

Short Communication

Open Access

금강에서 보 설치 후 퇴적물 중금속 분포

양운모¹, 심무준¹, 오다연¹, 간종범¹, 이준배¹, 홍선화^{1*}, 이수형¹, 박상진²

¹국립환경과학원 금강물환경연구소, ²우송대학교 철도건설시스템학과

Spatial Distribution of Heavy Metals in Geum River after Weirs Construction

Yun mo Yang¹, Moo Joon Shim¹, Da Yeon Oh¹, Jong Beom Khan¹, Jun Bae Lee¹, Seoun Hwa Hong^{1*}, Soo hyung Lee¹ and Sang Jin Park² (¹Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Okcheon-gun 373-804, Korea, ²Department of Railroad Civil System Engineering, Woosong University, Daejeon 300-718, Korea)

Received: 20 May 2014 / Revised: 13 October 2014/ Accepted: 17 February 2015

Copyright © 2015 The Korean Society of Environmental Agriculture

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.

Abstract

BACKGROUND: Heavy metals (Al, As, Cd, Cr, Cu, Li, Hg, Ni, Pb, and Zn) were analyzed to elucidate the impact of weir construction on their concentrations in sediments of Geum River, Korea. We also attempted to investigate the source of the heavy metals in sediments.

METHODS AND RESULTS: For this study, sediments were collected from May through June in 2012. The concentrations of heavy metals except Hg were determined by inductively coupled plasma mass spectrometer, and Hg was measured by automatic mercury analyzer. More clay were accumulated in the furthest stations in the upstream direction starting from the weirs. Most of the heavy metals showed higher concentrations in the most upstream located station of Geumnam Weir. However, high concentrations were not observed in the most upstream stations of the other weirs. The concentrations of Hg and As were much higher in sediments of Gap Stream.

CONCLUSION: Gap Stream may be a potential source for high deposits of As and Hg. Presence of the dams may not

play an important role in controlling heavy metal concentrations in sediments. It is necessary to monitor heavy metal concentrations for a longer time period to study the effect of environmental changes on heavy metal distribution in Geum River.

Key words: Geum River, Heavy Metal, Sediment, Weir Construction

서론

하천 퇴적물은 물의 흐름에 의해 상류로부터 이동한 입자들이 하천 바닥에 침전되어 있는 입자로 정의될 수 있으며 유속이 느려질수록 쌓이는 양이 많아질 수 있다(Jung, 2011). 수층에 존재하는 용존성 중금속들이 퇴적물로 제거된 후 다시 재부유와 확산 같은 기작들을 통해서 수층으로 돌아간다. 이와 같은 이유로 퇴적물은 수층의 중금속 농도에 영향을 미칠 수가 있으며 수층의 농도변화를 이해하기 위해서는 퇴적물에 존재하는 중금속의 농도와 지화학적 특성을 조사할 필요가 있다. 퇴적물에 존재하는 중금속은 잘 분해되지 않는 특성을 가지고 있으므로 지속성 오염물질로 분류되고 있다. 따라서 생물농축(bioaccumulation)과 생물확대(biomagnification)에 의해 퇴적물에서 서식하는 저서생물에게 독성을 미칠 수 있다(Kim *et al.*, 2007).

*Corresponding author: Seoun Hwa Hong
Phone: +82-43-730-5642; Fax: +82-43-733-9408;
E-mail: hsh5765@korea.kr

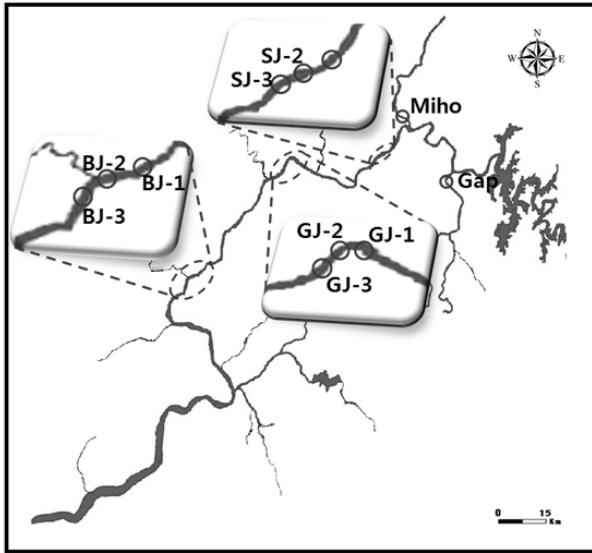


Fig. 1. Location map showing sampling sites.
SJ: Sejong Dam, **GJ:** Gongju Dam, **BJ:** Baekjae Dam, **-1:** 4.5 km upstream from Dam, **-2:** 0.5 km upstream from Dam, **-3:** 1.8 km downstream from Dam.

퇴적물에 분포하는 중금속 함량은 주로 입도와 유기물과 높은 상관성을 보이는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2014). 중금속이 더 많이 흡착할 수 있는 세립질 퇴적물에서 중금속 함량이 높으며 유기물과 결합(complexation)되는 경향이 강한 중금속들은 유기물 농도가 높은 퇴적물에서 높은 축적 정도를 보인다. 또한 퇴적물의 입도는 강우량이 증가함에 따라 유량이 증가할 때 가벼운 입자가 씻겨 내려가는 효과로 인해 변화될 수 있다. 반면 댐이나 보 건설은 유속이 느려지는 효과를 만들기 때문에 퇴적물 입도에 영향을 미칠 수 있다. 실제로 남한강에 설치된 세 개의 보 구간에서 보 상류에서 점토(Clay)함유량이 보 하류보다 더 높은 값을 보였다(Kang *et al.*, 2012). 이는 보 상류에서 유속이 느려짐으로서 정체구역이 형성되어 유역으로부터 유입된 점토가 상류부에 퇴적되었기 때문으로 판단된다(Kang *et al.*, 2012). 이와같이 퇴적물 내 중금속 분포는 강우량, 입도 및 유기물과 같은 물리적 또는 화학적 변수들(parameters)의 상호 작용에 의해 조절될 수 있다.

금강은 2008년 이후 4대강 정비사업이 진행되면서 세 개의 보(세종보, 공주보, 백제보)가 건설됨으로서 환경변화를 겪고 있다. 또한 금강으로 유입되는 주 하천인 갑천과 미호천은 금강유역에서 최대 오염물 발생지역으로 알려져 있다(Kim and Lee, 1996). 타 지역에서는 보 설치에 수질과 퇴적물에 어떻게 영향을 미치는지 연구가 진행되어 왔으나 금강에 설치된 보의 영향을 조사한 연구는 미미한 실정이다. 또한 보 설치 이전에 금강 퇴적물과 부유물질의 중금속 분포는 연구된 바 있으나(Lee, 1985; Choi *et al.*, 1995; Choi *et al.*, 1996) 이런 연구들은 보 건설 이후 중금속 분포를 반영하지 못한다. 또한 갑천과 미호천이 금강 본류의 퇴적물 중금속 분

Table 1. Description of sampling locations

Site ID	Location
Gap	0.5km before confluence into Geum River
Miho	100m downstream from Wolsan Bridge
SJ-1	4.5km upstream from Sejong Dam
SJ-2	0.5km upstream from Sejong Dam
SJ-3	1.8km downstream from Sejong Dam
GJ-1	4.5km upstream from Gongju Bridge
GJ-2	0.5km upstream from Gongju Dam
GJ-3	1.8km downstream from Gongju Dam
BJ-1	4.5km upstream from Baekjae Dam
BJ-2	0.5km upstream from Baekjae Dam
BJ-3	1.8km downstream from Baekjae Dam

포에 어떤 영향을 미치는지에 관한 연구도 부족하다.

따라서 본 연구는 금강본류 보 설치구간과 갑천과 미호천의 퇴적물 중금속 농도를 분석하여 기원(Source)을 파악하고 보 설치가 중금속 분포에 끼치는 영향을 조사하고자 했다.

재료 및 방법

시료채집

금강 퇴적물에 존재하는 중금속의 분포를 조사하기 위하여 2012년 우기 전(5월부터 6월)에 퇴적물을 채집하였다. 조사지점은 금강 상류부터 위치하는 세종보, 공주보, 백제보 순으로 조사하였으며, 3개의 보 설치구간을 중심으로 보 상류 4 km 이상 1지점(SJ-1, GJ-1, BJ-1), 보 상류 2 km 이내 2지점(SJ-2, GJ-2, BJ-2), 보 하류 2 km 이상 3지점(SJ-3, GJ-3, BJ-3)인 총 9개 지점에서 퇴적물 시료를 채집하였다(Fig. 1). 또한 지류의 영향을 조사하기 위하여 갑천과 미호천에서도 채집하였다. 각 정점에 대한 명칭과 위치에 대한 개략적 설명을 Table 1에 제시하였다.

현장 시료 채취 방법은 하천·호소 등 퇴적물 측정망 매뉴얼(2011년 환경부고시 제 2011-92호)의 퇴적물 채취방법을 따라 하천 단면을 5개 지점 이상으로 나누어 최소 5회 이상 시료를 채취하여 혼합하였고, 수심이 깊은 지역에서는 보트를 이용하여 이동 후 그랩(grab)을 사용하여 시료를 채취하였다. 채취한 현장시료는 현장 하천수를 이용하여 8 mesh 체(0.2 mm 눈금)에 습식체질 하였으며, 그 시료를 다시 100 mesh (약 0.15 mm 눈금)로 체질하여 시료보관용기에 담아 실험실로 운반하였다.

현장에서 채취하여 보관한 시료는 자연 건조하여 토양분쇄기(Pulverisette 6, FRITSCH GmbH)를 이용하여 균질하게 분쇄하여 체(0.063 mm)를 통과시킨 후 분석을 실시하였다. 분석 전 전처리는 수질오염공정시험기준(Ministry of Environment, 2012)에 의거하여 시행하였다. 입도는 입도분석기(Microtrac S3500), 수은을 제외한 중금속(Al, As, Cd, Cr, Cu, Li, Ni, Pb, Zn)은 inductively coupled plasma

Table 2. Pearson's correlation coefficients between heavy metals, silt and clay in the sediments (n=11)

	Silt	Clay	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni	As	Cd	Hg	Al	Li
Silt	1.00	.83**	.46	.46	.50	.71*	.65*	-.03	.40	-.05	.62*	.64*
Clay		1.00	.66*	.59	.63*	.81**	.80**	.05	.59	-.02	.78**	.74**

* Correlation is significant at 0.05 level

** Correlation is significant at 0.01 level

Table 3. Comparison of this study with past study reported in Gap Stream (unit: mg/kg)

	Pb	Zn	Cu	Cd
This study	21.8	115	23.1	0.36
*Kim and Lee, 1996	17	56	23	0.56

* Heavy metal contamination of stream water and sediment in the Taejon area

mass spectrometer (Perkin Elmer, Elan 6000)을 이용하여 분석하였고 수은은 별도의 분석장비(Hydra II C, Teledyne leeman labs)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

입도

퇴적물의 입도 분석 결과는 Fig. 2에서 나타난 것과 같이 전체 조사지점에서 퇴적물은 주로 모래형태로 존재한다. 점토의 경우 각 보 최상류 지점(SJ-1, GJ-1, BJ-1)에서 높게 나타났으며 3지점으로 갈수록 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 남한강의 보 설치로 인한 입도 변화와 유사한 결과를 보이고 있다(Kang *et al.*, 2012). 앞서 언급하였듯이, Kang *et al.* (2012)에 의하면 남한강 하류에서 설치된 강천보, 여주보, 이포보의 영향으로 보 상류에서 점토의 함량이 보 하류보다 약 4배 이상 높은 것으로 관찰되었다. 이는 유속이 느려짐으로 인해 유역에서 흘러들어온 토사가 퇴적되었다는 것과 보 설치가 퇴적물 입도에 영향을 준 것을 의미한다.

중금속 공간분포

As를 제외한 모든 중금속은 조사지점 중 본류 최상류인 SJ-1에서 대체적으로 높은 농도로 나타났으며 하류로 갈수록 GJ-2 지점에서 재증가 하지만 대체적으로 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). SJ-1 지점은 세립질 퇴적물(실트와 점토)의 함량이 약 20%로 가장 높은 지점이다. 세립질 퇴적물에 중금속의 흡착성이 뛰어난 것은 이미 알려져 있는 사실이다(Choo *et al.*, 1998). 실제로 As와 Hg를 제외한 나머지 중금속들은 실트와 점토간 유의한 상관성을 보였다(Table 2). 그러나 점토 함량이 높은 다른 보 최상류 지점(GJ-1과 BY-1)에서는 SJ-1만큼 농도가 높지 않았다. GJ-2에서 Hg와 As를 제외하고 중금속들이 재증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). GJ-2는 GJ-1보다 세립질 퇴적물의 함량은 낮지만 GJ-1보다 높은 중금속 농도를 보이고 있다. 따라서 보 설치가 보 상류

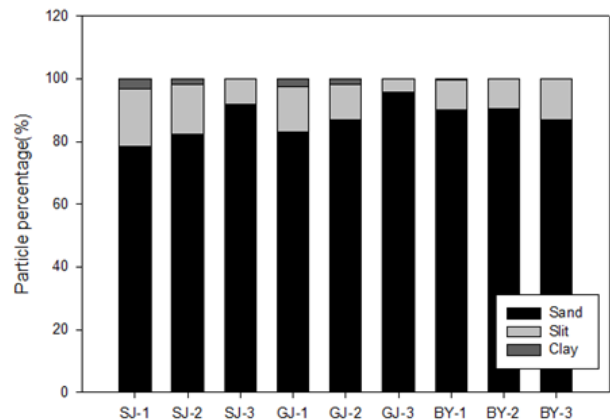


Fig. 2. Size distribution of sediments collected in Geum River and its tributaries.

SJ: Sejong Dam, GJ: Gongju Dam, BJ: Baekjae Dam, -1: 4.5 km upstream from Dam, -2: 0.5 km upstream from Dam, -3: 1.8 km downstream from Dam.

퇴적물 입도에 영향을 미쳤으나 중금속 농도에 압도적으로 큰 영향을 끼쳤다고 보기에는 어렵다. 즉 SJ-1 지점 이후 중금속이 하류로 운반(transport)되면서 입도 외에도 다른 요인으로 퇴적되는 것으로 사료된다.

중금속 기원

금강본류에 퇴적되어 있는 중금속의 기원을 파악하기 위하여 갑천과 미호천의 퇴적물내 중금속 농도를 금강본류 퇴적물 내 중금속 농도와 비교하였다(Fig. 3). 갑천에서 Hg와 As 농도는 금강본류 전체 지점에서의 농도보다 현저히 높게 나타났다. 이는 갑천으로 흘러들어오는 공단폐수의 영향으로 갑천 퇴적물에 Hg와 As가 높은 농도로 축적되는 것으로 판단된다. 따라서 금강본류 퇴적물에 존재하는 Hg와 As는 갑천에서 기인하는 것으로 사료된다. 미호천의 경우 본류 지점들보다 현저히 높다고 보기에도 어려우며 SJ-1 지점보다 농도가 낮은 것으로 나타나 본류에 큰 영향을 준다고 판단하기에는 어려움이 있다. 갑천과 미호천의 Pb, Cr, Cu, Ni, Zn과 Li의 농도는 두 지천이 합류된 후 첫 번째 지점인 SJ-1보다 낮았다(Fig. 3). SJ-1에서의 중금속 농도가 오염지역인 갑천과 미호천의 농도보다 높은 이유는 아직까지 파악하지 못한 지점과 지점사이의 비점오염원등과 같은 다른 원인이 있을 것으로 판단된다. 나머지 중금속들은(Al, Cd, Cr) 두 지천과 SJ-1 지점 사이의 농도 차이가 뚜렷하지 않아 갑천과 미호천의 영

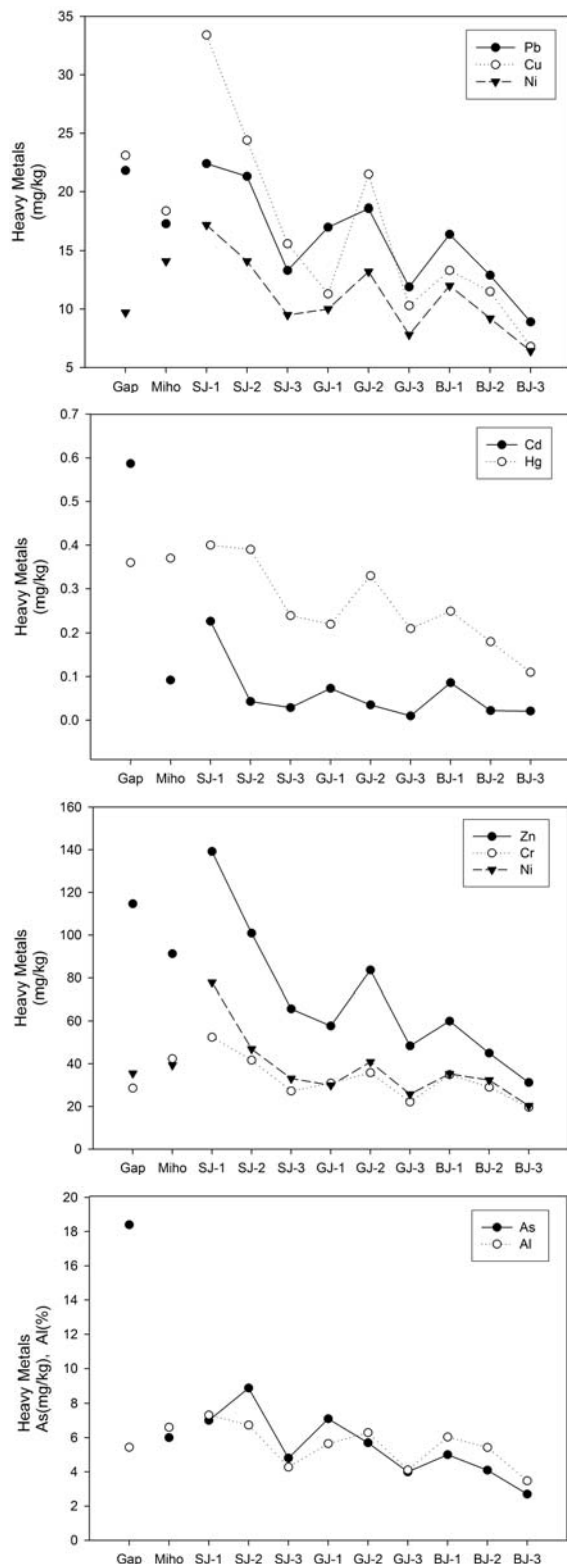


Fig. 3. Spatial distribution of heavy metals in Geum River and its tributaries.

Gap: Gap Stream, Miho: Miho Stream, SJ: Sejong Dam, GJ: Gongju Dam, BJ: Baekjae Dam, -1: 4.5 km upstream from Dam, -2: 0.5 km upstream from Dam, -3: 1.8 km downstream from Dam.

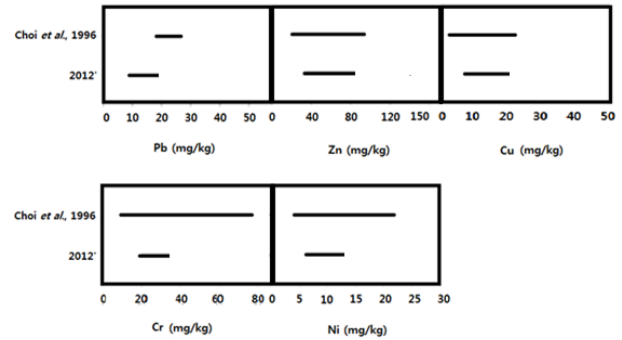


Fig. 4. Comparison of heavy metal concentrations of this study with past study reported in Geum River. Choi *et al.*, 1996: Trace metals in sediments of the Keum River.

향을 언급하기에 어려움이 있다. 보다 더 정확한 중금속 기원을 조사하기 위해서는 수층 중금속 농도와 발생 가능한 비점 오염원의 영향을 조사할 필요가 있다.

보 건설 전 농도와 비교

갑천에서 90년대에 Kim and Lee (1996)에 의해 퇴적물 조사가 진행되었다. Kim and Lee (1996)는 Cd, Cu, Pb와 Zn의 함량이 공단부근 퇴적물에 높은 농도로 존재한다고 보고하였다. 그리고 Kim and Lee (1996)는 이 중금속들의 높은 농도는 조사 당시뿐만이 아니라 조사 시점의 과거로부터 공단에서 배출된 폐수 내 중금속이 갑천 퇴적물에 축적된 것을 의미한다고 밝혔다. 본 연구의 결과와 비교하기 위해 본 연구와 가장 비슷한 지점(공단 부근)을 Kim and Lee (1996)의 연구에서 발체해 농도를 비교하였다(Table 3). Zn은 1996년도와 비교해볼 때 본 연구에서 조사한 농도가 약 2배 이상 증가한 것으로 나타났다. Pb와 Cu의 경우 약간의 농도증가를 보였으며, Cd은 오히려 좀 더 낮아지는 것을 확인하였다. 이는 여전히 Zn, Pb, Cu는 공단에서 배출되는 폐수에 의해 축적이 되는 것으로 사료된다.

앞서 언급하였듯이, 금강 퇴적물의 중금속 분포에 관한 연구는 많이 이루어지지 않는 않았다. 부유퇴적물 조사를 제외하고는 (Choi *et al.*, 1996)이 거의 유일한 연구이다. 금강 퇴적물에서 중금속 농도 변화를 알아보기 위하여 본 연구의 농도와 90년대 초반에 채집된 퇴적물 중금속 농도를 (Choi *et al.*, 1996) 비교하였다(Fig. 4). Choi *et al.* (1996)의 연구는 하구 퇴적물도 포함되었기 때문에 하천의 퇴적물만을 비교하기 위하여 공주에서 부여까지의 자료만 발체하여 본 연구에서 비슷한 구간인 공주보 상류에서 백제보 하류까지만의 자료와 비교하였다. 5개의 중금속(Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)을 비교해 본 결과 보 설치 전 농도 보다 증가하지 않았다. 보 설치로 인해 느려진 유속의 영향으로 입도가 세립질로 변함에도 불구하고 중금속은 증가하지 않은 것으로 보아 보의 영향은 크지 않을 것으로 사료된다.

결론

퇴적물 입도와 중금속 공간분포로 미루어봤을 때, 보 설치로 인해 일부 지점에서는 중금속(Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Li, Ni, Pb, Zn) 농도가 영향을 받을 수 있지만 보 설치 이외의 다른 요인도 같이 작용하는 것으로 판단된다. 또한 이전 연구와 비교했을 때 비교한 중금속(Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)의 농도가 증가하지 않은 것으로 보아 보 설치로 인한 퇴적물 내 중금속 축적은 크게 이루어지지 않은 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서는 단 1회 채집만 이루어졌기 때문에 보다 정확한 보 건설의 영향을 알기 위해서 장기 모니터링이 필요하다.

갑천과 금강 퇴적물 사이의 Hg와 As의 농도로 보아 갑천이 두 중금속의 기원(source)일 것이라 추정된다. 그러나 타 중금속들에 대한 기원을 추정하기에는 어려움이 있었다. 따라서 금강 퇴적물에 축적된 중금속의 기원을 보다 더 정확하게 추적하기 위해서 비점오염의 영향과 다른 지류까지 범위를 넓혀서 조사할 필요가 있다.

References

- Choi, M. S., Lee, C. B., & Cho, Y. G. (1995). Concentrations and transport of trace metals in suspended sediments of Geum River. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 34(5), 371-381.
- Choi, M. S., Lee, S. H., Lee, C. B., & Cho, Y. G. (1996). Trace metals in sediments of the Keum River. *The Korean Journal of Quaternary Research*, 10(1), 27-52.
- Choo, C. O., Kim, S. J., Jeong, C. H., & Kim, C. S., (1998). Adsorption behaviors of metal elements onto illite and halloysite. *The mineralogical Society of Korea*, 11(1), 20-31.
- Kang, M. K., Choi, I. Y., Park, J. H., & Choi, J. H. (2012). Investigation of the effect of weirs construction in the Han River on the characteristics of sediments. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 34(9), 597-603.
- Kim, K. T., Kim, E. S., Cho, S. R., Kim, J. K., & Park, J. K. (2007). Heavy metals in the surface waters and sediments of Jinhae Bay Korea. *The Korean Society of Marine Environment & Safety Spring Meeting*, 27-33.
- Kim, K. Y., & Lee, H. K. (1996). Heavy metal contamination of stream water and sediment in the Taejon area. *Journal of Korean Society of Mineral and Energy Resource Engineers*, 33(4), 266-273.
- Lee, C. B. (1985). Sedimentary processes of fine sediments and the behaviour of associated metals in the Geum estuary, Korea. In: *Marine and estuarine geochemistry by Siglo A.C. and Hattori A., Lewis Pub., Inc.*, 209-225.
- Lee, J. B., Hong, S. H., Kim, D. H., Huh, I. A., Huh, Y. J., Khan, J. B., Oh, D. Y., Kim, K. Y., Lee, Y. j., Lee, S. H., & Shin, H. S. (2014). Measurement of metals in sediment of the Geum-River and their correlation. *Korean Analytical Science Technology*, 27(1), 11-21.
- Lee, J. K., Kim, S. K., Song, J. H., & Lee, T. Y. (2010). Evaluation of organic compounds and heavy metals in sediments from the urban streams in the Busan City. *Korean Geo-Environmental Society*, 11(1), 35-43.