

## 고성만 수질의 장기변동 특성

권 정 노<sup>†</sup>  
국립수산과학원 자원조성사업단

# Characteristic of Long Term Variation of the Water Quality at the Waters of Goseong bay

Jung No, Kwon<sup>†</sup>

*Fisheries Resources Enhancement Center, NFRDI, Busan 619-902, Korea*

### 요 약

고성만 해역의 수질 특성 및 정체성을 알기 위해 1987년~2009년간의 만내 1개 정점에 대한 표·저층 수질에 대한 장기관측 자료를 분석하였다. 그 결과 고성만 해역의 수질은 chlorophyll-a, DIP, DIN을 기준으로 중영양(Mesotrophic) 단계이고, 화학적산소요구량(COD) 기준으로 해역등급 2등급으로 볼 수 있어, 고성만은 만내에 유입된 물질수지의 확산이 비교적 더딘 폐쇄성 내만임에도 불구하고 수질은 비교적 양호한 것으로 판단된다. 조사기간 전 기간에 걸친 수질성분에 대해 이동평균 시계열분석, 상관분석 및 회귀분석한 결과 고성만 해역은 시간의 경과에 따라 용존무기인(DIP)은 축적되고, 용존무기질소(DIN)는 감소하는 추세를 보였다. 또한 고성만 해역의 식물성플랑크톤 성장의 제한인자는 용존무기질소(DIN)이고, chlorophyll-a의 농도는 8월의 4.60 µg/L로 가장 높았다. 계절 평균 및 계절지수는 11월이 가장 높아 고성만의 영양염 수지는 담수 등에 의한 외부유입보다 만의 내부 즉 수산생물의 대량 양식 및 저층 퇴적물에서의 용출 등이 더 큰 요인으로 작용하는 특징을 보였다. 따라서 고성만 해역의 수질 또는 해역 관리를 위해서는 목적에 따라 동 해역의 용존무기인(DIP), 용존무기질소(DIN) 등의 영양염 수지에 대한 고려가 필요한 것으로 보여진다.

**Abstract** – To identify characteristics of the water quality at Goseong bay, we analyzed long term monitoring data collected at surface and bottom water which was accumulated during the period of 1987~2009. The result showed that the waters of Goseong bay represented mesotrophic level that is based on chlorophyll-a, DIP and DIN and seasonal average of COD that indicates level by the COD criteria. This analysis can be translated that the waters is comparatively clean even though the waters is in the closed bay that slowly diffuses influx mass. We also did the time series analysis, correlation analysis and regression analysis on the moving average of the water parameter at Goseong bay. According to the results, DIP showed a increasing trend as time passed while DIN was on a decreasing trend under the same condition. In the waters of Goseong bay, the phyto-plankton growth was shown to be limited by DIN concentration. The chlorophyll-a was at the peak in August, at 4.60 µg/L. As the seasonal average and index were the highest in November, it was understood that the balance of nutrient at Goseong bay was dependent more on inner factors, ie, mass farming of aquatic species and release of bottom sediment rather than on inflow of fresh water. Accordingly, it is needed to consider the balance of nutrient like DIP and DIN to manage the water quality or estuaries at Goseong bay.

**Keywords:** Goseong bay(고성만), DIP(용존무기인), DIN(용존무기질소), long term variation(장기변동), water quality(수질)

<sup>†</sup>Corresponding author: jungnok@nfrdi.go.kr

## 1. 서 론

육상으로부터 유입되는 담수와 유기물, 영양염이 해양에 도달하는 연안은 오염원의 배출과 확산, 생물화학적 자정기구 또는 재생산이 활발히 이루어지는 해역이다. 이러한 연안 해역에서는 다양한 해양생산이 이루어지고, 이를 바탕으로 각종 양식이 성행하고 있다. 특히 폐쇄성 내만의 경우 연안 수괴의 부영양화와 영양염 축적에 따른 식물성플랑크톤의 대증식과 하계 수온약층 형성에 따른 저층의 빈산소 수괴 형성 등 환경변동이 뚜렷한 해역으로 알려져 있어, 영양염의 증가에 따른 식물플랑크톤의 증가는 저층으로 유기물 공급을 증가 시키며, 수온약층 발생 시 산소 감소 및 영양염의 환원을 촉진하는 등 복잡한 사이클을 반복하는 해역이다(김 등[2006]).

또한 이러한 해역의 수질 특성 및 정체성을 파악하기 위해선 단기간의 수질 조사결과를 분석하기 보다는, 장기간의 수질 관측을 통해 축적된 기초자료를 이용해 수질인자의 변동 및 각 인자간의 상호관계 등을 면밀히 분석하고 장기적 변동 경향을 파악할 필요성이 있다. 장기관측 자료를 이용한 수질특성에 관한 연구로는 하구둑 건설 전·후 금강 하구역의 수질 변동 특성에 대한 조사(권 등[2001])를 통한 암모니아질소의 축적 경향 파악과 가로림 연안 해양환경의 특성과 장기변동 연구(박 등[2009])를 통한 용존무기질소 및 화학적산소요구량 등이 감소 경향 파악에 대한 연구 등이 있다.

고성만은 해상가두리에 의한 어류양식, 굴양식, 우렁챙이 양식 등의 대규모 양식 활동이 활발한 해역으로 전형적인 폐쇄성 내만으로 양식 활동에 따른 자가오염이 우려되고 있는 해역이다. 이러한 고성만에 대한 연구로는 고성만의 현탁물 섭취자에 유용한 입자물질 양과 질의 계절 변동 연구를 통하여 고성만의 입자유기탄소 및 질소의 계절농도 분포 연구(이 등[2001]), 계절별 고성만 참굴양식 어장관리와 만내의 적정 수용력 산정 모델 개발을 위하여 해수 중에 분포하는 가용먹이와 참굴의 성장과의 상관관계를 수치모델로 나타낸 연구(오 등[2002])가 있고, 수치모델을 이용한 해상가두리양식장의 자가오염 평가(권 등[2005]) 등이 있다.

본 연구는 1987년~2009년 간의 장기관측 자료를 이용하여 고성만 수질의 특성 및 계절 변동과 수질의 장기 정체성을 파악하여, 수질관리 및 이용 방안의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 해역현황

고성만은 만의 입구가 좁고 만 안쪽으로 갈수록 크게 벌어지는 역삼각형 구도를 가지고 있으며, 평균 수심은 약 6.2 m, 최대수심은 25 m, 수면적은  $2,165 \times 10^4 \text{ m}^2$ 이다. 고성만의 총 어업권은 97건에 885.91 ha이고, 이 중 점유율이 가장 높은 것은 굴 수하식 양식어업으로 허가건수가 35건(160 ha)이며 해면 점유율은 약 13%이다. 고성만의 유역 면적은  $51.7 \text{ km}^2$ 이며, 주변 토지 이용 실태는 대부분 임야나 농경지로 되어 있는 전형적인 폐쇄성 내만이다. 만으로 유입되는 창조류는 만 입구에서 북서방향으로 흐르며 약

30~40 cm/sec의 유속을 갖는다. 북쪽 내만에서는 약 10 cm/sec 이하, 동쪽 내만에서는 약 5 cm/sec 이하의 유속을 갖는다. 낙조류 유속이 창조류보다 다소 빠르며, 수심이 깊은 만입구(평균 20 m)에서는 강한 유속이 나타난다(오 등[2002]).

## 3. 재료 및 방법

연구해역의 장기 수질 변동을 조사하기 위해 국립수산과학원에서 실시한 어장환경조사(1987~1996년) 및 해양환경측정망조사(1997~2009년) 중 관측점이 일치하는 1개 지점의 23년간 수질분석 자료를 이용하였다(Fig. 1). 조사된 수질항목은 수온, 용존산소(DO), pH, 염분(salinity), 화학적산소요구량(COD), 암모니아질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 아질산질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 질산질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 용존무기질소(DIN), 인산염(DIP), 총부유물질(SS) 및 chlorophyll-a 등의 수질 자료를 이용하였다.

수질은 해양환경공정시험방법에 따라 분석되었고 각 성분별 분석방법은 다음과 같다. 용존산소(DO)는 DO meter 또는 Winkler-Azide 방법으로 측정하였고, 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 측정하였다. 암모니아질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )는 Indophenol 청색법, 아질산질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )는  $\alpha\text{-NED}$  법, 질산질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 Cu-Cd 칼럼을 이용한 아질산질소 환원법으로 측정하였다. 용존무기질소는  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 합으로 나타내었고, 용존무기인(DIP)은 Ascorbic acid를 이용한 몰리브덴 청법으로 측정하였다.

자료의 해석을 위하여 평균(mean  $\pm$  SE) 및 변동계수(CV) 등 기술통계학적 기법을 이용하였고, 장기관측자료의 시계열분석을 위하여 이동평균 및 이동평균비율법(ratio-moving-average method)을 이용하여 계절지수(윤 과 이[2003])를 구하였다. 또한 수질인자간의 상관관계를 알기위하여 sigmaplot(ver. 11.2)를 이용하여 상



Fig. 1. The map of long term monitoring.

관분석(correlation analysis) 및 회귀분석(regression analysis)을 하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 장기 수질 특성

고성만 조사지점에 대한 23년간 표·저층 수질의 평균±표준오차(Mean±SE)와 변동계수(CV; coefficient of variations)의 요약을 Table 1에 나타내었다.

수온의 평균은 표층 15.88±0.80 °C 저층 15.00±0.70 °C으로 표층이 0.88 °C 높게 나타났고, 변동계수(CV)는 표층 48.5% 저층 44.6%로 표층이 약간 높게 나타났다. 염분의 평균은 표층 32.23±0.37 저층 32.93±0.11로 저층이 0.7 높았고, 변동계수(CV)는 표층 11.0% 저층 3.2%로 표층이 높게 나타났다. pH의 평균은 표층 8.09±0.02 저층 8.08±0.02로 표·저층 차이가 거의 없었고, 변동계수(CV) 역시 각각 2.2%, 2.3%로 거의 비슷하였다.

용존산소(DO)의 평균은 표층 17.18±0.18 mg/L 저층 6.95±0.21 mg/L로 표층이 0.24 mg/L 높게 나타났고, 변동계수(CV)는 표층 23.7% 저층 29.6%로 저층의 변동이 약간 큰 것으로 나타났다. 화학적산소요구량(COD)의 평균은 표층 1.46±0.07 mg/L 저층 1.29±0.06 mg/L으로 표층이 0.17 mg/L 높게 나타났고, 변동계수(CV)는 표층 45.9% 저층 46.3%로 거의 비슷한 것으로 나타났다.

**Table 1.** Long-term characteristics of water parameter at Goseong bay during the period of 1987~2009

Parameter	level	range	Mean ± SE	CV(%)
Temperature(°C)	surface	3.50 ~ 31.29	15.88 ± 0.80	48.5
	bottom	3.70 ~ 27.80	15.00 ± 0.70	44.6
Salinity	surface	3.65 ~ 34.76	32.23 ± 0.37	11.0
	bottom	28.84 ~ 34.73	32.93 ± 0.11	3.2
pH	surface	7.34 ~ 8.39	8.09 ± 0.02	2.2
	bottom	7.42 ~ 8.44	8.08 ± 0.02	2.3
DO(mg/L)	surface	4.13 ~ 12.17	7.18 ± 0.18	23.7
	bottom	1.06 ~ 11.95	6.95 ± 0.21	29.6
COD(mg/L)	surface	0.27 ~ 3.20	1.46 ± 0.07	45.9
	bottom	0.08 ~ 3.31	1.29 ± 0.06	46.3
DIP(μM)	surface	0.04 ~ 5.35	0.62 ± 0.07	107.8
	bottom	0.00 ~ 4.77	0.74 ± 0.07	94.9
NH <sub>4</sub> -N(μM)	surface	0.00 ~ 33.17	3.54 ± 0.49	133.6
	bottom	0.00 ~ 40.80	3.56 ± 0.52	140.2
NO <sub>2</sub> -N(μM)	surface	0.00 ~ 1.74	0.40 ± 0.04	103.6
	bottom	0.00 ~ 1.87	0.46 ± 0.05	100.0
NO <sub>3</sub> -N(μM)	surface	0.00 ~ 45.93	3.87 ± 0.75	184.7
	bottom	0.00 ~ 50.59	3.09 ± 0.62	193.6
DIN(μM)	surface	0.08 ~ 54.26	7.74 ± 0.97	120.0
	bottom	0.00 ~ 92.92	7.04 ± 1.08	146.6
N/P ratio	surface	0.10 ~ 157.0	12.48	-
	bottom	0.00 ~ 248.5	9.51	-
chlorophyll-a(μg/L)	surface	0.10 ~ 20.23	2.37 ± 0.33	135.2
SS(mg/L)	surface	0.60 ~ 32.00	7.07 ± 0.54	73.9

n = 92, SE : standard error, CV(%) : changing variables

**Table 2.** A scheme for trophic state classification proposed by Wasmund (2001)

	Chl a (μg/L)	DIP	DIN
		(uM)	
Oligotrophic	< 0.8	< 0.2	< 2
Mesotrophic	0.8~4	0.2~0.8	2~10
Eutrophic	4~10	0.8~3	10~60

용존무기인(DIP)의 평균은 표층 0.62±0.07 μM 저층 0.74±0.70 μM으로 저층이 0.12 μM 높았고, 변동계수(CV)는 표층 107.8% 저층 94.9%로 표층이 높게 나타났다.

암모니아질소(NH<sub>4</sub>-N)의 평균은 표층 3.54±0.49 μM 저층 3.56±0.52 μM로 표·저층 거의 비슷한 수준이었고, 변동계수(CV)는 표층 133.6% 저층 140.2%로 표·저층이 모두 높게 나타났다. 아질산질소(NO<sub>2</sub>-N)의 평균은 표층 0.40±0.04 μM 저층 0.46±0.05 μM로 저층 0.06 μM 높았고, 변동계수(CV)는 표층 103.6% 저층 100.0%로 거의 비슷하게 나타났다. 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)의 평균은 표층 3.87±0.75 μM 저층 3.09±0.62 μM로 표층이 0.68 μM 높았고, 변동계수(CV)는 표층 184.7% 저층 193.6%로 저층이 약간 높게 나타났다. 용존성무기질소(DIN)의 평균은 표층 7.74±0.97 μM 저층 7.04±1.08 μM로 표층이 0.7 μM 높았고, 변동계수(CV)는 표층 120.0% 저층 146.6%로 저층이 높게 나타났다.

N/P비 평균은 표층 12.48 저층 9.51로 표층이 2.97 높게 나타났다. 표층 chlorophyll a의 평균은 2.37±0.33 μg/L, 변동계수(CV)는 135.2%로 나타났고, 부유물질(SS)의 평균은 7.07±0.54 mg/L, 변동계수(CV)는 73.9%로 나타났다.

이상의 결과의 종합하면 고성만의 수질은 Wasmund *et al.*[2001]의 해역 영양상태 분류(Table 2)에 따라 chlorophyll-a의 평균이 2.37 μg/L, 용존무기인(DIP) 표·저층 평균이 각각 0.62 μM, 0.74 μM, 용존무기질소(DIN)의 표·저층 평균이 각각 7.74 μM, 7.04 μM로 중영양(Mesotrophic) 단계로 분류할 수 있다.

또한 각 수질 인자의 변동계수를 비교하면 계절적 요인이 큰 수온의 표·저층 변동계수는 48.5~44.6%로 높고, 염분, pH는 변동이 거의 없는 것으로 나타났다. 용존산소(DO)의 변동계수는 23.7~29.6%로 수온의 변동계수의 1/2 수준이고, 화학적산소요구량(COD)의 변동계수는 45.9~46.3%로 수온의 변동계수와 비슷함을 알 수 있었다. 특히, 영양염인 용존무기인(DIP) 및 용존무기질소(DIN)의 변동계수는 각각 94.9~107.8%, 120.0~146.6%로 다른 수질요인보다 변동계수(CV)가 매우 높아 고성만 해역은 영양염의 변동이 활발함을 시사하고 있다.

##### 수질의 계절 특성

Table 3은 수질인자의 계절 평균 및 변동계수를 요약하였다. 수온의 계절 평균은 표층의 경우 하계인 8월 26.56 °C로 가장 높고, 동계인 2월 5.65 °C로 가장 낮게 나타났고, 저층 역시 8월이 23.87 °C로 최대, 2월이 5.67 °C 최소를 보였다. 5월부터 표층의 수온이 저층에 비해 상승하기 시작하여 8월에는 표·저층 수온차가 약 3 °C

**Table 3.** Seasonal characteristics of water parameter at Goseong bay during the period of 1987~2009

Parameter	level	mean				cv(%)			
		Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.
Temperature(°C)	surface	5.65	15.23	26.56	16.09	16.9	18.4	8.1	10.5
	bottom	5.67	14.64	23.67	16.01	16.0	17.7	8.1	11.0
Salinity	surface	33.37	33.43	29.52	32.62	1.8	2.7	21.4	2.3
	bottom	33.34	33.59	32.11	32.70	1.9	2.1	4.1	2.4
pH	surface	8.17	8.14	8.05	7.99	1.3	1.8	2.8	2.2
	bottom	8.19	8.14	8.01	7.97	1.3	1.8	2.2	2.5
DO(mg/L)	surface	8.68	7.17	6.21	6.67	19.6	15.0	24.3	21.5
	bottom	8.76	7.14	5.06	6.84	21.4	14.9	36.3	21.9
COD(mg/L)	surface	1.33	1.28	1.75	1.48	47.1	44.7	47.0	38.4
	bottom	1.37	1.18	1.40	1.20	50.5	39.9	47.2	45.4
DIP(μM)	surface	0.57	0.37	0.44	1.09	91.1	100.3	61.2	93.3
	bottom	0.70	0.38	0.62	1.24	92.5	96.4	59.6	76.7
NH <sub>4</sub> -N(μM)	surface	3.25	2.45	3.12	5.33	208.1	70.8	110.3	97.3
	bottom	3.16	2.72	3.82	4.54	262.3	82.6	95.2	83.0
NO <sub>2</sub> -N(μM)	surface	0.23	0.21	0.31	0.85	82.4	84.0	121.2	54.2
	bottom	0.32	0.23	0.39	0.90	134.2	91.7	92.3	54.0
NO <sub>3</sub> -N(μM)	surface	1.24	3.02	5.37	5.84	114.7	115.8	243.1	59.4
	bottom	3.14	2.00	1.81	5.41	330.6	137.2	178.7	68.0
DIN(μM)	surface	4.73	5.68	8.85	11.72	149.3	77.9	167.1	52.0
	bottom	6.63	4.95	6.03	10.56	285.2	68.0	84.4	49.9
N/P	surface	8.30	15.35	20.11	10.75	-	-	-	-
	bottom	9.47	13.03	9.73	8.52	-	-	-	-
DINxs	surface	-4.40	-0.27	1.74	-5.65	-252.7	-2,487.1	853.5	-302.2
	bottom	-4.60	-1.17	-3.85	-9.33	-392.3	-594.1	-202.5	-171.2
chlorophyll-a(μg/L)	surface	1.27	2.14	4.60	1.61	76.8	99.3	121.9	49.1
SS(mg/L)	surface	5.59	6.71	8.17	7.81	66.8	96.2	74.0	52.3

로 약한 성층을 형성하고, 11월에 성층이 소멸되는 것으로 나타났다. 수온의 변동계수(CV)는 2월과 5월이 높게 나타나 이 시기에 수온의 상승이 이루어진다는 것을 나타내었고, 8월에는 변동계수(CV)가 표·저층 모두 8.1%로 낮게 나타나 수온이 안정된 것으로 나타났다. 염분의 계절 평균은 하계인 8월에 표층 및 저층이 각각 29.52, 32.11로 가장 낮았고, 특히 8월의 표층의 변동계수(CV)가 21.4%로 다른 계절에 비해 매우 높게 나타나 하계 강우에 의한 담수 유입 영향을 크게 받고 있음을 보여주었다. pH의 계절 평균은 계절에 따른 표·저층의 차이는 없었으나, 11월의 계절평균은 표·저층 모두 8이하로 낮았고, 변동계수(CV)는 8월 표층이 2.8%로 다른 계절에 비해 약간 높았으나 전 계절 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

계절적인 요인이 큰 인자인 용존산소(DO)의 계절 평균은 2월에 표·저층이 8.68 mg/L, 8.76 mg/L로 가장 높았고, 고수온기인 8월의 표·저층에서 각각 6.21 mg/L, 5.06 mg/L로 낮게 나타났다. 특히 5월과 11월의 경우 표·저층간의 용존산소 차이가 크지 않은데 비해, 8월의 경우 표층이 저층보다 1.15 mg/L로 높는데, 이는 수온약층 형성에 따른 대기 중 공기의 투과율 저하에 의한 것으로 보여진다. 또한 변동계수(CV)의 경우 8월 저층이 36.3%로 다른 계절에 비해 높게 나타났다. 화학적산소요구량(COD)의 계절평균

은 하계 강우기인 8월의 표층이 1.75 mg/L로 최대, 5월 저층이 1.18 mg/L로 낮게 나타났고, 변동계수(CV)는 38.4~47.2% 범위로 전 계절 큰 차이가 없었으나, 2월과 8월이 약간 높았다. 고성만은 COD의 계절 평균으로 보면 전 계절의 평균 범위가 1~2 mg/L 사이로 해역등급 2등급을 나타내었다.

용존무기인(DIP)의 계절별 평균은 전 계절 표층 보다 저층이 높았고, 특히 하계의 경우 저층이 표층에 비해 40% 정도 높게 나타나 표·저층 차가 가장 뚜렷하였고, 계절별로는 11월이 1.09 μM, 1.24 μM로 가장 높게 나타났고, 변동계수(CV)는 2월과 5월의 표·저층 및 11월의 표층이 두드러지게 높았고, 8월의 저층이 가장 낮은 59.6%를 보였다. 암모니아질소(NH<sub>4</sub>-N)의 계절평균은 5월의 표·저층이 최소로 각각 2.45 μM, 2.72 μM로 최대인 11월의 표·저층의 5.33 μM, 4.54 μM에 비해 1/2 수준으로 나타났고, 변동계수(CV)는 2월의 표·저층의 각각 208.1%, 262.3%로 최대를 나타냈고, 5월 표·저층이 각각 70.8%, 82.6%로 최소를 보여 계절 변동이 작은 것으로 나타났다. 아질산질소(NO<sub>2</sub>-N)는 전 계절 저층이 표층보다 높았고, 계절별로 5월의 표·저층이 최소로 각각 0.21 μM, 0.23 μM로 최대인 11월의 표·저층 0.85 μM, 0.90 μM의 1/4 수준으로 나타났고, 변동계수(CV)는 2월 저층 및 8월 표층이 각각 134.2%, 121.2%로 최대를 보였고, 11월 표·저층이 각각 54.2%,

54.0%로 최소를 보여 변동이 적은 것으로 나타났다. 질산질소(NO<sub>3</sub>-N)는 2월을 제외한 전 계절 표층이 저층보다 높았고, 계절별로 2월 표층이 1.24 μM로 최소 11월 5.84 μM로 최대를 나타내어 11월이 2월에 비해 5배 정도 높게 나타났으며, 변동계수(CV)는 2월 저층 및 8월 표층이 각각 330.6%, 243.1%로 최대를 나타냈고, 11월 표-저층이 각각 59.4%, 68.0%로 최소를 보여 변동이 적은 것으로 나타났다. 용존무기질소(DIN)의 월별 평균은 2월을 제외하고는 전 계절 표층이 저층에 비해 높았고, 2월 표층이 4.73 μM로 최소, 11월 표층이 11.72 μM로 최대였으며, 변동계수(CV)는 2월 저층 및 8월 표층이 각각 285.2%, 167.1%로 최대, 11월 표-저층이 각각 52.0%, 49.9%로 최소로 상대적으로 변동이 적은 것으로 나타났다.

N/P ratio는 2월 제외한 전 계절의 표층이 저층보다 높았고, 8월 표층을 제외한 전 계절의 표-저층이 16이하로 용존무기질소(DIN)가 식물플랑크톤의 제한인자로 나타났다. chlorophyll a는 용존무기인(DIP)이 제한인자인 하계 8월에 4.60 μg/L으로 최대, 용

존무기질소(DIN)가 제한인자인 동계 2월에 1.27/L로 최소를 나타내었고, 변동계수(CV)는 8월 표층이 121.9% 최대, 11월 표층이 49.1%로 최소였다. 부유물질(SS)은 하계인 8월에 8.17 mg/L 최대, 동계인 2월에 5.59 mg/L로 최소를 보였고, 변동계수(CV)는 8월 표층이 96.2% 최대, 11월 표층이 52.3%로 최소를 나타내었다.

또한 식물플랑크톤 성장의 제한인자 판단 기준인 N/P ratio를 보완하기 위하여 Wang *et al.*[1998]은 과잉용존무기질소(Excess Dissolved Inorganic Nitrogen, DINxs)를 제안하였고, 이 등[2004]은 연안에서 암모니아를 고려하여 다음과 같이 수정 제안하였다.

$$DINxs = [DIN] - 16 \times [DIP] \tag{1}$$

여기서 [DIN]은 용존무기질소의 농도, 16은 Redfield ratio, [DIP]은 용존무기인의 농도를 나타낸다.

N/P ratio는 식물플랑크톤의 성장에서 단순히 DIN 또는 DIP의 제한 여부만을 설명할 수 있고, Wang *et al.*[1998]과 이 등[2004]의 DINxs는 용존무기질소 및 용존무기인이 식물플랑크톤 성장에

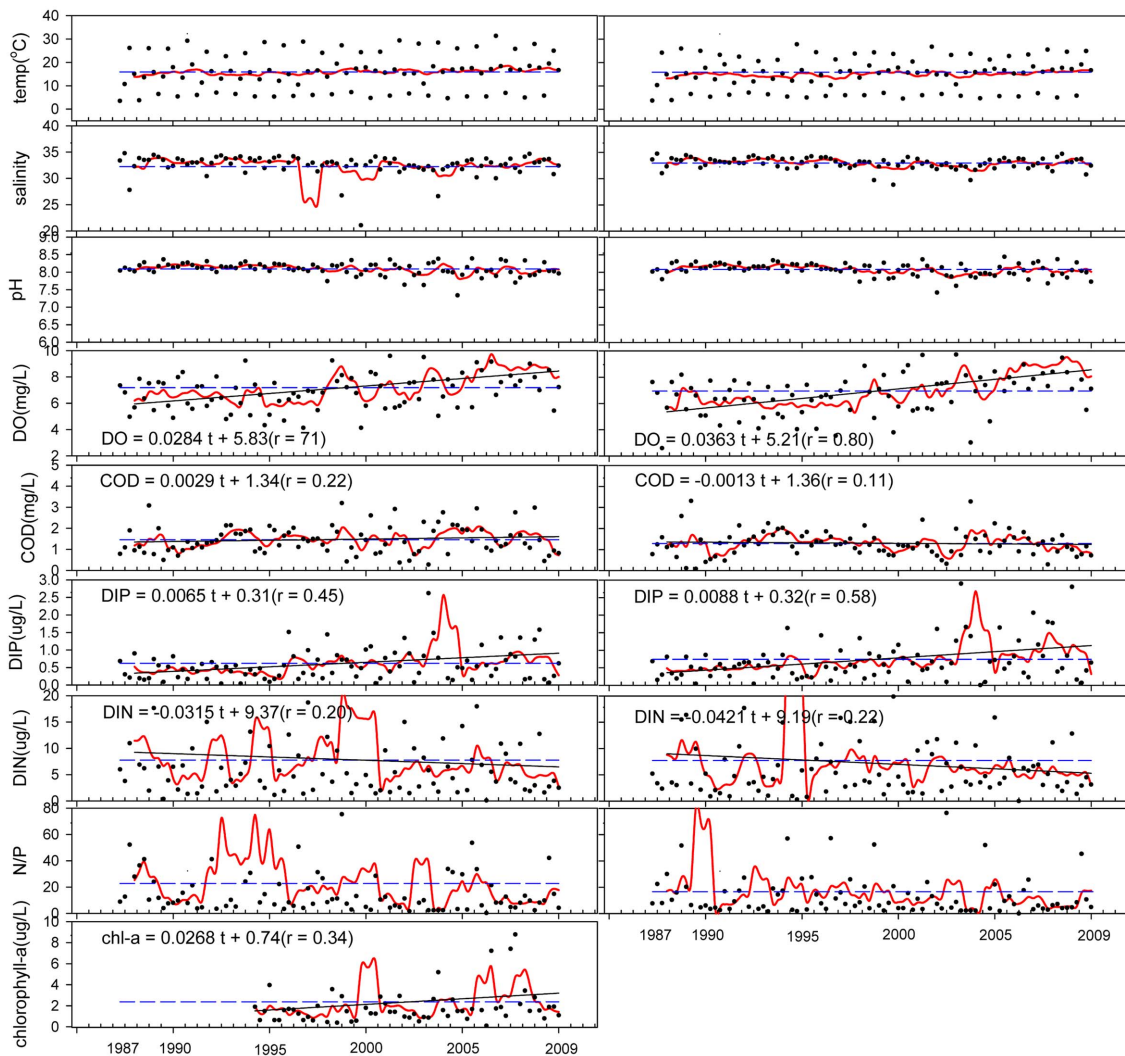


Fig. 2. Time series variation and trends of water parameters at Goseong bay(black circle represent observed value, red line smoothing trends by 4-point moving average, blue dashed line mean value, and black line regression equation).

만 이용되고 N/P ratio와 동일하게 흡수되어 유기물을 생성하며, 생성된 유기물이 같은 비율로 재무기화 된다면, 과잉 질산질소의 값은 “0” 된다는 가정 하에 이를 적용하고 있다.

고성만 해역에서 이 등[2004]이 제안한 과잉용존무기질소(Excess Dissolved Inorganic Nitrogen, DINxs) 값은 8월 표층에서만 1.74로 양(+)의 값으로 용존무기인(DIP)이 식물플랑크톤 성장의 제한인자 혹은 질소의 공급이 많은 해역특성으로 나타났으며, 그 외 계절에는 모두 음(-)의 값으로 용존무기질소(DIN)가 부족하거나, 용존무기인(DIP)이 과잉 공급됨을 보여주고 있다. 특히 chlorophyll-a의 농도가 계절 최대(4.60 µg/L)인 8월 표층을 제외하고는 식물플랑크톤 성장 변동의 주요인은 용존무기질소(DIN)인 것으로 판단된다.

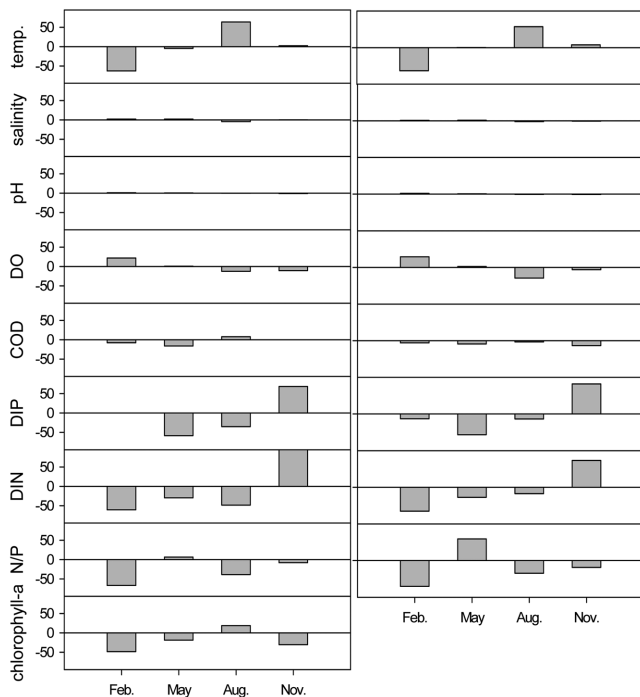
**수질의 계절 변동성**

1987년부터 2009년까지 각 수질 인자의 시계열 산포도 및 1987년 4계절의 평균값을 기준한 이동평균 시계열 그래프와 이동평균과 시간(계절)에 따른 회귀분석(regression analysis) 결과를 Fig. 2에 나타내었고, 계절요인을 파악하기 위하여 이동평균비율법(ratio-moving-average method)을 이용하여 도출된 계절지수를 평균이 “0” 되도록 환산하여 Fig. 3 및 Table 4에 나타내었다.

이동평균 시계열 분석결과 수온, 염분(salinity), pH는 계절 변동이 뚜렷하였고, 용존산소(DO)는 표·저층 모두 이동평균 및 회귀분석 결과 시간 변동에 따라 표·저층 모두 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다. 화학적 산소요구량(COD)은 표·저층 모두 이동평균이 시간 변동에 따라 뚜렷한 증가 혹은 감소 경향은 뚜렷하지 않

**Table 4.** Seasonal characteristic of water parameter by ratio-moving-average method at Goseog bay during the period of 1987~2009

Parameter	level	Feb.	May	Aug	Nov.
Temperature(°C)	surface	-63.0	-4.5	63.7	2.5
	bottom	-59.8	0.5	54.5	7.6
Salinity	surface	2.1	2.1	-4.5	0.3
	bottom	1.3	1.5	-2.0	-0.8
pH	surface	1.2	0.6	-0.2	-1.1
	bottom	1.9	0.7	-0.8	-1.0
DO(mg/L)	surface	22.1	0.7	-12.6	-10.6
	bottom	27.6	2.4	-27.7	-5.9
COD(mg/L)	surface	-7.7	-16.0	7.9	0.0
	bottom	-5.7	-8.6	-3.3	-12.5
DIP	surface	0.0	-58.6	-35.5	68.9
	bottom	-12.3	-53.8	-12.9	77.8
NH <sub>4</sub> -N(µM)	surface	-47.6	-28.7	-38.1	30.7
	bottom	-61.5	-25.7	14.2	21.2
NO <sub>2</sub> -N(µM)	surface	-51.0	-45.7	-45.5	126.4
	bottom	-50.9	-54.6	-31.0	137.6
NO <sub>3</sub> -N(µM)	surface	-70.2	-35.0	-60.9	134.1
	bottom	-65.6	-56.5	-52.4	156.8
DIN(µM)	surface	-60.9	-29.6	-48.4	98.2
	bottom	-61.6	-26.1	-16.4	69.8
N/P	surface	-66.8	6.6	-38.7	-7.6
	bottom	-66.7	55.9	-32.7	-17.6
Chlorophyll-a(µg/L)	surface	-48.4	-18.8	19.0	-30.5



**Fig. 3.** Seasonal characteristics of water parameter by ratio-moving-average method at Goseong bay during the period of 1987~2009.

았으나, 표층은 증가 저층은 감소 경향이 약간 있으나 거의 무시할 수 있을 수준이었다. 용존무기인(DIP)의 경우 표·저층에서 이동평균이 증가하는 경향이 나타났고, 회귀분석 결과 유의한 수준에서 증가 경향이 뚜렷하여 고성만 해역은 용존무기인(DIP)의 축적이 일어나고 있음 보여주었다. 용존무기질소(DIN)의 경우 표·저층 모두 이동평균이 감소하는 경향을 보였고, 회귀분석 결과 기울기가 음(-)의 값으로 용존무기질소(DIN)가 동 해역에서는 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 박 등[2009]의 보고에 따르면 가로림만에서 장기관측 결과 질산질소 및 화학적산소요구량의 감소 경향을 보고하고 있어, 이러한 만 해역에서 용존무기질소의 감소에 대한 보다 면밀한 조사의 필요성이 있는 것으로 보고하고 있고, 이 등[2004]은 저층 퇴적물의 유기물 오염은 질소와 인의 생지화학적 순환을 교란시킬 것으로 예상하며 저층 경계면의 연구가 필요함을 강조했다. 표층 chlorophyll-a는 이동평균이 약간 증가하는 경향을 보였고, 회귀분석 결과 기울기가 양(+)의 값으로 점차 증가하는 추세가 뚜렷하였다.

계절지수의 경우 수온은 표·저층이 각각 63.7, 54.5인 8월이 뚜렷하였고, 이동평균시계열분석 결과에서 계절변동이 있는 것으로 나타난 염분 및 pH의 계절지수는 계절변동이 거의 없는 것으로 나타났다. 용존산소(DO)의 계절지수는 2월의 표·저층이 22.1, 27.6으로 그 외 계절에 비해 뚜렷하였고, 화학적산소요구량(COD) 경우 8월 표층이 7.9로 계절요인이 약간 있는 것을 제외하고 전 계절 계절요인이 크지 않은 것으로 보였다. 용존무기인(DIP) 및 총

**Table 5.** Correlation factor of surface water parameter by spearman's correlation analysis

	salinity	pH	DO	COD	DIP	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIN	chl-a	SS
Temp.	-0.56		-0.45							0.41	
Salinity					-0.27		-0.36	-0.26	-0.21	-0.25	
		pH			-0.22		-0.24	-0.31			
			DO								
				COD						0.34	
					DIP		0.50	0.38	0.29		
						NH <sub>4</sub> -N		0.30	0.80		
							NO <sub>2</sub> -N	0.64	0.56		
								NO <sub>3</sub> -N	0.74	0.29	
									DIN	0.26	
										chl-a	0.27

n = 92, p < 0.05

무기질소(DIN)의 경우 11월의 표·저층 모두 계절지수 50 이상으로 계절요인이 가장 큰 것으로 나타났다. N/P ratio는 5월에 표·저층 6.6, 55.9로 계절요인이 나타났고, 표층에 비해 저층이 두드러지는 것으로 나타났다. chlorophyll-a는 하계인 8월에 계절지수가 19.0으로 계절요인이 뚜렷한 것으로 나타났다.

**수질요인간 상관관계**

표층 수질성분간의 상관 관계를 나타낸 상관분석 결과를 Table 5에 나타내었다. 수온은 염분, 용존산소(DO)와 유의한(p<0.05) 신뢰도에서 음(-)의 상관관계, chlorophyll-a와는 양(+)의 상관관계를 보였다. 염분은 용존무기인(DIP)과 질소성분 및 chlorophyll-a와 음(-)의 상관관계를 보였고, pH는 용존무기인(DIP), 아질산질소(NO<sub>2</sub>-N) 및 질산질소(NO<sub>3</sub>-N)와 음(-)의 상관관계를 보였다. 용존산소(DO)와 수온은 -0.45인 음(-)의 상관관계로 수온에 따른 산소포화율 변동에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 화학적산소요구량(COD)은 chlorophyll-a와의 상관계수가 0.34로 양(+)의 상관관계를 보였으며 이는 식물성플랑크톤의 상당부분이 잠재적인 화학적산소요구량 유발 요인인 것을 보여주었다. 용존무기인(DIP)은 염분 및 pH와 음(-)의 상관관계를 보여 DIP의 주 공급원이 담수의 유입과 저층 용출 퇴적물의 산화에 따른 것으로 보여지며, 아질산질소(NO<sub>2</sub>-N) 및 용존무기질소(DIN)와 양(+)의 상관관계를 보여, 담수 유입시 이들 질소 성분들과 함께 유입되었음을 나타낸다.

영양염 중 질산질소(NO<sub>3</sub>-N)만이 chlorophyll-a와 양(+)의 상관관계를 보여주는 데 특히 계절변동 요인분석에서 고성만의 식물성플랑크톤의 성장은 용존무기질소(DIN)의 변동에 크게 영향을 받는 것과 일치하며 DIN 중에서 질산질소(NO<sub>3</sub>-N)의 영향이 가장 큰 성분임을 보여 주었다. 용존무기질소(DIN)은 염분과 음(-)의 상관관계, 용존무기인(DIP)과 양(+)의 상관관계를 보였고, chlorophyll-a는 염분과 음(-)의 상관관계, 수온, 화학적산소요구량(COD), 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N) 및 부유물질(SS)과 양(+)의 상관관계 보였다. 부유물질(SS)은 chlorophyll-a와 양(+)의 상관관계를 보여 부유물질 중 일부가 식물성플랑크톤 임을 나타내었다.

저층 수질의 각 성분과의 상호 관계를 Table 6에 나타내었다. 수온은 염분, pH, 용존산소(DO)와 유의한(p<0.05) 신뢰도에서 음(-)의 상관관계를 보였고, 용존무기질소(DIN)와는 양(+)의 상관성을 보였다. 염분은 pH 및 용존산소(DO)와 양(+)의 상관관계를, 수온, 용존무기인(DIP)과 아질산질소(NO<sub>2</sub>-N), 질산질소(NO<sub>3</sub>-N) 및 용존무기질소(DIN)와 음(-)의 상관관계를 보였다. pH는 염분과 양의 상관관계를, 수온, 용존무기인(DIP) 및 무기용존질소(DIN) 등 모든 영양염류와 음(-)의 상관관계를 나타내었다. 용존산소(DO)는 염분과 양(+)의 상관관계를, 수온과 암모니아질소(NH<sub>4</sub>-N)와 음(-)의 상관관계를 나타내어, 수온에 따른 산소포화율의 영향을 받는 것으로 나타났다. 화학적산소요구량(COD)은 상관관계가 보이는 성분은 없었다. 용존무기인(DIP)은 염분과 pH와는 음(-)의 상관관계

**Table 6.** Correlation factor of bottom water parameter by spearman's correlation analysis

	salinity	pH	DO	COD	DIP	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIN
Temp.	-0.45	-0.37	-0.56						0.21
Salinity		0.48	0.22		-0.33		-0.50	-0.34	-0.30
		pH			-0.28	-0.22	-0.45	-0.39	-0.33
			DO			-0.21			
				COD					
					DIP		0.57	0.46	0.36
						NH <sub>4</sub> -N			0.76
							NO <sub>2</sub> -N	0.67	0.54
								NO <sub>3</sub> -N	0.62

n = 92, p < 0.05

를, 아질산질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 질산질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 용존무기질소(DIN)와 양(+)의 상관관계를 보였고, 이중 아질산질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )와 가장 높은 상관관계를 보였다. 암모니아질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )는 pH와 용존산소(DO)와 음(-)의 상관관계를 보여 저층 저산소층에서 암모니아질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )의 환원이 존재함을 보여주었다. 아질산질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )는 염분과 pH와 음(-)의 상관관계를 보여 담수 유입에 큰 영향을 받는 것으로 나타났고, 질산질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 역시 염분과 pH와 양의 상관관계를 보여 담수 유입의 영향을 받는 것으로 나타났으나 아질산질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )에 비해 상관관계수가 비교적 작아 상대적으로 담수의 영양을 덜 받는 것으로 보여진다. 용존무기질소(DIN)는 수온, 용존무기인(DIP), 암모니아질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 아질산질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 질산질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )와 양(+)의 상관관계를 나타내었고, 염분 및 pH와 음(-)의 상관관계를 나타내었다.

표·저층 수질 성분의 상관관계를 비교하면 수온의 경우 표층이 염분, 용존산소(DO)와 상관관계가 있는데 반해, 저층은 수온 및 염분뿐만 아니라 pH 및 용존무기질소(DIN)와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 염분의 경우 표층에 비해 저층이 수온과의 상관관계수가 낮고, 저층에서 pH 및 용존산소(DO)와 양(+)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. pH는 저층에서만 암모니아질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )와 음(-)의 상관이 있는 것으로 나타났다. 용존산소(DO)의 경우 표층에서 수온과 음(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 저층에서는 수온과 음의 상관관계뿐만 아니라, 염분과 양(+)의 상관관계를, 암모니아( $\text{NH}_4\text{-N}$ )와 음(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 용존무기인(DIP)의 경우 표층에서는 염분 및 pH와 각각 -0.27, -0.22로 음(-)의 상관관계였으나, 저층에서 각각 -0.33, -0.28로 음(-)의 상관관계가 더 큰 것으로 나타났다. 암모니아질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )의 경우 표층에서는 염분과 pH와 상관관계가 없는 것으로 나타났으나, 저층에서 각각 -0.22, -0.21로 음(-)의 상관관계를 보였다. 그 외 아질산질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )의 경우 표·저층 비슷한 유형을 나타내었으나, 염분 및 pH와 상관관계수가 표층에 비해 저층이 각각 2배, 1.5배 높은 것으로 나타났다. 질산질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )의 경우 표·저층이 유사한 경향을 보였다.

## 5. 요약

고성만 해역의 수질 특성 및 정체성을 알기 위해 23년간의 장기 관측자료를 분석한 결과, 고성만 해역은 chlorophyll-a, DIP, DIN을 기준으로 중영양(Mesotrophic) 단계이고, 화학적산소요구량(COD) 기준으로 우리나라 해역기준 해역등급 2등급으로 나타나, 고성만은 유입된 물질수지의 확산이 비교적 더딘 폐쇄성 내만임에도 불구하고 수질은 비교적 양호한 것으로 판단된다.

DIN, DINxs, chlorophyll-a의 계절분포를 비교해 보면 8월 표층에만 용존무기질소(DIN)가 과잉 공급이 나타나고, 그 외의 계절은 DINxs가 음(-)의 값으로 용존무기질소가 제한인자로 작용하는 것으로 나타났고, chlorophyll-a 농도의 계절별 변동을 비교할 때 고성만 해역의 식물플랑크톤 성장 제한인자는 용존무기질소

(DIN) 임을 증명해 주었다.

또한 고성만 해역은 용존무기인(DIP) 및 용존무기질소(DIN)의 농도 및 계절지수가 다른 계절에 비해 갈수기인 11월에 크게 높아 용존무기인(DIP) 및 용존무기질소(DIN)의 물질 수지가 담수에 의한 외부유입보다 양식활동으로 인한 양식장 자가오염 및 저층 퇴적물의 용출에 의한 내적인 요인이 크다는 것을 시사하며, 특히 용존무기인(DIP)의 농도가 전 계절 걸쳐 표층보다 저층이 높은 것으로 나타나 이를 더욱 뒷받침 하고 있다.

각 수질 성분의 변동계수를 비교하면 염분<pH<용존산소(DO)<수온<화학적산소요구량(COD)<용존무기인(DIP)<용존무기질소(DIN) 순으로 고성만 해역은 다른 수질요인보다 영양염의 변동이 활발함을 보여주고 있다.

각 수질요인의 이동평균을 시계열 분석한 결과 수온, 염분, pH 및 화학적산소요구량(COD)은 시간의 경과에 따른 변동이 거의 없는 것으로 나타났으며, 용존산소(DO), 용존무기인(DIP)은 시간의 경과에 따라 점차 증가하는 추세가 뚜렷하였으며, 이와 달리 용존무기질소(DIN)는 시간의 경과에 따라 이동평균이 점차 감소하는 추세를 보였다. 회귀분석결과 용존무기인(DIP)은 만해 축적되고, 용존무기질소(DIN)는 감소하는 추세가 뚜렷하게 나타났다. 한편 chlorophyll-a는 이동평균 및 회귀분석결과 점차 증가하는 추세가 뚜렷하여 향후 동 해역에서 식물플랑크톤 대증식의 가능성을 보여주고 있다.

용존무기인(DIP) 및 총무기질소(DIN)의 경우 갈수기인 11월에 표·저층의 평균 및 계절지수가 다른 계절에 비해 상대적으로 높고, 11월이 계절요인이 뚜렷한 것으로 나타나, 고성만의 영양염 수지는 담수 등에 의한 외부유입보다 만의 내부 즉 수산생물의 대량 양식 및 저층 퇴적물에서의 용출 등이 더 큰 요인인 것으로 추정된다.

이상의 결과를 정리하면 고성만은 전형적인 폐쇄성 내만임에도 불구하고, 해역등급 2등급을 유지하는 중영양(Mesotrophic) 단계의 해역이며, 용존무기인(DIP)이 꾸준히 증가하는 해역으로, 용존무기질소(DIN)가 과잉 공급되는 강우기에는 식물성플랑크톤의 대증식이 예견되는 해역이다. 또한 담수 유입이 적은 갈수기인 11월에 용존무기인(DIP) 및 용존무기질소(DIN)의 농도가 다른 계절에 비해 크게 높고, 전 계절에 걸쳐 용존무기인(DIP)의 농도가 표층보다 저층이 더 높은 것을 감안하면, 고성만에서 용존무기인(DIP) 및 용존무기질소(DIN) 등의 영양염은 담수에 의한 외부유입보다는 양식활동에 의한 자가오염 및 저층 퇴적물의 용출에 의한 내부적인 요인이 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 이에 대한 보다 면밀한 고찰이 요구되며, 향후 고성만의 해역의 수질 관리를 위해서는 이에 대한 고려가 필요하다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산과학원(해역별 갯녹음 발생동태조사 및 국가통합해양환경측정망 운영, RP-2010-RE-007)의 지원에 의해 수행되었습니다. 자료의 분석 및 수집을 위해 노력해주신 국립수산



과학원 관련 연구원들께 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

### 참고문헌

- [1] 권정노, 김종구, 고태승, 2001, 장기관측자료에 의한 금강하구 독 수문조작에 따른 수질 변화 평가, 한국수산학회지, 34(4), 348-354.
- [2] 김정배, 이상용, 유 준, 최양호, 정창수, 이필용, 2006, 가막만 빈산소 수괴의 특성, 한국해양환경공학회지, 9(4), 216-224.
- [3] 박성윤, 김형철, 김평중, 박경수, 이승민, 고준영, 전상백, 2009, 가로림연안 해양환경의 특성과 장기변동, 해양환경안전학회지, 15(4), 315-328.
- [4] 이필용, 강창근, 최우정, 양한섭, 2001, 고성만과 강진만에서 현탁물 섭취자에 유용한 입자물질 양과 질의 계절 변동, 한국수산학회지, 34(4), 340-347.
- [5] 이재성, 김기현, 김성수, 정래홍, 박중수, 최우정, 김귀영, 이필용, 이영식, 박영철, 김평중, 이원찬, 권정노, 엄기혁, 최정일, 전경암, 한정희, 2004, 한국남부 연안의 영양상태 평가와 저층 경계면의 중요성, 한국해양학회지, 9(4), 179-195.
- [6] 오경희, 방익찬, Eileen E, HOFMANN, 김윤, 김성연, 박윤정, 최광식, 2002, 수치모델을 이용한 고성만 양식 참굴의 연구, I, 먹이가 참굴의 성장에 미치는 영향, 한국수산학회지, 35(4), 327-335.
- [7] 윤상운, 이태섭, 2003, 실용통계학, 자유아카데미, 523-567.
- [8] 국립수산과학원, 1997~2009, 한국해양환경조사연보, 1997-2009.
- [9] Wang, G.T.F., Gong, G.-C., Liu, K.-K. and Pai, S.-C., 1998, 'Excess Nitrate' in the East China Sea, *Est, Coast, Shelf Sci*, 46, 411-418.
- [10] Wasmund, N., Andrushaitis, A., Lysiak-Pastuszek, E., Müller-Karulis, B., Nausch, G., Neumann, T., Ojaveer, H., Olenina, I., Postel, L. and Witek, Z., 2001, Trophic status of the South-Eastern Baltic Sea: A comparison of coastal and open areas, *Est, Coast, Shelf Sci.*, 53, 849-864.

---

2010년 8월 10일 원고접수

2010년 9월 4일 심사완료

2010년 9월 9일 수정본 채택