

## 천수만의 수질환경특성과 장기변동

박 승 윤 · 박 경 수 · 김 형 철 · 김 평 중 · 김 전 풍 · 박 중 현 · 김 속 양  
국립수산과학원 서해수산연구소, \*국립수산과학원 남해수산연구소  
(2003년 12월 23일 접수; 2006년 3월 17일 채택)

## Long-term Changes and Variational Characteristics of Water Quality in the Cheonsu Bay of Yellow Sea, Korea

Soung-Yun Park, Gyung-Soo Park, Hyung-Chul Kim, Pyoung-Joong Kim,  
Jeon-Poong Kim, Jung-Hyeon Park and Sug-Yang Kim\*

West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-201, Korea

\*South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

(Manuscript received 23 December, 2003; accepted 17 March, 2006)

Long-term trends and distribution patterns of water quality were investigated in the Cheonsu Bay of Korea from 1983 to 2004. Water samples were collected at 4 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 between stations but the seasonal variations were distinctive except COD, SS and nitrate. Twenty two year long-term trend analysis by PCA revealed the significant changes in water quality in the study area. Water quality during 1980's and early 1990's showed high SS, low nutrients and low COD which increased during the mid and late 1990's and early 2000's. Overall water quality in the Cheonsu Bay indicated the increase in nutrients and COD concentration.

Key Words : Water quality, Long-term trends, Cheonsu Bay, Yellow Sea

### 1. 서 론

황해의 주변 해역에 발달한 만(Bay)이나 하구(estuary)는 조류 및 파장운동(wave action)에 의한 영향을 매우 강하게 받는 지역으로서 침식과 퇴적작용이 복합적으로 일어나며 복잡한 해저 지형이 발달해 있는 것이 일반적인 특징이다. 천수만은 충남 보령, 홍성, 서산, 태안군의 육지와 안면도, 효자도, 원산도 등의 도서로 둘러 쌓인 반폐쇄성 내만으로 만 입구폭은 5.5km, 만 길이 40km, 총면적 380 km<sup>2</sup>, 평균수심 10~25m로 대조시의 조차는 8m에 이른다. 또한 1978년 11월 22일 이 지역 248.8km<sup>2</sup>를 수산자원보전 지역으로 고시하였다. 그러나 1980년부터 1984년까지의 서산 AB지구 간척공사로 1986년 5월 10일 27.24km<sup>2</sup>가 감소된 221.56km<sup>2</sup>를 보전지역으로 변경고지 되었으며 그 후 1998년 1월 1일 8,079

km<sup>2</sup>가 감소한 213.481km<sup>2</sup>를 보전지역으로 변경하였다. 본 해역은 수산자원학적으로 중요한 해역이나 근래에 들어서 하절기에 저서 생물의 폐사 현상이 일어나는 추세에 있다. 이와 같은 천수만을 대상으로 그동안 식물플랑크톤에 대하여, 소형정치망자료에 의한 천수만어류의 계절에 따른 종조성 및 양적 변동, 식물플랑크톤의 공간적, 시간적변화, 일차생산자의 생물량, 천수만 저서성 어류 군집의 변화, 동물플랑크톤의 계절변화와 생산량, 미세플랑크톤의 상대적 중요성, 천수만 어류의 종조성 변화 1-저어류, 3-부어류, 천수만 지역 어장환경에 관한 연구가 이루어져 왔다<sup>1~11)</sup>. 근래에 천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시공간적 양상이 보고되었다<sup>12)</sup>. 그러나 본 해역의 수질환경에 대한 연구는 미흡한 실정으로서 본 연구는 각종 양식어업이 성행하고 있으며 수산자원의 산란 서식장으로 중요한 천수만에 대해 국가해양환경측정망 일환으로 1983년 2월부터 2004년 11월까지 22년간 총 88회에 걸쳐 계절별(2, 4, 8, 11월)로 실시한 일반 수질성분에 대

Corresponding Author : Soung-Yun Park, West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-201, Korea  
Phone: +82-32-745-0554  
E-mail: soungyun@nfrdi.re.kr

하여 조사한 결과로 수산자원학적으로 중요한 천수만이 간척공사 이후 수질환경의 변화상과 장기변동 특성을 파악하여 천수만을 효율적으로 이용할 수 있는 환경 기초 자료로 활용 하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

연구대상 해역인 천수만에서 1983년부터 2004년까지 22개년 동안 Fig. 1과 같이 4개 정점에 대해 계절별로 년 4회(2, 4, 8, 11월) 조사하였으며, 시료는 현장에서 표층과 저층의 시료를 채취하여 냉장 또는 냉동상태에서 실험실로 운반하여 분석을 실시하였다. 수온은 봉상온도계 및 CTD(SBE19, Seabird Electronics Co.)로 현장에서 측정하였고, 염분은 Inductively Coupled Salinometer 및 CTD로, 수소이온 농도(pH)는 pH meter로, 용존산소량(DO)은 150ml용 용존산소병에 시료를 채수 Winkler 개량법인 중정식법에 의하였고 용존산소 포화도는 용존산소가 측정될 당시의 수온과 염분의 함수로 환산하

였으며<sup>13)</sup>, 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법에 의해 실험실에서 측정하였다. 인산 인(PO<sub>4</sub> -P), 암모니아 질소(NH<sub>4</sub> -N), 아질산질소(NO<sub>2</sub> -N)·질산질소(NO<sub>3</sub> -N)는 Strickland and Parsons(1972)<sup>14)</sup>의 방법 및 해양환경공정시험법(1998)<sup>15)</sup>으로 측정하였으며 용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소를 합한 값으로 하였다.

수질환경의 장기변동을 알아보기 위해 PCA(Principal component analysis)의 통계 처리를 하여 연도별 변화 상태를 추정하였고, 각 측정 항목의 시공간적인 변동을 규명하기 위하여 제1모형 이항분산분석(Two factor model I ANOVA)을 이용하였으며, 처리효과는 조사정점(4등급)과 조사월(4그룹)이다.

수질변동요인을 구명하기 위하여 계절 및 연도별 수질항목간 상관분석(Spearman's correlation analysis)을 통하여  $\alpha=0.05$  유의 수준에서 유의성을 검증하였고, 상기의 분석은 PC SAS를 이용하였다<sup>16,17)</sup>.

## 3. 결과 및 고찰

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 실시한 결과 수온은 표·저층간의 차이가 컸고( $p<0.0001$ ), 염분, 용존산소 역시 차이가 있었으나( $p<0.05$ ), 나머지 수질항목은 표·저층간의 차이가 없으므로 본 자료 분석에는 표·저층간의 평균값을 이용하였다.

### 3.1. 시공간적 분포특성

수질항목의 시공간적 유의성 검정을 위해 정점별, 계절별 수질자료를 이용한 분산 분석결과 Table 1과 같이 수질항목의 정점간 차이는 전 항목에서 유의성이 없었으며( $p>0.05$ ), 계절별로 살펴보면 화학적산소요구량, 부유물질, 질산질소는 유의성이 없었으며 그 외 조사 항목에서는 유의성이 입증되었다

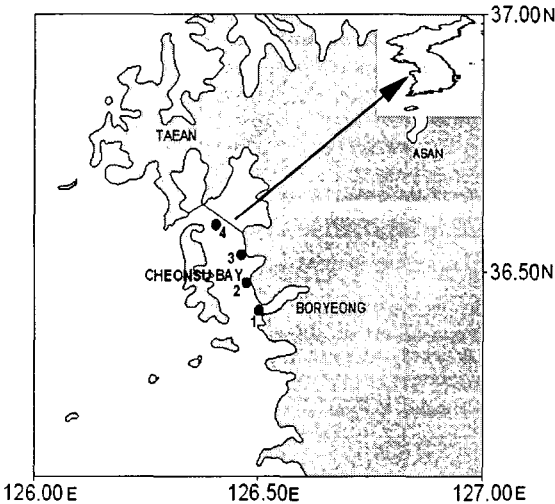


Fig. 1. The location of sampling stations in the study area.

Table 1. ANOVA tables for spatial and temporal variations in the water quality in the Cheonsu Bay of Yellow Sea from 1983 through 2004

Variable	source	F	Pr>F	Variable	source	F	Pr>F	Variable	source	F	Pr>F
Water Temperature	station	0.00	1.0000	Salinity	station	0.93	0.4253	pH	station	0.50	0.6791
	season	3432	<0.0001		season	92.98	<0.0001		season	5.01	0.0020
DO	station	0.20	0.8953	COD	station	0.36	0.7828	SS	station	1.16	0.3244
	season	157.14	<0.0001		season	2.41	0.0671		season	0.43	0.7289
PO <sub>4</sub> -P	station	0.70	0.5525	NH <sub>4</sub> -N	station	0.03	0.9917	NO <sub>2</sub> -N	station	1.22	0.3017
	season	8.81	<0.0001		season	5.48	0.0011		season	38.43	<0.0001
NO <sub>3</sub> -N	station	2.04	0.1083	DIN	station	0.40	0.7565	DIN/DIP	station	0.15	0.9301
	season	2.05	0.1071		season	3.60	0.0138		season	4.27	0.0056

## 천수만의 수질환경특성과 장기변동

( $p < 0.05$ ). 본 조사정점이 천수만의 입구보다는 내측으로 공간적 변화는 나타나지 않았으며 그보다는 계절적 변화가 크나, 계절적인 변화 역시 경기만<sup>18)</sup>에 비해서는 변화가 적었다. 계절별 변화를 항목별로 살펴보면 수온은 우리나라 4계절 특성상 4그룹으로 구분되었고, 염분은 여름철인 8월과 그 외 계절로 나누어지며, 수소이온농도는 봄(4월), 가을(11월)과 겨울(2월), 여름(8월)으로 구분되었다. 용존산소는 겨울, 봄과 가을 및 여름의 3그룹으로 용존산소 포화도는 봄~여름과 가을~겨울으로 구분되어진 반면 화학적산소요구량과 부유물질은 계절에 따른 변화가 없었다. 영양염류인 인산인은 여름~가을과 겨울~봄으로 암모니아질소와 용존무기질소는 여름과 그 외 계절, 아질산질소는 가을, 봄, 겨울과 여름의 3그룹으로 구분되어지며, DIN/DIP비는 가을과 그 외 계절로 구분되고, 질산질소는 계절별로 변화가 없었다.

### 3.2. 수질 항목별 변동 특성

#### 3.2.1. 수온

수온은 전형적인 온대 수역의 변화 양상을 보였고, 정점 간에는 22개년 동안 평균  $13.46 \pm 0.91$  °C(정점 1)~ $13.51 \pm 0.94$  °C(정점 3)로 변화 폭이 없으며 정

점 내에서의 변동계수는 63.18% ~ 65.48%로 내측으로 갈수록 약간씩 높았으나 전반적으로 비슷한 수준이었다. 월별로는 평균  $3.51 \pm 0.17$  °C(2월)~ $26.33 \pm 0.15$  °C(8월)로 유의수준 0.0001이하에서 큰 차이를 보였으며 변동계수는 2월에는 45.85%로 높았으나 점차 낮아져 8월은 5.49%로 가장 낮아 2월은 정점간의 수온차가 컸으며 이는 경기만<sup>18,19)</sup>과 같은 경향이었다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동양상은 1984년이  $12.15 \pm 2.73$  °C로 가장 낮았고 1999년이  $15.34 \pm 1.55$  °C로 가장 높았으며 22개년 동안 대체로 연 0.099 °C정도 높아지는 경향을 보였고 1984년의 경우 2월의 최저치가  $-0.60$  °C로 변동계수가 90.04%로 높았고 1999년에는 40.51%로 낮았으나 대체로 비슷한 분산량을 나타냈다(Table 4, Fig. 3).

#### 3.2.2. 염분

염분은 Table 2, 3 및 Fig. 2와 같이 정점 간에는 평균  $31.12 \pm 0.19$ (정점 4)~ $31.47 \pm 0.15$ (정점1)로 서산 AB지구와 육상의 영향을 받는 내만측이 0.35 낮았고 외측으로 갈수록 약간씩 높아지는 경향을 보였으며, 전반적으로 경기만<sup>18,19)</sup>에 비해 1.5정도 높았다. 정점 내에서의 변동계수는 4.40%~5.58%로 인천연안의 6.35%~8.65%보다 2%~3%정도 낮은 분산량

Table 2. Descriptive statistics of water quality parameters by the stations collected in February, April, August, and November from 1983 to 2004 in the Cheonsu Bay of Yellow Sea

Variable	St.	Mean±SE	Range	CV(%)	Variable	St.	Mean±SE	Range	CV(%)
W.T.(°C)	1	13.46±0.91	0.40~28.30	63.18	SS (mg/L)	1	27.73±2.16	2.40~164.80	73.20
	2	13.46±0.93	-0.50~28.65	64.76		2	24.43±1.45	1.80~59.20	55.61
	3	13.51±0.94	-0.60~29.40	65.17		3	23.78±1.66	4.00~109.20	65.47
	4	13.48±0.94	-0.60~28.65	65.48		4	23.78±1.68	0.40~95.60	66.22
Salinity	1	31.47±0.15	26.63~33.06	4.40	DIP(µM)	1	0.46±0.04	0.01~3.14	88.66
	2	31.39±0.16	27.11~33.12	4.63		2	0.41±0.03	0.01~1.52	62.20
	3	31.22±0.17	24.98~33.15	5.23		3	0.41±0.03	0.01~1.84	70.06
	4	31.12±0.19	25.80~33.16	5.58		4	0.47±0.05	0.01~3.51	100.06
pH	1	7.99±0.02	7.28~8.46	2.29	NH <sub>4</sub> -N(µM)	1	4.15±0.59	0.01~34.54	131.67
	2	7.99±0.02	6.91~8.50	2.78		2	4.09±0.64	0.02~51.06	146.01
	3	8.01±0.03	6.92~8.52	2.92		3	4.36±0.91	0.01~79.15	196.27
	4	8.02±0.02	7.39~8.37	2.38		4	4.30±0.49	0.07~24.53	106.29
DO(%)	1	100.06±1.67	46.96~138.20	15.66	NO <sub>2</sub> -N(µM)	1	0.39±0.03	0.01~1.91	83.02
	2	102.10±1.64	37.14~132.85	15.04		2	0.38±0.04	0.00~1.81	90.85
	3	101.15±2.03	22.30~160.67	18.79		3	0.33±0.03	0.00~1.80	85.86
	4	100.29±1.62	44.17~142.62	15.16		4	0.31±0.03	0.00~1.25	83.40
DO(mg/L)	1	8.79±0.18	3.14~11.37	19.50	NO <sub>3</sub> -N(µM)	1	3.30±0.58	0.03~35.37	163.57
	2	9.01±0.19	2.45~12.09	20.04		2	2.25±0.28	0.03~11.26	115.94
	3	8.93±0.22	1.80~13.06	22.68		3	2.19±0.34	0.01~21.36	143.67
	4	8.88±0.20	2.90~13.00	21.51		4	2.13±0.29	0.00~12.72	129.83
COD(mg/L)	1	1.29±0.07	0.09~3.46	50.88	DIN(µM)	1	7.79±0.91	0.38~62.32	109.37
	2	1.37±0.08	0.30~4.58	57.94		2	6.72±0.69	0.08~51.78	96.39
	3	1.40±0.10	0.14~5.76	64.91		3	6.89±0.98	0.08~80.28	133.33
	4	1.38±0.08	0.31~3.66	56.55		4	6.73±0.62	0.46~35.51	86.47

Table 3. Descriptive statistics of water quality parameters in February, April, August, and November collected at the 4 stations from 1983 to 2004 in the Cheonsu Bay of Yellow Sea

Variable	Month	Mean±SE	Range	CV(%)	Grouping	Variable	Month	Mean±SE	Range	CV(%)	Grouping
W.T.(°C)	2	3.51±0.17	-0.60~8.05	45.85	D	SS (mg/L)	2	26.50±1.49	1.00~52.50	52.68	A
	4	8.73±0.21	4.52~14.01	22.10	C		4	24.64±1.45	2.17~52.00	55.08	A
	8	26.33±0.15	22.15~29.40	5.49	A		8	23.71±1.33	3.00~53.20	52.52	A
	11	15.35±0.13	11.67~17.48	8.16	B		11	24.87±2.52	0.40~164.80	95.11	A
Salinity	2	31.95±0.13	26.63~33.09	3.73	A	DIP(μM)	2	0.37±0.03	0.01~1.32	75.72	B
	4	32.04±0.07	30.05~33.16	1.97	A		4	0.32±0.04	0.01~3.51	118.82	B
	8	29.52±0.19	24.98~32.25	5.87	B		8	0.49±0.04	0.03~2.06	79.57	A
	11	31.70±0.08	29.87~33.03	2.47	A		11	0.56±0.04	0.17~3.14	61.92	A
pH	2	8.00±0.02	7.28~8.44	2.87	AB	NH <sub>4</sub> -N(μM)	2	3.63±0.50	0.10~34.54	129.96	B
	4	8.01±0.02	6.91~8.30	2.70	A		4	3.61±0.41	0.01~20.67	104.97	B
	8	7.94±0.02	7.54~8.52	2.58	B		8	6.52±1.12	0.72~79.15	161.21	A
	11	8.06±0.02	7.66~8.40	2.01	A		11	3.15±0.25	0.16~10.11	74.82	B
DO(%)	2	96.75±1.12	69.41~120.53	10.88	B	NO <sub>2</sub> -N(μM)	2	0.30±0.03	0.00~0.98	77.91	B
	4	106.80±0.82	90.33~123.69	7.17	A		4	0.19±0.02	0.00~0.76	86.75	C
	8	104.36±2.62	37.14~160.67	23.51	A		8	0.32±0.02	0.03~1.08	61.06	B
	11	95.69±1.56	22.30~116.85	15.25	B		11	0.60±0.04	0.01~1.91	66.88	A
DO(mg/L)	2	10.41±0.11	7.49~13.06	9.86	A	NO <sub>3</sub> -N(μM)	2	3.18±0.46	0.03~27.48	135.75	A
	4	10.15±0.08	8.70~11.76	7.15	A		4	1.85±0.30	0.01~21.36	153.43	A
	8	7.13±0.18	2.45~11.06	23.69	C		8	2.29±0.32	0.00~12.72	132.95	A
	11	7.91±0.13	1.80~9.65	15.47	B		11	2.55±0.45	0.06~35.37	164.01	A
COD(mg/L)	2	1.37±0.08	0.28~3.66	56.33	A	DIN(μM)	2	7.11±0.80	0.51~62.32	105.44	AB
	4	1.25±0.07	0.33~4.58	51.09	A		4	5.60±0.50	0.08~23.64	82.94	B
	8	1.54±0.09	0.09~3.94	54.53	A		8	9.12±1.20	0.95~80.28	122.90	A
	11	1.28±0.09	0.24~5.76	67.37	A		11	6.30±0.51	0.23~37.43	76.34	B

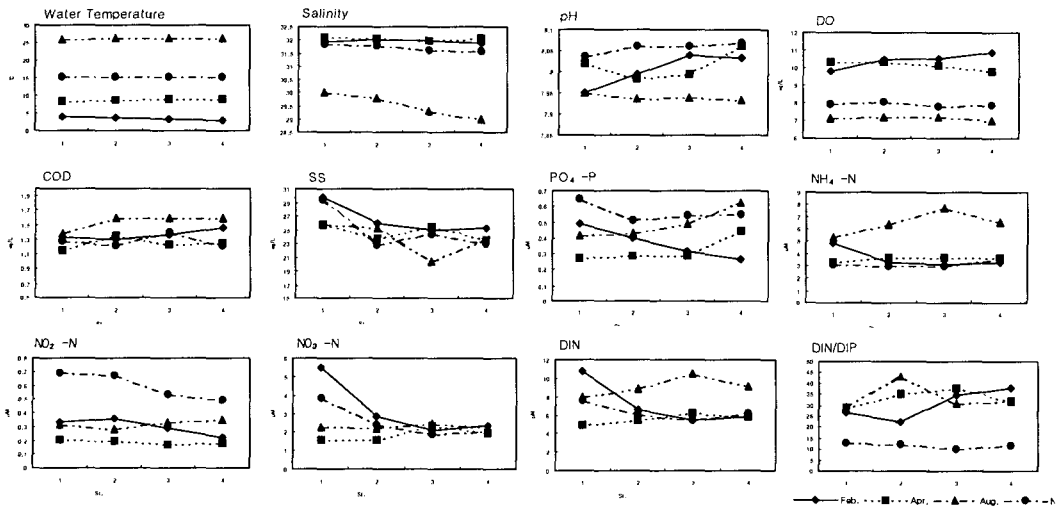


Fig. 2. Seasonal trends of water quality at the 4 stations from 1983 to 2004 in the Cheonsu Bay of Yellow Sea.

을 보였다. 월별로는 평균 29.52±0.19(8월)~32.04±0.07(4월)로 큰 차이를 보였으며(p<0.0001) 이는 강수량과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 변동계수는 겨울철(2월)과 여름철(8월)이 3.73%~5.84%로 봄(4월)과 가을철(11월)의 1.97%~2.47%에 비해

약간 높았다. 연도별 변동양상은 Table 4 및 Fig. 3과 같이 변곡선 형태를 보이고 있어 1983년 31.09±0.51이었다가 1986년 29.73±0.43으로 낮아진 후 높아져 1989년 32.46±0.11로 가장 높았으며 그 후 점차 낮아져 1999년에는 30.52±0.46이었으며 2003년에는

천수만의 수질환경특성과 장기변동

Table 4. Annual descriptive statistics of water quality parameters from 1983 to 2004 in the Cheonsu Bay of Yellow Sea

Years	N	Water temperature(°C)			Salinity			pH		
		Mean±SE	Range	CV(%)	Mean±SE	Range	CV(%)	Mean±SE	Range	CV(%)
1983	16	13.81±2.45	1.30~27.60	71.01	31.09±0.51	27.52~33.15	6.58	8.02±0.03	7.84~8.21	1.50
1984	16	12.15±2.73	-0.60~28.10	90.04	31.35±0.37	26.85~32.62	4.77	8.01±0.02	7.86~8.17	1.16
1985	16	13.44±2.41	3.10~27.80	71.76	31.01±0.25	29.50~32.36	3.26	8.10±0.02	8.00~8.21	0.73
1986	16	12.61±2.28	1.65~25.90	72.26	29.73±0.43	26.63~31.78	5.72	7.78±0.08	7.28~8.18	4.00
1987	16	12.08±2.11	2.90~24.55	69.93	31.21±0.52	27.25~32.62	6.60	7.84±0.05	7.60~8.07	2.30
1988	16	13.21±2.26	2.95~27.25	68.30	32.33±0.10	31.34~32.74	1.27	7.86±0.03	7.71~8.06	1.60
1989	16	13.10±2.15	3.75~27.25	65.77	32.46±0.11	31.41~32.87	1.29	7.95±0.06	7.54~8.14	2.83
1990	16	13.34±2.25	3.00~27.30	67.34	32.06±0.32	29.05~33.09	4.04	7.99±0.03	7.77~8.12	1.42
1991	16	13.12±2.12	4.10~25.95	64.68	31.86±0.30	29.75~32.89	3.79	7.98±0.02	7.83~8.12	1.15
1992	16	14.14±2.07	3.55~26.65	58.51	31.95±0.08	31.46~32.52	1.03	8.05±0.02	7.93~8.21	1.01
1993	16	12.47±1.93	3.05~23.70	61.96	31.18±0.59	24.98~32.83	7.50	8.23±0.02	8.08~8.31	1.01
1994	16	14.19±2.37	3.35~29.40	66.84	31.99±0.22	30.10~33.16	2.73	8.14±0.02	7.94~8.27	1.10
1995	16	14.26±2.32	3.15~28.20	65.13	31.77±0.17	29.88~32.47	2.11	8.09±0.04	7.88~8.26	1.72
1996	16	12.66±2.55	1.65~28.05	80.61	31.36±0.26	28.85~32.43	3.33	8.06±0.02	7.90~8.20	1.10
1997	16	14.13±2.29	3.50~28.65	64.79	32.05±0.31	29.30~33.03	3.82	7.99±0.03	7.82~8.20	1.66
1998	16	14.80±2.12	3.37~26.84	57.43	30.56±0.59	26.01~32.79	7.68	8.23±0.05	7.90~8.52	2.49
1999	16	15.34±1.55	7.67~24.69	40.51	30.52±0.46	25.80~32.03	6.04	7.98±0.07	7.57~8.37	3.68
2000	16	13.67±2.18	2.48~26.49	63.85	31.25±0.12	30.45~31.80	1.58	7.86±0.04	7.62~8.05	1.95
2001	16	13.83±2.33	2.70~27.68	67.30	31.27±0.20	29.14~31.86	2.53	7.81±0.10	6.91~8.30	5.16
2002	16	13.29±2.07	3.66~26.52	62.41	30.99±0.35	28.15~32.45	4.48	8.14±0.03	7.99~8.44	1.56
2003	16	12.69±2.03	2.33~24.45	63.84	30.19±0.48	26.65~31.58	6.32	7.97±0.02	7.82~8.09	0.80
2004	16	14.19±2.14	3.16~27.01	60.38	30.46±0.39	27.37~31.55	5.17	8.04±0.04	7.78~8.34	2.00
Mean	352	13.47±0.46	-0.60~29.40	64.38	31.30±0.08	24.98~33.16	4.98	8.00±0.01	6.91~8.52	2.60

Years	N	DO(%)			DO(mg/L)			COD(mg/L)		
		Mean±SE	Range	CV(%)	Mean±SE	Range	CV(%)	Mean±SE	Range	CV(%)
1983	16	103.37±3.82	82.96~126.19	14.77	8.91±0.15	7.84~9.60	6.78	1.48±0.18	0.54~2.78	48.32
1984	16	102.73±4.87	79.34~143.68	18.96	9.14±0.14	7.51~9.71	6.32	1.45±0.12	0.58~2.16	31.77
1985	16	106.85±4.85	82.38~134.81	18.16	9.22±0.07	8.81~9.79	3.15	1.17±0.09	0.64~1.73	29.32
1986	16	105.13±3.85	86.02~138.20	14.66	9.41±0.28	7.79~10.80	11.79	0.55±0.09	0.09~1.46	66.16
1987	16	106.78±1.69	93.74~113.73	6.33	9.62±0.28	8.01~11.09	11.65	0.66±0.03	0.50~0.99	20.81
1988	16	111.12±2.53	92.54~124.54	9.09	9.71±0.29	8.06~11.38	12.08	0.65±0.05	0.34~1.01	32.10
1989	16	106.76±1.89	88.31~117.46	7.08	9.36±0.30	7.51~11.24	13.00	0.73±0.06	0.31~1.08	33.35
1990	16	109.06±1.67	93.77~118.36	6.11	9.57±0.35	7.16~11.34	14.68	0.78±0.05	0.39~1.11	24.40
1991	16	107.49±2.59	93.29~130.59	9.62	9.46±0.37	7.74~11.29	15.48	0.77±0.07	0.46~1.36	35.46
1992	16	100.42±3.06	78.79~123.60	12.19	8.82±0.56	5.26~11.54	25.45	1.65±0.15	0.72~2.60	37.29
1993	16	102.91±2.59	91.04~123.69	10.08	9.30±0.50	6.68~11.76	21.31	1.76±0.07	1.18~2.13	15.67
1994	16	99.95±2.06	88.30~113.74	8.23	8.72±0.45	5.86~10.87	20.47	1.05±0.12	0.46~2.11	44.14
1995	16	97.80±5.94	22.30~118.28	24.30	8.64±0.76	1.8~12.80	35.20	1.80±0.09	1.39~2.54	19.67
1996	16	91.45±3.66	53.78~108.12	16.03	8.45±0.64	3.63~12.20	30.24	2.47±0.33	0.59~5.76	52.68
1997	16	79.82±6.82	37.14~112.03	34.16	7.27±0.83	2.45~11.15	45.74	1.39±0.17	0.30~2.52	48.33
1998	16	108.34±5.27	84.75~160.67	19.46	9.12±0.24	7.51~11.06	10.49	1.85±0.25	0.72~3.89	53.34
1999	16	98.64±2.38	79.46~110.20	9.66	8.41±0.42	5.7~10.42	19.74	1.53±0.14	0.74~2.41	36.00
2000	16	82.42±2.45	69.41~98.92	11.90	7.27±0.40	5.21~9.75	21.89	1.01±0.08	0.38~1.67	32.29
2001	16	93.20±2.07	80.92~103.15	8.88	8.29±0.52	5.81~10.99	24.96	1.43±0.14	0.77~2.38	38.11
2002	16	94.23±4.17	65.72~120.14	17.69	8.47±0.59	4.50~11.15	27.61	1.47±0.15	0.74~2.50	39.53
2003	16	100.79±1.78	92.15~113.14	7.06	9.07±0.38	7.12~11.33	16.78	2.37±0.28	1.04~4.58	46.83
2004	16	110.52±3.45	90.95~132.47	12.50	9.60±0.45	7.58~13.06	18.53	1.90±0.16	1.02~3.28	33.75
Mean	352	100.90±0.87	22.30~160.67	16.19	8.90±0.10	1.8~13.06	20.91	1.36±0.04	0.09~5.76	57.93

Years	N	SS(mg/L)			DIP( $\mu$ M)			NH <sub>4</sub> - N( $\mu$ M)		
		Mean $\pm$ SE	Range	CV(%)	Mean $\pm$ SE	Range	CV(%)	Mean $\pm$ SE	Range	CV(%)
1983	16	33.19 $\pm$ 1.10	26.00~44.40	13.31	0.33 $\pm$ 0.03	0.14~0.53	31.31	8.30 $\pm$ 1.34	2.97~19.73	64.71
1984	16	33.66 $\pm$ 0.66	29.68~38.08	7.85	0.28 $\pm$ 0.05	0.06~0.78	67.31	6.38 $\pm$ 1.43	1.73~20.67	89.34
1985	16	29.59 $\pm$ 2.06	10.92~36.64	27.89	0.44 $\pm$ 0.03	0.24~0.64	24.91	3.32 $\pm$ 0.50	0.80~6.51	59.63
1986	16	36.17 $\pm$ 1.58	26.50~48.50	17.52	0.38 $\pm$ 0.04	0.08~0.60	41.85	4.15 $\pm$ 0.47	2.09~7.91	44.79
1987	16	33.56 $\pm$ 1.25	24.25~40.50	14.93	0.32 $\pm$ 0.02	0.17~0.46	26.38	5.15 $\pm$ 0.28	3.55~7.28	21.39
1988	16	30.88 $\pm$ 0.95	24.50~36.00	12.25	0.27 $\pm$ 0.02	0.15~0.40	23.11	5.01 $\pm$ 0.18	3.91~6.18	14.56
1989	16	29.91 $\pm$ 1.37	23.50~41.50	18.25	0.32 $\pm$ 0.04	0.03~0.85	54.15	4.60 $\pm$ 0.21	2.97~5.99	17.94
1990	16	33.39 $\pm$ 1.59	24.00~47.00	19.01	0.31 $\pm$ 0.02	0.17~0.43	20.97	3.83 $\pm$ 0.22	2.81~5.63	22.42
1991	16	25.66 $\pm$ 3.00	2.50~40.00	46.74	0.37 $\pm$ 0.02	0.24~0.47	22.22	2.60 $\pm$ 0.39	0.20~5.03	60.49
1992	16	13.97 $\pm$ 2.12	1.00~31.50	60.63	0.39 $\pm$ 0.03	0.16~0.55	33.84	1.85 $\pm$ 0.74	0.16~11.92	159.72
1993	16	19.84 $\pm$ 2.70	5.00~52.50	54.33	0.27 $\pm$ 0.07	0.01~0.69	96.83	1.31 $\pm$ 0.38	0.01~4.64	115.95
1994	16	10.58 $\pm$ 2.01	3.00~35.00	76.15	0.33 $\pm$ 0.07	0.01~0.81	84.67	4.20 $\pm$ 2.05	1.04~34.54	195.37
1995	16	26.96 $\pm$ 5.24	2.17~53.80	77.72	0.50 $\pm$ 0.11	0.03~1.41	84.98	1.77 $\pm$ 0.68	0.10~11.28	154.15
1996	16	45.66 $\pm$ 10.76	7.20~164.80	94.29	0.45 $\pm$ 0.08	0.10~1.15	73.98	2.55 $\pm$ 0.46	0.23~6.21	71.72
1997	16	35.70 $\pm$ 1.99	19.67~49.00	22.34	0.53 $\pm$ 0.21	0.02~3.51	159.17	12.51 $\pm$ 5.82	0.24~79.15	186.13
1998	16	29.16 $\pm$ 4.41	8.00~52.33	60.45	0.36 $\pm$ 0.07	0.02~0.92	80.77	4.03 $\pm$ 0.72	0.66~9.48	71.79
1999	16	9.99 $\pm$ 2.93	3.00~52.00	117.48	0.87 $\pm$ 0.15	0.21~2.06	68.86	6.77 $\pm$ 1.59	0.33~22.03	93.85
2000	16	11.34 $\pm$ 1.63	0.40~24.80	57.37	0.62 $\pm$ 0.07	0.01~1.21	43.58	3.20 $\pm$ 0.51	1.39~9.18	63.63
2001	16	18.56 $\pm$ 3.26	1.60~52.60	70.23	0.51 $\pm$ 0.07	0.15~1.00	56.78	4.82 $\pm$ 0.67	1.93~10.11	55.66
2002	16	17.45 $\pm$ 2.74	3.60~47.40	62.76	0.85 $\pm$ 0.18	0.16~3.14	82.31	1.97 $\pm$ 0.61	0.07~6.96	124.59
2003	16	10.10 $\pm$ 1.30	3.60~21.00	51.40	0.52 $\pm$ 0.05	0.14~1.06	39.60	2.33 $\pm$ 0.27	1.23~5.18	44.27
2004	16	13.15 $\pm$ 2.83	1.60~40.00	86.04	0.38 $\pm$ 0.05	0.14~0.76	51.52	2.26 $\pm$ 0.55	1.39~9.18	97.53
Mean	352	24.93 $\pm$ 0.88	0.40~164.80	66.17	0.43 $\pm$ 0.02	0.01~3.51	83.56	4.23 $\pm$ 0.34	0.01~79.15	148.98

Years	N	NO <sub>3</sub> - N( $\mu$ M)			DIN( $\mu$ M)			DIN/DIP		
		Mean $\pm$ SE	Range	CV(%)	Mean $\pm$ SE	Range	CV(%)	Mean $\pm$ SE	Range	CV(%)
1983	16	3.73 $\pm$ 0.50	1.65~8.35	53.94	12.63 $\pm$ 1.74	5.23~24.94	55.13	39.81 $\pm$ 5.74	17.38~104.96	57.63
1984	16	1.00 $\pm$ 0.24	0.13~3.42	96.11	7.74 $\pm$ 1.32	3.10~21.41	68.28	55.64 $\pm$ 18.63	6.08~243.27	133.91
1985	16	0.54 $\pm$ 0.19	0.04~3.15	140.06	4.17 $\pm$ 0.61	1.47~9.97	58.97	10.14 $\pm$ 1.78	3.97~30.21	70.49
1986	16	0.15 $\pm$ 0.02	0.04~0.36	53.34	4.60 $\pm$ 0.51	2.32~8.83	44.03	14.45 $\pm$ 2.38	7.48~46.53	65.99
1987	16	0.21 $\pm$ 0.03	0.13~0.64	58.44	5.66 $\pm$ 0.30	3.95~8.28	21.53	19.58 $\pm$ 2.44	9.44~50.18	49.94
1988	16	0.25 $\pm$ 0.01	0.17~0.37	19.30	5.54 $\pm$ 0.19	4.37~6.87	14.00	21.72 $\pm$ 1.68	14.61~43.83	31.00
1989	16	0.29 $\pm$ 0.02	0.18~0.50	30.00	5.14 $\pm$ 0.20	3.56~6.65	15.52	27.29 $\pm$ 9.72	5.16~171.00	142.44
1990	16	0.57 $\pm$ 0.08	0.21~1.34	58.55	4.72 $\pm$ 0.23	3.57~6.32	19.19	16.01 $\pm$ 1.11	9.78~25.26	27.65
1991	16	0.70 $\pm$ 0.16	0.25~2.50	91.87	3.77 $\pm$ 0.31	0.67~5.77	32.96	11.01 $\pm$ 1.17	1.85~18.49	42.53
1992	16	1.77 $\pm$ 0.72	0.00~9.04	161.41	3.75 $\pm$ 0.91	0.23~12.19	97.09	10.54 $\pm$ 2.78	0.72~30.33	105.54
1993	16	1.49 $\pm$ 0.40	0.03~4.36	108.58	3.23 $\pm$ 0.74	0.08~8.27	91.53	30.65 $\pm$ 7.86	2.72~95.18	102.53
1994	16	5.10 $\pm$ 1.70	0.01~27.48	133.54	9.50 $\pm$ 3.66	1.08~62.32	154.11	53.86 $\pm$ 13.28	10.82~186.33	98.63
1995	16	1.65 $\pm$ 0.36	0.12~4.55	87.14	3.71 $\pm$ 0.94	0.51~15.11	101.41	8.39 $\pm$ 1.10	3.25~17.35	52.62
1996	16	5.02 $\pm$ 2.14	0.15~35.37	170.61	7.88 $\pm$ 2.09	2.49~37.43	105.92	23.43 $\pm$ 6.28	2.37~111.80	107.21
1997	16	1.75 $\pm$ 0.32	0.45~3.81	73.39	14.69 $\pm$ 5.68	1.73~80.28	154.92	104.58 $\pm$ 40.12	1.32~471.67	153.45
1998	16	2.67 $\pm$ 0.47	0.32~5.75	70.91	7.05 $\pm$ 0.84	1.45~11.43	47.85	38.64 $\pm$ 10.15	10.84~139.43	105.07
1999	16	5.24 $\pm$ 1.04	0.06~12.72	79.20	12.44 $\pm$ 2.56	1.04~35.51	82.33	16.37 $\pm$ 2.22	1.69~31.45	54.26
2000	16	3.54 $\pm$ 0.51	0.68~7.68	56.98	7.07 $\pm$ 0.63	2.74~10.27	35.75	23.98 $\pm$ 12.54	4.38~211.59	209.19
2001	16	4.07 $\pm$ 1.27	0.43~21.36	124.86	9.42 $\pm$ 1.42	2.75~23.64	60.22	24.39 $\pm$ 4.93	7.28~81.44	80.84
2002	16	3.82 $\pm$ 0.71	0.25~8.04	74.10	6.33 $\pm$ 1.23	0.46~15.18	77.93	7.57 $\pm$ 1.26	1.81~15.45	66.62
2003	16	6.80 $\pm$ 0.69	1.82~11.86	40.62	9.36 $\pm$ 0.71	5.94~13.78	30.39	22.88 $\pm$ 5.11	5.63~95.55	89.33
2004	16	3.96 $\pm$ 1.07	0.68~18.48	108.16	6.38 $\pm$ 0.93	3.14~18.89	58.45	19.81 $\pm$ 2.69	5.33~38.41	54.21
Mean	352	2.47 $\pm$ 0.20	0.00~35.37	148.84	7.03 $\pm$ 0.41	0.08~80.28	108.20	27.31 $\pm$ 2.56	0.72~471.67	176.06

30.19±0.48이었다. 변동계수는 1983, 1987, 1993, 1998, 1999, 2003년에는 하절기 조사시기 인근에 100mm 이상(기상청 기후자료 www.kma.go.kr)의 강우로 인한 담수 유입으로 6.04%~7.68%이었으나 그 외 기간 동안은 매우 적은 분산량을 보였다.

### 3.2.3. 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 정점간 평균이 7.99±0.02 (정점 1)~8.02±0.02(정점 4)로 정점간 차이가 거의 없으며 변동계수 역시 2.29~2.92로 인천연안<sup>18,19)</sup>과 마찬가지로 전 수질항목 중 가장 적었다. 계절별로는 7.94±0.02(8월)~8.06±0.02(11월)로 차이를 보였으며 (p=0.002) 하절기인 8월에 담수유입으로 약간 낮아졌으며 변동계수는 2.01%(4월)~2.87%(8월)로 작았다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동양상은 염분과 유사하게 변곡선 형태를 보이고 있어 1983년에 8.02±0.03이었다가 1986년에 7.78±0.08로 가장 낮아진 후 점차 높아져 1993년과 1998년에 연평균 8.23을 정점으로 감소와 증가를 반복하다가 2004년에는 8.04±0.04를 유지하고 있으며 변동계수는 5.16%이하로 작았다(Table 4, Fig. 3).

### 3.2.4. 용존산소(DO)

용존산소는 정점별 평균이 8.79±0.18mg/L(정점 1)~9.01±0.19mg/L(정점 2)로 정점간의 차이는 작았으며 변동계수 역시 19.50%(정점 1)~20.04%(정점 3)로 인천연안의 19.79%~23.77%<sup>18,19)</sup>과 유사한 분산량을 보였다. 계절별로는 7.13±0.18mg/L(8월)~10.41±0.11mg/L(2월)로 큰 차이를 보였다(p<0.0001). 일반적으로 수온이 낮은 겨울철에 높은 값을 보이고 하절기에는 낮은 값을 나타내었다. 수온과 염분의 함수로 산출되는 용존산소포화도로 나타냈을 때, 정점 간에는 100.06±1.67%(정점 1)~102.10±1.64%(정점 2)로 용존산소량과 같은 분포였으며 변동계수는 15.04%(정점 2)~18.79%(정점 3)로 인천연안의 14.19%~18.59%와 비슷하였다. 계절별로는 95.67±1.56%(11월)~106.80±0.82%(4월)로 가을철(11월)과 겨울철(2월)은 100% 이하이고 봄철과 여름철은 100% 이상을 나타냈으며 변동계수는 봄철인 4월은 7.17%로 작고 여름철인 8월은 23.51%로 봄철의 3배정도이며 담수유입에 따라 변동폭이 컸다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동양상은 1983년부터 1993년까지는 100% 이상이었으나 그 후 100% 이하로 낮아져 1997년에는 79.82±6.82%로 최저값을 보인 이후 1998년 108.34±5.27%로 회복되었다가 다시 낮아져 2000년에는 82.42±2.45%이었으나 그 후 점차 높아져 2004년에는 110.52±3.45%이었으며 전반적인 경향은 년 0.998% 낮아졌고, 특히 90년대 후반부터 불규칙

적인 변동을 보이다가 2001년부터는 약간씩 증가하는 경향이었다. 변동계수는 80년대 전반기에 10% 이상이었다가 80년대 후반기부터는 10% 내외로 작아진 후 90년대 후반기부터 약간 불규칙하였다(Table 4, Fig. 3).

### 3.2.5. 화학적산소요구량(COD)

화학적산소요구량은 정점별 평균이 1.29±0.07mg/L(정점 1)~1.40±0.10mg/L(정점 3)로 정점간 차이가 거의 없었으며 변동계수는 50.88%(정점 1)~64.91%(정점 3)로 인천연안의 45.91%~52.71%<sup>18,19)</sup> 보다 5%~12%정도 변동폭이 컸다. 계절별 역시 1.25±0.07mg/L(4월)~1.54±0.09mg/L(8월)로 유의적 차이가 없었으며(p=0.0671), 변동계수는 51.49%(4월)~67.37%(11월)이었다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 변곡선 형태를 보이고 있어 1983년에는 1.48±0.18mg/L이었다가 점차 낮아져 1986년에는 0.55±0.09mg/L로 가장 낮았으며 그 후 약간씩 증가하여 1996년에는 2.47±0.33mg/L으로 가장 높았다가 낮아지는 추세로서 용존산소와 마찬가지로 90년대 후반부터 불규칙한 변동을 보이고 2003년에는 2.37±0.28mg/L로 높아졌다가 2004년에는 1.90±0.16mg/L로 대체로 2001년부터 높아지는 경향이었다. 변동계수는 1986년 66.16%으로 가장 컸고 1993년 15.67%로 가장 적었으며 전반적으로 80년대 상반과 90년대 후반에 변동폭이 불규칙하였으나 2000년부터는 32.29%~46.83%이었다(Table 4, Fig. 3).

### 3.2.6. 부유물질

부유물질은 정점별 평균이 23.78±1.66mg/L(정점 3)~27.73±2.16mg/L(정점 1)로 정점간의 차이는 3.95mg/L로 유의적인 차이가 없었으며 변동계수는 55.61%(정점 2)~73.20%(정점 1)으로 천수만의 입구쪽이 변동폭이 컸다. 계절별로는 여름철인 8월이 23.71±1.33mg/L로 낮고 겨울철인 2월이 26.50±1.49mg/L로 높았으며 그 차이는 2.79mg/L로 유의적인 차이가 없었는데 이는 조사정점이 만내로서 서해안의 일반적인 경향인 겨울에 북서계절풍의 영향으로 높고 여름에 낮은 현상이 나타나지 않았다. 변동계수는 11월이 95.11%로 타월에 비해 2배 정도의 높은 분산량을 보였다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동양상은 1983년 방조제공사 등으로 인하여 33.19±1.10mg/L이었다가 점차 낮아져 1994년에는 10.58±2.01mg/L이었으며 그 후 증가하여 1996년에는 45.66±10.76mg/L로 최고치를 보였는데, 이것은 11월에 평균 107.2mg/L로 타월에 비해 월등히 높을데 기인한 것으로 판단된다. 그 후 감소하여 1999년에는 9.99±2.93mg/L로 최저치를 나타낸 후 증가와 감

소를 반복하다 2004년에는 13.15±2.83mg/L를 나타내었다(Table 4, Fig. 3).

3.2.7. 인산인(PO<sub>4</sub> -P)

인산인은 정점별 평균이 0.41±0.03µM(정점 2, 3) ~0.47±0.05µM(정점 4)로 정점 간 유의적 차이가 없었으며 인천연안 측정치인 0.76±0.07µM~1.10±0.14µM<sup>19)</sup> 및 아산만<sup>20)</sup>의 0.93µM에 비해 50% 수준이었고, 곰소만<sup>21)</sup>과 새만금 연안<sup>22)</sup>의 조사에 비해서는 약간 높은 상태이었으며(Table 6), 변동계수는 62.20%(정점 2)~100.06%(정점 4)로 내만측인 정점 4가 외측에 비해 2배 정도 높아 담수 유입에 따라 변동 폭이 큰 것으로 사료된다. 계절별로는 겨울철과 봄철이 낮았고 여름철과 가을철이 높아 유의적인 차이(p<0.0001)가 있었으며, 변동계수는 11월이 61.92% 이었고 4월이 118.82%로 높았으며 2월과 8월은 그 중간 수준이었다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동양상은 1983년에 0.33±0.03µM 이었으며 그 후 증감이 반복되어 1988년과 1993년에는 0.27±0.02µM로 가장 낮았다가 증가하여 1999년에는 0.87±0.15µM로 가장 높은 상태로서 90년대 후반기 들어 불규칙하면서 높아지는 경향을 보이고 있고 전반적으로 년 0.018 µM씩 증가하는 추세를 보였다(Table 4, Fig. 3).

3.2.8. 암모니아질소(NH<sub>4</sub> -N)

암모니아질소는 정점별 평균이 4.09±0.64µM(정점 2)~4.36±0.91µM(정점 3)로 정점간 차이는 0.27µM로 유의적 차이가 없었고, 인천연안 측정치인 14.41±1.82µM~34.27±4.83µM<sup>19)</sup>에 비해 21% 수준으로 낮았으며 새만금연안의 50% 수준이었고 곰소만보다는 높았으며 아산만과 유사한 결과를 나타내었다(Table 6). 변동계수는 106.29%(정점 4)~196.27%(정점 3)로 인근에 양식장이 위치하고 있는 정점 3에서 변동폭이 컸다. 계절별로는 여름철이 6.52±1.12µM로 가장 높았고 그 외 계절은 유사한 농도로서 유의

적인 차이(p=0.0011)가 있었다. 변동계수는 74.82%(11월)~161.21%(8월)로 여름철에 담수 유입 등으로 농도도 높았고 변동폭 역시 컸다(Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 변곡선 형태를 보이고 있어 1983년에는 8.30±1.34µM 이었으나 점차 낮아져 1993년에는 1.31±0.38µM로 가장 낮았으나 1997년에는 12.51±5.82µM로 가장 높았고 특히 8월에 47.17µM로 나타내었다. 그 후 점차 낮아져 2004년에는 2.26±0.55µM로 1983년에는 높았다가 점차 낮아진 후 1990년대 후반에는 높아지면서 불규칙 변동 경향을 나타내다가 2000년부터는 비교적 안정된 상태로 바뀌었다. 이것은 방조제 공사로 인한 오염부하량 증가로 1983년에는 높았다가 방조제 완공 후 육상 부하량의 감소로 전반적으로 낮아졌으나 점차 연안역 개발 및 양식장 설치 등으로 1990년 후반 들어 오염원이 증가한 경우로 하절기에는 적조현상이 상승적으로 발생되었다(Table 4, Fig. 3, Table 5).

3.2.9. 질산질소(NO<sub>3</sub> -N)

질산질소는 정점별 평균이 2.13±0.29µM(정점 4) ~3.30±0.58µM(정점 1)로 정점간 유사하였고, 인천연안의 19.39±2.20µM~31.48±3.75µM<sup>19)</sup>, 아산만의 12.15µM, 새만금연안의 13.78µM 에 비해 훨씬 낮았으며 곰소만과 비슷한 농도를 나타내었고(Table 6), 변동계수는 115.94%(정점 2)~163.57%(정점 1)로 방조제 인근정점에서 분산량이 컸다. 계절별로는 봄철인 4월에 1.85±0.30µM로 낮았고 겨울철인 2월에 3.18±0.46µM로 높았으나 계절별로 유의적인 차이(p= 0.108)는 없었다(Table 2, 3, Fig. 2). 질산질소는 봄철로 오면서 식물플랑크톤의 활발한 성장에 의한 섭취로 인해 낮은 값을 보이며, 겨울철의 높은 값은 수온 저하로 인한 식물플랑크톤에 의한 섭취율 감소와 저층으로부터 수직혼합에 의한 것으로 사료된다. 연도별 변동 양상은 1983년에는 3.73±0.50µM이었으나 그 후 낮아져 1986년에는 0.15±0.02µM로 가

Table 5. Occurrences of red tides in the Cheonsu Bay of Yellow Sea from 1983 to 2004 (NFRDI, unpublished data)

dates	dominant species	density(cells/ml)
1993.6.13~6.18	<i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Dinophysis acuminata</i>	40~4,066, 60~100
1994.7.6~7.15	<i>Mesodinium rubrum</i>	5,975~49,000
1995.7.18~7.19	<i>Noctiluca scintillans</i>	50~300
1996.7.9~7.29	<i>Chroomonas salina</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Mesodinium rubrum</i>	1,900~17,750
1998.7.3~7.10	<i>Ceratium</i> sp. <i>Noctiluca scintillans</i>	100~1,500
1998.7.7~7.16	<i>Skeletonema costatum</i>	
1998.8.19~8.21	<i>Skeletonema costatum</i> , <i>Chaetoceros</i> sp.	8,500~32,000
1999.8.11~8.13	<i>Chaetoceros</i> sp., <i>Thalassiosira decipiens</i> , <i>Skeletonema costatum</i>	2,500~25,000
2000.6.30~7.10	<i>Prorocentrum minimum</i> , <i>Ceratium fusus</i>	2,500~3,000, 2,500~3,000
2003.7.9~7.13	<i>Prorocentrum micans</i>	1,900~10,000



장 낮았다가 점차 높아져서 1994년에는  $5.10 \pm 1.70 \mu\text{M}$  이었고 그 후 불규칙 변화를 보였으며, 2003년에는  $6.80 \pm 0.69 \mu\text{M}$ 로 최고치를 나타내었고 전체적인 경향은 연  $0.192 \mu\text{M}$  정도씩 증가하는 경향을 보였다 (Table 4, Fig. 3).

### 3.2.10. 용존무기질소(DIN)

용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 산출하였으며, 그 기여도는 암모니아질소 60.17%, 질산질소 35.14%, 아질산질소 4.69% 이었다. 정점별 평균은  $6.72 \pm 0.69 \mu\text{M}$  (정점 2) ~  $7.79 \pm 0.91 \mu\text{M}$  (정점 1)로 정점간 차이 ( $p=0.757$ )가 없었다. 같은 시기에 타 연안역의 결과를 살펴 보았을 때, 인천연안의  $36.01 \pm 3.09 \mu\text{M}$  ~  $68.26 \pm 6.78 \mu\text{M}$ <sup>19)</sup>, 아산만의  $15.55 \mu\text{M}$ <sup>20)</sup>, 새만금연안  $21.27 \mu\text{M}$ <sup>22)</sup>에 비해 15%~50% 수준으로 낮았으며 곰소만<sup>21)</sup>과 유사한 농도를 나타내었다 (Table 6), 변동계수는 86.47% (정점 4) ~ 133.33% (정점 3)로 인천연안의 70.82% ~ 84.22% 비해 분산량은 컸다. 계절별로는 대체로 식물플랑크톤의 생산 활동이 활발한 봄철과 가을철에 낮고, 겨울철과 육수의 유입이 많은 장마철인 여름철이 높아 유의적인 차이 ( $p=0.014$ )가 있었는데 이것은 식물플랑크톤 생산 등에 효율적으로 섭취, 이용되고 있다고 할 수 있으며, 변동계수는 76.34% (11월) ~ 122.90% (8월)로 여름철이 타월에 비해 변동폭이 컸다 (Table 2, 3, Fig. 2). 연도별 변동 양상은 화학적 산소요구량, 암모니아질소와 유사하게 변곡선 형태를 나타내었으며 1983년  $12.63 \pm 1.74 \mu\text{M}$  이었다가 점차 낮아져 1993년에는  $3.23 \pm 0.74 \mu\text{M}$ 로 가장 낮았다가

그 후 증감을 반복하면서 증가추세를 보였으며, 1997년에는  $14.69 \pm 5.68 \mu\text{M}$ 로 최고치를 나타내었는데 특히 8월에 암모니아질소가  $48.23 \mu\text{M}$ 로 타 월에 비해 월등히 높았다. 변동계수는 1983년에는 55.13% 이었다가 점차 작아져 1988년에는 14%로 가장 작았고 그 후 증가하여 1994년부터 1997년에는 100% 이상으로 증가하다가 감소하여 2004년에는 58.45%를 나타내었다 (Table 4, Fig. 3).

### 3.2.11. DIN/DIP 비

DIN/DIP비의 정점별 평균은  $24.34 \pm 2.92$  (정점 1) ~  $28.53 \pm 5.44$  (정점 4)로 정점 간 차이가 없었으며, 인천연안의  $89.47 \pm 18.39$  ~  $179.69 \pm 56.93$ <sup>18,19)</sup>에 비해 훨씬 낮았다. 변동계수는 112.62% (정점 1) ~ 209.19% (정점 2)로 인천연안의 170.76% ~ 261.26%<sup>18,19)</sup>에 비해 낮았다. 계절별로는 가을철에  $11.79 \pm 0.65$ 로 낮았고 여름철에  $33.72 \pm 7.79$ 로 높았으며, 계절별로는 11월을 제외하고는 비슷한 수준이었고 대체로 겨울철부터 여름철까지는 DIN/DIP 비가 Redfield ratio<sup>25)</sup>가 16 이상으로 인산인이 식물플랑크톤 성장에 제한 요인으로 작용하고 있는 것으로 나타나 만약에 여름철에 인산인의 외부유입이 있을 경우에 적조현상이 유발될 가능성이 큰 것으로 사료된다. 변동계수는 51.99% (11월) ~ 216.81% (8월)로 여름철의 변동폭이 매우 컸다 (Fig. 2). 연도별 변동양상은 1983년에는  $39.81 \pm 5.74$ 이었고 1984년에는  $55.64 \pm 18.63$ 으로 높아졌다가 그 후 감소하여  $10.14 \pm 1.79$  ~  $27.29 \pm 9.72$  수준이었으며 1993년에는  $30.65 \pm 7.86$ 으로 증가한 후

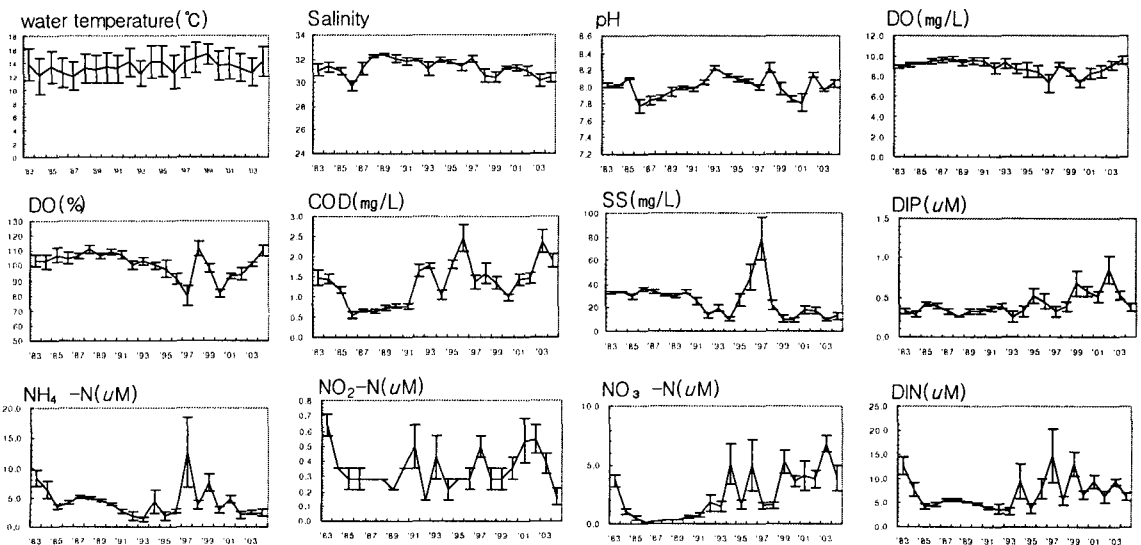


Fig. 3. Annual trends of water quality from 1983 to 2004 in the Cheonsu Bay.

Values are station means by years and vertical bars indicate one standard error of the station mean data.

Table 6. Comparison of salinity and nutrient concentrations in the different regions of Korean coastal waters

Study area	Sal.	Nutrient(μM)					DIN/DIP		References	Time(year)
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIN	PO <sub>4</sub> -P	ratio	ratio		
Asan Bay	31.55	2.83	0.57	12.15	15.55	0.93	17.89	Moon <i>et al.</i> , 1993	1991.11~1992.8	
Gomso Bay	29.64	2.13	0.30	5.73	8.16	0.46	17.25	Yang <i>et al.</i> , 2003	1999.4~2000.11	
Saemankeum area	27.49	8.18	1.84	13.78	21.27	0.66	32.23	Kim and Kim, 2002	1999.7~2000.6	
Inchon coastal area	27.68	17.85	3.28	54.64	75.77	0.97	78.11	Yeo and Kang, 1998	1995.5~1996.1	
Gyeonggi Bay	29.88	21.26	1.88	24.11	47.25	0.90	52.50	Park and Park, 2000	1981~1998	
Jinhae Bay	30.87	3.21	0.78	0.66	4.65	0.47	9.89	Choi and Kim, 2002	2000.1~2000.12	
Jinhae Bay	32.49	2.11	1.04	7.07	10.22	1.46	7.00	Hong <i>et al.</i> , 1985	1976~1982	

불규칙한 변화를 보여 1997년에는 104.58±40.12로 월등히 높았고 그 후 비교적 안정되어 2004년에는 19.81±2.69를 나타내었다(Table 4).

### 3.3. 수질항목간의 상관성

22개년간의 수질자료(n=352)를 통하여 항목간의 상관분석결과 수온은 염분, 용존산소와 음의 상관성, 염분은 용존산소와 양의 상관성, 화학적산소요구량과 음의 상관성, pH는 화학적산소요구량과 양의 상관성, 용존산소는 인산인, 암모니아질소, 아질산질소, 용존무기질소와 음의 상관성, 화학적산소요구량은 질산질소와 양의 상관성, 인산인은 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소와 양의 상관성이 입증되었다(Table 7). 그중에서 염분은 수온과 음의 상

관성을 보이고 계절별로 구분되어지는 특성을 나타내고 있으며 용존산소와는 양의 상관성을 유지하고, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 질산질소와는 음의 상관성을 나타내어 육수의 영향에 따라 변화되고 있음을 시사하고 있다. 부유물질의 경우 타 항목과 유의적인 상관성이 없었는데, 이것은 경기만<sup>19)</sup>의 '96-'97년 자료에서와 같이 질산질소와 유의적인 상관성이 있는 것과 다른 결과로써 육상으로부터의 유입 부하량 보다는 조석간만의 차 등에 의한 자연현상의 영향을 많이 받는 것으로 생각되어진다(Fig. 4).

### 3.4. 수질의 장기변동

22년간 조사한 수질 환경 요인들과 경년 변동 관

Table 7. Pearson's correlation analysis between water quality parameters in the Cheonsu Bay of Korea from 1983 to 2004

	Salinity	pH	DO	COD	SS	DIP	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIN
WT	-0.5810	-0.0648	-0.7232	0.1079	-0.0674	0.1859	0.1644	0.1083	-0.0422	0.1206
...	<.0001	0.2252	<.0001	0.0430	0.2068	0.0005	0.0020	0.0424	0.4296	0.0237
Salinity		0.1795	0.3434	-0.2748	0.1003	-0.1540	-0.1522	-0.0799	-0.1083	-0.1815
		0.0007	<.0001	<.0001	0.0601	0.0038	0.0043	0.1348	0.0423	0.0006
		pH	0.0790	0.2092	-0.0391	-0.0320	-0.1052	-0.0222	-0.1039	-1.1379
			0.1391	<.0001	0.4652	0.5500	0.0488	0.6784	0.0515	0.0096
			DO	-0.0227	0.0046	-0.3325	-0.3404	-0.3456	-0.1054	-0.3471
				0.6714	0.9315	<.0001	<.0001	<.0001	0.0482	<.0001
				COD	-0.0158	0.1435	-0.0909	-0.0301	0.3156	0.0760
					0.7681	0.0070	0.0890	0.5742	<.0001	0.1549
					SS	-0.0250	0.0865	0.1003	0.0595	0.1052
						0.6409	0.1058	0.0600	0.2659	0.0486
						DIP	0.0940	0.3194	0.3426	0.2557
							0.0787	<.0001	<.0001	<.0001
							NH <sub>4</sub> -N	0.1369	0.0815	0.8710
								0.0102	0.1273	<.0001
								NO <sub>2</sub> -N	0.2454	0.2728
									<.0001	<.0001
									NO <sub>3</sub> -N	0.5580
										<.0001

### 천수만의 수질환경특성과 장기변동

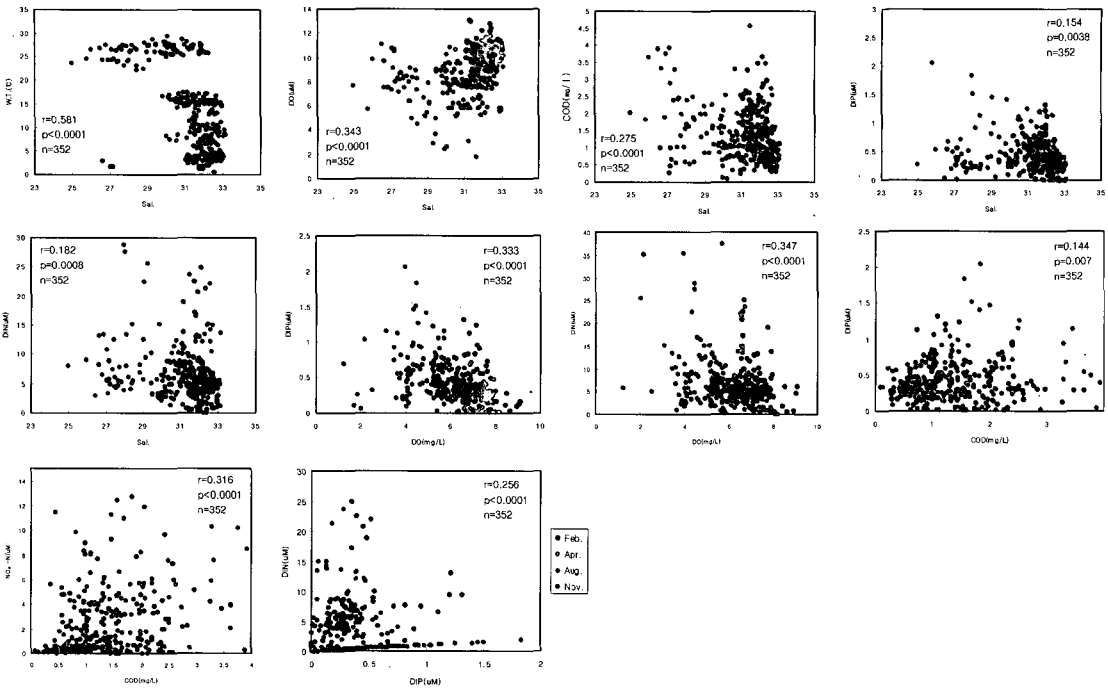


Fig. 4. Relationship between water quality parameters.

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

계를 통계적 분석을 통해 좀더 자세히 살펴보고자 항목별 연평균 자료를 사용하여 주성분분석(PCA)을 실시하였으며 분석에 이용된 수질 항목은 COD, DO포화도, 암모니아질소, 질산질소, 인산인, 부유물질, pH 자료를 이용하였다. 주성분 I에서는 연 변화를 39% 설명할 수 있었으며 이 중 질산성질소>인산인>화학적산소요구량>부유물질 순으로 기여를 하고 있었다. 주성분 II에서는 24%를 설명할 수 있으며 이 중 수소이온농도>암모니아질소 순으로 기여를 하고 있었다. 주성분 III에서는 16%를 설명할 수 있으며 이 중 수소이온농도가 가장 많이 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II, III에 5%이하 유의수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 8). 주성분 I은 질산질소, 인산인, 화학적산소요구량과 양의 상관성을 갖고 부유물질과는 음의 상관성을 보였다( $p < 0.0003$ ). 주성분 II에서는 pH와 양의 상관성( $p = 0.0003$ ), 암모니아질소와는 음의 상관성( $p = 0.0005$ )을 보였으며 주성분 III에서는 pH와 양의 상관성( $p = 0.0017$ )을 나타냈다.

22년 동안 수질의 장기변동은 대체로 두 그룹으로 구분되어지는데 1980년부터 1990년 초반, 1990년 중후반과 2000년대로 나뉘어 진다. 1983년부터 1991년까지는 부유물질과 용존산소가 다른 해에 비해 상대적으로 높았고 영양염류와 화학적산소요구량

등은 낮은 특징을 나타내었다. 반면에 1992년부터 2000년대에서는 점차적으로 화학적산소요구량과 영양염류 등이 증가하였다 그중에서 1997년에는 예년과 다르게 암모니아질소가 다른 해에 비해 상대적

Table 8. Spearman's correlation coefficient between water quality parameters and principal component scores using the annual means of seasonal data collected from 1983 to 2004 in the Cheonsu Bay of Korea

	PCA I	PCA II	PCA III
COD	0.6996	0.4760	0.4478
	0.0003	0.0251	0.0366
DO(%)	-0.6364	0.4218	-0.0808
	0.0015	0.0506	0.7209
NH <sub>4</sub> -N	-0.3676	-0.6782	0.0107
	0.0924	0.0005	0.9622
NO <sub>3</sub> -N	0.9153	0.0356	0.0401
	<0.0001	0.8751	0.8594
PO <sub>4</sub> -P	0.7290	-0.3168	-0.2490
	0.0001	0.1509	0.2638
SS	-0.6996	-0.2332	0.4726
	0.0003	0.2963	0.0263
pH	0.3123	0.7019	0.6296
	0.1571	0.0003	0.0017

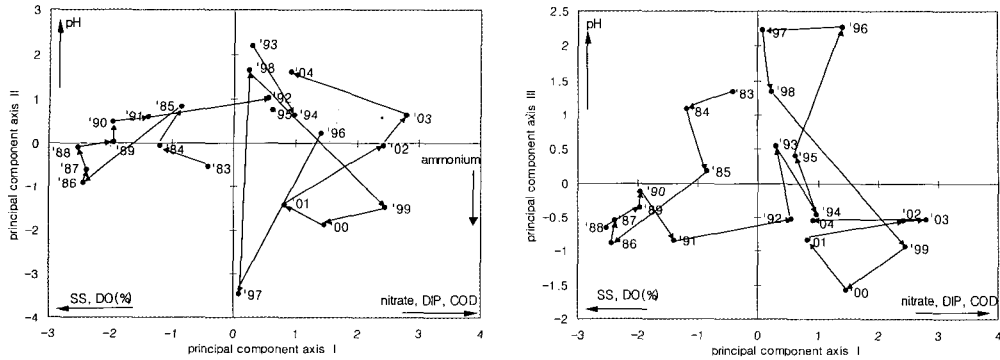


Fig. 5. Principal component ordination of 22 year water quality using the annual mean of stations from 1983 to 2004 in the Cheonsu Bay of Yellow Sea, Korea.

으로 높았고 수소이온농도는 낮았었으며, 1999년부터 2003년까지는 대체로 질산질소, 인산인, 화학적 산소요구량이 높은 경향을 보였으나 2004년에는 1990년 중반과 같은 경향을 나타냈다. 즉 1980년대에는 주성분분석(PCA)부유물질과 용존산소가 높았다가 점차 해를 거듭하여 1992년부터는 수소이온농도와 화학적산소요구량이 높았으며 1990년 후반부터는 질산질소와 인산인 및 화학적산소요구량이 높은 특징을 보였다(Fig. 5).

#### 4. 결 론

천수만의 1983년부터 2004년까지 22개년 동안 4개 조사정점의 표·저층별 및 계절별(2, 4, 8, 11월)로 년 4회 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에는 수온과 염분, 용존산소가 유의적인 차이가 있었으나 ( $p < 0.05$ ) 그 외 6개 조사항목에서는 차이가 없었다. 정점간의 공간적 분포특성은 조사정점이 천수만의 입구가 제외된 관계로 전 항목에서 공간적 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 계절별 분포특성은 화학적산소요구량, 부유물질, 질산질소는 유의적인 차이를 발견할 수 없었고, 그 외 조사항목인 수온, 염분, 용존산소, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소, 용존무기질소에서는 계절별로 차이가 있었으나 경기만의 내해보다는 변화가 작았다. 항목별 변동특성에 있어 수온은 전형적인 은대수역의 변화양상을 보였고 대체적으로 연 0.099°C 정도 높아지는 경향이었으며 염분은 평균 31.30±0.08로 만의 내해층과 외해층이 유의적인 차이는 없었고 여름철을 제외하고 비슷한 염분 상태를 유지하고 있었으며, 인천연안과 새만금에 비해 높았고 아산만과 유사 하였다. pH는 8.00±0.01로 변동계수는 6.91~8.52로 전 수질항목 중 변동폭이 가장 작았으며, 용존산소는 8.90±0.10mg/L의 계절별

차이를 보였고, 용존산소 포화도 역시 가을철과 겨울철에 100% 이하, 봄철과 여름철에 100% 이상이었으며, 연도별 경향은 대체로 연 0.998% 낮아지는 추세였다. 화학적산소요구량은 1.36±0.04mg/L로 시공간적으로 유의적인 차이가 없었으며, 부유물질 역시 평균 24.93±0.88mg/L로 시공간적 차이가 없었다. 영양염류 중 인산인은 0.43±0.02µM이었고 계절별로는 봄철이 낮고 가을철이 높았으며 년 변화는 0.018µM 증가하는 추세이었다. 암모니아질소는 4.23±0.34µM으로 가을철이 낮고 여름철이 높았으며, 질산질소는 2.47±0.20µM으로 년 0.192µM 정도씩 증가하는 경향이었다. 용존무기질소는 7.03±0.48µM로 그중 암모니아질소 60.17%, 질산질소 35.14%, 아질산질소 4.69% 이었고 계절별로는 봄철이 낮고 여름철이 높았으며 변동계수 역시 여름철이 136.12%로 변동폭이 심하였고 연도별 변동양상은 화학적산소요구량과 유사한 변곡선 형태를 나타내었다. DIN/ DIP 비는 27.31±2.56으로 계절별로는 가을철에 Redfield ratio가 16 이하이었고 그 외 계절은 16 이상으로 나타나 영양염으로 가을철을 제외하고는 인산인이 식물플랑크톤의 성장에 제한요인으로 작용하고 있어 하절기에 인산인의 외부유입이 있을 경우 적조의 대량 발생이 우려된다. 수질항목간의 상관성은 염분에 있어 수온과 음의 상관성으로 계절별로 구분되어지며, 용존산소와 양의 상관성 및 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 질산질소와 음의 상관성이 있어 육수의 영향에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 장기변동은 대체로 1980년부터 1990년 초반, 1990년 중·후반과 2000년대로 구분되어진다. 즉, 근래에 들어 질산질소와 인산인 및 화학적산소요구량 등이 증가하고 있는데 이것은 육수 유입에 의한 영향으로 사료되므로 향후, 육상기인 오염물질의 해

양유입에 대한 감시가 요구된다.

### 감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 R&D과제인 ‘국가해양 환경측정망운영’ 과제(RP-2006-ME-013)의 일환으로 수행된 것으로 현장조사에 적극 협조해주신 시 협조사선 탐구 2, 18호 직원께 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 1) 심재형, 이원호, 1979, 서해 천수만의 식물플랑크톤에 대하여, 한국해양학회지, 14(1), 6-14.
- 2) 이태원, 석규진, 1984, 소형정지망자료에 의한 천수만어종의 계절이 따른 종조성 및 양적 변동, 한국해양학회지, 19(2), 217-227.
- 3) 심재형, 여환구, 1988, 천수만 식물 플랑크톤의 공간적, 시간적 변화, 한국해양학회지, 23(3), 130-145.
- 4) 심재형, 신윤근, 1989, 천수만 일차생산자의 생물량-식물플랑크톤 탄소량과 세포개체수 및 클로로필과의 관계-, 한국해양학회지, 24(4), 194-205.
- 5) 이태원, 1989, 천수만 저서성 어류 군집의 변화, 한국수산학회지, 22(1), 1-8.
- 6) 심재형, 윤구현, 1990, 천수만 동물플랑크톤의 계절변화와 생산량, 한국해양학회지, 25(4), 229-239.
- 7) 신윤근, 심재형, 조준성, 박용철, 1990, 천수만 미세플랑크톤의 상대적 중요성: 종조성, 개체수, 클로로필 및 일차생산력, 한국해양학회지, 25(4), 217-228.
- 8) 오희영, 1991, 천수만 수질변동에 관한 연구-서산AB지구 간척공사 전후, 한양대학교 환경과학대학원 공학석사논문, 49pp.
- 9) 이태원, 1996, 천수만 어류의 종조성 변화 1-저어류, 한국수산학회지, 29(1), 71-83.
- 10) 이태원, 1998, 천수만 어류의 종조성 변화 3-부어류, 한국수산학회지, 31(5), 654-664.
- 11) 충청남도, 1998, 천수만의 어장환경 조사, BSPG 96256-00-1063-3, 900pp.
- 12) 박홍식, 임현식, 홍재상, 2000, 천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시공간적 양상, 한국수산학회지, 33(3), 262-271.
- 13) 국립수산진흥원, 1985, 해양오염 및 적조조사지침, 279pp.
- 14) Strickland, J. D. and T. R. Parsons, 1972, A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bulletin of Fisheries Research Board of Canada, 167, 310pp.
- 15) 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험법, 330pp.
- 16) 이성희, 황현식, 이석훈, 김정란, 2003, WIN SAS V8, 교우사, 414pp.
- 17) 통계교육원, 2005, SAS를 이용한 자료분석, 328 pp.
- 18) 박승윤, 박경수, 석규진, 오현주, 이영식, 김전풍, 1999, 경기만 수질의 시공간적 변동과 부영양화, 국립수산과학원연구보고, 56, 189-204.
- 19) 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, 40(17), 1201-1209.
- 20) 문창호, 박철, 이승용, 1993, 아산만의 영양염 및 입자성 유기물, 한국수산학회지, 26(2), 173-181.
- 21) 양재삼, 김기현, 김영태, 2003, 곰소만 조간대 해수 내 질소 성분의 시공간적 분포, 한국해양학회지, 8(3), 251-261.
- 22) 김종구, 김양수, 2002, 새만금 사업지구의 연안해역에서 부영양화관리를 위한 모델의 적용, 한국수산학회지, 35(4), 348-355.
- 23) 여환구, 강현, 1998, 인천연안의 수질 및 식물플랑크톤 군집의 변화, 한국환경학회지, 7(3), 321-326.
- 24) 최종덕, 김정균, 2002, 진해만 남서부 해역의 해수와 저질의 세균학적 및 이화학적 특징, 한국수산학회지, 35(6), 621-626.
- 25) Redfield, A. C., 1958, The biological control of chemical factors in the environment, Amer. Sci., 46, 205-221.