## 금강수계 유기물질 분포 및 거동 특성 연구

김상욱\* · 태은아\*\* · 박찬홍\*\*\* · 최혜선\*\*\*\*\* · 민중혁\*\*\*\*\*

국립환경과학원 금강물환경연구소

# Study on the Distribution and Behavior Characteristics of Organic Matter in the Geum River Basin

Sangwook Kim\* · Euna Tae\*\* · Chanhong Park\*\*\* · Hyeseon Choi\*\*\*\* · Joonghyuk Min\*\*\*\*\*

Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received: 06 November 2024, Revised: 16 November 2024, Accepted: 16 November 2024)

### 요 약

수질오염의 주요 원인물질인 유기물은 수중 농도가 높아지면 미생물 증식이 촉진되어, 이로인해 용존산소량 감소에 따라 수질이 악화된다. 본 연구에서는 최근 10년간(2013~2022년) 금강수계의 상류지점(BG)에서 하류지점(YH)까지 지점별 수질 특성과 유기물의 시·공간적 변화를 조사하였다. 금강수계의 평균 BOD/TOC 비율이 0.64로 난분 해성 유기물이 많은 비율을 차지하며, COD/TOC 비율이 높은 구간에서는 농업 및 생활 오염원에 의해 난분해성 유기물이 축적되는 것으로 나타났다. 생활하수 및 농업 활동에 의한 유기물 부하 증가로 BOD와 COD 산화율은 하류로 갈수록 증가하였다. DOC와 POC 비율 분석 결과, DOC는 평균 88.4%, POC는 11.6%의 기억율을 보였으며, TOC와 BOD 간의 상관관계는 지점별로 0.418~0.674(p<0.01)로 양의 상관성을 나타냈다. 본 연구는 TOC가 하천수 수질 기준에서 COD를 대체할 수 있는 유기물 지표로 적용 가능함을 시사하며, 기존 유기물 지표와의 연계성 분석 및 오염도 예측을 통해 유역 오염원 관리 대책 마련에 기억할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 금강수계, 산화율, 유기물질, 총유기탄소

#### Abstract

Organic matter, a major pollutant in water pollution, promotes microbial growth when its concentration increases, subsequently reducing dissolved oxygen levels and deteriorating water quality. This study investigated the spatiotemporal variations and water quality characteristics of organic matter across the Geum River basin from upstream (BG) to downstream (YH) over the past decade (2013 – 2022). The average BOD/TOC ratio of the Geum River basin was 0.64, indicating a predominance of recalcitrant organic matter. Sections with high COD/TOC ratios were associated with the accumulation of recalcitrant organic matter due to agricultural and domestic pollution sources. The oxidation rates of BOD and COD increased downstream, correlating with organic matter loads from domestic sewage and agricultural activities. Analysis of DOC and POC contributions revealed an average composition of 88.4% DOC and 11.6% POC. The correlation between TOC and BOD across monitoring sites ranged from 0.418 to 0.674 (p<0.01), demonstrating a positive relationship. This study suggests that TOC could serve as a substitute for COD as an organic matter indicator in river water quality standards. Furthermore, linking TOC with existing organic matter indicators and predicting pollution levels may support the development of effective watershed pollution management strategies.

Key words: Geum River, Oxidation rate, Organic matters, Total organic carbon (TOC)

- Sangwook Kim Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research (sswook79@korea.kr)
- Euna Tae Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research (euna9844@korea.kr)
- Chanhong Park Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research (parkchanhong@korea.kr)
- Hyeseon Choi Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research (hyeseon27@korea.kr)
- Joonghyuk Min Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research (joonghyuk@korea.kr)

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

Geum River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research
E-mail: hveseon27@korea.kr

## 1. 서 론

금강유역은 한국 중부 서쪽에 위치한 유역 면적 9,914 km², 본류의 길이는 약 397 km의 넓은 유역으로, 우리나라 에서 세번째로 큰 유역이다. 금강수계는 지속적인 도시 폐수 와 산업 및 농업 활동의 확산으로 인해 다양한 오염물질이 유입되고 있어, 토지이용도(비점오염원)와 토지이용도와 관 련된 난분해성 유기물질로 수질오염 문제가 심각하게 대두되 고 있다(Terry and Summers., 2018, MOE, 2021). 이에 수 질오염 문제를 해결하고 공공수역의 생태적 건강을 회복하기 위해 하수처리시설 확충, 점오염원 및 비점오염원 관리, 유역 통합관리 등의 다양한 환경 규제와 오염물질 저감 조치가 시 행되고 있다(Bowen and Depledge 2006; Milovanovic 2007; Siziba 2017; Huang et al., 2021; Choi et al., 2022). 하지만, 환경기초시설들의 BOD 중심의 규제에 따른 결과로 생분해성 유기물질은 관리가 되고 있으나, 생물학적 처리공 정과 자연환경에서 미생물에 의해 분해가 어려운 난분해성 유 기물질 처리 및 관리가 어려운 실정이다(Jung et al., 2015; Wang et al., 2007; Hernes et al., 2008).

일반적으로 유기물질은 주로 탄소, 수소, 산소로 이루어진 화합물로 단백질, 탄수화물, 지방, 휴믹물질 등이 포함된다 (Kosobucki and Buszewski., 2014). 또한, 유기물질은 미생 물들의 분해 과정을 통해 용존산소를 소비하여 고갈시키고, 하천의 자정능력이 파괴되어 급격한 용존산소 감소로 수질 악화를 초래한다(Jamwal et al., 2011; Terry and Summers, 2018). COD는 난분해성 유기물을 측정하는 지표로 산성 과 망간산칼륨법 사용으로 2차 오염물질이 발생하는 단점이 있 다. BOD는 미생물에 의한 산소소비량을 측정하는 지표로써 분석시간이 오래 소요된다는 단점이 있다. 반면, TOC는 시 료 내 유기물을 산화시켜 발생된 이산화탄소의 양을 통해 직 접 탄소량을 파악하고, 소량의 시료로 단시간 내 분석이 가 능하다는 장점이 있다. 이러한 특징을 TOC는 BOD와 COD 의 단점을 보완할 수 있다. 하지만, 산소요구량을 기반으로 하는 BOD와 COD 지표는 유기화합물의 구조적 특성과 산 화제의 산화력에 따라 실제 산소요구량보다 낮게 측정될 수 있어, 난분해성 유기물이나 구조가 복잡한 화합물이 포함될 경우 유기물 농도가 저평가 될 가능성이 있다(Choi et al., 2012; Han and Choi, 2011; Park et al., 2006). 따라서, TOC는 2013년부터 공공수역(하천,호수 등)의 생활환경 기준 항목으로 적용되었고, 2021년부터는 공공폐수처리시설 적용 및 2022년부터는 폐수배출시설에 TOC 배출 기준이 신설되어 규제가 시행되고 있다(MOE 2011; MOE, 2015). 이처럼 수질관리를 위해서는 수중에서 정확한 유기물질 측정이중요하며, BOD, COD 및 TOC 항목과 같은 지표를 통해 간접적인 평가가 필수적이다.

따라서, 본 연구에서는 금강수계에서 발생하는 다양한 유기물 지표(BOD, COD, TOC 등)와 난분해성 물질 간의 상관관계를 체계적으로 분석하여, TOC 지표가 유기물질 변동을 반영하는지를 검토하고자 한다. 또한, TOC를 활용한 유기물질 관리 기준 설정의 가능성을 평가하기 위해 시·공간적변동성 분석을 수행하고, 금강수계의 효율적인 유기물질 관리 및 수질 개선을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

#### 2.1 연구대상지 특징

금강유역은 전라북도 장수군에서 발원하여 용담댐 및 대청 댐을 지나 대전, 공주, 부여 등 중소도시를 거쳐 군산과 장항사이 하구를 통해 서해로 유입되는 한국의 세 번째로 큰 유역이다. 금강의 유로 연장은 397.25km, 유역면적은 9,914km²에 이른다(Kim et al., 2021). 본 연구의 대상지는 금강권역 대표지점으로 오염도가 높아 관리가 필요한 지점으로선정하였다. 본류로 유입하는 상류 BG 지점(미호강 유입 전)부터 금강 하류 YH 지점까지 총 9개 지점이다(Table 1). BG 지점은 대청댐 방류 후 본류와 연결되는 최상류 지점으로 하수처리장 방류수 유입 및 시가지를 관통한다. 이후 본류 합류 전 지점(MI), MI 합류 후 금강 본류에 도달하는 지점(YG)과 GJ, MM, JD, BY 지점을 거쳐 최종적으로 KK에서 합류되고 하류 YH에서 서해로 흘러간다.

Table 1. Monitoring Points and Locations

Site	Target water	Catchment	Coor	dinate	Source	
Site	quality(BOD)	Area(km²)	N	E	Source	
BG	Ib(2.4mg/L)	7.3	36 ° 30'49.50"	127 ° 21'48.40"	Agricultural areas and upstream poultry farms	
MI	II (4.4mg/L)	342.5	36 ° 31'29.17"	127 ° 19'8.29"	Industrial wastewater and sewage treatment plant influent	
YG	Ib(2.9mg/L)	56.8	36° 28'40.73"	127° 16'15.48"	Miho River inflow	
GJ	II (3.0mg/L)	75.8	36 ° 27'59.19"	127 ° 7'27.58"	Mixed urban and forest areas	
MM	Ib(2.9mg/L)	31.8	36 ° 23'03.60"	127 ° 00'31.90"	Agricultural area	
JD	Ib(2.9mg/L)	141.3	36 ° 18'11.61"	126 ° 55'23.92"	Agricultural area	
BY	Ib(2.9mg/L)	149.0	36° 19'19.50"	126° 56'39.94"	Agricultural area	
KK	II (3.0mg/L)	6.4	36 ° 09'15.30"	127 ° 00'23.90"	Agricultural area	
ΥH	II (3.0mg/L)	123.5	36 ° 4'28.90"	126 ° 43'50.96"	Agricultural area	

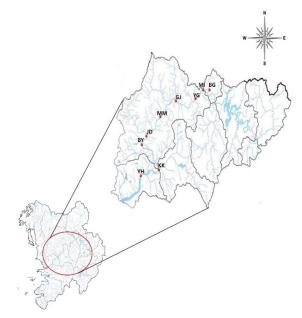


Fig. 1. Land use changes of the Geum River watershed

#### 2.2 토지이용 및 기상학적 특징

유역의 수문학은 토지이용, 기후, 토양 조건 등 여러 요인에 의해 영향을 받는다(Tong and Chen, 2002; Wardiani et al., 2019; Wang et al., 2023). 연구대상 지점의 10년 평균 강우량(2013~2022)은 1,285.7mm, 평균 기온은 12.8℃로 나타났다. 연도별 강수량은 2020년 1,048.4mm로 여름철에 가장 많은 비가 내렸으며, 2015년에 848.8mm로 가장 낮은 강수량을 기록하였다(Fig. 2). 2020년과 2022년을 제외한 대부분의 해에서는 연평균 강우량보다 낮은 낮은 강우량으로 관측되었다. 평균 기온은 2013년 12.0℃로 가장 낮았고, 2016년 13.3℃로 가장 높은 기온을 보였다.

수계 내로 유입하는 난분해성 유기물질의 기원은 수계 내 토지이용도(비점오염원)와 관련이 깊다. Fig. 3은 2013년과 2022년의 금강 유역의 토지이용 변화를 나타낸 것이다. 산림 면적은 2013년 68.0%, 2022년 67%로 유사한 수준이며, 전체 면적에서 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 농경지는 2013년 24%에서 2022년 28%로 증가하였다. 특히, 논

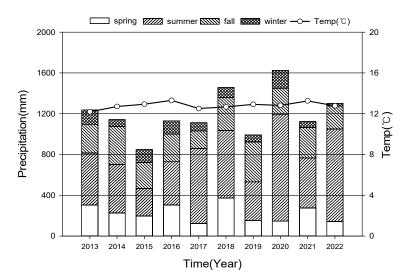


Fig. 2. Meteorological characteristics of Geum river

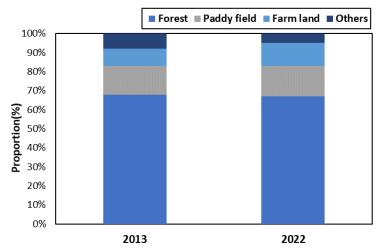


Fig. 3. Land use changes of the Geum River

보다 밭의 비율이 높아진 것으로 조사되었다. 시가지 면적은 약 3% 감소한 것으로 나타났다. 이는 산림 비중의 유지와 농경지의 증가로 인해 유량, 토양 침투율 등 유역의 물순환과 유출 특성이 달라질 수 있으며, 유역의 토지이용이 수문학적 특성에 미치는 영향을 평가하는 데 중요한 요소로 작용할 수 있다.

## 2.3 실험 방법 및 데이터분석

#### 2.3.1 데이터 수집

본 연구에 활용된 수질자료는 '물환경정보시스템(http://water. nier.go.kr)'에서 제공하는 국가 수질 측정망 자료를 활용하였다. 2013년부터 2022년까지 10년간 총 12개의 항목 데이터를 수집하였다. 조사 항목은 수온, pH, DO, EC, BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD(Chemical Oxygen Demand), TOC(Total Organic Carbon), SS(Suspended Solids), T-N(Total nitrogen), T-P(Total phosphorous), Chlorophyll-a(Chl-a)이다. 일반항목 데이터는 유기물질의 분포와 거동을 더 정확히 파악하고, 이를 기반으로 적합한수질관리 방안을 마련하는 데 필수적인 정보를 제공하기에 사용되었다.

# 2.3.2 유기물 특성 및 산화율 분석을 위한 모니터링 및 실험 방법

유기물의 분포 특성과 TOC와의 상관성을 분석하기 위해 2020년 11월부터 2021년 1월까지 총 32회의 추가 모니터링을 수행하였다. 시료 채취는 수질오염 공정시험 기준에 따라하천 단면에서 수심이 가장 깊은 지점과 그 지점을 중심으로 좌우로 나눈 수면 폭의 각각 1/2 지점에서 이루어졌다. 수심이 2m 미만일 경우 수심의 1/3 지점에서, 2m 이상일 경우수심의 1/3 및 2/3 지점에서 각각 채수하였다. 채취된 시료는 수질오염 공정 시험 기준에 따라 COD, BOD, TOC 및 DOC에 대해 분석하였다. COD는 산성 과망간산칼륨법을 사용하여, 시료를 산성 상태로 100℃ 수욕조에서 30분 동안반응시켜 소모된 과망간산칼륨의 양을 측정하였으며, BOD

는 초기 용존산소 농도를 측정한 후, 20±1℃의 공기 순환 배양기에서 5일간 배양하여 미생물에 의해 소모된 용존산소 농도 변화를 측정하였다. TOC 분석은 시료를 800℃에서 고 온 연소 산화하여 NPOC(Non-purgable Organic Carbon) 방법을 통해 발생한 CO₂ 의 양을 JENA multi N/C 3100 장비를 사용하여 정량하였으며, DOC는 GF/F로 여과한 시료를 TOC와 같은 방법으로 분석하였다. TOC 중 DOC 및 POC의 구성 비율 및 시간에 따른 기여율 확인을 위해 3개월간 일주일 간격으로 시료 당 4회에 걸쳐 분석하였다. TOC 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 품질보증/품질관리(Quality Assurance/Quality Control, QA/QC) 절차를 수행하였다 (Table 3).

유기물질의 산화율은 BOD와 COD 값을 탄소 농도로 환산하여 산정하였다. BOD 및 COD에 의한 유기물 산화율을 산정하기 위해, 탄소와 산소의 무게비(12/32)를 곱한 뒤, 유기물이 산화될 때 소비되는 산소(O₂)와 산화되는 탄소(C)의 몰 비(1.2)로 나누어 탄소량으로 환산하였다(Equation 1). 또한, TOC에 대한 분해율을 평가하기 위해 BOD-C/TOC, COD- C/TOC와 같이 각 유기물질 항목을 TOC로 나눈 비율로 표시하였다. 수질 데이터의 농도 평균, 변동계수(CV), 상관관계 분석은 R 프로그램을 이용하여 통계적 분석을 수행하였다.

유기물질 산화율과 수질 항목 간의 관계를 정량적으로 평가하기 위하여 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient, PCC)를 통한 상관성 분석을 수행하였다(Equation 2). 피어슨 상관계수는 두 변수 간 선형 상관관계를 정량화하여 나타내는 값으로, 두 변수의 공분산을 각 변수의 표준편차의 곱으로 나눈 값으로 정의된다. 두 변수 간 상관계수가 양수일경우 양의 선형 관계, 음수일 경우 음의 선형 관계가 있다. 0에 가까운 값은 두 변수 간에 선형 상관관계가 없음을 의미한다. 이러한 두 변수 x와 y간의 피어슨 상관계수는 Equation 2와 같다. 여기서 x의 x의 표본 평균을 의미하고, x는 합을 나타낸다. 상관계수 x은 x의 되본 평균을 의미하고, x는 합을 나타낸다. 상관계수 x은 x의 1 사이의

Table 2. Operating Conditions for TOC and DOC

Parameter	Analysis Methods			
Measurement Method	800°C combusion catalytic oxidation			
Measuring Time	3~5 min. per one sample			
Detection Limit	5 μg/L			
Carrier Gas	High purity oxygen			
Sample Injection Volume	500 μL per one sample			

Table 3. The results of Quality Assurance/Quality Control for TOC, COD and BOD

QA/QC	TOC	COD	BOD
Method detection limit(MDL) (mg/L)	0.011	_	_
Limit of quantification(LOQ) (mg/L)	0.035	_	_
Precision(%)	0	1	1
Accuracy(%)	97	116	108

값을 가지며, 1에 가까울수록 양의 상관관계가 강함을 의미한다(Wang et al., 2023).

Oxidation rate(%) = Organic pollution indexes(BOD<sub>5</sub>,COD<sub>Mn</sub>)  $\times$  (12/32)  $\div$  1.24  $\div$  TOC)  $\times$  100 (Equation 1)

$$\gamma = \frac{\sum (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \overline{X})^2 \sum (Y_i - \overline{Y})^2}} \quad \text{(Equation 2)}$$

## 3. 연구결과 및 고찰

### 3.1 연구대상지 수질 특성

수질의 시·공간적 변화는 자연적 또는 인위적 오염원 유입으로 인한 하천 수질 오염의 변화를 평가하는 데 필수적이다 (Perona et al., 1999; Sun et al., 2016; Zeinalzadeh and Rezaei, 2017). Table 5는 금강수계의 상류(BG)에서 하류 (YH)까지 10년간(2013~2022년) 지점별 수질 특성을 분석한 결과이다. 금강수계 수질특성은 수온 14.2~16.0℃, pH 7.6~8.2, 전기전도도 286.0~537.0 μS/cm, DO 10.5~12.1mg/L, SS 9.4~26.3 mg/L, BOD 2.0~4.4mg/L, COD 6.0~9.2mg/L, TOC 4.0~6.0mg/L, T-N 3.175~5.206mg/L, T-P 0.086~0.144mg/L, Chl-a 12.9~49.2mg/m³의 l로 조사되었다.

지점별 분석 결과, BG 지점의 수질이 가장 양호하며 MI와 YH지점에서는 오염물질 농도가 높아지는 경향을 보였다. BG와 YH 지점 간의 수질은 0.8~3.6배 차이를 보였으며, 변동 계수(CV)는 0.28~1.66 범위로 지점별 편차가 큰 것으로

분석되었다. 이는 하류로 내려갈수록 주변 지류 및 하천으로 부터 유기물과 오염 물질이 유입되면서 본류의 수질이 악화 되는 경향으로 판단된다. 특히, MI 지점은 유기물 및 영양물 질 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, MI 지점의 클로로 필-a(Chl-a) 농도는 49.2 mg/m³로 가장 높게 나타나, 영양 물질 농도가 높아진 환경에서 조류의 성장이 촉진된 것으로 분석되었다. 또한, BOD 4.4±0.4mg/L, COD 9.2±0.7mg/L 로 BG 지점의 BOD 2.0±0.2mg/L, COD 6.0±0.3mg/L에 비해 1.5~2.2배 이상 높은 농도를 보였고, TOC, T-N, T-P 농도도 가장 높게 나타나 MI 지점이 수질 악화의 주요 구간 으로 분석되었다. 이러한 높은 농도는 MI 지점 인근에 위치 한 점오염원(제지공장, 하수처리장 등)과 비점오염원(농업 및 축산 활동)에 기인한 유기물과 영양물질이 다량 유입된 결과 로 판단된다. YH 지점은 하류로 갈수록 산업 및 생활 오염 원의 유입과 유속 감소로 인한 오염물질 축적이 증가하여 수 질이 악화된다. 이를 해결하기 위해 중·하류 구간의 오염원 관리 및 하천 자정 능력의 강화가 필요한 것으로 분석되었 다. MI, YH 지점 수질 특성 분석을 통해 공공수역의 오염물 질의 유입을 줄이고 하천의 자정 능력을 강화할 수 있는 유 입 지천의 오염 부하량 저감, 유역단위 통합형 수질관리체계 구축 등 수질 개선을 위한 노력이 필요한 것으로 판단된다.

### 3.2 유기물의 시공간적 분포 특성

하천수 수질은 도랑 및 하천 배출, 지하수 누출, 강우유출 수, 대기 퇴적물 등 다양한 유입경로를 통해 영향을 미치며, 이러한 경로는 계절에 따라 크게 달라진다(Yang et al.,

Table 4. Relationship between two variables according to Pearson correlation coefficient

Pearson correlation coefficient (r)	Relationship		
$-1.0 \sim -0.7$	a strong negative linear relationship		
$-0.7 \sim -0.3$	a distinct negative linear relationship		
−0.3 ~ −0.1	a weak negative linear relationship		
-0.1 ∼ +0.1	nearly negligible linear relationships		
+0.1 ~ +0.3	a weak quantitative linear relationship		
+0.3 ~ +0.7	a distinct quantitative linear relationship		
+0.7 ~ +1.0	a strong quantitative linear relationship		

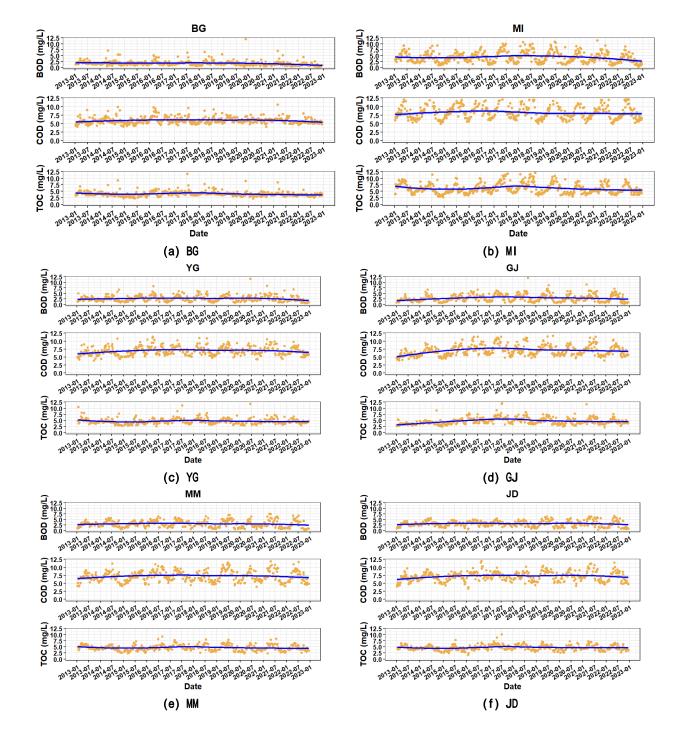
Table 5. Average concentration of water quality data in the monitoring sites (2013–2022)

	Parameter										
Site	Temp	pН	EC	DO	SS	BOD	COD	TOC	T-N	T-P	Chl-a
	(°C) pri	( μ S/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/m³)	
BG	14.2±0.6	7.6±0.1	286±46.9	10.7±0.3	9.4±3.3	$2.0 \pm 0.2$	6.0±0.3	4.0±0.4	3.83±0.6	0.086±0.041	12.9±2.2
MI	15.9±0.9	$7.7 \pm 0.1$	537±80.1	10.5±0.4	26.3± 13.0	$4.4 \pm 0.4$	9.2±0.7	6.0±0.8	5.21±0.6	0.144±0.069	49.2±18.0
YG	14.8±0.7	$7.7 \pm 0.1$	374±66.4	11.0±0.4	16.7±7.2	$2.7 \pm 0.2$	6.9±0.4	4.6±0.4	3.97±0.5	$0.103 \pm 0.048$	31.3±10.6
GJ	15.0±0.6	8.1±0.2	361±68.0	11.1±0.6	20.6±8.7	2.8±0.5	7.0±0.9	4.6±0.9	3.72±0.2	0.100±0.064	39.5±15.5
MM	15.7±0.7	$8.0 \pm 0.1$	353±51.9	12.1±0.5	16.5±8.7	$3.0 \pm 0.3$	7.2±0.5	4.6±0.5	3.62±0.2	0.095±0.046	46.9±17.8
JD	15.5±0.8	8.0±0.1	344±49.7	11.7±0.5	18.6±11.1	$3.0 \pm 0.3$	7.1±0.5	4.6±0.4	3.50±0.6	0.094±0.037	41.9±11.3
BY	15.4±0.6	8.1±0.1	327±53.0	10.9±0.8	19.0±9.6	$2.7 \pm 0.4$	6.8±0.6	4.0±0.6	3.36±0.2	$0.087 \pm 0.041$	33.9±8.1
KK	15.6±0.7	7.9±0.1	331±48.9	11.0±0.4	21.4±8.7	$2.9 \pm 0.3$	7.2±0.5	4.7±0.5	3.44±0.6	$0.100 \pm 0.042$	36.5±6.4
YH	16.0±1.3	8.2±0.1	318±49.6	11.1±0.9	19.2±8.4	$3.0 \pm 0.5$	7.6±0.8	4.3±0.6	3.18±0.3	0.086±0.036	43.6±8.2

2021; Jo and Kwon, 2023). 또한, 기후 변화는 강수량과 수온 변동에 영향을 미쳐 수질 특성에 영향을 미치기에, 수질의 건강성 평가 및 변화를 평가하기 위해서는 시·공간적 분포 패턴을 분석하는 것이 매우 중요하다(Singh et al., 2004; Foden et al., 2008).

Fig. 4는 2013년부터 2022년까지 측정 지점별 시계열 변화를 보여주며, 금강수계 유기물질의 계절적 변동성을 확인한결과다. BOD, COD 및 TOC의 계절별 변동성을 분석한 결과, BOD는 0.41~0.59 범위로 나타나 계절 변화에 가장 민감한 유기물 지표임이 확인되었다. 이는 BOD가 생물학적 분

해를 통한 산소 소비에 기반하고 있어, 온도와 생물 활동이 활발한 여름철에 높은 값을 보이는 경향이 있기 때문으로 해석된다. 반면, COD는 0.19~0.33, TOC는 0.23~0.34의 범위로, COD와 TOC는 계절에 따른 변화가 비교적 적으며, 유사한 변동 패턴을 보였다. 이는 COD와 TOC가 화학적 산화 가능한 물질을 포함하며, 계절적 영향을 덜 받는 난분해성 유기물을 반영하기 때문이다. 지점별 변동성에서는 MI지점의 변동성이 가장 크게 나타났으며, 특히 강수량이 많았던 2018년도에 유기물 농도가 가장 높았다. 이는 MI 유역이유기물 농도에 기상학적 조건, 특히 강수량의 영향을 크게



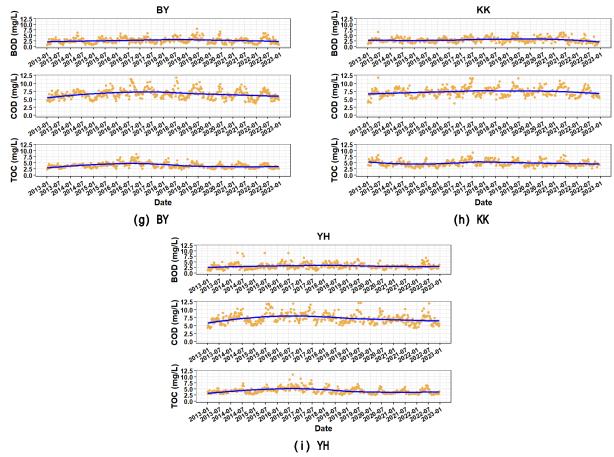


Fig. 4. Temporal variation in organic matter concentration in the site

받는다는 것을 시사한다. 이러한 결과는 강우로 인한 오염물질의 유입이 MI 지점에서 유기물 농도에 중요한 역할을 하고 있음을 보여준다. 따라서, 금강수계의 유기물 농도는 계절과 기후변화에 민감하게 반응하며, 유역별 오염 특성에 따라변화가 크다. 이러한 특성을 고려하여 계절적 요인과 기상 조건에 따른 유기물 농도를 지속적으로 관리하고, 수질 개선을위한 통합적인 유역 관리 대책이 필요할 것으로 판단된다.

## 3.3 하천 내 유기물 특성 및 산화율 분석

#### 3.3.1 하천 내 유기물 특성 분석

하천 수질 평가에서 BOD/TOC, COD/TOC, COD/BOD 비율은 유기물의 종류와 처리 효율성을 판단하는 중요한 지표로 사용된다(Jingsheng et al., 2006; Park et al., 2022a). BOD/TOC는 유기물의 생물학적 분해 가능성을 나타내며, 값이 높을수록 생물학적 분해가 용이한 것을 의미한다. COD/TOC는 화학적 산화가 가능한 유기물의 양을 나타내며, 비율이 높을수록 난분해성 유기물이 많아 하천 내 자정 작용이 어려움을 시사한다. COD/BOD 비율은 유기물의 난분해성 정도를 평가하는 지표로, 값이 높을수록 생물학적 분해가 어려운 난분해성 물질이 많이 포함되어 있음을 의미한다. Table 6은 하천에 포함된 유기물의 종류와 특성을 파악하기 위해 유기물 특성 비율을 분석한 결과이다.

금강수계의 BOD/TOC 비율 분석 결과, 평균 BOD/TOC 비율은 0.64mgO<sub>2</sub>•L<sup>-1</sup>/mgC•L<sup>-1</sup>로 모든 지점에서 1 mgO<sub>2</sub>• L-1/mgC•L-1미만으로 난분해성 물질이 대부분 포함된 것으 로 조사되었다. BG 지점에서 0.48±0.05 mgO<sub>2</sub>•L<sup>-1</sup>/mgC• L<sup>-1</sup>로 가장 낮고, MI 지점에서 0.74±0.09 mgO<sub>2</sub>•L<sup>-1</sup>/mgC• L-1로 가장 높은 것으로 나타났다. MI 지점은 생물학적 분해가 가능한 유기물질이 상대적으로 많이 존재하는 것을 의미하 며, 주요 원인은 농업활동 및 축산계 오염원 유입으로 분석 된다. 금강수계 전체의 평균 COD/TOC 비율은 1.58mgO2• L-1/mgC•L-1로, 난분해성 유기물이 상당히 존재하는 것으로 나타났다. YH 지점에서 1.78±0.15mgO<sub>2</sub>•L<sup>-1</sup>/mgC•L<sup>-1</sup>로 가장 높고, BG 지점에서 1.48±0.11mgO<sub>2</sub>•L<sup>-1</sup>/mgC•L<sup>-1</sup>로 가장 낮아 하류로 갈수록 비율이 증가하는 경향을 보였다. 또한, 하류에서 높은 COD/TOC 비율은 농업과 생활계 오염 원에 포함된 유기 오염물질이 많이 포함되어 있으며, YH 지 점은 난분해성 유기물이 많이 포함되어 있어 하천에서의 미생 물에 의한 생물학적 분해가 어려운 상태임을 나타내고 있다. 이는 농업 및 생활 오염원에서 유입된 복잡한 구조의 유기 오 염물질이 쌓이면서 생물학적으로 분해되기 어려운 환경이 조 성된 것으로 판단된다. 금강수계의 평균 COD/BOD 비율은 2.51mgO<sub>2</sub>•L<sup>-1</sup>/mgC•L<sup>-1</sup>로 나타났으며, 이러한 결과는 방향 족 화합물, 석유계 탄화수소 등과 같은 고분자 형태의 유기물 질이 많이 존재함을 의미한다. BG 지점에서 COD/BOD 비 율은  $3.08\pm0.26$ mg $O_2$ • $L^{-1}$ /mgC• $L^{-1}$ 으로 가장 높고, MI 지점에서는  $2.09\pm0.22$ mg $O_2$ • $L^{-1}$ /mgC• $L^{-1}$ 로 가장 낮은 비율을 보였다. 이는 BG 지점은 화학적 처리에 적합한 유기물이다량 존재하고, MI 지점은 생물적 처리가 용이한 유기물이포함되어 있어 유역의 특성에 맞는 관리 방안이 필요한 것으로판단된다.

본 연구결과, 상류에서 하류로 갈수록 COD/TOC 비율이 증가하고 COD/BOD 비율이 감소하는 경향이 확인되었으며, 이는 하류에서 농업활동과 생활계 오염원에 기인한 유입증가로 수질오염이 심화되는 것으로 나타났다. 또한, 중류 구간인 GJ, MM, JD, BY 지점에서도 COD/TOC 비율이 높게나타나, 이들 지점에서 농업 및 생활 오염원이 지속적으로유입되고 있는 것으로 분석되었다. 따라서, MI 지점과 중류구간에서의 오염원 관리를 강화하고, COD/TOC 비율이 높은 구간에 중점을 둔 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

#### 3.3.2 하천 내 유기물 산화율 변화

BOD는 유기화합물질의 구조에 따라 미생물이 분해하기 어렵거나 산화제의 산화력 차이로 물질별 이론적 산소요구량 에 비하여 낮거나 다르게 나타날 수 있다(Choi et al., 2015; Lee et al., 2016a; Zou et al., 2017; Park et al., 2022b). 또한, 유역에서 곧은 사슬 지방족 탄화수소, 벤젠, 톨루엔, 피리딘과 같은 방향족 탄화수소 화합물의 유입으로 COD<sub>Mn</sub> 산화율이 감소가 가능하다(Zhang et al., 2007, Lee, 2016b). 따라서, 하천에서 유기물의 생분해도는 하천 형태 및 유역에서 발생되는 기원물질에 따라 산화율이 다양하게 나타나기에유기물질의 양을 간접적으로 측정하는 유기물 지표의 산화율변화 분석이 필요하다.

Fig. 5는 유기물질의 양을 간접적으로 측정하는 유기물 지표의 산화율 변화를 분석한 결과이다. 일반적으로 BOD5와 CODMn의 산화율은 BOD5 20~40%, CODMn 30~60%로 알려져 있다(Kim et al., 2013; Lee, 2013). 본 연구 결과, 평균 BOD 산화율은 20.1%(17.7~24.6%), COD 산화율은 평균 49.4%(45.1~53.9%)로 나타나, 일반적인 문헌에서 제시하고 있는 산화율 범위와 유사한 것으로 나타났다. 하천 공간을 구분하여 분석한 결과, 상류의 BG 지점은 산림 비중이 높은 토지이용 형태로 유기물 생성이 낮고, 난분해성 물질 비율이 높아 BOD 산화율 13.4%, COD 산화율 47.1%로 가장 낮은 값을 보였다. 중류 구간(YG, GJ, MM, JD)은 BOD 산화율이 20% 내외로 상류에 비해 증가하는 것으로 나타났으며, 하류에 비해서는 다소 낮은 수준으로 분석되었다. 또한 중류

Table 6. The comparison	of BOD/TOC and COD/TOC	C, COD/BOD ratio of the Geum River
-------------------------	------------------------	------------------------------------

Site	$BOD/TOC$ $(O_2 \bullet L^{-1}/mgC \bullet L^{-1})$			/TOC mgC•L <sup>-1</sup> )	$\begin{array}{c} \text{COD/BOD} \\ (\text{O}_2 \bullet \text{L}^{-1}/\text{mgC} \bullet \text{L}^{-1}) \end{array}$	
	n	Mean±SD	n	Mean±SD	n	Mean±SD
BG	20	$0.48 \pm 0.05$	20	1.48±0.11	20	$3.08 \pm 0.26$
MI	20	$0.74 \pm 0.09$	20	1.54±0.15	20	$2.09 \pm 0.22$
YG	20	$0.59 \pm 0.07$	20	$1.52 \pm 0.12$	20	$2.61 \pm 0.15$
GJ	20	$0.60 \pm 0.05$	20	$1.54 \pm 0.11$	20	2.56±0.18
MM	20	$0.66 \pm 0.08$	20	1.57±0.13	20	2.39±0.15
JD	20	$0.67 \pm 0.10$	20	1.56±0.15	20	2.36±0.18
BY	20	$0.67 \pm 0.10$	20	$1.68 \pm 0.14$	20	2.53±0.22
KK	20	$0.63 \pm 0.08$	20	1.54±0.13	20	2.47±0.21
YH	20	$0.71 \pm 0.10$	20	1.78±0.15	20	2.53±0.21
Avg	0.64 (0.48 ~0.74)		1.58 (1.48 ~1.78)		2.51 (2.09 ~3.08)	

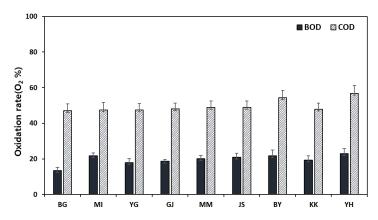


Fig. 5. TOC organic rate for BOD and COD in the monitoring site

의 COD 산화율도 50% 내외로 상류보다는 높고 하류와 비슷한 수준을 보여, 농업 및 생활계 오염원 유입으로 인해 유기물 부하가 증가한 결과로 판단된다. 하류 지역인 YH 지점은 BOD 산화율 23.0%, COD 산화율 56.8%로 나타나 상류에 비해 높은 산화율을 보였다. 이는 중류 지역에서 증간된유기물 부하가 하류로 유입되었고, 하류 지역에서 도시 주변의 생활하수 및 비점오염원 유입으로 인해 조류 발생과 유기물 농도가 증가한 결과로 해석된다(Binder and Patzel, 2001; Lyu et al., 2021). 따라서, 금강수계의 경우 생물학적 분해가어려운 난분해성 유기물이 많아 BOD에 의한 산화가 충분하지 못한 것으로 평가되었으며, 이는 용존산소가 부족하거나생물학적 처리가 어려운 환경이며, 수질오염으로 인한 수질관리 및 개선에 대한 대책이 필요한 것으로 평가된다.

#### 3.4 DOC 및 POC의 구성 및 기여율

TOC는 수질 중 전체 유기 탄소량을 나타내는 중요한 지표로, 용존 유기탄소(DOC)와 입자성 유기 탄소(POC)로 구성된다. 이 두 항목의 비율과 기여도는 계절, 환경요인 등에따라 변동하며, 유기 탄소의 역학을 이해하는 데 중요한 역할을 한다(Maciejewska and Pempkowiak, 2014). 일반적으로 TOC에서 DOC의 비율이 높게 나타나며, 하천의 크기, 기후, 유역 특성에 따라 계절적 변동이 크게 나타나는 것으로 알려져 있다(Burska et al., 2005; Stedmon et al., 2006; Koehler et al., 2009).

Fig. 6은 금강수계 9개 지점의 TOC에 대한 DOC와 POC의 평균 기여율을 나타낸 결과이다. TOC에 대한 DOC와 POC의 평균 기여율은 각각 88.4%와 11.6%로, DOC의 기여율 POC 보다 더 높은 것으로 나타났다. DOC의 기여율은 상류에서 93.5%, 하류에서 84.5%로 분석되었으며, 반면 POC는 상류에서 8.0%, 하류에서 15.5%로 나타났다. 상류에서 하류로 갈수록 TOC에 대한 DOC의 기여율은 낮아지고, POC의 기여율은 증가하는 경향을 보였다. Kang et al., (2020)의 연구에 따르면, 금강 하구는 개방형 섬진강과 달리 폐쇄된 형태로 하류로 갈수록 식물성 플랑크톤에 의한 POC 기여도가 증가한다고 보고되고 있다. 이는 하천 폭이 넓고 유속이 낮아 체류시간이 길어지면서 입자성 물질이 천천히

침강하여 용존성 형태로 남아 있게 되는 현상과 관련이 있기 때문이다. 따라서, 하류 구간의 완만한 하상경사와 수면 폭은 유속을 안정화시키고, 입자성 물질의 침전이 촉진되어 TOC 중 POC의 기여도가 높아지는 것으로 분석되었다. 이는 유속, 수온 등의 하천 환경 요인은 입자성 유기물의 분해 및 용해 속도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, TOC와 DOC POC의 비율을 지속적으로 모니터링하여 계절적 및 공간적 변화를 파악하여 하천 유역의 수질 특성을 보다 신뢰성있게 평가하는 것이 필요하다.

#### 3.5 총유기탄소와 유기물질과의 상관관계

각 지점별 TOC와 유기물질 간 상관성을 분석하기 위해 Pearson 상관분석을 수행하였다(Fig. 7). BOD와 COD는 유 기오염물질의 지표로 강한 양(+)의 상관을 보였으며, 특히 GJ 지점에서 상관계수가 0.845(p<0.01)로 매우 높은 상관성 을 보였다. BOD-SS 및 BOD-TP 간의 상관계수는 대부분 0.5 이하(p<0.01)로 나타났으며, 상류에서 하류로 갈수록 이 상관계수는 점차 낮아지는 경향으로 분석되었다. 이는 상류와 하류 간 지형 차이로 인해 유속과 유량이 변동되면서 난류가 발생하여 오염물질이 수체 내에서 존재하기 때문으로 판단되 었다(Jachimowski, 2017). 반면, 하류 지역은 경사가 완만하 고 강폭이 넓어지면서 유속이 안정화되어, 퇴적물이 침전되고 BOD-SS 및 BOD-TP 간의 상관관계가 유의미하지 않게 나 타났다. TOC와 COD 간의 상관성은 지점별로 분석한 결과, 상관계수가 0.854(p<0.01)로 높은 양(+)의 상관을 보였으며, 이는 BOD와 COD의 상관성에서 보였던 것처럼 GJ 지점에 서 두드러졌다. 이 결과는 GJ 지점의 수질 유기물 함량이 BOD와 COD에서 유사한 정보를 제공함을 의미하며, 유기물 변화가 두 항목간 영향을 줄 가능성이 높다는 것을 시사한다. TOC와 BOD 간의 상관관계는 지점별로 0.418~ 0.674 (p<0.01)로 양(+)의 상관성을 보였지만, COD에 비해 상관계 수는 낮게 나타났다. 이는 TOC가 하천수 수질 기준에서 COD를 대체할 수 있는 새로운 유기물 지표로 적용될 가능성 을 시사한다. 또한, 본 연구의 결과로 기존 유기물 지표들과 의 연계성 분석 및 오염도 예측을 통해 유역 기반의 오염원 관리 대책 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

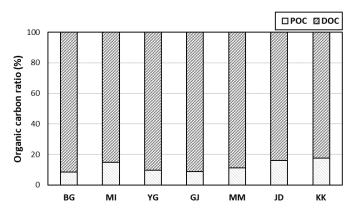


Fig. 6. Percentage of POC and DOC in TOC at the Study Site

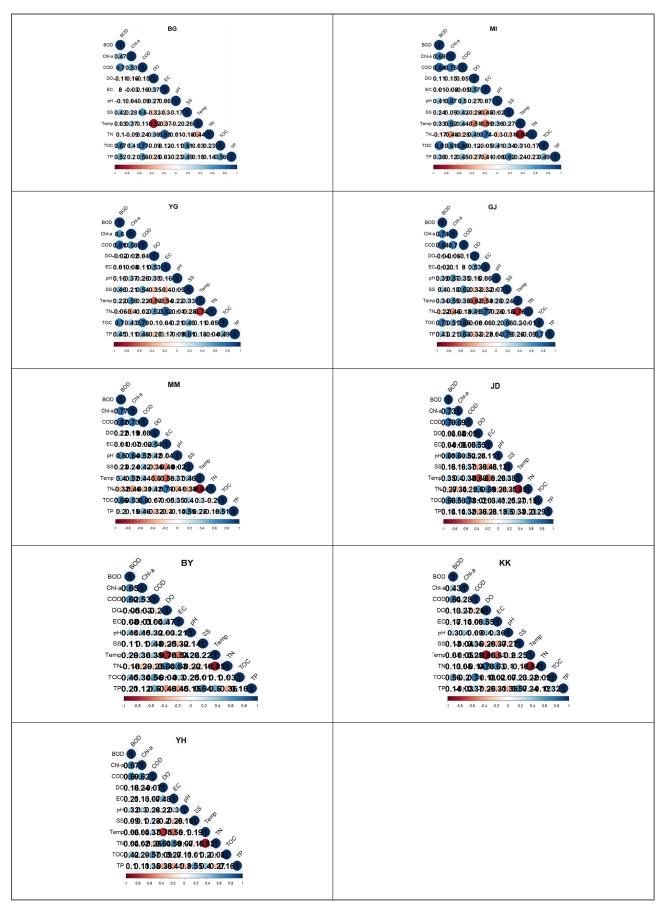


Fig. 7. Correlation between Total Organic Carbon and Organic Matter

## 4. 결 론

수질의 시·공간적 변화는 하천에 유입되는 자연적 또는 인위적 오염원에 의한 수질오염 변화를 평가하는 데 중요한 요소이다. 본 연구에서는 금강수계를 대상으로 2013년부터 2022년까지 10년간 상류 지점(BG)부터 하류 지점(YH)까지각 지점의 수질 특성과 유기물의 시·공간적 변화를 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) MI, YH 지점 수질 특성 분석을 통해 공공수역의 오염 물질의 유입을 줄이고 하천의 자정 능력을 강화할 수 있는 유입 지천의 오염 부하량 저감, 유역단위 통합형 수질관리체계 구축 등 수질 개선을 위한 노력이 필요한 것으로 사료된다.
- 2) 금강수계의 평균 BOD/TOC 비율이 0.64로 난분해성 유기물이 주를 이루는 것으로 평가되며, MI 지점에서 상대 적으로 생물학적 분해가 가능한 유기물의 유입이 많은 것으로 분석된다. 또한, COD/TOC 비율이 높은 구간은 농업 및 생활계 오염원으로 인한 난분해성 유기물이 축적되어 수질 오염이 심화되고 있는 것으로 판단된다.
- 3) 금강수계의 유기물 산화율 분석 결과, BOD와 COD 산화율은 상류에서 낮고 하류로 갈수록 높아지며, 이는 생활하수 및 농업 활동으로 인한 유기물 부하 증가와 관련이 있는 것으로 나타났다. 또한, 금강수계는 난분해성 유기물이 많아생물학적 분해가 어려운 환경이므로 수질 개선을 위한 대책이 필요하다.
- 4) TOC는 DOC와 POC로 구성되며, 금강수계에서 TOC에 대한 DOC와 POC의 평균 기여율은 각각 88.4%와 11.6%로 나타났다. 상류에서 하류로 갈수록 DOC의 기여율은 93.5%에서 84.5%로 감소하고, POC는 8.0%에서 15.5%로 증가했는데, 이는 하류로 갈수록 하천 폭이 넓어지고 유속이 느려지면서 입자성 유기물의 침전이 촉진되어, POC의기여도가 높아지는 것으로 평가되었다.
- 5) TOC와 COD 간의 높은 상관성은 TOC가 COD를 대체하는 유기물 지표로 활용될 가능성을 시사하며, 특히 GJ 지점에서 유기물 농도의 변화가 두 지표에서 유사한 정보를 제공하는 것으로 나타났다. 또한, 상류와 하류 간 지형 차이로 인해 오염물질의 확산 패턴이 달라져, 하류에서는 BOD와 SS 및 TP 간의 상관성이 유의미하지 않은 것으로 분석되었다.
- 6) 유기물질의 복잡성과 다양성이 증가함에 따라 분석 및 관리기술의 발전이 중요하며, 본 연구에서는 지속적인 유기 물질 특성 거동 평가를 통해 향후 수질 개선 및 관리 정책에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 감사의 글

This research was funded by a grant (NIER- 2024-01-01-177) from the National Institute of Environmental Research (NIER)

### References

- Binder, C., & Patzel, N. (2001). Preserving tropical soil organic matter at watershed level. A possible contribution of urban organic wastes. In Managing Organic Matter in Tropical Soils: Scope and Limitations: Proceedings of a Workshop organized by the Center for Development Research at the University of Bonn (ZEF Bonn)—Germany, 7–10 June, 1999 (pp. 171–181). Springer Netherlands.
- Bowen, R. E., & Depledge, M.H. (2006). Rapid assessment of marine pollution (RAMP). Marine Pollution Bulletin, 53 (10–12), 631–639.
- Burska, D., Pryputniewicz, D., & Falkowska, L. (2005). Stratification of particulate organic carbon and nitrogen in the Gdańsk Deep (southern Baltic Sea). Oceanologia, 47(2).
- Choi, D., Jung, J., Yoon, K., Lee, K., Choi, W., Lee, S., Park, H., Yim, B., Hwang, T. (2012). Estimation of TOC Concentration using BOD, COD in Runoff from Paddy Fields. Journal of Korean Society on Water Environmental, 28, 813–818.
- Choi, I. K., Kim, J. J., Im, J-K., Park, T-J., Kim, S-Y., Son, D-H., Huh, I-A., Rhew, D-H., Yu, S-J. (2015). Application Journal of Korean Society on Water Environment, 31(1), 29–34.
- Choi, H., Geronimo, F.K., Jeon, M., & Kim, L.H. (2022). Evaluation of bacterial community in constructed wetlands treating different sources of wastewater. Ecological Engineering, 182,106703.
- Foden, J., Sivyer, D. B., Mills, D. K., & Devlin, M. J. (2008). Spatial and temporal distribution of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) fluorescence and its contribution to light attenuation in UK waterbodies. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 79(4), 707–717.
- Han, D. H., & Choi, J. Y. (2011). Selection of the Optimum Organic Matter Index for Surface Water Quality Management. Korea Environment Institute, 10, 61–80.
- Hernes, P. J., Spencer, R. G., Dyda, R. Y., Pellerin, B. A., Bachand, P. A., & Bergamaschi, B. A. (2008). The role of hydrologic regimes on dissolved organic carbon composition in an agricultural watershed. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72(21), 5266–5277.
- Huang, S.Z., Sadiq, M., & Chien, F. (2021). Dynamic nexus between transportation, urbanization, economic growth and environmental pollution in ASEAN countries: does environmental regulations matter?, Eviromental Science and Pollution Research, 1–16.

- Jachimowski, A. (2017). Factors affecting water quality in a water supply network. Journal of Ecological Engineering, 18(4), 110–117
- Jamwal, P., Mittal, A. K., & Mouchel, J. M. (2011). Point and non-point microbial source pollution: A case study of Delhi. Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c, 36(12), 490-499.
- Jingsheng, C., Tao, Y., & Ongley, E. (2006). Influence of high levels of total suspended solids on measurement of COD and BOD in the Yellow River, China. Environmental Monitoring and Assessment, 116, 321–334.
- Jo, C. D., & Kwon, H. G. (2023). Temporal and spatial evaluation of the effect of river environment changes caused by climate change on water quality. Environmental Technology & Innovation, 30, 103066.
- Jung, K. Y., Ahn J. M., Lee K. L., Lee, I. J., Yu, J. J., Cheon, S,U, Kim, K,S., & Han K,Y., Temporal and Spatial Analysis of Non-biodegradable Organic Pollutants in the Geumho River System. Journal of Environmental Science International. 24(11); 1343–1362
- Kang, S., Kim, J. H., Ryu, J. S., & Shin, K. H. (2020). Dual carbon isotope (δ13C and Δ14C) characterization of particulate organic carbon in the Geum and Seomjin estuaries, South Korea. Marine Pollution Bulletin, 150, 110719.
- Kim, B. C., Jung, S. M., Jang, C. W., & Kim, J. K. (2007). Comparison of BOD, COD and TOC as the indicator of organic matter pollution in streams and reservoirs of Korea. Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 29(6), 640–643.
- Kim, H. S., Hong, J. J., Seong, J. U., Choi, K. S., & Park, J. C. (2013). Comparison of Organic Matter Distribution in Major Tributaries of the Nakdong River. Journal of Korean Society on Water Environment, 29, 618–624.
- Kim, Y., Yu, J., Lee, K., Chung, H. I., Sung, H. C., & Jeon, S. (2021). Impact assessment of climate change on the near and the far future streamflow in the Bocheongcheon Basin of Geumgang river, South Korea. Water, 13(18), 2516.
- Koehler, A. K., Murphy, K., Kiely, G., & Sottocornola, M. (2009). Seasonal variation of DOC concentration and annual loss of DOC from an Atlantic blanket bog in South Western Ireland. Biogeochemistry, 95, 231–242.
- Kosobucki, P., & Buszewski, B. (2014). Natural organic matter in ecosystems—a review. Nova Biotechnologica et Chimica, 13(2), 109–129.
- Lee, Y. G. (2013). Add to Living Environmental

- Standard and Health Protection Standard, Including Standards for Total Organic Carbon and 1,4–dioxane. Journal of Environmental Hitechnology, 21, 38–41.
- Lee, J., Lee, S., Yu, S., & Rhew, D. (2016a). Relationships between water quality parameters in rivers and lakes: BOD5, COD, NBOPs, and TOC. Environmental Monitoring and Assessment, 188, 1–8.
- Lee, Y., & Von Gunten, U. (2016b). Advances in predicting organic contaminant abatement during ozonation of municipal wastewater effluent: reaction kinetics, transformation products, and changes of biological effects. Environmental Science: Water Research & Technology, 2(3), 421–442.
- Lyu, L., Liu, G., Shang, Y., Wen, Z., Hou, J., & Song, K. (2021). Characterization of dissolved organic matter (DOM) in an urbanized watershed using spectroscopic analysis. Chemosphere, 277, 130210.
- Maciejewska, A., & Pempkowiak, J. (2014). DOC and POC in the water column of the southern Baltic. Part I. Evaluation of factors influencing sources, distribution and concentration dynamics of organic matter. Oceanologia, 56(3), 523–548.
- Milovanovic, M.(2007). Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axois/Vardar River, Southeastern Europe. Desalination, 213(1–3), 159–173.
- MOE. 2011, Ministry of Environment Standard, Methods for Water Quality
- Ministry of the Environment. A Study on TOC Standards Setting Method for Industrial Wastewater. 2015. Ava ilable online: https://ecolibrary.me.go.kr/nier/#/search/detail/5622547 (accessed on 21 January 2022).
- Ministry of the Environment. (2021). Master Plan for National Water Management. 2021.
- Park, H. Y., Lee, J. K., Ha, H., Lee, H. B., Kim, Y. K., Park, C. O., & Park, S. I. (2006). A Correlation Study of Organic Matters by TOC. Journal of Korean Society Environmental Engineers, 2006 Proceeding of Spring Conference, 834–842.
- Park, J. W., Kim, S. Y., Noh, J. H., Bae, Y. H., Lee, J. W., & Maeng, S. K. (2022a). A shift from chemical oxygen demand to total organic carbon for stringent industrial wastewater regulations: Utilization of organic matter characteristics. Journal of Environmental Management, 305, 114412.
- Park, J. H., Ryu, H. D., Chung, E. G., Oa, S. W., & Kim, Y. S. (2022b). TOC Standards for Sustainably Managing Refractory Organic Matter in Swine Wastewater Effluent. Sustainability, 14(16), 10092.
- Perona, E., Bonilla, I., & Mateo, P. (1999). Spatial and

- temporal changes in water quality in a Spanish river. Science of the Total Environment, 241(1–3), 75–90.
- Siziba, N. (2017). Effects of damming on the ecological condition of urban wastewater polluted rivers. Ecological Engineering, 102, 234–239.
- Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., & Sinha, S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. Water Research, 38(18), 3980–3992.
- Stedmon, C. A., Markager, S., Søndergaard, M., Vang, T., Laubel, A., Borch, N. H., & Windelin, A. (2006). Dissolved organic matter (DOM) export to a temperate estuary: seasonal variations and implications of land use. Estuaries and Coasts, 29, 388–400.
- Sun, W., Xia, C., Xu, M., Guo, J., & Sun, G. (2016). Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. Ecological Indicators, 66, 306–312.
- Terry, L. G., & Summers, R. S. (2018). Biodegradable organic matter and rapid-rate biofilter performance: A review. Water research, 128, 234–245.
- Tong, S. T., & Chen, W. (2002). Modeling the relationship between land use and surface water quality. Journal of Environmental Management, 66(4), 377–393.
- Wang, X. L., Lu, Y.K., Han, J.Y., He, G. Z., & Wang, T.Y. (2007). Identification of anthropogenic influences on water quality of rivers in Taihu watershed. Journal of Environmental Sciences, 19(4), 475–481.

- Wang, L., Han, X., Zhang, Y., Zhang, Q., Wan, X., Liang, T., ... & Rinklebe, J. (2023). Impacts of land uses on spatio-temporal variations of seasonal water quality in a regulated river basin, Huai River, China. Science of The Total Environment, 857, 159584.
- Wang, W., Yang, P., Xia, J., Huang, H., & Li, J. (2023). Impact of land use on water quality in buffer zones at different scales in the Poyang Lake, middle reaches of the Yangtze River basin. Science of the Total Environment, 896, 165161.
- Wardiani, F. E., Wimbaningrum, R., & Setiawan, R. (2019). The correlation between type of land use and water quality in the Rembangan River, Jember Regency. Jurnal Ilmu Dasar, 20(2), 111–122.
- Yang, S., Liang, M., Qin, Z., Qian, Y., Li, M., & Cao, Y. (2021). A novel assessment considering spatial and temporal variations of water quality to identify pollution sources in urban rivers. Scientific reports, 11(1), 8714.
- Zhang, Y. P., Yang, R., Xu, Q. J., & Mo, J. H. (2007). Characteristics of photocatalytic oxidation of toluene, benzene, and their mixture. Journal of the Air & Waste Management Association, 57(1), 94–101.
- Zeinalzadeh, K., & Rezaei, E. (2017). Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. Journal of Hydrology: Regional Studies, 13, 1–10.
- Zou, H., Wang, H., Liu, T., Li, X., Zhu, X., & Wang, Z. (2017). Protective role of  $\alpha$ -lipoic acid in hyperuricemia-induced endothelial dysfunction. Experimental and Therapeutic Medicine, 13(6), 3047–3054.