

부산신항 용원수로에서의 퇴적물 준설에 의한 용출특성 변화 연구

추민호* · 김영도** · 정원무***

Choo, Min Ho*, Kim, Young Do**, Jeong, Weon Mu***

A Study on Leaching Characteristics Change for Sediment Dredging in Yongwon Channel, Busan New Port

ABSTRACT

In Yongwon channel, its natural flow of seawater is blocked by the construction of Busan Newport including the container berth. The channel was transformed into a narrow and long one, where it is possible that ships are only allowed to pass through the north-side channel of Gyeonmado located at the point of river mouth to Songjeongcheon. So it is considered that the changes in the terrain characteristics of Yongwon channel is likely to alter the circulation of sea water, thereby changing its water quality. Contaminants are accumulated from the sediment release. In this study, before and after dredging the sediment release test was performed. As a result, after the sediment dredging is performed, the reduction rate was higher at the same point. The results show that the water quality can be improved by dredging. Each group (A~C) reduction rate of the evaluation of the reduction rate of 4.64% T-N, 18.00%, 18.59%, respectively. T-P rate of 24.75% reduction, 24.17%, 44.08%, respectively. COD reduction rate was 18.57%, 19.76%, 38.08%, respectively. These results can be used as basic data for controlling the contamination by dredging in Yongwon channel.

Key words : Sediment release, Water quality, Yongwon channel, Sediment dredging

초 록

용원해역은 부산신항 개발사업의 일환으로 추진된 북컨테이너부두 조성사업 및 항만 배후단지 조성사업으로 전면 해역이 매립되어 원활한 해수 흐름이 차단되고 송정천 하구 지점의 견마도 북쪽 통로를 이용한 선박이동만이 가능한 좁고 긴 수로형태로 변형되었다. 따라서 용원수로에 유입 되는 오염물질은 수로에 체류되어 서서히 확산되는 양상을 보일 것으로 판단된다. 본 연구에서는 용원수로 내 준설 전·후 퇴적토 용출실험을 실시한 결과 준설 후에 용출농도가 낮게 나타났으며, 그룹별(A~C) 삭감률을 산정한 결과 T-N의 삭감률은 4.6%, 18.0%, 18.6%로 나타났다. T-P의 삭감률은 24.8%, 24.2%, 44.1%로 나타났다. COD의 삭감률은 18.6%, 19.8%, 38.1%로 용원수로 내 준설 후 수질개선의 효과가 나타났으며, 준설을 통한 용원수로 내 오염원을 제어하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

검색어 : 퇴적물 용출, 수질, 용원수로, 퇴적토 준설

1. 서론

부산 신항만 해역은 장기적인 개발계획에 따라서 해양구조물 및 시설물로 인해 해안선 지형 및 단면 변화가 발생하고, 이로 인해 수역의 해수순환이 점진적으로 변화하는 지역이다. 자연 해안을 매립하여 접안시설로 이용하고 외해로부터 입사하는 파랑을 막기 위해 방파제 등을 축조함으로써 인근 해역의 해수유동 변화 및 퇴적환경의 변화, 오염물질 확산 양상의 변화가 예상된다. 진해 용원해역은

* (주)메이텍엔지니어링 대리 (MEITEC, Co. · minilater@nate.com)

** 중신회원 · 교신저자 · 인제대학교 환경공학과(낙동강유역환경연구센터) 부교수 (Corresponding Author · Inje University · ydkim@inje.ac.kr)

*** 중신회원 · 한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 책임연구원 (KIOST · wjjeong@kordi.re.kr)

Received February 6, 2014/ revised March 11, 2014/ accepted March 29, 2017

부산신항 개발사업의 일환으로 추진된 북컨테이너부두 조성사업 및 항만 배후단지 조성사업으로 전면 해역이 매립되어 원활한 해수흐름이 차단되고 송정천 하구 지점의 견마도 북쪽 통로를 이용한 선박이동만이 가능한 좁고 긴 수로형태로 변형되었다. 용원수로의 평균 너비는 약 100 m 정도이며, 길이는 3,600 m 정도로 세장비(細長比, 길이/너비=36)가 아주 큰 수로에 해당한다. 따라서 용원수로에 유입되는 오염물질은 수로에 체류되어 서서히 확산되는 양상을 보일 것으로 판단된다(Cho et al., 2008).

수변활동, 대기, 호소 및 하천을 통하여 각종 오염물질이 유입, 물리화학적·생물학적 기전에 의거 하저, 호저, 해저에 저질로서 축적된다(Cho et al., 2011). 하천, 호소, 해역 등의 저층 퇴적물에는 영양염류를 포함한 오염물질들이 다양 함유되어 있으며, 수층과 끊임없이 물질교환이 이루어지고 있고 영양염과 중금속 및 유해화학물질이 침강 또는 용출되고 있어 수질 및 저서생태계에도 영향을 끼치게 된다(Kim, 2007; Lee and Lee, 2004; Hakanson and Janson, 1983; Lennox, 1984; Markus, 1990). 호수나 하구와 같이 유속이 느린 수계의 저질토는 각종 유입 오염물이 침전되어 생성된 것으로 오염물의 침전지로 작용할 뿐만 아니라, 생물화학적 조건에 따라 수층으로 질소와 인이 용출됨으로써 영양염을 재공급하는 역할을 한다(Salomons et al., 1987; Forsberg, 1989). 일반적으로 수층에서 저질토층으로 퇴적되는 영양염류의 양은 저질토로부터의 용출량에 비해 많아 저질토의 총 영양염류는 점차 증가하기도 하지만, 특정 환경 조건하에서는 급격한 용출량 증가로 부영양화가 더욱 극심해지기도 한다(Lennox, 1984). 외부에서 유입되는 영양염 농도와 수층의 영양염 농도를 함께 감소시켜도, 저질토로부터 용출된 영양염류로 인하여 수질개선 효과가 크지 않았던 사례도 있으며(Fast et al., 1975), 부영양화 방지를 위한 수질관리 대책이 수립 시행되어 유입 영양염류가 차단된다 하더라도 저질토가 준설되지 않으면 이와 같은 정체성 수역의 부영양화현상은 상당기간 지속될 수 있다(Ryding, 1981; Lijklema et al., 1986). 또한 지속적으로 오염원이 유입될 경우 오염퇴적물은 유기물 영양염류, 유해화학물질, 중금속 등이 농축될 가능성이 높고(Maris et al., 1997), 오염퇴적물의 부상으로 인한 지속적인 오염을 일으키므로 오염퇴

적물의 처리 없이는 하천, 호소수, 해양오염의 관리에 한계가 있다(Bengtsson et al., 1975). 위 연구들과 같이 연안퇴적물에 관한 연구가 꾸준히 진행되었으나, 우리나라에서의 연안 퇴적물에 대한 유기물질 농도에 관한 연구는 외국에 비해 상대적으로 부족하다(Choi et al., 2011). 이러한 오염 퇴적토는 준설 과정에서 수중으로 부유되어 수질 및 생태계에 부정적인 영향을 주기 때문에, 효율적인 준설공법 적용을 통한 확산 범위의 저감 대책과 함께, 준설 이후의 오염 준설토에 대한 체계적인 관리와 처리 방안의 수립 및 이행이 매우 중요시되고 있다(Lee et al., 2004). 본 연구에서는 용원수로 내 증점으로 준설 전·후에 의한 영양염류의 용출률을 조사하고자 저질토를 채취한 후 저질토로부터의 영양염류 용출량을 측정하고 분석하여 장래 수질 예측을 통한 용원수로 내 오염원을 제어하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 퇴적토 채취 및 분석 방법

용출되는 오염물질의 양을 현장에서 직접 측정하기에는 한계가 있어 본 연구에서는 현장에서 퇴적토를 채취하여 실험실에서 퇴적토 용출실험을 실시하였다. 시료채취 시 grab sampler를 이용하여 퇴적물 교란을 최소화할 수 있도록 하였다. 준설 전 퇴적토 채취는 2013년 8월 6일 실시하였으며, 35일간 퇴적토에서 용출되는 오염물질을 분석하였다. 준설 후 퇴적토 채취는 퇴적층의 안정화 시간을 위하여 준설이 끝난 시점인 약 한달 후 12월 5일에 실시하였으며, 준설 전 채취와 동일한 방법으로 채취하였다. 분석된 오염물질은 용원수로의 수질에서 문제가 되는 COD, T-N, T-P이며 수질오염공정시험법에 준해 실험을 실시하였으며, COD는 망간법으로 실시하였다.

2.2 퇴적토 채취지점

용원수로는 경남 창원시 진해구 용원동에 위치하고 있으며, 지류는 송정천으로 남해로 유입하는 지방2급 하천이며 송정천의 하천유로 중심을 따라 좌안측은 행정그룹상 부산광역시 우안측은



Fig. 1. Sampling Points in Yongwon Channel

경남 창원시 진해구에 속하는 경계하천이다. 시료 채취는 용원수로 내 지점을 기준으로 하였으며, Grab sampler를 이용하여 퇴적물의 표층 약 10~15 cm 정도에서 퇴적물을 채취하였다. 준설 전 용출실험에서는 총 13개 지점을 대상으로 하여 각 지점에서의 퇴적물을 채취하였다. 준설 후의 용출실험은 준설 전 용출실험과 동일한 구역으로 실시하였다. 또한 각 지점별 정밀구간을 3개의 그룹으로 나누어 분류하였으며, A그룹은 용원수로 내측지점, B그룹은 중심지점, C그룹은 외측지점으로 그룹을 나누어 분석하였다(Fig. 1).

2.3 용출 실험장치 및 용출량 산정 방법

퇴적물 코어의 높이를 일정하게 조절한 후 직상수를 연동펌프를 이용하여 서서히 주입하여 순환시킴으로서 가능한 한 현장상황을 모사하여 장치를 제작 운전하였고, 각 지점의 저층수를 현장에서 채취하여 직상수로 사용하였다. 실험 장치에 채취한 퇴적물 시료를 채운 후 퇴적물이 부유되지 않도록 조심스럽게 현장에서 채수한 원수를 주입하였다. 시료를 주입한 후에는 대기로부터의 공기유입을 방지하기 위해 시험조 상부에 덮개를 설치하여 밀폐상태를 유지하였으며, 반응조의 온도는 상온(20~25°C)을 유지하였다. 총 13개 지점에서 채취한 퇴적물을 이용해 각 시료 당 35일 동안 혐기성 상태에서 용출실험을 동시에 실시하였고, 유출수 채취 후 채취한 양만큼 동일 직상수로 보충하였다. Fig. 2에 용출실험장치의 모식도를 나타내었으며, 퇴적물 단위중량 당 용출량(mg/kg)은 용출 실험결과를 사용해 Eq. (1)을 이용하여 산정하였다.

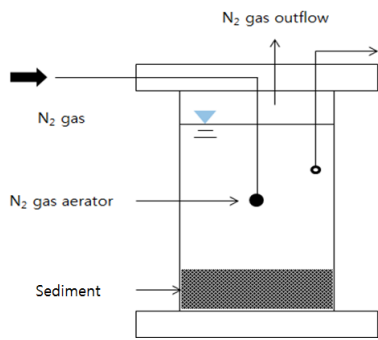


Fig. 2. Schematic of Reactor for Sediment Release Test

$$\text{용출량 (mg/kg)} = \frac{V(C_t - C_i)}{M} \quad (1)$$

V : 반응기내 직상수 용적(L)

Ct : 반응시간 t에서 유출수 오염물질 농도(mg/L)

Ci : 오염물질 초기농도(mg/L)

M : 반응기내 퇴적물 중량(kg)

3. 결과 및 고찰

3.1 용출실험 결과

용출량 산정 방법을 이용하여 단위 퇴적토(kg)당 각 지점별 용출되는 T-N, T-P, COD의 양(mg)을 나타내었다(Table 1). 용출 실험 지점 선정은 Fig. 1과 같이 총 그룹별(A, B, C)로 구분하였으며, 준설 전·후의 실시된 지점과 비교하고자 위해 선정하였다. 준설 전 용출실험 결과 A 지점에서의 T-N 용출량은 16.100 mg/kg, T-P는 2.295 mg/kg, COD는 21.90 mg/kg으로 산정되었으며, 준설 후 용출실험 결과에서의 T-N 용출량은 15.305 mg/kg, T-P는 1.713 mg/kg, COD는 17.48 mg/kg으로 산정되었다. B 지점에서의 준설 전 용출실험 결과 T-N 용출량은 16.503 mg/kg, T-P는 2.847 mg/kg, COD는 25.05 mg/kg으로 산정되었으며, 준설 후 용출실험 결과 T-N 용출량은 13.543 mg/kg, T-P는 2.130 mg/kg, COD는 19.86 mg/kg으로 산정되었다. C 지점에서는 준설 전 용출실험 결과 T-N 용출량은 19.487 mg/kg, T-P 3.160 mg/kg, COD는 29.51 mg/kg으로 나타났으며, 준설 후 용출실험 결과 T-N 용출량은 15.845 mg/kg, T-P 1.772 mg/kg, COD는 18.08 mg/kg으로 나타났다. 이에 대한 그룹별 준설 전·후에 대한 결과는 Figs. 3 and 4에 제시하였으며, A~C 지점에서의 용출 결과 C 지점은 외측지점으로 가장 높은 용출량이 발생하였다. 외측지점에서의 높게 나타난 원인으로는 선행연구 결과에 따른 지리적 특성이 육상과 인접하여 있기 때문에 육상에서 나오는 오염물질에 대한 영향이 다른 그룹보다 더 많음을 알 수 있으며, 또한 정박되어 있는 선박들이 많기 때문에 선박들 정비 시 유출되는 기름이나 오염물질도 영향력이 높다고 판단된다.

Table 1. Results of Release Test for Before and After Dredging Sediment (mg/kg)

Site		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Before dredging sediment	T-N	21.004	19.152	12.257	13.853	17.748	12.257	15.832	18.641	15.769	19.982	18.386	20.301	19.280
	T-P	2.205	2.078	1.898	2.003	3.533	2.790	2.505	3.053	2.798	3.188	2.783	3.773	2.895
	COD	21.00	18.00	27.30	25.50	28.20	17.10	26.10	27.30	19.20	30.90	32.40	27.00	27.75
After dredging sediment	T-N	20.123	17.730	11.880	10.988	12.945	12.083	14.708	16.388	13.853	15.128	14.600	15.473	18.180
	T-P	1.278	1.716	1.551	1.873	3.032	1.587	2.433	1.728	1.886	1.287	1.261	2.310	2.233
	COD	17.18	13.55	21.80	20.03	15.98	18.20	16.65	26.18	17.25	14.25	18.90	21.60	17.55

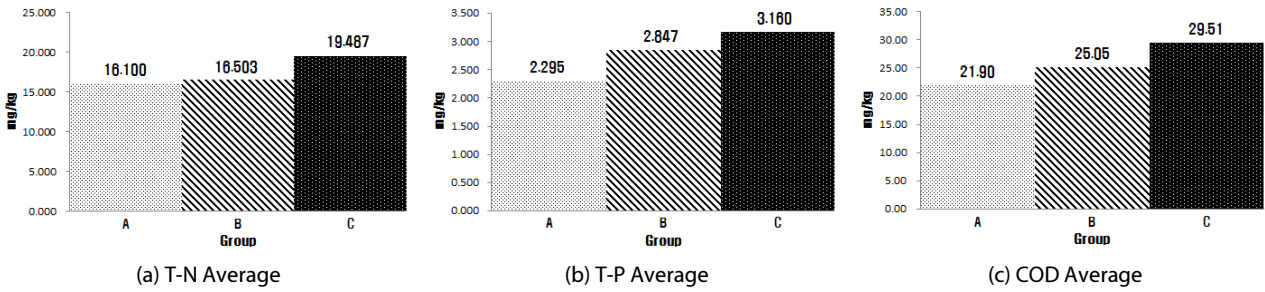


Fig. 3. Sectional Results of 1st Sediment Release Test (Before Dredging)

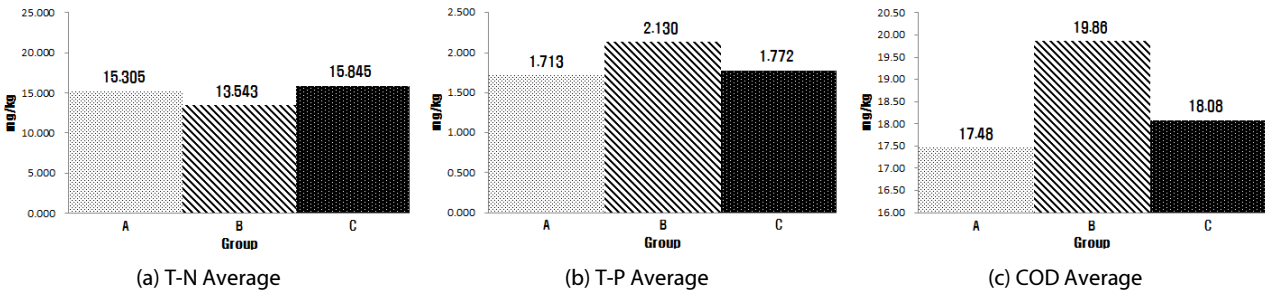


Fig. 4. Sectional Results of 2nd Sediment Release Test (After Dredging)

3.2 용출량 공간분포 특성

Fig. 5는 용원수로 내 준설 전·후에 대한 용출량을 비교하기 위해 삭감률을 나타내었다. T-N의 삭감률은 A 지점에서는 4.64%, B 지점에서는 18.00%, C 지점에서는 18.59%로 나타났다. T-P의 삭감률은 A 지점에서는 24.75%, B 지점에서는 24.17%, C 지점에서는 44.08%로 나타났다. COD의 삭감률은 A 지점에서는 18.57%, B 지점에서는 19.76%, C 지점에서는 38.08%로 나타났다. A~C 지점에서의 삭감률에서의 C 지점에서 가장 많은 삭감이 이루어졌다. 준설 전과 준설 후의 실험을 통하여 용출량의 농도 분포 특성을 나타내기 위해 농도 분포를 나타내었고, 격자를 구성한 후 지형자료에 준설 전과 준설 후의 농도를 적용하여 선형보간하였다. 준설 전과 준설 후 농도 분포를 확인한 결과 준설 후 용출량이 현저히 낮아진 것을 확인할 수 있으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

3.3 준설에 따른 수질영향 분석

용원수로 내 준설로 인하여 부유토사 발생으로 인하여 용원수로 내 부근에서 준설이 실시된 15개 지점을 선정하여 수질변화 분석을 실시하였으며, Fig. 7에 나타내었다. 준설 완료된 시점인 11월 11일에 준설이 완료되었으며, 시료채취는 3일 후 11월 14일에 실시하였으며, 수면과 sediment 사이의 1/3 지점에서 채수하였다. 준설 후 수질결과를 분석하기 위해 환경정책기본법 시행령에서 정한 해역의 수질 등급에 따른 기준으로 비교하였으며, 그룹별 A, B, C 지점을 나누어 용원수로 내측과 중심, 외측으로 분류하여 수질변화를 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다. A 지점에서의 T-N 수질농도 결과 1.474 mg/L, T-P는 0.293 mg/L, COD 결과 7.16 mg/L로 나타났다. B 지점에서는 T-N 수질농도 결과 1.436 mg/L, T-P는 0.271 mg/L, COD 결과 6.72 mg/L로 나타났다. C 지점에서의 T-N 수질농도 결과 1.958 mg/L, T-P는 0.362

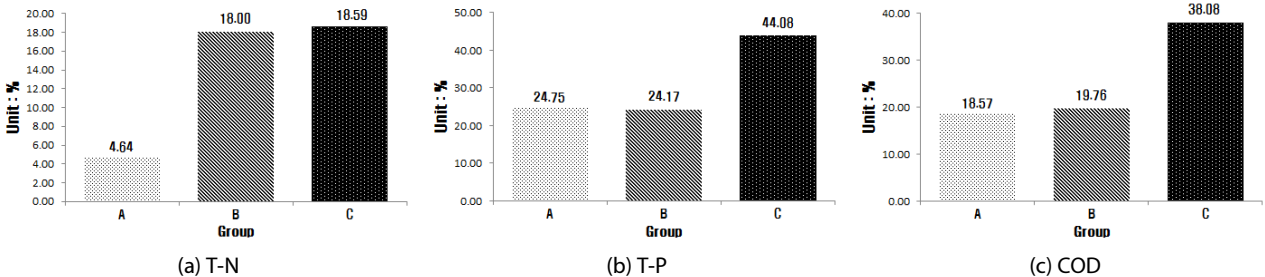


Fig. 5. Reduction of Sediment Release Rate Analysis

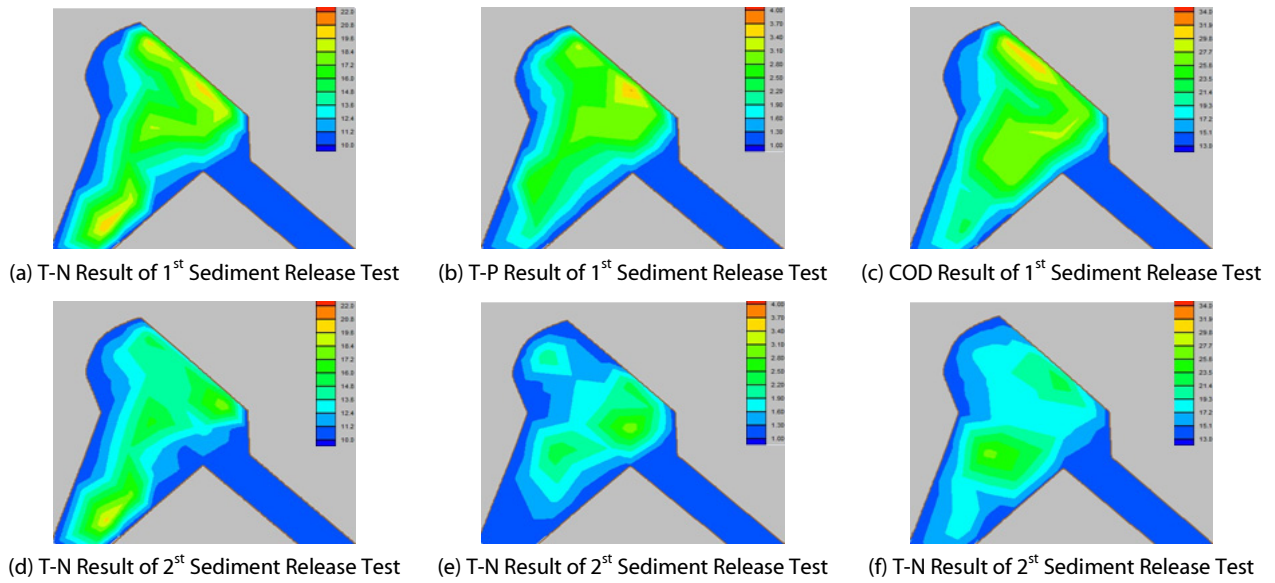


Fig. 6. Spatial Distribution of Sediment Release



Fig. 7. Sampling Points in Yongwon Channel

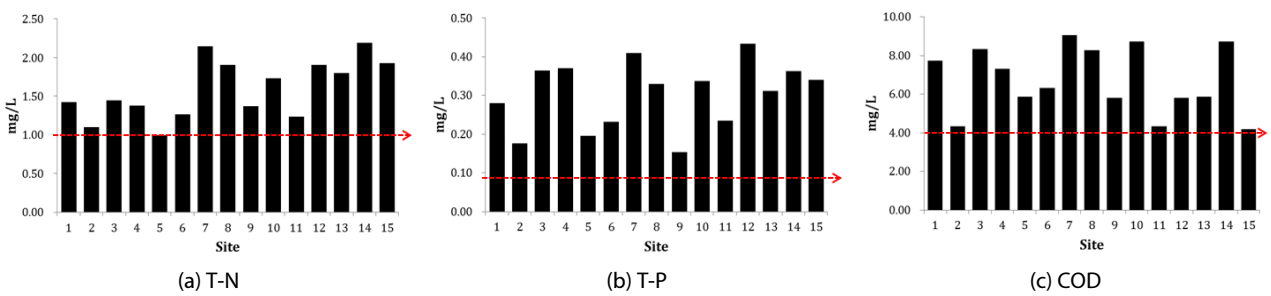


Fig. 8. Results of Water Quality

Table 2. Results from Dredging (mg/L)

Site	T-N	T-P	COD	Site	T-N	T-P	COD	Site	T-N	T-P	COD
1	1.420	0.280	7.73	6	1.267	0.232	6.33	11	1.233	0.235	4.33
2	1.096	0.177	4.33	7	2.143	0.410	9.07	12	1.905	0.434	5.80
3	1.445	0.364	8.33	8	1.905	0.330	8.27	13	1.803	0.311	5.87
4	1.377	0.370	7.33	9	1.369	0.154	5.80	14	2.194	0.363	8.73
5	0.994	0.196	5.87	10	1.735	0.338	8.73	15	1.931	0.340	4.20

Table 3. Sectional Results from Dredging (mg/L)

Site	T-N	T-P	COD
A	1.474	0.293	7.16
B	1.436	0.271	6.72
C	1.958	0.362	6.15

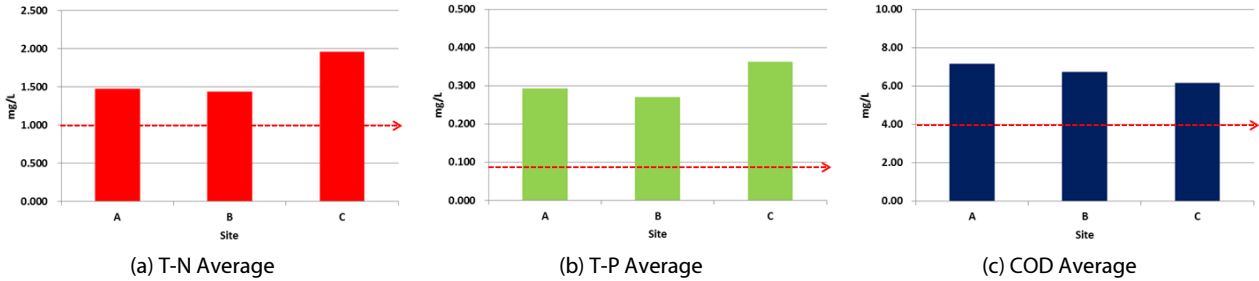


Fig. 9. Results of Water Quality

mg/L, COD 결과 6.15 mg/L로 나타났다. 그룹별 전체적으로 농도가 해역의 수질 등급 3등급 이상 높게 나타났다(Fig. 9). 이러한 오염 퇴적토는 준설 과정에서 수중으로 부유되어 수질 및 생태계에 부정적인 영향으로 수질오염농도가 높아진 것으로 판단된다.

4. 결론

용원수로 내에서 준설 전·후에 대한 퇴적토 용출실험을 실시하였으며, 그에 따른 결과 분석 및 부유토사에 의한 수질변화와 공간별 퇴적물 분포에 따른 용출량 비교 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 용원수로 내 준설 전·후에 대한 용출실험 결과를 비교한 결과를 그룹별(A, B, C)로 나누어 구분하였다. 준설 전 용출실험 결과 A 지점에서의 T-N 용출량은 16.100 mg/kg, T-P는 2.295 mg/kg, COD는 21.90 mg/kg으로 산정되었으며, 준설 후 용출실험 결과에서의 T-N 용출량은 15.305 mg/kg, T-P는 1.713 mg/kg, COD는 17.48 mg/kg으로 산정되었다. B 지점에서의 준설 전 용출실험 결과 T-N 용출량은 16.503 mg/kg, T-P는 2.847 mg/kg, COD는 25.05 mg/kg으로 산정되었으며, 준설 후 용출실험 결과 T-N 용출량은 13.543 mg/kg, T-P는 2.130 mg/kg, COD는 19.86 mg/kg으로 산정되었다. C 지점에서는 준설 전 용출실험 결과 T-N 용출량은 19.487 mg/kg, T-P 3.160 mg/kg, COD는 29.51 mg/kg으로 나타났으며, 준설 후 용출실험 결과 T-N 용출량은 15.845 mg/kg, T-P 1.772 mg/kg, COD는 18.08 mg/kg으로 나타났다. A~C 지점에서의 용출 결과 C 지점은 외측지점으로 가장 높은 용출량이 발생하였다. 외측지점에서의 높게 나타난 원인으로는 선행연구 결과에 따른

지리적 특성이 육상과 인접하여 있기 때문에 육상에서 나오는 오염물질에 대한 영향이 다른 그룹보다 더 많음을 알 수 있으며, 또한 정박되어 있는 선박들이 많기 때문에 선박들 정비 시 유출되는 기름이나 오염물질도 영향력이 높다고 판단된다.

(2) 준설 전·후에 따른 용출 삭감률을 비교하기 위해 삭감률을 그룹별 A~D 지점까지 분류하였으며, T-N의 삭감률은 A 지점에서는 4.64%, B 지점에서는 18.00%, C 지점에서는 18.59%로 나타났다. T-P의 삭감률은 A 지점에서는 24.75%, B 지점에서는 24.17%, C 지점에서는 44.08%로 나타났다. COD의 삭감률은 A 지점에서는 18.57%, B 지점에서는 19.76%, C 지점에서는 38.08%로 나타났다. A~C 지점에서의 삭감률에서의 C 지점에서 가장 많은 삭감이 이루어졌다. 준설 전과 준설 후의 실험을 통하여 용출량의 농도 분포 특성을 나타내기 위해 SMS 모형의 후처리시스템을 이용하여 농도 분포를 나타내었고, 격자를 구성한 후 지형자료에 준설 전과 준설 후의 농도를 적용하여 선형보간하였다.

(3) 준설 후 부유토사에 의한 망산도 부근 내에 수질변화를 알아보기 위해 총 15개 지점을 대상으로 해수를 채취하여 실험을 실시하였으며, 그룹별 A~C 지점을 수질변화를 각각 비교한 결과 A 지점에서의 T-N 수질농도 결과 1.474 mg/L, T-P는 0.293 mg/L, COD 결과 7.16 mg/L로 나타났다. B 지점에서는 T-N 수질농도 결과 1.436 mg/L, T-P는 0.271 mg/L, COD 결과 6.72 mg/L로 나타났다. C 지점에서의 T-N 수질농도 결과 1.958 mg/L, T-P는 0.362 mg/L, COD 결과 6.15 mg/L로 나타났다. 그룹별 전체적으로 농도가 해역의 수질의 3등급 이상 높게 나타났으며, 이러한 오염 퇴적토는 준설 과정에서 수중으로 부유되어 수질 및 생태계에 부정적인 영향으로 오염농

도가 높아진 것으로 판단된다.

- (4) 본 연구에서는 용원수로 부근에서의 준설 전·후에 대한 퇴적토 용출실험을 실시한 결과 준설 후 용출량이 낮아져, 준설 후에 의한 영향으로 오염물질의 양이 낮아진 것으로 보아, 용원수로 내에서의 수질효과 개선을 가져온 것으로 판단된다. 하지만 용원수로의 수질은 퇴적토 용출뿐만 아니라 육역 및 외해의 유입부하 변화에도 영향을 받고, 재퇴적에 따른 용출량도 증가 될 수 있으므로, 향후 이러한 부분에 대한 지속적인 모니터링을 필요로 한다.

감사의 글

본 연구는 부산지방해양만청 부산항건설사무소의 지원을 받아 한국해양과학기술원과 (주)세광종합기술단이 공동으로 수행중인 부산항 신항 해양수리현상 연구개발용역 중 용원수로의 수질변화 분석 및 대책 검토 위탁과제에 의해 수행된 것임.

References

- Bengtsson, L., Fleischer, S., Lindmark, G. and Ripl, W. (1975). "Lake trummen restoration project I." *Water and Sediment Chemistry*, Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol., Vol. 19, pp. 1080-1087.
- Cho, H. Y., Chae, J. W., Park, J. G., and Koo, M. S. (2008). "Trend analysis of the COD and nutrients concentrations in the Yongwon channel, Chinhae." *Journal of the Korean Society of Coastal and Ovean Engineers*, Vol. 20, No. 4, pp. 421-428.
- Choi, H. G., Moon, H. B., Choi, M. K. and Yu, J. (2011). "Mornitoring of organic contaminats in sediments from the Korea coast: Spatial distribution and temporal trends (2001-2007)." *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 62, pp. 1352-1361.
- Fast, A. W., Dorr, V. A. and Rosen, R. J. (1975). "A submerged hypolimnion aerator." *Water Resources*, Vol. 11, No. 2, pp. 287-293.
- Forsberg, C. (1989). "Importance of sediments in understanding nutrient cyclings in lakes." *Hydrobiologia*, Vol. 176/177, pp. 263-277.
- Hakanson, L. and Jansson, M. (1983). *Principles of lake sedimentology*.
- Kim, D. H. (2007). "Study on the sediment quality in bottom water." *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 13, No. 1, pp. 93-102.
- Lee, C. W., Kwon, Y. T. and Yun, J. H. (2004). "Development of dredging index for the rational remediation of polluted coastal sediments." *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 70-74.
- Lee, Y. S. and Lee, K. S. (2004). "Organic sediment distribution and release characteristics on lake Daechung." *Journal of the Korean Society of Environ Engineers*, Vol. 26, No. 6, pp. 665-669.
- Lennox, L. J. (1984). "Lough ennel laboratory studies on sediment phosphorous release under varying mixing." *Aerobic and Anaerobic Conditions.*, Freb water Biology, Vol. 14, pp. 183-187.
- Lijklema, L., Gelencser, P., Szilagy, F. and Somlyody, L. (1986). *Sediment and its interaction with water*, In Modeling and Managing Shallow Lake Eutrophication (Edited by Somlyody L. and van Straten G.). Springer, Berlin.
- Maris, K. M. and Elga, A. E. (1997). "Sedimentary humic substances form lakes in latvia." *Environment International*, Vol. 23, No. 6, pp. 783-790.
- Markus, H. (1990). "Influence of the lungworm arenicola marina on porewater nutrient profiles of sand flat sediments." *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 62, pp. 241-248.
- Ryding, S. O. (1981). *Reversibility of man-induced eutrophication*, Experiences of a lake recovery study in Sweden. Int. Rev.
- Salomons, W., Rooij, N. M. and Bril, J. (1987). "Sediments as a source for contaminants." *Hydrobiologia*, Vol. 149, pp. 13-30.