

# 우리나라 연안하구역 및 반폐쇄성 만의 표층수질 유사성

## Similarity of Surface Seawater Quality in Estuaries and Semi-enclosed Bays in Korean Coastal Waters

김보라\* · 조춘옥\*\* · 김나령\*\*\* · 이수호\*\*\*\* · 이지선\*\*\*\*\* · 류종성\*\*\*\*\*

Bora Kim · Chun Ok Jo · Naryeong Kim · Suho Lee · Jisun Lee · Jongseong Ryu

**요약** 본 연구는 해양환경측정망의 2004년부터 2020년 동안 관측된 표층 수온, 염분, 용존산소(DO), 화학적산소요구량(COD), 용존무기질소(DIN),  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , 총질소(TN), 용존무기인(DIP), 총인(TP),  $\text{SiO}_2$ , pH, 부유퇴적물(SS), 투명도, Chl-*a*를 이용하여, 한국 연안을 하천영향 및 반폐쇄성 해역 16개로 구분하고, 이 해역들의 수질 환경의 특성을 집괴분석인 계층구조집괴분석법과 비가중평균거리를 사용하여 비교·분석하였다. 수질 환경의 유사 정도에 따라 16개 해역은 세 그룹으로 분류되는데, 황해 중부에 있는 하구만 해역들, 남해에 있는 하구만 해역들, 영산강, 낙동강, 태화강의 영향을 받는 하구 해역들이 각각 유사한 특성을 보였다. 이와 다르게 한강하구, 영산강하구, 태화강하구, 함평만, 영일만, 진해만, 가로림만은 그룹에 속하지 않고 독립적인 수질 특성을 보였다. 한강하구는 DIN, TN, DIP, TP, 함평만은 DIP, TP,  $\text{SiO}_2$ , SS가 다른 해역보다 연중 높은 농도를 보였으며, 영일만은 DIN, TN, DIP, TP,  $\text{SiO}_2$ 가 다른 해역보다 연중 낮은 농도를 보였다. 진해만은 봄과 가을에 높은 COD와 Chl-*a*, 가로림만은 봄에 높은 DIP와 낮은 Chl-*a*, 영산강하구는 여름 동안 높은 DIN을 보이는 것으로 나타났다. 태화강하구는 다른 해역보다 겨울에 수온, DIN, DIP가 높았고 Chl-*a* 농도가 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 우리나라 해역은 서해와 남해, 하천 영향과 반폐쇄성 해역으로 수질 특성이 구분되기도 하나, 지역 환경에 따라 상이한 수질 특성을 보이는 해역들이 존재하며, 이러한 해역들은 그 지역의 환경변화를 반영한 수질 특성을 제시하여야 한다.

**키워드** 해양 수질, 하구, 만, 해양환경측정망, 집괴분석

**Abstract** This study investigated characteristics of surface water quality in estuary and bay areas in the coastal waters of Korea using water quality parameters, temperature, salinity, DO, COD, DIN,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , TN, DIP, TP,  $\text{SiO}_2$ , pH, SS, transparency, and Chl-*a* from 2004 to 2020 provided by the Marine Environmental Monitoring System. The characteristics of seawater quality were mainly divided into three groups: estuary and bay areas located in the central Yellow Sea, estuary and bay areas in the South Sea, and the estuary areas affected by the Yeongsan River, Nakdong River, and Taehwa River. However, the seawater quality in the Han River Estuary, Hampyeong Bay, Yeongil Bay, and Jinhae Bay, respectively, show a unique characteristic that distinguishes them from the three groups. The Han River Estuary and Hampyeong Bay show relatively high concentrations of DIN, TN, DIP, and TP and DIP, TP,  $\text{SiO}_2$ , and SS, respectively, during all seasons compared with other estuary and bay areas. Yeongil Bay shows lower concentrations of DIN, TN, DIP, TP, and  $\text{SiO}_2$  than other areas during all seasons. The relatively high COD and Chl-*a* in spring and fall characterize Jinhae Bay. The higher DIP and lower Chl-*a* in spring represent Garolim Bay, and the higher DIN

Received: 2023.06.14, Revised: 2023.06.30, Accepted: 2023.06.30

\* (주)오션사이텍 차장(Deputy General Manager, Oceanscitech Inc., Seoul 07807, Korea, borakim0629@gmail.com) (주저자)

\*\* (주)오션사이텍 이사(Director, Oceanscitech Inc., Seoul 07807, Korea, cojoo100@gmail.com)

\*\*\* (주)오션사이텍 대표(CEO, Oceanscitech Inc., Seoul 07807, Korea, flyknr3@gmail.com)

\*\*\*\* 국립해양조사원 해양관측과 주임(Assistant Director, Oceanographic Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan 49111, Korea, hopal96@korea.kr)

\*\*\*\*\* 안양대학교 해양바이오공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Marine Biotechnology, Anyang University, Incheon 23038, Korea, leejs4764@gmail.com)

\*\*\*\*\* 안양대학교 해양바이오공학과 교수(Professor, Department of Marine Biotechnology, Anyang University, Incheon 23038, Korea, jsryu90@gmail.com) (교신저자)

in summer describes the Yeongsan River Estuary. The Taehwa River Estuary shows higher temperature, DIN, and DIP and lower Chl-*a* in winter than other areas. Korean waters are often categorized into the West and South Seas, estuaries, and bays but there are waters with different water quality characteristics depending on the local environment, and these waters should be presented with water quality characteristics that meet the environmental changes of the region.

**Key words** Sea Water Quality, Estuary, Bay, Marine Environmental Monitoring System, Cluster Analysis

## 1. 서론

우리나라 연안은 복잡한 해안선을 따라 크고 작은 만을 형성하고 있으며, 국가하천인 한강, 금강, 영산강, 섬진강, 낙동강, 태화강 등 큰 강이 존재하고 있어 하구역이 발달해 있다. 하구역은 담수와 해수가 만나는 전이지역으로 담수 유입에 따라 염분 변화가 극심하며, 이에 따른 생지화학적 반응도 다양하게 일어난다(Pakulski et al., 1995). 그러나 하구역 주변 해역은 공업단지, 농축산업단지, 항만, 주거단지 등이 위치하고 있어, 이로 인한 유기물 및 오염물질이 유입된다(Koh et al., 2002). 유기물의 과한 유입은 부영양화, 식물플랑크톤의 대량 증식, 생태계 구조의 변화를 초래할 수 있다(Humborg et al., 1997). 우리나라 황해 북부에 위치한 한강하구는 집중된 인구, 산업단지, 공항, 항만 및 신도시 등이 조성되어있으며, 이로 인한 오·폐수, 생활하수 등이 유입되고 있다(Kim at al, 2004, Lim at al., 2007). 황해 중부에 위치한 금강하구 해역은 군산 내항, 장항항, 군산외항, 매립지와 공단, 각종 산업시설, 해상도시 등이 조성되어있다(Hwang at al., 2013). 남해 동부에 위치한 낙동강하구는 신항만 건설, 공단 및 주거단지 조성 등으로 인하여, 낙동강 상류의 비점 오염원으로 인한 부영양화 또는 식물플랑크톤 대량증식으로 환경악화 및 생태계가 훼손되고 있다(Jeong et al., 2007, Park at al., 2016). 반 폐쇄성만은 연안에서 내려오는 영양염이 만 내에 축적되어 식물성플랑크톤의 대량 증식과 저층의 빈산소수괴 형성 등 환경문제가 발생하고 있다. 남해 중부에 위치한 가막만은 북서에서 빈산소수괴가 생성되며(Kim at al., 2006), 만 입구는 적조가 발생하고 있다(Park at al., 2009). 남해 동부에 위치한 마산만과 진해만은 강수량이 많은 여름철에 생활하수와 폐기물 등 오염물질이 해역으로 유입되어 높은 COD, TN, TP 농도를 보이며, 이로인한 부영양화의 발생으로 저층 빈산소수괴를 야기시키는 것으로 알려져 있다(Kim at al, 2012, Kwon at al., 2014).

이러한 복합적인 해역의 수질 특성을 파악하기 위해 선 단기간의 수질 조사 결과를 분석하는 것보다 장기간의 수질 관측을 통해 축적된 기초 자료를 이용해 장

기 변동 경향을 파악할 필요성이 있다(Kwon, 2010). 국가에서 측정한 관측자료 중 해양환경공단의 해양환경측정망은 1997년부터 현재까지 항만, 하천 영향 및 반폐쇄성 해역, 연안, 근해 등의 해양환경을 관측하며, 과학적 기초 자료를 생산하고 있다.

본 연구에서는 해양환경측정망에서 관측한 장기 수질 자료를 활용하여, 우리나라 해역을 하천 영향해역과 반폐쇄성 해역으로 구획한 후 유사도 분석을 활용하여 수질 환경 특성을 연평균과 계절별로 살펴보고자 한다.

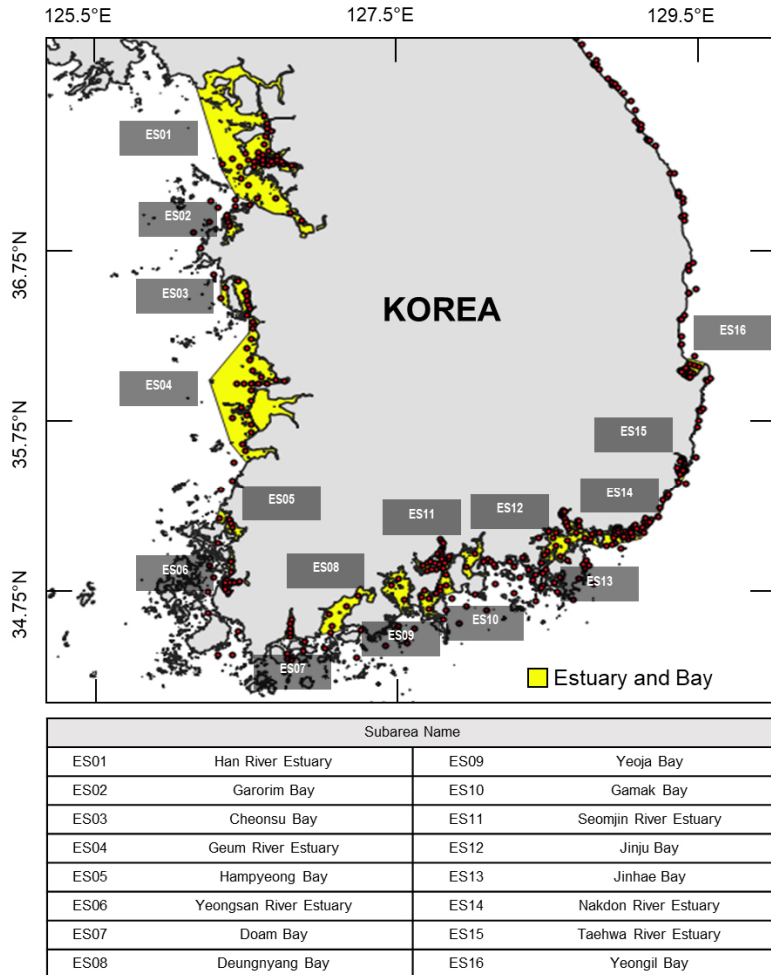
## 2. 재료 및 방법

해역의 수질 환경 특성을 장기적으로 살펴보기 위해, 해양환경공단의 ‘해양환경측정망(<https://www.meis.go.kr>)’에서 얻어진 기초 자료로 연구를 수행하였다. 해양환경측정망은 1997년부터 현재까지 전국 425개 정점, 연 4회(겨울 2월, 봄 5월, 여름 8월, 가을 11월), 표층과 저층 조사를 수행 중이다. 본 연구에서는 수질 인자들의 4계절 관측자료가 공통으로 있는 2004년부터 2020년까지로 기간을 설정하였으며, 표층에서 관측한 16개 수질 항목인 수온(Temperature), 염분(Salinity), 용존산소(DO), 화학적산소요구량(COD), 용존무기질소(DIN), 암모니아(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), 아질산성질소(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), 질산성질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 총질소(TN), 용존무기인(DIP), 총인(TP), 규산성규소(SiO<sub>2</sub>), pH, 부유물질(SS), 투명도(Transparency), 클로로필(Chl-*a*)을 수집하였다(Table 1).

연구 해역의 구분은 「해양환경관리법」 제8조 해양환경기준의 31개 생태구별 해역 구분표를 따랐다. 31개 해역 중 하천 영향해역과 반 폐쇄성 해역을 대상으로 하였으며, 2004년부터 사계절을 관측한 정점을 포함하는 16개 해역을 선정하였다. 16개 해역은 한강하구(ES01), 가로림만(ES02), 천수만(ES03), 금강하구(ES04), 함평만(ES05), 영산강하구(ES06), 도암만(ES07), 득량만(ES08), 여자만(ES09), 가막만(ES10), 섬진강하구(ES11), 진주만(ES12), 진해만(ES13), 낙동강하구(ES14), 태화강하구(ES15), 영일만(ES16)이 이에 해당한다(Fig. 1).

**Table 1.** Number of stations used for characterizing seawater quality environment in estuary and bay areas in the coastal waters of Korea

Subarea Name	All seasons	Spring(5)	Summer(8)	Fall(11)	Winter(2)
ES01 Han River Estuary	2304	576	576	576	576
ES02 Garorim Bay	124	31	31	31	31
ES03 Cheonsu Bay	532	133	133	133	133
ES04 Geum River Estuary	1476	369	369	369	369
ES05 Hampyeong Bay	232	58	58	58	58
ES06 Yeongsan River Estuary	724	181	181	181	181
ES07 Doam Bay	180	45	45	45	45
ES08 Deungnyang Bay	252	63	63	63	63
ES09 Yeoja Bay	204	51	51	51	51
ES10 Gamak Bay	300	75	75	75	75
ES11 Seomjin River Estuary	1144	286	286	286	286
ES12 Jinju Bay	136	34	34	34	34
ES13 Jinhae Bay	1680	420	420	420	420
ES14 Nakdon River Estuary	1400	350	350	350	350
ES15 Taehwa River Estuary	868	217	217	217	217
ES16 Yeongil Bay	884	221	221	221	221



**Figure 1.** Estuary and bay areas (ES01~ES16) in the coastal waters of Korea issued by the Marine Environmental and Management Act of Korea and long-term monitoring stations operated by the Marine Environmental Monitoring System of Korea Marine Environment Management Corporation

수질 항목을 이용하여 해역별 수질 환경 특성의 유사도 분석을 위해, 미국환경보호국(EPA; Environmental Protection Agency)에서 제안한 배경 수질 기준을 결정하는 방법을 활용하였다(EPA, 2010; Clune et al. 2020). 각 해역의 정점에서 2월, 5월, 8월, 11월에 관측된 16개 수질 인자를 계절별로 중앙값(Median)을 계산한 후, 산술평균으로 연평균과 계절별 평균을 구하였다. 단위의 크기가 다양한 수질 항목 인자들이 내포한 공통유사 경향을 산출하기 위해, 다음의 식과 같이 평균( $m$ )과 표준편차( $std$ )를 이용하여 표준화(Normalized)하였다.

$$x_{normalized} = \frac{(x - m)}{std}$$

표준화된 각 수질 인자를 가지고 MATLAB을 이용하여 집괴분석을 수행하였다. 집괴분석에는 계층구조 집괴분석법(Hierarchical Clustering method)과 비가중 평균거리(UPGMA; Unweighted Pair Group Mean Averaging)를 사용하였다.

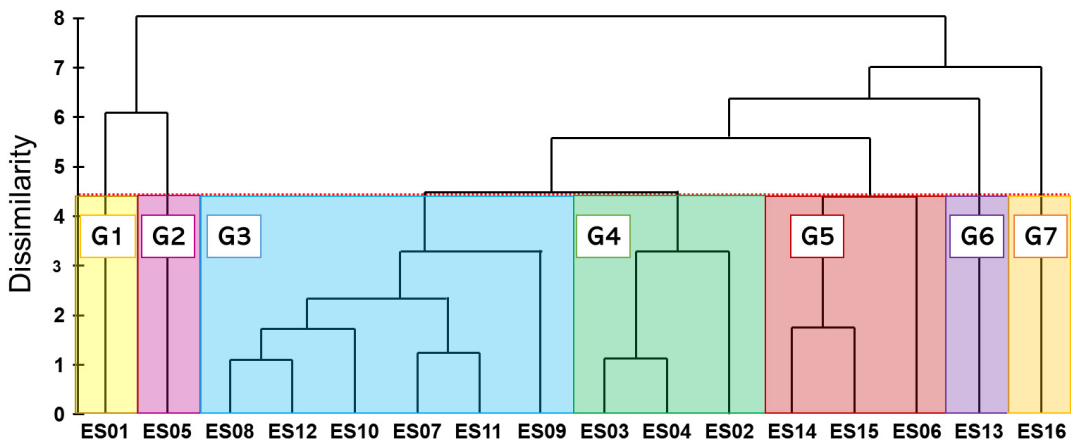
### 3. 결과

하구-만 해역에서 16개 수질 인자들의 연평균과 봄, 여름, 가을, 겨울 평균을 이용하여 각 해역의 수질 환경 특성의 유사도를 평가하였으며, 비유사도(dissimilarity) 4.3을 기준으로 수질 환경 특성이 유사한 해역들을 구분하였다(Fig. 2-7). 같은 그룹에 해당하는 해역들의 수질 항목별로 산술평균을 계산하였으며, 높은 농도

(△그룹 해역의 농도-전체해역 평균 농도), 낮은 농도(▽전체해역 평균 농도-그룹 해역의 농도)를 제시하여 해역별 수질 환경 특성을 비교하였다(Table 2-7).

#### 3.1 연평균 수질 환경 특성

연평균을 분석한 결과, 해역별로 유사한 특성을 보이는 7개의 그룹으로 분류되었다(Fig. 2). 7개 그룹의 수질 항목별 평균을 비교하여, 각 그룹의 수질 환경 특성을 선정하였다(Table 2). 그룹 G1은 한강하구(ES01)이며, 연평균 DIN(△11.41 μM), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(△2.02 μM), NO<sub>2</sub><sup>-</sup>(△0.31 μM), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(△8.58 μM), TN(△11.12 μM), DIP(△0.33 μM), TP(△0.39 μM)가 높은 값을 보였으며, 수온(▽1.75 °C)과 염분(▽1.53 psu)이 낮은 값을 보였다. 그룹 G2는 함평만(ES05)이며, 연평균 TP(△0.5 μM), SiO<sub>2</sub>(△7.08 μM), SS(△21.16 mg<sup>-1</sup>)가 높은 값을 보였으며, DO(▽0.43 mg<sup>-1</sup>)와 pH(▽0.12)가 낮은 값을 보였다. 그룹 G3는 도암만(ES07), 득량만(ES08), 여자만(ES09), 가막만(ES10), 섬진강하구(ES11), 진주만(ES12)으로 남해에 있는 하구-만이며, 연평균 수온(▽1.75 °C)이 높고, DO(▽0.41 mg<sup>-1</sup>)와 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>(▽0.16 μM)가 낮은 값을 보였다. 그룹 G4는 가로림만(ES02), 천수만(ES03), 금강하구(ES04)로 황해 중부에 있는 하구-만이며, 연평균 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>(▽0.16 μM)가 낮은 값을 보였다. 그룹 G5는 영산강하구(ES06), 낙동강하구(ES14), 태화강하구(ES15)로 하구로 이루어진 그룹이며, 수질 환경 특성은 보이지 않았다. 그룹 G6는 진해만(ES13)이며, 연평균 수온(△1.55 °C), DO(△0.47 mg<sup>-1</sup>), COD(△0.55 mg<sup>-1</sup>), pH(△0.09), Chl-*a*(△2.22 mg<sup>-1</sup>)가 높은 값을 보였으며, DIN(▽5.05 μM),



**Figure 2.** Dendrogram derived from the hierarchical cluster analysis using the annual means of seawater quality parameters in the estuary and bay areas. The pink dotted line is the criteria to divide groups (G) with similar seawater quality environments

**Table 2.** Annual means and standard deviations (STD) of water quality parameters in each group identified by the hierarchical cluster analysis in Figure 2. Symbols are used to show higher ( $\Delta$ ) or lower ( $\nabla$ ) values than annual means in all estuary and bay areas

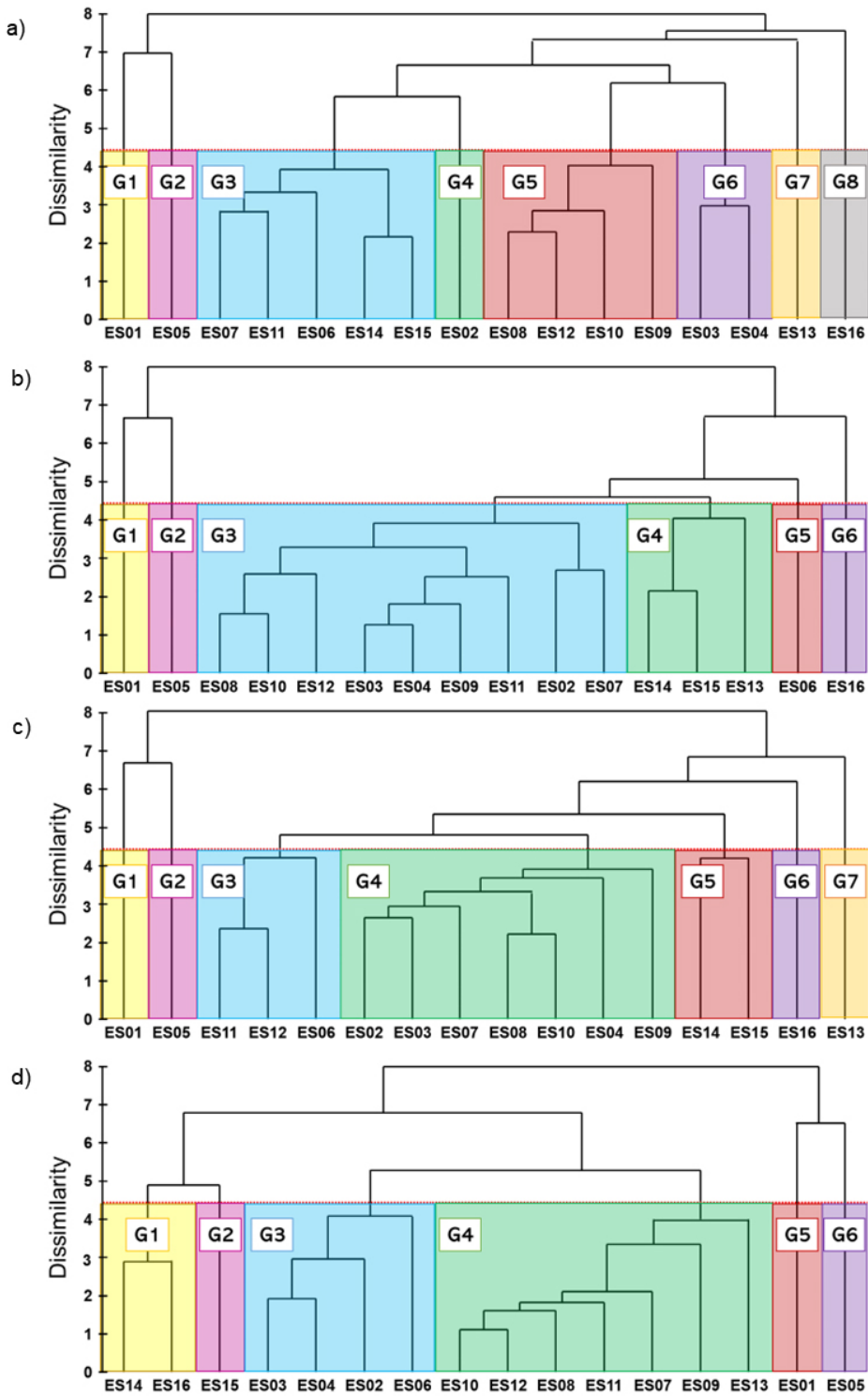
Water quality parameters	Clusters							G1~G7
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	
	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean
Temperature (°C)	$\nabla$ 14.05 0.00	15.79 0.00	$\Delta$ 17.32 0.21	14.35 0.95	16.15 0.08	$\Delta$ 17.35 0.00	15.61 0.00	15.80
Salinity (psu)	$\nabla$ 30.47 0.00	31.76 0.00	32.32 0.32	31.55 0.24	32.43 1.10	32.05 0.00	$\Delta$ 33.42 0.00	32.00
DO (mg L <sup>-1</sup> )	8.67 0.00	$\nabla$ 8.24 0.00	$\nabla$ 8.26 0.15	8.77 0.15	8.52 0.07	$\Delta$ 9.14 0.00	$\Delta$ 9.12 0.00	8.67
COD (mg L <sup>-1</sup> )	1.55 0.00	1.27 0.00	1.31 0.17	1.38 0.23	1.26 0.05	$\Delta$ 1.95 0.00	$\nabla$ 1.07 0.00	1.40
DIN (μM)	$\Delta$ 19.99 0.00	11.37 0.00	4.08 1.93	6.44 2.94	11.33 2.52	$\nabla$ 3.53 0.00	3.30 0.00	8.58
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	$\Delta$ 3.52 0.00	1.00 0.00	0.93 0.17	1.04 0.38	1.70 0.85	1.47 0.00	$\nabla$ 0.87 0.00	1.50
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM)	$\Delta$ 0.69 0.00	0.56 0.00	$\nabla$ 0.22 0.09	$\nabla$ 0.22 0.07	0.59 0.12	$\nabla$ 0.21 0.00	$\nabla$ 0.20 0.00	0.38
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM)	$\Delta$ 14.57 0.00	9.39 0.00	2.39 1.45	4.43 3.17	8.20 2.27	$\nabla$ 1.36 0.00	1.64 0.00	5.99
TN (μM)	$\Delta$ 35.03 0.00	28.88 0.00	19.68 3.55	21.64 1.94	25.07 3.86	22.83 0.00	$\nabla$ 14.28 0.00	23.91
DIP (μM)	$\Delta$ 0.76 0.00	0.62 0.00	0.31 0.09	0.49 0.09	0.47 0.12	0.23 0.00	$\nabla$ 0.16 0.00	0.43
TP (μM)	$\Delta$ 1.54 0.00	$\Delta$ 1.65 0.00	1.05 0.19	1.05 0.05	0.95 0.10	1.17 0.00	$\nabla$ 0.67 0.00	1.15
SiO <sub>2</sub> (μM)	11.33 0.00	$\Delta$ 17.37 0.00	12.38 3.28	8.72 0.67	11.61 1.54	6.30 0.00	$\nabla$ 4.35 0.00	10.29
pH	8.08 0.00	$\nabla$ 8.00 0.00	8.13 0.02	8.11 0.03	8.13 0.02	$\Delta$ 8.21 0.00	$\Delta$ 8.19 0.00	8.12
SS (mg L <sup>-1</sup> )	14.25 0.00	$\Delta$ 34.15 0.00	11.45 3.27	11.78 3.52	8.02 3.54	5.90 0.00	$\nabla$ 5.40 0.00	12.99
Chl- <i>a</i> (μg L <sup>-1</sup> )	2.41 0.00	2.17 0.00	3.10 0.58	2.28 0.36	2.59 0.87	$\Delta$ 5.00 0.00	$\nabla$ 1.90 0.00	2.78
Transparency (m)	1.50 0.00	0.68 0.00	1.71 0.59	1.75 0.45	2.38 0.76	2.90 0.00	$\Delta$ 5.50 0.00	2.34
Areas	ES01	ES05	ES07~12	ES02~04	ES06, ES14~15	ES13	ES16	

NO<sub>2</sub><sup>-</sup>( $\nabla$ 0.71 μ M), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>( $\nabla$ 4.63 μ M)가 낮은 값을 보였다. 그룹 G7은 영일만(ES16)이며, 연평균 염분( $\Delta$  1.42psu), DO( $\Delta$ 0.45mg<sup>-1</sup>), pH( $\Delta$ 0.07), 투명도( $\Delta$  3.16m)가 높은 값을 보였으며, COD( $\nabla$ 0.33mg<sup>-1</sup>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>( $\nabla$ 0.63 μ M), NO<sub>2</sub><sup>-</sup>( $\nabla$ 0.18 μ M), TN( $\nabla$ 0.63 μ M), DIP( $\nabla$ 0.27 μ M), TP( $\nabla$ 0.48 μ M), SiO<sub>2</sub>( $\nabla$ 5.94 μ M), SS( $\nabla$ 7.59mg<sup>-1</sup>), Chl-*a*( $\nabla$ 0.88 μ g<sup>-1</sup>)가 낮은 값을 보였다.

### 3.2 봄철 수질 환경 특성

봄철을 분석한 결과, 해역별로 유사한 특성을 보이는 8개의 그룹으로 분류되었다(Fig. 3a). 8개 그룹의

수질 항목별 평균을 비교하여, 각 그룹의 수질 환경 특성을 선정하였다(Table 3). 그룹 G1은 한강하구(ES01)이며, 봄철에 DIN( $\Delta$ 6.09 μ M), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>( $\Delta$ 1.04 μ M), NO<sub>2</sub><sup>-</sup>( $\Delta$ 0.21 μ M), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>( $\Delta$ 4.47 μ M), TN( $\Delta$ 7.72 μ M)이 높은 값을 보였으며, 수온( $\nabla$ 2.18°C)과 염분( $\nabla$ 1.12psu)이 낮은 값을 보였다. 그룹 G2는 함평만(ES05)이며, 봄철에 DIP( $\Delta$ 0.03 μ M), TP( $\Delta$ 0.09 μ M), SiO<sub>2</sub>( $\Delta$ 3.81 μ M), SS( $\Delta$ 21.01mg<sup>-1</sup>)가 높은 값을 보였으며, DO( $\nabla$  0.5mg<sup>-1</sup>), COD( $\nabla$ 0.41mg<sup>-1</sup>), pH( $\nabla$ 0.13), Chl-*a*( $\nabla$ 0.63 μ g<sup>-1</sup>)가 낮은 값을 보였다. 그룹 G3는 영산강하구 (ES06), 도암만(ES07), 섬진강하구(ES11), 낙동강하구



**Figure 3.** Dendrogram derived from the hierarchical cluster analysis using the spring (a), summer (b), fall (c), and winter (d) means of seawater quality parameters in the estuary and bay areas. The pink dotted line is the criteria to divide groups (G) with similar seawater quality environments

**Table 3.** Spring means and standard deviations (STD) of water quality parameters in each group identified by the hierarchical cluster analysis in Figure 3a. Symbols are used to show higher ( $\Delta$ ) or lower ( $\nabla$ ) values than spring means in all estuary and bay areas

Water quality parameters	Clusters								G1~G8
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	
	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean
Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\nabla$ 13.62 0.00	17.71 0.00	16.25 1.10	11.61 0.00	$\Delta$ 18.75 0.82	14.77 0.88	17.04 0.00	14.83 0.00	15.80
Salinity (psu)	$\nabla$ 30.88 0.00	31.83 0.00	32.79 0.67	31.73 0.00	32.74 0.48	31.48 0.38	32.42 0.00	$\Delta$ 33.83 0.00	32.00
DO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	9.10 0.00	$\nabla$ 8.17 0.00	8.66 0.36	9.19 0.00	$\nabla$ 8.20 0.22	9.07 0.06	9.20 0.00	$\Delta$ 9.52 0.00	8.67
COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1.39 0.00	$\nabla$ 0.99 0.00	1.28 0.05	1.12 0.00	1.41 0.20	1.60 0.27	$\Delta$ 2.11 0.00	1.21 0.00	1.40
DIN ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta$ 14.67 0.00	9.34 0.00	7.57 1.89	9.85 0.00	1.96 0.35	1.91 0.39	1.75 0.00	$\nabla$ 1.36 0.00	8.58
$\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta$ 2.54 0.00	0.89 0.00	1.18 0.23	0.64 0.00	0.60 0.16	0.89 0.25	0.66 0.00	$\nabla$ 0.51 0.00	1.50
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta$ 0.59 0.00	0.42 0.00	0.41 0.14	0.26 0.00	$\nabla$ 0.10 0.04	$\nabla$ 0.09 0.00	$\nabla$ 0.10 0.00	0.10 0.00	0.38
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta$ 10.46 0.00	8.00 0.00	5.59 1.68	9.58 0.00	1.49 0.45	0.72 0.29	$\nabla$ 0.39 0.00	$\nabla$ 0.43 0.00	5.99
TN ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta$ 31.63 0.00	27.08 0.00	24.08 1.60	22.54 0.00	17.23 1.56	19.42 4.04	23.85 0.00	$\nabla$ 13.84 0.00	23.91
DIP ( $\mu\text{M}$ )	0.36 0.00	$\Delta$ 0.46 0.00	0.29 0.05	$\Delta$ 0.49 0.00	0.18 0.03	0.11 0.01	0.12 0.00	$\nabla$ 0.05 0.00	0.43
TP ( $\mu\text{M}$ )	0.99 0.00	$\Delta$ 1.24 0.00	0.92 0.10	0.99 0.00	0.81 0.18	0.73 0.11	1.02 0.00	$\nabla$ 0.59 0.00	1.15
$\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{M}$ )	3.43 0.00	$\Delta$ 14.10 0.00	9.14 3.61	4.96 0.00	11.18 5.67	2.09 0.46	7.50 0.00	$\nabla$ 0.83 0.00	10.29
pH	8.10 0.00	$\nabla$ 7.99 0.00	8.14 0.06	8.07 0.00	8.13 0.02	8.15 0.01	$\Delta$ 8.29 0.00	8.23 0.00	8.12
SS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	12.00 0.00	$\Delta$ 34.00 0.00	11.06 4.54	15.40 0.00	14.08 5.10	8.00 0.57	6.60 0.00	7.60 0.00	12.99
Chl- <i>a</i> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	2.50 0.00	$\nabla$ 2.15 0.00	3.59 0.67	$\nabla$ 2.06 0.00	3.06 0.84	2.23 0.45	$\Delta$ 6.24 0.00	2.52 0.00	2.78
Transparency (m)	1.50 0.00	0.90 0.00	1.92 0.77	1.40 0.00	1.71 0.68	2.80 0.42	2.45 0.00	$\Delta$ 5.50 0.00	2.34
Areas	ES01	ES05	ES06~07 ES11, ES14~15	ES02	ES08~10 ES12	ES03~04	ES13	ES16	

(ES14), 태화강하구(ES15)로 황해 남부와 남해에 있는 하구-만이며, 수질 환경 특성은 보이지 않았다. 그룹 G4는 가로림만(ES02)이며, 봄철에 DIP( $\Delta$ 0.06 $\mu\text{M}$ )가 높은 값을 보였으며, Chl-*a*( $\nabla$ 0.72 $\text{mg}^{-1}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 C5는 득량만(ES08), 여자만(ES9), 가막만(ES10), 진주만(ES12)으로 남해에 있는 만 해역이며, 봄철에 수온( $\Delta$ 2.95 $^{\circ}\text{C}$ )이 높고, DO( $\nabla$ 0.47 $\text{mg}^{-1}$ ),  $\text{NO}_2^-$ ( $\nabla$ 0.28 $\mu\text{M}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G6는 천수만(ES03)와 금강하구(ES04)로 구성된 황해 중부에 있는 하구-만이며, 봄철에  $\text{NO}_2^-$ ( $\nabla$ 0.29 $\mu\text{M}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G7은 진해만(ES13)이며, 봄철에

COD( $\Delta$ 2.11 $\text{mg}^{-1}$ ), pH( $\Delta$ 0.17), Chl-*a*( $\Delta$ 3.46 $\text{mg}^{-1}$ )가 높은 값을 보였으며,  $\text{NO}_2^-$ ( $\nabla$ 0.28 $\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $\nabla$ 5.6 $\mu\text{M}$ ), SS( $\nabla$ 6.39 $\text{mg}^{-1}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G8은 영일만(ES16)이며, 봄철에 염분( $\Delta$ 1.83psu), DO( $\Delta$ 0.85 $\text{mg}^{-1}$ ), 투명도( $\Delta$ 3.16m)가 높은 값을 보였으며, DIN( $\nabla$ 7.22 $\mu\text{M}$ ),  $\text{NH}_4^+$ ( $\nabla$ 0.99 $\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $\nabla$ 5.56 $\mu\text{M}$ ), TN( $\nabla$ 10.07 $\mu\text{M}$ ), DIP( $\nabla$ 0.38 $\mu\text{M}$ ),  $\text{SiO}_2$ ( $\nabla$ 9.46 $\mu\text{M}$ )가 낮은 값을 보였다.

### 3.3 여름철 수질 환경 특성

여름철을 분석한 결과, 해역별로 유사한 특성을 보

**Table 4.** Summer means and standard deviations (STD) of water quality parameters in each group identified by the hierarchical cluster analysis in Figure 3b. Symbols are used to show higher ( $\Delta$ ) or lower ( $\nabla$ ) values than summer means in all estuary and bay areas

Water quality parameters	Clusters						G1~G6
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	
	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean
Temperature (°C)	25.11 0.00	$\Delta$ 27.98 0.00	26.42 1.46	$\nabla$ 23.43 2.58	25.92 0.00	$\nabla$ 23.49 0.00	25.39
Salinity (psu)	$\nabla$ 28.41 0.00	31.30 0.00	30.96 0.73	31.72 0.42	28.97 0.00	$\Delta$ 32.80 0.00	30.69
DO (mg L <sup>-1</sup> )	6.98 0.00	$\nabla$ 6.56 0.00	7.30 0.28	8.52 0.34	7.77 0.00	$\Delta$ 8.80 0.00	7.66
COD (mg L <sup>-1</sup> )	1.66 0.00	$\nabla$ 1.06 0.00	1.65 0.37	$\Delta$ 2.12 0.70	1.62 0.00	1.42 0.00	1.59
DIN (μM)	$\Delta$ 21.96 0.00	12.11 0.00	3.74 1.68	3.67 0.71	12.91 0.00	$\nabla$ 1.78 0.00	9.36
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	$\Delta$ 6.47 0.00	$\nabla$ 0.83 0.00	1.13 0.34	0.99 0.08	1.24 0.00	0.98 0.00	1.94
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μM)	1.26 0.00	1.08 0.00	0.28 0.18	0.21 0.09	$\Delta$ 1.39 0.00	$\nabla$ 0.14 0.00	0.73
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μM)	10.06 0.00	9.56 0.00	1.32 0.99	1.80 1.22	$\Delta$ 10.41 0.00	$\nabla$ 0.54 0.00	5.62
TN (μM)	$\Delta$ 41.71 0.00	32.79 0.00	21.39 5.74	21.93 3.25	32.35 0.00	$\nabla$ 14.06 0.00	27.37
DIP (μM)	$\Delta$ 0.94 0.00	0.73 0.00	0.31 0.09	0.20 0.03	0.38 0.00	$\nabla$ 0.10 0.00	0.44
TP (μM)	$\Delta$ 1.76 0.00	1.49 0.00	1.14 0.21	1.06 0.21	1.04 0.00	$\nabla$ 0.66 0.00	1.19
SiO <sub>2</sub> (μM)	16.53 0.00	$\Delta$ 22.07 0.00	15.75 5.84	5.96 1.08	17.29 0.00	$\nabla$ 2.20 0.00	13.30
pH	$\nabla$ 7.96 0.00	$\nabla$ 7.98 0.00	8.10 0.06	$\Delta$ 8.19 0.05	8.15 0.00	$\Delta$ 8.20 0.00	8.09
SS (mg L <sup>-1</sup> )	10.60 0.00	$\Delta$ 21.30 0.00	9.85 2.08	$\nabla$ 6.03 0.21	9.80 0.00	6.70 0.00	10.71
Chl- <i>a</i> (μg L <sup>-1</sup> )	2.62 0.00	$\nabla$ 2.43 0.00	4.22 1.25	$\Delta$ 5.60 0.78	4.92 0.00	2.54 0.00	3.72
Transparency (m)	1.60 0.00	$\nabla$ 0.85 0.00	1.88 0.45	2.42 0.28	1.50 0.00	$\Delta$ 5.00 0.00	2.21
Areas	ES01	ES05	ES02-04, ES07-12	ES13-15	ES06	ES16	

이는 6개의 그룹으로 분류되었다(Fig. 3b). 6개 그룹의 수질항목 별 평균을 비교하여, 각 그룹의 수질환경 특성을 선정하였다(Table 4). 그룹 G1은 한강하구(ES01)이며, 여름철에 DIN( $\Delta$ 12.6μ M), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>( $\Delta$ 4.53μ M), TN( $\Delta$ 14.34μ M), DIP( $\Delta$ 0.5μ M), TP( $\Delta$ 0.57μ M)가 높은 값을 보였으며, 염분( $\nabla$ 2.28psu), pH( $\nabla$ 0.13)가 낮은 값을 보였다. 그룹 G2는 함평만(ES05)이며, 여름철에 수온( $\Delta$ 2.59°C), SiO<sub>2</sub>( $\Delta$ 8.77μ M), SS( $\Delta$ 10.59mg<sup>-1</sup>)가 높은 값을 보였으며, DO( $\nabla$ 1.1mg<sup>-1</sup>), COD( $\nabla$ 0.53mg<sup>-1</sup>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>( $\nabla$ 1.11μ M), pH( $\nabla$ 0.11), Chl-*a*( $\nabla$ 1.29mg<sup>-1</sup>), 투명도( $\nabla$ 1.36m)가 낮은 값을 보였다. 그룹

G3는 가로림만(ES02), 천수만(ES03), 금강하구(ES04), 도암만(ES07), 득량만(ES08), 여자만(ES09), 가막만(ES10), 섬진강하구(ES11)로 황해 중부와 남해에 있는 하구·만이며, 수질 환경 특성은 보이지 않았다. 그룹 G4는 진해만(ES13), 낙동강하구(ES14), 태화강하구(ES15)로 구성된 대한해협에 있는 하구·만이며, 여름철에 COD( $\Delta$ 0.53mg<sup>-1</sup>), pH( $\Delta$ 0.1), Chl-*a*( $\Delta$ 1.88μ g<sup>-1</sup>)가 높은 값을 보였으며, 수온( $\nabla$ 1.96°C), SS( $\nabla$ 4.68mg<sup>-1</sup>)가 낮은 값을 보였다. 그룹 G5는 영산강하구(ES06)이며, 여름철에 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>( $\Delta$ 0.66μ M), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>( $\Delta$ 4.79μ M)가 높은 값을 보였다. 그룹 G6는 영일만(ES16)이



며, 여름철에 염분( $\Delta 2.11\text{psu}$ ), DO( $\Delta 1.14\text{mg}^{-1}$ ), pH( $\Delta 0.11$ ), 투명도( $\Delta 2.79\text{m}$ )가 높은 값을 보였으며, 수온( $\nabla 1.9^\circ\text{C}$ ), DIN( $\nabla 7.58\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_2^-$ ( $\nabla 0.59\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $\nabla 5.08\mu\text{M}$ ), TN( $\nabla 13.31\mu\text{M}$ ), DIP( $\nabla 0.34\mu\text{M}$ ), TP( $\nabla 0.53\mu\text{M}$ ),  $\text{SiO}_2$ ( $\nabla 11.1\mu\text{M}$ )가 낮은 값을 보였다.

### 3.4 가을철 수질 환경 특성

가을철을 분석한 결과, 해역별로 유사한 특성을 보이는 7개의 그룹으로 분류되었다(Fig. 3c). 7개 그룹의 수질항목 별 평균을 비교하여, 각 그룹의 수질환경 특성을 선정하였다(Table 5). 그룹 G1은 한강하구(ES01)

이며, 가을철에 DIN( $\Delta 8.64\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_2^-$ ( $\Delta 1.01\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $\Delta 6.86\mu\text{M}$ ), TN( $\Delta 8.86\mu\text{M}$ ), DIP( $\Delta 0.4\mu\text{M}$ )가 높은 값을 보였으며, 염분( $\nabla 1.5\text{psu}$ ), Chl-*a*( $\nabla 0.76\text{mg}^{-1}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G2는 함평만(ES05)이며, 가을철에 TP( $\Delta 0.89\mu\text{M}$ ),  $\text{SiO}_2$ ( $\Delta 6.19\mu\text{M}$ ), SS( $\Delta 37.22\text{mg}^{-1}$ )가 높은 값을 보였으며, 수온( $\nabla 1.7^\circ\text{C}$ ),  $\text{NH}_4^+$ ( $\nabla 1.55\mu\text{M}$ ), pH( $\nabla 0.04$ ), 투명도( $\nabla 2.34\text{m}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G3는 영산강하구(ES06), 섬진강하구(ES11), 진주만(ES12)으로 황해와 남해에 있는 하구-만이며, 수질 환경 특성은 보이지 않았다. 그룹 G4는 가로림만(ES02), 천수만(ES03), 금강하구(ES04), 도암만(ES07), 득량만(ES08), 여자만

**Table 5.** Fall means and standard deviations (STD) of water quality parameters in each group identified by the hierarchical cluster analysis in Figure 3c. Symbols are used to show higher ( $\Delta$ ) or lower ( $\nabla$ ) values than autumn means in all estuary and bay areas

Water quality parameters	Clusters							G1~G7
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	
	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean
Temperature ( $^\circ\text{C}$ )	15.39 0.00	$\nabla 14.46$ 0.00	16.78 1.20	15.80 0.77	16.86 0.12	16.24 0.00	$\Delta 17.62$ 0.00	16.16
Salinity (psu)	$\nabla 30.32$ 0.00	31.64 0.00	31.47 0.51	31.81 0.30	32.81 0.18	$\Delta 33.03$ 0.00	31.70 0.00	31.82
DO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	7.96 0.00	8.17 0.00	7.96 0.34	8.01 0.21	$\nabla 7.37$ 0.08	$\Delta 8.51$ 0.00	7.77 0.00	7.96
COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1.33 0.00	1.28 0.00	1.01 0.13	1.15 0.11	1.08 0.00	$\nabla 0.96$ 0.00	$\Delta 1.55$ 0.00	1.19
DIN ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta 19.99$ 0.00	13.69 0.00	12.31 1.23	7.00 1.84	12.60 4.59	$\nabla 5.71$ 0.00	8.17 0.00	11.35
$\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{M}$ )	3.11 0.00	$\nabla 0.64$ 0.00	1.92 0.87	1.50 0.57	3.29 2.40	1.12 0.00	$\Delta 3.79$ 0.00	2.19
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta 2.00$ 0.00	0.97 0.00	1.28 0.17	0.63 0.16	0.67 0.09	$\nabla 0.43$ 0.00	0.99 0.00	0.99
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta 14.63$ 0.00	12.29 0.00	8.18 3.04	4.17 1.85	7.87 1.37	$\nabla 2.83$ 0.00	4.42 0.00	7.77
TN ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta 32.92$ 0.00	28.85 0.00	24.34 2.25	20.45 1.52	23.93 4.94	$\nabla 14.21$ 0.00	23.73 0.00	24.06
DIP ( $\mu\text{M}$ )	$\Delta 1.10$ 0.00	0.88 0.00	0.77 0.12	0.57 0.13	0.67 0.12	$\nabla 0.17$ 0.00	0.73 0.00	0.70
TP ( $\mu\text{M}$ )	1.67 0.00	$\Delta 2.24$ 0.00	1.22 0.15	1.14 0.20	0.99 0.01	$\nabla 0.69$ 0.00	1.54 0.00	1.35
$\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{M}$ )	14.24 0.00	$\Delta 22.14$ 0.00	16.86 1.98	13.22 4.08	14.60 0.09	$\nabla 8.67$ 0.00	21.95 0.00	15.95
pH	8.07 0.00	$\nabla 8.04$ 0.00	8.07 0.01	8.09 0.02	$\Delta 8.13$ 0.01	8.12 0.00	8.06 0.00	8.08
SS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	14.30 0.00	$\Delta 51.60$ 0.00	9.28 1.85	12.10 3.94	4.68 0.67	5.10 0.00	$\nabla 3.60$ 0.00	14.38
Chl- <i>a</i> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	$\nabla 1.51$ 0.00	1.82 0.00	1.95 0.14	2.24 0.94	$\nabla 1.52$ 0.07	1.78 0.00	$\Delta 5.06$ 0.00	2.27
Transparency (m)	1.80 0.00	$\nabla 0.30$ 0.00	2.06 0.05	1.70 0.60	3.60 0.14	$\Delta 5.50$ 0.00	3.50 0.00	2.64
Areas	ES01	ES05	ES06, ES11~12	ES02~04, ES07~10	ES14, ES15	ES16	ES13	

(ES09), 가막만(ES10)로 구성된 황해 중부와 남해에 있는 만 해역이며, 수질 환경 특성은 보이지 않았다. 그룹 G5는 낙동강하구(ES14), 태화강하구(ES15)로 구성된 대한해협에 있는 하구이며, 가을철에 pH( $\Delta 0.05$ )가 높은 값을 보였으며, DO( $\nabla 0.59\text{mg}^{-1}$ )와 Chl-*a*( $\nabla 0.75\mu\text{g}^{-1}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G6는 영일만(ES16)이며, 가을철에 염분( $\Delta 1.21\text{psu}$ ), DO( $\Delta 0.55\text{mg}^{-1}$ ), 투명도( $\Delta 2.86\text{m}$ )가 높은 값을 보였으며, COD( $\nabla 0.23\text{mg}^{-1}$ ), DIN( $\nabla 5.64\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_2^-$ ( $\nabla 0.56\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $\nabla 4.94\mu\text{M}$ ), TN( $\nabla 9.85\mu\text{M}$ ), DIP( $\nabla 0.53\mu\text{M}$ ), TP( $\nabla 0.66\mu\text{M}$ ),  $\text{SiO}_2$ ( $\nabla 7.28\mu\text{M}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G7은 진해만(ES13)이며, 가을철에 수온( $\Delta$

$1.46^\circ\text{C}$ ), COD( $\Delta 0.36\text{mg}^{-1}$ ),  $\text{NH}_4^+$ ( $\Delta 1.6\mu\text{M}$ ), Chl-*a*( $\Delta 2.79\mu\text{g}^{-1}$ )가 높은 값을 보였으며, SS( $\nabla 10.78\text{mg}^{-1}$ )가 낮은 값을 보였다.

### 3.5 겨울철 수질 환경 특성

겨울철을 분석한 결과, 해역별로 유사한 특성을 보이는 6개의 그룹으로 분류되었다(Fig. 3d). 6개 그룹의 수질 항목별 평균을 비교하여, 각 그룹의 수질 환경 특성을 선정하였다(Table 6). 그룹 G1은 낙동강하구(ES14)와 영일만(ES16)이며, 겨울철에 염분( $\Delta 1.91\text{psu}$ ), 투명도( $\Delta 2.16\text{m}$ )가 높은 값을 보였으며, COD( $\nabla 0.54\text{mg}^{-1}$ ),

**Table 6.** Winter means and standard deviations (STD) of water quality parameters in each group identified by the hierarchical cluster analysis in Figure 3d. Symbols are used to show higher ( $\Delta$ ) or lower ( $\nabla$ ) values than winter means in all estuary and bay areas

Water quality parameters	Clusters						G1~G6
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	
	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean STD	Mean
Temperature ( $^\circ\text{C}$ )	10.65 0.84	$\Delta 11.14$ 0.00	4.14 0.57	5.99 0.85	$\nabla 2.65$ 0.00	3.01 0.00	2.27
Salinity (psu)	$\Delta 33.91$ 0.05	33.43 0.00	31.76 0.29	33.12 0.26	$\nabla 31.18$ 0.00	31.92 0.00	32.00
DO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	9.26 0.21	$\nabla 8.69$ 0.00	11.32 0.18	10.82 0.22	$\Delta 11.63$ 0.00	$\Delta 11.55$ 0.00	8.67
COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$\nabla 0.86$ 0.06	1.14 0.00	1.27 0.17	1.29 0.26	$\Delta 1.62$ 0.00	1.52 0.00	1.40
DIN ( $\mu\text{M}$ )	9.14 1.02	17.51 0.00	10.65 2.00	$\nabla 2.58$ 1.15	$\Delta 23.69$ 0.00	10.29 0.00	8.58
$\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{M}$ )	1.49 0.82	$\Delta 4.00$ 0.00	$\nabla 0.64$ 0.23	0.80 0.46	3.79 0.00	1.57 0.00	1.50
$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{M}$ )	0.44 0.02	$\Delta 0.60$ 0.00	0.20 0.09	$\nabla 0.11$ 0.06	0.49 0.00	$\nabla 0.10$ 0.00	0.38
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{M}$ )	6.83 0.46	12.44 0.00	9.70 2.22	$\nabla 1.48$ 1.01	$\Delta 19.91$ 0.00	9.00 0.00	5.99
TN ( $\mu\text{M}$ )	17.65 3.67	33.92 0.00	24.13 3.60	$\nabla 16.57$ 2.86	$\Delta 37.05$ 0.00	28.92 0.00	23.91
DIP ( $\mu\text{M}$ )	0.43 0.06	$\Delta 0.80$ 0.00	0.51 0.20	$\nabla 0.23$ 0.07	0.76 0.00	0.52 0.00	0.43
TP ( $\mu\text{M}$ )	$\nabla 0.77$ 0.08	1.03 0.00	1.09 0.17	0.90 0.22	1.68 0.00	$\Delta 1.98$ 0.00	1.15
$\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{M}$ )	10.44 0.10	13.53 0.00	10.96 1.63	$\nabla 3.86$ 3.24	14.55 0.00	$\Delta 16.17$ 0.00	10.29
pH	8.13 0.02	8.09 0.00	8.16 0.08	$\Delta 8.23$ 0.02	8.12 0.00	$\nabla 8.01$ 0.00	8.12
SS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$\nabla 5.15$ 0.92	7.00 0.00	14.84 3.88	13.17 6.71	21.65 0.00	$\Delta 44.80$ 0.00	12.99
Chl- <i>a</i> ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	1.20 0.18	$\nabla 0.92$ 0.00	3.74 1.89	2.73 0.72	$\Delta 5.00$ 0.00	2.17 0.00	2.78
Transparency (m)	$\Delta 4.50$ 2.12	2.50 0.00	1.31 0.29	1.91 0.99	1.00 0.00	$\nabla 0.40$ 0.00	2.34
Areas	ES14, ES16	ES15	ES02-04, ES06	ES07-13	ES01	ES05	

TP( $\nabla 0.38\mu\text{M}$ ), SS( $\nabla 7.84\text{mg}^{-1}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G2는 태화강하구(ES15)이며, 겨울철에 수온( $\Delta 8.87^\circ\text{C}$ ),  $\text{NH}_4^+$ ( $\Delta 2.5\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_2^-$ ( $\Delta 0.22\mu\text{M}$ ), DIP( $\Delta 0.37\mu\text{M}$ )가 높은 값을 보였으며, DO( $\nabla 0.02\text{mg}^{-1}$ ), Chl-*a*( $\nabla 1.86\mu\text{g}^{-1}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G3는 가로림만(ES02), 천수만(ES03), 금강하구(ES04), 영산강하구(ES06)로 황해에 있는 하구-만이며, 겨울철에  $\text{NH}_4^+$ ( $\nabla 0.86\mu\text{M}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G4는 도암만(ES07), 득량만(ES08), 여자만(ES09), 가막만(ES10), 섬진강하구(ES11), 진주만(ES12), 진해만(ES13)로 남해에 있는 하구-만이며, 겨울철에 pH( $\Delta 0.11$ )가 높은 값을 보였으며, DIN( $\nabla 6.00\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_2^-$ ( $\nabla 0.27\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $\nabla 4.51\mu\text{M}$ ), TN( $\nabla 7.34\mu\text{M}$ ), DIP( $\nabla 0.2\mu\text{M}$ ),  $\text{SiO}_2$ ( $\nabla 6.43\mu\text{M}$ )가 낮은 값을 보였다. 그룹 G5는 한강하구(ES01)이며, 겨울철에 DO( $\Delta 2.96\text{mg}^{-1}$ ), COD( $\Delta 0.22\text{mg}^{-1}$ ), DIN( $\Delta 15.11\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $\Delta 13.92\mu\text{M}$ ), TN( $\Delta 13.14\mu\text{M}$ ), Chl-*a*( $\Delta 2.22\mu\text{g}^{-1}$ )가 높은 값을 보였으며, 수온( $\nabla 0.38^\circ\text{C}$ ), 염분( $\nabla 0.82\text{psu}$ )이 낮은 값을 보였다. 그룹 G6는 함평만(ES05) 해역이며, 겨울철에 DO( $\Delta 2.88\text{mg}^{-1}$ ), TP( $\Delta 0.83\mu\text{M}$ ),  $\text{SiO}_2$ ( $\Delta 5.88\mu\text{M}$ ), SS( $\Delta 31.81\text{mg}^{-1}$ )가 높은 값을 보였으며,  $\text{NO}_2^-$ ( $\nabla 0.28\mu\text{M}$ ), pH( $\nabla 0.11$ ), 투명도( $\nabla 1.94\text{m}$ )가 낮은 값을 보였다.

## 4. 고찰

집괴분석 결과, 해역의 연평균과 계절별 특성에 따라 황해 중부의 하구-만 그룹, 남해의 하구-만 그룹, 큰도시가 조성된 하구, 대한해협 하구-만 그룹으로 묶이는 수질 환경 특성을 보였다. 그러나 한강하구, 함평만, 영일만, 진해만, 가로림만, 영산강하구, 태화강하구는 그룹으로 묶이지 않고 독립적인 수질 환경 특성을 보였다. 연구 결과를 토대로 독립적인 수질 특성을 보이는 7개 해역을 대상으로 높은 농도와 낮은 농도를 보이는 특정 수질 항목을 선행연구를 통해 분석하였다.

### 4.1 한강하구

한강하구(ES01)는 계절에 상관없이 연중 내내 DIN( $\Delta 6.09\sim 15.11\mu\text{M}$ ), TN( $\Delta 7.27\sim 14.34\mu\text{M}$ ), DIP( $\Delta 0.33\mu\text{M}$ ), TP( $\Delta 0.32\sim 0.57\mu\text{M}$ )로 전 해역 평균보다 월등히 높은 값을 보였다. 용존무기영양염류는 주로 육상기원으로 지화학적 풍화작용에 의해 하천수를 통하여 해양으로 유입되기도 하지만 한강의 주된 유입원은 한강수 및 주변 연안공단의 오·폐수, 생활하수 등의 유입에 의한 것으로 알려져 있다(Park et al., 2000; Kim et al., 2004). 본 연구의 한강하구 범위와 비슷한

연구를 수행한 Lim et al. (2007)의 결과를 보면, 연구해역의 DIN/DIP 비는 전체적으로 7.5~71.1 (평균 33.3) 범위이며, 계절별 평균은 봄 44.8, 여름 39.2, 가을 13.5 그리고 겨울은 35.4이다. 가을철을 제외한 모든 계절에서 DIN/DIP 비는 Redfield 비인 16 이상으로 높았으며, 이는 대부분 생활하수 및 오·폐수에 의한 높은 농도의 용존무기질소 유입 때문으로 제시되었다. 본 연구의 경우에도 DIN/DIP 비가 연평균 26.3이며, 봄철 40.75, 여름철 23.36, 가을철 19.99, 겨울철 31.17로 높은 농도를 보였다. Kwon et al. (2006)은 한강하구의 영양염류는 모든 계절에서 상시 높은 수준으로 유지된 바, 계절의 영향보다는 하천 유입에 따른 누적 오염부하가 영향이 더 클 것으로 예상한 바 있다. 본 연구 결과도 마찬가지로 한강하구가 사계절 내내 오염물질이 유입되는 지역임을 뒷받침하고 있다.

### 4.2 함평만

함평만(ES05)은 계절에 상관없이 연중 내내 TP( $\Delta 0.09\sim 0.89\mu\text{M}$ ),  $\text{SiO}_2$ ( $\Delta 3.81\sim 8.77\mu\text{M}$ ), SS( $\Delta 10.59\sim 37.22\text{mg}^{-1}$ )로 전 해역 평균보다 높은 농도를 보였다. 함평만의 경우, 수질 관점의 연구보다는 퇴적물의 이동(Chu et al., 2000), 조위변화에 따른 영양염 변동(Kang et al. 2009), 해수 물성 구조 및 조류 특성(Lee et al., 2009), 함평만의 유입오염부하량 및 물질수지에 관한 연구(Kim et al., 2016) 등 수질과 물리해양학이 같이 수행되는 연구가 진행되었다. 위 연구 내용으로 함평만의 인, 규산규소, 부유물질의 높은 농도에 대해 유추해 볼 수 있으나 정확한 이유는 파악할 수 없었다. Kim et al. (2016)은 함평만의 물질수지 결과를 박스모델에 적용하여 해역 질소와 인의 특성을 나타내었는데, 7월에 강우의 영향을 받아 영양염류가 부하되며, 담수는 52.4일 정도 체류하는 것으로 나타났다. DIN는만으로 유입되어 식물플랑크톤에 의해 고정되거나 외해로 유출되는 특성을 보였고, DIP의 경우 만내 유기체의 분해에 의해 공급, 조류로 인한 퇴적물 용출, 하천을 통한 부하가 큰 것으로 나타났다. Kang et al. (2009) 연구에 따르면 함평만 내로 공급되는 인위적인 오염원은 없으며, 반폐쇄적인 만의 지형적 특성에 따라 갯벌이 규산염, 용존무기인, 용존무기질소가 여름에 유입되고 겨울에 제거됨을 밝힌바 있다. 이와 같이 함평만은 갯벌에서 영양염의 농도를 변화시키는 복합적인 요인이 작용하는 것으로 보인다. 함평만 내의 부유물질의 농도가 높은 이유는 Chu et al., (2000)의 연구에서 유추해 볼 수 있다. 함평만은 조석이 우세한 환경으로 조차가 커 좁은 입구에서 빠른 조류가 생겨 침식과 재부유가 활발하며, 대부분 세립질 퇴적물로 천

천히 가라앉아 부유물질 농도가 높다고 제시하였다.

### 4.3 영일만

영일만(ES16)은 계절에 상관없이 연중 내내 다른 해역보다 영양염류인 DIN( $\nabla 5.28\sim 7.58\mu\text{M}$ ),  $\text{NH}_4^+$ ( $\nabla 0.63\sim 1.07\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_2^-$ ( $\nabla 0.18\sim 0.59\mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $\nabla 4.35\sim 5.56\mu\text{M}$ ), TN( $\nabla 9.63\sim 13.31\mu\text{M}$ ), DIP( $\nabla 0.27\sim 0.53\mu\text{M}$ ), TP( $\nabla 0.48\sim 0.66\mu\text{M}$ ),  $\text{SiO}_2$ ( $\nabla 5.94\sim 7.28\mu\text{M}$ )의 농도가 상대적으로 낮은 값을 보였다. 영일만은 포항제철 등 대규모 산업단지의 산업폐수와 도시의 생활폐수 등이 유입되어 수질이 악화되고 있는 실정이다(Kang at al., 2002, Yoon at al., 2003). 또한 도시 산업단지가 위치한 형산강, 냉천 등의 하천수 유입은 영일만의 영양염 증가에 영향을 미친다(Kim at al., 2004). 그러나, 본 연구의 17년 장기 모니터링 결과, 낮은 영양염 농도를 보였다. 2004년 포항 하수종말처리장(8만t)시설이 설치된 이후, 2007년 증설공사를 시작하였으며, 2009년 공공하수처리시설 신설, 2014년 포항시 시가지 하수관 정비 공사추진, 하수 재이용처리시설 설치 등 2030년까지 하수도 보급률 97.7%를 달성 목표로 추진 중이다(포항시, 하수도정비기본계획(변경), 2017). Kwon at al. (2019)은 2013~2017년 동해 연안의 해양 환경과 영양염의 시간적 변동 연구를 수행하였다. 연구 범위는 속초, 죽변, 감포 연안으로 영일만 해역과는 거리가 있지만, 영양염 범위를 파악해 볼 수 있었다. 연구기간 동안 동해 연안의 DIN은  $0.11\sim 24.19\mu\text{M}$ , DIP는  $0.01\sim 1.53\mu\text{M}$ ,  $\text{SiO}_2$ 는  $0.17\sim 32.80\mu\text{M}$ 의 범위를 보였으며, N:P (질산성질소:인산염) 비는 11.67~13.75 범위로 Redfield 비가 16 보다 낮아, 동해 연안에서는 질산 질소가 식물플랑크톤의 성장 제한 영양염으로 보였다. 본 연구의 영일만은 연평균 DIN  $3.30\mu\text{M}$ , DIP  $0.16\mu\text{M}$ ,  $\text{SiO}_2$   $4.35\mu\text{M}$ 로 동해 영양염 범위 안에 들었다. 또한 N:P를 보면, 연평균 10.25, 봄철 8.6, 여름철 5.4, 가을철 6.1, 겨울철 17.3으로 16보다 낮거나 비슷한 수준을 보였다. 이는 포항시의 하수처리 사업 등으로 인해 영양염 유입이 줄어 영일만이 동해의 낮은 영양염 배경 수준을 보이는 것으로 판단된다.

### 4.4 진해만

진해만(ES13)은 연평균, 봄철, 가을철에 COD( $\Delta 0.36\sim 0.71\text{mg}^{-1}$ )와 Chl-*a*( $\Delta 2.22\sim 3.46\text{mg}^{-1}$ )의 농도가 높은 것으로 나타났다. 진해만 해역은 마산만, 행암만, 고현만, 원문만, 당항만, 진동만 등 여러 만들이 포함되어있고, 외해수의 유입이 약하여 반폐쇄성 해역에 속한다. 마산만은 2000년에 특별관리해역으로 지정된

후 2007년 화학적산소요구량(COD), 2012년 질소(DIN)와 인(DIP)에 대하여 오염총량관리가 수행 중이다(Kwon at al., 2014). 마산만과 진해만은 마산수와 창원시에서 유입되는 생활하수와 폐기물 등 오염물질의 지속적 공급으로 봄과 여름철에 저층 빈산소수괴를 발생하며, 10월까지 지속되는 것으로 알려져 있다(Kim at al., 2012). 또한 마산만의 높은 영양염으로 인하여 5월~9월 적조가 크게 일어나고 있는 실정이다(Park at al., 2012).

Kwon at al. (2014)의 2000~2012년 수질의 장기변동 결과를 보면, COD는 마산만과 행암만에서 높은 농도 범위를 보이며, 중앙부와 외만으로 갈수록 감소하였다. 이는 내만의 오염부하 영향이 크고 외만으로 갈수록 외해수와 혼합하여 오염 부하량이 완화된 것으로 추측했다. 본 연구에서 여름철과 겨울철에 COD 농도가 낮은 이유는 여름철 강수량의 증가로 마산만에 오염부하량이 증가하고 이로 인한 COD 농도가 높게 나타났으나 외만으로 내려오면서, 비에 의해 희석되고, 진해만에 위치한 다른 정점들의 낮은 COD 농도 값과 평균하여, 여름철 상대적으로 낮은 농도를 보인 것으로 판단된다. 겨울에는 마산만의 COD 부하량이 적어 낮은 값을 보인 것으로 해석된다.

진해만 전 해역의 수온의 범위는  $10.6\sim 25.7^\circ\text{C}$ 로 온대 해역의 특징을 보인다. 일반적으로 온대 해역의 연안 환경에서는 봄과 가을에 식물플랑크톤의 대증식이 일어나지만(Harvey, 1955), 남해의 내만처럼 수심이 얕고 여름철 강우로 인한 영양염 공급이 풍부한 지역은 광 조건의 충족되는 여름철에 식물플랑크톤의 대증식이 일어날 수 있다고 보고되고 있다(Chung at al., 2013). Na at al. (2021)의 연구에 따르면, Chl-*a*의 농도는 7월에 평균적으로 가장 높고(평균  $15.4\pm 4.3\mu\text{g}^{-1}$ ), 12월에 가장 낮게(평균  $3.5\pm 0.6\mu\text{g}^{-1}$ ) 관찰되었다. 그러나 7월 진동만 주변 정점에서 영양염 농도가 높음에도 불구하고 매우 낮은 Chl-*a* 값을 보이는 것을 확인하였다. 이는 7월에 고성천으로부터 유입된 담수가 원인으로 추정된다. 위 연구 결과를 토대로 유추해 보면, 본 연구에서 봄철과 가을철 Chl-*a*의 농도가 높은 것은 온대 해역의 일반적인 특징으로 인한 것으로 보이며, 여름철 Chl-*a*의 농도가 낮은 것은 고성만의 고성천 담수 유출로 Chl-*a* 농도가 매우 낮아져 진해만 다른 정점들과 Chl-*a*의 농도 값을 평균해 여름철 농도가 낮게 나온 것으로 보인다.

### 4.5 가로림만

가로림만(ES02)은 봄철에 DIP는  $0.49\pm 0.00\mu\text{M}$  (평균  $0.43\mu\text{M}$ )로 전 해역 평균보다 상대적으로 높은 값

을 보였으며, Chl-*a*는  $2.06 \pm 0.00 \mu\text{g}^{-1}$  (평균  $2.78 \mu\text{g}^{-1}$ )로 전 해역 평균에 비해 낮은 특성을 보였다. 가로림만은 수심이 얕으며 육지 쪽으로 깊숙이 만입된 반폐쇄성 형태를 띠고 있다. 큰 하천이 발달하지 못해 작은 지류를 통해 하천수가 유입되고 있으며, 만으로 유입되는 담수가 매우 제한되기 때문에 염분이 높고, 또한 공간 분포가 균일하다(Park at al., 2009; Nam at al., 2012). 가로림만의 수질과 관련된 연구는 Park at al. (2009)이 수행한 수질환경의 특성과 장기변동, Nam at al. (2012)이 수행한 이화학적 수질의 시·공간적 특성이 있다. 가로림만의 계절별 영양염 농도는 두 연구 모두 같은 결과를 제시하였는데, 담수 영향을 적게 받는 가로림만은 여름에 비해 겨울에 높은 영양염 농도를 보였으며, 그 요인은 겨울 혼합에 의한 해저 퇴적층에 있던 고농도의 영양염이 방출되었기 때문으로 설명하였다. 본 연구는 다른 해역의 평균 농도와 비교해서 나온 결과이고, 두 연구는 해역 내에서 계절별로 비교한 결과이기 때문에 다르게 나온 것으로 판단된다. 가로림만이 봄철에 독립적인 수질 환경 특성을 보인 요인을 찾기 위해 가로림만에 대한 추가적인 분석이 필요할 것으로 보인다.

#### 4.6 영산강하구

영산강하구(ES06)는 여름철에  $\text{NO}_2$   $1.39 \pm 0.00 \mu\text{M}$  (평균  $0.73 \mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3$   $10.41 \pm 0.00 \mu\text{M}$  (평균  $5.62 \mu\text{M}$ )로 전체 해역 평균보다 2배 이상의 높은 수질 환경 특성을 보였다. 영산강은 1981년 하구둑이 건설되고, 그로인한 유기물 증가와 수질의 부영양화 및 녹조 발생으로 하천 수질은 악화되고 있다(Cho, 2010; Kim at al., 2019). 하구둑과 금호방조제 건설 이후 목포 연안은 폐쇄성이 강한 해역으로 변화되었으며, 담수 방류, 육상이나 선박 등에서 각종 오염물질이 유입되면 외해로 쉽게 확산하지 못하고 축적되고 있다. 이 중 목포 주변 해역의 수질에 미치는 영향 인자 중 담수 방류에 의한 영향이 가장 크다(Cho, 2010). Cho (2010)의 연구에서는 2004년부터 2009년 수질의 영양염 및 식물플랑크톤 연변화를 보았는데, DIN은 2004년에 비해 2009년에 20배 낮은 값을 보였으며, 계절별로는 변동이 컸다고 하였다. DIP는 계절별 연도별 변화가 뚜렷하지 않았다고 하였다. Kim at al. (2019)의 연구에 따르면, 강수량이 많은 여름철 영산강 하구둑으로 하천수가 가장 많이 유입되고 있으며, 하천수가 유입된 후 DIN과 DIP가 높은 농도를 보여준다고 하였다.

#### 4.7 태화강하구

태화강하구(ES15)는 겨울철에  $11.14 \pm 0.00 \text{ } ^\circ\text{C}$  (평균

$2.27 \text{ } ^\circ\text{C}$ )로 다른 해역에 비해 높은 수온을 보였으며,  $\text{NH}_4^+$ 는  $4.00 \pm 0.00 \mu\text{M}$  (평균  $1.50 \mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_2$ 는  $0.60 \pm 0.00 \mu\text{M}$  (평균  $0.38 \mu\text{M}$ ),  $\text{NO}_3^-$ 는  $12.44 \pm 0.00 \mu\text{M}$  (평균  $5.99 \mu\text{M}$ ), DIP  $0.80 \pm 0.00 \mu\text{M}$  (평균  $0.43 \mu\text{M}$ )로 2배 이상의 높은 농도를 보였다. 반면에 Chl-*a*는  $0.92 \pm 0.00 \mu\text{g}^{-1}$  (평균  $2.78 \mu\text{g}^{-1}$ )로 다른 해역들보다 크게 낮은 농도 특성을 보였다.

태화강 주변에는 석유화학, 비철금속, 자동차 등을 기반으로 하는 대규모 산업단지가 조성되었고 대규모 인구가 유입되면서 태화강을 중심으로 신도시가 조성되어 울산시 인구 대부분이 태화강 유역 주변에 거주하고 있다(Hwang at al., 2015). 태화강하구인 울산만은 수심이 비교적 깊고 곧바로 외해와 연결되는 개방형만이다(Choi et al., 2005). 또한 2000년에 울산연안 특별관리해역이 지정되었으며, 2018년부터 퇴적물의 중금속(구리, 아연, 수은)을 대상으로 오염총량관리가 수행 중이다(해양수산부). 본 연구에서는 태화강하구가 다른 해역에 비해 겨울철에 높은 영양염과 낮은 Chl-*a* 농도를 보인다는 결과를 제시하였다. 요인에 대해 해석 하기에는 관련 연구와 자료가 부족해 한계가 있다. 태화강하구역의 연도별·계절별 수질항목 인자의 변화 경향, 태화강 하류에서 내려오는 오염부하량 및 하구 주변 오염에 대한 연구, 태화강 하류 및 하구 해역의 식물플랑크톤 계절별 연구 등 관련 연구 수행이 필요할 것으로 보인다.

### 5. 결론

본 연구는 한국 연안의 하천 영향해역과 반 폐쇄성 해역에서 수질 환경 특성을 파악하기 위해, 16개의 하구와 만으로 구획한 해역에서 관측된 16개의 수질 항목 인자를 이용하여 계층구조집괴분석법(Hierarchical Clustering method)을 적용하였다.

집괴분석 결과, 대부분 황해 중부의 하구·만, 남해의 하구·만, 큰 도시가 조성된 하구로 묶였으며, 한강하구, 함평만, 영일만, 진해만은 독립적인 수질 환경 특성을 보였다. 한강하구는 DIN, TN, DIP, TP, 함평만은 DIP, TP,  $\text{SiO}_2$ , SS가 다른 해역과 비교하여, 연중 내내 높은 농도를 보였으며, 영일만은 DIN, TN, DIP, TP,  $\text{SiO}_2$ 가 다른 해역에 비해 사계절 내내 낮은 농도를 보였다. 진해만은 연평균, 봄철, 가을철에 COD와 Chl-*a*가 다른 해역에 비해 높은 농도로 특이한 수질 환경 특성을 보였으나, 여름철과 겨울철에는 그런 경향이 나타나지 않았다. 계절의 변화에 따라 묶이는 그룹의 구성도 조금씩 달라졌으며, 그룹에 포함되지 않고 특정 계절에 독립적인 수질 환경 특성을 보이는 해역이

나타났다. 가로림만은 봄철, 영산강하구는 여름철, 태화강하구는 겨울철에 특이한 수질 환경 특성을 보였다. 가로림만은 봄철에 DIP가 다른 해역보다 높은 농도를 보였고, Chl-a는 낮은 농도를 보였다. 영산강하구는 여름철에 다른 해역보다 DIN이 높은 농도를 보였다. 태화강하구는 겨울철에 다른 해역보다 높은 수온을 보였고, DIN와 DIP가 높은 농도를 보였으며, Chl-a는 낮은 농도를 보였다.

우리나라 해역은 서해와 남해, 하천 영향과 반폐쇄성 해역으로 수질 특성이 구분되기도 하나, 지역 환경에 따라 상이한 수질 특성을 보이는 해역들이 존재하였다. 본 연구에서는 이와 같은 해역별 독특한 수질 환경 특성에 대한 주요 요인을 제시하지는 않았지만, 향후 수질 환경 인자에 영향을 미칠 수 있는 주변 환경 여건, 점·비점 오염원 등에 대한 조사 및 수치모델을 이용한 정량적 평가를 통한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각되며, 이러한 자료를 토대로 해역에 따른 수질 관리를 수행하게 된다면 더욱 효과적인 정책 방안이 될 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2023년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받은 ‘과학기술기반 해양환경영향평가 기술개발(2021-0427)’, ‘4대강 물길복원에 따른 연안하구역 환경, 생태계 모니터링 및 활용기술 개발(RS-2023-00238486)’, ‘쿠로시오 해류로 인한 한반도 해양위기 대응기술 개발(RS-2023-00256330)’ 연구사업의 지원을 받아 수행하였습니다. 논문을 세심하게 검토해 주신 심사위원회께 감사를 드립니다.

### References

1. Cho, E.S., 2010. Variations in Marine Environments and Phytoplankton Community around Mokpo Harbour, J. Environ. Sci., 19(11), 1323-1336.
2. Choi, M.K., Choi, H.G., Kim, S.S., Moon, H.B., 2005. Evaluation of sewage-derived organic matter using fecal sterols in the sediments from Ulsan Bay and adjacent areas. J. Environ. Sci., 14, 23-32.
3. Chu, Y.S., Lee, H.J., Park, E.S., Lee, Y.G., Jeong, K.S., 2000. Summer-Time Behaviour and Flux of Suspended Sediments at the Entrance to Semi-Closed Hampyung Bay, Southwestern Coast of Korea. The Sea, 5(2), 105-118.
4. Chung, M.H., Youn, S.H., 2013. Temporal and Spatial Variability of Phytoplankton Communities in the Nakdong River Estuary and Coastal Area, 2011-2012. The Sea, 18(4), 214-226.
5. Clune, J.W., Crawford, J.K., Boyer, E.W., 2020. Nitrogen and Phosphorus Concentration Thresholds toward Establishing Water Quality Criteria for Pennsylvania, USA. Water, 12(12), 3550.
6. Harvey, H.W., 1955. The chemistry and Fertility of sea waters. Cambridge University Press.
7. Humborg, C., Ittekkot, V., Cociasu, A., Bodungen, B.V., 1997. Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. Nature, 386, 385-388.
8. Hwang, D.W., Lee, I.S., Choi, M.K., Kim, C.S., Kim, H.C., 2015. Evaluation of Pollution Level for Organic Matter and Trace Metals in Sediments around Taehwa River Estuary, Ulsan. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 48(4), 542-554.
9. Hwang, D.W., Lee, I.S., Choi, M.K., Kim, S.Y., Choi, H.G., 2013. Evaluation of Organic Matter and Trace Metal Contamination in Surface Sediments around the Geum River Estuary using Sediment Quality Guidelines. Korean Soc. Fish. Aquat. Sci., 46(6), 930-940.
10. Jeong, K.S., Kim, D.K., Joo, G.J. (2007). Delayed influence of dam storage and discharge on the determination of seasonal proliferations of *Microcystis aeruginosa* and *Stephanodiscus hantzschii* in a regulated river system of the lower Nakdong River (South Korea). Water Research, 41, 1269-1279.
11. Kang, M.R., Lim, D.I., Jang, P.G., Kim, G.B., Kang, Y.S., 2009. Tidal variations of Nutrient Concentration in Hampyeong Bay, West coast of Korea. J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng., 12(3), 202-208.
12. Kang, Y.S., Kim, K.Y., Shim, J.M., Sung, K.T., Park, J.I., Kong, J.Y., 2002. Spatiotemporal Variations of Water Quality in Yongil Bay. J. Korean Fish. Soc., 35(4), 431-437.
13. Koh, C.H., Khim, J.S., Villeneuve, D.L., Kannan, K., Giesy, J.P., 2002. Analysis of trace organic contaminants in sediment, pore water, and water samples from Onsan Bay, Korea: instrumental analysis and in vitro gene expression assay,

- Environ. Toxicol. Chem., 21(9), 1796-1803.
14. Kim, D.H., Jin, D.H., 2019. Sea Water Quality depending on as time passed after Inflow of Freshwater from Yeongsan River Barrage on summer around Mokpo. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 22(2), 77-83.
  15. Kim, D.H., Park, Y.C., Lee, H.J., Son, J.W., 2004. Characteristics of Geochemical processes along the Salinity Gradient in the Han River Estuary. The Sea, 9(4), 196-203.
  16. Kim, D.S., Lee, C.W., Choi, S.H., Kim, Y.O., 2012. Long-Term Changes in Water Quality of Masan Bay, Korea, J. of Coast. Res., 28(4), 923-929.
  17. Kim, J.B., Lee, S.Y., Yu, J., Choi, Y.H., Jung C.-S., Lee, P.Y., 2006. The Characteristics of Oxygen Deficient Water Mass in Gamark Bay. J. Korean. Soc. Mar. Environ. Eng., 9(4), 216-224.
  18. Kim, J.G., Jang, H.S., 2016. A Study on the Inflowing Pollution Load and Material Budgets in Hampyeong Bay. J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 22(1), 001-010.
  19. Kim, Y.S., Kim, Y.S., 2004. The Effect of Freshwater Inflow on the Spatio-temporal Variation of Water Quality of Yeongil Bay. Korean J. Environ. Biol., 22(1), 57-65.
  20. Kwon, J.N., 2010. Characteristic of Long Term Variation of the Water Quality at the Waters of Goseong bay. J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng., 13(4), 279-287.
  21. Kwon, J.N., Lee, J., Kim, Y., Lim, J.H., Choi, T.J., Ye, M.J., Jun, J.W., Kim, S., 2014. Long-Term Variations of Water Quality in Jinhae Bay. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 17(4), 324-332.
  22. Kwon, K.Y., Shim, J.H., Shim, J.M., 2019. Temporal Variations of Sea Water Environment and Nutrients in the East Coast. J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 25(4), 457-467.
  23. Kwon, O.Y., Jung, S.W., Lee, J.H., 2006. Environmental Studies in the Lower Part of the Han River VIII. Physicochemical Factors Contributing to Variation of Phytoplankton Communities. Korean J. Ecol. Environ., 29(3), 340-351.
  24. Lee, K.S., Jun, S.K., 2009. Characteristics of Hydrography and Tidal Current in Hampyung Bay, the Western Coast of Korea. J. Korean Ear. Sci. Soc., 30(2), 247-256.
  25. Lim, D.I., Rho, K.C., Jang, P.G., Kang, S.M., Jung, H.S., Jung, R.H., Lee, W.C., 2007. Temporal-spatial variations of water quality in Gyeonggi Bay, west coast of Korea, and their controlling factor. Ocean Polar Res., 29(2), 135-153.
  26. Na, S.J., Lee, J.Y., Kim, J.B., Koo, J.H., Lee, G.R., Hwang, H.J., 2021. Effects of Physicochemical and Environmental Factors on Spatial and Temporal Variations in Phytoplankton Pigment and its Community Composition in Jinhae Bay. J. Korean Soci. Mar. Environ. Saf., 27(2), 340-354.
  27. Park, J.S., Yoon, Y.H., Oh, S.J., 2009. Variational Characteristics of Phytoplankton Community in the Mouth Part of Gamak Bay, Southern Korea. Korean J. Environ. Biol., 27(2), 205-215.
  28. Park, K.W., Suh, Y.S., Lim, W.A., 2012. Seasonal Changes in Phytoplankton Composition in Jinhae Bay, 2011. J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 18(6), 520-529.
  29. Park, S.H., Lee J.Y., Choi, J.U., Heo, N.W., An, S.M., 2016. Study on the Long-term Changes in Water Quality and Benthic Ecology and Evaluation on Effect of the Barrage in Nakdong River Estuary. J. Wetlands Res., 18(1), 58-67.
  30. Park, Y.C., Kim, S.J., Han, M.W., 2000. Nutrients loading and its impact on the coastal environment: Kyeonggi Bay, Korea. The Tellow Sea, 6: 73-76. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 22(1), 47-56.
  31. Pakulski, J.D., Benner, R., Amon, R., Eadie, B., Whittedge, T., 1995. Community metabolism and nutrient cycling in the Mississippi River plume: evidence for intense nitrification at intermediate salinities. Mar. Ecol. Prog. Ser., 117, 207-218.
  32. Pohang-si, 2017. Master Plan on Sewerage Rehabilitation(Change plan). Korea Environmental Corporation, Korea.
  33. USEPA. 2010. Nutriet Criteria Technical Guidance Manual: Estuarine and coastal Marine waters. US Environment Protection Agency, USA.
  34. Yoon, H.S., Lee, I.C., Ryu, C.R., 2003. Spatial and Temporal Variation Characteristics between Water Qulity and Pollutant Loads of Yeong-il Bay (1). J. Ocean Eng. Technol., 17(4), 23-30.

