

ORIGINAL ARTICLE

낙동강 본류에 분포하는 표층 퇴적물의 지화학적 특성 변화

김 신 · 이권철 · 김주언 · 정강영 · 안정민 · 김형근 · 이인정 · 신동석 · 양득석*

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Change in Geochemical Characteristics of Surface Sediments in the Nakdong River Main Stream

Shin Kim, Kwonchul Lee, Jueon Kim, Kangyoung Jung, Jungmin Ahn, Hyoungeun Kim, Injung Lee, Dongseok Shin, Deukseok Yang*

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 40138, Korea

Abstract

To certificate change in the geochemical characteristics of surface sediments in the main stream of the Nakdong River, surface sediments from 12 sampling sites during the first and second half year (total 24 sampling sites) were collected and analyzed for grain size, ignition loss, total organic carbon and heavy metal content. Surface sediments mainly composed of sand (coarse and medium sand) and fining changed from the first half to the second half of the year. Ignition loss, total organic carbon and heavy metals content increased in the second half of the year. Some heavy metals (Zn, Ni and Cu) were found to be at the lowest effect levels according to Ontario sediment quality guidelines. Additionally, most heavy metals were found to be at the non polluted level and level I according to USEPA sediment quality standards and National Institute of Environmental Research sediment pollution evaluation standard, respectively. The enrichment factor (< 1) and index of geoaccumulation (< 0) were non polluted in the study area. The correlation analysis results showed that ignition loss, total organic carbon and heavy metal content were highly correlated with grain size. Regarding changes in geochemical characteristics of surface sediments in the study area, grain size fine and organic matter and heavy metal content increased in the second half year. Nonetheless these results indicated pollution levels that did not adversely affect the benthos.

Key words : Nakdong River, Surface sediment, Grain size, Ignition loss, Total organic carbon, Heavy metal content

1. 서론

하천은 인간의 활동과 직접적으로 연관이 되는 지역으로 분류와 지류로 구분되어 지며, 하천 환경은 최근 인구 증가와 생활수준의 향상에 따른 생활용수 증

가, 산업 발달에 따른 공업용수의 증가와 오염원의 유입으로 인하여 자연 정화 능력이 떨어지고 환경이 점차 악화되고 있다(Park and Yang, 2001). 현재 우리나라는 4대강 사업으로 하도 준설을 실시하고 보를 설치하였으며, 하천에 인접한 도심 및 산업단지 등의

Received 30 November, 2016; **Revised** 1 February, 2017;

Accepted 17 February, 2017

***Corresponding author**: Deukseok Yang, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 40138, Korea
Phone: +82-54-950-9720
E-mail: yds7055@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인위적인 요인으로 인하여 하천의 환경이 많은 영향을 받고 있다(Ahn et al., 2014).

하천에 유입되는 오염 물질은 다양한 경로를 통해 환경에 배출되게 되며 수계로 유입되는 경우 침전되어 퇴적물에 축적되게 된다. 이와 같이 축적된 오염 물질은 저서생물에게 영향을 주게 되며 물리·화학적 변화에 따라 수중으로 용출되어 수질의 변화를 야기하며, 수생생물에게도 해로운 영향을 미치기도 한다(Alloway et al., 1988; Dekov et al., 1997). 하천 환경에 대한 연구는 주로 수질을 주 대상으로 실시되고 있는 실정이다. 수질을 대상으로 한 연구는 단기간에 걸쳐 현재의 환경을 파악하는데 유용하지만 퇴적물은 수질과 달리 오염원의 시·공간적 변화가 적고 함량도 높아서 지속적인 환경영향을 평가하는데 보다 적절한 매개체로 알려져 있으며, 환경을 이해하는 도구로서 활용이 되고 있다(Thornton, 1983; Ra et al., 2013). 퇴적물 내에 중금속들을 비롯한 화학적 거동을 파악하는 것은 하천의 퇴적환경을 이해할 수 있고 환경요인들의 제어를 비롯한 환경적인 접근에 이르기까지 효율적인 대처수단을 제공할 수 있는 기반을 마련할 수도 있다(Kim et al., 2001). 즉, 하천 환경을 파악하기 위해서는 퇴적물 내에 함유된 중금속 및 화학성분들의 분석이 필요하다.

현재 하천 퇴적물에 대한 연구는 퇴적물의 분석 방법, 중금속 분포 특성 및 오염도 평가 등에 관한 연구(Lee et al., 2004; Kim et al., 2010; Oh et al., 2010)들이 실시되었다. 그리고 낙동강에 분포하고 있는 퇴적물을 대상으로 한 연구들(Kim et al., 2015a; 2015b)도 다소 시행되고 있으나 한 지역 또는 특정 기간에 국한되어 있으며, 퇴적물에서 나타나는 지화학적 특성의 시간적 변화를 이해할 수 있는 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 낙동강 본류에 건설된 4개의 보와 인접한 위치에서 각 보에 3지점을 선정하여 총 12지점에서 상·하반기의 시간 간격을 두고 총 2회에 걸쳐 표층 퇴적물을 채취하였다. 채취된 표층 퇴적물은 입도(grain size) 분석을 실시하고 유기물질의 함량을 파악하기 위하여 완전 연소 가능량(ignition loss) 및 총 유기탄소(total organic carbon)를 분석하였다. 또한, 퇴적물 내에 분포하는 중금속(heavy metal) 함량을 분석하여 현재 국내 및 국외에 설정되어 있는 퇴적물의

환경 기준과 비교하고 농집 지수 및 부화 계수를 산출하여 오염도를 평가하여 낙동강 본류에 분포하는 표층 퇴적물의 지화학적 특성의 변화를 이해하는데 초점을 맞추었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구 지역

연구 지역인 낙동강 유역은 면적 23,384.21 km², 본류 하천연장 400.7 km, 유로연장 510.36 km로서 동경 127°29'19" ~ 129°18'00", 북위 34°59'41" ~ 37°12'52" 사이의 한반도 동남부에 위치한다. 행정구역은 3개 광역시(부산광역시, 대구광역시, 울산광역시)와 5개 도(경상 남·북도, 전라 남·북도, 강원도)의 일부를 포함하고 있다(NIER, 2008). 최근 지속적으로 증가되는 용수수요량 대비 부족한 수자원의 확보와 홍수조절 등을 위하여 실시한 4대강 살리기 사업과 관련하여 하도 준설을 실시하고 총 16개의 다기능적인 보를 건설하였으며, 이중 낙동강에는 가장 많은 8개의 다기능보가 건설되어 있다(MOLIT, 2009).

본 연구에서는 낙동강 본류에 건설된 4개의 보에서 선정된 총 12지점에서 2014년도 상·하반기(6, 10월)에 중력식 채취기로 채취기가 바닥에 닿아 줄의 장력이 감소하면 아래 날이 닫히도록 되어있는 포나 그랩(ponar grab)을 이용하여 상부 1 ~ 3 cm에 해당하는 표층 퇴적물을 채취하였다.

정점 GS는 경북 구미시에 건설된 구미보와 인접한 지역으로 GS-U는 구미보와 북측의 상류로 향해 약 4.5 km, GS-M은 약 1.5 km의 지점에 위치하며, GS-D는 남측의 하류로 향하여 1.5 km 지점에 위치한다. 정점 CC는 경북 칠곡군에 건설된 칠곡보와 인접한 지역으로 CC-U는 칠곡보의 북측으로 약 4.5 km, CC-M은 1.2 km, CC-D는 남측으로 약 1.5 km의 지점에 위치한다. GD는 대구시와 경북 고령군 사이에 건설된 강정고령보와 인접한 지역으로 GD-U는 북측으로 약 5.2 km, GD-M은 약 1.5 km, GD-D는 남측으로 약 1.8 km의 지점에 위치한다. 그리고 정점 CH는 경북 창녕과 함안 사이에 건설된 창녕함안보와 인접한 지역으로 지점 CH-U는 북측으로 약 4.4 km, CH-M은 약 1.4 km, CH-D는 남측으로 약 1.5 km의 지점에 위치한다

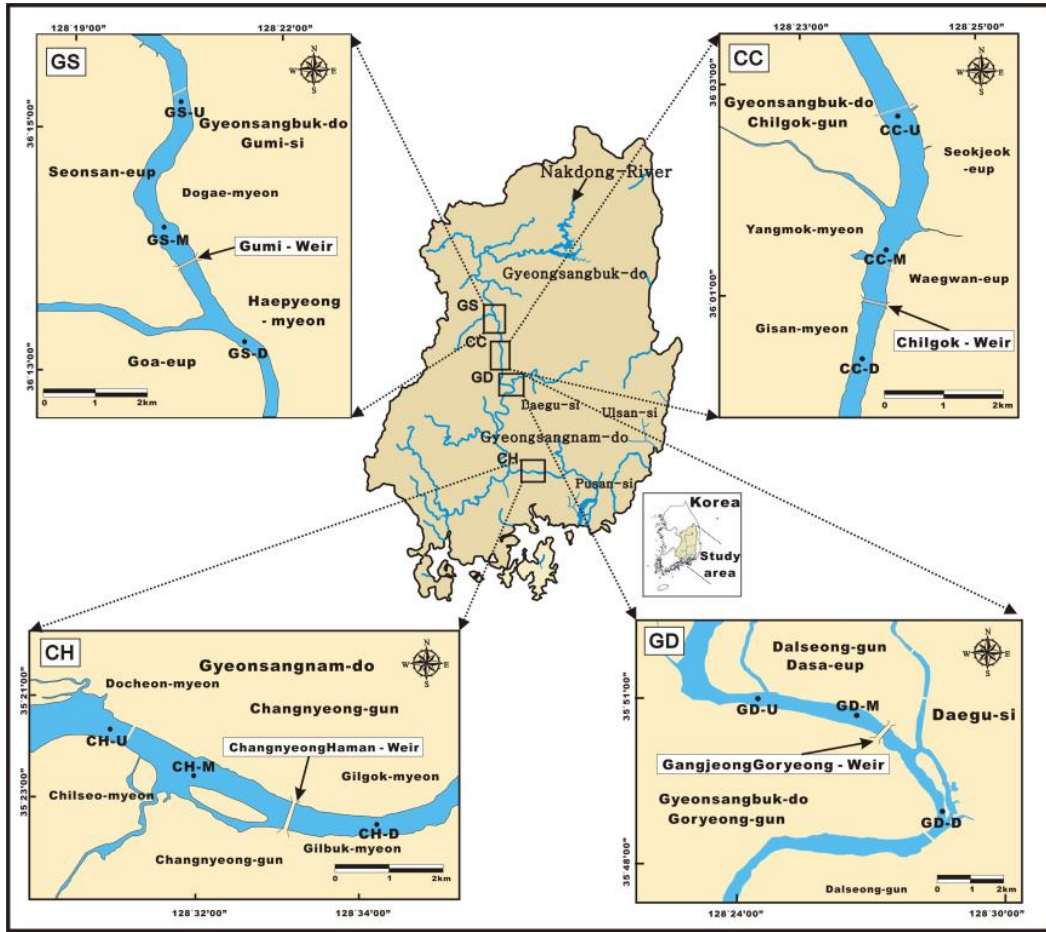


Fig. 1. Map showing sampling site of the study area.

(Fig. 1).

표층 퇴적물 시료 채취시 다항목 수질 측정기 (HORIBA, U-52G)를 사용하여 수질의 수심, 수온, DO 및 pH를 측정하였다. 연구 지역의 수심은 대부분 10 m 내외로 나타났고 전반적으로 각 보의 남쪽에 위치하는 하류 지역이 낮고 전반기에 비해 하반기에 수심이 다소 감소한 것으로 나타났다. 그리고 수온은 전반기에 비해 하반기에 감소하는 경향이 나타났으며, DO는 전반기에는 7.2 ~ 9.3, 하반기에는 6.1 ~ 9.0 범위에서 변화하며 분포하고 있다. 또한 pH는 전반기에는 7.7 ~ 8.6, 하반기에는 7.3 ~ 8.2의 범위로서 상반기 모두 비슷한 양상을 보이고 있다(Table 1).

2.2. 시료 분석 방법

입도 분석은 과산화수소(H₂O₂)를 가해 유기물을 분해시키는 전처리 과정을 거친다. 이후 조립질 퇴적물인 모래와 세립질 퇴적물인 실트와 점토를 구분하여 모래는 건조시켜 무게를 측정하고 실트와 점토는 입자크기분석기(Microtrac, S3500)를 이용하여 측정하였다. 측정된 결과는 입자 크기별 함량(sediment composition), 평균입도(mean grain size), 분급도(sorting), 왜도(skewness) 등의 조직매개 변수(statistical parameter)를 산출하였다(Folk and Ward, 1957). 또한, Folk(1980)에 따라 삼각다이아그램을 도시하여 퇴적물의 유형(sediment type)을 파악하였다.

Table 1. Geographical position, water depth, temperature, DO and pH of the sampling site in the study area

	Geographical position		The first half year				The second half year			
	Latitude(N)	Longitude(E)	Depth (m)	Temp. (°C)	DO (mg/L)	pH	Depth (m)	Temp. (m)	DO (mg/L)	pH
U	36°16'20.00"	128°20'33.00"	10.0	22.0	9.3	8.1	8.0	16.0	8.5	7.3
GS	M	36°14'38.00"	128°20'23.00"	10.0	23.0	9.2	8.0	16.0	9.0	7.4
	D	36°13'18.00"	128°21'31.00"	3.0	25.0	8.3	2.5	17.0	8.5	7.5
CC	U	36°02'46.00"	128°24'10.00"	11.0	22.0	7.6	10.0	17.0	8.0	8.1
	M	36°01'27.00"	128°24'02.00"	11.0	22.0	7.2	10.0	17.0	8.3	8.2
	D	36°00'25.00"	128°23'45.00"	6.0	25.0	9.2	5.0	17.0	8.0	8.3
GD	U	35°51'03.00"	128°24'31.00"	12.0	24.0	9.1	10.0	21.0	6.6	7.6
	M	35°50'45.00"	128°26'58.00"	10.0	25.0	9.3	9.0	21.0	7.4	7.6
	D	35°49'12.00"	128°28'43.00"	6.0	24.0	7.7	5.0	22.0	7.8	7.7
CH	U	35°23'45.00"	128°30'45.00"	7.5	25.0	8.4	7.0	17.0	7.8	8.0
	M	35°23'12.00"	128°31'32.00"	11.0	25.0	8.3	6.0	18.0	7.8	8.2
	D	35°22'42.00"	128°33'58.00"	7.0	25.0	8.2	5.0	18.0	9.0	7.6

완전연소가능량은 건조된 시료를 550°C 에서 2시간 가열 후 가열 전과 가열 후의 무게차이를 이용하여 백분율로 나타내었다. 그리고 총유기탄소 함량은 자연 건조 후 분말화 된 퇴적물 시료를 아황산 용액(H₂SO₃)를 사용하여 무기탄소를 제거하는 전처리 과정을 거친 후 원소 분석기(Elementar, Vario MACRO)를 이용하여 분석을 실시하였다.

중금속 함량 분석을 위하여 건조되어 분말화 된 시료를 질산(HNO₃), 과염소산(HClO₄), 불산(HF)을 순서대로 첨가하여 퇴적물과 산이 완전히 분해될 때까지 가열하였다. 퇴적물이 완전히 분해되면 약 20 mL의 질산용액(2%)를 가하여 휘발시켜 불산을 제거한 후 다시 질산 용액(2%)을 가하여 용존 시켰다. 이와 같은 전처리 과정을 거친 후 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry / Varian, 720-ES)를 이용하여 Al, Li, Zn, Cr, Pb, Ni, Cu, Cd 등의 총 8개 금속류의 함량을 분석하였다.

본 연구에 이용된 모든 항목의 분석 절차 및 방법은 국립환경과학원의 '수질 오염 공정 시험 방법' 중 '하천·호소 퇴적물 공정 시험 기준'에 의거하였다(MOE, 2012).

2.3. 퇴적물 환경 기준

표층 퇴적물의 중금속 함량에 따른 오염의 정도를 파악하기 위하여 미국 오대호 퇴적물 분류기준, 캐나다 온타리오 환경부 퇴적물 환경기준과 국립환경과학원에서 제정한 하천·호소 퇴적물 오염평가 기준을 인용하였다(Table 2). 미국 퇴적물 분류기준(USEPA, sediment quality standards)은 미국의 오대호에서 담수퇴적물 오염분류를 위한 지역환경보호청의 기준으로서 중금속 각 원소의 함량에 따라 비오염(non polluted), 약간 오염(moderately polluted), 심한 오염(heavily polluted)의 세가지 기준으로 분류하고 있다(USEPA, 1999). 그리고 캐나다 온타리오 환경부 퇴적물 환경기준(Ontario sediment quality guidelines)은 농도에 따라 퇴적물이 저서생물에 대한 악영향을 확률적으로 표현하고 있는 것으로서 NEL (No Effect Level)은 퇴적물에 서식하는 생물체에 어떠한 영향도 미치지 않는 오염수준, LEL (Lowest Effect Level)은 퇴적물에 서식하는 다수의 생물체에 영향을 미치지 않는 오염수준, SEL (Severe Effect Level)은 저서생물에 악영향을 미칠 수 있는 심하게 오염된 수준의 세 단계로 분류하고 있다(CCME, 1995). 국내에서는 국립환경과학원에서 2012년에 발표한 하천·호소 퇴적물

Table 2. USEPA sediment quality standards, Ontario sediment quality guidelines and sediment pollution evaluation standard of NIER (unit : mg/kg)

	USEPA sediment quality standards			Ontario sediment quality guide lines		Sediment pollution evaluation standard(NIER)			
	Non polluted	Moderately polluted	Heavily polluted	LEL	SEL	I	II	III	IV
Zn	<90	90 - 200	>200	120	820	≤363	≤1170	≤13000	>13000
Pb	<40	40 - 60	>60	31	250	≤59	≤154	≤459	>459
Cu	<25	25 - 50	>50	16	114	≤48	≤228	≤1890	>1890
Cr	-	-	-	-	-	≤112	≤224	≤991	>991
Ni	<20	20- 50	> 50	16	75	≤40	≤87.5	≤330	>330
Cd	-	-	-	0.6	10	≤0.4	≤1.87	≤6.09	>6.09

오염평가 기준(NIER, 2012)은 각 금속류에 해당하는 하나의 기준농도를 명시하여 이를 초과하면 심각한 오염의 수준으로 분류하였으나, 2015년에 이보다 더 세분화하여 퇴적물의 중금속 함량이 저서생물에 영향을 미치는 등급으로 개정된 하천 호소 퇴적물 오염평가 기준(sediment pollution evaluation standard)을 새로이 발표하였다. 이 기준에서는 저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없는 I 등급, 독성이 나타날 가능성이 있는 II 등급, 독성이 나타날 가능성이 비교적 높은 III 등급, 독성이 나타날 가능성이 매우 높은 IV 등급의 총 4단계로 분류하고 있으며, 금속류 뿐만 아니라 완전연소가능량이 13%를 초과하는 것을 심각하고 명백한 오염에 해당하는 IV 등급으로 분류하고 있다(NIER, 2015). 본 연구에서는 중금속 함량의 분석 결과를 국외의 미국과 캐나다 및 국내의 퇴적물 환경 기준과 비교하여 오염의 정도를 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 입도 및 조직 특성

하천 환경에서 퇴적물의 입도 및 퇴적상 변화는 하상경사를 비롯한 지형상의 특성 이에 따른 유속과 유량의 변화 주변지질을 구성하는 암석의 성분 및 기후 등이 퇴적물의 공급과 공간적 변화의 요인으로 작용하고 있다고 알려져 있다(Miall, 1977; Kim et al., 1999; You et al., 2000). 또한, 하천에 건설된 인공구조물은 유로의 방향 변화와 유속에 변화를 주며, 유수

의 일시적인 정체를 가져올 수도 있으며, 이에 따라 퇴적물의 입도 분포가 광범위하게 나타난다(Oh et al., 2003).

연구지역의 입도 분석 결과 실트(silt)와 점토(clay)의 니질(mud)의 함량이 극히 미약하며 모래(sand)가 우세한 분포가 나타나고 있다. 상반기에는 전반적으로 중립사(medium sand)와 조립사(coarse sand)의 분포가 두드러지며 지점 CC-D에서 조립사가 55.5%, GS-D에서 중립사가 62.1%로 최대함량이 나타났다. 그리고 세립사(fine sand)가 27.8%, 극세립사(very fine sand)가 17.2%, 실트가 24.2%로 최대함량이 나타난 지점 GD-M에서 가장 세립한 퇴적물로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 평균입도(mean grain size)는 평균 1.68 Φ로서 중립사에 해당되며 지점 GS-U, CC-D와 CH-D가 1 Φ 이하의 가장 조립하며, 지점 GD-M이 3.10 Φ로 극세립사(very fine sand)에 해당하는 가장 세립질 평균입도가 나타나고 있다. 그리고 분급은 평균 1.27 Φ로 불량한 분급(poorly sorted)에 해당하는 분급이 나타났으며, 지점 CC-M에서 2.15 Φ로 매우 불량한 분급(very poorly sorted)에 해당하는 것으로 나타났다. 또한, 왜도는 평균 0.25로 지점 GD-D를 제외한 전 지점에서 양의 왜도로 나타났다. 하반기에는 상반기와 마찬가지로 중립사와 조립사가 우세한 퇴적물 조성이 분포하며, 상반기에 비해 다소 세립해지는 것으로 나타났다. 그리고 지점 GS-U는 조립사(53.0%)가 CH-D에서는 중립사(58.9%)가 최대함량이 나타났다. 또한, 실트(58.3%)와 점토(3.6%)가

Table 3. Sediment composition and statistical parameter (mean grain size, sorting and skewness) of surface sediments in the study area

Sapling period	Station name	Sediment composition(%)							Statistical parameter			
		Sand					Mud		Mean (Φ)	Sorting (Φ)	Skewness	
		Very coarse	Coarse	Medium	Fine	Very fine	Silt	Clay				
The first half year	U	12.8	46.7	36.2	3.43	0.9	0.0	0.0	0.85	0.79	0.01	
	GS M	0.3	18.3	58.8	10.7	4.0	8.4	0.0	1.69	1.19	0.37	
	D	2.4	13.8	62.1	20.0	1.7	0.0	0.0	1.60	0.73	0.06	
	U	1.9	18.3	39.5	17.0	12.6	11.3	0.0	2.06	1.53	0.36	
	CC M	3.4	13.3	38.5	13.9	8.5	20.3	0.0	2.67	2.15	0.54	
	D	16.0	55.5	25.9	2.3	0.3	0.0	2.1	0.70	0.77	0.09	
	U	17.8	50.7	29.0	2.5	0.1	0.0	0.0	0.69	0.81	0.04	
	GD M	0.9	5.5	24.1	27.8	17.2	24.2	0.0	3.10	1.87	0.33	
	D	2.0	32.2	56.1	7.0	2.3	0.4	1.3	1.20	0.75	-0.05	
	U	1.0	18.9	41.5	17.4	7.2	14.0	0.0	2.12	1.69	0.44	
	CH M	1.5	8.6	40.3	23.3	5.1	21.7	0.7	2.75	1.94	0.53	
	D	15.4	52.5	24.5	3.5	2.1	2.6	0.8	0.79	0.96	0.23	
	Min.	0.3	5.5	24.1	2.3	0.1	0.0	0.0	0.69	0.73	-0.05	
	Max.	17.8	55.5	62.1	27.8	17.2	24.2	0.0	3.10	2.15	0.54	
	Avg.	6.3	27.9	39.7	12.4	5.2	8.6	2.1	1.68	1.27	0.25	
	The second half year	U	17.2	53.0	9.8	11.1	3.2	6.7	0.4	1.00	1.44	0.48
		GS M	5.3	26.0	55.9	6.3	2.0	4.8	0.0	1.23	0.98	0.04
		D	8.5	48.5	34.2	7.2	1.7	0.0	0.0	0.93	0.85	0.14
		U	0.0	0.3	4.8	14.7	19.7	58.3	0.0	4.70	1.86	0.09
CC M		0.0	0.0	4.2	33.3	28.6	34.9	3.6	3.78	1.51	0.33	
D		6.1	24.9	51.2	13.2	3.9	0.7	1.2	1.30	0.91	-0.05	
U		15.4	51.3	29.7	3.0	0.6	0.0	0.0	0.76	0.79	0.07	
GD M		0.0	0.5	13.6	30.9	18.8	33.8	0.0	3.83	1.98	0.39	
D		4.1	43.3	50.3	2.3	0.0	0.0	2.9	1.02	0.66	-0.07	
U		5.2	15.8	53.1	19.6	2.8	4.7	0.0	1.61	1.06	0.14	
CH M		0.0	2.4	49.5	44.7	3.5	0.0	0.0	1.99	0.65	0.05	
D		3.9	12.0	58.9	19.3	5.5	0.4	0.0	1.69	0.83	0.12	
Min.		0.0	0.0	4.2	2.3	0.0	0.0	0.0	0.76	0.65	-0.07	
Max.		17.2	53.0	58.9	44.7	28.6	58.3	3.6	4.70	1.98	0.48	
Avg.		5.5	23.2	34.6	17.1	7.5	12.0	0.6	1.99	1.13	0.14	

최대함량이 나타난 지점 CC-U에서 가장 세립한 퇴적물로 구성되어 있으며 상반기에 비해 니질 함량이 크게 증가한 것으로 확인할 수 있다. 평균입도는 평균 1.99 Φ로 상반기에 비해 다소 세립화되는 경향이 나

타났으며, 지점 CC-U (4.70 Φ), CD-M (3.83 Φ)과 CC-M (3.78 Φ)에서 세립한 평균입도가 나타났다. 분급은 0 ~ 2 Φ 사이의 범위에서 변화하며 평균 1.13 Φ로서 전반기와 같이 불량한 분급에 해당하는 것으로

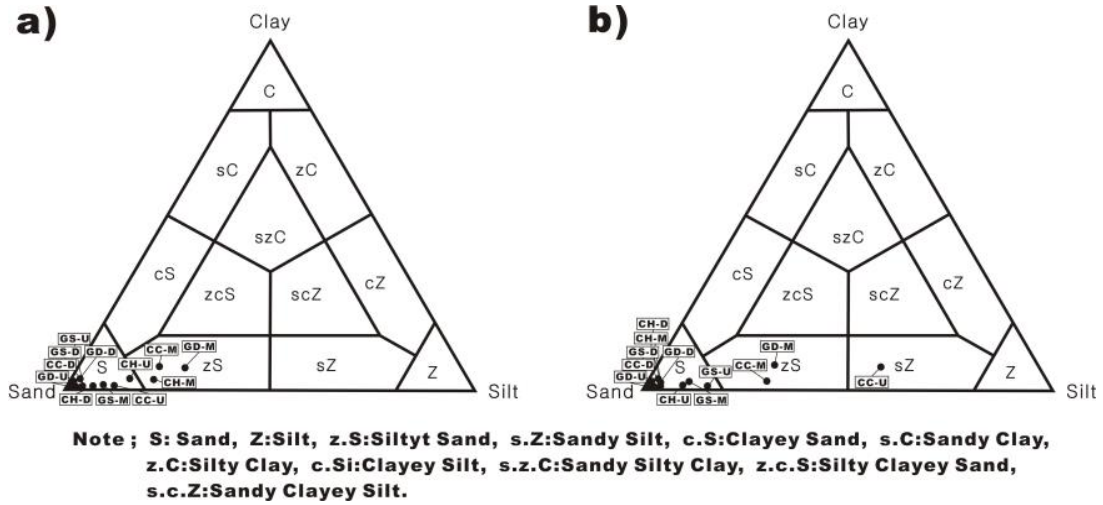


Fig. 2. Triangular diagram showing sediment type of surface sediments in study area (a: the first half year, b: the second half year).

나타났으며, 왜도는 평균 0.14로 지점 CC-D (-0.05)와 GD-D (-0.07)를 제외한 모든 지점에서 양의 왜도로 나타났다. 즉, 상반기에 비해 하반기에 다소 세립해지며, 각 지역별로 보의 상·하류에 비해 중류 지역이 비교적 세립한 경향이 나타났다(Table 3).

각 지점별 퇴적물 유형을 알아보기 위하여 입도 분석 결과를 바탕으로 삼각다이어그램에 도시한 결과, 상반기 퇴적상은 대부분 사(S: sand) 퇴적상이 주로 분포하고 있으며, 지점 CH-M, CC-M, GD-M이 비교적 세립한 실트질 모래(zS: silty sand) 퇴적상이 나타나고 있다(Fig. 2a). 하반기 역시 대부분 지점에서 모래 퇴적상이 주를 이루고 있으며, 지점 CH-M은 실트질 모래 퇴적상에서 조립질 모래 퇴적상으로 변화한 반면, 지점 CC-U는 하반기에 실트의 함량이 증가하여 모래질 실트(sZ: sandy silt) 퇴적상으로 세립하게 변화하였다(Fig. 2b).

연구 지역은 인공구조물인 보와 인접한 지역으로 광범위한 퇴적물의 입도 및 퇴적상의 변화는 나타나지 않았지만 상반기에 비해 하반기에 다소 세립하게 변화하며, 보와 가장 가까운 지점으로 보의 중류에 해당하는 지점 CH-M, CC-M, GD-M에서 비교적 세립한 퇴적물의 분포가 나타나고 있다. 그리고 상반기에 비해 전반적으로 중립사의 함량이 감소하면서 실트의

함량이 큰 폭으로 증가하여 세립화되는 결과가 나타났다. 2013년 상반기(3~5월)의 칠곡보와 강정·고령보와 인접한 지역의 표층퇴적물 입도 분포를 분석한 연구결과(Kim et al., 2015b)에 따르면, 정점 CC-M, GD-M과 인접한 지역에서 각각 모래 98.7%, 83.8% 실트 15.5%, 26.7%로 분포하고 있다. 본 연구에서는 이전의 연구 결과보다 모래의 함량이 감소하고 실트의 함량이 증가하여 표층 퇴적물이 점차 세립화되어 가는 것으로 판단된다. 이와 같이 결과는 각 지점의 지형적인 특성과 인공구조물과 기후에 의한 유량 및 유속의 변화가 그 원인인 것으로 생각된다.

3.2. 완전연소가능량 및 총유기탄소 함량

일반적으로 퇴적물에 포함된 유기물질 함량이 높으면 환경조건이 불량하고 말할 수 있다. 본 연구에서는 연구지역의 유기물질 함량을 알아보기 위하여 완전연소가능량과 총유기탄소를 분석하였다. 완전연소가능량은 상반기에 0.42 ~ 5.06%의 범위에서 분포하고 평균 1.96%로 CC-M 지점에서 가장 높게 나타났다. 하반기에는 0.39 ~ 7.05%의 범위에서 분포하고 평균 2.17%로 상반기에 비해 증가한 것으로 나타났으며, CC-U 지점에서 가장 높게 나타났다. 총유기탄소 함량은 상반기에 0.03 ~ 1.26%의 범위에서 평균

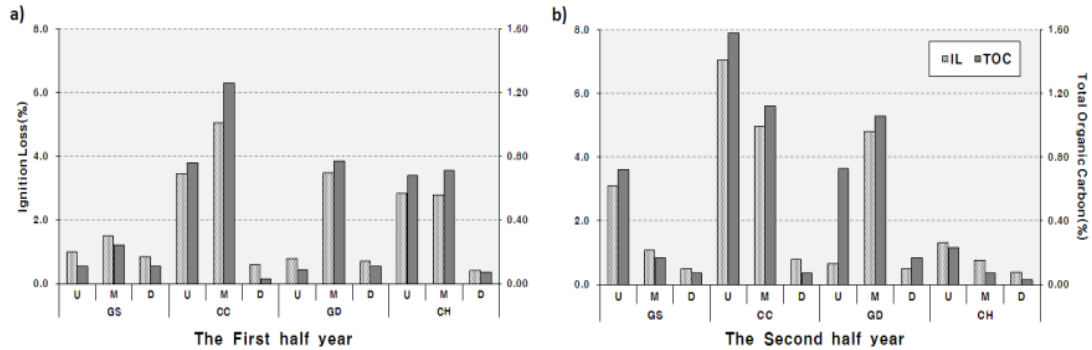


Fig. 3. Ignition loss and total organic carbon of surface sediments in the study area (a: the first half year, b: the second half year).

0.41%로 나타났으며, CC-M 지점에서 최대함량이 나타났다. 하반기에는 0.03 ~ 1.58%의 범위로 나타났으며 CC-U 지점에서 최대함량이 나타났다. 완전연소가능량과 총유기탄소 함량 모두 지점 상반기에는 CC-M, 하반기에는 CC-U에서 비교적 높게 나타났으며, 상반기에 비해 하반기에 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 연구지역의 유기물질 함량은 CC 지역에 포함된 지점에서 다소 높게 분포하며, CC 지역에 분포하고 있는 퇴적물의 환경조건이 비교적 불량하며, 상반기에 비해 입도가 더 세립해진 하반기에 유기물질 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 상·하반기 모든 지점에서 완전연소가능량의 최대값은 국내 퇴적물 오염평가 기준에서 명시하고 있는 13%를 초과하지 않는 것으로 나타나 연구 지역의 퇴적물에 분포하고 있는 유기물질에 의한 오염이 심각하고 명백한 오염 상태는 아닌 것으로 판단된다.

3.3. 중금속 함량

3.3.1. 중금속 함량 및 퇴적물 기준과의 비교

각 지점 별 중금속 함량을 앞서 서술한 국외 및 국내의 퇴적물 환경기준과 비교하여 그래프로 도시하였다(Fig. 4). 표준화 원소인 Al과 Li은 전체 평균이 각 11.78%, 35.48 mg/kg 로서 두 금속 모두 상반기(Al avg.: 10.20%, Li avg.: 34.73 mg/kg)에 비해 하반기(Al avg.: 13.36%, Li avg.: 36.22 mg/kg)에 함량이 비교적 증가하였으며, 하반기에 CC와 GD 지역이 다소

높은 함량 분포가 나타났다. Zn과 Cr은 각각 평균 97.05 mg/kg, 43.30 mg/kg 이며 두 금속류 모두 상반기(Zn avg.: 98.02 mg/kg, Cr avg.: 45.06 mg/kg)에 비해 하반기(Zn avg.: 96.08 mg/kg, Cr avg.: 41.55 mg/kg)에 다소 낮지만 큰 차이는 나타나지 않았으며, 각 지역의 중류 지점에서 함량이 비교적 증가하였다. 그리고 Zn에서 LEL을 초과하는 지점은 상반기에 3지점, 하반기에는 4지점으로 나타났으며, USEPA의 퇴적물 기준에서 moderately polluted에 총 12지점(상반기 6, 하반기 6)이 포함되어 있다. Cr은 캐나다와 USEPA의 퇴적물 기준에서 설정되어 있지 않기에 비교하지 못하였으며, 국내 환경기준에는 Zn과 Cr의 함량 모두 모든 지점에서 저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없는 I 등급에 속하는 것으로 나타났다. Zn과 Cr의 평균 함량이 상반기에 비해 하반기에 다소 감소한 것은 특정 지점에서 함량의 급격한 감소가 그 원인이며, 전반적으로는 상반기에 비해 하반기에 함량이 증가한 지점이 많은 것으로 해석된다. Pb과 Ni은 평균 18.76 mg/kg, 12.95 mg/kg으로 상반기(Pb avg.: 17.21 mg/kg, Ni avg.: 12.57 mg/kg)에 비해 하반기(Pb avg.: 20.31 mg/kg, Ni avg.: 13.33 mg/kg)에 두 금속류 모두 증가 하는 경향이 나타났다. Pb는 모든 지점에서 LEL을 초과하지 않는 함량으로 non polluted에 해당되는 반면, Ni은 상반기에 2, 하반기에 4지점에서 LEL을 초과하는 것으로 나타났으며, 하반기에 1지점이 moderately polluted에 해당되는 것으로

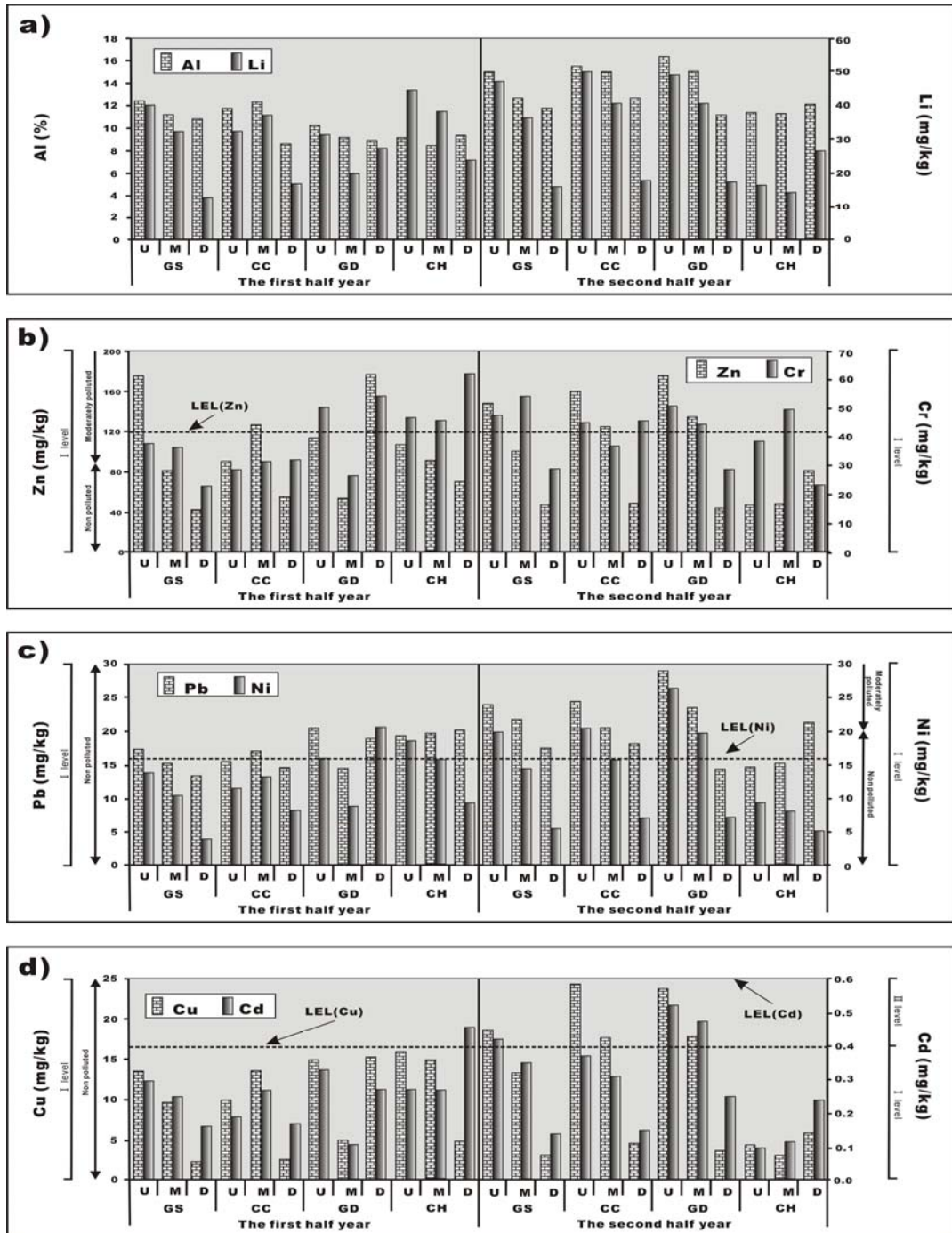


Fig. 4. Heavy metal content compared to USEPA sediment quality standards, Ontario sediments quality guidelines and sediment pollution evaluation standard (NIER) of surface sediments in the study area.

나타났다. 그러나 두 금속 모두 국내 기준에는 I 등급에 속하는 것으로 나타났다. Cu(avg.: 11.06 mg/kg)와 Cd(avg.: 0.27 mg/kg)는 다른 금속류와 마찬가지로 상반기(Cu avg.: 10.30 mg/kg, Cd avg.: 0.25 mg/kg)에 비해 하반기(Cu avg.: 11.83 mg/kg, Cd avg.: 0.27 mg/kg)에 함량이 증가하는 경향이 나타났다. Cu는 상반기에 1, 하반기에 3 지점에서 LEL을 초과하지만 Cd는 LEL을 초과하는 함량은 나타나지 않았으며 USEPA 퇴적물 기준은 설정되어 있지 않기에 비교하지 못하였다. 두 금속류를 국내 환경기준과 비교하면, Cu는 상, 하반기 모든 지점에서 I 등급에 속하는 것으로 나타났지만 Cd는 상반기에 1지점, 하반기에 3지점이 II 등급에 해당되지만 I 등급과 함량의 차이는 아주 미약한 것으로 나타났다. 연구지역의 중금속 함량은 전반적으로 상반기에 비해 하반기에 증가하며 GD 지역에 포함된 지점에서 다소 높은 함량이 나타났다. 그리고 Zn에서 LEL을 초과하는 지점이 다소 나타났지만 다른 퇴적물 환경 기준과 비교하면 대부분의 금속류는 오염이 나타나지 않는 등급에 해당하는 것으로 판단된다.

이와 같은 결과를 부산시에 위치한 도심하천의 퇴적물 오염평가에 관한 연구 결과(Lee et al., 2010)와 비교하였다. 이전 연구 결과에서는 Zn, Pb, Ni, Cu, Cd의 함량을 분석하여 기준치와 비교한 결과 총 14개의 지점 중에서 Zn은 8개, Pb은 4개, Ni은 1개, Cu는 10개의 지점이 LEL을 초과하는 것으로 나타났으며, Cd은 모든 지점이 LEL 보다 낮은 비오염상태로 나타났다. 이러한 결과는 본 연구 결과에 비해 Cu, Zn의 함량이 LEL을 초과하는 지점의 비율이 높은 것으로 나타나 부산시에 위치한 도심하천에 비해 연구 지역의 Cu와 Zn의 오염도는 비교적 낮게 분포하는 것으로 판단된다.

3.3.2. 농집 지수 및 부화 계수

퇴적물 내에 중금속의 오염 또는 인위적인 영향 등을 파악하기 위하여 농집 지수(index of geoaccumulation, Igeo)와 부화 계수(Enrichment Factor, EF)를 산출하였다(Table 4). 퇴적물 내 입도의 영향을 배제하기 위하여 퇴적물 내에 존재하는 주요 원소이며 입도 보정이 가능한 원소 중 하나인 Al을 이용하였으며, 산출과

정에서 배경 농도는 국립환경과학원(NIER, 2011)에서 제시한 하천퇴적물의 배경농도를 사용하였다.

농집 지수는 금속의 상대적인 농축정도를 나타내는 지수로서 다음 식(1)과 같이 계산하였으며, $M_{(sediment)}$ 은 해당되는 중금속의 농도이며, $M_{(background)}$ 은 해당 중금속의 배경농도로 보정을 위하여 상수 1.5를 곱하였다.

$$I_{geo} = \log_2 M_{(sediment)} / (M_{(background)} \times 1.5) \quad (1)$$

농집 지수는 총 7개의 class로 세분화 된다(Muller, 1979). 지수가 높을수록 오염의 정도가 심한 것으로 나타나며, 0이하는 비오염(practically unpolluted), 0에서 1은 비오염에서 보통 오염(moderately polluted), 1에서 2는 보통 오염, 2에서 3은 보통에서 강한 오염(strong polluted), 3에서 4는 강한 오염, 4에서 5는 강한에서 매우 강한 오염(very strong polluted), 5이상은 매우 강한 오염으로 구분된다. 연구 지역의 농집 지수 산출 결과, 상반기에는 $Cd > Cr > Zn > Pb > Ni > Cu$ 의 순으로 산출되었다. 지점 중에서는 GS-D에서 5 항목의 금속류가 최소값으로 오염도가 가장 낮은 지역으로 생각되며, GD 지역의 세 지점과 CH-D에서 각 금속류의 최대값이 분포하며 특히, GD-D 지점에서 Zn, Ni, Cu가 최대값으로 나타나 다른 지점에 비해 비교적 오염도가 높은 것으로 판단된다. 하반기에는 $Cd > Cr > Pb > Cr > Ni > Cu$ 의 순으로 상반기와 비슷한 양상으로 산출되었으며, 지점 GD-U에서 Cr을 제외한 나머지 5개의 금속에서 최대값이 나타나 상반기에 비해 하반기에 GD 지역의 하루에서는 감소하였고 상류 지역에서는 증가하는 경향이 나타났다. 이와 같이 연구 지역의 농집 지수는 각 지점별, 금속류에서 미약한 차이가 나타나며, 모든 금속류는 상반기(평균 -2.03)에 비해 하반기(평균 -1.99)에 미약하지만 다소 증가하는 경향이 나타났으나 모두 음의 값으로 산출되어 상·하반기에 모든 지점과 금속류가 비오염에 해당하는 것으로 나타났다.

부화 계수는 아래의 식(2)에 의해 계산되며, $(M_{metal} / M_{reference})_{sediment}$ 는 퇴적물 시료에서의 표준화 원소에 대한 중금속 농도의 비이며, $(M_{metal} / M_{reference})_{reference\ value}$ 는 배경농도에서의 표준화 원소에 대한 중금속의

Table 4. Index of Geoaccumulation (Igeo), Enrichment Factor (EF) of surface sediments in the study area

		The first half year						The second half year						
		Zn	Cr	Pb	Ni	Cu	Cd	Zn	Cr	Pb	Ni	Cu	Cd	
Igeo	U	-0.39	-1.72	-2.12	-2.09	-2.28	-1.00	-1.12	-1.37	-1.66	-1.57	-1.82	-0.51	
	GS	M	-2.00	-1.78	-2.30	-2.49	-2.76	-1.26	-1.69	-1.19	-1.79	-2.01	-2.30	-0.78
		D	-2.97	-2.42	-2.49	-3.88	-4.66	-1.91	-2.81	-2.07	-2.11	-3.40	-4.32	-2.10
		U	-1.86	-2.07	-2.27	-2.36	-2.72	-1.66	-1.02	-1.46	-1.63	-1.52	-1.37	-0.70
	CC	M	-1.35	-1.98	-2.14	-2.15	-2.27	-1.15	-1.39	-1.73	-1.87	-1.90	-1.90	-0.95
		D	-2.57	-1.98	-2.37	-2.83	-4.61	-1.82	-2.72	-1.46	-2.05	-3.05	-3.78	-2.00
		U	-1.50	-1.30	-1.88	-1.87	-2.13	-0.86	-0.88	-1.28	-1.40	-1.16	-1.35	-0.23
	GD	M	-2.59	-2.23	-2.38	-2.74	-3.69	-2.45	-1.27	-1.49	-1.68	-1.58	-1.87	-0.23
		D	-0.86	-1.19	-2.00	-1.51	-0.41	-1.15	-2.90	-2.09	-2.40	-2.92	-4.08	-1.26
		U	-1.60	-1.42	-1.96	-1.66	-2.04	-1.15	-2.79	-1.71	-2.37	-2.65	-3.34	-2.53
	CH	M	-1.83	-1.43	-1.93	-1.89	-2.13	-1.15	-2.76	-1.30	-2.30	-2.86	-4.32	-2.32
		D	-2.22	-0.96	-1.90	-2.66	-3.75	-0.38	-2.00	-2.41	-1.83	-3.53	-3.51	-1.32
		Min.	-2.97	-2.42	-2.49	-3.88	-4.66	-2.45	-2.90	-2.41	-2.40	-3.53	-4.32	-2.58
		Max.	-0.86	-0.96	-1.88	-1.51	-0.41	-0.38	-0.88	-1.19	-1.40	-1.16	-1.35	-0.23
		Avg.	-1.85	-1.70	-2.14	-2.35	-2.79	-1.33	-1.95	-1.63	-1.92	-2.35	-2.87	-1.25
EF	U	0.54	0.30	0.23	0.23	0.21	0.50	0.38	0.32	0.26	0.28	0.23	0.57	
	GS	M	0.27	0.32	0.22	0.20	0.16	0.46	0.30	0.43	0.28	0.24	0.20	0.57
		D	0.15	0.21	0.20	0.08	0.04	0.30	0.15	0.25	0.24	0.10	0.05	0.24
		U	0.29	0.25	0.22	0.21	0.16	0.33	0.39	0.29	0.26	0.28	0.31	0.49
	CC	M	0.39	0.25	0.23	0.23	0.21	0.45	0.31	0.25	0.22	0.22	0.22	0.42
		D	0.24	0.37	0.28	0.20	0.06	0.41	0.15	0.36	0.24	0.12	0.07	0.24
		U	0.43	0.49	0.33	0.33	0.27	0.66	0.41	0.31	0.29	0.34	0.30	0.64
	GD	M	0.22	0.29	0.23	0.20	0.10	0.25	0.34	0.29	0.25	0.27	0.22	0.69
		D	0.76	0.60	0.35	0.49	1.04	0.62	0.15	0.26	0.21	0.15	0.07	0.46
		U	0.44	0.50	0.35	0.42	0.33	0.60	0.16	0.33	0.21	0.17	0.08	0.18
	CH	M	0.41	0.54	0.33	0.39	0.33	0.66	0.16	0.44	0.22	0.15	0.05	0.22
		D	0.28	0.67	0.35	0.21	0.10	1.01	0.28	0.19	0.29	0.09	0.09	0.41
		Min.	0.15	0.21	0.20	0.08	0.04	0.25	0.15	0.19	0.21	0.09	0.05	0.18
		Max.	0.76	0.67	0.38	0.49	1.04	1.01	0.41	0.44	0.29	0.34	0.31	0.69
		Avg.	0.37	0.40	0.28	0.27	0.25	0.52	0.28	0.31	0.25	0.20	0.16	0.43

비를 의미한다.

$$EF = \frac{(M_{\text{metal}}/M_{\text{reference}})_{\text{sediment}}}{(M_{\text{metal}}/M_{\text{reference}})_{\text{reference value}}} \quad (2)$$

식(2)와 같이 산출된 부화 계수가 1(또는 1.5) 이상 일 경우는 인위적인 오염이 있음을 시사한다고 알려져 있다(Bruland et al., 1974). 연구 지역의 상반기에

는 전체평균 0.35로 나타났으며, Cd에서 가장 높고 Cu가 가장 낮게 나타났다. 모든 지점과 모든 금속류에서 1이하의 값으로 나타났지만 GD-D 지점에서는 Cu, CH-D 지점에서는 Cd가 1 이상의 값으로 인위적인 오염원이 미약하게 있는 것으로 판단된다. 하반기에는 평균 0.27로 상반기에 비해 다소 감소되는 경향이 나타났으며, GD-U 지점에서 Cu를 제외한 모든 금속의 최대값이 나타나 오염도가 비교적 증가한 것으로

Table 5. Pearson's correlation coefficient of grain size, IL, TOC, heavy metals, EF and Igeo of surface sediments in the study area

	Sand	Silt	Clay	Mz	IL	TOC	Al	Li	Zn	Cr	Pb	Ni	Cu	Cd	EF	Igeo
Sand	1.000															
Silt	-0.999	1.000														
Clay	-0.940	0.923	1.000													
Mz	-0.943	0.943	0.881	1.000												
IL	-0.941	0.939	0.884	0.888	1.000											
TOC	-0.889	0.887	0.846	0.817	0.953	1.000										
Al	-0.376	0.371	0.376	0.308	0.421	0.508	1.000									
Li	-0.524	0.526	0.461	0.362	0.584	0.685	0.547	1.000								
Zn	-0.326	0.319	0.341	0.174	0.384	0.476	0.478	0.839	1.000							
Cr	0.079	-0.073	-0.081	-0.200	-0.154	-0.121	-0.098	0.126	0.146	1.000						
Pb	-0.315	0.312	0.318	0.160	0.272	0.422	0.641	0.767	0.695	0.353	1.000					
Ni	-0.395	0.394	0.378	0.237	0.427	0.566	0.440	0.855	0.872	0.236	0.766	1.000				
Cu	-0.549	0.549	0.507	0.391	0.579	0.689	0.570	0.946	0.892	0.123	0.802	0.944	1.000			
Cd	-0.271	0.264	0.312	0.082	0.249	0.377	0.519	0.740	0.694	0.524	0.835	0.731	0.733	1.000		
EF	-0.088	0.089	0.093	-0.042	0.059	0.120	-0.177	0.515	0.674	0.545	0.482	0.716	0.594	0.570	1.000	
Igeo	-0.381	0.380	0.362	0.212	0.408	0.507	0.436	0.892	0.919	0.354	0.803	0.944	0.939	0.817	0.779	1.000

Bold : $-1.0 < p < -0.7$ and $1.0 < p < 0.7$

나타났다. 부화 계수 산출 결과 상반기에 비해 하반기에 전반적으로 감소하는 경향이 나타나며 대부분의 지점과 금속류에서는 인위적인 오염을 시사하는 값은 나타나지 않았다.

3.4. 상관관계 분석

피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)는 두 변수간의 관련성을 구하기 위해 보편적으로 이용되고 있다. 상관계수인 p가 -1.0과 -0.7 사이이면 강한 음의 상관관계를 1.0과 0.7 사이이면 강한 양의 상관관계를 의미하며, -0.7과 -0.3, 0.7과 0.3 사이이면 각각 뚜렷한 음, 양의 상관관계, -0.3과 -0.1, 0.3과 0.1 사이에 해당되면 각각 약한 음, 양의 상관관계를 의미한다. 또한, -0.1과 0.1 사이이면 거의 무시될 수 있는 상관관계를 의미한다. 연구 지역의 상·하반기에 각 지점별로 분석된 입도, 완전연소가능량, 총유기탄소, 각 중금속 농도 그리고 부화 계수 및 농집 지수를 SPSS 17.0을 이용하여 피어슨 상관계수를 계산한 결과 (Table 5), 퇴적물에서 가장 우세하게 나타나는 모래

의 함량은 유기물 함량을 대표하는 완전연소가능량 (-0.941)과 총유기탄소 함량(-0.889)과 매우 높은 역상관관계가 나타났고 대부분의 중금속과도 역상관관계가 나타났다. 여기서 Cr은 모래의 함량과 정상관관계 (0.079), 실트(-0.073)와 점토(-0.081)의 함량과는 역상관관계가 나타났지만 피어슨 상관계수가 -0.1 ~ 0.1 사이이면 거의 무시될 수 있는 관계를 의미하는 것으로 해석된다. 퇴적물의 오염도를 파악하기 위하여 산출한 부화 계수 및 농집 지수 역시 모래와는 역상관관계, 니질 성분인 실트와 점토와는 정상관관계가 나타났다. 그리고 각 중금속 함량의 관계는 모두 정상관관계로 나타났으며, 부화 계수는 Zn (0.674)과 Ni (0.716)과 비교적 뚜렷한 정상관관계가 나타났고 농집 지수는 Zn (0.919), Ni (0.944) 및 Cu (0.939)와 매우 강한 정상관관계가 나타나 오염도에 가장 큰 영향을 미친 중금속은 Zn, Ni 및 Cu로 판단된다. 상관관계 분석 결과는 유기물 및 중금속의 함량은 퇴적물이 세립할수록 증가하는 것을 반영하고 있으며 비교적

실트와 점토의 함량이 높은 CC와 GD 지역에서 높고 상반기에 비해 하반기에 세립질 퇴적물이 증가하여 유기물질 및 중금속의 함량이 증가한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Horowitz(1991)가 발표한 세립한 퇴적물의 표면적 증가와 그에 따른 흡착 및 이온 교환량의 증가에 의해 유기물질 및 중금속의 함량이 높다는 연구 결과와 같은 양상으로 연구 지역의 표층 퇴적물은 입도에 의해 유기물 및 중금속 함량은 제어되고 있으며 인위적인 오염의 영향은 미약한 것으로 생각된다.

4. 결론

낙동강 본류에 분포하고 있는 표층퇴적물의 지화학적 특성 변화를 알아보기 위하여 낙동강 본류에 건설된 4개의 보와 인접한 지역에서 총 12지점을 선정하여 2014년 상·하반기 총 2회에 걸쳐 표층 퇴적물을 채취하여 입도, 완전연소가능량, 총유기탄소 및 중금속 함량을 분석하였다.

표층 퇴적물은 전반적으로 모래가 우세하며 이 중 조립사와 중립사가 가장 높은 비율로 분포하고 있으며, 전반적으로 상반기에 비해 하반기에 세립화되는 경향이 나타났는데 이러한 결과는 인공구조물과 기후에 의한 유량 및 유속의 변화가 그 원인인 것으로 판단된다. 유기물질 함량을 대변할 수 있는 완전연소가능량과 총유기탄소 함량은 CC 지역에 포함되는 지역에서 비교적 높게 분포하며, 하반기에 다소 증가하는 경향이 나타났다. 중금속 함량은 CC와 GD에 해당하는 지점에서 다소 높게 나타났으며, 전반적으로 상반기에 비해 하반기에 증가하였다. 중금속 함량을 캐나다 온타리오 퇴적물 기준과 비교했을 때 Zn, Ni, Cu에서 LEL을 초과하는 지점이 나타났지만 퇴적물에 서식하는 다수의 생물에 악영향을 줄 수 있는 등급인 SEL을 초과하지 않았으며 USEPA 퇴적물 기준에서는 대부분 금속류는 non polluted에 해당되었다. 그리고 국내 기준에서는 저서생물에 독성이 나타날 가능성이 거의 없는 I 등급에 해당하는 것으로 나타났다. 인위적인 오염의 영향을 파악하기 위하여 부하 계수와 농집 지수의 산출 결과 상·하반기 모두 비슷한 경향이 나타났으며, 전 지점에 걸쳐 인위적인 오염을 시사하는 값은

나타나지 않았다. 본 연구에 분석된 모든 항목의 결과를 바탕으로 상관분석을 실시한 결과, 연구 지역의 표층 퇴적물은 세립질 퇴적물의 분포와 유기물질 및 중금속 함량이 정상관관계가 나타나 유기물질과 중금속의 함량은 입도에 의해 제어되고 있으며 이러한 결과는 연구 지역에 인위적인 오염의 영향은 극히 미약한 것으로 생각된다.

낙동강 본류에 분포하고 있는 표층 퇴적물은 상반기에 비해 하반기에 세립화되며 유기물질 및 중금속 함량이 다소 증가하는 경향이 나타나지만 저서생물에 오염을 미치지 않는 범위에 속하는 환경으로 판단된다. 본 연구는 낙동강 본류에 건설된 4개의 보와 인접한 지역에 분포하는 표층 퇴적물의 지화학적 특성과 시간에 따른 변화에 관한 연구로서 낙동강 전체의 퇴적환경을 지시할 수는 없지만 향후 낙동강 본류 표층 퇴적물의 환경을 이해하는 자료로서 활용이 가능할 것으로 생각되며, 본 연구와 같은 퇴적물을 대상으로 하천 환경 변화에 접근하는 연구가 더욱 진행되어야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

Ahn, J. M., Im, T. H., Lee, K. L., Jung, K. Y., Lee, J. W., Cheon, S. U., Park, I. H., 2014, A Study on efficiency of water supply through conjunctive operation of reservoirs and multi-function weir in the Nakdong River, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 30(2), 138-147.

Alloway, B. J., Thornton, I., Smart, G. A., Sherlock, J. C., Quinn, M. J., 1988, Metal availability, *Sci. Total Environ.*, 75, 41-69.

Bruland, K. W., Bertine, K., Koide, M., Golberg, E. D., 1974, History of metal pollution in southern California coastal zone, *Environ. Sci. Tech.*, 8, 425-432.

Canadian Council of Ministers of the Environmental Protection (CCME), 1995, Protocol for the derivation of canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life, EPA-98E, CCME, Canada.

Dekoev, V. M., Komy, Z., Araujo, F., Van Put, A., Van Grieken, R., 1997, Chemical composition of sediments, suspended matter, river water and ground water of the Nile (Aswan-Sohag traverse), *Sci. Total Environ.*, 20, 195-210.

- Folk, R. L., 1980, Petrology of sedimentary rock, Hemphill Publishing Company Austin, Texas, 1-170.
- Folk, R. L., Ward, W. C., 1957, Brazos river bar: A Study in the significance of grain size parameter, *J. Sedi. Petro.*, 27(1), 864-874.
- Horowitz, A. J., 1991, A Primer on sediment-trace element chemistry, Lewis Publish, Chelsea, 1-136.
- Kim, J. Y., Chung, C. H., Oh, K. H., Koh, Y. K., Moon, J. J., You, K. A., 1999, Heavy metal contamination of stream sediments from the Yeongsan River and Kwangju stream, Kwangju, *J. Kor. Earth Sci. Soc.*, 20(1), 96-100.
- Kim, J. Y., Eun, G. Y. N., Koh, Y. K., Youn, S. T., Oh, K. H., Kim, D. J., 2001, Sedimentary environments and geochemical characters of the core sediments near Naju-Yeongam area in the lower part of the Yeongsan River, Cheonnam, Korea, *J. Kor. Earth Sci. Soc.*, 22(4), 301-316.
- Kim, M. J., Chang, T. S., Rhee, C. W., Jin, J. H., 2010, Feasibility assessment of a microtrac tri-laser diffraction particle size analyzer for use in sedimentary geology : A Comparison of grain-size analysis with sieve-pipette method, *J. Geo. Soc.*, 46, 197-205.
- Kim, S., Kim, J. E., Lee, G. C., Lee, G. Y., Jeon, H. L., Yu, J. J., Lee, I. J., Ahn, J. M., 2015b, Distribution and pollution of heavy metals in surface sediments from Nakdong river, *J. Environ. Sci. Int.*, 24(7), 841-849.
- Kim, S., Lee, G. Y., Kim, J. E., Lee, G. C., Ahn, J. M., Lee, I. J., Jung, G. Y., Im, T. H., 2015a, Vertical variation of sediment structure and geochemical characteristics of core sediment in Nakdong River midstream, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 31(3), 204-312.
- Lee, I. C., Kim, K. H., Ryu, C. R., Kim, Y. T., 2004, A Study on the analysis of behavior of inflowing sediments in Nakdong River estuary, *J. Ocean Eng. Tech.*, 218-222.
- Lee, J. K., Kim, S. G., Song, J. H., Lee, T. Y., 2010, Evaluation of organic compounds and heavy metals in sediments from the urban streams in the Busan city, *J. Kor. Geo-environ. soc.*, 11(1), 35-43.
- Miall, A. D., 1977, A Review of the braided river depositional environment, *Earth Sci. Rev.*, 13, 1-62.
- Ministry of Environment (MOE), 2012, Official test methods of water quality, notification No. 2012-99, Ministry of Environment, 1-333.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2009, River maintenance master plan in the Nakdong River, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- Muller, G., 1979, Schwermetalle in den sediments des rheins veränderungen seit 1971, *Umschan.*, 79, 778-783.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2008, Result on target water quality monitoring network operation of Nakdong River system in 2008, 11-1480523-000444-10, Ministry of Environment, 5-14.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2011 Baseline concentrations of heavy metals in river sediments in Korea, Ministry of Environment, 1-138.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2012, Sediment pollution evaluation standard of river and lake, published rulings 575.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2015, Sediment pollution evaluation standard of river and lake, published rulings 687.
- Oh, H. S., Shin, W. S., Kim, J. H., Hwang, I. S., Hur, J., Shin, H. S., Oh, J. E., Huh, I. A., Kim, Y. H., 2010, Comparison of particle size analysis and distribution of heavy metals in river and lake sediments, *J. Kor. Geo-Environ. Soc.*, 11(5), 15-23.
- Oh, K. H., Kim, J. Y., Koh, Y. K., Youn, S. T., Shin, S. E., Park, B. Y., Moon, B. C., Kim, H. G., 2003, Geochemical characteristics and contamination of surface sediment in streams of Gwangju city, *J. Korea Ear. Sci. Soc.*, 24(4), 346-360.
- Park, S. K., Yang, Y. M., 2001, Analysis of water quality pollutants proximated to sediment in lake, *J. Analytical Sci. Tech.*, 14(3), 238-243.
- Ra, K. T., Kim, E. S., Kim, J. K., Kim, K. T., Lee, J. M., Kim, E. Y., 2013, Distribution and pollution assessment of trace metals in core sediments from the artificial lake Shihwa, Korea, *J. Oce. Pol. Res.*, 35(2), 69-83.
- Thornton, I., 1983, Applied environmental geochemistry, Academic Press, London, 1-501.
- USEPA, 1999, Protocol for developing sediment TMDLs. EPA841-B-99-004, USEPA, USA.
- You, H. S., Cho, S. H., Koh, Y. K., 2000, Fluvial deposits distributed along the Seomjin River, *J. Kor. Earth Sci. Soc.*, 21(2), 174-187.