

하천 퇴적물의 영양염류 모니터링

김건하[†] · 정우혁 · 이준배^{*}

한남대학교 공과대학 토목환경공학과

^{*}국립환경과학원 수질환경과

Monitoring and Analysis of Nutrients in Sediments in the Riverbed

Kim, Geonha[†] · Jung, Woohyeok · Junbae Lee^{*}

Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University

^{*}National Institute of Environmental Research, Department of Water Quality

(Received 13 February 2006, Accepted 14 August 2006)

Abstract

Characterization of sediment in the riverbed is of importance for effective water quality management, yet have not been monitored sufficiently. This paper reports monitoring results of nutrient concentrations of sediments. Surface waters and sediments were sampled four times during rainy season at five monitoring points. Organics of overlying water were increased after high flow condition followed by decreasing tendencies. Soluble phosphorus fraction among total phosphorus was increased after high flow condition while total phosphorus was in decreasing tendencies. Monitoring result suggested that more extended monitoring scheme for flow rate, scouring velocity, and suspended material is required for analyzing relationship between water quality and sediment.

keywords : Monitoring, Nutrient, Overlying water, Sediment, Water quality

1. 서론

폐수, 생활오수, 폐기물처리장 침출수, 도시 및 농촌의 강우유출수 등 점원과 비점원에서 발생한 입자성 오염물질(particulate pollutants)은 하류로 운반되다가 비교적 유속이 약한 하천, 호소, 하구, 해양 바다에 침강, 퇴적된다(Shengrui, 2005; 이 등, 2003; Walling et al., 2001). 물과 오염물질의 순환과정에서 부유물질은 오염물의 이송 매체인 동시에 그 자체가 오염원이 되며 하천과 지하수의 수질에 영향을 미친다. 수저에 퇴적된 입자성 물질을 퇴적물(sediment)이라 하는데, 퇴적물은 특히 폐쇄성 수역의 환경에 대한 영향이 매우 큰 것으로 알려지고 있다(Chapman, 1996). 하천의 퇴적물은 유속이 증가하거나 외부 환경요인에 따라 재부상하여 수질에 영향을 미치기 때문에(Julien, 1995) 수질관리를 위한 조사 평가가 이루어지고 있다(장 등, 2003; Kim et al., 2004). 하지만 체계적인 수질관리를 위하여 퇴적물에 대한 장기적인 조사 평가가 필요하다. 유역의 비점 오염원 관리에서 미립 토사의 거동은 매우 중요하고 유역의 오염물질 추적에서 물의 이동과 부유토사의 이동을 모두 추적할 필요가 있다(우, 2001).

오염된 부유토사가 하류의 토지에 퇴적되는 경우 그 토질을 오염시키며, 나아가 그 토지에서 생산되는 농산물도 오염시킬

수 있다. 지속적으로 오염원이 유입될 경우 오염퇴적물은 유기물 영양염류, 유해화학물질, 중금속 등이 농축될 가능성이 높고(Maris et al., 1997), 오염퇴적물의 부상으로 인한 지속적인 오염을 일으키므로 오염퇴적물의 처리 없이는 하천, 호소, 수, 해양오염의 관리에 한계가 있다(Bengtsson et al., 1975).

수량과 수질간의 관계는 미시적으로 볼 때 물리적-화학적-생물학적 반응을 포함하기 때문에 매우 복잡하고 거시적으로 볼 때 비점원오염을 포함하므로 간단한 해석이 불가능하다. 특히, 퇴적물은 지표 수자원의 하층에 위치하면서 오염물질의 저류조 역할을 하여서 오염물질 배출해석을 어렵게 한다(Kaiserli et al., 2002). 흐름에 의해 상류유역이나 하천에서 이송되어 하류에 퇴적된 토사는 상류 유역과 하천의 생물, 화학, 물리정보를 지니고 있다. 임(2003)은 제주도 연안 퇴적물은 퇴적지 주변 화산암의 풍화잔류물임을 퇴적물의 원소성분을 분석하여 증명하였다. 하천에서 수질은 단기간에 걸친 하천환경의 특성변화를 반영한다면, 퇴적물에 함유되어 있는 오염물질은 하천수에 함유된 성분들에 비해 시간적 변화가 적고 상대적 함량이 높아 환경에 대한 영향을 지속적으로 평가하는 인자가 될 수 있다(Jafvert et al., 2006; 오 등, 2003; 황, 2001). 또한 퇴적물 내 오염물질은 주변환경의 변화에 따라 하천수 중으로 재용출 될 수 있으므로 하천환경에 대한 영향이 크다(문 등, 2005).

안 등(2003)은 매립지 주변 하천에서 퇴적물의 지구화학적 특성을 조사한 결과 매립지에서 유출되는 중금속이 공극수 중에 축적되고 있음을 보고하였다. 오 등(2003)은 화

[†]To whom correspondence should be addressed.

kimgh@hannam.ac.kr

순지역 토양-퇴적물-하천수의 지구화학적 특성을 분석한 결과 시료채취지점의 탄광에서 발생하는 영향으로 수질이 오염되어 있으며 퇴적물 또한 같은 화학적 특성을 보이고 있으나 농도가 농축되어 있어 화학적 조건의 변화에 따라 수체로 유출될 수 있음을 보고하였다.

하천의 부유 퇴적물과 하상퇴적물은 하천의 수질에 영향을 미치는 주요 인자의 하나이지만, 국가 수질관측지점에서 수질과 퇴적물이 동시에 모니터링 되지 않아 이에 대한 자료가 부족하다. 본 연구는 모니터링을 통해 수질과 퇴적물에서 영양염류 오염도에 관련된 주요 지표들의 변화 양상을 파악하고, 하천의 퇴적물이 수질에 미치는 영향의 연구 방향을 설정하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

시료채취 지점으로 금강 하류의 5지점을 선정하였다. 시료 채취지점 선정 조건으로는 국가 수질 측정망이 있는 곳으로서 기존 수질 자료와 비교가 가능하며, 수위 측정소가 있어 유량 산정이 가능한 지점이다. Table 1은 본 연구의 시료채취지점 및 그 지점에 상응하는 환경부 수질측정망 지점명 및 건설교통부 수위측정 지점명을 요약한 것이다.

첫번째 측정지점인 현도는 대청댐 방류지점으로부터 하천을 따라 하류방향으로 6.8 km 지점에 위치하고 있으며 대전지역의 공단이 밀집해 있는 지역으로 상류지역의 농경지와 산림에서 발생하는 비점오염원과 공단의 처리장에서

방류되는 점오염원이 합류되는 지점이다. 두번째 측정지점인 매포는 현도지점으로부터 6.8 km 하류지점에 위치하고 있으며, 대전의 중심부를 관통하고 있는 갑천이 금강 본류와 완전히 합류된 지점의 하류부에 위치하고 있다. 세번째 측정지점인 부강은 현도지점으로부터 7.7 km 하류에 위치하고 있다. 네번째 측정지점인 금남은 부강지점으로부터 10.1 km 하류에 위치하고 금강에 미호천이 합류한 지점으로부터 6.5 km 하류에 위치하고 있으며, 하폭이 다른 지점보다 넓은 특징이 있다. 마지막 측정지점인 공주는 금남으로부터 14.9 km, 용수천과 대교천이 합류한 하류 13.3 km 지점에 위치하고 있다. 대청댐 방류구로부터 47 km에 위치하고 있고, 대청호의 방류량 조절의 주요기점으로 사용되고 있으며, 공주시의 중심부에 위치하고 있다. 매포지점의 단위유역 평균경사는 21.0%, 금남은 15.2%, 공주는 28.9%이다. 세 지점을 포함하고 있는 금강유역에서 최상류 지점에 속하는 용담댐유역의 단위유역 평균경사는 37.5%이고, 최하류인 금강하구언의 표준유역평균경사는 13.8%이다. 금남지점은 금강의 최하류 지점인 금강하구언의 평균 경사와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. Fig. 1은 금강유역에서 시료가 채취된 각각의 지점의 위치를 나타내고 있다. Table 2는 시료 채취지점에 대한 유역 정보이다. 공주지점의 유역은 상류의 모든 시료 채취 지점의 유역을 포함하고 있으며, 유역면적은 7,213 km²이고 형상계수(shape factor = A/L)는 0.09이다. 금강유역의 평균 형상계수가 0.06임을 감안하면 유로길이에 비하여 유역폭이 넓은 것을 알 수 있다. 토지이용 형태는 수역이 2.01%, 시가지가 4.41%, 나지가 0.01%, 습지 0.61%, 산림 64.50%, 초지 2.56%, 논 7.61%, 밭 18.30%로 산림과 농경지가 대부분을 차지하고 있다. 유역 중에서 산림과 농경지가 차지하는 비중이 높은 경우 이 유역에서는 비점오염원이 발생 할 수 있는 토양이 많다는 것을 시사하며, 홍수기에 토사유출량이 많을 것으로 추측된다. 각 지점의 토지이용 중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있는 산림지역을 비교하여 보면 현도 74.25%, 매포 72.16%, 부강 71.86%, 금남 64.85%, 공주 64.50%로써 하류로 내려올수록 산림지역이 차지하는 비율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그 다음으로 높은 비중을 차지하고 있는 밭의 경우 현도 12.85%, 매포 13.54%, 부강 13.71%,

Table 1. Description of monitoring stations

No.	MOE ¹ station name	MOCT ² station name	Basin average slope (%)
1	Hyundo	Hyundo	NA ³
2	-	Maepo	20.98
3	Chungwon	Bugang	NA
4	Yongi	Geumnam	15.16
5	Gongjul	Gongju	28.86

¹ Ministry of environment

² Ministry of construction and transport

³ Information not available

Table 2. Description of basin of monitoring stations

Site	Basin area (km ²)	Shape factor	Land use (%)
Hyundo	4233.82	0.07	Waters(2.39), Bareness(0.00), Forest(74.25), Rice paddy(6.49), Urban(2.22), Wet land(0.20), Grassland(1.60), Upland field(12.85)
Maepo	4941.58	0.08	Waters(2.22) Bareness(0.00), Forest(72.16), Rice paddy(6.37), Urban(3.45), Wet land(0.33), Grassland(1.92), Upland field(13.54)
Bugang	5012.62	0.07	Waters(2.23), Bareness(0.00), Forest(71.86), Rice paddy(6.42), Urban(3.50), Wet land(0.33), Grassland(1.95), Upland field(13.71)
Geumnam	7048.88	0.09	Waters(2.01), Bareness(0.01), Forest(64.58), Rice paddy(7.64), Urban(4.41), Wet land(0.58), Grassland(2.50), Upland field(18.26)
Gongju	7213.52	0.09	Waters(2.01), Bareness(0.01), Forest(64.50), Rice paddy(7.61), Urban(4.41), Wet land(0.61), Grassland(2.56), Upland field(18.30)

(data acquired from <http://www.wamis.go.kr>).

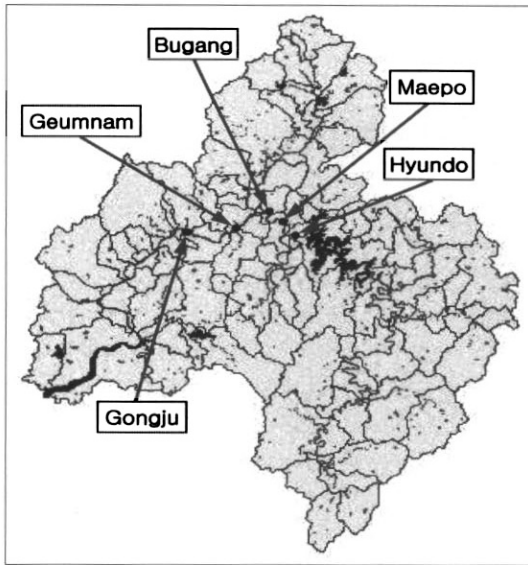


Fig. 1. Sampling points in the Geum River basin operated in this study.

금남 18.26%, 공주 18.30%로 하류로 갈수록 유역중에서 차지하고 있는 비중이 증가하는 것으로 나타났다. 밭 뿐만 아니라 논과 도시지역도 하류로 내려갈수록 전체유역에서 차지하는 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 강우와 유량은 금강홍수통제소에서 제공하고 있는 측정 자료를 사용하였다.

각 지점에서 수질시료 채취시 수질오염 공정시험법에 따라 하천의 하상단면에 따라 대표성을 나타낼 수 있는 시료를 채취하기 위하여 수면 폭을 4등분하는 3개 지점에서 2 L 용량의 플라스틱 용기를 이용하여 임의 채취하였으며 2개의 중복시료를 분석하였다. 퇴적물 채취는 수심이 깊은 곳과 낮은 곳에서 모두 유효하게 사용할 수 있는 점토시료와 모래 및 자갈 시료까지 모두 채취가 가능한(USEPA, 2001) 1.5 L 용량의 Van Veen grab sampler를 이용하였다.

시료 채취시 휴대용 pH meter(YK-2001, Lutron)를 이용하여 현장에서 pH를 측정하였으며, 채취한 시료는 냉장상태로 실험실로 운반하여 즉시 화학분석을 실시하였다. 수질 분석항목은 영양염류(총질소, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$, 총인, $\text{PO}_4\text{-P}$)이며 Standard Methods 18th.^{ed}에 따라 분석하였다. 총질소(Total Nitrogen : TN), $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ 는 흡광도법으로 분석하였다. 총인(Total Phosphorus : TP), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 아스코르빈산 환원법으로 분석하였다.

퇴적물에 관련된 분석 항목은 pH, Organic Content(OC), 간극수 TN, 간극수 $\text{NO}_3\text{-N}$, 간극수 $\text{NO}_2\text{-N}$, 간극수 $\text{NH}_3\text{-N}$, P이다. 퇴적물의 인은 다양한 형태로 존재하는데 미립자의 표면에 흡착되어 NH_4Cl 로 용출되는 Ads-P(Adsorbed-P), 철이나 알루미늄과 같은 금속과 착물을 이루고 있고 NaOH에 의해 용출되는 NAI-P(Nonapatite-P), 광물의 결정속에 포함되어 있고 HCl에 의해 용출되는 A-P(Apatite-P), 유기물과 결합된 Res-P(residual-P)로 분류된다. 퇴적물내 존재하는 인은 Hieltjes 등(1980)이 제안한 방법을 따라 분석하였다. 퇴적물의 pH, 간극수 TN, 간극수 $\text{NO}_3\text{-N}$, 간극수

$\text{NO}_2\text{-N}$, 간극수 $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 해양환경공정시험법의 퇴적물편에 따라 원심분리법으로 공극수를 추출하여 수질오염공정시험법에 따라 분석하였다. 퇴적물의 유기물함량은 해양환경공정시험법에 따라 분석하였다. 총인은 해양환경공정시험법의 질산-과염소산분해법에 의해 퇴적물을 전처리 후 측정하였다.

각 분석항목의 정밀도와 정확도를 위하여 한 지점에서 3개의 시료를 채취하여 분석하였다. 시료는 채취 이후 4시간 이내 분석을 시작하였다. 시료 채취자와 각 항목에 대한 분석자는 채취 및 분석의 일관성을 유지하기 위하여 연구 시작부터 최종 분석까지 동일 연구원이 수행하도록 하였다. 분석된 3개의 결과 중 중간 수치의 결과로부터 10% 이상의 오차범위가 나타나는 시료가 발생할 경우 반복시험을 실시하여 정밀도를 관리하였다. 흡광광도기를 이용한 TN, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, TP, $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 분석의 경우 시료채취 시기에 걸쳐 검량선을 수시 보정하여 분석장비의 정확도를 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 시료를 채취한 때 공주지점의 강우와 유량을 보여주고 있다. 공주 이외의 다른 지점의 경우, 측정자료의 신뢰성이 떨어지거나 결측 자료가 많아 사용하는데 문제가 있어 금강의 대청댐에서 저류량을 방류할 때 하류부의 기점 수위로 사용되는 주요 지점인 공주지점을 대표로 강우와 유량을 나타내었다. 그래프에 나타낸 1차 시료 채취 시기는 6월 20일로 연중 강우가 집중되는 시기로 접어들기 바로 전으로서 평수기의 시료를 채취하였다. 2차 시료 채취는 7월 13일에 실시하였으며, 이 시점은 연중 풍수기가 시작되어 진행하고 있는 시점이다. 3차 시료 채취는 8월 9일 이루어 졌으며, 풍수기가 지속적으로 진행하고 있는 시점이다. 그리고 4차 시료 채취는 9월 9일 실시하였으며, 이 시기는 풍수기가 충분히 지속되고 평수위로 접어드는 시기를 측정하는 것이다. 4차 시료 채취 시기인 9월 9일 이후 강우량 100 mm이상의 한 차례와 50 mm미만의 두 차례 강우사상이 더 발생하여 풍수기가 끝나는 시기는 10월 초에 나타났으나, 4차 시기에 채취된 시료도 풍수기를 충분히

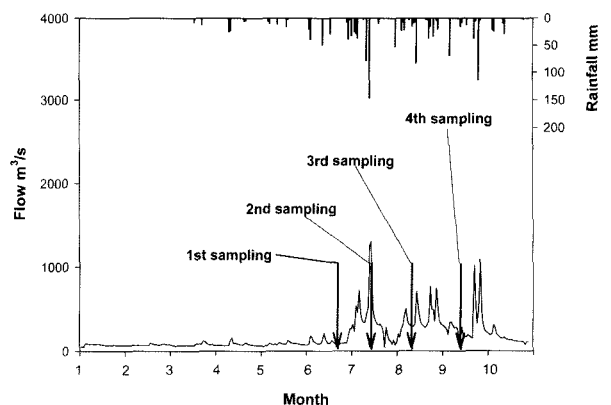


Fig. 2. Flow and rainfall of Gongju at sampling time (data acquired from <http://www.wamis.go.kr>).

지낸 상태로서 풍수기가 진행된 후의 특성을 나타낼 수 있으므로, 풍수기가 끝난 시료로 간주하였다.

Fig. 3은 TN, NH₃-N, NO₂-N, TP, PO₄-P를 측정된 결과이다. TN 농도그래프는 현도, 금남, 공주에서 2차 시기에 증가하고 이후 감소하는 것으로 관측되었고, 매포와 부강은 1차시기 이후 2차, 3차는 크게 변하지 않았으며, 4차 측정 시기에 감소한 것으로 나타났다. NH₃-N은 1차 시기에 매포, 부강, 금남에서 높게 측정되었다. 부강에서는 풍수기 이전에 높게 측정되었으나 풍수기 이후 감소하였으며, 현도, 매포, 금남, 공주 지점에서는 풍수기 이후 증가한 것으로 나타났다. NO₃-N은 TN과 유사한 경향을 보여주고 있다. 모든 그래프에서 풍수기 중에 가장 높은 농도를 보여주고 풍수기가 끝나는 4차 관측시기에 모두 감소한 것으로 나타났다. NO₂-N의 매포와 부강은 1차 측정 시기에 높은 수치를 보여주고 있고, 현도에서는 2차 측정 시기에 높은 수치를 기록하였다. 이후 모든 지점에서 3차 측정 시기에 낮은 수치를 나타내고 있다. TP 농도는 현도를 제외한 모든 지점에서 평수기인 1차 측정 시기보다 풍수기에 낮아졌다가 매포를 제외한 부강, 금남, 공주는 풍수기가 끝나면서 다소 상승한 것으로 나타났다. PO₄-P에서 현도 지점은 매

측정 시기마다 크게 변하지 않았으며, 매포는 2차 시기에 높은 수치를 나타내고 있다. 그리고 부강, 금남, 공주에서는 풍수기가 진행 되면서 높아지는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 각 지점에서 시기에 따라 채취된 퇴적물의 pH, COD, 유기물 함량을 나타내고 있다. pH는 모든 구간이 전기기간에 걸쳐 일정한 수치를 기록하였다. 이것은 퇴적물의 특성상 pH 완충능력이 있는 다양한 광물질과 유기물에 의한 것으로 볼 수 있다. Fig. 3에 나타난 수질 시료의 경우 2차 시기에 모든 지점에서 측정된 COD가 높게 나타나고 있으나, 퇴적물 시료에서는 현도를 제외한 모든 지점에서 2차 시기와 3차 시기에 COD 농도가 증가하고 4차 시기에 다시 감소한 것으로 나타났다. 모든 지점에서 퇴적물은 농경지의 토양이나 호소의 퇴적물보다 낮은 유기물 함량이 측정되었다. 현도 지점은 2차 측정 시기에 증가하였다가 3차, 4차 측정시기에는 1차 시기에 측정된 함량보다 낮게 다시 감소하였으며, 매포는 1차 이후 지속적으로 증가하다 4차 측정 시기에 다시 감소하였다. 부강은 3차 시기에만 높은 수치를 나타냈고 공주는 초기 측정 이후 크게 변하지는 않았으나 미량 감소하였다. 전체적으로 봤을 때 모든 지점에서 1차 측정시기보다 4차 시기에 보다 낮은 유기물

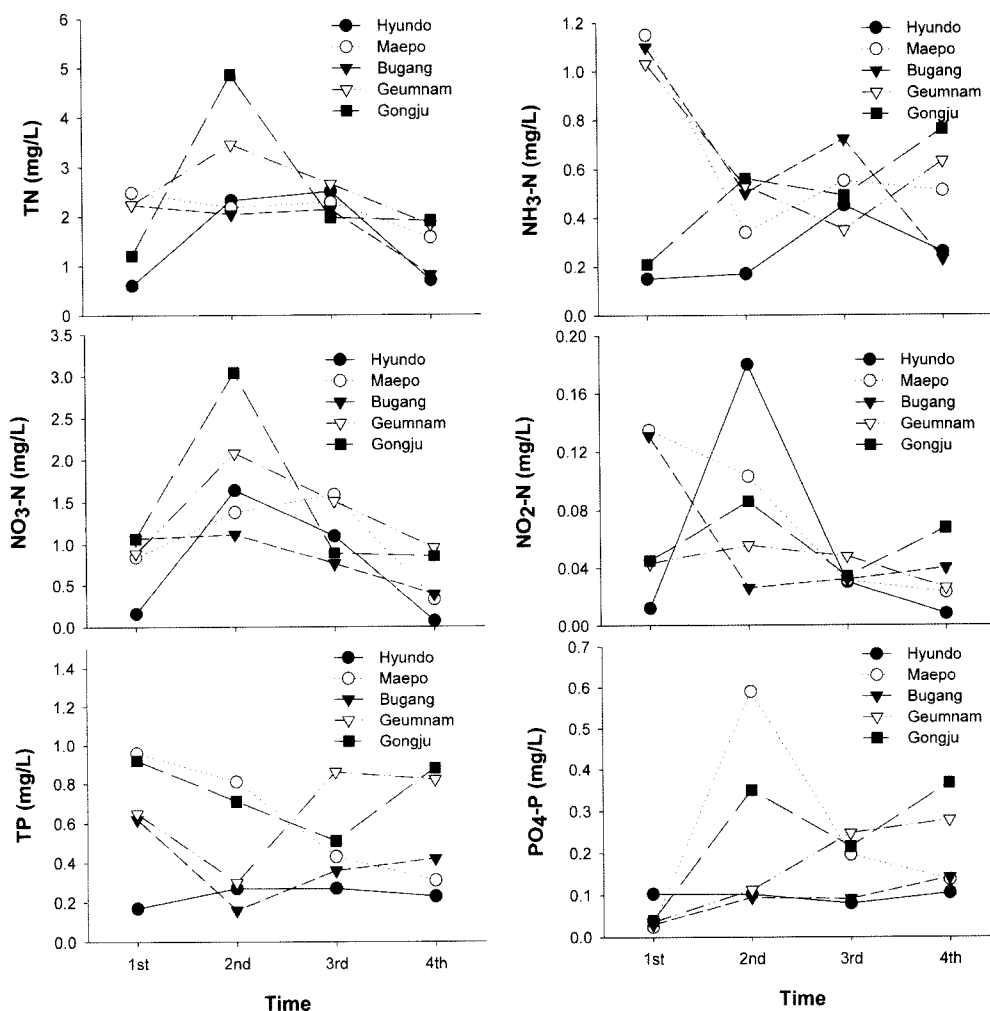


Fig. 3. TN (Total Nitrogen), NH₃-N (Ammonia), NO₃-N (Nitrate), NO₂-N (Nitrite), TP (Total Phosphors) and PO₄-P (Phosphate) of water from each site at sampling time.

함량을 나타내고 있다.

Fig. 5는 각 시기에 채취된 퇴적물 시료의 간극수에서 TN, NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N를 측정하였다. TN은 1차 측정 수치에서 하루로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 그리고 풍수기가 진행되면서 간극수에서 TN 농

도가 낮아지는 것으로 나타났다. 부강과 금남의 경우 풍수기가 처음 시작된 2차 시기에 높게 측정되었다. NH₃-N은 TN과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 역시 1차 시기에 측정된 농도는 하루로 갈수록 낮아지는 경향을 보여준다. 비교적 상류 지역인 현도와 매평의 경우 농도가 초기부터 지

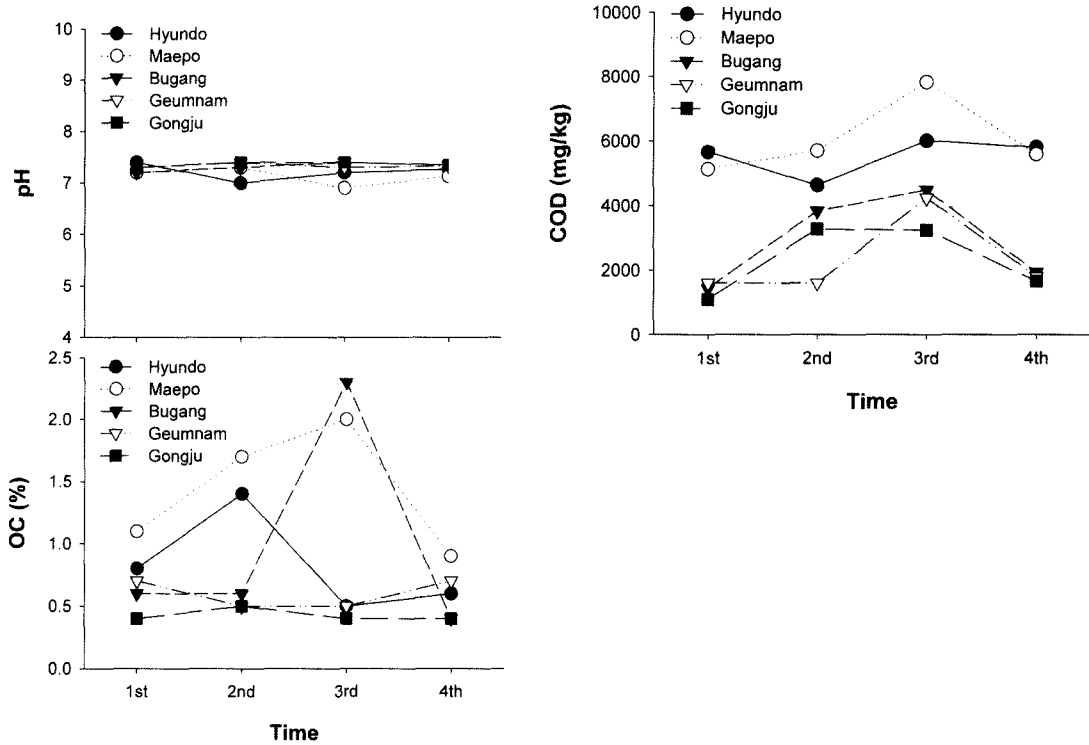


Fig. 4. pH, COD (Chemical Oxygen Demand) and OC (Organic Content) of sediment from each site at sampling time.

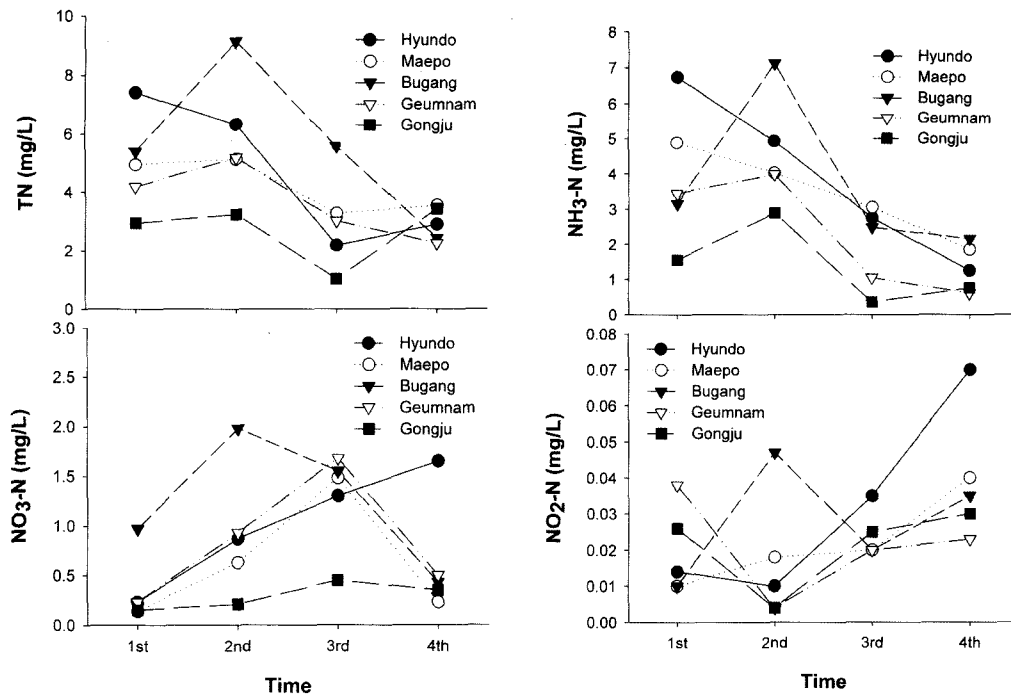


Fig. 5. TN (Total Nitrogen), NH₃-N (Ammonia), NO₃-N (Nitrate) and NO₂-N (Nitrite) of sediment from each site at sampling time.

속적으로 감소하였으며, 부강, 금남, 공주는 2차 시기에 증가한 이후 3차와 4차 시기에 감소하여 풍수기가 발생하기 전보다 낮은 수치를 보여주고 있다.

그리고 부강지점의 TN, NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N 결과를 함께 보면 2차 시기에 다른 지점보다 높은 것을 볼 수 있다. 해당 시기에 측정된 수질 항목 중에서 TN, NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N의 질소성분이 다른 지점보다 높게 나타나지 않은 것으로 미루어 보아 부강지점 퇴적물에서 질소성분이 높게 나타난 것은 유역에서 지표수 형태로 유입되는 하천수에 포함된 질소함량 이외의 원인에 기인할 것으로 추정된다. 예를 든다면 해당구간의 하천 형태는 사행하천으로서 다른 지점과는 상이하게 여울과 웅덩이로 인하여 퇴적물에 영양염류를 고정시키는데 기여하는 저서 부착생물이 생태 환경에 영향을 미침으로서 타지점보다 높은 질소 함량을 나타낼 수도 있다.

Fig. 6은 각 지점에서 채취된 하천 퇴적물의 TP와 P의 존재 형태에 따른 분석을 실시한 결과이고, Fig. 7은 같은 데이터를 각 시료채취지점과 시기에 따라 비교하기 쉽도록 인 존재형태 구성비를 원 그래프로 나타낸 것이다. 원 그래프는 시계방향 순서로 Ads-P, NAI-P, A-P, Res-P를 보여

주고 있고, 각각의 원의 크기는 TP의 상대적인 농도를 나타내고 있다. Fig. 6의 그래프에서 현도와 매포는 1차 측정 이후 풍수기를 지남에 따라 지속적으로 감소하고 있는 추세이며, 부강은 풍수기가 시작되면서 증가하여 감소하고 있다. 금남과 공주는 1차 시기에 채취된 시료에서 가장 높은 수치를 보이고 3차까지 감소하였으며 4차에서 다시 증가하였다. 모든 지점을 전체적으로 보았을 때 전부 풍수기를 지내면서 TP의 농도가 감소하는 추세로 나타났으며, 초기에는 모든 지점이 지역의 특성에 따라 각기 다른 농도를 나타내고 있었으나, 풍수기가 진행됨에 따라 평균 390 mg/kg의 농도로 유사해지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 다양한 원인에 의한 복합적인 결과로 나타난 것이지만, 몇 가지 가능성 있는 원인을 간추려 가정해 볼 수 있다. 첫째, 풍수기에 빨라진 유속에 의해 퇴적물 중 상대적으로 입자가 작고 부유되기 쉬운 광물질과 유기물들이 침식됨에 따른 결과; 둘째, 유역 지하수의 수위가 상승하여 비교적 인의 농도가 낮은 지하수에서 하천의 수체로 흐르는 유량이 발생하거나 증가하여 퇴적물에서 인이 하천으로 유출된 결과; 셋째, 인의 함유농도가 비교적 낮은 새로운 퇴적물이 기존 퇴적물의 상부에 퇴적된 결과 등이다. 이러

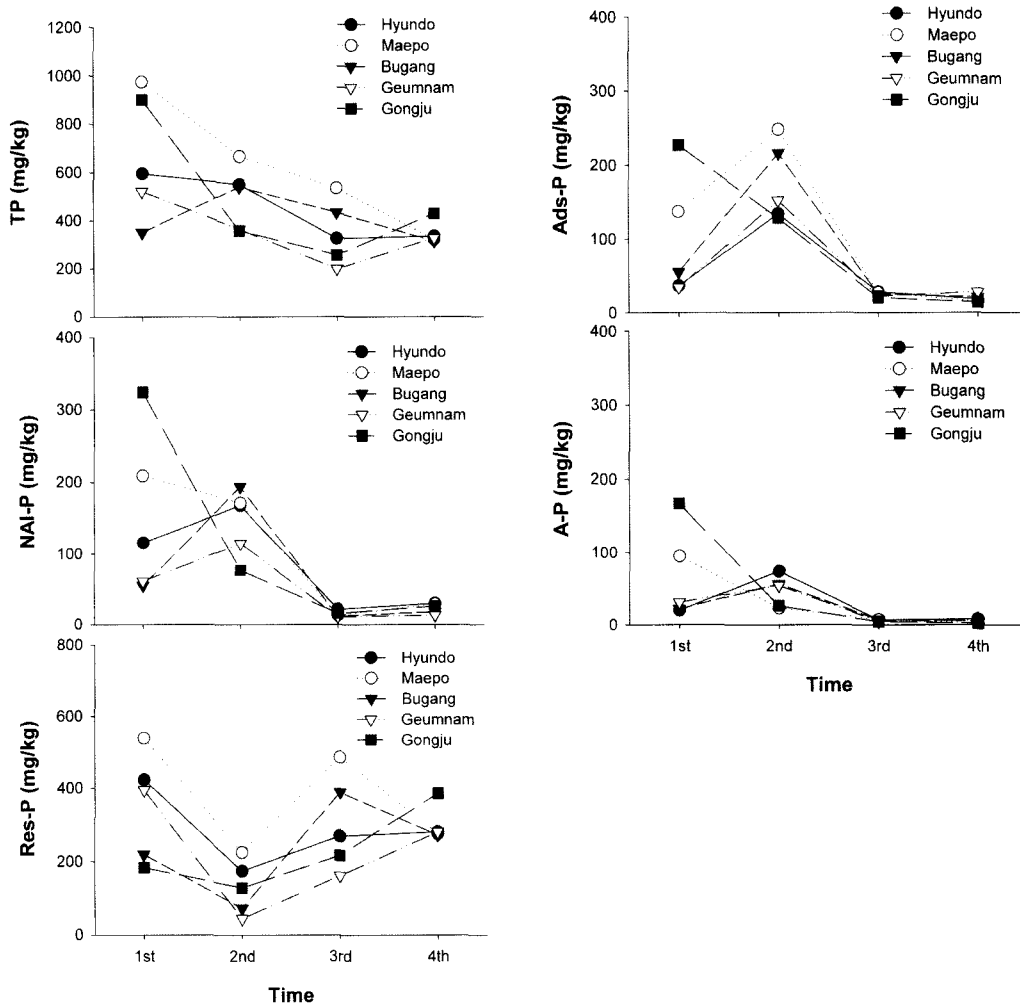


Fig. 6. TP (Total Phosphorus), Ads-P (Adsorbed-Phosphorus), NAI-P (Non-Apatite-Phosphorus), A-P (Apatite-Phosphorus) and Res-P (Residual-Phosphorus) of sediment from each site at sampling time.

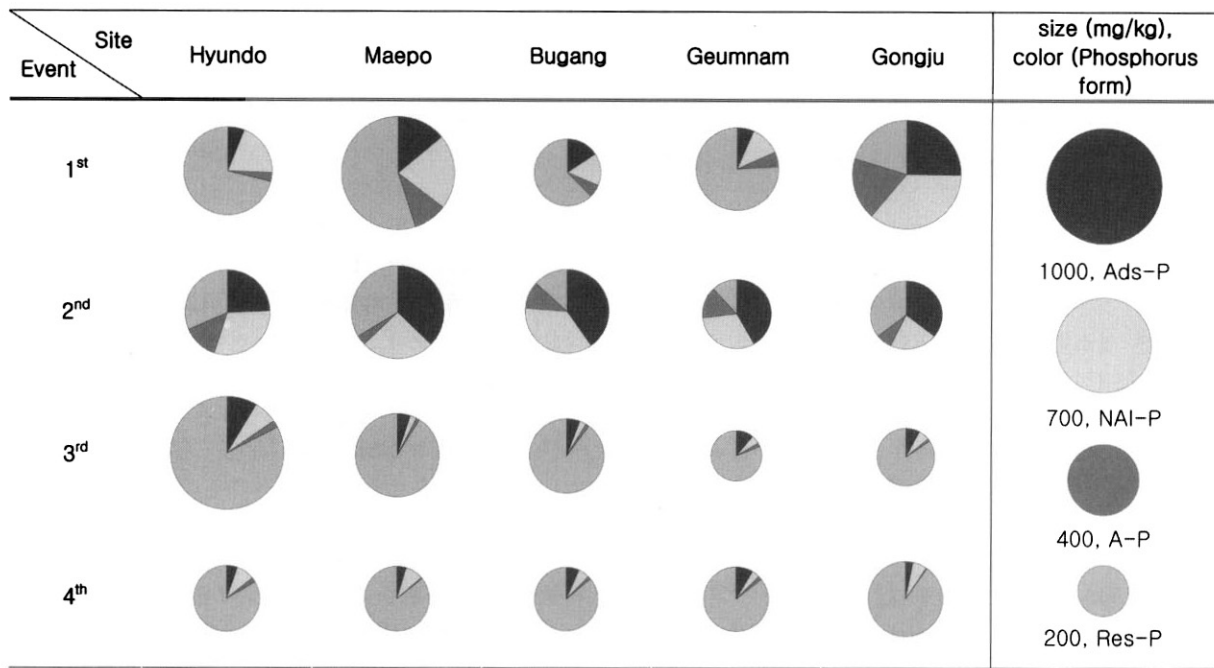


Fig. 7. TP (Total Phosphorus), Ads-P (Adsorbed-Phosphorus), NAI-P (Non-Apatite-Phosphorus), A-P (Apatite-Phosphorus) and Res-P (Residual-Phosphorus) of sediment from each site at sampling time (Circle size is relative TP concentration; Ads-P, NAI-P, A-P and Res-P as clockwise).

한 가정들에 대한 근거를 마련하기 위해선 하천의 각 구간에서 소류력과 부유사에 대한 보다 정밀한 연구·조사와 함께 하상 퇴적물의 구성과 퇴적형태에 대한 모니터링이 필요할 것으로 생각되고, 소유역에서 지하수의 거동에 대하여 관찰하고 모델링 되어야 할 것으로 생각된다.

Ads-P는 공주지점을 제외한 모든 곳에서 1차 시료 채취 시기 보다 2차 시기에 높은 수치를 나타내고 있고, 모든 3차, 4차 시료 측정은 모두 낮은 수치를 나타내고 있다. 이러한 경향은 NAI-P와 A-P에서 매포를 제외한 모든 지점에서 유사하게 나타나고 있는데, 이에 해당하는 인들은 광물에 흡착되어 있거나 광물에 결합되어 있는 형태의 인으로서 풍수기 초기에 유입되어 증가하였다가 풍수기가 지속되면서 침식을 통해 유출되었을 것으로 추측할 수 있다. 그리고 유기물로 구성된 인 성분인 Res-P는 2차 측정 시기에 모든 지점에서 감소하고, 풍수기가 끝나면서 다시 회복되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 풍수기 초기에 유기물 형태의 인이 유출되고 그 이후에 상류로부터 다시 유입되거나, 현장의 생물들이 증식을 통해 증가되었을 것으로 추정된다. 유기물 형태의 인에 대한 보다 면밀한 연구를 수행하기 위해서는 풍수기에 유역에서 유입되는 유기물질과 하천 바닥의 생물상에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 보인다.

다섯 지점에서 4차례에 걸쳐 퇴적물에서 인의 형태별로 분석한 결과를 볼 때 풍수기를 거치면서 총인의 농도가 감소하였고, 그 중 대부분은 Ads-P, NAI-P, A-P로 보이고, Res-P는 풍수기 초기 감소하였으나, 다시 회복되는 것으로 나타났다. 이 등(2003)은 폐쇄수역의 풍수기에 분석한 퇴적물에서 인의 형태별 농도가 장마 전에 비하여 장마가 끝난

후에, NAI-P와 A-P가 크게 증가한다고 하였다. 같은 유역은 아닐지라도 하천과 하천이 유입하는 폐쇄수역이라는 점에서 특성을 달리하여 비교하면, 풍수기의 하천 퇴적물에서 Ads-P, NAI-P, A-P가 부유상태로 유출되고, 이러한 하천수가 유입된 폐쇄 유역은 풍수기가 진행되면서 Ads-P, NAI-P, A-P가 축적된다는 결론을 인과적으로 도출할 수 있다. 풍수기가 끝난 이후 초기 하천은 미생물의 활동에 의한 Res-P가 증가하여 하천 퇴적물 총인의 상당부분을 차지하였으나, 시간이 경과함에 따라 Ads-P, NAI-P, A-P가 유입하여 축적됨으로써 다양한 형태의 인이 골고루 존재하여 다시 풍수기가 발생하기 전과 같은 상태의 인이 존재하게 되고, 폐쇄수역 퇴적물에서의 인은 풍수기에 Ads-P, NAI-P, A-P가 다량으로 유입된 이후 풍수기가 끝난 상태에서 지속적으로 유입되지만, 수리학적 특성상 NAI-P, A-P와 같은 광물형태의 인이 장기적으로 머무는 현상이 발생하여 광물형태의 인이 반응성 인으로 변하게 되면서 미생물에 의한 활동으로 Res-P가 증가하는 것으로 추측할 수 있다.

4. 요약 및 결론

지표수의 수질은 갈수기를 주 관심으로 하지만 수량이 비교적 풍부할 경우에도 수질이 악화되는 경우가 많이 있다. 특히 퇴적물은 상등수 수질에 직접적 영향을 미칠 뿐만 아니라 상류의 오염물질이 축적되므로 퇴적물과 상등수 수질간 관계를 파악하는 것이 중요하다. 금강 본류 중에서 하류에 위치한 현도, 매포, 부강, 금남, 공주지점에서 수질 시료와 퇴적물 시료를 풍수기가 시작되는 6월부터 4회에

걸쳐 시료를 채취하여 분석하였다. 퇴적물의 유기물과 영양염류를 모니터링 해본 결과 퇴적물의 영양염류는 풍수기가 지속되면서 농도가 낮아졌으며, 영양염류의 조성비도 변화였다. 특히 하천 퇴적물에서 총인 농도는 감소하였고, 총인 중에서 Res-P가 차지하는 부분이 증가하였다. 폐쇄 수역 퇴적물에서 풍수기에 인의 존재 형태 구성이 변하는 것과 함께 볼 때 풍수기에 하천의 퇴적물에 존재하는 Ads-P, NAI-P, A-P 등의 광물형태의 인은 유출이 일어나고 폐쇄 수역과 같은 수리학적 에너지가 낮은 곳에서 축적되는 것으로 볼 수 있다. 그리고 풍수기가 끝난 이후 하천의 퇴적물은 Res-P가 가장 먼저 증가하고 광물형태의 인의 축적이 일어나는 것으로 추측할 수 있다. 수질과 퇴적물간의 상관성을 분석하기 위해서는 하천의 유속, 소류력, 부유사 등에 대한 보다 광범위한 자료가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 건설교통부, 국가수자원관리 종합정보시스템, <http://www.wamis.go.kr> (accessed Oct 2005).
- 문동연, 김병용, 박정제, 정재범, 송주훈, 권태혁, 김윤정, 진수영, 광미종, 수질오염과 하상퇴적물의 상관관계에 관한 연구, 전라북도 보건환경연구원 폐기물분석과, pp. 1-41 (2005).
- 안건상, 박천영, 신인현, 배종필, 광주시 풍암매립지 주변 하상퇴적물과 물의 지구화학적 특성, *한국지구과학회지*, **24**(4), pp. 290-302 (2003).
- 오강호, 고영구, 윤석태, 화순지역 토양-퇴적물-하천수의 지구화학적 특성, *환경영향평가*, **12**(1), pp. 9-22 (2003).
- 우효섭, *하천수리학*, 청문각, pp. 562-563 (2001).
- 이재수, 김영철, 황길순, 장마 전후의 농업용 저수지 퇴적물의 변화분석, *대한토목학회논문집*, **23**(4B), pp. 359-368 (2003).
- 임동일, 한국남해 제주도 연안 퇴적물의 지화학적 특성: 퇴적물의 근원지, *한국환경과학회지*, **24**(4), pp. 337-345 (2003).
- 장병욱, 우철용, 김성필, 농촌 중·소 하천 저수지 퇴적물의 오염현황, *농촌계획*, **9**(2), 1-6 (2003).
- 해양수산부, 해양환경공정시험법 (2002).
- 환경부, 수질오염공정시험법 (2000).
- 황종연, 대청호, 삼교호 및 금강호의 퇴적물 분석, 충북대학교 대학원 화학과 박사학위논문, p. 1 (2001).
- APIHA, AWWA, WEF, WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 18th ed. Amer. Public Health Assoc., Washington, D.C. (1998).
- Bengtsson, L., Fleischer, S., Lindmark, G. and Ripl, W., Lake Trummen Restoration Project I. Water and Sediment Chemistry, *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung Theoretische und Ange wandte limnologie*, **19**, pp. 1080-1087 (1975).
- Chapman, D., *Water quality assessments 2nd ed.*, Spon Press, pp. 127-128 (1996).
- Di Toro, D. M., *Sediment Flux Modeling*, John Wiley & Sons, New York, p. 3 (2001).
- Hieltjes, A. H. M. and Lijklema, L., Fractionation of Inorganic Phosphates in Calcareous Sediements, *J. Environ. Qual.*, **9**, pp. 405-407 (1980).
- Jafvert, C. T., Lane, D., Lee, L. S. and Rao, P. S. C., Partitioning of Mono- and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a River Sediment Adjacent to a Former Manufactured Gas Plant Site, *Chemosphere*, **62**(2), pp. 315-321 (2006).
- Julien, P. Y., *Erosion and sedimentation*: Cambridge university press, pp. 1-3 (1995).
- Kaiserli, A., Voutsas, D. and Samara, C., Phosphorus Fractionation in Lake Sediments - Lakes Volvi and Koronia, N. Greece, *Chemosphere*, **46**(8), pp. 1147-1155 (2002).
- Kim, L.-H., Choi, Euiso, Gil, K.-I. and Stenstrom, M. K., Phosphorus Release Rates from Sediments and Pollutant Characteristics in Han River, Seoun, Korea, *Science of the Total Environment*, **321**, 115-125 (2004).
- Maris, K. M. and Elga, A. E., Sedimentary Humic Substances from Lakes in Latvia, *Environment International*, **23**(6), pp. 783-790 (1997).
- Shengrui, W., Xiangcan, J., Yan, P., Haichao, Z. and Xiaoning, Z., The Study of the Effect of pH on Phosphate Sorption by Different Trophic Lake Sediments, *Journal of colloid and Interface Science*, **285**(2), pp. 445-457 (2005).
- Silliman, J. E. and Schelske, C. L., Saturated Hydrocarbons in the Sediments of Lake Apopka, Florida, *Organic Geochemistry*, **34**(2), pp. 253-260 (2003).
- USEPA, *Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual*, EPA/823/B/01/002, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. (2001).
- Walling, D. E., Russell, M. A. and Webb, B. W., Controls on the Nutrient Content of Suspended Sediment Transport by British Rivers, *the Science of the Total Environment*, **266**, pp. 113-123 (2001).
- Wang, S., Jin, X., Bu, Q., Zhou, X. and Wu, F., Effects of Particle Size, Organic Matter and Ionic Strength on the Phosphate Sorption in Different Trophic Lake Sediments, *Journal of Hazardous Materials*, **128**(2-3), pp. 95-105 (2005).