

## 한산거제만 해역의 수질 장기변동 특성

권정노<sup>1</sup> · 박영철<sup>2</sup> · 엄기혁<sup>3,†</sup>

<sup>1</sup>국립수산과학원 어장환경과

<sup>2</sup>국립수산과학원 남동해수산연구소

<sup>3</sup>국립수산과학원 해역이용영향평가센터

## The Characteristic of Long Term Variation of the Water Quality from Hansan-Geoje bay, Korea

Jung-No, Kwon<sup>1</sup>, Young-Chul Park<sup>2</sup> and Ki-Hyuk Eom<sup>3,†</sup>

<sup>1</sup>Marine Environment Research Division, NFRDI, Busan 619-902, Korea

<sup>2</sup>Southeast Sea Fisheries Resources Institute, NFRDI, Tongyeong, 650-943, Korea

<sup>3</sup>Marine Environment Impact Assessment Center, NFRDI, Busan 619-902, Korea

### 요 약

한산거제만 해역의 장기수질 특성을 알기 위해 1987년부터 2010년까지 만내 2개 정점에 대한 표·저층 수질에 대한 장기관측 자료를 분석하였다. 한산거제만 해역의 수질 영양수준은 중영양(Mesotrophic) 단계이고, 영양염은 대체로 하계인 8월부터 꾸준히 증가하여 갈수기인 11월에 최대 농도를 보인 후, 동계를 지나 이듬해의 춘계인 5월에 최저 농도가 되는 계절적 변동 특성을 보였다. 요인분석 결과 한산거제만은 영양염, 계절, 담수유입, 오염 및 내부생산 등의 5개 요인이 해역 수질 특성의 76.82%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 시계열분석 결과 수온, DO 및 저층 DIP는 증가, pH 및 COD는 감소하는 경향을 보였다. 특히 N/P비를 기준으로 DIN의 변동 추세는 1990년대를 전·후하여 과잉에서 부족으로 전환되었다. 또한 한산거제만은 전형적인 폐쇄성 내만이며 대규모 양식이 이루어지고 있음에도 1987년 이후 DIP를 제외하곤 수질이 대체로 개선되고 있는 것으로 나타났다. 한산거제만 해역의 지속적 이용과 보존을 위해서는 DIP 증가 또는 축적의 원인 파악이 필요하며, 이를 위해 한산거제만의 주요 양식생물과 환경과의 상호관계 등에 대한 연구가 필요하다.

**Abstract** – To study characteristics of the water quality in the Hansan-Geoje bay, we analyzed the long term monitoring data collected at the two sites during the period of 1987~2010. The trophic state of the waters in Hansan-Geoje bay was the mesotrophic level by the classification of Wasmud *et al.*[2001]. The water nutrients increased steadily from a wet season (Aug.), it reached the maximum concentration peak in a dry season (Nov.), and then decreased steadily to the winter, it reached at the minimum value in May in the next year. The result of factor analysis divided the waters of Hansan-Geoje bay into the five factors (nutrient, season, inflow land water, pollution, internal production) and the factors represented the 76.82% on the status of the waters. According to time series analysis, temperature, DO and bottom DIP were increased, and pH and COD were decreased during the period of 1987~2010. In particular, the fluctuation trend of DIN has been turned from oversupply to shortage by the N/P ratio since before and after 1990's. The water quality of the Hansan-Geoje bay has been recovered except DIP since 1987, despite of its geographical characteristic which is a general semi-closed bay and a massive aqua-culture ground. To preserve the waters in Hansan-Geoje bay, we need to know on the cause of the increase or accumulation of DIP, and we should continue to study on the interrelation between the aqua-culture and water environment.

**Keywords:** Hansan-Geoje bay(한산거제만), DIP(용존무기인), DIN(용존무기질소), long term variation(장기변동), water quality(수질)

<sup>†</sup>Corresponding author: ekh4465@korea.kr

## 1. 서 론

연안은 육상으로부터 유입되는 담수와 유기물, 영양염 등이 해양에 도달하는 해역으로 오염원의 배출과 확산, 생물화학적 자정기구 또는 재생산이 활발히 이루어지는 곳이며, 수산생물의 서식, 산란 및 회유 등과 같이 수산업에 있어 매우 중요한 해역이다. 삼면이 바다인 우리나라는 11,541 km의 해안선(남한)을 따라 연안과 습지가 발달되어 다양한 수산생물의 산란·성육장 역할을 해오고 있다.

연안 해역 중에서도 폐쇄성 또는 반폐쇄성 만은 지형적인 여건에 의해 태풍 등과 같은 자연재해가 적고, 낮은 해수 교환율로 인한 육상기원 영양염의 체류시간이 길어 해역의 기초생산력이 주변 해역에 비해 상대적으로 높아, 다양한 수산생물의 서식지 및 양식적으로 활용되고 있다. 그러나 이러한 해역의 특성은 수괴의 부영양화에 따른 식물성플랑크톤의 대증식과 하계 고수온기의 빈산소 수괴 형성 등과 같은 환경변화를 빈번히 야기하기 때문에 연안의 관리를 위해 특별한 관심과 연구가 필요한 해역이다(Kim *et al.* [2006]).

최근 연안은 생태, 관광자원 및 양식 등의 각종 활동과 환경 건강성 및 생물 생산성 등을 고려해서 해양환경관리해역, 수산자원보호구역, 습지보호지역, 해양생태계보존지역 등으로 지정 보존되고 있고, 하수처리장 건설 등과 같은 육상오염의 부하를 줄이기 위한 노력을 하고 있지만, 대규모 간척, 매립 등과 같은 인공해안(1990년도 14%→1998년도 18.5%)의 증가(Kim *et al.*[2009])와 육상기원 오염원의 축적 및 양식장의 자가오염 등으로 자연적인 연안의 파괴 및 생태계 교란이 한층 가중되고 있는 실정이다.

연안 해역의 효율적 보존 및 지속적 이용을 위해선 수질을 포함한 제반 환경에 대한 종합적인 정기 모니터링 시스템의 구축 운영이 필요하며, 미국과 유럽에서는 이미 오래전부터 다양한 모니터링 프로그램을 개발하여 지속적으로 모니터링을 수행하고 있고(Kim *et al.*[2011]), 우리나라의 경우 해양수산부를 중심으로 연안 해역에 대한 다양한 모니터링을 실시하고 있다(국립수산과학원[2013]). 또한 이러한 정기 모니터링의 결과물인 장기 관측 자료는 연안의 환경 특성 및 장기변동 경향을 파악 할 수 있어, 연안 환경의 예측과 관리를 위한 정책 수립에 유용하다. 그 동안 하구둑 건설 전·후의 금강 하구역의 암모니아질소의 축적 경향 파악(Kwon *et al.*[2001]), 가로림만 연안 용존무기질소 및 화학적산소요구량의 감소 경향 파악(Park *et al.*[2009]), 고성만의 용존무기인의 축적 경향(Kwon [2010]) 등의 연구 결과들은 이러한 장기관측 자료의 분석을 통해 얻어질 수 있었다.

한산거제만은 남해 동부 해역에 위치한 폐쇄성 내만으로 다양한 수산생물이 서식하고, 굴, 어류, 우렁챙이 등의 다양한 품종의 양식 활동이 활발히 이루어지고 있는 수산자원보존지구로 지정되어 있고, 특히 수하식 굴양식의 경우 미국 FDA의 패류 양식장으로 지정된 해역이다(국립수산과학원[2011]). 한산거제만은 지금까지 굴 양식장의 양식밀도(Cho *et al.*[1980]), 굴 먹이 공급량 추정(Park *et al.*[2002]), 굴 양식장의 지속적 이용(Cho *et al.*[2010]) 등 굴 양식

측면에서 한산거제만의 환경용량에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다. 본 연구는 장기관측 자료를 이용하여 한산거제만 수질 인자간의 상관관계 및 계절변동, 장기변동 특성을 파악하여, 한산거제만의 수질관리 및 지속적 이용 방안을 위한 기초로 활용하고자 한다.

## 2. 해역현황

한산거제만은 경상남도 거제도 남서부에 위치하고 있는 거제시 둔덕면, 거제면, 동부면 해안선으로 둘러싸인 거제만과, 통영시 한산면 소재 한산도와 추봉도의 동부 해역을 포함하는 만으로 남해 동부 연안에 위치하고 있으며, 동서 및 남북의 최대 길이가 각각 10 km이며 수역면적은 약 55 km<sup>2</sup>의 폐쇄성 내만이다. 해저지형은 거제도 남단에서 북서 방향으로 향하는 수로는 수심이 20~40 m로 깊고, 만 내측은 10 m 이내로 평탄한 지형이며, 전체 수용적은 545 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>이다. 만 내에는 4 개의 입구가 있고, 해수 교환은 한산면 봉암도와 거제시 동부면 사이의 만구와 한산도 북단과 화도 사이의 만구를 통해 대부분 이루어지고, 한산도 남단의 장좌리와 봉암도 사이의 만구는 수심이 얕고 수로가 좁아 해수 교환량은 적다.

한산거제만 해역에는 총 215건(1,011ha)의 양식어업권이 허가되어 있고, 전체 수면적의 14%를 양식면적이 차지하고 있다. 주요 양식으로는 굴, 어류, 우렁챙이, 바지락, 피조개, 전복, 홍합, 가리비, 미역 등이 있고, 특히 굴 수하식 양식의 어업권은 102건(614.7 ha)으로 한산거제만 전체 어업권의 47.4%(면적 61%)를 차지하고, 2009년도에 4,662 MT의 굴(알굴)이 생산되고 있다(국립수산과학원 [2011]).

## 3. 재료 및 방법

연구해역의 장기 수질 변동을 조사하기 위해 국립수산과학원에서 실시한 어장환경조사(1987~1996년) 및 해양환경측정망조사(1997~2010년) 중 관측점이 일치하는 2개 정점(st. A, st. B)의 24년간 수질 자료를 분석하였다(Fig. 1).

조사된 수질항목은 수온, 용존산소(DO), pH, 염분(salinity), 화학적산소요구량(COD), 암모니아질소(ammonia), 아질산질소(nitrite), 질산질소(nitrate), 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP), 규산규소(silicate), 총부유물질(SS) 및 chlorophyll-a 등 이다.

각 성분별 분석방법은 다음과 같다. 용존산소(DO)는 DO meter 또는 Winkler-Azide 방법으로 측정하였고, 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 측정하였다. 암모니아질소(ammonia)는 Indophenol 청색법, 아질산질소(nitrite)는 a-NED법, 질산질소(nitrate)는 Cu-Cd 칼럼을 이용한 아질산질소 환원법으로 측정하였다. 용존무기질소(DIN)는 ammonia, nitrite, nitrate의 합으로 나타내었고, 용존무기인(DIP)는 Ascorbic acid를 이용한 몰리브덴 청법, 규산규소(silicate)는 몰리브덴 청법, chlorophyll-a는 GF/F에 여과 후 acetone으로 추출하여 분광광도계로 측정하였다.

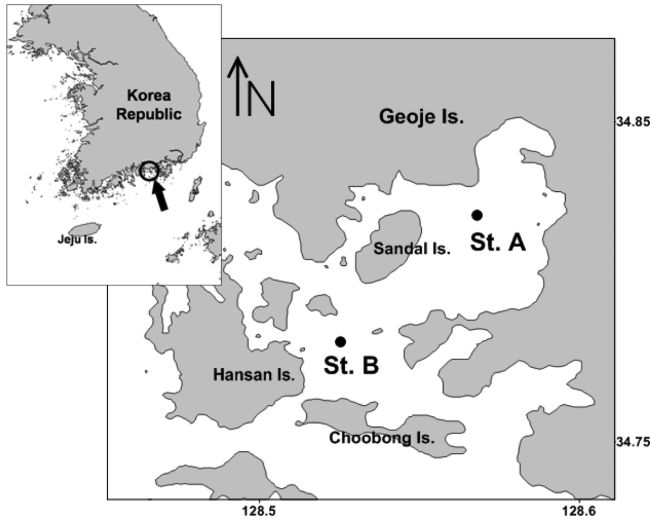


Fig. 1. The map of long term monitoring sites in Hansan-Geoje bay.

자료의 해석을 위하여 통계프로그램(SPSS ver. 12.0)을 이용하여 평균(Mean ± SE) 및 변동계수(CV) 등의 기술통계와 수질인자

간의 상호관계를 파악하기 위한 상관분석(correlation analysis), 요인분석(factor analysis)을 하였고, 수질의 장기변동을 파악하기 위한 이동평균과 회귀분석(regression analysis) 등의 시계열분석을 하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 수질 특성

한산거제만 2개 조사정점에 대한 24년간 표·저층 수질의 평균 ± 표준오차(Mean ± SE)와 변동계수(CV, Coefficient of Variations)의 요약을 Table 1에 나타내었다.

수온의 평균은 표층 15.93 °C, 저층 14.99 °C로 표층이 0.94 °C 높았고, salinity의 경우 평균은 표층 32.94 psu, 저층 33.39 psu로 저층이 0.45 psu 높았다. pH의 평균은 표층 8.12, 저층 8.10로 표·저층 차이가 거의 없었고, DO의 평균은 표층 7.28 mg/L, 저층 7.18 mg/L로 표층이 높은 것으로 나타났다. COD의 평균은 표층 1.25 mg/L, 저층 1.26 mg/L로 표·저층이 비슷한 것으로 나타났다. ammonia의 평균은 표층 2.59 μM, 저층 2.33 μM로 표층이 높은 것으로 나타

Table 1. The statics of long-term characteristics of water parameter in Hansan-Geoje bay during the period of 1987~2010

Parameter	n	depth	range	Mean ± SE	CV (%)
Temperature (°C)	192	surface	3.92 ~ 29.70	15.93 ± 0.45	38.9
		bottom	3.70 ~ 28.20	14.99 ± 0.38	33.8
salinity (psu)	192	surface	19.36 ~ 34.95	32.94 ± 0.13	5.6
		bottom	29.25 ~ 34.97	33.39 ± 0.07	2.8
pH	192	surface	7.33 ~ 8.53	8.12 ± 0.01	2.0
		bottom	7.27 ~ 8.53	8.10 ± 0.01	2.1
DO (mg/L)	192	surface	4.34 ~ 12.13	7.28 ± 0.11	20.0
		bottom	1.82 ~ 12.10	7.18 ± 0.13	24.7
COD (mg/L)	192	surface	0.11 ~ 3.71	1.25 ± 0.05	49.7
		bottom	0.16 ~ 5.98	1.26 ± 0.05	53.0
ammonia (μM)	192	surface	0.00 ~ 18.98	2.59 ± 0.19	102.4
		bottom	0.00 ~ 13.90	2.33 ± 0.16	96.7
nitrite (μM)	192	surface	0.00 ~ 2.04	0.42 ± 0.03	95.5
		bottom	0.00 ~ 2.00	0.43 ± 0.03	97.9
nitrate (μM)	192	surface	0.00 ~ 36.78	3.73 ± 0.35	129.6
		bottom	0.00 ~ 15.00	3.23 ± 0.25	105.9
DIN (μM)	192	surface	0.10 ~ 39.29	6.75 ± 0.45	90.3
		bottom	0.25 ~ 21.69	6.00 ± 0.34	78.0
DIP (μM)	192	surface	0.00 ~ 2.58	0.50 ± 0.03	75.7
		bottom	0.01 ~ 3.14	0.61 ± 0.03	79.1
silicate (μM)	56	surface	0.46 ~ 38.83	10.50 ± 1.15	82.0
		bottom	1.00 ~ 26.21	12.34 ± 1.06	64.1
chlorophyll-a (μg/L)	112	surface	0.29 ~ 16.00	2.66 ± 0.20	105.3
SS (mg/L)	192	surface	0.6 ~ 31.4	6.43 ± 0.35	76.3
N/P ratio	192	surface	0.21 ~ 502.75	28.26 ± 3.93	190.1
		bottom	0.36 ~ 157.14	14.27 ± 1.28	124.4
DINxs	192	surface	-35.59 ~ 32.38	-1.23 ± 0.53	-
		bottom	-36.16 ~ 14.17	-3.76 ± 0.49	-

SE: standard error, CV (%): changing variables

났고, nitrite의 평균은 표층 0.42  $\mu\text{M}$ , 저층 0.43  $\mu\text{M}$ 로 표·저층이 비슷하였고, nitrate의 평균은 표층 3.73  $\mu\text{M}$ , 저층 3.23  $\mu\text{M}$ 로 표층이 약간 높은 것으로 나타났고, DIN의 평균은 표층 6.75  $\mu\text{M}$ , 저층 6.00  $\mu\text{M}$ 로 표층이 높은 것으로 나타났고, DIP의 평균은 표층 0.50  $\mu\text{M}$ , 저층 0.61  $\mu\text{M}$ 로 저층이 높은 것으로 나타났다. silicate의 평균은 표층 10.50  $\mu\text{M}$ , 저층 12.34  $\mu\text{M}$ 로 저층이 표층에 비해 1.84  $\mu\text{M}$  높은 것으로 나타났다. chlorophyll-a의 표층 평균은 2.66  $\mu\text{g/L}$ , SS의 표층 평균은 6.43  $\text{mg/L}$ 로 나타났다. N/P비(N/P ratio)의 평균은 표층 28.26, 저층 14.27로 표층이 저층에 비해 13.99 높은 것으로 나타났다.

전반적으로 수온, pH, DO는 표층이 저층에 비해 높고, salinity는 낮은 것으로 나타났다. COD는 표·저층 차이가 거의 없었고, 영양염의 경우 ammonia, nitrate, DIN은 표층이 저층에 비해 높고, nitrite, DIP 및 silicate는 저층이 표층에 비해 높게 나타났다.

Chlorophyll-a의 평균이 2.66  $\mu\text{g/L}$ , DIP의 표·저층 평균이 각각 0.50  $\mu\text{M}$ , 0.61  $\mu\text{M}$ , DIN의 표·저층 평균이 각각 6.75  $\mu\text{M}$ , 6.00  $\mu\text{M}$ 로 Wasmund *et al.*[2001]의 해역 영양상태 분류에 따라 수질은

중영양(Mesotrophic) 단계로 분류할 수 있다. 비슷한 시기 인근의 고성만 해역의 수질과 비교하면(Kwon[2010]), 한산거제만이 고성만에 비해 chlorophyll-a는 0.29  $\mu\text{g/L}$  높고, COD, DIN 및 DIP는 약간 낮은 것으로 나타났다.

정점별로는 수온, salinity, pH 성분과 nitrite, nitrate, DIN, DIP와 같은 영양염은 st. A에 비해 st. B가 높았다(Table 2). DO, COD, ammonia, silicate, chlorophyll-a 및 SS는 st. B보다 st. A에서 높은 것으로 나타났다. 대체로 한산거제만의 중앙부에 위치한 st. B가 거제만 측에 위치한 st. A에 비해 해류 소통이 원활하고, 만 외측과의 해수순환 및 물질교환이 활발함을 보여주고 있다. 거제만의 중앙에 위치한 st. A는 st. B에 비해 DO, COD, chlorophyll-a와 SS 등이 높은 것으로 나타나, st. A가 st. B에 비해 해역의 내부생산이 보다 활발함을 보여주고 있다. 이는 굴 생산성이 1 개체 당 거제만 11.48  $\mu\text{g/day}$ , 한산만 7.56  $\mu\text{g/day}$ 로 거제만(st. A)의 굴 생산성이 한산만(st. B)보다 51% 높은 것으로 조사된 Cho *et al.*[2010]의 연구와 잘 일치한다.

**Table 2.** The statics of long-term characteristics of water parameter by site (st. A and st. B) in Hansan-Geoje bay during the period of 1987~2010

Parameter	n	depth	st. A		st. B	
			Mean $\pm$ SE	CV (%)	Mean $\pm$ SE	CV (%)
Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	96	surface	15.79 $\pm$ 0.72	44.0	16.08 $\pm$ 0.56	33.3
		bottom	14.65 $\pm$ 0.58	38.5	15.32 $\pm$ 0.45	29.0
salinity (psu)	96	surface	32.73 $\pm$ 0.18	5.4	33.16 $\pm$ 0.20	5.7
		bottom	33.26 $\pm$ 0.09	2.7	33.53 $\pm$ 0.10	2.9
pH	96	surface	8.11 $\pm$ 0.02	2.0	8.13 $\pm$ 0.02	2.1
		bottom	8.09 $\pm$ 0.02	2.2	8.11 $\pm$ 0.02	2.0
DO (mg/L)	96	surface	7.44 $\pm$ 0.15	20.0	7.12 $\pm$ 0.15	20.0
		bottom	7.29 $\pm$ 0.19	25.5	7.07 $\pm$ 0.17	23.8
COD (mg/L)	96	surface	1.33 $\pm$ 0.07	47.7	1.17 $\pm$ 0.06	51.4
		bottom	1.40 $\pm$ 0.08	54.3	1.13 $\pm$ 0.05	47.0
ammonia ( $\mu\text{M}$ )	96	surface	2.70 $\pm$ 0.34	120.3	2.48 $\pm$ 0.19	75.6
		bottom	2.55 $\pm$ 0.28	106.5	2.12 $\pm$ 0.17	79.0
nitrite ( $\mu\text{M}$ )	96	surface	0.33 $\pm$ 0.04	105.2	0.51 $\pm$ 0.04	84.8
		bottom	0.35 $\pm$ 0.04	109.8	0.51 $\pm$ 0.05	86.8
nitrate ( $\mu\text{M}$ )	96	surface	2.92 $\pm$ 0.46	151.5	4.56 $\pm$ 0.53	112.2
		bottom	2.26 $\pm$ 0.28	122.9	4.20 $\pm$ 0.38	89.0
DIN ( $\mu\text{M}$ )	96	surface	5.97 $\pm$ 0.66	107.2	7.54 $\pm$ 0.59	75.6
		bottom	5.16 $\pm$ 0.46	87.6	6.83 $\pm$ 0.48	68.9
DIP ( $\mu\text{M}$ )	96	surface	0.45 $\pm$ 0.04	83.8	0.55 $\pm$ 0.04	68.3
		bottom	0.55 $\pm$ 0.04	73.2	0.67 $\pm$ 0.06	81.4
silicate ( $\mu\text{M}$ )	28	surface	11.46 $\pm$ 1.89	84.0	10.21 $\pm$ 1.51	76.6
		bottom	13.27 $\pm$ 1.52	60.6	11.42 $\pm$ 1.48	68.4
chlorophyll-a ( $\mu\text{g/L}$ )	56	surface	2.81 $\pm$ 0.29	101.8	2.51 $\pm$ 0.28	110.0
SS (mg/L)	96	surface	6.58 $\pm$ 0.48	71.0	6.47 $\pm$ 0.55	83.0
N/P ratio	96	surface	30.41 $\pm$ 6.73	214.5	26.08 $\pm$ 4.05	149.8
		bottom	14.40 $\pm$ 2.07	140.4	14.14 $\pm$ 1.53	106.2
DINxs	96	surface	-1.22 $\pm$ 0.81	-	-1.25 $\pm$ 0.68	-
		bottom	-3.58 $\pm$ 0.64	-	-3.93 $\pm$ 0.74	-

SE: standard error, CV(%): changing variables

**Table 3.** The result of MANOVA analysis by case (station, depth and season)

Effect	station		depth		season	
	value	p	value	p	value	p
Pillai's trace	0.159	0.000	0.064	0.005	1.364	0.000
Wilks'	0.841	0.000	0.936	0.005	0.063	0.000
Hotelling' trace	0.189	0.000	0.069	0.005	8.521	0.000
Roy' maximum root	0.189	0.000	0.069	0.005	7.780	0.000

**4.2 계절별 변동 특성**

조사 정점에서 수질 성분의 공간적(수층 및 정점), 시간적(계절별) 변동특성 차이를 알기 위하여 다변량분산분석(MANOVA, Multivariate Analysis of Variance) 이용한 집단평균의 vectors를 비교 분석하였다. 다변량분산분석 검정 결과 모두 유의수준( $\alpha < 0.05$ )에서 수층별, 지점별, 계절별 평균의 분포가 동일하지 않은 것으로 나타났다(Table 3).

수층별(표·저층) 수질 성분의 MANOVA 분석결과 수온, 염분, DIP 등 3개 변수가 상이한 것으로 나타났고, 정점별(st. A 및 st. B) MANOVA 분석결과는 염분, COD, nitrite, nitrate, DIN, 및 DIP 등 6개 변수가 서로 다른 것으로 나타났다. 이에 비해 계절별(Feb, May, Aug, Nov) MANOVA 분석결과 COD를 제외한 수온, 염분, pH, DO, ammonia, nitrite, nitrate, DIN, DIP 및 silicate 등 10개 변수가 계절별로 상이한 것으로 나타났다. 따라서 한산거제만의 수질은 수층(depth) 보다는 정점(station)에 따른 변동 특성이 강하고, 정점 보다는 계절(season)에 따른 변동특성이 훨씬 강한 것으로 나타났다(Table 4).

한산거제만 해역의 수질변동 특성을 파악하기 위해 다른 요인에 비해 비중이 상대적으로 큰 계절 변동특성에 대해 분석하였다(Fig. 2 및 Table 5). 수온은 표·저층 모두 동계인 2월이 최소, 하계인 8월이 최대로 나타났고, salinity는 이와 반대로 표·저층 모두 하계인 8월에 최소, 동계인 2월이 최대로 나타났고, 특히 하계의 표·저층 차가 다른 계절에 비해 큰 것으로 나타났다. 수온과 salinity의 계절적 변동은 전형적인 겨울에는 저온고염, 여름에는 고온저염의

특성을 보였다. pH의 경우 표·저층 모두 2월이 최대, 11월 최소이며, 표·저층이 비슷한 계절 변동을 보였다. DO의 경우 표·저층 모두 동계인 2월이 최대, 하계인 8월이 최소로 나타났고, 2월과 5월에는 표층에 비해 저층이 약간 높았으나, 8월과 11월은 저층에 비해 표층이 높은 것으로 나타났다. COD의 경우 표·저층 모두 8월이 최대, 11월이 최소이고, 전 계절 표·저층간의 농도 차는 크지 않았다. 영양염의 경우 전반적으로 표·저층 모두 11월이 최대, 5월이 최소(ammonia는 2월이 최소)인 경향을 보여, 강우기에 공급된 많은 영양염이 11월까지 꾸준히 증가하고, 갈수기인 동계를 지나 이듬해의 5월에 농도가 최저가 됨을 보여준다. 영양염의 계절변동을 고려할 때 11월의 경우 Wasmund *et al.*[2001]의 분류에서 부영양(Eutrophic) 단계이나, 이에 반해 해역의 기초생산을 나타내는 chlorophyll-a의 농도는 11월이 가장 낮고, 5월과 8월에 3 µg/L 이상으로 높은 것으로 나타났다. 이처럼 chlorophyll-a의 농도가 11월에 가장 낮은 이유는 수온 등의 여러 가지 요인이 원인 될 수 있지만, Cho *et al.*[2010]의 연구에서처럼 한산거제만의 주요 양식생물인 굴의 주 성장 시기가 11월이고, 이 시기 굴의 여수율이 2.81 L/ind./hr(연 평균 여수율 1.84 L/ind./hr)로 최대임 고려하면, 굴의 포식압 증가가 식물성플랑크톤의 농도를 감소시키는 하나의 원인으로 보여진다.

식물플랑크톤 성장에 있어 제한인자의 판단기준인 N/P ratio는 표층의 경우 전 계절 16 이상이고, 저층의 경우 5월을 제외하곤 전 계절에서 16 이하로 나타나, 표층은 P가 제한인자이고 저층은 5월을

**Table 4.** The effect examination of MANOVA analysis on water parameter by case (station, depth and season)

Parameter	station		depth		season	
	F value	p	F value	p	F value	p
Temperature	0.601	0.439	3.955	0.047	753.615	0.000
salinity	5.583	0.019	11.285	0.001	54.819	0.000
pH	1.442	0.231	1.075	0.300	20.764	0.000
DO	2.644	0.105	0.358	0.550	52.163	0.000
COD	11.224	0.001	0.041	0.840	1.114	0.343
ammonia	1.679	0.196	0.820	0.366	3.323	0.020
nitrite	16.272	0.000	0.172	0.679	59.352	0.000
nitrate	17.935	0.000	1.071	0.301	31.727	0.000
DIN	8.601	0.004	1.466	0.227	29.376	0.000
DIP	6.387	0.012	7.383	0.007	18.518	0.000
silicate	0.961	0.339	-1.179	0.241	14.860	0.000
Chloropyll-a	0.318	0.574	-	-	0.890	0.449
SS	0.119	0.731	-	-	0.576	0.639

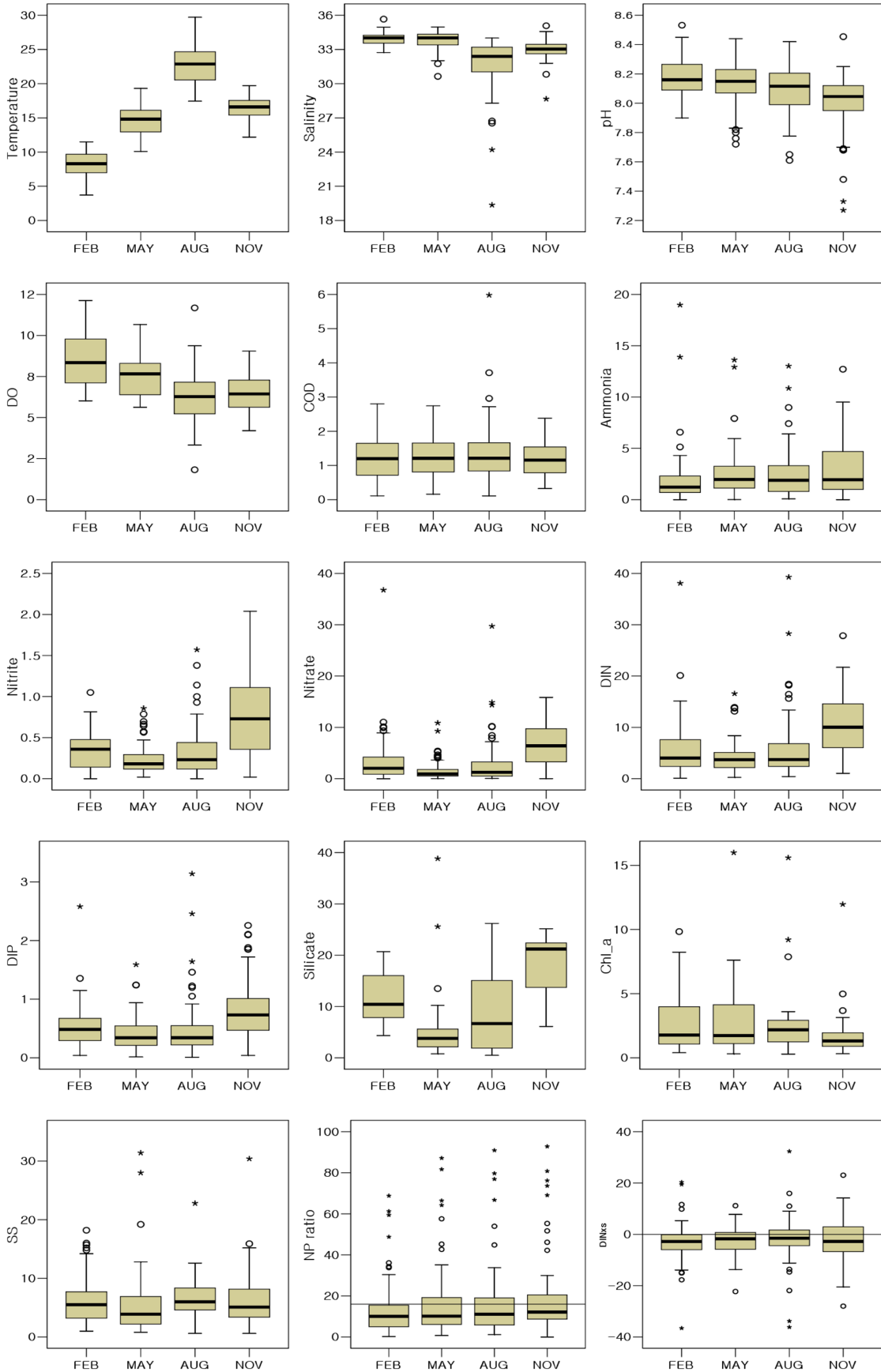


Fig. 2. Box diagram of seasonal characteristic variation at study area.

**Table 5.** The statics of seasonal characteristic variation by the water depth at the study area

	depth	Feb		May		Aug		Nov	
		Mean ± SE	CV (%)	Mean ± SE	CV (%)	Mean ± SE	CV (%)	Mean ± SE	CV (%)
Temperature	surface	8.30 ± 0.28	23.0	14.92 ± 0.34	15.6	24.83 ± 0.36	9.7	16.44 ± 0.23	9.6
	bottom	8.15 ± 0.26	22.0	14.20 ± 0.26	12.8	21.24 ± 0.31	10.1	16.38 ± 0.24	9.9
salinity	surface	33.92 ± 0.08	1.5	33.64 ± 0.13	2.8	31.12 ± 0.41	8.8	32.95 ± 0.13	2.8
	bottom	33.95 ± 0.08	1.6	33.95 ± 0.09	1.8	32.61 ± 0.16	3.4	33.10 ± 0.09	1.9
pH	surface	8.19 ± 0.02	1.6	8.14 ± 0.02	1.7	8.13 ± 0.02	1.9	8.02 ± 0.03	2.3
	bottom	8.18 ± 0.02	1.4	8.13 ± 0.02	1.8	8.07 ± 0.02	2.1	8.01 ± 0.03	2.4
DO	surface	8.41 ± 0.22	18.4	7.47 ± 0.16	14.6	6.49 ± 0.18	18.4	6.67 ± 0.17	17.0
	bottom	8.61 ± 0.23	18.7	7.63 ± 0.19	17.0	6.08 ± 0.25	28.3	6.38 ± 0.17	18.0
COD	surface	1.23 ± 0.10	53.9	1.25 ± 0.08	46.8	1.32 ± 0.11	53.2	1.20 ± 0.08	44.8
	bottom	1.21 ± 0.09	52.0	1.27 ± 0.08	45.1	1.38 ± 0.13	65.3	1.18 ± 0.07	41.3
ammonia	surface	2.07 ± 0.41	136.9	2.57 ± 0.34	90.2	2.64 ± 0.38	96.4	3.10 ± 0.42	92.2
	bottom	1.71 ± 0.31	125.9	2.36 ± 0.30	87.2	2.37 ± 0.31	89.3	2.91 ± 0.38	88.6
nitrite	surface	0.35 ± 0.03	58.3	0.23 ± 0.02	73.1	0.28 ± 0.04	94.5	0.80 ± 0.08	68.2
	bottom	0.32 ± 0.03	72.5	0.22 ± 0.03	84.3	0.35 ± 0.04	89.5	0.84 ± 0.08	66.2
nitrate	surface	3.94 ± 0.81	142.5	1.56 ± 0.26	114.2	3.05 ± 0.83	179.9	6.37 ± 0.63	67.3
	bottom	2.64 ± 0.37	96.7	1.35 ± 0.23	119.4	2.35 ± 0.31	91.0	6.66 ± 0.61	62.9
DIN	surface	6.36 ± 0.89	96.7	4.37 ± 0.44	69.6	6.02 ± 1.12	123.5	10.27 ± 0.82	54.5
	bottom	4.68 ± 0.48	71.1	3.93 ± 0.38	67.0	5.07 ± 0.55	75.7	10.41 ± 0.80	52.5
DIP	surface	0.54 ± 0.06	76.3	0.41 ± 0.05	81.5	0.34 ± 0.04	78.2	0.69 ± 0.06	56.4
	bottom	0.53 ± 0.04	51.7	0.40 ± 0.04	62.0	0.59 ± 0.08	97.3	0.93 ± 0.08	61.7
silicate	surface	11.24 ± 1.40	46.7	5.64 ± 2.58	171.3	6.76 ± 1.92	106.3	18.35 ± 1.54	31.4
	bottom	11.94 ± 1.54	48.2	6.84 ± 1.71	93.6	12.16 ± 2.34	71.9	18.44 ± 1.71	34.8
chlorophyll-a	surface	2.81 ± 0.45	85.0	3.03 ± 0.62	108.0	3.06 ± 0.69	110.4	1.92 ± 0.42	115.4
SS	surface	6.53 ± 0.60	64.19	5.98 ± 0.91	105.0	6.83 ± 0.53	53.7	6.37 ± 0.75	81.4
N/P ratio	surface	25.57 ± 10.38	281.4	24.03 ± 5.85	168.7	38.80 ± 9.21	157.4	25.45 ± 4.78	128.9
	bottom	10.69 ± 1.28	82.9	19.51 ± 4.33	153.7	11.74 ± 1.20	70.6	15.15 ± 1.97	89.3
DINxs	surface	-2.23 ± 1.21	-375.5	-2.27 ± 0.78	-239.1	0.51 ± 1.11	1444.3	-0.80 ± 1.05	-897.0
	bottom	-3.84 ± 0.68	-122.7	-2.40 ± 0.63	-182.8	-4.32 ± 1.18	-189.3	-4.47 ± 1.25	-191.0

제외하곤 N이 제한인자임을 보였다. 또한 N/P ratio를 보완하기 위하여 Wang *et al.*[1998]이 제안하고, Lee *et al.*[2004]이 연안의 암모니아를 고려하여 다음과 같이 수정 제한한 과잉용존무기질소 (Excess Dissolved Inorganic Nitrogen, DINxs)의 경우 8월 표층만 양(+)의 값이고, 그 외 계절의 표·저층은 모두 음 (-)의 값으로 나타났다.

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

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

N/P ratio와 DINxs를 함께 고려하면 전 계절 표층은 P가 제한인자이지만, 8월은 N의 과잉으로 인한 P가 제한인자이고, 나머지 계절은 N이 과잉이 아닌 상태에서 P가 제한인자인 것으로 나타났고, 저층은 전 계절이 N의 과잉이 아닌 상태에서 5월의 경우 P가 제한인자이고 나머지 계절은 N이 제한인자인 것으로 나타났다.

### 4.3 상관관계 및 요인분석

수질성분간의 상관관계를 나타낸 상관분석 결과를 Table 6에 나

타내었다. 수온은 salinity, pH, DO와 유의한 신뢰도에서 음 (-)의 상관관계를 보였다. salinity는 수온, 질소성분과 DIN, silicate와 모두 음 (-)의 상관관계를 보였고, pH는 salinity, DO, chlorophyll-a와 양 (+)의 상관관계, 수온, nitrite, nitrate, DIP, silicate와 음 (-)의 상관관계를 보였다. DO는 salinity, pH와는 양 (+)의 상관관계, 수온, COD, 질소성분 및 silicate와는 음(-)의 상관관계를 보였는데, 특히 수온과 음 (-)의 상관관계가 강하게 나타나 DO는 수온에 따른 산소포화율의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. COD는 ammonia와는 양 (+)의 상관관계, DO와는 음 (-)의 상관관계를 보였다.

질소성분들은 대체로 DIP, silicate와 양 (+)의 상관관계, salinity, pH, DO, chlorophyll-a와 음 (-)의 상관관계를 보였으나, ammonia의 경우 pH, DIP, silicate와 상관관계가 없어 nitrite 및 nitrate와는 거동이 다른 것으로 보였다. 또한 ammonia와 nitrate는 chlorophyll-a와 음 (-)의 상관관계를 보인 반면, nitrite는 chlorophyll-a와는 상관관계가 없고 SS과 양 (+)의 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. DIP의 경우 pH와는 음 (-)의 상관관계, ammonia를 제외한 무기영양염과는 양 (+)의 상관관계를 보였다. silicate는 salinity, pH,

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

Temp.	salinity	pH	DO	COD	ammonia	nitrite	nitrate	DIN	DIP	silicate	Chl-a	SS
Temp.	-0.54**	-0.19**	-0.42**									
	salinity	0.10*	0.13**		-0.21**	-0.16**	-0.28**	-0.32**		-0.19*		
		pH	0.15**			-0.29**	-0.13*	-0.13*	-0.19**	-0.29**	0.23*	
			DO	-0.13*	-0.15*	-0.10*	-0.10*	-0.15*		-0.38**		
				COD	0.16**							
					ammonia	0.11*	0.17**	0.59**			-0.22*	
						nitrite	0.59**	0.58**	0.49**	0.38**		0.15*
							nitrate	0.89**	0.41**	0.43**	-0.22*	
								DIN	0.38**	0.41**	-0.27**	
									DIP	0.29**		
										silicate		
											Chl-a	
												SS

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$  (two tails)

DO와는 음 (-)의 상관관계, ammonia를 제외한 무기영양염과는 양 (+)의 상관관계를 보였다.

Chlorophyll-a는 pH와 양 (+)의 상관관계, nitrite를 제외한 무기 질소성분과는 음 (-)의 상관관계를 보였다. 부유물질 (SS)의 경우 nitrite와 양 (+)의 상관관계를 나타냈다.

이상의 상관분석 결과를 통한 변수들 간의 공통 차원 및 상호 관계를 보다 명확하게 파악하기 위하여, 변수들 간의 상관관계를 분석하여 변수들의 공통차원을 설명할 수 있는 통계기법인 요인분석 (factor analysis)을 실시하였다.

주어진 자료가 요인분석(factor analysis)에 적절한지 판단하기 위하여 표본적합도에 대한 KMO(Kaiser-Meyer-Okli) 측도검정과 Bartlett의 구형성검정을 실시하였다. 검정 결과 KMO 측도 값이 0.571, Bartlett의 구형성 검정의 유의확율이  $p=0.000$ 으로 자료가

요인분석에 적합함을 확인하였다. 요인분석에 사용된 요인추출 방법은 주성분분석(PCA, principal component analysis)을 이용하였고, 고유값(eigenvalue)은 1보다 큰 요인을 추출하고, 직각회전의 한 방법인 베리맥스(varimax)를 요인회전 방법으로 이용하였다.

요인분석 결과 5개의 요인(factor)이 추출되었고, 누적 적재값(cumulative %)이 76.82%로 나타났다. factor 1은 영양염(nitrate, nitrite, DIP, silicate), factor 2는 계절(수온, pH, DO), factor 3은 담수(ammonia, salinity), factor 4는 오염물질(COD), factor 5는 내부 생산(SS, chlorophyll-a) 등 5개의 요인이 추출되었다. 요인별 적재값(cumulative %)은 영양염 요인(factor 1)이 26.7%, 계절요인(factor 2)은 18.8%, 담수 요인(factor 3)은 13.0%, 오염 요인(factor 4)이 11.3% 그리고 내부생산 요인(factor 5)이 10.9%로 각각 나타났다(Table 7).

**Table 7.** The principal component of Factor analysis and eigenvalue cumulative proportion at the study area

Variable	Factor				
	1	2	3	4	5
nitrate	<b>0.847</b>	-0.103	0.045	-0.058	-0.178
nitrite	<b>0.764</b>	-0.292	0.052	0.205	0.213
DIP	<b>0.758</b>	0.282	0.103	0.256	0.052
silicate	<b>0.707</b>	-0.129	-0.085	-0.376	0.089
temperature	-0.349	<b>-0.764</b>	0.427	0.077	0.097
pH	-0.161	<b>0.754</b>	0.057	0.137	0.214
DO	-0.229	<b>0.734</b>	-0.186	-0.073	-0.225
ammonia	0.119	-0.052	<b>0.931</b>	0.027	-0.131
salinity	0.033	0.461	<b>-0.659</b>	0.272	-0.223
COD	0.073	-0.037	-0.056	<b>0.887</b>	-0.067
SS	0.085	-0.100	0.006	-0.108	<b>0.892</b>
chlorophyll-a	-0.087	0.390	-0.116	0.453	<b>0.493</b>
Eigenvalue	2.61	2.26	1.56	1.36	1.30
Variance %	21.77	18.85	13.01	11.34	10.86
Cumulative %	21.77	40.60	53.61	64.96	76.82

\*extraction method: Pricipal Compnent Analysis (N=56)

\*\*KMO value 0.574, Bartlett 230.3 ( $p=0.000$ )



**Table 8.** The principal component and eigenvalue cumulative proportion of Factor analysis at the study area by case (station and depth)

Factor	Total	station		depth	
		st. A	st. B	surface	bottom
1	nitrate nitrite DIP silicate	pH -temp. salinity chl-a DO	nitrate DIP nitrite silicate	nitrate nitrite DIP silicate	DO -temp. salinity pH -silicate
2	-temp. pH DO	nitrate nitrite silicate DIP	-temp. DO salinity pH	-temp. pH DO	DIP nitrite nitrate
3	ammonia -salinity	ammonia COD	COD -ammonia	ammonia -salinity	COD ammonia
4	COD	SS	SS chl-a	COD	
5	SS chl-a			SS chl-a	
Cumulative %	76.82	71.09	72.88	75.82	67.02

정점에 따른 요인분석 결과 st. A의 경우 factor 1은 계절 및 내부생산 (pH, 수온, salinity, chlorophyll-a, DO), factor 2는 영양염 (nitrate, nitrite, silicate, DIP), factor 3은 오염(ammonia, COD), factor 4는 수괴의 탁도(SS) 요인 등 4개 요인이 추출되었고, 누적 적재값은 71.09%였다. st. B의 경우 factor 1은 영양염(nitrate, nitrite, DIP, silicate), factor 2는 계절 및 담수(수온, DO, salinity, pH), factor 3은 오염(ammonia, COD), factor 4는 내부생산(SS, chlorophyll-a) 등으로 4개의 요인이 추출되었고, 누적 적재값 72.88%로 나타났다(Table 8).

수층에 따른 요인분석 결과 표층의 경우 factor 1은 영양염 (nitrate, nitrite, DIP, silicate), factor 2는 계절(수온, pH, DO), factor 3은 담수(ammonia, salinity), factor 4는 오염물질(COD) 그리고 factor 5는 내부생산(SS, chlorophyll-a) 등 5개의 요인으로 추출 되었고, 누적 적재값은 75.82%로 나타났다. 저층의 경우 factor 1은 계절(DO, 수온, salinity, pH, silicate), factor 2는 영양염(DIP, nitrite, nitrate), factor 3은 오염물질(COD, ammonia) 등 3개의 요인으로 추출되었고, 누적 적재값은 67.02%로 나타났다.

st. A는 계절 및 내부생산, st. B는 영양염 성분이 factor 1로 추출되어, 거제만에 위치한 st. A는 수온의 변동과 chlorophyll-a와 같은 해역의 내부생산이 가장 큰 요인이고, st. B는 수로의 중심에 위치하여 만 내·외의 영양염 교환이 가장 큰 요인으로 설명되었다. 또한 표층은 영양염, 저층은 계절 및 퇴적층 성분이 factor 1로 추출되어, 육상기원의 영양염은 해역의 표층에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 나타났지만, 의외로 수온, DO 및 pH 등의 계절성분의 영향이 표층이 아닌 저층에서 크게 나타났다. 전반적으로 영양염 공급, 수온 변동, 담수유입 등이 한산거제만의 주요 요인이며, 이들 세 요인이 한산거제만 해역의 수질 특성에 대해 절반 이상 (53.61%)을 설명하는 것으로 나타났다.

#### 4.4 시계열분석

한산거제만의 두 정점 st. A 및 st. B의 장기자료에 대한 시간적 변동 추세를 파악하기 위하여 4-point 이동평균을 이용한 추세를 파악하고, 이동평균자료에 대한 회귀분석을 하였다(Fig. 3~4).

st. A는 수온의 경우 표·저층 모두 증가하는 추세이고, 1987년에 비해 2010년의 경우 표층은 0.28 °C 저층은 0.74 °C 증가한 것으로 나타났다. 염분의 경우 표·저층 모두 감소하는 추세를 보였으나, 회귀분석의 상관계수(r)가 유의수준 이하로 나타났다. pH의 경우 표·저층 모두 감소 추세를 23년간 0.19 감소하였다. DO는 표·저층 모두 증가 추세이고, 24년간 표층 2.49 mg/L, 저층은 2.86 mg/L 증가한 것으로 나타났다. COD는 표·저층 모두 감소 추세이고, 표층은 0.65 mg/L, 저층은 0.56 mg/L 정도 감소하였다. DIN의 경우 표·저층 모두 감소 추세를 보였고, 표층은 4.97 μM 감소하였으나, 저층의 상관계수는 유의성이 없는 것으로 나타났다. DIP의 경우 표·저층 모두 증가 추세를 보였고, 표층의 상관계수는 유의성 없고, 저층은 0.28 μM 증가한 것으로 나타났다. DINxs는 표·저층 모두 감소 추세를 보였으며, 표층은 1995년 이전에는 양 (+)의 값이고 이후에는 음 (-)의 값으로 전환되었고, 저층은 1990년 이전에는 양 (+)의 값, 이후에는 음 (-)의 값으로 전환되었다.

st. B는 수온의 경우 표·저층 모두 증가하는 추세이고, 1987년에 비해 2010년에 표층은 1.92 °C 증가하였고 저층의 상관관계는 유의수준 이하로 나타났다. salinity의 경우 표·저층 모두 감소하는 추세를 보였고, 24년간 표·저층 모두 0.74 psu 낮아진 것으로 나타났다. pH는 표·저층 모두 감소하는 추세로 24년간 표층 0.1, 저층 0.2 감소하였다. DO는 표·저층 모두 증가 추세이고, 24년간 표층 2.30 mg/L, 저층은 2.86 mg/L 증가하는 것으로 나타났다. COD의 경우 표층은 감소 저층은 증가하는 추세를 보였고, 표층의 경우 0.37 mg/L 감소하였고, 저층의 상관계수는 유의수준 이하로 나타났다. DIN은 표층은 감소, 저층은 증가하는 것으로 나타났고, 표층

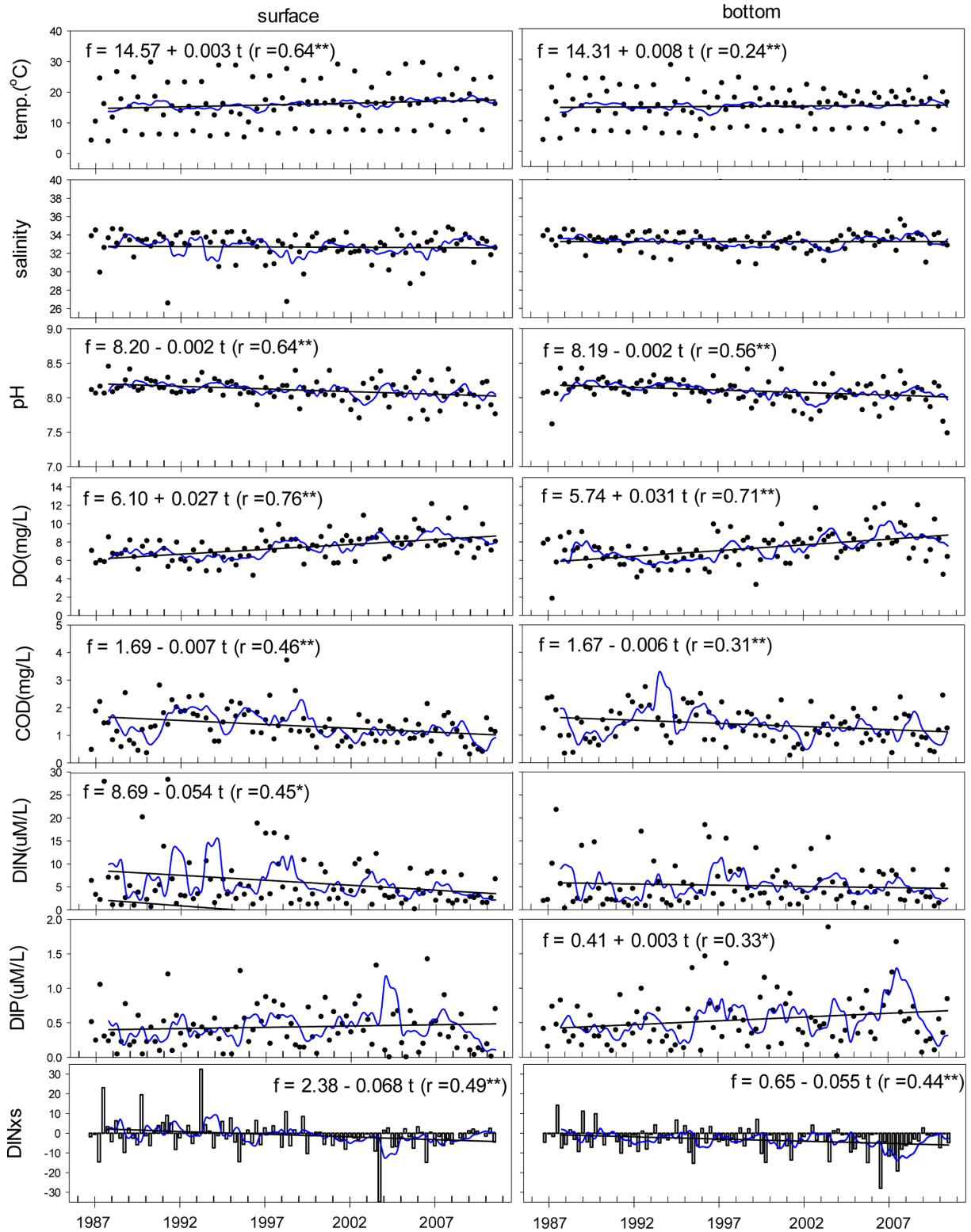


Fig. 3. Time series variation and trends of water parameters at st. A (black circle represent observed value, blue line smoothing trends by 4-point moving average, and black line regression equation).

의 상관계수는 유의수준 이하이며, 저층은 1.38  $\mu\text{M}$  증가한 것으로 나타났다. DIP의 경우 표·저층 모두 증가 추세를 보였고, 표층의 상관계수는 유의수준 이하이며, 저층은 0.37  $\mu\text{M}$  증가한 것으로 나타났

다. DINxs는 표·저층 모두 감소 추세로 표층은 1988년 이전에는 양 (+)의 값이고, 이후에는 음 (-)의 값으로 전환되었고, 저층의 경우 1987년 이전부터 음 (-)의 값인 것으로 나타났다.

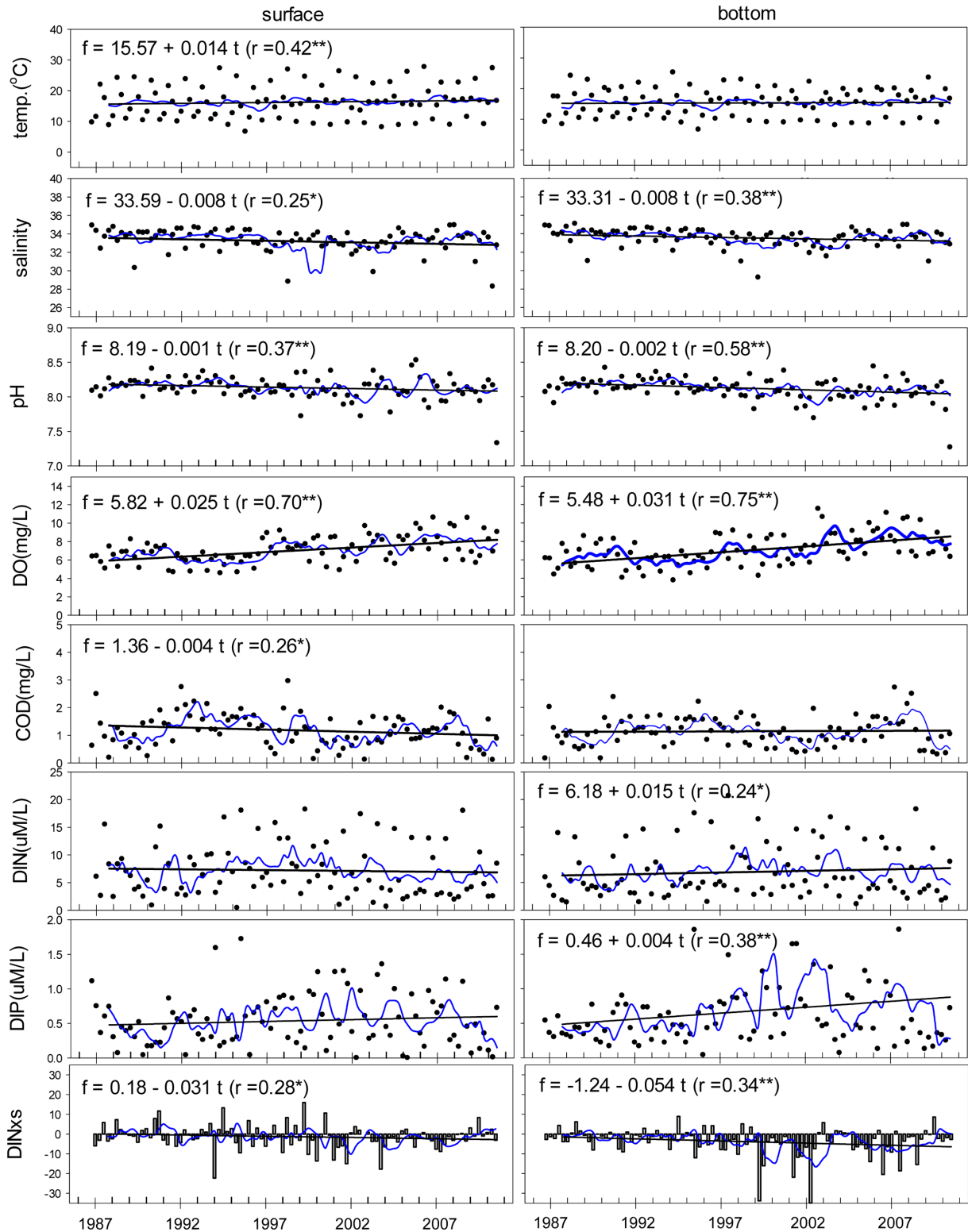


Fig. 4. Time series variation and trends of water parameters at st. B (black circle represent observed value, blue line smoothing trends by 4-point moving average, and black line regression equation).

두 정점에서 대체로 수온과 DO는 증가, pH와 COD는 감소하는 추세가 뚜렷하게 나타났고, 특히 DO의 증가와 COD의 감소 경향은 한산거제만 해역의 수질이 점차 개선되고 있다는 것을 보여준

다. DINxs는 N/P비를 기준으로 1990년대를 전·후하여 DIN이 과잉에서 부족으로 전환되었고, 저층에서 DIP 증가 추세는 뚜렷한 것으로 나타났다.

## 5. 요 약

한산거제만은 COD의 평균 농도는 1.25 mg/L 수준이고, DIN, DIP 및 chlorophyll-a 농도를 기준으로 한 Wasmund *et al.*[2001]의 해역 영양상태 분류에 따라 수질은 중영양(Mesotrophic) 단계로 분류할 수 있다.

만내 영양염 공급은 주로 만 외측의 해수로부터 공급되며, 만 중심보다 거제만 측의 해역에서 내부생산이 활발히 이루어지고 있는 것으로 나타났고, 만내 수질변동은 계절의 영향을 크게 받는 해역이다. 영양염의 계절적 변동특성은 하계인 8월에 증가하기 시작하여 갈수기인 11월에 최대 농도를 보인 후, 동계를 지나 이듬해 춘계인 5월에 최저(ammonia는 2월)가 됨을 보여준다. 또한 11월의 경우 영양염 농도는 부영양(eutrophic) 수준으로 높지만, chlorophyll-a의 농도는 오히려 낮아, 만내 대규모 양식이 만내 내부 물질순환 및 기초생산에 영향을 주는 것으로 보인다.

요인분석 결과 정점과 수층에 따른 주 요인이 서로 상이한 것으로 나타났고, 전반적으로 한산거제만은 영양염 공급, 수온 변동, 담수유입, 오염 및 내부생산 등 5개의 주요 요인으로 요약되었고, 이 요인들이 한산거제만 해역의 수질 특성의 76.82%를 설명하는 것으로 나타났다. 시계열 분석한 결과 수온 및 DO는 증가, pH와 COD는 감소 추세였고, 특히 저층의 DIP 증가 추세가 뚜렷하였다. 또한 DIN의 경우 N/P비를 기준으로 1990년대를 전·후하여 과잉에서 부족으로 전환되었다.

한산거제만은 전형적인 폐쇄성 내만이며 대규모 양식이 이루어지고 있음에도 불구하고 중영양(Mesotrophic) 단계를 유지하고 있고, 1987년 이후 저층에서의 DIP의 증가를 제외하곤 수질이 대체로 개선되고 있는 것으로 보여 진다. 따라서 한산거제만 해역의 지속적 이용과 보존을 위해서는 만내 DIP 증가의 원인 파악이 필요하며, 이를 위해 한산거제만의 주요 양식생물과 환경과의 상호관계 등에 대한 보다 면밀한 연구가 필요하다.

## 후 기

이 연구는 국립수산과학원(어장환경모니터링, RP-2013-RE-032)의 지원에 의해 수행되었습니다. 자료의 분석 및 수집을 위해 노력 해주신 국립수산과학원 관련 연구원들께 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

## 참고문헌

- [1] 국립수산과학원, 2011, 한산-거제만 해역 패류양식장 위생조사 보고서, 1~8.(NFRDI, 2011, Annual report of the sanitation survey on the aquaculture ground of shellfish in Hansan-Geoje bay, 1~8).
- [2] 국립수산과학원, 2013, 어장환경통합모니터링 운영지침, 1~15 (NFRDI, 2013, Management manual of the marine environmental around aquaculture area, 1~15).
- [3] Cho, Chang Hwan, 1980, Farming density of oyster of in Hansan-Geoje bay, Bull. Korean Fish. Soc., Vol. 13, No. 2, 45~56.
- [4] Cho, Yoon-Sik, Sok-Jin Hong, Sung-Eun Park, Rae-Hong Jung, Won-Chan Lee and Suk-Mo Lee, 2010. Application of Ecological Indicator to Sustainable Use of Oyster Culture Grounds in GeojeHansan Bay, Korea, Journal of Korea Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 1, 21~29.
- [5] Kim, Dongseon, Hyun-woo Choi, Kyung Hee Kim, Jin Hyun Jeong, Seung Ho Baek and Yong-Ok Kim, 2011. Statistical Analysis on the Quality of Surface Water in Jinhae Bay during Winter and Spring, Ocean and Polar Research, Vol. 33, No. 3, 291~301.
- [6] Kim, Baek Oon and Chang Kyung Lee, 2009. Estimation of Historical Shoreline on a Coastal Reclaimed Land (I): The Use of Aerial Photographs, Journal of the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 21, No. 5. 371~379.
- [7] Kim, Jeong-Bae, Sang Yong Lee, Jun Yu, Yang Ho Choi, Chang-Su Jung and Pil-Yong Lee, 2006. The characteristic of oxygen deficient water mass in Gamak bay, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 9, No. 4, 216~224.
- [8] Kwon, Jung-no, Jong-Gu Kim and Tae-Seung Ko, 2001. The Estimation of Water Quality Changes in the Kuem River Estuary by the Dyke Gate Operation Using Long-Term Data, J. Korean Fish. Soc, Vol. 34, No. 4, 348~354.
- [9] Kwon, Jung-no, 2010, Characteristic of long term variation of the water quality at the waters of Goseong bay, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 13, No. 4, 279~287.
- [10] Lee, Jae Seong, Kee Hyun Kim, Seong Soo Kim, Rae Hong Jung, Kui Young Kim, Jong Soo Park, Pil Yong Lee, Yong Sik Lee, Woo Jung Choi, Yong Chul Park, Pyung Jung Kim, Won Chan Lee, Jung No Kwon, Ki Hyuk Uym, Jeong Il Choi, Kyung ahm Jeon and Jung Hee Han, 2004, The assessment of trophic state and the importance of benthic boundary layer in the southern coast of Korea, The sea Journal of the Korean Society of Oceanography, Vol. 9, No. 4, 179~195.
- [11] Park, Jong Soo, Hyung Chul Kim, Woo Jeung Choi, Won Chan Lee and Chung Kil Park, 2002. Estimating the Carrying Capacity of a Coastal Bay for Oyster Culture: I. Estimating a Food Supply to Oysters Using an Eco- hydrodynamic Model in Geoje-Hansan Bay, J. Korean Fish. Soc, Vol. 35, No. 4, 395~407.
- [12] Park, Soung-Yun, Hyung-chul Kim, Pyoung-Joong Kim, Gyung-Soo Park, Joen-Young Ko, Sang-Baek Jeon, Seung-Min Lee and Jong-Soo Park, 2009. Long-term Variation and Characteristics of Water Quality in the Garolim Coastal Areas of Yellow Sea, Korea, Journal of the Korean Society of Marine

Environmental & Safety, Vol. 15, No. 4, 315~328.

- [13] 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.
- [14] Wasmund, N,, A, Andrushaitis, E, Lysiak-Pastuszek, B, Müller-Karulis, G, Nausch, T, Neumann, H, Ojaveer, I, Olenina, L, Postel and Z, Witek, 2001, Trophic status of the South-Eastern Baltic Sea: A comparison of coastal and open areas, Est. Coast. Shelf Sci., **53**, 849~864.

---

2013년 6월 7일 원고접수

2013년 7월 3일(1차), 8월 1일(2차) 심사수정일자

2013년 8월 7일 게재확정일자