 높음)
유기염소계 항목	1	각 항목별 수치가 대체적으로 비슷하거나 다소 높음
	2	각 항목별 수치가 비슷하거나 일부 10배 이상 높음
	3	각 항목별 수치 대체적으로 비슷함
	4	각 항목별 수치가 5배 이상 높음 (일부 10배 이상 높음)

은 오염퇴적물 정화기준 보다 수치가 3배 이상(일부 10 배 이상) 높은 4그룹보다 수치가 동일한 3 그룹을 선택 하였다. 유기염소계 항목은 오염퇴적물 정화기준보다 수치가 비슷하거나 다소 높은 1 그룹을 선택하였다.

3.3 준설토사 처리·활용기준

앞부분에서 언급된 중금속 항목 2 그룹, PAH 항목 3 그룹, 유기염소계 항목 1 그룹, TBT 3 그룹을 바탕으로 표 8의 준설토사 처리·활용기준을 제안하였다.

중금속 항목은 2그룹을 선택하였으나, Cd의 경우 제시된 환경기준과 오염퇴적물 정화기준을 비교했을 때 그 수치가 낮았기 때문에 활용가능기준은 3그룹을 활용 우려기준은 4그룹으로 적용되었다.

Cr의 활용가능기준 및 활용우려기준과 Cu의 활용우려 기준은 오염퇴적물 정화기준과 비교했을 때 그 수치가 동일하거나 다소 낮았기 때문에 3 그룹의 기준이 적용되었다. 그리고 Cu의 활용가능기준은 일부 항만의 Cu의 수치가 높아 60으로 상향되었다. Pb와 Hg의 활용우려기준은 오염퇴적물 정화기준과 비교했을 때 그 수치가 낮았기 때문에 3그룹의 기준이 적용되었다. Zn과 Ni는 그대로 2그룹의 기준이 적용되었다. tPAH의 경우 제시된 환경기준과 오염퇴적물 정화기준(해양수산부, 2005)이 동일하나 4그룹에 제시된 tPAH의 수치가 없기 때문에 호주의 경우처럼 퇴적물질 기준과 준설토사처리·활용기준이 동일하다.

DDT의 활용우려기준은 오염퇴적물 정화기준보다 낮

표 8. 준설토사 처리·활용기준

Chemical	준설토사처리·활용기준	
	활용가능기준	활용우려기준
Metals (mg/kg)		
비소(As)	21	65
카드뮴(Cd)	1.55	11.8
크롬(Cr)	134	652
구리(Cu)	60	278
납(Pb)	62	404
수은(Hg)	0.32	2.47
니켈(Ni)	46	123
아연(Zn)	247	615
PAHs (µg/kg)		
총다환방향족탄화수소(tPAH)	4,000	45,000
Organochlorine (µg/kg)		
총유기염소화합물(tDDT)	3.5	69
총폴리염화비페닐(tPCB)	28.8	300
TBT (µg/kg)		
트리부틸주석(TBT)	10	205
PAH (µg/kg)		
나프탈렌(Naphthalene)	160	2,100
페난트렌(Phenanthrene)	240	1,500
플로란틴(Fluoranthene)	600	5,100
피렌(Pyrene)	665	2,600
벤젠트레신(Benz(a)anthracene)	261	1,600
크라이센(Chrysene)	384	2,800
벤조피렌(Benzo(a)pyrene)	430	1,600
Pesticides (µg/kg)		
클로르데인(Chlordane)	0.50	6.0
디엘드린(Dieldrin)	0.02	8.0
폴리염화비닐 28(PCB 28)	2.0	6.0
폴리염화비닐 52(PCB 52)	1.0	3.0
폴리염화비닐 101(PCB 101)	2.0	6.0
폴리염화비닐 118(PCB 118)	3.0	10.0
폴리염화비닐 138(PCB 138)	4.0	12.0
폴리염화비닐 153(PCB 153)	5.0	15.0
폴리염화비닐 180(PCB 180)	2.0	6.0
기타 (mg/kg)		
총질소(Total nitrogen)	1500	-
총인(Total phosphorus)	500	-

았기 때문에 4 그룹의 기준이 적용되었다. 총 질소(T-N)와 총 인(T-P)의 경우 외국의 준설토사관련 환경기준에 항목이 없는 관계로 미국 환경보호청의 퇴적물질기준(SQG)의 중간오염수치의 중간값(USEPA, 1996)을 적용하였다. 퇴적물에서 오염물질의 농도가 퇴적물내 천연부존량을 초과할 때 오염된 것으로 볼 수 있으므로 본 연구의 준설토사 활용가능기준은 국내 퇴적물 천연부존

량 보다 수치가 높기 때문에 적당하게 설정되었다고 볼 수 있다. 그리고 준설토사의 처리 및 활용에 있어 다양한 경험을 축적하고 장기간에 걸쳐 모니터링을 실시하고 있는 미국 육군공병단의 기준(4그룹)과 비교했을 때 본 연구에서 제시된 기준은 매우 엄격한 한 것으로 판단된다.

4. 결 론

외국의 준설토사기준은 퇴적물의 화학적 분석 및 생물학적 영향에 기초를 두고 있으나 국내의 경우 퇴적물의 화학적 분석은 이루어졌으나 생물영향과 연계된 자료의 부족으로 자체적 기준을 개발하는 것은 현실적으로 불가능하다. 본 논문에서는 국내실정에 적합한 항만 지역의 발생 준설토사 처리·활용을 위한 환경기준을 개발하고자 우선적으로 선진 외국의 준설토사 활용기준을 분류하고 상세분석하였다. 그리고 국내 퇴적물의 오염현황과 국내 퇴적물의 주요오염물질, 오염퇴적물 정화기준의 하위기준과 상위기준을 종합적으로 고려하여 준설토사 활용가능기준 및 활용우려기준을 제안하였다.

준설토사 처리·활용기준에 우선적으로 포함된 항목은 국내 연안퇴적물의 주요 오염물질과 선진국의 준설토사 처리·활용기준에 주요하게 포함되어 있는 항목을 고려하여 As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn의 8개 항목의 중금속과 tPAH, tPCB, DDT, TBT 그리고 유기물 함량 항목인 T-N, T-P으로 선택하였다. 중금속중 발암물질인 As, Cd 및 Cr의 활용가능기준은 각각 21mg/kg, 1.55mg/kg 및 134mg/kg 그리고 비발암성 물질의 경우 Cu 60mg/kg, Pb 62mg/kg, Hg 0.32mg/kg, Ni 46mg/kg, Zn 247mg/kg으로 미육군공병단(USACE)의 하위기준보다 낮은 수치의 기준을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 환경기준은 국내퇴적물의 천연부존량 보다 값이 크기 때문에 국내 환경여건에 대하여 적합한 것으로 판단되며 많은 경험과 사후 모니터링을 실시하고 있는 선진국의 기준에 비하여 매우 엄격하여 향후 기준에 적합한 준설토사를 경제적으로 가치있는 자원으로 활용할 경우 환경에 미치는 영향은 매우 작을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부와 한국해양수산기술진흥원이 지원하는 “항만구조물 신뢰성 설계법 개발, PM48000” 연구과제와 한국해양연구원 기본과제인 “하구역 관리

및 기능회복 기술개발, PE98070” 연구비 지원하에 연구가 가능했으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 창원시 (2006), 수돗물 신뢰향상을 위한 심포지엄, pp.42-48.
2. 해양수산부 (2003), 준설토물질 해양배출 평가체제 개발 연구용역, pp.150-168.
3. 해양수산부 (2005), 해양오염퇴적물 조사 정화복원체계 구축[2], pp.239-288.
4. CEFAS (2000), The impact of disposal of marine dredged material on the Flamborough Head Candidate Special Area of Conservation (cSAC), CEFAS Contract report AA001, pp.1-6.
5. CEFAS (2001), The impact of disposal of marine dredged material on the Thanet Coast and Sandwich Bay Candidate Special Areas of Conservation (cSACs), CEFAS Contract report AA001 cSAC Review Series : Report No.2, pp.16.
6. Del Valls, T.A., Casado-Martinez, M.C., Riba, I., and Blasco (2003), “Linking sediment chemical and biological guidelines for characterization of dredged material”, pp.101-105.
7. Helsinki commission (2004), National instructions for Dredging and disposal of dredged materials, Matters connected with HELCOM recommendations under HELCOM MONAS, pp.1-4.
8. Helsinki commission (2005), Examples of procedures of dumping permits submitted by contracting parties, Matters connected with HELCOM recommendations under HELCOM MONAS, pp.1-8.
9. Helsinki commission (2005), Short notice on action levels for dredged materials in Denmark, Matters connected with HELCOM recommendations under HELCOM MONAS, pp.1-2.
10. ICES (2002), Report of the working group on marine sediments in relation to pollution, Marine Habitat Committee, pp.27-42.
11. ICES (2003), Report of the working group on marine sediments in relation to pollution, Marine Habitat Committee, pp.18-48.
12. Margot Cronin, Evin McGovern, Terry McMahon and Rick Boelens (2006), Cuidelines for the assessment of dredge material for disposal in waters, Marine Environment and Health Series, No.24, pp.37-56.
13. OSPAR (2005), 2005 Assessment of data collected under the Co-ordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP), Assessment and Monitoring Series, pp.19-22.
14. PIANC (1996), Handling and treatment of contaminated dredged material from ports and inland waterways “CDM”, Vol. 1, Report of Working Group 17.
15. PORT KEMBFA PORT CORPORATION (2005), Appendix B : Environmental Assessment of Proposed Dredging and Disposal Activities, Environmental Assessment, Issue No 3, pp.16-20.
16. T.A. DelValls (2004), “Chemical and ecotoxicological guidelines for managing disposal of dredged material”, Trends in Analytical Chemistry, 23(10-11) : pp.819-828.
17. US Army Corps of Engineers (2005), Engineering and Design : Beneficial Uses of Dredged Material, Engineer Manual No. 1110-2-5026.
18. US EPA (1996), Soil Screening Guidance: User’s Manual, Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C., USA.
19. WPDES (2006), Dredging operations, General WPDES Permit No. WI-0046558-04-0. pp.1-8.

(접수일자 2007. 8. 16, 심사완료일 2008. 5. 14)