

### 영일만 수질의 시공간적 변동

강양순<sup>+</sup> · 김귀영\* · 심정민\*\* · 성기탁\*\* · 박진일\*\* · 공재열\*\*\*  
국립수산과학원 양식환경연구소, \*남해수산연구소, \*\*동해수산연구소  
\*\*\*부경대학교 식품생명공학부

## Spatiotemporal Variations of Water Quality in Yongil Bay

Yang Soon KANG<sup>+</sup>, Kui Young KIM\*, Jeong Min SHIM\*\*, Ki Tack SUNG\*\*  
Jin Il PARK\*\* and Jai Yul KONG\*\*\*

Aquaculture and Environment Institute, NFRDI, Tongyeong 651-943, Korea  
\*South Sea Regional Fisheries Research Institute, NFRDI, Yosu 556-823, Korea  
\*\*East Sea Regional Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangreung 210-860, Korea  
\*\*\*Faculty of Food science and Biotechnology, Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea

In order to understand the spatiotemporal variation of water quality, an investigation on variation characteristics of water quality was conducted at 13 stations in Yongil bay from 1990 to 1998. The salinity in summer was relatively lower than that in other seasons and it have increased from inner bay to outside of the bay gradually. However, nitrate concentration in summer was relatively higher than that in other seasons, and it was the highest, up to 65.40%, among dissolved inorganic nitrogens. Nitrate concentration indicates the possibility of affecting by freshwater discharges to Yongil bay. Correlation analysis showed that salinity had a significantly good correlation with nitrate. This result suggested that inflow of river had an influence on increase of nitrate. The result of Principal Component Analysis (PCA) indicated that nitrate was major factor to influence the water quality in Yongil Bay.

Key words: Inflow, Correlation analysis, PCA, DIN, Nitrate

### 서론

영일만은 동해 남서부해역에서 대형항만 및 방대한 기간산업단지로써 중요한 역할을 맡고 있으나 산업단지의 급속한 성장에 따라 만내 오염이 심각해진 상태이다 (Kim et al., 1988). 실제로 이 해역은 연안성 수질을 형성하지만 심해성 또는 원양성 해수의 영향으로 미묘한 변화가 생성, 소멸되는 곳으로 이곳의 염분은 강우량 또는 담수의 영향을 받으며, 수질은 수괴의 수직적 분포에 좌우된다 (Park and Song, 1972; Gong and Park, 1982; Gong and Son, 1982). 또한 수문학적으로 수온약층대나 염분약층대가 뚜렷하게 분포되어 있어서 수괴의 다양성을 보여주고 있다 (Kim, 1983; Lee, 1999). 그러나 영일만내에서의 조석간만의 차가 그다지 심하지 않아서 발생하는 조류는 오염물의 이동에 중요한 역할을 하지 못하고, 또한 영일만은 강한 해류의 통로에서 벗어나 있으므로 만내에서의 해류는 바람의 영향을 받는다 (Kwak, 1976; Park and Song, 1972).

영일만의 오염은 담수의 유입으로 인한 기수 생태계의 형성, 도시산업단지를 낀 연안역으로서의 성격, 심층해수의 출몰에 따른 수괴의 이동, 난류·한류의 상층현상, 포항제철의 막대한 냉각수와 폐수, 포항시민의 생활용수 등이 주요한 요인으로 작용하고 있다 (Kim, 1983). 또한 형산강이 영일만으로 유입되는 순수한 담수라는 기능보다는 각종 오염원, 즉 농약이 포함된 우수, 도시하수 또는 산업폐수로서 바닷물과 합쳐지고 냉천 역시 포항시의 하수구로서 바다로 유입되므로 이곳의 오염은 주로 육지로부터 질소 및

인화합물이 과다하게 공급되는데 기인하며, 결과 해양생태계에 영향을 미친다는 것이 공통된 연구결론이다 (Lee et al., 1998; Yang et al., 1999). 이 결과 영일만에서는 적조현상이 상습화되어 해양의 생물자원을 고갈시키는 물론, 사회문제로 제기되고 있어 적조의 원인생물을 비롯하여 수문학적인 여러 요인에 대한 연구가 지속적이고 면밀하게 수행될 필요가 있다 (김, 1992; Kim et al., 1988).

그러나 영일만의 부영양화 연구에 있어서는 종래 질소, 인의 공급량만이 언급되어 있을 뿐 부하된 질소, 인이 만내에서 어떻게 시공간적으로 변화하고 있는지에 대한 연구는 충분히 진행되어 있지 않다 (Kim, 1983; Kim et al., 1988; 최, 1988; 조, 1999). 또한 이들 연구는 대부분 단기간 또는 간헐적인 조사자료를 바탕으로 연구된 것으로 현장관측치를 단순 비교, 분석한 것들이다. 그러나 만의 수질관리를 위해서는 장기적이고 체계적인 조사를 바탕으로 이를 집약적 항목으로 표현하는 다변량 해석법을 통한 체계적인 관리가 중요하다 (Shim and Yeo, 1988; Rosenberg et al., 1990; Boyer et al., 1997; Kwon et al., 2001).

따라서 본 연구에서는 영일만 수질환경의 특성을 밝히고, 시공간적인 변동과 이에 영향을 미치는 요인을 주성분분석으로 구명하므로써, 영일만의 수질개선방향을 제시하고자 한다.

### 재료 및 방법

본 연구의 자료는 국립수산진흥원 동해수산연구소가 영일만을 대상으로 조사한 어장환경조사 (1990~1996)와 해양오염측정망조사 (1997~1998)의 13개 공통된 정점의 9개년간 계절별 (2월, 5월, 8월, 11월)로 측정분석한 수질자료를 바탕으로 하였다 (Fig. 1).

<sup>+</sup> Corresponding author: kangys@nfrdi.re.kr

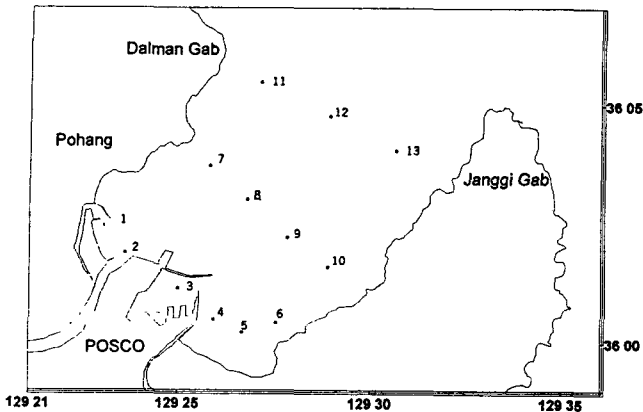


Fig. 1. Location of sampling stations in Yongil Bay.

단, 1990년부터 1994년까지는 춘계를 4월말에 조사하였고, 1995년부터는 5월초였으므로 이를 동일시하여 춘계 자료로 이용하였다.

수질측정항목은 수온, 염분, pH, 용존산소 (DO), 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 인산인 및 화학적산소요구량 (COD)이며, 용존무기질소 (DIN)는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 구하였다. 수온과 용존산소는 Water analyzer (Hydrolab, Surveyor III)를 이용하여 현장에서 측정하였고, 염분은 염분측정기 (Inductively Coupled Salinometer : 601MKIII), pH는 pH meter (Fisher Model 50)를 사용하여 측정하였다. 화학적 산소요구량 (COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법, 영양염 (암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 인산인)은 Strickland and Parsons (1972)에 따라 spectrometric method로 분석하였다.

각 측정항목의 시공간적인 변동양상을 알기 위해 제1모형 분산분석 (Two factor model I ANOVA)을 이용하였고, 수질변동에 영향을 미치는 요인을 구명하기 위하여 수질항목의 정점별 상관분석을 통하여 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의성을 검증하였다. 정점별로는 영일만의 만내측, 중앙, 외측의 대표되는 정점으로 st-2, st-9, st-13을 택하였다. 그리고 만내에서 시공간적인 변동을 일으키는 주요인을 파악하기 위해 주성분분석 (Principal Component Analysis)을 실시하였으며 모든 분석은 SAS를 이용하였다 (Bartell et al., 1978). 주성분분석에는 수온의 9가지 환경인자를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 수질분포 특성

영일만의 계절별 수질분포특성을 알기 위하여 1990년부터 1998년까지 9년 동안 13개 정점의 관측된 자료를 이용하여, 정점별 특징을 알기 위해 만특성을 나타내는데 대표되는 3정점을 택하여 수질인자의 변동범위 및 평균값을 Table 1에 나타내었으며, 또한 계절별 평균값과 표준오차를 Table 2에 나타내었다. 각 수질인자의 시간에 따른 분포양상을 알기 위해 정점별로 나누어 Fig. 2, 3에 그 변동을 나타내었다.

수온은 전 조사기간을 통하여 2월에 평균  $9.65 \pm 0.33^\circ\text{C}$ 로 최소값을 보였고, 8월에 평균  $22.65 \pm 0.74^\circ\text{C}$ 로 최대값을 보였다. 정점

Table 1. Range and Mean values of surface water quality at each station for 1990~1998

Constituents	Station			
		2	9	13
Temp. (°C)	Range	8.40~26.80	7.80~26.24	8.50~26.40
	Mean	15.53	15.44	15.52
Salinity	Range	6.12~34.34	20.79~34.38	23.06~34.40
	Mean	31.02	32.42	32.92
DO (mg/L)	Range	4.55~7.40	4.84~7.28	5.13~7.50
	Mean	5.78	5.96	6.29
pH	Range	7.60~8.90	7.70~8.28	7.97~8.32
	Mean	8.05	8.13	8.17
COD (mg/L)	Range	0.31~3.06	0.02~2.82	0.16~1.79
	Mean	1.55	1.20	0.86
NH <sub>4</sub> -N (μM)	Range	0.79~24.70	0.11~8.98	0.11~5.10
	Mean	7.67	3.31	1.70
NO <sub>2</sub> -N (μM)	Range	0.05~4.42	0.07~1.55	0.07~1.55
	Mean	1.43	0.58	0.47
NO <sub>3</sub> -N (μM)	Range	2.35~41.24	0.23~40.02	0.20~26.83
	Mean	13.89	8.05	4.34
DIN (μM)	Range	3.35~54.95	1.86~47.55	0.61~29.14
	Mean	22.99	11.94	6.52
PO <sub>4</sub> -P (μM)	Range	0.08~2.71	0.03~0.74	0.04~0.61
	Mean	0.59	0.33	0.26

Table 2. Mean values of surface water quality at each period for 1990~1998

Constituents	Period			
	Feb.	May	Aug.	Nov.
Temp. (°C)	9.65 ± 0.33	13.41 ± 0.71	22.65 ± 0.74	15.61 ± 0.66
Salinity	33.73 ± 0.30	33.79 ± 0.25	28.93 ± 1.41	33.36 ± 0.14
DO (mg/L)	8.77 ± 0.25	9.01 ± 0.17	8.35 ± 0.24	8.43 ± 0.18
pH	8.14 ± 0.02	8.86 ± 0.69	8.07 ± 0.05	8.12 ± 0.02
COD (mg/L)	0.90 ± 0.10	1.02 ± 0.12	1.59 ± 0.09	1.09 ± 0.06
NH <sub>4</sub> -N (μM)	3.56 ± 0.46	2.46 ± 0.63	3.47 ± 0.83	3.85 ± 0.66
NO <sub>2</sub> -N (μM)	0.60 ± 0.07	0.54 ± 0.09	0.96 ± 0.21	0.64 ± 0.09
NO <sub>3</sub> -N (μM)	8.16 ± 1.43	4.67 ± 0.36	12.79 ± 3.83	6.03 ± 0.69
DIN (μM)	12.32 ± 1.64	7.47 ± 0.77	16.99 ± 4.23	10.53 ± 1.17
PO <sub>4</sub> -P (μM)	0.37 ± 0.05	0.30 ± 0.05	0.65 ± 0.15	0.43 ± 0.04

별로는 기상조건의 영향으로 2월과 11월에는 수심이 얇은 만내측에서 수심이 깊은 만외측으로 갈수록 대체적으로 수온이 높아졌으나 5월과 8월에는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 분산분석결과 F값을 보면 유의수준 0.0001 이하에서 공간적인 변화량에 비해 시간적인 변화량이 커서 같은 계절이라도 연별로 뚜렷한 차이를 보임을 알 수 있었고, 정점별로는 5월의 경우만 P>0.05로 정점간 차이가 없었다 (Table 3).

염분은 5월에 평균  $33.79 \pm 0.25$ 로 가장 높은 값을 보였고, 강수량이 많은 8월에 평균  $28.93 \pm 1.41$ 으로 연중 가장 낮게 나타났다. 8월에 표준오차가 다른 계절에 비하여 매우 커서 하천수의 영향을 받은 곳과 그렇지 않는 곳의 명확한 차이를 보임을 알 수 있었다. 염분

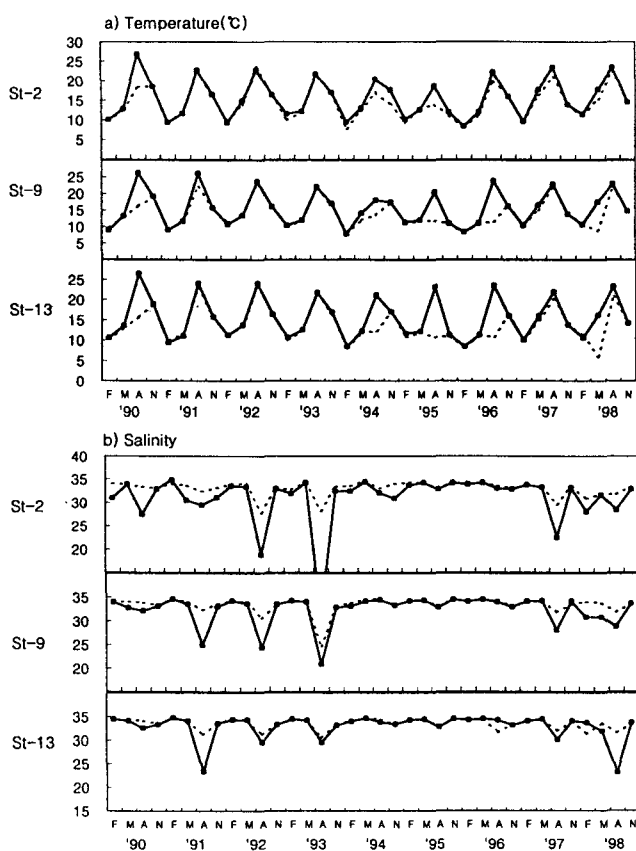


Fig. 2. Seasonal changes of water temperature and salinity at St-2, St-9 and St-13 (●—●, surface; ---, Bottom).

은 강수량에 따라 범위가 St-2는 6.12~34.34, St-9는 20.79~34.38, St-13은 23.06~34.40으로 연별 모든 정점에서 많은 차이를 보였고, 만내측인 St-2의 경우 다른 정점에 비하여 염분범위의 차가 매우 커서 하천수의 영향을 직접적으로 받을 수 있었다. 정점별로 보면 만내측에서부터 만외측으로 갈수록 점차 염분의 양이 높아졌다 (Fig 2).

용존산소 (DO)는 염분과 대체로 비슷한 경향으로 8월 평균  $8.35 \pm 0.24$  mg/L로 최소값, 5월 평균  $9.01 \pm 0.17$  mg/L로 최대값을 보였다. 5월에 용존산소가 높은 것은 표층에서 식물플랑크톤의 생물학적 활동이 왕성하여 수중에 용존산소가 증가하였기 때문으로 사료된다. 해양의 경우 용존산소는 수온의 영향을 많이 받으나 내만의 경우 수온 등의 물리적인 요인 외에도 생물학적 요인에 영향을 많이 받는다 (조, 1999). 정점별로는 만내측, 만외측에서 뚜렷한 변화를 보이지 않았지만, 만외측에서 비교적 높은 값을 보였다.

화학적 산소요구량 (COD)은 8월에 평균  $1.59 \pm 0.09$  mg/L로 가장 높은 값을 보였고, 2월에  $0.90 \pm 0.10$  mg/L로 가장 낮은 값을 보였다. 각 계절에 표준오차는 0.06~0.12로 비교적 높지 않았다. 정점별로는 전 계절을 통하여 하천수가 유출되는 만내측인 St-2에서 가장 높은 값을 보였고, 만외측으로 갈수록 점차 낮은 값을 보였다.

암모니아질소는 11월에 평균  $3.85 \pm 0.66$   $\mu$ M로 가장 높은 값을

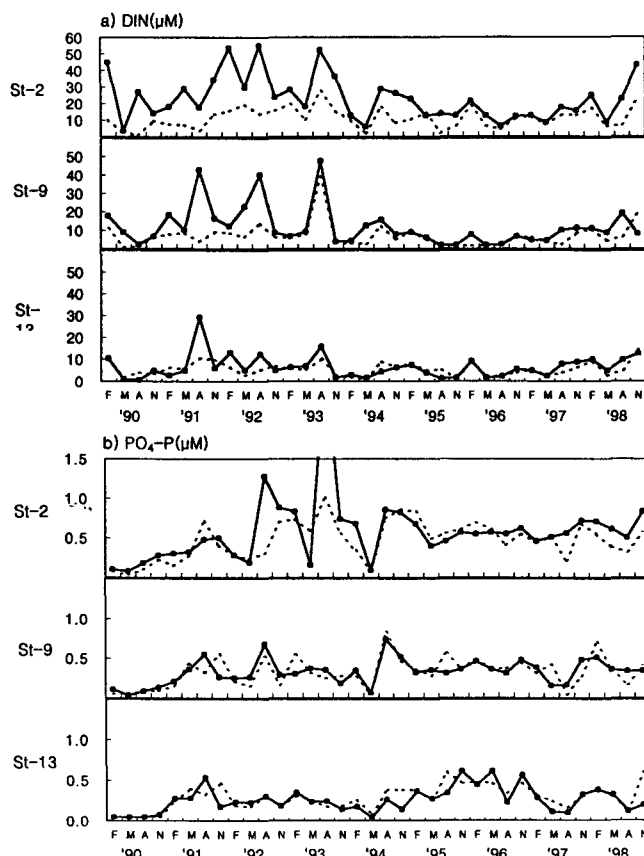


Fig. 3. Seasonal changes of DIN and phosphate at St-2, St-9 and St-13 (●—●, surface; ---, Bottom).

보였고, 5월에  $2.46 \pm 0.63$   $\mu$ M로 가장 낮은 값을 보였다. 5월에 식물플랑크톤의 대규모 증식에 다른 질소원보다 암모니아질소가 유용영양염으로 선택적으로 먼저 소비되어 값이 낮은 것으로 생각된다 (Carpenter et al., 1984; Kim et al., 2001). 계절별 각 평균의 표준오차가 0.46~0.83으로 모든 계절에 비교적 높게 나타나서 연별, 정점별 암모니아질소의 값의 차이가 심함을 알 수 있었다. 또한 만내측에서 비교적 높은 값을, 만 외측에서는 낮은 값을 얻었다.

질산질소는 5월에  $4.67 \pm 0.36$   $\mu$ M로 가장 낮은 값을 보였고, 8월에  $12.79 \pm 3.83$   $\mu$ M로 가장 높은 값을 보였으며 특히 8월의 정점별 표준오차가 5월에 비하여 10배 이상 높았고, 정점별로는 만내측에서 비교적 높은 값을 보였고 만외측으로 갈수록 값이 낮아졌다. 또한 분산분석결과 5월을 제외한 모든 계절에  $P < 0.05$ 에서 유의성을 가져 정점별, 연별 뚜렷한 값의 차이를 보였고, 특히 하계에 연별 변동량이 매우 컸다.

암모니아질소, 아질산질소와 질산질소의 합으로 나타난 용존무기질소는 5월에  $7.47 \pm 0.77$   $\mu$ M로 가장 낮은 값을 보였고, 8월에  $16.99 \pm 4.23$   $\mu$ M로 가장 높은 값을 보였다. 용존무기질소의 평균농도 중에서 질산질소가 65.04%로 가장 높은 비율을 차지했으며 암모니아질소가 25.82%였으며, 아질산질소가 9.14%로 낮은 비율을 차지하였다. 질소의 경우 대기 및 여러 육상오염물질의 유입에 의해 증가되면 그중 암모니아질소는 주로 생활하수나 축산폐수 등

Table 3. Seasonal ANOVA tables for environmental data

(A) Water temperature						(B) Salinity				
Source	DF	SS	MS	F	Pr>F	SS	MS	F	Pr>F	
Feb.	Station	12	27.94	2.54	9.01	0.0001	27.30	2.48	3.34	0.0007
	Year	8	102.60	12.82	45.52	0.0001	81.61	10.20	13.72	0.0001
May	Station	12	5.22	0.78	1.55	0.1294	8.13	0.74	2.47	0.0095
	Year	8	439.11	54.88	178.80	0.0001	53.50	6.68	22.38	0.0001
Aug.	Station	12	30.26	2.75	2.55	0.0075	294.75	26.80	2.67	0.0053
	Year	8	471.03	58.88	54.64	0.0001	1,711.14	213.89	21.29	0.0001
Nov.	Station	12	19.13	1.74	3.00	0.0019	7.18	0.65	5.36	0.0001
	Year	8	369.47	46.18	79.74	0.0001	18.16	2.27	18.62	0.0001

(C) Dissolved oxygen						(D) Chemical oxygen demand				
Source	DF	SS	MS	F	Pr>F	SS	MS	F	Pr>F	
Feb.	Station	12	3.82	0.35	1.60	0.1130	5.39	0.49	3.35	0.0007
	Year	8	51.33	6.42	29.50	0.0001	10.25	1.28	8.76	0.0001
May	Station	12	19.60	1.78	6.32	0.0001	3.73	0.34	2.82	0.0033
	Year	8	26.43	3.30	11.72	0.0001	12.09	1.51	12.57	0.0001
Aug.	Station	12	15.15	1.38	2.66	0.0055	11.86	1.08	7.40	0.0001
	Year	8	47.05	5.88	11.36	0.0001	7.32	0.91	6.28	0.0001
Nov.	Station	12	18.43	1.68	7.41	0.0001	9.77	0.89	5.23	0.0001
	Year	8	27.36	3.42	15.13	0.0001	3.10	0.39	2.28	0.0286

(E) Ammonia						(F) Nitrate				
Source	DF	SS	MS	F	Pr>F	SS	MS	F	Pr>F	
Feb.	Station	12	536.95	48.81	5.82	0.0001	948.75	86.25	4.72	0.0001
	Year	8	225.68	28.20	3.36	0.0021	1,179.18	222.40	12.16	0.0001
May	Station	12	141.79	12.89	2.71	0.0047	455.17	41.38	4.48	0.0001
	Year	8	337.48	42.18	8.87	0.0001	113.42	14.20	1.54	0.1562
Aug.	Station	12	324.95	29.54	3.85	0.0002	1,801.24	163.75	2.90	0.0027
	Year	8	597.09	74.64	9.74	0.0001	12,734.28	1,591.78	28.19	0.0001
Nov.	Station	12	948.75	86.25	4.72	0.0001	858.25	78.02	13.02	0.0001
	Year	8	1,179.18	222.40	12.16	0.0001	38.84	48.23	8.05	0.0001

(G) Dissolved inorganic nitrate						(H) Phosphate				
Source	DF	SS	MS	F	Pr>F	SS	MS	F	Pr>F	
Feb.	Station	12	3,029.03	275.37	6.58	0.0001	0.91	0.08	5.85	0.0001
	Year	8	2,214.57	276.82	6.61	0.0001	1.95	0.24	17.19	0.0001
May	Station	12	1,040.47	94.59	5.68	0.0001	0.89	0.08	6.26	0.0001
	Year	8	518.75	64.84	3.89	0.0006	1.94	0.24	18.91	0.0001
Aug.	Station	12	3,404.49	309.50	4.04	0.0001	3.70	0.34	4.91	0.0001
	Year	8	16,612.69	2,076.59	27.09	0.0001	7.88	0.99	14.38	0.0001
Nov.	Station	12	3,563.06	323.91	16.13	0.0001	5.75	0.52	10.17	0.0001
	Year	8	1,143.42	142.93	7.12	0.0001	1.65	0.21	4.01	0.0004

\*DF, degree of freedom; SS, sum of squares; MS, mean square; F, F value.

에서 그 비중이 높고, 질산질소는 화학비료, 산업폐수 등이 하천으로 유입되어 그 양이 많아진다 (Meybeck, 1982). 따라서 질소의 주 공급원은 형산강, 냉천 등 인근의 하천으로부터 육상기원물질이 강수에 의해 유입됨에 의한 것으로 보인다 (Lee, 1997).

인산인은 5월에  $0.30 \pm 0.05 \mu\text{M}$ 로 가장 낮은 값을 보였고, 8월에  $0.65 \pm 0.15 \mu\text{M}$ 로 가장 높은 값을 보였으며 만내측에서 외측으로

갈수록 농도가 감소하고, 농도변화폭도 작아졌다. 질산질소와 함께 식물성장에 중요한 조절인자인 인산인의 계절분포는 질산질소와 유사하게 변화하였다. 인산인은 계절별로 하계에 대체로 증가하고, 이후 감소하는 경향을 보였다. 담수의 경우 무기질소에 비하여 상대적으로 무기인의 농도가 낮지만, 영일만에서 하계에 인산인의 농도가 높은 것은 강우로 인해 하천수에 섞인 생활하수, 산업폐수

등으로부터 유입된 것으로 보인다 (Lee, 1997). 또한 모든 정점과 계절에  $P < 0.05$ 에서 유의성을 가져 정점별, 연별로 뚜렷한 차이를 보임을 알 수 있었다.

결과적으로 8월에 염분농도의 감소와 함께 영양염 농도와 표준 오차가 높은 것은 강수에 따라 유입되는 하천수의 양에 따라 정점별, 연별 차이가 난 것으로 생각된다. 또한 분산분석결과 COD를 제외한 모든 항목이 8월에 공간적인 변화량이 비해 시간적인 변화량이 커서 연별 수질의 뚜렷한 차이가 있었다. 만내측의 경우 일본수산환경수질기준 (日本水産資源保護協會, 1972)에 나타난 해역의 적조발생 하한조건인 무기질소  $7.14 \mu\text{M}$ , 무기인  $0.48 \mu\text{M}$ 을 초과한 수질을 나타내어, 모든 계절에 상습적으로 적조가 발생할 수 있는 해역임을 알 수 있었다.

2. 인자들간의 상관관계

수질항목간의 계절변동에 따른 상관관계를 규명하기 위하여 만내측, 중앙, 외측의 각 대표정점인 St-2, St-9, St-13의 모든 수질항목을 전 조사기간에 걸쳐 상관분석을 하였으며, 유의수준 0.05에서 유의성을 검정하였다 (Table 4).

Table 4. Correlation matrix of environmental variables in the sea water

Constituents	n	Station	Salinity	COD (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (μM)	NO <sub>3</sub> -N (μM)	DIN (μM)	PO <sub>4</sub> -P (μM)
Temp. (°C)	36	2	-0.53	0.44	NS	NS	NS	NS
		9	-0.63	NS	NS	0.39	0.37	NS
		13	-0.64	NS	NS	NS	NS	NS
COD (mg/L)	36	2	-0.37	-	-	-	-	-
		9	NS	-	-	-	-	-
		13	NS	-	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> -N (μM)	36	2	NS	NS	-	-	-	-
		9	NS	NS	-	-	-	-
		13	NS	NS	-	-	-	-
NO <sub>3</sub> -N (μM)	36	2	-0.67	NS	0.35	-	-	-
		9	-0.83	NS	0.41	-	-	-
		13	-0.64	NS	NS	-	-	-
DIN (μM)	36	2	-0.53	NS	0.71	0.90	-	-
		9	-0.81	NS	0.58	0.98	-	-
		13	-0.65	NS	0.38	0.97	-	-
PO <sub>4</sub> -P (μM)	36	2	-0.78	0.39	NS	0.50	0.46	-
		9	NS	NS	NS	NS	NS	-
		13	NS	NS	NS	NS	NS	-
Rainfall (mm/month)	36	2	-0.57	0.39	NS	NS	NS	0.40
		9	-0.76	NS	NS	0.72	0.66	NS
		13	-0.73	0.33	NS	0.67	0.62	NS

\*n, number of samples.  
\*NS, not significant.

만내측인 St-2의 경우 수온은 염분과 유의적인 음의 상관관을 보였고, 염분은 COD, 질산질소, 인산인 및 강수량과 유의적인 음의 상관관계를 보였고, 암모니아질소와는 상관성이 없었다. 이는 강수로 인하여 하천수가 유입됨에 따라 염분의 양이 감소하였고, 하천수에 포함된 COD, 인산인 및 질산질소가 증가된 것으로 생각된다.

만중앙인 St-9에서 염분은 COD와는 상관성이 없고, 질산질소와 유의적인 음의 상관관계를 가지는 것으로 보였다. 이는 영일만에서는 하천수의 유입으로 유기오염물질 보다는 영양염의 영향을 더 많이 받으며, COD는 형산강에서 나오는 직접적인 하천수에서 포함되어 있다가 만 중앙으로 흘러나오면서 점차 확산되기 때문으로 생각된다.

외해의 영향을 많이 받는 St-13에서는 St-9와 인자들간에 비슷한 상관관계를 보였는데, 이는 해류가 달맞곶쪽에서 서서히 유입되어 만의 내부와 만의 남쪽연안을 스쳐서 장기곶쪽으로 유출된다는 영일만의 해류 특성을 나타내는 결과이다 (Kim, 1983).

염분과 영양염간의 상관을 종합해서 보면 염분은 암모니아질소와는 상관성이 없었는데 이를 통해 만의 암모니아질소는 일부 하천수 유입뿐만 아니라 영일만내의 저층환경이 오염으로 환원상태가 되어 ammonification 등에 의한 암모니아의 증가에 기인하는 것으로 추정된다 (Smith, 1974). 또한 염분은 COD, 인산인과는 만내측인 St-2에서만 상관성을 가졌는데 이는 일반적으로 하천에는 무기질소에 비하여 상대적으로 무기인의 농도가 매우 낮다는 결과와 일치한다 (Choi and Park, 1986). 모든 정점에서 염분이 질산질소와 유의적 음의 상관관계를 보이는 것으로 보아 앞에서 언급한 것과 같이 형산강, 냉천 등의 하천수의 유입은 질산질소 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 영일만의 주요염원은 하천수 유입에 의한 질산질소인 것으로 사료된다.

3. 수질항목의 시·공간적인 변동

수질항목 중 시·공간적인 변동을 일으키는 주성분요소를 파악하기 위하여 각 계절별로 각 정점의 연별 평균을 이용하여 주성분분석을 실시하였고, 주성분 중 10% 이하의 값을 보이는 것은 고려하지 않았다 (Bartell et al., 1978, Table 5). 환경인자 중 주성분과 모든 계절에 유의적 상관성을 가지지 않는 pH, DO, COD의 결과는 제시하지 않았다. 또한 모든 계절에 각정점의 평균을 이용하여 주성분분석을 하여 Fig. 4에서 수질에 영향을 미치는 요인의 관계를 비교하였다.

2월의 영일만 수질변동은 주성분 I 이 총변동량의 88.3%를 설명하였는데, 특히 주성분 I 은 질산질소와 강한 유의적 양의 상관관계를 보였고, 수온, 염분과는 유의적 상관성을 보이지 않았다. 이를 통해 영일만의 수질환경의 변동은 질산질소 유입의 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

5월에는 주성분 I 과 II가 각각 48.3%, 29.3%로 총변동량의 77.6%를 설명하였다. 주성분 I 과는 수온, 암모니아질소 및 질산질소가 유의적 양의 상관관계를 보였고, 그 중에서 특히 암모니아질소가 강한 유의적 상관관계를 보여 영일만에서 5월의 경우 Chlorophyll a의 양을 알 수 없어 단언할 수 없지만, 수온이 올라감에 따라 식물플랑크톤의 증식으로 이에 우선 선택되는 암모니아질소가 변동에 영향을 미치는 것으로 사료된다 (Kim et al., 2001). 주성분 II의 경우 수온은 강한 음의 유의적 상관, 염분, 암모니아질소와 질산질소는 양의 유의적 상관성을 보여 계절적 변동요인에 영향을 받음을 알 수 있었다.

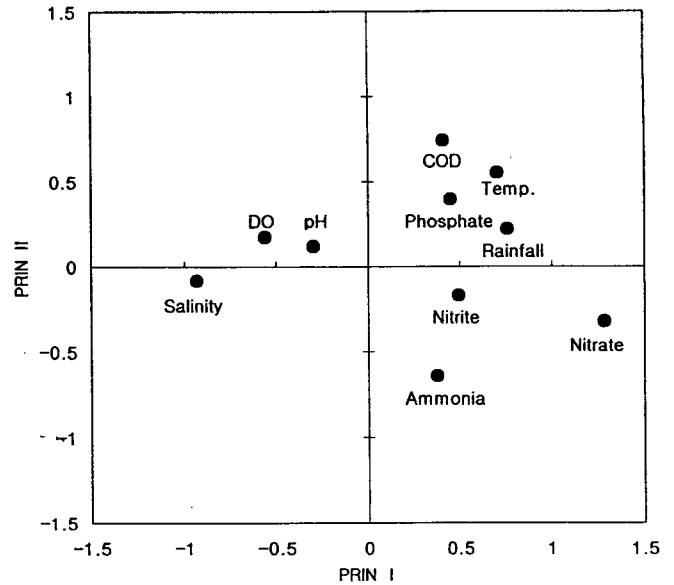
8월에는 주성분 I 이 총변동량의 95.0%를 설명하였고, 특히 주

**Table 5. Factor score coefficients and importance (%) of each factor at season**

(a) February				
Environmental Factor	Principal component			Importance (%)
	I (88.3) %	II (7.5) %	III (2.3) %	
Temperature	0.054	0.159	-0.608	4.8
Salinity	-0.007	-0.124	0.727	2.3
N-nutrient (NH <sub>4</sub> )	0.123	0.772	0.174	9.8
(NO <sub>2</sub> )	-0.016	0.018	0.052	1.0
(NO <sub>3</sub> )	0.643	-0.507	-0.099	34.9
PO <sub>4</sub> -P	-0.017	0.015	-0.046	1.0
45.7				
(b) May				
Environmental Factor	Principal component			Importance (%)
	I (48.3) %	II (29.35) %	III (12.7) %	
Temperature	0.168	-0.797	0.364	16.5
Salinity	-0.059	0.183	-0.123	3.6
N-nutrient (NH <sub>4</sub> )	0.531	0.122	0.450	23.3
(NO <sub>2</sub> )	0.033	0.030	-0.035	1.07
(NO <sub>3</sub> )	0.121	0.182	-0.331	6.4
PO <sub>4</sub> -P	-0.007	0.015	0.053	0.4
31.4				
(c) August				
Environmental Factor	Principal component			Importance (%)
	I (95.0) %	II (3.2) %	III (1.2) %	
Temperature	0.025	-0.623	0.155	4.5
Salinity	-0.213	0.305	0.876	12.9
N-nutrient (NH <sub>4</sub> )	0.083	0.594	-0.084	7.1
(NO <sub>2</sub> )	0.012	0.031	-0.242	1.1
(NO <sub>3</sub> )	0.652	-0.278	0.348	33.9
PO <sub>4</sub> -P	0.006	-0.036	0.063	0.8
41.1				
(d) November				
Environmental Factor	Principal component			Importance (%)
	I (73.4) %	II (17.9) %	III (7.6) %	
Temperature	0.032	0.888	0.420	5.9
Salinity	-0.007	-0.183	-0.003	1.4
N-nutrient (NH <sub>4</sub> )	0.385	0.295	-0.641	21.4
(NO <sub>2</sub> )	0.014	-10.021	0.000	1.1
(NO <sub>3</sub> )	0.418	-0.294	0.602	23.0
PO <sub>4</sub> -P	0.002	-0.030	-0.024	0.5
45.5				

성분 I 과 질산질소가 강한 유의적 양의 상관관계, 염분이 유의적 음의 상관관계를 가지는 것을 통해 8월에는 강우로 인한 육상으로부터의 하천수의 유입이 오염물질의 공급요인으로 판단된다. 이것은 생활하수나 산업폐수에 기인한 유기물질과 영양염이 과다하게 공급되어 부영양화된 형산강 등의 하천에서 담수가 바다로 유입되어 나타나는 현상을 설명하고 있다.

11월에는 주성분 I 과 주성분 II가 각각 총변동량의 73.4%, 17.9%를 설명하였다. 주성분 I 의 경우 암모니아질소와 질산질소가 강한 유의적 양의 상관관계를 보여 육상오염물질에 영향을 받음을 알 수 있었고, 주성분 II의 경우 수온과 암모니아질소가 유의적



**Fig. 4. Distributions of factor loading by PCA for the sea water of Yongil Bay (1st and 2nd principal component, 1990~1998).**

양의 상관, 염분과 질산질소가 음의 상관을 보여 계절적 요인이 영향을 미치는 것으로 나타났다.

주성분분석결과를 통해 영일만의 시·공간적인 변화를 일으키는 제일 주된 요인으로는 8월에 강우로 인한 하천수의 유입이 많은 경우 용존무기질소 그중에서 특히 연별 질산질소의 변동이 많은 영향을 미치고, 그 외의 모든 계절에도 하천수의 유입에 따른 질산질소의 변동이 시·공간적 변동에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다 (Fig. 4). 두 번째 요인으로는 계절적인 변동요인들이 영향을 미치는데, 이는 영일만의 수온이 해류와 계절에 많은 영향을 받는다는 논문과 동일한 결과이다 (Park and Song, 1972). 그리고 인산인은 영일만의 수질변화에 어떠한 유의적인 상관관계를 가지지 않음을 알 수 있었다. 영일만의 계속되는 적조를 막고, 만내의 수질개선을 위해서는 하천으로부터 질산질소의 유입량을 조절하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

**요 약**

영일만 수질의 시공간적인 변동상황을 파악하기 위하여 영일만의 13개 조사점의 1990년부터 1998년까지 9개년간 각 계절별 수질조사결과를 바탕으로 수질의 시·공간적 변동상황을 조사하였다.

염분은 강수량이 많은 8월에 가장 낮은 값을 보였고, 정점별로는 하천수가 유출되는 만내측인 St-2에서부터 만외측으로 갈수록 점차 염분의 양이 높아졌다. 용존무기질소 평균농도 중에서 질산질소가 65.04%로 가장 높은 비율을 차지했으며, 또한 염분이 낮고 강수량이 많은 8월에 가장 높은 값을 보였으며, 만내측에서 외측으로 갈수록 그 양이 감소되었다.

염분과 영양염간의 상관을 종합해서 보면 모든 정점에서 질산

질소와 유의적 음의 상관관계를 보이는 것으로 보아 형산강, 냉천 등의 하천수의 유입이 질산질소 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 영일만의 주요염원은 하천수 유입에 의한 질산질소인 것으로 생각된다.

주성분분석결과를 통해 영일만의 시·공간적인 변화를 일으키는 주된 요인은 하천수 유입에 따른 질산질소의 증가로 영일만의 계속되는 적조를 막고, 만내의 수질개선을 위해서는 하천으로부터 질산질소의 유입량을 조절하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- Bartell, S.M., T.F.H. Allen and J.F. Koonec. 1978. An assessment of principal component analysis for description of phytoplankton periodicity in Lake Wingra. *Phycologia*, 17, 1~11.
- Boyer, J.N., J.W. Fourqurean and R.D. Jones. 1997. Spatial characterization of water quality in Florida Bay and Whitewater Bay by multivariate analysis; Zone of similar influence. *Estuaries*, 20, 743~758.
- Carpenter, E.J., B.H. Brinkhuis and D.G. Capone. 1984. Primary production and nitrogenous nutrient cycling in Great South Bay. in "Grate South Bay" (H. Carter, ed.).
- Choi, Y.C. and C.K. Park. 1986. Eutrophication in the downstream of Nakdong River. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 19, 339~346 (in Korean).
- Gong, Y. and C.K. Park. 1982. On the oceanographical character of the low temperature region in the Eastern Sea of Korea, *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 24, 52~61 (in Korean).
- Gong, Y. and S.J. Son. 1982. A study of oceanic thermal fronts in the Southern Japan Sea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 28, 25~54 (in Korean).
- Kim, K.T. 1983. Contribution a l'etude de la production pelagique primaire et de la pollution dan le Gulf de Yeong-il. Rep. Korean Traders Scholarship Foundation, 1~60 (in Korean).
- Kim, K.T., H.C. Lee, K.L. Yoo, E.L. Park, K.B. Lim, S.R. Park, D.C. Lee, Y. Y. Yoon, I.G. Kim, E.J. Choi and Y.H. Ahn. 1988. Ecosystem on the gulf of Yongil in the East Sea of Korea. 1. Introduction of physico-chemical and biological studies. *Mar. Nat.*, 1, 59~67 (in Korean).
- Kim, H.C., D.M. Kim, D.I. Lee, C.K. Park and H.G. Kim. 2001. Limiting nutrients of *Cochlodinium polykrikoides* red tide in Saryang Island coast by algal growth potential assay. *J. Korean Fish. Soc.*, 34, 457~464 (in Korean).
- Kwak, H.S. 1976. General oceanographic factors in Yongil bay of Korea, late October 1973. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 11, 89~95 (in Korean).
- Kwon, J.N., J.G. Kim and T.S. Ko. 2001. The estimation of water quality changes in the Keum River Estuary by the dyke gate operation using long-term data. *J. Korean Fish. Soc.*, 34, 348~354 (in Korean).
- Lee, Y.S. 1997. Mechanism of eutrophication in Hiroshima Bay, Japan. *J. KSEE*, 19, 371~380.
- Lee, J.B., M.S. Han and H.S. Yang. 1998. The ecosystem of the southern coastal waters of the East Sea, Korea I. Phytoplankton community structure and primary productivity in September, 1994. *J. Korean Fish. Soc.*, 31, 45~55 (in Korean).
- Lee, T.W. 1999. Seasonal Variation in species composition of demersal fish in Yongil Bay, East Coast of Korea. *J. Korean fish. Soc.* 32, 512~519 (in Korean).
- Meybeck, M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers, *Am. J. Sci.*, 282, 401~450.
- Park, B.K. and M.Y. Song. 1972. Grain size analysis of bottom sediments of Yeongil Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 7, 74~85 (in Korean).
- Rosenberg, R., R. Elmgren, S. Fleischer, P. Jonsson, G. Person and H. Hahlin. 1990. Marine eutrophication case studies in Sweden. *AMBIO*, 19, 102~108.
- Shim, J.H. and H.G. Yeo. 1988. Spatial and temporal variations of phytoplankton in Chonsu Bay. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 23, 130~145.
- Smith, K.L. Jr. 1974. Oxygen demands of San Diegotrough sediments: An *in situ* study. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 939~944.
- Strickland, J.D.H. and T.R. and Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167, 311.
- Yang, J.S., J.Y. Jeong, J.Y. Heo, S.H. Lee and J.Y. Choi. 1999. Chemical mass balance of materials. *J. Korean Soc. Oceanol.* 4, 71~79 (in Korean).
- 日本水産資源保護協會. 1972. 水産環境水質基準, p. 87.
- 김기태. 1992. 동해남부해역의 연구, 영남대학교 출판부, pp. 5~40.
- 조은영. 1999. 영일만 연안의 수질환경과 식물플랑크톤, 영남대학교, 석사학위논문, pp. 38~45.
- 최은주. 1988. 영일만의 식물성 플랑크톤과 영양염류에 관한 연구. 영남대학교, 석사학위논문, pp. 26~35.

2002년 1월 12일 접수

2002년 7월 23일 수리