

낙동강 수계의 유역환경 변화에 따른 퇴적환경 특성

이권철 · 김 신 · 양득석 · 박수정 · 정현기 · 이규열^{1,*}

국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹낙동강유역환경청

A Study on the Characteristics of River Sediments in Watershed Environment of Nakdong River.

Kwonchul Lee (0000-0003-3551-5031), Shin Kim (0000-0001-7014-4059), Deukseok Yang (0000-0003-3014-7719), Soojung Park (0000-0003-2889-7641), Hyungi Jeong (0000-0002-5162-7175) and Kyuyeol Lee^{1,*} (0000-0002-7381-4764) (National Institute of Environmental Research, Nakdong River Environmental Research Center; ¹Nakdong River Basin Environmental Office)

Abstract This study was carried out to investigate sedimentary environment changes in Nakdong River sediments. For this purpose, sediments at six sites upstream of Gangjeong-Goryung Weir in the middle of the Nakdong River were collected before and after the rainy season. Particles size, IL, TOC, TN, TP, and SRP were analyzed for the sediment environment. The changes in the watershed environment before and after the rainy season (precipitation, discharge, and SS concentration) were investigated. After the rainy season, the amount of precipitation and discharge increased more than three times, and the average concentration of SS in the stream increased more than two times. Fine grained sediment and the concentrations of IL, TOC, TN, TP, SRP were increased after the rainy season. As a result of sediment contamination assessment, IL was 19~68% of the reference value, TN and TP were 21~76% and 21~58% of the reference value. The result showed strong correlation between particle size (Silt + Clay) and organic contents of sediment (IL, TOC, TN, TP and SRP). It is considered that the change of the river watershed environment (precipitation, discharge) is an important factor of the change of sedimentation environment.

Key words: Nakdong River, IL, TOC, TN, TP, SRP, sediment

서 론

오늘날 유역 내 도시를 포함한 지역의 하천은 산업의 고도화로 인해 오염물질이 다양한 경로를 통해 수계로 유입되고 있으며, 유입된 오염물질은 수층에 용존상태로 존재하거나 입자상태의 물질로 변하여 수체의 바닥에 침강·퇴적된다(Lee *et al.*, 2012). 하천의 퇴적물은 유역에서 유입

되는 각종 유기물질이 모래, 점토, 광물질 등과 함께 하상의 변화와 유속의 저하에 의해서 운반력이 약화된 곳에 쌓이거나 화학적으로 침전되어 형성하게 된다(NIER, 2012). 형성된 퇴적층은 일정기간 축적되어 수온, pH, 용존산소(DO), 산화환원전위(ORP), 유속 등과 같은 물리화학적 환경요인과 저서생물 등의 생물학적 요인에 의해 영향을 받아 분해, 확산, 생물교란 등의 과정에 의해 퇴적물에서 수계로 된다. 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). 따라서 하천의 수질관리를 위해서는 외부로부

Manuscript received 14 October 2019, revised 6 December 2019, revision accepted 7 December 2019

* Corresponding author: Tel: +82-52-228-5803, Fax: +82-52-228-5889, E-mail: waabang@naver.com

© 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.

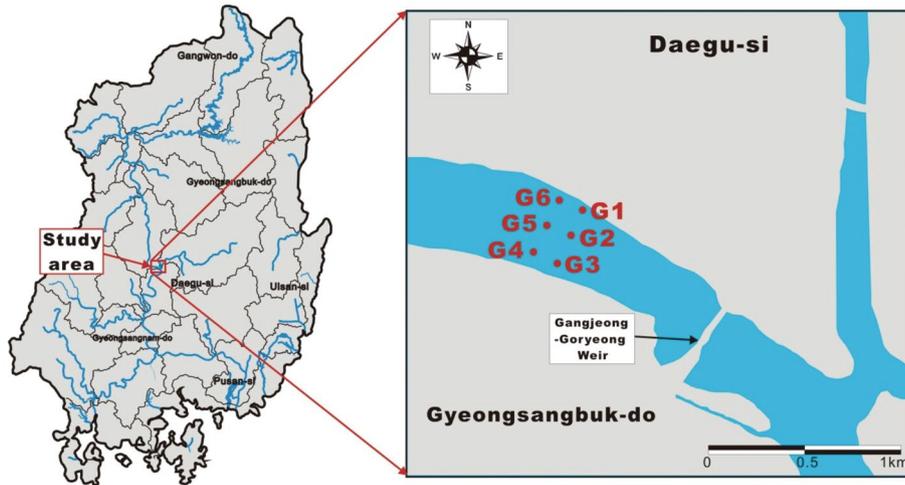


Fig. 1. Map showing sampling site of study area in Nakdong River.

터 유입되는 오염물질뿐만 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 수해 예방과 부족한 수자원 확보를 위해 하도 준설을 실시하고 한강, 낙동강, 금강, 영산강에 총 16개의 다기능 보를 건설하였다(MOLIT, 2009). 하천에서의 이러한 보의 건설은 준설과 수리시설 설치 및 관리수위의 운영으로, 자연상태 하천의 유향을 지속적으로 변화시키고 있다. 특히, 이는 유량 증가, 유속감소와 같은 하천환경의 물리적 변화에 따라 유역의 특성이 우수형 하천에서 정수형 호소로 전환되고 있으며, 이에 따른 하천 흐름의 정체로 유사거동 등 수체 내 퇴적물의 형성에 많은 영향을 미치고 있다(Ahn *et al.*, 2014). 낙동강 유역 퇴적물에 관한 연구는 하구언이나 삼각주 등의 저점들을 대상으로 진행되었다(Lee *et al.*, 2004; Yoon, 2008). 보 건설 이후 낙동강의 하상 퇴적물에 대한 연구가 활발하게 진행되었으나 하천의 퇴적물은 수질과는 다르게 유속·유량의 조건 등 하상의 변화에 따라 부분적으로 달라짐에 따라, 퇴적물의 시·공간적 변화 연구가 매우 중요하다(Kim *et al.*, 2015; Ahn *et al.*, 2018).

따라서 본 연구에서는 하천 유역환경 변화에 따른 퇴적환경 특성을 이해하기 위하여 낙동강 수계의 퇴적물 대상으로 유기물과 영양염류 분석을 실시하였으며, 강우량, 방류량 등의 유역환경 변화가 보와 같은 인공구조물 상류 구간의 퇴적환경에 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

Table 1. Geographical position of the Sampling site in study area.

Sampling site	Latitude (N)	Longitude (E)
G1	35°50'48.52"	128°27'07.63"
G2	35°50'43.45"	128°27'04.94"
G3	35°50'37.88"	128°27'02.65"
G4	35°50'39.40"	128°27'57.50"
G5	35°50'44.90"	128°27'59.10"
G6	35°50'50.90"	128°27'01.60"

재료 및 방법

1. 조사지점 및 시료채취

본 연구의 조사지점은 강정고령보 상류 약 1.2 km에 해당되며, 강정고령보는 길이가 953.5 m(고정보 833.5 m, 가동보 120 m)로 4대강 16개 보 중에서 규모가 가장 크고 상류에 많은 지류하천이 포함되는 지역이다(DDG, 2019). 퇴적물 조사지점은 강정고령보 상류 약 1.2~1.5 km 구간으로, 약 200 m 간격으로 격자형 6개 지점을 선정하여 시료를 채취하였다. 시료 채취 시 퇴적물의 교란을 최소화 하기 위하여 잠수부가 동반되어 퇴적물 시료를 채취하였다. 시료의 채취는 장마 전·후로 구분하여 2014년 7월 1일과 10월 17일 진행되었다. 시료채취 지점들의 위치는 강정고령보 상류의 격자형 6개 지점으로 G1, G2, G3 지점은 하류 쪽에 G4, G5, G6 지점은 상류 쪽에 위치한다(Fig. 1, Table 1).

2. 유역환경 분석

조사지점의 유역환경 변화를 알기 위하여 조사지점 인

근의 강수량, 하천의 유량, 하천의 SS 농도를 알아보았다. 강수량은 퇴적물 시료채취 지점에서 상류방향으로 약 9km에 위치한 성주대교의 강수량을 사용하였고, 하천의 유량은 퇴적물 시료채취 지점에서 하류방향으로 약 1.2km에 위치한 강정고령보의 방류량을 사용하였다. 강수량과 방류량의 자료는 「국가수자원관리종합정보시스템」(www.wamis.go.kr)의 일 단위 자료를 대상으로 시료 채취 전 90일간 자료를 사용하였다. 하천의 SS 농도는 퇴적물 시료채취 지점에서 하류방향으로 약 0.7km에 위치한 수질 측정망 조사 지점인 「달성」(대구광역시 달성군 다사읍 죽곡리)지점의 SS 농도 변화를 조사하였다. 자료는 「물환경정보시스템」(water.nier.go.kr)에서 주 단위로 제공되는 자료를 조사하였으며, 시료 채취 전 총 12회차, 시료 채취 후 총 13회차 자료를 사용하였다.

3. 퇴적물 분석방법

각 지점별 퇴적물 입도 (particles size), 완전연소가능량 (Ignition loss), 총유기탄소 (Total Organic Carbon), 총질소 (Total Nitrogen), 총인 (Total Phosphorus), 수용성인 (Soluble Reactive Phosphorus)을 분석하였으며, 국립환경과학원의 「수질오염공정시험기준」 중 하천·호소 퇴적물공정시험기준에 따라 실시하였다(MOE, 2012). 입도를 분석하기 위하여 퇴적물 시료에 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)를 이용하여 측정하였다. 완전연소가능량은 시료를 도가니에 담아 550°C에서 2시간 가열한 후 데시케이터에서 방냉하여 가열 전·후 무게차이를 이용하여 측정하였다. 퇴적물의 총질소, 총유기탄소의 측정을 위해 주석용기에 시료와 아황산용액과 증류수를 넣고 반응시킨 후 원소분석기 (vario MACRO Cube, Elementar, Germany)를 이용하여 분석하였다. 총인 분석은 고온에서 3시간 동안 인을 산화시킨 후, 염산 용액을 이용하여 추출하고 여과된 추출물을 통해 pH를 조절한 후 880 nm에서 측정하였다. 수용성인은 메디아 병에 시료와 KCl 용액을 넣고 24시간 추출하였다. 헵타몰리브덴산암모늄사수화물-아스코르빈산 혼합액을 가하여 15분간 방치한 후 880 nm에서 측

정하여 수용성인의 양을 정량하였다. 총인과 수용성인의 측정을 위해 자외선/가시선 분광계 (Lamba 365, Perkinelmer, U.S.A)를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석결과를 지점별 퇴적물의 입도와 완전연소가능량, 총유기탄소 등 각 항목 간의 상관성을 파악하기 위하여 피어슨 상관계수 (Pearson's correlation coefficient)를 활용하였다 (IBM SPSS Statistics, Version 22, IBM Corp., Armonk, New York).

결 과

1. 유역환경 변화

유역환경 변화가 연구 지역 퇴적물 성상의 변화에 미친 영향을 알기 위하여 장마 전·후 시료 채취 전 강수량, 방류량, 하천의 SS 농도를 조사하였다. 장마 후 퇴적물의 채취 이후 7월 19일부터 10월 16일까지 90일간 강수량과 방류량이 각각 555 mm, 29,157.3 m³ sec⁻¹으로, 장마 전 퇴적물 채취 일인 7월 1일 이전 총 90일간 각각 170 mm, 7,941.2 m³ sec⁻¹로 나타난 강수량과 방류량에 비해 3배 이상 증가하였다 (Table 2, Fig. 2). 또한, 같은 기간 측정된 SS의 농도는 평균 5.13 mg L⁻¹에서 13.15 mg L⁻¹로 2배 이상 증가하였다. 장마 기간 동안 증가한 강우의 영향으로 하천의 유량이 증가했으며, 동시에 부유물질의 양이 상당량 증가한 것으로 보인다.

2. 입도 분포 특성

연구 지역의 장마 전·후 입도 분포 결과를 알기 위하여 먼저 각 지점별 입도 분석을 진행하였다. G1은 모래의 함량이 67.5%에서 43.0%로 감소하였고, G2는 65.9%에서 44.6%로 감소하였다. G3은 48.4%에서 50.8%로 증가하였으며, G4는 44.9%에서 39.0%로 감소하였다. G5는 77.3%에서 39.1%로 감소하였으며, G6의 경우 90.1%에서 21.6%로 많이 감소하였다 (Fig. 3). 장마 전 G3, G4에서 모래를 제외한 실트와 점토 함량의 합이 각각 51.6%, 55.1%로 다른 지점에 비해 높게 나타나 우안 쪽으로 세립한 입자의 퇴적이 발달하였으나, 장마 후 실트와 점토 함량의 합이 좌안 쪽 지점인 G1, G6에서 각각 57.0%, 78.4%로 나타나 다른

Table 2. The observed Precipitation and Discharge, SS in the study area.

Date	Precipitation (mm)		Discharge (m ³ sec ⁻¹)		SS (mg L ⁻¹)		
	Total	Avg.	Total	Avg.	Total	Avg.	
Before	04.02~06.30	170	8.50	7,941.2	88.2	61.60	5.13
After	07.19~10.16	555	23.13	29,157.3	323.9	157.80	13.15

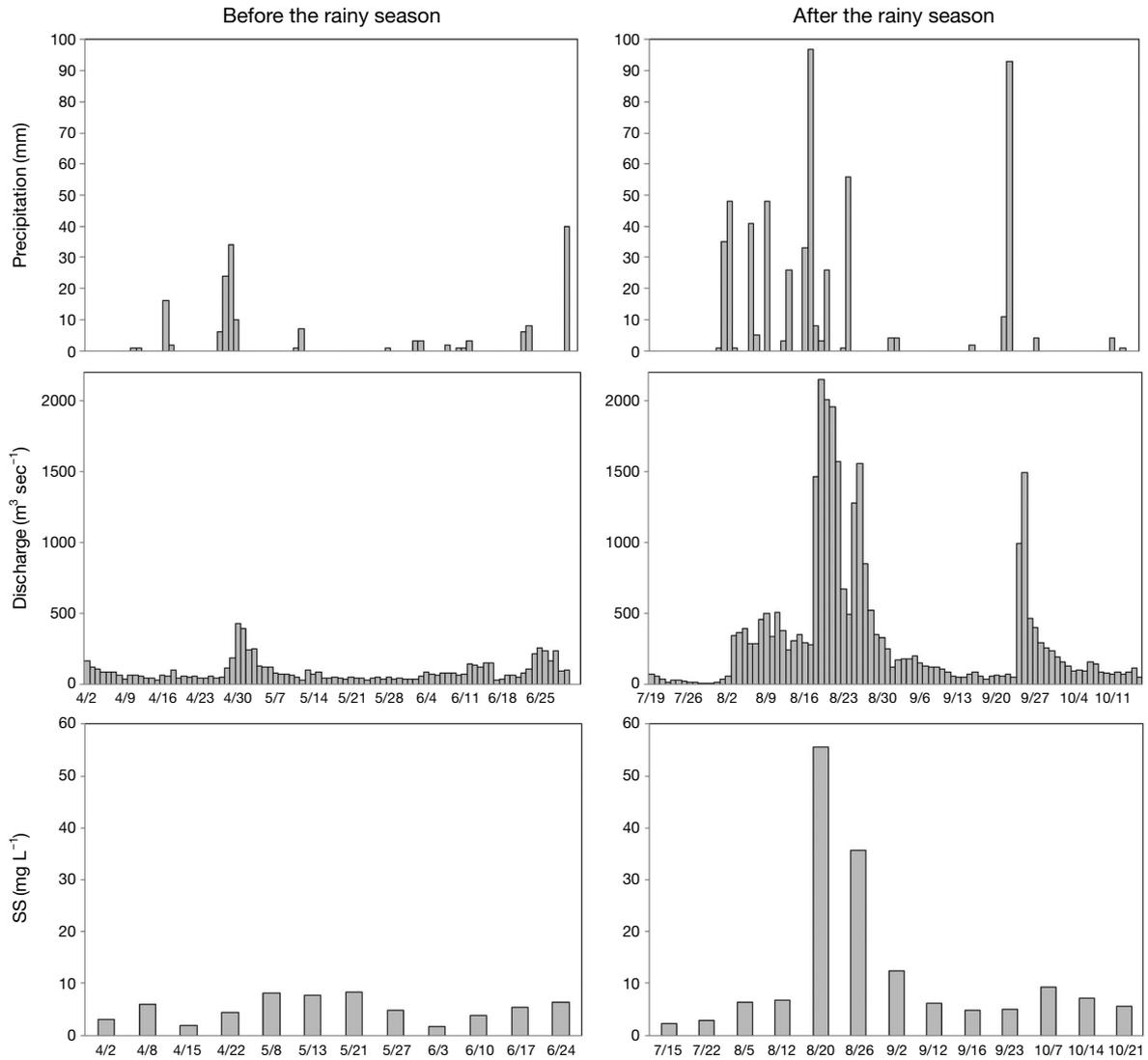


Fig. 2. Precipitation, Discharge and SS change in the Nakdong River.

지점에 비해 많은 증가를 보였다. 우안에 위치한 G3을 제외한 모든 지점에서 장마 후 실트의 함량이 증가하였으며, 특히 G5, G6의 지점의 경우 각각 2배, 7배 가량 실트의 함량이 증가하였다. 연구 지역의 전반적인 실트 함량이 장마 후 증가하여 입도의 분포가 세립해지는 경향이 나타났다.

3. 유기물 및 영양염류 분포 특성

퇴적물의 유기물량은 수계의 퇴적 환경을 평가하는데 중요한 척도 중 하나이며, 일반적으로 유기물 분포의 지표로서 완전연소가능량과 총유기탄소가 사용된다(Jeon *et al.*, 2012). 완전연소가능량은 평균 5.02%에서 7.66%로 증가하였다. 장마 전에는 지점별로 우안 쪽에 위치하고 있는

G3, G4에서 6.83%, 6.61로 높았지만, 장마 후 G5, G6에서 8.85%, 8.53%로 2배 이상 증가하여 높은 농도 증가를 보였다. 총유기탄소는 평균 1.03%에서 1.65%로 약 0.5% 이상 증가하였으며, 모든 지점에서 농도가 증가하였다(Table 3). 특히 G5, G6의 농도가 2배 이상 증가하여 총유기탄소 역시 완전연소가능량이 증가한 G5, G6에서 높은 증가를 보였다. 장마 전에 비해 장마 후 유기물량이 많이 증가하였으며, 특히 G5, G6의 입도의 분포가 많이 세립해진 경향에 따라 유기물량이 많은 증가를 보였다. 완전연소가능량과 총유기탄소의 항목 간의 상관계수는 0.956으로 강한 양의 상관관계가 나타났고, 입도의 실트 + 점토와 완전연소가능량, 총유기탄소의 상관계수는 각각 0.915, 0.905로 강한 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다(Table 4).

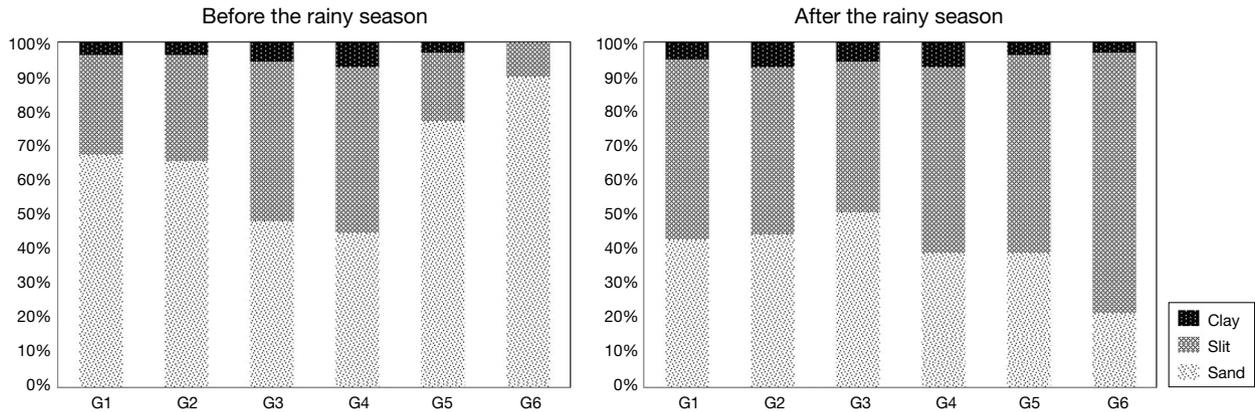


Fig. 3. Particle composition of sediments in the study area from the Nakdong River.

Table 3. IL, TOC, TN, TP, SRP, C/N in the study area.

Sampling period	Station name	IL (%)	TOC (%)	T-N (mg kg^{-1})	T-P (mg kg^{-1})	SRP (mg kg^{-1})	C/N
Before the rainy season	G1	5.99	0.96	1925	518	1.5	5.0
	G2	4.70	0.95	1913	570	1.7	5.0
	G3	6.83	1.62	2360	664	3.7	6.9
	G4	6.61	1.46	2492	726	3.3	5.9
	G5	3.50	0.67	1478	457	2.2	4.5
	G6	2.46	0.49	1189	333	1.8	4.1
		Min	2.46	0.49	1189	333	1.5
	Max	6.83	1.62	2492	726	3.7	6.9
	Avg.	5.02	1.03	1893	545	2.4	5.2
After the rainy season	G1	6.03	1.18	2569	427	4.2	4.6
	G2	6.83	1.38	4235	672	3.6	3.3
	G3	7.56	1.84	4106	634	2.6	4.5
	G4	8.16	1.66	3912	688	3.4	4.2
	G5	8.85	1.83	3782	935	3.4	4.8
	G6	8.53	1.99	3603	814	3.1	5.5
		Min	6.03	1.18	2569	427	2.6
	Max	8.85	1.99	4235	935	4.2	5.5
	Avg.	7.66	1.65	3701	695	3.4	4.5

총질소는 장마 전 평균 $1,892 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 장마 후 평균 $3,701 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 증가하였다. G6의 경우 농도가 $1,189 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 $3,603 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 3배가량 증가하여 가장 높은 농도 증가를 보였으며 총질소의 농도는 모든 지점에서 증가하였다. 총인은 평균 545 mg kg^{-1} 에서 695 mg kg^{-1} 으로 1.2배가량 증가하였으며, G6에서 333 mg kg^{-1} 에서 814 mg kg^{-1} 으로 2.5배가량 증가하였다. G1에서 20%가량 농도 감소를 보였지만 나머지 지점에서 총인의 농도가 비슷하거나 증가하였다. 수용성인은 평균 2.4 mg kg^{-1} 에서 장마 후 3.4 mg kg^{-1} 으로 1.5배 가량 증가하였다. G3에서 약 30% 농도가 감소를 보였지만 대부분의 지점에서 증가를 보였

다 (Table 3). 총질소, 총인 그리고 수용성인과 입도의 실트 + 점토와 상관계수는 0.747~0.789 범위로 나타나 강한 양의 상관관계를 보이고 있다 (Table 4).

유기물의 농도는 수계의 다양한 영향을 받는 것으로 알려져 있어 유기물 기원을 살펴보기 위하여 C/N Ratio를 평가하였다 (Table 3). 각 지점의 C/N Ratio는 장마 전 4.1~6.9였으며, 장마 후 3.3~5.5로 나타났다. 일반적으로 주변 육지에서 공급된 육상기원 유기물질인 경우 10 이상의 값으로 나타난다. 본 연구 지역의 C/N Ratio 경우 장마 전·후 평균 5.2에서 4.5로 감소하였으며, 10 이하의 값으로 나타나 수중에 서식하고 있는 생물에 의해 유기물이 공급되는

Table 4. Pearson's correlation coefficient of particle sizes, IL, TOC, TN, TP, SRP of sediment in study area.

	Sand	Silt	Clay	Silt + Clay	IL	TOC	TN	TP	SRP
Sand	1.000								
Silt	-0.995**	1.000							
Clay	-0.578*	0.495	1.000						
Silt + Clay	-1.000**	0.995**	0.578*	1.000					
IL	-0.915**	0.904**	0.581*	0.915**	1.000				
TOC	-0.905**	0.898**	0.544	0.905**	0.956**	1.000			
TN	-0.789**	0.765**	0.622*	0.789**	0.859**	0.843**	1.000		
TP	-0.781**	0.781**	0.428	0.782**	0.868**	0.857**	0.712**	1.000	
SRP	-0.747**	0.721**	0.617*	0.747**	0.592*	0.605*	0.570	0.434	1.000

**P<0.01, *P<0.05

것으로 보인다(Muller, 1977; Hwang *et al.*, 1999; Sampei and Matsumoto, 2001).

고찰

연구 지역에서 채취된 퇴적물 시료의 분석 결과 장마 전 퇴적물의 입도 분포가 상대적으로 우안 쪽에 세립한 퇴적물이 발달되었던 반면, 장마 후 실트, 점토의 함량이 전반적으로 증가하여 세립한 퇴적물이 중앙과 좌안 쪽으로 크게 발달되었다. 또한, 장마 후 퇴적물의 유기물과 영양염류의 농도가 전반적으로 세립해진 입도 분포에 따라 증가하는 경향을 보였다. 입도의 세립한 입자들과 유기물, 영양염류의 강한 상관관계는 입도가 세립할수록 퇴적물의 농도가 높아지는 일반적인 경향을 따르는 것으로 판단된다(Kim *et al.*, 2018). 퇴적물 내의 유기물과 영양염류는 장마 후 전반적인 농도 상승에도 하천·호소 퇴적물 오염평가 기준(국립환경과학원, 예규687호)의 기준치인 완전연소가능량 13%, 총질소 5,600 mg kg⁻¹, 총인 1,600 mg kg⁻¹의 농도를 넘지 않는 것으로 보여 유기물과 영양염류에 대해 심각하고 명백한 오염된 상태로는 보이지 않는다. 다만, 영양염류의 경우 외부에서 유입되는 양이 많아지고 퇴적물 내에 영양염류를 보유할 수 있는 능력이 부족할 경우 외부로 용출되어 조류의 발생 등 수질개선을 어렵게 하는 특성이 있는데 향후 영양염류의 농도 증가 및 용출 특성 등에 대한 조사가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 보인다(Hwang *et al.*, 1999).

유역환경의 경우 장마 전 퇴적물 시료채취 이후 증가한 강우의 영향으로 연구 지역 내 유량이 증가했으며, 동시에 SS의 농도가 상당량 증가하였다. 강우 지속시간이 짧으면서 강우 강도가 큰 기간에 높은 SS의 유입으로 인하여 상류로부터 유기물 부하가 매우 증가한다는 연구(Ha *et al.*, 2009)와 같이 강우의 영향으로 증가한 유량 속에 포함된

많은 부유물질과 유기물이 강정고령보 상류에 증가하여 퇴적된 것으로 보인다. 하천에 설치된 보와 같은 인공구조물은 유수의 일시적인 정체를 가져올 수 있으며, 구조물 상류 구간에 유사퇴적을 유발하여 보 상류 구간의 좌·우안 퇴적이 발생하게 한다(Oh *et al.*, 2003; Jeong and Jung, 2015). 낙동강의 경우 본류 중하류 대부분의 구간이 하류보의 영향을 받는 배수구간에 해당된다(Son and Jang, 2017). 장마 기간 동안 집중 강우에 의해 증가한 유량에 의해 부유물질과 유기물질이 상류로부터 공급되었으며, 인공구조물로 인한 유수의 일시적인 정체로 유사 및 부유물질, 유기물질 등의 퇴적이 진행된 것으로 판단된다. 이러한 결과는 강우 및 방류량 증가 등 하천의 유량증가가 퇴적물 입도 분포 및 유기물, 영양염류 등 퇴적환경 변화에 중요한 요소로 작용됨을 보여준다.

적요

본 연구에서는 낙동강 수계에서 강우, 유량 등 유역환경의 변화가 퇴적환경 특성에 미치는 영향을 알아보았다. 강정고령보의 상류 구간에서 장마 기간 이후 퇴적물의 입도 분포가 세립해지며, 유기물질 및 영양염류의 농도가 다소 증가하는 경향이 나타났다. 장마 기간 동안 증가한 유량에 의해 부유물질, 유기물질 등이 공급된 후 인공구조물로 인한 유수의 일시적인 정체로 퇴적이 진행된 것으로 판단된다. 본 연구의 결과가 낙동강 수계 모든 지역의 퇴적환경을 지시할 수는 없지만 보와 같은 인공구조물이 설치된 지역 인접한 구간에서의 퇴적물 성상 변화를 이해하는 자료로서 활용이 가능할 것으로 생각된다. 또한, 변화하는 수계의 환경에 따라 퇴적물 내의 유기물 및 영양염류 등이 수계에서 내부오염원으로 작용하지 않도록 향후 지속적인 모니터링과 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

저자정보 이권철 (국립환경과학원 낙동강물환경연구소 전문위원), 김신 (국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구사), 양득석 (국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구관), 박수정 (국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구관), 정현기 (국립환경과학원 낙동강물환경연구소 연구사), 이규열 (낙동강유역환경청 연구사)

저자기여도 개념 및 방법론 설정: 이권철, 김신, 이규열, 분석: 이권철, 김신, 이규열, 자료제공: 양득석, 박수정, 정현기, 자료관리: 이권철, 김신, 이규열, 원고 초안작성 및 편집: 이권철, 원고 교정: 이권철, 김신, 정현기, 이규열

이해관계 The authors declare no conflict of interest. The sponsors had no role in the design, execution, interpretation, or writing of the study.

연구비 본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2019-01-01-078).

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 Gangeong-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 multy-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**: 1345-1352.
- Digital Dalseong Grandculture (DDG) <http://dalseong.grandculture.net/Contents/index?local=dalseong> (accessed october. 2019).
- Ha, S.R., J.Y. Lee and G.S. Lee. 2009. A study on the characteristics with storm density flows in a stratified dam reservoir, Proceeding of the 2009 Spring Co-Conference of Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 95-96.
- Hwang, J.Y., E.J. Han, S.J. Yu, Y.S. Yoon, S.E. Cheon and T.K. Kim. 1999. Distribution of the organic contents in reservoir sediment. *Environmental Impact Aseessment* **8**(2): 95-107.
- Hwang, K.Y., S.Y. Park, W.S. Baek, J.H. Jung, Y.H. Kim, W.S. Shin, N.J. Lee and I.S. Hwang. 2007. Speciation and leaching potential of heavy metals in sediments of Nakdong River. *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater* **21**(1): 113-122.
- 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.
- Jeong, A. and K. Jung. 2015. Analysis of long-term riverbed-level and flood stage variation due to water gate operation of multi-functional weirs at Geum River. *Journal of Korean Water Resources Association* **48**(5): 379-391.
- 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, 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**: 411-423.
- 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.
- Lee, B.H., H.J. Cho, S.B. Lee and B.S. Ryu. 1996. Characteristics of leachate and ways of usage of polluted dredged sediments in the Nak Dong River. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* **16**(2-4): 399-409.
- 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, K.Y., J.E. Kim, K.C. Lee, K.L. Lee, I.J. Lee and T.H. Im. 2013. Characteristics of change in DOC concentration according to concentrations of organic matter and suspended solids in the Nakdong River. *Journal of Korean Society on Water Environment* **29**(4): 540-550.
- 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.
- 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.
- Muller, P.J. 1977. C/N Ratio in pacific deep-sea sediment: Effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **41**(6):

- 765-776.
- NIER. 2012. Diversion Weir Edge Research and Management Studies of The Sedimentary Environment, 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 sediments in streams of gwangju city. *Journal of Korean Earth Science Society* **24**(4): 346-360.
- Sampei, Y. and E. Masumoto. 2001. C/N Ratios in a sediment core from Nakaumi Lagoon, southwest Japan - usefulness as an organic indicator -. *Geochemical Journal* **35**: 189-205.
- Son, K.I. and C.L. Jang. 2017. Characteristics of sediment transportation and sediment budget in Nakdong River under weir operations. *Journal of Korean Water Resources Association* **50**(9): 587-595.
- Water Environment Information System (WEIS) <http://water.nier.go.kr/publicMain/mainContent.do> (accessed october. 2019).
- Water Resources Management Information System (WAMIS) <http://www.wamis.go.kr/> (accessed october. 2019).
- 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.