

## 가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동

박승윤\* · 김형철\*\* · 김평중\*\*\* · 박경수\*\*\*\* · 고준영\*\*\* · 전상백\*\*\* · 이승민\*\*\* · 박종수\*\*\*  
\*,\*\*\* 국립수산과학원 서해수산연구소, \*\* 국립수산과학원 \*\*\*\* 안양대학교

## Long-term Variation and Characteristics of Water Quality in the Garolim Coastal Areas of Yellow Sea, Korea

Soung-Yun Park\* · Hyung-Chul Kim\*\* · Pyoung-Joong Kim\*\*\* · Gyung-Soo Park\*\*\*\* · Joen-Young Ko\*\*\*  
· Sang-Baek Jeon\*\*\* · Seung-Min Lee\*\*\* · Jong-Soo Park\*\*\*

\*\*\* West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon, 400-420, Korea

\*\* National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-902, Korea

\*\*\*\* Anyang University, Anyang, 430-714, Korea

**요 약** : 1997년부터 2008년까지 12년 동안 가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동 경향을 조사하였다. 3개 조사정점에서 수층(표층, 저층)별 및 계절별로 년 4회 수온, 염분, 부유물질, 화학적산소요구량, 용존산소, 영양염류, 클로로필 a에 대해 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에 수온을 제외한 전조사항목에서 표·저층간의 차이가 없었다. 공간적 분포특성은 모든 조사항목에서 정점간 유의적인 차이가 없어 가로림만 중간부터 외측으로 원활한 해수교환이 이루어지고 있었다. 계절별로는 수소이온농도와 암모니아질소를 제외한 조사 항목에서는 유의성이 입증되었고, 정점별로 대체로 비슷한 변화폭을 나타내었다. 12년 동안 수질의 장기 변동은 네 그룹으로 구분되어 항목에 따라 부분적으로 차이가 있으나 전반적 장기 변동을 조사한 결과 근래에 들어 염분은 높아진 반면, 용존무기질소, 질산질소 및 화학적산소요구량 등이 감소하고 있어 담수의 유입이 거의 없는 대체로 양호한 수질상태를 유지하고 있으며 수산학적으로 매우 중요한 연안으로 앞으로 지속적인 보전이 요구된다.

**핵심용어** : 수질환경, 가로림연안, 장기변동, 공간적 분포특성, 계절변동

**Abstract** : Long-term trends and distribution patterns of water quality were investigated in the Garolim coastal areas of Yellow Sea, Korea from 1998 to 2007. Water samples were collected at 3 stations and physicochemical parameters were analyzed including water temperature, salinity, suspended solids(SS), chemical oxygen demand(COD), dissolved oxygen(DO) and nutrients. Spatial distribution patterns were not clear among stations but the seasonal variations were distinct except pH and ammonia. The trend analysis by principal component analysis(PCA) during twenty years revealed the significant variations in water quality in the study area. Annual water qualities were clearly classified into 4 clusters by PCA: year cluster 1997, 1998 and 2000-2002, 1999 and 2003-2006/2008. By this multi-variate analysis the annual trends were summarized as follows: In recent years, salinity increased, whereas dissolved inorganic nitrogen, nitrate nitrogen and COD decreased and water quality generally continued to be in good condition in Garolim coastal areas without inflow of freshwater from land. Garolim coastal areas are required to be conserved continuously as important coastal areas for fisheries.

**Key Words**: Water quality, Garolim coastal areas, Long-term trends, Spatial distribution patterns, Seasonal variations

### 1. 서론

충청남도 서산군과 태안군에 둘러싸여 있는 가로림만은 육지 쪽으로 깊숙이 만입된 반폐쇄성형 만이다. 만의

갯벌은 약 70km<sup>2</sup>로 광범위하게 발달되어 있고 수심은 만입구 주수위가 20m 이상으로 가장 깊으며 육지 쪽으로 가면서 급격히 감소한다. 지형적으로는 뚜렷한 강이 발달하지 못하였으며, 작은 지류를 통하여 하천수가 가로림만으로 흘러 들어오고 있으나 거의 무시할 수 있는 정도이다(신 등, 1998). 본 만 및 연안은 양적으로 풍부한 생

\* 대표저자 : 정희원, psy111@nfrdi.go.kr 032-745-0640

물상으로(이 등, 1983) 천수만과 더불어 수산자원의 산란 및 서식장으로서 수산학적으로 충남연안의 중요한 연안인 반면에 우리나라에서는 드물게 입구 폭은 약 2km에 불과하나 내부 폭은 약 10km, 길이는 약 20km에 이르는 호리병 모양의 반폐쇄성 내만이며 조수간만의 차(7~9m)가 크기 때문에 조력발전소의 최적지로 꼽혀(유와 이, 2008) 발전소 건설을 추진 중으로 환경의 대한 면밀한 검토가 요구되는 시점으로 이곳의 연안 수질환경에 대한 특성을 파악하고 장기변동을 살펴보고자 한다. 이와 같은 가로림연안을 대상으로 그동안 가로림만 해수 교환 특성 파악을 위한 Hydro-hypsographic 분석(우 등, 2009), 황해 가로림만 조간대 표층퇴적물의 이동경로(신 등, 1998), 가로림만 대형조간대 퇴적물 이동(Lee et al., 2004), 가로림만 요각류의 계절변화에 대하여(김과 허, 1983), 가로림만의 저서동물군집에 관한 연구 조하대 동물 군집(이 등, 1983), 서해 가로림만 갯벌의 대형저서동물 공간분포(신 등, 2004), 가로림만 어업자원에 관하여(허 등, 1984), 가로림만의 환경가치 평가(유와 이, 2008), 가로림만과 랑스발전소 입지조건에 퇴적학적 비교(한, 1983), 가로림 조석발전에 대한 재평가(송, 1987), 조력발전 적정개발규모 결정을 위한 해석적 규형(이 등, 1994)이 보고되었다. 부영양화는 생태계에 유기물질의 유입 비율이 증가하는 것이며, 세계 여러 지역에서 연안역의 부영양화는 악영향을 미치는 주요한 문제로 대두되고 있다(Nixon, 1995) 그러나 그 시기와 규모에 대한 조사는 빈약한 실정이다(Billen and Garnier, 1997; Clarke et al., 2003). 마찬가지로 본 해역의 수질환경에 대한 연구는 아직 미흡한 실정으로 본 연구는 국내·외의 해양환경문제에 능동적으로 대처할 수 있도록 하기 위하여 가로림연안에 대한 국가해양환경측정망의 일환으로 1997부터 2008년까지 12년간 총 48회에 걸쳐 계절별(2, 5, 8, 11월)로 실시한 일반 수질환경성분에 대하여 조사한 결과로서 가로림연안에 대한 시공간적인 수질환경변동 특성을 파악함으로써 가로림연안을 효율적으로 이용할 수 있는 해양환경관리 및 보전정책수립의 환경기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

연구대상 해역인 아산연안에서 1997년부터 2008년까지 12년 동안 Fig. 1에서와 같이 3개 정점에 대해 계절별로 4회(2, 5, 8, 11월) 조사하였다. 시료는 현장에서 표층과 저층의 시료를 채취하여 냉장 또는 냉동상태에서 실험실로 운반하여 분석을 실시하였다. 수온은 봉상온도계 및 CTD(SBE 19, Seabird Electronics Co.)로 현장에서 측정하였고, 염분은 Inductively Coupled Salinometer 및 CTD로, 수소이온농도(pH)는 pH meter로, 용존산소량(DO)은 150 ml용 용존산소병에 시료를 채수하여 Winkler

개량법인 윙클러아지드화변법에 의하였고(국립수산진흥원, 1985), 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 실험실에서 측정하였다. 인산인( $PO_4^{3-}-P$ ), 암모니아질소( $NH_4^+-N$ ), 아질산질소( $NO_2^- -N$ )·질산질소( $NO_3^- -N$ )는 Strickland and Parsons(1972)(Strickland and Parsons, 1972) 방법 및 해양환경공정시험법(1998)(해양수산부, 1998)으로 측정하였으며, 용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소를 합한 값으로 나타내었다. 부유물질과 클로로필 a는 표층에서만 조사되었고, 분석방법은 해양환경공정시험법(1998)으로 측정하였다. 수질 항목에 대해 표층수와 저층수를 조사하여 표·저층 간의 차이에 대한 유의성 검정을 위해서 조사정점별 및 계절별로 표층 측정값에서 저층 측정값을 뺀 차이를 이용하여 대응비교에 의한 T 검정(Paired comparison T test)을 실시하였다. 그 결과 수온은 표·저층간의 차이가 있었으나 ( $p=0.011$ ), 그 외 수질항목은 표·저층간의 차이가 없어 본 자료 분석에는 표층수와 저층수의 평균값을 이용하였다.

수질환경의 장기 변동을 알아보기 위해 주성분분석(principal component analysis, PCA)의 통계 처리를 하였으며 PCA은 다변량 분석법(multivariate analysis)의 일종으로서 여러 개의 변수 중에 유사한 특성을 갖는 변수끼리 주성분으로 묶어 자료의 해석을 용이하게 하는 분석법이다. 본 논문에서는 조사 시기에 따른 다량의 수질변수를 연도별 수질분포 특성 과 변화 상태를 추정하는데 사용하였다. 각 측정 항목의 시공간적인 변동을 구명하기 위해서는 제1모형 이항분산분석(Two factor model I ANOVA)을 이용하였으며 처리효과는 조사정점(3등급)과 조사월(4그룹)이다.

수질변동의 요인을 구명하기 위하여 계절별 연도별 수질항목간 상관분석(Spearman's correlation analysis)을 통하여  $\alpha=0.05$  유의 수준에서 유의성을 검증하였으며, 상기의 분석은 PC SAS를 이용하였다(이 등, 2003; 통계교육원, 2005).

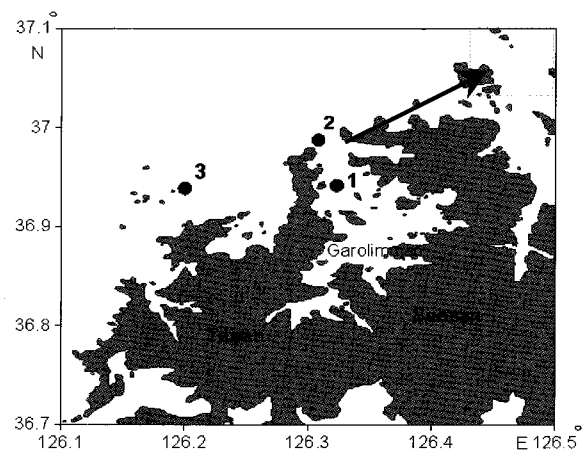


Fig. 1. A map showing the sampling sites in the study area.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시공간적 분포 특성

수질 항목의 시공간적 유의성 검정을 위해 정점별, 계절별 수질자료를 이용한 분산 분석 결과는 Table 1과 같다. 수질 항목의 공간적 차이를 살펴보면 전 조사항목에서 유의적인 차이가 없었다. 즉 공간적으로는 전 조사항목에서 분산분석결과 가로림만 내의 중간역인 정점 1과 입구의 정점 2 및 외측인 정점 3 간에 차이가 없는 것으로 나타나 가로림만 내의 중간까지는 외해측과 해수교환이 원활히 이루어지고 있으며, 내측의 중간부터 외측으로는 담수유입의 영향을 거의 받지 않는 것으로 생각되어진다. 계절별로 살펴보면 수소이온농도와 암모니아질소는 유의성이 없었으며 그 외 조사 항목에서는 유의성이 입증되었다( $p < 0.05$ ). 계절적 변화를 인근 연안과 비교해 보면 경기만(박 등, 1999; Park and Park, 2000)에 비해서는 변화가 적었고 천수만(박 등, 2006), 아산만(박 등, 2007)과는 유사한 경향을 나타내었다. 본 연안을 항목별로 살펴보면 투명도는 여름(8월), 가을(11월) 및 겨울(2월)과 봄(5월)의 3그룹으로 구분되었고, 수온은 우리나라의 4계절 특성상 4그룹으로 구분되었으며, 염분은 가을과 그 외 계절의 2그룹으로 나누어지며, 수소이온농도는 계절에 따른 변화가 없었다. 용존산소는 겨울, 봄 및 여름과 가을의 3그룹으로 구분되어지고, 화학적산소요구량은 계절별 약간 다른 특성을 나타내었으며, 부유물질은 겨울과 그 외 계절로 구분되었다. 영양염류의 계절적 순환은 생산, 분해 등의 생물학적 과정과 혼합 등의 수문학과 인입-출입의バランス, 담수 유입 등 영양염류의 공급원에 의존한다(Wafar et al., 1972; Gentilhomme and Lizon, 1998; Fock, 2003). 본 연안의 영양염류 중 인산인은 겨울, 봄과 가을, 여름의 세 그룹으로, 암모니아질소는 여름과 그 외 계절, 아질산질은 여름과 가을, 겨울과 봄의 두 그룹으로, 질산질소는 겨울과 봄, 여름 및 가을의 세 그룹으로 용존무기질소는 겨울~봄, 여름~가을의 두 그룹으로 구분되어지며, DIN/DIP비는 계절별로 변화가 없었다.

#### 3.2 수질 항목별 변동 특성

##### 1) 수온

수온은 전형적인 온대 수역의 변화 양상을 보였고, 각 정점 간에는 12년 동안 평균  $12.65 \pm 0.98^\circ\text{C}$ (정점 3)~ $13.13 \pm 1.02^\circ\text{C}$ (정점 1)로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며 정점 내에서의 변동계수는 52.27~53.68%로 비슷한 수준이었다. 월별로는 평균  $3.93 \pm 0.16^\circ\text{C}$ (2월)~ $21.98 \pm 0.22^\circ\text{C}$ (8월)로 유의수준 0.0001 이하에서 큰 차이를 보였다. 변동계수는 2월에는 23.70%로 약간 높았으나 점차 낮아져

8월에 6.08%로 변동폭이 적었다. 2월에는 정점 간의 수온차가 약간 컸으며 이와 같은 결과는 천수만 및 경기만(박 등, 1999; Park and Park, 2000; 박 등, 2006)과 같은 경향을 보였다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동을 보면 2003년에는 연평균  $11.99 \pm 1.80^\circ\text{C}$ 로 가장 낮았고, 1998년에는  $14.16 \pm 2.21^\circ\text{C}$ 로 가장 높았으며 12년 동안 대체로 연 0.024°C 정도 낮아지는 경향으로 주변연안과 다른 양상을 보였다(Table 4, Fig. 3).

##### 2) 염분

염분은 Table 2, Table 3 및 Fig. 2와 같이 정점 간에는 평균  $31.39 \pm 0.10$ (정점 1)~ $31.56 \pm 0.08$ (정점 3)로 가로림 중간역인 정점 1에서 정점 3까지 비슷한 염분으로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며, 전반적으로 아산연안(박 등, 2007)과 비슷하고, 천수만(박 등, 2006)에 비해 0.2 정도 높은 반면, 경기만(박 등, 1999; Park and Park, 2000)에 비해서는 0.6 정도 높았다(Table 5). 정점 내에서의 변동계수는 1.74~2.09%로 아산연안<sup>23)</sup> 4.06~8.99%, 천수만 4.40~5.58%, 인천연안의 6.35~8.65%보다 낮은 분산량을 보였다. 월별로는 평균  $31.00 \pm 0.10$ (8월)~ $31.68 \pm 0.08$ (2월)로 유의적인 차이를 보였으며( $p < 0.0001$ ), 변동계수는 1.45~1.89%로 계절별 낮은 분산량을 나타내었다. 연도별 변동 양상은 Table 4 및 Fig. 3과 같이 전반적으로 2004년을 기점으로 변곡선 형태를 보이고 있었다. 즉 1997년에는  $32.15 \pm 0.16$ 로 가장 높았었고 그 후 점차 낮아져 2004년에는  $31.60 \pm 0.14$ 이었으며 그 후 점차 높아져 2008년에는  $31.93 \pm 0.10$ 이었다.

##### 3) 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 정점 간 평균이  $7.99 \pm 0.02$ (정점 1, 2)~ $8.00 \pm 0.02$ (정점 3)로 정점 간 차이가 거의 없었으며 변동계수 역시 1.67~1.96%로 아산연안, 천수만, 인천연안(박 등, 1999; Park and Park, 2000; 박 등, 2006; 박 등, 2007)과 마찬가지로 전 수질항목 중 가장 낮았다. 계절별로는  $7.97 \pm 0.03$ (8월)~ $8.03 \pm 0.02$ (11월)로 유의적인 차이가 없었고, 변동계수는 1.05(5월)~2.09%(8월)로 변동폭이 매우 적었다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 불규칙적이거나 대체로 연 0.009 정도 높아지는 경향으로 2001년에는  $7.87 \pm 0.05$  가장 낮았었고 그 후 증감을 반복하여 2008년에는  $8.14 \pm 0.02$ 이었으며, 변동계수는 0.59~2.34%로 아산연안과 비슷하였고, 천수만 및 경기연안에 비해 매우 적은 변동폭을 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

##### 4) 용존산소(DO)

용존산소는 정점별 평균이  $8.51 \pm 0.24$  mg/L(정점 3)~ $8.59 \pm 0.25$  mg/L(정점 1)로 정점 간의 차이는 거의 없었으며 변동계수는 18.72(정점 2)~20.31%(정점 1)로 천수만 19.50~20.04%와 비슷하고, 아산연안 21.90~24.17%, 인천

Table 1. ANOVA tables for spatial and temporal differences in water quality in the Garolim costal areas of Yellow Sea from 1997 to 2008

Variable	Source	F	Pr>F	Variable	Source	F	Pr>F	Variable	Source	F	Pr>F
Water Temperature	Station	0.06	0.9426	Salinity	Station	0.93	0.3973	pH	Station	0.05	0.9502
	Season	900.49	<.0001		Season	11.59	<.0001		Season	1.15	0.3308
DO	Station	0.03	0.9702	COD	Station	0.26	0.7723	SS	Station	0.13	0.8811
	Season	79.38	<.0001		Season	6.17	0.0006		Season	18.48	<.0001
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Station	0.06	0.9404	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Station	0.34	0.7128	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	Station	0.32	0.7265
	Season	19.15	<.0001		Season	2.07	0.1075		Season	16.16	<.0001
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Station	0.15	0.8606	DIN	Station	0.21	0.8070	DIN/DIP	Station	0.43	0.6493
	Season	44.70	<.0001		Season	16.86	<.0001		Season	1.80	0.1503
Chl-a	Station	0.57	0.5685	Trans.	Station	4.17	0.0179				
	Season	5.93	0.0008		Season	31.74	<.0001				

Table 2. Descriptive statistics of water quality parameters at the sampling stations collected in February, May, August, and November from 1997 to 2008 in the Garolim costal areas of Yellow Sea

Variable	St.	N	Mean±SE	Range	CV(%)	Variable	St.	N	Mean±SE	Range	CV(%)
W.T.(°C)	1	48	13.13 ± 1.02	2.60 ~ 24.65	53.59	NH <sub>4</sub> -N(mg/L)	1	48	0.029 ± 0.007	0.000 ~ 0.302	163.10
	2	48	12.95 ± 0.98	3.00 ~ 24.35	52.27		2	48	0.023 ± 0.005	0.000 ~ 0.211	147.46
	3	48	12.65 ± 0.98	2.85 ~ 24.20	53.68		3	48	0.034 ± 0.013	0.000 ~ 0.620	271.11
Salinity	1	48	31.39 ± 0.10	29.66 ~ 32.65	2.09	NO <sub>2</sub> -N(mg/L)	1	48	0.007 ± 0.001	0.000 ~ 0.025	77.00
	2	48	31.45 ± 0.09	29.85 ~ 32.97	1.96		2	48	0.007 ± 0.001	0.000 ~ 0.033	102.06
	3	48	31.56 ± 0.08	29.82 ~ 32.80	1.74		3	48	0.006 ± 0.001	0.000 ~ 0.023	96.61
pH	1	48	7.99 ± 0.02	7.67 ~ 8.32	1.67	NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	1	48	0.134 ± 0.012	0.009 ~ 0.311	60.50
	2	48	7.99 ± 0.02	7.60 ~ 8.27	1.75		2	48	0.144 ± 0.015	0.006 ~ 0.453	70.94
	3	48	8.00 ± 0.02	7.62 ~ 8.40	1.96		3	48	0.141 ± 0.015	0.009 ~ 0.483	75.52
DO(mg/L)	1	48	8.59 ± 0.25	5.54 ~ 12.14	20.31	DIN(mg/L)	1	48	0.167 ± 0.012	0.018 ~ 0.354	50.05
	2	48	8.58 ± 0.23	6.12 ~ 12.33	18.72		2	48	0.174 ± 0.014	0.015 ~ 0.464	57.00
	3	48	8.51 ± 0.24	5.40 ~ 11.68	19.37		3	48	0.181 ± 0.018	0.014 ~ 0.665	68.61
COD(mg/L)	1	48	1.11 ± 0.06	0.13 ~ 2.63	39.77	PO <sub>4</sub> -P(mg/L)	1	48	0.018 ± 0.001	0.001 ~ 0.053	50.64
	2	48	1.07 ± 0.06	0.26 ~ 2.36	41.67		2	48	0.018 ± 0.001	0.005 ~ 0.053	51.74
	3	48	1.05 ± 0.07	0.37 ~ 2.73	46.57		3	48	0.018 ± 0.001	0.003 ~ 0.050	50.13
SS(mg/L)	1	48	22.33 ± 2.05	2.60 ~ 57.30	63.51	DIN/DIP	1	48	50.16 ± 26.85	3.15 ~ 1304.59	370.89
	2	48	21.07 ± 2.48	3.20 ~ 91.50	81.51		2	48	26.27 ± 3.22	1.85 ~ 144.06	84.97
	3	48	22.88 ± 3.17	2.40 ~ 125.00	95.93		3	48	63.35 ± 41.41	3.05 ~ 2008.19	452.94
Trans.	1	38	1.5 ± 0.2	0.3 ~ 5.8	69.3	Chl-a(μg/L)	1	41	1.65 ± 0.19	0.07 ~ 4.67	75.03
	2	38	1.8 ± 0.2	0.2 ~ 7.3	73.9		2	41	1.58 ± 0.19	0.09 ~ 5.19	75.67
	3	38	2.6 ± 0.4	0.2 ~ 9.8	86.0		3	41	1.38 ± 0.19	0.08 ~ 6.02	87.51
Depth(m)	1	8	14.0 ± 0.9	9.0 ~ 16.0	17.5						
	2	8	20.8 ± 1.2	16.0 ~ 25.0	16.2						
	3	8	28.4 ± 1.2	25.0 ~ 34.5	11.6						

Table 3. Descriptive statistics of water quality parameters in February, May, August, and November at three sampling stations from 1997 to 2008 in the Garolim costal areas of Yellow Sea

Variable	Mon	N	Mean±SE	Range	CV(%)	REGWQ Grouping	Variable	Mon	N	Mean±SE	Range	CV(%)	REGWQ Grouping
W.T.(°C)	2	35	3.93 ± 0.16	2.60 ~ 5.77	23.70	D	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/L)	2	35	0.019 ± 0.004	0.000 ~ 0.115	127.09	A
	5	36	10.00 ± 0.22	7.85 ~ 13.65	13.13	C		5	36	0.019 ± 0.003	0.000 ~ 0.070	91.24	A
	8	36	21.98 ± 0.22	19.53 ~ 24.65	6.08	A		8	36	0.050 ± 0.019	0.005 ~ 0.620	227.25	A
	11	37	15.42 ± 0.36	4.66 ~ 17.80	14.33	B		11	37	0.027 ± 0.006	0.000 ~ 0.165	140.11	A
Salinity	2	35	31.68 ± 0.08	30.83 ~ 32.45	1.45	A	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)	2	35	0.003 ± 0.000	0.000 ~ 0.010	89.72	B
	5	36	31.61 ± 0.09	29.85 ~ 32.80	1.75	A		5	36	0.004 ± 0.000	0.000 ~ 0.012	72.42	B
	8	36	31.00 ± 0.10	29.66 ~ 31.63	1.87	B		8	36	0.009 ± 0.001	0.001 ~ 0.031	67.32	A
	11	37	31.58 ± 0.10	30.45 ~ 32.97	1.89	A		11	37	0.009 ± 0.001	0.000 ~ 0.033	75.25	A
pH	2	35	8.00 ± 0.03	7.60 ~ 8.32	2.03	A	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)	2	35	0.219 ± 0.020	0.035 ~ 0.483	52.73	A
	5	36	7.98 ± 0.01	7.86 ~ 8.15	1.05	A		5	36	0.190 ± 0.010	0.081 ~ 0.313	32.47	A

가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동

Table 3. continued

Variable	Mon	N	Mean±SE	Range	CV(%)	REGWQ Grouping	Variable	Mon	N	Mean±SE	Range	CV(%)	REGWQ Grouping
COD(mg/L)	8	36	7.23 ± 0.17	5.54 ~ 9.00	14.20	C	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P(mg/L)	8	36	0.107 ± 0.019	0.014 ~ 0.665	107.75	B
	11	37	7.45 ± 0.13	5.40 ~ 9.27	10.31	C		11	37	0.140 ± 0.009	0.061 ~ 0.258	37.09	B
	2	35	1.29 ± 0.08	0.56 ~ 2.36	35.54	A		2	35	0.025 ± 0.002	0.008 ~ 0.053	38.68	A
	5	36	1.03 ± 0.07	0.37 ~ 2.37	41.44	BC		5	36	0.018 ± 0.001	0.003 ~ 0.029	40.18	B
	8	36	1.14 ± 0.08	0.41 ~ 2.73	44.25	AB		8	36	0.011 ± 0.001	0.001 ~ 0.026	46.82	C
SS(mg/L)	11	37	0.86 ± 0.05	0.13 ~ 1.71	38.42	C	DIN/DIP	11	37	0.018 ± 0.001	0.006 ~ 0.053	45.18	B
	2	35	38.67 ± 4.01	5.80 ~ 125.00	61.41	A		2	35	22.89 ± 1.65	7.14 ~ 44.57	42.66	A
	5	36	19.00 ± 1.79	5.60 ~ 53.80	56.63	B		5	36	33.67 ± 4.13	12.67 ~ 145.86	73.51	A
	8	36	16.68 ± 2.40	2.40 ~ 55.60	86.44	B		8	36	111.41 ± 64.99	1.85 ~ 2008.19	349.99	A
	11	37	14.67 ± 1.36	3.40 ~ 34.30	56.39	B		11	37	18.51 ± 0.92	7.20 ~ 32.28	30.36	A
Trans.	2	33	0.7 ± 0.1	0.2 ~ 1.4	42.6	C	Chl-a(μg/L)	2	29	1.21 ± 0.18	0.07 ~ 4.53	82.34	B
	5	30	1.4 ± 0.1	0.7 ~ 2.6	37.0	C		5	33	1.99 ± 0.25	0.08 ~ 4.68	71.70	A
	8	24	3.8 ± 0.5	0.8 ~ 9.8	60.7	A		8	30	1.91 ± 0.26	0.10 ~ 6.02	73.91	A
	11	27	2.5 ± 0.2	1.0 ~ 6.4	46.5	B		11	31	1.00 ± 0.07	0.18 ~ 1.81	38.71	B

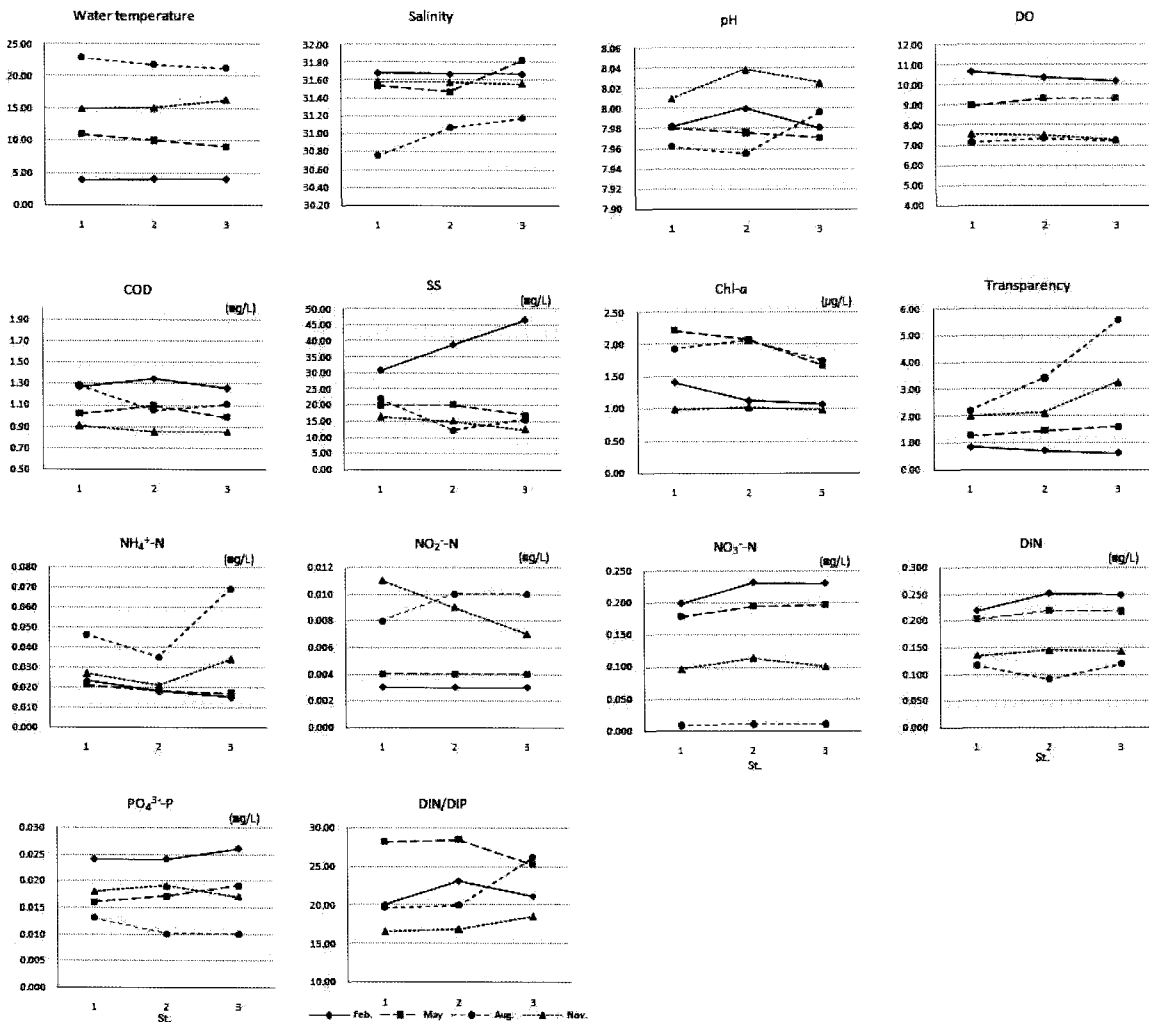


Fig. 2. Seasonal tendency of water quality in three stations from 1997 to 2008 in the Garolim coastal areas of Yellow Sea.

Table 4. Annual descriptive statistics of water quality parameters from 1997 to 2008 in the Garolim coastal areas of Yellow Sea

Variable	Year	N	Mean±SE	Range	CV(%)	Variable	Year	N	Mean±SE	Range	CV(%)
W.T.(°C)	1997	12	12.82 ± 2.12	3.40 ~ 23.30	57.40	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/L)	1997	12	0.107 ± 0.054	0.005 ~ 0.620	176.13
	1998	12	14.16 ± 2.21	4.95 ~ 24.65	54.16		1998	12	0.039 ± 0.013	0.008 ~ 0.121	115.12
	1999	12	12.94 ± 1.83	4.85 ~ 21.90	49.10		1999	12	0.020 ± 0.003	0.010 ~ 0.050	56.68
	2000	12	12.60 ± 2.06	3.72 ~ 22.64	56.70		2000	12	0.008 ± 0.003	0.000 ~ 0.035	123.37
	2001	13	12.40 ± 2.16	2.60 ~ 23.74	62.84		2001	13	0.057 ± 0.010	0.011 ~ 0.165	63.41
	2002	11	13.13 ± 1.91	4.53 ~ 22.17	48.32		2002	11	0.020 ± 0.005	0.002 ~ 0.060	86.51
	2003	12	11.99 ± 1.80	3.63 ~ 19.94	52.00		2003	12	0.018 ± 0.003	0.001 ~ 0.031	54.97
	2004	12	12.96 ± 2.04	3.90 ~ 23.63	54.62		2004	12	0.011 ± 0.002	0.005 ~ 0.031	62.09
	2005	12	13.48 ± 2.10	2.96 ~ 22.90	53.99		2005	12	0.013 ± 0.001	0.005 ~ 0.021	36.54
	2006	12	12.19 ± 2.18	2.84 ~ 23.61	61.98		2006	12	0.008 ± 0.001	0.002 ~ 0.022	64.60
	2007	12	13.96 ± 1.89	5.50 ~ 23.08	46.90		2007	12	0.019 ± 0.004	0.006 ~ 0.050	80.20
	2008	12	12.37 ± 2.05	2.79 ~ 22.76	57.39		2008	12	0.020 ± 0.010	0.000 ~ 0.115	166.20
Salinity	1997	12	32.15 ± 0.16	31.24 ~ 32.97	1.70	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)	1997	12	0.009 ± 0.001	0.001 ~ 0.019	57.77
	1998	12	31.77 ± 0.17	30.80 ~ 32.45	1.88		1998	12	0.008 ± 0.002	0.002 ~ 0.031	107.27
	1999	12	31.22 ± 0.21	29.66 ~ 31.96	2.37		1999	12	0.005 ± 0.002	0.000 ~ 0.010	104.45
	2000	12	31.43 ± 0.06	31.06 ~ 31.63	0.65		2000	12	0.006 ± 0.002	0.000 ~ 0.016	102.33
	2001	13	31.49 ± 0.14	30.55 ~ 32.75	1.61		2001	13	0.007 ± 0.001	0.000 ~ 0.010	53.77
	2002	11	31.33 ± 0.13	30.32 ~ 31.82	1.37		2002	11	0.006 ± 0.001	0.003 ~ 0.014	63.10
	2003	12	30.97 ± 0.14	30.45 ~ 31.65	1.55		2003	12	0.010 ± 0.003	0.003 ~ 0.033	107.68
	2004	12	30.61 ± 0.14	29.82 ~ 30.98	1.52		2004	12	0.006 ± 0.002	0.001 ~ 0.018	100.84
	2005	12	31.39 ± 0.11	30.63 ~ 31.96	1.19		2005	12	0.004 ± 0.001	0.001 ~ 0.012	86.80
	2006	12	31.67 ± 0.12	31.34 ~ 32.40	1.32		2006	12	0.005 ± 0.001	0.003 ~ 0.010	41.61
	2007	12	31.65 ± 0.11	30.72 ~ 32.05	1.22		2007	12	0.008 ± 0.002	0.001 ~ 0.023	90.75
	2008	12	31.93 ± 0.10	31.54 ~ 32.65	1.11		2008	12	0.003 ± 0.001	0.001 ~ 0.010	83.60
pH	1997	12	7.99 ± 0.03	7.84 ~ 8.11	1.20	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)	1997	12	0.070 ± 0.015	0.014 ~ 0.160	71.74
	1998	12	8.05 ± 0.04	7.91 ~ 8.25	1.52		1998	12	0.099 ± 0.013	0.026 ~ 0.149	45.95
	1999	12	7.93 ± 0.04	7.72 ~ 8.15	1.86		1999	12	0.153 ± 0.022	0.050 ~ 0.270	49.79
	2000	12	7.94 ± 0.04	7.72 ~ 8.09	1.68		2000	12	0.118 ± 0.016	0.030 ~ 0.180	46.10
	2001	13	7.87 ± 0.05	7.60 ~ 8.27	2.34		2001	13	0.096 ± 0.017	0.035 ~ 0.230	65.90
	2002	11	8.03 ± 0.05	7.86 ~ 8.32	2.05		2002	11	0.118 ± 0.021	0.031 ~ 0.213	59.98
	2003	12	7.96 ± 0.02	7.88 ~ 8.11	1.04		2003	12	0.163 ± 0.020	0.079 ~ 0.284	43.19
	2004	12	7.93 ± 0.05	7.64 ~ 8.15	2.01		2004	12	0.192 ± 0.047	0.029 ~ 0.483	85.29
	2005	12	8.05 ± 0.03	7.91 ~ 8.16	1.08		2005	12	0.197 ± 0.027	0.042 ~ 0.354	46.85
	2006	12	8.10 ± 0.04	7.84 ~ 8.40	1.64		2006	12	0.197 ± 0.039	0.026 ~ 0.384	68.90
	2007	12	7.97 ± 0.01	7.93 ~ 8.05	0.59		2007	12	0.179 ± 0.030	0.043 ~ 0.343	58.53
	2008	12	8.14 ± 0.02	8.02 ~ 8.24	0.80		2008	12	0.099 ± 0.021	0.006 ~ 0.223	72.54
DO(mg/L)	1997	12	8.02 ± 0.48	5.40 ~ 10.06	20.80	DIN(mg/L)	1997	12	0.185 ± 0.051	0.061 ~ 0.665	95.28
	1998	12	8.33 ± 0.41	6.50 ~ 10.45	16.90		1998	12	0.145 ± 0.015	0.056 ~ 0.216	35.14
	1999	12	8.79 ± 0.41	6.78 ~ 10.44	15.96		1999	12	0.180 ± 0.020	0.091 ~ 0.283	38.13
	2000	12	7.20 ± 0.33	5.60 ~ 8.62	15.86		2000	12	0.132 ± 0.014	0.052 ~ 0.187	35.33
	2001	13	7.84 ± 0.53	5.90 ~ 10.96	24.57		2001	13	0.160 ± 0.020	0.083 ~ 0.305	45.73
	2002	11	8.19 ± 0.59	5.54 ~ 12.14	23.82		2002	11	0.144 ± 0.021	0.072 ~ 0.240	47.97
	2003	12	9.49 ± 0.31	8.08 ~ 11.04	11.31		2003	12	0.190 ± 0.021	0.103 ~ 0.315	37.84
	2004	12	9.28 ± 0.39	7.83 ~ 11.68	14.70		2004	12	0.209 ± 0.047	0.042 ~ 0.498	77.57
	2005	12	8.67 ± 0.49	6.51 ~ 11.04	19.66		2005	12	0.214 ± 0.026	0.051 ~ 0.368	42.76
	2006	12	9.40 ± 0.57	6.71 ~ 11.62	20.92		2006	12	0.210 ± 0.039	0.042 ~ 0.392	63.73
	2007	12	8.61 ± 0.54	6.94 ~ 12.33	21.58		2007	12	0.201 ± 0.027	0.073 ~ 0.351	47.25
	2008	12	8.91 ± 0.32	7.45 ~ 10.85	12.53		2008	12	0.116 ± 0.025	0.014 ~ 0.260	74.06
COD(mg/L)	1997	12	1.05 ± 0.11	0.41 ~ 1.45	35.19	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P(mg/L)	1997	12	0.010 ± 0.002	0.001 ~ 0.025	78.08
	1998	12	0.86 ± 0.13	0.13 ~ 1.69	51.93		1998	12	0.017 ± 0.002	0.009 ~ 0.032	35.31
	1999	12	1.23 ± 0.07	0.74 ~ 1.62	20.78		1999	12	0.015 ± 0.002	0.008 ~ 0.026	36.23
	2000	12	0.87 ± 0.08	0.43 ~ 1.32	32.87		2000	12	0.021 ± 0.003	0.008 ~ 0.043	55.39
	2001	13	1.16 ± 0.14	0.44 ~ 2.16	44.37		2001	13	0.018 ± 0.003	0.008 ~ 0.053	61.93
	2002	11	1.02 ± 0.13	0.37 ~ 1.71	43.09		2002	11	0.025 ± 0.004	0.010 ~ 0.053	58.88
	2003	12	1.91 ± 0.16	1.06 ~ 2.73	29.30		2003	12	0.018 ± 0.001	0.011 ~ 0.023	23.63
	2004	12	1.36 ± 0.08	0.96 ~ 1.93	19.73		2004	12	0.017 ± 0.002	0.006 ~ 0.028	47.80
	2005	12	1.03 ± 0.09	0.58 ~ 1.59	29.11		2005	12	0.019 ± 0.003	0.009 ~ 0.033	51.67
	2006	12	0.75 ± 0.05	0.56 ~ 1.09	21.64		2006	12	0.019 ± 0.003	0.003 ~ 0.029	47.25
	2007	12	0.87 ± 0.04	0.73 ~ 1.09	15.18		2007	12	0.021 ± 0.002	0.013 ~ 0.030	29.22
	2008	12	0.80 ± 0.05	0.59 ~ 1.12	20.12		2008	12	0.016 ± 0.001	0.010 ~ 0.024	30.27
SS(mg/L)	1997	12	52.69 ± 8.21	27.00 ~ 125.00	53.98	DIN/DIP	1997	12	40.96 ± 24.08	7.74 ~ 2008.19	203.64
	1998	12	30.77 ± 6.83	5.70 ~ 74.30	76.87		1998	12	18.89 ± 1.76	13.57 ~ 29.63	31.10
	1999	12	14.40 ± 3.04	4.20 ~ 33.40	73.05		1999	12	26.57 ± 3.05	9.11 ~ 50.13	36.61
	2000	12	21.48 ± 3.68	3.40 ~ 42.20	59.36		2000	12	13.92 ± 1.26	9.71 ~ 25.00	28.09

가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동

Table 4. continued

Variable	Year	N	Mean±SE	Range	CV(%)	Variable	Year	N	Mean±SE	Range	CV(%)
Trans.	2001	13	24.72 ± 4.33	8.80 ~ 55.60	63.10	Chl-a(μg/L)	2001	13	19.68 ± 3.13	7.20 ~ 44.61	49.31
	2002	11	22.49 ± 3.96	6.40 ~ 45.40	58.34		2002	11	12.75 ± 1.62	7.14 ~ 23.66	37.25
	2003	12	17.58 ± 3.72	3.20 ~ 38.20	73.36		2003	12	23.37 ± 1.74	18.18 ~ 35.67	25.40
	2004	12	19.03 ± 2.97	3.20 ~ 33.20	54.07		2004	12	27.22 ± 2.82	12.73 ~ 44.57	40.84
	2005	12	13.50 ± 1.90	7.40 ~ 27.40	48.73		2005	12	24.94 ± 4.84	10.89 ~ 65.76	57.23
	2006	12	15.87 ± 2.42	6.60 ~ 37.80	52.75		2006	12	24.47 ± 3.87	10.98 ~ 58.96	51.28
	2007	12	23.42 ± 3.61	8.60 ~ 49.20	53.44		2007	12	21.19 ± 1.65	9.91 ~ 26.88	27.48
	2008	12	8.93 ± 2.15	2.40 ~ 26.80	83.19		2008	12	16.05 ± 2.65	1.85 ~ 27.04	56.34
	1997	6	1.07 ± 0.27	0.50 ~ 2.20	62.94		1997	3	3.01 ± 0.55	2.12 ~ 4.00	31.36
	1998	3	0.60 ± 0.00	0.60 ~ 0.60	0.00		1998	0	.	.	.
	1999	12	2.48 ± 0.59	0.60 ~ 6.40	82.76		1999	12	0.86 ± 0.11	0.18 ~ 1.31	45.84
	2000	12	2.13 ± 0.46	0.60 ~ 6.00	74.53		2000	12	0.71 ± 0.30	0.07 ~ 2.85	148.76
	2001	9	1.63 ± 0.40	0.30 ~ 4.00	73.09		2001	13	0.50 ± 0.15	0.08 ~ 1.81	107.81
	2002	0	.	.	.		2002	11	1.53 ± 0.23	0.71 ~ 3.20	50.83
	2003	12	3.24 ± 0.85	0.50 ~ 9.80	91.05		2003	12	2.18 ± 0.45	0.79 ~ 4.68	70.75
	2004	12	2.03 ± 0.50	0.60 ~ 6.00	86.18		2004	12	1.65 ± 0.21	0.90 ~ 3.25	44.26
2005	12	1.91 ± 0.38	0.80 ~ 5.50	68.45	2005	12	2.10 ± 0.37	0.81 ~ 4.48	61.70		
2006	12	1.73 ± 0.19	0.70 ~ 3.10	38.23	2006	12	1.40 ± 0.26	0.50 ~ 3.42	65.39		
2007	12	1.34 ± 0.32	0.20 ~ 3.90	83.27	2007	12	1.51 ± 0.13	0.78 ~ 2.31	28.95		
2008	12	1.85 ± 0.30	0.90 ~ 4.50	56.15	2008	12	2.67 ± 0.50	0.86 ~ 6.02	64.87		

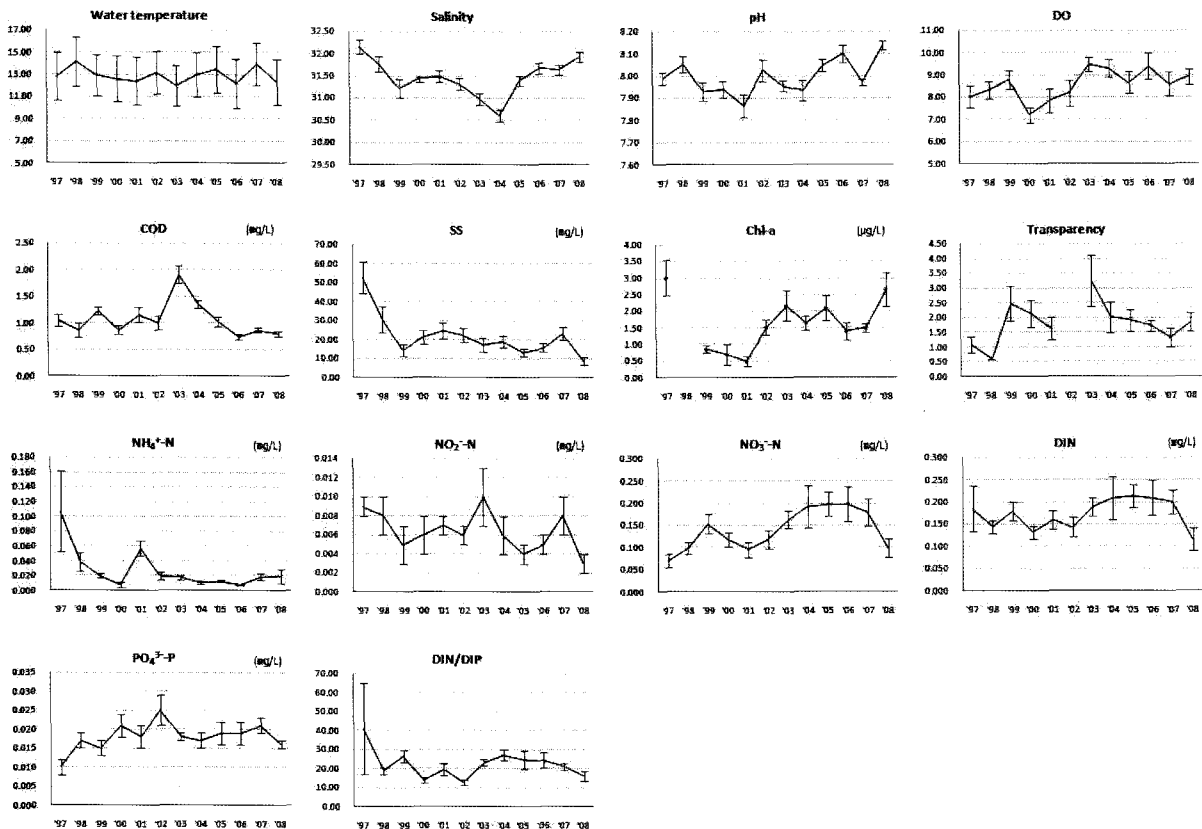


Fig. 3. Annual trends of water quality from 1997 to 2008 in the Garolim coastal areas. Values are means by year and vertical bars indicate one standard error of the mean data.

연안 19.79~23.77%<sup>21</sup>(박 등, 1999; Park and Park, 2000; 박 등, 2006; 박 등, 2007)에 비해 약간 적은 변동폭을 나타내었다. 계절별로는 7.23±0.17 mg/L(8월)~10.43±0.18 mg/L(2월)로 큰 차이를 보였으며(p<0.0001), 일반적인 연

안특성인 아산연안 및 천수만과 비슷한 상태로서 수온이 낮은 겨울철에 높은 값을 보이고 하절기에는 낮은 값을 나타내었다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 대체로 연 0.103 mg/L 높아지는 경향으로 2000년에는

7.20±0.33 mg/L로 낮아졌다가 그 후 점차 증가하여 2003년에는 9.49±0.31 mg/L로 조사기간 중 가장 높은 상태이었으며 그 후 증감을 반복하여 2008년에는 8.91±0.32 mg/L이었다. 변동계수는 11.31~24.57%로 아산연안(박 등, 2007)과 천수만(박 등, 2006)등의 주변연안에 비해 적은 변동폭을 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

##### 5) 화학적 산소요구량(COD)

화학적 산소요구량은 정점별 평균이 1.05±0.07 mg/L(정점 1) ~ 1.11±0.06 mg/L(정점 3)로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며(p=0.8178), 변동계수는 39.77(정점 1)~46.57%(정점 3)로 주변연안(박 등, 2006; 박 등, 2007)에 비해 낮은 변동 폭을 나타내었다. 계절별로는 0.86±0.05 mg/L(11월)~1.29±0.08 mg/L(2월)로 유의적인 차이가 있었으며(p=0.0003) 전반적으로 해역별 수질 I 등급(1.0 mg/L이하) 내외로 대체로 양호한 상태를 나타내었고, 변동계수는 35.54(2월)~44.25%(8월)로 주변연안 48.21~67.37%(박 등, 2006; 박 등, 2007)보다 적은 상태였다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 대체로 연 0.012 mg/L 낮아지는 추세로 2003년까지는 점차 높아지다가 그 후 낮아지는 형태를 보여 주었는데, 1997년에는 1.05±0.11 mg/L이었다가 연도별 불규칙적으로 높아져 2003년에는 1.91±0.16 mg/L로 해역별 수질 II등급(2.0 mg/L이하)에 근접하다가 그 후 점차 낮아져 2008년에는 0.80±0.05 mg/L로 해역별 수질 I 등급을 나타내었다. 변동계수는 1998년에 51.93%로 가장 컸고 2007년에 15.18%로 가장 낮았으며 전반적으로 2003년 이후에서 그 이전에 비해 낮은 변동 폭을 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

##### 6) 부유물질

부유물질은 정점별 평균이 21.07±2.48 mg/L(정점 2)~22.88±3.17 mg/L(정점 3)로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며, 변동계수는 63.51(정점 1)~95.93%(정점 3)로 주변연안(박 등, 2006; 박 등, 2007)과 마찬가지로 외측이 내측에 비해 변동 폭이 컸다. 계절별로는 가을철인 11월이 14.67±1.36 mg/L로 낮았고 겨울철인 2월이 38.67±4.01 mg/L로 높아 계절별로 유의적인 차이가 있었으며(p < 0.0001), 겨울철이 다른 계절에 비해 2~2.6배 높은 경향으로 이러한 현상은 겨울에 북서계절풍의 영향으로 사료된다. 변동계수는 56.39(11월)~86.44%(8월)로 여름이 다른 계절에 비해 높은 변동폭을 나타내었다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동양상은 전반적으로 연 2.09 mg/L정도 낮아지는 경향이였으며, 1997년에 평균 52.69±8.21 mg/L로 가장 높았는데, 특히 겨울철(2월)이 90.60±30.13 mg/L로 높은 현상을 나타내었다. 그 후 낮아져 1999년에는 14.40±3.04 mg/L이었다가 증감을 반복하여 2008년에는 8.93±2.15 mg/L을 나타내고 있었다(Table 4, Fig. 3).

##### 7) 인산인( $PO_4^{3-}-P$ )

인산인은 정점별 평균이 0.018±0.001 mg/L로 동일하였으며, 인천연안의 0.024±0.002 mg/L~0.034±0.004 mg/L(박 등, 1999; Park and Park, 2000)에 비해 70% 수준이었으나 천수만(박 등, 2006)과 곰소만(양 등, 2003)에 비해 다소 높았고, 아산연안(박 등, 2007)과 새만금연안(김과 김, 2002)과는 유사한 상태이었다(Table 5, 여와 강, 1998). 변동계수 역시 50.13(정점 3)~51.74%(정점 2)로 정점별 비슷한 변동 폭을 나타내었다. 계절별로는 0.011±0.001 mg/L(8월)~0.025±0.002 mg/L(2월)로 대체로 겨울철이 높고 여름철이 낮은 상태로 매우 높은 유의적인 차이(p < 0.0001)가 있었는데, 이것은 아산연안 및 천수만과 다른 경향으로 담수유입의 영향을 덜 받았고, 식물성 플랑크톤의 흡수율이 감소하고 겨울 혼합에 의한 해저퇴적물에 부착되어던 고농도의 인산인이 주변수로 방출되었기 때문으로 사료된다. 변동계수는 2월에 38.68%이었고 8월에 46.82%로 아산연안(박 등, 2007)에 비해 변동폭이 약간 적은 수준이었다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 대체로 연 0.0004 mg/L 높아지는 경향으로 1997년에는 0.010±0.002 mg/L이었다가 2002년에 0.025±0.00 mg/L로 계속 증가하였다가 그 후 2004년에 0.017±0.002 mg/L로 감소한 후 증감하여 2008년에는 0.016±0.001 mg/L 수준을 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

##### 8) 암모니아질소( $NH_4^+-N$ )

암모니아질소는 정점별 평균이 0.023±0.005 mg/L(정점 2)~0.034±0.013 mg/L(정점 3)로 정점간 유의적인 차이가 없었고(p=0.6602), 인천연안 측정치인 0.202±0.025 mg/L~0.480±0.068 mg/L(박 등, 1999; Park and Park, 2000)에 비해 10% 수준으로 낮았으며 새만금연안(김과 김, 2002)의 25%, 천수만(박 등, 2006)의 50% 수준이었고, 곰소만(양 등, 2003)과 유사한 결과를 나타내었다(Table 5). 변동계수는 147.5(정점 2)~271.1%(정점 3)로 정점별 변동폭이 큰 상태이었다. 계절별로는 겨울철과 봄철이 0.019±0.004, 0.003 mg/L로 적었고 여름철이 0.050±0.019 mg/L로 상대적으로 높았으나 유의적인 차이(p=0.0673)가 없었다. 변동계수는 91.24(5월)~227.3%(8월)로 대체로 변동 폭이 높았었다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 전반적으로 연 0.004 mg/L 낮아지는 형태를 보였고, 1997년에 0.107±0.054 mg/L로 조사기간 중 가장 높았으며 그 후 점차 낮아져 2000년에 0.008±0.003 mg/L로 가장 낮은 상태이었고 그 후 증감하여 2008년에는 0.020±0.010 mg/L 수준을 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

##### 9) 질산질소( $NO_3^- -N$ )

질산질소는 정점별 평균이 0.134±0.012 mg/L(정점 1)~0.144±0.015 mg/L(정점 2)로 정점 간 차이가 없었으며(p=0.8837), 인천연안의 0.271±0.031 mg/L~0.441±0.053



mg/L(박 등, 1999; Park and Park, 2000)에 비해 50%수준으로 낮았으나, 천수만(박 등, 2006)의 0.035±0.003 mg/L에 비해서는 높았으며, 아산연안(박 등, 2007) 및 새만금 연안(김과 김, 2002)에 비해 약간 낮은 농도를 나타내었다(Table 5). 변동계수는 60.50%(정점 1)~75.52%(정점 3)로 정점별 비슷한 변동 폭을 나타내었다. 계절별로는 일반적으로 연안역에서 봄철과 여름철에는 낮고 늦은 가을과 겨울철에는 높은 상태인 것으로 알려져 있으며(Gentilhomme and Lizon, 1998; Fock, 2003) 본 연안에서는 여름철인 8월에 0.049±0.005 mg/L로 낮았고 겨울철인 2월에는 0.219±0.020 mg/L로 높아 계절에 따른 높은 유의적인 차이(p < 0.0001)가 있었다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 변곡선 형태로 1997년에 0.070±0.015 mg/L로 가장 낮은 상태이었으나 그 후 증가하여 1999년에는 0.153±0.022 mg/L이었다가 2001년에는 0.096±0.017 mg/L로 낮아진 후 증가하여 2006년에 0.197±0.039 mg/L로 조사기간 중 가장 높은 농도를 나타내었으며 2008년에는 0.099±0.021 mg/L로 낮아진 상태를 나타내었고 전체적으로 년 0.007 mg/L 정도씩 증가하는 경향을 보였다(Table 4, Fig. 3).

10) 용존무기질소(DIN)

용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 산출하였으며, 그 기여도는 질산질소 80.00%, 암모니아질소 16.58%, 아질산질소 3.42%이었다. 정점별 평균은 0.167±0.012 mg/L(정점 1)~0.181±0.018 mg/L(정점 3)로 정점 간 유의적인 차이(p=0.8255)가 없었다. 타 연안역과 비슷한 시기의 결과를 살펴보았을 때, 인천연안의 0.504±0.043 mg/L~0.956±0.095 mg/L(박 등, 1999; Park and Park, 2000) 보다 훨씬 낮은 상태를, 새만금연안 0.298 mg/L(김과 김, 2002) 보다 낮은 농도를 보인 반면, 천수만의 0.098 mg/L(박 등, 2006)과 곰소만(양 등, 2003)의 0.114 mg/L보다는 높은 농도를 나타내었다(Table 5), 변동계수는 50.05%(정점 1)~68.61%(정점 3)로 외측으로 갈수록 변동폭이 약간 컸었다. 계절별로는 겨울철인 2월에 0.239±0.018 mg/L로 높았었고 여름철인 8월이 0.107±0.018

mg/L로 높은 유의적인 차이(p<0.0001)가 있었다. 변동계수는 31.46(5월)~107.8%(8월)로 여름철이 다른 계절에 비해 변동폭이 큰 상태이었다(Table 2, Table 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 완만한 변곡선 형태를 나타내었으며 전반적으로 년 0.002 mg/L 정도씩 증가하는 경향을 보여 주었다. 1997년에는 0.185±0.051 mg/L 이었다가 불규칙하게 감소하여 2000년에는 0.132±0.014 mg/L로 낮아진 후 점차 증가하여 2005년에는 0.214±0.026 mg/L로 조사기간 중 가장 높은 농도를 보인 후 감소하여 2008년에는 0.116±0.025 mg/L를 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

11) DIN/DIP 비

DIN/DIP 비의 정점별 평균은 26.27±3.22(정점 2)~63.35±41.41(정점 3)로 정점 별 유의적인 차이가 없었으며, 인천연안의 89.47±18.39~179.69±56.93(박 등, 1999; Park and Park, 2000)에 비해 훨씬 낮았고, 천수만 27.31±2.56(박 등, 2006), 곰소만 17.25(양 등, 2003), 새만금연안 32.23(김과 김, 2002)에 비해 높았으며, 아산연안 17.89~54.99(박 등, 2007)와 비슷한 상태이었다. 변동계수는 84.97(정점 2)~452.94%(정점 3)로 정점별 변동폭이 컸다. 계절별로는 가을철에 18.51±0.92로 낮았고 여름철에 111.41±64.99로 높았으며, 겨울철과 봄철에 중간 수준의 비슷한 변동폭을 나타내었다. 대체로 연중 DIN/DIP 비가 Redfield ratio(Redfield et al.,1963)인 16이상으로 주변연안과 마찬가지로 인산인이 식물플랑크톤의 제한요인으로 작용하고 있어 인산인의 외부유입이 있을시 적조의 대량 발생이 우려된다. 변동계수는 30.36(11월)~350.0%(8월)로 여름철의 변동 폭이 매우 컸다(Fig. 2). 연도별 변동양상은 1997년에 40.96±24.08로 가장 높았다가 그 후 불규칙하게 낮아져 2002년에 12.75±1.62로 가장 낮았으며 그 후 증가하여 2004년 27.22±2.82이었다가 약간 감소하여 2008년에는 16.05±2.65를 유지하였다. 아산연안(박 등, 2007)과 마찬가지로 1997년에는 특히 8월에 인산인은 낮았고, 암모니아질소는 매우 높아 연평균 40.96이었고 그 후 대체로 20내외로 16를 약간 상회하는 상태이었다(Table 4).

Table 5. Comparison of salinity and nutrient concentration in the different regions of Korean coastal waters

Study area	Sal.	Nutrient(mg/L)					DIN/DIP ratio	Reference	Period(year)
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	DIN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P			
Asan Bay	31.55	0.040	0.008	0.170	0.218	0.029	17.89	Moon <i>et al.</i> , 1993	1991.11~1992.8
Asan Bay	30.45	0.066	0.012	0.180	0.258	0.019	54.99	Park <i>et al.</i> , 2007	1975~2005
Cheonsu Bay	31.30	0.059	0.005	0.035	0.098	0.013	27.31	Park <i>et al.</i> , 2006	1983~2004
Gomso Bay	29.64	0.030	0.004	0.080	0.114	0.014	17.25	Yang <i>et al.</i> , 2003	1999.4~2000.11
Saemankeum area	27.49	0.115	0.026	0.193	0.298	0.020	32.23	Kim and Kim, 2002	1999.7~2000.6
Inchon coastal area	27.68	0.250	0.046	0.765	1.061	0.030	78.11	Yeo and Kang, 1998	1995.5~1996.1
Gyeonggi Bay	29.88	0.298	0.026	0.338	0.662	0.028	52.50	Park and Park, 2000	1981~1998
Jinhae Bay(South Western part)	30.87	0.045	0.011	0.009	0.065	0.015	9.89	Choi and Kim, 2002	2000.1~2000.12
Jinhae Bay	32.49	0.030	0.015	0.099	0.143	0.045	7.00	Hong <i>et al.</i> , 1985	1976~1982

### 3.3 수질항목간의 상관성

12년간의 수질자료(n=144 또는 123)를 통하여 항목간의 상관분석 결과 수온은 염분, 용존산소, 질산질소, 용존무기질소 인산인, 부유물질과 음의 상관성이 있는 반면, 투명도, 암모니아질소, 아질산질소와는 양의 상관성이 있었다. 염분은 pH와 양의 상관성이 있는 반면, 투명도, 화학적산소요구량, 아질산질소와 음의 상관성이 있어 담수의 유입이 거의 없는 상태로 수온에 따라 변화하는 것으로 사료된다. 용존산소는 투명도 및 아질산질소와 음의 상관성, 화학적산소요구량, 질산질소, 용존무기질소, 인산인, 부유물질과 양의 상관성이 있었다. 화학적산소요구량은 부유물질과 양의 상관성이 있었고, 인산인은 부유물질과 양의 상관성이, 투명도 및 클로로필 a와는 음의 상관성이 입증되었다(Table 6). 그 중에서 염분은 수온과 음의 상관성, 화학적산소요구량 및 투명도와는 음의 상관성을 나타내었고, 수온은 대부분의 항목에서 높은 상관성을 보여 육수의 영향을 받는 아산연안(박 등, 2007) 및 천수만(박 등, 2006)에서 염분이 대부분의 항목과 높은 상관성을 보이는 것과 다른 경향으로 담수유입 등 외부의 영향이 거의 없음을 시사하고 있다(Fig. 4).

### 3.4 수질의 장기 변동

1997년부터 2008년까지 12년간 조사한 수질환경 요인들의 경년 변동 관계를 통계적 분석을 통해 자세히 살펴보고자 항목별 연평균 자료를 이용하여 주성분분석(PCA)을 실시하였다. 분석에 이용된 수질 항목은 수온, 염분, pH, 용존산소, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 부유물질 등이었다. 주성분 I에서는 연 변화를 33.69% 설명할 수 있었으며 이 중 질산질소 > 용존산소 > 부유물질 > 암모니아질소 > 염분 > 용존무기질소 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 26.22%를 설명할 수 있었으며, 이 중 DIN/DIP > 화학적산소요구량 > 용존무기질소 순으로 기여하고 있었다. 주성분 III에서는 16.09%를 설명할 수 있었으며, 이 중 수소이온농도가 기여하고 있었다. PCA에 이용된 수질항목은 수온, 아질산질소, 인산인을 제외한 전조사항목에서 주성분 I, II, III에 5% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 7). 주성분 I은 부유물질, 암모니아질소 및 염분과 양의 상관성을 나타내었고, 질산질소, 용존산소 및 용존무기질소와는 음의 상관성을 보였다( $p \leq 0.0513$ ). 주성분 II에서는 DIN/DIP, 화학적산소요

Table 6. Pearson's correlation analysis among water quality parameters in the Garolim costal areas of Korea from 1997 to 2008

	Salinity	pH	DO	COD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	DIN	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	DIN/DIP	SS	Chl- <i>a</i>	Trans.
W.T	-0.3785 <.0001	-0.0483 0.5658	-0.7744 <.0001	-0.1549 0.0638	0.2064 0.0131	0.4605 <.0001	-0.6740 <.0001	-0.4800 <.0001	-0.5364 <.0001	0.1550 0.0636	-0.4244 <.0001	0.2071 0.0368	0.6239 <.0001
Salinity		0.2482 0.0027	0.0983 0.2410	-0.3077 0.0002	0.0250 0.7664	-0.2648 0.0013	0.0529 0.5289	0.0447 0.5950	0.1260 0.1323	0.0220 0.7940	0.1056 0.2633	-0.0230 0.8183	-0.3630 <.0001
pH			0.1169 0.1630	-0.2553 0.0020	0.0484 0.5650	-0.0228 0.7862	0.1046 0.2120	0.1189 0.1558	0.2436 0.0033	0.0555 0.5085	-0.1040 0.2707	0.2554 0.0096	-0.0969 0.3053
DO				0.2580 0.0018	-0.1849 0.0265	-0.4525 <.0001	0.6647 <.0001	0.4836 <.0001	0.3961 <.0001	-0.1069 0.2022	0.2338 0.0123	0.1549 0.1201	-0.3770 <.0001
COD					0.0283 0.7364	-0.0710 0.3979	0.0755 0.3683	0.0913 0.2766	-0.0718 0.3924	0.0660 0.4319	0.2772 0.0028	0.0447 0.6555	0.1433 0.1283
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N						0.2014 0.0155	-0.1946 0.0194	0.4266 <.0001	-0.1855 0.0261	0.8831 <.0001	0.0126 0.8945	0.0588 0.5572	0.0242 0.7985
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N							-0.3586 <.0001	-0.1638 0.0498	-0.2424 0.0034	0.2080 0.0124	-0.2343 0.0121	-0.2419 0.0143	0.2144 0.0220
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N								0.8001 <.0001	0.5392 <.0001	-0.1075 0.1998	0.2656 0.0043	-0.1841 0.0639	-0.4234 <.0001
DIN									0.3801 <.0001	0.4455 <.0001	0.2611 0.0050	-0.2170 0.0284	-0.4069 <.0001
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P										-0.2060 0.0132	0.2466 0.0082	-0.2811 0.0042	-0.3982 <.0001
DIN/DIP											0.0910 0.3354	-0.0028 0.9776	-0.1098 0.2449
SS												-0.1688 0.0966	-0.5548 <.0001
Chl- <i>a</i>													0.0744 0.4739

Top numbers are correlations coefficients( $r^2$ ) and bottom numbers probabilities( $p$ ).

가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동

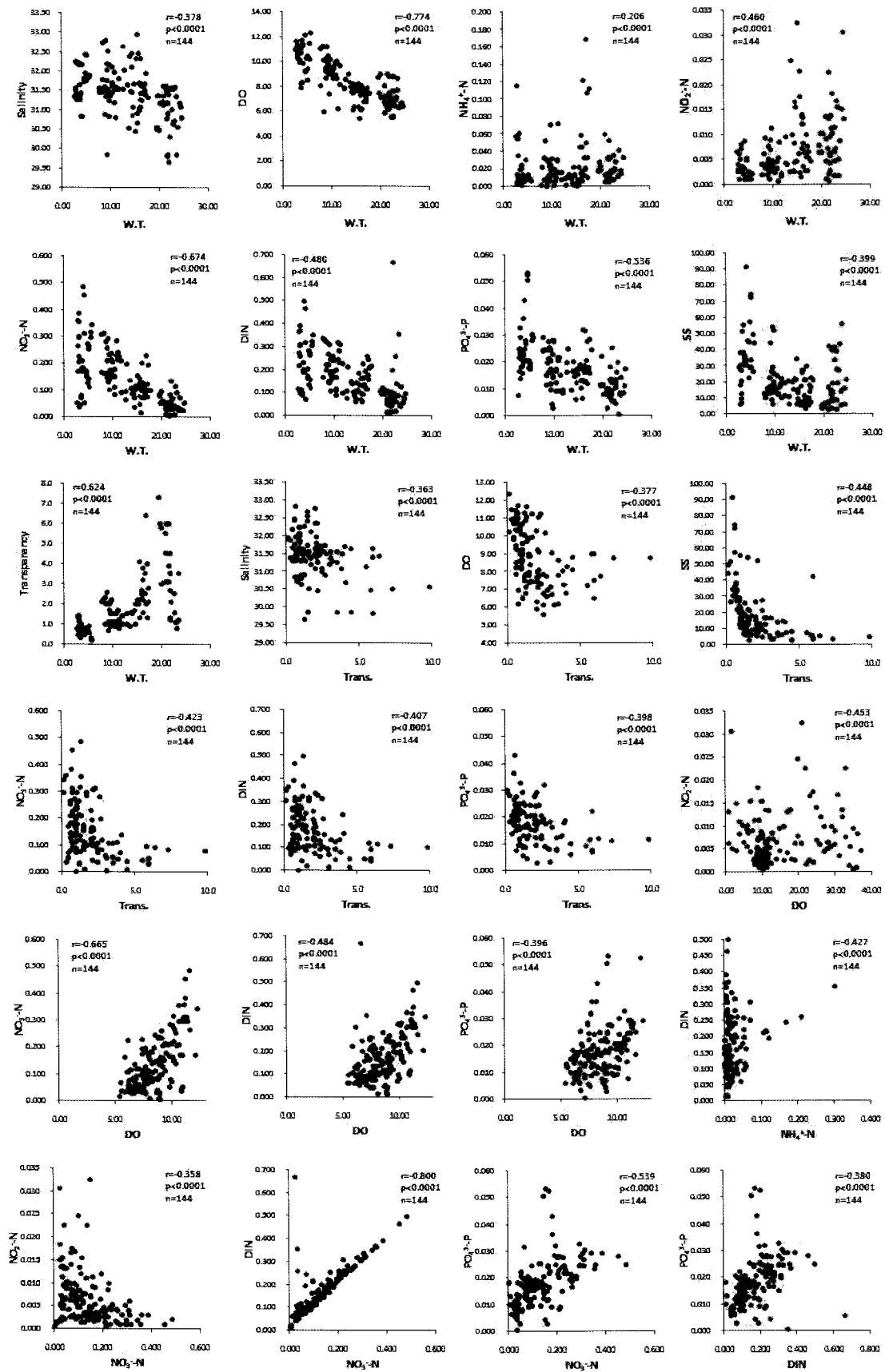


Fig 4. Relationship among water quality parameters.

All the values were double transformed with square roots for the data normality.

구량 및 용존무기질소와 양의 상관성( $p \leq 0.0082$ )을 보였으며, 주성분 III에서는 수소이온농도와 양의 상관성( $p \leq 0.0110$ )을 나타내었다(Fig. 5). 12년 동안 수질의 장기변동은 대체로 네 그룹으로 구분되어지는데 즉 1997년 I그룹, 1998년 과 2000~2002년 및 2007년의 II그룹, 1999년 과 2003년~2006년의 III그룹 및 2008년의 IV그룹이다. 1997년 I그룹에는 염분, 부유물질, 암모니아질소 및 아질산질소가 다른 해에 비해 상대적으로 높았고, 질산질소, 용존산소 및 인산인 등이 낮은 특징을 나타내었다. 특히 암모니아질소가 다른 해에 비해 상대적으로 높았었는데, 이것은 아산연안(박 등, 2007) 및 천수만(박 등, 2006)의 결과와 유사한 경향이였다. 반면에 II그룹인 1998년과 2000~2002년 및 2007년에는 I그룹의 반대방향으로 진행되므로 염분, 부유물질, 암모니아질소 및 아질산질소는 점차 낮아지고 인산인은 높은 경향을 보여주었다. III그룹인 1999년과 2003년~2006년에는 용존산소, 화학적산소요구량, 용존무기질소, 질산질소 및 DIN/DIP가 높았었다. 또한 IV그룹인 2008년에는 수소이온농도와 염분은 높았었고 그 외 진조사항목은 낮아진 경향을 나타내었다(Fig. 5, 6). 즉 2000년 이후 점차 클로로필 a 는 높아지고 화학적 산소요구량은 2003년 이후 낮아져 해역별 수질 1등급을 유지하고 있으며 영양염류는 둔화 내지는 낮아지고 있어 대체로 양호한 수질환경을 나타내고 있었다.

Table 7. Spearman's correlation coefficient among water quality parameters and principal component scores using the annual means of seasonal data from 1997 to 2008 in the coastal areas of Yellow Sea. The principal component scores for axes I, II and III in Fig. 5

Parameter \ PCA	PCA I	PCA II	PCA III
W.T.	0.1119	-0.0490	-0.0210
Salinity	0.6713	-0.4546	0.4895
pH	0.0168	0.1377	0.1063
DO	-0.0772	-0.3930	0.7018
COD	0.8115	0.2063	0.0110
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-0.7203	0.4615	0.4895
NO <sub>2</sub> -N	0.0082	0.1309	0.1063
NO <sub>3</sub> -N	-0.2207	0.7531	-0.4448
DIN	0.4907	0.0047	0.1473
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0.6877	-0.0140	-0.0456
DIN/DIP	0.0134	0.9655	0.8881
SS	0.4665	0.4029	-0.4205
	0.1264	0.1941	0.1735
	-0.8541	0.3585	0.3058
	0.0004	0.2525	0.3337
	-0.5734	0.7203	0.4196
	0.0513	0.0082	0.1745
	-0.2535	-0.3416	-0.3169
	0.4266	0.2772	0.3155
	-0.2448	0.8322	0.4336
	0.4433	0.0008	0.1591
	0.6993	0.0140	-0.4196
	0.0114	0.9656	0.1745
% of variance explained	33.69	26.22	16.09

Top numbers are correlations coefficients( $r^2$ ) and bottom numbers probabilities( $p$ ). Significant correlations are in bold.

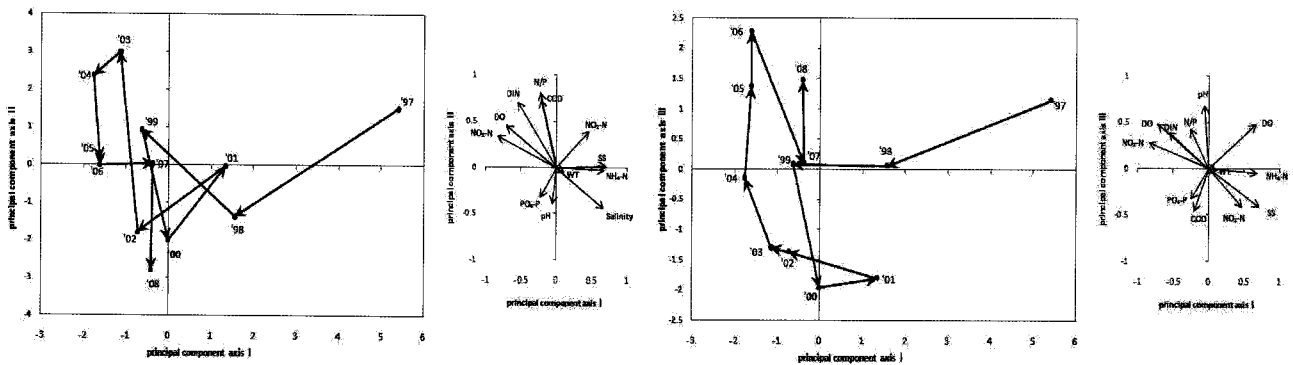


Fig 5. Principal component ordination of 12 year water quality using the annual mean of stations from 1997 to 2008 in the Garolim coastal areas of Yellow Sea. The correlations between the PCA scores and the analysed variables are expressed with vectors.

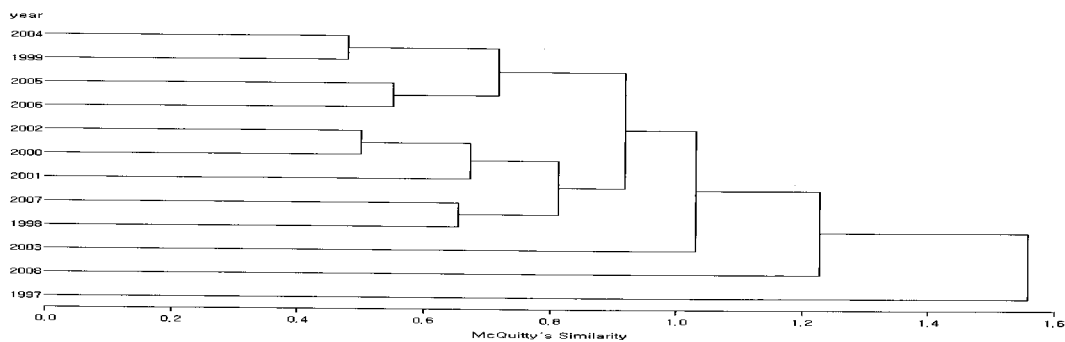


Fig 6. Dendrogram showing classification of 12 year water quality using the annual principal component scores of stations from 1997 to 2008 in the Garolim coastal areas of Yellow Sea.

#### 4. 결론

1997년부터 2008년까지 12년 동안 가로림 연안의 3개 조 사정점의 수층(표층·저층)별, 계절별(2, 5, 8, 11월)로 년 4회 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에는 수온은 차이가 있었으나( $p=0.011$ ), 그 외 수질항목은 표·저층간의 차이가 없었고, 정점 간의 공간적 분포 특성을 보면 전조사 항목에서 유의적인 차이가 없어 가로림만의 중간역까지는 담수 유입의 영향을 거의 받지 않고 강한 조석으로 인하여 수직 혼합 및 외해측과 해수교환이 원활히 이루어지고 있는 것으로 사료된다. 계절별 분포특성을 살펴보면 수소이온농도와 암모니아질소는 유의적인 차이를 발견할 수 없었고, 그 외 조사항목인 수온, 염분, 용존산소, 화학적산소요구량, 부유물질, 인산인, 질산질소, 아질산질소, 용존무기질소, 클로로필 a, 투명도에서는 유의적인 차이가 있었다. 항목별 변동 특성에 있어 수온은 대체로 연 0.024℃ 정도 낮아지는 경향이었고, 염분은 평균  $31.47 \pm 0.05$ 로 천수만과 유사하였다. pH는 평균  $7.99 \pm 0.01$ 로 전 수질항목 중 변동 폭이 가장 적었다. 용존산소는  $8.56 \pm 0.14$  mg/L로 계절별로 서로 다른 양상의 차이를 보였고( $p < 0.0001$ ), 화학적산소요구량 역시  $1.08 \pm 0.04$  mg/L로 계절별 유의적 차이가 있었다. 부유물질은 평균  $22.09 \pm 1.50$  mg/L로 겨울철이 타월에 비해 약 2배 정도 높았다. 영양염류 중 인산인은  $0.018 \pm 0.001$  mg/L이었고 겨울철이 높았고 여름철이 낮게 나타났으며 연 변화는  $0.0004$  mg/L 증가하는 경향이 있었다. 암모니아질소는  $0.029 \pm 0.005$  mg/L로 계절별 유의적인 차이가 없었다. 질산질소는  $0.140 \pm 0.008$  mg/L로 연 0.004 mg/L정도씩 감소하는 경향이 있었다. 용존무기질소는  $0.174 \pm 0.009$  mg/L로, 질산질소 80.00%, 암모니아질소 16.58%, 아질산질소 3.42% 순이었고 계절별로는 겨울철과 봄철, 여름철과 가을철로 양분되었으며, 연도별 변동양상은 변곡선 형태로 연 0.002 mg/L정도 높아지는 경향을 나타내었다. DIN/DIP 비는  $21.40 \pm 7.54$ 로 계절별로는 여름철이 상대적으로 높았으며 연도별 변동특성은 아산연안과 마찬가지로 1997년에는 특히 8월에 인산인은 낮았고, 암모니아질소는 매우 높아 연평균 40.96으로 높았고 그 후 대체로 20내외로 16을 약간 상회하는 상태이었다. 수질항목 간의 상관성에 있어서 수온은 염분, 용존산소, 질산질소, 용존무기질소 인산인, 부유물질과 음의 상관성이 있는 반면, 투명도, 암모니아질소, 아질산질소와는 양의 상관성이 있었다. 염분은 pH와 양의 상관성이 있는 반면, 투명도, 화학적산소요구량, 아질산질소와 음의 상관성이 있어 담수의 유입이 거의 없는 상태로 수온에 따라 변화하는 것으로 사료된다. 12년 동안 수질의 변동을 조사한 결과 네 그룹으로 구분되며 근래에 들어 염분은 높아진 반면, 용존무기질소, 질산질소 및 화학적산소요구량 등이 감소하고 있어 담수의 유입이 거의 없는 대체로 양호한 수질상태를

유지하고 있으며 수산학적으로 매우 중요한 연안이므로 앞으로 지속적인 보전이 요구된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 R&D과제인 “서해해양환경 연구 및 국가해양환경측정망운영” 과제(RP-2009-ME-063)의 일환으로 수행된 것으로 현장조사에 적극 협조해 주신 시험조사선 탐구 2호 직원께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 국립수산진흥원(1985), 해양오염 및 적조조사 지침, pp. 57-67.
- [2] 김동엽, 허형택(1983), 가로림만 요각류의 계절변화에 대하여, 한국해양연구소소보, 제5권, 제2호, pp. 29-35.
- [3] 김종구, 김양수(2002), 새만금 사업지구의 연안해역에서 부영양화관리를 위한 모델의 적용, 한국수산학회지, 제35권, 제4호, pp. 348-355.
- [4] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 박정숙(2007), 아산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제16권, 제12호, pp. 447-459.
- [5] 박승윤, 박경수, 김형철, 김평중, 김진풍, 박중현, 김숙양(2006), 천수만의 수질환경특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제15권, 제5호, pp. 1411-1424.
- [6] 박승윤, 박경수, 석규진, 오현주, 이영식, 김진풍(1999), 경기만 수질의 시공간적 변동과 부영양화, 국립수산과학원연구보고, 제56권, pp. 189-204.
- [7] 송원오(1987), 가로림 조석발전에 대한 재평가, 해양연구, 제9권, 제2호, pp. 29-33.
- [8] 신동혁, 이희일, 한상준, 오재경, 권수재(1998), 황해 가로림만 조간대 표층퇴적물의 이동경로, 한국해양학회지, 제3권, 제2호, pp. 59-70.
- [9] 신상호, 구분주, 세종길(2004), 서해 가로림만 갯벌의 대형저서동물 공간분포, 한국습지학회지, 제6권, 제1호, pp. 57-72.
- [10] 양재삼, 김기현, 김영태(2003), 곰소만 조간대 해수 내 질소 성분의 시공간적 분포, 한국해양학회지, 제8권, 제3호, pp. 251-261.
- [11] 여환구, 강현(1998), 인천연안의 수질 및 식물플랑크톤 군집의 변화, 한국환경학회지, 제7권, 제3호, pp. 321-326.
- [12] 우한준, 유주형, 조진형(2009), 가로림만 해수 교환 특성 파악을 위한 Hydro-hypsographic 분석, 한국습지학회지, 제11권, 제2호, pp. 39-46.
- [13] 유승훈, 이주석(2008), 가로림만의 환경가치 평가, 경제학연구, 제56권, 제3호, pp. 5-28.

- [14] 이광수, 염기대, 송원오(1994), 조력발전 적정개발규모 결정을 위한 해석적 유형, 해양연구, 제16권, 제2호, pp. 111-124.
- [15] 이성희, 황현식, 이석훈, 김정란(2003), WIN SAS V8, 교우사, p. 414.
- [16] 이재학, 홍재상, 이순길(1983), 가로림만의 저서동물 군집에 관한 연구 조하대 동물 군집, 한국해양학회지, 제18권, 제2호, pp. 111-116.
- [17] 최종덕, 김정균(2002), 진해만 남서부 해역의 해수와 저질의 세균학적 및 이화학적 특징, 한국수산학회지, 제35권, 제6호, pp. 621-626.
- [18] 통계교육원(2005), SAS를 이용한 자료분석, p. 328.
- [19] 한상준(1983), 가로림만과 랑스발전소 입지조건의 퇴적학적 비교, 한국해양연구소소보, 제5권, 제1호, pp. 27-34.
- [20] 해양수산부(1998), 해양환경공정시험법, p. 330.
- [21] 허성범, 김종만, 유재영(1984), 가로림만 어업자원에 관하여, 한국수산학회지, 제17권, 제1호, pp. 68-80.
- [22] Billen, G., Garnier, J.(1997), The Phison River plume: coastal eutrophication in response to changes in land use and water management in the watershed. *Aquat. Microb. Ecol.*, Vol. 13, pp. 3-17.
- [23] Clarke A., Juggins S., Conley D.(2003), A 150-year reconstruction of the history of coastal eutrophication in Roskilde Fjord, Denmark, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 46, pp. 1615-1629.
- [24] Fock, H.O.(2003), Changes in the seasonal cycles of inorganic nutrients in the coastal zone of the southeastern North Sea from 1960 to 1997: effects of eutrophication and sensitivity to meteorological factors, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 46, pp. 1434-1449.
- [25] Gentilhomme, V., F. Lizon(1998), Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal ecosystem (Eastern English Channel), *Hydrobiologia*, Vol. 361, pp. 191-199.
- [26] Lee H. J., H. R. Jo, Y. S. Chu and K. S. Bahk(2004), Sediment transport on macrotidal flats in Garolim Bay, west coast of Korea: significance of wind waves and asymmetry of tidal currents, *Continental Shelf Research*, Vol. 24, pp. 821-832.
- [27] Nixon, S.W.(1995), Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, Vol. 41, pp. 199-219.
- [28] Park, G.S. and S.Y. Park(2000), Long-term trends and temporal heterogeneity of water quality in tidally mixed estuarine waters. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 40, No. 17, pp. 1201-1209.
- [29] Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards(1963), The influence of organisms on the composition of seawater, pp. 26-77. *In: The sea Vol. 2* (ed. Hill, M. N.). Interscience, New York.
- [30] Strickland, J.D. and T.R. Parsons(1972), *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, Bulletin of Fisheries Research Board of Canada, No. 167, p. 310.
- [31] Wafar, M.V.M., Le Corre, P., Birrien, J.L.(1983), Nutrients and primary production in permanently well-mixed temperate coastal waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, Vol. 17, pp. 431-446.

---

원고접수일 : 2009년 10월 19일

원고수정일 : 2009년 11월 19일 (1차)

: 2009년 12월 09일 (2차)

게재확정일 : 2009년 12월 24일