

한반도 남동 연안내만 입자유기물질의 시·공간 변동 특성

이필용·강창근·최우정·이원찬·양한섭*
국립수산진흥원 환경관리과, *부경대학교 해양학과

Temporal and Spatial Variations of Particulate Organic Matter in the Southeastern Coastal Bays of Korea

Pil-Yong LEE, Chang-Keun KANG, Woo-Jeung CHOI
Won-Chan LEE and Han-Soeb YANG*

National Fisheries Research & Development Institute, Kijang-Gun,
Pusan 619-900, Korea

*Department of Oceanography, Pukyong National University,
Pusan 608-737, Korea

The chemical, elemental and biochemical components of the suspended particulate matter (SPM) were investigated in order to quantify particulate organic matter (POM) and assess diet quality for suspension feeders in the southern coastal bay systems of Korea where the marine farming of the suspension feeders are most active. The intense field observation program was carried out seasonally in the three coastal bay systems of Chinhae, Gosung and Kangjin bays. The SPM was characterized as collective properties of organic carbon (POC), nitrogen (PON), phosphorus (PP) and more refined collective properties of protein (PPr), carbohydrate (PCHO) and chlorophyll *a* (Chl *a*) compound. Although the three coastal bays are regarded as phytoplankton based ecosystem, the SPM is not composed entirely with phytoplankton cells. Due to the shallow water depth, resuspension of bottom sediment contributes significantly to some of the regions. Therefore, concentration of SPM in the surface water did not co-vary with Chl *a* or PPr, PCHO. In general, temporal variation of POC, PON and Chl *a* contents in seawater were closely associated with phytoplankton biomass in the three coastal bays. However, PPr and PCHO contents in seawater were higher in Chinhae bay than in Gosung and Kangjin bays, and Chl *a* : PPr-N ratio was higher in Chinhae bay than in Gosung and Kangjin bays, since Chinhae bay is more eutrophicated than other bays. Average C : N ratios from regressions of POC and PON of SPM were 6.6, 6.6 and 5.0 in Chinhae, Gosung and Kangjin bays, respectively. SPM in Chinhae and Gosung bays appears to be made of largely phytoplankton cells and SPM in Kangjin bay appears to be contributed from the bacterial biomass due to the shallow water depth. N : P ratios from regressions of PON and PP of SPM were 10.8 and 14.7 in spring, and 18.2 and 24.6 in Chinhae and Gosung bays, respectively. With respect to the hypothetical Redfield molecule, phytoplankton appears to be limited by the lack of N and P in spring and summer, respectively, in the two bays. In Kangjin bay, N : P ratios from regressions of PON and PP of SPM were varied from 6.3 to 12.8 throughout the year. The low N : P ratio with respect to the hypothetical Redfield molecule, phytoplankton growth appears to be limited by the lack of N-nutrients.

Key words: Seston, Particulate organic matter (POM), Biochemical composition, C : N : P ratio, Eutrophication, Temperate coastal bays

서 론

연안해역에서 각종 이매패류의 중요한 먹이원으로서 해역내 입자유기물질 양과 먹이질 (food quality)의 시·공간적 변동에 대하여 많은 연구들이 수행되어 왔다 (Anderson, 1970; Ward, 1981; Soniat et al., 1984; Berg and Newell, 1986; Fegley et al., 1992; Navarro et al., 1993). 이러한 연구 결과들에 의하면 연안 해역에서 입자유기물질의 분포는 다양한 물리·생물학적 제 요인들에 의해 시·공간적으로 큰 변동을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 한편 온대 연안 해역에서 육지로 둘러싸인 내만 해역은 외양에 직접 면한 해역과는 달리 풍파의 영향을 피할 수 있는 지형적인 조건을 구비하고 있어 다양한 양식활동이 이루어지고 있다. 그러나 하천이

나 외양과 같은 만의 외부로부터 입자유기물질의 공급이 없을 경우 해역내 양식 생물량 증가에 따라 가용 먹이량 감소로 양식생물 성장과 생식 등 생물활동에 제한을 받게되기도 하는 (Héral, 1993) 반면, 주변 육지부로부터 유기물질 및 영양염 부하로 인한 부영양화의 진행은 적조현상과 같은 식물플랑크톤의 이상증식을 초래하여 어장의 황폐화와 함께 더 이상 양식을 할 수 없는 경우도 일어난다 (Park, 1980).

입자유기물질의 생태계 내 에너지 흐름 경로를 이해하기 위해서는 이들 물질의 구성 요소에 대한 지식이 필요하다. 연안 해역에서 입자유기물질의 기원으로는 수주(水柱)나 퇴적물 등 해역 자체 내에서 생성되는 것 (원지성, autochthonous)과 하천을 통해 육지로부터 유입 혹은 외양으로부터 이류되는 것 (타지성, allochthonous)을 들 수 있다. 입자유기물질 화학원소 조성비는 그 기원을 나타내는 지시자로서 역할을 할 수 있고 (Pocklington, 1975; Heckey et al., 1993), 기초생산자군의 성장을 제한하는 영양염 추

Corresponding author: pylee@nfrdi.re.kr

적자로서도 유용하게 이용될 수 있다 (Hecky and Kilham, 1988; Heckey et al., 1993; Matsuda, 1993).

또한, 입자유기물질 생화학적 조성은 이들을 포식하는 동물들의 먹이로서의 질 (quality)을 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 (Widdows et al., 1979; Navarro et al., 1993) 기초생산자군을 위한 영양염 제한과 이들의 생리 상태 (Antia et al., 1963; Healey, 1975; Barlow, 1980) 및 해역 부영양화 상태 (Dortch and Packard, 1989)를 평가할 수 있는 유용한 지시자로 사용될 수도 있다. 이와 같은 분석은 해양 내 입자유기물질의 대부분을 차지하는 식물플랑크톤이 유사한 물리, 화학적 환경 조건에서 성장할 때 그들의 크기나 분류군에 관계없이 유사한 유기물 조성을 갖게 된다는 것에 기인한다 (Parsons et al., 1961; Morris, 1981). 따라서 해역자체 생물 생산에 의해 생성된 입자유기물질 조성이 그 기원 생물 주변 환경에서 상당한 기간동안 적용해온 결과 산물이라는 것과 수주 환경요인들의 짧은 전환시간 (turnover time)을 고려한다면 어떤 한 시점에서의 수주 환경자체보다 오히려 입자유기물질이 가지는 특성들이 오랜 시간동안 그 해역 환경변화와 생물의 반응을 더 잘 대변해 줄 수 있을 것이다 (Hecky and Kilham, 1988).

한반도 남해 내만 해역은 오랫동안의 양식활동에 따른 양식생 산성 저하와 지속적인 부영양화로 인하여 이들 해역에서 양식활동을 위한 정확한 환경 평가와 그에 따른 인위적인 관리를 필요로 하게 되었다. 이와 같은 반폐쇄성 내만 해역의 환경요인들로서 해수순환 (Chang et al., 1984), 영양염과 용존산소 변동 (Hong et al., 1991), 중금속 분포 (Lee and Lee, 1983), 입자유기물질 조성변동 및 조류성장제한 영양염 (Lee et al., 1994; Kang et al., 1999), 빈산소수괴 변동 (Lee et al., 1993) 그리고, 식물플랑크톤 이상증식 (Park and Kim, 1967) 등 다양한 연구들이 수행되어 왔으나 이 연구들 대부분은 진해만을 대상으로 집중되어 있고, 진해만에서도 각 해역별로 서로 다른 특성을 가지고 있어서 부영양화된 반폐쇄성 내만 해역이라 하더라도 이 연구들의 결과를 다른 내만 해역에 적용하여 일반화하기는 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 한반도 남동 연안에서 이매패류 양식이 활발한 해역 중 서로 다른 지형구조와 양식생물을 가지는 3개 내만 해역에 대하여 각 해역별 입자유기물질 농도분포와 조성을 조사·비교하였다. 또한, 입자유기물질 원소나 생화학 조성비 분포를 이용하여 각 해역의 영양상태를 비교하였다. 이 해역들에서 주로 양식되고 있는 생물은 수중 입자유기물질을 먹이로 취하는 여과섭이자인 굴과 피조개 등 이매패류이기 때문에 입자유기물질 양과 조성의 해역별 비교는 각 내만 해역의 양식 잠재력이나 생산성을 평가하는데 중요한 요소가 될 것이다.

재료 및 방법

1. 연구해역 및 시료채취와 보관

본 조사는 남해연안 반 폐쇄성 내만 가운데 진해만을 비교해역

으로 하여 고성만과 강진만 3개 해역에서 실시되었다 (Fig. 1). 본 조사는 4계절을 대표하여 1999년 8월과 11월, 2000년 2월과 5월에 진행한 37개 정점, 고성만 22개 정점 및 강진만 24개 정점에서 시료를 채취하였다. 입자유기물질 분석을 위한 시료는 각 정점 표층 (수면하 약 0.5 m)과 저층 (해저면으로부터 1.5 m)에서 10 L van Dorn 채수기를 이용하여 채수된 해수를 현장에서 Chlorophyll a 와 CHN 분석 시료는 25 mm GF/F 여과지에, 그 외 입자유기물질 분석 시료는 47 mm GF/F 여과지로 여과하여 실험실로 운반한 후 -80°C에서 보관하였다. 모든 해수시료는 대형 동물플랑크톤을 제거하기 위하여 입자유기물질을 여과하기 전에 망목 200 μ m 망 (net)으로 걸렀다.

2. 시료의 분석

Chlorophyll a (Chl a) 농도는 해수 500 mL를 여과 후 1% 탄산마그네슘 용액으로 처리하고 여과지를 90% acetone에 넣어 냉장 보관하여 24시간 이내에 엽록소를 추출, 형광측정기 (Turner Designs 10-AU Fluorometer)를 이용하여 Parsons et al. (1984)에 의해 기술된 방법으로 분석하였다. 입자유기탄소 (POC)와 질소 (PON)는 계절과 해역에 따라 300~500 mL 해수를 550°C에서 5시간 동안 연소시킨 GF/F 여과지에 걸러서 산처리하여 탄산염을 제거한 후 CHN 원소분석기 (Perkin Elmer model 2400)를 이용하여 분석하였다. 입자 인 (PP)의 분석은 Menzel and Corwin (1965)의 방법을 이용하였다. 입자 단백질 (PPr)과 탄수화물 (PCHO) 분석용 시료는 1 L의 해수를 550°C에서 연소시킨 GF/F 여과지에 여과하였다. 단백질은 Folin-Ciocalteu를 이용하여 발색하는 Lowry et al. (1951)의 방법으로 bovine serum albumin을 표준용액으로 하여 분석하였다. 단백질의 질소 함량 (μ g PPr-N/l)은 측정된 단백질 농도를 87.5로 나누어서 구했다 (Packard and Dortch, 1975). 탄수화물은 glucose로 표준용액을 조제하고 Dubois et al. (1956)의 phenol-sulphuric acid 방법으로 분석하였다.

3. 자료의 통계처리

입자유기물질 농도와 조성비를 나타내는 모든 자료의 해역별, 수심별 및 조사 계절별 평균값 차이는 3-way ANOVA를 통하여 검정하였다 (Sokal and Rohlf, 1981). 각 자료의 평균값 상호간 차이의 비교를 위한 사후분석은 Duncan의 다중비교 (multiple range test)를 이용하였고, 처리 평균간 유의차 검정은 $\alpha=0.01$ 의 유의수준에서 수행하였다. 이와 같은 통계 분석은 SPSS Version 7.5를 이용하였다. 입자유기물질 조성원소간의 회귀직선 기울기와 절편은 최소자승법 (least-squared regression)으로 구하고 각 조사 계절별, 해역별 기울기 차이에 대한 유의성을 ANCOVA 분석을 통하여 검정하였고, 기울기 값들 사이에 유의한 차이가 없을 때 전체 자료에 대한 기울기 (common slope)를 구하였다 (Sokal and Rohlf, 1981).

결 과

1. 입자유기물질의 농도와 조성

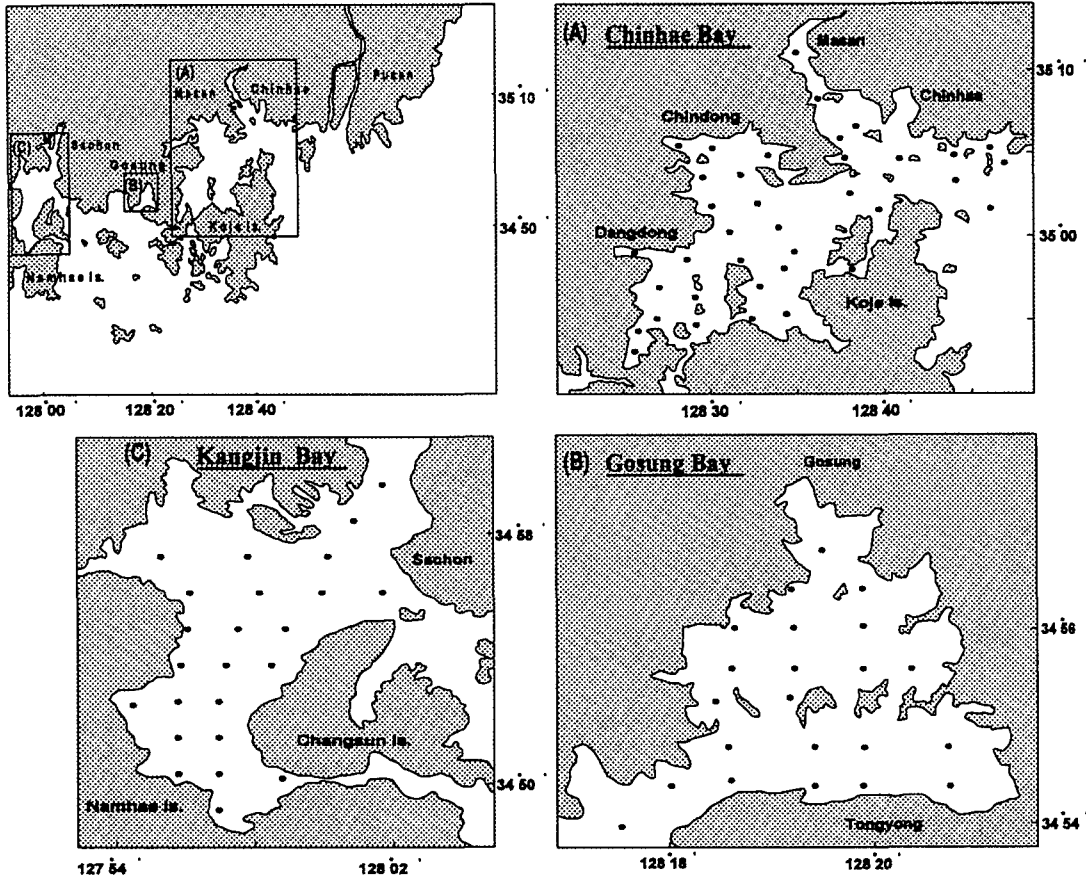


Fig. 1. Maps showing the sampling stations of three bays in the southeastern coasts of Korea.

각 해역에서 수심별로 4계절에 걸쳐 얻어진 입자유기물질 농도와 원소 및 성분 조성 자료를 3-way ANOVA로 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 조사 계절에 따른 p-값들은 모든 입자유기물질 관련 요소들에서 0.01보다 작기 때문에 입자유기물질 농도와 원소 및 성분조성은 99% 신뢰수준에서 조사 계절에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 이와 유사하게, 해역에 따른 p-값들은 PP와 PPr : PCHO 비를 제외한 대부분의 입자유기물질 농도와 원소 및 성분 조성 모두 해역에 따라 유의한 차이를 나타내었다. 그러나 수심별 입자유기물질 농도 요소들은

Table 1. F-values and degrees of freedom (df) derived by a 3-way analysis of variance (ANOVA) of POM characteristics from coastal bay waters

	df	Chl a	PPr	PCHO	POC	PON	PP
Bay	2	35.7***	54.8***	6.4**	13.2***	15.3***	0.1
Depth	1	13.4***	3.0	0.3	0.6	1.0	4.2
Month	3	19.2***	45.8***	15.4***	62.4***	62.6***	7.5**
	df	C : Chl a	C : N	C : P	N : Y	Chl a : PPr-N	PPr : PCHO
Bay	2	13.3***	13.0***	3.3*	3.1*	14.2***	0.7
Depth	1	31.5***	0.1	12.9***	11.5**	8.7*	12.8***
Month	3	16.8***	14.6***	10.3***	6.3**	21.0***	6.0**

*0.01 < p < 0.05, **0.001 < p < 0.01, ***p < 0.001

Chl a 농도를 제외한 어떤 항목에서도 유의한 차이를 나타내지 않은 반면 입자유기물질 조성비는 C : N 원소비를 제외한 모든 값들이 표층과 저층 사이에 유의한 차이를 나타내었다.

계절에 따른 해역별 입자유기물질 농도의 수심별 평균값을 Table 2에 나타내었다. Chl a 평균농도는 0.32 (±0.13)~5.65 (±4.95) µg/L 범위로 고성만에서 2000년 2월에 가장 낮았고 진해만에서 2000년 5월에 가장 높은 값을 보였다. 진해만의 경우 표층 Chl a 농도는 5월과 8월이 11월과 2월에 비해 비교적 높게 나타났지만 고성만은 8월에, 강진만은 5월에 각각 다른 조사 월에 비해서 다소 높은 농도를 나타내었다. Chl a의 수심에 따른 농도차이는 대체로 진해만에서 뚜렷하지만, 고성만과 강진만에서는 표·저층간 농도차이가 뚜렷하지 않았다. PPr과 PCHO 평균 농도의 분포는 각각 102 (±39)~455 (±130) µg/L와 62 (±28)~472 (±363) µg/L 범위였는데, 계절에 따른 평균 농도 차이는 Chl a의 경우와 유사하게 진해만에서는 5월과 8월이 비교적 높은 농도 수준을 보인 반면 고성만에서는 8월에 비교적 높은 값을 나타내었으나, 강진만에서는 2월에 표·저층 모두 두 성분에서 조사기간 중 그리고 타 해역에 비하여 높은 값을 기록하였다. 월별 POC와 PON의 평균 농도는 각각 11.5 (±2.2)~54.4 (±25.1) µmol/L과 1.4 (±0.9)~8.1 (±0.1) µmol/L 범위였으며, 가장 높은 값은 고성만에서 1999년 8월에

Table 2. Monthly mean values and standard deviation of chlorophyll *a* (Chl *a*), particulate protein (PPr), particulate carbohydrate (PCHO), particulate organic carbon (POC), particulate organic nitrogen (PON) and particulate phosphorus (PP), Parentheses represent sampling number

	Chl <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)		PPr ($\mu\text{g/L}$)		PCHO ($\mu\text{g/L}$)		POC ($\mu\text{mol/L}$)		PON ($\mu\text{mol/L}$)		PP ($\mu\text{mol/L}$)	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Chinhae Bay												
August 1999	5.31±4.47 (37) ^c	0.66±1.24 (34) ^a	455±130 (36) ^c	—	356±96 (36) ^c	—	42.9±20.6 (35) ^c	48.0±18.3 (37) ^c	5.2±2.9 (34) ^{bc}	5.5±3.0 (34) ^c	0.30±0.14 (36) ^c	—
November 1999	3.82±1.65 (37) ^{bc}	0.42±0.29 (37) ^a	211±87 (37) ^{bcd}	—	112±63 (37) ^{ab}	—	40.9±18.5 (33) ^c	34.0±23.6 (32) ^b	4.9±2.0 (33) ^{bc}	3.9±1.6 (32) ^b	0.13±0.08 (36) ^{ab}	0.05±0.02 (15) ^a
February 2000	2.00±1.17 (38) ^{ab}	2.41±1.76 (34) ^{bc}	155±86 (38) ^{ab}	181±103 (36) ^{bc}	107±74 (35) ^{ab}	100±51 (32) ^{ab}	21.8±9.3 (37) ^a	21.5±9.6 (37) ^a	2.5±0.9 (37) ^a	2.6±1.2 (37) ^a	—	—
May 2000	5.65±4.95 (37) ^c	3.96±5.12 (36) ^{bc}	237±157 (37) ^{cd}	216±99 (37) ^{cd}	167±88 (37) ^b	187±102 (37) ^c	40.9±28.6 (37) ^c	37.3±15.0 (37) ^{bc}	5.2±4.4 (37) ^c	5.4±2.3 (37) ^{bc}	0.27±0.03 (35) ^c	0.24±0.22 (22) ^c
Gosung Bay												
August 1999	3.24±2.29 (22) ^{bc}	3.70±1.65 (21) ^{bc}	275±85 (22) ^d	147±96 (20) ^{ab}	283±74 (19) ^d	176±115 (19) ^b	54.4±25.1 (22) ^d	48.9±28.0 (22) ^c	8.1±0.1 (22) ^d	6.1±3.8 (22) ^c	0.24±0.17 (22) ^{bc}	0.13±0.11 (20) ^{ab}
November 1999	1.29±0.75 (22) ^a	1.47±1.03 (20) ^a	—	—	117±46 (22) ^{ab}	105±47 (20) ^{ab}	16.8±2.7 (15) ^{ab}	30.0±6.2 (16) ^b	2.5±0.8 (14) ^a	3.1±1.9 (16) ^{ab}	0.29±0.07 (22) ^c	0.35±0.09 (20) ^c
February 2000	0.32±0.13 (21) ^a	0.37±0.13 (18) ^a	121±26 (21) ^a	138±38 (18) ^{ab}	71±25 (21) ^a	62±28 (18) ^a	12.8±5.6 (20) ^a	11.5±2.2 (18) ^a	1.4±0.9 (20) ^a	1.4±0.9 (18) ^a	—	—
May 2000	1.15±0.59 (22) ^a	2.01±0.78 (19) ^{ab}	102±39 (22) ^a	109±27 (19) ^a	100±30 (19) ^{ab}	112±52 (18) ^{ab}	22.8±5.8 (22) ^a	24.2±4.8 (19) ^{ab}	2.8±0.6 (22) ^a	3.3±0.6 (19) ^{ab}	0.05±0.03 (22) ^a	0.05±0.05 (20) ^a
Kangjin Bay												
August 1999	1.52±0.66 (24) ^a	1.20±0.60 (15) ^a	173±73 (24) ^{abc}	—	165±57 (23) ^b	—	40.1±7.2 (24) ^c	37.7±15.2 (15) ^{bc}	4.6±0.1 (24) ^{bc}	4.6±2.2 (15) ^{bc}	0.31±0.14 (24) ^c	—
November 1999	1.48±1.07 (24) ^a	0.97±0.50 (11) ^a	129±99 (24) ^{ab}	—	91±62 (24) ^a	—	33.9±16.6 (24) ^b	27.0±7.0 (12) ^b	3.6±2.3 (22) ^b	2.9±1.1 (11) ^b	0.24±0.14 (24) ^{bc}	—
February 1999	0.43±0.37 (24) ^a	0.38±0.15 (15) ^a	166±60 (24) ^{abc}	187±52 (16) ^{bc}	258±152 (24) ^{cd}	472±363 (12) ^f	23.9±7.2 (24) ^{ab}	25.8±6.6 (16) ^b	1.6±0.8 (23) ^a	1.8±0.6 (16) ^a	—	—
May 2000	1.97±0.65 (24) ^{ab}	2.11±0.71 (19) ^{ab}	151±35 (24) ^{ab}	142±27 (19) ^{ab}	135±53 (22) ^{ab}	62±42 (19) ^a	24.8±6.5 (24) ^{ab}	25.5±5.7 (19) ^{ab}	2.6±0.6 (24) ^a	2.6±0.8 (19) ^a	0.09±0.04 (24) ^a	0.10±0.02 (19) ^a

The same superscript letters following the parentheses indicate that means are not significantly different ($p < 0.01$, Duncan test).

기록되었고, 다른 해역에서는 8월과 11월에 비교적 높은 농도 분포를 나타내었다. 월별 PP 평균 농도는 0.05 (± 0.02)~0.35 (± 0.09) $\mu\text{mol/L}$ 범위였는데, 해역별로 POC와 PON 농도와 유사한 계절 변동 양상이었다. 입자유기물질 농도를 나타내는 성분들의 계절별 평균 농도값들은 고성만과 강진만 해역이 진해만 보다 비교적 낮은 분포를 보였고, Chl *a*를 제외한 모든 성분의 수심에 따른 농도차이는 뚜렷하지 않았다. 계절에 따른 해역별 입자유기물질 조성비의 수심별 평균값을 Table 3에 나타내었다.

계절별 C : Chl *a* 비 평균값은 해역에 따라 상이한 변동을 보였는데 진해만 표층에서는 다른 해역에 비해서 비교적 낮은 값인 150 이하로 계절에 따른 변동이 뚜렷하지 않은 반면, 고성만과 강진만 표층에서는 2000년 5월 강진만 평균 160 (± 45)를 제외하면 대체로 250 이상의 높은 값을 유지하였고 특히, 2000년 2월에 두 해역에서 각각 평균 510 (± 276)과 959 (± 545)로 다른 계절에 비해 상대적으로 높은 값이었다. 한편 진해만에서 8월과 11월에 저층의 극히 높은 C : Chl *a* 비값에 기인하여 이 기간중 표·저층간에 대단히 큰 차이가 나타났지만 그 외 조사월과 다른 두 해역에서는 수심별 차이는 뚜렷하지 않았다. C : N 원소비 계절별 평

균값은 7.4 (± 1.4)~14.6 (± 3.6) 범위였는데 고성만에서 1999년 11월과 2000년 2월, 강진만에서 2000년 2월에 10 이상의 높은 값을 제외한 대부분의 경우 10 이하의 낮은 분포를 나타내었다. C : P와 N : P 원소비 계절별 평균값은 각각 85 (± 15)~1,587 ($\pm 2,362$)과 10.2 (± 3.4)~210.0 (± 350.6)의 큰 변동범위를 가지면서 두 비값에서 유사한 변동을 보였는데 고성만에서 1999년 8월과 2000년 5월에 특히 높은 값들을 나타내었다. Chl *a* : PPr-N 계절별 평균값은 0.2 (± 0.1)~2.9 (± 1.9) 범위로서 전 해역에서 2000년 5월에 대체로 높은 값들을 나타내었고, 만 별로는 진해만에서 고성만과 강진만 값들보다 높은 경향이였다. 계절별 PPr : PCHO 평균값은 0.6 (± 0.2)~3.7 (± 2.9) 범위였는데, 계절별로는 진해만과 강진만에서는 1999년 11월에, 고성만에서는 2000년 2월에 비교적 높은 값을 보였고, 만별로는 진해만에서 고성만과 강진만 보다 다소 높았다.

2. 입자유기물질의 해역별 수평 분포

연구 해역에서 양식되고 있는 이매패류 주요 성장기가 봄철이며, 경우에 의한 육수 영향이 비교적 적으면서 입자유기물질 농도

Table 3. Monthly mean values and standard deviation of C : Chlorophyll a (Chl a), C : N, C : P, N : P, Chl a : PPr-N and PPr : PCHO

	C : Chl a ($\mu\text{g}/\mu\text{g}$)		C : N in atoms		C : P in atoms		N : P in atoms		Chl a : PPr-N		PPr : PCHO ($\mu\text{g}/\mu\text{g}$)	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Chinhae Bay												
August 1999	119±63 (35) ^a	3078±2409 (36) ^d	8.7±1.8 (34) ^a	9.6±3.1 (34) ^a	140±32 (35) ^a	—	20.8±5.2 (34) ^a	—	1.1±0.7 (36) ^b	—	1.3±0.3 (36) ^b	—
November 1999	135±43 (33) ^a	1489±1205 (32) ^c	8.5±2.3 (33) ^a	8.8±4.3 (32) ^a	318±117 (32) ^a	403±142 (14) ^a	43.4±12.5 (32) ^a	87.9±37.8 (14) ^{ab}	1.6±0.5 (37) ^{bc}	—	2.0±0.5 (37) ^c	—
February 2000	147±68 (37) ^a	148±81 (34) ^a	9.1±3.0 (37) ^a	8.7±3.8 (37) ^a	—	—	—	—	1.2±0.3 (38) ^{bc}	1.1±0.5 (36) ^b	1.6±0.5 (35) ^b	1.9±0.9 (32) ^{bc}
May 2000	109±61 (37) ^a	211±157 (36) ^a	8.4±1.9 (37) ^a	8.5±2.1 (37) ^a	169±81 (33) ^a	147±71 (33) ^a	23.5±10.4 (33) ^a	21.0±10.4 (33) ^a	2.0±0.6 (37) ^c	1.7±3.1 (37) ^{bc}	1.4±0.4 (37) ^b	1.4±0.8 (37) ^{bc}
Gosung Bay												
August 1999	265±169 (22) ^a	207±206 (21) ^a	7.7±2.2 (22) ^a	9.6±5.9 (22) ^a	355±342 (19) ^a	1587±2362 (19) ^c	53.6±45.3 (22) ^a	210.0±350.6 (20) ^c	1.0±0.6 (22) ^{ab}	2.9±1.9 (19) ^d	1.0±0.2 (19) ^a	0.9±0.5 (19) ^a
November 1999	267±78 (15) ^a	287±112 (20) ^a	10.8±3.8 (14) ^{ab}	13.2±11.2 (16) ^{bc}	85±15 (15) ^a	91±17 (16) ^a	10.2±3.4 (14) ^a	10.7±4.7 (16) ^a	—	—	—	—
February 2000	510±276 (19) ^{ab}	420±213 (16) ^{ab}	11.2±5.3 (20) ^b	11.7±6.9 (18) ^{bc}	—	—	—	—	0.2±0.1 (20) ^a	0.2±0.1 (18) ^a	1.9±0.6 (21) ^{bc}	2.5±1.1 (18) ^c
May 2000	272±90 (22) ^a	161±56 (19) ^a	8.3±1.8 (22) ^a	7.4±1.4 (19) ^a	467±161 (22) ^{ab}	951±1040 (19) ^b	68.3±26.3 (22) ^a	152.3±166.7 (19) ^{bc}	1.0±0.2 (22) ^{ab}	1.7±0.7 (19) ^{bc}	1.1±0.2 (19) ^a	1.1±0.5 (18) ^a
Kangjin Bay												
August 1999	414±294 (24) ^{ab}	455±477 (15) ^{ab}	9.3±2.3 (24) ^a	8.7±1.9 (15) ^a	146±46 (24) ^a	—	19.1±7.4 (24) ^a	—	0.8±0.4 (24) ^{ab}	—	1.1±0.4 (23) ^a	—
November 1999	318±93 (24) ^a	402±117 (11) ^{ab}	10.4±2.9 (22) ^b	9.5±2.2 (11) ^a	162±69 (24) ^a	—	19.1±7.8 (22) ^a	—	1.1±0.4 (24) ^{ab}	—	1.4±0.3 (24) ^b	—
February 2000	959±545 (24) ^{bc}	947±388 (15) ^{bc}	14.6±3.6 (23) ^{bc}	12.3±1.7 (16) ^{bc}	—	—	—	—	0.2±0.1 (24) ^a	0.2±0.1 (16) ^a	1.0±0.8 (24) ^a	0.6±0.2 (12) ^a
May 2000	160±45 (24) ^a	157±47 (19) ^a	9.8±1.8 (24) ^a	9.8±1.8 (19) ^a	285±69 (24) ^a	274±64 (19) ^a	34.4±8.5 (19) ^a	33.3±9.7 (19) ^a	1.1±0.2 (24) ^{bc}	1.3±0.3 (19) ^{bc}	1.2±0.3 (24) ^{ab}	3.7±2.9 (19) ^d

Parentheses represent sampling number.

The same superscript letters following the parentheses indicate that means are not significantly different ($p < 0.01$, Duncan test).

가 비교적 높을 뿐만 아니라 수심에 따른 차이가 비교적 작아 수주 전체의 수평분포를 잘 나타낼 수 있다는 점에서 2000년 5월 표층 입자유기물질 농도와 조성의 수평분포를 해역별로 비교하였다 (Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4).

진해만에서 입자유기물질 수평 농도분포에서 가장 뚜렷한 특징은 조사 성분 모두 만 입구와 마산만 및 진동만을 잇는 북동수역에서 양식장이 밀집한 서부수역에 비하여 훨씬 높다는 것이다 (Fig. 2). Chl a 농도분포를 보면 북동수역에서는 5 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이상으로 서부수역에서 보다 높은 농도분포를 보였고, PPr과 PCHO 농도도 북동수역에서 각각 200 및 150 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이상의 분포로 서부수역에 비하여 높은 농도분포를 나타내었다. 이와 같은 경향은 그림으로 나타내지는 않았지만 POC, PON 및 PP 수평 농도 분포에서도 나타났다. 한편, C : Chl a비는 북동수역에서 100 이하로 낮고 Chl a : PPr-N 비는 북동수역에서 2.0 이상으로서 서부수역 보다 훨씬 높아 입자유기물질 중 식물플랑크톤 기여도는 북동수역에서 더욱 높다는 것을 시사하였다. 그러나 PPr : PCHO비는 뚜렷한 특징을 보이지 않고 수평적으로 매우 균일한 분포를 나타내었다.

고성만에서 입자유기물질 수평 농도분포는 만 입구와 서부 및 북부의 육지와 접한 연안 수역에서 만 중앙부와 동부수역에 비하여 각 성분 농도가 비교적 높은 분포를 나타내었다 (Fig. 3). Chl a 농도분포는 서부연안과 북부수역에서 1.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이상의 분포에 비하여 중앙과 동부수역에서는 1 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이하로 비교적 낮은 농도분포를 보였다. PPr과 PCHO 농도도 중앙부와 동부수역에서는 두 성분 모두 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이하로 서부와 북부연안 수역에 비하여 상대적으로 낮은 농도 분포를 보였다. C : Chl a비는 만 입구와 서부 및 북부 연안의 입자유기물질 농도가 높은 수역에서 200 이하로 낮은 반면, 만 중앙부와 동부수역에서는 250에서 400에 이르는 높은 비값의 분포를 나타내었다. Chl a : PPr-N과 PPr : PCHO 비는 수평적으로 뚜렷한 분포차이를 나타내지는 않았고 만 전체적으로 두 비값 모두 진해만에 비해서 상대적으로 훨씬 낮은 분포를 보였다.

강진만에서 입자유기물질 수평농도 분포를 보면 남서부연안과 북부수역에서 만 중앙부에 비하여 비교적 높은 분포양상을 나타내었는데, 남서부연안과 북부수역에서 Chl a 농도는 2.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이상 고농도 분포였고, PPr과 PCHO는 모두 140 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이상으로 중앙부

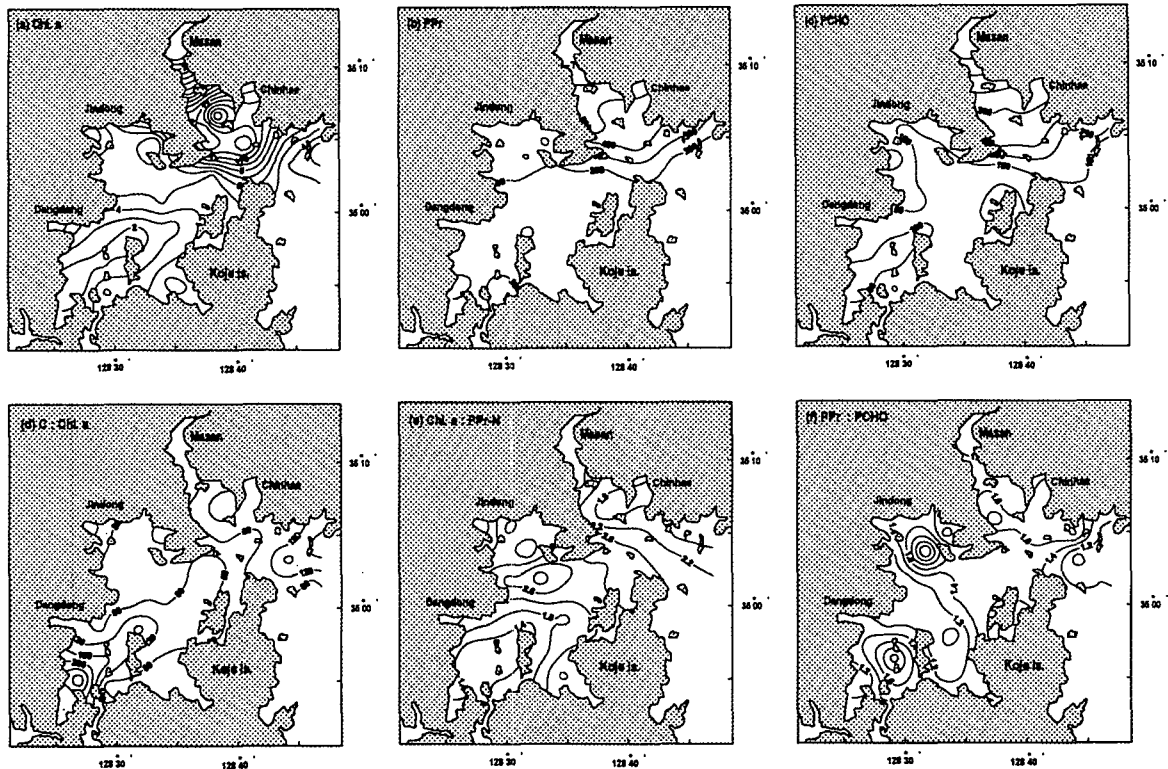


Fig. 2. Horizontal surface distribution profiles of (a) chlorophyll a (Chl a) ($\mu\text{g/L}$), (b) particulate protein (PPr) ($\mu\text{g/L}$), (c) particulate carbohydrate (PCHO) ($\mu\text{g/L}$), (d) C : Chl a, (e) Chl a : PPr-N, (f) PPr/PCHO in Chinhae Bay in May 2000.

에 비해서 높은 농도분포였다 (Fig. 4). C : Chl a 비는 남부수역 안과 북부수역에서 150 이하로 중앙부에 비해서 다소 낮지만 Chl a : PPr-N 및 PPr : PCHO 비 수평분포는 고성만과 유사한 비값들로 뚜렷한 수평분포 차이를 나타내지는 않았다.

3. 입자유기물질 조성원소간 상관관계

해역에서 식물플랑크톤 성장 제한 영양염 추적자로서 입자유기물질 또는 해수중 용존무기영양염의 원소비를 이용하고 있다. 그러나 해수 중 용존무기영양염 원소비는 육상기원 영양염이 거의 영향을 미치지 않는 외양역에서는 효과적으로 이용되고 있으나, 육상기원 영양염의 영향을 크게 받고 있는 연안역에서는 Table 4에서 나타난 바와 같이 조사시기에 따라 큰 폭으로 변화되고 있어 이용하기 어렵다. 따라서 주로 입자유기물질의 C : N : P 원소비가 유용하게 이용될 수 있다. 그러나 해양내 입자유기물질은 유기쇄설입자 (non-living detritus)을 포함할 수 있기 때문에 이 유기쇄설입자의 효과를 배제하고 식물플랑크톤의 영양염 이용과 관련한 생리상태를 이해하기 위하여 각 원소간에 회귀식을 구하여 그 기울기를 이용하기도 한다 (Copin-Montegut and Copin-Montegut, 1983; Hecky et al., 1993). 조사가 수행된 3개 내만수역 입자유기물질의 C와 N, C와 P 및 N과 P 사이 선형관계로부터 얻어진 직선회귀식들에 의한 C : N : P 원소비는 해역에 따라 계절별로 큰 변동을 나타내었다 (Table 5). C와 N 농도사이 회귀직선들은 비

교적 높은 상관계수 (correlation coefficient)를 나타내었는데, 이 회귀식들 사이의 ANCOVA test를 통한 유의성 검정 결과는 만간에 유의한 차이가 있다는 것을 나타내었다 ($F=5.30$, $p<0.001$). 진해만과 고성만 회귀식들 사이에서는 ANCOVA 검정 결과 유의한 차이를 나타내지 않아 ($F=1.11$, $p>0.05$) $C=6.6N+8.9$ ($r=0.930$, $n=233$)의 일반식을 얻을 수 있었던 반면 강진만의 ANCOVA 검정 결과 $C=5.0N+10.4$ ($r=0.923$, $n=78$)의 일반식을 얻어 진해만과 고성만에서 C : N 원소 변동비는 6.6으로 Redfield비 값 (6.6)을 그대로 반영한 반면 강진만에서는 5.0으로서 이들 두 만의 비 값에 비해서 다소 낮은 것을 알 수 있다.

C와 P 농도사이의 회귀식을 보면 진해만에서는 비교적 높은 상관계수를 보였으나 고성만과 강진만에서는 다소 낮은 계수값을 나타내었고, 고성만의 1999년 11월과 강진만 1999년 8월의 경우 이들 농도사이에는 어떤 상관관계도 나타나지 않았다 (Table 5). 진해만 C : P 원소 변동비는 2000년 5월의 91로부터 1999년 8월과 11월에는 Redfield비 값보다 훨씬 높은 134과 167까지 변하여 대단히 큰 월 변동을 보였다. 고성만 C와 P 농도의 월별 회귀식사이의 ANCOVA에 의한 유의성 검정 결과 각 회귀식간에 유의한 차이가 나타나지 않아 ($F=1.18$, $p>0.05$), $C=91P+18$ ($r=0.624$, $n=59$)의 일반식을 구할 수 있었다. 강진만 C : P 원소 변동비는 1999년 11월과 2000년 5월에 각각 100과 121을 보여 고성만의 91과 함께 해양의 입자유기물질에서 전형적으로 나타나는 Redfield

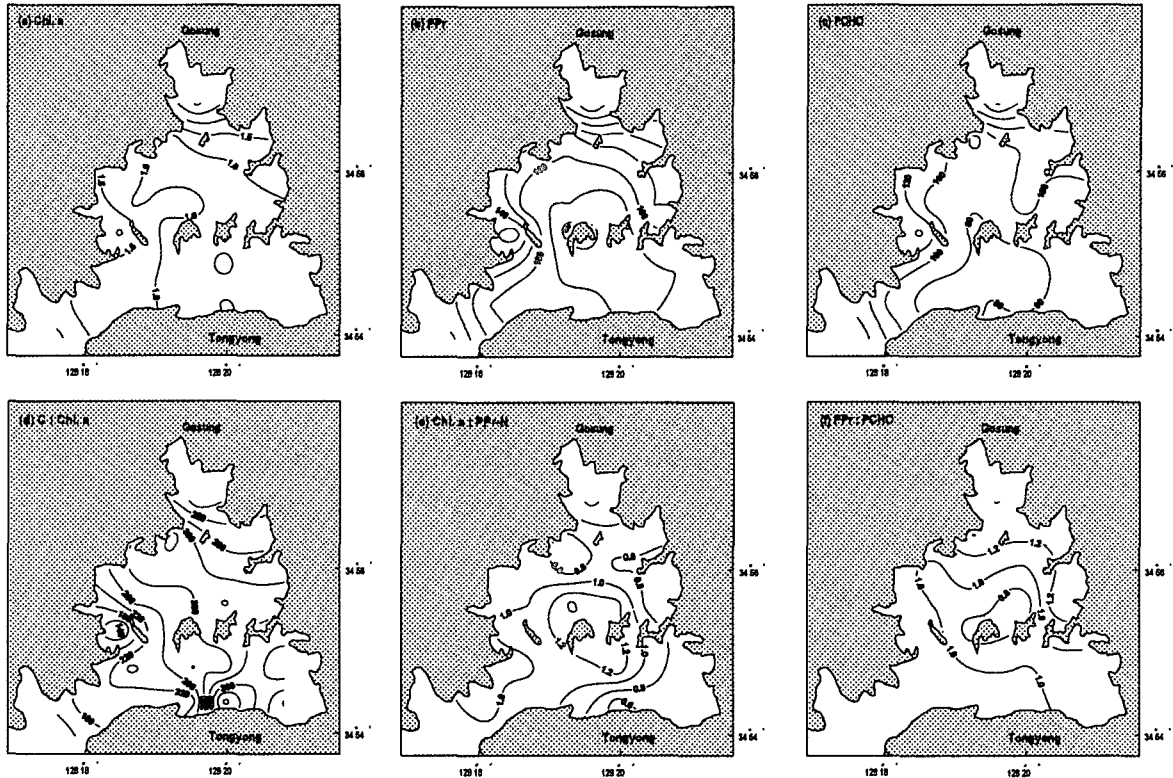


Fig. 3. Horizontal surface distribution profiles of (a) chlorophyll a (Chl a) ($\mu\text{g/L}$), (b) particulate protein (PPr) ($\mu\text{g/L}$), (c) particulate carbohydrate (PCHO) ($\mu\text{g/L}$), (d) C : Chl a, (e) Chl a : PPr-N, (f) PPr/PCHO in Kosong Bay in May 2000.

비 값 (106)에 가까운 비 값들을 보였다.

N과 P 농도사이 직선회귀식은 해역에 따라 월별로 아주 뚜렷한 변동 양상을 나타내었다 (Table 5). 진해만에서 N : P 원소 변동비는 2000년 5월의 14.7로부터 1999년 11월의 20.6까지 변화였고, 고성만에서는 1999년 11월과 2000년 5월의 10.2과 10.8로부터 1999년 8월의 24.6까지 비교적 큰 변동폭을 보였다. 강진만에서 N : P 원소 변동비는 6.3에서 12.8까지로 전체적으로 Redfield비 값 (16)보다 낮은 값들을 보였다.

고찰

1. 해역별 입자유기물질 변동 특성

현장 조사기간 중 진해만에서 여름과 가을철에 나타난 표·저층수간 뚜렷한 Chl a 농도 차이를 제외하면, 3개해역 모두 다른 입자유기물질 원소 및 성분들의 표·저층수 간 농도차이는 뚜렷한 변화 경향을 나타내지 않았다. 그러나 계절적으로는 대체로 봄과 여름철인 2000년 5월과 1999년 8월에 가을과 겨울철 보다 비교적 높은 값들을 나타내었다. 조사수역들은 대체로 폐쇄성이 강한 내만역이며 만내로 유입되는 큰 하천이 존재하지 않아 육지로부터 입자유기물질 공급을 기대하기는 어렵다.

식물플랑크톤 C : Chl a 비 값은 수온, 광 및 영양염 농도 등 환경요인들에 의해서 영향을 받아 시·공간적으로 큰 변동을 보이지만

자연군집에서는 대체로 100 이하로 조사되어 (Zeitzchel, 1970), 어떤 해역의 C : Chl a 비 값이 100 이하 일 때 POC는 주로 식물플랑크톤 기원을 나타내는 것으로 간주해 왔다 (Berg and Newell, 1986). 그러나 Eppley (1968)는 식물플랑크톤 배양조건에 따라 이 비값이 10에서 230까지 변할 수 있고 질산염 존재 유·무에 따라서 32.3과 98의 평균비 값을 나타낸다는 것을 밝혔다. 한편, 해양식물플랑크톤 C : N 원소비 값은 3에서 9까지 변할 수 있다 (Parsons et al., 1961). 본 조사기간 중 진해만 표층수에서 입자유기물질 C : Chl a 비 평균값은 150 이하로서 고성만과 강진만에 비하여 비교적 낮은 값을 나타내었고, C : N 원소비 평균값은 9.1 이하를 보였는데 이와 같은 결과들은 이 해역 입자유기물질이 주로 식물플랑크톤에 기원을 두고 있다는 것을 나타낸다. 고성만에서 C : Chl a 비 값은 겨울철에 500 이상의 극히 높은 값을 제외하고는 대체로 270 내의 평균값을 나타내었고 C : N 원소비 값도 봄과 여름철에 8.3 이하로 입자유기물질 농도가 높은 봄과 여름철에 식물플랑크톤의 높은 기여를 시사한다. 결국 이와 같은 결과들은 진해만과 고성만 입자유기물질 농도의 계절변동 경향은 식물플랑크톤 현존량의 변동 주기와 일치한다는 것을 나타낸다.

한편, 강진만에서는 여름과 가을철에도 300 이상의 비교적 높은 C : Chl a 비 값들을 보였고 조사기간 중 C : N 비 값 분포도 9.3 이상으로 비교적 높게 나타나 이 해역 입자유기물질에 대한 높은 유기체설입자 (non-living detritus)의 기여를 나타내었고, Chl a

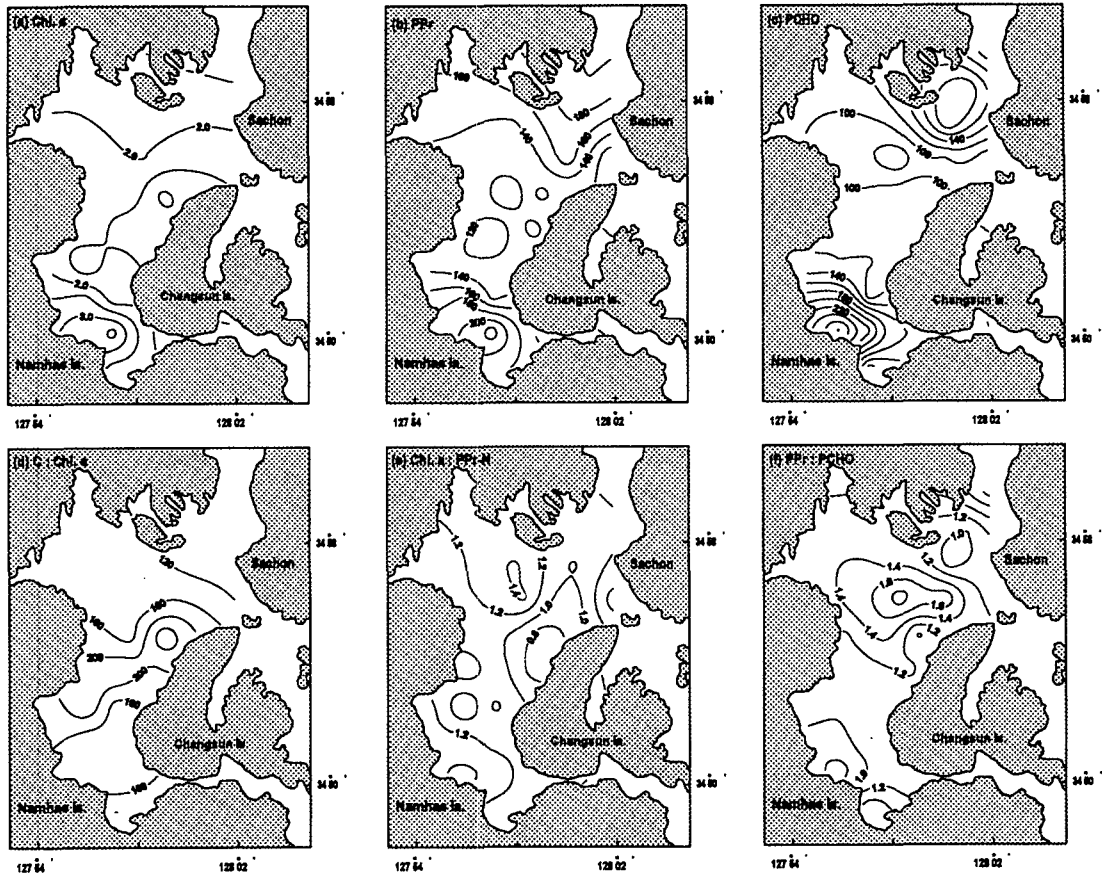


Fig. 4. Horizontal surface distribution profiles of (a) chlorophyll a (Chl a) ($\mu\text{g/L}$), (b) particulate protein (PPr) ($\mu\text{g/L}$), (c) particulate carbohydrate (PCHO) ($\mu\text{g/L}$), (d) C : Chl a, (e) Chl a : PPr-N, (f) PPr/PCHO in Kangjin Bay in May 2000.

Table 4. Mean dissolved inorganic nitrogen and phosphate (DIN : DIP) ratio in the southern coastal bay systems

System	Layer	Mean DIN : DIP ratio			
		August 1999	November 1999	February 2000	May 2000
Chinhae Bay	Surface	16.00±19.82	2.57±1.37	6.28±4.31	31.77±44.10
	Bottom	17.95±12.66	4.17±1.50	5.79±4.76	20.25±17.49
Gosung Bay	Surface	23.36±11.26	15.92±11.35	5.28±2.46	14.36±9.22
	Bottom	18.82±25.24	17.21±7.27	4.15±2.06	11.42±12.42
Kangjin Bay	Surface	11.44±5.74	13.46±5.02	2.82±1.53	9.05±9.34
	Bottom	14.58±5.90	11.18±3.50	2.77±1.30	14.55±13.97

National Fisheries Research & Development Institute, unpublished data.

농도가 가장 높았던 봄철인 2000년 5월에 입자유기물질 성분들 농도는 성분에 따라 다른 계절에 비하여 상대적으로 낮게 나타났는데, 이와 같은 결과들은 강진만에서 입자유기물질 농도는 진해만이나 고성만과는 다른 요인에 의해 영향을 받을 수 있다는 것을 시사해 준다. 여름과 가을철에 다른 해역에 비하여 높지 않은 Chl a 농도에 비하여 상대적으로 높은 수준인 POC나 PON 농도와

상대적으로 낮은 수준인 PPr 및 PCHO 농도는 이 해역 입자유기물질 중에 단백질이나 탄수화물 등과 같은 biopolymer 보다는 난분해성 geopolymers 비율이 높다는 것을 나타낸다 (Cauwet, 1981; Saliot et al., 1984). 일반적으로 난분해성 고분자 물질은 토양이나 퇴적물 중에서 높은 함량을 보이고 있으며, 비교적 수심이 낮은 강진만에서 여름철에 다른 해역에 비해 염분이 낮고, 만내에 넓은 조간대 갯벌을 가진다는 점을 고려해볼 때 이와 같은 강진만 입자유기물질농도와 조성은 만 북쪽에서 비 주기적으로 유입되는 남강 방류수나 만내 저층 및 조간대로부터 재부유된 퇴적물의 영향을 받을 수 있다는 것을 시사한다.

2. 입자유기물질의 해역간 비교

입자유기물질 성분들의 농도 분포는 진해만의 여름과 가을철 저층수 Chl a 농도를 제외한 대부분 성분에서 대체로 진해만에서 농도가 계절에 관계없이 고성만이나 강진만에 비해서 비교적 높다는 것이 Duncan 다중비교에서 잘 나타났다 (Table 3). 여름철인 1999년 8월에 고성만 입자유기물질 성분들의 농도가 강진만보다 다소 높게 나타났지만 다른 조사계절에 두 해역간 그리고, 각 조사 성분간에 뚜렷한 농도차이는 나타나지 않았다. 한편, 본 조사해역 PPr과 PCHO 농도는 태평양 외양역 표층수에서의 분포

Table 5. Correlations and regression lines for particulate C, N and P in the southern coastal bay systems

System/Month	Regression line	r ¹	n ²
Chinhae Bay			
August 1999	C=6.9N+ 7.3	0.954	34
November 1999	C=7.6N+ 4.2	0.832	33
February 2000	C=8.1N+ 2.0	0.828	36
May 2000	C=6.4N+ 7.6	0.974	37
Gosung Bay			
August 1999	C=5.9N+13.8	0.852	24
November 1999	C=6.4N+12.8	0.883	22
February 2000	C=9.1N+ 8.5	0.741	23
May 2000	C=8.0N+ 4.4	0.803	24
Kangjin Bay			
August 1999	C=4.1N+21.2	0.873	22
November 1999	C=4.2N+ 5.9	0.914	14
February 2000	C=4.9N+ 6.1	0.819	20
May 2000	C=6.3N+ 5.3	0.685	22
ANCOVA F _{8,210} =5.30, p<0.001			
Chinhae Bay			
August 1999	C=134P+ 3.3	0.919	34
November 1999	C=167P+17.3	0.745	31
May 2000	C=91P+1 7.7	0.844	34
Gosung Bay			
August 1999	C=118P+26.0	0.805	21
November 1999	not existed	—	—
May 2000	C=133P+15.4	0.620	21
Kangjin Bay			
August 1999	not existed	—	—
November 1999	C=100P+ 9.6	0.730	23
May 2000	C=121P+13.6	0.517	23
ANCOVA F _{8,215} =6.68, p<0.001			
Chinhae Bay			
August 1999	N=18.2P-0.2	0.903	34
November 1999	N=20.6P+2.0	0.815	32
May 2000	N=14.7P+1.4	0.888	34
Gosung Bay			
August 1999	N=24.6P+2.2	0.789	22
November 1999	N=10.2P-0.2	0.776	14
May 2000	N=10.8P+2.2	0.460	22
Kangjin Bay			
August 1999	N= 6.3P+2.6	0.569	24
November 1999	N=12.8P+0.5	0.722	21
May 2000	N=11.7P+1.5	0.477	24
ANCOVA F _{8,210} =5.30, p<0.001			

Concentrations are μmol/L.

¹r, Correlation coefficient

²n, Number of samples

(11~32 μg/L PPr, 30~39 μg/L PCHO)에 비하여 대단히 높은 농도이지만 (Handa and Yanagi, 1969; Siezen and Mague, 1978), 1999년 8월에 진해만에서의 극히 높은 농도를 제외한다면 용승역이나 연안해역에서 일반적으로 측정되는 농도 범위 (4~140 μg/L PPr, 50~150 μg/L PCHO)와 유사한 농도를 보였다 (Packard and

Dortch, 1975; Hitchcock, 1977). 한반도 연안해역에서 입자유기물질의 분석은 흔히 POC나 PON 측정에 의존해 왔고 PPr이나 PCHO 및 PP 농도에 대한 측정결과가 거의 존재하지 않아 POC 농도 자료로서 한반도 남해의 다른 수역과 본 조사수역들간 입자유기물질 농도를 비교하였다. 실제로 POC의 전환시간이 Chl a보다 더는 비교적 길어 POC가 Chl a보다 긴 기간 동안의 기초생산 결과라는 것을 고려할 때 POC 농도가 기초생산력의 지시자로서 더욱 유용할 것이다 (Charpy et al., 1997). 진해만에서 POC농도 평균값은 확실히 남해연안 다른 내만역의 어느 수역보다도 높지만, 고성만과 강진만에서는 인접한 거제만 (평균 35.5 μmol/L)이나 남해서부 해역의 득량만 (평균 30.9 μmol/L)과 유사한 농도를 나타내었다 (Kang et al., 1999). 이와 같은 농도는 대양에서 측정된 최대값 (24 μmol/L)보다 높고 (Copin-Montegut and Copin-Montegut, 1983), 한반도 남해 외양역에서 계절별 평균 농도 범위 (10.5~18.6 μmol/L)보다도 훨씬 높은 농도를 나타낸다 (Jin, 2000).

입자유기물질 Chl a : PPr-N비는 총 생물량에 대한 식물플랑크톤 생물량의 상대적인 지표로서 해양환경의 영양상태를 나타내는 지시자로 이용될 수 있다 (Dortch and Packard, 1989). 이와 같은 평가는 부영양해역에서 빈영양해역보다 높은 식물플랑크톤 생물량을 가진다는 점에 근거를 두고 있는데, 영양염 제한이 없는 순수한 식물플랑크톤 군집에서 이 비값은 2.88 μg Chl a/μmol PPr-N에 이르기 때문에 부영양해역에서 빈영양해역으로 갈수록 이 비값은 점차 낮은 값을 보이게 된다. 미국 워싱턴 연안의 한 부영양화된 수역에서 이 비값은 평균 2.15에 이르지만 외양역의 빈영양수역에서는 평균 0.42까지 낮아진다 (Dortch and Packard, 1989). 본 조사 해역에서 Chl a : PPr-N비 값은 진해만 표층수에서 연중 1.1 (±0.5)~2.0 (±0.6)의 범위로 고성만과 강진만에서 보다 비교적 높은 분포를 보여 진해만의 높은 부영양화 정도를 잘 반영하는 듯 하다. 조사해역 표층수의 총 PPr에 대한 식물플랑크톤 (living phytoplankton) 기여도를 순수 식물플랑크톤 군집이나 단일종에 의한 bloom시에 나타나는 이 비값 (2.88)을 이용하여 평가했을 때, 진해만 입자유기물질의 총 PPr 중 식물플랑크톤 PPr이 차지하는 비율은 계절에 따라 35~72%에 이르는 반면 강진만과 고성만에서 이 비율은 각각 8~36%와 8~39% 범위를 보인다. 또한, 조사해역 표층수의 총 PCHO에 대한 식물플랑크톤 기여를 17 : 1의 PCHO : Chl a비 (Parsons et al., 1961)를 이용하여 계산했을 때, 진해만에서 입자유기물질의 총 PCHO 중에서 식물플랑크톤 기원 탄수화물이 차지하는 비율이 계절에 따라 평균 25~58%에 이르지만 고성만과 강진만에서는 각각 8~20% 및 3~28%에 머물러 고성만과 강진만에서 PCHO의 많은 부분이 유기체설입자 (detritus)와 bacteria 혹은 육상으로부터 유입된 유기물에 기원을 둔다는 것을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 결과들은 진해만에서 뚜렷하게 높은 입자유기물질 농도가 다른 해역에 비하여 상대적으로 높은 식물플랑크톤 기여에 의한다는 것을 나타내어 결과적으로 각 조사 내만역간 입자유기물질 농도 차이는 외부로부터 입자유기물질 공급보다는 그 해역의 영양상태에 따른 식물플랑크톤 증식에 의해 크게 영향을 받고 있다는 것을 제시한다.

3. 해역별 입자유기물질의 수평 분포 특성

연구 해역들과 같이 규모가 비교적 적은 소형 내만역에서도 지역에 따라 입자유기물질 농도에서 상당한 차이를 나타낼 수 있다는 것은 진해만이나 인접한 한산-거제만에서 이미 조사된 바 있다 (Lee et al., 1994; Choi et al., 1997). 3개 조사해역 모두 만내에서 공간적으로 입자유기물질 농도가 높은 수역들은 인근에 큰 도시가 발달된 곳이다. 진해만에서는 마산시와 진해시가 위치한 북동해역, 고성만에서는 고성읍 근처 북부 수역 그리고 강진만에서는 남해읍이 위치한 남서해역에서 각 만내에서 가장 높은 입자유기물질 농도를 나타낸다. 만별로 절대값에서 다소 차이는 있지만 이와 같이 입자유기물질 농도가 높은 곳에서 C:Chl a비는 가장 낮게 나타나는 것은 이 수역들에서 POC중 식물플랑크톤 기여가 대체로 가장 높은 것을 알 수 있다. Chl a:PPr-N비 값의 수평분포는 진해만에서 수역별로 차이가 가장 뚜렷하였는데 입자유기물질 농도가 높은 북동수역에서 이 비값이 2.4 이상으로 부영양화 수준이 가장 높다는 것을 나타낸다. 반면, 고성만과 강진만에서 Chl a:PPr-N비 절대값은 진해만에 비해서 대단히 낮고 수평분포에서도 뚜렷한 경향을 나타내지는 않는다. PPr:PCHO역시 조사해역 모두에서 뚜렷한 수평분포 특징을 보이지 않았다.

한편, 각각의 연구대상 내만역에서 입자유기물질 농도가 낮은 수역들은 대체로 굴이나 피조개 양식장이 밀집한 곳들로 이 수역들에서 낮은 입자유기물질 농도는 양식생물에 의한 높은 섭이 활동을 반영하는 듯하다. 저서 부유물식자 이매패류의 섭이에 의한 상부 수주(water column)내 식물플랑크톤 생물량에 미치는 영향은 Kattegat의 Laholm 만 (Loo and Rosenberg, 1989), San Francisco 만 (Cloern, 1982; Nichols, 1985) 및 North Carolina 하구역들 (Officer et al., 1982)에서 잘 입증되어 왔다. 조사해역들과 인접한 한산-거제만의 경우도 5월에 전체 양식 굴들이 해수를 12시간 동안 여과하는 여수량이 차지하는 비율이 이 만 총 해수용적의 약 3.52%이고, 이와 같은 양식 굴의 높은 여수량에 의해 식물플랑크톤 현존량이 현저히 줄어든다고 한다 (Yoo et al., 1980; Choi et al., 1997). 수주내의 낮은 입자유기물질 농도는 양식 생물의 성장과 비만 및 산란 생리에도 큰 영향을 미칠 수 있으므로 적정 양식밀도의 유지가 중요한 과제로 떠오른다 (Kang et al., 2000).

4. 입자유기물질에 의한 제한 영양염의 평가

PPr:PCHO비는 식물플랑크톤 성장을 위한 영양염 제한 유무를 평가할 수 있는 생리 지시자로서 유용하게 이용될 수 있는데, 그 비값이 1.2 이상일 때 식물플랑크톤 성장에 영양염 제한이 없다는 것을 나타내고 0.7 이하로 낮을 때 심한 영양염 결핍을 나타낸다고 한다 (Healey, 1975). 실제로 해역에서 영양염 제한을 평가하는데 이 비값을 이용할 때에는 입자유기물질중 유기쇄설입자의 효과를 배제할 수 있어야 하는데 (Pick, 1987), bacteria나 동물플랑크톤 및 유기쇄설입자를 최소화하고 순수한 식물플랑크톤을 얻기 위해서는 plankton net를 통하여 해수를 여과하는 방법이 이용될 수 있을 것이다 (Barlow, 1980). 본 조사에서 나타난 PPr:PCHO비 평균값은 대개 1.0을 초과하여 전 조사해역에서 강한 영양염 제한을 나타내는 결과는 없으나 본 조사에서 PPr이나

PCHO는 GF/F 여과지로 여과하여 측정하였다는 점에서 앞 절에서 논의된 것처럼 다량의 유기쇄설입자의 효과를 배제하기가 어렵다.

해양에서 입자유기물질은 여러 가지 기원의 유기물질을 함유하고 있기 때문에 식물플랑크톤만을 추출해 내기가 어렵다. 그래서 Table 2와 3의 각 원소 및 성분들의 농도와 조성비 값들은 유기쇄설입자(detritus)의 영향을 배제하지 못한다. 따라서 Chl a와 C, N 및 P 원소 사이의 회귀식을 구하고 이 식의 절편으로부터 해양 환경에서 C, N 및 P 농도에 미치는 유기쇄설입자 기여를 구하기도 하지만 실제로 해양에서 C:Chl a (혹은 N 혹은 P:Chl a) 비는 영양염, 광 조건, 온도, 종 구성 등 여러 가지 요인에 따라 변동이 크기 때문에 유기쇄설입자 기여를 평가하기는 쉽지 않다. 오히려 연구 수역들과 같이 유기물 농도 분포가 식물플랑크톤 생산에 의해 크게 영향을 받는 해역에서 C, N 및 P 각 원소 농도 사이에 선형회귀식을 구하고 그 기울기에서 얻어진 원소 변동비로부터 식물플랑크톤 성장에 따른 영양염 흡수와 같은 생리 상태를 파악할 수 있다 (Hecky et al., 1993; Hecky and Kilham, 1988). 어떤 한 원소에 의한 영양염 제한이 없는 해역에서 입자유기물질 원소비는 Redfield 비 (C:N:P=106:16:1)를 유지하지만, 해수 중에서 어떤 영양염이 제한될 때 식물플랑크톤의 화학조성을 바꿀 수 있다 (Redfield, 1958; Perry, 1976; Mykkestad, 1977; Rhee, 1978; Hecky et al., 1993). 따라서 식물플랑크톤 원소조성은 그들이 성장해온 해역의 영양상태를 이해할 수 있는 지시자로서 이해될 수 있다 (Healey and Hendzel, 1980; Hecky et al., 1993).

본 조사에서 진해만과 고성만에서 나타난 6.6의 C:N 원소 변동비값은 Redfield 비와 일치하는 값으로 이 해역에서 입자유기물질이 식물플랑크톤에 유래하고 있다는 것을 잘 반영한다. 한편, 강진만에서 이 비값은 5.0으로 Redfield 비보다 다소 낮게 나타났는데 이것은 아마도 이 해역에서 bacterioplankton (특히 질소고정세균)의 증가된 역할을 반영하는 듯하다 (Goldman et al., 1987; Fagerbakke et al., 1996). 진해만에서 여름과 가을철에 나타난 134~167의 높은 C:P 변동비는 이 기간 중 인산염에 의한 제한을 잘 나타내는 것으로 보인다. 해역별 제한 영양염 추정은 N:P 변동비에 의해서 가장 뚜렷하게 설명될 수 있을 것 같다. 영양염 제한이 없는 해역에서 입자유기물질 N:P 원소비는 16 (Redfield 비)을 나타내게 되는데, 진해만과 고성만에서 여름철 18.2와 24.6의 높은 N:P 변동비는 인산염이 이 해역들의 식물플랑크톤 성장을 제한할 수 있는 것으로 나타나지만 봄철 10.8과 14.7의 낮은 비값은 오히려 질소계 영양염에 의한 제한을 시사한다. 한편, 강진만에서 N:P 변동비는 6.3~12.8로 조사기간 모두 질소계 영양염이 제한 영양염으로 작용한다는 것을 시사하였다. 본 연구에서 강진만에서 이와 같이 질소계 영양염이 제한 영양염으로 작용하는 원인에 대한 설명은 불분명하며 좀더 보완 연구가 필요할 것으로 생각한다. 그러나 진해만과 고성만에서 제한 영양염의 계절에 따른 차이는 진해만과 한산-거제만에서 이미 밝혀진 바와 같이 봄철에 질소계 영양염에 의한 제한은 여름철 강수기에 육수를 통한 다량의 질소계 영양염 유입으로 끝나고 여름철에는 인산염이 제한 영양염으로 작용할 수 있을 것으로 보인다 (Lee et al., 1994; Kang et al., 1999).

요 약

한반도 남해 내만역에서 계절별로 4회에 걸친 입자유기물질 농도분포를 조사한 결과 입자유기물질은 대체로 봄철과 여름철 농도가 가을과 겨울철에 비해 비교적 높다는 것을 나타내었다. 입자유기물질 농도가 높은 봄과 여름철 C : Chl a나 C : N비는 해양의 식물플랑크톤의 전형적인 비값들을 나타내고 Chl a농도 역시 이 기간 중에 높게 나타나 이들 내만역에서 입자유기물질 계절 변동은 식물플랑크톤 생물량과 밀접한 상관을 갖는다는 것을 보였다. 조사 해역별 입자유기물질 성분의 농도 분포는 진해만에서 고성만과 강진만에 비해서 높은 농도를 나타내었는데, 다른 해역에 비해서 진해만에서 높은 Chl a : PPr-N비 값들은 진해만이 다른 내만역들 보다 더욱 부영양화 되었다는 것을 나타내어 부영양화 수준에 따른 식물플랑크톤 생산력이 각 내만역 사이 입자유기물질 농도의 공간적 차이를 결정하는 중요한 요인이라는 것을 시사했다. 각 내만역 내에서 입자유기물질 수평농도 분포는 소규모 내만역내에서도 공간적으로 큰 농도차를 보일 수 있다는 것을 나타내었는데, 대도시에 인접한 수역에서 높은 입자유기물질 농도와 높은 식물플랑크톤 기여는 이들 도시로부터 다량의 영양염 유입을 시사하였고, 양식장이 밀집한 수역에서 상대적으로 낮은 입자유기물질 농도는 양식생물의 높은 섭이활동을 반영하는 것으로 고려되었다. 식물플랑크톤 성장 제한 영양염은 계절별로 각 내만역내에서 입자유기물질 C : N : P 원소 변동비로부터 평가되었는데, 진해만과 고성만에서 Redfield비와 일치하는 C : N 변동비 (6.6)는 이 해역의 입자유기물질이 식물플랑크톤에서 유래하고 있다는 것을 나타내었던 반면, 강진만에서는 5.0의 다소 낮은 C : N비를 보였다. 진해만과 고성만에서 여름철 18.2와 24.6의 높은 N : P 변동비는 인산염이 이 해역들의 식물플랑크톤 성장을 제한할 수 있는 것으로 나타나지만 봄철 10.8과 14.7의 낮은 비값은 오히려 질소계 영양염에 의한 제한을 시사한 반면, 강진만에서 N : P 변동비는 6.3~12.8로 조사기간 모두 질소계 영양염이 제한 영양염으로 작용한다는 것을 시사하였다.

감사의 글

본 연구는 국립수산진흥원 고유연구과제인 연안어장 적정 환경관리기술연구 중 어장환경 평가연구의 일부로 수행되었습니다. 논문의 심사를 맡아주신 한국해양연구원 양동범 박사과 익명의 심사위원들에게도 감사를 표합니다. 시료의 분석에 많은 시간을 할애하였던 국립수산진흥원 김기령양과 송미경양에게도 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

Anderson, F.E. 1970. The periodic cycle of particulate matter in a shallow temperate estuary. *J. Sedim. Petrol.*, 40, 1128~1135.
Antia, N.J., C.D. McAllister, T.R. Parsons, K. Stephens and J.D.H. Strickland. 1963. Further measurements of primary production using a large-volume plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.*, 8, 166~183.

Barlow, R.G. 1980. The biochemical composition of phytoplankton in an upwelling region off South Africa. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 45, 83~93.
Berg, J.A. and R.I.E. Newell. 1986. Temporal and spatial variations in the composition of seston available to the suspension feeder *Crassostrea virginica*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 23, 375~386.
Cauwet, G. 1981. Non-living particulate matter. In *Marine organic chemistry. Evolution, composition, interactions and chemistry of organic matter in sea water*, E.K. Duursma and R. Dawson, eds. Elsevier, Amsterdam, pp. 71~89.
Chang, S.D., M.O. Lee, J.H. Kim, K.S. Park, B.K. Kim and K.B. Lim. 1984. The sea water circulation in eastern Chinhae Bay. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 32, 7~23 (in Korean).
Charpy, L., P. Dufour and N. Garcia. 1997. Particulate organic matter in sixteen Tuamotu atoll lagoons (French Polynesia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 151, 55~65.
Choi, W.J., Y.Y. Chun, J.H. Park and Y.C. Park. 1997. The influence of environmental characteristics on the fatness of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Hansan-Koje Bay. *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 794~803.
Cloern, J.E. 1982. Does the benthos control phytoplankton biomass in South San Francisco Bay? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 9, 191~202.
Copin-Montegut, C. and G. Copin-Montegut. 1983. Stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in marine particulate matter. *Deep-Sea Res.*, 30, 31~46.
Dortch, Q. and T.T. Packard. 1989. Differences in biomass structure between oligotrophic and eutrophic marine ecosystems. *Deep-Sea Res.*, 36, 223~240.
Dubois, M.K., A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric determination of sugar and related substances. *Analyt. Chem.*, 18, 350~356.
Eppley, R.W. 1968. An incubation method for estimating the carbon content of phytoplankton in natural samples. *Limnol. Oceanogr.*, 13, 574~582.
Fagerbakke, K.M., M. Heldal and S. Norland. 1996. Content of carbon, nitrogen, oxygen, sulphur and phosphorus in native aquatic and cultured bacteria. *Aquat. Microb. Ecol.*, 10, 15~27.
Fegley, S.R., B.A. MacDonald and T.R. Jacobsen. 1992. Short-term variation in the quantity and quality of seston available to benthic suspension-feeders. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 34, 393~412.
Goldman, J.C., D.A. Caron and M.R. Denett. 1987. Regulation of gross growth efficiency and ammonium regeneration in bacteria by substrate C : N ratio. *Limnol. Oceanogr.*, 32, 1239~1252.
Handa, N. and K. Yanagi. 1969. Studies on water extractable carbohydrates of particulate matter from the northwest Pacific Ocean. *Mar. Biol.*, 4, 197~207.
Healey, F.P. 1975. Physiological indicators of nutrient deficiency in algae. *Fish. Mar. Serv. Res. Dev. Tech. Rep.*, 585, pp. 30.
Healey, F.P. and L.L. Hendzel. 1980. Physiological indicators of nutrient deficiency in lake phytoplankton. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 442~453.
Hecky, R.E. and 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.
Hecky, R.E., P. Campbell and L.L. Hendzel. 1993. The stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus in particulate matter of lakes and oceans. *Limnol. Oceanogr.*, 38, 709~724.

- Hitchcock, G.L. 1977. Concentration of particulate carbohydrate in a region of West Africa upwelling zone during March, 1974. *Deep-Sea Res.*, 24, 83~93.
- Hong, G.H., Y.A. Kim, S.J. Pae, S.H. Kim and S.H. Lee. 1991. Annual cycles of nutrients and dissolved oxygen in a nutrient-rich temperate coastal bay, Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 56, 204~222.
- Héral, M. 1993. Why carrying capacity models are useful tools for management of bivalve molluscs culture. In *Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes*, R.F. Dame, ed., Springer-Verlag, Berlin, pp. 455~477.
- Jin, H.G. 2000. Biogeochemical characteristics in the coastal front region in the southern sea of Korea. Ph. D. Thesis. Pukyong National Univ., pp. 160 (in Korean).
- Kang, C.K., M.S. Park, P.Y. Lee, W.J. Choi and W.C. Lee. 2000. Seasonal variations in condition, reproductive activity and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. *J. Shellfish Res.*, 19, 771~778.
- Kang, C.K., P.J. Kim, W.C. Lee and P.Y. Lee. 1999. Nutrients and phytoplankton blooms in the southern coastal waters of Korea: I. The elemental composition of C, N, and P in particulate matter in the coastal bay systems. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 34, 86~94.
- Lee, P.Y., C.K. Kang, J.S. Park and J.S. Park. 1994. Annual change and C:N:P ratio in particulate organic matter in Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29, 107~118.
- Lee, P.Y., J.S. Park, C.M. Kang, H.G. Choi and J.S. Park. 1993. Studies on oxygen-deficient water mass in Chinhae Bay. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 48, 25~28 (in Korean).
- Lee, S.H. and K.W. Lee. 1983. Heavy metals in sediments from Jinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 18, 49~54.
- Loo, L.O. and R. Rosenberg. 1989. Bivalve suspension-feeding dynamics and benthic-pelagic coupling in an eutrophicated marine bay. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 130, 253~276.
- Lowry, O.M., N.I. Roseborough, A.L. Farrand & R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193, 263~275.
- Matsuda, O. 1993. Nutrient balance and biological production in the sea. *J. Wat. Waste*, 35, 45~52 (in Japanese).
- Menzel, D.W. and N. Corwin. 1965. The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bounded fractions by persulfate oxidation. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 280~282.
- Morris, I. 1981. Photosynthetic products, physiological state, and phytoplankton growth. In *Physiological bases of phytoplankton ecology*, T. Platt, ed. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci., 210, pp. 83~102.
- Myklestad, S. 1977. Production of carbohydrates by marine planktonic diatoms. I. Influence of the N/P ratio in the growth medium on the assimilation ratio, growth rate and production of cellular and extracellular carbohydrates by *Chaetoceros affinis* var. *willei* (Gran) Hustedat and *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 29, 161~179.
- Navarro, J.M., E. Clasing, G. Urrutia, G. Asencio, R. Stead and C. Herrera. 1993. Biochemical composition and nutritive value of suspended particulate matter over a tidal flat of southern Chile. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 37, 59~73.
- Nichols, F.H. 1985. Increased benthic grazing: an alternative explanation for low phytoplankton biomass in northern San Francisco Bay during 1976~1977 drought. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 21, 379~388.
- Officer, C.B., T.J. Smayda and R. Mann. 1982. Benthic filter feeding: a natural eutrophication control. *Mar. Ecol. Pro. Ser.*, 9, 203~210.
- Packard, T.T. and Q. Dortch. 1975. Particulate nitrogen in North Atlantic surface waters. *Mar. Biol.*, 33, 347~354.
- Park, J.S. 1980. Studies on the characteristics of red tide and environmental conditions in Jinhae Bay. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 28, 55~88 (in Korean).
- Park, J.S. and J.D. Kim. 1967. A study on the "red-water" caused at Chinhae Bay. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 1, 63~79 (in Korean).
- Parsons, T.R., K. Stephens and J.D.H. Strickland. 1961. On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Res. Board Can.*, 18, 1001~1016.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York, 173 pp.
- Perry, M.J. 1976. Phosphate utilization by an oceanic diatom in phosphorus-limited chemostat culture and in the oligotrophic waters of the central North Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, 21, 88~107.
- Pick, F.R. 1987. Carbohydrate and protein content of lake seston in relation to plankton nutrient deficiency. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44, 2095~2101.
- Pocklington, R. 1975. Terrigenous organic matter in surface sediments from the Gulf of St. Lawrence. *J. Fish. Res. Board Can.*, 33, 93~97.
- Redfield, A.C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.*, 46, 205~221.
- Rhee, G.Y. 1978. Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition and nitrate uptake. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 10~25.
- Saliot, A., A. Lorre, J.C. Marty, P. Scribe, J. Tronczynski, M. Meybeck, S. Dessery, M. Marchand, J.C. Caprais, G. Cauwet, H. Etcheber, J.C. Relexans, M. Ewald, P. Berger, C. Belin, D. Gouleau, G. Billen and M. Somville. 1984. Biogéochimie de la matière organique en milieu estuarien: stratégies d'échantillonnage et de recherche élaborées en Loire (France). *Oceanol. Acta*, 7, 191~207.
- Siezen, R.J. and T.H. Mague. 1978. Amino acids in suspended particulate matter from oceanic and coastal waters of the Pacific. *Mar. Chem.*, 6, 215~231.
- Sokal, R.F. and F.J. Rohlf. 1981. *Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research* 2nd ed. W.H. Freeman & Co., San Francisco, 859 pp.
- Soniat, T.M., S.M. Ray and L.M. Jeffrey. 1984. Components of the seston and possible available food for oysters in Galveston Bay, Texas. *Contrib. Mar. Sci.*, 27, 127~141.
- Ward, L.G. 1981. Suspended-material transport in marsh tidal channels, Kiawah Island, S.C. *Mar. Geol.*, 40, 139~154.
- Widdows, J., P. Fieth and C.M. Worrall. 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 50, 195~207.
- Yoo, S.K., J.S. Park, P. Chin, D.S. Chang, K.B. Lim, C.K. Park, S.Y. Hong, C.H. Cho, J.S. Hue, S.S. Lee, P.A. Kang, K.Y. Park, M.S. Lee and Y. Kim. 1980. Comprehensive studies on oyster culture in Hansan, Geoje Bay. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 24, 7~46

(in Korean).

Zeitzschel, B. 1970. The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. *Mar. Biol.*, 7, 305~318.

2000년 11월 18일 접수

2001년 1월 22일 수리