

부산 광안대교 하부 퇴적토 오염도 평가

Estimation of Contamination Level of Sediments at the Below of Busan Gwang-an Bridge

김석구 · 안재환 · 강성원 · 윤상린 · 이정우 · 이제근* · 임준혁** · 김동수* · 이태윤*[†]
Seog-Ku Kim · Jae-Whan Ahn · Sung-Won Kang · Sang-Leen Yun · Jungwoo Lee
Jea-Keun Lee · Jun-Heok Lim · Dong-Soo Kim · Tae-yoon Lee*[†]

한국건설기술연구원 환경연구실 · *국립부경대학교 환경공학과 · **국립부경대학교 화학공학과
Environmental Engineering Research Disision, Korea Institute of Construction Technology

**Department of Environmental Engineering, Pukyong National University*

***Department of Chemical Engineering, Pukyong National University*

(2013년 10월 7일 접수, 2013년 10월 23일 채택)

Abstract : In this study, physical properties and heavy metal contents of sediments obtained from the bottom of Gwangan bridge were measured to determine pollution level of the sediments. From the results of the oxide contents of the sediments, SiO₂ was decreased as the sampling points became more distant from the stream of river. On the contrary, CaO showed opposition aspect to SiO₂. Ignition loss of sediments ranged from 7.2 and 14.3% and 0.9 and 5.5% for TOC. For EPA guidelines of ignition loss, all sampling points were classified as heavily polluted areas. When TOC was considered, all areas were classified as lowest effect level except for GW7 where classified as no effect level. All areas were free of heavy metal contamination evaluated by USEPA and Canadian guidelines. However, all areas were classified as heavily contaminated areas due to the high value of ignition loss when USEPA was used.

Key Words : Gwangan Bridge, Sediments, Evaluation of Pollution, Heavy Metals, Ignition Loss, TOC

요약 : 본 연구는 광안대교 하부의 퇴적토 오염조사를 위해 퇴적토의 기본물성 및 중금속 함량을 측정하였다. 퇴적물 시료의 산화물을 분석한 결과, SiO₂와 CaO의 경우 강하구에서 멀어 질수록 SiO₂는 증가하고 CaO는 감소하는 경향을 보였다. 강열감량의 경우, 7.2~14.3%의 분포를 보여 비교적 높은 값을 나타내었고 TOC는 0.9~5.5%로 지역에 따라 편차가 큰 것을 알 수 있었다. 이는 USEPA 퇴적물환경기준(비오염, 중간오염, 심한오염)에 따라 심한오염으로 평가되었고, TOC의 경우, 강하구에서 가장 먼 시료채취 지점(GW7)은 영향없음으로 평가되었고 나머지 지역은 최소영향수준으로 평가되었다. 중금속의 경우에는 USEPA와 캐나다 기준으로 평가하였을 때 모두 비오염으로 평가되어 중금속에 대한 오염도는 없는 것으로 평가되었다. 다만, 강열감량의 값이 크기 때문에 USEPA 기준으로 평가할 때 중금속의 오염은 없지만 전체적으로는 심한 오염으로 평가되었다.

주제어 : 광안대교, 퇴적토, 오염도평가, 중금속, 강열감량, TOC

1. 서론

산업의 발달과 도시의 인구집중은 필연적으로 산업폐수 및 생활하수의 대량 발생을 유발하며 이들 폐수는 하천을 통해 해양으로 유입되게 된다. 연안해역의 자정능력을 벗어난 오염물질의 유입은 해양오염을 유발하여 생태계 교란을 일으키게 된다. 우리나라 남해 동단에 위치한 부산시는 인구 350만의 대도시이며, 도시에서 발생한 생활하수는 대부분이 하수처리장에서 처리 후 하천 및 해양으로 방류되지만 일부 하수는 처리없이 하천으로 방류되어 해양으로 유입되고 있다. 부산의 동쪽에는 국제적인 요트경기장, 광안리 및 해운대 해수욕장이 인접해 있는 관광지이며, 해운대와 광안리를 해상에서 연결하는 광안대교가 위치하고 있다. 광안리 해수욕장은 이용인원이 연 1,000만명 정도로 부산의 대표적인 관광지이나 광안만으로 유입되는 수영천의 오염과 인근

생활하수의 유입으로 수질이 급격히 악화되고 있다.^{1,2)} 강우 시 광안리 해수욕장으로 유입되는 비점오염물질로 인해 인근 해역의 COD와 SS의 농도가 2.0~30 mg/L와 7.0~200.0 mg/L에 달하는 것으로 보고 되었다.¹⁾ 광안대교의 경우 광안리 해수욕장과 인접해 있는데, 도로에 축적된 오염물질은 강우 시 별다른 처리없이 바로 해양으로 유입되고 있는 상황이다.

하천을 통해 해양으로 유입된 유기물 및 영양염류는 연안해역의 부영양화를 촉발시킬 수 있으며, 중금속 성분은 해수 중 체류시간이 매우 짧으며 입자물질과 친화력이 크기 때문에 침강입자에 흡착되어 퇴적토에 농축이 된다.^{3,4)} 우리나라 연안해역의 오염도 조사는 주로 마산만과 진해만의 중금속 오염에 관한 연구가 대부분이며, 부산 연안해역에 대한 연구는 상대적으로 부족한 편이다. 관련 연구로는 부산 수영만 유역에서의 퇴적토 중금속 농도 조사,⁵⁾ 수영만의 비점원 오염부하의 특성과 영향 조사,¹⁾ 광안리 해수욕장의 비

[†] Corresponding author E-mail: badger74w@pknu.ac.kr Tel: 051-629-6530 Fax: 051-629-6523

브리오 세균조사⁶⁾ 등이 있다.

퇴적토의 오염여부를 가리기 위해 세계 각국에서 퇴적토 오염기준을 제시하고 있는데, 그중 미국과 캐나다에서 제시한 기준이 널리 사용되고 있다.^{7,8)} 미국과 캐나다에서 제시한 기준은 중금속과 유기물질 함량을 기준으로 오염도 정도를 분류하는 방법이며, 오염되지 않은 지역을 기준으로 해당 지역의 상대적인 오염도를 평가하는 기법인 지화학적 농축계수인 index of geoaccumulation (I_{geo})과 중농축계수법인 enrichment factor (EF)도 널리 사용된다.^{9,10)}

본 연구에서는 부산 광안리 해수욕장에 위치한 광안대교 하부의 퇴적물을 채취하여 유기물 및 중금속 함량을 측정하였고, 미국, 캐나다에서 제시한 절대적 기준치와 상대적 평가기법인 I_{geo} 와 EF를 이용하여 오염여부를 판명하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 시료채취 및 연구범위

부산 광안대교 저층의 퇴적물을 채취하기 위해 부산 소재 P대학교의 600톤급 해양탐사선을 2012년 11월에 투입하여 약 2,000 m 길이의 광안대교 하부에 7개의 시료채취 장소를 설정한 후 Vanveen grab sampler로 시료를 채취하였다. 샘플러의 용량은 9 L이며, 320 ϕ × 270 mm의 크기에 무게는 25 kg이었다. 퇴적물 시료는 시료의 균일성 확보를 위해 각 시료채취 장소를 기준으로 동서남북 50 m에 위치한 4지점에서 채취하여 균일하게 혼합 후 실험실로 운반하여 4°C에서 냉장보관 후 해양환경 공정시험방법에 의거하여 분석을 실시하였다. 7개의 시료채취 장소는 Fig. 1에 표시되었다. 시료채취 장소는 채취 순서대로 GW1에서 GW7로 명명하였다.

2.2. 실험방법

퇴적물의 유기물 함량을 나타내는 강열감량은 해양오염공

정시험법의 강열감량 시험방법에 따라 충분히 건조된 시료 5 g을 550°C 전기로에서 2시간 동안 강열시킨 후 시료를 데시케이터 속에서 항량이 되도록 건조한 후, 강열 전·후의 무게 차로 계산하였다. 퇴적물의 유기탄소 분석은 충분히 건조된 시료를 200 mesh 이하로 분쇄한 후 Total organic carbon analyzer (Shimadzu, Japan)를 이용하여 수행되었다.

퇴적물의 중금속 함량은 해양오염공정시험방법의 중금속 분석방법(유도결합플라즈마발광광도법)에 따라 분석하였다. 본 연구에서는 Optima 3300XL Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer (Perkin elmer, USA)를 사용하여 중금속 항목을 분석하였다.

퇴적물의 광물조성은 XRD 회절분석을 통해 조사되었고, 물리화학적 특성은 XRF 분석을 실시하여 퇴적물에 포함된 산화물의 함량을 조사하여 규명하였다.

2.3. 오염도 산정방법

본 연구에서는 현재 세계적으로 가장 많이 인용되고 있는 퇴적물 환경기준인 USEPA에서 설정한 오대호 퇴적물 분류기준과 캐나다 온타리오 환경부 퇴적물 환경기준(OSQG)를 적용하여 오염도를 평가하였다. USEPA에서는 5개의 중금속(Cd, Cu, Ni, Pb, Zn), 퇴적물 COD, 강열감량을 기준으로 비오염, 중간오염, 심한오염으로 분류하고 있다. 캐나다의 경우에는 5개의 중금속(Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)과 TOC를 기준으로 비오염, 최소영향수준, 심각영향수준으로 분류하고 있다.

퇴적물 시료의 중금속 농도를 측정 후, 각 중금속에 대해 I_{geo} 값을 계산하여 퇴적물의 오염도를 산정한다.⁸⁾ I_{geo} 값은 식 (1)로 계산하였다.

$$I_{geo} = \log_2(C_n / (1.5 \times B_n)) \quad (1)$$

여기서, C_n 은 퇴적물 시료에서 측정된 중금속 n의 농도이고, B_n 은 중금속 n의 배경농도를 의미한다. 배경농도의 변동성을 고려하여 보정 상수 1.5를 곱하여 전체적으로 값을 보정

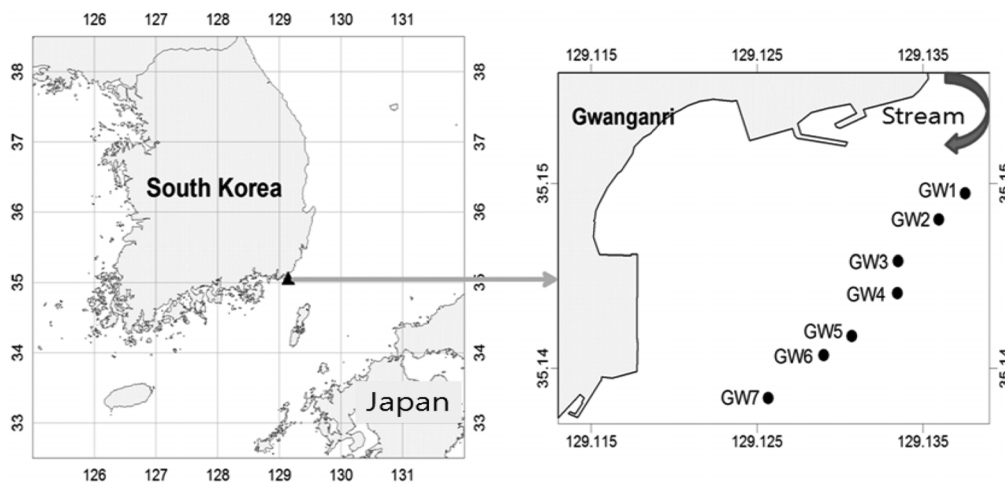


Fig. 1. Map showing the sampling sites of Gwanganri beach.

Table 1. Scale of pollution intensity for Geoaccumulation index values (I_{geo})

I_{geo}	Class	Pollution intensity
>5	6	Very strongly polluted
4-5	5	Strongly polluted
3-4	4	Moderately to strongly polluted
2-3	3	Moderately polluted
1-2	2	Unpolluted to moderately polluted
0-1	1	Unpolluted
<0	0	Background levels

하여 준다. I_{geo} 값을 이용한 퇴적물의 오염도 산정은 Table 1에 요약되어 있다.

퇴적물 시료에서 측정된 각각의 중금속 항목들에 대한 중농축계수(EF)는 식 (2)로 계산하였다.

$$EF = (C_{sed} - C_{back}) / C_{back} \quad (2)$$

여기서, C_{sed} 는 퇴적물 시료에서 측정된 각각의 중금속 농도이며, C_{back} 는 해당되는 중금속의 배경농도를 의미한다. 여기서, EF의 값이 1보다 크면 인간활동에 의한 외부오염의 가능성이 있는 것으로 산정한다. 각 시료에서 측정된 각각의 EF 값을 모두 더한 값을 총 중농축계수(R)라고 하며 식 (3)으로 계산하였다.

$$R = (\sum EF) / n \quad (3)$$

여기서, n은 고려대상 중금속 숫자이며, R값이 1보다 작으면 비오염, $1 < R < 2$ 는 경우에는 약한 오염, $2 < R < 3$ 은 경우에는 중간 오염, 그리고 $R > 3$ 경우에는 심한 오염으로 분류한다.

3. 실험결과 및 해석

3.1. 퇴적토 성분분석

광안대교 하부에서 채취한 7개 시료에 대한 XRF 분석, 강열감량 및 총유기탄소(TOC)에 대한 분석 결과가 Table 2에 요약되어 있다. 퇴적물 시료에 포함된 산화물에 대한 분석결과를 통해 모든 시료에서 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, Fe_2O_3 , K_2O ,

MgO , Na_2O 의 함이 95% 이상이었으며, SiO_2 와 CaO의 함량을 제외한 나머지 항목들의 함량은 비슷한 값을 보여주었다. SiO_2 와 CaO의 시료채취 지점에 따른 함량변화는 Fig. 2에 나타내었다. SiO_2 의 경우, GW1에서 51.5%였으며 GW2에서 41.8%로 급격히 감소하였으나, GW3부터 GW7까지는

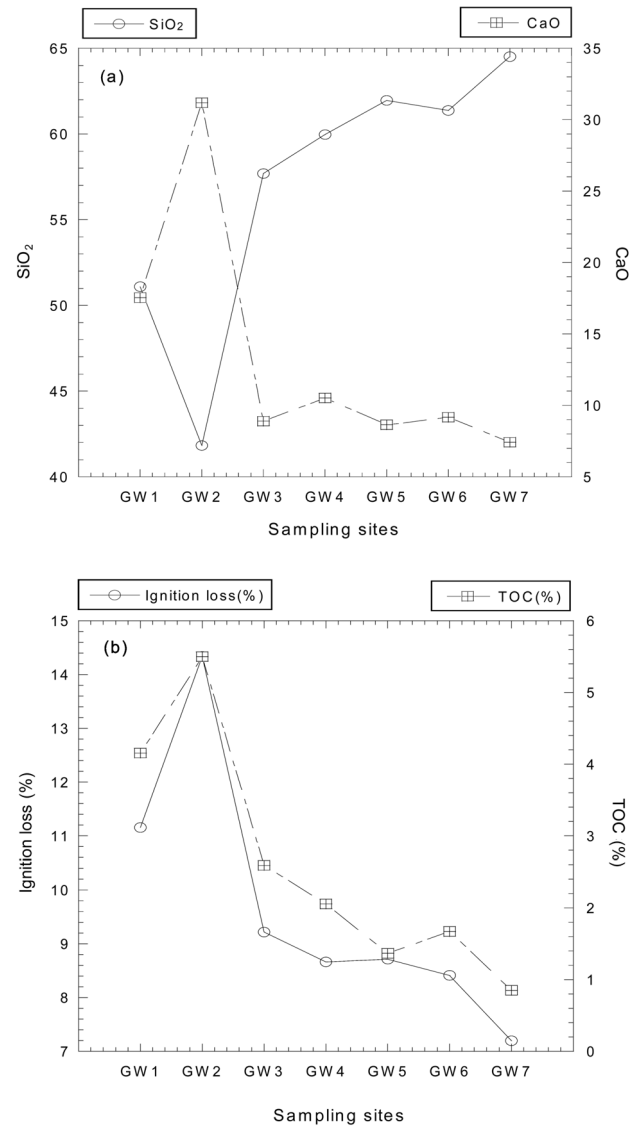


Fig. 2. Concentrations of SiO_2 and CaO (a) and Ignition loss and TOC (b) measured at Sampling sites between GW1 and GW2.

Table 2. Results of oxides, total organic carbon, and ignition loss of sediments collected from sediments of Gwangan bridge (wt, %)

Sampling sites	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	MgO	SO_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	Rb ₂ O	ZnO	CuO	Ignition loss	TOC
GW1	51.10	17.54	14.80	3.85	3.27	2.66	2.54	1.19	0.66	0.23	0.09	ND	ND	ND	11.2	4.2
GW2	41.83	31.19	10.25	3.13	2.42	3.43	2.76	1.36	0.47	0.26	0.10	ND	ND	ND	14.3	5.5
GW3	57.69	8.89	16.41	4.23	3.57	2.47	2.63	1.40	0.64	0.20	0.07	0.02	ND	ND	9.2	2.6
GW4	59.97	10.54	13.75	3.71	3.82	2.31	2.54	0.96	0.71	0.19	0.09	ND	ND	ND	8.7	2.1
GW5	61.97	8.64	13.86	3.79	3.81	2.53	2.24	0.66	0.73	0.19	0.11	ND	ND	ND	8.7	1.4
GW6	61.37	9.16	13.25	4.18	3.87	2.47	2.61	0.81	0.67	0.18	0.08	ND	0.02	ND	8.4	1.7
GW7	64.51	7.42	13.20	3.31	4.17	2.77	1.99	0.55	0.63	0.15	0.08	0.02	ND	ND	7.2	0.9

지속적으로 증가하여 GW7에서 64.5%로 제일 높은 값을 나타내었다. CaO의 경우는 SiO₂와 상반된 변화를 보여주었는데, GW2에서 급격히 증가하다가 GW3부터 GW7까지는 서서히 감소하는 양상을 보여주었다. TOC의 경우, 0.9~5.5%, 강열감량의 경우, 7.2~14.3%의 분포를 나타내었다. 강열감량과 TOC의 경우는 GW2에서 가장 높은 값을 보였으며, 이후 지속적으로 감소하여 GW7에서 가장 낮은 값을 보여주었다(Fig. 2(b)). 수영장에서 유입되는 하천수는 Fig. 1에 표시된 Stream으로 표시되었는데, 수영장 하천수는 일부 처리되지 않는 생활하수의 유입으로 유기물 함량이 높기 때문에 GW1과 GW2 퇴적토에서 가장 높은 강열감량과 TOC 값을 나타낸 것으로 판단된다. 이후 강열감량과 TOC 값이 지속적으로 감소하는 것은 하천수의 영향으로 인한 퇴적토 성분 변화에 미치는 영향이 하천에서 멀어질수록 감소한다고 판단된다.

3.2. 퇴적토 중금속 농도 및 오염도 평가

부산 광안대교 하부 퇴적토에 대한 중금속 함량 분석(As, Be, Cr, Cd, Cu, Fe, Ni, Zn, Sb, Ti, Pb)을 실시하였고 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 본 연구에서는 COD에 대한 분석을 하지 않았으므로 평가지표에 포함시키지 않았다. 강열감량의 경우, USEPA 기준에 따라 GW1에서 GW6까지는 8% 이상이므로 심하게 오염되었고, GW7은 7.2%이므로 심한 오염과 중간 오염 사이에 있다고 볼 수 있다. TOC의 경우, USEPA의 기준은 없으므로 캐나다 환경기준으로 평가하면 GW1에서 GW6은 최소영양수준과 심각영양 수준 사이이며, GW7은 영향없음으로 판명되었다.

중금속의 경우에는 USEPA의 오염기준에 포함된 5개의

중금속 지표(Cd, Cu, Ni, Zn, Pb)를 이용해 퇴적물 오염도를 평가하면, Cd의 경우, 7개의 시료에서 모두 불검출되었으므로 비오염으로 평가되었다. Cu의 경우에는 7개 시료 모두 비오염기준인 25 mg/kg 이하로 검출되었다. Ni과 Zn의 경우도 모든 시료에서 비오염 기준인 20 mg/kg과 90 mg/kg 이하로 검출되었으며, Pb의 경우는 모든 시료에서 검출되지 않았다.

캐나다 기준으로 평가 시에도 5개 중금속 지표 모두에서 영향없음으로 판명되었다.

3.3. 지하학적 농축계수(I_{geo})와 중농축계수법(R)에 의한 오염도 평가

부산 광안대교 하부퇴적토 7개 시료에서 분석된 중금속들에 대한 지하학적 농축계수와 중농축계수가 Table 4에 요약되어 있다. 먼저 I_{geo} 결과값에 의하면, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn는 0과 1의 사이 값을 나타내어 1그룹으로 분류된다. 1그룹은 비오염으로 분류되기 때문에 7개 시료 모두 상위 5개 중금속에 대해 비오염이라고 판단된다. 1보다 작기 때문에 Class 0으로 분류되며, 이는 일반적인 해양 퇴적토의 배경농도와 유사하다는 것을 의미한다.

중농축계수(EF)가 1보다 클 경우에는 인간활동에 의한 외부오염의 영향이 있다고 판단되는데, 본 연구결과에서는 Cr, Cu, Fe, Ni, Zn의 경우, T4를 제외한 모든 지역에서 음의 값이 도출되었으므로 외부에서 유입되는 오염원은 없는 것으로 판단된다. 총 중농축계수(R)를 이용하여 퇴적물의 오염도를 평가하면 모든 항목에 대해 음의 값을 보이므로 7개 지점은 오염되지 않은 것으로 판단된다.

Table 3. Concentrations of heavy metals (mg/kg) in sediments and pollution criteria proposed by USEPA and Canada

		As	Be	Cr	Cd	Cu	Fe	Ni	Zn	Sb	Ti	Pb	Ignition loss (wt, %)	TOC (wt, %)
USEPA sediment quality standards	Non polluted	-	-	-	-	<25	-	<20	<90	-	-	<40	<5	
	Moderately polluted	-	-	-	-	25~50	-	20~50	90~200	-	-	40~60	5~8	
	Heavily polluted	-	-	-	>8	>50	-	>50	>200	-	-	>60	>8	
Ontario sediment quality guidelines	No effect level	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Lowest effect level	-	-	-	0.6	166	-	16	120	-	-	31	-	1
	Severe effect level	-	-	-	10	110	-	75	820	-	-	250	-	10
	GW1	3	ND	6.9	ND	7	8672	2.5	43.5	0.5	9.4	ND	11.2	4.2
	GW2	4.6	ND	6.9	ND	6.7	6376	2.1	50.2	0.1	12.7	ND	14.3	5.5
	GW3	4.1	ND	5.1	ND	10.8	2884	4.9	58.2	0.1	12.3	ND	9.2	2.6
	GW4	4.6	ND	2.3	ND	12.9	2027	3.9	52	0.3	11.1	ND	8.7	2.1
	GW5	2	ND	7.7	ND	7.7	8155	3.2	52.4	0.3	9.3	ND	8.7	1.4
	GW6	1.4	ND	8.6	ND	8	8586	4.3	54.8	0.4	10.8	ND	8.4	1.7
	GW7	1.7	ND	6.4	ND	6.8	7399	2.6	50.8	0.3	9	ND	7.2	0.9

Table 4. Concentrations of background levels for heavy metals (mg/kg) in southern sea of Korea and results of Index of geoaccumulation and enrichment factor for samples obtained from sediments of Gwangan bridge.

	Cr		Cu		Fe		Ni		Zn			
Average concentrations of metals for sediments of south sea ¹⁰⁾	53		11		25,500		25		61			
index of geoaccumulation (I_{geo}) and enrichment factor (EF)	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	I_{geo}	EF	Total enrichment factor (R)	
	T1	0.09	-0.87	0.42	-0.36	0.23	-0.66	0.07	-0.90	0.48		-0.29
	T2	0.09	-0.87	0.41	-0.39	0.17	-0.75	0.06	-0.92	0.55	-0.18	-3.10
	T3	0.06	-0.90	0.65	-0.02	0.08	-0.89	0.13	-0.80	0.64	-0.05	-2.66
Sediment samples	T4	0.03	-0.96	0.78	0.17	0.05	-0.92	0.10	-0.84	0.57	-0.15	-2.70
	T5	0.10	-0.85	0.47	-0.30	0.21	-0.68	0.09	-0.87	0.57	-0.14	-2.84
	T6	0.11	-0.84	0.48	-0.27	0.22	-0.66	0.11	-0.83	0.60	-0.10	-2.70
	T7	0.08	-0.88	0.41	-0.38	0.19	-0.71	0.07	-0.90	0.56	-0.17	-3.03

Table 5. Comparison of qualitative classification of sediments based on different interpretative approaches

Sampling sites	Geochemical approach		USEPA	Canadian standard
	I_{geo}	R		
GW1	Unpolluted	Unpolluted	Heavily polluted	Lowest effect level
GW2	Unpolluted	Unpolluted	Heavily polluted	Lowest effect level
GW3	Unpolluted	Unpolluted	Heavily polluted	Lowest effect level
GW4	Unpolluted	Unpolluted	Heavily polluted	Lowest effect level
GW5	Unpolluted	Unpolluted	Heavily polluted	Lowest effect level
GW6	Unpolluted	Unpolluted	Heavily polluted	Lowest effect level
GW7	Unpolluted	Unpolluted	Moderately polluted	No effect level

3.4. 광안대교 하부 퇴적토 오염도 평가 요약

7개 지점에 대한 퇴적물에 대한 오염도 평가 결과가 Table 5에 요약되어 있다. 중금속에 대한 평가 결과 I_{geo} 와 R 값 모두 기준치 이하의 값으로 비오염으로 판명되었다. USEPA와 캐나다 기준에서도 모든 중금속은 비오염 기준치 이하로 중금속에 대해서는 청정지역으로 분류되지만, 강열감량(USEPA)으로 분류 시 GW7을 제외한 모든 지역은 심한 오염으로 분류되었다. 또한, TOC(캐나다) 환경기준 적용 시에는 GW7은 영향없음으로 분류되고, 나머지는 최소영향수준으로 분류되었다.

4. 결론

본 연구에서는 부산 광안리 해수욕장 입구에 위치한 광안대교 하부의 퇴적물을 조사하기 위해 총 7개의 장소를 선정하여 퇴적물 시료를 채취한 후 기본 물성치 및 중금속 함량을 측정하였다. 강열감량, TOC 및 중금속 농도를 기준으

로 다양한 퇴적토 오염기준을 적용하여 이 지역 퇴적물의 오염도를 평가하고자 하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 7개 지역에 대한 TOC, 강열감량 분석 결과 TOC의 경우, 0.9~5.5%, 강열감량의 경우 7.2~14.3%의 분포를 보였다. 강열감량의 경우 GW7을 제외하고는 모든 지역에서 8% 이상으로 비교적 큰 값을 보여 분석한 모든 시료에 많은 양의 유기물이 포함되어 있다는 것을 알 수 있었으며, USEPA의 퇴적물 기준 중 강열감량의 기준으로 평가하면 광안대교 하부 퇴적물은 심하게 오염된 것으로 평가할 수 있다.

2) 퇴적물 시료에 포함된 산화물에 대한 분석결과를 통해 모든 시료에서 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, Fe_2O_3 , K_2O , MgO, Na_2O 의 합이 95% 이상이었다. SiO_2 와 CaO의 경우 정반대의 농도변화를 보여주었는데, GW1에서 GW7로 이동할수록 지속적으로 증가하였다. 이와 반대로 CaO는 GW2에서 급격히 증가한 후 GW3에서 GW7로 이동하면서 지속적으로 감소하였다.

3) USEPA의 기준에 따라 중금속 오염도를 산정할 결과, 모든 지역은 비오염으로 분류되었으나, 강열감량을 고려할 때는 GW7(중간오염)을 제외한 모든 지역은 심한 오염으로 분류되었다.

4) 캐나다 환경기준에 따른 중금속 오염도의 경우, 모든 지역이 비오염으로 분류되었으나, TOC를 고려할 경우 GW7(영향없음)을 제외하고는 모든 지역은 최소영향수준으로 분류되었다.

5) I_{geo} 를 이용한 중금속 오염도 평가에서는 모든 지역에서 1보다 작은 값이 나와 1지역(비오염)으로 분류되었으며, 총중농축계수(R)를 이용한 중금속 오염도 평가에서도 모든 지역이 비오염으로 평가되었다.

6) 분석결과 광안대교 하부 퇴적토의 중금속 오염도는 우려할 수준은 아니라고 판단되나, 강열감량 및 TOC의 값이 높기 때문에 USEPA 및 캐나다 환경기준 적용 시 오염지역으로 분류가 된다. 이는 높은 농도의 유기물이 퇴적토에 축적된 것이기 때문에 태풍과 같은 외부 교란이 있을 시 퇴

적토 부유로 인해 광안리 인근해역의 수질을 악화시킬 수 있는 가능성이 있으므로 주기적인 준설과 같은 조치를 통해 수질방제대책을 수립할 필요가 있다고 판단된다.

사사

본 연구는 한국건설기술연구원 2013년 주요사업(2013-0328) 연구비로 수행되었습니다.

KSEE

참고문헌

- Choi, E. I., Lee, S. M. and Park, C. K., "The Characteristics and the Effects of Pollutant Loadings from Nonpoint Sources on Water Quality in Suyeong Bay," *J. Kor. Fish. Soc.*, **28**(3), 279~293(1995).
- Choi, C. J., Oh, C. Y. and Lee, C. H., "The Coastline Change on Gwangalli Using Spatial Information," *J. Spatial Information*, **17**(1), 13~19(2009).
- Chapman, P., Wang, F., Adams, W. and Green, A., "Appropriate applications of sediment quality values for metals and metalloids," *Environ. Sci. Technol.*, **33**(2), 3937~3941(1999).
- Riba, I., Blasco, J. and DelValls, T., "Bioavailability of heavy metals bound to estuarine sediments as a function of pH and salinity values," *Chem. Speciation Bioavailability*, **15**(3), 101~114(2003).
- Yang, H. S. and Kim, S. S., "Pollution of Heavy Metals and Sedimentation Rate in the Sediments of Suyeong Bay, Pusan," *Bullet. Kor. Fish. Soc.*, **27**(5), 643~658(1994).
- Lee, H. K., "Vibrio tubiashii, Isolated from Kwang-An Beach in Winter Season," *J. Kor. Soc. Microbiol.*, **30**(6), 603~609(1995).
- United States Environmental Protection Agency, "Evaluation of Dredged Material Proposed for Ocean Disposal-Testing Manual," Environmental Protection Agency Office of Marine and Estuarine Protection, Washington, DC, p. 214(1991).
- Canadian Council of Ministers of the Environment, "Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life," Protocol, CCME EPC-98E(1995).
- Muller, G., "Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seitt," *Umschan.*, **79**(2), 778~783(2002).
- Cho, Y., Lee, C. and Choi, M., "Geochemistry of surface sediments off the southern and western coasts of Korea," *Mar. Geol.*, **159**(2), 11~129(1999).