

Original article

## 낙동강 수계 보 구간 표층 퇴적물의 분포 변화

이권철 · 김형근 · 이혜윤 · 양득석 · 김 신\*

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

**Change in Distribution Characteristics of Surface Sediments of Weir Section in Nakdong River.** *Kwon Chul Lee* (0000-0003-3551-5031), *Hyoung Geun Kim* (0000-0001-7592-2462), *Hye Yun Lee* (0000-0002-0860-9369), *Deuk Seok Yang* (0000-0003-3014-7719) and *Shin Kim\** (0000-0001-7014-4059) (Nakdong River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research, Daegu 43008, Republic of Korea)

**Abstract** This study was carried out to investigate changes in sediments in the eight weir sections of Nakdong River. Sediments were collected and analyzed for Grain Size, Ignition loss, Total Organic Carbon, Total Nitrogen, Total Phosphorus, and Meta. The upstream of the weir was found that fine-grained sediments have repeated increases and decreases. It was found that coarse-grained sediments were being maintained in the downstream part of the weir. The sediments Ignition Loss, Total Organic Carbon, Total Nitrogen, Total Phosphorus are strongly correlated with Grain Size, and these increased at the point where sediments are fine. In the case of metal, the concentration increased across the board, and the correlation with Grain Size, Ignition loss, Total Organic Carbon, Total Nitrogen, and Total Phosphorus was weak. Although there were some sections where fine-grained sediments, organic materials, nutrients, metals increased in the Nakdong River, the overall pollution level is considered weak.

**Key words:** Nakdong River, weir, sediments, grain size, metals

### 서 론

최근 산업의 고도화로 인하여 다양한 경로를 통해 많은 오염물질이 수계로 유입되고 있다. 유입된 오염물질은 수층에 용존상태로 존재하여 바다로 이동되거나 자연분해 되지만 일부는 입자상태의 물질로 변하여 수체의 바닥에 침강·퇴적된다(Lee *et al.*, 2012). 퇴적된 물질은 일정기간 축적되어 수온, pH, 용존산소(DO), 유속, 분해, 확산 등과 같은 물리·화학적 환경요인에 의해 수계로 용출된다. 용출된 오염물질은

저서생물체로 유입되거나 퇴적물과 다시 결합하는 과정을 반복하여 수질 및 생태계에 직·간접적인 영향을 미치게 된다(Kim *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2012). 하천의 수질관리를 위해서는 외부로부터 유입되는 오염물질 뿐만 아니라 유역환경 변화에 따라 퇴적물로부터 유입될 수 있는 오염물질을 정량적으로 파악하고 관리하는 것은 매우 중요하다(Cho and Chung, 2007). 특히, 우리나라의 하천수계는 강우에 의한 유량변동이 심하여 집중 강우 시 많은 양의 퇴적물이 이동하거나 축적됨으로, 변화된 유역환경과 퇴적환경에 대한 연구가 매우 중요하다(Lee *et al.*, 2015).

우리나라는 부족한 수자원 확보를 위하여 준설을 실시하고 한강, 낙동강, 금강, 영산강에 16개의 다기능 보를 건설하였다(MOLIT, 2009). 이러한 보의 건설은 준설과 수리시설

Manuscript received 9 November 2020, revised 3 December 2020, revision accepted 10 December 2020

\* Corresponding author: Tel: +82-53-602-2754,  
E-mail: sinima@korea.kr

© The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

설치 및 관리수위의 운영으로, 자연상태 하천의 유황을 지속적으로 변화시키고 있다. 특히, 유량 증가, 유속 감소와 같은 하천환경의 물리적 변화에 따라 유역의 특성이 유수형 하천에서 정수형 호소로 전환되고 있으며, 이에 따른 하천 흐름의 정체로 유사거동 등 수체 내 퇴적물의 형성에 많은 영향을 미치고 있다(Ahn *et al.*, 2014).

그동안 낙동강 유역 퇴적물에 관한 연구는 하구언이나 삼각주 등의 저점들을 대상으로 진행되었으며(Lee *et al.*, 2004; Yoon, 2008), 낙동강, 영산강, 금강, 한강에서 보 건설 이후 하상 퇴적물에 대한 연구가 활발하게 진행되었다(Kang *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2018). 낙동강과 영산강 등의 하천에 설치된 보와 인접한 지역에서 유속 및 유량의 변화로 퇴적물의 세립화가 진행되거나 유기물 및 금속류의 함량이 다소 증가하는 경향이 나타났다. 하천의 퇴적물은 유속 · 유량 등의 조건으로 하상의 변화가 부분적으로 달라짐에 따라, 퇴적물의 시간적 변화 연구가 매우 중요하다(Kim *et al.*, 2015; Ahn *et al.*, 2018). 퇴적물에 관한 연구는 수질에 비해 장기간의 환경 변화를 파악할 수 있어 지속적인 환경 영향을 평가하는 매개체로 활용되고 있다. 또한, 퇴적물에 함유되어 있는 유기물, 금속류 등을 포함한 화학성분들의 거동을 파악하는 것은 퇴적환경을 이해할 수 있으며, 환경요인들의 제어를 비롯한 환경적인 접근에 이르기까지 효율적인 대체수단을 제공할 수 있는 기반을 마련할 수 있다(Shin *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2015).

본 연구에서는 보 건설 이후 하천 유속, 유량 등 흐름의 변화로 하상의 형태가 부분적으로 달라짐에 따라 인공구조물에 의한 퇴적물의 변화를 이해하기 위한 자료로 활용하고자 하였으며, 낙동강 보 구간 퇴적물의 입도, 유기물과 영양염류, 금속류를 대상으로 시간의 흐름에 따른 퇴적물 변화 특성 연구를 실시하였다.

**재료 및 방법**

**1. 연구지역 및 시료채취**

본 연구는 낙동강 본류에 위치한 8개 보를 대상으로 진행되었다. 가장 상류의 상주보(SJ)를 시작으로 하류 방향으로 낙단보(ND), 구미보(GM), 칠곡보(CG), 강정고령보(GR), 달성보(DS), 합천창녕보(CN), 창녕함안보(HA) 순서로 위치하고 있으며, 2011년 완공되어 현재까지 가동되고 있다. 조사 지점은 각 보를 기준으로 상류 2km 지점(SJ-U, ND-U, GM-U, CG-U, GR-U, DS-U, CN-U, HA-U)과 각 보의 하류 2km 지점(SJ-D, ND-D, GM-D, CG-D, GR-D, DS-D, CN-D, HA-D)으로 각 보마다 2개의 지점이며, 총 16개의 지점을 대

상으로 시료를 채취하여 입도, 유기물, 영양염류, 금속류 분석이 이루어졌다(Fig. 1, Table 1). 시료의 채취는 2년 간격으로 2012년부터 2018년까지 총 4회로 진행되었으며, 장마 후 9월과 10월 사이에 채취가 이루어졌다. 시료 채취를 위한 이동 수단으로 8마력 모터가 장착된 고무보트가 사용되었다. 각각의 지점마다 횡으로 이동하며, 하폭에 따라 대략 100m 간격으로 5~7개의 채취지점에서 소형 포나 그래프를 이용하여 표층 퇴적물을 5점 이상 채취 후 혼합하여 대표 시료를 만들었다. 대표 시료는 분석항목에 따라 체를 이용하여 입도와 유기물, 영양염류, 금속류 시료로 구분되었다. 입도, 유기물, 영양염류 시료의 경우 2mm 체를 통과한 후 용기에 보관하였으며, 금속류 시료는 150µm 체를 통과한 후 비금속 재질의 용기에 담아 냉장 상태로 보관하였다.

**2. 퇴적물 분석방법**

각 지점별 퇴적물은 입도(Grain Size)와 유기물 항목인 완전연소가능량(Ignition loss), 총유기탄소(Total Organic

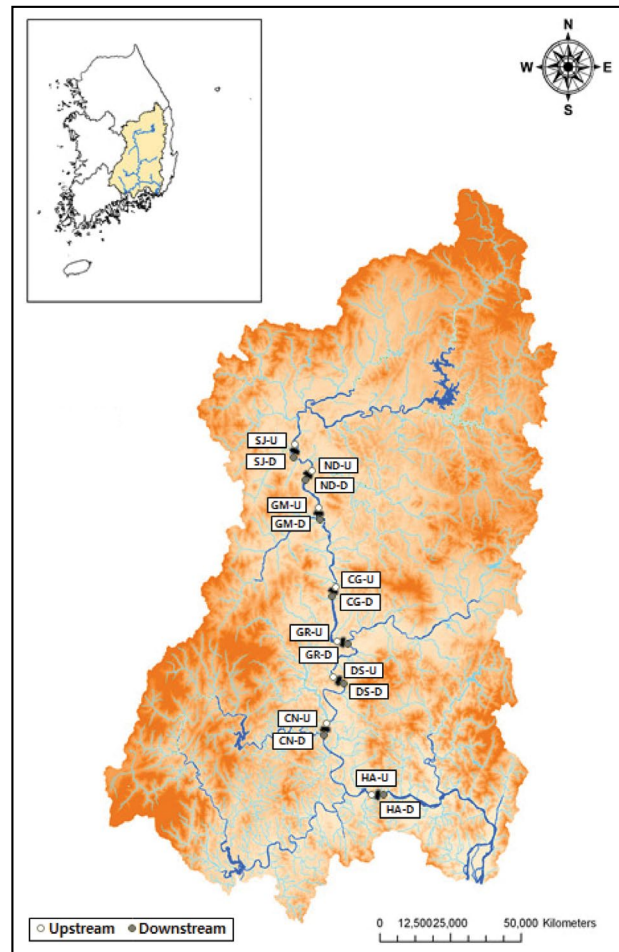


Fig. 1. Map showing sampling site of study area in Nakdong River.

**Table 1.** Geographical position of the sampling site in study area.

Sampling site	Latitude (N)	Longitude (E)
SJ-U	36°26'40.2"	128°15'40.4"
SJ-D	36°25'47.3"	128°14'10.1"
ND-U	36°22'21.8"	128°18'46.4"
ND-D	36°21'13.9"	128°17'38.0"
GM-U	36°15'08.8"	128°20'05.0"
GM-D	36°13'16.4"	128°21'35.1"
CG-U	36°01'34.5"	128°24'03.8"
CG-D	36°00'14.1"	128°23'40.8"
GR-U	35°50'43.5"	128°27'02.5"
GR-D	35°49'37.7"	128°28'27.6"
DS-U	35°44'41.3"	128°23'47.6"
DS-D	35°43'38.9"	128°25'40.4"
CN-U	35°36'06.2"	128°21'11.8"
CN-D	35°54'42.5"	128°21'37.8"
HA-U	35°23'14.9"	128°32'01.1"
HA-D	35°22'43.8"	128°33'49.2"

Carbon), 영양염류 항목인 총질소(Total Nitrogen), 총인(Total Phosphorus), 금속류(Metal)를 분석하였으며, 국립환경과학원의 「수질오염공정시험기준」 중 하천·호소 퇴적물 공정시험기준에 따라 실시하였다(MOE, 2012). 입도를 분석하기 위하여 퇴적물 시료에 6% 과산화수소를 가하여 40~90°C에서 유기물과 반응이 더 이상 일어나지 않을 때까지 가열한 후 상등액을 버리고 정제수로 세척하여 건조시켜 입도분석기(S3500, Microtrac, U.S.A.)을 이용하여 측정하였다. 입도를 제외한 일반항목 및 금속류 시료의 경우 상온에서 수분이 없도록 완전히 자연 건조하여 자동분쇄기(Pulverisette 6, FRITTSCH, Germany)를 이용하여 분쇄 후 전처리를 진행하였다. 완전연소가능량은 시료를 도가니에 담아 전기로를 이용하여 550°C에서 2시간 가열한 후 데시케이터에서 방냉하여 가열 전·후 무게 차이를 이용하여 측정하였다. 퇴적물의 총질소, 총유기탄소의 측정을 위해 주석용기에 시료와 5% 아황산용액과 증류수를 넣고 반응시킨 후 원소분석기(vario MACRO Cube, Elementar, Germany)를 이용하여 분석하였다. 총인 분석은 450°C에서 3시간 동안 인을 산화시킨 후, 3.5 N 염산용액을 이용하여 추출하고 여과된 추출물을 통해 pH를 조절한 후 자외선/가시선 분광계(Lamba 365, Perkinelmer, U.S.A.)를 이용하여 880 nm에서 측정을 실시하였다. 금속류는 납(Pb), 아연(Zn), 크롬(Cr), 비소(As), 카드뮴(Cd) 5개 항목이 분석되었으며, 질산, 과염소산, 불산이 2:1:2 비율로 혼합된 용액을 가하여 흑연 블록에서 110°C에서 1주일 이상 가열하여 완전히 분해한 후 2% 질

산 용액에 희석 후 ICP-OES (720ES, Agilent, U.S.A), ICP-MS (820MS, Analytik Jena, Germany)를 이용하여 분석하였다. 분석 결과는 입도, 유기물, 영양염류, 금속류 등 각 항목 간의 상관성을 파악하기 위하여 피어슨 상관계수(Pearsons correlation coefficient)를 활용하였다(IBM SPSS Statistics, Version 22, IBM Corp., Armonk, New York). 또한, 국립환경과학원(National Institute of Environmental Research, NIER)의 “하천·호소 퇴적물의 오염평가 기준”에 의하여 완전연소가능량, 총질소, 총인, 금속류(Pb, Zn, Cr, As, Cd)의 오염정도를 평가하였다(NIER, 2015).

## 결 과

### 1. 입도 분포 변화

하천 퇴적물의 입도 변화는 주변 지질을 구성하는 암석의 성분 등 퇴적물의 공급과 지형상의 특성에 따른 유속과 유량의 변화에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Miall, 1977; You *et al.*, 2000).

입도 분포의 변화는 연구 지역인 8개의 보 구간에서 각각의 보를 기준으로 상류부와 하류부가 다른 경향이 나타났으며, 각 보를 기준으로 상류부에서 다양한 입도 분포의 변화를 보여준다. 8개의 보 중 상류 지점에 해당하는 SJ-U와 ND-U의 경우 2012년 각각 93.3%, 87.5%로 모래가 우세한 분포를 보이고 있었으나 2016년 61.6%, 27.2%로 모래의 함량이 감소하였고, 2018년에 47.9%, 74.9%로 나타났다. 8개의 보 중 중류에 해당하는 CG-U와 GR-U는 2012년 모래의 함량이 각각 56.8%, 62.7%로 타 지점에 비하여 모래의 함량이 적은 지점이다. CG-U는 매년 모래가 조금씩 증가하여 2018년에 71.0%로 나타났으며, GR-U는 2016년에 모래가 71.7%로 증가하였으나 2018년도에 52.6%로 감소하였다. 8개의 보 중 중상류에 해당하는 GM-U와 하류에 해당하는 DS-U, CN-U, HA-U의 경우 2012년 DS-U와 2016년 HA-U의 모래 함량 87.2%, 84.8%를 제외하고 매년 90% 이상의 모래 함량을 유지하여 모래가 우세하게 분포하여 유지되는 것으로 나타났다(Fig. 2a).

보 하류 지점은 전반적으로 실트와 점토에 비해 모래가 우세한 분포를 보이고 있다. 대부분의 지점에서 모래의 함량이 약 90% 이상을 유지하고 있으며, 변화의 폭이 가장 큰 SJ-D의 경우 2012년 100%에서 2016년 90.5%로 감소한 후 2018년 98.8% 증가하였다. 보 하류부의 경우 SJ-D를 제외하고 모두 약 97% 이상 모래의 함량을 유지하고 있으며 HA-D의 경우 모래의 함량 100%를 유지하고 있다(Fig. 2b).

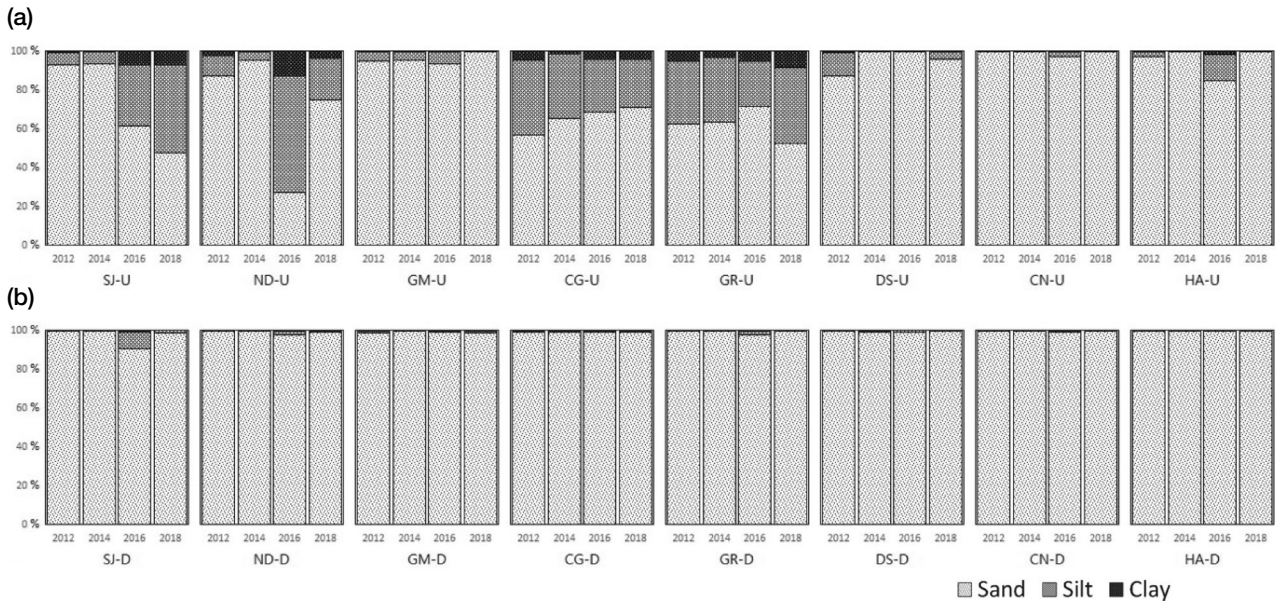


Fig. 2. Change in the sediment composition (sand, silt, clay) of surface sediments in study area (a: upstream of the weir, b: downstream of the weir).

## 2. 유기물 및 영양염류 변화

퇴적물의 유기물량은 수계의 퇴적환경을 평가하는 데 중요한 척도 중 하나이며, 일반적으로 유기물 분포의 지표로서 완전연소가능량과 총유기탄소가 사용된다(Jeon *et al.*, 2012). 보 상류부의 완전연소가능량과 총유기탄소는 보 하류부에 비해 변화의 폭이 크게 나타났다. 완전연소가능량은 2012년 평균 2.07%에서 2014년 1.90%로 감소 후 2018년까지 2.83%로 증가하였으며, 총유기탄소는 2012년 평균 0.53%에서 2014년 0.36%로 감소 후 2018년까지 0.60%로 증가하였다. 특히 SJ-U, ND-U, CG-U, GR-U에서 변화의 폭이 뚜렷하며 증가와 감소를 반복하였다. 가장 큰 변화를 보이는 지점인 ND-U는 2014년 완전연소가능량과 총유기탄소가 각각 0.74%, 0.12%에서 2016년 각각 7.43%, 1.82%로 약 10배 이상 증가하였으나 2018년 각각 2.15%, 0.80%로 약 2배가량 감소하였다. CG-U의 경우 2012년 완전연소가능량이 6.18%에서 매년 감소하여 2018년 2.83%로 나타났으며, 총유기탄소는 2012년 1.27%에서 2016년까지 0.75%로 감소 후 2018년 0.83%로 소폭 증가하여 시간이 흐르면서 감소하는 경향을 보였다. 완전연소가능량은 2018년 GR-U에서 9.61%로 가장 높게 나타났으며, 총유기탄소는 2016년 ND-U에서 7.43%로 가장 높은 농도를 보였다. GM-U, DS-U, CN-U, HA-U의 경우 완전연소가능량과 총유기탄소가 각각 0.53~2.16%, 0.06~0.53%의 범위 내에서 소폭으로 증가와 감소를 반복하였다. 보 하류부의 완전연소가능량과 총유기탄소는 각각

0.29~1.05%, 0.03~0.18%의 범위 내에서 소폭으로 증가와 감소를 반복하는 경향을 보였다. 완전연소가능량은 2012년 8개 보의 평균 0.48%에서 2016년까지 0.64%로 증가 후 2018년 0.54%로 감소하였다. 총유기탄소는 2012년 평균 0.15%로 가장 높았으며, 2014년 0.06%로 감소 후 2018년까지 0.10%로 증가하였다(Table 2).

수계의 퇴적 환경 변화 시 수층으로 용출될 수 있는 영양물질의 분포 변화를 알기 위하여 총질소와 총인의 변화를 살펴보았다. 보 상류부의 총질소는 2012년 8개의 보 평균  $1,253 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 2016년까지  $906 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 감소 후 2018년  $1,084 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 증가하였다. SJ-U, ND-U, GR-U에서 비교적 큰 폭으로 증가와 감소를 반복하였으며, GM-U, CG-U, DS-U, CN-U, HA-U에서는 조사 시기별로 총질소의 농도가 전반적으로 감소하는 경향을 보였으며 특히, CG-U에서 2012년 가장 높은 농도인  $2,050 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 2014년  $2,391 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 증가 후 2016년과 2018년 각각  $1,173 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $1,174 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 약 2배가량 감소하였다. 총인은 2012년 8개의 보 평균  $272 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 2014년  $231 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 감소 후 2016년, 2018년 각각  $326$ ,  $322 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 증가 후 유지되었다. 8개의 보 중에서 가장 상류에 위치한 SJ-U는 2012년  $224 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 2014년  $171 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 감소 후 2018년  $480 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 약 2배 이상 증가하였으며, ND-U는 2012년  $317 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 2014년  $104 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 감소, 2016년  $797 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 큰 폭으로 증가한 후 2018년  $366 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 감소하였다. 2012년 8개의 보 중에서 총인의 농

**Table 2.** Ignition loss, total organic carbon, total nitrogen and total phosphorus of surface sediments in study area.

Station name	IL (%)				TOC (%)				TN (mg kg <sup>-1</sup> )				TP (mg kg <sup>-1</sup> )				
	2012	2014	2016	2018	2012	2014	2016	2018	2012	2014	2016	2018	2012	2014	2016	2018	
Upstream of the Weir	SJ-U	1.41	1.08	2.97	4.65	0.32	0.15	0.14	1.28	1040	1118	550	1884	224	171	173	480
	ND-U	2.99	0.74	7.43	2.15	0.88	0.12	1.89	0.80	1660	738	2352	1395	317	104	797	366
	GM-U	0.74	1.09	0.67	0.60	0.22	0.17	0.10	0.13	960	1091	516	372	152	151	96	94
	CG-U	6.18	4.98	3.98	2.83	1.27	1.12	0.75	0.83	2050	2391	1173	1174	468	497	519	398
	GR-U	4.76	4.81	3.45	9.61	0.72	1.06	0.64	1.37	1280	2145	956	2586	448	515	454	667
	DS-U	2.07	1.07	0.70	1.41	0.53	0.11	0.06	0.20	1290	875	460	517	308	165	148	287
	CN-U	0.53	0.67	0.65	0.72	0.14	0.07	0.06	0.11	880	898	497	353	114	107	133	139
	HA-U	0.82	0.77	2.16	0.64	0.17	0.07	0.47	0.07	860	417	746	388	145	139	290	143
	Min	0.53	0.67	0.65	0.60	0.14	0.07	0.06	0.07	860	417	460	353	114	104	96	94
	Max	6.18	4.98	7.43	9.61	1.27	1.12	1.89	1.37	2050	2391	2352	2586	468	515	797	667
Avg.	2.44	1.90	2.75	2.83	0.53	0.36	0.51	0.60	1253	1209	906	1084	272	231	326	322	
Downstream of the weir	SJ-D	0.42	0.44	0.66	0.58	0.14	0.04	0.09	0.11	680	570	372	481	89	82	108	92
	ND-D	0.45	0.46	0.56	0.54	0.16	0.05	0.11	0.11	860	636	206	335	129	82	107	95
	GM-D	0.72	0.51	0.50	0.37	0.14	0.04	0.08	0.07	900	631	409	321	177	83	92	114
	CG-D	0.66	0.80	0.38	0.67	0.18	0.07	0.04	0.12	870	715	333	425	168	141	101	117
	GR-D	0.42	0.50	0.79	0.65	0.18	0.17	0.09	0.11	780	671	535	426	108	103	128	111
	DS-D	0.55	0.98	0.73	0.71	0.16	0.05	0.07	0.09	900	308	574	347	168	151	121	139
	CN-D	0.35	0.40	0.48	0.46	0.14	0.06	0.03	0.09	920	868	313	607	107	92	93	101
	HA-D	0.29	0.39	1.05	0.35	0.12	0.03	0.03	0.06	720	474	411	294	122	91	86	98
	Min	0.29	0.39	0.38	0.35	0.12	0.03	0.03	0.06	680	308	206	294	89	82	86	92
	Max	0.72	0.98	1.05	0.71	0.18	0.17	0.11	0.12	920	868	574	607	177	151	128	139
Avg.	0.48	0.56	0.64	0.54	0.15	0.06	0.07	0.10	829	609	394	405	134	103	105	108	

도가 각각 468 mg kg<sup>-1</sup>, 448 mg kg<sup>-1</sup>으로 높게 나타난 CG-U와 GR-U는 소폭으로 증가와 감소를 반복하였으며, GM-U, DS-U, CN-U, HA-U는 94~308 mg kg<sup>-1</sup> 비교적 낮은 농도 범위 내에서 소폭으로 증가와 감소를 반복하는 경향을 보였다. 보 하류부의 총질소는 8개 보 모두 2012년에 가장 높은 농도를 보였으며, 206~920 mg kg<sup>-1</sup> 범위 내에서 전반적으로 감소하는 경향으로 나타났다. 총인의 경우 82~177 mg kg<sup>-1</sup> 범위 내에서 소폭으로 증가와 감소를 반복하였으며, SJ-D를 제외한 나머지 보에서 2012년에 가장 높은 농도를 보였다 (Table 2).

### 3. 금속류 변화

퇴적물 내 금속류 농도는 전반적으로 증가하는 경향을 보였으며, 각 원소별 농도는 Cd < As < Pb < Cr < Zn 순서로 나타났다. 보 상류부에서 Pb, Zn, Cd, Cr, As의 농도는 각각 8.3~40.5 mg kg<sup>-1</sup>, 26.3~217.1 mg kg<sup>-1</sup>, 0.11~0.53 mg kg<sup>-1</sup>, 17.8~107.7 mg kg<sup>-1</sup>, 3.1~13.2 mg kg<sup>-1</sup> 범위 내에서 시간이 갈수록 증가하는 경향이 나타났다. Zn과 Cr은 다른 원소에

비해 지역별, 연도별로 증가와 감소가 크게 반복되는 경향을 보였다. Cd, Pb, As는 Zn과 Cr과 비교하여 상대적으로 낮은 변동 범위 내에서 증가와 감소를 반복하였으며, Cd의 경우 2012년 평균 0.29 mg kg<sup>-1</sup>에서 2016년까지 0.45 mg kg<sup>-1</sup>으로 증가 후 2018년 0.35 mg kg<sup>-1</sup>으로 감소하였다. 보의 하류부에서는 상류부에 비해 낮은 농도 범위를 보였다. Pb, Zn, Cd, Cr, As의 농도는 각각 6.5~43.1 mg kg<sup>-1</sup>, 7.1~260.4 mg kg<sup>-1</sup>, 0.05~0.42 mg kg<sup>-1</sup>, 7.6~78.0 mg kg<sup>-1</sup>, 1.8~14.0 mg kg<sup>-1</sup> 범위 내에서 시간이 갈수록 증가하는 경향이 나타났다. 상류부의 변동 특성과 유사하게 Zn, Cr이 증가와 감소를 크게 반복하거나, Cd, Pb, As의 농도가 상대적으로 낮은 변동 범위를 보였다. 다만, Pb, Zn, As의 가장 높은 농도가 보의 하류부인 GR-D와 DS-D에서 나타나 지역별로 낮은 농도의 범위로 분포하더라도, 비교적 고농도의 금속이 포함될 수 있는 것으로 보여진다 (Table 3).

### 4. 상관관계 분석

퇴적물의 입도, 유기물 영양염류 및 금속류의 각 항목간

Table 3. Metals (Pb, Zn, Cr, As, Cd) of surface sediments in study area.

Station name	Pb (mg kg <sup>-1</sup> )				Zn (mg kg <sup>-1</sup> )				Cr (mg kg <sup>-1</sup> )				As (mg kg <sup>-1</sup> )				Cd (mg kg <sup>-1</sup> )			
	2012	2014	2016	2018	2012	2014	2016	2018	2012	2014	2016	2018	2012	2014	2016	2018	2012	2014	2016	2018
SJ-U	17.8	20.0	25.4	29.6	84.2	78.1	118.5	83.3	28.1	31.2	44.3	46.8	7.7	6.9	6.2	10.4	0.38	0.27	0.36	0.32
ND-U	19.9	15.4	30.4	35.7	105.0	48.2	145.3	140.1	43.1	29.2	55.8	57.5	12.4	4.4	9.6	11.1	0.46	0.13	0.39	0.42
GM-U	19.5	21.7	27.2	39.9	89.4	100.1	137.1	177.9	32.6	54.7	50.5	63.3	7.6	9.0	8.9	13.2	0.31	0.35	0.39	0.36
CG-U	12.6	20.6	31.9	39.6	44.2	123.4	217.1	193.7	30.8	37.7	51.8	51.8	4.9	7.4	9.7	9.8	0.28	0.31	0.42	0.38
GR-U	14.0	23.5	26.6	40.5	86.6	134.0	120.4	192.8	28.1	44.6	50.5	56.2	5.9	9.6	7.1	11.0	0.34	0.51	0.46	0.38
DS-U	10.8	14.1	23.8	32.3	70.3	41.8	81.6	117.3	23.4	35.6	62.4	61.2	4.1	4.8	5.9	5.7	0.22	0.15	0.53	0.32
CN-U	9.1	18.9	22.5	30.9	32.5	71.0	75.6	120.6	36.1	107.7	49.2	59.2	4.1	6.0	4.9	7.1	0.22	0.22	0.52	0.32
HA-U	8.3	15.3	35.5	26.5	26.3	47.7	213.1	106.9	17.8	50.6	83.6	80.1	3.1	5.4	10.9	9.2	0.11	0.12	0.51	0.33
Min	8.3	14.1	22.5	26.5	26.3	41.8	75.6	83.3	17.8	29.2	44.3	46.8	3.1	4.4	4.9	5.7	0.11	0.12	0.36	0.32
Max	19.9	23.5	35.5	40.5	105.0	134.0	217.1	193.7	43.1	107.7	83.6	80.1	12.4	9.6	10.9	13.2	0.46	0.51	0.53	0.42
Avg.	14.0	18.7	27.9	34.4	67.3	80.5	138.6	141.6	30.0	48.9	56.0	59.5	6.2	6.7	7.9	9.7	0.29	0.26	0.45	0.35
SJ-D	14.8	16.2	24.7	29.3	67.5	42.8	121.0	95.1	26.4	27.1	28.7	40.6	5.4	4.0	6.6	7.6	0.32	0.11	0.42	0.25
ND-D	13.9	16.8	21.2	28.3	32.9	34.5	69.5	85.0	12.6	20.4	16.1	43.1	3.1	4.3	5.4	8.0	0.11	0.08	0.25	0.26
GM-D	13.9	17.5	23.3	29.3	77.4	45.9	83.5	88.9	20.0	29.7	26.9	53.4	3.6	4.9	5.3	6.3	0.23	0.14	0.41	0.28
CG-D	13.3	18.2	13.7	24.3	80.8	48.9	19.6	53.6	25.8	45.4	7.6	42.7	5.0	6.7	1.8	4.4	0.33	0.15	0.05	0.22
GR-D	8.9	14.3	22.5	33.5	16.3	43.2	260.4	138.5	9.4	29.3	38.2	75.1	2.3	5.7	5.0	6.4	0.06	0.25	0.41	0.38
DS-D	9.7	17.0	21.0	43.1	27.9	66.0	88.7	216.1	23.5	35.3	51.8	65.4	4.2	6.2	4.9	14.0	0.21	0.18	0.31	0.40
CN-D	7.4	14.5	19.6	13.5	24.9	53.6	68.2	7.1	13.7	30.3	38.6	12.7	2.5	4.3	5.8	2.2	0.11	0.12	0.17	0.04
HA-D	6.5	21.2	21.7	15.1	14.0	80.5	135.3	18.1	12.6	23.5	78.0	18.7	1.8	12.3	5.6	2.7	0.08	0.24	0.34	0.07
Min	6.5	14.3	13.7	13.5	14.0	34.5	19.6	7.1	9.4	20.4	7.6	12.7	1.8	4.0	1.8	2.2	0.06	0.08	0.05	0.04
Max	14.8	21.2	24.7	43.1	80.8	80.5	260.4	216.1	26.4	45.4	78.0	75.1	5.4	12.3	6.6	14.0	0.33	0.25	0.42	0.40
Avg.	11.1	17.0	21.0	27.1	42.7	51.9	105.8	87.8	18.0	30.1	35.7	44.0	3.5	6.1	5.1	6.5	0.18	0.16	0.30	0.24

Downstream  
of the weir

**Table 4.** Pearson’s correlation coefficient of grain sizes (sand, silt, clay), IL, TOC, TN, TP and Metals (Pb, Zn, Cr, As, Cd) of surface sediments in study area.

	Sand	Silt	Clay	IL	TOC	TN	TP	Pb	Zn	Cr	As	Cd
Sand	1											
Silt	-.999**	1										
Clay	-.954**	.937**	1									
IL	-.931**	.931**	.882**	1								
TOC	-.930**	.933**	.862**	.931**	1							
TN	-.805**	.815**	.700**	.864**	.908**	1						
TP	-.926**	.927**	.871**	.944**	.959**	.862**	1					
Pb	-.336**	.328**	.364**	.326**	.294*	.063	.341**	1				
Zn	-.386**	.384**	.375**	.398**	.351**	.191	.425**	.814**	1			
Cr	-.159	.154	.181	.188	.138	.026	.195	.677**	.603**	1		
As	-.396**	.394**	.386**	.401**	.426**	.294*	.421**	.781**	.720**	.570**	1	
Cd	-.411**	.414**	.374**	.395**	.386**	.250*	.437**	.648**	.754**	.572**	.659**	1

\*\*P<0.01, \*P<0.05

의 상관관계를 파악하기 위하여 피어슨 상관계수(Pearson’s correlation coefficient) 분석을 실시하였다. 입도(Sand, Silt, Clay), 유기물(IL, TOC), 영양염류(TN,TP) 및 금속류(Pb, Zn, Cr, As, Cd)을 대상으로 실시하였으며, 피어슨 상관계수는 변수 간의 관련성을 알기위하여 보편적으로 사용되고 있으며, 상관계수가 음수일 경우 음의 상관관계, 양수일 경우 양의 상관관계를 가진다. 상관계수 r 값에 따른 상관성의 명확한 기준은 없으나 일반적으로 상관계수 r의 절대값이 0.2 보다 작으면 상관관계가 없거나 무시해도 될 수준, 0.2와 0.4 사이일 경우 약한 상관관계, 0.4와 0.6 사이일 경우 보통 상관관계, 0.6과 1.0 사이일 경우 강한 상관관계를 의미한다(Lee and Han, 2015; Yang *et al.*, 2018). 각 항목 간의 상관성을 평가한 결과 입도, 유기물, 영양염류 항목과 금속류 항목 간의 두 그룹으로 나누어 나타났다. 입도, 유기물, 영양염류 항목 간의 상관관계는 0.01의 유의수준에서 강한 상관관계를 보이는 것으로 나타났으며, 세립한 퇴적물일 경우 퇴적물 내 유기물 및 영양염류의 농도가 높아지는 일반적인 경향을 따르는 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2018). 금속류의 경우 원소별로 입도, 유기물, 영양염류 항목과 다소 약한 상관관계 및 무시해도 될 수준의 상관관계가 나타났으나, 금속류 각각의 원소별 상관관계는 0.01의 유의수준에서 보통이거나 강한 상관관계가 나타났다(Table 4).

## 고찰

보 건설 후 초기 퇴적물의 입도는 모래가 우세하여 비교

적 조립한 지점이 많았으나 시간이 지나면서 세립해지는 지점이 발생하였다. 인공구조물인 보를 기준으로 상류부에서는 입도 분포의 변화가 광범위하게 나타나는 반면, 하류부에서는 조립한 퇴적물이 유지되는 경향을 보였다. 보가 설치된 지역에서 선행된 연구결과에 따르면 장마기간 이후 보 상류부에 일시적인 정체구역 형성으로 유사퇴적이 유발되고 세립한 퇴적물이 크게 증가한 지점이 발생하였다(Lee *et al.*, 2019). 연구지역 중 가장 상류에 위치한 SJ-U에서 세립한 퇴적물의 증가가 나타났으며, ND-U와 GR-U에서 세립한 퇴적물의 증가와 감소가 반복되었다. SJ-U, ND-U, GR-U를 제외한 나머지 지점에서는 실트와 점토의 함량이 증가와 감소를 반복하여 시간적 변화가 뚜렷하게 보이지 않았다.

보 상류부는 인공적으로 설치된 구조물로 인하여 유수의 일시적인 정체와 수문 개방 등으로 입도 분포의 변화가 광범위하게 나타나는 것으로 보인다. 이는 인공구조물로 인하여 구조물 상류부의 유속이 감소하고 정체구역이 형성되어 세립한 퇴적물이 발달하는 지점이 발생할 수 있으며, 인공구조물의 수문 형태, 개방 등으로 인한 체류시간의 변화와 각각의 지역별로 분포하고 있는 퇴적환경의 특성이 퇴적물 입도 조성 변화에 영향으로 미치는 것으로 판단된다(Oh *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2019). 보 하류부는 조립한 퇴적물이 우세하며 대부분 모래이거나 세립한 퇴적물의 증가가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 보의 하류 지점은 인공구조물로 인해 실트와 점토와 같은 세립한 퇴적물의 공급이 원활하지 않아 조립한 퇴적물이 유지되는 것으로 판단된다.

유기물과 영양염류의 농도 변화는 입도의 변화에 따라 비슷한 경향을 보이고 있다. 보 상류부에서 세립한 퇴적물이 전

반적으로 증가함에 따라 유기물과 영양염류의 농도가 증가하고 있다. 조립한 퇴적물이 우세한 보 상류부 지점인 GM-U, DS-U, CN-U, HA-U과 보 하류부의 모든 지점에서 유기물과 영양염류의 농도가 낮은 범위 내에서 증가와 감소를 반복하였다. 입도와 유기물, 영양염류 각각의 항목 간에 강한 상관관계를 보이고 있으며 퇴적물의 입도의 변화에 따라 유기물 및 영양염류의 농도가 변화하는 특성이 나타났다. 인공 구조물로 인하여 유수의 정체로 보 상류부에 세립한 퇴적물이 증가하면 유기물과 영양염류의 농도가 증가하게 되는 반면, 수문의 형태와 개방, 지역적인 특성에 따라 퇴적물이 조립한 상태가 되면 유기물과 영양염류의 농도가 감소하거나 낮은 수준을 유지하는 것으로 판단된다. 또한, 퇴적물이 시간에 따라 세립해지고, 유기물과 영양염류의 농도가 증가하는 지점이 있었지만 하천·호소 퇴적물 오염평가 기준(국립환경과학원, 예규687호)의 기준을 초과한 지점이 나타나지 않아 유기물과 영양염류에 대하여 심각하고 명백한 오염의 상태로 보이지 않는다. 다만 국내 기준의 경우 IV등급 단일 기준을 적용하고 있어 보다 세부적으로 평가할 수 있도록 국외 기준을 적용하여 알아보았다(Persaud *et al.*, 1993). 캐나다 온타리오 환경부 퇴적물 환경 기준으로 평가한 결과 저서생물의 뚜렷한 장애발생이 예상되는 농도로 대부분의 군집종에 심한 악영향을 끼치는 수준인 SEL 등급에 해당하는 지점은 없었다. 저서생물 다수가 견딜 수 있는 수준이지만 몇몇 종에 악영향이 시작될 수 있는 LEL 등급에 해당하는 지점은 총유기탄소가 매년 1~2지점이 나타났으며, 총질소는 2012년 모든 지점, 2014년 13지점, 2016년 5지점, 2018년 5지점으로 해마다 LEL 등급이 지점 수가 감소하였다. 총인인 경우 2016년과 2018년에 각각 1지점씩 나타났으며, 나머지 지점에서 NEL 수준으로 나타났다(Table 5). 유기물과 영양염류의 농도가 시간에 따라 증가하는 지점이 발생하였지만 국내·외 오염 기준을 통해 살펴본 결과 비교적 낮은 오염 수준을 유지하는 것으로 보인다.

금속류의 경우 시간의 흐름에 따라 농도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 보 상류부에서 하류부에 비해 더 높은 농도

로 증가하는 경향이 나타났으며, 하류부는 다소 적은 폭의 증가와 감소를 반복하는 경향을 보이고 있다. 보의 상·하류부에서 금속류의 농도가 초기에 비해 증가하는 경향이 나타났지만, 금속류와 입도가 약한 상관관계가 나타났으며, 조립한 퇴적물이 우세하게 나타난 보의 하류부에서 Pb, Zn, As의 최대 농도가 나타나기도 하였다. 일반적으로 퇴적물의 금속류는 입도, 유기물 등과 밀접한 관계가 있으며 높은 상관관계를 보이는 것으로 알려져 있는데, 본 연구에서 금속류 각각의 원소별로 높은 상관관계를 보이고 있는 반면, 입도와 금속류 항목 간에 다소 약한 상관관계가 나타났다(Horowitz, 1991; Kim *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2018). 하천의 보 구간 퇴적물에서 진행된 다른 연구 결과에서 일부 금속이 입도와 미약한 상관성을 보이는 것으로 나타났으며, 영산강과 금강의 보 구간에서 진행된 연구에서 Pb, Zn, Cd, As 등의 금속류가 입도와 미약한 상관관계를 보이는 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2018). 또한, 금강 유역에서 진행된 연구에서 As와 Pb이 조립질 모래에서 높은 농도를 보이는데 이는 As와 Pb이 퇴적물 내 암석물질 중 금속함량과 밀접한 관련이 있는 것으로 보았다(Hwang *et al.*, 2013). 본 연구의 지역에서 유기물과 영양염류의 경우 입도의 영향을 받게 되는 반면, 금속류는 입도보다는 다른 요인에 영향을 받는 것으로 판단된다.

금속류에서 Cd을 제외한 Pb, Zn, Cr, As의 농도가 모든 지점에서 하천·호소 퇴적물 오염평가 기준의 I등급에 속하고 있다. 각 등급별로 저서생물에 대하여 I등급은 독성이 나타날 가능성이 거의 없으며, II등급은 독성이 나타날 가능성이 있으며, III등급은 독성이 나타날 가능성이 비교적 높으며, IV등급은 독성이 나타날 가능성이 매우 높은 것으로 구분한다. Cd의 경우 대부분 I등급에 해당하고 있으나 II등급에 속하는 지점이 2012년, 2014년에 각각 1지점, 2016년에 8지점, 2018년에 1지점으로 독성이 나타날 가능성이 있는 지점이 발생하였다. 다만, II등급에 속하는 지점의 수가 가장 많은 2016년에 비해 2018년에 많이 감소하였으며, Cd의 농도가 II등급에 해당하는 지점과 I등급에 해당하는 지점의 차이가 미약하고

**Table 5.** The lake sediment pollution evaluation standard of NIER and Ontario sediment quality guidelines.

	NIER				OSQG		
	I	II	III	IV	NEL	LEL	SEL
IL (%)	-	-	-	>13	-	-	-
TOC (%)	-	-	-	-	<1	1~10	>10
TN (mg kg <sup>-1</sup> )	-	-	-	>5,600	<550	550~4,800	>4,800
TP (mg kg <sup>-1</sup> )	-	-	-	>1,600	<600	600~2,000	>2,000



**Table 6.** The lake sediment pollution evaluation standard of NIER.

	NIER			
	I	II	III	IV
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	≤59	≤154	≤459	>459
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	≤363	≤1,170	≤13,000	>13,000
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	≤112	≤224	≤991	>991
As (mg kg <sup>-1</sup> )	≤15	≤44.7	≤92.1	>92.1
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	≤0.4	≤1.87	≤6.09	>6.09

Cd을 제외한 대부분의 금속이 I등급에 속하여 금속류에 대한 오염이 비교적 낮은 수준으로 판단된다(Table 6). 따라서, 향후 독성이 나타날 가능성이 있는 지점에 독성 시험을 진행하여 금속류로 인한 퇴적물 오염정도의 검증이 필요할 것으로 보이며, 퇴적물 내 금속류 분포 및 특성이 다양하게 나타나기 때문에 하천과 인공구조물이 설치된 구간에서 입도와 금속류 분포, 변화 경향 및 상관성에 대한 연구를 추가적으로 실시해야 할 것으로 생각된다.

낙동강 수계의 보 구간 퇴적물은 시간의 흐름에 따라 입도의 영향으로 세립해지는 지점이 발생하였으며, 이에 따라 유기물과 영양염류의 농도가 증가하였으나 유기물 및 영양염류에 대하여 오염정도가 미약한 상태로 보인다. 금속류의 경우 입도의 영향과 관계없이 전반적으로 농도가 증가하는 것으로 나타났으며, 일부 금속이 독성이 나타날 가능성이 있는 수준으로 증가하였으나 다시 감소하였고, 대부분의 금속류가 독성이 나타날 가능성이 거의 없는 것으로 나타났다. 낙동강 수계 보 구간의 퇴적물은 시간에 따라 입도가 세립해지고 유기물, 영양염류, 금속류가 증가하는 지점이 발생하였지만 전반적으로 미약한 오염정도의 수준을 유지하는 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구에서는 낙동강 수계 8개의 보 구간에서 퇴적물의 변화에 대하여 알아보았다. 보 구간의 퇴적물을 채취하여 유기물, 영양염류, 금속류 항목을 분석하였으며, 시간의 흐름에 따른 변화를 알아보았다. 보를 기준으로 상류부에는 퇴적물이 세립해지거나 세립한 퇴적물이 증가와 감소를 반복하는 것으로 나타났으며, 하류부에서 조립한 퇴적물을 유지하는 것으로 나타났다. 퇴적물의 유기물 및 영양염류는 입도와 강한 상관성을 보이고 있으며, 조립한 상태를 유지하는 지점보다 퇴적물이 세립해지는 지점에서 증가하였다. 유기물과 영양염류의 농도가 증가하는 지점이 있었으나 하천·호소 퇴적

물 오염평가 기준의 기준치를 넘는 지점이 없어 유기물, 영양염류에 대하여 오염 정도가 미약한 상태로 보인다. 금속류의 경우 전반적으로 농도가 증가하는 것으로 나타났으며, 입도 및 유기물, 영양염류와 상관성이 미약하였다. 일부 금속이 독성이 나타날 가능성이 있는 II등급에 속하는 지점이 있으나 I등급과 농도 차이가 많지 않으며 대부분의 금속이 I등급을 유지하여 금속류에 대한 오염정도는 미약한 것으로 판단된다. 본 연구결과가 낙동강 수계의 퇴적물 변화를 모두 대표할 수는 없지만 보 구간의 퇴적물 변화 특성을 이해하는 자료로 활용이 가능할 것으로 생각되며, 향후 독성평가를 진행하거나 보 구간에서 입도와 금속류의 분포 및 상관관계에 대한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

**저자정보** 이권철(국립환경과학원 낙동강물환경연구소 전문위원), 김형근(국립환경과학원 낙동강물환경연구소 전문위원), 이해운(국립환경과학원 낙동강물환경연구소 전문위원), 양득석(국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구관), 김신(국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구사)

**저자기여도** 개념 및 방법론 설정: 이권철, 김신, 분석: 이권철, 김형근, 이해운, 자료제공: 김형근, 이해운, 양득석, 김신, 자료관리: 이권철, 김형근, 이해운, 김신, 원고 초안작성 및 편집: 이권철, 원고 교정: 이권철, 김신

**이해관계** 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

**연구비** 본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2020-05-01-001).

## REFERENCES

Ahn, J.M., T.H. Im, S.M. Kim, S.S. Lee, S. Kim, K.C. Lee, Y.S. Kim and D.S. Yang. 2018. Evaluating sediment heavy metal pollution level and monitoring network representativeness at the upstream points of the Gangjeong-Goryeong Weir in the Nakdong River. *Journal of Environmental Science International* **27**(7): 477-488.

Ahn, J.M., T.H. Im, I.J. Lee, K.L. Lee, K.Y. Jung, J.W. Lee, S.U. Cheon and I.H. Park. 2014. A study on efficiency of water supply through conjunctive operation of reservoirs and muly-funtion weirs in the Nakdong River. *Journal of Korean Society on Water Environment* **30**(2): 138-147.

Cho, Y.C. and S.W. Chung. 2007. Sediment release rate of nutrients from Namyang Reservoir. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* **29**(12): 1345-1352.

Horowitz, A.J. 1991. A Primer on sediment-trace element chemistry, Lewis Publish, Chelsea, 1-136.

- Hwang, D.W., I.S. Lee, M. Choi, S.Y. Kim and H.G. Choi. 2013. Evaluation of organic matter and trace metal contamination in surface sediment around the Geum River Estuary using sediment quality guideline. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science* **46**(6): 930-940.
- Jeon, S.B., P.J. Kim, S.S. Kim, J.S. Ju, Y.H. Lee, D.S. Chang, J.U. Lee and S.Y. Park. 2012. Characteristics of spatial distribution of geochemical components in the surface sediments of the Deukryang Bay. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis* **15**(3): 203-214.
- Kang, M.K., I.Y. Choi, J.H. Park and H.J. Kim. 2012. Investigation of the effect of weirs construction in the Han River on the characteristics of sediments. *Journal of Korea Society of Environmental Engineers* **34**(9): 597-603.
- Kim, I.J., S.I. Hwang and H.J. Kim. 2010. Freshwater sediment management and beneficial use of dredged material. *Korea Environment Institute* **2010**(10): 1-103.
- Kim, J.Y., G.Y.N Eun, Y.K. Koh, S.T. Youn, K.H. Oh and D.J. Kim. 2001. Sedimentary environments and geochemical characters of the core sediments near Naju-Yeongam area in the lower part of the Yeongsan River, Cheonnam, Korea. *Journal of Korea Earth Science Society* **22**(4): 301-316.
- Kim, S., J.E. Kim, K.C. Lee, K.Y. Lee, H.R. Jeon, J.J. Yu, I.J. Lee. and J.M. Ahn. 2015. Distribution and pollution of heavy metals in surface sediments from Nakdong River. *Journal of Environmental Science International* **24**(8): 969-980.
- Kim, S., J.M. Ahn, H.G. Kim, H.G. Kwon, G.H. Kim, D.S. Shin and D.S. Yang. 2018. The distribution characteristics of grain size and organic matters of surface sediments from the Nakdong-Goryeong mid-watershed. *Journal of Environmental Science International* **27**(6): 411-423.
- Kim, S., K. Lee, J. Kim, K. Jung, J. Ahn, H. Kim, I. Lee, D. Shin and D. Yang. 2017. Change in geochemical characteristics of surface sediments in the Nakdong River main stream. *Journal of Environmental Science International* **26**(3): 311-324.
- Lee, I.C., K.H. Kim, C.R. Ryu. and Y.T. Kim. 2004. A study on the analysis of behavior of inflowing sediments in Nakdong river Estuary. *Journal of The Korean Society for Marine Environment and Energy* **2004**(5): 218-222.
- Lee, I.H. and K.C. Han. 2015. Easy Flow Regression Analysis, Hannarae Publishing co., Seoul, Korea, 1-459.
- Lee, K., S. Kim, D. Yang, S. Park, H. Jeong, K. Lee, A Study on the characteristics of river sediments in watershed environment of Nakdong River. *Korean Journal of Ecology and Environment* **52**(4): 316-323.
- Lee, K.Y., K.C. Lee, J.E. Kim, S. Kim, J.M. Ahn and T.H. Im. 2015. A study on the nutrient release characteristics from sediments in Nak-dong River. *Journal of Korean Society on Water Environment* **31**(6): 644-652.
- Lee, S.E., I.S. Choi, S.K. Lee, I.H. Lee and J.M. Oh. 2012. The evaluation of pollution level and release characteristics by inner productivity in the sediment of lake. *Journal of Environmental Impact Assessment* **21**(1): 81-91.
- Miall, A.D. 1977. A Review of the braided river depositional environment. *Earth Science Reviews* **13**(1): 1-62.
- MOE. 2012. Official test methods of water quality, Notification No. 2012-99, Ministry of Environment. Sejong, Republic of Korea.
- MOLIT. 2009. River maintenance master plan in the Nakdong River, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, Republic of Korea.
- NIER. 2015. Sediment pollution evaluation standard of river and lake, Published rulings 687, National Institute of Environmental Research, Incheon, Republic of Korea.
- Oh, K.H., J.Y. Kim, Y.K. Koh, S.T. Youn, S.E. Shin, B.Y. Park, B.C. Moon and H.G. Kim. 2003. Geochemical characteristics and contamination of surface sediment in streams of Gwangju city. *Journal of the Korean Earth Science Society* **24**(4): 346-360.
- Persaud, D., R. Jaagumagi and A. Hayton. 1993. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario, Ontario Ministry of Environment and Energy.
- Shin, S.E., S.T. Youn, Y.G. Koh and K.H. Oh. 2015. The Geochemical Characteristics and environmental changes of surface sediment in Yeongsan River area. *Journal of the Korean Geomorphological Association* **22**(3): 31-42.
- Yang, H.J., T.W. Kang, K.M. Moon, H.J. Jeong, W.J. Yang, J.H. Han, H. Jung, S.H. Hwang and K. Kim. 2018. Assessment of heavy metal pollution in surface sediments of the Yeongsan River. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis* **21**(4): 292-303.
- Yang, Y., D. Oh, D. Kim, D. Lee, G. Kil, Y. Cho, H. Lee, S. Cheon and M. Chae. 2018. Pollution assessment in surface sediments of weir constructed sections in Geum River. *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis* **21**(3): 125-138.
- Yoon, E.C. and J.S. Lee. 2008. Characteristics of seasonal variation to sedimentary environment at the estuary area of the Nakdong. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers* **20**(4): 372-389.
- You, H.S., S.H. Cho and Y.K. Koh. 2000. Fluvial deposits distributed along the seomjin river. *Journal of the Korean Earth Science Society* **21**(2): 174-189.