

목포연안 수질환경의 특성과 장기변동

박승윤* · 김상수** · 김평중** · 조은섭** · 김숙양*** · 최윤석*** · 김병만** · 김대욱**

*, ** 국립수산과학원 남서해수산연구소, *** 국립수산과학원

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

Soung-Yun Park* · Sang-Soo Kim** · Pyoung-Joong Kim** · Eun-Seob Cho** · Sook-Yang Kim*** · Yoon-Suk Choi*** · Byong-Man Kim** · Dae-Uk Kim**

*, ** 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 : 1979년부터 2009년까지 31년 동안 목포연안 수질환경의 특성과 장기변동 경향을 조사하였다. 5개 정점에서 수층(표층과 저층)별 · 계절별로 년 4회 수온, 염분, 부유물질, 화학적산소요구량, 용존산소, 영양염류에 대해 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에는 수소이온농도 및 인산인을 제외한 모든 조사항목에서 표 · 저층 간의 차이가 컸었다. 공간적 분포특성은 수온과 수소이온농도 및 용존산소는 표층과 저층 공히, 인산인과 질산질소는 저층에서 정점 간 차이가 없었으나, 그 외 조사항목에서는 정점 간 차이가 컸으며 주성분 분석결과 영산강 하구역인 정점 1과 중간인 정점 2~4 및 비교적 외해 측인 정점 5의 세 그룹으로 구분되었다. 계절별로는 질산질소를 제외한 전조사 항목에서 유의성이 입증되었고, 정점별로 차이가 있어 내측은 계절에 따른 변화가 큰 상태이었고 외해 측으로 갈수록 변화폭이 줄어드는 경향이였다. 30년 동안 수질의 장기 변동은 표층 네 그룹, 저층 두 그룹으로 구분되어 항목에 따라 부분적으로 차이가 있었으나 전반적으로 수온, 수소이온농도 및 화학적산소요구량은 점차 증가하는 경향이었고 용존산소는 불규칙한 변곡선 형태이며, 영양염류는 증가하는 경향으로 1990년 후반부터 그 폭이 커지는 경향으로 2009년에는 약간 안정화되는 특징을 보였으나, 경인연안, 아산연안, 천수만 및 군산연안과 마찬가지로 육수 유입의 원인에 기인한 것으로 사료된다.

핵심용어 : 수질, 목포연안, 장기변동, 공간적 분포특성, 계절변동

Abstract : Long-term trends and distribution patterns of water quality were investigated in the Mokpo coastal areas of the Yellow Sea, Korea from 1979 to 2009. Water samples were collected at 5 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, 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 30 years revealed the significant variations in water quality in the study area. Spatial water qualities were discriminated into 3 clusters by PCA: station cluster 1, 2~4, and 5. Annual water qualities were clearly discriminated into 4 surface water clusters and 2 bottom water clusters by PCA. By this multi-variate analysis, the annual trends were summarized as the followings; water temperature, pH and COD tended to increase from late 1980's, salinity to decrease, phosphate to increase from 1994 and dissolved inorganic nitrogen to increase, due to the input of fresh water same as shown in Kyoungin coastal area, Asan coastal area, Choensoo bay and Gunsan coastal area.

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

1. 서 론

목포연안은 한반도 서남해역에 위치하여 국내 4대 강의 하나인 영산강수계의 영향을 직접적으로 받고 있으며, 영산강 하구

및 인접해역에는 1973년부터 시작된 영산강유역 개발사업의 일환으로 농경지개발 및 임해공단 조성을 위한 사업이 지속적으로 추진되어 왔다(조와 박, 1998). 목포연안은 담수 유입이 원활하고 광활한 갯벌이 내만에 존재하고 있으나, 해수교환은 협수로인 목포 구 수로를 통하여만 이루어지기 때문에 매우 빠른 유속을 나타내던 곳이다(강 등, 1998). 또한 이 해역은 도서가

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

많이 산재해 있는 다도해의 일부로서 유료가 여러 대·소수로 이루어져 분류되었다가 다시 합류하는 등 유황이 매우 복잡하다. 목포항은 복잡한 지형적 변화 및 천해 특성에 기인된 조석의 현상이 뚜렷이 나타나는 곳으로, 1897년 목포항이 개항된 이후 큰 환경의 변화가 없다가 1978~1980년에 영산강 하구 독건설이 이루어졌으며 1988~1994년 사이에는 영암방조제, 금호방조제의 건설공사가 이루어졌고 이로 인하여 목포항 일대의 흐름 양상은 급격히 변화되었다(박, 2006). 또한 목포항 및 방조제 전면의 현격한 조류 속 감소로 인해 해수가 정체된 상태를 보이고 있어 오염 확산 양상의 변화로 인한 목포 구 내부수역의 오염 환경에도 적지 않은 변화가 야기되고 있고(박, 2005), 목포항 내부수역은 원활한 해수순환이 이루어지지 않아 각종 오염원 유입 시 외해로 쉽게 확산되거나 희석되지 못하고 계속 정체되는 것으로 나타나 항내오염이 심각하게 우려되며(안, 2008), 하천 및 외해와의 물질교환이 차단된 반 폐쇄적인 만으로 변하면서 하구의 자정능력이 급격히 저하되었다(조와 박, 1998). 이와 같은 목포연안을 대상으로 그동안, 우리나라 남부 해안 기후의 특성과 해면수온과의 관계(한, 1981), 목포항 개발 및 대불산업단지 조성에 따른 연안해역 해면변화(정과 이, 1991), 목포부근 해역의 표층퇴적물에 관한 퇴적환경학적인 연구(김 등, 1994), 목포항의 수질특성 I 과II(김, 1997a; 김, 1997b), 목포연근해역 펠 조건대의 저서동물 군집(임 등, 1997), 방조제 건설 전후에 목포해역의 오염물질 확산 메카니즘(강 등, 1998), 목포 주변해역 갯벌 조건대에 서식하는 중뿔(임과 박, 1998), 영산강하구 표층 퇴적물의 중금속 함량 및 분포(조와 박, 1998), 목포주변해역 조하대 저서동물 군집의 시공간적 분포(박 등, 2000), 2000년 여름 영산강 하구의 해수 특성과 순환(박 등, 2001), 목포항 수질 및 부영양도의 계절변화(김, 2001), 저수온기 목포연안해역의 해양환경적 특징 1.수질환경과 식물플랑크톤 생물량에 영향을 미치는 환경요인 해석(윤, 2001), 목포하수처리장 가동에 따른 목포항 유입 오염부하량의 변화(김, 2002), 목포항 수질개선에 대한 목포하수처리장의 기여율 산정(김, 2003), 목포항에 유입하는 오염부하량 산정(김과 이, 2003), 집중 강우 시 목포 주변해역의 수질특성(김과 유, 2003), 목포연안 갯벌 및 서식생물에서의 중금속 함량(나, 2004), 목포해역 점착성 퇴적물의 수공에 관한 수치모의(정 등, 2006), 목포항 출입항로의 환경스트레스 평가에 관한 연구(김 등, 2006), 목포해역 해일/범람도의 및 고극조위 해석(문, 2006), 목포연안해역의 해수, 퇴적물 및 해조류에 축적된 중금속 함량(박 등, 2008), 목포해역의 해수유동 및 담수 확산 예측시스템(정과 김, 2008), 전남서부해역의 수질환경 특성(조 등, 2009)이 보고되었다. 부영양화는 생태계에 유기물질의 유입 비율이 증가하는 것이며, 세계 여러 지역에서 연안역의 부영양화는 악영향을 미치는 주요한 문제로 대두되고 있다(Nixon, 1995) 그러나 그 시기와 규모에 대한 조사는 빈약한 실정이다(Billen and Garnier, 1997; Clarke et al., 2003). 마찬가지로 본 해역의 수질환경에 대한 연구는 단기간 조사된 결과로 장기적이 조사 연구는 미흡한 실정으로 본 연구는 목포연안에 대한 어장환경오염조사 및 국가해양환경측정망

의 일환으로 1979년부터 2009년까지 31년간 총 124회에 걸쳐 계절별(2, 5, 8, 11월)로 실시한 일반 해양환경성분에 대하여 조사한 결과로서 목포연안에 대한 시공간적인 환경변동 특성을 파악함으로써 목포연안을 효율적으로 이용할 수 있는 해양환경 관리 및 보전정책수립의 환경기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

연구대상 해역인 목포연안에서 1979년부터 2009년까지 31년 동안 Fig. 1에서와 같이 5개 정점에 대해 계절별로 년 4회(2, 5, 8, 11월) 조사하였다. 그 중에서 정점 1은 1994년부터 1996년까지 3년 동안, 정점 2는 1990년부터 1994년까지 5년 동안, 2005년부터 2007년까지의 5월과 11월, 정점 5은 1996년 11월에 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, 용존산소량(DO)은 150 mL용 용존산소병에 시료를 채수하여 Winkler 개량법인 윙클러아지드화변법에 의하였고(국립수산진흥원, 1985), 화학적산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 실험실에서 측정하였다. 부유물질은 표층에서만 조사가 이루어지다가 2006년부터 표·저층 조사 되었으며 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) 방법 및 해양환경공정시험법(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 수소이온농도 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(5등급)과 조사월(4그룹)이다. 또한 전반적인 시공간적 변동 특성을 구명하기 위해 정점별 월별수질결과에 대한 주성분분석과 군집분석을 병

행하여 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).

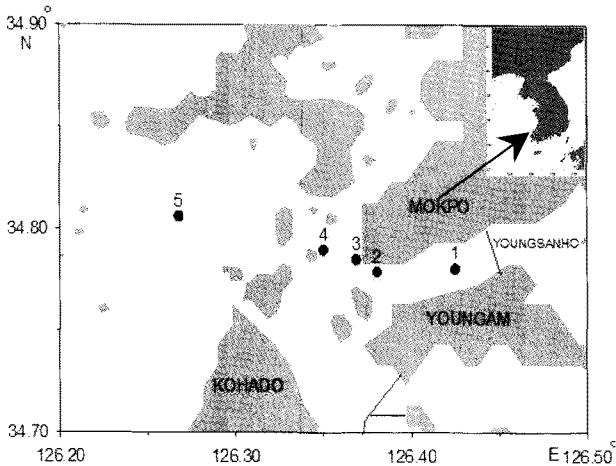


Fig. 1. A map showing the sampling sites in the study area.

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 수온과 수소이온농도 및 용존산소는 표층과 저층, 화학적산소요구량, 인산인, 질산질소, 용존무기질소 및 클로로필 a 항목은 저층에서 정점 간 차이가 없었으나, 그 외 조사항목에서는 $p \leq 0.0027$ 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 56.46% 설명할 수 있었으며 이 중 염분 > 용존무기질소 > 아질산질소 > 부유물질 > 암모니아질소 > 질산질소 > 화학적산소요구량 > 수온 > 인산인 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 17.89%를 설명할 수 있었으며, 이 중 용존산소 > 수온 > 수소이온농도 순으로 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II에 1% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 2). 주성분 I은 용존무기질소, 아질산질소, 암모니아질소, 질산질소, 화학적산소요구량, 인산인과 양의 상관성, 염분, 부유물질과는 음의 상관성을 나타내었다($p \leq 0.0066$). 주성분 II에서는 용존산소, 수소이온농도와 양의 상관성($p \leq 0.0058$), 수온과는 음의 상관성($p = 0.0016$)을 나타내었다(Fig. 2). 저층의 경우 주성분 I에서는 시공간적 변화를 57.43% 설명할 수 있었으며 이 중 부유물질 > 아질산질

소 > 염분 > 용존산소 > 수온 > 용존무기질소 > 암모니아질소 > 인산인 > 수소이온농도 > 질산질소 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 15.32%를 설명할 수 있었으며, 이 중 화학적산소요구량 > 염분 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). 공간적 분포 특성은 표층과 저층이 다른 양상을 보였는데 표층은 영산강의 영향과 항구인 정점 1, 2와 중간역인 정점 3, 4 및 비교적 외해 측인 정점 5로 구분되어지고 저층은 정점 1, 2와 정점 3~5로 구분되며, 표층과 저층을 고려하면 영산강 하구역인 정점 1과 항구와 인접한 정점 2~4 및 정점 5의 세 그룹으로 구분되어진다. 내측정점인 정점 1에서는 염분과 부유물질은 낮았고, 화학적산소요구량 및 영양염류는 높은 상태이었으며 외해 측으로 갈수록 반대되는 경향을 나타내었다. 계절별로 살펴보면 표층과 저층 공히 질산질소는 유의성이 없었으며 그 외 조사 항목에서는 유의성이 입증되었다($p < 0.05$). 계절적 변화는 정점별로 차이가 있어 내측의 경우 계절에 따른 변화가 큰 상태였고 외해 측으로 갈수록 변화폭이 줄어드는 경향을 나타내었다. 본 연안을 항목별로 살펴보면 수온은 우리나라의 4계절 특성상 네 그룹으로 구분되었고, 염분은 여름(8월)과 그 외 계절로 나누어지며, 수소이온농도는 표층은 봄(5월)과 겨울(2월) 및 그 외 계절, 저층은 봄(5월)와 여름(8월) 및 그 외 계절의 세 그룹으로 구분되었다. 용존산소와 화학적산소요구량 및 부유물질 표층은 수온과 마찬가지로 네 그룹으로 구분되어진 반면, 부유물질 저층은 계절별 유의적인 차이가 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 표층과 저층 공히 가을(11월)과 여름(8월) 및 그 외 계절의 세 그룹으로 구분되며, 암모니아질소는 표층의 경우 봄~여름과 가을~겨울의 두 그룹, 저층에서는 여름, 봄, 가을과 겨울의 세 그룹, 아질산질소는 두 그룹으로 표층의 경우 겨울과 그 외 계절, 저층의 경우 여름~가을, 겨울~봄의 구분되어지며, 질산질소는 계절별 유의적인 차이가 없었고, 용존무기질소는 세 그룹으로 표층의 경우 여름, 가을~겨울, 봄, 저층의 경우 여름, 봄과 가을, 겨울로 구분되어진다. 즉 내측은 영산강의 영향을 많이 받는 곳으로 육상에서 유입되는 각종 오염원의 영향으로 계절별 분산정도가 심하고 외해 측으로 갈수록 외해수와 자정작용 등으로 안정되어가는 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 31년 동안 평균 표층은 $14.58 \pm 0.67^\circ\text{C}$ (정점 5)~ $15.17 \pm 0.73^\circ\text{C}$ (정점 1)이었고, 저층은 $14.00 \pm 0.77^\circ\text{C}$ (정점 2)~ $14.28 \pm 0.69^\circ\text{C}$ (정점 3)로 표·저층 공히 정점 간 유의적인 차이가 없었으며 정점 내에서의 변동계수는

Table 1. ANOVA tables for spatial and temporal differences in water quality in the Mokpo costal zone of the Yellow Sea from 1979 to 2009

Variable	Source	Layer	F	Pr > F	Variable	Source	Layer	F	Pr > F
Water Temperature	Station	Surface	0.13	0.9711	PO ₄ ³⁻ -P	Station	Surface	6.27	<.0001
		Bottom	0.02	0.9992			Bottom	2.89	0.0219
Salinity	Season	Surface	2261.69	<.0001	NH ₄ ⁺ -N	Season	Surface	3.17	0.0242
		Bottom	2269.6	<.0001			Bottom	3.98	0.0080
		Surface	21.85	<.0001			Surface	8.42	<.0001
		Bottom	8.75	<.0001			Bottom	4.11	0.0027
pH	Season	Surface	25.68	<.0001	NO ₂ ⁻ -N	Season	Surface	5.73	0.0007
		Bottom	30.06	<.0001			Bottom	3.80	0.0102
		Surface	0.58	0.6741			Surface	7.96	<.0001
		Bottom	1.37	0.2424			Bottom	5.04	0.0005
DO	Season	Surface	5.16	0.0016	NO ₃ ⁻ -N	Season	Surface	6.22	0.0004
		Bottom	11.30	<.0001			Bottom	13.61	<.0001
		Surface	0.51	0.7299			Surface	4.82	0.0008
		Bottom	0.59	0.6727			Bottom	1.35	0.2502
COD	Season	Surface	206.94	<.0001	DIN	Season	Surface	1.36	0.2537
		Bottom	336.53	<.0001			Bottom	0.57	0.6318
		Surface	8.41	<.0001			Surface	9.07	<.0001
		Bottom	2.88	0.0222			Bottom	3.11	0.0151
SS	Season	Surface	15.90	<.0001	DIN/DIP	Season	Surface	3.39	0.0178
		Bottom	11.07	<.0001			Bottom	2.92	0.0335
		Surface	7.33	<.0001			Surface	3.35	0.0100
		Bottom	3.26	0.0153			Bottom	0.60	0.6661
SS	Season	Surface	12.66	<.0001	DIN/DIP	Season	Surface	1.76	0.1540
		Bottom	1.47	0.2288			Bottom	0.72	0.5424

Table 2. Spearman's correlation coefficient among water quality parameters and principal component scores using the spatial means of seasonal data from 1979 to 2009 in the Mokpo costal zone of the 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.	0.6316	-0.6587	-0.3774	0.8301	-0.1820	-0.3744
Salinity	0.0028	0.0016	0.1009	<.0001	0.4426	0.1038
pH	-0.9575	0.0083	-0.0128	-0.8703	0.4175	-0.1542
DO	<.0001	0.9724	0.9573	<.0001	0.0670	0.5163
COD	0.0576	0.5931	-0.4392	-0.5290	-0.2202	0.4419
NH ₄ ⁺ -N	0.8093	0.0058	0.0527	0.0165	0.3509	0.0511
NO ₂ ⁻ -N	-0.4842	0.7880	0.4872	-0.8587	0.0466	0.3865
NO ₃ ⁻ -N	0.0305	<.0001	0.0293	<.0001	0.8453	0.0923
DIN	0.7684	0.3564	-0.1323	0.4447	-0.8194	0.3055
PO ₄ ³⁻ -P	<.0001	0.1230	0.5781	0.0495	<.0001	0.1903
SS	0.8585	0.3439	0.0406	0.7099	-0.3689	0.4670
% of variance explained	<.0001	0.1377	0.8649	0.0005	0.1094	0.0379
	0.9163	-0.2594	0.0611	0.9214	0.0333	-0.0651
	<.0001	0.2694	0.7981	<.0001	0.8892	0.7852
	0.8342	0.3076	0.2362	0.4953	0.3735	0.1263
	<.0001	0.1870	0.3161	0.0264	0.1047	0.5958
	0.9187	0.2214	0.1792	0.7937	-0.0377	0.2580
	<.0001	0.3482	0.4496	<.0001	0.8745	0.2721
	0.5859	-0.1756	0.4966	0.5299	0.3217	0.2597
	0.0066	0.4589	0.0259	0.0163	0.1666	0.2689
	-0.9023	0.2797	0.0737	-0.9323	0.1579	-0.0406
	<.0001	0.2323	0.7575	<.0001	0.5061	0.8650

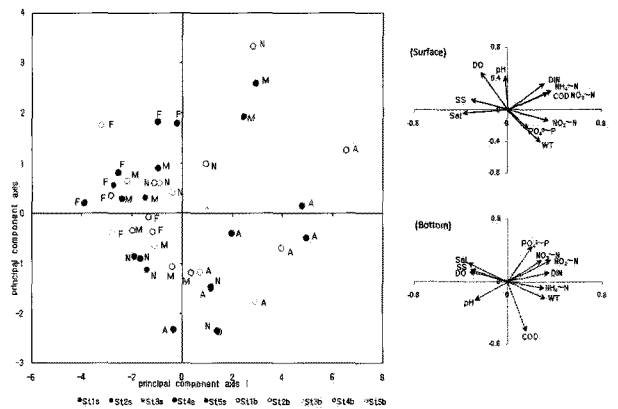


Fig. 2. Principal component ordination using the seasonal water quality of stations from 1979 to 2009 in the Mokpo costal zone of the Yellow Sea. The correlations between the PCA scores and the analysed variables are expressed with vectors.

49.86~53.79%로 비슷한 수준이었다(Table 3, Fig. 3). 월별로는 평균 표층은 5.08±0.11 °C(2월)~25.61±0.12 °C(8월)이었고 저층은 4.93±0.10 °C(2월)~24.37±0.12 °C(8월)로 표·저층 공히 유의수준 0.0001 이하에서 큰 차이를 보였다. 변동계수는 5월에는 27.96%(표층)과 27.56%(저층)로 높았으나 점차 낮아져 8월에 5.51%(표층)과 5.86%(저층)로 가장 낮았다. 2월과 5월에는 정점 간의 수온 차가 약간 컸으며 이와 같은 결과는 천수만, 경기

만(박 등, 1999; Park and Park, 2000; 박 등, 2006), 아산연안(박 등, 2007) 및 군산연안(박 등, 2009)이 2월에 정점 간 수온 차이가 큰 것과 다른 경향을 보였다(Table 4, Table 6, Fig. 4). 연도별 변동 양상을 보면 1996년에는 연평균 표층 12.89±2.26 °C, 저층 12.45±2.12 °C로 가장 낮았고, 2007년에는 표층 16.91±1.76 °C, 저층 15.82±1.57 °C로 가장 높았다. 31년 동안 연간 표층 0.060 °C, 저층 0.067 °C 높아지는 경향을 나타내었는데 대체로 1979년에는 높았다가 1980년대에서 1990년대 중반까지는 불규칙적이거나 상대적으로 낮은 상태이었으며 1990년대 후반 이후에는 약간 높아지는 경향이였다. 변동계수는 대체로 비슷한 분산량을 나타냈으나 전반적으로 영산강 하구 독 폐쇄(1981년), 영양 및 금호방조제 이주가 이전에 비해 변동 폭이 감소하였다. 이는 영산강 하구 독 폐쇄 이전에는 조석의 영향을 우세한 완전 혼합형 하구에 속하였고 갑문 폐쇄 후에는 하구해역과 영산강 상류가 완전 차단되는 부분혼합형 또는 염분쇄기형의 물리 특성에 기인 한다(정과 김, 2008)(Table 5, Fig. 5).

2) 염분

염분은 Table 2, Table 3 및 Fig. 2와 같이 정점 간에는 평균 표층은 27.54±0.66(정점 1)~32.15±0.13(정점 5)이었고 저층은 31.05±0.26(정점 1)~32.33±0.10(정점 5)으로 하구역의 상류에서 영산강 및 육수의 영향으로 약간 낮았으나 연안역으로 갈수록 높아져 표·저층 공히 정점 간 차이가 컸으며(p<0.0001), 특히 정점 1 와 정점 2의 표층을 제외하고는 인근연안인 곰소만, 새만금, 군산연안보다 높은 염분을 나타내었다(Table 3, Table 6, Fig. 3). 정점 내에서의 변동계수는 상류 측인 정점 1과 정점 2 점에서는 표층 25.47~18.35%, 저층 8.93~6.64%로 표층의 분산량이 높았고 그 외 정점에서는 표층과 저층 공히 3.27~10.92%로 비교적 낮았으나 아산연안 4.06~8.99%, 천수만 4.40~5.58%, 인천연안의 6.35~8.65%보다 약간 높은 분산량을 나타내었고 군산연안 9.56~46.23%에 비해서는 낮았으며, 정점 1~2의 표층에서는 영산강의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 월별로는 평균 표층 27.57±0.51(8월)~31.60±0.29(2월), 저층 30.32±0.20(8월)~32.15±0.21(2월)로 표·저층 공히 계절별 큰 차이를 보였으며(p<0.0001), 변동계수는 여름철(8월)이 표층 22.11%, 저층 7.76%로 표층이 약간 높았고 그 외 조사월은 3.95~14.47% 범위이었는데 이는 8월이 다른 조사 월에 비해 금강 하구역보다 변동량을 적지만 강수유입에 따른 영향을 더 많이 받기 때문이다(박 등, 2009)(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 Fig. 5 와 같이 전반적으로 불규칙한 변곡선 형태를 보이고 있다. 1998년에는 평균 표층 25.49±2.02, 1985년~1987년 평균 표층 26.75±1.96~27.58±1.54로 낮았고 그 외 조사에서는 대체로 증감을 반복하면서 약간씩 낮아지는 경향 이었다.

3) 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 정점 간 평균이 표층 8.04±0.03(정점 1)~8.08±0.01(정점 4), 저층 8.03±0.02(정점 1)~8.07±0.01(정점 3, 4)로 표·저층 공히 정점 간 유의적인 차이가 없이(표층 p=0.6741,

저층 p=0.2424) 고른 농도분포를 보여 천수만(박 등, 2006), 아산연안(박 등, 2007)과 같은 상태이었다. 변동계수는 표층 1.77~3.46%, 저층 1.81~2.22%로 인천연안(박 등, 1999; Park and Park, 2000), 아산연안, 가로림만(박 등, 2009) 및 천수만과 마찬가지로 전 수질항목 중 가장 낮았다(Table 3, Table 6, Fig. 3). 계절별로는 표층 8.04±0.02(2,8,11월)~8.11±0.01(5월), 저층 8.00±0.02(8월)~8.10±0.01(5월)로 유의적인 차이를 보였다(p≤0.0016). 표층의 경우 5월은 높았고 그 외 조사월은 유사하였으며, 저층은 5월 높았고 8월은 낮았으며 2월과 11월은 유사한 상태이었다. 변동계수는 표층 1.88(11월)~3.15%(8월), 저층 1.60(5월)~2.59%(8월)로 다른 항목에 비해 낮았다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 전반적으로 년 표층 0.0052, 저층 0.0025 정도 높아지고 변곡선 형태를 보이고 있다. 1980년 표·저층 7.83±0.03로 가장 낮았으며 그 후 증감을 반복하면서 전반적으로 증가 추세이었으나 1995년에는 표층 7.94±0.04, 저층 7.95±0.03로 낮았었으며 그 후 점차적으로 증가 추세를 나타내다가 2005년 이후 연간 변동 폭이 불규칙한 상태로 근년에 육수에 의한 영향 강도가 높아지는 것으로 사료된다(Table 5, Fig. 5).

4) 용존산소(DO)

용존산소는 정점별 평균이 표층 8.60±0.17 mg/L(정점 3)~8.91±0.23 mg/L(정점 1), 저층 8.32±0.22 mg/L(정점 1)~8.70±0.15 mg/L(정점 4)로 정점 간의 차이는 거의 없었으며 변동계수는 표층 19.99(정점 4)~27.20%(정점 1), 저층 19.77(정점 4)~28.06%(정점 1)으로 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%에 비해 비슷한 분산량을 나타내었다(Table 3, Fig. 3). 계절별로는 표층 6.92±0.12 mg/L(8월)~10.84±0.14 mg/L(2월), 저층 6.36±0.09 mg/L(8월)~10.73±0.13 mg/L(2월)로 표·저층 공히 큰 차이를 보였으며(p<0.0001), 천수만, 아산연안 및 군산연안과 비슷한 상태로서 일반적인 특징인 수온이 낮은 겨울철에 높은 값을 보이고 하절기에는 낮은 값을 나타내었다(Table 4, Table 6, Fig. 4). 변동계수는 8월에는 17~20% 정도이고 그 외 조사월은 11~15% 정도로 계절별 변동 폭이 정점별 변동 폭보다 낮았다. 연도별 변동 양상은 1983년 표층 7.84±0.38, 저층 7.75±0.41로 낮은 상태이었다가 1996년까지는 불규칙적으로 점차 높아지는 경향이였으나 1997년 표층 8.40±0.55, 저층 8.24±0.57로 낮아져 2007년 표층 8.23±0.60, 저층 8.15±0.47로 11년간 낮은 상태이었으며 그 후 높아져 2009년에는 표층 10.29±0.73, 저층 9.70±0.69를 유지하고 있었다. 변동계수는 표·저층 공히 14.68~32.00%로 가로림연안보다는 약간 높았고, 아산연안 및 천수만과 비슷하였으며 군산연안보다는 낮은 변동 폭을 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

5) 화학적 산소요구량(COD)

화학적 산소요구량은 정점별 평균이 표층 1.08±0.07 mg/L(정점 5)~1.58±0.08 mg/L(정점 2), 저층 1.01±0.04 mg/L(정점 5)~1.25±0.06 mg/L(정점 1)로 표·저층 공히 정점 간에는 유의적인

Table 3. Descriptive statistics of water quality parameters at the sampling stations collected in February, May, August, and November from 1979 to 2009 in the Mokpo coastal zone of the Yellow Sea

Variable	St. Layer	N	Mean ± SE	Range	CV(%)	Grouping	Variable	St. Layer	N	Mean ± SE	Range	CV(%)	Grouping
W.T.(°C)	1	s	112 15.17 ± 0.73	2.70 ~ 29.10	51.15	A	PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	1	s	108 0.017 ± 0.001	0.000 ~ 0.098	84.26	A
		b	112 14.15 ± 0.67	2.60 ~ 28.28	49.86	A			b	108 0.020 ± 0.002	0.000 ~ 0.206	110.55	A
	2	s	95 14.85 ± 0.82	2.76 ~ 28.13	53.79	A		2	s	91 0.024 ± 0.004	0.000 ~ 0.309	143.23	B
		b	95 14.00 ± 0.77	2.70 ~ 26.72	53.22	A		b	91 0.021 ± 0.004	0.001 ~ 0.405	198.95	A	
	3	s	124 14.60 ± 0.70	2.62 ~ 30.20	53.31	A		3	s	120 0.014 ± 0.001	0.000 ~ 0.072	77.35	B
		b	124 14.28 ± 0.69	2.60 ~ 29.40	53.62	A		b	120 0.014 ± 0.001	0.001 ~ 0.065	68.73	A	
	4	s	124 14.59 ± 0.67	3.40 ~ 28.30	50.90	A		4	s	120 0.014 ± 0.001	0.001 ~ 0.102	81.29	B
		b	124 14.16 ± 0.64	3.22 ~ 26.70	50.20	A		b	120 0.014 ± 0.001	0.000 ~ 0.052	61.68	A	
	5	s	123 14.58 ± 0.67	2.50 ~ 29.90	50.82	A		5	s	119 0.014 ± 0.001	0.000 ~ 0.031	53.15	B
		b	123 14.21 ± 0.65	2.40 ~ 28.30	50.34	A		b	119 0.015 ± 0.001	0.001 ~ 0.036	52.21	A	
Salinity	1	s	112 27.54 ± 0.66	5.87 ~ 34.18	25.47	B	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	1	s	108 0.056 ± 0.008	0.001 ~ 0.576	153.00	A
		b	112 31.05 ± 0.26	8.11 ~ 34.25	8.93	C			b	108 0.030 ± 0.003	0.001 ~ 0.163	103.78	AB
	2	s	95 28.81 ± 0.54	5.82 ~ 34.29	18.35	B		2	s	91 0.059 ± 0.009	0.001 ~ 0.575	145.59	A
		b	95 31.09 ± 0.21	20.85 ~ 34.28	6.64	C		b	91 0.036 ± 0.006	0.001 ~ 0.405	151.46	A	
	3	s	124 31.08 ± 0.27	12.46 ~ 34.44	9.79	A		3	s	120 0.030 ± 0.003	0.001 ~ 0.130	93.76	B
		b	124 31.51 ± 0.20	13.18 ~ 34.33	7.08	BC		b	120 0.025 ± 0.002	0.001 ~ 0.102	84.97	B	
	4	s	124 31.20 ± 0.31	6.28 ~ 34.41	10.92	A		4	s	120 0.031 ± 0.005	0.001 ~ 0.547	179.85	B
		b	124 31.94 ± 0.14	21.80 ~ 34.33	4.96	AB		b	120 0.022 ± 0.002	0.000 ~ 0.123	97.65	B	
	5	s	123 32.15 ± 0.13	25.33 ~ 34.65	4.31	A		5	s	119 0.022 ± 0.002	0.001 ~ 0.091	78.42	B
		b	123 32.33 ± 0.10	28.97 ~ 34.66	3.27	A		b	119 0.021 ± 0.002	0.000 ~ 0.092	85.50	B	
pH	1	s	111 8.04 ± 0.03	6.46 ~ 8.52	3.46	A	NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	1	s	108 0.025 ± 0.003	0.001 ~ 0.326	142.95	A
		b	111 8.03 ± 0.02	7.55 ~ 8.41	2.12	A			b	108 0.019 ± 0.002	0.001 ~ 0.105	107.33	A
	2	s	94 8.06 ± 0.02	7.58 ~ 8.52	2.26	A		2	s	91 0.026 ± 0.005	0.001 ~ 0.368	198.27	A
		b	94 8.05 ± 0.02	7.67 ~ 8.92	2.09	A		b	91 0.020 ± 0.005	0.001 ~ 0.405	221.23	A	
	3	s	123 8.06 ± 0.02	7.50 ~ 8.55	2.01	A		3	s	120 0.013 ± 0.001	0.000 ~ 0.117	112.20	B
		b	123 8.07 ± 0.01	7.68 ~ 8.55	1.81	A		b	120 0.012 ± 0.001	0.000 ~ 0.085	98.57	AB	
	4	s	123 8.08 ± 0.01	7.65 ~ 8.48	1.77	A		4	s	120 0.012 ± 0.001	0.000 ~ 0.087	107.26	B
		b	123 8.07 ± 0.01	7.64 ~ 8.48	1.81	A		b	120 0.011 ± 0.001	0.000 ~ 0.069	103.03	B	
	5	s	122 8.05 ± 0.02	7.15 ~ 8.46	2.01	A		5	s	119 0.010 ± 0.001	0.001 ~ 0.066	90.08	B
		b	122 8.04 ± 0.02	6.73 ~ 8.41	2.22	A		b	119 0.009 ± 0.001	0.001 ~ 0.109	120.22	B	
DO (mg/L)	1	s	112 8.91 ± 0.23	1.93 ~ 18.63	27.20	A	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	1	s	108 0.167 ± 0.024	0.000 ~ 1.627	151.90	A
		b	112 8.32 ± 0.22	1.61 ~ 14.32	28.06	A			b	108 0.110 ± 0.018	0.000 ~ 1.669	174.75	A
	2	s	95 8.86 ± 0.20	5.19 ~ 15.87	22.24	A		2	s	91 0.148 ± 0.020	0.001 ~ 1.086	125.92	A
		b	95 8.54 ± 0.21	4.26 ~ 15.53	23.66	A		b	91 0.089 ± 0.010	0.001 ~ 0.576	101.49	A	
	3	s	124 8.60 ± 0.17	5.00 ~ 15.16	21.51	A		3	s	120 0.085 ± 0.010	0.002 ~ 0.939	132.86	B
		b	124 8.59 ± 0.17	4.69 ~ 15.79	22.40	A		b	120 0.082 ± 0.010	0.001 ~ 0.806	129.45	A	
	4	s	124 8.84 ± 0.16	4.71 ~ 13.69	19.99	A		4	s	120 0.112 ± 0.018	0.001 ~ 1.269	177.21	AB
		b	124 8.70 ± 0.15	4.87 ~ 13.66	19.77	A		b	120 0.077 ± 0.009	0.002 ~ 0.675	121.70	A	
	5	s	123 8.69 ± 0.16	3.36 ~ 14.09	20.57	A		5	s	119 0.085 ± 0.008	0.001 ~ 0.520	101.38	B
		b	123 8.57 ± 0.16	4.69 ~ 14.38	20.58	A		b	119 0.079 ± 0.007	0.001 ~ 0.453	100.00	A	
COD (mg/L)	1	s	112 1.56 ± 0.08	0.34 ~ 4.05	51.33	A	DIN (mg/L)	1	s	108 0.248 ± 0.029	0.011 ~ 1.901	119.95	A
		b	112 1.25 ± 0.06	0.22 ~ 3.52	46.22	A			b	108 0.159 ± 0.019	0.009 ~ 1.723	124.72	A
	2	s	95 1.58 ± 0.08	0.31 ~ 4.16	50.25	A		2	s	91 0.226 ± 0.023	0.013 ~ 1.146	96.65	A
		b	95 1.24 ± 0.07	0.13 ~ 3.96	51.69	A		b	91 0.135 ± 0.010	0.016 ~ 0.610	69.22	AB	
	3	s	124 1.28 ± 0.07	0.22 ~ 4.96	58.92	B		3	s	120 0.128 ± 0.011	0.017 ~ 1.047	95.06	B
		b	124 1.21 ± 0.07	0.24 ~ 5.79	62.17	AB		b	120 0.119 ± 0.010	0.013 ~ 0.897	96.04	AB	
	4	s	124 1.29 ± 0.07	0.12 ~ 4.38	61.77	B		4	s	120 0.156 ± 0.021	0.011 ~ 1.903	151.34	B
		b	124 1.21 ± 0.07	0.24 ~ 4.29	59.76	AB		b	120 0.110 ± 0.009	0.014 ~ 0.746	90.45	B	
	5	s	123 1.08 ± 0.07	0.14 ~ 6.88	68.13	B		5	s	119 0.117 ± 0.008	0.026 ~ 0.576	73.67	B
		b	123 1.01 ± 0.04	0.18 ~ 2.26	45.40	B		b	119 0.110 ± 0.007	0.020 ~ 0.497	72.74	B	
SS (mg/L)	1	s	108 15.66 ± 1.64	1.0 ~ 92.0	108.90	B	DIN/DIP	1	s	108 59.23 ± 12.33	4.26 ~ 1204.5	216.34	A
		b	20 14.94 ± 2.13	4.6 ~ 41.6	63.63	B			b	108 31.45 ± 5.23	2.21 ~ 387.00	172.73	A
	2	s	94 17.84 ± 1.83	0.3 ~ 83.6	99.65	B		2	s	90 47.10 ± 7.05	1.82 ~ 355.00	141.99	A
		b	13 21.28 ± 6.84	0.2 ~ 98.4	115.89	AB		b	91 35.47 ± 5.55	1.11 ~ 382.00	149.33	A	
	3	s	122 20.20 ± 1.23	1.0 ~ 73.2	67.02	B		3	s	120 39.07 ± 5.67	2.83 ~ 411.17	159.04	B
		b	20 20.87 ± 1.62	8.8 ~ 37.6	34.80	AB		b	120 30.14 ± 3.82	1.46 ~ 288.96	138.77	A	
	4	s	122 20.61 ± 1.49	2.5 ~ 79.0	79.74	B		4	s	120 32.90 ± 3.57	2.23 ~ 204.92	118.85	AB
		b	20 28.77 ± 7.31	4.6 ~ 156.4	113.60	AB		b	119 32.18 ± 5.62	0.60 ~ 427.36	190.54	A	
	5	s	123 27.06 ± 1.79	1.0 ~ 137.5	73.52	A		5	s	119 27.04 ± 2.75	3.63 ~ 216.00	111.12	B
		b	20 40.93 ± 7.72	4.6 ~ 156.8	84.35	A		b	119 25.20 ± 3.55	2.00 ~ 361.00	153.53	A	

목포연안 수질환경의 특성과 장기변동

Table 4. Descriptive statistics of water quality parameters in February, May, August, and November at six sampling stations from 1979 to 2009 in the Mokpo coastal zone of the 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	137	5.08±0.11	2.50~7.63	24.63	D	PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	2	s	132	0.014 ± 0.001	0.000 ~ 0.072	80.00	B		
			153	4.93±0.10	2.40~7.70	24.12	D				132	0.013 ± 0.001	0.000 ~ 0.039	63.46	B		
	5	s	153	12.31±0.28	3.70~18.50	27.96	C		5	b	148	0.015 ± 0.001	0.000 ~ 0.102	94.01	B		
			153	11.63±0.26	3.70~18.14	27.56	C		5	b	148	0.014 ± 0.001	0.001 ~ 0.047	66.33	B		
	8	s	146	25.61±0.12	22.20~30.20	5.51	A		8	b	141	0.016 ± 0.001	0.001 ~ 0.086	80.48	AB		
			146	24.37±0.12	20.50~29.40	5.86	A		8	b	141	0.019 ± 0.002	0.000 ~ 0.206	103.89	AB		
	11	s	142	15.52±0.13	11.20~18.31	9.75	B		11	s	137	0.020 ± 0.002	0.000 ~ 0.309	136.58	A		
			142	15.32±0.13	11.30~17.62	9.78	B		11	b	137	0.020 ± 0.003	0.001 ~ 0.405	174.07	A		
	Salinity	2	s	137	31.60±0.29	8.16~34.65	10.57		A	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	2	s	132	0.029 ± 0.004	0.001 ~ 0.307	143.03	B
				137	32.15±0.21	8.11~34.66	7.73		A				132	0.021 ± 0.002	0.001 ~ 0.220	107.28	B
		5	s	153	30.72±0.36	8.95~33.79	14.47		A		5	s	148	0.051 ± 0.008	0.001 ~ 0.576	184.27	A
				153	32.14±0.10	24.37~33.80	4.01		A		5	b	148	0.028 ± 0.002	0.001 ~ 0.163	100.63	AB
8		s	146	27.57±0.51	5.82~33.37	22.11	B	8	s		141	0.046 ± 0.004	0.002 ~ 0.219	104.40	A		
			146	30.32±0.20	13.18~33.56	7.76	B	8	b		141	0.033 ± 0.003	0.001 ~ 0.180	93.40	A		
11	s	142	31.29±0.24	15.52~34.44	9.14	A	11	s	137	0.026 ± 0.003	0.001 ~ 0.309	140.29	B				
		142	31.88±0.11	27.09~34.33	3.95	A	11	b	137	0.023 ± 0.003	0.000 ~ 0.405	168.30	B				
pH	2	s	137	8.04±0.01	7.30~8.50	2.01	AB	NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	2	s	132	0.008 ± 0.001	0.000 ~ 0.042	92.54	B		
			137	8.06±0.01	7.64~8.92	1.79	B				2	b	132	0.007 ± 0.001	0.000 ~ 0.035	89.52	B
	5	s	153	8.11±0.01	7.50~8.55	2.02	A		5	s	148	0.016 ± 0.003	0.000 ~ 0.368	253.07	A		
			153	8.10±0.01	7.78~8.55	1.60	A		5	b	148	0.009 ± 0.001	0.000 ~ 0.109	120.81	B		
	8	s	146	8.04±0.02	6.46~8.52	3.15	B		8	s	141	0.022 ± 0.002	0.001 ~ 0.148	102.11	A		
			146	8.00±0.02	6.73~8.44	2.59	C		8	b	141	0.021 ± 0.002	0.000 ~ 0.105	94.64	A		
11	s	137	8.04±0.01	7.50~8.36	1.88	B	11	s	137	0.019 ± 0.002	0.001 ~ 0.309	148.73	A				
		137	8.05±0.01	7.65~8.32	1.70	B	11	b	137	0.018 ± 0.003	0.001 ~ 0.405	200.19	A				
DO (mg/L)	2	s	137	10.84±0.14	1.93~18.63	15.32	A	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	2	s	132	0.107 ± 0.014	0.001 ~ 1.192	148.59	A		
			137	10.73±0.13	1.61~15.79	14.02	A				2	b	132	0.080 ± 0.010	0.001 ~ 0.778	136.38	A
	5	s	153	9.19±0.10	6.25~14.81	13.41	B		5	s	148	0.118 ± 0.016	0.000 ~ 1.269	160.49	A		
			153	9.00±0.09	5.33~12.10	12.61	B		5	b	148	0.082 ± 0.009	0.000 ~ 0.806	137.62	A		
	8	s	146	6.92±0.12	3.36~11.60	21.61	D		8	s	141	0.141 ± 0.020	0.001 ~ 1.627	169.30	A		
			146	6.36±0.09	3.77~9.59	17.27	D		8	b	141	0.097 ± 0.014	0.001 ~ 1.669	167.36	A		
11	s	142	8.25±0.08	5.06~10.93	12.13	C	11	s	137	0.102 ± 0.007	0.005 ~ 0.443	86.17	A				
		142	8.21±0.08	5.10~10.63	11.25	C	11	b	137	0.089 ± 0.006	0.002 ~ 0.405	82.96	A				
COD (mg/L)	2	s	137	1.23±0.06	0.12~4.38	60.22	BC	DIN (mg/L)	2	s	132	0.144 ± 0.015	0.011 ~ 1.218	118.48	B		
			137	1.14±0.06	0.22~4.29	59.83	B				2	b	132	0.108 ± 0.010	0.015 ~ 0.804	102.76	B
	5	s	153	1.36±0.06	0.31~4.96	53.93	B		5	s	148	0.184 ± 0.022	0.017 ~ 1.903	142.70	AB		
			153	1.22±0.06	0.13~5.79	58.00	AB		5	b	148	0.119 ± 0.010	0.014 ~ 0.897	101.14	AB		
	8	s	146	1.68±0.07	0.44~4.17	51.09	A		8	s	141	0.209 ± 0.021	0.018 ~ 1.697	120.98	A		
			146	1.38±0.05	0.18~3.76	47.25	A		8	b	141	0.151 ± 0.014	0.014 ~ 1.723	113.53	A		
11	s	142	1.08±0.06	0.22~6.88	66.32	C	11	s	137	0.142 ± 0.008	0.011 ~ 0.469	63.20	B				
		142	0.96±0.04	0.24~2.37	43.88	C	11	b	137	0.124 ± 0.006	0.009 ~ 0.405	58.01	AB				
SS (mg/L)	2	s	137	27.44±1.83	1.5~137.5	78.33	A	DIN/DIP	2	s	132	52.85 ± 10.47	1.82 ~ 1204.57	227.51	A		
			20	29.1±5.33	0.2~98.4	81.95	A				2	b	131	32.90 ± 4.21	2.42 ~ 351.29	146.40	A
	5	s	152	20.52±1.38	1.0~90.0	82.68	B		5	s	147	35.57 ± 3.43	4.61 ~ 228.46	116.97	A		
			27	32.47±7.11	7.6~156.8	113.81	A		5	b	148	27.37 ± 2.48	2.00 ~ 167.60	110.06	A		
	8	s	138	15.16±0.95	1.0~62.1	73.67	C		8	s	141	38.84 ± 4.04	2.39 ~ 341.22	123.40	A		
			24	20.08±3.61	4.6~89.2	87.98	A		8	b	141	28.06 ± 4.02	0.60 ~ 419.15	170.05	A		
11	s	142	19.04±1.38	0.3~92.0	86.09	BC	11	s	137	35.09 ± 5.06	1.89 ~ 439.00	168.76	A				
		22	20.31±3.10	0.4~58.0	71.66	A	11	b	137	34.69 ± 5.88	1.11 ~ 427.36	198.31	A				

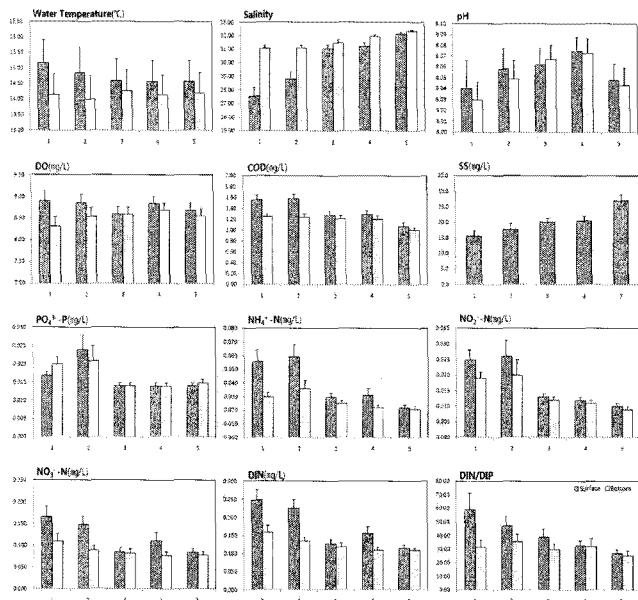


Fig. 3. Spatial tendency of water quality in February, May, August, and November from 1979 to 2009 in the Mokpo coastal zone of the Yellow Sea.

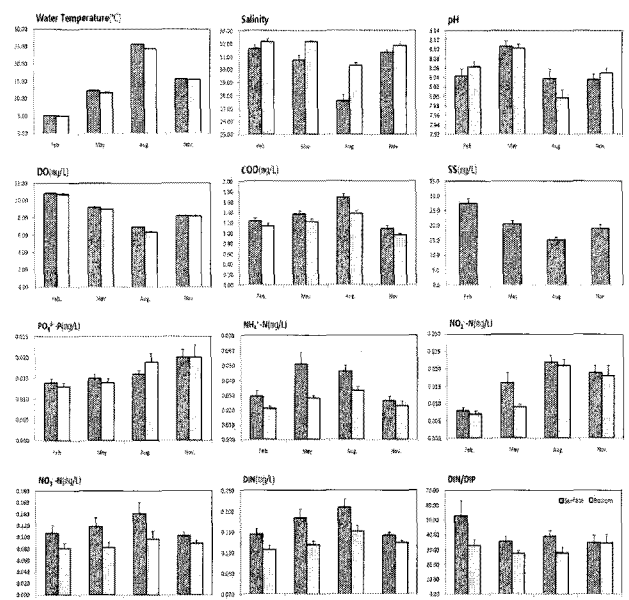


Fig. 4. Seasonal tendency of water quality in six stations from 1979 to 2009 in the Mokpo coastal zone of the Yellow Sea.

Table 5. Total descriptive statistics of water quality parameters from 1979 to 2009 in the Mokpo coastal zone of the Yellow Sea(S; Surface, B; Bottom)

Variable	Layer	N	Mean± SE	Min.	Max.	CV(%)
W.T(°C)	S	578	14.75± 0.32	2.50	30.20	51.79
	B	578	14.17± 0.30	2.40	29.40	51.24
Salinity	S	578	30.27± 0.19	5.82	34.65	15.41
	B	578	31.62± 0.09	8.11	34.66	6.52
pH	S	573	8.06± 0.01	6.46	8.55	2.35
	B	573	8.05± 0.01	6.73	8.92	2.01
DO(mg/L)	S	578	8.78± 0.08	1.93	18.63	22.36
	B	578	8.55± 0.08	1.61	15.79	22.82
COD(mg/L)	S	578	1.34± 0.03	0.12	6.88	59.19
	B	578	1.18± 0.03	0.13	5.79	54.64
NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	S	558	0.038± 0.003	0.001	0.576	159.14
	B	558	0.026± 0.001	0.000	0.405	117.29
NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	S	558	0.017± 0.001	0.000	0.368	172.34
	B	558	0.014± 0.001	0.000	0.405	159.26
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	S	558	0.117± 0.008	0.000	1.627	152.30
	B	558	0.087± 0.005	0.000	1.669	136.70
DIN(mg/L)	S	558	0.171± 0.009	0.011	1.903	122.80
	B	558	0.126± 0.005	0.009	1.723	99.37
PO ₄ ³⁻ -P(mg/L)	S	558	0.016± 0.001	0.000	0.309	108.35
	B	558	0.017± 0.001	0.000	0.405	127.52
SS(mg/L)	S	569	20.52± 0.73	0.3	137.5	84.84
	B	93	22.67± 2.67	0.2	156.8	100.14
DIN/DIP	S	557	40.38± 3.10	1.82	1204.57	181.12
	B	557	30.65± 2.13	0.6	427.36	163.90

차이가 있었으며($p \leq 0.0222$), 영산강 및 육상의 오염 부하량이 높은 정점 1과 정점 2에서 높았고 외해 측으로 갈수록 낮아져 정점 1~2, 정점 3~4 및 정점 5의 세 그룹으로 구분되어지는 특징을 나타내었다. 변동계수는 표층 50.25(정점 2)~68.13%(정점 5), 저층 45.40(정점 5)~62.17%(정점 3)로 천수만(박 등, 2006), 아산연안(박 등, 2007), 인천연안(박 등, 1999; Park and park, 2000) 및 군산연안(박 등, 2009)에 비해 다소 높은 변동 폭을 나타내었다(Table 3, Fig. 3). 계절별로는 표층 1.08±0.06 mg/L(11월)~1.68±0.07 mg/L(8월), 저층 0.96±0.04 mg/L(11월)~1.38±0.05 mg/L(8월)로 표·저층 공히 계절별 높은 유의적 차이가 있었으며($p < 0.0001$), 변동계수는 표층 50.25(5월)~68.13%(11월), 저층 43.88(11월)~59.83%(2월)로 천수만 및 아산연안과 비슷한 상태였다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 대체로 연간 표층 0.019 mg/L, 저층 0.011 mg/L씩 증가하는 변곡선 형태를 나타내었다. 1979년에는 표층 0.68±0.06 mg/L, 저층 0.71±0.06 mg/L로 그 후 증감을 반복하면서 점차 높아져 2003년에는 표층 1.95±0.17 mg/L, 저층 1.66±0.18 mg/L로 조사기간 동안 가장 높은 상태였고 그 후 불규칙적으로 감소경향으로 2009년에는 표층 0.92±0.11 mg/L, 저층 0.70±0.05 mg/L를 유지하고 있다. 변동계수는 표층에서는 23.88%(1982년)~131.52%(1994년), 저층에서는 27.35%(2001년)~90.71%(2004년)범위로 2000년 중반 이후가 대체로 높은 경향을 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

6) 부유물질

부유물질은 정점별 평균 표층 15.66±1.64 mg/L(정점 1)~27.06±1.79 mg/L(정점 5)로 외해 측으로 갈수록 높았고, 정점 간 유의적인 차이가 있었다($p < 0.0001$). 변동계수는 표층 67.02(정점 3)~108.90%(정점 1)로 천수만(박 등, 2006)과 군산연안과 다르게 내측이 외측에 비해 변동 폭이 컸다(Table 3, Fig. 3). 계절별로는 표층 15.16±1.0 mg/L(8월)~27.44±1.84 mg/L(2월)로 계절별 유의적인 차이가 있었다($p < 0.0001$). 이러한 현상은 겨울에 북서계절풍의 영향으로 높고 여름에 낮은 서해안의 일반적인 현상과 같은 경향이었다. 변동계수는 표층 73.67(8월)~86.09%(11월)로 연중 비슷하나 여름과 겨울철에 비해 봄과 가을철이 약간 높은 분산량을 나타내었다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동양상은 조사초기인 1979년부터 1981년까지 표층 38.1±6.0 mg/L(1980년)~45.2±5.7 mg/L(1981년)로 조사기간 중 월등히 높았는데 이는 영산강 하구 독 공사로 인하여 영향을 많이 받는 내측인 정점 1, 2에서 그러한 현상이 뚜렷하였고 외측으로 갈수록 줄어드는 경향이였으며 그 후는 대체로 평형내지는 근년에 약간 높아지는 경향을 나타내었다. 내측의 경우 부유물질량의 감소경향은 조류유속이 감소하여 해저퇴적물의 저층 재부유 현상이 감소하였고, 수괴의 수직적 성층이 형성되어 저층 혼탁수의 상부 확산이 둔화되었기 때문으로 해석된다(최 등, 1995). 변동계수 역시 1979년 39.14%로 비교적 변동 폭이 적었으나 그 후 증가하여 1989년에는 159.21%이었던가 점차 감소 추세로 증감을 반복하여 2009년에는 76.63%을 나타내고 있었다(Table 5, Fig. 5).

7) 인산인(PO₄³⁻-P)

인산인은 정점별 평균이 표층 0.014±0.001 mg/L(정점 3~5)~0.024±0.004 mg/L(정점 2), 저층 0.014±0.001 mg/L(정점 3,4)~0.021±0.004 mg/L(정점 2)로 표·저층 간 차이가 없었으며 정점 간에는 표층에서는 유의적인 차이가 있어(표층 $p < 0.0001$) 정점 1과 그 외 정점으로 구분되었으나, 저층에서는 정점 간 유의적인 차이가 없었다(저층 $p = 0.0219$). 진해만의 0.045 mg/L에 비해 40% 수준이었으나 새만금연안 및 아산만과 유사하였고, 천수만과 곰소만에 비해 다소 높은 상태였으며 인천 및 경기만에 비해 약간 낮은 상태였다(Table 3, Fig. 3). 변동계수는 표층의 경우 53.15(정점 5)~143.23%(정점 2)로 항인근인 정점 2에서 분산량이 컸으며 그 외 정점에서는 대체로 유사하였고, 저층은 52.21(정점 5)~198.95%(정점 2)로 내만측이 외측에 비해 변동 폭이 큰 상태이었다. 계절별로는 표층 0.014±0.001 mg/L(2월)~0.020±0.002 mg/L(11월), 저층 0.013±0.001 mg/L(2월)~0.020±0.003 mg/L(11월)로 대체로 겨울철과 봄철에 낮았고 가을철이 높아 유의적인 차이($p \leq 0.0242$)가 있었는데, 이것은 아산연안(박 등, 2007) 과 천수만(박 등, 2006) 및 군산연안과 같은 경향이었다. 변동계수는 표층 80.00(2월)~136.58%(11월), 저층 63.46(2월)~174.07%(11월)로 서해 연안인 경기만(박 등, 1999; Park and park, 2000), 아산연안 및 천수만에 비해 변동 폭이 약간 큰 수준이었고 군산연안과 비슷한 수준이었다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 1980년 표층 0.027±0.002 mg/L, 저

중 $0.025 \pm 0.001 \text{ mg/L}$ 로 1988년까지 증감을 반복하면서 표층 $0.023 \pm 0.004 \text{ mg/L}$, 저층 $0.029 \pm 0.004 \text{ mg/L}$ 이었으나 그 후 1994년까지 낮아져 표층 $0.006 \pm 0.001 \text{ mg/L}$, 저층 $0.008 \pm 0.001 \text{ mg/L}$ 로 가장 낮은 농도를 보이다가 그 후 불규칙적으로 증가하여 2006년 표층 $0.030 \pm 0.006 \text{ mg/L}$, 저층 $0.018 \pm 0.002 \text{ mg/L}$, 2008년 표층 $0.023 \pm 0.015 \text{ mg/L}$, 저층 $0.031 \pm 0.020 \text{ mg/L}$ 로 높은 수준을 나타내었다 (Table 5, Fig. 5).

8) 암모니아질소($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)

암모니아질소는 정점별 평균이 표층 $0.022 \pm 0.002 \text{ mg/L}$ (정점 5)~ $0.059 \pm 0.009 \text{ mg/L}$ (정점 2), 저층 $0.021 \pm 0.002 \text{ mg/L}$ (정점 5)~ $0.036 \pm 0.006 \text{ mg/L}$ (정점 2)로 표·저층 간 유의적인 차이가 있었으며($p < 0.0001$), 대체로 내측이 외해 측에 비해 1.5~2.5배 정도 높은 상태로 표·저층 공히 유의적 차이가 있어($p \leq 0.0027$) 표층의 경우 정점 1, 2와 정점 3~5의 두 그룹으로 구분되어지고 저층은 정점 1과 정점 2 및 정점 3~5의 세 그룹으로 구분되어진다. 인천연안(박 등, 1999; Park and park, 2000) 측정치에 비해 13% 수준, 새만금 연안(김과 김, 2002)의 30% 수준으로 낮았으며 아산만(박 등, 2007) 및 천수만(박 등, 2006)과 유사한 결과를 나타내었다(Table 3, Fig. 3). 변동계수는 표층 78.42(정점 5)~179.85%(정점 4), 저층 84.97(정점 3)~151.46%(정점 2)로 정점별 변동 폭이 큰 상태이었다. 계절별로는 표층 $0.026 \pm 0.003 \text{ mg/L}$ (11월)~ $0.051 \pm 0.008 \text{ mg/L}$ (5월), 저층 $0.021 \pm 0.002 \text{ mg/L}$ (2월)~ $0.033 \pm 0.003 \text{ mg/L}$ (8월)로 표층에서는 봄철, 여름철 및 가을철, 겨울철로 양분되어지며, 저층에서는 여름철과 봄철 및 가을철~겨울철의 세 그룹으로 구분되어지는 상태로 유의적인 차이가 있었다(표층 $p=0.0007$, 저층 $p=0.0102$). 변동계수는 표층 104.40(8월)~184.27%(5월), 저층 93.40(8월)~168.30%(11월)로 여름철이 다른 계절에 비해 변동 폭이 다소 낮았다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 변곡선 형태를 보이고 있어 1980년에 표층 $0.207 \pm 0.007 \text{ mg/L}$, 저층 $0.029 \pm 0.007 \text{ mg/L}$ 를 기점으로 점차 높아져 1985년에는 표층 $0.103 \pm 0.030 \text{ mg/L}$, 저층 $0.045 \pm 0.005 \text{ mg/L}$ 로 가장 높았으며, 그 후 점차 불규칙적으로 감소하여 2001년에는 표층 $0.011 \pm 0.003 \text{ mg/L}$, 저층 $0.009 \pm 0.002 \text{ mg/L}$ 로 가장 낮아진 후 다시 증가하여 2006년에는 표층 $0.088 \pm 0.041 \text{ mg/L}$, 저층 $0.038 \pm 0.007 \text{ mg/L}$ 이었으나, 근년인 2007년과 2009년에는 전반적으로 낮은 상태이었다(Table 5, Fig. 5).

9) 질산질소($\text{NO}_3^- - \text{N}$)

질산질소는 정점별 평균이 표층 $0.085 \pm 0.010 \text{ mg/L}$ (정점 3, 5)~ $0.167 \pm 0.024 \text{ mg/L}$ (정점 1), 저층 $0.077 \pm 0.009 \text{ mg/L}$ (정점 4)~ $0.110 \pm 0.018 \text{ mg/L}$ (정점 1)로 표·저층 간 유의적인 차이가 있었다($p < 0.0001$), 정점별 차이는 표층의 경우 유의적인 차이가 있어($p=0.0008$) 대체로 내측인 정점 1, 2와 정점 4 및 정점 3, 5의 세 그룹으로 구분되어지는 반면 저층에서는 유의적인 차이가 없어 본연안의 표층에서 주로 내만으로 갈수록 육수의 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 인천연안 0.338 mg/L (박 등, 1999; Park and Park, 2000), 군산연안 0.437 mg/L (박 등, 2009)의 20~30%

수준이었고, 천수만(박 등, 2006)의 $0.035 \pm 0.003 \text{ mg/L}$ 에 비해서는 3배정도 높은 농도를 나타내었다(Table 3, Table 6, Fig. 3). 변동계수는 표층 101.38%(정점 5)~177.21%(정점 4), 저층 100.00%(정점 5)~174.75%(정점 1)로 외해 측 정점에서 분산량이 적었다. 계절별로는 일반적으로 연안역에서 봄철과 여름철에는 낮고 늦은 가을과 겨울철에는 높은 상태인 것으로 알려져 있으나(Gentilhomme and Lizon, 1998; Fock, 2003), 본 연안에서는 표층의 경우는 가을철인 11월에 $0.102 \pm 0.007 \text{ mg/L}$ 로 낮았고 여름철인 8월이 $0.141 \pm 0.020 \text{ mg/L}$ 로 약간 높았으나 유의적인 차이는 없었으며($p=0.2537$), 저층의 경우는 2월이 $0.080 \pm 0.010 \text{ mg/L}$ 낮았고, 8월이 $0.097 \pm 0.014 \text{ mg/L}$ 로 약간 높았으나 표층과 마찬가지로 계절별 유의적인 차이가 없었는데($p=0.6318$)(Table 4, Fig. 4), 이는 영산강의 영향을 많이 받는 하구역으로 군산연안과 마찬가지로 연안역과 다른 특징을 나타내었다. 연도별 변동 양상은 전반적으로 표·저층 공히 점차 증가하는 추세로서 표층 연 0.007 mg/L , 저층은 0.0057 mg/L 로 표층의 증가폭이 약간 큰 경향을 나타내었다. 조사가 시작된 1980년에는 표층 $0.121 \pm 0.016 \text{ mg/L}$, 저층 $0.094 \pm 0.012 \text{ mg/L}$ 이었다가 낮아져 1985년에는 표층 $0.017 \pm 0.004 \text{ mg/L}$, 저층 $0.010 \pm 0.002 \text{ mg/L}$ 로 가장 낮은 농도를 나타낸 후 점차 증가하였다. 특히 1990년대 하반기부터 불규칙하면서도 농도가 급격히 증가하여 2006년에는 표층 $0.559 \pm 0.116 \text{ mg/L}$, 저층 $0.280 \pm 0.046 \text{ mg/L}$ 최대치를 보이다가 그 후 안정화되어 2009년에는 표층 $0.166 \pm 0.026 \text{ mg/L}$, 저층 $0.138 \pm 0.015 \text{ mg/L}$ 를 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

10) 용존무기질소(DIN)

용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 산출하였으며, 그 기여도에 있어 질산질소는 표층 68.421%와 저층 69.05%, 암모니아질소는 표층 22.22%와 저층 20.63%, 아질산질소는 표층 9.94%와 저층 11.11%이었다. 정점별 평균은 표층 $0.117 \pm 0.008 \text{ mg/L}$ (정점 5)~ $0.248 \pm 0.029 \text{ mg/L}$ (정점 1), 저층 $0.110 \pm 0.009 \text{ mg/L}$ (정점 4, 5)~ $0.159 \pm 0.019 \text{ mg/L}$ (정점 1)로 표·저층 간 유의적인 차이가 있었으며($p < 0.0001$), 표층과 저층 공히 정점 간 유의적 차이가(표층 $p < 0.0001$, 저층 $p=0.0151$) 있어 표층은 정점 1, 2와 그 외 정점의 두 그룹, 저층은 정점 1과 정점 2, 3 및 정점 4, 5의 세 그룹으로 구분되어지는 특징을 보였다. 타 연안역과 유사한 시기의 결과를 살펴볼 때, 인천연안의 0.665 mg/L (Park and park, 2000)에 비해 22%, 아산연안 0.258 mg/L (박 등, 2007)의 60% 수준이었고, 천수만의 0.098 mg/L (박 등, 2006)과 곰소만(양 등, 2003)의 0.114 mg/L 보다는 높은 농도를 나타내었다(Table 3, 6, Fig. 3), 변동계수는 표층 73.67(정점 5)~119.95%(정점 5), 저층 72.74(정점 5)~124.72%(정점 1)로 외해 측으로 갈수록 분산량이 적었다. 계절별로는 표층의 경우 가을철인 11월이 $0.142 \pm 0.008 \text{ mg/L}$ 로 낮았었고 여름철인 8월이 $0.209 \pm 0.021 \text{ mg/L}$ 로 높아 유의적 차이($p=0.0178$)가 있었으며, 저층의 경우 겨울철인 2월이 $0.108 \pm 0.010 \text{ mg/L}$ 로 낮았었고 여름철인 8월이 $0.151 \pm 0.014 \text{ mg/L}$ 로 높아 표층보다 낮은 유의적인 차이($p=0.0335$)가 있었

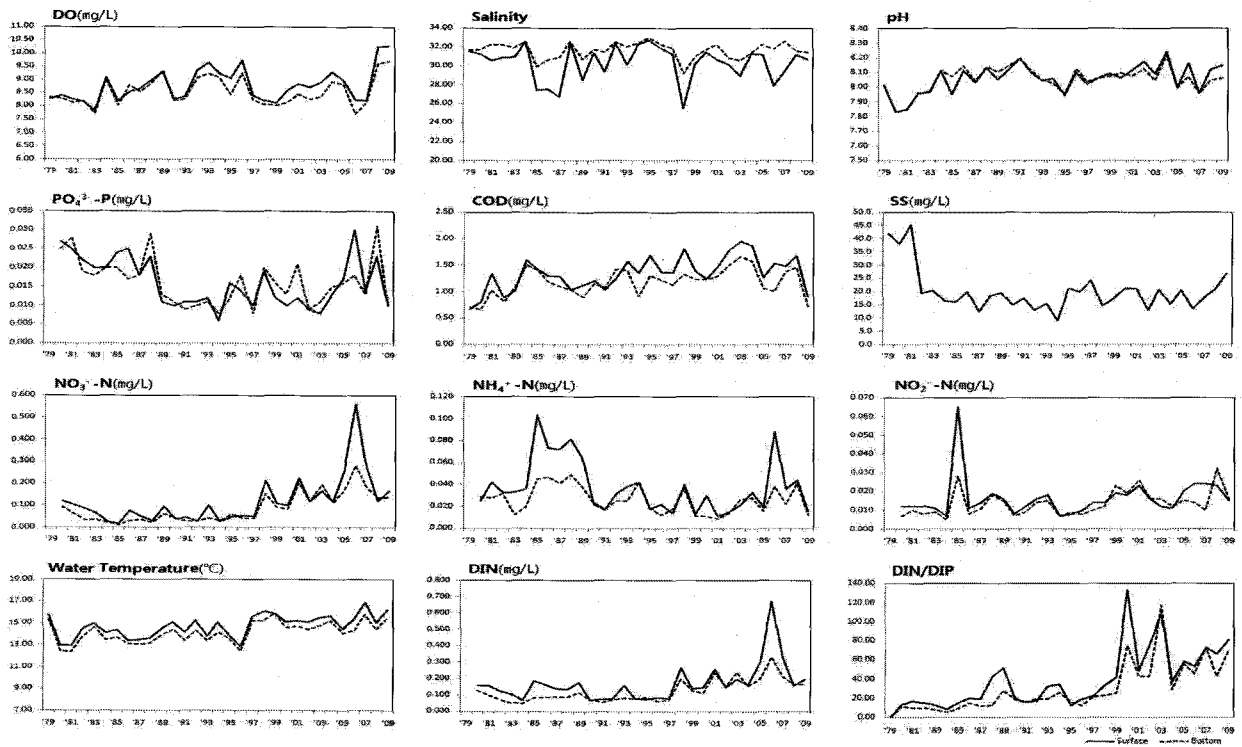


Fig. 5. Annual trends of water quality from 1979 to 2009 in the Mokpo coastal zone.

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
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

다. 변동계수는 표층 63.20(11월)~142.70%(5월), 저층 58.01(11월)~113.53%(8월)로 가을철이 다른 계절에 비해 변동 폭이 낮은 상태이었다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동 양상은 질산질소와 유사하게 변곡선 형태를 나타내었으며 전반적으로 표층 연 0.006 mg/L, 저층 연 0.005 mg/L 정도 증가하는 경향을 보여 주었다. 1980년에는 표층 0.159±0.023 mg/L, 저층 0.129±0.019 mg/L 이었다가 점차 낮아져 1984년에 표층 0.067±0.007 mg/L, 저층 0.047±0.004 mg/L로 가장 낮았다가 그 후 증감을 반복하면서 증가추세를 나타내었다. 2006년에 표층 0.671±0.148 mg/L, 저층 0.331±0.051 mg/L로 가장 높았었으며 그 후 안정화되다가 2009년에 표층 0.197±0.028 mg/L, 저층 0.166±0.018 mg/L로 해역별 수질 기준 2등급을 유지하고 있다(Table 5, Fig. 5).

11) DIN/DIP 비

DIN/DIP 비의 정점별 평균은 표층 27.04±2.75(정점 5)~59.23±12.33(정점 1), 저층 25.20±3.55(정점 5)~35.47±5.55(정점 2)로 표·저층 간에 높은 유의적인 차이가 있었고(p<0.0001), 표층의 경우 정점 별 유의적인 차이가 있어(p=0.01) 하구 인근인 정점 1, 정점 2~3, 정점 4~5의 3 그룹으로 구분된 반면 저층은 정점별 유의적인 차이가 없었다(-0.6661). 인천연안의 89.47±18.39~179.69±56.93(박 등, 1999; Park and Park, 2000), 군산연안의 84.44±17.66~95.40±9.43(박 등, 2009) 및 아산연안 54.99±10.39(박 등, 2007)에 비해 낮았고, 가로림연안 26.27±3.22~63.35±41.41(박 등, 2009), 새만금연안(김과 김, 2002) 32.23과 비슷하였으며, 천수만(박 등, 2006) 27.31±2.56, 곰소만(양 등, 2003) 17.25에 비해 높은 상태이었다(Table 3, 6, Fig. 3). 변동

목포연안 수질환경의 특성과 장기변동

계수는 표층 111.12(정점 5)~216.34%(정점 1), 저층 138.77(정점 3)~190.54%(정점 4)로 표·저층의 비슷한 변동 폭을 나타내었다. 계절별로는 표층의 경우 35.09±5.06(가을철)~52.85±10.47(겨울철)범위로 유의적인 차이가 없었고(p=0.154), 저층의 경우 27.37±2.48(봄철)~34.69±5.88(가을철)범위로 표층과 마찬가지로 계절별 유의적인 차이가 없었다(p=0.5424). 전반적으로 연중 DIN/DIP 비가 Redfield ratio(Redfield et al., 1963)인 16이상으로 인산인이 식물플랑크톤의 제한요인으로 작용하고 있어 인산인의 외부유입이 있을시 적조의 대량 발생이 우려된다. 변동계수는 표층 116.97(봄철)~227.51%(겨울철), 저층 110.06(봄철)~198.31%(가을철)로 표·저층 공히 비슷한 변동 폭을 나타내었다(Table 4, Fig. 4). 연도별 변동양상은 전반적으로 연간 표층 2.37, 저층 2.16 정도씩 증가 경향으로 1980년에 표층 13.41±1.69, 저층 11.36±1.29이었고 그 후 점차 감소하여 1984년에는 표층 8.34±1.12, 저층 5.48±0.47 로 가장 낮은 상태이었다가 그 후 증감을 반복하면 서 약간씩 증가경향이었다가 2000년과 2003년에 급격

히 증가경향이었고, 2004년 표층 36.66±8.17, 저층 28.92±5.57로 낮아진 후 계속 높아지는 경향으로 2009년에는 표층 80.65±17.61, 저층 70.17±15.97을 나타내었다(Table 5, Fig. 5).

3.3 수질항목간의 상관성

31년간의 수질자료(n=569~578)를 통하여 항목간의 상관분석 결과 표층과 저층 공히 수온은 염분, 수소이온농도, 용존산소, 부유물질과 음의 상관성이 있는 반면, 화학적산소요구량, 아질산질소와는 양의 상관성이 있었다. 염분은 수소이온농도, 용존산소, 부유물질과 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 인산인과 음의 상관성이 있었다. 용존산소는 아질산질소와 음의 상관성이 있었고, 화학적산소요구량은 표층에서만 질산질소 및 용존무기질소와 양의 상관성이

Table 7. Pearson's correlation analysis among water quality parameters in the Mokpo costal zone of Korea from 1980 to 2009(Upper; Surface water, Down; Bottom water)

	Sal.	pH	DO	COD	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DINs	PO ₄ ³⁻ -P	SS
W.T	-0.3162	-0.0471	-0.7104	0.1766	0.0786	0.1789	0.0977	0.1308	0.0377	-0.2607
	<.0001	0.2603	<.0001	<.0001	0.0636	<.0001	0.021	0.002	0.3746	<.0001
Sal.		0.1917	0.2817	-0.3937	-0.4529	-0.3361	-0.4462	-0.5591	-0.1766	0.1885
		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
pH			0.2575	0.1067	-0.1427	-0.0708	-0.0329	-0.0773	-0.1726	-0.1090
			<.0001	0.0106	0.0008	0.0963	0.4401	0.0694	<.0001	0.0096
DO				-0.0070	-0.0993	-0.1638	-0.0295	-0.0767	-0.1150	0.1432
				0.8676	0.019	0.0001	0.4871	0.0703	0.0065	0.0006
COD					0.0920	0.1025	0.2549	0.2645	-0.0791	-0.2261
					0.0299	0.0154	<.0001	<.0001	0.0618	<.0001
NH ₄ ⁺ -N						0.5770	0.2031	0.5181	0.4623	-0.1525
						<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003
NO ₂ ⁻ -N							0.2187	0.4359	0.4835	-0.1607
							<.0001	<.0001	<.0001	0.0002
NO ₃ ⁻ -N								0.9333	0.2539	-0.0573
								<.0001	<.0001	0.1801
DIN									0.3286	-0.1090
									<.0001	0.0106
PO ₄ ³⁻ -P										0.0048
										0.9112

W.T.	Sal.	pH	DO	CON	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN	PO ₄ ³⁻ -P
W.T.	-0.3298	-0.1746	-0.8048	0.0790	0.0999	0.2392	0.0682	0.1340	0.0774
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0576	0.0182	<.0001	0.1077	0.0015	0.0678
Sal.		0.1107	0.3752	-0.1295	-0.2265	-0.1915	-0.2244	-0.3103	-0.0207
		0.008	<.0001	0.0018	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.6254
pH			0.2566	0.1047	-0.0513	-0.0825	-0.1062	-0.1259	-0.1084
			<.0001	0.0122	0.2283	0.0524	0.0124	0.003	0.0107
DO				-0.0001	-0.0952	-0.2372	-0.0837	-0.1481	-0.1189
				0.9975	0.0245	<.0001	0.048	0.0004	0.0049
COD					-0.0629	-0.0283	0.0474	0.0387	-0.1024
					0.1376	0.5047	0.2636	0.3613	0.0155
NH ₄ ⁺ -N						0.4902	0.0204	0.2098	0.5109
						<.0001	0.6304	<.0001	<.0001
NO ₂ ⁻ -N							0.2224	0.3032	0.6827
							<.0001	<.0001	<.0001
NO ₃ ⁻ -N								0.9661	0.1800
								<.0001	<.0001
DIN									0.2036
									<.0001

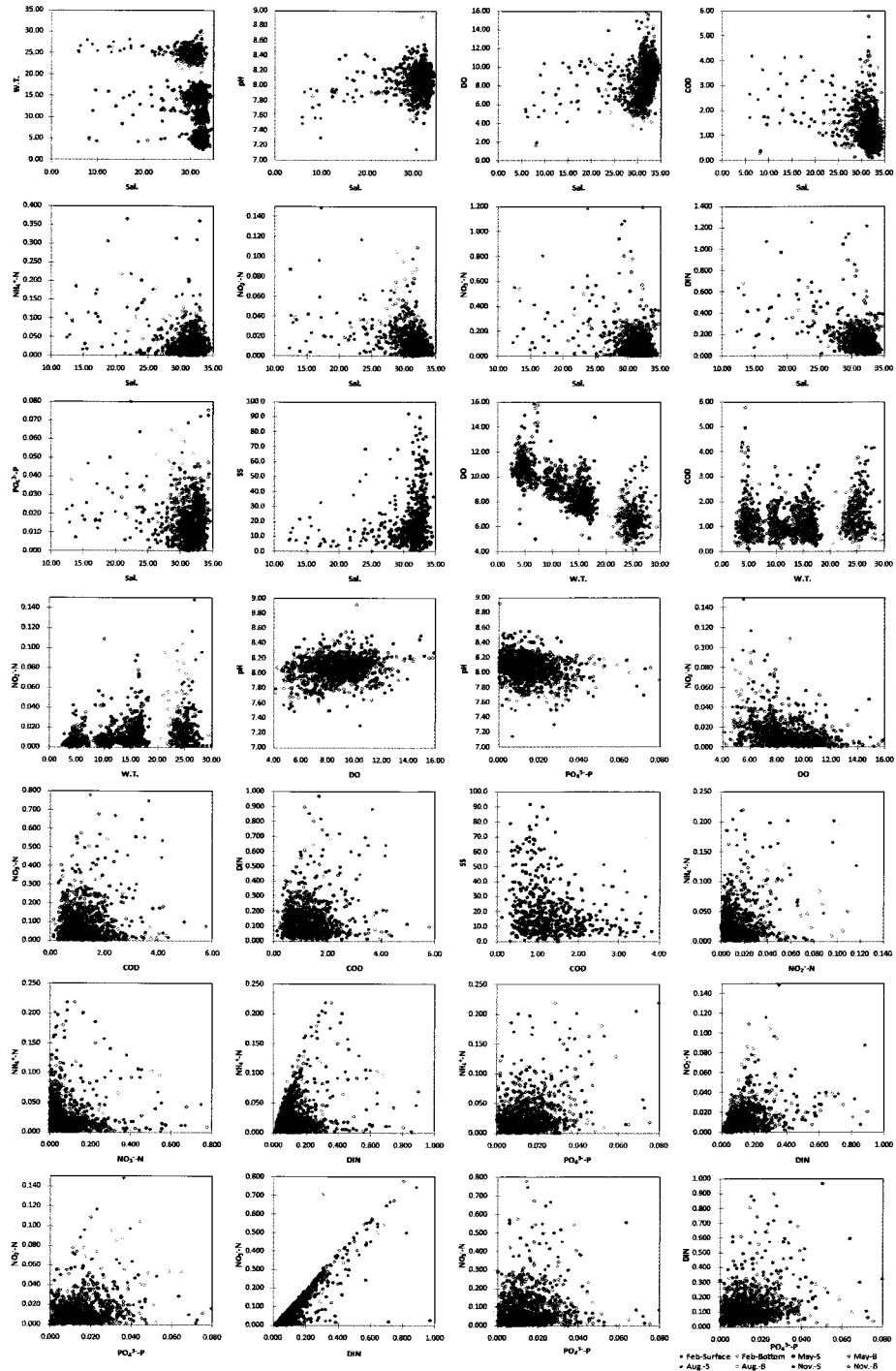


Fig. 6. Relationship among water quality parameters. All the values were double transformed with square roots for the data normality.

있는 반면 인산인과 음의 상관성이 있었다. 인산인은 암모니아 질소, 아질산질소, 질산질소 및 용존무기질소와 양의 상관성이 입증되었다(Table 7). 그 중에서 염분은 수온과 음의 상관성을 보이고 계절별로 유의적인 차이를 나타내었으며, 수소이온농도 및 용존산소와는 양의 상관성을, 화학적산소요구량, 인산인, 암모니아질소 및 질산질소와는 음의 상관성을 나타내었다(Fig. 6). 이러한 결과는 대체로 아산연안, 천수만 및 군산연안과 같은 경향으로 육수의 영향에 따라 변화되고 있음을 시사하고 있다.

3.4. 수질의 장기 변동

1980년부터 2009년까지 30년간 조사한 수질환경 요인들의 경년 변동 관계를 통계적 분석을 통해 자세히 살펴보고자 표층과 저층의 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 등이었다. 수층별로 살펴보면 표층의 경우 주성분 I에

서는 연 변화를 26.71% 설명할 수 있었으며 이 중 용존무기질소> 염분> 질산질소> 암모니아질소> 아질산질소 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 24.70%를 설명할 수 있었으며, 이 중 인산인> 수온> 수소이온농도> 화학적산소요구량> 암모니아질소> 용존산소 순으로 기여하고 있었다. 주성분 III에서는 13.73%를 설명할 수 있었으며, 이 중 질산질소> 부유물질> 암모니아질소> 용존무기질소> 수온 순으로 기여하고 있었다. PCA에 이용된 모든 수질항목은 주성분 I, II, III에 2% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 8). 주성분 I은 용존무기질소, 질산질소, 암모니아질소, 아질산질소와 양의 상관성($p \leq 0.0209$), 염분과는 음의 상관성($p < 0.0001$)을 나타내었다. 주성분 II에서는 수온, 수소이온농도, 화학적산소요구량 및 용존산소와 양의 상관성($p \leq 0.0265$), 인산인 및 암모니아질소와는 음의 상관성($p \leq 0.018$)을 나타내었고, 주성분 III에서는 질산질소 및 부유물질과 양의 상관성($p \leq 0.0041$), 암모니아질소와 음의 상관성($p = 0.0183$)을 나타내었다(Fig. 7). 저층의 경우 주성분 I에서는 연 변화를 26.66% 설명할 수 있었으며 이 중 수온> 질산질소> 용존무기질소> 아질산질소> 염분 순으로 기여하고 있었다. 주성분 II에서는 17.09%를 설명할 수 있었으며, 이 중 수소이온농도> 인산인> 화학적산소요구량 순으로 기여하고 있었다. 주성분 III에서는 16.76%를 설명할 수 있었으며, 이 중 암모니아질소> 인산인> 염분 순으로 기여하고 있었다. PCA에 이용된 용존산소를 제외한 모든 수질항목은 주성분 I, II, III에 1% 이하의 유의 수준에서 의미 있는 상관성이 있었다(Table 8). 주성분 I은 수온, 질산질소, 용존무기질소 및 아질산질소와 양의 상관성($p \leq 0.0048$), 염분과 음의 상관성($p = 0.013$)을 나타내었다. 주성분 II에서는 수소이온농도 및 화학적산소요구량과 양의 상관성($p \leq 0.0064$), 인산인과는 음의 상관성($p = 0.0002$)을 나타내었고, 주성분 III에서는 암모니아질소 및 인산인과 양의 상관성($p \leq 0.0095$), 염분과는 음의 상관성($p = 0.0144$)을 나타내었다(Fig. 7).

30년 동안 수질의 장기변동은 표층과 저층이 약간 다른 경향으로 표층의 경우 대체로 네 그룹으로 구분되어지는데 즉 1980년과 1981년의 I그룹, 1985년의 II그룹, 2006년의 III그룹, 그 외 조사기간인 26개년의 IV그룹이다. I그룹은 조사초기인 1980년과 1981년으로 부유물질이 조사기간 중 가장 높았고, 수온과 수소이온농도, 영양염류인 암모니아질소와 아질산질소는 상대적으로 낮았으며 인산인은 비교적 높은 특징을 나타내었다. II그룹은 1985년으로 암모니아질소가 높았으며 용존산소와 질산질소가 낮았었다. III그룹인 2006년에는 영양염류인 암모니아질소, 질산질소, 용존무기질소 및 인산인이 월등히 높은 반면 염분은 낮은 경향이었다. IV그룹은 대부분의 조사기간인 26년이며 그중에서 세 소그룹으로 구분 될 수 있는데, 1998년, 2001년, 2005년 및 2007년의 i그룹, 2009년의 ii그룹, 그 외 21년의 iii그룹이다. i그룹은 대체로 수소이온농도, 질산질소, 용존무기질소가 상대적으로 높았고, ii그룹은 2009년으로 영양염류는 안정화되고 부유물질을 증가되었으며, iii그룹은 그 외 조사기간으로 대체로 대부분의 조사항목에서 안정된 상태를 나

타내었다. 저층의 경우에는 두 그룹으로 양분되어지는데 1980년~1982년, 1984년~1989년, 1992년~1996년 및 2008년~2009년의 I그룹, 그 외인 1983년, 1990년, 1991년, 1997년~2007년의 II그룹으로 구분되어진다. I그룹에서는 조사기간 중 대체로 염분, 용존산소와 영양염류 중 인산인과 암모니아질소가 높은 경향을 나타내었고, II그룹에서는 화학적산소요구량과 영양염류 중 질산질소, 용존무기질소가 상대적으로 높았었으며 전반적으로 II그룹에 비해 I그룹이 양호한 수질상태를 나타내었다. 본 조사연안은 표·저층이 다른 장기변동경향을 나타내었고 저층은 단순한 경향을 유지하고 있어 비교적 안정된 상태인 반면, 표층은 외부 육수 등의 영향으로 연간 변동이 심한 상태로 2000년 중반부터는 영양염류가 높았었으나 2009년에 비교적 안정화된 상태를 유지하고 있었다(Table 6, Fig. 7, Fig. 8).

Table 8. Spearman's correlation coefficient among water quality parameters and principal component scores using the annual means of seasonal data from 1980 to 2009 in the Mokpo coastal zone of the 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.	0.2507	0.6899	0.3864	0.7919	0.2315	-0.2976
	0.1814	<.0001	0.0349	<.0001	0.2184	0.1103
Salinity	-0.7923	0.0959	-0.0263	-0.4483	-0.1251	-0.4423
	<.0001	0.6142	0.8905	0.0130	0.5101	0.0144
pH	0.0071	0.6106	-0.2491	-0.0025	0.6580	0.3607
	0.9701	0.0003	0.1844	0.9897	<.0001	0.0502
DO	-0.3100	0.4048	-0.3211	-0.2839	0.2839	0.2859
	0.0955	0.0265	0.0836	0.1284	0.1284	0.1256
COD	0.3231	0.4704	0.0788	0.3369	0.4862	0.2290
	0.0816	0.0087	0.6791	0.0687	0.0064	0.2236
NH ₄ ⁺ -N	0.4275	-0.4288	-0.4279	-0.1784	-0.3428	0.7077
	0.0185	0.0180	0.0183	0.3457	0.0637	<.0001
NO ₂ ⁻ -N	0.4200	0.1874	-0.1252	0.5006	-0.0348	0.3430
	0.0209	0.3214	0.5099	0.0048	0.8553	0.0635
NO ₃ ⁻ -N	0.5907	0.2505	0.6982	0.7830	-0.2115	-0.0710
	0.0006	0.1819	<.0001	<.0001	0.2619	0.7092
DIN	0.8255	0.0497	0.4128	0.7704	-0.3592	0.1764
	<.0001	0.7943	0.0234	<.0001	0.0512	0.3512
PO ₄ ³⁻ -P	0.2412	-0.7549	0.1645	-0.2161	-0.6227	0.4657
	0.1992	<.0001	0.3850	0.2514	0.0002	0.0095
SS	-0.2043	-0.3104	0.5082			
	0.2790	0.0951	0.0041			
% of variance explained	26.71	24.70	13.73	26.66	17.09	16.76

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

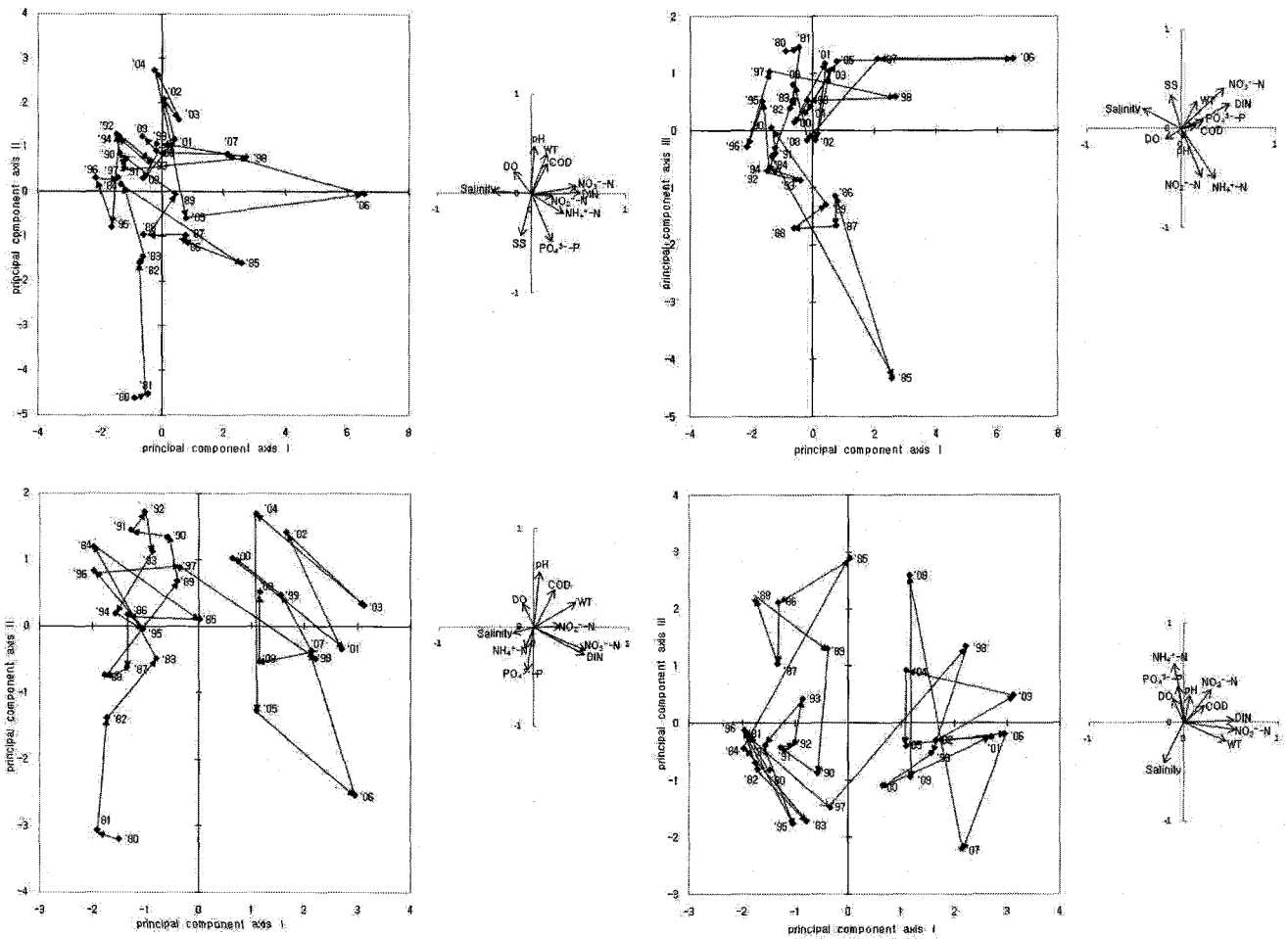


Fig. 7. Principal component ordination of 30 year water quality using the annual mean of stations from 1980 to 2009 in the Mokpo coastal zone of the Yellow Sea. The correlations between the PCA scores and the analysed variables are expressed with vectors(Upper; Surface water, Down; Bottom water).

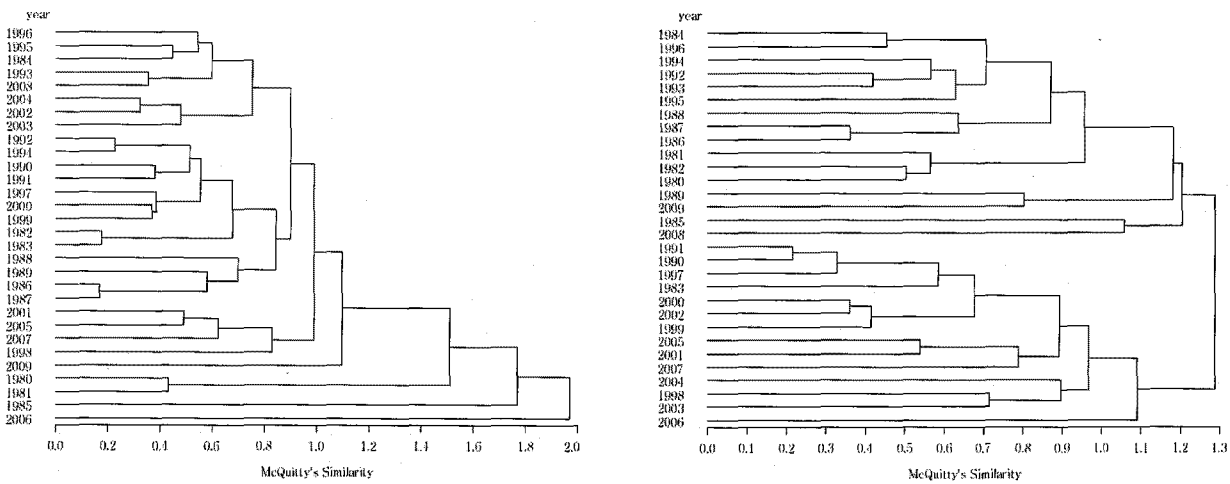


Fig. 8. Dendrogram showing classification of 30 year water quality using the annual principal component scores of stations from 1980 to 2009 in the Mokpo coastal zone of the Yellow Sea. The correlations between the PCA and the analysed variables are expressed with vectors(Left; Surface water, Right; Bottom water).

4. 결론

1979년부터 2009년까지 31년 동안 목포연안에서 5개 조사점의 수층(표층·저층)별, 계절별(2, 5, 8, 11월)로 년 4회 조사한 결과, 표층수와 저층수 간에는 수소이온농도 및 인산인을 제외한 전조사항목에서 표·저층간의 차이가 컸었다($p \leq 0.0001$). 정점 간의 공간적 분포 특성을 보면 수온과 수소이온농도 및 용존산소는 표층과 저층 공히, 인산인과 질산질소는 저층에서 정점 간 차이가 없었으나, 그 외 조사항목에서는 $p \leq 0.0222$ 수준에서 정점 간 차이가 있었으며 주성분 분석결과 표층과 저층이 다른 양상을 보였는데 표층에서는 영산강 영향과 항구인접인 정점 1, 2와 중간역인 정점 3, 4 및 비교적 외해 측인 정점 5로 구분되어지고, 저층에서는 정점 1, 2와 정점 3~5로 구분되어지는데, 표층과 저층 모두를 고려하였을 경우 영산강 하구역인 정점 1과 정점 2~4 및 정점 5의 세 그룹으로 구분되어진다. 내측정점인 정점 1에서는 염분과 부유물질은 낮았고, 화학적산소요구량 및 영양염류는 높은 상태였으며 외해 측으로 갈수록 반대되는 경향을 나타내었다. 계절별로는 질산질소는 유의성이 없었으나, 그 외 모든 조사 항목에서는 유의성이 입증되어($p \leq 0.0335$), 계절별로 차이가 있었으며, 내측의 경우 계절에 따른 변화가 큰 상태였고 외해 측으로 갈수록 변화폭이 줄어드는 경향을 나타내었다. 항목별 변동 특성에 있어 수온은 연간 0.006°C 정도 높아지는 경향으로 1979년에 높았다가 1980년대에서 1990년대 중반까지는 불규칙적이거나 상대적으로 낮은 상태였으며 1990년대 후반이후에는 약간 높아지는 경향이었고, 염분은 평균 표층 30.27 ± 0.19 , 저층 31.62 ± 0.09 로 내측은 저 염분 상태이고 정점 3점부터 인근연안과 유사하였다. pH는 표층 8.06 ± 0.01 , 저층 8.05 ± 0.01 로 정점 간 차이가 없었으나 계절별로는 5월이 높았고 전 수질항목 중 변동 폭이 가장 적었다. 용존산소는 표층 $8.78 \pm 0.08 \text{ mg/L}$, 저층 $8.55 \pm 0.08 \text{ mg/L}$ 로 정점 간 차이가 없었고, 화학적산소요구량은 표층 $1.34 \pm 0.03 \text{ mg/L}$, 저층 $1.18 \pm 0.03 \text{ mg/L}$ 로 시공간적으로 유의적인 차이가 있었다($p \leq 0.0222$). 부유물질은 표층 평균 $20.52 \pm 0.73 \text{ mg/L}$ 로 시공간적으로 유의적인 차이가 없었으며 계절별로는 외해 측인 정점 5가 가장 높았고 계절별로는 겨울철이 높았다. 영양염류 중 인산인은 평균 표층 $0.016 \pm 0.001 \text{ mg/L}$, 저층 $0.017 \pm 0.001 \text{ mg/L}$ 로 표층에서 정점 간 차이가 있었고($p < 0.0001$), 계절별로는 겨울과 봄철이 낮았고 가을철이 높아 유의적인 차이가 있었다($p \leq 0.0242$). 암모니아질소는 표층 $0.038 \pm 0.003 \text{ mg/L}$, 저층 $0.026 \pm 0.001 \text{ mg/L}$ 로 내측이 외측 정점에 비해 1.5~2배정도 높았으며, 봄철과 여름철이 높았다. 질산질소는 표층 $0.117 \pm 0.008 \text{ mg/L}$, 저층 $0.087 \pm 0.005 \text{ mg/L}$ 로 공간적으로 차이가 없었고 연 변화는 표층 0.007 mg/L , 저층 0.006 mg/L 증가하는 경향이였다. 용존무기질소는 표층 $0.171 \pm 0.009 \text{ mg/L}$, 저층 $0.126 \pm 0.005 \text{ mg/L}$ 로, 그중 질산질소는 표층 68.421%와 저층 69.05%, 암모니아질소는 표층 22.22%와 저층 20.63%, 아질산질소는 표층 9.94%와 저층 11.11% 순이었고 공간적으로 내측 정점에서 높았으며, 연도별 변동양상

은 변곡선 형태로 표층 연 0.006 mg/L , 저층 0.005 mg/L 정도 높아지는 경향을 나타내었다. DIN/DIP 비는 표층 40.38 ± 3.10 , 저층 30.65 ± 2.13 로 표층과 달리 저층에서는 정점 간 유의적인 차이가 없었으며, 연도별 변동특성은 표층 연 2.34, 저층 2.16 정도 높아지는 경향으로 2000년대 초부터 급격히 증가하는 경향이였다가 2004년부터는 비교적 안정화되었으나 여전히 높은 경향이였다. 수질항목간의 상관성에 있어서 수온은 염분, 수소이온농도, 용존산소, 부유물질과 음의 상관성, 화학적산소요구량, 아질산질소와는 양의 상관성이 있었고, 염분은 수소이온농도, 용존산소, 부유물질과 양의 상관성, 화학적산소요구량, 영양염류와는 음의 상관성을 나타내었다. 30년 동안 수질의 장기 변동을 조사한 결과 표층 네 그룹, 저층 두 그룹으로 구분되어 항목에 따라 부분적으로 차이가 있으나 전반적으로 살펴보면 수온, 수소이온농도 및 화학적산소요구량은 점차 증가하는 경향이었고 용존산소는 불규칙한 변곡선 형태이며, 영양염류중 인산인은 1980년 이후 감소하여 1994년을 기점으로 점차 증가 경향이었고, 암모니아질소는 1980년 중반과 2006년에 평년의 2배정도 높았으며, 질산질소와 용존무기질소는 점차 약간씩 증가 경향이었고 1990년에 후반부터 그 폭이 커지는 경향으로 2009년에는 약간 안정화되는 특징을 보였으나 경인연안, 아산연안, 천수만 및 군산연안과 마찬가지로 육수 유입의 원인에 기인한 것으로 사료되므로 육상의 오폐수 유입이 차단 될 수 있는 정책과 주의가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 R&D과제인 남해해양환경연구 및 국가해양환경 측정망운영과제(RP-2010-ME-054)의 일환으로 수행된 것으로 현장조사에 적극 협조 해 주신 시험조사선 탐구 9호 직원께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 강주환, 임병선, 이점숙, 김종욱, 임현식, 김하송(1998), 방조제 건설 전후에 목포해역의 오염물질 확산 매카니즘, 한국환경생물학회지, 제16권, 제4호, pp. 375-381.
- [2] 국립수산진흥원(1985), 해양오염 및 적조조사 지침, pp. 57-67.
- [3] 김광수(1997a), 목포항의 수질특성 I, 해양환경안전학회, 제3권, 제1호, pp. 99-109.
- [4] 김광수(1997b), 목포항의 수질특성 II, 해양환경안전학회, 제3권, 제2호, pp. 51-61.
- [5] 김광수(2001), 목포항 수질 및 부영양도의 계절변화, 한국해양환경공학회, 제4권, 제3호, pp. 3-5.
- [6] 김광수(2002), 목포하수처리장 가동에 따른 목포항 유입 오염부하량의 변화, 해양환경안전학회지, 제8권, 제2호, pp. 39-44.

- [7] 김광수(2003), 목포항 수질개선에 대한 목포하수처리장의 기여율 산정, 한국해양환경공학회, 제6권, 제4호, pp. 37-44.
- [8] 김광수, 이남일(2003), 목포항에 유입하는 오염부하량 산정, 한국해양환경공학회, 제6권, 제1호, pp. 11-20.
- [9] 김도희, 유한홍(2003), 집중 강우시 목포 주변해역의 수질 특성, 한국해양환경공학회, 제6권, 제2호, pp. 28-37.
- [10] 김동주, 김주용, 고영구(1994), 목포부근 해역의 표층퇴적물에 관한 퇴적환경학적인 연구, 한국지구과학회, 제15권, 제1호, pp. 60-71.
- [11] 김종구, 김양수(2002), 새만금 사업지구의 연안해역에서 부영양화관리를 위한 모델의 적용, 한국수산학회지, 35(4), pp. 348-355.
- [12] 김철승, 정재용, 박성현(2006), 목포항 출입항로의 환경스트레스 평가에 관한 연구, 해양환경안전학회, 제12권, 제3호, pp. 211-218.
- [13] 나춘기(2004), 목포연안 갯벌 및 서식생물에서의 중금속 함량, 자원환경지질, 제37권, 제3호, pp. 335-345.
- [14] 문승록(2006), 목포해역 해일/범람도의 및 고극조위 해석, 박사학위논문, 목포대학교, p. 292.
- [15] 문창호, 박철, 이승용(1993), 아산만의 영양염 및 입자성 유기물, 한국수산학회지, 26(2), pp. 173-181.
- [16] 박선중(2005), 목포해역의 조석환경 변화에 따른 소류사 및 부유사 이동 특성 분석, 석사학위논문, 목포대학교, p. 108.
- [17] 박성열(2006), 목포항 부근해역의 흐름특성에 관한 연구, 석사학위논문, 군산대학교, p. 43.
- [18] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 박정숙(2007), 아산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제16권, 제12호, pp. 1411-1424.
- [19] 박승윤, 박경수, 김형철, 김평중, 김진풍, 박중현, 김숙양(2006), 천수만의 수질환경특성과 장기변동, 한국환경과학회지, 제15권, 제5호, pp. 447-459.
- [20] 박승윤, 박경수, 석규진, 오현주, 이영식, 김진풍(1999), 경기만 수질의 시공간적 변동과 부영양화, 국립수산과학원 연구보고, 제56권, pp. 189-204.
- [21] 박승윤, 최옥인, 권정노, 전경암, 조영조, 김형철, 김평중, 박중수(2009), 군산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 해양환경안전학회지, 제15권, 제4호, pp. 297-313.
- [22] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 고준영, 전상백, 이승민, 박중수(2009), 가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동, 해양환경안전학회지, 제15권, 제4호, pp. 315-328.
- [23] 박홍식, 이재학, 최진우(2000), 목포주변해역 조하대 저서동물 군집의 시공간적 분포, 한국해양학회, 제5권, 제2호, pp. 169-176.
- [24] 박래환, 조양기, 조철, 선연중, 박경양(2001), 2000년 여름 영산강 하구의 해수 특성과 순환, 한국해양학회, 제6권, 제4호, pp. 218-224.
- [25] 박찬선, 위미영, 황은경(2008), 목포연안해역의 해수, 퇴적물 및 해조류에 축적된 중금속 함량, 한국환경생물학회, 제26권, 제4호, pp. 303-310.
- [26] 안순섭(2008), 하구연 수문가동이 영산강 홍수 및 목포해역 확산에 미치는 영향, 박사학위논문, 목포대학교, p.140.
- [27] 양재삼, 김기현, 김영태(2003), 곰소만 조간대 해수 내 질소 성분의 시공간적 분포, 한국해양학회지, 제8권, 제3호, pp. 251-261.
- [28] 여환구, 강현(1998), 인천연안의 수질 및 식물플랑크톤 군집의 변화, 한국환경학회지, 제7권, 제3호, pp. 321-326.
- [29] 이성희, 황현식, 이석훈, 김정란(2003), WIN SAS V8, 교우사, p. 414.
- [30] 임현식, 박경양, 임병선, 이점숙, 주수동(1997), 목포인근해역 펄 조간대의 저서동물 군집, 한국환경생물학회, 제20권, 제5호, pp. 355-365.
- [31] 임현식, 박경양(1998), 목포 주변해역 갯벌 조간대에 서식하는 종묘, 한국패류학회지, 제14권, 제2호, pp. 121-130.
- [32] 윤양호(2001), 저수온기 목포연안해역의 해양환경적 특징 1. 수질환경과 식물플랑크톤 생물량에 영향을 미치는 환경요인 해석, 한국물환경학회지, 제17권, 제1호, pp. 1-13.
- [33] 정명선, 이중우(1991), 목포항 개발 및 대불산업단지 조성에 따른 연안해역 해면변화, 한국항해학회, 제 32권, pp.87-96.
- [34] 정태성, 김태식, 정동국(2006), 목포해역 점착성 퇴적물의 수공에 관한 수치모의, 한국해양환경공학회, 제9권, 제1호, pp. 36-44.
- [35] 정태성, 김태식(2008), 목포해역의 해수유동 및 담수확산 예측시스템, 한국해양환경공학회, 제11권, 제1호, pp. 13-23.
- [36] 조영길, 박경양(1998), 영산강하구 표층 퇴적물의 중금속 함량 및 분포, 한국환경과학회, 제7권, 제4호, pp. 549-557.
- [37] 조은섭, 김상수, 이상용, 정희동, 김숙양(2009), 전남서부해역의 수질환경 특성, 해양환경안전학회, 제15권, 제3호, pp. 187-203.
- [38] 최진용, 최현용, 서만식(1995), 하구연 갑문폐쇄 후 금강하구의 물리, 퇴적학적 특성변화, 한국해양학회지, 제30권, 제4호, pp. 262-270.
- [39] 최종덕, 김정균(2002), 진해만 남서부 해역의 해수와 저질의 세균학적 및 이화학적 특징, 한국수산학회지, 제35권, 제6호, pp. 621-626.
- [40] 통계교육원(2005), SAS를 이용한 자료분석, p. 328.
- [41] 한영호(1981), 우리나라 남부해안 기후의 특성과 해면수온과의 관계, 한국어업기술학회, 제17권 제2호, pp. 65-69.
- [42] 해양수산부(1998), 해양환경공정시험법, p. 330.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] Nixon, S. W.(1995), Coastal marine eutrophication : a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, Vol. 41, pp. 199-219.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] 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 : 2010년 11월 05일

원고수정일 : 2010년 11월 15일 (1차)

: 2010년 12월 03일 (2차)

게재확정일 : 2010년 12월 23일