

## 시아해의 수질환경과 식물플랑크톤 생물량의 시·공간적 분포특성과 기초생물량변동에 영향을 미치는 환경특성

윤 양 호

(여수대학교 해양시스템학부)

**적 요** - 시아해의 수질환경과 식물플랑크톤 생물량의 계절변동 특성 및 식물플랑크톤 생물량변동에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위해 1995년 2월, 4월, 7월과 10월 4회에 걸쳐 계절별로 23개 관측점의 표층과 저층 해수를 대상으로 현장조사를 실시하였다. 결과, 시아해는 2월에 최저수온, 8월에 최고수온을 나타내며, 염분은 6, 7월에 높고 겨울에 낮은 특성을 나타내었으며, 연중 빠른 유속과 조석혼합 등으로 수층 간 혼합된 양상과 매우 낮은 투명도를 나타내고 있었다. 영양염류 중 질소는 여름을 제외하고는 비교적 높은 값을 나타내며, 인은 연중  $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  내외의 값을 보이고 있는 반면, 규소는 봄철 규조류 대발생시를 제외하고는 연중 높은 농도를 유지하고 있었다. Chl-a는 연중  $2 \mu\text{g/l}$  이상의 높은 값을 나타내고 있으며, 특히 규조류의 대발생이 보여지는 봄철에 높은 값을 나타내었다. 다만, 연중 높은 생물량은 생물의 성장과 활성에 의하기보다는 조석혼합 등에 의해 해저표층퇴적물에 침강된 표영생태계 중의 생물량 상당부분이 수중으로 재 부유한 결과로 보여져, 높은 부유물질 등 제한된 광 조건으로 시아해 식물플랑크톤 생물활성은 그다지 높지 않을 것으로 추정되었다. 기초생산을 제한하는 영양염은 시아해 북쪽해역에서는 인에 의해, 남쪽해역에서는 질소에 의해 지배되고 있는 것으로 나타났으며, 겨울철은 인의 존재량에 비해 질소가 과잉으로 존재하는 것으로 나타났다. 그리고 규소는 봄철 규조의 대발생시를 제외하고는 식물플랑크톤 군집에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 또한, 영양염류 중 규소는 담수 등 복잡한 주변 수괴의 유입에 의존하는 비율이 높고, 질소는 여름에는 담수 유입에 의존하나 시기에 따라서는 저층 해수의 공급에 의존하는 것으로 나타났다. 인은 담수유입에 의한 부분보다 저층 해수 및 주변 수괴로부터 유입하는 비율이 높은 것으로 판단되었다. 시아해의 식물플랑크톤에 영향을 미치는 환경요인은 시간과 공간에 따라 다르게 나타나고 있으며, 여름철 극심한 질소의 부족이나 봄철 규조 대발생 시의 규산염 고갈 등을 제외하면 영양염류보다도 높은 부유물질, 즉 광량 등 물리학적 요인에 의해 영향을 받는 것으로 판단되었다.

### 서 론

연안해역은 육상과 외해의 접경지로서 육상의 변화를 직접 수용하고 있어, 육상 기원물질의 유입이나 기상조건에 따라 해황이나 해양환경 특성을 달리하게 되어, 비교적 해양환경의 계절적인 변화 양상이 뚜렷한 해역이다. 또한, 생물생산도 육상으로부터 유입되는 풍부한 영양염류를 이용하여 해양에서 가장 높게 나타나고 있는 곳이기도 하나 (Ryther 1969), 근년 대형하천이나 대도시 그리고 임해공업단지를 끼고 있는 연안해역은 근년 급속한 산업화와 생활환경의 개선에 따른 각종 생활하수 및 산업폐수에 의해 극도의 부영양화가 진행되고 있어 (통상산업부 등 1996), 인위적인 요인에 의해 다양한 환경문제가 발생되고 있는 곳이기도 하다.

시아해는 목포 영산강 하구역인 한반도 서남해역과 남서해역의 교차되는 해역에 위치하여, 동쪽으로 화원반도와 진도, 서쪽으로는 장산도와 안좌도에 의해 남북 방향의 수로를 형성하며, 북동쪽으로는 목포, 영산강에서 유출되는 담수 및 생활하수의 영향을 직접 받고 있다. 또한, 남쪽 및 남동쪽은 정동해 및 명량수도에 의해 마등해와 연결되어 남해 서부해역으로 개방되고 있고, 서쪽으로는 장산수도, 북쪽으로는 면도수로에 의해 서해 남부 해역으로 개방되어 해수 교환이 이루어지고 있는 수로적 특성이 강하게 나타나는 해역이다. 시아해의 수심은 중앙부에서 30m 이상을 나타내고 있고, 해역의 가장자리에서도 10m 이상의 비교적 깊은 수심을 나타내고 있으며, 낙조 및 창조시 빠른 조류를 나타내는 해역이나, 계절에 따라서는 황해냉수, 한국연안수, 황해난류와 냉수의 혼합수 등 주변의 다양한 수괴의 영향을 받

고 있는 해역이기도 하다(Rho & Pang 1995). 또한, 육지 연안부에서는 각종 해조류 양식과 어류 축제식 양식 등이 활발히 이루어지고 있다. 그리고 현재까지 시아해에서 이루어진 해양학적 연구는 식물플랑크톤과 해조류 분포에 대한 일부보고(Yoon 1998a; Kim 1999)와 고생물학적 연구(Lee 1997)가 보여질 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 영산강 하구역에 위치하여 목포시의 생활하수와 한국연안수 등 복잡한 해양환경 특성(Na *et al.* 1990)을 나타내는 한국 서해 남부의 시아해를 대상으로 계절별 수질환경과 식물플랑크톤의 생물량의 변동 특성으로부터, 시아해 영양염류의 공급원, 기초생산의 제한 인자 및 식물플랑크톤 생물량에 영향을 주는 환경요인을 파악하여 시아해의 생물생산기구 해명 및 해역관리 등에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

### 재료 및 방법

시아해의 영양염류와 식물플랑크톤 생물량의 계절별 분포 특성 및 해역의 기초생산자의 변동에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위한 현장조사는 시아해 내 23개의 관측점을 대상으로 1995년 2월, 4월, 7월 및 10월 4회에 걸쳐 계절별로 소형 선박을 이용하여 대조시에 실시하였다(Fig. 1). 채수는 표층과 저층(해저에서 1m위의 수층) 해수를 대상으로 Van Dorn 채수기를 이용하였으며, 영양염류는 해수를 membrane filter (pore size: 0.45  $\mu\text{m}$ ,  $\phi$ : 47 mm)가 장착된 여과기에서 흡인 여과시킨 여액을 분석용 시료로 하여 다음과 같은 항목과 방법으로 분석하였다(Strickland & Parsons 1972; 日本海洋観測指針 1985). 즉 암모니아염은 인토페놀법, 아질산염은 BR법, 질산염은 Cd-Cu 환원 칼럼의 의한 방법, 인산염과 규산염은 폴리브텐청법에 따라 발색시킨 다음에 분광광도계(Milton Roy Co., Spectronic 20D)를 이용하여 비색 측정하였다.

식물플랑크톤의 생물량을 나타내는 Chlorophyll *a* (Chl-*a*)는 해수 500 ml를 membrane filter (pore size: 0.45  $\mu\text{m}$ ,  $\phi$ : 47 mm)가 장착된 여과기에서 흡인 여과하여, 여과지 위에 채집된 식물플랑크톤을 90% v/v acetone 10 ml에 주입시켜 분쇄시킨 다음 냉암소에서 2시간 이상 추출시킨 후, 원심분리기를 이용하여 상등액과 불순물로 분리시켰다(3,000 rpm, 10 min.). 분리된 시료의 상등액은 분광광도계(Spectronic 20D)를 이용하여 파장별 색소의 흡광도를 측정하여, 경험식에 의해 Chl-*a*를 산출하였다(SCOR-Unesco 1966).

그리고 얻어진 자료로부터 N/P 및 Si/P 원자비의 계산 및 분석 요인간의 상관분석을 실시하였으며, 상관분석에

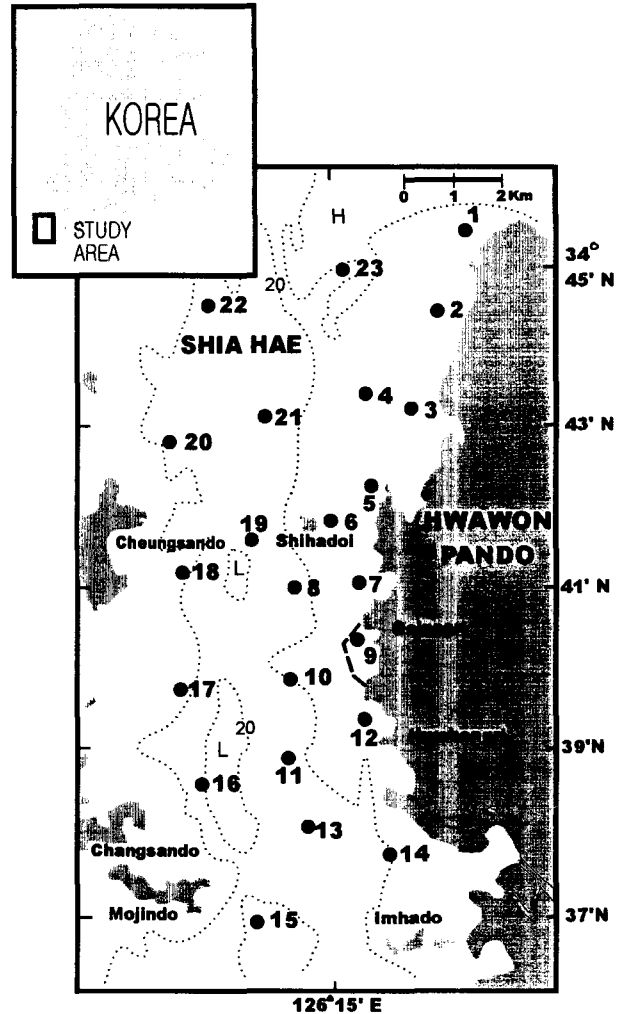


Fig. 1. A map showing sampling stations in Shiahae.

이용한 수온 및 염분의 자료는 본 연구와 함께 CTD에 의해 측정된 보고서의 자료를 인용하였다(한국관광공사 1995).

### 결과 및 고찰

계절에 따른 시아해의 영양염류와 Chl-*a*의 최소, 평균, 최대 및 표준편차의 값을 관측 수층으로 구분하여 Table 1에 나타내었으며, 각 분석항목에 따른 계절별 변동양상과 공간적 분포특성은 다음과 같다.

#### 1. 물리학적 해양환경 개요

시아해의 물리학적 환경특성은 겨울(2월), 봄(4월), 여름(7월) 및 가을(10월)에 각각, 수온은 6.1~7.6°C, 12.4~12.6°C, 20.0~21.7°C 및 18.3~19.2°C, 염분은 32.84~33.16 psu, 32.55~33.59 psu, 33.08~33.89 psu 및

**Table 1.** The values of minimum, mean, maximum and standard deviation on the analytical parameters in Shiahae from February to October in 1995

Parameters (units)	layer (m)	Winter				Spring				Summer				Autunm			
		min.	mean	max.	SD	min.	mean	max.	SD	min.	mean	max.	SD	min.	mean	max.	SD
Ammonia-nitrogen ( $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ )	S	1.12	2.47	8.65	2.01	0.31	1.15	2.19	0.50	0.07	0.84	1.92	0.39	0.72	1.54	2.52	0.50
	B	0.22	2.34	4.68	0.97	0.63	1.50	7.51	1.48	0.04	0.62	1.06	0.26	0.23	1.64	2.98	0.72
Nitrite-nitrogen ( $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ )	S	0.11	0.24	0.35	0.05	0.15	0.23	0.34	0.05	0.42	0.73	1.47	0.28	0.07	0.36	1.43	0.33
	B	0.14	0.23	0.29	0.04	0.16	0.23	0.33	0.05	0.12	0.71	1.56	0.28	0.05	0.22	0.67	0.15
Nitrate-nitrogen ( $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ )	S	7.51	11.27	12.62	1.35	1.12	8.94	11.37	2.39	0.41	1.57	4.97	1.21	3.02	6.49	10.85	2.10
	B	8.06	11.86	12.73	1.12	6.35	9.26	11.47	1.31	0.17	1.09	2.82	0.79	4.17	7.28	15.58	2.65
DIN(Dissolved Inorganic Nitrogen ( $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ ))	S	9.88	14.01	20.44	2.43	7.34	10.88	12.78	1.78	1.47	3.19	7.88	1.64	5.50	8.42	11.88	1.73
	B	10.05	14.36	16.93	1.58	6.63	10.78	16.51	2.16	0.84	2.43	4.84	1.07	6.37	9.18	16.57	2.54
Phosphate-phosphorus ( $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ )	S	0.24	0.46	0.66	0.12	0.12	0.54	0.82	0.20	0.03	0.19	0.36	0.10	0.06	0.43	1.00	0.24
	B	0.07	0.42	0.61	0.16	0.04	0.55	0.82	0.22	0.09	0.39	2.90	0.60	0.03	0.43	0.77	0.16
Silicate-silicon ( $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ )	S	11.34	18.18	28.63	4.23	5.23	5.67	6.95	0.41	3.50	7.45	9.38	1.26	16.71	28.68	41.77	7.86
	B	9.41	19.04	36.67	7.31	3.87	5.49	6.04	0.49	6.55	8.29	10.68	1.08	12.43	29.02	65.59	12.62
N/P ratio	S	8.1	29.4	45.0	8.5	12.0	26.3	91.1	18.7	4.2	22.3	78.7	17.4	9.1	35.5	136.5	35.5
	B	22.6	41.5	109.9	22.9	11.8	40.6	402.6	88.2	0.7	11.0	30.3	8.8	11.6	42.8	409.3	87.4
Si/P ratio	S	19.2	42.6	82.1	15.5	7.2	12.8	43.6	8.3	19.9	61.8	235.3	57.1	19.5	134.1	696.2	183.4
	B	18.5	63.3	236.7	57.2	6.4	15.3	96.8	20.1	3.5	38.4	118.7	25.7	25.4	134.4	1392	297.6
Chlorophyll <i>a</i> ( $\mu\text{g/l}$ )	S	0.80	2.96	20.52	4.43	1.31	2.48	7.67	1.62	1.31	2.37	3.33	0.63	1.28	2.10	2.63	0.42
	B	0.62	1.99	5.30	1.27	0.85	4.88	18.20	5.08	1.12	2.75	3.98	0.76	1.46	2.31	3.10	0.44

S ; surface, B ; bottom, min. ; minimum, max. ; maximum, SD ; standard deviation

32.47~32.75 psu, 투명도는 0.4~1.7 m, 0.3~1.2 m, 0.3~1.5 m 및 0.3~1.0 m로 나타내며, 염분의 경우 여름인 7월에는 표층이 저층보다 다소 높은 값을 보이나 다른 계절에서는 표·저층 사이에 차이가 없는 것으로 나타났다(한국관광공사 1995). 또한, 조사해역에서 서방으로 약 30 km 정도 떨어진 국립수산물진흥원의 정선관측정점(311-4)을 기준으로 측정된 1966~1996년 30년간의 표층 해수 평균 수온은 2월에 최저  $5.5 \pm 1.3^\circ\text{C}$ 에서 8월에 최고  $23.6 \pm 2.2^\circ\text{C}$ , 염분은 최저 8월에  $32.31 \pm 0.69\text{‰}$ 에서 최고 6월에  $33.19 \pm 0.51\text{‰}$ 를 나타내고 있어(NFRDI 1997a, b), 시아해 인근 해역은 2월에 최저수온을 8월에 최고수온을 나타내며, 염분은 겨울, 즉 저수온기에 낮고 6월에서 7월 수온상승기에 비교적 높게 나타나고 있어, 시아해는 겨울철 황해저층냉수 및 황해냉수의 영향으로 일반적으로 남서연안해역에서 염분은 겨울에 높고 여름에 낮은 경향과는 상이한 특성을 나타내었다(Yoon 2000a). 투명도 역시 연간 매우 낮은 값을 나타내고 있어 시아해가 수로적인 해양환경 특성으로 빠른 유속과 대조시 조석혼합 등의 발달로 표층과 저층간 상하혼합이 매우 발달하고 있기 때문으로 판단되었다(Lee & Cho 1995; Yoon *et al.* 2000).

## 2. 영양염류

### 1) 용존무기질소

암모니아염은 여름에 최저  $0.04 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 에서 겨울에

최고  $8.65 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 로 변화하며, 표층은 겨울에  $2.47 \pm 2.01 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ (평균±표준편차, 이하 동일한 방법으로 표시), 봄에  $1.15 \pm 0.50 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 여름에  $0.84 \pm 0.39 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  및 가을에  $1.54 \pm 0.50 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 를 나타내어, 여름에 매우 낮고, 겨울에는 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 저층도 표층과 유사하나 겨울과 여름은 표층보다 낮은 값을 나타내는 반면, 봄과 가을은 표층보다 다소 높은 값을 나타내는 특성을 보였다(Table 1). 공간적으로 겨울은 표층에서 시아해 중앙에서 남쪽에 이르는 해역과 북쪽해역에서  $2.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 농도를 나타내며, 기타 해역에서는  $2.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하로 낮은 값을 나타내었다. 저층은 시아해 동쪽해역에서 패치상으로  $3.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 농도를 나타내나, 북동 및 서쪽해역에서는  $2.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 값을 보였다(Fig. 2, A). 봄은 표·저층 모두에서 시아해 동쪽해역에서  $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 농도를 보였으며(Fig. 2, B), 여름은 표층에서 시아해 북쪽 및 서쪽 해역에서  $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상으로 높고, 동쪽해역에서는  $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 낮은 값을, 특히 남동해역에서는  $0.3 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 매우 낮은 값을 나타내었다. 저층도 분포 경향은 표층과 유사하나, 외중리 연안해역에서  $0.3 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 의 매우 낮은 값을 보였다(Fig. 2, C). 가을은 표층에서 시아해 남서해역에서  $2.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 농도를 보이나, 북쪽해역에서는  $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 값을 나타내며, 저층은 시아해를 동서로 나누어 서쪽해역에서  $2.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상으로 높고, 동쪽해역에서는

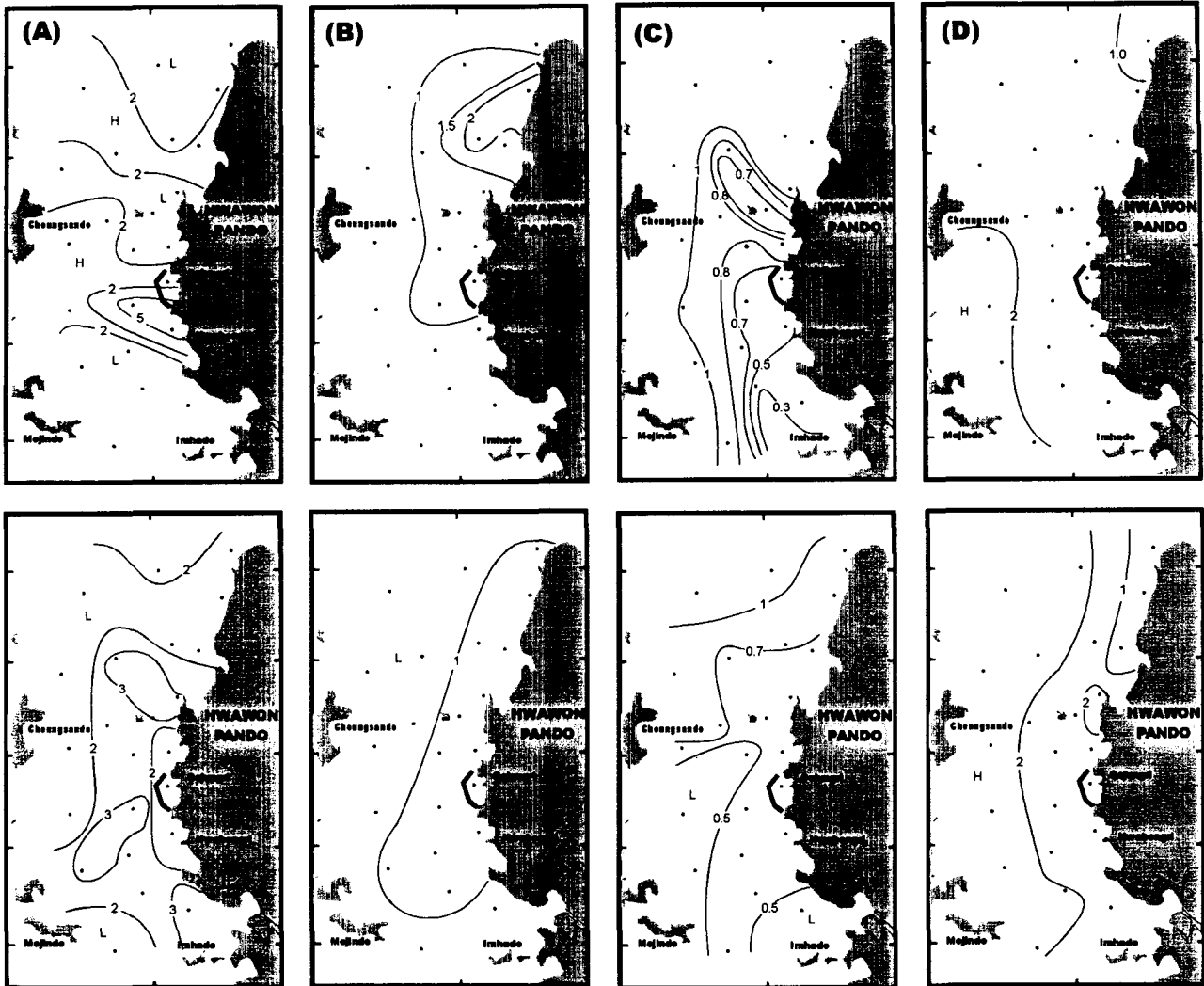


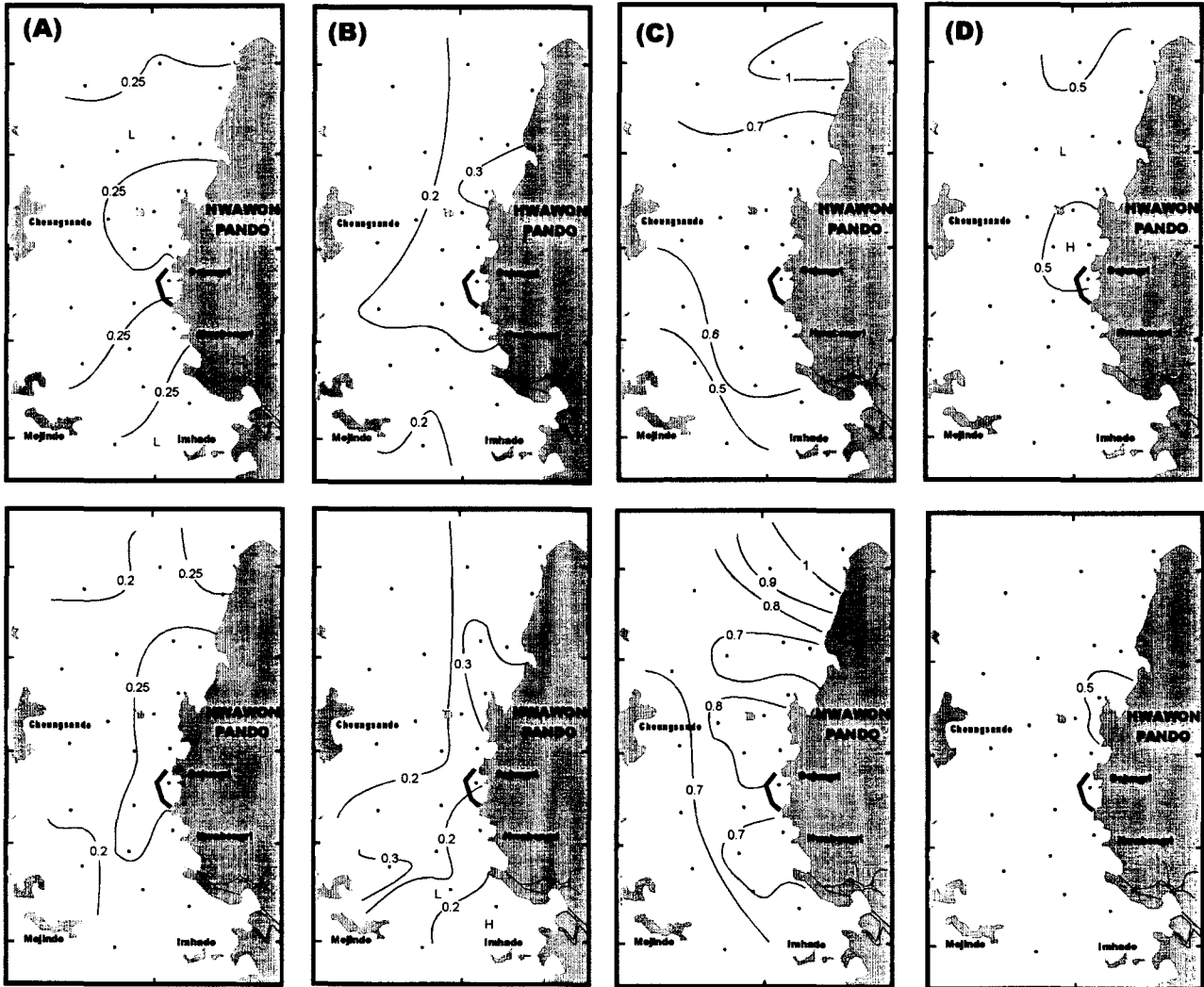
Fig. 2. Horizontal distribution and seasonal variation of ammonia-nitrogen for four seasons in 1995 (A; winter, B; spring, C; summer, D; autumn, upper; surface, lower; bottom).

2.0  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  내외의 값을 보이거나, 북쪽해역에서는 1.0  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 낮은 농도를 보이고 있다(Fig. 2, D).

아질산염은 가을에 최저 0.05  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 에서 여름에 최고 1.56  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 로 변화하며, 표층은 겨울에  $0.24 \pm 0.05$   $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 봄에  $0.23 \pm 0.05$   $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 여름에  $0.73 \pm 0.28$   $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  및 가을에  $0.36 \pm 0.33$   $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 를 나타내어, 겨울과 봄에 낮고 여름과 가을에 높은 값을 나타내었다. 저층도 표층과 유사하나 겨울과 가을은 표층이 저층보다 높은 값을 나타내며, 봄과 여름은 표·저층에서 균일한 값을 보였다(Table 1). 공간적으로 겨울은 표·저층 모두에서 시아해 남동 및 북쪽해역에서 0.25  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 농도를 나타내며, 서쪽해역에서는 0.25  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 값을 나타내고 있다(Fig. 3, A). 봄철 표층은 거

울과 유사하여 시아해 북동해역에서 0.25  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 값을 나타내며, 서쪽해역에서는 0.2  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 값을 나타내었다. 저층은 시아도 북동해역에서의 0.3  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 값을 제외하면 전반적으로 표층의 분포양상과 유사하였다(Fig. 3, B). 여름은 표·저층 모두에서 시아해 북쪽해역에서 1.0  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 농도를 나타내며, 남쪽해역인 마진도, 임하도 인근해역에서는 0.5  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 농도를 보였다(Fig. 3, C). 가을은 표·저층 모두 시아해 전 해역에서 0.3  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  전후의 값을 나타내었다(Fig. 3, D).

질산염은 여름에 최저 0.17  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 에서 가을에 최고 15.58  $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 로 변화하여 시간적으로 큰 차이를 나타내며, 표층은 겨울에  $11.27 \pm 1.35$   $\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 봄에  $8.94 \pm$



**Fig. 3.** Horizontal distribution and seasonal variation of nitrite-nitrogen for four seasons in 1995 (A; winter, B; spring, C; summer, D; autumn, upper; surface, lower; bottom).

2.39  $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$ , 여름에  $1.57 \pm 1.21 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$  및 가을에  $6.49 \pm 2.10 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$ 를 나타내어, 여름에 매우 낮고, 겨울에 상대적으로 높은 값을 나타내나, 여름을 제외한 전기간에 비교적 높은 값을 보이고 있다. 저층의 경우도 표층과 유사하나 여름은 표층보다 높은 값을 나타내고 있는 반면, 기타 계절은 표·저층 사이에 혼합되어 균일한 분포 양상을 보였다(Table 1). 공간적으로 겨울은 표층에서 시아해 북쪽 및 남서해역에서  $12.0 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$  이상의 높은 농도를 나타내며, 북동해역에서는  $11.0 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$  이하의 값을 나타내고 있다. 저층은 시아도를 중심으로 한 시아해 대부분의 해역에서  $12.0 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$  이상의 높은 값을 나타내나, 북쪽 및 외중리 연안해역에서는  $11.0 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$  이하의 값을 보였다(Fig. 4, A). 봄은 표층에서

시아해 북동해역에서  $11.0 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$  이상의 값을 나타내나, 남동 및 서쪽해역에서는  $9.0 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$  내외의 농도를 나타내고 있으며, 저층도 표층과 유사한 분포 경향을 보였다(Fig. 4, B). 여름은 표·저층 모두에서 시아해 북동해역에서 상대적으로 높은 농도를 나타내며, 남쪽해역에서는 낮은 농도를 보이거나(Fig. 4, C), 가을은 표·저층 모두에서 조사해역을 동서로 구분하여 시아해 동쪽해역에서  $6.0 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$  이상의 값을 나타내며, 서쪽해역에서는 이보다 낮은 농도를 보였다(Fig. 4, D).

용존무기질소는 여름에 최저  $0.84 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$ 에서 겨울에 최고  $20.44 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$ 로 변화하여 질산염과 같이 시간적으로 큰 차이를 나타내며, 표층은 겨울에  $14.01 \pm 2.43 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$ , 봄에  $10.88 \pm 1.78 \mu\text{g} \cdot \text{at}/\text{l}$ , 여름에  $3.19 \pm 1.64$

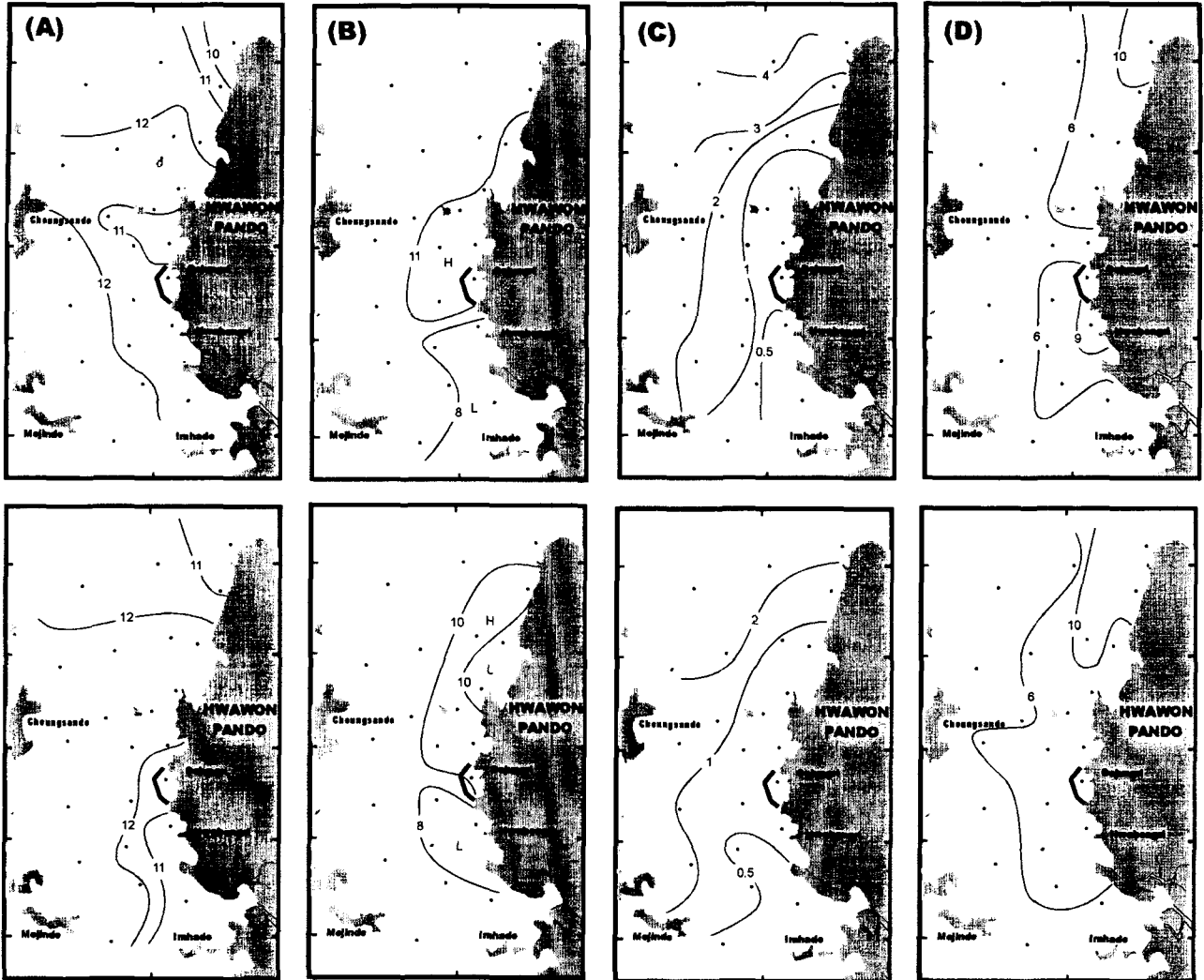


Fig. 4. Horizontal distribution and seasonal variation of nitrate-nitrogen for four seasons in 1995 (A; winter, B; spring, C; summer, D; autumn, upper; surface, lower; bottom).

$\mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  및 가을에  $8.42 \pm 1.73 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 를 나타내어, 여름에 매우 낮고, 겨울에 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 저층의 경우도 표층과 유사하나 겨울과 봄은 상하 혼합된 경향을 나타내고 있으며, 여름은 표층이 저층보다 다소 높고, 가을은 저층이 표층보다 다소 높은 특성을 보이고 있다(Table 1). 공간적으로 겨울은 표층에서 시아해 남동해역에서  $16.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 높은 농도를 나타내며, 중앙부에서 북동해역에 걸쳐  $13.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 농도를 제외하면 대부분의 해역에서  $14.0 \sim 15.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 의 값을 나타내고 있다. 저층은 시아해 중앙해역에서  $14.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 농도를 나타내며, 북쪽과 남서 및 남동해역에서는  $14.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 값을 보였다(Fig. 5, A). 봄은 표·저층 모두에서 시아해 북동해

역에서  $10.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 농도를 나타내며, 중앙해역에서는  $12.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 높은 값을 보이거나(Fig. 5, B), 여름은 표·저층 모두에서 시아해 북동해역에서 높고, 남쪽해역에서는 낮은 값을 보이고 있다(Fig. 5, C). 가을도 표·저층 모두에서 북동 및 남동해역에서  $10.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 농도를 보이고 있으며, 기타 해역에서는  $7.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  내외의 값을 보이고 있다(Fig. 5, D).

이와 같은 용존무기질소의 농도는 연안해역에서 극도로 부영양화가 진행된 해역의 농도와 비교하면 그다지 높은 수준은 아니나(吉田 1973; Park 1980), 가막만, 득량만, 거금수도, 완도연안 등 전라남도 연안해역이나 1970년대 진해만 해역에 비하면 매우 높은 값으로서 극도의 부영양화가 진행된 영산강이나 목포시의 생활하수

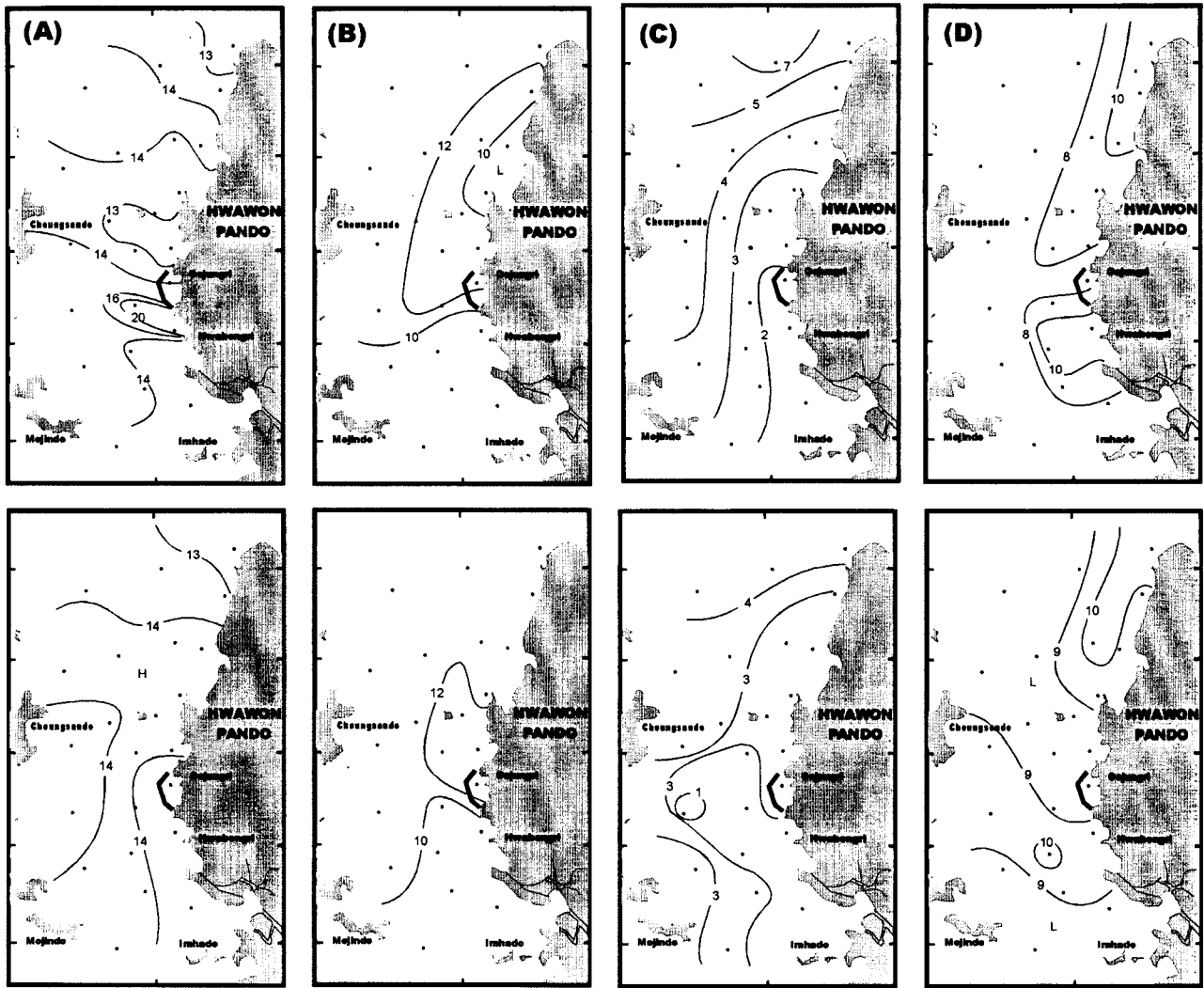


Fig. 5. Horizontal distribution and seasonal variation of dissolved inorganic nitrogen for four seasons in 1995 (A; winter, B; spring, C; summer, D; autumn, upper; surface, lower; bottom).

의 영향을 비교적 강하게 받아, 시아해는 상당부분 부영양화가 진행되고 있는 것으로 판단되었다(Park 1975; Moon 1990; Cho *et al.* 1994; Yang *et al.* 1995; 통상산업부 등 1996; Cho & Yoon 1997; Yoon *et al.* 2000). 특히 해역에서 식물플랑크톤의 성장에 질소원은 가장 부족하기 쉬운 원소로 알려져 있으나(Ryther & Dunstan 1971; Hecky & Kilham 1988), 시아해는 여름을 제외하고는 식물플랑크톤 성장에 필요한 충분한 질소원이 존재하는 것으로 보여졌으며(吉田 1973; Yoon *et al.* 2000), 특히 암모니아염 농도가 높은 특성을 보이고 있었다.

2) 용존무기인

인산염은 여름에 표층에서 최저  $0.03 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 저층에서 최고  $2.90 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 로 변화하나, 일부 최대값을 제외

하면 연간 비교적 균일한 농도를 나타내고 있다. 계절별로는 표층의 경우, 겨울에  $0.46 \pm 0.12 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 봄에  $0.54 \pm 0.20 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 여름에  $0.19 \pm 0.10 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  및 가을에  $0.43 \pm 0.24 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 를 나타내어, 여름에 매우 낮고, 봄에 비교적 높은 값을 나타내고 있다. 저층의 경우도 표층과 유사하여 여름을 제외하고는 표·저층 간 혼합된 양상을 나타내고 있으나 여름은 저층이 표층보다 매우 높은 농도를 나타내는 특성을 보였다(Table 1). 공간적으로 겨울은 표층에서 시아해 동쪽해역에서  $0.4 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하로 낮은 값을 나타내나, 질소원 농도가 상대적으로 낮았던 북쪽 및 남서해역에서는  $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 높은 값을 나타내며, 중앙해역에서는  $0.45 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  내외의 혼합적인 특성을 나타내고 있다. 저층은 시아해

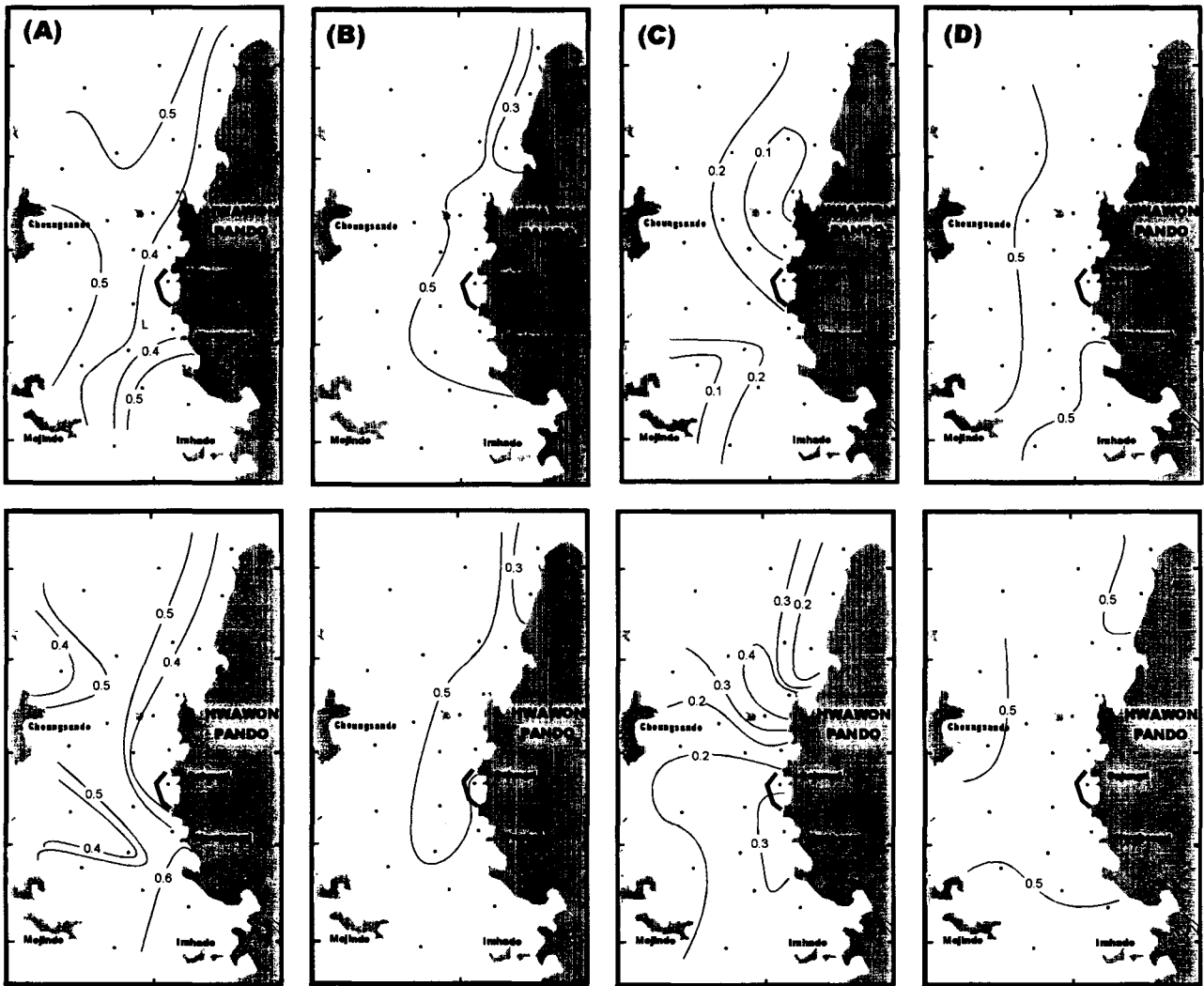


Fig. 6. Horizontal distribution and seasonal variation of phosphate-phosphorus for four seasons in 1995 (A; winter, B; spring, C; summer, D; autumn, upper; surface, lower; bottom).

의 동·서쪽해역에서  $0.4 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하로 낮은 값을 보이며, 중앙해역에서는  $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 높은 값을 보였다(Fig. 6, A). 봄은 표·저층 모두에서 분포양상은 매우 단순하여 시아해 동쪽해역에서  $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 보다 낮고  $0.3 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  보다는 높은 값을 나타내고 있으며, 중앙과 서쪽해역에서는  $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 높은 값을 보이고 있다(Fig. 6, B). 여름은 표·저층 공히 시아해 전해역에서  $0.2 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  내외의 값을 나타내며(Fig. 6, C), 가을은 표·저층에서 시아해를 동서로 양분하여 서쪽해역에서  $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 값을, 동쪽해역에서는  $0.5 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 값을 나타내고 있다(Fig. 6, D).

이와 같은 인산염 농도는 계절에 따라 다소 차이는 있으나, 완도연안이나 거금수도 및 득량만 등 비교적 부

영양화가 덜 진행된 전라남도 연안해역의 결과와는 유사한 값이나(Yang *et al.* 1995; Cho & Yoon 1997; Yoon *et al.* 2000), 부영양화가 비교적 진행된 남해 동부해역에 비하면 낮은 값이라 할 수 있다(Park 1975; Moon 1990; Yoon 2000a). 그러나 해역에서 기초생산을 영위하기에는 크게 부족함이 없는 농도라고도 할 수 있다(吉田 1973; Raymont 1980).

### 3) 용존무기규소

규산염은 여름에 최저  $3.50 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 에서 가을에 최고  $65.59 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 로 변화하여 시기적으로 매우 큰 차이를 나타내며, 표층은 겨울에  $18.18 \pm 4.23 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 봄에  $5.67 \pm 0.41 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ , 여름에  $7.45 \pm 1.26 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  및 가을에  $28.68 \pm 7.86 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$ 를 나타내어, 봄과 여름에 낮



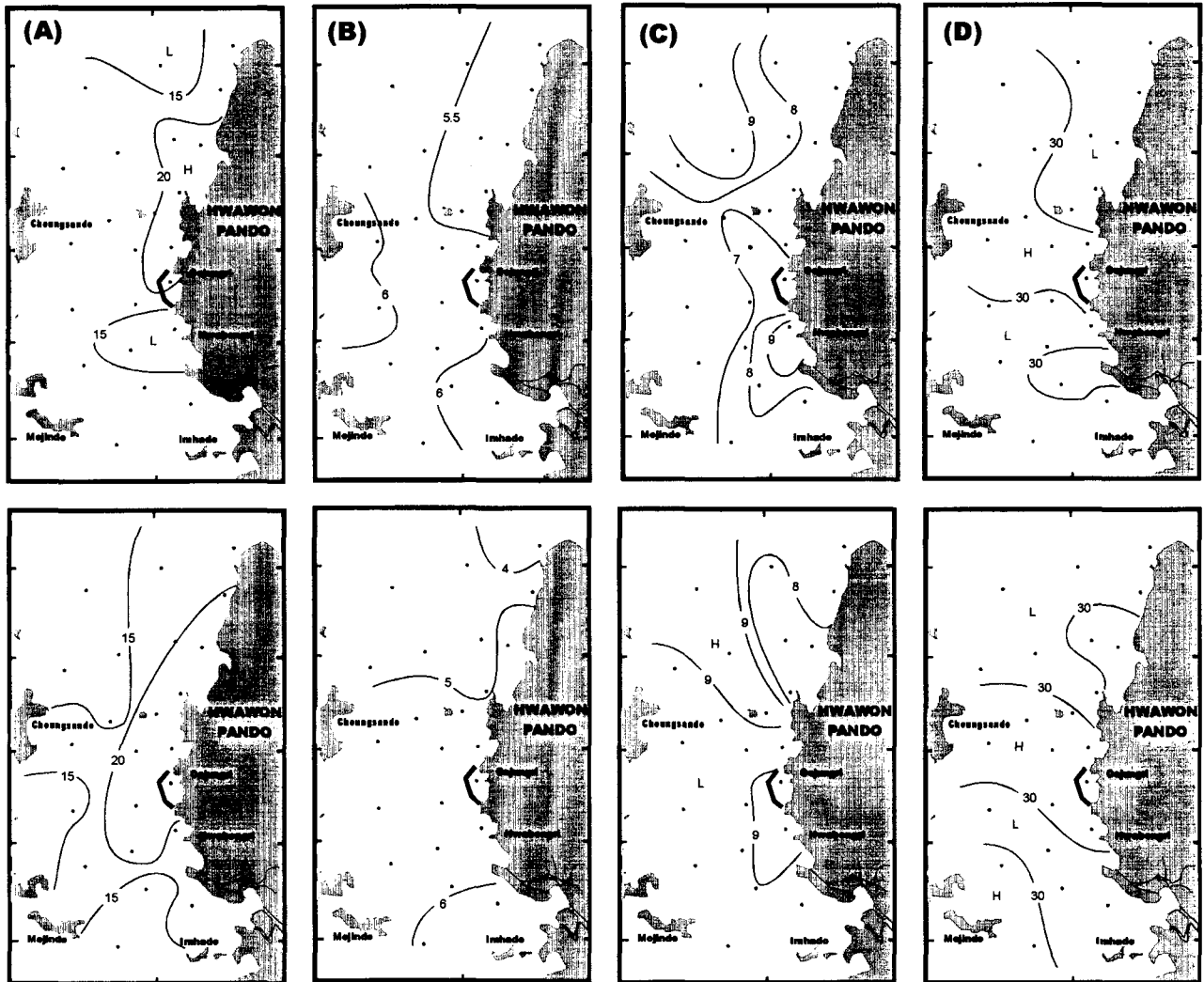


Fig. 7. Horizontal distribution and seasonal variation of silicate-silicon for four seasons in 1995 (A; winter, B; spring, C; summer, D; autumn, upper; surface, lower; bottom).

고, 가을과 겨울에 높은 값을 보였다(Table 1). 공간적으로 겨울은 표층에서 시아해 북동해역에서  $20.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 높은 값을 나타내나, 남동 및 북쪽해역에서는  $15.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 값을 보이며, 중앙 및 서쪽해역은 이 두 수괴의 혼합형태를 나타내고 있다. 저층은 높고 낮은 농도의 영역의 표층보다 확장되는 양상을 보였다(Fig. 7, A). 봄은 표·저층 모두에서 시아해 중앙해역에서  $5.5 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 값을 나타내고 있는 반면, 북쪽해역에서는  $5.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  내외의 값을 보이고 있으며(Fig. 7, B), 여름은 표·저층 모두에서 전 해역에 걸쳐  $7.0 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  내외의 농도를 나타내고 있다(Fig. 7, C). 가을은 표·저층 모두에서 시아해의 중앙해역에서  $30 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이상의 높은 농도를 나타내며, 북쪽 및 남쪽해

역에서는  $30 \mu\text{g} \cdot \text{at./l}$  이하의 농도를 보였다(Fig. 7, D).

이와 같은 규산염 농도는 득량만이나 인근해역과 같이 하천 등에 의한 담수유입이 원활하지 않은 연안해역에 비하면 매우 높은 값이나(Yang *et al.* 1995; Yoon *et al.* 2000), 완도연안, 가막만 및 여수해만과 같이 담수유입이나 한국 고유연안수의 영향을 강하게 받고 있는 해역과는 유사한 결과를 나타내고 있으며(Moon 1990; Cho & Yoon 1997; Yoon 2000a), 계절적인 변화특성도 염분과 반대의 경향을 나타내는 것으로부터 시아해 규산염은 영산강 등 연안부의 담수유입이나 저염수에 의해 형성되고 있는 황해냉수 및 한구남해연안수 등 주변의 이질적인 수괴의 유입에 의해 공급되고 있는 것으로 보여졌다(Rho & Pang 1995; Yoon 2000b; Yoon *et al.* 2000).

또한, 중위도의 일부 연안해역에서는 봄철 규조류의 대발생으로 규산염이 고갈되어 고수온기에 식물플랑크톤 종조성이 식물성 편모조류로의 천이되거나(Tsunogai 1979; Tsunogai & Watanabe 1983), 고수온기에 연안어장에서 발생하는 적조현상에도 규산염 고갈이 크게 기여 하는 것으로 알려지고 있으나(坂本 1986), 시아해는 연중 규조류가 식물플랑크톤 군집을 지배하고 있어(Yoon 1998a), 규산염 농도가 식물플랑크톤 종조성의 변화에 영향을 미치고 있는 것으로 판단할 수는 없었다.

### 3. 식물플랑크톤 생물량

Chl-*a*는 겨울 저층에서 최저 0.62  $\mu\text{g/l}$  표층에서 최고 20.52  $\mu\text{g/l}$ 로 변화하며, 표층은 겨울에  $2.96 \pm 4.43 \mu\text{g/l}$ , 봄에  $2.48 \pm 1.62 \mu\text{g/l}$ , 여름에  $2.37 \pm 0.63 \mu\text{g/l}$  및 가을에  $2.10 \pm 0.42 \mu\text{g/l}$ 를 나타내어, 계절별로 큰 차이 없이 연중 높은 생물량을 보이고 있다(Fig. 8). 저층의 경우도 표층과 유사하나 겨울철 최대값의 영향을 제외하면 연중 표층보다 높은 값을 나타내는 특성을 보이고 있다(Table 1). 공간적으로 겨울은 표층에서 질산염 농도가 낮은 시아해 북동해역에서 10  $\mu\text{g/l}$  이상으로 매우 높은 값을 나타내고 있으며(Iizuka 1985), 중앙에서 동쪽해역에 걸쳐 3  $\mu\text{g/l}$  이상의 생물량을 나타내는 패치가 보여진다. 중앙해역에서는 1~2  $\mu\text{g/l}$ 의 균일한 값을 나타내고 있다. 저층도 시아해의 북동해역에서 2  $\mu\text{g/l}$  이상의 값이 보여지나, 중앙 및 남쪽해역에서는 1~2  $\mu\text{g/l}$  내외의 균일한 값을 보이고 있다(Fig. 9, A). 봄은 표층에서 화원반도 중앙부에서 마진도를 연결하는 시아해 남쪽해역에서 2  $\mu\text{g/l}$  이상의 높은 농도 띠가 보여지며, 북쪽 및 남쪽해역에서 1.5  $\mu\text{g/l}$  내외의 농도를 나타내고 있다. 저층은 시아해 중앙해역에서 1~3  $\mu\text{g/l}$ 로 낮은 값을 보이고 있는 것에 반해, 북쪽 및 남쪽해역에서 3  $\mu\text{g/l}$  이상의 높은 값을 나타내고 있다. 특히 남쪽해역에서는 10  $\mu\text{g/l}$  이상의 매우 높은 Chl-*a* 농도를 나타내어, 봄철 식물플랑크톤 대발생이 이루어지고 있는 것(Heinrich 1962)으로 보여졌다(Fig. 9, B). 여름은 표층에서 시아해의 북쪽 및 중앙해역에서 상대적으로 높고, 남쪽해역에서 낮은 값을 나타내며, 저층은 시아해를 동서로 양분하여 서쪽해역에서 높고 동쪽해역에서는 낮은 값을 보이고 있다(Fig. 9, C). 가을은 표·저층 모두에서 시아해를 동서로 양분하여 동서연안부에서 높고, 중앙부에서 낮은 값을 나타내고 있다(Fig. 9, D).

Chl-*a*는 연중 표층에서 2.0  $\mu\text{g/l}$  이상을 나타내고 있어, 부영양화가 진행된 연안해역보다는 낮은 값이나(Iizuka 1985), 높은 생물량을 나타내는 남해 연안역과 유사한 값으로(Cho & Yoon 1997; Yoon 2000a; Yoon *et*

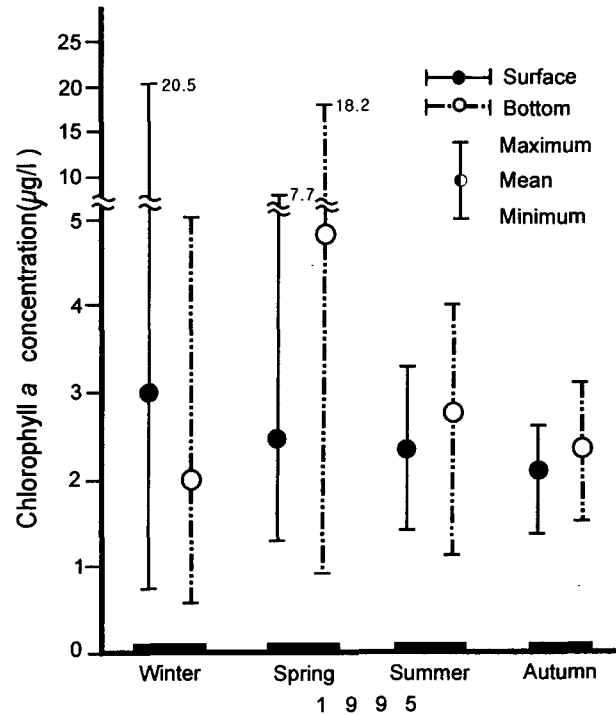


Fig. 8. Seasonal fluctuation of chlorophyll *a* concentration in Shiahae.

*al.* 2000), 시아해 기초생물의 생물량은 높게 나타났다. 다만, 계절에 따른 Chl-*a* 변화가 없고, 한국 남서부 해역의 경우 식물성 편모조류의 출현 점유율이 높은 고수온기에 높은 Chl-*a*를 나타내어 종조성의 차이가 Chl-*a* 변동에 크게 영향을 주고 있는데 비해(Honjo *et al.* 1978; Yoon 2000b), 시아해는 이와 같은 현상이 보이지 않는다는 점 및 겨울철 화원반도 북단의 일부 정점에서 극단적으로 높게 나타나는 Chl-*a* 값을 제외하면 연중 저층이 표층보다 높은 생물량을 나타내고 있다는 점(Yoon 1998b), 그리고 연중 매우 낮은 투명도 수심을 나타내고 있는 점 등으로부터, 시아해의 높은 식물플랑크톤 생물량은 강한 조석혼합 등에 의해 표층의 식물플랑크톤이 해저에 침강되어 축적되어 있는 해저 표층 퇴적층의 입자가 상당부분 수중으로 재부유되고 있기 때문으로, 식물플랑크톤 생물량 중 상당부분은 생리활성이 없는 pheopigment에 의해 점유되는 것으로 판단할 수 있어, 시아해 기초생물생산력은 그다지 높지 않을 것으로 추정되었다(Yoon *et al.* 2000).

### 4. 기초생산의 제한인자

수권에서 기초생산을 지배하는 요인으로서의 해역에 따라 다양하나 영양염류만으로 제한하면 주로 질소, 인



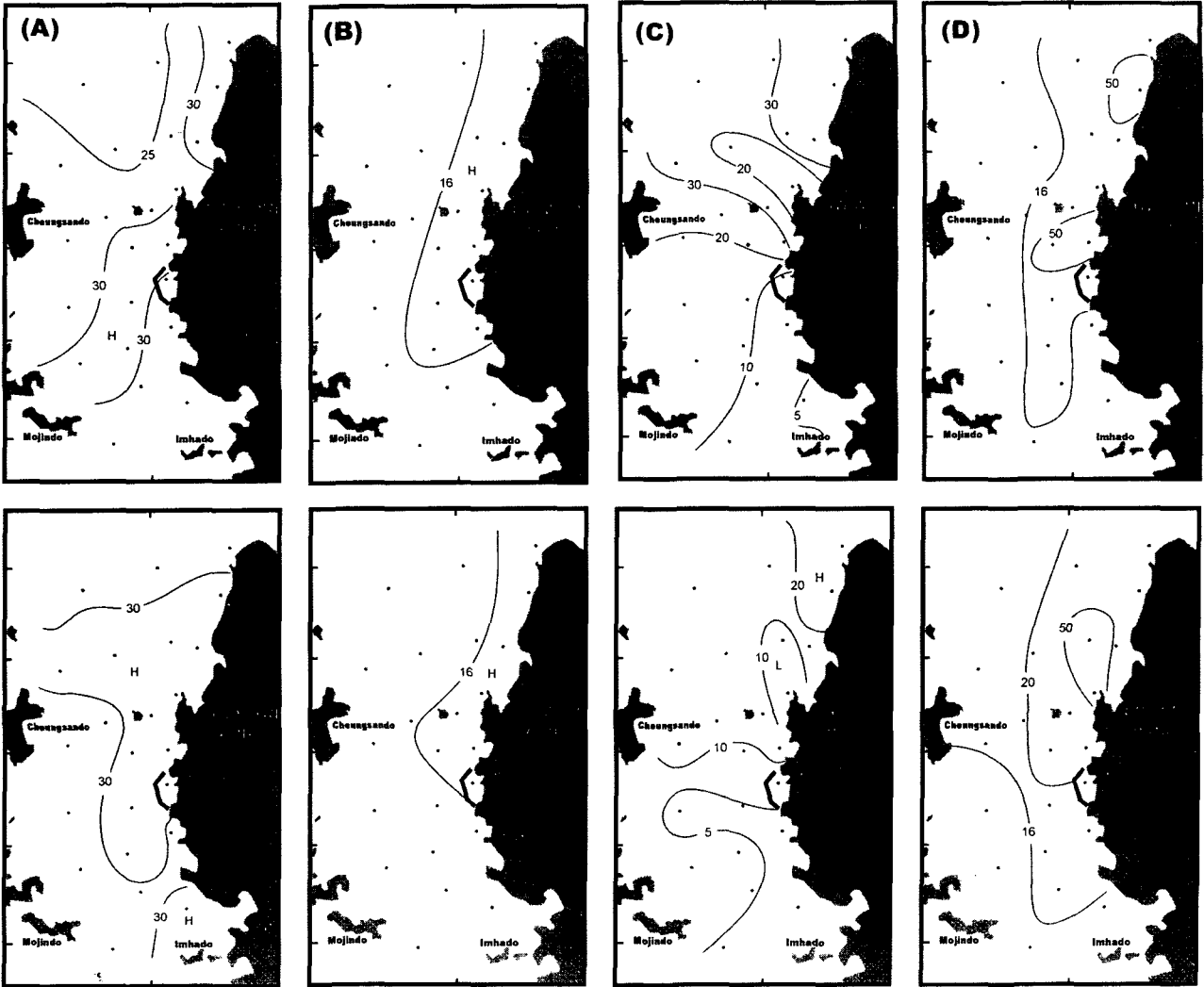


Fig. 10. Horizontal distribution and seasonal variation of N/P ratio for four seasons in 1995 (A; winter, B; spring, C; summer, D; autumn, upper; surface, lower; bottom).

시아해 N/P 원자비는 여름에 최저 0.7에서 가을에 최고 409.3으로 변화하며, 표층은 겨울에  $29.4 \pm 8.5$ , 봄에  $26.3 \pm 18.7$ , 여름에  $22.3 \pm 17.4$  및 가을에  $35.5 \pm 35.5$ 를 나타내고 있어, 연중 전체적으로는 용존질소에 비해 용존인이 부족한 결과를 나타내었다 (Redfield *et al.* 1963). 특히 가을에는 공간적으로 매우 큰 차이를 나타내는 특성을 보였다 (Table 1).

공간적으로 겨울은 표·저층 모두에서 전 해역에서 20 내외의 값을 나타내며, 특히 표층에서 시아해 동쪽 및 중앙해역에서 30~70 범위의 값을 나타내어, 질소가 상대적으로 과잉으로 존재하는 반면, 인이 부족한 양상을 나타내어 시아해 기초생물의 성장에는 인이 결핍되고 있는 것으로 나타났다 (Fig. 10, A). 반면, 봄은 표·저

층 모두에서 시아해 북동해역에서 16 이상의 값을 나타내어, 식물플랑크톤 성장에 인산염이 부족한 것처럼 보이고 있으나, 중앙에서 서쪽해역에서는 16 이하로 질소원의 부족현상이 보여져, 공간적으로 식물플랑크톤 성장의 제한 영양염류가 다르게 나타나고 있다 (Fig. 10, B). 여름은 표·저층 모두 시아해 북동해역을 제외하고는 16 이하의 값을 나타내고 있어, 질소원의 심한 고갈현상이 보여지고 있으며 (Fig. 10, C), 가을도 표·저층 모두에서 시아해 북동 및 동쪽해역에서 16 이상의 값을 남쪽해역에서 16 이하의 값을 나타내고 있어, 공간적으로 서로 다른 분포특성을 나타내고 있다 (Fig. 10, D). 즉 겨울을 제외하고는 시아해의 경우 연안으로부터 담수유입의 영향을 비교적 강하게 받고 있는 북방해역에서는 목

포연안에서 질소의 유입이 충분한 반면, 남쪽해역에서는 질소의 공급이 부족한 것으로 나타나고 있어, 영산강 및 목포시 하수의 영향을 직접 받고 있으면서 폭 넓은 해역 특성을 나타내는 곳에서는 질소과잉으로 인 부족 현상이 보여지는 반면 남쪽의 협수로에서는 인의 존재량에 비해 질소부족 현상이 보여지는 것으로 나타났다.

즉 시아해는 시·공간적으로 다소의 차이는 있으나, 평균적으로 질소가 인의 용존량 보다 상대적으로 많은 것으로 나타나 식물플랑크톤 등 광합성식물의 성장은 인의 존재량에 의하여 성장의 제약을 받을 수 있다고 할 수 있으며(Hecky & Kilham 1988), 이는 해양의 경우 인보다 질소의 존재량에 의해 기초생산이 지배된다는 일반적인 내용과는 상반되는 결과이다(Ryther & Dunstan 1971; Hecky & Kilham 1988). 다만, 이와 같은 시아해의 결과는 우리 나라 일부 남해연안이나 부영양화가 진행된 내만해역의 경우는 질소보다도 인의 존재량에 의해 식물플랑크톤 성장이 지배된다는 내용과는 일치하는 결과이다(Cho & Yoon 1997; Yoon 1989, 2000a). 그러나 식물플랑크톤 군집은 매우 다양한 생물 종에 의해 구성되고 있어 단순히 N/P 비 값의 대소에 의해 식물플랑크톤의 성장과 제한 영양염을 이해하기는 어렵다고 할 수 있다(Kain & Fogg 1960; Strickland *et al.* 1969; Yoon 1992).

Si/P 원자비는 표층에서 봄에 최저 7.2에서 가을에 최고 696.2로 변화하여 시간적으로 매우 큰 변화양상을 나타내며, 표층은 겨울에  $42.6 \pm 15.5$ , 봄에  $12.8 \pm 8.3$ , 여름에  $61.8 \pm 57.1$  및 가을에  $134.1 \pm 183.4$ 를 나타내어, 봄을 제외하고는 규산염 농도가 다른 영양염류보다 과잉으로 존재하는 특성을 보였다. 저층에서도 표층과 유사한 결과를 나타내었다(Table 1). 공간적으로 봄철 관측정점 1의 43.6를 제외하고는 전 해역에서 20 이하의 값을 나타내고 있다. 반면 기타의 계절은 서로 다른 해역의 한 개 관측점에서 20전후를 나타내는 것을 제외하고는 전 해역에서 22 이상의 값을 나타내고 있었다. 즉 시아해는 봄철 규조류에 의한 대발생이 보이는 일시적 시기를 제외하고는 규산염에 의해 규조류 성장이 제한되는 않는 것으로 나타났다(Yang *et al.* 1995). 다만 봄철 규조류 대발생 현상이 보여지는 시기에 일시적으로 규산염 농도가 급격히 흡수되어 부족 되는 현상이 보여지고 있으며, 이와 같은 결과가 일부 온대해역에서 봄철 규조류에 의한 식물플랑크톤 군집이 식물성 편모조류에 의한 군집으로 천이 되는 요인으로 알려지고 있으나(Tsunogai 1979; Tsunogai & Watanabe 1983), 시아해의 규산염 부족은 매우 일시적인 현상으로 연안부 및 주변 수괴로부터 규산염이 쉽게 공급되고 있어 규산염

고갈에 의해 식물플랑크톤 종의 천이를 발생시킬 것으로 판단되지는 않았다(Yoon 1989, 2000a). 실제 시아해에서는 여름철 낮은 규산염 농도에도 불구하고 높은 Si/P비를 나타내며, 식물플랑크톤 군집도 규조류에 의해 우점되고 있는 것으로 보고하고 있다(Yoon 1998a).

##### 5. 영양염류의 공급원

영양염류의 변동특성과 Chl-*a*의 계절적 변동 특성을 이해하기 위하여 계절별로 분석 요인 사이의 상관행렬을 Table 2 (겨울과 봄)와 Table 3(여름과 가을)에 나타내었다.

Table 2와 Table 3으로부터 영양염류 중에 규산염은 계절별로 다소 상관의 강약은 차이가 있으나 연중 염분 농도와 음의 상관을 보이고 있어 연안부의 담수나 담수 기원의 수괴특성을 나타내는 황해냉수 및 한국연안수에 의해 규산염은 공급되고 있음을 알 수 있다(Rho & Pang 1995; Yoon 2000a). 질소는 가장 낮은 농도를 보이는 여름에는 무기 상태 모두가 염분에 대해 음의 상관을 보이고 있는 반면, 기타 계절은 겨울과 봄에 암모니아염이 염분과 음의 상관을 보이고 있는 것을 제외하면 모두가 염분과 양의 상관을 나타내고 있다. 이로부터 질소원은 계절과 해역에 따라서는 담수유입에 의존하는 비율이 높게 나타나고도 있으나, 시아해 표층 해수의 높은 질소원은 상당부분 조석혼합 등에 의해 높은 영양염을 포함하고 있는 저층 해수의 공급에 의하고 있는 것으로 판단되었다(Yoon *et al.* 2000). 인(P)도 여름을 제외한 모든 시기에 염분과 양의 상관, 특히 겨울에는 0.543으로 높은 양의 상관을 나타내고 있어 질소원과 같이 강수량이 많은 여름을 제외하고는 혼합에 의해 저층의 고농도 영양염류가 표층으로 유입되거나, 풍부한 영양염류를 포함하는 외해수의 유입 등에 의해 공급되고 있는 것으로 판단되었다(Yang *et al.* 1995). 그리고 용존무기 질소는 겨울과 봄에는 암모니아염과 각각 0.829, 0.638로 강한 양의 상관을 나타내어 암모니아염의 변동에 크게 지배되고 있으며, 여름과 가을은 질산염과 각각 0.985, 0.950으로 매우 강한 양의 관계를 나타내어 질산염에 의해 지배되는 양상을 나타내고 있는 것으로 보여졌다. 다만 본 연구에서 시아해에 보여지는 연중 발달된 수층간 혼합양상은 본 해역의 일반적인 특징이라고 판단하기보다는 조석차가 큰 연안해역은 대조나 소조 등 조시에 따라 성층이 형성과 파괴가 반복되는 단기적인 변동 양상을 나타내고 있다는 것으로부터(Lee & Cho 1995), 본 연구의 조사시점이 모두 대조시를 선택하고 있기 때문에 보여지는 현상이라 할 수 있을 것이다.

**Table 2.** Correlation matrix between Chl-*a* and environmental factors in Shiahae in 1995 (upper : winter, lower : spring)

	Temp.	Sal.	Ammonia	Nitrite	Nitrate	DIN	Phosphate	N/P ratio	Silicate	Si/P ratio	Chl- <i>a</i>
Temp.		0.919	0.077	-0.144	0.396	0.290	0.504	-0.495	-0.351	-0.592	-0.697
Salinity	-0.621		-0.151	-0.346	0.343	0.063	0.543	-0.329	-0.256	-0.581	-0.637
Ammonia	-0.022	0.165		0.121	0.012	0.829	-0.140	-0.141	-0.091	0.085	0.040
Nitrite	-0.158	0.187	0.212		-0.204	0.021	-0.350	0.080	0.074	0.346	0.136
Nitrate	0.209	0.070	-0.278	0.106		0.567	0.515	-0.290	0.030	-0.433	-0.346
DIN	0.329	-0.047	0.638	0.219	0.338		0.168	-0.278	-0.054	-0.166	-0.160
Phosphate	0.246	-0.375	-0.064	-0.517	-0.080	-0.160		-0.382	0.013	-0.809	-0.346
N/P ratio	-0.038	0.052	-0.127	0.493	0.250	0.282	-0.836		0.141	0.377	0.391
Silicate	0.238	-0.098	-0.393	-0.248	0.039	-0.311	0.652	-0.524		0.503	0.159
Si/P ratio	-0.085	0.011	-0.294	0.450	0.170	0.054	-0.811	0.959	-0.420		0.351
Chl- <i>a</i>	-0.144	-0.079	0.468	0.132	-0.659	0.268	-0.126	0.065	-0.112	-0.030	

**Table 3.** Correlation matrix between Chl-*a* and environmental factors in Shiahae in 1995

(upper : summer, lower : autumn)

	Temp.	Sal.	Ammonia	Nitrite	Nitrate	DIN	Phosphate	N/P ratio	Silicate	Si/P ratio	Chl- <i>a</i>
Temp.		-0.808	0.358	0.823	0.777	0.822	-0.051	0.101	0.132	0.016	-0.068
Salinity	0.999		-0.437	-0.724	-0.587	-0.653	0.119	-0.150	-0.065	-0.107	0.114
Ammonia	0.382	0.377		0.209	0.537	0.629	-0.138	0.411	-0.258	0.067	-0.292
Nitrite	0.049	0.037	0.295		0.568	0.639	-0.248	0.172	0.035	0.353	-0.146
Nitrate	0.381	0.377	-0.054	0.065		0.985	0.018	0.359	0.130	0.106	-0.028
DIN	0.604	0.600	0.130	0.125	0.950		-0.055	0.389	0.076	0.149	-0.081
Phosphate	0.161	0.152	0.261	-0.023	0.560	0.501		-0.705	0.201	-0.751	-0.060
N/P ratio	0.022	0.018	0.260	0.667	0.145	0.160	-0.214		-0.022	0.737	0.068
Silicate	0.469	-0.471	-0.527	0.403	0.210	0.346	0.176	0.333		0.028	-0.130
Si/P ratio	-0.026	-0.028	0.346	0.694	0.023	0.049	-0.172	0.953	0.467		0.185
Chl- <i>a</i>	0.612	0.620	0.336	0.264	0.325	0.443	0.166	0.167	0.592	0.215	

### 6. 식물플랑크톤 생물량에 영향을 미치는 환경요인

시아해 Chl-*a*는 시·공간적으로 매우 다른 특성을 나타내고 있으나, 겨울에는 수온, 염분, 질산염 및 인산염과 각각 -0.697, -0.637, -0.346 및 -0.346 등 음의 상관관을 나타내어 질산염 및 인산염 흡수에 의해 활발한 생물생산이 영위되고 있는 것으로 보여졌다(Table 2). 봄에는 암모니아염과 질산염에 각각 0.468과 -0.659를 나타내어 질산염 흡수에 의해 높은 생산을 나타내고 있으나, 일부 생물은 분해과정 중에 있어 암모니아염이 발생하는 결과를 나타내고 있는 것으로 보였다(Table 2). 영양염 농도가 매우 낮은 여름에는 암모니아염과 -0.292를 나타내고 있는 것을 제외하고는 상관관을 나타내는 환경요인은 없었으며, 쉽게 동화할 수 있는 암모니아염을 이용하여 생물생산이 영위되는 것(Rhee 1978)으로 보여졌다(Table 3). 그리고 가을에는 수온, 염분, 질소, 규산염과 각각 0.612, 0.620, 0.443, 0.592를 나타내고 있으며, 기타의 요인들도 모두 양의 상관관을 나타내어 높은 생물량은 성장단계보다 쇠퇴기에 들어 있는 것으로 판단되었다(Yoon *et al.* 2000).

이와 같은 결과와 전술의 영양염류 분포특성에서 시아해 식물플랑크톤 생물량은 시·공간적으로 매우 다른 양상을 나타내고 있으며, 영양염류 중에서는 질소와 인의 존재량에 의해 지배되어 겨울은 인, 기타 계절은 시아해 북부에서는 인, 남부에서는 질소의 용존량에 의해 지배되고 있는 것으로 나타났으나, 여름을 제외하고는 식물플랑크톤 생산에 부족하지 않을 정도의 영양염류가 존재하는 것과 낮은 투명도 수심으로부터는 광 등 물리적 요인과 N/P 비의 변동에 의해 생물량이 크게 영향을 받는 것으로도 보여졌다(Yoon 1992; Yoon & Park, 2000).

### 사 사

본 연구를 수행함에 있어 연구의 기회와 현장조사에 많은 도움을 주신 여수대학교 이 문옥 교수님, 현장조사에 도움을 주신 화봉리 어촌계 및 분석 및 자료정리에 힘써준 여수대학교 해양학과 부유생물생태학 연구실 학생제군께도 감사의 뜻을 전합니다. 아울러 원고의 내용에 대하여 세심한 지적을 해 주신 익명의 심사위원께도

감사의 뜻을 전합니다.

### 참 고 문 헌

- 통상산업부, 환경부, 건설교통부, 과학기술처, 경찰청, 수산청, 해운항만청, 기상청 (1996) 해양오염방지 5개년 계획. 행정간행물 12000-67440-97-9615, 서울.
- 한국관광공사 (1995) 해남화원 관광단지 어업피해 영향조사 보고서. 여수수대 수과연, 여수.
- 坂本市太郎 (1986) 魚類給飼養殖の視點からの窒素・リン負荷の規制. pp. 96-133. 漁業からみた閉鎖性海域の窒素・リン規制 (村上 彰男編). 恒星社厚生閣, 東京.
- 日本海洋學會 編 (1985) 海洋觀測指針. 日本海洋學會, 東京.
- 吉田陽一 (1973) 低次生産段階における生物生産の變化. p. 92-103. 水圏の富營養化と水産増養殖 (日本 水産學會 編). 恒星社厚生閣, 東京.
- Cho HS & YH Yoon (1997) Seasonal of water quality in the eastern coastal area of Shinji Island, southwestern Korea. *Bull. Yosu Nat'l Fish. Univ.* **11(2)** : 91-104 (in Korean).
- Cho HS, YS Yu & KH Lee (1994) Characteristics of seasonal fluctuation of water quality and sediment environment in Kamak Bay. *Bull. Mar. Sci., Yosu Nat'l Fish. Univ.* **3** : 21-33 (in Korean).
- Fogg GE & B Thake (1987) Algal cultures and phytoplankton ecology (3rd ed.). The University of Wisconsin Press, Wisconsin.
- Hecky RE & P Kilham (1988) Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments; A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.* **33** : 796-822.
- Heinrich AK (1962) The life histories of plankton animals and seasonal cycles of plankton communities in the ocean. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* **27** : 15-24.
- Honjo T, T Shimouse & T Hanaoka (1978) A red tide occurred at the Hakozaki fishing port, Hakata Bay, in 1973 - The growth process and the chlorophyll content -. *Bull. Plankton Soc. Japan* **25** : 7-21.
- Iizuka S (1985) Results of a survey of maximum chlorophyll-a concentrations in coastal waters of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan* **32** : 173-177 (in Japanese).
- Kain JM & GE Fogg (1960) Studies on the growth of marine phytoplankton III. *Prorocentrum micans* Ehrenberg. *J. mar. biol. Ass. U.K.* **39** : 33-50.
- Kim KY (1999) Vertical distribution and seasonality of intertidal macroalgae on the coast of Hawon-Pando, Southwestern Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* **34** : 172-178.
- Lee BG & KD Cho (1995) Temporal variations of stratification-destratification in the Deukryang bay, Korea. *Korean Environ. Sci. Soc.* **4** : 139-149.
- Lee YG (1997) Characteristic of molluscan Thanatocoenoses distributed around Hwawon Peninsula in southwestern coast, Korea. *J. Paleont. Soc. Korea* **13** : 1-20 (in Korean).
- Moon CH (1990) Studies on the phytoplankton and nutrients in Yosu Haeman. *Bull. Korean Fish. Soc.* **22** : 408-414 (in Korean).
- Na JY, SK Han & KD Cho (1990) A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula - Expansion of coastal waters and its effect on temperature variations in the South Sea of Korea -. *Bull. Korean Fish. Soc.* **23** : 267-279 (in Korean).
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute) (1997a) Climatic atlas of water temperature in Korean Waters (1966~1995). Pusan (in Korean).
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute) (1997b) Climatic atlas of salinity in Korean Waters (1966~1995). Pusan (in Korean).
- Park CK (1975) Eutrophication and chlorophyll content in the sea water of Jinhae bay area. *Bull. Korean Fish. Soc.* **8** : 121-126 (in Korean).
- Park JS (1980) Studies on seasonal changes in population and species composition of phytoplankton and their effects on oysters and local fishery resources as food organisms and as a cause of red tide in the south coast of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency* **23** : 7-157 (in Korean).
- Parsons TR, M Takahashi & B Hargrave (1984) Biological oceanographic processes (3rd ed.). Pergamon press, Oxford.
- Raymont JEG (1980). Plankton and Productivity in the Oceans (2nd ed.). Vol. 1 Phytoplankton. Pergamon Press, Oxford.
- Redfield AC, BH Ketchum & FA Richards (1963) The influence of organisms on the composition of sea-water. pp. 26-77. *In The Sea*. Vol. 2, The composition of sea-water comparative and descriptive oceanography (Hill MN ed.). John Wiley & Son, New York.
- Rhee GY (1978) Effect on N/P atomic ratios and nitrate limitation on algae growth, cell composition and nitrate uptake: a study of dual nutrient limitation. *Limnol. Oceanogr.* **23** : 10-25.
- Rho HK & IC Pang (1995) Seasonal variations of water mass distributions around Cheju Island. 2-2-2. *In Japan/Korea joint study on biogeography in and around the Tsushima current regions (Itow S ed.)*. Nagasaki.
- Ryther JH (1969) Photosynthesis and fish production in the sea. -The production of organic matter and its conversion to higher forms of life vary throughout the

- world ocean. *Science* **166** : 72-76.
- Ryther JH & WH Dustan (1971) Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science* **171** : 1008-1013.
- SCOR-Unesco (1966) Determination of Photosynthetic pigments. pp. 10-18. In *Determination of Photosynthetic Pigments in the Sea-water* (Unesco ed.). Paris.
- Smith SV (1984) Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnol. Oceanogr.* **29** : 1149-1160.
- Stefansson U & FA Richards (1963) Processes contributing to the nutrient distributions off the Columbia river and strait Juan de Fuca. *Limnol. Oceanogr.* **8** : 394-410.
- Strickland JDH, O Holm-Hansen, RW Epply & RJ Linn (1969) The use of a deep tank in plankton ecology. I. Studies of the growth and composition of phytoplankton crops at low nutrient levels. *Limnol. Oceanogr.* **14** : 23-34.
- Strickland JDH & TR Parsons (1972) A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fish. Res. Bd. Canada, *Bull.* **167** : 310 pp.
- Tsunogai S (1979) Dissolved silica as the primary factor determining the composition of phytoplankton classes in the ocean. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* **30** : 311-322 (in Japanese).
- Tsunogai S & Y Watanabe (1983) Role of dissolved silicate in the occurrence of a phytoplankton bloom. *J. Oceanogr. Soc. Japan* **39** : 231-239.
- Yang HS, SS Kim & G Kim (1995) Spatio-temporal distribution of nutrients in the surface waters of Deukryang bay 1. Seasonal variation of nutrient and limiting factors for primary production. *J. Korean Fish. Soc.* **28** : 475-488 (in Korean).
- Yoon YH (1989) Environmental analysis of phytoplankton growth in the Inland Sea of Japan, with special reference to the occurrence of red tide. *Ph.D. thesis, Hiroshima Univ.* (in Japanese).
- Yoon YH (1992) An environmental characteristics on phytoplankton growth in the coastal water of Yosue by multivariate analysis (MVA). *J. Korea Soc. Water Poll. Res. Control* **8** : 141-149 (in Korean).
- Yoon YH (1998a) On the seasonal fluctuation of phytoplankton community in Shiahae, southwestern Korea. *Korean. J. Environ. Biol.* **16** : 403-409 (in Korean).
- Yoon YH (1998b) On the distribution of organic matters in surface sediment in Wando eastern coastal waters, southwestern Korea. *Bull. Yosue Nat'l Univ.* **13(2)** : 1135-1151 (in Korean).
- Yoon YH (2000a) Variational characteristics of water quality and chlorophyll *a* concentration in the northern Kamak bay, southern Korea. *J. Korean Environ. Sci. Soc.* **9** : in submitted (in Korean).
- Yoon YH (2000b) Distributional characteristics and seasonal fluctuations of phytoplankton community in Haechang bay, southern Korea. *J. Korean Fish. Soc.* **33** : 43-50 (in Korean).
- Yoon YH, HG Rho & YG Kim (1990) variable of naked phytoflagellates in the coastal water of Hamdok, northern Cheju Island during spring and summer. *Bull. Mar. res. Inst., Cheju Nat'l Univ.* **14** : 1-8 (in Korean).
- Yoon YH & NP Koh (1994) Distribution of microalgae in the coastal waters of Kumo Islands, southern Korea in summer. *Report Korean Ass. Conser. Nature* **32** : 161-171 (in Korean).
- Yoon YH & JS Park (2000) The analysis on variational characteristics of water quality and phytoplankton by principal component analysis (PCA) in Kogun-sudo, southwestern part of Korea. *J. Korean Environ. Sci. Soc.* **9** : in press (in Korean).
- Yoon YH, JS Park & NP Koh (2000) The variational characteristics of water quality and chlorophyll *a* concentration in Kogum-sudo, southern part of Korean Peninsula. *J. Aquaculture* **13(1)** : 87-99 (in Korean).



## On the Spatio-temporal Distributions of Nutrients and Chlorophyll *a* Concentration, and the Environmental Factors on the Variation of Phytoplankton Biomass in the Shiahae, Southwestern Part of Korean Peninsula

Yang Ho Yoon

*(Division of Ocean System, Yosu National University Yosu 550-749, Korea)*

**Abstract** - Field survey on the spatio-temporal distribution of water quality and chlorophyll *a* concentration, and the environmental factors on the variation of phytoplankton biomass were carried out at the 23 stations for four seasons in the Shiahae, southwestern coast of Korean Peninsula from February to October in 1995. I made an analysis on biological factor as chlorophyll *a* concentration as well as environmental factors such as water temperature, salinity and nutrients; ammonia, nitrite, nitrate, dissolved inorganic nitrogen, phosphate, N/P ratio, silicate and Si/P ratio. The waters in the Shiahae were not stratified due to the tidal mixing and high velocity of tidal current. And the high productivity in photic layer were supported by high nutrients concentration from freshwater on lands and bottom waters. The low depth of transparency in the Shiahae had a bad influence upon primary production and marine biology. In Shiahae had a sufficient nutrients for primary production during a year. Especially dissolved inorganic nitrogen and silicate were high, the other side, phosphate was low. The source of nutrients in summer and silicate supply depend on input of freshwater from lands, the other side, dissolved inorganic nitrogen and phosphate were depend on rather supplied from bottom layer by the mixing and input of seawater from outside than input of freshwater from lands. Phosphate seemed to become a limiting nutrient for the primary production at all area of Shiahae in winter and at the northern parts in other seasons. However, dissolved inorganic nitrogen seemed to do it at the southern parts in other seasons except winter. Silicate didn't become a limiting nutrient for diatoms in Shiahae. Phytoplankton biomass as measured by chlorophyll *a* concentration was very high all the year round, it was controlled by the combination of the several environmental factors, especially of nitrogen, phosphorus and the physical factors such as light intensity. [Spatio-temporal distribution, Seasonal fluctuation, Nutrients, Chlorophyll *a*, Environmental factors, Nutrient source, Limiting Nutrient, Light, Shiahae].