

## 군산연안 수질환경의 특성과 장기변동

박승윤\* · 최옥인\*\* · 권정노\*\* · 전경임\*\* · 조영조\*\* · 김형철\*\* · 김평중\*\*\* · 박종수\*\*\*

\*, \*\*\* 국립수산과학원 서해수산연구소, \*\* 국립수산과학원

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

Soung-Yun Park\* · Ok-In Choi\*\* · Jung-No Kwon\*\* · Kyeong-Am Jeon\*\* · Jo-Yeong Jo\*\* · Hyung-Chul Kim\*\*  
· Pyoung-Joong Kim\*\*\* · 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

**요 약 :** 1972년부터 2006년까지 30년 동안 군산연안 수질환경의 특성과 장기변동 경향을 조사하였다. 6개 정점에서 수층(표층과 저층)별 · 계절별로 년 4회 수온, 염분, 부유물질, 화학적산소요구량, 용존산소, 영양염류에 대해 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에는 화학적산소요구량 및 인산인을 제외한 모든 조사항목에서 표 · 저층 간의 차이가 컸었다. 공간적 분포특성은 수온과 용존산소 및 부유물질은 정점 간 차이가 없었으나, 그 외 조사항목에서는 정점 간 차이가 컸으며 주성분 분석결과 금강 하구역인 정점 1과 중간해역인 정점 2-4 및 비교적 외해측인 정점 5-6의 세 그룹으로 구분되었다. 계절별로는 화학적산소요구량과 부유물질을 제외한 조사 항목에서는 유의성이 입증되었고, 정점별로 차이가 있어 내측은 계절에 따른 변화가 큰 상태이었고 외해측으로 갈수록 변화폭이 줄어드는 경향이였다. 24년 동안 수질의 장기 변동은 표층 네 그룹, 저층 다섯 그룹으로 구분되어 항목에 따라 부분적으로 차이가 있었으나 전반적으로 염분, 수소이온농도 및 용존산소는 점차 증가하는 경향이었고 화학적산소요구량은 불규칙한 변곡선 형태이며, 영양염류는 증가하는 경향으로 근래에 약간 안정화되었다가 2006년에 다시 약간 증가하는 특징을 보여 경인연안, 아산연안 및 천수만과 마찬가지로 육수 유입의 원인에 기인한 것으로 사료된다.

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

**Abstract :** Long-term trends and distribution patterns of water quality were investigated in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea, Korea from 1972 to 2006. Water samples were collected at 6 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 of temperature, DO and SS were not clear among stations but the seasonal variations were distinct except COD and SS. The trend analysis by principal component analysis(PCA) during 24 years revealed the significant variations in water quality in the study area. Spatial water qualities were clearly classified into 3 clusters by PCA: station cluster 1, 2~4, and 5~6. Annual water qualities were clearly classified into 4 surface water clusters and 5 bottom water clusters by PCA. By this multi-variate analysis. The annual trends were summarized as follows: Salinity, pH and DO tended to increase since late 1970's, COD to increase since 1987, and SS to decrease and nutrients to increase in Gunsan coastal waters due to the input of fresh water from land same as in Kyoungin coastal area, Asan coastal area and Choensoo bay.

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

### 1. 서 론

군산연안은 한반도 서해 중부해역에 위치하여 국내 4대 강의 하나인 금강수계의 영향을 직접적으로 받고 있으며, 금강하구

의 간석지는 상당한 부분이 간척사업으로 농경지화되었다. 즉 1906년 발행된 해도에서는 무의인도, 내초도, 가래도, 입이도 등의 여러 섬이 나타나 있으며 이들 섬은 1919년 일본인에 의한 미육간척지와 1960년대에 그 바깥쪽에 다시 조성된 일련의 간척지로 인하여 모두 육지로 연결되었다. 그리하여 이들 섬에 위치한 과거의 어촌은 모두 농촌으로 전환되었고 현재 장항이 있는 곳도 원래는 간척지였다. 금강하구를 중심으로 간척지가 마

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

치 삼각주와 유사한 형태로 발달되었고 금강에서 공급되는 미립물질은 연안 해류를 따라 다른 곳으로 운반된다고 믿어진다(군, 1974). 또한 군산연안 및 인근해역은 어류들이 계절에 따라 이동하는 서해의 중심지에 위치하고 있고, 크고 작은 섬들이 자리하고 있으며 해안선의 굴곡이 심하고 수심이 얕아서 전해의 어장이 형성된 곳이었으나(김, 2004), 1988년 농업용수와 공업용수의 안정적 확보를 목적으로 전라북도 옥구군 성산면 성덕리와 충청남도 서천군 마서면 도산리를 연결하는 총 1,841m 길이의 금강하구둑이 건설되었고, 1994년 8월 하구언 갑문이 반영구적으로 폐쇄됨에 따라 하구해역의 환경변화가 크게 나타나(최 등, 1995) 금강하구둑 폐쇄이전에는 담수 방류량에 비해 조석의 영향이 우세한 완전혼합형 하구이었으며(정과 방, 1984), 갑문 폐쇄 후에는 하구해역과 금강상류가 완전 차단되는 부분혼합형 또는 염분 쇠퇴형으로 물리 특성이 변화하였다(최 등, 1995). 또한 군장국가공단 조성사업, 군산해상도시 건설 등의 대규모 방조제 건설과 매립사업 및 군산 내·외항 수로 준설사업 등 실시되고 있어 해양환경의 변화가 예상되는 해역이다. 이와 같은 군산연안을 대상으로 그동안, 금강하구의 식물플랑크톤의 분포와 군집구조(Shim and Yang, 1982), 금강하구의 해수순환역학과 관련하여 염분경계층의 변화성(정 등, 1983)과 유체역학적 제특성(정과 방, 1984), 군산연안의 식물플랑크톤 군집(Shim and Yoo, 1985), 금강하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구로 질소계 화합물의 순환에 관한 전반적 고찰(김과 기, 1987)과 Chlorophyll-a 분포결정 요인에 관하여(기와 김, 1987), 금강하구 염분전선의 변화연구(김과 정, 1988), 금강하구역의 부유물질 연변동에 관한 연구(조와 서, 1988), 금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구(최, 1993), 금강 하구에 나타나는 황색 수색대의 환경특성(유 등, 1994), 유한요소법에 의한 금강하구역의 조석 및 금강유입의 수치실험(안과 오, 1995), 하구언 갑문폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성변화(최 등, 1995), 금강하구언 대량 방류시 황해중동부 해역의 염분분포(최 등, 1999), 금강하구의 물질수지와 관련하여 영양염의 계절적 분포(양 등, 1999), 하구언 수문작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화와 관련하여 염분구조와 하구유형(이 등, 1999) 및 저염수의 조석동조(이 등, 2001), 장기관측자료에 의한 금강하구둑 수문조작에 따른 수질변화 평가(권 등, 2001), 금강 하구 연안역의 해황과 관련한 영양염 전선(최 등, 2002), 춘계 금강 하구에서 혼합영양 섬모류인 *Myrionecta rubra*(=*Mesodinium rubrum*) 개체군의 단주기 변동(이 등, 2005), 금강하구에서 인공 구조물에 의한 수심변화(이와 엄, 2007)가 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 단기간 조사된 결과로 장기적 조사 연구는 미흡한 실정으로 본 연구는 군산연안에 대한 어장환경오염조사 및 국가해양환경측정망의 일환으로

1972년과 1977년 그리고 1983년부터 2006년까지 30년간 총 120회에 걸쳐 계절별(2, 5, 8, 11월)로 실시한 일반 해양환경성분에 대하여 조사한 결과로서 군산연안에 대한 시공간적인 환경변동 특성을 파악함으로써 군산연안을 효율적으로 이용할 수 있는 해양환경관리 및 보전정책수립의 환경기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

연구대상 해역인 금강하구에서 1972년부터 1977년까지와 1983년부터 2006년까지 30년 동안 Fig. 1에서와 같이 6개 정점에 대해 계절별로 년 4회(2, 5, 8, 11월) 조사하였다. 그 중에서 정점 1은 1974년 5월과 11월, 1995년과 1996년의 2.5년 동안, 정점 2는 1974년 5월과 11월, 정점3은 1972년부터 1974년까지 3년 동안, 정점 4는 1974년 5월과 11월, 1983년과 1984년의 2.5년 동안, 정점 5와 정점 6은 1972년부터 1974년까지, 1983년과 1984년의 총 5년 동안 조사가 진행되지 못하였다. 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, 수소가 온농도(pH)는 pH meter로, 용존산소량(DO)은 150 ml용 용존산소병에 시료를 채수하여 Winkler개량법인 윙클러아지드화변법에 의하였고(국립수산진흥원, 1985), 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 실험실에서 측정하였다. 부유물질은 표층에서만 조사가 이루어졌으며 현장에서 시료를 전처리하여 실험실에서 해양환경공정시험법(해양수산부, 1998)으로 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(해양수산부, 1998)으로 측정하였으며, 용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소를 합한 값으로 나타내었다.

수질 항목에 대해 표층수와 저층수를 조사하여 표·저층간의 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 화학적산소요구량 및 인산인을 제외한 전조사항목에서 표·저층간의 차이가 컸으며( $p \leq 0.0001$ ), 이에 본 자료 분석에는 표층과 저층을 분리하여 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 연구에서는 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(6등급)과 조사월(4그룹)이다. 또한 전반적인 시공간적 변동 특성을 구명하기 위해 정점별 월별수질결과에 대한 주성분분석과 군집분석을 병행하여 사용하였다.

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).

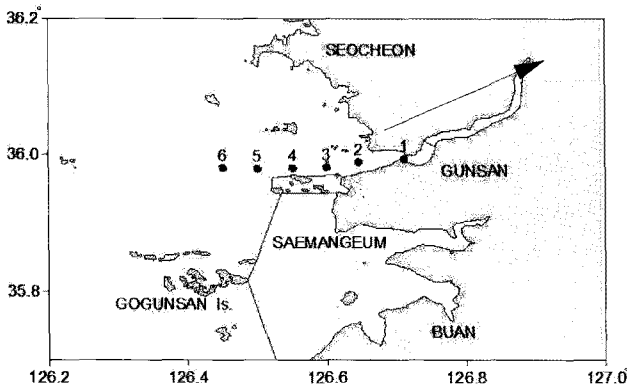


Fig. 1. A map showing the sampling sites in the study area.

### 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 표층과 저층 공히 수온과 용존산소 및 부유물질은 정점 간 차이가 없었으나, 그 외 조사항목에서는  $p \leq 0.0004$  수준에서 정점 간 큰 차이가 있었다. 표층과 저층의 수온, 염분, pH, 용존산소, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 부유물질 등의 정점별 및 계절별 평균 자료를 이용하여 주성분분석(PCA)을 실시한 결과 표층의 경우 주성분 I에서는 시공간적 변화를 66.54% 설명할 수 있었으며 이 중 질산질소 > 용존무기질소 > 염분 > 아질산질소 > 화학적산소요구량 > 수소이온농도 > 인산인 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 24.18%를 설명할 수 있었으며, 이 중 수온 > 용존산소 순으로 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II에 1% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 2). 주성분 I은 질산질소, 용존무기질소, 아질산질소, 화학적산소요구량, 인산인, 부유물질과 양의 상관성, 염분, 수소이온농도와는 음의 상관성을 나타내었다( $p \leq 0.0003$ ). 주성분 II에서는 용존산소와 양의 상관성( $p < 0.0001$ ), 수온과는 음의 상관성( $p < 0.0001$ )을 나타내었다(Fig. 2). 저층의 경우 주성분 I에서는 시공간적 변화를 66.54% 설명할 수 있었으며 이 중 표층은 용존무기질소 > 질산질소 > 아질산질소 > 화학적산소요구량 > 염분 > 수소이온농

도 > 암모니아질소 > 인산인 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 24.46%를 설명할 수 있었으며, 이 중 수온 > 용존산소 순으로 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II에 1% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 2). 주성분 I과 II에 대한 항목별 상관성을 표층과 같은 경향이었다(Fig. 2). 공간적인 분포특성은 표층과 저층 공히 금강의 영향을 가장 많이 받는 정점 1과 중간위치인 정점 2~4 및 비교적 외해측인 정점 5, 6의 세 그룹으로 구분되어진다. 내측정점인 정점1에서는 염분과 수소이온농도 및 용존산소는 낮았고 화학적산소요구량, 질소계 영양염류, 인산인 및 표층의 부유물질이 높은 특징을 보였으며 외해측으로 갈수록 반대되는 경향을 나타내었다. 계절별로 살펴보면 화학적산소요구량과 부유물질은 유의성이 없었으며 그 외 조사 항목에서는 유의성이 입증되었다( $p < 0.05$ ). 계절적 변화는 정점별로 차이가 있어 내측의 경우 계절에 따른 변화가 큰 상태였고 외해측으로 갈수록 변화폭이 줄어드는 경향을 나타내었다. 본 연안을 항목별로 살펴보면 수온은 우리나라의 4계절 특성상 4그룹으로 구분되었고, 염분은 여름(8월)과 그 외 계절로 나누어지며, 수소이온농도는 표층은 봄(5월)과 여름(8월) 및 그 외 계절의 3그룹, 저층은 봄(5월)와 그 외 계절로 구분되었다. 용존산소는 4그룹으로 구분되어진 반면, 화학적산소요구량과 부유물질은 계절에 따른 변화가 없었다. 영양염류의 계절적 순환은 생산, 분해 등의 생물학적 과정과 성층, 혼합 등의 수문학과 인입-출입의 바란스, 담수 유입 등 영양염류의 공급원에 의존한다(Wafar et al., 1983; Gentilhomme and Lizon, 1998; Fock, 2003). 본 연안의 영양염류 중 인산인은 표층에서는 여름~가을과 겨울~봄으로, 저층에서는 4그룹으로 구분되며, 암모니아질소는 겨울과 그 외 계절, 아질산질소는 여름~가을과 겨울~봄으로 구분되어지며, 질산질소는 표층에서는 겨울과 봄, 여름 및 가을의 3그룹, 저층에서는 봄과 그 외 계절로 구분되고, 용존무기질소는 표층에서는 여름, 가을과 겨울, 여름의 3그룹, 저층에서는 겨울, 봄, 여름과 가을의 3그룹으로 구분되어진다. 즉 내측은 금강의 영향을 많이 받는 곳으로 육상에서 유입되는 각종 오염원의 영향으로 계절별 분산정도가 심하고 외해측으로 갈수록 외해수와 자정작용 등으로 안정화되어가는 경향을 보이고 있었다.

#### 3.2 수질 항목별 변동 특성

##### 1) 수온

수온은 한국의 다른 연안역과 마찬가지로 전형적인 온대 수역의 변화 양상을 보였고, 각 정점 간에는 30년 동안 평균 표층은  $13.93 \pm 0.81^\circ\text{C}$ (정점 2)~ $14.25 \pm 0.85^\circ\text{C}$ (정점 1)이었고, 저층은  $13.49 \pm 0.80^\circ\text{C}$ (정점 6)~ $14.05 \pm 0.85^\circ\text{C}$ (정점 1)로 표·저층 공히 정점 간 유의적인 차이가 없었으며 정점 내에서의 변동계수는 59.62~63.35%로 비슷한 수준이었다(Table 3, Fig. 3). 월별로는 평균 표층은  $3.04 \pm 0.11^\circ\text{C}$ (2월)~ $26.32 \pm 0.15^\circ\text{C}$ (8월)이었고 저층은  $3.04 \pm 0.11^\circ\text{C}$ (2월)~ $25.49 \pm 0.16^\circ\text{C}$ (8월)로 표·저층 공히 유의수준 0.0001 이하에서 큰 차이를 보였다. 변동계수는 2월에는 45.71%

Table 1. ANOVA tables for spatial and temporal differences in water quality in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea from 1972 to 2006

Variable	Source	Layer	F	Pr > F	Variable	Source	Layer	F	Pr > F
Water Temperature	Station	Surface	0.02	0.9999	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Station	Surface	7.77	<.0001
		Bottom	0.06	0.9975			Bottom	4.56	0.0004
Salinity	Season	Surface	2410.98	<.0001	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Season	Surface	16.75	<.0001
		Bottom	2303.64	<.0001			Bottom	8.98	<.0001
	Station	Surface	61.70	<.0001		Station	Surface	19.03	<.0001
		Bottom	75.45	<.0001			Bottom	19.75	<.0001
pH	Season	Surface	41.90	<.0001	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	Season	Surface	6.13	0.0004
		Bottom	17.36	<.0001			Bottom	5.61	0.0009
	Station	Surface	24.92	<.0001		Station	Surface	21.55	<.0001
		Bottom	22.29	<.0001			Bottom	23.24	<.0001
DO	Season	Surface	12.97	<.0001	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Season	Surface	8.96	<.0001
		Bottom	8.20	<.0001			Bottom	7.54	<.0001
	Station	Surface	1.27	0.2737		Station	Surface	35.01	<.0001
		Bottom	1.10	0.3605			Bottom	60.69	<.0001
COD	Season	Surface	209.27	<.0001	DIN	Season	Surface	5.18	0.0015
		Bottom	271.76	<.0001			Bottom	3.03	0.0290
	Station	Surface	21.87	<.0001		Station	Surface	42.06	<.0001
		Bottom	20.30	<.0001			Bottom	58.48	<.0001
SS	Season	Surface	1.33	0.2647	DIN/DIP	Season	Surface	2.77	0.0413
		Bottom	1.31	0.2691			Bottom	2.67	0.0472
	Station	Surface	1.37	0.2336		Station	Surface	0.70	0.6230
		Bottom					Bottom	1.23	0.2943
	Season	Surface	1.31	0.2703	Season	Surface	4.24	0.0057	
		Bottom			Season	Bottom	1.68	0.1699	

Table 2. Spearman's correlation coefficient among water quality parameters and principal component scores using the spatial means of seasonal data from 1983 to 2006 in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea. The principal component scores for axes I and II in Fig. 2

Parameter \ PCA	Surface			Bottom		
	PCA I	PCA II	PCA III	PCA I	PCA II	PCA III
W.T.	0.3226 0.1242	-0.9070 <.0001	0.1165 0.5877	0.2670 0.2073	-0.9226 <.0001	0.1339 0.5327
Salinity	-0.9470 <.0001	0.2704 0.2012	-0.2278 0.2843	-0.9087 <.0001	0.1374 0.5220	-0.3087 0.1422
pH	-0.9252 <.0001	0.0530 0.8056	0.1957 0.3595	-0.9067 <.0001	-0.1387 0.5180	0.2031 0.3412
DO	-0.4887 0.0154	0.8826 <.0001	-0.0774 0.7193	-0.4297 0.0361	0.8967 <.0001	-0.1883 0.3782
COD	0.9276 <.0001	0.0709 0.7420	0.2831 0.1801	0.9157 <.0001	0.1739 0.4164	0.1548 0.4702
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.7989 <.0001	0.4105 0.0463	0.1596 0.4563	0.8467 <.0001	0.4205 0.0407	0.0039 0.9855
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0.9354 <.0001	-0.2263 0.2876	0.0148 0.9453	0.9285 <.0001	-0.1675 0.4341	-0.0100 0.9629
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.9826 <.0001	-0.0600 0.7806	0.0244 0.9101	0.9389 <.0001	0.2205 0.3005	-0.1448 0.4996
DIN	0.9728 <.0001	0.0692 0.7482	0.0387 0.8575	0.9461 <.0001	0.2539 0.2312	-0.0904 0.6743
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0.8066 <.0001	-0.4305 0.0357	-0.2792 0.1865	0.7678 <.0001	-0.4447 0.0294	-0.2355 0.2681
SS	0.6774 0.0003	0.4148 0.0439	-0.2304 0.2787			
% of variance explained	66.54	24.18	4.00	66.40	24.46	4.75

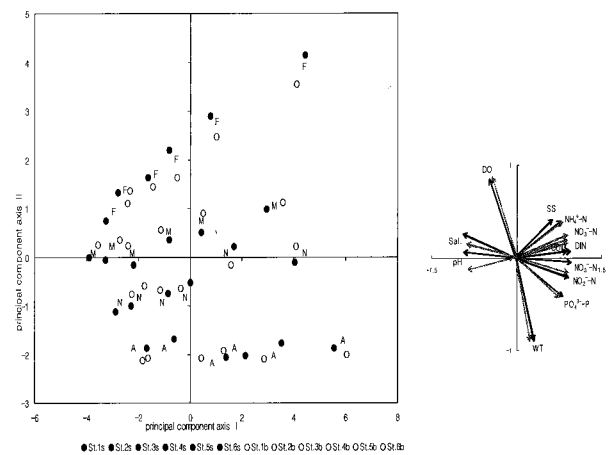


Fig. 2. Principal component ordination using the seasonal water quality of stations from 1983 to 2006 in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea. The correlations between the PCA scores and the analysed variables are expressed with vectors.

(표층)과 43.79%(저층)로 높았으나 점차 낮아져 8월에 7.22% (표층)과 7.80%(저층)로 가장 낮았다. 2월에는 정점 간의수온차가 컸으며 이와 같은 결과는 천수만 및 경기만(박 등, 1999; Park and Park, 2000; 박 등, 2006) 아산연안(박 등, 2007)과 같은 경향을 보였다(Table 4, Table 6, Fig. 4). 연도별 변동 양상을 보면 1986년에는 연평균 표층 12.14±1.88℃, 저층 11.78±1.79℃로 가장 낮았고, 1977년에는 표층 16.72±1.95℃, 저층 16.16±1.93℃로 가장 높았으며 30년 동안 대체로 1970년대에는



Table 4. Descriptive statistics of water quality parameters in February, May, August, and November at six sampling stations from 1972 to 2006 in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea

Variable	Mon.	Lay.	N	Mean ± SE	Range	CV(%)	Grouping	Variable	Mon.	Lay.	N	Mean ± SE	Range	CV(%)	Grouping	
W.T. (°C)	2	s	163	3.04± 0.11	-0.60~ 8.60	45.71	C	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/L)	2	s	137	0.020± 0.001	0.002~ 0.121	84.03	B	
		b	160	3.04± 0.11	-0.80~ 8.20	43.79	D			b	135	0.023± 0.002	0.001~ 0.225	100.47	BC	
	5	s	160	13.08± 0.30	6.82~ 23.50	28.64	B	5	s	139	0.017± 0.002	0.000~ 0.110	111.98	B		
		b	157	12.37± 0.30	4.05~ 23.10	29.86	C		b	136	0.017± 0.002	0.000~ 0.155	127.39	C		
	Salinity	8	s	163	26.32± 0.15	22.87~ 29.80	7.22	A	8	s	139	0.033± 0.002	0.000~ 0.133	77.51	A	
			b	160	25.49± 0.16	21.31~ 29.36	7.80	A		b	135	0.039± 0.005	0.000~ 0.554	149.70	A	
11		s	160	13.68± 0.18	1.56~ 16.50	16.59	B	11	s	138	0.029± 0.002	0.000~ 0.116	81.94	A		
		b	157	13.88± 0.17	5.90~ 16.36	14.96	B		b	135	0.031± 0.003	0.000~ 0.225	93.99	AB		
pH		2	s	163	26.14± 0.50	4.20~ 32.97	24.58	A	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	2	s	134	0.170± 0.018	0.000~ 1.170	122.94	A
			b	160	27.15± 0.47	4.98~ 33.48	21.75	A			b	131	0.151± 0.018	0.000~ 1.304	134.31	A
	5	s	160	24.92± 0.47	0.11~ 32.78	23.91	A	5	s	139	0.129± 0.010	0.000~ 0.532	93.59	B		
		b	157	26.38± 0.43	0.53~ 33.02	20.59	A		b	136	0.112± 0.010	0.000~ 0.604	108.42	B		
	DO (mg/L)	8	s	163	18.61± 0.66	0.05~ 30.12	45.35	B	8	s	139	0.118± 0.009	0.005~ 0.483	88.10	B	
			b	160	22.73± 0.64	0.05~ 31.22	35.52	B		b	136	0.095± 0.008	0.004~ 0.554	93.77	B	
11		s	160	25.13± 0.47	4.13~ 32.60	23.59	A	11	s	139	0.099± 0.009	0.000~ 0.720	105.06	B		
		b	157	26.92± 0.42	4.55~ 33.09	19.35	A		b	136	0.088± 0.009	0.000~ 0.655	119.88	B		
COD (mg/L)		2	s	163	7.96± 0.02	7.12~ 8.46	2.43	B	NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	2	s	137	0.015± 0.002	0.000~ 0.112	122.66	B
			b	160	7.96± 0.02	7.19~ 8.50	2.82	B			b	135	0.013± 0.001	0.000~ 0.102	125.09	B
	5	s	160	8.04± 0.02	6.58~ 8.90	3.81	A	5	s	139	0.017± 0.002	0.000~ 0.142	131.69	B		
		b	157	8.06± 0.02	6.43~ 8.92	3.38	A		b	136	0.014± 0.002	0.000~ 0.129	144.32	B		
	SS (mg/L)	8	s	163	7.84± 0.03	6.68~ 9.05	5.10	C	8	s	139	0.025± 0.002	0.000~ 0.110	87.44	A	
			b	160	7.91± 0.03	6.70~ 8.73	4.32	B		b	136	0.020± 0.002	0.000~ 0.081	92.09	A	
11		s	160	7.94± 0.02	6.90~ 8.36	3.03	B	11	s	139	0.025± 0.002	0.000~ 0.109	75.36	A		
		b	157	7.98± 0.02	6.67~ 8.32	3.01	B		b	136	0.022± 0.002	0.000~ 0.116	87.52	A		
DIN (mg/L)		2	s	163	10.19± 0.12	7.16~ 17.64	14.59	A	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	2	s	136	0.311± 0.026	0.001~ 1.730	97.16	B
			b	160	10.01± 0.10	6.87~ 14.38	13.04	A			b	133	0.284± 0.025	0.000~ 1.590	101.76	A
	5	s	154	9.04± 0.09	6.68~ 11.80	11.93	B	5	s	136	0.276± 0.024	0.003~ 1.493	101.82	B		
		b	151	9.01± 0.09	6.01~ 11.59	12.47	B		b	133	0.197± 0.020	0.000~ 1.067	117.00	B		
	DIN/DIP	8	s	163	6.69± 0.11	3.00~ 10.62	21.07	D	8	s	136	0.419± 0.031	0.005~ 1.599	85.58	A	
			b	160	6.39± 0.10	3.26~ 9.16	19.86	D		b	133	0.275± 0.025	0.008~ 1.604	105.75	A	
11		s	160	8.12± 0.09	5.16~ 11.21	14.62	C	11	s	136	0.338± 0.026	0.004~ 1.519	89.16	AB		
		b	157	7.99± 0.08	5.22~ 10.60	12.58	C		b	133	0.272± 0.021	0.003~ 1.361	90.92	A		
DIN/DIP		2	s	160	1.66± 0.07	0.08~ 5.28	55.20	A	2	s	131	0.503± 0.042	0.028~ 2.543	96.10	AB	
			b	157	1.67± 0.08	0.05~ 7.89	61.59	A		b	130	0.452± 0.040	0.006~ 2.366	102.04	A	
	5	s	160	1.62± 0.07	0.31~ 5.85	52.65	A	5	s	135	0.424± 0.034	0.023~ 2.026	91.85	B		
		b	157	1.62± 0.06	0.16~ 4.68	48.39	A		b	133	0.324± 0.029	0.003~ 1.600	103.41	B		
	DIN/DIP	8	s	163	1.73± 0.06	0.24~ 4.96	45.31	A	8	s	135	0.566± 0.037	0.053~ 1.832	76.08	A	
			b	160	1.69± 0.06	0.15~ 4.80	47.29	A		b	133	0.390± 0.030	0.034~ 2.072	89.00	AB	
11		s	160	1.55± 0.06	0.16~ 3.91	49.39	A	11	s	135	0.465± 0.032	0.036~ 1.686	79.85	AB		
		b	157	1.51± 0.06	0.25~ 4.31	49.07	A		b	133	0.374± 0.028	0.025~ 1.536	85.99	AB		
SS (mg/L)		2	s	163	86.32± 9.33	1.71~ 831.60	137.99	A	2	s	106	79.1± 9.7	5.4~ 528.7	126.75	B	
			b	160	86.32± 9.33	1.71~ 831.60	137.99	A		b	105	54.6± 6.0	2.4~ 457.1	112.83	A	
	5	s	159	64.24± 7.43	2.40~ 622.60	145.74	A	5	s	117	150.5± 29.0	1.4~ 2738.0	208.50	A		
b		160	64.24± 7.43	2.40~ 622.60	145.74	A	b		115	146.9± 56.9	0.2~ 6327.0	414.93	A			
SS (mg/L)	8	s	163	72.24± 7.64	3.60~ 654.40	135.01	A	8	s	117	66.5± 11.2	5.2~ 858.0	182.43	B		
		b	160	72.24± 7.64	3.60~ 654.40	135.01	A		b	115	84.0± 35.5	2.7~ 3948.0	453.90	A		
	11	s	160	70.10± 8.21	1.30~ 517.40	148.22	A	11	s	109	83.1± 16.5	3.8~ 1091.5	207.23	B		
b		160	70.10± 8.21	1.30~ 517.40	148.22	A	b		107	47.1± 8.0	1.0~ 610.0	175.51	A			

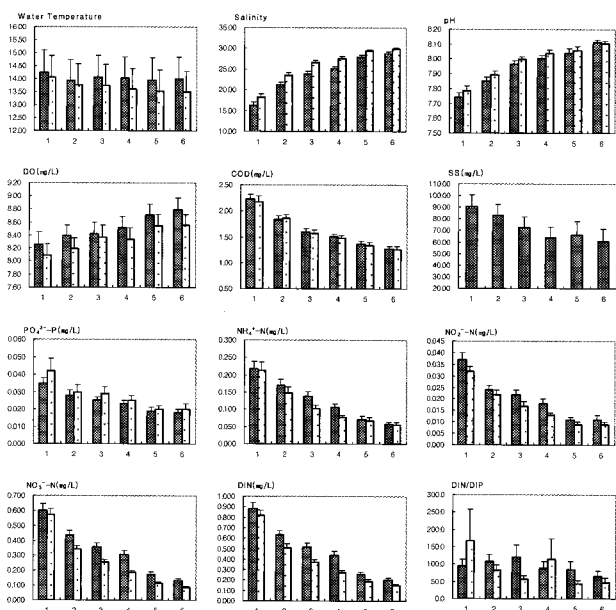


Fig. 3. Spatial tendency of water quality in February, May, August and November from 1972 to 2006 in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea.

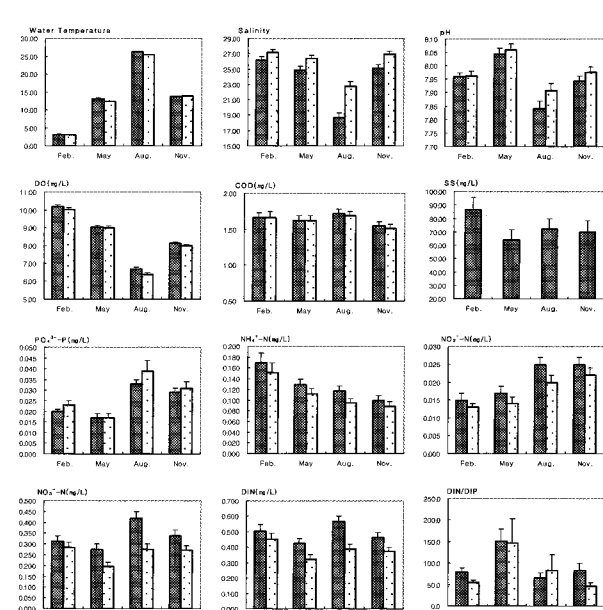


Fig. 4. Seasonal tendency of water quality in six stations from 1972 to 2006 in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea.

Table 5. Total descriptive statistics of water quality parameters from 1972 to 2006 in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea(S; Surface, B; Bottom)

Variable	Layer	N	Mean±SE	Min.	Max.	CV(%)
W.T(°C)	S	646	14.03±0.34	-0.60	29.8	61.74
	B	634	13.70±0.33	-0.80	29.36	61.14
Salinity	S	646	23.69±0.29	0.05	32.97	31.19
	B	634	25.78±0.26	0.05	33.48	25.23
pH	S	646	7.95±0.01	6.58	9.05	3.82
	B	634	7.98±0.01	6.43	8.92	3.49
DO(mg/L)	S	640	8.51±0.07	3.00	17.64	21.57
	B	628	8.34±0.07	3.26	14.38	21.49
COD(mg/L)	S	643	1.64±0.03	0.08	5.85	50.75
	B	631	1.62±0.03	0.05	7.89	52.11
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/L)	S	551	0.129±0.006	0.000	1.170	110.72
	B	539	0.111±0.006	0.000	1.304	123.91
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)	S	554	0.021±0.001	0.000	0.142	101.87
	B	543	0.017±0.001	0.000	0.129	109.59
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/L)	S	544	0.336±0.014	0.001	1.730	93.96
	B	532	0.257±0.012	0.000	1.604	103.96
DIN(mg/L)	S	536	0.489±0.018	0.023	2.543	86.33
	B	529	0.385±0.016	0.003	2.366	96.61
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P(mg/L)	S	553	0.025±0.001	0.000	0.133	90.81
	B	541	0.028±0.002	0.000	0.554	134.32
SS(mg/L)	S	645	73.30±4.10	1.30	831.60	142.07
DIN/DIP	S	449	95.40±9.43	1.44	2738.00	209.43
	B	442	84.44±17.66	0.21	6327.00	439.55

높았다가 1980년대에서 1990년대 중반까지는 불규칙적이거나 상대적으로 낮은 상태이었으며 1990년대 이후에는 약간 높아지는 경향을 보였다. 변동계수는 1984년에 표층 89.87%, 저층 90.27%로 높은 편이었으나, 그 외는 대체로 비슷한 분산량을 나타냈으며 전반적으로 금강 하구둑 폐쇄(1994년)이후가 이전에 비해 변동폭이 감소하였다. 이는 금강 하구둑 폐쇄 이전에는 조석의 영향을 우세한 완전혼합형 하구에 속하였고 갑문 폐쇄 후에는 하구해역과 금강 상류가 완전 차단되는 부분혼합형 또는 염분쇄기형의 물리 특성에 기인 한다(최 등, 2002; 정과 방, 1984)(Table 5, Fig. 5).

2) 염분

염분은 Table 2, 3 및 Fig. 2와 같이 정점 간에는 평균 표층은 16.30±0.72(정점 1)~28.80.96±0.40(정점 6)이었고 저층은 18.27±0.73(정점 1)~29.95±0.29(정점 6)으로 하구역의 상류에서 금강 및 육수의 영향으로 낮았으나 연안역으로 갈수록 높아져 표·저층 공히 정점 간 차이가 컸으며(p<0.0001), 특히 정점 5와 정점6에서는 인근연안인 곰소만, 새만금, 인천연안과 비슷한 염분을 나타내었다(Table 3, 6, Fig. 3). 정점 내에서의 변동계수는 상류측인 정점 1에서는 표층 46.23%, 저층 41.29%로 분산량이 높았고 하류측인 정점 6에서는 표층 13.79%, 저층 9.56%로 비교적 낮았으나 아산연안 4.06~8.99%, 천수만 4.40~5.58%, 인천연안의 6.35~8.65%보다 높은 분산량을 나타내어 정점 1~4에서는 금강의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 월별로는 평균 표층 18.61±0.66(8월)~26.14±0.50(2월), 저층

22.73±0.64(8월)~27.15±0.47(2월)로 표·저층 공히 계절별 큰 차이를 보였으며(p<0.0001), 변동계수는 여름철(8월)이 표층 45.35%, 저층 35.52% 높았고 그 외 조사월은 19.35~24.58% 범위이었는데 이는 8월이 다른 조사월에 비해 강수유입에 따른 영향을 더 많이 받기 때문이다(조와 서, 1988)(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 Fig. 5와 같이 전반적으로 년 표층 0.1043, 저층 0.1731 정도 높아지고 변곡선 형태를 보이고 있다. 1972년에는 8월에 표층 5.32±1.01과 저층 5.50±1.06의 저염분으로 인하여 평균 표층 14.60±1.98과 저층 18.14±2.39로 가장 낮았고 그 후 8월의 염분에 따라 증감을 반복하였으며 1993년 역시 하절기의 저염분의 영향으로 평균 18.07±2.01로 낮은 상태이었다가 1994년 이후 대체로 안정화 되면서 점차 높아져 2005년에는 27.63±1.06이었다.

3) 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 정점 간 평균이 표층 7.74±0.03(정점 1)~8.11±0.02(정점 6), 저층 7.79±0.03(정점 1)~8.10±0.02(정점 6)로 표·저층 공히 정점 간 차이가 컸으며(p<0.0001) 상류에서는 육수의 유입으로 낮았으나 하류로 갈수록 염분의 증가와 함께 높아지는 경향(김과 정, 1988)으로 천수만(박 등, 2006), 아산연안(박 등, 2007)과 다른 상태이었다. 변동계수는 표층 2.60~4.18%, 저층 2.16~3.91%로 인천연안(박 등, 1999; Park and Park, 2000), 아산연안 및 천수만에 비해 변동폭은 약간 큰 상태이나, 인근연안과 마찬가지로 전 수질항목 중 가장 낮았다(Table 3, 6, Fig. 3). 계절별로는 표층 7.84±0.03(8월)~8.04±0.02(5월), 저층 7.91±0.03(8월)~8.06±0.02(5월)로 큰 유의적인 차이를 보였다(p<0.0001). 표층의 경우 8월은 상대적으로 낮았고, 5월을 높았으며 2월과 11월은 비슷한 상태이었으며 저층의 경우 5월은 낮았고 그 외 조사월은 유사한 상태이었다. 변동계수는 표층 2.43(2월)~5.10%(8월), 저층 2.82(2월)~4.32%(8월)로 다른 항목에 비해 낮았다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상을 보면 전반적으로 년 표층 0.0124, 저층 0.0106 정도 높아지고 변곡선 형태를 보이고 있다. 1974년 상류측인 정점 1, 2 및 4에서 2월과 8월만 조사되어 표층 7.57±0.08, 저층 7.66±0.08로 가장 낮았으며 그 후 증감을 반복하면서 전반적으로 증가 추세이었으나 1994년에는 표층 7.88±0.04, 저층 7.92±0.04로 낮았으며 그 후 점차적으로 증가 추세를 나타내었다. 변동계수는 금강하구둑 폐쇄 이전에 비해 이후가 연간 변동폭이 크고 불규칙한 상태를 나타내어 하구둑 폐쇄로 육수에 의한 영향 강도가 높은 것으로 사료된다(Table 5, Fig. 5).

4) 용존산소(DO)

용존산소는 정점별 평균이 표층 8.26±0.20 mg/L(정점 1)~8.80±0.17 mg/L(정점 6), 표층 8.09±0.18 mg/L(정점 1)~8.55±0.17 mg/L(정점 5, 6)로 정점 간의 차이는 거의 없었으며 변동계수는 표층 19.47(정점 6)~24.63%(정점 1), 저층 19.57(정점 6)~22.67%(정점 3)으로 아산연안 21.90~24.17%(박 등, 2007), 천수만 19.50~20.04%(박 등, 2006), 인천연안 19.79~

23.77%<sup>21</sup>(박 등, 1999; Park and Park, 2000)에 비해 약간 낮거나 비슷한 분산량을 나타내었다(Table 3, Fig. 3). 계절별로는 표층 6.69±0.11 mg/L(8월)~10.19±0.12 mg/L(2월), 저층 6.39±0.10 mg/L(8월)~10.01±0.10 mg/L(2월)로 표·저층 공히 큰 차이를 보였으며(p<0.0001), 천수만, 아산연안과 비슷한 상태로 일반적인 특징인 수온이 낮은 겨울철에 높은 값을 보이고 하절기에는 낮은 값을 나타내었다(Table 4, 6, Fig. 4). 변동계수는 8월에는 20% 정도이고 그 외 조사월은 12~15% 정도로 계절별 변동폭이 정점별 변동폭보다 낮았다. 연도별 변동양상은 pH와 마찬가지로 표층은 연 0.0498, 저층은 0.0432 높아지는 특징으로 변곡선 형태를 나타내어 1977년에는 표층 0.85±0.44, 저층 7.05±0.41 mg/L로 낮았다가 그 후 1991년에는 표층 9.41±0.37, 저층 9.38±0.37 mg/L로 높았다가 점차 낮아지면서 불규칙적인 변동을 나타내었으며 그 후 2001년 표층 7.77±0.25, 저층 7.86±0.25 mg/L로 낮아진 후 높아지는 있는 추세로 2006년에는 표층 9.80±0.21, 저층 9.38±0.22 mg/L를 유지하고 있었다. 변동계수는 1972년을 기점으로 점차 증가하여 1977년에는 24.39(저층) ~27.29%(표층) 수준이었으나 1986년에는 5.52(저층)~5.96%(표층)으로 가장 낮았으며 그 후 점차 증가하여 2000년에는 39.14(표층)~43.06%(저층)로 변동폭이 가장 크게 나타났다. 특히 금강 하구둑 폐쇄 후 2000년까지 변동폭이 증가하다가 감소하여 10~23% 정도 수준으로 2000년대에는 천수만(박 등, 2006)과 아산연안(박 등, 2007)에 비해 낮은 결과를 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

#### 5) 화학적 산소요구량(COD)

화학적 산소요구량은 정점별 평균이 표층 1.27±0.06 mg/L(정점 6) ~ 2.22±0.10 mg/L(정점 1), 저층 1.26±0.06 mg/L(정점 6) ~ 2.18±0.11 mg/L(정점 1)로 표·저층 간 차이는 없었으나 정점 간에는 유의적인 차이가 있었으며(p<0.0001) 금강 및 육상의 오염 부하량이 높은 정점 1에서 가장 높았고 외해측으로 갈수록 낮아져 정점 1, 정점 2, 정점 3, 정점4~5 및 정점 6의 5그룹으로 나뉘어 지는 특징을 나타내었다. 변동계수는 표층 43.41(정점 4)~47.30%(정점 5), 저층 42.68(정점 2)~53.19%(정점 1)로 천수만(박 등, 2006)과 아산연안(박 등, 2007)에 비해 7~10%정도 낮았고, 인천연안(박 등, 1999; Park and park, 2000)과 비슷한 변동폭을 나타내었다(Table 3, Fig. 3). 계절별로는 표층 1.55±0.06 mg/L(11월)~1.73±0.06 mg/L(8월), 저층 1.51±0.06 mg/L(11월)~1.69±0.06 mg/L(8월)로 표·저층 공히 계절별 차이가 없었으며, 변동계수는 표층 45.31(8월)~55.20%(2월), 저층 47.29(8월)~61.59%(2월)로 천수만과 아산연안에 비해 약간 적은 상태였다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동양상은 변곡선 형태를 보여 주었는데, 1972~1974년에는 표층 2.17±0.19 mg/L~2.37±0.16 mg/L, 저층 2.04±0.15 mg/L~2.31±0.35 mg/L로 높았으나 그 이후 낮아져 1986과 1987년에는 조사기간 동안 가장 낮은 상태였고 그 후 점차 증가하여 표층의 경우 1995년 2.21±0.18 mg/L, 저층의 경우 2002년에 2.48±0.27 mg/L이었으나 1995년 이후 대체로 평형상태를 유지

하고 있다. 변동계수는 2000까지는 증감을 반복하면서 대체로 증가추세이었으나 그 후 낮아지는 경향을 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

#### 6) 부유물질

부유물질은 정점별 평균이 60.89±10.66 mg/L(정점 6)~90.57±10.09 mg/L(정점 1)로 외해측으로 갈수록 부유물질은 낮았으나 정점 간 유의적인 차이는 없었으며(p=0.2336), 변동계수는 116.81(정점 1)~175.07%(정점 6)로 천수만(박 등, 2006)과 마찬가지로 외측이 내측에 비해 변동 폭이 컸다. 이와 같이 일반적으로 부유물질량이 강 하구로부터 바다 쪽으로 감소하는 현상은 일차적으로 혼탁한 하천수가 외양의 해수와 혼합되는 단순 확산 작용에 의한 희석작용으로 해석될 수 있다(최, 1993)(Table 3, Fig. 3). 계절별로는 봄철인 5월이 64.24±7.43 mg/L로 낮았고 겨울철인 2월이 86.32±9.33 mg/L로 높았으나 계절별로 유의적인 차이는 없었으며(p=0.2703), 이러한 현상은 겨울에 북서계절풍의 영향으로 높고 여름에 낮은 서해안의 일반적인 경향과 다르며 이는 해양학적인 영향보다는 하구역으로 하천수 유입시 동반되는 토사 등(김과 정, 1988) 육상의 영향을 많이 받으므로 나타나는 현상으로 사료된다. 변동계수는 135.01(8월)~148.22%(11월)로 높은 변동량을 나타내었다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동양상은 전반적으로 연 3.21 mg/L 정도 낮아지는 경향이였으며, 그중 특히 1977년에 평균 502.60±24.92 mg/L로 조사기간 중 월등히 높았었다. 그 후 조사가 재개된 1983년부터 안정화되어 평균 39.13±4.75 mg/L(1987년)~73.17±4.83 mg/L(1985)이었으나, 금강 하구둑 공사중인 1991년부터 1994년 2월까지 84.12±15.13 mg/L~109.00±10.74 mg/L 상대적으로 높았었으며 그 후 대체로 안정화 되어 증감을 반복하다가 2006년에는 연평균 12.79±1.47 mg/L을 유지하고 있었다. 이와 같은 부유물질량의 감소경향은 조류유속이 감소하여 해저퇴적물의 저층 재부유 현상이 감소하였고, 수피의 수직적 성층이 형성되어 저층 혼탁수의 상부 확산이 둔화되었기 때문으로 해석된다(최 등, 1995). 변동계수 역시 1975년 88.01%로 비교적 변동폭이 컸었으나 그 후 안정화되었다가 1992년 이후 증가추세로 증감을 반복하여 2006년에는 56.36%을 나타내고 있었다(Table 5, Fig. 5).

#### 7) 인산인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)

인산인은 정점별 평균이 표층 0.018±0.002 mg/L(정점 6)~0.035±0.003 mg/L(정점 1), 저층 0.020±0.002 mg/L(정점 5)~0.042±0.007 mg/L(정점 1)로 표·저층 간 차이는 없었으나 정점 간에는 유의적인 차이가 있었으며(표층 p<0.0001, 저층 p=0.0004), 표층의 경우는 정점1, 정점 2와 3 및 정점 4~6의 3 그룹으로 구분되어지고, 저층은 좀 더 다양하여 정점 1, 정점 2, 정점 3~5 및 정점 6의 4그룹으로 구분되어지는 특징을 보였다. 진해만의 0.045mg/L에 비해 60% 수준이었으나 경기만 및 아산만과 유사하였고, 천수만과 곰소만 및 새만금 연안에 비해 다소 높은 상태이었다(Table 3, Fig. 3). 변동계수는 표층의 경우



79.57(정점 6)~94.15%(정점 4) 정점 간 대체로 유사하였으며, 저층은 82.48(정점 5)~151.33%(정점 1)로 내만측이 외측에 비해 다소 변동 폭이 컸었고, 표층에 비해서도 변동 폭이 큰 상태이었다. 계절별로는 표층 0.017±0.002 mg/L(5월)~0.033±0.002 mg/L(8월), 저층 0.017±0.002 mg/L(5월)~0.039±0.002 mg/L(8월)로 대체로 겨울철과 봄철에 낮았고 여름철과 가을철에 높아 유의적인 차이(p<0.001)가 있었는데, 이것은 아산연안(박 등, 2007) 및 천수만(박 등, 2006)과 같은 경향이었다. 변동계수는 표층 77.51(8월)~111.98%(5월), 저층 93.99(11월)~149.70%(8월)로 서해 연안인 경기만(박 등, 1999; Park and park, 2000), 아산연안 및 천수만에 비해 변동폭이 약간 큰 수준이었다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 1983년부터 2000년까지는 일부 연도를 제외하고 비슷한 수준이었으나 그 후 증가하는 경향으로 대체로 표층은 연 0.0012 mg/L 저층은 연 0.0018 mg/L씩 증가하는 추세를 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

8) 암모니아질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)

암모니아질소는 정점별 평균이 표층 0.058±0.006 mg/L(정점 6)~0.218±0.021 mg/L(정점 1), 저층 0.056±0.007 mg/L(정점 6)~0.214±0.022 mg/L(정점 1)로 표·저층간 유의적인 차이가 있었으며(p<0.0001), 대체로 내측이 외측 측에 비해 4배 정도 높은 상태로 표·저층 공히 유의적 차이가 있어(p<0.0001) 표층의 경우 정점 1, 정점 2, 정점 3, 정점 4 및 정점 5, 6의 5그룹으로 구분되어지고 저층은 정점 1, 정점 2, 정점3 및 정점 4~6의 4그룹으로 나뉘어 진다. 인천연안(박 등, 1999; Park and park, 2000) 측정치에 비해 50% 수준으로 낮았으며 진해만(최와 김, 2002)과 곰소만(양 등, 2003)의 4배 수준 및 아산만(박 등, 2007)과 천수만(박 등, 2006)의 2배 수준 이었고 새만금 연안(김과 김, 2002)과 유사한 결과를 나타내었다(Table 3, Fig. 3). 변동계수는 표층 90.66(정점 3)~105.36%(정점 5), 저층 89.67(정점 4)~123.43%(정점 5)로 정점별 변동폭은 비교적 외해측이 큰 상태이었다. 계절별로는 표층 0.099±0.009 mg/L(11월)~0.170±0.018 mg/L(2월), 저층 0.088±0.009 mg/L(11월)~0.151±0.018 mg/L(2월)로 표·저층 공히 2월과 그 외 조사월로 양분되는 상태로 유의적인 차이(표층 p=0.0004, 저층 p=0.0009)가 있었다. 변동계수는 표층 88.10(8월)~122.94%(2월), 저층 93.77(8월)~134.31%(2월)로 가을과 겨울철이 봄과 여름에 비해 변동 폭이 다소 높았다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 변곡선 형태를 보이고 있어 1983년에 0.207±0.024 mg/L로 높았으나 그 후 대체로 감소하여 하구측이 건설중인 1991년부터 1993년까지는 0.020±0.003 mg/L~0.036±0.007 mg/L으로 가장 낮은 상태이었고 그 후 급격히 증가와 감소를 반복하여 2002년에는 0.298±0.036 mg/L(표층), 0.284±0.041 mg/L(저층)로 조사 기간 동안 최고치를 보여 주었다. 그러나 근년인 2004년과 2005년에는 전반적으로 낮은 상태이었다(Table 5, Fig. 5).

9) 질산질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)

질산질소는 정점별 평균이 표층 0.131±0.017 mg/L(정점 6)~0.600±0.043 mg/L(정점 1), 저층 0.086±0.010 mg/L(정점 6)~0.572±0.042 mg/L(정점 1)로 표·저층 간 유의적인 차이가 있었으며(p<0.0001), 대체로 내측이 외측 측에 비해 5~7배 정도 높은 상태로 표층 과 저층 공히 정점 간 고도의 유의적 차이가(p<0.0001) 있어 내만으로 갈수록 육수의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 경기만의 인천연안 3개 정점 18년 평균인 0.338 mg/L(박 등, 1999; Park and Park, 2000)과 비슷한 농도를 보였으며, 천수만(박 등, 2006)의 0.035±0.003 mg/L에 비해서는 10배정도 높았고, 새만금 연안(김과 김, 2002)에 비해서도 2배정도 높은 농도를 나타내었다(Table 3, 6, Fig. 3). 변동계수는 표층 67.60%(정점 2)~120.02%(정점 6), 저층 66.89%(정점 1)~110.52%(정점 6)로 외해측 정점에서 분산량이 컸었다. 계절별로는 일반적으로 연안역에서 봄철과 여름철에는 낮고 늦은 가을과 겨울철에는 높은 상태인 것으로 알려져 있으며(Gentilhomme and Lizon, 1998; Fock, 2003) 본 연안에서는 표층의 경우는 봄철인 5월에 0.276±0.024 mg/L로 낮았고 여름철인 8월이 0.419±0.031 mg/L로 높아 유의적인 차이가 있었으며(p=0.0015), 저층의 경우는 5월이 표층과 같이 0.197±0.020 mg/L 낮았고, 그 외 조사월은 비슷한 농도를 나타내어 유의적인 차이(p=0.0290)가 낮았으며(Table 4, Fig. 4), 금강의 영향을 많이 받는 하구역으로 연안역과 다른 특징을 나타내었다. 연도별 변동 양상은 조사가 시작된 1983년부터 표·저층 공히 점차 증가하는 추세로서 표층 연 0.018 mg/L, 저층은 0.012 mg/L로 표층의 증가폭이 큰 경향을 나타내었다. 특히 1990년대 하반기부터 불규칙하면서도 농도가 급격히 증가하여 2002년과 2003년에 최대치를 보이다가 그 후 안정화되어다가 2006년에는 표층 0.497±0.073 mg/L, 저층 0.376±0.066 mg/L로 약간 높은 상태를 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

10) 용존무기질소(DIN)

용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 산출하였으며, 그 기여도에 있어 질산질소는 표층 68.71%와 저층 66.75%, 암모니아질소는 표층 26.38%와 저층 28.83%, 아질산질소는 표층 4.29%와 저층 4.42%이었다. 정점별 평균은 표층 0.202±0.021 mg/L(정점 6)~0.882±0.059 mg/L(정점 1), 저층 0.151±0.015 mg/L(정점 6)~0.815±0.057 mg/L(정점 1)로 표·저층 간 유의적인 차이가 있었으며(p<0.0001), 표층 과 저층 공히 정점 간 고도의 유의적 차이가(p<0.0001) 있어 대체로 정점별로 구분되어지는 특징을 보였으며, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N과 비슷하게 내만측이 외해측에 비해 4~5배 높은 농도를 나타내었다. 타 연안역과 같은 시기의 결과를 살펴보았을 때, 인천연안의 0.504±0.043 mg/L~0.956±0.095 mg/L(박 등, 1999; Park and park, 2000)에 비해 내만역은 비슷하나 외해측은 낮은 상태를, 새만금연안 0.298 mg/L(김과 김, 2002)에 비해 외해측과 비슷한 농도를, 천수만의 0.098 mg/L(박 등, 2006)과 곰소만(양 등, 2003)의 0.114 mg/L보다는 훨씬 높은 농도를 나타내었다(Table 3, 6, Fig. 3). 변동계수는 표층 61.43(정점 1)~94.50%(정점 6),

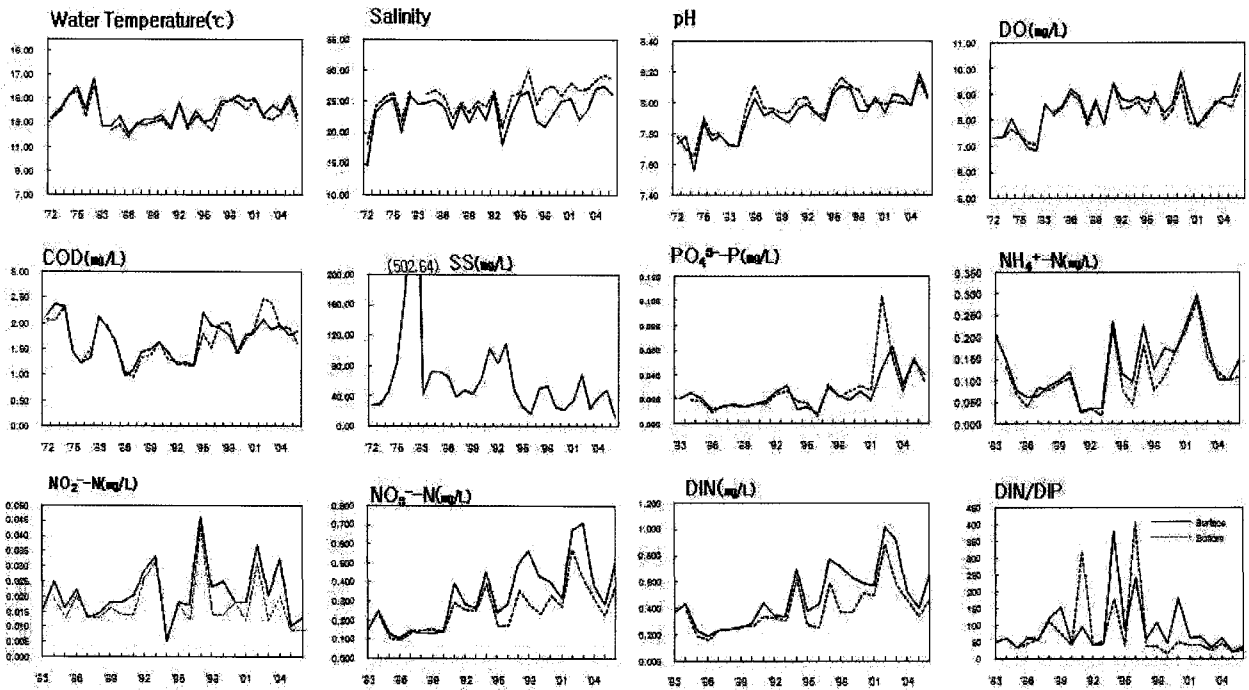


Fig. 5. Annual trends of water quality from 1972 to 2006 in the Gunsan coastal areas.

Table 6. Salinity and nutrient concentrations 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 coastal area	30.45	0.066	0.012	0.180	0.258	0.019	54.99	Park <i>et al.</i> , 2007	1975~76, 1988~2005
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

저층 64.54(정점 1)~94.02%(정점 6) 로 의해측으로 갈수록 분산량이 컸었다. 계절별로는 표층의 경우 봄철인 5월이 0.424±0.034 mg/L로 낮았었고 여름철인 8월이 0.566±0.037 mg/L로 높아 낮은 유의적 차이(p=0.041)가 있었으며, 저층의 경우 5월이 0.324±0.029 mg/L로 낮았었고 겨울철인 2월이 0.452±0.040 mg/L로 높아 표층과 유사한 유의적인 차이(p=0.047)가 있었다. 변동계수는 표층 76.08(8월)~96.10%(2월), 저층 85.99(11월)~103.41%(5월)로 여름철과 가을철에 비해 겨울철과 봄철에 변동폭이 다소 큰 상태였다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 질산질소와 유사하게 변곡선 형태를 나타내었으며 전반적으로 표층 연 0.022 mg/L, 저층 연 0.015 mg/L 정도 증가하는 경향을 보여 주었다. 1984년에는 표층 0.424±0.049 mg/L, 저층 0.369±0.047 mg/L 이었다가 점차 낮아

져 1986년에 표층 0.185±0.036 mg/L, 저층 0.151±0.024 mg/L로 가장 낮았다가 그 후 증감을 반복하면서 증가추세를 나타내었다. 2003년에 표층 1.011±0.087 mg/L, 저층 0.883±0.120 mg/L로 가장 높았었으며 그 후 안정화되다가 2006년에 표층 0.656±0.090 mg/L, 저층 0.455±0.076 mg/L로 약간 증가한 상태를 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

#### 11) DIN/DIP 비

DIN/DIP 비의 정점별 평균은 표층 66.1±13.01(정점 6)~95.7±18.20(정점 1), 저층 42.6±10.27(정점 5)~168.6±90.02(정점 1)로 표·저층 간에 유의적인 차이가 없었고(p=0.514), 표층과 저층 공히 정점 별 유의적인 차이가 없었으며(표층 p=0.623, 저층 p=0.294), 인천연안의 89.47±18.39~179.69±56.93(박 등,

1999; Park and Park, 2000)에 비해 약간 낮았고, 아산연안 54.99±10.39(박 등, 2007), 천수만(박 등, 2006) 27.31±2.56, 곰소만(양 등, 2003) 17.25, 새만금연안(김과 김, 2002) 32.23에 비해 훨씬 높은 상태였다(Table 3, 6, Fig. 3). 변동계수는 표층 148.22(정점 2)~263.05%(정점 3), 저층 159.43(정점 3)~446.60%(정점 1)로 저층의 변동폭이 큰 상태이었다. 계절별로는 표층의 경우 봄철에 150.5±29.0로 높았고 그 외 조사월은 비슷하여 유의적인 차이가 있었고(p=0.0057), 저층의 경우 계절별 유의적인 차이가 없었다(p=0.1699). 전반적으로 연중 DIN/DIP 비가 Redfield ratio(Redfield et al.,1963)인 16이상으로 인산인이 식물플랑크톤의 제한요인으로 작용하고 있어 인산인의 외부 유입이 있을시 적조의 대량 발생이 우려된다. 변동계수는 표층 126.75(2월)~208.50%(5월), 저층 112.83(2월)~453.90%(8월)로 저층의 봄철과 여름철의 변동폭이 매우 컸다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동양상은 1984년에 표층 61.3±16.2, 저층 61.9±14.6이었고 그 후 증감을 반복하면서 약간씩 증가경향이었던가 1990년대 초부터 표층과 저층이 다르게 급격히 증가경향이었고, 1990년대 후반부터는 비교적 안정화되어 약간씩 감소하는 경향이나 여전히 높은 값을 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

30년간의 수질자료(n=529~646)를 통하여 항목간의 상관분석 결과 표층과 저층 공히 수온은 염분, 용존산소와 음의 상관성이 있는 반면, 아질산질소, 인산인과는 양의 상관성이 있었다. 염분은 수소이온농도, 용존산소와 양의 상관성이 있는 반면, 대부분의 조사항목인 화학적산소요구량, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 인산인과는 음의 상관성이 있어 육수의 영향에 따라 변화하는 것으로 사료된다. 수소이온농도는 용존산소와 양의 상관성이 있는 반면 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 부유물질과 음의 상관성이 있었다. 용존산소는 아질산질소와 음의 상관성이 있었고, 화학적산소요구량은 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 인산인과 양의 상관성이 있었다. 인산인은 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소 및 용존무기질소와 양의 상관성이 입증되었다(Table 6, 여와 강, 1998). 그 중에서 염분은 수온과 음의 상관성을 보이고 계절별로 구분되어지는 특성을 나타내었으며, 수소이온농도 및 용존산소와는 양의 상관성을, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소 및 질산질소와는 음의 상관성을 나타내었다. 이러한 결과는 대체로 아산연안 및 천수만과 같은 경향으로 육수의 영향에 따라 변화되고 있음을 시사하고 있다 (Fig. 4).

3.3 수질항목간의 상관성

Table 7. Pearson's correlation analysis among water quality parameters in the Gunsan costal areas of Korea from 1972 to 2006

	Sal.	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	SS
<b>W.T.</b>	<b>-0.3695</b>	<b>-0.1541</b>	<b>-0.7006</b>	0.0339	-0.1031	<b>0.1916</b>	0.1596	0.0911	<b>0.2573</b>	-0.0247
	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	0.3912	0.0155	<b>&lt;.0001</b>	0.0002	0.0350	<b>&lt;.0001</b>	0.5313
<b>Sal.</b>		<b>0.4722</b>	<b>0.3269</b>	<b>-0.3136</b>	<b>-0.3290</b>	<b>-0.5063</b>	<b>-0.5737</b>	<b>-0.5765</b>	<b>-0.2677</b>	-0.0220
			<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	0.5772
<b>pH</b>			<b>0.3019</b>	-0.1271	-0.1429	<b>-0.1988</b>	<b>-0.2282</b>	<b>-0.2384</b>	-0.0184	<b>-0.1536</b>
				<b>&lt;.0001</b>	0.0012	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	0.6654	<b>&lt;.0001</b>
<b>DO</b>					-0.0235	0.0267	<b>-0.1935</b>	-0.1394	-0.1598	-0.1430
					0.5541	0.5320	<b>&lt;.0001</b>	0.0141	0.0002	0.0003
<b>COD</b>					<b>0.3547</b>	<b>0.3474</b>	<b>0.4518</b>	<b>0.4881</b>	<b>0.2348</b>	-0.0604
						<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	0.1264
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N</b>						<b>0.2661</b>	<b>0.5377</b>	<b>0.7566</b>	<b>0.2976</b>	0.0551
							<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	0.1971
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N</b>							<b>0.5086</b>	<b>0.5201</b>	<b>0.2926</b>	0.2211
								<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<.0001
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N</b>								<b>0.9576</b>	<b>0.4580</b>	0.0467
									<b>&lt;.0001</b>	0.2774
<b>DIN</b>									<b>0.4563</b>	0.0622
									<b>&lt;.0001</b>	0.1509
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P</b>										-0.0536
										0.2085

	Sal.	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
<b>W.T.</b>	<b>-0.2703</b>	-0.1116	<b>-0.7608</b>	0.0353	-0.1183	<b>0.1663</b>	0.0863	-0.0116	<b>0.1841</b>
	<b>&lt;.0001</b>	0.0049	<b>&lt;.0001</b>	0.3764	0.0060	<b>&lt;.0001</b>	0.4033	0.7905	<b>&lt;.0001</b>
<b>Sal.</b>		<b>0.4647</b>	<b>0.2628</b>	<b>-0.2328</b>	<b>-0.2844</b>	<b>-0.4535</b>	<b>-0.5182</b>	<b>-0.5081</b>	<b>-0.1785</b>
			<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>
<b>pH</b>			<b>0.2250</b>	-0.1154	<b>-0.2358</b>	<b>-0.2408</b>	<b>-0.3110</b>	<b>-0.3211</b>	-0.0243
				0.0037	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	0.5726
<b>DO</b>				-0.0203	0.0296	<b>-0.2303</b>	-0.0158	-0.0130	-0.1468
				0.6120	0.4927	<b>&lt;.0001</b>	0.7170	0.7660	0.0006
<b>COD</b>					<b>0.3623</b>	<b>0.2920</b>	<b>0.4909</b>	<b>0.5004</b>	<b>0.3398</b>
						<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N</b>						<b>0.2765</b>	<b>0.5578</b>	<b>0.7857</b>	<b>0.3043</b>
							<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N</b>							<b>0.5061</b>	<b>0.5172</b>	<b>0.2244</b>
								<b>&lt;.0001</b>	<b>&lt;.0001</b>
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N</b>								<b>0.9475</b>	<b>0.3973</b>
									<b>&lt;.0001</b>
<b>DIN</b>									<b>0.4043</b>
									<b>&lt;.0001</b>

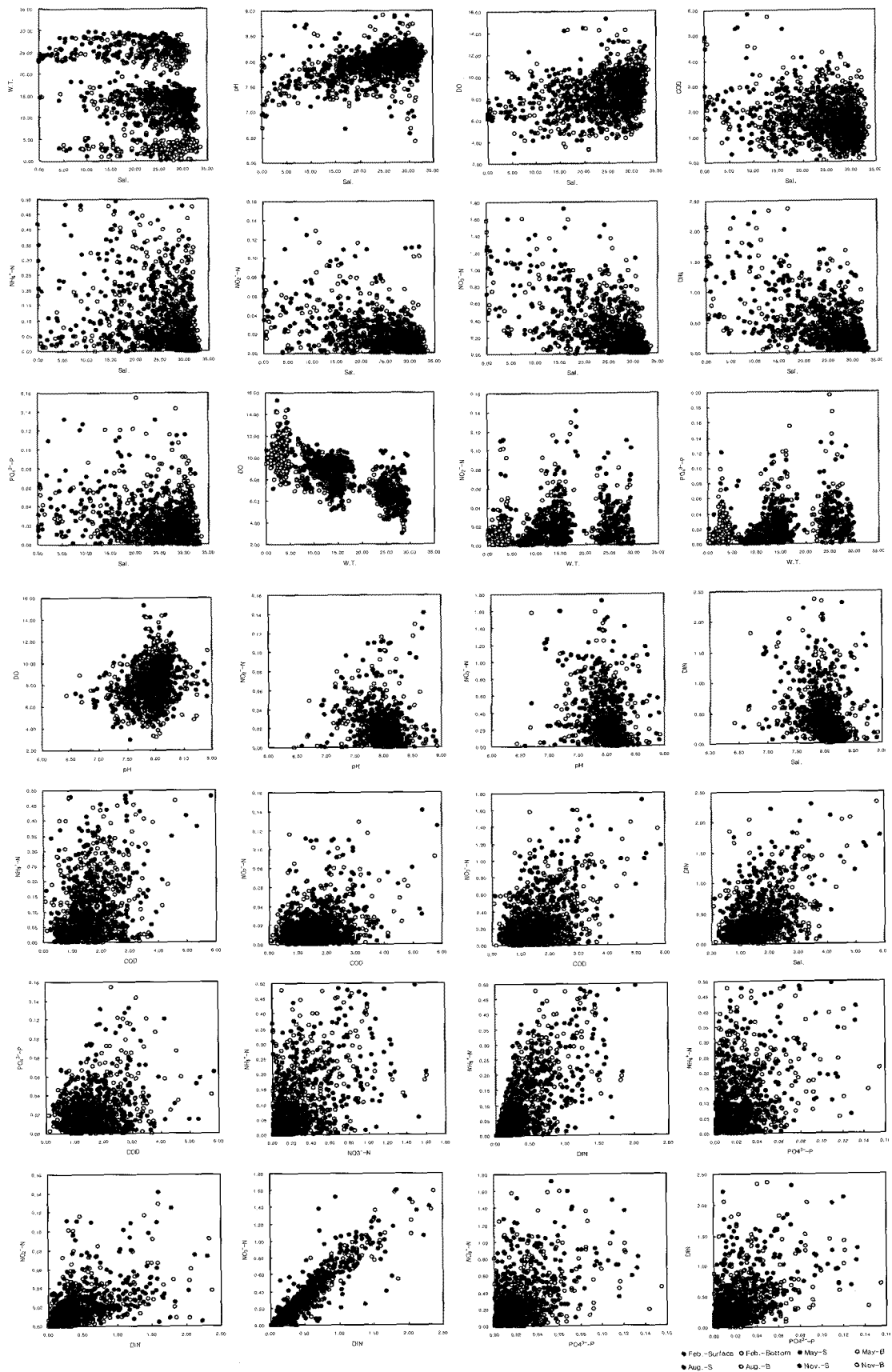


Fig. 6. Relationship among water quality parameters. All the values were double transformed with square roots for the data normality.

3.4. 수질의 장기 변동

1972년부터 2006년까지 30년간 조사한 수질환경 요인들의 자료 중 전 항목에 대해 계속적으로 조사가 이루어진 1983년부터 2006년까지 24년간의 경년 변동 관계를 통계적 분석을 통해 자세히 살펴보고자 표층과 저층의 항목별 연평균 자료를 이용하여 주성분분석(PCA)과 주성분값을 이용하여 군집분석을 실시하였다. 분석에 이용된 수질 항목은 수온, 염분, pH, 용존산소, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 부유물질 등이었다. 수층별로 살펴보면 표층의 경우 주성분 I에서는 연 변화를 36.21% 설명할 수 있었으며 이 중 표층은 용존무기질소> 질산질소> 암모니아질소> 수온> 인산인> 화학적산소요구량> 수소이온농도 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 17.94%를 설명할 수 있었으며, 이 중 염분> 부유물질> 아질산질소 순으로 기여하고 있었다. 주성분 III에서는 14.02%를 설명할 수 있었으며, 이 중 용존산소가 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II, III에 1% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 8). 주성분 I은 용존무기질소, 질산질소, 암모니아질소, 수온, 인산인, 화학적산소요구량, 수소이온농도와 양의 상관성을 나타내었다( $p \leq 0.0115$ ). 주성분 II에서는 부유물질 및 아질산질소와 양의 상관성( $p < 0.0001$ ), 염분과는 음의 상관성( $p < 0.0001$ )을 나타내었고, 주성분 III에서는 용존산소와 양의 상관성( $p < 0.0001$ )을 나타내었다(Fig. 7). 저층의 경우 주성분 I에서는 연 변화를 43.75% 설명할 수 있었으며 이 중 표층은 용존무기질소> 인산인> 암모니아질소> 질산질소> 화학적산소요구량 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 17.62%를 설명할 수 있었으며, 이 중 염분> 수소이온농도> 아질산질소 순으로 기여하고 있었다. 주성분 III에서는 11.49%를 설명할 수 있었으며, 이 중 용존산소가 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II, III에 1% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 8). 주성분 I은 용존무기질소, 인산인, 암모니아질소, 질산질소, 화학적산소요구량과 양의 상관성을 나타내었다( $p < 0.0001$ ). 주성분 II에서는 염분 및 수소이온농도와 양의 상관성( $p \leq 0.0041$ ), 아질산질소와는 음의 상관성( $p < 0.0001$ )을 나타내었고, 주성분 III에서는 용존산소와 음의 상관성( $p < 0.0001$ )을 나타내었다(Fig. 7).

24년 동안 수질의 장기변동은 표층과 저층이 약간 다른 경향으로 표층의 경우 대체로 네 그룹으로 구분되어지는데 즉 1985년부터 1993년까지의 I 그룹, 1983년과 1984년, 1994년 및 1998년부터 2001년까지의 II 그룹, 1995년과 1996년 및 2004년부터 2006년까지의 III 그룹, 1997년과 2002년 및 2003년의 IV 그룹이다. I 그룹은 1985년부터 1993년까지로 화학적산소요구량이 조사기간 중 낮았고, 영양염류인 인산인과 질산질소 등 용존무기질소가 상대적으로 낮았으며 용존산소가 비교적 높은 특징을 나타내어 양호한 수질상태를 나타내었다. II 그룹은 조사초기

인 1983년과 1984년에는 화학적산소요구량과 영양염류가 약간 높았었고, 1994년과 1998년부터 2001년까지는 부유물질은 낮아지고 영양염류는 평형내지는 감소경향이였다. III 그룹인 1995년과 1996년에는 금강하구둑 공사가 완료되어 부유물질은 낮아지고 염분은 증가하는 경향이였으며, IV 그룹인 1997년과 2002년 및 2003년에는 다른 해에 비해 월등히 영양염류가 높은 상태이였다가 근래인 2004년부터 2006년까지는 III 그룹으로 염분은 높았었고 화학적산소요구량과 영양염류는 낮아져 안정화되는 경향을 나타내었다. 저층의 경우에는 다섯 그룹으로 구분되어지는데 1984년부터 1991년과 1993년 및 1995년의 I 그룹, 1992년과 1994년, 1998년부터 2001년까지 및 2003년부터 2006년까지의 II 그룹, 1996년의 III 그룹, 1997년의 IV 그룹, 2002년의 V 그룹으로 구분되어진다. I 그룹에서는 조사기간 중 용존산소와 수소이온농도가 높았었고, 화학적산소요구량과 영양염류가 상대적으로 낮았었다. II 그룹에서는 점차 용존산소는 낮아지고, 화학적산소요구량과 영양염류가 높아지는 경향을 나타내었다. III 그룹인 1996년에는 염분과 수소이온농도가 가장 높았었고 영양염류가 낮은 특징을 보인 반면, IV 그룹인 1997년에는 염분 농도가 낮았었고, 아질산질소가 가장 높았었으며, 그

Table 8. Spearman's correlation coefficient among water quality parameters and principal component scores using the annual means of seasonal data from 1983 to 2006 in the Gunsan costal areas of Yellow Sea. The principal component scores for axes I and II in Fig. 7

Parameter \ PCA	Surface			Bottom		
	PCA I	PCA II	PCA III	PCA I	PCA II	PCA III
W.T.	0.7122 <.0001	-0.1791 0.4023	0.1470 0.4932	<b>0.7243</b> <.0001	0.2767 0.2012	0.3508 0.1008
Salinity	0.2087 0.3278	<b>-0.7635</b> <.0001	0.0470 0.8275	0.3804 0.0733	<b>0.8419</b> <.0001	-0.0563 0.7985
pH	<b>0.5070</b> 0.0115	-0.2087 0.3278	0.4713 0.0201	0.1098 0.6181	<b>0.5755</b> 0.0041	0.4722 0.0229
DO	-0.1774 0.4070	-0.1200 0.5765	<b>0.8078</b> <.0001	-0.4121 0.0507	0.4269 0.0422	<b>-0.5632</b> 0.0051
COD	<b>0.5817</b> 0.0029	-0.2887 0.1713	-0.4261 0.0379	<b>0.7609</b> <.0001	0.1868 0.3935	0.1295 0.5561
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	<b>0.7441</b> <.0001	-0.0722 0.7375	-0.4775 0.0183	<b>0.8053</b> <.0001	-0.0830 0.7065	-0.3034 0.1594
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0.1652 0.4405	<b>0.6681</b> 0.0004	0.0004 0.9984	0.0467 0.8325	<b>-0.5518</b> 0.0063	0.3914 0.0648
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	<b>0.8597</b> <.0001	0.2241 0.2926	0.2267 0.2868	<b>0.7757</b> <.0001	0.1028 0.6408	-0.2065 0.3444
DIN	<b>0.9024</b> <.0001	0.1626 0.4477	0.0387 0.8575	<b>0.8992</b> <.0001	0.0138 0.9500	-0.2016 0.3563
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	<b>0.6137</b> 0.0014	0.2078 0.3300	0.1895 0.3752	<b>0.8592</b> <.0001	0.1366 0.5343	0.0589 0.7895
SS	-0.4261 0.0379	<b>0.6852</b> 0.0002	-0.0870 0.6862			
% of variance explained	36.21	17.94	14.02	43.75	17.62	11.49

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

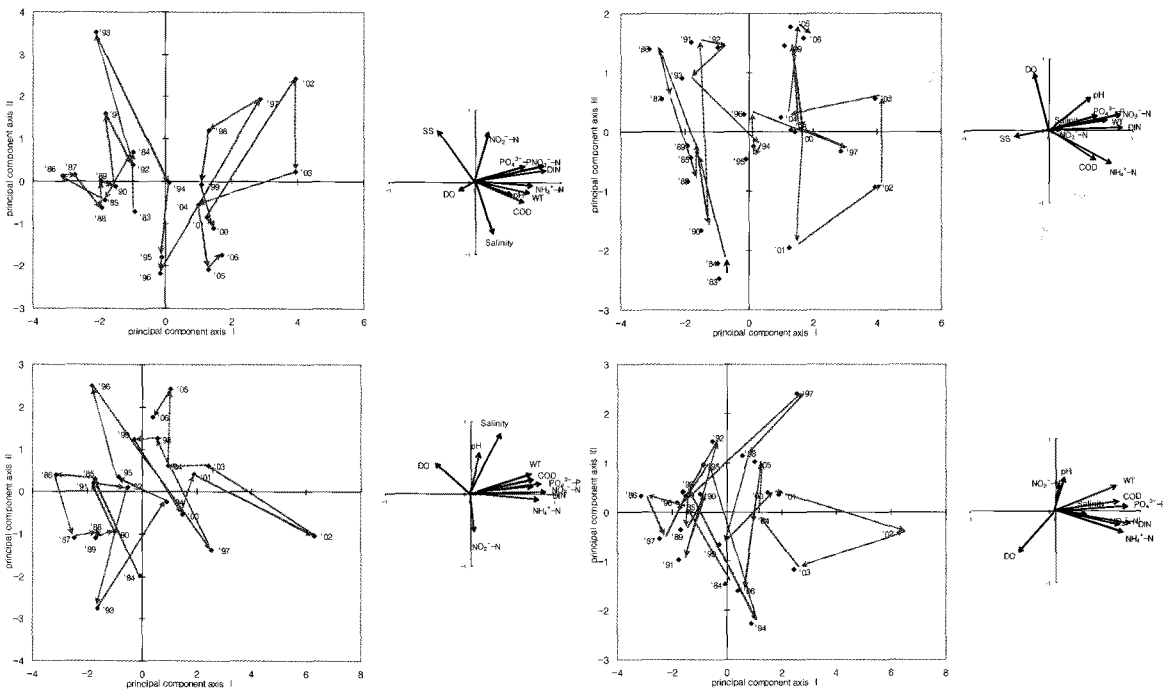


Fig. 7. Principal component ordination of 24 year water quality using the annual mean of stations from 1983 to 2006 in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea. The correlations between the PCA scores and the analysed variables are expressed with vectors(Upper; Surface water, Down; Bottom water).

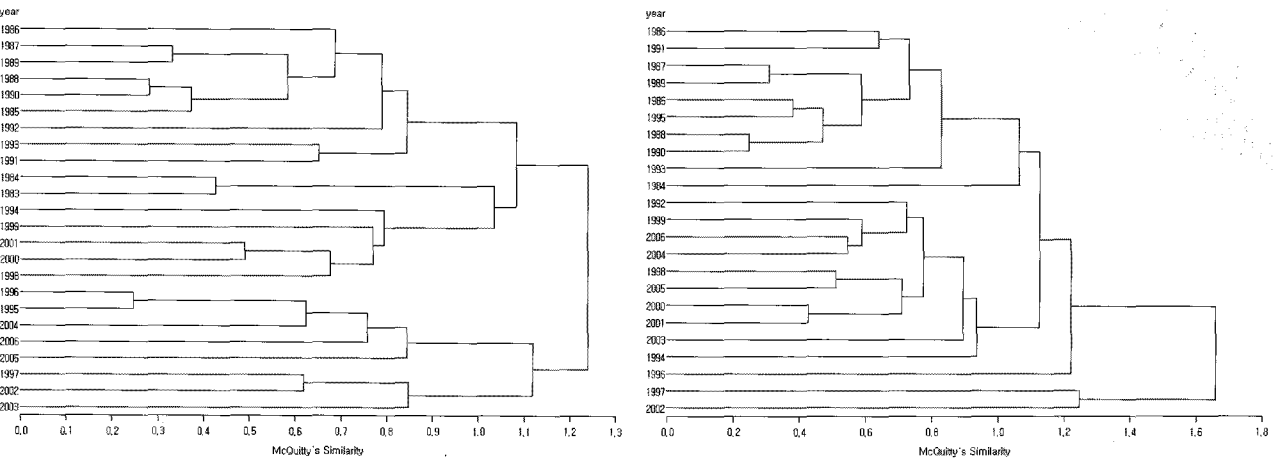


Fig. 8. Dendrogram showing classification of 24 year water quality using the annual principal component scores of stations from 1983 to 2006 in the Gunsan coastal areas of Yellow Sea. The correlations between the PCA and the analysed variables are expressed with vectors(Left; Surface water, Right; Bottom water).

의 영양염류는 II그룹과 비슷한 농도를 나타내었다. 특히 V그룹인 2002년에는 염분이 낮았었고 화학적산소요구량과 영양염류인 인산인, 암모니아질소, 질산질소, 용존무기질소가 조사기간 중 가장 높은 특징을 나타내었다. 표층과 저층이 항목에 따라 부분적으로 차이가 있으나 전반적으로 살펴보면 수소이온농도와 용존산소는 점차 증가 경향이었고 화학적산소요구량은 조사초기인 1970년대 초에는 높았었고 1990년대 초까지 감소경향이었던가 그 후 다시 증가하여 평형상태를 유지하고 있으며, 영

양염류는 증가경향으로 근래에 약간 안정화되었다가 2006년에 다시 약간 증가하는 특징을 보여 경인연안, 아산연안 및 천수만과 마찬가지로 각종 산업폐수 등 육상기인 오염원의 차단이 요구된다(Table 6, Fig. 7, 8).

4. 결론

1972년과 1977년 및 1983년부터 2006년까지 30년 동안 군산

연안에서 6개 조사정점의 수층(표층·저층)별, 계절별(2, 5, 8, 11월)로 년 4회 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에는 화학적산소요구량 및 인산인을 제외한 모든조사항목에서 표·저층간의 차이가 컸었다( $p \leq 0.0001$ ). 정점 간의 공간적 분포 특성을 보면 표층과 저층 공히 수온과 용존산소 및 부유물질은 정점 간 차이가 없었으나, 그 외 조사항목에서는  $p \leq 0.0004$  수준에서 정점 간 큰 차이가 있었으며 주성분 분석결과 금강의 영향을 가장 많이 받는 정점 1 과 중간위치인 정점 2~4 및 비교적 외해측인 정점 5, 6의 세 그룹으로 구분되어진다. 내측정점인 정점1에서는 염분과 수소이온농도 및 용존산소는 낮았고 화학적산소요구량, 질소계 영양염류, 인산인 및 표층의 부유물질이 높은 특징을 보였으며 외해측으로 갈수록 반대되는 경향을 나타내었다. 계절별로는 화학적산소요구량과 부유물질은 유의성이 없었으며 그 외 조사 항목에서는 유의성이 입증되었고( $p < 0.05$ ), 정점별로 차이가 있어 내측의 경우 계절에 따른 변화가 큰 상태이었고 외해측으로 갈수록 변화폭이 줄어드는 경향을 나타내었다. 항목별 변동 특성에 있어 수온은 1970년대에 높았다가 1980년대에는 상대적으로 낮았으나 약간씩 높아졌으며 하구둑 건설 후 증가폭이 더 높아지는 경향이었고, 염분은 평균 표층  $23.69 \pm 0.29$ , 저층  $25.78 \pm 0.26$ 으로 내측은 저염분 상태이고 정점 5점부터 인근연안과 유사하였다. pH는 표층  $7.95 \pm 0.01$ , 저층  $7.98 \pm 0.01$ 로 정점 간 차이가 컸으며( $p < 0.0001$ ) 외해측으로 갈수록 높아지고 전 수질항목 중 변동폭이 가장 적었다. 용존산소는 표층  $8.51 \pm 0.07$  mg/L, 저층  $8.34 \pm 0.07$  mg/L로 정점 간 차이가 없었고, 화학적산소요구량은 표층  $1.64 \pm 0.03$  mg/L, 저층  $1.62 \pm 0.03$  mg/L로 정점 간 높은 유의적인 차이가 있었으나( $p < 0.0001$ ), 계절별로는 차이가 없었다. 부유물질은 표층 평균  $73.30 \pm 4.10$  mg/L로 시공간적으로 유의적인 차이가 없었으며 특히 1977년에 평균  $502.60 \pm 24.92$  mg/L로 매우 높아 강우량 등을 조사하였으나 원인을 찾을 수 없었다. 영양염류 중 인산인은 평균 표층  $0.025 \pm 0.001$  mg/L, 저층  $0.028 \pm 0.002$  mg/L로 정점 간 차이가 있었고( $p \leq 0.0004$ ), 계절별 역시 겨울과 봄철이 낮았고 여름과 가을철이 높아 유의적인 차이가 이었으며( $p < 0.0001$ ) 연 변화는 표층  $0.0012$  mg/L, 저층  $0.0018$  mg/L 증가하는 경향이였다. 암모니아질소는 표층  $0.129 \pm 0.006$  mg/L, 저층  $0.111 \pm 0.006$  mg/L로 내측이 외측 정점에 비해 4배정도 높았으며, 겨울철이 높았고 그 외 계절은 비슷하였다. 질산질소는 표층  $0.336 \pm 0.014$  mg/L, 저층  $0.257 \pm 0.012$  mg/L로 내측이 월등히 높았었으며, 연 변화는 표층  $0.018$  mg/L, 저층  $0.012$  mg/L 증가하는 경향이였다. 용존무기질소는 표층  $0.489 \pm 0.018$  mg/L, 저층  $0.385 \pm 0.016$  mg/L로, 그중 질산질소 표층 68.71%, 저층 66.75%, 암모니아질소 표층 26.38%, 저층 28.83%, 아질산질소 표층 4.29%, 저층 4.42% 순이었고 공간적으로 내측 정점에서 높았었으며, 연도별 변동양상은 변곡선 형태로 표층 연  $0.022$  mg/L, 저층  $0.015$  mg/L정도 높아지는 경향을 나타내었다. DIN/DIP 비는 표층  $95.40 \pm 9.43$ , 저층  $84.44 \pm 17.65$ 로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며 연도별 변동 특성은 1990년대 초부터 급격히 증가하는 경향이였다가 후반부터는 비교적 안정화되었으나 여전히 높은 경향이였다. 수질항

목간의 상관성에 있어서 염분은 수온과는 음의 상관성으로 계절별로 구분되어지며, 용존산소와는 양의 상관성을, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소와는 음의 상관성을 나타내었다. 24년 동안 수질의 장기 변동을 조사한 결과 표층 네 그룹, 저층 다섯 그룹으로 구분되어 항목에 따라 부분적으로 차이가 있으나 전반적으로 살펴보면 염분, 수소가 온농도 및 용존산소는 점차 증가하는 경향이었고 화학적산소요구량은 불규칙한 변곡선 형태이며, 영양염류는 증가하는 경향으로 근래에 약간 안정화되었다가 2006년에 다시 약간 증가하는 특징을 보여 경인연안, 아산연안 및 천수만과 마찬가지로 육수 유입의 원인에 기인한 것으로 사료되므로 육상의 오폐수 유입이 차단 될 수 있는 정책과 주의가 요구된다.

### 감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 R&D과제인 서해해양환경연구 및 국가해양환경 측정망운영과제(RP-2009-ME-039)의 일환으로 수행된 것으로 현장조사에 적극 협조 해 주신 시험조사선 탐구 18호 직원께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 국립수산진흥원(1985), 해양오염 및 적조조사 지침, p. 57-67.
- [2] 군적재(1974), 황해안의 간석지 발달과 그 퇴적물의 기원, 지리학회지, 제10권, pp. 1-12.
- [3] 기준학, 김경렬(1987), 금강하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구 II. Chlorophyll-a 분포결정 요인에 대하여, 한국해양학회지, 제22권, 제3호, pp. 207-215.
- [4] 김경렬, 기준학(1987), 금강하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구 I. 질소계 화합물의 순환 : 전반적 고찰, 한국해양학회지, 제22권, 제3호, pp. 191-206.
- [5] 김기철, 정종률(1988), 금강하구 염분전선의 변화 연구, 한국지구과학회, 제9권, 제1호, pp. 101-107.
- [6] 김중규(2004), 고군산군도·군산 연안지역 어전의 유형과 분포, 석사학위논문, 교육학과, 군산대학교, 군산, pp. 8-18.
- [7] 김종구, 김양수(2002), 새만금 사업지구의 연안해역에서 부영양화관리를 위한 모델의 적용, 한국수산학회지, 제35권, 제4호, pp. 348-355.
- [8] 권정노, 김종구, 고태승(2001), 장기관측자료에 의한 금강 하구둑 수문조작에 따른 수질 변화 평가, 한국수산학회지, 제34권, 제4호, pp. 348-354.
- [9] 안희수, 오임상(1995), 유한요소법에 의한 금강하구역의 조석 및 금강유입의 수치실험, 한국지구과학회, 제16권, 제4호, pp. 299-308.
- [10] 유병철, 유선재, 조주환(1994), 금강 하구에 나타나는 황

- 색 수색대의 환경특성, 한국수산학회지, 제27권, 제1호, pp. 97-105.
- [11] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 박정숙(2007), 아산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제16권, 제12호, pp. 1411-1424.
- [12] 박승윤, 박경수, 김형철, 김평중, 김진풍, 박중현, 김숙양 (2006), 천수만의 수질환경특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제15권, 제5호, pp. 447-459.
- [13] 박승윤, 박경수, 석규진, 오현주, 이영식, 김진풍(1999), 경기만 수질의 시공간적 변동과 부영양화, 국립수산과학원 연구보고, 제56권, pp. 189-204.
- [14] 양재삼, 김기현, 김영태(2003), 곰소만 조간대 해수 내 질소 성분의 시공간적 분포, 한국해양학회지, 제8권, 제3호, pp. 251-261.
- [15] 양재삼, 정주영, 허진영, 이상호, 최진용(1999), 금강하구의 물질수지 I. 영양염의 계절적 분포, 한국해양학회지-바다, 제4권, 제1호, pp. 71-79.
- [16] 여환구, 강현(1998), 인천연안의 수질 및 식물플랑크톤 군집의 변화, 한국환경학회지, 제7권, 제3호, pp. 321-326.
- [17] 이상호, 권효근, 최현용, 양재삼, 최진용(1999), 하구연 수문작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화 II. 염분구조와 하구유형, 한국해양학회지-바다, 제4권, 제4호, pp. 255-265.
- [18] 이상호, 최현용, 권효근(2001), 하구연 수문작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화 III. 저염수의 조석동조, 한국해양학회지-바다, 제6권, 제3호, pp. 115-125.
- [19] 이성희, 황현식, 이석훈, 김정란(2003), WIN SAS V8, 교우사, p. 414.
- [20] 이원호, 명금옥, 김형섭, 정해진(2005), 춘계 금강 하구에서 혼합영양 섬모류인 *Myrionecta rubra*(=*Mesodinium rubrum*) 개체군의 단주기 변동, 조류학회지, 제20권, 제3호, pp. 207-216.
- [21] 이현희, 엄정섭(2007), 금강하구에서 인공 구조물에 의한 수심변화, 대한지리학회지, 제42권, 제1호, pp. 121-132.
- [22] 정종률, 방인권(1984), 금강 하구의 해수순환역학 제2보 유체역학적 제특성, 한국해양학회지, 제19권, 제2호, pp. 141-152.
- [23] 정종률, 이재학, 안희수(1983), 금강 하구의 해수순환역학 I. 염분경계층의 변화성, 한국해양학회지, 제18권, 제2호, pp. 142-148.
- [24] 조주환, 서만석(1988), 금강하구역의 부유물질연변동에 관한 연구, 한국지구과학회, 제9권, 제2호, pp. 143-162.
- [25] 최용규, 양원석, 정주영(2002), 금강 하구 연안역의 해황과 관련한 영양염 전선, 한국수산학회지, 제35권, 제3호, pp. 289-296.
- [26] 최종덕, 김정균(2002), 진해만 남서부 해역의 해수와 저질의 세균학적 및 이화학적 특징, 한국수산학회지, 제35권, 제6호, pp. 621-626.
- [27] 최진용(1993), 금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구, 한국해양학회지, 제28권, 제4호, pp. 272-280.
- [28] 최진용, 최현용, 서만석(1995), 하구연 갑문폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성변화, 한국해양학회지, 제30권, 제4호, pp. 262-270.
- [29] 최현용, 이상호, 유광우(1999), 금강하구연 대량방류시 황해 중동부 해역의 염분분포, 한국해양학회지-바다, 제4권, 제1호, pp. 1-9.
- [30] 통계교육원(2005), SAS를 이용한 자료분석, p. 328.
- [31] 해양수산부(1998), 해양환경공정시험법, p. 330.
- [32] Billen, G. and Garnier J.(1997), The Phison River plume: coastal eutrophication in response to changes in land use and water management in the watershed. Aquat. Microb. Eco., Vol. 13, pp. 3-17.
- [33] Clarke A., S. Juggins and D. Conley(2003), A 150-year reconstruction of the history of coastal eutrophication in Roskilde Fjord, Denmark, Marine Pollution Bulletin, Vol. 46, pp. 1615-1629.
- [34] 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.
- [35] Gentilhomme, V and 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.
- [36] Nixon, S.W.(1995), Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. Ophelia, Vol. 41, pp. 199-219.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] Shim J. H. and J. S. Yang(1982), The community structure and distribution of phytoplankton of the Kum river estuary, J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 17, No. 1, pp. 187-194.
- [40] Shim J. H. and S. J. Yoo(1985), Phytoplankton community off the coast of Kunsan, Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 20, No. 1, pp. 31-42.
- [41] 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.

- [42] Wafar, M.V.M., P. Le Corre, and J.L. Birrien(1983),  
Nutrients and primary production in permanently  
well-mixed temperate coastal waters. Estuar. Coast.  
Shelf Sic., Vol. 17, pp. 431-446.

---

원고접수일 : 2009년 10월 16일

원고수정일 : 2009년 11월 16일

게재확정일 : 2009년 12월 24일