

Article

연안환경에서 유기물 지표 개발을 위한 가능성 평가:  
용존유기탄소와 형광용존유기물질 활용

이민영<sup>1</sup> · 양경선<sup>1</sup> · 김순찬<sup>2</sup> · 김태훈<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 자연과학대학 지구환경과학부  
(61186) 광주광역시 북구 용봉로 77

<sup>2</sup>제주특별자치도 해양수산연구원  
(63629) 제주특별자치도 서귀포시 표선면 민속해안로 292

Evaluation of the Possibility of Developing Organic Matter Indicators in Coastal Environments: Utilization of Dissolved Organic Carbon and Fluorescent Dissolved Organic Matter

Min-Young Lee<sup>1</sup>, Kyungsun Yang<sup>1</sup>, Sunchan Kim<sup>2</sup>, and Tae-Hoon Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Earth System and Environmental Sciences, College of Natural Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

<sup>2</sup>Jeju Special Self-Governing Province Ocean and Fisheries Research Institute, Jeju 62629, Korea

**Abstract** : In order to evaluate the dissolved organic carbon (DOC) and fluorescent dissolved organic matter (FDOM), as indicators of organic matter in the coastal environments, we measured the concentrations of DOC, FDOM, and chemical oxygen demand (COD) in saline groundwater (Woljeong, Pyoseon, and Hwasun beaches) and coastal seawater (Haengwon, Gwideok, Pyoseon, and Yeongnak) in Jeju, Korea. The highest concentrations of DOC and COD in groundwater were found in Woljeong and Pyoseon, and those in coastal water were observed in Haengwon and Pyoseon, indicating that the higher concentrations of DOC and COD seem to be associated with saline groundwater-driven dissolved organic matter (DOM) and/or biogeochemical processes. According to origin and optical properties of DOM using FDOM as a tracer, proportion of humic-like FDOM, more refractory DOM, was relatively greater in the groundwater than in the coastal water. With regard to this result, there was no relationship between DOC and COD in groundwater, while DOC showed a good positive correlation ( $r^2 = 0.66$ ) with COD in coastal water. This result indicates that COD as an indicator of assessment of DOM has a limitation in which it is difficult to quantify refractory DOM. Although DOC is a potential alternative to COD in the coastal environments, particulate organic carbon cannot be negligible due to relatively higher concentration compared to the open ocean. Therefore, the use of total organic carbon (TOC) as a replacement of COD in the coastal ocean is important, and the evaluation criterion of the TOC is necessary in order to evaluate of organic matter indicator in the various coastal environments.

**Key words** : chemical oxygen demand, dissolved organic carbon, fluorescent dissolved organic matter, coastal environments

## 1. 서론

화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD)은 수중에 존재하는 유기물질, 아질산염 등 산화성 오염물질을 산화제로 산화시킬 때 필요한 산소의 양을 측정하여 유기물의 농도를 나타내는 것이다. 국내의 하천과 호소, 해양 등과 같은 다양한 환경에서의 환경평가 지표로써 COD를 많이 사용하였다. COD를 정량하는 방법에는  $K_2Cr_2O_7$ (중크롬산칼륨)을 산화제로 이용하는 법(COD<sub>Cr</sub>)과  $KMnO_4$ (과망간산칼륨)을 산화제로 이용하는 법(COD<sub>Mn</sub>)이 있다. COD<sub>Mn</sub>법의 산화율은 약 50%로 산화율이 약 92%인 COD<sub>Cr</sub>법보다 유기물 산화 효율이 좋지 않다고 알려져 있다(Jung et al. 2009). 하지만 COD<sub>Cr</sub>법은 뛰어난 유기물질의 분해 능력 때문에 고농도의 수질을 평가하는데 있어서는 좋지만 저농도의 수질과 COD<sub>Cr</sub>측정을 방해하는 염화이온(할로겐족의 간섭 효과) 때문에 해수에서는 측정이 어려워 해양환경에서는 적은 효율의 COD<sub>Mn</sub>법을 주로 이용한다(해양수산부 2013; Son et al. 2003). COD는 성상에 따른 오차가 크며, 유기물질의 종류에 따른 분해율이 변동이 크기 때문에 40% 정도의 유기물을 산화하는 것으로 보고되었다(Kim et al. 2007). 또한, 난분해성 유기물을 정확하게 검출할 수 없는 한계점을 가지고 있다(Cho et al. 2014). 이와 같이, 환경평가지표로 한계점을 가지고 있는 COD 대신 유기물을 직접적으로 산화시키는 총 유기탄소(Total Organic Carbon, TOC)가 2016년 이후부터 국내의 하천과 호소 등과 같은 담수의 환경지표로써 사용되고 있다. TOC는 유기물질을 고온산화법을 이용하여 산화시켰을 때 발생하는 이산화탄소의 양을 측정하는 방법으로, COD와 비교하였을 때 상대적으로 분석시간이 짧고 적은 양의 시료로도 분석이 가능하며, 분석이 간단하다는 장점이 있다. TOC의 이러한 장점 때문에 미국, 독일, 일본 등에서 새로운 해수 중 수질지표로서 TOC를 사용하고 있다(Cho et al. 2014).

형광용존유기물질(Fluorescent Dissolved Organic Matter, FDOM)은 광범위한 가시광선과 자외선(UV)파장에 걸쳐 빛을 흡수하는 유기물질의 혼합체를 말한다. 용존유기탄소(Dissolved Organic Carbon, DOC)에 대한 FDOM의 기여 추정치는 20~70%의 범위를 보이며, 강물의 유입이 지배적인 연안에서 높은 농도 값을 보인다(Coble 2007). FDOM의 형광분석법은 다른 분석법에 비해 간단하다는 장점을 가지고 있다. 또한 FDOM은 유기물의 특성을 파악하는데 유용하기 때문에 정량 분석보다는 정성 분석에 용이하며 다양한 환경이 혼합하는 곳에서의 유용한 추적자인 것으로 입증되었다(Coble 2007).

특히, 제주도의 연안해양으로 육상 유기물질 유입은 우천시 존재하는 하천을 제외하고 강이 없기 때문에, 육상

유기물질의 유일한 공급원은 해저지하수이다. 육상 유기물질은 대부분 난분해성 특징을 가지는 휴믹물질로 구성되어 있고(Lee et al. 2018), 연안해양은 이러한 육상 유기물질과 생물생산에 의해 만들어진 유기물질로 다양한 특성을 보인다. 이러한 연안 환경에서의 복잡한 유기물질의 상성 때문에 기존의 지표로 유기물질을 평가하기에는 한계점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 제주도의 연안 해수와 지하수의 DOC와 FDOM를 분석하여 연안환경에서 COD를 대체할 수 있는 유기물 지표로서의 활용 가능성을 보고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

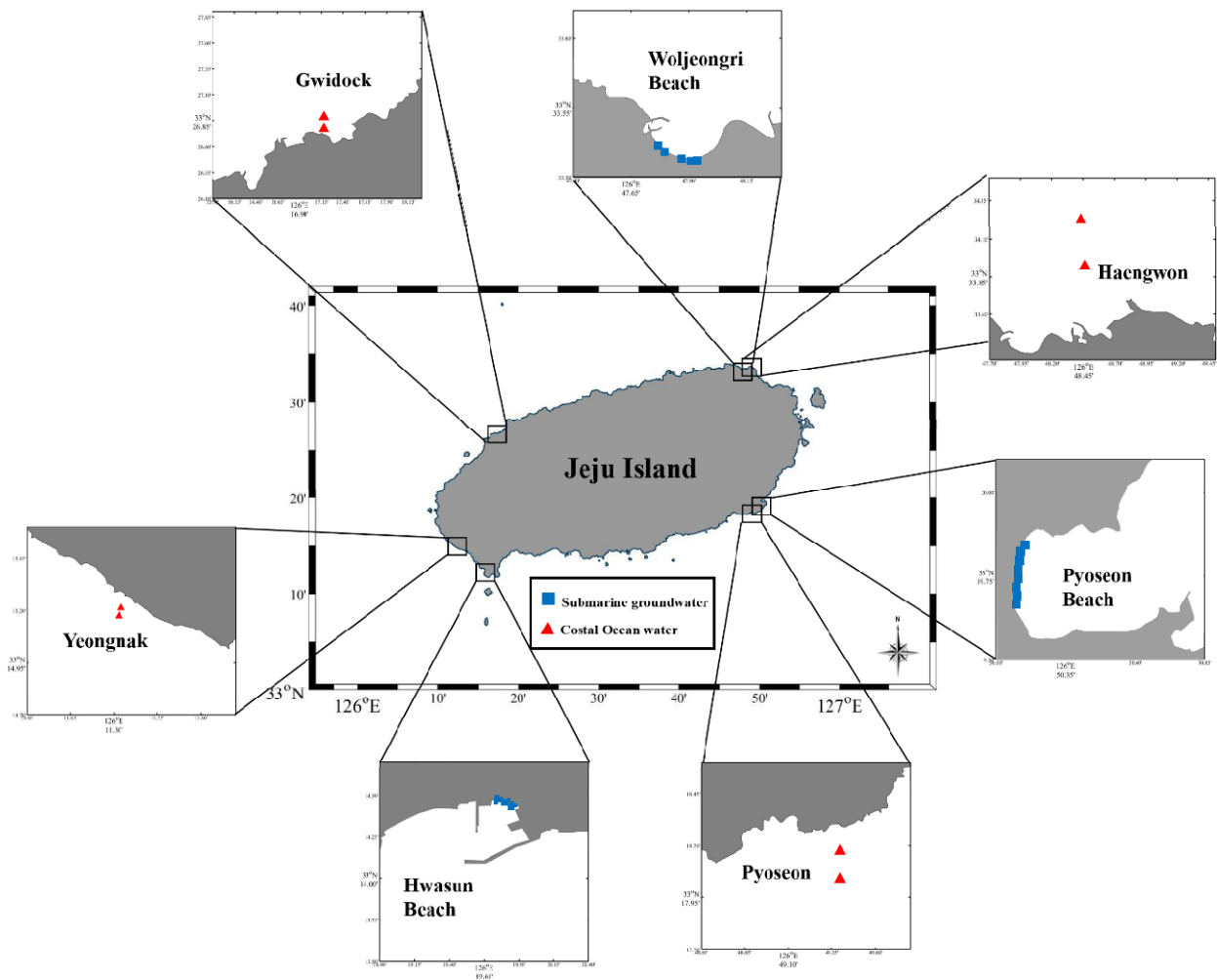
### 연구지역

제주도의 면적은 약 1,830 km<sup>2</sup>으로 우리나라에서 가장 큰 화산섬이며 위도 33도, 경도 126도에 위치하고 있다. 섬이라는 특성상 해양성 기후의 특징을 가지고 있으며 몬순 기후의 특성 또한 가지고 있다. 또한 제주도는 연간 강수량이 약 1700 mm로 다우지 중 한 곳이며 건기에는 현무암으로 구성된 특성 때문에 강수가 스며들지만 강우량이 많은 우기(6-8월)에는 지표수가 생겨 일부의 강수가 해양으로 유출된다(기상청 2021). 특히 제주도의 지형학적 특성상 강수의 약 45%정도가 지하로 스며들어 지하수(Groundwater)의 형태로 존재 하며, 내륙의 다른 지역의 지하수 함양을 평균(14.4%)과 비교하였을 때 3배 높다(박 2013). 선행 연구에 의하면 제주도의 동부지역과 서부지역의 지하수를 비교하였을 때, 공급된 해수가 재순환되어 해양으로 유출되는 염지하수(recirculated seawater)는 동부지역에서 우세하며 육상기원의 담지하수(fresh water)는 서부에서 우세한 특징을 보인다(Kim et al. 2003).

### 연구방법 및 시료 분석

본 연구에서는 2016년 6월에 제주도 월정 해수욕장(n = 5), 표선 해수욕장(n = 8), 화순 해수욕장(n = 11)에서 염 지하수를 채수하였다. 또한, 2017년 9월에 행원리(n = 4), 귀덕리(n = 4), 2017년 10월에 표선리(n = 4), 2018년 5월에 영락리(n = 4)에서 연안 해수를 채수하였다(Fig. 1). 염 지하수는 만조가 끝난 후 간조가 되는 시간부터 드러난 연안에 약 50 cm 깊이의 우물을 판 후 차오르는 첫 번째 물을 플라스틱 비커를 이용하여 버린 후 다시 차오른 지하수를 채수하였고, 연안 해수의 표층과 저층은 선박을 이용하여 채수하였다.

채수한 시료들은 즉시 실험실로 가지고 와서 DOC와 FDOM의 분석을 위해 500°C에서 3시간 이상 구운 Whatman사의 0.7 µM GF/F 필터지로 여과를 하였다. COD 시료는 500 ml Nalgene bottle에 채취하여 미생물로 인한 유



**Fig. 1.** Map showing the sampling stations in the saline groundwater (Woljeong, Pyoseon, and Hwasun beaches) and coastal water (Haengwon, Pyoseon, Gwideok, and Yeongnak) in Jeju Island, Korea

기물 분해 혹은 식물플랑크톤으로 인한 영양염 소비의 억제제를 위해 1%  $\text{CuSO}_4$  용액을 시료 1 L에 1 ml 주입하였고, 냉장보관 하였다. DOC 시료는 pre-combusted 20 ml 앰플에 채수 후 6M 염산을 생물활동 억제제를 위해 20  $\mu\text{L}$  첨가하여 pH를 2로 낮춘 후 토치로 밀봉하여 암소 보관하였다. FDOM 시료는 pre-combusted 40 ml 갈색 암병에 채수하여 분석 전까지 냉장 보관하였다.

COD는 시료에 수산화나트륨( $\text{NaOH}$ )을 첨가하여 알칼리성으로 만든 다음, 강산화제인 과망간산칼륨( $\text{KMnO}_4$ ) 용액을 첨가해 중탕을 시켜 피산화성물질을 산화시킨 후 물질이 모두 산화가 되고 나면 소비되고 남은 산화제( $\text{KMnO}_4$ )가 존재하며 여기에 요오드화칼륨( $\text{KI}$ ) 및 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )를 첨가하면 남아있는 과망간산칼륨에 의해 요오드( $\text{I}_2$ )가 유리되고 이 요오드를 티오황산나트륨( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 용액으로 종말점까지 적정하여 정량하는 방법인 과망간

산칼륨법을 이용하여 농도를 구하였다.  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  적정법을 이용하였을 때 Detection limit는 0.05 mg/L로 나타난다 (송 2006).

DOC는 Shimadzu사의 TOC- $\text{V}_{\text{CPI}}$ 의 고온산화법을 이용하여 측정하였고 아세트아닐리드(acetanilide)용액의 농도를 이용하여 검정 곡선을 그려 표준화하였다. 측정값의 신뢰도를 보증하기 위해 마이애미대학교의 DOC 인증 표준 물질(DSR: 44–46  $\mu\text{M}$ )과 비교하여 5% 이내의 오차 범위를 확인하였다. DOC 분석법의 detection limit는 5  $\mu\text{M}$  미만이다(Kim and Kim 2010).

FDOM의 형광 분석은 SCINCO 사의 FluoroMate FS-2의 scan mode로 각 시료의 형광 세기(intensity)를 측정하였다. 시료는 250–500 nm의 들뜸 파장(excitation wavelength) 범위에서 5 nm 간격마다 250–600 nm 범위의 방출 파장(emission wavelength)을 2 nm 간격으로 측정하였다.

형광 세기는 21–25°C의 상온에서 최대값을 보이기 때문에, 냉장 보관된 시료를 분석 직전 실온에서 빛을 차단한 상태에서 온도를 높인 후 측정하였다. 정확한 분석을 위해 1cm 두께의 석영 재질 셀에 시료를 담고 기포와 셀 외벽의 먼지를 최대한 제거 후 형광분석기에 장착하였다. 바탕값을 보정하고 라만 산란 피크를 제거하기 위해 정제수(De-Ionized Water, DIW)의 형광 세기를 매일 측정하였다. 또한, 초당 카운트(Counts Per Second, cps) 단위로 표현되는 모든 측정값은 0.1 N 황산에 용해시킨 quinine sulfate 용액을 Ex/Em = 350/450 nm에서 형광을 측정하여 Quinine Sulfate Units (QSU)으로 변환해 주었다. 지하수와 해수시료 측정 중 inner filter 영향을 1–3%로 거의 영향이 미치지 않는다 판단하였고, 결과값은 MATLAB의 Savitsky-Goray filter법을 이용하여 보정한 후 들뜸-방출 매트릭스(Excitation-Emission Matrix, EEM)로 표현하였다(Kim and Kim 2017). PARAFACE 모델은 40개의 EEM 데이터를 각각 결합시켜 적용하였으며, MATLAB의 DOMFlour를 사용하여 split-half 테스트를 통해 통계적으로 평가하였다(Kim and Kim 2017). 총 형광 강도(Total Fluorescence Intensity, TFI)는 샘플에 존재하는 component의 합으로 계산되었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 화학적산소요구량(COD)과 용존유기탄소(DOC)의 분포

염 지하수의 경우 DOC의 농도는 2016년 월정 해수욕장에서 1.1–1.9 mg/L (평균: 1.4±0.4 mg/L), 표선 해수욕장에서 0.6–1.2 mg/L (평균: 0.9±0.2 mg/L), 화순 해수욕장에서 0.6–0.9 mg/L (평균: 0.8±0.1 mg/L)를 보였고, COD의 농도는 2016년 월정 해수욕장에서 1.7–11.1 mg/L (평균: 6.1±3.7 mg/L), 표선 해수욕장에서 3.9–10.4 mg/L (평균: 8.2±1.9 mg/L), 화순 해수욕장에서 0.1–2.5 mg/L (평균: 0.8±0.7 mg/L)를 보였다(Fig. 2). 염 지하수 중 DOC는 월정 해수욕장에서 높았으며, COD는 표선 해수욕장에서 높은 농도를 보였다. 염 지하수 중 DOC와 COD의 농도 변화는 지역 특색에 따른 지하수 유출 형태일 것으로 판단된다. 선행연구에 의하면 제주도 화순해수욕장에서 지하수 중 DOC와 염분의 상관관계는 0.71로 좋은 양의 상관관계를 보이며, 담 지하수의 DOC 농도는 약 0.26–0.52 mg/L로 낮은 농도를 보인다(Cho et al. 2021). 하지만 염 지하수의 경우 연안해수 중 생물생산에 의해 만들어진 상대적으로 높은 DOC의 영향으로 담 지하수의 DOC보다 높은 농도를 보인다. 본 연구에서 월정 해수욕장과 표선 해수욕장의 경우 제주도 동부에 위치해 있어 염 지하수 유출이 우세하고 화순 해수욕장은 서부에 위치해 있어 담 지하수 유출이 우세하며, DOC와 COD의 농도 변화의 영향을 미치는 것으로 판단된다.

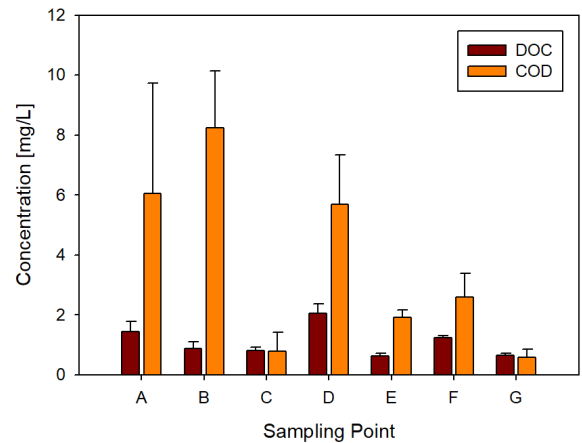


Fig. 2. The spatial variation in the saline groundwater (A: Woljeong, B:Pyoseon, C: Hwasun) and coastal water (D: Haengwon, E: Gwideok, F: Pyoseon, G: Yeongnk)

연안 해수의 경우 DOC의 농도는 2017년 행원리에서 1.6–2.3 mg/L (평균: 2.1±0.3 mg/L), 귀덕리에서 0.5–0.7 mg/L (평균: 0.6±0.1 mg/L), 표선리에서 1.2–1.3 mg/L (평균: 1.2±0.1 mg/L), 2018년 영락리에서 0.6–0.8 mg/L (평균: 0.7±0.1 mg/L)를 보였고, COD의 농도는 2017년 행원리에서 4.0–8.0 mg/L (평균: 5.7±1.7 mg/L), 귀덕리에서 1.7–2.3 mg/L (평균: 1.9±0.3 mg/L), 표선리에서 2.1–3.7 mg/L (평균: 2.6±0.8 mg/L), 2018년 영락리에서 0.2–1.1 mg/L (평균: 0.6±0.3 mg/L)를 보였다(Fig. 2). 연안 해수 중 DOC와 COD는 행원리에서 높은 농도를 보였다. 행원리와 표선리는 다른 조사지역에 비해 상업적으로 발전한 지역으로 인위적인 오염원이 유입되어 인해 상대적으로 높은 DOC와 COD 농도를 보인 것이라 추측된다.

다른 지역에서의 염 지하수 DOC 농도를 보면 마산만에서는 1.9±0.3 mg/L 평균 농도를 보였으며, 함평만에서는 2.6±0.7 mg/L, 여자만에서 1.4±0.4 mg/L 평균 농도를 보였으며, 연안 해수 중 DOC 농도를 보면 시화호에서 2.6±1.0 mg/L, 가막만에서 1.2±0.1 mg/L 평균 농도를 보였다(Oh et al. 2018; Han et al. 2021). 이는, 제주도 염 지하수와 연안 해수가 다른 지역에 비해 DOC의 농도가 상대적으로 낮았다. COD의 경우 인천 연안에서 3.4±1.5 mg/L, 강화도에서 6.9±1.5 mg/L, 세어도에서 2.6±0.5 mg/L, 한강에서 7.4±7.4 mg/L, 부산 연안에서 1.2±0.3 mg/L를 보였고, 제주도 연안 해수에서도 다른 지역에 비해 상대적으로 낮은 COD 농도를 보였다(Son et al. 2003).

국내의 하천에서의 생활환경 기준에 따르면 COD의 경우 2 mg/L 이하일 때 매우 좋음, 4 mg/L 이하일 때 좋음, 5 mg/L 이하일 때 약간 좋음, 7 mg/L 이하일 때 보통, 9 mg/L 이하일 때 약간 나쁨을 보인다. 그 기준에 따르면

Table. 1. Comparison of criterion of the organic matter in Germany, Swiss, and Korea

*Germany			*Swiss				**Korea		
Water Quality Class	BOD (mg/L)	TOC (mg/L)	Water Quality Class	BOD (mg/L O <sub>2</sub> )	DOC (mg/L)	TOC (mg/L)	Water Quality Class	COD (mg/L)	TOC (mg/L)
I	1	≤ 2	Excellent	2	2	< 2.5	Excellent	≤ 2	≤ 2
I-II	1~2	≤ 3	Good	2~4	2~4	2.5~5.0	Good	≤ 4	≤ 3
II-III	2~6	≤ 5	Moderate	4~6	4~6	5.0~7.5	Moderate-Good	≤ 5	≤ 4
III-IV	5~10	≤ 10	Moderate-Poor	6~8	6~8	7.5~10.0	Moderate	≤ 7	≤ 5
IV-V	7~13	≤ 20	Poor	8 <	8 <	10.0 <	Moderate-Poor	≤ 9	≤ 6
V-VI	10~20	≤ 40					Poor	≤ 11	≤ 8
VI	20 <	> 40					Very Poor	> 11	> 8

\*Choi and Han 2011

\*\*KMGL 2020

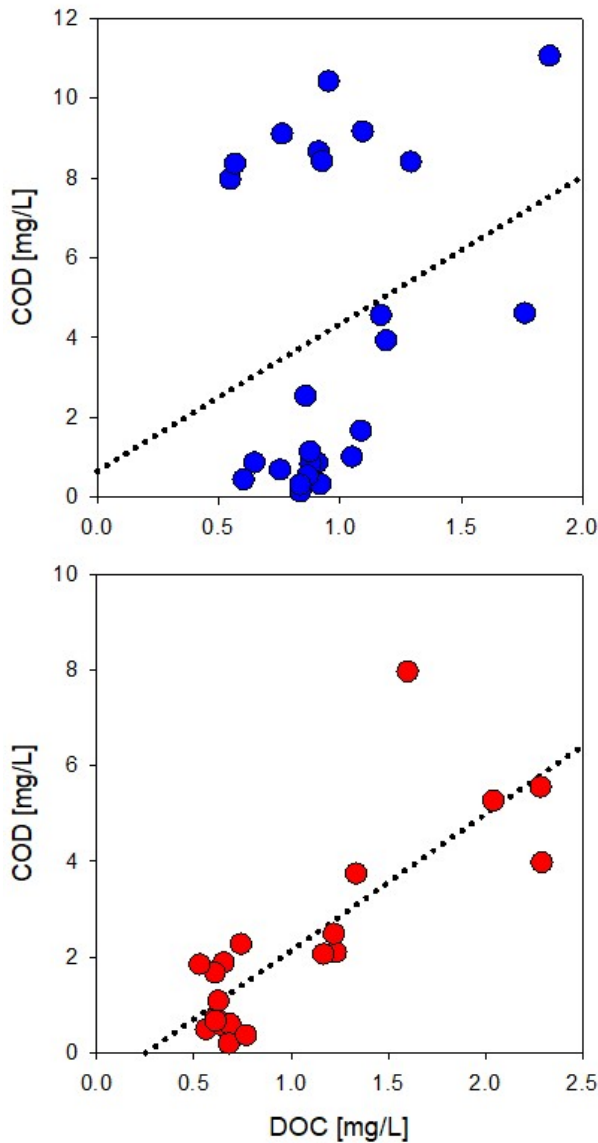
화순 해수욕장 염 지하수, 귀덕리, 영락리 연안 해수는 매우 좋음을 보이고, 표선 연안 해수에서는 좋음을 보였으며, 월정 해수욕장 염 지하수와 행원리 연안 해수에서는 보통, 표선 해수욕장 염 지하수에서는 약간 나쁨을 보였다. TOC의 경우 2 mg/L 이하일 때 매우 좋음, 3 mg/L 이하일 때 좋음, 4 mg/L 이하일 때 약간 좋음, 5 mg/L 이하일 때 보통, 6 mg/L 이하일 때 약간 나쁨을 보인다 (Table 1). 이 기준에 따르면 좋음을 보인 행원리 연안 해수를 제외하고 모든 연구 지역에서 아주 좋음을 보였다. 스위스에서 유기물 지표 기준 중 DOC에 따르면 TOC 기준과 비슷하게 좋음을 보인 행원리 연안 해수를 제외하고는 나머지 지역에서 아주 좋음을 보였다(Choi and Han 2011). 하지만, 현재 우리나라 해수에서의 TOC와 DOC을 이용한 유기물 지표의 기준이 없고, 유기물 지표 기준이 담수 환경에만 적용되고 있기 때문에, 해양 환경에서의 적용은 무리가 있어 보인다.

#### 연안 환경에서 유기물 지표로서 DOC의 가능성과 한계점

염 지하수에서 DOC와 COD간의 상관관계를 살펴보았을 때, 상관관계( $r^2 = 0.09$ )는 보이지 않았지만(Fig. 3), 연안 해수에서 DOC와 COD간의 상관관계( $r^2 = 0.66$ )는 염 지하수보다 상대적으로 좋은 상관관계를 보였다(Fig. 3). 즉 연안 환경을 평가하기엔 성상에 따른 오차가 크고 유기물질의 종류에 따른 분해율 변동이 크고 제한적인 유기물을 산화하며 난분해성 유기물을 정확하게 검출할 수 없는 COD 분석법 문제점의 근거가 된다(Kim et al. 2007; Cho et al. 2014).

지하수와 연안 해수의 정성적인 확인을 위해 PARAFAC 모델링의 결과로 염 지하수와 연안 해수 FDOM component는 3개의 component로 구분 되었다(Fig. 4)(Coble 2007). C1은 Ex/Em이 335 nm/404 nm에서 강한 피크를 보였다. 이를 기반으로 C1은 폐수나 농업과 같이 인위적인 곳에서 기원이 되는 휴믹계 물질(peak M)로 추정된다. C2는 Ex/Em이 360 nm/476 nm에서 강한 피크를 보였다. 이를 기반으로 C2는 육상 기원의 휴믹계 물질로 방향성이 높은 물질(peak C)로 추정된다. C3는 Ex/Em이 285 nm/340 nm에서 강한 피크를 보였다. 이를 기반으로 C3는 일차 생산과 같은 자생적인 특징을 가지는 단백질 계열의 물질(peak T)로 추정된다(Coble 2007).

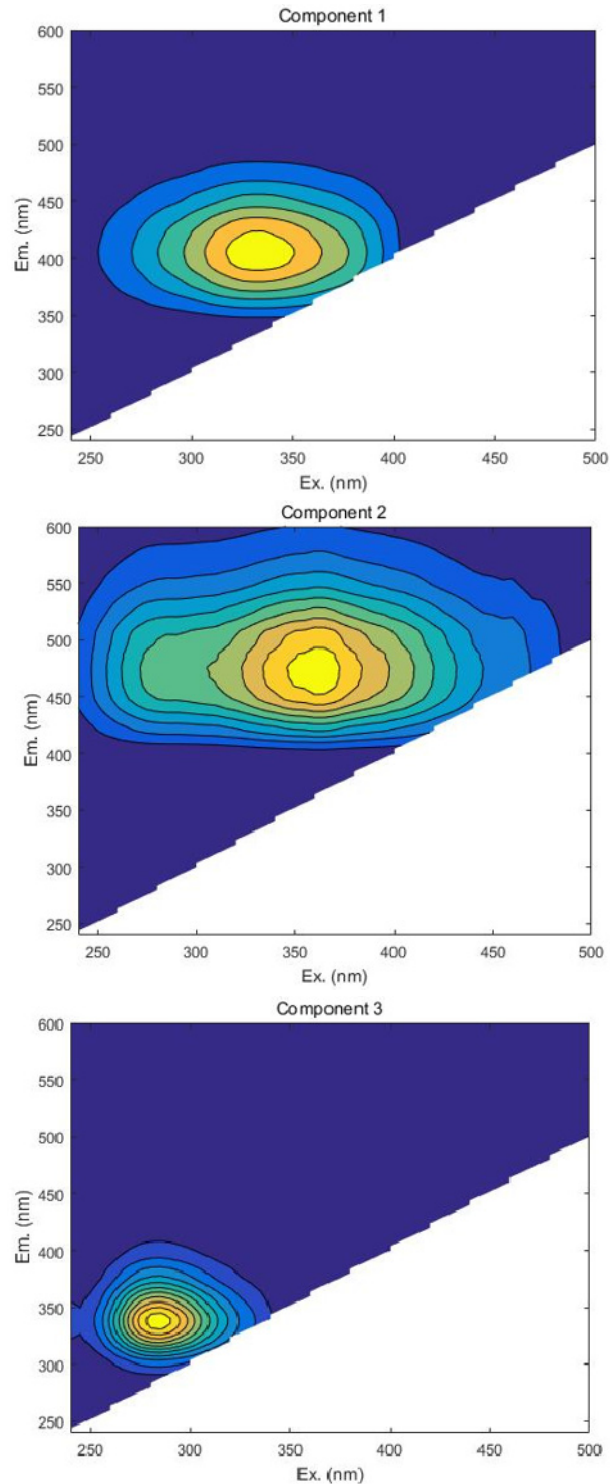
각각의 component를 합한 TFI 값이 염 지하수 중 월정 해수욕장에서 9.5 QSU, 표선 해수욕장에서 18.5 QSU, 화순 해수욕장에서 12.4 QSU를 보였다. 연안 해수의 경우 행원리에서 3.7 QSU, 귀덕리에서 13.9 QSU, 표선리에서 5.3 QSU, 영락리에서 3.0 QSU를 보였다(Fig. 5). 연안 해수보다 염 지하수에서 더 높은 QSU를 보였으며, 염 지하수에서 난분해적 특성을 보이는 peak M과 peak C의 농도는 TFI 값에서 높은 비율을 보였다. 하지만 연안 해수에서는 분해가 잘되는 peak T의 농도는 TFI 값에서  $60 \pm 9.5\%$ 로 상대적으로 높은 비율을 보였다. 이는 염 지하수가 난분해성 물질을 많이 포함하고 있으며, 유기물질의 정량적인 측정법으로 COD는 한계가 있음을 보여준다. 또한, 연안 해수 TFI 값에서 peak T의 비율이 높지만, peak M과 peak C도 무시할 수 없는 비율을 차지하고 있기 때문에 지하수만큼은 아니더라도 연안해수 또한 COD의 측정과



**Fig. 3.** Plots of dissolved organic carbon (DOC) versus chemical oxygen demand (COD) in the saline groundwater and coastal water

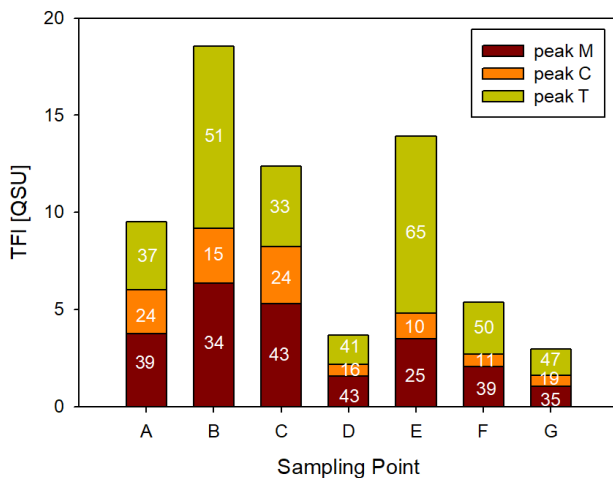
정에서 한계점이 있을 것이라 보인다.

COD와 DOC의 상관관계와 정성적인 분석을 통해 COD는 연안 환경을 평가하기엔 성상에 따른 오차가 크고 유기물질의 종류에 따른 분해율 변동이 크고 제한적인 유기물을 산화하며 난분해성 유기물을 정확하게 검출할 수 없다는 문제점을 파악하였다. 하지만, 본 연구에서는 COD의 경우 필터를 하지 않은 시료를 이용하였고, DOC의 경우 여과를 한 시료를 이용하였기 때문에 입자성 유기물질(Particulate Organic Carbon, POC)에 대한 영향을 확인할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 선행연구 결과, TOC 중 POC 비율을 보면 동중국해에서는 0.12 이하를 보였고



**Fig. 4.** Excitation-emission matrix spectroscopy (EEMs) contour plots of each component determined by using the parallel factor analysis (PARAFAC) model

(Kim et al. 2008), 최근 제주도 화순에서 진행된 지하수와 연안 해수의 TOC 중 POC 비율을 보면 0.32로 POC의 영



**Fig. 5.** The spatial variation of total fluorescence intensity (TFI) in the saline groundwater (A: Woljeong, B: Pyoseon, C: Hwasun) and coastal water (D: Haengwon, E: Gwideok, F: Pyoseon, G: Yeongnak). The white number unit is a percentage

향을 무시할 수 없을 정도라고 보고되었다(Cho et al. 2021). 즉, 외양에서는 TOC 중 DOC 비율이 높기 때문에 유기물 지표로 DOC 활용 가능성은 높지만 연안에서는 POC의 농도가 상당히 높은 수준이고 전체 TOC 비율에서 많은 부분을 차지하고 있기 때문에 연안 환경에서 DOC를 유기물 지표로 사용하기에는 한계가 있어 보인다. 아직, 해양 환경 내에서 COD가 유기물 지표로서 한계점을 인식하고 있지만, TOC로 대체 방안에 대한 연구는 미흡하다. 본 연구 결과를 토대로, 다양한 연안 환경에서 TOC 분석을 통한 유기물 지표 개발이 필요해 보인다.

#### 4. 결 론

제주도 염 지하수 중 DOC와 COD 농도는 월정 해수욕장과 표선 해수욕장에서 높았고, 연안 해수에선 행원리와 표선리에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 염 지하수 중 경우 DOC와 COD 농도는 지역적인 특색에 따른 지하수 유출 형태에 따른 영향을 보이고, 연안해수의 경우 인위적인 오염원의 영향을 받은 것으로 판단된다. 염 지하수 중 DOC와 COD의 상관관계가 보이지 않았지만, 연안 해수에서는 상대적으로 좋은 상관관계를 보였다. 염 지하수와 연안 해수의 TFI 값 중 난분해성 특성을 보이는 유기물 비율이 높아, COD는 난분해성 물질 측정의 한계를 가지고 있기 때문에 정량적인 양을 도출해 내기에는 적절하지 않다고 판단되며, DOC 또한 연안 환경에서는 POC의 양을 무시할 수 없기 때문에 연안 환경에서의 유기물 지표로서의 한계점이 있다. 따라서, 정확한 유기물 농도 측정

을 위해선 TOC 분석이 불가피하고, 향후 다양한 연안 환경에서의 유기물 지표로서의 TOC 기준 설정이 필요할 것으로 판단된다.

#### 사 사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(전남씨그랜트).

#### 참고문헌

- 국가법령정보센터 (2020) 환경정책기본법 시행령. <http://www.law.go.kr> Accessed 27 May 2021
- 기상청 (2021) 한국의 지역별 기후특성. <http://www.weather.go.kr> Accessed 7 Jun 2021
- 박기화 (2013) 제주도 지질여행. 한국지질자원연구원, 대전, 204 p
- 송용섭 (2006) 화학적 산소 요구량 측정을 위한  $\text{KMnO}_4$  분광광도법과  $\text{KMnO}_4$  적정법에 관한 연구. 이학석사 학위논문, 연세대학교, 85 p
- 해양수산부 (2013) [해양수산부고시 제2013-230호] 해양환경공정시험기준 4장 8항, pp 39-43
- Cho HM, Kim TH, Moon JH, Song BC, Hwang DW, Kim TJ, Im DH (2021) Estimating submarine groundwater discharge in Jeju volcanic island (Korea) during a typhoon (Kong-rey) using humic-fluorescent dissolved organic matter-Si mass balance. *Sci Rep* **11**(1):1-10
- Cho YB, Oh YK, Shin DC, Park CH (2014) Distribution of total organic carbon and correlations between organic matters of sewage treatment plants. *J Korean Soc Environ Anal* **17**:207-214
- Choi JY, Han DH (2011) Development of water quality standard for TOC as organic matter index. *Seoul STUD* **12**(3):173-184
- Coble PG (2007) Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color. *Chem Rev* **107**(2):402-418
- Han H, Hwang J, Kim G (2021) Characterizing the origins of dissolved organic carbon in coastal seawater using stable carbon isotope and light absorption characteristics. *Biogeosciences* **18**(5):1793-1801
- Jung KY, Park MH, Hur J, Lee SY, Shin JK (2009) Comparison of spectroscopic characteristics and chemical oxygen demand efficiencies for dissolved organic matters from diverse sources. *J Korean Soc Water Environ* **25**(4): 589-596
- Kim BC, Jung SM, Jang CW, Kim JK (2007) Comparison of BOD, COD and TOC as the indicator of organic

- matter pollution in streams and reservoirs of Korea. J Korean Soc Environ Eng **29**(6):640–643
- Kim G, Lee K-K, Park HS, Hwang DW, Yang HS (2003) Large submarine groundwater discharge (SGD) from a volcanic island. Geophys Res Lett **30**:2098. doi:10.1029/2003GL018378
- Kim JH, Kim GB (2017) Inputs of humic fluorescent dissolved organic matter via submarine groundwater discharge to coastal waters off a volcanic island (Jeju Island). Sci Rep **7**(1):1–9
- Kim SK, Choi YC, Kim JS (2008) Distribution of dissolved and particulate organic carbon in the East China Sea in summer. J Korean Soc Mar Environ **11**(3):124–131
- Kim TH, Kim GB (2010) Distribution of dissolved organic carbon (DOC) in the southwestern east sea in summer. Ocean Polar Res **32**(3):291–297
- Lee SA, Kim GB (2018) Sources, fluxes, and behaviors of fluorescent dissolved organic matter (FDOM) in the Nakdong River Estuary, Korea. Biogeosciences **15**(4): 1115–1122
- Oh YH, Lee YW, Kim TH (2018) In situ production of dissolved organic carbon (DOC) by phytoplankton blooms (Cochlodinium polykrikoides) in the southern sea of Korea. J Sea Res **138**:19–23
- Son JW, Park YC, Lee HJ (2003) Characteristics of total organic carbon and chemical oxygen demand in the coastal waters of Korea. J Korean Soc Ocean **8**(3):317–326
- KMA (2021) Domestic climate data. <http://weather.go.kr> 7 Jun 2021
- Park KH (2013) Experience the geological splendor of Jeju Island. Jeju Research institute
- Song YS (2006) Evaluation of KMnO<sub>4</sub> Spectrophotometry and KMnO<sub>4</sub> Titration Method for the Determination of Chemical Oxygen demand. M.S. Thesis, Yonsei University
- MOF (2013) [Notice of Ministry of Oceans and Fisheries No. 2013-230] The Korean standards methods for Marine Environment. chapter 4 paragraph 8, pp 39–43

#### Author's Information

##### Min-Young Lee

Ph. D. student, Chonnam National University

##### Kyungsun Yang

M.S. student, Chonnam National University

##### Sunchan Kim

Researcher, Jeju Special Self-Governing Province Ocean and Fisheries Research Institute

##### Tae-Hoon Kim

Associate Professor, Chonnam National University

*Received Apr. 21, 2021*

*Revised May. 31, 2021*

*Accepted Jun. 3, 2021*

#### 국문 참고자료의 영문표기

**English translation / Romanization of references originally written in Korean**

KMGL (2020) Basic environment law. <http://www.law.go.kr>  
27 May 2021