

여자만 수질환경의 특성과 장기변동

박승윤*† · 김상수** · 김평중** · 조은섭*** · 김병민** · 전상백** · 장수정**

*, ** 국립수산과학원 남서해수산연구소, *** 국립수산과학원

Long-term Variation and Characteristics of Water Quality in the Yeoja Bay of South Sea, Korea

Soung-Yun Park*† · Sang-Soo Kim** · Pyoung-Joong Kim** · Eun-Seob Cho*** ·
Byong-Man Kim** · Sang-Baek Jeon** · Su-Jeng Jang**

*, ** Southwest Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea

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

요 약 : 1976년부터 2010년까지 35년 동안 여자만 수질환경의 특성과 장기변동 경향을 조사하였다. 3개 정점에서 수층(표층과 저층)별·계절별로 년 4회 수온, 염분, 수소이온농도, 용존산소, 화학적산소요구량, 부유물질 및 영양염류에 대해 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에는 수온, 염분, 용존산소, 수소이온농도 및 아질산질소도 차이가 있었으나($p < 0.05$), 그 외 수질항목은 표·저층간의 유의적인 차이가 없었다. 공간적 분포 특성은 염분, 화학적산소요구량, 암모니아질소 및 용존무기질소는 정점간 높은 유의적인 차이가 있었으나($p < 0.0001$), 그 외 조사항목에서는 정점간 차이가 없었다. 또한, 계절별로는 수소이온농도에서는 유의적인 차이가 없었으나, 그 외 모든 조사 항목에서는 유의적인 차이가 입증되었다($p \leq 0.0438$). 정점별 계절별 평균치의 주성분 분석결과 여자만 안쪽의 정점 1에서는 염분과 수소이온농도는 낮고, 화학적산소요구량, 부유물질 및 영양염류는 높은 상태였으며, 만 입구 측으로 갈수록 반대되는 경향을 나타내었다. 31년 동안 수질의 장기 변동은 네 그룹으로 구분되었다. 항목에 따라 부분적으로 차이가 있었으나 전반적으로 수온, 화학적산소요구량 및 부유물질은 점차 증가하는 경향이었고 염분은 불규칙적으로 점차 낮아지는 상태이며, 영양염류중 인산인은 1991년부터 2001년까지 증가 상태이었고, 그 후 1980년대 수준을 유지하고 있으며, 용존무기질소는 증가하는 경향으로 1990년 후반부터 그 폭이 커지는 추세로 2010년에는 평년의 1/3 수준의 특징을 보였다. 여자만에서 수질 특성은 경인연안, 아산연안, 천수만, 군산연안 및 목포연안과 마찬가지로 육수 유입의 원인에 기인한 것으로 사료된다.

핵심용어 : 수질환경, 여자만, 장기변동, 공간적 분포특성, 계절변동

Abstract : Long-term trends and distribution patterns of water quality were investigated in the Yeoja Bay of South Sea, Korea from 1976 to 2010. Water samples were collected at 3 stations and physicochemical parameters were analyzed including water temperature, salinity, hydrogen ion concentration (pH), dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), suspended solids (SS) and nutrients. Spatial distribution patterns of temperature, pH and DO were not clear among stations but the seasonal variations were distinct except ammonium. The trend analysis by principal component analysis (PCA) during 31 years revealed the significant variations in water quality in the study area. Spatial water qualities were discriminated into 2 clusters by PCA; station cluster 1 and 2~3. Annual water qualities were clearly discriminated into 4 clusters by PCA. By this multi-variate analysis, the annual trends were summarized as the followings: water temperature, COD and SS tended to increase from late 1970's, decreased salinity, and increased phosphate from 1991 to 2001 and increased dissolved inorganic nitrogen. Water quality was showed by the input of fresh water same as those of Kyoungin coastal area, Asan coastal area, Choensoo bay, Gunsan coastal and Mokpo coastal area in the Yeoja Bay.

Key Words : Water quality, Yeoja bay, Long-term trends, Spatial distribution patterns, Seasonal variations

1. 서론

여자만은 남해안 중앙부에 위치하는 해역으로 득량만, 가막만, 광양만 등이 인접해 있고, 남쪽으로 향한 호리병 모양이며,

동쪽으로는 여수반도와 고돌산반도, 서쪽으로는 고흥반도로 둘러 싸여 있고, 만 입구는 폭이 약 7.4Km로써 좁게 형성되어 있으며 만 내부로 향하여 점차 넓어지고 최대 폭은 약 21.6Km에 달하며 평균 수심은 약 5.4m인 전형적인 반폐쇄적인 천혜로 태풍과 폭풍, 북서 계절풍 등이 차단되어 있다(이, 1983; 최, 2004; 해양수산부, 2005). 만 입구에는 낭도와 조발도 등의 크고

* 대표저자 : 정희원, psy111@nfrdi.go.kr, 061-690-8950

작은 섬들이 20개 이상 산재하고 있으며, 좌측에 위치한 서수도는 최대수심 약 30m, 우측의 조발수도는 최대수심 약 40m로서 매우 협소한 폭과 급경사를 이루고 있으며, 서수도와 조발수도는 주 조류로서 북서~남동방향으로 발달하여 만 내부로 향하고 있고, 만 서측의 진지도와 만 중앙부의 여자도 북부 해역까지 수심 약 5m를 이루며 방사상으로 발달하고 있다(임 등, 1991; 문 등, 1993; 최 등, 2007). 여자만은 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제 40조에 의거 1982년 1월 8일에 수산자원보호구역으로 고시되었으며, 보존가치가 매우 높은 갯벌과 염습지 및 갈대밭으로 이루어져 독특한 연안 생태계가 발달하였다. 또한 주변 육지로부터 큰 강의 유입은 없으며 북서측에 벌교천, 북동측에서 동천과 이사천이 유입되고 담수의 유입량이 적은 전형적인 해안 만입형으로 하천 상류에는 공업단지 등의 특별한 오염원이 없으며 하류쪽은 경작지로 이루어져 있고 비교적 청정해역으로 꼽히고 있다(한국해양연구소, 1990; 최, 2004). 이와 같은 여자만을 대상으로 그동안, 한국연안 수질오염조사(국립수산진흥원, 1979), 연안어장 환경조사(국립수산진흥원, 1980a), 해양오염조사(국립수산진흥원, 1980b), 여자만의 해수교환(이, 1983), 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구(국립수산진흥원, 1983, 1985a, 1989), 여자만의 표층퇴적물 및 해양 물리적 특성에 관한 연구(김, 1988), 여자만의 식물성 플랑크톤에 관한 연구(허, 1989), 여자만의 저서동물 군집에 관한 연구(임, 1989), 여자만에서의 여름철 저서동물의 분포(임 등, 1991), 여자만 표층퇴적물 분포특성과 저서성유공충 군집(최, 1997), 남해연안역 득량만과 여자만의 저서다모류(김, 1999), 남해안 여자만(여호항)에서의 저서다모류군집의 시·공간적 변화(신과 김, 2001), 한국 남해 여자만의 조간대 표층 퇴적물 특성(박 등, 2001), 한국 남해안 여자만 조간대의 퇴적환경(김, 2003), 한국 남해 여자만 퇴적물 거동 메카니즘(최, 2004), 한국 남해안 여자만 조간대 퇴적물의 시공간적 변화(최 등, 2005), 남해안 여자만의 저서 다모류 군집 분포(김 등, 2005), 여자만 해역의 해양환경과 식물플랑크톤 분포 특성(김, 2005), 남해안 여자만의 동계 저서다모류 군집 분포(박, 2006), ADCP관측과 수치모델에 의한 여자만의 해수순환변동(이, 2007), 여자만 조간대 퇴적층에서 산출하는 유공충 군집과 환경변화(장, 2007), 반폐쇄된 만내 부유퇴적물 유·출입과 표층퇴적물 조성 변화 : 남해 여자만 봄철(최 등, 2007), 수치모델에 의한 여자만의 조류특성(이 등, 2007), *Cochlodinium Polykrikoides* 적조가 발생하는 해역에서 호우에 의한 담수 유입 범위와 질소, 인의 농도변동(이 등, 2007), 2004-2006년 6-10월 동안의 남해중부연안 해역특성 및 식물플랑크톤의 군집생태(조 등, 2008), Coastal environmental assessment and management by ecological simulation in Yeolja Bay, Korea(Lee et al., 2008), 여자만 코어 퇴적물에서 나타나는 저서성 유공충 군집 변화 : 홀로세 후기 해수면 변화의(장 등, 2009)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 실

정이다(Billen and Garnier, 1997; Clarke et al., 2003). 마찬가지로 본 해역은 주로 물리, 생물학적조사가 이루어져 있고, 수질 환경에 대한 연구는 단기간 조사된 결과로 장기적이 조사 연구는 미흡한 실정으로 본 연구는 여자만에 대한 여장환경오염조사 및 국가해양환경측정망의 일환으로 1976년부터 2010년까지 35년간 총 140회에 걸쳐 계절별(2, 5, 8, 11월)로 실시한 일반 해양환경성분에 대하여 조사한 결과로서 여자만에 대한 시공간적인 환경변동 특성을 파악함으로써 여자만을 효율적으로 이용할 수 있는 해양환경관리 및 보전정책수립의 환경기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

연구대상 해역인 여자만에서 1976년부터 2010년까지 35년 동안 Fig. 1에서와 같이 3개 정점에 대해 계절별로 년 4회(2, 5, 8, 11월) 조사하였다. 그 중에서 정점 1은 1977년 5월, 1978년과 1979년의 5월과 8월, 정점 2는 1977년의 5월, 정점 3은 1978년의 5월과 8월 및 11월, 1979년의 5월과 8월에 조사가 진행되지 못하였다. 조사시료는 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, 용존 산소량(DO)은 150ml용 용존산소병에 시료를 채수하여 Winkler 개량법인 윙클러아지드화법(이, 1983)에 의하여 측정하였고(국립수산진흥원, 1985b), 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 실험실에서 측정하였다. 부유물질은 표층에서만 조사가 이루어졌으며 현장에서 시료를 전처리하여 실험실에서 해양환경 공정시험법(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) 방법 및 해양환경 공정시험법(해양수산부, 1998)으로 측정하였으며, 용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소를 합한 값으로 나타내었다.

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 수온, 염분 및 용존산소는 표·저층간의 차이가 컸으며($p < 0.0001$), 수소이온농도 및 아질산질소 역시 차이가 있었다($p < 0.05$). 그러나 나머지 수질항목은 표·저층간의 차이가 없었으며, 이에 본 자료 분석에는 표·저층간의 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

목어 자료의 해석을 용이하게 하는 분석법이다. 본 연구에서는 조사 시기에 따른 다량의 수질변수를 연도별 수질분포 특성과 변화 상태를 추정하는데 사용하였다. 각 측정 항목의 시공간적인 변동을 구명하기 위해서는 제1모형 이항분산분석(Two factor model I ANOVA)을 이용하였으며 처리효과는 조사정점(3등급)과 조사 월(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).

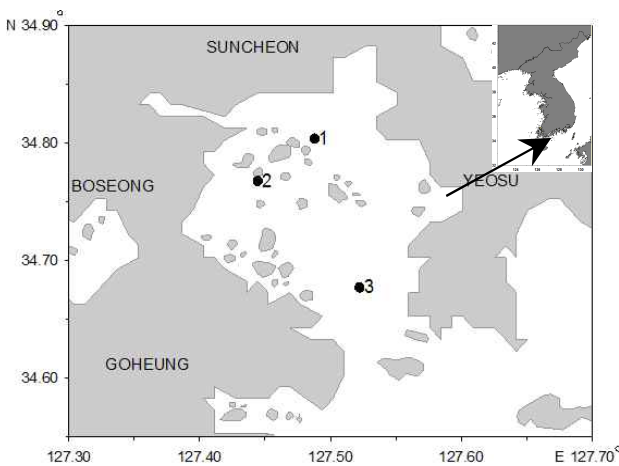


Fig. 1. A map showing the sampling sites in the study area.

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 수온, 수소이온농도, 용존산소, 부유물질, 인산인, 아질산질소 및 질산질소는 정점 간 차이가 없었으나, 그 외 조사항목인 염분, 화학적산소요구량, 암모니아질소 및 용존무기질소는 $p \leq 0.0052$ 수준에서 정점 간 차이가 있었다. 수온, 염분, pH, 용존산소, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 부유물질의 정점별 및 계절별 평균 자료를 이용하여 주성분분석(PCA)을 실시한 결과 주성분 I에서는 시공간적 변화를 66.77% 설명할 수 있었으며 이 중 염분 > 용존산소 > 용존무기질소 > 암모니아질소 > 수온 > 질산질소 > 아질산질소 > 수소이온농도 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 15.29%를 설명할 수 있었으며, 이 중 화학적산소요구량 > 수소이온농도 순으로 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II에 5% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 2). 주성분 I은 용존무기질소, 암모니아질소, 수온, 질산질소, 아질산

질소와 양의 상관성, 염분, 용존산소, 수소이온농도와는 음의 상관성을 나타내었다($p \leq 0.0051$). 주성분 II에서는 화학적산소요구량과 양의 상관성($p < 0.0001$)을 나타내었다(Fig. 2). 공간적 분포 특성은 대부분의 조사항목에서는 유의적인 차이가 없었으나, 염분과 화학적산소요구량은 조사정점별로 다른 양상으로만의 입구측에서 내측으로 갈수록 염분은 낮아지고 화학적산소요구량은 높아지는 경향이었으며, 암모니아질소와 용존무기질소는 내측정점인 정점 1에서 상대적으로 높았고 중간정점과 입구정점에서는 비슷한 상태를 나타내었다. 계절적 변화는 정점별로 차이가 있어 내측의 경우 계절에 따른 변화가 상대적으로 큰 상태이었고 만 입구 측으로 갈수록 변화폭이 줄어드는 경향을 나타내었다. 본 연안을 항목별로 살펴보면 수온은 우리나라의 4계절 특성상 네 그룹으로 구분되었고, 염분과 화학적산소요구량은 여름(8월)과 가을(11월) 및 그 외 계절로 나누어지며, 수소이온농도는 계절별 유의적인 차이가 없었다. 용존산소는 수온과 마찬가지로 네 그룹으로 구분되어지며, 부유물질은 겨울(2월)과 봄(5월) 및 그 외 계절의 세 그룹으로 구분되어진다. 영양염류의 계절적 순환은 생산, 분해 등의 생물학적 과정, 성층, 혼합 등의 수문학과 인입-출입의 균형 및 담수 유입 등 영양염류의 공급원에 의존한다(Wafar et al., 1983; Gentilhomme and Lizon, 1998; Fock, 2003). 본 연안의 영양염류 중 인산인은 가을(11월)과 겨울(2월) 및 그 외계절의 세 그룹으로 구분되며, 암모니아질소는 여름, 가을, 겨울과 봄의 세 그룹, 아질산질소와 질산질소 및 용존무기질소는 여름~가을, 겨울~봄의 두 그룹으로 구분되어진다. 즉 내측은 동천과 이사천의 영향을 받는 곳으로 육상에서 유입되는 강수와 오염원의 영향을 여름과 가을철에 주로 받으며 만입구 측으로 갈수록 외해수와 자정작용 등으로 안정되어가는 경향을 보이고 있었다.

3.2 수질 항목별 변동 특성

1) 수온

수온은 35년 동안 평균 15.08 ± 0.65 °C(정점 3)~ 15.50 ± 0.75 °C(정점 2)로 정점 간 유의적인 차이가 없었으며 정점 내에서의 변동계수는 49.69~55.56%로 비슷한 수준이었다(Table 3, Fig. 3). 월별로는 평균 4.58 ± 0.15 °C(2월)~ 26.30 ± 0.20 °C(8월)로 높은 유의적인 차이를 나타내었다($P < 0.0001$). 변동계수는 2월에는 32.96%로 높았으나 점차 낮아져 8월에 7.47%로 가장 낮았다. 2월에 정점 간의 수온 차가 약간 컸으며 이와 같은 결과는 천수만, 경기만(박 등, 1999; Park and Park, 2000; 박 등, 2006), 아산연안(박 등, 2007) 및 군산연안(박 등, 2009)과 같은 경향을 보였다(Table 4, Table 6, Fig. 3). 연 4회 지속적으로 조사가 이루어진 1980년 이후 연도별 변동 양상을 보면 1981년에는 연평균 12.68 ± 2.99 °C로 가장 낮았고, 1999년에는 17.54 ± 2.07 °C로 가장 높았었다. 35년 동안 연간 0.1023 °C 높아지는 경향을 나타내었는데 대체로 1976년에는 높았다가 1980년대 초반까지 낮았었다. 그 후 약간 증가상태이었다가 1991년~1993년과 1995년~1997년에는 상대적으로 낮았고, 1998년과 1999년에는 높은 상

Table 1. ANOVA tables for spatial and temporal differences in water quality in the Yeolja Bay of South Sea from 1976 to 2010

Variable	Source	F	Pr>F	Variable	Source	F	Pr>F	Variable	Source	F	Pr>F
Water Temperature	Station	0.08	0.9148	Salinity	Station	9.38	0.0001	pH	Station	0.85	0.4289
	Season	1514.25	<.0001		Season	89.50	<.0001		Season	1.55	0.2019
DO	Station	0.01	0.9929	COD	Station	9.99	<.0001	SS	Station	2.65	0.0721
	Season	177.08	<.0001		Season	8.66	<.0001		Season	3.61	0.0134
PO ₄ ³⁻ -P	Station	1.04	0.3555	NH ₄ ⁺ -N	Station	5.41	0.0049	NO ₂ ⁻ -N	Station	0.18	0.8330
	Season	2.73	0.0438		Season	3.79	0.0106		Season	11.56	<.0001
NO ₃ ⁻ -N	Station	1.51	0.2225	DIN	Station	5.34	0.0052	DIN/DIP	Station	0.33	0.7204
	Season	9.23	<.0001		Season	12.26	<.0001		Season	4.18	0.0063

Table 2. Spearman's correlation coefficient among water quality parameters and principal component scores using the spatial means of seasonal data from 1976 to 2010 in the Yeolja Bay of South Sea. The principal component scores for axes I and II in Fig. 2

Parameter \ PCA	PCA I	PCA II	PCA III
W.T.	0.8462 0.0005	-0.0350 0.9141	-0.4825 0.1121
Salinity	-0.9511 <.0001	-0.1748 0.5868	0.1608 0.6175
pH	-0.7483 0.0051	-0.5105 0.0899	0.1469 0.6488
DO	-0.9021 <.0001	0.0629 0.8459	0.4266 0.1667
COD	0.2518 0.4299	0.9371 <.0001	-0.1329 0.6806
NH ₄ ⁺ -N	0.8807 0.0002	0.4211 0.1729	0.0561 0.8624
NO ₂ ⁻ -N	0.7981 0.0019	-0.0215 0.9472	-0.0215 0.9472
NO ₃ ⁻ -N	0.8184 0.0011	-0.0106 0.9740	0.2081 0.5163
DIN	0.8811 0.0002	0.0909 0.7787	0.2028 0.5273
PO ₄ ³⁻ -P	0.6989 0.0114	-0.2033 0.5264	0.2995 0.3442
SS	-0.6084 0.0358	0.4965 0.1006	0.2238 0.4845
% of variance explained	66.77	15.29	8.82

대로 연변화가 큰 경향이였으며, 2000년이후는 대체로 평활한 수준이였다가 2010년에는 평균 15.66±2.42℃로 낮은 경향이였다. 변동계수는 1978년에 불규칙한 조사로 81.60%로 높았었고, 그 외 조사기간에는 대체로 비슷한 분산량을 나타내었다(Table 5, Fig. 4).

2) 염분

염분은 Table 2, Table 3 및 Fig. 2와 같이 정점 간에는 평균은 31.41±0.21(정점 1)~32.46±0.13(정점 3)으로 만 내측에서 연안역으로 갈수록 높아져 정점 간 차이가 컸으며(p<0.0001), 특히 인근연안인 목포연안, 곰소만, 새만금, 군산연안보다 높은 염분을 나타내었다(Table 3, Table 6, Fig. 3). 정점 내에서의 변동계수는 4.67~7.62%로 비교적 낮았으며 아산연안 4.06~8.99

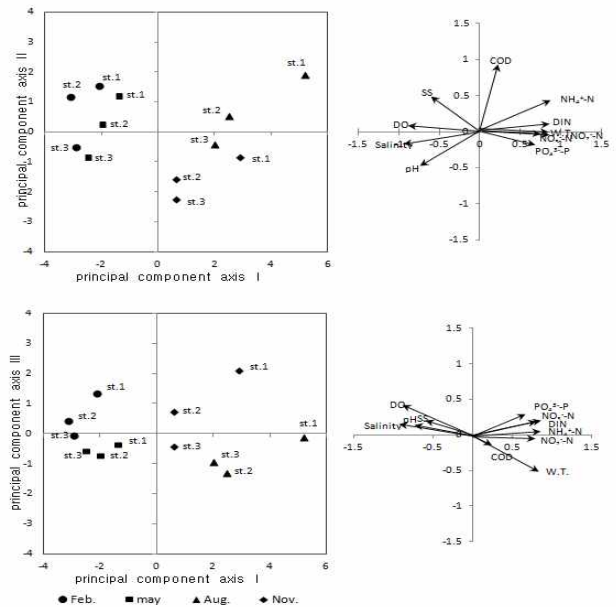


Fig. 2. Principal component ordination using the seasonal water quality of stations from 1976 to 2010 in the Yeolja Bay of South Sea. The correlations between the PCA scores and the analysed variables are expressed with vectors.

%, 천수만 4.40~5.58%, 인천연안의 6.35~8.65%과 비슷한 분산량을 나타내었고, 목포연안 3.27~25.47%, 군산연안 9.56~46.23%에 비해서는 낮았었다. 월별로는 평균 30.06±0.25(8월)~33.25±0.09(2월)로 계절별 큰 차이를 보였으며(p<0.0001), 변동계수는 여름철(8월)이 8.17%로 약간 높았고 그 외 조사월은 2.55(2월)~8.17(8월)% 범위로 여름철을 제외하고는 매우 낮은 변동폭을 나타내었다(Table 4, Fig. 3). 연도별 변동 양상은 전반적으로 불규칙한 변곡선 형태를 보이고 있으며 연 0.0403정도 낮아지는 경향을 나타내었다(Table 5, Fig. 4). 그중 1999년에는 29.05±0.59로 가장 낮았었고, 1994년에는 33.66±0.17에는 가장 높아 1990년대에는 증감폭이 큰 상태이였으나, 그 외 조사에서는 대체로 약간의 증감을 반복하면서 약간씩 낮아지는 경향이였다.

3) 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 정점 간 평균이 8.07±0.02(정점 1)~8.10±0.02(정점 2, 3)로 정점 간 유의적인 차이가 없이(p=0.4289) 고른 농도분포를 보여 목포연안(박 등, 2010), 천수만(박 등, 2006), 아산연안(박 등, 2007)과 같은 상태이었다. 변동계수는 2.23~2.42%로 목포연안, 인천연안(박 등, 1999; Park and Park, 2000), 아산연안, 가로림만(박 등, 2009) 및 천수만과 마찬가지로 전 수질항목 중 가장 적었다(Table 3, Table 6, Fig. 3). 계절별로는 평균 8.06±0.02(8월)~8.11±0.02(5월)로 유의적인 차이가 없었다(p=0.2019). 변동계수는 1.87(11월)~2.59%(2월)로 다른 항목에 비해 낮았다(Table 4, Fig. 3). 연도별 변동 양상은 전반적으로 년 0.0002 정도 낮아지고 변곡선 형태를 보이고 있다. 1976년 7.65±0.12로 가장 낮았으며 그 후 증감을 반복하면서 전반적으로 증가 추세로 1988년에는 8.28±0.06으로 최고치를 보이다가 그 후 증감을 반복하면서 낮아지는 추세를 나타내다가 2000년 이후 연간 변동 폭이 불규칙한 상태로 목포연안(박 등, 2010)과 마찬가지로 근년에 육수에 의한 영향 강도가 높아지는 것으로 사료된다(Table 5, Fig. 4).

4) 용존산소(DO)

용존산소는 정점별 평균이 8.63±0.17 mg/L(정점 1)~8.66±0.18 mg/L(정점 2)로 정점 간의 차이는 거의 없었으며 변동계수는 21.11(정점 3)~23.32%(정점 2)로 아산연안 21.90~24.17%(박 등, 2007), 천수만 19.50~20.04%(박 등, 2006), 인천연안 19.79~23.77%, 군산연안 19.47~24.63%, 목포연안 19.77~28.06%에 비해 비슷한 분산량을 나타내었다(Table 3, Fig. 3). 계절별로는 6.76±0.12 mg/L(8월)~10.75±0.11 mg/L(2월)로 큰 차이를 보였으며(p<0.0001), 천수만, 아산연안, 군산연안 및 목포연안과 비슷한 상태로서 일반적인 특징인 수온이 낮은 겨울철에 높은 값을 보이고 하절기에는 낮은 값을 나타내었다(Table 4, Table 6, Fig. 3). 변동계수는 10.26(2월)~18.68(11월)%로 목포연안과 마찬가지로 계절별 변동 폭이 정점별 변동 폭보다 낮았다. 연도별 변동 양상은 1976년에는 9.85±0.66 mg/L이었으나 증감을 반복하면서 점차 낮아져 1996년에는 7.59±0.72 mg/L로 낮은 상태이었다가 불규칙적으로 점차 높아지는 경향으로 2003년에는 10.10±0.59 mg/L로 가장 높은 상태이후 변화 폭이 커져 2008년에는 6.83±0.76 mg/L로 가장 낮은 상태이었으며 그 후 높아져 2010년에는 9.48±0.55 mg/L를 유지하고 있었다. 변동계수는 11.52~38.55%로 가로림연안보다는 약간 높았고, 아산연안, 천수만 및 목포연안과 비슷하였으며 군산연안보다는 낮은 변동 폭을 나타내었다(Table 5, Fig. 4).

5) 화학적 산소요구량(COD)

화학적 산소요구량은 정점별 평균이 1.19±0.05 mg/L(정점 3)~1.57±0.07 mg/L(정점 1)로 정점 간 높은 유의적인 차이가 있었으며(p<0.0001), 여자만 내측의 정점 1과 중간역의 정점 2 및 만입구인 정점 3의 세 그룹으로 구분되어지는 특징을 나타내었다(Table 3, Fig. 3). 변동계수는 46.86(정점 2)~53.28%(정

점 1)로 가로림연안의 39.77~46.57%보다 약간 높은 변동폭을 나타내었고, 천수만의 50.88~64.91%에 비해 약간 낮았으며, 아산연안 50.37~57.60%(박 등, 2007), 인천연안 45.91~52.71%(박 등, 1999; Park and park, 2000), 군산연안 43.17~53.19%(박 등, 2009) 및 목포연안 45.40~62.17%과 유사한 변동 폭을 나타내었다. 계절별로는 평균 1.12±0.05 mg/L(11월)~1.63±0.08 mg/L(8월)로 높은 유의적 차이가 있었으며(p<0.0001), 변동계수는 45.04(11월)~58.23%(2월)로 목포연안 43.88~60.22%, 천수만 51.09~67.37% 및 아산연안 48.21~65.29%와 비슷한 상태이었다(Table 4, Table 6, Fig. 3). 연도별 변동 양상은 대체로 연간 0.024 mg/L씩 증가하는 변곡선 형태를 나타내었다. 1976년에는 1.58±0.09 mg/L로 다소 높았으며 그 후 1.00 mg/L의 양호한 상태를 유지하다가 1980년대 중반부터 증감을 반복하면서 점차 높아져 2003년에는 2.23±0.34 mg/L로 조사기간 동안 가장 높은 상태이었고 그 후 불규칙하게 감소경향으로 2010년에는 1.32±0.12 mg/L를 유지하고 있었다. 변동계수는 19.94%(1976년)~70.76%(1980년)범위로 1990년 후반 이후 연간 변동폭의 변화가 큰 경향을 나타내었다(Table 5, Fig. 4).

6) 부유물질

부유물질은 정점별 평균 12.0±1.3 mg/L(정점 3)~16.8±1.8 mg/L(정점 2)로 정점 간 유의적인 차이가 없었다(p=0.0721). 변동계수는 115.48(정점 1)~125.08%(정점 3)로 천수만, 아산연안, 가로림연안 및 목포연안에 비해 변동 폭이 약간 큰 상태이었다(Table 3, Fig. 3). 계절별로는 11.5±1.3 mg/L(11월)~18.6±2.0 mg/L(2월)로 계절별 유의적인 차이가 있었다(p=0.0134). 이러한 현상은 겨울에 북서계절풍의 영향으로 높고 여름에 낮은 서해안의 일반적인 현상과 약간 다른 경향으로 가을과 여름철이 낮은 상태이었다. 변동계수는 90.05(8월)~145.23%(5월)로 봄철이 다른 계절에 비해 높은 분산량을 나타내었다(Table 4, Fig. 3). 연도별 변동양상은 연 0.750 mg/L 높아지는 특징을 나타내었으며 그중 조사초기인 1976년부터 1992년까지 평균 2.2±0.2(1978년)~13.0±3.8 mg/L(1989년)로 상대적으로 낮은 상태이었으나 그 후 증감폭이 증가하면서 점차 증가추세로서 2009년에는 62.7±15.1 mg/L로 최고치를 나타내었으며 2010년에는 18.2±2.3 mg/L를 유지하고 있었다. 2009년에는 특히 5월에 128.4~147.2 mg/L로, 2월에 34.0~104.4 mg/L로 높은 상태이었다. 변동계수는 13.32%(1978년)~108.01%(1993년)범위로 1980년대 후반부터 증가폭이 증가하였다가 1990년대 후반부터 비교적 변동 폭이 적었으나 2000년대 중반에 다시 증가하였다가 근년에 점차 감소 추세로 증감을 반복하여 2010년에는 43.74%를 나타내고 있었다(Table 5, Fig. 4).

7) 인산인(PO₄³⁻-P)

인산인은 정점별 평균 0.016±0.001 mg/L(정점 2)~0.019±0.002 mg/L(정점 1)로 정점 간 유의적인 차이가 없었다(p=0.3555). 고성만의 0.045 mg/L(권, 2010)에 비해 40% 수준이었으나 목포연안, 새만금연안 및 아산만과 유사하였고, 천수만

Table 3. Descriptive statistics of water quality parameters at the sampling stations collected in February, May, August, and November from 1976 to 2010 in the Yeolja Bay of South Sea

Variable	St.	N	Mean±SE	Range	CV(%)	Group	Variable	St.	N	Mean±SE	Range	CV(%)	Group
W.T.(°C)	1	127	15.19±0.75	1.63 ~ 30.75	55.56	A	PO ₄ ³⁻ -P(mg/L)	1	114	0.019± 0.002	0.000~0.086	90.46	A
	2	122	15.50±0.75	1.05 ~ 30.70	53.66	A		2	114	0.016± 0.001	0.000~0.083	86.13	A
	3	134	15.08±0.65	0.35 ~ 29.35	49.69	A		3	122	0.016± 0.002	0.000~0.140	111.92	A
Salinity	1	127	31.41±0.21	22.48 ~ 34.45	7.62	C	NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	1	114	0.042± 0.008	0.002~0.793	195.17	A
	2	122	31.97±0.17	25.84 ~ 34.83	5.79	B		2	113	0.025± 0.002	0.001~0.245	103.79	B
	3	134	32.46±0.13	26.56 ~ 34.65	4.67	A		3	122	0.022± 0.001	0.002~0.117	72.89	B
pH	1	127	8.07±0.02	7.10 ~ 8.50	2.42	A	NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	1	115	0.008± 0.001	0.000~0.076	141.67	A
	2	122	8.10±0.02	7.18 ~ 8.50	2.29	A		2	115	0.008± 0.001	0.000~0.102	154.02	A
	3	134	8.10±0.02	7.33 ~ 8.51	2.23	A		3	123	0.007± 0.001	0.000~0.059	121.96	A
DO(mg/L)	1	126	8.63±0.17	4.01 ~ 13.14	22.12	A	NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	1	115	0.045± 0.007	0.000~0.476	164.76	A
	2	122	8.66±0.18	3.74 ~ 14.64	23.32	A		2	115	0.036± 0.005	0.000~0.272	137.06	A
	3	134	8.65±0.16	3.66 ~ 12.81	21.11	A		3	123	0.033± 0.004	0.001~0.231	128.02	A
COD(mg/L)	1	127	1.57±0.07	0.24 ~ 4.74	53.28	A	DIN(mg/L)	1	114	0.095± 0.011	0.003~0.802	127.82	A
	2	121	1.37±0.06	0.32 ~ 4.25	46.86	B		2	113	0.068± 0.006	0.004~0.372	93.85	B
	3	134	1.19±0.05	0.29 ~ 3.07	47.13	C		3	122	0.061± 0.005	0.003~0.304	81.95	B
SS(mg/L)	1	134	16.1±1.6	0.9~129.6	115.48	A	DIN/DIP	1	111	24.36± 5.49	0.65 ~ 551.15	237.48	A
	2	123	16.8±1.8	0.6~147.2	120.25	A		2	108	22.65± 6.08	1.05 ~ 623.32	278.73	A
	3	134	12.0±1.3	0.5~128.4	125.08	A		3	120	18.86± 3.23	0.20 ~ 336.10	187.57	A

Table 4. Descriptive statistics of water quality parameters in February, May, August, and November at three sampling stations from 1976 to 2010 in the Yeolja Bay of South Sea

Variable	Mon	N	Mean±SE	Range	CV(%)	Group	Variable	Mon	N	Mean±SE	Range	CV(%)	Group
W.T.(°C)	2	99	4.58 ± 0.15	0.35 ~ 8.25	32.96	D	PO ₄ ³⁻ -P(mg/L)	2	87	0.014 ± 0.002	0.000 ~ 0.085	111.24	B
	5	93	14.75 ± 0.35	9.38 ~ 21.06	22.87	C		5	87	0.015 ± 0.002	0.000 ~ 0.094	104.74	AB
	8	95	26.30 ± 0.20	22.45 ~ 30.75	7.47	A		8	89	0.017 ± 0.002	0.002 ~ 0.140	105.40	AB
	11	96	15.79 ± 0.17	10.65 ~ 20.15	10.82	B		11	87	0.021 ± 0.002	0.001 ~ 0.086	70.51	A
Salinity	2	99	33.25 ± 0.09	29.07 ~ 34.75	2.55	A	NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	2	87	0.021 ± 0.002	0.003 ~ 0.122	87.25	B
	5	93	32.99 ± 0.12	28.12 ~ 34.83	3.51	A		5	90	0.021 ± 0.002	0.002 ~ 0.088	69.06	B
	8	95	30.06 ± 0.25	22.48 ~ 34.55	8.17	C		8	89	0.043 ± 0.009	0.001 ~ 0.793	201.46	A
	11	96	31.50 ± 0.12	27.42 ~ 33.69	3.66	B		11	83	0.033 ± 0.005	0.002 ~ 0.297	135.52	AB
pH	2	99	8.10 ± 0.02	7.10 ~ 8.38	2.59	A	NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	2	87	0.005 ± 0.001	0.000 ~ 0.020	100.97	B
	5	93	8.11 ± 0.02	7.41 ~ 8.46	2.14	A		5	90	0.004 ± 0.000	0.000 ~ 0.029	104.32	B
	8	95	8.06 ± 0.02	7.41 ~ 8.51	2.55	A		8	89	0.011 ± 0.002	0.000 ~ 0.102	149.53	A
	11	96	8.09 ± 0.02	7.56 ~ 8.40	1.87	A		11	87	0.011 ± 0.001	0.001 ~ 0.055	99.72	A
DO(mg/L)	2	99	10.75 ± 0.11	6.15 ~ 13.14	10.26	A	NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	2	87	0.026 ± 0.005	0.001 ~ 0.301	181.86	B
	5	93	8.92 ± 0.12	6.35 ~ 12.14	12.70	B		5	90	0.020 ± 0.002	0.001 ~ 0.087	93.29	B
	8	95	6.76 ± 0.12	4.60 ~ 11.14	17.26	D		8	89	0.056 ± 0.009	0.000 ~ 0.476	145.15	A
	11	95	8.06 ± 0.16	3.66 ~ 14.64	18.68	C		11	87	0.050 ± 0.006	0.001 ~ 0.235	107.54	A
COD(mg/L)	2	99	1.38 ± 0.08	0.24 ~ 4.74	58.23	B	DIN(mg/L)	2	87	0.052 ± 0.006	0.007 ~ 0.321	105.38	B
	5	93	1.37 ± 0.07	0.35 ~ 3.43	47.67	B		5	90	0.046 ± 0.003	0.006 ~ 0.112	54.96	B
	8	95	1.63 ± 0.08	0.52 ~ 4.31	45.11	A		8	89	0.105 ± 0.013	0.003 ~ 0.802	119.24	A
	11	95	1.12 ± 0.05	0.29 ~ 3.48	45.04	C		11	83	0.096 ± 0.009	0.011 ~ 0.496	86.16	A
SS(mg/L)	2	100	18.6 ± 2.0	0.5 ~ 104.4	105.00	A	DIN/DIP	2	83	18.08 ± 2.91	1.47 ~ 140.25	146.47	B
	5	94	17.1 ± 2.6	0.6 ~ 147.2	145.23	AB		5	86	14.99 ± 1.62	0.65 ~ 74.18	100.20	B
	8	97	12.5 ± 1.1	1.0 ~ 66.3	90.05	B		8	87	38.81 ± 10.40	0.20 ~ 623.32	249.90	A
	11	100	11.5 ± 1.3	1.5 ~ 76.8	113.04	B		11	83	15.02 ± 1.94	1.22 ~ 111.83	117.53	B

과 곰소만에 비해 다소 높은 상태이었으며 인천 과 경기만 및 군산연안에 비해 약간 낮은 상태이었다(Table 3, Fig. 3). 변동계수는 86.13(정점 2)~111.92%(정점 3)로 만 입구측이 내측에 비해 변동 폭이 약간 큰 상태이었다. 계절별로는 0.014±0.002 mg/L(2월)~0.021±0.002 mg/L(11월)로 대체로 겨울철에 낮았고 가을철이 높아 유의적인 차이(p=0.0438)가 있었는데, 이것은 목포연안, 아산연안(박 등, 2007) 과 천수만(박 등, 2006) 및 군산

연안과 같은 경향이었다. 변동계수는 70.51(11월)~111.24%(2월)로 서해 연안인 아산연안 및 가로림연안에 비해 변동 폭이 20~40 % 큰 수준이었고, 목포연안, 군산연안 및 경기만(박 등, 1999; Park and park, 2000)에 비해 변동 폭이 약간 적은 수준이었으며 천수만과 비슷한 수준이었다(Table 4, Table 6, Fig. 3). 연도별 변동 양상은 1980년 0.011±0.004 mg/L로 1990년까지 증감을 반복하면서 0.013±0.001 mg/L이었으나 그 후 2001년까지

여자만 수질환경의 특성과 장기변동

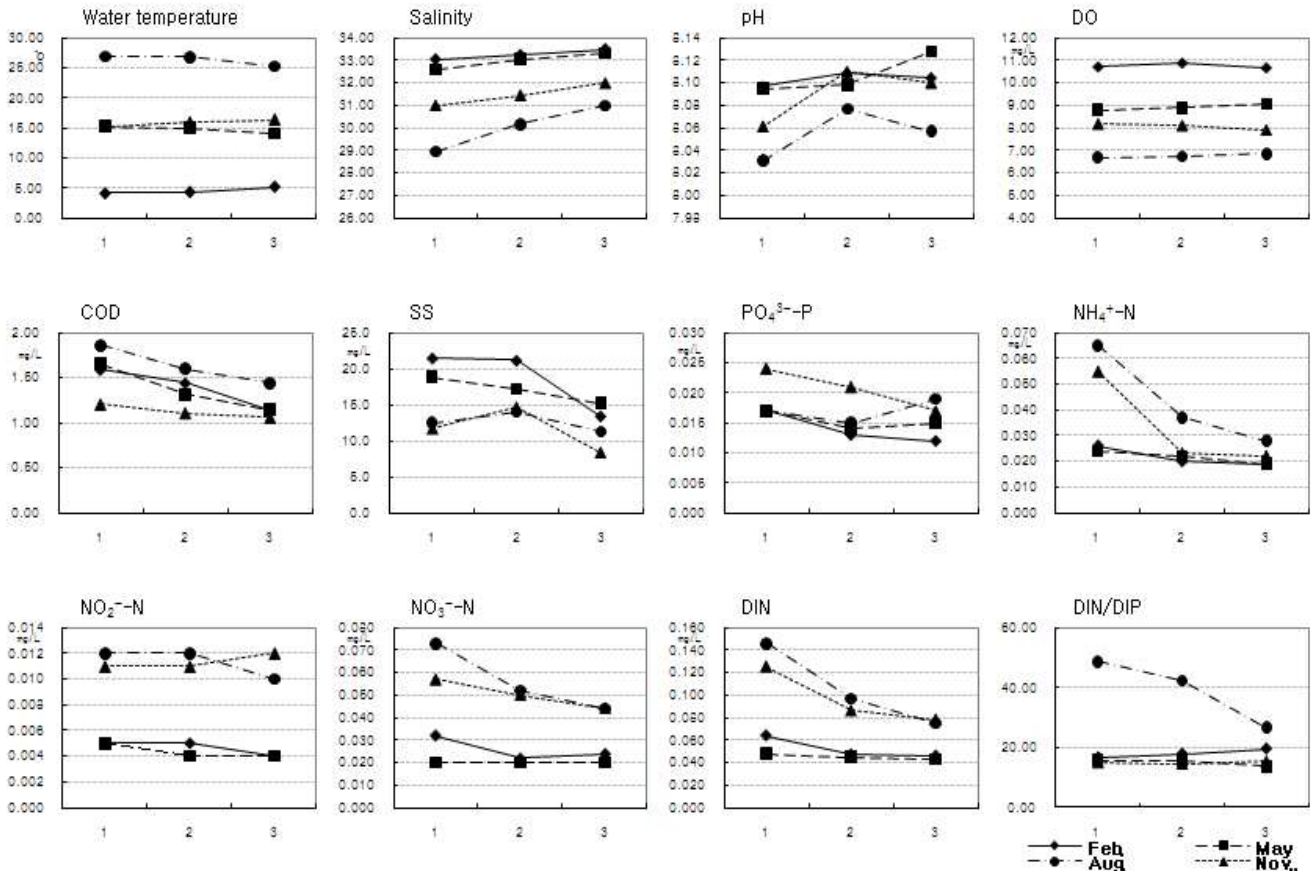


Fig. 3. Seasonal tendency of water quality in three stations from 1976 to 2010 in the Yeolja Bay of South Sea.

지 불규칙적으로 증가하여 0.043 ± 0.005 mg/L로 조사기간 중 가장 높은 농도를 보이다가 2002년 이후 급격히 불규칙적으로 감소하여 2010년에는 0.008 ± 0.001 mg/L로 낮은 수준을 나타내었다(Table 5, Fig. 4).

8) 암모니아질소(NH_4^+-N)

암모니아질소는 정점별 평균 0.022 ± 0.001 mg/L(정점 3)~ 0.042 ± 0.008 mg/L(정점 1)로 내측인 정점 1이 그 외 정점인 2, 3에 비해 대략 2배정도 높은 상태로 정점 간 유의적인 차이가 있었다($p=0.0049$). 인천연안(박 등, 1999; Park and Park, 2000) 측정치에 비해 10% 수준, 군산연안의 25% 수준, 아산연안과 천수만의 50% 수준으로 낮은 반면 고평만, 가로림연안, 목포연안 및 고성만(권, 2010)과 유사한 결과를 나타내었다(Table 3, Table 6, Fig. 3). 변동계수는 72.89(정점 3)~195.17%(정점 1)로 내측으로 갈수록 변동 폭이 큰 상태이었다. 계절별로는 0.021 ± 0.002 mg/L(2, 5월)~ 0.043 ± 0.009 mg/L(8월)로 겨울철~봄철과 여름철 및 가을철의 세 그룹으로 구분되어지는 상태로 유의적인 차이가 있었다($p=0.0106$). 변동계수는 69.06(5월)~201.46%(8월)로 여름철이 다른 계절에 비해 변동 폭이 월등히 높았다(Table 4, Fig. 3). 연도별 변동 양상은 단계별 변곡선 형태를 보이고 있어 1980년부터 1983년까지는 0.013 ± 0.001 ~ 0.015 ± 0.002 mg/L 수준으로 낮았다가 그 후 1988년까지는

0.019 ± 0.003 ~ 0.027 ± 0.006 mg/L 수준으로 약간 높아진 상태이었고, 1989년에는 0.055 ± 0.009 mg/L로 높아진 후 불규칙적으로 증감을 반복하며 낮아져 1995년에는 0.020 ± 0.004 mg/L이었다가 1996년에는 8월 내측인 정점 1의 0.793 mg/L의 고농도로 인하여 0.125 ± 0.063 mg/L로 가장 높았다. 그 후 점차 불규칙적으로 증감을 반복하면서 감소하여 2004년에는 0.011 ± 0.001 mg/L로 낮아진 후 다시 증가하여 2008년에는 0.042 ± 0.018 mg/L이었으나, 그 후 다시 낮아져 2010년에는 0.006 ± 0.003 mg/L로 조사기간 중 가장 낮은 상태이었다(Table 5, Fig. 4).

9) 질산질소(NO_3^--N)

질산질소는 정점별 평균이 0.033 ± 0.004 mg/L(정점 3)~ 0.045 ± 0.007 mg/L(정점 1)로 정점별 유의적인 차이가 없었다($p=0.225$). 인천연안 0.338 mg/L(박 등, 1999; Park and Park, 2000), 군산연안 0.437 mg/L(박 등, 2009)의 9~11% 수준, 아산연안 0.180 mg/L(박 등, 2007), 목포연안 0.102 mg/L 및 고성만 0.099 mg/L(권, 2010)의 20~40% 수준 이었고, 천수만(박 등, 2006)과 유사한 농도를 나타내었다(Table 3, Table 6, Fig. 3). 변동계수는 128.02%(정점 3)~164.76%(정점 1)로 만 입구로 갈수록 분산량이 약간씩 적었다. 계절별로는 일반적으로 연안역에서 봄철과 여름철에는 낮고 늦은 가을과 겨울철에는 높은 상태인 것으로 알려져 있으나(Gentilhomme and Lizon, 1998;

mg/L이었다가 1984년에는 0.005±0.001 mg/L로 가장 낮았었다. 그 후 약간씩 증감을 반복하면서 1993년에는 0.034±0.008 mg/L로 높았었으나 1994년부터 1996년까지는 0.007±0.003~0.013±0.003 mg/L로 낮은 농도를 나타내다가 그 후 불규칙하면서도 농도가 급격히 증가하여 2002년에는 0.139±0.039 mg/L로 최대치를 보였으며, 특히 2010년에는 0.013±0.005 mg/L로 낮은 상태를 나타내었다(Table 5, Fig. 4).

10) 용존무기질소(DIN)

용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 산출하였으며, 그 기여도에 있어 질산질소는 50.00%, 암모니아질소는 39.47%, 아질산질소는 10.53%이었다. 정점별 평균은 0.061±0.005 mg/L(정점 3)~0.095±0.011 mg/L(정점 1)로 유의적인 차이가 있어(p=0.0052) 내만측인 정점 1과 그 외 정점의 두 그룹으로 구분되어지는 특징을 보였다. 타 연안역과 비교하여 살펴보면, 인천연안의 0.665 mg/L(Park and park, 2000)에 비해 12%, 아산연안 0.258 mg/L(박 등, 2007)의 30%, 목포연안 0.149 mg/L, 고성만 0.143 mg/L(권, 2010)의 50% 수준이었고, 고평소만(양 등, 2003)의 0.114 mg/L, 천수만의 0.098 mg/L(박 등, 2006)과 보다는 20~30%정도 낮은 농도를 나타내었다(Table 3, Table 6, Fig. 3), 변동계수는 81.95(정점 3)~127.82%(정점 1)로 만입구로 갈수록 분산량이 적었다. 계절별로는 봄철인 5월이 평균 0.046±0.003 mg/L로 낮았었고 여름철인 8월이 0.105±0.013 mg/L로 높았으며 질산질소와 마찬가지로 겨울철~봄철 및 여름철~가을철로 양분되는 특징으로 높은 유의적 차이

(p<0.0001)가 있었다. 변동계수는 54.96(5월)~119.24%(8월)로 봄철이 다른 계절에 비해 변동 폭이 낮은 상태이었다(Table 4, Fig. 3). 연도별 변동 양상은 질산질소와 유사한 변곡선 형태를 나타내었으며 전반적으로 연 0.0027 mg/L 정도 증가하는 경향을 보여 주었다. 1980년에는 0.023±0.003 mg/L 이었다가 점차 약간씩 높아져 1988년에 0.043±0.007 mg/L이었으며, 그 후 증감 폭이 증가하여 1993년에는 0.087±0.013 mg/L로 높아진 후 1994년과 1995년에는 0.037±0.006 mg/L과 0.041±0.007 mg/L로 낮아졌다. 1996년부터 큰 폭으로 증가와 감소를 반복하여 2002년에는 0.179±0.051 mg/L로 조사기간 중 가장 높았었으며, 2003년부터 2005년까지는 1990년대 중반과 유사하게 낮아져 0.040±0.008~0.074±0.012 mg/L를 나타낸 후 불규칙한 증가추세이었다가 2010년에는 0.022±0.007 mg/L로 매우 낮은 농도를 나타내었다(Table 5, Fig. 4).

11) DIN/DIP 비

DIN/DIP 비의 정점별 평균은 18.86±3.23(정점 3)~24.36±5.49(정점 1)로 정점간 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다(p=0.7204). 군산연안의 89.92(박 등, 2009), 경기만의 52.50(Park and Park, 2000), 아산연안의 54.99(박 등, 2007) 및 목포연안 35.52(박 등, 2010)에 비해 낮았고, 천수만의 27.31(박 등, 2006) 및 가로림연안의 21.40(박 등, 2009)과 비슷한 상태이었다(Table 3, Table 6, Fig. 3). 변동계수는 187.57(정점 3)~278.73%(정점 2)로 만 입구측이 상대적으로 낮은 변동을 나타내었다. 계절별로는 14.99±1.62(봄철)~38.81±10.40(여름철)

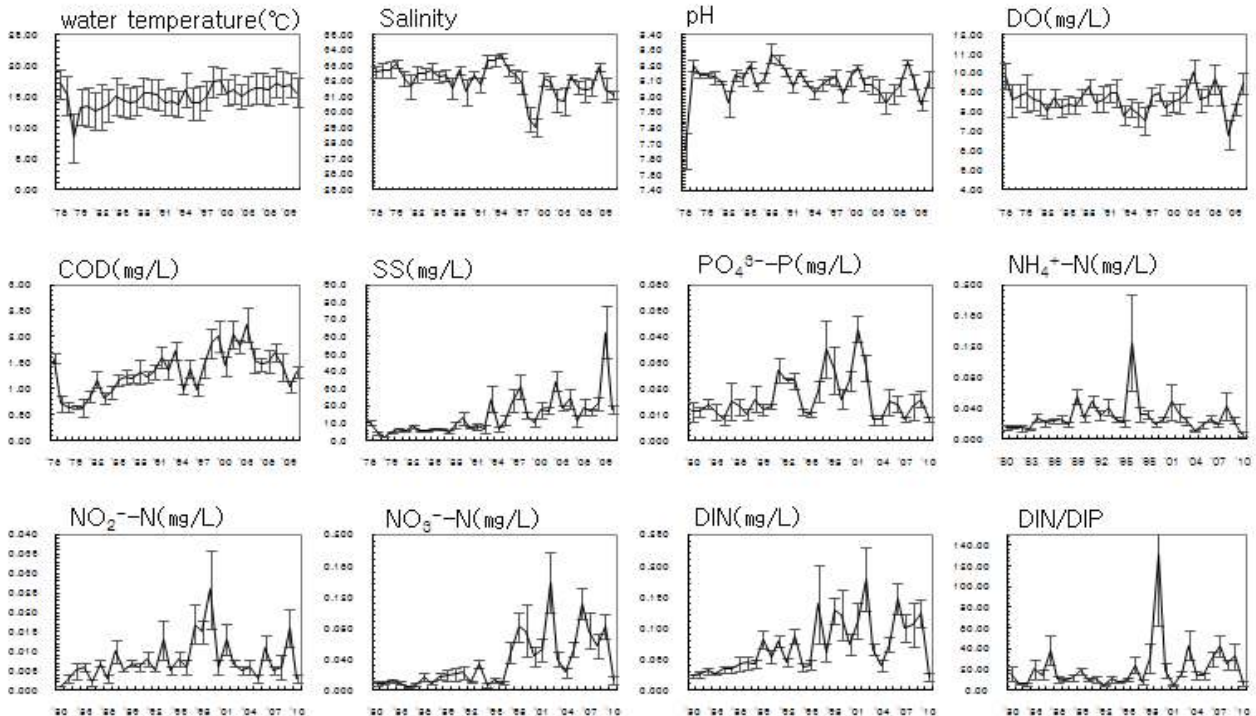


Fig. 4. Annual trends of water quality from 1976 to 2010 in the Yeolja Bay of South Sea. Values are station means by years and vertical bars indicate one standard error of the station mean data.

여자만 수질환경의 특성과 장기변동

Table 6. 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 ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -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
Gunsan costal area	24.74	0.120	0.019	0.297	0.436	0.027	89.92	Park <i>et al.</i> , 2009	1972~2006
Garolim costal area	31.47	0.029	0.005	0.140	0.174	0.018	21.40	Park <i>et al.</i> , 2009	1997~2008
Mokpo costal area	30.95	0.032	0.016	0.102	0.149	0.017	35.52	Park <i>et al.</i> , 2010	1979~2009
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
Goseong Bay	32.49	0.030	0.015	0.099	0.143	0.045	7.00	Kwin., 2010	1987~2009

범위로 여름철과 그 외 계절로 양분되어 높은 유의적인 차이가 있었다(p=0.0063). 전반적으로 여름철에는 DIN /DIP 비가 Redfield ratio(Redfield et al., 1963)인 16이상으로 인산인이 식물플랑크톤의 제한요인으로 작용하고 있어 인산인의 외부유입이 있을시 적조의 대량 발생이 우려되나 그 외 계절에서는 16에 가까운 상태를 나타내었다. 변동계수는 100.20(봄철)~249.90%(여름철)로 여름철은 변동폭이 크나 그 외 조사월은 비슷한 변동 폭을 나타내었다(Table 4, Fig. 3). 연도별 변동양상은 전반적으로 연간 0.6171 정도씩 증가 경향으로 1980년에는 16.30±7.00이었고 그 후 완만하게 증감을 반복하였으나 1999년에는 130.46±67.50로 특히 높았으며 그 후 낮아져 2001년에는 5.29±0.85이었다. 그 후 증감을 반복하여 증가하였으나 2007년 42.95±9.97을 기점으로 낮아져 2010년에는 6.60±2.08로 용존무기질소가 제한요인으로 작용하고 있는 것으로 나타내었다(Table 5, Fig. 4). 특히 2010년에 이러한 상태에서 용존무기질소가 0.022±0.007 mg/L로 김 엽체의 생육에 필요한 최저 필요 용존무기질소인 0.070 mg/L(小谷祐一, 2010)에 비하여 현저하게 낮은 상태를 나타내었다.

3.3 수질항목간의 상관성

35년간의 수질자료(n=350~383)를 통하여 항목간의 상관분석 결과 수온은 아질산질소, 용존무기질소와는 양의 상관성이 있는 반면 염분, 용존산소와 음의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 염분은 용존산소와 양의 상관성이 있는 반면, 화학적산소요구량, 아질산질소, 질산질소 및 용존무기질소와는 음의 상관성이 있어 육수의 영향에 따라 다소 변화하는 것으로 사료된다. 수소이온농도는 질산질소와 음의 상관성이 있었다. 용존산소는 아질산질소와 음의 상관성이 있었고, 화학적산소요구량은 질산질소와 양의 상관성이 있었다. 인산인은 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소 및 용존무기질소와 양의 상관성이 있었고, 아질산질소는 질산질소와 양의 상관성이 입증되었다(Table 7). 그 중에서 염분은 수온과 음의 상관성을 보이고 계절별로 유의적인 차이를 나타내었고, 용존산소와는 양의 상관성을, 화학적산소요구량, 아질산질소 및 질산질소와는 음의 상관성을 나타내었다(Fig. 5). 이러한 결과는 가로림연안 및 천수만과 유사한 경향으로 육수의 영향에 따라 다소 변화되고 있음을 시사하고 있다.

Table 7. Pearson's correlation analysis among water quality parameters in the Yeoja Bay of South Sea from 1976 to 2010

	Salinity	pH	DO	COD	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P	SS	DIN/DIP
W.T	-0.5990	-0.1306	-0.7373	0.1288	0.1484	0.2058	0.2010	0.2322	0.0398	-0.0506	0.1544
	<.0001	0.0105	<.0001	0.0117	0.0055	<.0001	0.0001	<.0001	0.4577	0.3229	0.0044
Salinity		0.1346	0.4005	-0.3146	-0.1370	-0.3362	-0.4411	-0.3962	-0.0981	0.0741	-0.3458
		0.0083	<.0001	<.0001	0.0104	<.0001	<.0001	<.0001	0.0668	0.1478	<.0001
pH			0.1361	0.0107	-0.0151	-0.0891	-0.2277	-0.1973	-0.0325	-0.0575	-0.0719
			0.0077	0.8357	0.7790	0.0945	<.0001	0.0002	0.5449	0.2614	0.1868
DO				0.0805	-0.1672	-0.2154	-0.1772	-0.2336	-0.1369	0.0814	-0.0507
				0.1167	0.0017	<.0001	0.0008	<.0001	0.0104	0.1120	0.3519
COD					0.0445	0.1753	0.2137	0.1745	0.1100	0.1116	0.2927
					0.4073	0.0010	<.0001	0.0011	0.0399	0.0292	<.0001
NH ₄ ⁺ -N						0.0774	0.0944	0.6800	0.2096	0.1212	0.0591
						0.1491	0.0784	<.0001	<.0001	0.0235	0.2782
NO ₂ ⁻ -N							0.5023	0.4738	0.2734	-0.0364	0.5444
							<.0001	<.0001	<.0001	0.4952	<.0001
NO ₃ ⁻ -N								0.7725	0.3379	0.0990	0.3903
								<.0001	<.0001	0.0633	<.0001
DIN									0.3374	0.1263	0.3746
									<.0001	0.0183	<.0001
PO ₄ ³⁻ -P										0.0643	-0.2197
										0.2302	<.0001
SS											-0.0392
											0.4719

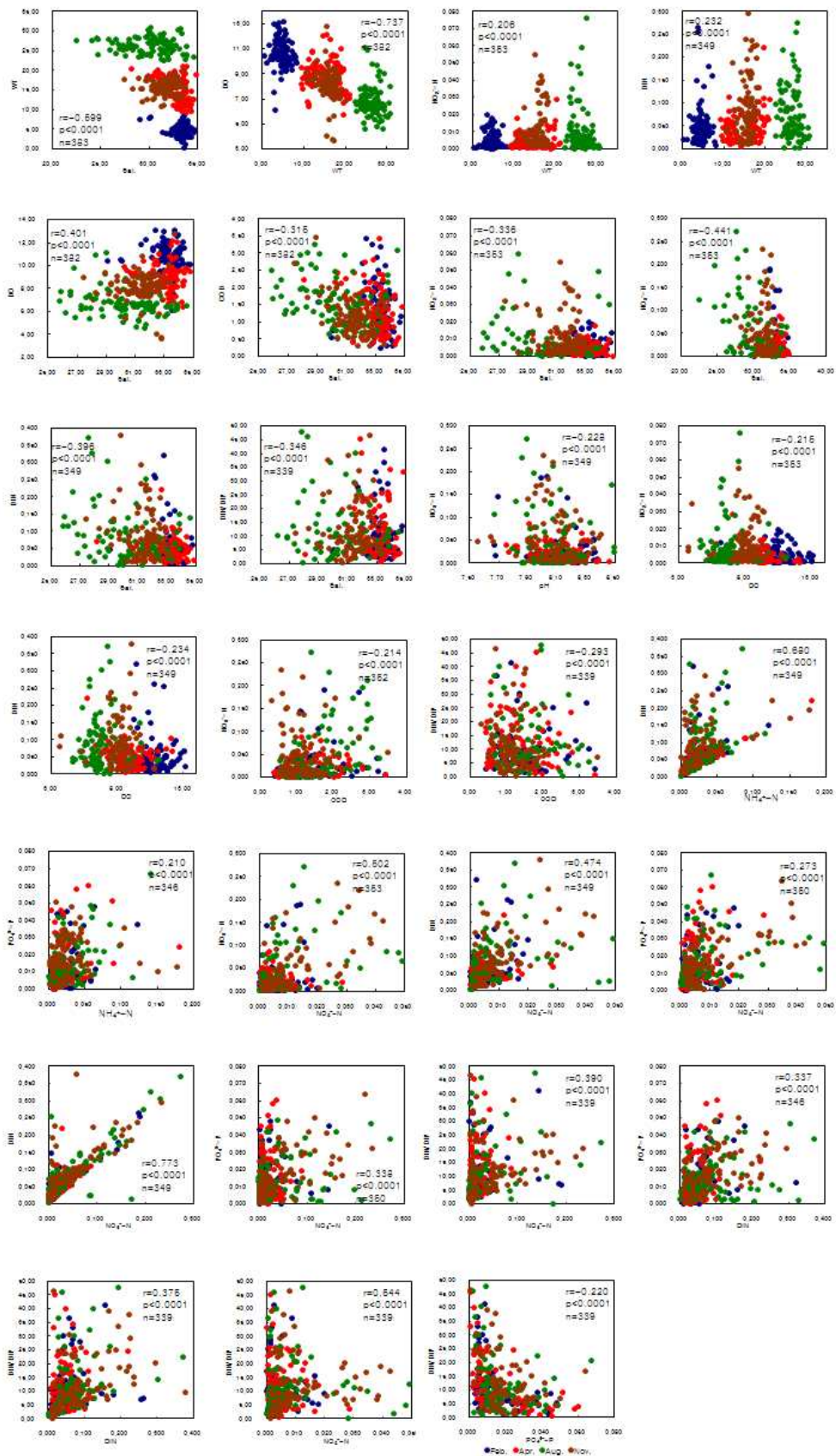


Fig. 5. Relationship among water quality parameters. All the values were double transformed with square roots for the data normality.

3.4. 수질의 장기 변동

1980년부터 2010년까지 31년간 조사한 수질환경 요인들의 경년 변동 관계를 통계적 분석을 통해 자세히 살펴보고자 항목별 연평균 자료를 이용하여 주성분분석(PCA)과 주성분 값을 이용하여 군집분석을 실시하였다. 분석에 이용된 수질 항목은 수온, 염분, pH, 용존산소, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소 및 부유물질 이었다. 주성분 I에서는 연 변화를 39.04 % 설명할 수 있었으며 이 중 <질산질소> <용존무기질소> <화학적산소요구량> <부유물질> <아질산질소> <수온> <염분> 순으로 기여하는 것으로 나타났다. 주성분 II에서는 16.99 %를 설명할 수 있었으며, 이 중 <암모니아질소> <용존산소> <인산인> 순으로 기여하고 있었다. 주성분 III에서는 11.31 %를 설명할 수 있었으며, 이 중 <수소이온농도> <인산인> 순으로 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II, III에 1 % 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 8). 주성분 I 은 질산질소, 용존무기질소, 화학적 산소요구량, 부유물질, 아질산질소 및 수온과 양의 상관성 ($p < 0.0001$), 염분과는 음의 상관성($p = 0.0003$)을 나타내었다. 주성분 II에서는 암모니아질소 및 인산인과 양의 상관성($p \leq 0.0046$), 용존산소와는 음의 상관성($p = 0.0003$)을 나타내었고, 주성분 III에서는 수소이온농도 및 인산인과 양의 상관성($p \leq 0.0014$)을 나타내었다(Fig. 6).

31년 동안 수질의 장기변동은 대체로 네 그룹으로 구분되어 지는데 즉 1996년의 I 그룹, 1999년의 II 그룹, 2009년의 III 그룹, 그 외 조사기간인 28년간의 IV 그룹이다. I 그룹은 조사중기인 1996년으로 암모니아질소가 조사기간 중 가장 높았으며, 용존 산소 및 화학적산소요구량, 영양염류인 질산질소와 용존무기질소는 상대적으로 낮은 특징을 나타내었다. II 그룹은 1999년으로 수온과 아질산질소가 조사기간 중 가장 높은 반면 염분은 가장 낮았으며, 화학적산소요구량, 질산질소 및 용존무기질소가 상대적으로 높았었다. III 그룹인 2009년에는 부유물질이 가장 높았고 수소이온농도가 월등히 낮았으며, 영양염류인 아질산질소, 질산질소 및 용존무기질소는 비교적 높은 경향이었다. IV 그룹은 대부분의 조사기간인 28년간이며 그 중에서 다시 세 소그룹으로 구분 될 수 있는데, 1991년, 1993년, 1997년~1998년, 2001년~2002년 및 2006년의 i 그룹, 2008년의 ii 그룹, 그 외 21년간의 iii 그룹이다. i 그룹은 대체로 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소, 질산질소 및 용존무기질소가 상대적으로 높았고, ii 그룹은 2008년으로 용존산소가 조사기간 중 가장 낮았으며, iii 그룹은 그 외 조사기간으로 대체로 대부분의 조사항목에서 안정된 양호한 수질 상태를 나타내었다. 본 조사연안은 1990년대에서 2000년에 초반에는 불규칙적으로 연간 변동이 큰 상태이었으며 그 후 안정화 되었으나 2010년에는 영양염류가 낮아지는 경향을 나타내었다(Table 8, Fig. 6, Fig. 7).

Table 8. Spearman's correlation coefficient among water quality parameters and principal component scores using the annual means of seasonal data from 1980 to 2010 in the Yeoja Bay of South Sea. The principal component scores for axes I, II and III in Fig. 6.

Parameter \ PCA	PCA I	PCA II	PCA III
W.T.	0.6547 <.0001	-0.3228 0.0765	-0.0994 0.5947
Salinity	-0.6042 0.0003	0.4356 0.0143	-0.0845 0.6513
pH	-0.3008 0.1001	-0.1265 0.4979	0.6375 0.0001
DO	0.2722 0.1385	-0.6029 0.0003	0.3200 0.0792
COD	0.8015 <.0001	-0.1535 0.4096	0.2336 0.2059
NH ₄ ⁺ -N	0.3245 0.0749	0.7205 <.0001	0.4069 0.0231
NO ₂ ⁻ -N	0.6570 <.0001	0.2883 0.1158	0.2952 0.1069
NO ₃ ⁻ -N	0.9297 <.0001	-0.0305 0.8708	0.0359 0.8479
DIN	0.8540 <.0001	0.2830 0.1229	0.2672 0.1461
PO ₄ ³⁻ -P	0.4280 0.0163	0.4955 0.0046	0.5497 0.0014
SS	0.7540 <.0001	0.2589 0.1597	-0.0633 0.7351
% of variance explained	39.04	16.99	11.31

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

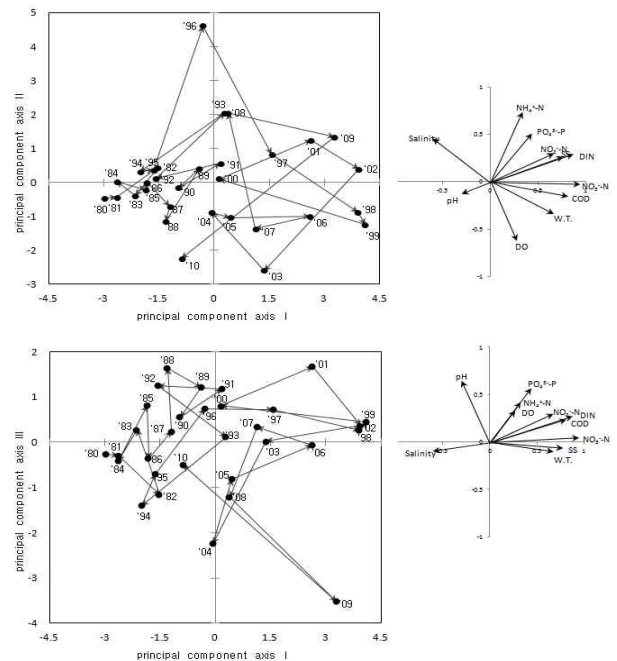


Fig. 6. Principal component ordination of 31 year water quality using the annual mean of stations from 1980 to 2010 in the Yeoja Bay of South Sea. The correlations between the PCA scores and the analysed variables are expressed with vectors.

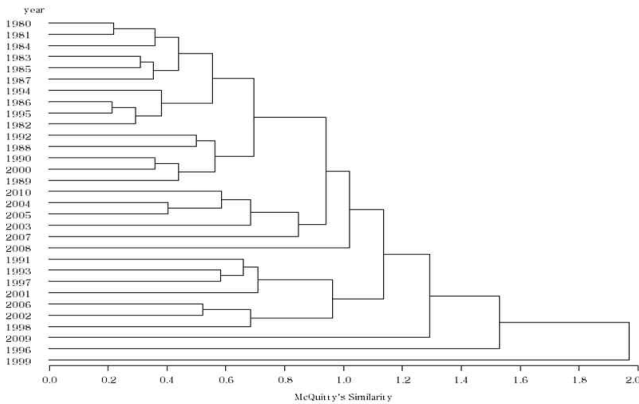


Fig. 7. Dendrogram showing classification of 31 year water quality using the annual principal component scores of stations from 1980 to 2010 in the Yeosu Bay of South Sea. The correlations between the PCA and the analysed variables are expressed with vectors.

4. 결론

1976년부터 2010년까지 35년 동안 여자만에서 3개 조사정점의 수층(표층·저층)별, 계절별(2, 5, 8, 11월)로 년 4회 조사한 결과, 수온, 염분 및 용존산소는 표·저층간의 차이가 컸으며 ($p < 0.0001$), 수소이온농도 및 아질산질소도 차이가 있었으나 ($p < 0.05$), 그 외 수질항목은 표·저층간의 유의적인 차이가 없었다. 정점 간의 공간적 분포 특성을 살펴보면 염분, 화학적산소요구량, 암모니아질소 및 용존무기질소는 정점간 높은 유의적인 차이가 있었으나($p < 0.0001$), 그 외 조사항목에서는 정점간 차이가 없었다. 계절별로는 수소이온농도에서는 유의적인 차이가 없었으나, 그 외 모든 조사 항목에서는 유의적인 차이가 입증되었다($p \leq 0.0438$). 조사항목에 대한 정점별 계절별 평균치의 주성분 분석결과 내측정점인 정점 1에서는 염분과 수소이온농도는 낮았고, 화학적산소요구량, 부유물질 및 영양염류는 높은 상태이었으며, 만 입구 측으로 갈수록 반대되는 경향을 나타내었다. 내만측은 동천과 이사천의 영향을 받는 곳으로 육수의 영향을 여름과 가을철에 주로 받으며 만입구 측으로 갈수록 안정되어가는 경향이였다. 또한 내만측의 경우 계절에 따른 변화가 상대적으로 큰 상태였고 외해 측으로 갈수록 변화폭이 줄어드는 경향을 나타내었다. 항목별 변동 특성에 있어 수온은 평균 15.25 ± 0.41 °C로 연간 0.1023 °C정도 높아지는 경향으로 1976년에 높았다가 1980년대 초반까지 낮았으며 1990년대 후반까지는 불규칙적으로 연변화가 큰 상태였고 2000년 이후에는 대체로 평활한 수준이었다. 염분은 평균 31.96 ± 0.10 으로 내측은 비교적 낮은 염분 상태이고 입구측으로 갈수록 높아 정점별 계절별 유의적인 차이가 있었다. pH는 8.09 ± 0.01 로 정점별과 계절별 유의적인 차이가 없었고 전 수질항목 중 변동 폭이 가장 적었다. 용존산소는 8.64 ± 0.10 mg/L로 정점 간 차이가 없었고, 화학적산소요구량은 1.38 ± 0.04 mg/L로 시공간적으로 높은 유의적인

차이가 있었으며($p < 0.0001$), 해역별 수질기준 II등급이었고. 부유물질은 평균 14.92 ± 0.91 mg/L로 정점별 유의적인 차이가 없었으며 계절별로는 겨울철이 상대적으로 높은 상태이었다. 영양염류 중 인산인은 평균 0.017 ± 0.001 mg/L로 정점 간 차이가 없었고($p = 0.3555$), 계절별로는 겨울철이 낮았고 가을철이 높아 유의적인 차이가 있었다($p = 0.0438$). 암모니아질소는 0.030 ± 0.00 mg/L로 시공간적으로 유의적인 차이가 있어 만내측이 입구측 정점에 비해 2배정도 높았으며, 여름철이 다른 계절에 비해 높은 상태이었다. 질산질소는 0.038 ± 0.003 mg/L로 정점별 차이가 없었고, 계절별로는 여름과 가을철이 상대적으로 높았으며 연 변화는 0.0024 mg/L씩 증가하는 경향이였다. 용존무기질소는 0.074 ± 0.005 mg/L로 그중 질산질소는 50.00%, 암모니아질소는 39.47%, 아질산질소는 10.53% 순이었고 시공간적으로 유의적인 차이가 있어 내측 정점에서 여름과 가을철에 상대적으로 높은 상태이었으며, 연도별 변동양상은 불규칙한 변곡선 형태로 연 0.0027 mg/L정도 높아지는 경향을 나타내었다. DIN/DIP 비는 21.87 ± 2.87 로 정점 간 유의적인 차이가 없었다. 계절별로는 여름철에 평균 38.81 ± 10.40 로 인산인이 식물플랑크톤의 제한요인으로 작용하고 있는데, 이는 염분이 아주 높거나 담수의 유입이 없는 평상시에는 질소와 제한영양염이며, 염분이 아주 낮거나 일시적으로 많은 양의 담수가 유입될 경우 인이 제한영양염인(이 등, 2001)과 같은 경향으로 여자만의 경우 여름철에는 인산인의 외부유입이 있을시 적조의 대량 발생이 우려되나, 그 외 계절에서는 16에 가까운 상태를 나타내었다. 수질항목간의 상관성에 있어서 수온은 아질산질소, 용존무기질소와 양의 상관성, 염분, 용존산소와는 음의 상관성이 있었고, 염분은 용존산소와 양의 상관성, 화학적산소요구량, 아질산질소, 질산질소 및 용존무기질소와는 음의 상관성을 나타내었다. 31년 동안 수질의 장기 변동을 조사한 결과 네 그룹으로 구분되어 항목에 따라 부분적으로 차이가 있으나 전반적으로 살펴보면 수온, 화학적산소요구량 및 부유물질은 점차 증가하는 경향이었고 염분은 불규칙적으로 점차 낮아지는 상태이며, 영양염류중 인산인은 1990년대 초반부터 2000년 초반까지 불규칙적으로 높은 상태이었고 그 후 1980년대 수준을 유지하고 있으며, 암모니아질소는 1996년에 급격히 높았다가 그 후 평년수준을 유지하고 있었으나 2010년에는 평년의 1/3수준으로 낮았으며, 질산질소와 용존무기질소는 점차 약간씩 증가 경향이었고 1990년대 후반부터 불규칙적으로 그 폭이 커지는 경향이였으나 2010년에는 암모니아질소와 같은 경향이였다. 본 연안의 수질은 화학적산소요구량 기준으로 해역등급 2등급으로 볼 수 있고, Wasmund *et al.*(2001)에 의한 영양상태 분류에 따르면 인산인과 용존무기질소를 기준으로 중영양(Mesotrophic)단계이며 비교적 양호한 수질상태로 안정화되는 특징을 보였다. 따라서 여자만에서 수질의 장기 특성은 경인연안, 아산연안, 천수만, 군산연안 및 목포연안과 마찬가지로 육수 유입의 원인에 기인한 것으로 사료되므로 육상의 오폐수 유입이 차단 될 수 있는 정책과 주의가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 R&D과제인 남해 연안어업 및 환경생태조사과제(RP-2011-ME-033)의 일환으로 수행된 것으로 현장조사에 적극 협조 해 주신 시험조사선 탐구 11호 직원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 국립수산진흥원(1979), 한국 연안수질오염조사, 사업보고, 제47호, p. 194.
- [2] 국립수산진흥원(1980), 연안어장환경조사, 사업보고, 제50호, p. 277.
- [3] 국립수산진흥원(1980), 해양오염조사, 사업보고, 제52호, p. 108.
- [4] 국립수산진흥원(1983), 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구, 사업보고, 제58호, p. 626.
- [5] 국립수산진흥원(1985), 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구, 사업보고, 제63호, p. 432.
- [6] 국립수산진흥원(1985), 해양오염 및 적조조사 지침, pp. 57-67.
- [7] 국립수산진흥원(1989), 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구, 사업보고, 제84호, p. 347.
- [8] 김기영(2005), 여자만 해역의 해양환경과 식물플랑크톤 분포 특성, 석사학위논문, 여수대학교, p. 70.
- [9] 김석호(1988), 여자만의 표층퇴적물 및 해양 물리적 특성에 관한 연구, 석사학위논문, 전남대학교, p. 29.
- [10] 김용완(2003), 한국 남해안 여자만 조간대의 퇴적환경, 석사학위논문, 여수대학교, p. 89.
- [11] 김용현(1999), 남해연안역 특량만과 여자만의 저서다모류, 석사학위논문, 여수대학교, p. 105.
- [12] 김용현, 신현출, 임경훈(2005), 남해안 여자만의 저서 다모류 군집 분포, 한국수산학회지, 제38권, 제6호, pp. 399-412.
- [13] 권정노(2010), 고성만 수질의 장기변동 특성, 한국해양환경공학회지, 제13권, 제4호, pp. 279-287.
- [14] 문창호, 박철, 이승용(1993), 아산만의 영양염 및 입자성 유기물, 한국수산학회지, 제26권 제2호, pp. 173-181.
- [15] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 박정숙(2007), 아산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제16권, 제12호, pp. 1411-1424.
- [16] 박승윤, 박경수, 김형철, 김평중, 김진풍, 박중현, 김숙양(2006), 천수만의 수질환경특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제15권, 제5호, pp. 447-459.
- [17] 박승윤, 박경수, 석규진, 오현주, 이영식, 김진풍(1999), 경기만 수질의 시공간적 변동과 부영양화, 국립수산과학원 연구보고, 제56권, pp. 189-204.
- [18] 박승윤, 최옥인, 권정노, 전경암, 조영조, 김형철, 김평중, 박중수(2009), 군산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 해양환경안전학회지, 제15권, 제4호, pp. 297-313.
- [19] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 고준영, 전상백, 이승민, 박중수(2009), 가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동, 해양환경안전학회지, 제15권, 제4호, pp. 315-328.
- [20] 박승윤, 김상수, 김평중, 조은섭, 김숙양, 최윤석, 김병만, 김대욱(2010), 목포연안 수질환경의 특성과 장기변동, 해양환경안전학회지, 제16권, 제4호, pp. 321-337.
- [21] 박중찬(2006), 남해안 여자만의 동계 저서다모류 군집 분포, 석사학위논문, 전남대학교, p. 67.
- [22] 신현출, 김용현(2001), 남해안 여자만(여호항)에서의 저서다모류군집의 시·공간적 변화, 수산과학연구소논문집 제10권, pp. 93-99.
- [23] 이명철(1983), 여자만의 해수교환, 한국지구과학회, 어업기술, 제19권, 제1호, pp. 33-39.
- [24] 이영식, 이재성, 정래홍, 김성수, 고우진, 김귀여, 박중수(2001), 광양만에서 식물플랑크톤증식의 제한영양염, 한국해양학회지, 제6권 제3호, pp. 201-210.
- [25] 이영식, 임월애, 이삼근(2007), *Cochlodinium Polykrikoides* 적조가 발생하는 해역에서 호우에 의한 담수 유입 범위와 질소, 인의 농도변동, 한국환경과학회지, 제16권, 제10호, pp. 1119-1125.
- [26] 이진영(2007), ADCP관측과 수치모델에 의한 여자만의 해수순환변동, 석사학위논문, 전남대학교, p. 113.
- [27] 이진영, 추효상, 박성은(2007), 수치모델에 의한 여자만의 조류특성, 수산과학연구소논문집, 제16권, pp. 58-66.
- [28] 임주환(1989), 여자만의 저서동물 군집에 관한 연구, 석사학위논문, 전남대학교, p. 36.
- [29] 임현식, 제종길, 최진우, 이재학(1991), 여자만에서의 여름철 저서동물의 분포, 해양연구, 제13권, 제2호, pp. 31-46.
- [30] 양재삼, 김기현, 김영태(2003), 곰소만 조간대 해수 내 질소 성분의 시공간적 분포, 한국해양학회지, 제8권, 제3호, pp. 251-261.
- [31] 여환구, 강현(1998), 인천연안의 수질 및 식물플랑크톤 군집의 변화, 한국환경학회지, 제7권, 제3호, pp. 321-326.
- [32] 이성희, 황현식, 이석훈, 김정란(2003), WIN SAS V8, 교우사, p. 414.
- [33] 장석훈(2007), 여자만 조간대 퇴적층에서 산출하는 유공충 군집과 환경변화, 석사학위논문, 전남대학교, p. 93.
- [34] 장석훈, 정다운, 이연규(2009), 여자만 코어 퇴적물에서 나타나는 저서성 유공충 군집 변화 :홀로세 후기 해수면 변화 의의, 한국지구과학회지, 제30권 제4호, pp. 409-426.
- [35] 조은섭, 이상용, 김상수, 최윤석(2008), 2004-2006년 6-10월 동안의 남해중부연안 해역특성 및 식물플랑크톤의 군집생태, 국립수산과학원연구논문집, pp. 698-714.
- [36] 최정민(2004), 한국 남해 여자만 퇴적물 거동 메카니즘, 박사학위논문, 여수대학교, p. 183.
- [37] 최정민, 이연규, 우한준(2005), 한국 남해안 여자만 조간대

- 퇴적물의 시공간적 변화, 한국지구과학회지, 제26권, 제3호, pp. 253-267.
- [38] 최정민, 우한준, 이연규(2007), 반폐쇄된 만내 부유퇴적물 유·출입과 표층퇴적물 조성 변화 : 남해 여자만 봄철, 한국해양환경공학회지, 제10권, 제1호, pp. 1-12.
- [39] 최진용, 최현용, 서만석(1995), 하구언 갑문폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성변화, 한국해양학회지, 제30권, 제4호, pp. 262-270.
- [40] 최종덕, 김정균(2002), 진해만 남서부 해역의 해수와 저질의 세균학적 및 이화학적 특징, 한국수산학회지, 제35권, 제6호, pp. 621-626.
- [41] 최형식(1997), 여자만 표층퇴적물 분포특성과 저서성유공충 군집, 석사학위논문, 여수대학교, p. 61.
- [42] 통계교육원(2005), SAS를 이용한 자료분석, p. 328.
- [43] 한국해양연구소(1990), 한국서남해안 조간대의 종합조사연구(Ⅱ), p. 255.
- [44] 허승(1989), 여자만의 식물성 플랑크톤에 관한 연구, 석사학위논문, 전남대학교, p. 43.
- [45] 해양수산부(1998), 해양환경공정시험법, p. 330.
- [46] 해양수산부(2005), 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구, p. 800.
- [47] Billen, G. and J. Garnier.(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.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] Lee, D. I., J. M. Choi, Y. G. Lee, M. O. Lee, W. C. Lee and J. K. Kim(2008), Coastal environmental assessment and management by ecological simulation in Yeosu Bay, Korea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 80, No. 4, pp. 495-508.
- [52] Nixon, S. W.(1995), Coastal marine eutrophication : a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, Vol. 41, pp. 199-219.
- [53] 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.
- [54] Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards(1963), The influence of organisms on the composition of seawater, *In: The sea* Vol. 2 (ed. Hill, M. N.). Interscience, New York., pp. 26-77.
- [55] 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.
- [56] 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.
- [57] Wasmund, N., A. Adrushaitis, E. Lysiak-Pastuszak, B. Müller-Karulis, G. Nausch, T. Neumann, H. Ojaveer, I. Olenina, L. Postel and Z. Witek(2001), Trophic status of the South-Eastern Baltic Sea: A comparison of coastal and open areas, *Estuar. Coast. Shelf Sic.*, Vol. 53, pp. 849-864.
- [58] 小谷祐一. 2010. 栄養塩不足とノリ色落ち. 西海せいかい No. 7.

원고접수일 : 2011년 08월 22일

원고수정일 : 2011년 09월 16일

게재확정일 : 2011년 09월 22일