

연구논문

갑천 수질 및 표층 퇴적물의 오염도 평가

양운모 · 채민희[†] · 이대희 · 박윤경 · 석광설

국립환경과학원 금강물환경연구소

Assessment of Water Quality and Sediment Pollution in Gap Stream

Yun-Mo Yang, Min-Hee Chae[†], Dae-Hee Lee, Yun-Kyung Park, and Kwang-Seol Seok

Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Okcheon-gun, 29027, Korea

Received November 17, 2020 / Revised December 18, 2020 / Accepted January 26, 2021

Five sampling sites at the Gap Stream, a major tributary flowing into the Geum River, were classified according to their locations on the left or right banks of the latter; this was to allow an assessment of the pollution level in the river. To this end, the water quality and the sediments were examined twice -in the first and the second half of the year and before and after the rainy season. In terms of water quality, the concentration of nutrients increased during the second half of the testing period at sites G3 to G5, which are located just before the confluence of the stream and the river. The assessment results also showed that site G5-R required particular attention because of water pollution due to a frequent inflow of contaminants via surface sediments, in the second half of the study period after rainfall, when the WQI(Water Quality Index) was applied. In terms of the sediments, there was no site corresponding to Class IV or “heavily polluted”, according to the standards of the National Academy of Environmental Research. However, in the first half of the year, sites G4 and G5 on the left bank were polluted at LEL-SEL levels, which, according to the Ontario standards and the Org-Index assessment, indicated that they were “moderately polluted” or worse, indicating a concern regarding pollution from organic matter and nutrients.

Key words: Gap Stream, Sediment, Geum River, WQI-Index, Organic-Index

1. 서 론

갑천은 금산과 논산에 위치한 대둔산에서 발원하여 대전천이 유입된 유등천과 합류하고 라바보에서 정제한 후, 대전 1·2산업단지, 대전하수처리장, 대전 3·4산업단지를 지나 신탄진 인근에서 금강에 합류되는 도심하천이다. 위치적으로 도심지를 관통하여 흐르는 갑천은 산업 활동으로 배출된 산업폐수가 100% 하수처리 시설로 이송되지 못하거나, 사업장에서 무단 배출 하는 폐수, 또는 우기에 바이패스 되어 하천으로 유입되는 각종 생활하수들로 인해 오래 전부터 금강의 주요 오염원으로 선행 연구에서 수 차례 언급된 바 있다.¹⁻³⁾ 하지만 기존 연구는 금강을 중심으로 유입오염원인 갑천

말단 지점의 농도만 분석한 것이 대부분으로, 갑천의 수리학적 특징과 주요 오염원의 영향에 대한 연구는 미흡하였다.

오염물질이 흡착하여 침전되어 있던 갑천의 퇴적물들은 우기에 증가된 유속에 의해 재부유하여 금강으로 유입되고, 유속, 입자의 크기 등 금강의 수리학적 특성에 따라 다시 퇴적된다. 퇴적물에 존재하는 영양염류들은 pH, 용존산소, 유기탄소, 산화환원전위 등의 변화에 의해 수층으로 재용출되거나 다시 퇴적물에 흡착하는 과정을 반복하며, 수질에 영향을 줄 뿐만 아니라 수생태계와 저서생물에게까지도 악영향을 주는 것으로 알려져 있다.³⁻⁶⁾

이러한 오염원이 유입된 금강은 금강분류에서 생활

[†]To whom correspondence should be addressed.

용수, 농업용수 등으로 사용되고, 도수로를 통해 삼고천 수계의 예당호와 금강서해 수계의 보령호에서 저수를 유지로도 이용된다. 보령호의 경우 충남 서북부 8개 시군의 상수원으로, 금강 도수 이후에 남조류 세포수가 증가하는 등 수질 및 수생태계의 변화가 우려되고 있으며, 예당호도 지난 2018년 금강 도수 이후 수질이 악화되었고 2019년에는 11월까지 녹조가 발생하였다. 금강 도수가 농업용수 확보에는 긍정적이나, 기존 수환경의 교란을 가져온다는 논란은 계속되고 있다.

이처럼 금강본류는 금강수계는 물론 금강권역의 타수계까지 영향을 줄 수 있기 때문에, 금강의 주요 오염원이라 할 수 있는 갑천의 수질과 퇴적물 오염도에 대한 종합적 평가의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 본 연구는 갑천의 수질과 퇴적물 오염도를 분석하여 국내·외 다양한 기준으로 평가하였으며, 시료의 입경을 세분화하여 항목간 상관관계를 살펴보았다. 향후 본 연구의 결과는 갑천의 건강성 평가 및 금강의 오염원 관리 등 수질과 수생태계에 미치는 영향을 평가할 수 있는 기초 자료로 활용될 것이라 기대한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점 및 시료채취

이번 갑천 조사는 유등천 합류 후 첫 번째 정체구간인 라바보 하류를 1지점(G1)으로 선정하였고, 우수토질을 월류하여 원촌교 우안으로 유입되는 대전 1·2산업단지의 영향을 파악하고자 원촌교 하류를 2지점(G2), 대전하수처리장 방류수 유입 후 탐립돌보 직전을 3지점(G3), 대덕테크노벨리를 관통하는 관평천 합류 하류 50 m를 4지점(G4), 대덕폐수처리장 방류수 유입 후 금강 본류와 합류 전을 5지점(G5)으로 선택하여, 총 5개 지점을 좌(L)·우(R)안으로 각각 조사하였다. 조사 시기는 2018년 우기 전(5월)을 상반기, 후(10월)를 하반기로 하고, 각 지점을 좌안과 우안으로 나누어 총 2회 조사하였다(Figure 1).

수질은 하이드로채수기(Water Sampler, 1.5 L, Korea)를 이용하여 표층과 저층을 채수하였고, 퇴적물은 포나그랩(Standard Ponar Grab, U.S.A.)과 스쿱(Scoops)을 이용하여 각각 5개소 이상에서 채취하고 골고루 혼합하여 시료로 하였다.

일반적으로 수질은 좌우로 수면 폭을 2등분한 각각의 지점의 수면으로부터 수심 2 m 미만일 경우 수심의 1/3, 수심이 2 m 이상일 경우 1/3과 2/3에서 각각 채수

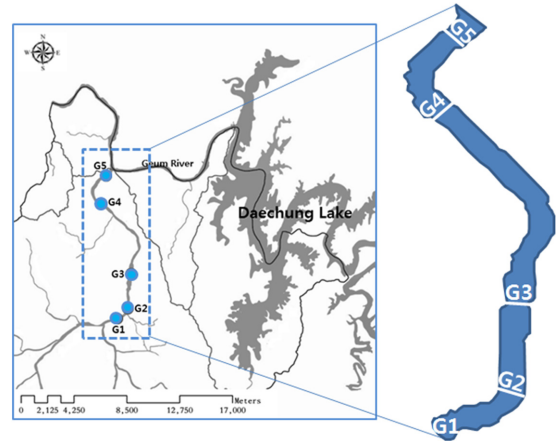


Fig. 1. Sampling sites.

하고, 퇴적물은 횡단하여 여러 지점의 시료를 채취하여 혼합하도록 되어있으나, 본 연구지점은 오염원의 위치 및 수리학적 특성에 따라 좌·우안의 채취시간이 달라 지점별로 좌안과 우안을 구분하여 시료채취를 진행하였다. 퇴적물의 경우 현장에서 현장수를 사용하여 2 mm 습식체질을 통해 상등액과 분리한 시료를 용기에 담았다. 모든 시료는 수질오염공정기준에 따라 채취하였으며 4°C 이하에서 냉장 운반·보관하였다.^{8,9)}

2.2. 분석항목 및 방법

2.2.1. 수질

YSI(Pro-DSS)를 이용하여 수온, pH, DO, EC, ORP를 수면 및 바닥면으로부터 20 cm 간격을 두고 표층과 저층의 현장항목을 각각 측정하였고, 기온은 대전의 기상청자료를 활용하였다.⁷⁾ 유속은 수질오염공정시험기준에 따라 하천유량-유속면적법으로, 유속계(Valeport002, U.K.)를 이용하여 횡단면을 2 m간격으로 측정하였다.⁸⁾ 수질항목 중 TOC(Total Organic Carbon)는 고온연소산화법(ES 04311.1b)으로 Analytik JENA(Multi N/C 3100)를 이용하였고, TN(Total Nitrogen)(ES 04363.4b) 과 TP(Total Phosphorus)(ES04362.2b)는 연속흐름법의 Skalar(SAN+, 습식자동분석기)장비로 분석하였다.

2.2.2. 퇴적물

COD(Chemical Oxygen Demand)와 IL(Ignition Loss)의 분석용 시료는 2 mm이하의 시료를 3000 rpm으로 20분간 원심분리한 후 상층액을 버리고 잔류물을 혼합하여 분석하였다. 입도분석은 퇴적물오염공정시험방법(ES 04853.1)에 따라 6% 과산화수소(H₂O₂)를 가하여

유기물을 분해시킨 후, 입자크기분석기 (Microtrac S3500 Extended wel, Microtrac)를 이용하여 입자의 크기에 따라 2 mm~0.063 mm이상은 Sand, 0.063 mm미만~0.004 mm이상은 Silt, 0.004 mm미만은 Clay로 구분하였고, Udden (1941)과 Wentworth (1922)의 분류 기준에 따라 Sand를 극세립사(VFS, Very Fine Sand, 63~125 µm), 세립사(FS, Fine Sand, 125~250 µm), 중립사(MS, Medium Sand, 250~500 µm), 조립사(CS, Coarse Sand, 500~1,000 µm), 극조립사(VCS, Very Coarse Sand, 1,000 µm <)의 5가지 방법으로 분류하였다.^{21,22)} IL은 퇴적물오염공정시험방법(ES 04852.1)에 따라 110°C에서 건조시킨 시료를 도가니에 담고 무게를 측정한다 다음, 550°C에서 2시간 가열한 후 다시 무게를 측정하였다. TOC, TN, TP 분석용 시료는 2 mm이하의 시료를 풍건하여 분쇄·체질(체눈 크기 0.1 mm) 한 시료를 사용하였다. TOC와 TN은 원소분석법(ES 04861.1, ES 04862.1)에 따라 원소분석기(Elementar, Vario Micro Cube CHNS)를 사용하였으며 CN모드를 적용하여 분석하였다. TP는 아스코르빈산 환원법 ES 04863.1에 따라 분광광도계(Agilent, Cary 100 Conc)를 이용하여 880 nm에서 측정, 정량하였다.⁹⁾

2.3. 오염도 평가 방법

2.3.1. 수질

수질 오염도 평가는 수질 및 수생태계 생활환경기준과¹⁰⁾ CCME-WQI를 국내 실정에 맞게 수정한 환경부의 실시간수질지수(Real Time Water Quality Index, RTWQI-Index)를¹¹⁾ 이용하여 평가하였다(Table 1). 환경부 실시간수질지수의 평가항목은 8개이나 본 연구에서는 탁도를 제외한 7개(수온, pH, EC, DO, TOC, TN, TP)자료를 지수설정범위 기준 값으로 하여 WQI-Index

를 산정하였다. 여기서 F1은 기준치를 위반하는 수질항목의 개수를 수질자료 개수로, F2는 수질항목별로 기준치를 위반한 항목들의 총 횟수를 총 측정횟수로 나누어 산정한 분율이고, F3은 각 수질지표별로 기준치를 위반한 정도를 분율화한 factor의 합이며, F1, F2, F3 factor를 아래와 같은 계산식을 이용하여 계산하고 지수 등급을 구분하였다.¹²⁾

$$WQI = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{3}$$

2.3.2. 퇴적물

항목별 오염도 평가는 국내 퇴적물 기준인 국립환경과학원의 하천·호소 퇴적물 오염평가 기준과¹³⁾ 캐나다 온타리오주의 담수퇴적물 기준을 적용하였고,¹⁴⁾ Organic-Index는 아래와 같은 계산식으로 계산한 후 Class I~IV 단계로 유기물질 오염평가를 하였다(Table 2). 여기서 TOC와 TN의 경우 무게비로 산정하여 TN 농도에 계수 0.95를 곱한 값을 TOC와 곱해주었다.^{15,16)} 국내 퇴적물 오염평가 기준의 경우, IL은 13%, TN과 TP는 각각 5,600 mg/kg, 1,600 mg/kg초과일 때 Class IV의 “매우 심각하고 명백한 오염”으로 판단하고, 캐나다 온타리오주의 담수퇴적물기준은 퇴적물에 서식하는 생물체에 어떠한 영향도 미치지 않는 오염수준 NEL(NO effect level), 퇴적물에 서식하는 다수의 생물체에 영향을 미치지 않는 오염수준 LEL(Lowest effect level), 저서생물에 악영향을 미칠 수 있는 심하게 오염된 수준 SEL(Severe effect level)의 3단계로 분류하여 평가한다(Table 2).

$$Org-Index = TOC(\%) \times (TN(\%) \times 0.95)$$

Table 1. Appropriate criteria for water quality factors and water quality index(NIER, 2013).

Water Quality Range	
Water temperature	Monthly average for 10years -10°C ≤ Water temperature ≤ Monthly average for 10years + 10°C
pH	6.5 ≤ pH ≤ 9.0
DO	0.8 × DO Saturation concentration present water temperature ≤ DO ≤ 1.3 × DO Saturation concentration present water temperature
EC	≤ 200 µS/cm
TOC	≤ 3.0 mg/L
TN	≤ 3.0 mg/L
TP	≤ 0.1 mg/L
Rating of evaluation	Excellent Good Fair Poor Very poor
	80~100 60~79 40~59 20~39 0~19

Table 2. Pollution class of organics, nutrients and organic-index according to sediments guidelines

	NIER ¹⁾		Ontario ²⁾		Org-Index ³⁾			
	Class IV	NEL	LEL	SEL	Class I	Class II	Class III	Class IV
IL(%)	> 13	-	-	-	-	-	-	-
TOC(%)	-	< 1	1 < χ < 10	10 <	< 0.05	0.05~0.35	0.35~0.75	> 0.75
TN(mg/kg)	> 5,600	< 550	550 < χ < 4800	4,800 <				
TP(mg/kg)	> 1,600	< 600	600 < χ < 2000	2,000 <	-	-	-	-

¹⁾Class IV : very heavily polluted

²⁾NEL : No effect level, LEL : Lowest effect level, SEL : Severe effect level

³⁾Class I : Unpollute, Class II : Unpolluted ~ Moderately polluted, Class III : Moderately polluted, Class IV : Heavily polluted

2.4. 상관분석

상관분석은 SPSS를 이용하여 분석하였으며, IBM SPSS statistics version 20을 사용하여 퇴적물 입도와 TOC, TN, TP, IL의 상관관계, 수질과 퇴적물의 유기물질 및 영양염류의 상관관계를 상·하반기로 나누어 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. G5지점 정밀조사

G1~G5지점의 수질 및 퇴적물 조사에 앞서, 2018년 5월에 G5(갑천말단) 현장 정밀조사를 진행하였다. 위치는 수질측정망(갑천A)과 동일하고 대청댐 방류 후 금강본류와 합류하기 직전의 지점이며, G5의 총 하폭은 106 m로서 수심, 유속, ORP, DO를 2 m간격으로 측정하였다. 유속이 가장 빠른 구간은 56 m(0.193 m/s)이고, 측정 가능한 구간의 평균 및 최소유속은 0.117 m/s 및 0.061 m/s로 나타났다. 유속이 없어 측정이 불가능했던 좌안(0~22 m)은 수심이 0.4~0.6 m로 가장 낮았고, 조사지점으로부터 상류 약 30~390 m에 수초 및 습지가 형성

되어 하상이 만처럼 안으로 들어가 있는 조사 부근의 경우, 우안보다 정체구간이 길어 ORP가 약 64 mV, DO가 약 5.9 mg/L의 낮은 값을 나타냈다. 오히려 24 m부터 수심이 깊어지면서 중앙으로 갈수록 유속이 증가했으며 ORP와 DO의 증감도 유사한 경향을 나타냈다. 중앙구간에서 우안으로 갈수록 수심이 낮아지면서 ORP가 소폭 감소하였으나 우안은 정체구간(102~106 m)에서도 ORP와 DO가 중앙구간과 비슷한 수준을 나타냈다(Fig. 2). 이는, 흐름의 방향이 중앙으로 몰리면서 상류부의 오염원이 교환되어 우안으로 이동하였거나, 인위적인 오염의 영향을 직접적으로 받았을 것으로 보인다. 갑천은 지점에 따라 유속이 빠르고 직선구간을 가지는 여울과 만곡부 외측에 형성되어 유속이 느린 웅덩이의 연속구조가 반복되어 수심 및 유속의 범위가 크며, G1~G4조사 지점 사이에 위치한 원촌교-갑천교 인근은 대규모 습지가 발달하여 자정작용으로 인한 수질 개선효과가 있으나 하천수의 이송 능력을 방해하기도 한다.^{17,18)} 한편 습지토양은 유기물이 포함되어 탄소나 영양물질의 축적 가능성이 큰 것으로 보고된 바 있다.¹⁹⁾ 이로써, G5뿐만 아니라 G1~G4에서도 물리화학적 요인과 수리적 요인

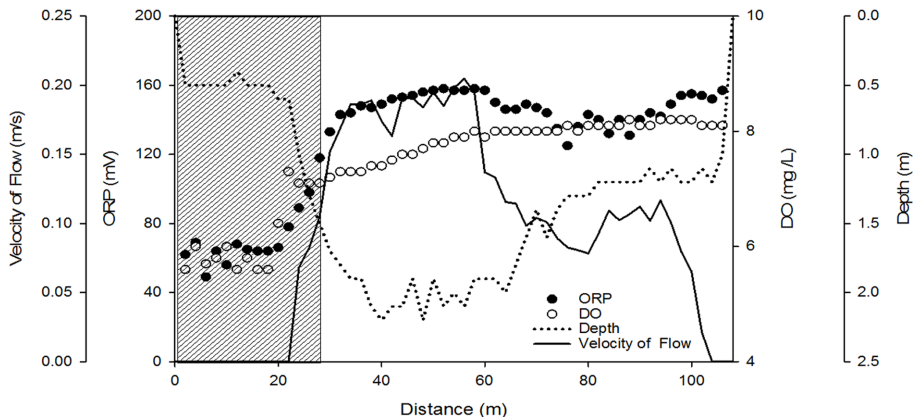


Fig. 2. Investigation of water quality at the end of Gab stream.

이 오염물질의 유입 및 흡·탈착에 영향을 미치는 인자로 작용하여, 지점별 좌안과 우안의 수질 및 퇴적물의 특성이 다를 수 있음을 예상할 수 있다.²⁰⁾

3.2. 입도 분석 결과

상·하반기 전지점에서 Sand(상반기 89.5(±3.6)%, 하반기 94.7(±2.6)%)가 Silt(상반기 10.3(±3.4)%, 하반기 5.3(±2.6)%)와 Clay(상반기 0.2(±0.3)%, 하반기 0.0(±0.0)%)의 비율보다 우세하였다. 상반기보다 하반기 Sand함량이 높았고, Silt와 Clay는 낮아졌다(Table 3). 갑천 퇴적물 중 대부분을 차지하는 Sand비율을 보다 세밀하게 보기 위해 Udden (1914)과 Wentworth (1922)의 기준으로 분류하여 Silt+Clay와 함께 도식화하였다(Fig. 3).^{21,22)}

지점별 전체범위는 G1-L(VFS(5.5%)~CS(28.6%)), G1-R(Silt+Clay(1.9%)~MS(62.9%)), G2-L(VFS(3.4%)~

VCS(36.7%)), G2-R(VFS(4.7%)~CS(48.4%)), G3-L(VFS(4.1%)~CS(42.5%)), G3-R(VFS(4.0%)~CS(50.8%)), G4-L(VFS(3.5%)~CS(34.6%)), G4-R(VFS(4.1%)~MS(34.7%)), G5-L(Silt+Clay(0.6%)~MS(69.6%)), G5-R(VFS(3.1%)~MS(39.2%))으로 나타났다. 전지점 입자 분포가 125 μm 이하는 낮고 250 μm이상에서 높게 조사되어, 지점별로 중간입자를 기준으로 입자 크기의 변동 특성을 나타내는 것으로 보인다. 입자크기에 따른 상반기 대비 하반기 증감률(%)을 분석한 결과, Silt+Clay 및 VFS가 -94.4~4.5% 및 -76.8~36.6% 범위로 조사되었고, G4-R을 제외하고 전지점에서 감소하는 경향이였으며 G5-L, G4-L순으로 높은 감소율을 나타냈다. FS는 -52.5~101.7% 범위로 좌안은 전지점이 감소하였고 우안은 G5를 제외한 나머지 지점이 증가하였으며, G2-L은 유사한 수준이었으나 G2-R에서 가장 높아졌다. MS는 -64.4~116.7%의 범위로 G2-L이 크게 증가하였지만 G2-R은

Table 3. Variation of sediments composition in the study area

Site		Grain size(%)					
		Clay	1st Silt	1st Sand	2nd Clay	2nd Silt	2nd Sand
G1	L	0.0	9.4	90.6	0.0	5.6	94.4
	R	0.0	6.4	93.6	0.0	1.9	98.1
G2	L	0.1	12.6	87.3	0.0	6.5	93.5
	R	0.7	12.3	87.0	0.0	6.3	93.7
G3	L	0.2	11.1	88.7	0.0	6.9	93.1
	R	0.7	12.5	86.8	0.0	9.1	90.9
G4	L	0.6	15.4	84.0	0.0	4.2	95.8
	R	0.0	7.4	92.6	0.0	7.7	92.3
G5	L	0.0	11.4	88.6	0.0	0.6	99.4
	R	0.0	4.4	95.6	0.0	3.6	96.4

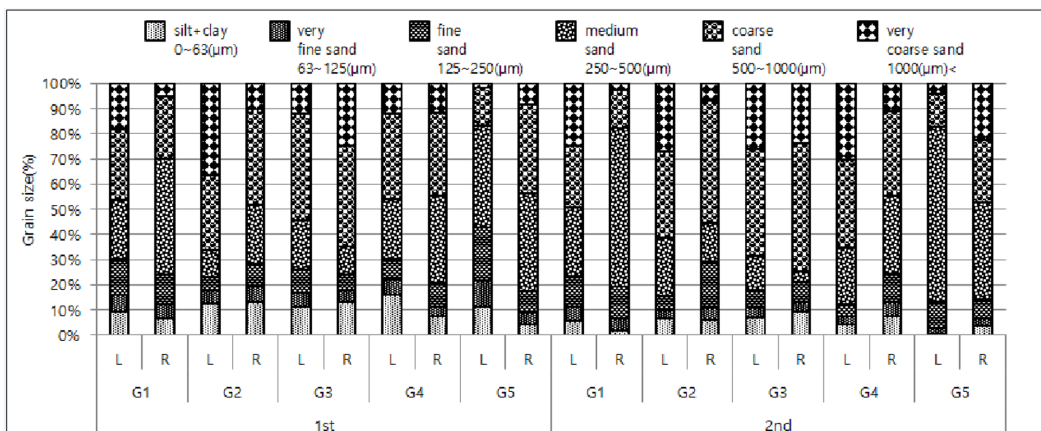


Fig. 3. Variation in sands composition, silt and clay grain size of sediments in the study area.

-38.8~26.9% 범위로 증감률이 가장 낮았고, VCS는 -51.2~173.3% 범위로 좌안보다 우안의 증가율이 높았으며 G5에서 양안 모두 증가했고 우안에서 가장 높아졌다. 전체적으로 하반기 입자 크기는 상반기보다 작을수록 감소율이 높았고 커질수록 증가율도 높아지는 것으로 나타났다. 하천은 물의 흐름에 따라 하상의 토사가 물과 함께 하류로 유송되어 일정한 장소에 퇴적되거나, 홍수기에 하상이 세굴되어 아주 가는 입자가 재부유하여 유송되는 경우도 있다.²³⁾ 이는 지점에 따라 퇴적물 표층에 쌓여있던 오염원 및 입자가 우기 후 유속의 변화로 Flushing되었을 것으로 보이며, 전체지점 중 G5-L과 G4-L에서 입도의 증감률이 가장 컸던 이유로 판단된다. 다른 지점에 비해 G4-R은 상·하반기 변동이 거의 없어 강우와 유속의 영향을 적게 받았을 것으로 파악되며, G2는 양안의 상반기대비 하반기 증감 패턴이 유사하였으나 FS는 우안, MS는 좌안에서 크게 증가하였다. 입도는 입도분포와 퇴적물의 퇴적 및 이동 등에 중요한 영향을 미치므로²⁴⁾ 각 지점별 채취시기 및 지형적 특성에 따라 변화한 하상구조가 퇴적물의 농도 증감에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 또한 조립질 퇴적물이 우세한 하천에서 Sand를 세분화하여 평가해보면 같은 지점에서도 좌·우안에 따라 입자크기별 분포비율의 변화가 매우 다양하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3.3. 농도 분포 및 오염도 평가

현장 및 수질항목의 오염도는 하천생활환경기준과 WQI-Index를 적용하였고(Fig. 4), 수질과 퇴적물의 유기물질(TOC) 및 영양염류(TN, TP)농도 분포를 파악하고자 지점별 농도값을 항목별 상·하반기 전체 평균값으로 나누어 백분율 한 값을 Figure 5에 나타내었다. 퇴적물은 국내, Ontario 환경기준 및 Org-Index를 이용하여 평가하였다(Fig. 6).

3.3.1. 현장항목 측정 결과

수온은 표층, 저층 평균이 전체(18.9°C, 18.8°C), 상반기(20.1°C, 19.8°C), 하반기(17.7°C), 기온평균은 전체(17.4°C), 상반기(19.7°C), 하반기(15.4°C)로 나타나 수온과 비슷한 수준을 보였다. 그러나 하반기 G5수온은 좌안(17.6°C)과 우안(24.4°C, 24.6°C)이 판이한 경향을 보였고, 우안에서 기온(14.4°C)과 약 10°C의 차이를 나타내었다. G5-R의 급격한 수온 증가는 기온의 영향도 있겠지만 대전 대덕폐수종말처리장 배출수의 온도

와도 연관성이 높을 것으로 추정된다.

DO는 농도변화에 따라 수중의 산화-환원 조건을 변화시켜 영양염류 용출특성에 중요한 역할을 한다.^{25,26)} DO의 상·하반기 표층 및 저층의 전체 범위는 7.9~10.8 mg/L로서 상반기 G2-R에서 표층과 저층의 차이(22%)가 컸다. 하천생활환경기준 적용 시 전지점에서 Ia 이상의 등급을 나타냈다.

ORP의 전체범위는 221.7~62.6 mV로, G1-R이 상·하반기에 모두 높았다. 대부분의 지점은 표층과 저층이 유사하였으나 상반기 G2-R에서 표층(164.0 mV)과 저층(62.6 mV)의 차이(162.0%)가 컸다. ORP는 유기물이 포함된 하·폐수의 산화, 환원능의 전위차 현상에 의해 알 수 있으며 유기물, 질소, 인의 제거에 효과적이라는 연구보고가 있다.²⁷⁾ 상반기 DO와 비례특성을 나타낸 G2-R은 저층에서 평균(169.0 mV)보다 63% 감소하는 경향을 나타내어 수질항목의 농도 증감에 관련성이 있을 것으로 생각된다.

pH는 표층, 저층이 상반기에 7.4, 7.3~8.2, 하반기는 7.6~8.9 범위로서 하천생활환경기준 pH6.0~8.5로 평가할 경우 하반기 G1-R(8.9)에 해당하는 기준은 없으나, 2009년 조사된 내용에 따르면 유등천과 대전천의 pH 평균이 도심의 아파트단지에서 유출되는 생활하수 중 세제 등의 원인으로 고알칼리성을 나타내어 갑천보다 높은 특징을 보인다고 하였다.²⁸⁾ 나머지 지점은 Ia~III 등급으로 대부분 우리나라 하천·호소 등에서 나타나는 중성~약알칼리성 성질과 유사하였다.

EC는 수중에 용존되어 있는 이온의 총량을 나타내어 시·공간적인 수질환경을 반영하며 갑천 하류의 EC는 대전하수처리장 유입의 영향이 크다.^{29,30)} 표층 및 저층은 상반기에 246~1489 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 및 247~1475 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 하반기는 303~2075 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 및 301~2076 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 조사되었고, 전지점이 하반기에 높아졌다. 상·하반기에 G3부터 하류로 갈수록 점차 증가하여 대덕폐수처리장 처리수 유입 후 G5-R에서 정점을 나타내었다.

3.3.2. 유기물 및 영양염류 평가

TOC는 상반기에 표층이 3.3~8.4 mg/L, 저층이 3.6~7.2 mg/L, 하반기는 표층이 1.8~13.2 mg/L, 저층이 2.0~13.1 mg/L로 상반기에 G1-L의 저층과 표층의 차이(102.9%)가 매우 크게 나타났다. G1은 상류에 위치한 라바보로 인한 유량 감소와 오랜 기간의 퇴적 진행이 수질악화의 원인으로 우안에서는 정체현상이 나타나지만 좌안은 유등천의 유입유량으로 유속이 증가한다고

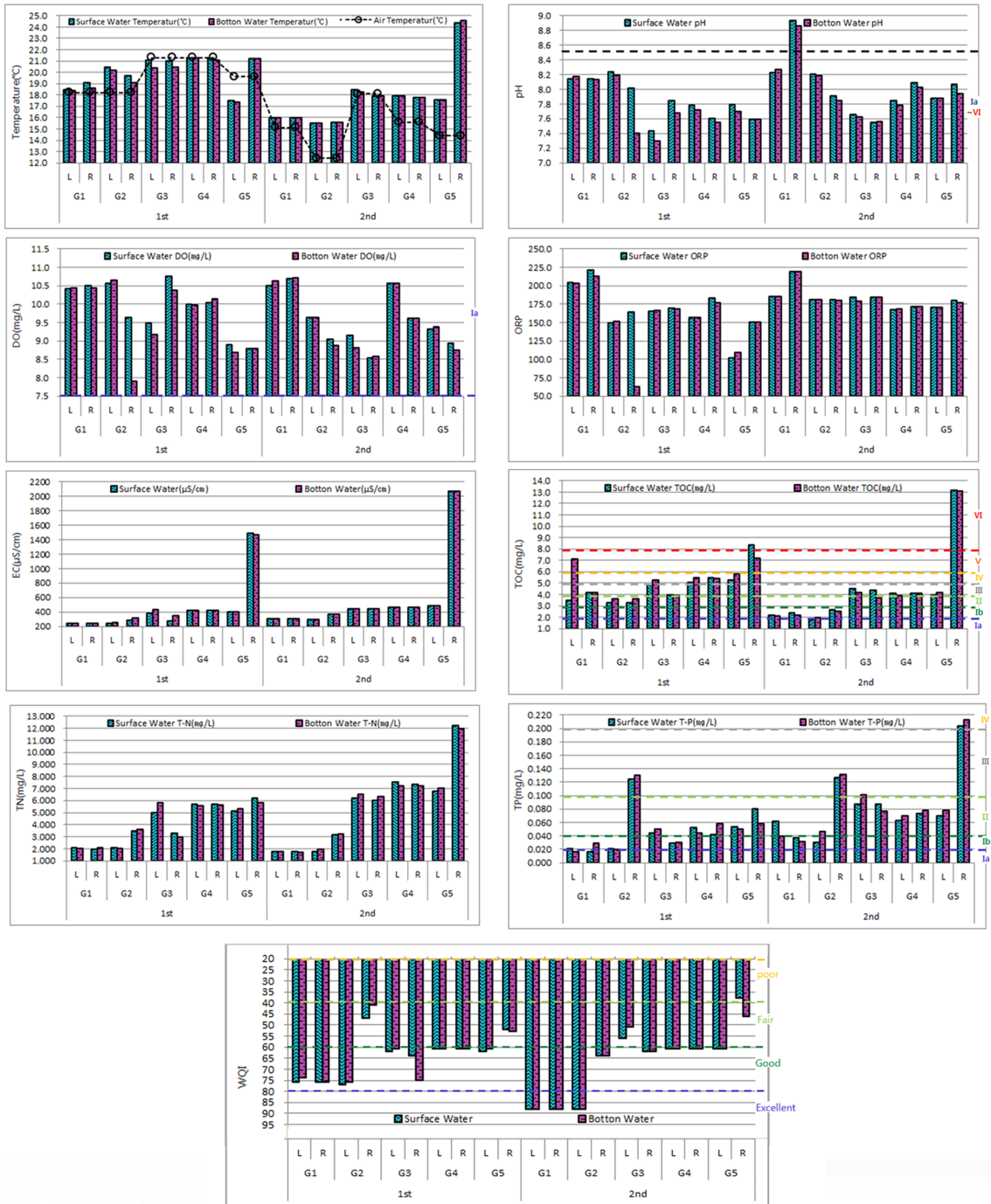


Fig. 4. Concentration and water quality guidelines of temperature(Water and Air), DO, pH, ORP, TOC, TN, TP, WQI-Index and pollution classes.

보고된 바 있다.³¹⁾ 이때, 라바보의 율류로 발생한 외류로 인해 침전된 작은 부유물질이 부상하면서 G1-L저층의 농도가 일시적으로 높아진 것으로 보인다. 이후 G2

에서 감소하다가 G3-L부터 점차 상승하여 대전3·4산업 단지의 폐수유입 후에 G5-R에서 높은 농도를 나타냈다. 상반기 대비 하반기는 전체적으로 감소했지만 G5-

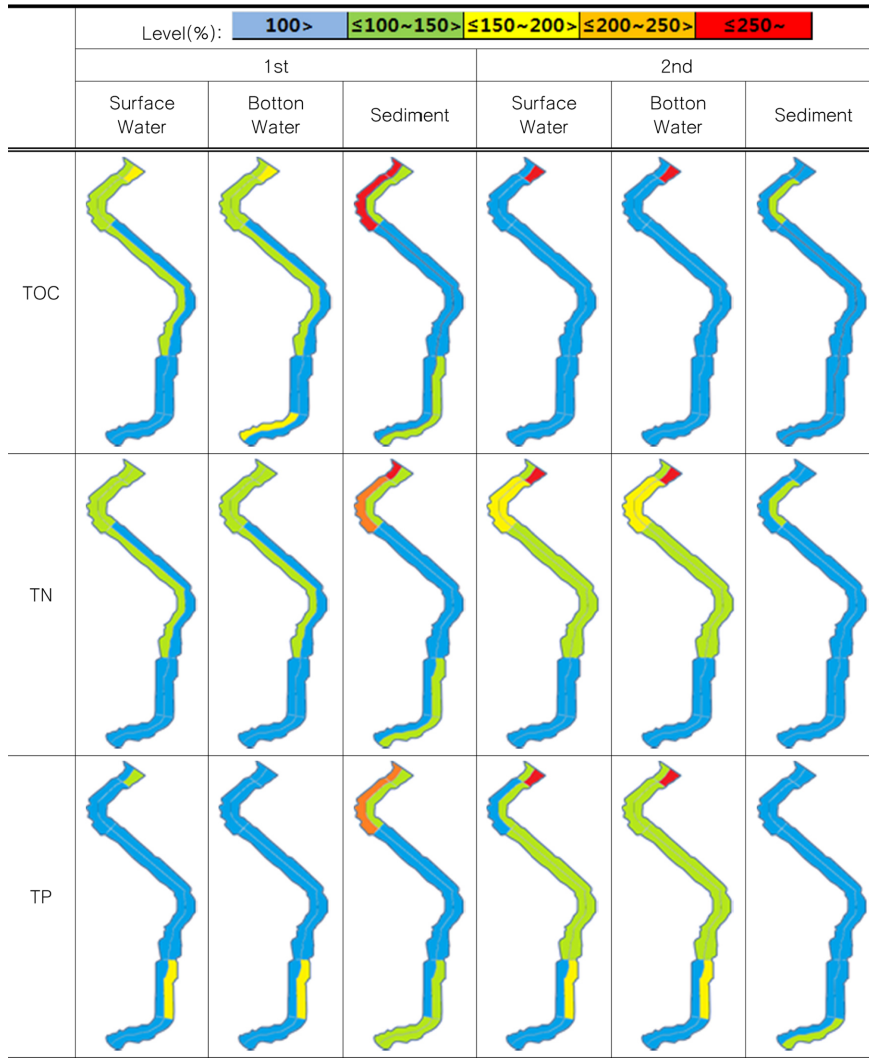


Fig. 5. Distribution of organic and nutrients concentrations in water quality and sediments.

R의 경우 표층, 저층에서 57.1%, 81.9% 증가하였다. 환경부의 환경정책 통계자료(2017년 말 기준)에 따르면 대전하수종말처리장보다 대덕폐수종말처리장의 방류수가 부유물질이 약 2배, COD가 1.4배 높았다.³²⁾ 하천생활환경기준은 상반기에 G1-L저층이 나쁨(V), G5-R표층 및 저층은 매우나쁨(VI) 및 나쁨(V), 하반기는 G5-R에서 매우나쁨(VI) 등급을 나타냈다.

TN은 상반기에 표층이 1.995~6.246 mg/L, 저층이 2.007~5.856 mg/L, 하반기는 표층이 1.762~12.270 mg/L, 저층이 1.748~12.005 mg/L 범위로 나타났다. 상반기에 G1~G2는 비교적 낮은 농도를 보였고, 대전하수처리장을 지난 후 좌안에서 크게 증가하였다. Zhou & Lim

(2014)은 하수처리장의 TN영향으로 갑천하류의 수질이 불량하다고 하였으며, 이 때문에 G4~G5에서 G3-L과 유사한 농도가 지속된 것으로 보인다.³³⁾ 하반기는 상반기 G1~G2와 농도분포가 비슷하였으며 G3-R부터 G4로 갈수록 증가하여 G5에서 좌안은 약간 감소한 반면, 우안은 더욱 높아졌다. 대전1·2 및 3·4산업단지는 혼용처리(물리·화학·생물학적)되어 하수 및 폐수종말처리장으로 연계된다.³²⁾ 수온변화에 민감한 하수처리장의 A2O공정은 수온이 하강함에 따라 NH₄-H의 제거율이 감소한다고 보고된 바 있으며^{34,35)} 대전하수처리장의 2018년 월별 방류수질현황 결과에서 TN농도가 5월(8.637 mg/L)보다 10월(9.643 mg/L)에 약간 높았다.³⁶⁾

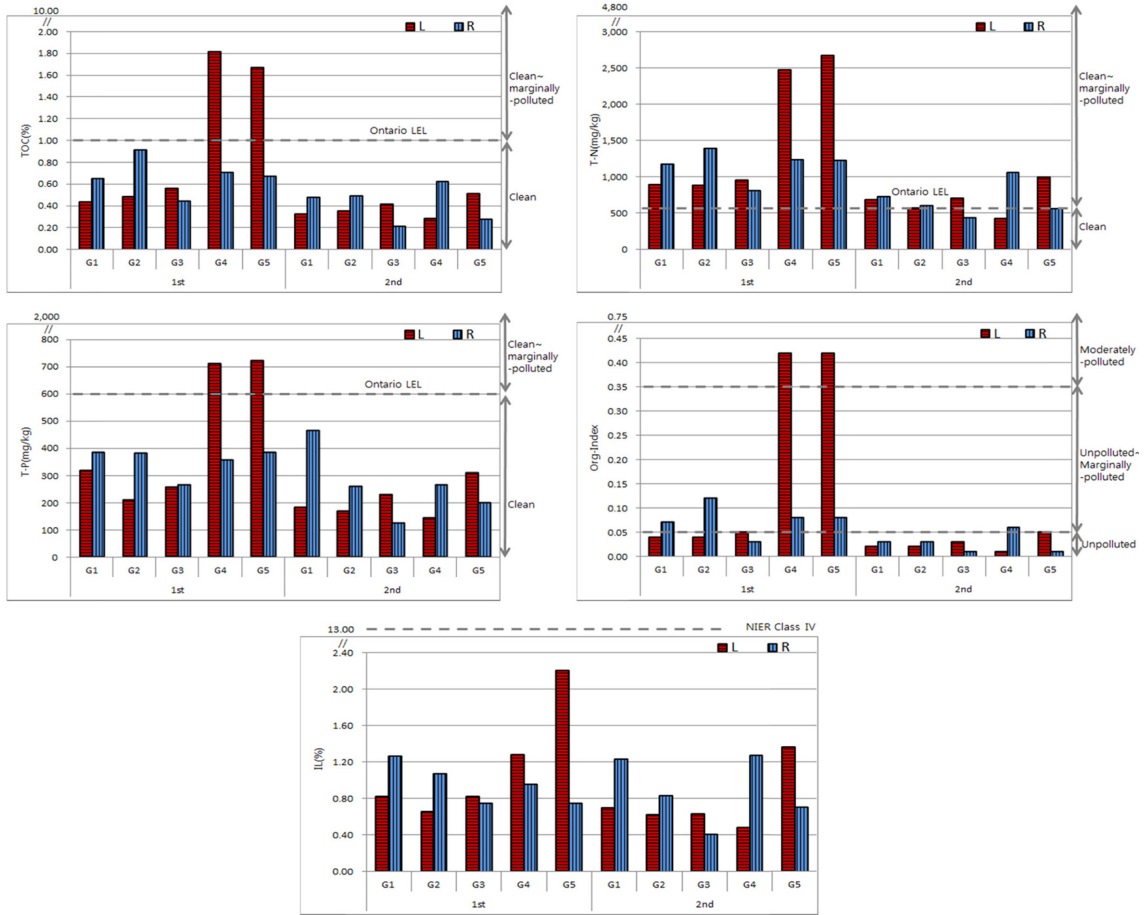


Fig. 6. Concentration and sediment quality guidelines of IL, TOC, TN, TP, Org-Index and pollution classes.

TP(mg/L)는 상반기에 표층이 0.017~0.125 mg/L, 저층이 0.017~0.130 mg/L, 하반기는 표층이 0.031~0.204 mg/L, 저층이 0.032~0.213 mg/L의 범위로 조사되었다. 상반기는 G1을 지나 G2-R에서 가장 높은 농도를 나타냈다. 대전1·2산업단지에서 발생한 하·폐수가 전량 하수처리장으로 이송되지 못하고, 우수토실을 통해 갑천으로 유입되어 우안의 농도가 높았다. 반면 좌안은 대전하수처리장 방류수의 희석효과로³⁷⁾ G3을 기점으로 크게 감소했고, G5-L까지 비슷한 농도를 유지하였다. 하반기는 상반기와 비교하여 G2-R은 유사한 농도를 보였지만 그 외 지점은 증가했으며 특히, G5-R의 증가폭이 매우 컸다. 갑천의 불명오염원 중에 대전1·2산업단지는 건기에도 미처리된 하·폐수 유출이 보고되었고, 대전3·4 산업단지에서도 일부 오점 가능성이 제시된 바 있다.³⁸⁾ 하천생활환경기준은 상·하반기에 G2-R이 보통(III), 하반기는 G5-R표층도 보통(III), 저층은 약간나쁨(IV)등급

을 나타냈다.

WQI-Index 산정 결과, 조사기간 대부분의 지점은 비교적 양호한 상태였다. 하지만 상반기에는 대전1·2산업단지에서 발생한 폐수가 우수토실 월류를 통해 유입되는 G2-R 지점과 대덕폐수종말처리장 처리수가 유입되는 G5-R지점에서 주의등급으로 평가되었다. 하반기 평가 결과, 대전하수처리장 방류수의 영향을 받는 G3-L, G5-R저층은 보통 등급을 나타냈고, 하반기 G5-R표층은 주의 등급으로 평가되었다.

3.3.3. 퇴적물 평가

IL은 퇴적물 내에 포함된 유기물 양을 측정하는 방법으로 TOC, COD와 상관성이 있으며, 흐르는 하천에서 유기물 침전의 퇴적물오염에 간접적인 지표로 이용하고 오염 상태를 파악할 수 있다.³⁹⁾ IL의 농도범위는 상반기에 0.65~2.20%, 하반기는 0.40~1.36%로 조사되었다.

상·하반기 모두 G5-L에서 가장 높은 농도를 나타냈으나 하반기에 G4-R을 제외한 나머지 지점이 감소하였다.

TOC와 TN은 상·하반기 퇴적물 농도 경향이 유사하였다. 항목별 범위는 TOC가 상반기에 0.43~1.81%, 하반기는 0.21~0.62%로 조사되었고, TN은 상반기 및 하반기에 805~2,669 mg/kg 및 414~1,051 mg/kg로 나타났다. 상반기에 G1, G2는 좌안보다 우안에서 높았고, G3부터 양안의 차이가 감소하다가 G4부터 우안에서 약간 증가하여 좌안을 정점으로 G5-L까지 높은 농도를 유지하였다. 하반기에는 G4-R이 높았으나 전지점이 상반기보다 낮아져, TOC, TN은 G4-L(-84.5%, -83.2%)과 G5-L(-69.5%, -62.9%)에서 가장 큰 감소율을 나타냈다.

TP는 상반기에 210~722 mg/kg, 하반기는 124~465 mg/kg의 범위를 나타냈다. 상반기에 G1에서 G3으로 갈수록 감소하다가 G4를 기점으로 높아져 G4-L 및 G5-L에서 크게 증가하였다. 하반기는 상반기와 비교하면 G1-R을 제외하고 대부분 TP농도가 유지되거나 낮아졌다. TOC, TN과 마찬가지로 G4-L(-79.9%)과 G5-L(-57.3%)에서 높은 감소율을 보였다.

G3~G4사이에 위치한 담립돌보의 영향으로 유속이 감소되고, 하수처리장 주위 흐름이 저수지형태를 띠어 상류의 부유물질의 퇴적을 가중시켜 상반기 퇴적물 농도가 높았던 것으로 보이며, 강우 시 유속의 변화로 퇴적물의 양이 감소하여 하반기에 전항목이 낮아지는 경향을 나타낸 것으로 파악된다.⁴⁰⁾ 갑천 수계 퇴적물 및 물리적 하상구조 특성을 분석한 2017년에 발표된 자료의 유속 자료를 참고하면,¹⁷⁾ G4는 상류 신대돌보(2.4~3.2 m/s)를 지나 용신교(0.4~0.5 m/s)에서 감소한 유속에 의해, 좌안 관평천 상류의 논과 밭의 영향을 받은 토양입자가 하류의 하상에 유기물 침적현상을 나타내어⁴¹⁾ 갑천에 유입된 후, G4-L에 퇴적이 더욱 집중되었을 것으로 보인다. 유속은 신구교(1.3~1.5 m/s)를 지나 문평대교(0.3~0.4 m/s)에서 감소하고 불무교(3.1~3.3 m/s)에서 다시 높아지며, 상류로부터 이동된 퇴적물이 앞서 언급

한 G5정밀조사에서 정체현상을 나타내어 G5-L에 퇴적이 증가되었을 것으로 판단된다.

국내·외 오염평가에서 국내 퇴적물 기준 적용 시 IL, TN, TP가 전지점에서 IV 등급 이내로 나타나 매우 심각하고 명백한 오염은 없는 것으로 평가되었다. 그러나 비교적 오염도가 낮았던 나머지 지점에 비해 높은 농도를 나타낸 상반기 G4-L, G5-L은 Ontario기준에서 TOC, TN, TP가 LEL~SEL를 나타내고 있다. Org-Index는 상반기 평가에서 관평천이 유입되는 G4-L 지점과 금강 본류에 의해 정체구간이 형성되는 G5-L 지점에서 III 등급인 Moderately polluted로 평가되었다. G4와 G5 좌안에서 높게 평가된 것은 상류인 G3 좌안에 위치한 대전하수종말처리장 방류수의 영향과 갑천 말단으로 갈수록 좌안에서 체류시간이 증가하면서 유기물과 총질소로 인한 오염이 축적된 것으로 판단된다.

3.4. 상관분석 결과

3.4.1. 퇴적물 및 입도 상관분석

과거 많은 연구자료에서 퇴적물의 입도가 세립할수록 공극이 많아져 유기물 흡착이 증가한다고 알려져 있으나, 세립질에 비해 조립질 퇴적물이 우세한 본 연구 지역의 경우 Sand를 5단계로 세분화하여 퇴적물 입자 크기와 유기물 및 영양염류 농도와의 상관관계를 평가하였다(Table 4). MS는 상반기에 IL과 0.683($p < 0.05$), TN과 0.685($p < 0.05$), TP와 0.867($p < 0.01$)의 양(+)의 상관성을 나타냈으며 하반기에도 IL, TP와 각각 0.644($p < 0.01$), 0.556($p < 0.05$)의 양(+)의 상관관계를 보였다.

CS는 하반기에 IL과 -0.511($p < 0.05$)의 음(-)의 상관성을 나타냈고, VCS는 상반기에 IL과 0.640($p < 0.05$), TN과 -0.697($p < 0.01$), TP와 -0.758($p < 0.05$) 음(-)의 상관성을 보였으며 하반기는 IL, TP와 -0.689($p < 0.01$)의 음(-)의 상관관계를 나타냈다. 퇴적물은 입자가 세립할수록 유기물질이 쉽게 흡착되어 함량에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있어^{21,42)} 세립질과 높은 상관성을

Table 4. Spearman correlation coefficient among the sediment parameters

	Silt+Clay (>63 μm)		VFS (63~125 μm)		FS (125~250 μm)		MS (250~500 μm)		CS (500~1,000 μm)		VCS (1,000 μm <)	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
IL(%)	.122	-.378	.610	.111	.598	.422	.683*	.644**	-.415	-.511*	-.640	-.689**
TOC(%)	.188	-.022	.212	.289	.127	.333	.588	.289	-.115	-.244	-.588	-.333
TN(mg/kg)	.042	-.111	.382	.289	.394	.333	.685*	.378	-.261	-.422	-.697	-.422
TP(mg/kg)	-.079	-.289	.418	.111	.442	.422	.867**	.556*	-.455	-.422	-.758	-.689**

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, VFS(Very Fine Sand), FS(Fine Sand), MS(Medium Sand), CS(Coarse Sand), VCS(Very Coarse Sand)

Table 5. Spearman correlation coefficient among the sediment and water parameters.

	TOC(mg/L)				TN(mg/L)				TP(mg/L)			
	1st		2nd		1st		2nd		1st		2nd	
	S.W	B.W	S.W	B.W	S.W	B.W	S.W	B.W	S.W	B.W	S.W	B.W
IL(%)	.269	.196	-.146	.261	.207	.140	.139	.018	.266	.239	.067	.195
TOC(%)	.474	.158	-.304	.049	.636*	.503	-.067	-.115	.675*	.640*	-.091	.097
TN(mg/kg)	.492	.334	-.207	.116	.612	.442	-.103	-.200	.669*	.610	-.127	-.024
TP(mg/kg)	.511	.462	-.140	.207	.418	.188	.030	-.139	.401	.299	.018	.109

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

※ S.W : Surface Water, B.W : Botton Water

나타낼 것으로 예상하였으나, FS이하에서는 비교적 낮은 상관성을 보였고 유의성이 없었다. 그러나 각 조사 지점은 시료채취 시기에 따라 수초 및 습지의 위치, 인근 오염물질의 유입, 유속의 변화 등 지형적 특성의 영향을 받고 있기 때문에 FS이하의 입자가 퇴적물의 농도에 영향을 미치지 않는 제한인자라고 판단하기는 어렵다. 다만, 상관성이 있었던 항목간은 유의도 95%~99% 수준에서 MS와 양(+)의 상관성을 보인 반면, VCS는 음(-)의 상관관계를 나타내었다. 즉, 이번 결과를 통해 Silt나 Clay의 비율이 퇴적물의 농도 증가에 영향을 준다는 선행연구와는 달리, 인위적인 오염원이 유입되고 조립질 퇴적물이 우세한 도심하천에는 적용되지 않을 수 있다는 것을 확인하였고, Sand를 세분화하여 평가했을 때 조립사와 유기물 및 영양염류와의 유의성 있는 상관성을 확인하였다.

3.4.2. 수질 및 퇴적물 상관분석

퇴적물과 수질 표층 및 저층 항목 간의 영향 인자를 파악하기 위해 상관분석을 하였다(Table 5). 분석결과, 상반기에 퇴적물TOC와 수질표층TN이 0.636($p < 0.05$), 수질TP는 표층과 저층에서 각각 0.675($p < 0.05$), 0.640($p < 0.05$)의 상관성을 보였고, 퇴적물TN은 표층수질TP와 0.669($p < 0.05$)의 상관관계를 나타냈다. 상반기의 경우, 정체기에 퇴적물 표층에 쌓인 유기물질에서 용출된 영양염류가 수층의 오염물질 공급원으로 작용하여 수질 농도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 상·하반기 유기물질 간의 유의성은 없었으며 퇴적물의 유기물질 함량은 유입하천수의 유기물질 농도보다 퇴적물 입자 자체의 성장에 영향을 많이 받는다고 알려져 있다.⁴³⁾ 하반기의 경우에는 퇴적물과 수질 간의 영향이 없어, 수질오염은 강우시 퇴적물의 이동에 의한 부유물질의 영향보다 인공보, 대전하수처리장의 방류수와 산업폐수의 유입으로 인한 오염물질의 영향이 지배적일 것으로 파악된다.

4. 결 론

본 연구는 2018년 상·하반기에 갑천하류의 오염원 유입에 따른 수질과 퇴적물의 유기물질 및 영양염류의 오염도를 평가하여 다음의 결론을 얻었다.

수질조사 결과 상반기 G1-L저층의 TOC가 높게 조사된 이유는, 상류의 라바보 우측 하류에 설치된 방류 시설을 통해 하층방류되어 유입된 오염물질이 유속이 약한 좌측에서 정체하거나, 하층의 잠재적 오염물질이 유출될 우려가 있는 지점으로 파악되었기 때문이다. G2-R은 표층과 저층의 DO, ORP 차이가 크게 나타나 대전1·2산업단지 미처리폐수의 유입과 퇴적된 유기물질 분해가 발생한 것으로 판단되며, 특히 TP농도는 인의 용출로 증가한 것으로 해석되었다. G3부터 하류로 갈수록 수온, EC, TN농도가 증가한 것은 하·폐수 유입이 주요한 원인인 것으로 사료된다. WQI-Index에서 상반기 G2-R, G5-R과 하반기 G3-L, G5-R저층은 때때로 오염물질이 유입되는 지점으로 평가되어, 대전하수처리장과 산업단지의 간헐적 영향을 받는 것으로 판단되었다. 하반기에는 TOC가 G5-R 지점만 증가하였으며 영양염류의 농도는 대체적으로 높아졌다. 특히, 상·하반기에 오염도가 높았던 G5-R은 대덕폐수처리장 처리수가 유입된 후 하반기에 정점을 나타내어 물고기가 살기 어려운 오염상태였으며, WQI-Index 적용 시에도 표층에서 유입되는 빈번한 오염물질로 인해 수질오염의 주의가 필요한 지점으로 평가되었다.

퇴적물은 상반기 G4-L과 G5-L에서 높은 농도를 나타냈다. G4-L지점은 관평천으로부터 유입된 토양입자들이 유기물 농도에 직접적인 영향을 주는 것으로 판단되며, 좌안의 수초 및 습지형성으로 만의 형태를 나타낸 G5-L에서 정체현상과 함께 높은 농도를 나타냈다. 두 지점은 Ontario기준으로 LEL이상~SEL미만의 오염이 진행된 상태를 나타내었으며, Org-Index는 Moderately polluted이상으로 유기물질의 오염이 있는 것으로 평가

되었다. 유기물질 및 영양염류는 입도 분류시 조립사 이하의 입자와 상관성이 있었고, 하반기에 크게 감소하여 입도의 증감률은 지형적 특성에 따른 유속과 하상 구조가 퇴적물 농도 변화에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

입도와 퇴적물 오염도와와의 상관성을 살펴본 결과 중립사와 유의미한 상관성을 보였으며, 이를 통해 인위적인 오염원이 유입되고 조립퇴적물이 우세한 도심하천에서는 Sand를 세분화하여 평가할 필요가 있는 것으로 판단되었다. 상반기 조사 결과 수질과 퇴적물 간의 유기물 및 영양염류 항목이 상관성이 있는 것으로 나타났다. 유기물질간의 상관성은 상·하반기 둘 다 낮은 것으로 나타났다. 또한 상·하반기 수질과 퇴적물의 유기물질의 농도 변화 양상이 서로 상이한 것으로 나타났다. 그러나 갑천말단인 G5에서 수질과 퇴적물 모두 오염된 상태를 나타내어, 갑천이 금강본류로 유입되었을 때 환경질을 저해하는 요인으로 작용될 가능성은 반드시 고려되어야 하며, 이에 따른 종합적인 관리대책이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다. (NIER-2018-03-03-002)

참고문헌

1. 양운모, 심무준, 오다연, 간중범, 이준배, 홍선화, 이수형, 박상진, “금강에서 보 설치 후 퇴적물 중금속 분포”, *한국환경농학회지*, **2015**, 34, 32-36.
2. 양운모, 오다연, 김대현, 이대희, 길기범, 조운해, 이혜리, 천세억, 채민희, “금강수계 보구간 표층퇴적물 오염도 평가”, *한국환경분석학회지*, **2018**, 21, 3, 125-138.
3. 양운모, 채민희, 이대희, 길기범, 김도형, 조운해, 천세억, “갑천 표층 퇴적물의 금속류 분포 및 오염도 평가”, *한국환경분석학회지*, **2019**, 22, 2, 50-60.
4. 김도희, “수 저층의 저질 조사 (I)”, *해양환경안전학회지*, **2007**, 13, 1, 93-102.
5. 이준기, 이태운, “하천퇴적물의 오염도 분석 및 퇴적물 항목간의 상관관계에 관한 연구”, *한국지반환경공학회지*, **2009**, 342-347.
6. 김익재, 황상일, 김호정, “하천·호소 퇴적물 관리방안 및 준설물질 활용방안”, **2010**, 한국환경정책평가연구원.
7. 기상청, <http://www.weather.go.kr>, 2019.
8. 환경부, “수질오염공정시험기준 - (환경부고시 제 2018-102호)”, **2018**.
9. 환경부, “수질오염공정시험기준 - 퇴적물(환경부고시 제 2012-99호)”, **2011**.
10. 환경부, 환경정책기본법시행령(별표·환경기준 제2조 관련, <http://www.law.go.kr>, **2015**.
11. 환경부, 실시간 수질정보시스템, <http://www.koreawqi.go.kr>, **2013**.
12. 갈병석, 박재범, 김상훈, 임태효, “통합수질지수를 이용한 지류지천 수질평가”, *한국습지학회지*, **2017**, 19, 3, 311-317.
13. 국립환경과학원, “하천·호소 퇴적물 오염도 평가 기준(예규 제 2015-687호)”, **2015**.
14. Ontario, Guidelines for Identifying, Assessing and Managing Contaminated Sediment in Ontario, www.ontario.ca, **2018**.
15. L. Wang, J. Xia, L. Yang, C. Zhan, and H. Lu, “pollution assessment and source identification of major nutrients in surface sediments of Nansi lake, China”, *Spatial variation Water*, **2017**, 9, 444, 1-12.
16. 이보미, 성기선, 김국희, 문권영, 신명철, 홍정기, 김갑순, 유순주, 허인애, 노혜란, “북한강 수계 호소퇴적물 오염도 평가”, *한국물환경학회지*, **2019**, 35, 2, 105-114.
17. 최성욱, 배혜득, “갑천의 웅덩이·여울 연속구조에서 하상토의 입도 및 이동 특성”, *한국수자원학회지*, **2011**, 44, 1, 65-72.
18. 안평국, “갑천 중심의 지방하천 수생태계 훼손실태 진단 및 생태복원 방안”, **2017**, 대전녹색환경지원센터.
19. 박소영, 이용민, 윤한삼, 성기준, “습지도양 및 연안퇴적물의 유기물질 및 영양물질 보유특성”, *한국습지학회지*, **2012**, 14, 2, 265-275.
20. 오형석, 신원식, 김준하, 황인성, 허진, 신현상, 오정은, 허인애, 김영훈, “하천 및 호소 퇴적물 입도분석 방식의 비교와 입도에 따른 중금속물질의 분포경향”, *한국지반환경공학회지*, **2010**, 11, 5, 15-23.
21. J. A. Udden, “Mechanical composition of clastic sediment”, *Bulletin of the Geological Society of America*, **1914**, 25, 1, 655-744.
22. C. K. Wentworth, “A scale of grade and class terms for clastic sediments”, *The journal of geology*, **1922**, 30, 5, 377-392.
23. 주인배, “하천 유사의 퇴적물 저감에 관한 연구”, 동아대학교, **1991**.
24. 오형석, 신원식, 김준하, 황인성, 허진, 신현상, 오정은, 허인애, 김영훈, “하천 및 호소 퇴적물 입도분석 방식의 비교와 입도에 따른 중금속물질의 분포경향”, *한국지반환경공학회지*, **2010**, 11, 5, 15-23.
25. G. K. Nurnberg, “Prediction of Phosphorus Release Rates from Total and Reductant-Soluble Phosphorus in Anoxic Lake Sediments Canadian”, *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **1988**, 45, 3, 453-462.
26. 조대철, 이은미, 박병기, 권성현, “퇴적물의 영양염류 용출과 호기적 조건과의 상관성 분석”, *한국환경과학회지*, **2011**, 20, 7, 845-855
27. M. Fuji, O. Miki, and H. Kamori, “Study on high efficient

- removal of COD, N and P of sewage evaluation of ORP controller activated sludge treatment pilot plant”, *Journal of Japan sewage works association*, **1993**, 30, 364, 96-107.
28. 정찬호, 문병진, “대전지역 도심하천의 수리화학적 및 동위원소적 특성”, *자원환경지질지*, **2009**, 42, 4, 315-333.
 29. 이흥수, 허진, 정선아, 황순진, 신재기, “도시하천(갑천) 유역에서 수질오염의 공간적 특성”, *한국물환경학회지*, **2006**, 22, 5, 943-951
 30. R.G. Wetzel and G. E. Likens, “Limnological Analyses”, **1991**, 2nd edition, 15-33, Spring-Verlag New York, Inc., USA.
 31. 김유리, “갑천 고무보 위치 변동에 따른 하상변화 및 유동의 수리학적 해석”, *충남대학교*, **2008**.
 32. 환경부, 환경정책-산업폐수의 발생과 처리 통계자료, <http://www.me.go.kr>, 2017.
 33. 주연연, 임봉수, “차집관로와 하수처리시설의 설치에 따른 도시하천의 수질변화 특성”, *대한환경공학회지*, **2014**, 36, 12, 813-820.
 34. 서인석, 김연권, 김홍석, 김지연, “MBR 및 A2 / O 공정에서 수온이 질산화에 미치는 영향”, *한국수처리학회지*, **2011**, 19, 4, 49-56.
 35. 장유호, “갑천 상류부의 수질오염 우려구간 수질특성 및 수질관리방안”, *한국물환경학회지*, **2019**, 35, 5, 399-408.
 36. 대전하수처리장, 월별 방류수질현황, <http://www.djsiseol.or.kr>, **2018**.
 37. 김성표, 조윤철, 정동일, “갑천 내 수질 악화 구간 정밀 조사 및 개선 방안 연구 최종보고서”, **2018**, 금강수계관리위원회.
 38. 이재근, “갑천유역의 배출부하량 적정화 방안”, **2016**, 대전세종연구원.
 39. 정숙경, 안상수, 이재철, 김연희, 박강수, 박종태, 김동수, “유해물질 : 광주광역시 도심 하천 퇴적물의 특성”, *한국폐기물자원순환학회지*, **2006**, 0, 103-107.
 40. 임봉수, 박희동, 최유정, 오수현, “갑천 하류부에서 퇴적물의 오염실태조사”, *대전대학교 산업기술연구소*, **2002**, 13, 1, 57-63.
 41. 오자운, “관평천 하천복원사업에 따른 어류 종 조성 변화 및 생태 건강도 평가”, *충남대학교*, **2017**.
 42. A. J. Horowitz, “A Primer on sediment-trace element chemistry”, **1991**, 2nd edition, 136, Chelsea: Lewis Publishers, USGS.
 43. 이준기, 김석구, 송재홍, 이태윤, “부산시 하천퇴적물의 유기 오염도 평가”, *한환경공학회지*, **2009**, 31, 11, 975-982.