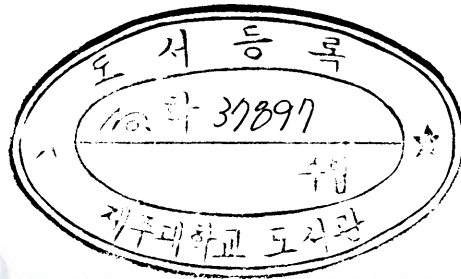


D  
529.38  
7442E

博士學位論文

統營 北灣의 굴양식장 適正管理에  
관한 研究



水産生物學科

鄭 佑 鍵

1998年 12月

# 統營 北灣의 굴양식장 適正管理에 관한 研究

指導教授 李 定 宰

鄭 佑 鍵

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함

1998年 12月

鄭佑鍵의 理學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 鄭 相 喆

委 員 李 祺 完

委 員 楊 城 基

委 員 崔 光 植

委 員 李 定 宰

濟州大學校 大學院

1998年 12月

Studies on Proper Management of Oyster  
Farms in Pukman Bay, Korea

Woo-Geon Jeong

(Supervised by professor Jung-Jae Lee)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
OF DOCTOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MARINE BIOLOGY

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1998. 12.

# 목 차

List of tables .....	iv
List of figures .....	vi
Abstract .....	ix
I. 서론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	4
1. 해수유동 수치실험 .....	4
1) 현장관측 .....	4
2) 해수유동 수치모형실험 .....	4
2. 해양수질 및 저질의 이화학적 특성 .....	10
3. 식물플랑크톤 .....	12
4. 기초생산력 .....	14
1) 조사지점 및 조사방법 .....	14
2) Chlorophyll 양으로부터 기초생산력 추정 과정 .....	14
5. 먹이생물 생산능력에 의한 수용력 .....	19
1) 실험용 재료 .....	19
2) 매개변수 .....	21
6. 환경용량 .....	32
1) 생태 유체역학 모델의 개요 .....	32
2) 대상해역 .....	34
3) 모델 입력인자 산정 .....	35

Ⅲ. 결과 및 고찰 .....	38
1. 연구해역의 개황 .....	38
1) 지리적 위치 .....	38
2) 기상 .....	39
3) 유역 현황 .....	41
4) 굴양식장 현황 .....	42
2. 해수유동 특성 .....	44
1) 현장관측 .....	44
2) 수치모형실험 .....	49
3) 요약 .....	59
3. 해양 수질 및 저질의 이화학적 특성 .....	60
1) 수질 .....	60
2) 저질 .....	70
3) 요약 .....	73
4. 식물플랑크톤 .....	74
1) 분류군 .....	74
2) 우점속과 우점종 .....	75
3) 클로로필-a 양 .....	78
4) 요약 .....	80
5. 기초생산력 .....	81
1) 기초생산력 추정을 위한 기초자료 .....	81
2) 기초생산력 추정 결과 .....	88
3) 기초생산력에 의한 원료와 제품 .....	93
4) 요약 .....	95
6. 먹이생물 생산능력에 의한 수용력 .....	96
1) 북만 전체 굴양식장 수용력 평가 .....	96
2) SFC(Surplus Food Coefficient)에 의한 굴양식장별 수용력 평가 .....	98
3) 요약 .....	108

7. 환경용량 .....	110
1) 여름철 용존산소 분포 .....	110
2) 오염부하량 .....	111
3) 모델 parameter .....	112
4) 용존산소의 재현 .....	114
5) 오염부하 저감에 따른 용존산소 분포의 예측 .....	116
6) 환경용량 산정 .....	118
7) 요약 .....	125
IV. 논의 .....	126
V. 전체 요약 .....	129
VI. 참고문헌 .....	131
감사의 글 .....	136
Appendix .....	137



## List of tables

Table II-1.	Input parameters for numerical computation .....	9
Table II-2.	Daily effectual filtered water volume at each observation farm ....	24
Table II-3.	Hydrographic and calculated data of observation farms .....	26
Table II-4.	Filtered area, number of initial individuals and decrease coefficient of each farm .....	28
Table II-5.	Growth parameter of each cultural field .....	29
Table II-6.	Daily energy demand of each field(Mcal/day) .....	30
Table II-7.	Daily intake energy of each field(Mcal/day) .....	31
Table III-1-1.	Monthly change of air temperatures (°C) from 1987 to 1996 .....	40
Table III-1-2.	Monthly change of precipitation (mm) for 10 years, from 1987 to 1996 .....	40
Table III-1-3.	Culture area and facilities of oyster farm at Pukman Bay in 1995	43
Table III-3-1.	Mean values of water quality in Pukman Bay .....	61
Table III-3-2.	Water qualities in Pukman Bay and neighboring bays .....	62
Table III-3-3.	Mean value of COD, H <sub>2</sub> S and Ignition loss in the sediment of Pukman Bay .....	70
Table III-3-4.	COD contents in the sediment of Pukman Bay .....	71
Table III-3-5.	H <sub>2</sub> S in the sediment of Pukman Bay .....	71
Table III-3-6.	Ignition Loss(%) in the sediment of Pukman Bay .....	72
Table III-4-1.	Dominant species of phytoplankton and their occurrence frequency rate(%) in Pukman Bay from November 1994 to April 1996 .....	77
Table III-4-2.	Species occurred almost every month sampling in Pukman Bay from November 1994 to April 1996 .....	79
Table III-4-3.	Chlorophyll-a contents in Pukman Bay .....	79
Table III-5-1.	Monthly water temperature (°C) at each station in Pukman Bay ...	82
Table III-5-2.	Monthly transparency (m) at each station in Pukman Bay .....	84
Table III-5-3.	Monthly variation of chlorophyll-a (mgChl/m <sup>3</sup> ) at each station in Pukman Bay .....	86
Table III-5-4.	Primary productivity (mgC/m <sup>2</sup> /day) per unit area at each station in Pukman Bay .....	90

Table III-5-5. Primary productivity (mgC/m <sup>3</sup> /day) per unit water volume at each station in Pukman Bay .....	91
Table III-5-6. Amount of production and raw material per unit area for primary production (Unit : /m <sup>2</sup> /day) in Pukman Bay .....	93
Table III-5-7. Amount of raw material and production per day for primary production at Pukman Bay .....	94
Table III-6-1. The expected survival rate deduced by food coefficient .....	103
Table III-6-2. The surveyed survival rate .....	104
Table III-6-3. The mortality rate with other cause except food .....	105
Table III-6-4. The monthly capacity index of each cultural field .....	106
Table III-7-1. The observed amount of pollution load calculated by source in Pukman Bay .....	112
Table III-7-2. The input data for modeling .....	113
Table III-7-3. The biological input data for modeling .....	114
Table III-7-4. The comparison between computed and calculated value .....	115





## List of figures

Fig. II-1.	Location of observation points in Pukman Bay. ....	5
Fig. II-2.	A schematic system of coordinates for the model of water current experiment .....	7
Fig. II-3.	Finite-difference grid system of numerical computation. ....	8
Fig. II-4.	Sampling points for water and substrate in Pukman Bay. ....	11
Fig. II-5.	Location of phytoplankton sampling sites. ....	13
Fig. II-6.	Observation sites for primary production in Pukman Bay. ....	15
Fig. II-7.	Relationship between photon flux and PPC at water temperature 20°C .....	17
Fig. II-8.	Variation of photosynthesis saturation curve followed by water temperature .....	18
Fig. II-9.	Monthly variation of water temperature from Oct. 1994 to Apr. 1996. ....	25
Fig. II-10.	Relationship between filtering rate, water temperature and body weight. ....	25
Fig. II-11.	Relationship between energy content and meat weight of oyster. ....	27
Fig. II-12.	Water temperature dependency of oyster's conversion factor. ....	27
Fig. II-13.	Basic model system. ....	33
Fig. II-14.	A schematic cycle system of nutrient in the coastal waters. ....	34
Fig. II-15.	Grid system of numerical computation. ....	35
Fig. II-16.	Sampling sites for oxygen-deficient watermass. ....	36
Fig. III-1-1.	Map showing Pukman area. ....	38
Fig. III-1-2.	Topographic distribution in Pukman Bay. ....	39
Fig. III-1-3.	Map showing four influential areas around Pukman Bay. ....	41
Fig. III-1-4.	Map showing the distribution of oyster farms. ....	42
Fig. III-2-1.	The tidal current ellipses at each station. ....	46
Fig. III-2-2.	The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during flood flow (2 lunar hour). ....	51
Fig. III-2-3.	The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during flood flow (4 lunar hour). ....	52

Fig. III-2-4. The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during flood flow (6 lunar hour). .....	53
Fig. III-2-5. The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during ebb flow (8 lunar hour). .....	54
Fig. III-2-6. The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during ebb flow (10 lunar hour). .....	55
Fig. III-2-7. The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during ebb flow (12 lunar hour). .....	56
Fig III-2-8. The computed tidal current ellipses at station B. ....	57
Fig. III-2-9. Residual current computed by mean tide at 1st level(upper) and 2nd level(lower). .....	58
Fig. III-3-1. Monthly variation in water temperature at eight stations. ....	63
Fig. III-3-2. Monthly variation of pH at eight stations. ....	64
Fig. III-3-3. Monthly variation of salinity at eight stations. ....	65
Fig. III-3-4. Monthly variation of DO at eight stations in Pukman Bay. ....	66
Fig. III-3-5. Distribution of mean dissolved oxygen at eight stations. ....	66
Fig. III-3-6. Variation of COD at each station in Pukman Bay. ....	67
Fig. III-3-7. Distribution of mean COD at each station. ....	68
Fig. III-3-8. Variation of PO <sub>4</sub> -P at eight stations in Pukman Bay. ....	69
Fig. III-3-9. Variation of DIN at eight stations in Pukman Bay. ....	69
Fig. III-3-10. Distribution of mean DIN at eight stations. ....	70
Fig. III-3-11. Distribution of mean sediment quality. ....	72
Fig. III-4-1. Monthly variation of species composition (%) for major genus in Pukman Bay from November 1994 to April 1996. ....	75
Fig. III-5-1. Monthly variation of water temperature at each station in Pukman Bay. ....	83
Fig. III-5-2. Monthly variation of transparency (Tr.) at each station in Pukman Bay. ....	85
Fig. III-5-3. Monthly variation of chlorophyll-a (Chl.) at each station in Pukman Bay. ....	87
Fig. III-5-4. Standard deviation of primary production production during observed period in Pukman Bay. ....	89

Fig. III-5-5. Monthly variation of primary productivity (P.P.) per unit area at each station in Pukman Bay. ....	92
Fig. III-6-1. Relationship between Individual density and meat weight in unit flux area. ....	101
Fig. III-6-2. Relationship between individual density and yield content. ....	101
Fig. III-6-3. Division of observed area estimated by carrying capacity of oyster farm in Pukman Bay. ....	102
Fig. III-6-4. Monthly variation of SFC at each Oyster farm in Pukman Bay. ....	107
Fig. III-7-1. The observed distribution of DO in Pukman Bay. ....	111
Fig. III-7-2. The reappearance of DO at bottom layer with model. ....	116
Fig. III-7-3. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing pollution load originated from land by 20%. ....	120
Fig. III-7-4. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing pollution load originated from land by 40%. ....	120
Fig. III-7-5. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing pollution load originated from land by 60%. ....	121
Fig. III-7-6. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing pollution load originated from land by 80%. ....	121
Fig. III-7-7. The computed distribution of Do at bottom layer, reducing SOD by 20%. ....	122
Fig. III-7-8. The computed distribution of Do at bottom layer, reducing SOD by 40%. ....	122
Fig. III-7-9. The computed distribution of Do at bottom layer, reducing SOD by 60%. ....	123
Fig. III-7-10. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing feces of cultered oysters by 20%. ....	123
Fig. III-7-11. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing feces of cultured oysters by 60%. ....	124
Fig. III-7-12. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing pollution load by 60% and SOD by 20%. ....	124

## Abstract

A carrying capacity of oysters cultured in Pukman Bay was estimated from phytoplanktons, primary productivity and environments of farming grounds from August 1994 to April 1996. Oysters farming area was 198.63 ha, 18.2% of the bay areas 1,470 ha. Tidal currents are conspicuously divided between the inner part and the outsider of the bay. Accordingly, most pollutants was naturally accumulated in the central part of the bay and diffusion of pollutants to the outside of the bay was negligible. Dissolved oxygen and total phosphates in the water and COD in bottom muds, 16.45~49.13mg/g · dry showed that eutrophication was in progress. Mean contents of COD and DIN in waters and COD and total sulfides, percentages of ignition loss were higher and higher and DO in waters was lower and lower as bay-in goes by. Phytoplanktons were 161 species in total and most of them were diatoms and the rest was mostly dinoflagellates. There was a red tide in limited area by *Nitzschia pungens* var. *atlantica*. Primary productivity was 0.07~1.5 gC/m<sup>2</sup>/day and high in east area due to a plenty of nutrition from sewage of town, low in west area due to eddy and higher in south area due to a plenty of nutrition from the outside of the bay. Seasonally, spring and summer seasons was high and it was low from late fall to early winter.

The optimum numbers of oyster per unit running area in oyster farms were 125~133 ind./m<sup>2</sup>, the optimum density per hanging line were 310~330, maximum expectation of meat oyster yield per hanging line was 0.94~1.95 kg. Yield was high in the south area around the mouth of the bay and low in north area. A possible yield of meat oyster in the bay would be 1,193 tons/year and the yield during the study period was 1,038 tons/year and it is 87% of the possible yield. Accordingly, an area for oyster farm, 18.2% among a possible area calculated from an ability of foods for oysters would be a proper level.

Among 21 oyster culture facilities, three showed that over 50% oysters died due to short of foods, same dead rate appeared at six and 91% at one but their die was owing to other factors besides foods. According to SFC, surplus food coefficient, ten facilities showed that SFC was below zero over a month and it means that oysters at the above ten facilities were denser than the proper density in the food aspect. Mean percentage of high density at the ten facilities was estimated to 39%.

With a simulation, it was estimated that major pollutions which influence low oxygenation was land originated pollutants and oyster excrement affects a little.

A carrying capacity as a quantity of organic matter in Pukman Bay would be 0.4 tons/day and to keep dissolved oxygen 5.0 mg/ℓ, a land originated pollutants should be decreased to around 80% but it is almost impossible to decrease to such level in present situation. Therefore, a rational management plan at present will be a following. The bay is divided into two area, a polluted northern area and the rest. Dissolved oxygen content in north area should be increased to 5.0 mg/ℓ by means of decrease of a land originated pollutants to 60% and in addition, an improvement of bottom muds should be done till 20% cut down of SOD for prevention of low oxygen water formation.

# I. 서 론

1960년대 후반부터 시작된 우리 나라의 굴수하식양식에 의한 알굴 생산량은 1970년대 초기 연간 8,000톤에서 계속 증가하여 1987년 최고 37,000톤이었으나, 그 후 감소하여 1990년대 초기에는 29,000톤이었다. 한편 연승 1대 당 생산량은 1970년대는 평균 0.56톤이었으나, 1980년대 평균 0.37톤, 1990년대 초기에는 평균 0.36톤이었다. 이와 같이 단위면적당 생산량이 줄어들어도 1987년까지 생산량이 증가한 것은 양식장의 환경이 양호하였고 양식 시설량도 적었기 때문이다. 그 후 생산량이 감소한 요인으로 첫째는 양식장의 면적이 확대되면서 밀식으로 인한 먹이의 부족과 연작으로 인한 어장 노화, 둘째는 육지로부터의 과도한 오염물질의 유입으로써, 결국 양식장의 환경 악화로 보고 있다(Cho, 1996).

양식생물 중에서 특히 동물은 동일한 품종을 같은 장소에서 장기간 연작하거나 밀식을 계속하게 되면 생산성이 떨어지고 마침내 양식장의 기능을 상실한다. 이러한 사실은 1950년대 이미 입증된 바 있고(Ito and Imai, 1955), 그 후 많은 연구에 의해 확인되었다(荒川 等, 1971; 조와 김, 1977; 조, 1980).

굴양식이 성행하고 있는 연안해역은 임해공단과 신도시의 조성으로 다량의 공장 폐수와 생활하수가 유입되어 수질 및 저질 환경이 악화되어 있는 실정이다. 이러한 양식장의 환경을 개선시키고 생산성을 유지하기 위해서는 양식장 환경 수준의 평가를 통하여 양식굴의 적정 수용력에 관한 연구가 필요하다.

굴양식장의 수용력에 관련된 연구는 최근 10 여년 동안 여러 측면에서 수행되었으나 이들은 어떤 특정 분야에 국한된 단편적인 연구들로, 아직까지 이렇다 할 모델은 개발되지 않고 있다. 환경적 측면에서의 연구는 폐수유입에 따른 해수의 용존산소 변화를 1차원 모델로 개발하였고(中田 等, 1985), 그 후 생태유체역학(生態流體力學)모델을 개발하여 환경용량(環境容量) 산정에 이용하고 있다(藏本·中田, 1991). 국내에서는 조와 김(1977)이 거제만의 굴양식장 밀도와 부영양화에 관한 연구를 시작으로, 조(1980)는 한산·거제만의 저니 오염에서 굴양식장의 양식밀도를 추정하였고, 수치모델 기법을 이용한 양식장의 환경용량 산정이 보고되었다(국립수산진흥원, 1990; 최, 1993; 조 등, 1996a, b). 생물적 측면의 연구는 굴 개체의 성장, 밀도 및 먹이 효과 등에 대한 특정 부분에 대한 수치모델이 개발되어 왔고(Klinck *et al.*, 1992; Powell *et al.*, 1993; Hofmann *et al.*, 1994; Kobayashi *et al.*, 1996), 먹이량에서 적정밀도를 추정한

보고가 있으나(靑森縣水産増殖センタ, 1986; 廣島縣水産試験場, 1986), 그 후의 연구는 미미한 상태에 있다.

양식생물의 적정 수용력을 산출하기 위해서는 그 해역의 먹이량과 자정 능력을 감안해야 하며, 이를 위해서는 한가지 또는 복합적인 방법을 사용하여 각 만(灣)별 모델을 개발해야 하고 이를 위한 기본자료로써 그 해역의 수리(水理)와 기초생산력의 정보가 필수적이다(조, 1991). 그러나, 먹이량에 의한 수용력과 자정능력을 감안한 환경용량은 출발점에서 개념이 다르므로 추정치가 서로 접근하리라고 기대하기는 어렵다. 육지에서 기원된 유입물질은 오염의 원인 물질로 작용하는 면도 있으나, 생산을 위한 원자재 물질로 작용하는 면도 있다. 그러므로, 이를 오염부하로만 산정하는 것은 오차의 여지를 남기므로, 두 가지의 방향에서 접근하여 도출된 결과를 상호 보완하여야 할 필요가 있다(김, 1996).

연구대상 해역인 통영시 북만(Fig. I -1)은 1970년대부터 굴수하식양식이 시작되었으나, 1980년대부터 북만의 주변 육지에 신도시가 조성되어 도시하수의 영향을 받는 내만과 외해수의 영향을 받는 외만이 명백히 구분되므로 양식장의 환경수준을 평가하여 연안오염의 주원인을 규명할 수 있으며, 육지로부터의 생산을 위한 원자재 물질의 유입이 많으므로 먹이량에 의한 수용력과 자정능력에 의한 환경용량의 두 방법을 비교해 볼 수 있다.

북만에 관한 지역적인 연구는 미진하여, 북만의 동쪽해역인 대평포에서 최 등(1991)이 용존산소 수지에 의한 자정능력에 관하여, 조(1993)가 적조에 대하여, 최(1995)의 대장균군 및 해양세균의 분포에 관한 보고가 있을 뿐이다.

이 논문의 목적은 통영시 북만의 해수유동, 수질 및 저질, 식물플랑크톤, 기초생산력 등을 조사하여, 북만의 굴양식장 환경 수준을 평가하고, 나아가서 먹이생물의 생산능력으로부터 수용력을 추정하고 자정능력에 의한 환경용량을 산정하여 북만의 굴양식장 적정관리 방안을 제시하는데 있다.

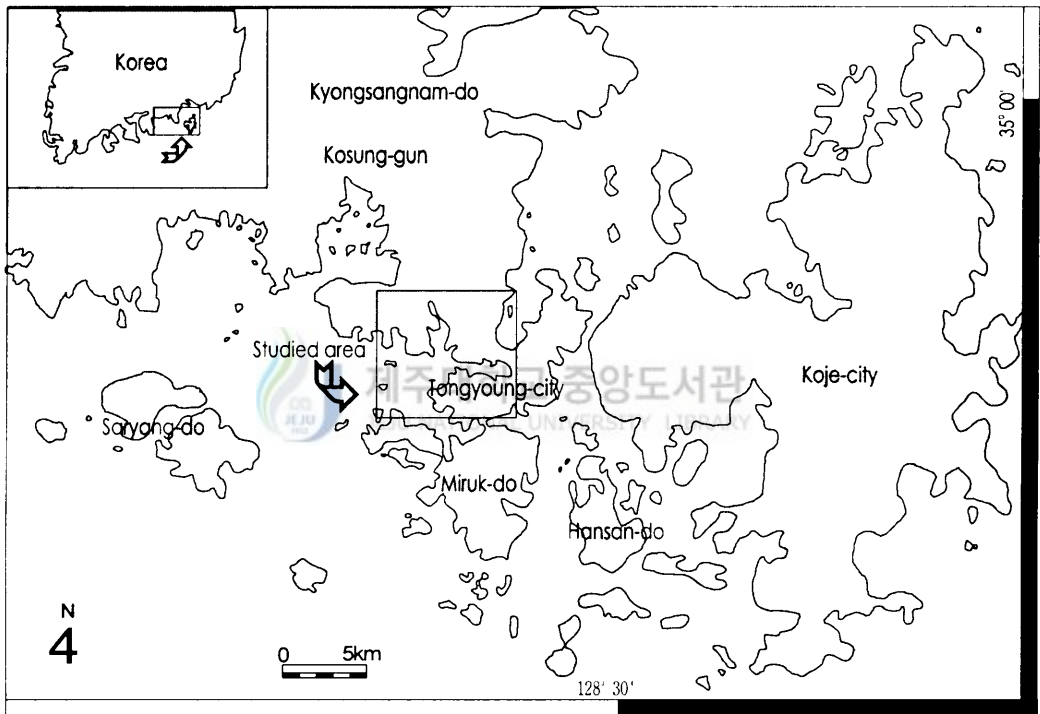


Fig. I -1. Map of studied area.



## II. 재료 및 방법

### 1. 해수유동 수치실험

#### 1) 현장관측

해수유동 관측은 1994년 10월 21일(음력 9월 17일) 15시부터 22일 16시까지 Fig. II-1에 나타낸 5개의 정점에서 실시하였다.

정점 C와 D에는 자기기록 유향유속계를 6 m 수층에 각각 1대씩 설치하여 연속관측하였고, 정점 A와 B 및 E에는 직독식 유향유속계를 이용하여 1시간 간격으로 순간유향, 유속을 25시간 연속 관측하였다. 그리고 관측의 편이를 위해 정점 A와 D에서는 평균류의 수층에 해당하는 4~6 m의 단일 층의 유향, 유속만 측정하였고, 정점 B에서는 2, 4, 6 및 8 m의 층별 유향, 유속을 측정하였다.

#### 2) 해수유동 수치모형실험

##### (1) 기본방정식

3차원 해수유동모델(中田 等, 1985)을 사용하였다. 이 모델은 층계모델로 기본방정식을 도출함에 있어 다음과 같이 가정하였다. 해역 흐름의 원인은 조석, 밀도경도, 하천수의 유입 및 바람의 응력이며, 유체는 흐름지구상의 점성 비압축성 유체로 취급하였다. 연직방향으로 정력학 평형을 가정하고 지구 회전효과를 나타내는 코리올리 인자는 계산영역 전체에서 일정하다고 가정하였다.

- x 방향의 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial y}(u^2) - \frac{\partial}{\partial y}(uv) - \frac{\partial}{\partial z}(uw) + f_0v \\ & -g\frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz' - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial x}(N_x \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(N_y \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(N_z \frac{\partial u}{\partial z}) \end{aligned}$$

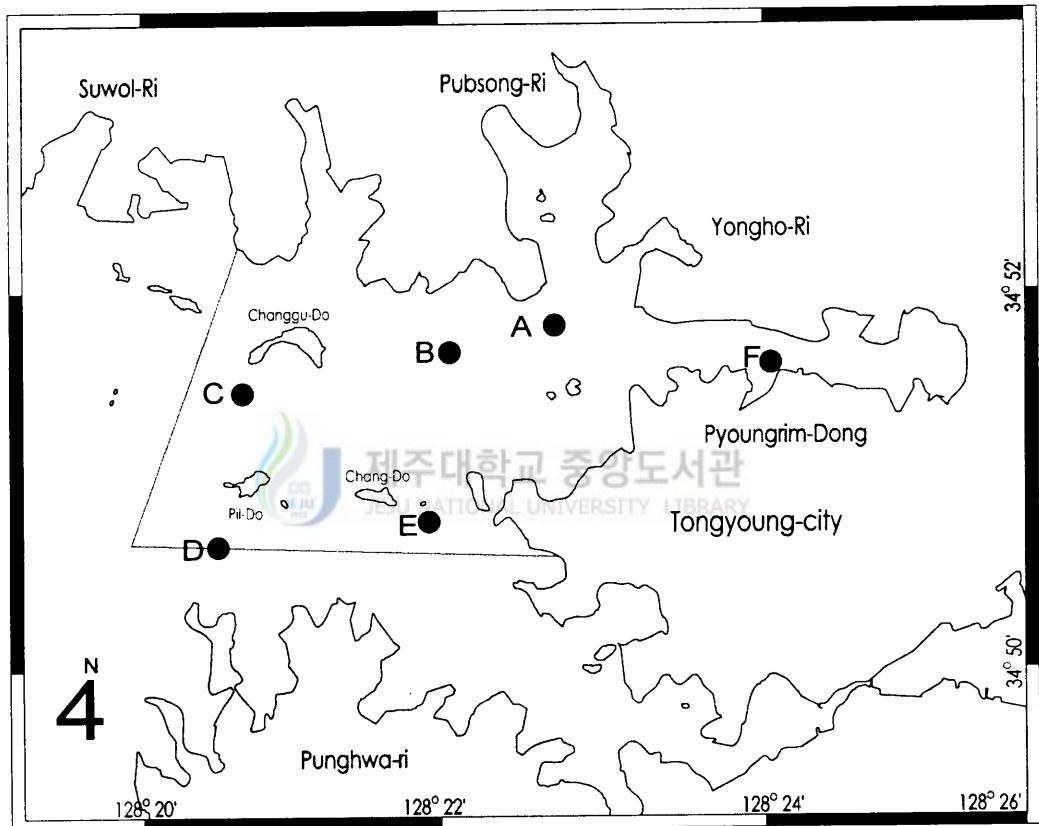


Fig. II-1. Location of observation points in Pukman Bay.

- y 방향의 운동방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial y}(uv) - \frac{\partial}{\partial y}(v^2) - \frac{\partial}{\partial z}(vw) + f_0 u \\ & - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial y} dz' - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( N_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

- 연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- 자유표면식

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_{-H}^{\zeta} u dz \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_{-H}^{\zeta} v dz \right)$$

- 열 수지식

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uT) - \frac{\partial}{\partial y}(vT) - \frac{\partial}{\partial z}(wT) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

- 염소량 수지식

$$\begin{aligned} \frac{\partial Cl}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(u \cdot Cl) - \frac{\partial}{\partial y}(v \cdot Cl) - \frac{\partial}{\partial z}(w \cdot Cl) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial Cl}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial Cl}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial Cl}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

여기서 각 식 중의 기호의 설명은 다음과 같다.

$u, v, w$  :  $x, y, z$  방향의 속도 성분

$\zeta$  : 조위

$H$  : 수평면에서 해저면까지의 수심

$\rho$  : 유체의 밀도

$f_0$  : 코리올리인자

$g$  : 중력가속도

$P_0$  : 대기압

$T$  : 수온

$Cl$  : 염분

$N_x, N_y, N_z$  :  $x, y, z$ 방향의 와동점성계수

$K_x, K_y, K_z$  :  $x, y, z$ 방향의 와동확산계수

$k_x, k_y, k_z$  :  $x, y, z$ 방향의 온도확산계수

$dz'$  :  $x, y, z$ 의 미소거리

위의 식에서 좌표계는 Fig. II-2와 같다.

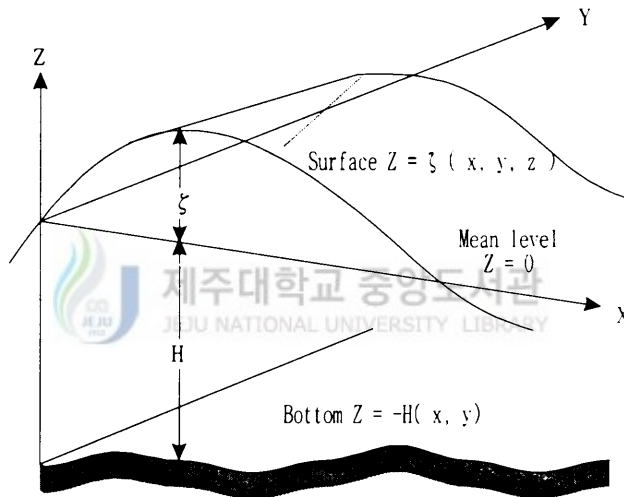


Fig. II-2. A schematic system of coordinates for the model of water current experiment.

### (2) 경계조건

육지 경계를 따라 직각방향의 유속은 없는 것으로 가정하였다. 자유표면  $\zeta$ 는 침입하는 조석과의 파동을 정현함수로 고려하였다. 자유표면의 점성응력 및 해저의 점성응력은 Bulk 공식에 의해 연직전단만 표현하고 밀도의 연직경도는 고려하지 않은 실험식을 이용하였다.

### (3) 계산조건

모델의 계산영역은 Fig. II-3과 같이 통영시 산양읍 풍화리 함박도와 광도면 수월

리를 잇는 선, 풍화리 방우말과 통영시 인평동을 잇는 선을 개방 경계로 설정하였다.

모델의 계산조건은 Table II-1과 같이 지형을 충분히 고려할 수 있도록 X, Y방향으로 125 m로 하였고, 저층의 유동상태를 명확히 파악하기 위해 연직방향으로 3층으로 나누었다. 수심은 해도상의 수심(기준면)에 조석간만의 차에 의한 평균수심을 더하였고, 계산시간 간격은 해(解)의 안정조건을 고려하여 5초로 하였다. 개방경계에서 조위는 좌측 경계인 소장구도 주변해역(Fig II-1, C)과 우측 경계 부근인 장구도 하단(Fig II-1, B)에서 실측한 값을 조화분해하여 이용하였다. 입력분조는 평균조석의 개념으로 북만 일원해역에서 관측한 평균태음반일주조( $M_2$ )로, 좌측 외양 경계의 조위는 85cm에 위상각은  $250^\circ$ , 우측의 수로 부근 경계에서는 조위 82cm, 위상각  $251^\circ$ 를 입력하였다. 마찰계수는 해양연구소(1989)에 의하면 0.0025에서 관측치와 거의 일치하는 해(解)를 준다고 하였으므로 이 값을 이용하였고 수평확산계수는 마산만의 경우  $3.8 \sim 4.0 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ (장, 1987), 일본 大阪灣은  $10^5 \sim 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ (宇野, 1974 ; 中村 等, 1989), 瀬戸内海는  $10^3 \sim 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ (上鳴·早川, 1982)로 조사된 바 있으므로  $3.5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 로 가정하였다.

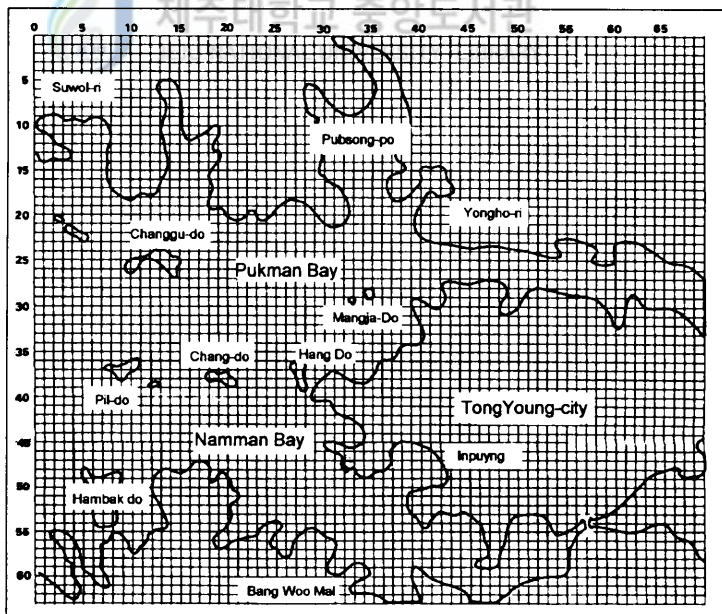


Fig. II-3. Finite-difference grid system of numerical computation.

Table II-1. Input parameters for numerical computation

Parameters	Values
Mesh size	$\Delta x = \Delta y = 125 \text{ m}$
Water depth	Chart datum + MSL
Time interval	5 sec
Level	1 : 0~4 m 2 : 4~8 m 3 : below 8 m
Tidal level at open boundary	82~85 cm
Water temperature and chlorinity at open boundary	1 : 25°C, 18 ‰ 2 : 25°C, 18 ‰ 3 : 25°C, 18 ‰
Coriolis coefficient	$f = 2\omega \sin \theta$
Surface friction coefficient	0.0013
Internal friction coefficient	0.0013
Bottom friction coefficient	0.0025
Horizontal diffusion coefficient	$3.5 \times 10^4 \text{ (cm}^2\text{/sec)}$
Horizontal viscosity coefficient	$3.5 \times 10^4 \text{ (cm}^2\text{/sec)}$
Wind speed	0.0 m/sec
Calculation time	5 cycles

## 2. 해양수질 및 저질의 이화학적 특성

수질조사는 1994년 10월부터 1996년 4월까지 매월 1회, 표층과 저층으로 구분하여 조사하였으며, 조사지점은 Fig. II-4과 같이 8개 조사지점이다.

수온 및 용존산소는 현장에서 DO meter(YSI사, model 58)로, 투명도는 Secchi disk로 측정하였다. 그 외 항목은 채수 후 실험실로 운반하여 분석하였으며, 염분은 inductively coupled salinometer로 측정하였고, COD는 알칼리성 과망간산칼륨법으로, 영양염류는 GF/C여과지(직경 47mm)로 시료 500mℓ를 여과하여 Strickland and Parsons(1968)법에 따라 암모니아질소(인도페놀법), 아질산질소(Sulfanilamide와 N-(1-naphthyl) - ethylenediamine을 이용한 NED법), 질산질소(Cd-Cu 환원칼럼을 이용한 카드뮴환원법), 인산인(Ascorbic acid법) 등을 분광광도계(Shimadzu UV-160A)로 측정하였다.

저질조사는 수질조사를 행한 조사지점에서 1994년 10월, 1995년 1월, 11월과 1996년 2월에 각 1회씩 총 4회 조사하였다.

저질 시료는 직경 3cm의 코아 채니기로 채취하여 실험실로 운반하였다. 저질의 분석법은 김(1995)을 따랐다. 화학적 산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산 칼륨법으로, 황화수소( $H_2S$ )는 검지관법으로 정량하였고, 강열감량(Ignition Loss, I.L.)은 적당량의 저질을 105~110 °C에서 건조시킨 후 800~900 °C에서 회화시켜 항량(恒量)을 구한 다음 건조무게에 대한 비율로 나타내었다.

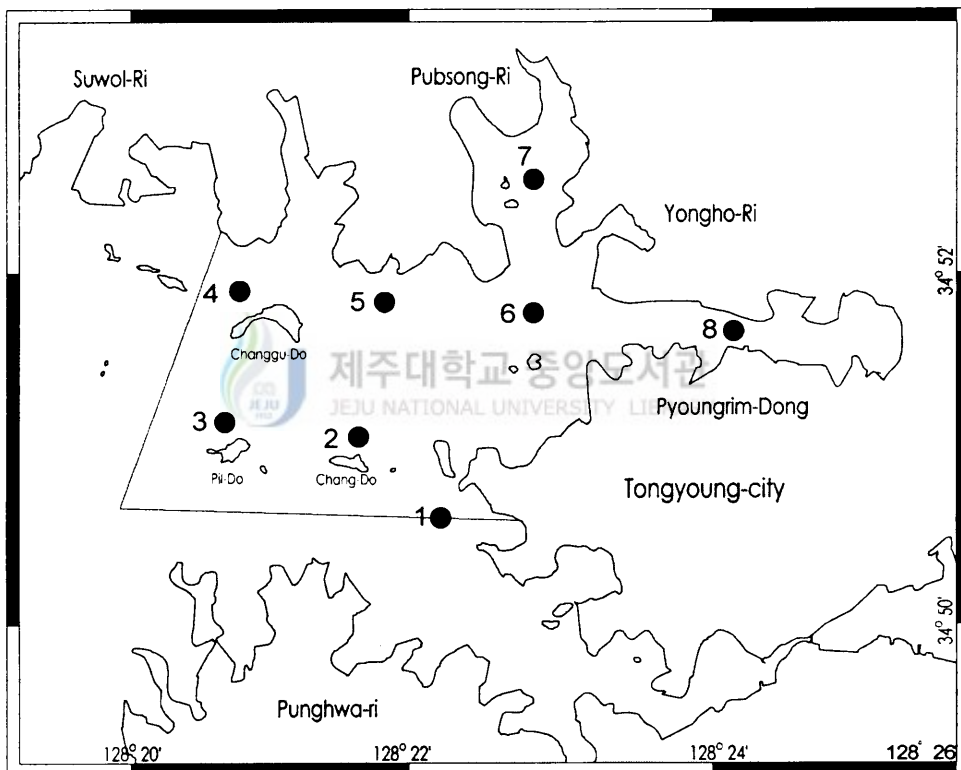


Fig. II-4. Sampling points for water and substrate in Pukman Bay.



### 3. 식물플랑크톤

1994년 11월부터 1996년 4월까지 16개월간 월 1회씩 Fig. II-5에 표시된 4개의 조사지점에서 식물플랑크톤을 채집하였다. 1994년 12월과 1995년은 2월은 현장사정으로 채집할 수 없었다.

동정용 시료는 망구 직경 30cm, 망목 크기 90 $\mu$ m 원추형 채집망으로 저상(底上) 1m층에서 수면까지 수직으로 채집하였다. 채집된 시료는 모두 표본병에 옮긴 후, 표본수 100ml당 중성 포르말린 원액 1~2ml을 첨가하여 고정하였다. 현장에서 채집, 고정한 모든 표본은 실험실로 운반하여 농축하였다가 검경시 표본수를 일정한 체적으로 하여 균일하게 섞은 후, 그 중에서 일정량을 피펫으로 꺼내 1mm눈금이 매겨진 슬라이드 글라스에 얹어 현미경하에서 100X로 세포를 계수, 동정하고 식별이 곤란한 종은 400~1000X로 동정하였다. 동정은 종(種)까지 하는 것을 원칙으로 하였다.

규조류 분류는 Simonsen(1979), 남조류와 외편모조류는 Parke and Dixon(1976), 규질편모조류는 Parke and Green(1976) 그리고 유글레나조류는 Leedale(1967)을 따랐다.

정량용 시료는 Van Dorn 채수기를 사용하여 표층수와 저층수를 채수하여 상법(Strickland and Parsons, 1968)에 따라 클로로필-a 양을 산출하였다. 결과는 조사지점별로 종 조성(%)과 양(클로로필-a 양)으로 나타내었다.

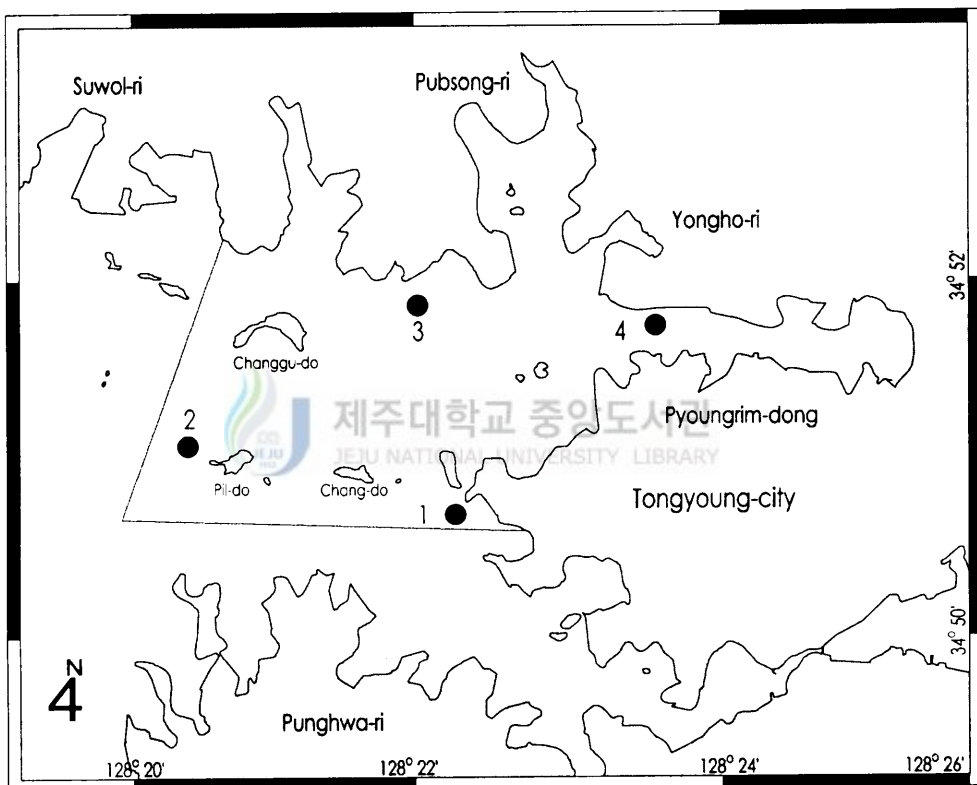


Fig. II -5. Location of phytoplankton sampling sites.

## 4. 기초생산력

### 1) 조사지점 및 조사방법

조사지점은 Fig. II-6과 같으며, 조사는 1994년 10월~1996년 4월까지 매월 초에 하였다. 수온은 봉상온도계를 사용하여 수층별로 측정하였고, 투명도는 직경 30 cm의 백색 투명도판으로 현장에서 측정하였다. 수심은 어탐기를 이용하여 측정한 후 실측하여 보정하였다.

Chlorophyll 측정은 각 조사지점마다 1 m층(상층)과 5~10m층(하층)에서 Van Dorn 채수기로 채수하여 1ℓ 들이 플라스틱제 시료병에 시료수를 담아 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 GF/C 유리섬유여과지로 감압 여과하고, 여과지를 Parsons(1984)의 방법에 따라 처리하여 chlorophyll-*a* 농도를 측정하였다. 측정에는 HACH사의 분광광도계 DR-2000을 사용하였다.

### 2) Chlorophyll 양으로부터 기초생산력 추정 과정

#### (1) 데이터의 종류

사용한 데이터의 종류는 다음과 같다.

- ① 수온
- ② 투명도와 수심
- ③ 하룻동안의 시간별 해면 입사광량 자료
- ④ 상층과 하층의 chlorophyll 양

#### (2) 해면 입사광량

광량자 측정기는 LI-COR(Nebraska, USA)사의 LI-190SA quantum 센서를 연결한 LI-1000 DataLogger를 사용하였으며, 센서는 통영시 한실포 소재 경상대학교 해양과학대학 수산관 2층 옥상에 설치하였다. LI-190SA 광량자 센서의 수광 파장폭은 광합성유효광(PAR)인 400~700 nm 범위이다. 이 측정기로 측정한 값을 해면 입사광량으로 사용하였으며, 측정치의 단위는  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 이다.

#### (3) 소멸계수, k

천해, 내만 및 연안 해수에서 광합성에 의한 생물적인 생산이 일어나는 유광층은

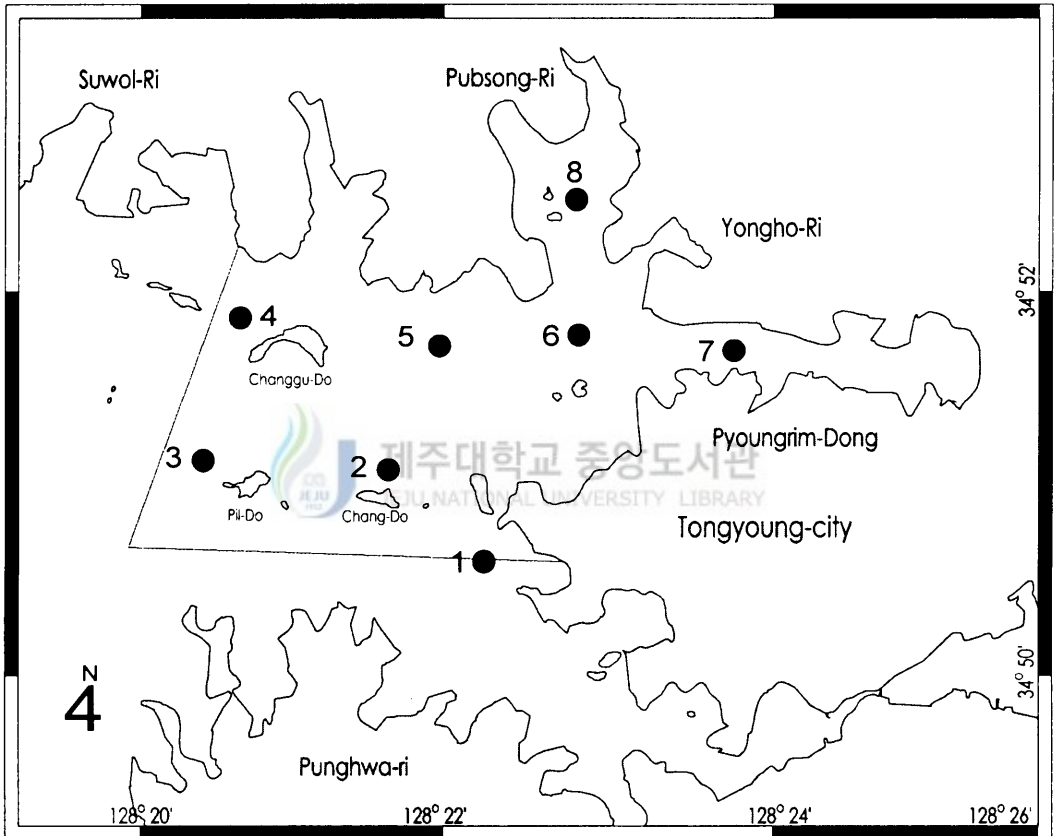


Fig. II-6. Observation sites for primary production in Pukman Bay.

표층부터 Secchi-disc 투명도  $Z_s$ 의 2.5배 깊이까지라고 보며(Atkins *et al.*, 1954), 그 깊이는 빛이 해면 입사광량의 약 1% 정도 도달하는 수심으로 알려져 있다(Stemann-Nielsen, 1975). 해면 입사광량의 1%가 도달하는 수심  $Z_{0.01}$ 를

$$Z_{0.01} = [\text{Secchi-disc transparency, } Z_s] \times 2.5 \quad (\text{식 II-1})$$

로 설정한다. 수심  $Z$ 에 도달하는 광량을  $C_z$ 라고 하면, 해면 입사광량  $C_0$ , 해수중에서의 광소멸계수  $k$ 라고 할 때

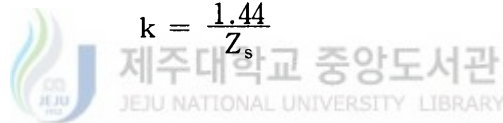
$$C_z = C_0 \cdot e^{-k \cdot Z} \quad (\text{식 II-2})$$

이 된다.  $C_0=1$ ,  $C_z=0.01$ 로 하고 식(1)의  $Z_{0.01}$ 을 식(식 VI-2)에  $Z$ 값으로 대입하여  $k$ 에 대하여 정리하면,

$$k = \frac{-\ln(0.01)}{Z_{0.01}} = \frac{4.60517}{Z_{0.01}} = \frac{1.84}{Z_s} \quad (\text{식 II-3})$$

이 된다. 그런데 Holmes(1970)는 비교적 흐린 물에는 식(II-3) 보다는 식(II-4)를 쓸 것을 제안하였다. 이 조사해역은 탁도가 높은 내만이므로 Holmes의 식을 사용하였다

$$k = \frac{1.44}{Z_s} \quad (\text{식 II-4})$$



#### (4) 수층별 도달광량, $C_z$

0.5m 깊이부터 1m 간격으로 해저면까지 각 수층에 도달하는 광량을 식 II-2로서 산출하되,  $C_z > 0.1 \times 10^{15}$  quanta/cm<sup>2</sup>/sec 되는 수층  $Z_d$ 까지 계산하였다.

#### (5) 광량과 광합성 속도의 관계

Stemann-Nielsen(1975)의 자료에 의하면 수온 20°C에서 photon flux 0~20.6( $\times 10^{15}$  quanta/cm<sup>2</sup>/sec) 범위에서는 광합성속도 PPC(mgC/mgChl/h)는 photon flux의 크기에 직선회귀한다(Fig. II-7).

$$\text{PPC}(\text{mgC/mgChl/h}) = 0.1507 \cdot C \quad (C = 0 \sim 20.6) \quad (\text{식 II-5})$$

그리고 photon flux  $C = 20.6 \sim 90$ 의 범위에서는 곡선회귀하며, 4차 다항식으로 적용시키면 parameters는 다음과 같다.

$$\left( \begin{array}{l} a_0 = -1.451143 \\ a_1 = 0.3451625 \\ a_2 = -7.483235 \times 10^{-3} \\ a_3 = 7.448665 \times 10^{-5} \\ a_4 = -2.786968 \times 10^{-7} \end{array} \right) \quad (\text{식 II-6})$$

(6) 수온과 광합성속도의 관계

20℃일 때 광량-광합성속도 간의 직선회귀 부분과 곡선회귀 부분의 교점이 되는 광포화점은  $C=20.6 \times 10^{15}$  quanta/cm<sup>2</sup>/sec이다. 수온에 의하여 직선회귀 부분의 회귀계수는 영향을 받지 않으나, 광합성속도가 떨어지는 광포화점은 수온에 대해 곡선회귀한다(Fig. II-8). 4차 다항식으로 적용시키면 parameters는 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} b_0 = 4.512845 \\ b_1 = 2.66219 \\ b_2 = -0.1684112 \\ b_3 = 4.806836 \times 10^{-3} \\ b_4 = -5.15154 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \quad (\text{식 II-7})$$

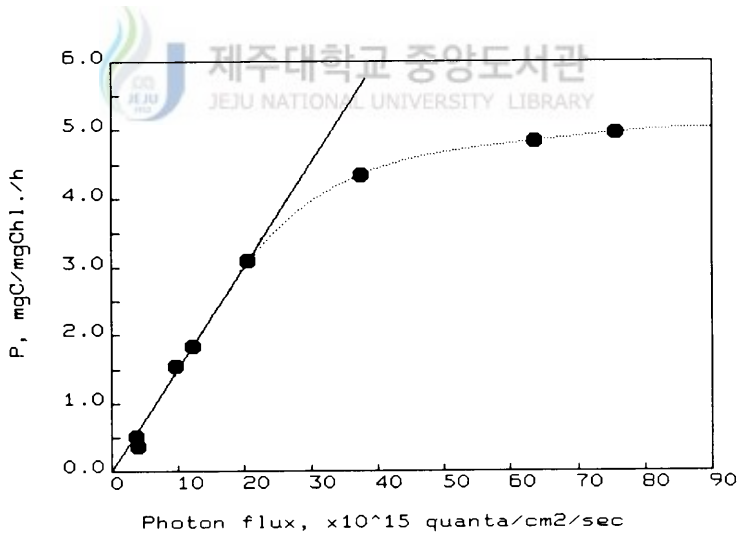


Fig. II-7. Relationship between photon flux and PPC at water temperature 20℃.

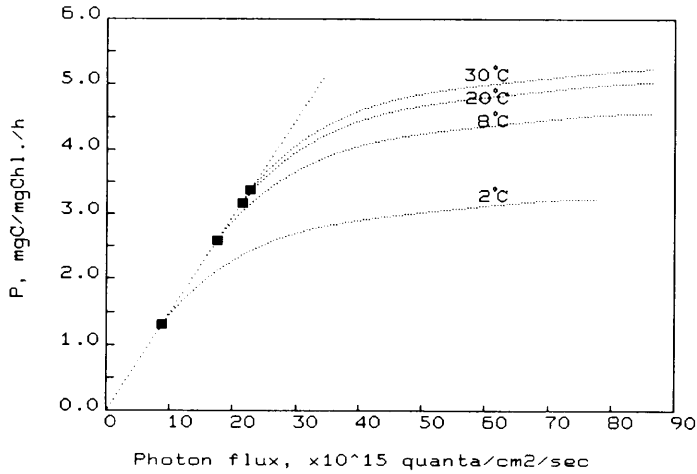


Fig. II-8. Variation of photosynthesis saturation curve followed by water temperature.

(7) 단위해면당 기초생산력

조사된 자료로부터 식(식 II-1)~식(식 II-7)을 사용하여 각 수층의 단위수량당, chlorophyll-a양당 광합성을  $PPC(z)$ 를 구하고, 여기에 chlorophyll-a 양을 곱하여 단위수량당 광합성을  $P(z)$ 로 변환한 다음, 광합성 유효수주(有效水柱) 내의 각 층별  $P(z)$ 를 적산하여 매 시간당 단위해면당 기초생산력  $PP(H)$ 를 산출하였다.

$$P(z)(\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}) = PPC(z)(\text{mgC}/\text{mgChl}_a/\text{h}) \times \text{Chl}_a(\text{mg}/\text{m}^3) \quad (\text{식 II-8})$$

$$PP(H)(\text{mgC}/\text{m}^2/\text{h}) = \sum_{z=0.5}^{Z_d} P(z)(\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}) \quad (\text{식 II-9})$$

조사당일 일조시간별로 구한  $PP(H)$ 를 그날의 일조시간  $H_{rad}$ 동안 적산하여  $PP_{day}$ 를 구하였다.

$$PP_{day}(\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}) = \sum_{H=1}^{H_{rad}} PP(H)(\text{mgC}/\text{m}^2/\text{h}) \quad (\text{식 II-10})$$

(8) 기초생산력에 의한 원료와 제품

조사해역의 해면 아래에서 식물플랑크톤에 의한 광합성으로 생산된 유기물량과 그 유기물에 함유된 잠재생물 에너지량 및 수중에서 발생된 산소의 양을 위에서 산정된 기초생산력 월평균 자료를 사용하여 Odum(1971)의 광합성 걸보기식에 따라 월별로 추정하고, 생산에 사용된 원료물질로서  $\text{CO}_2$ 와 질산염, 인산염, 미네랄을 추정하였다.

## 5. 먹이생물 생산능력에 의한 수용력

### 1) 실험용 재료

굴양식은 대부분 6월에 종패를 수하하고, 익년 4월에 수확이 끝나므로 1995년 7월부터 1996년 4월까지 10회에 걸쳐 북만해역에서 양성중인 21개의 굴양식장을 대상으로 시료 채취 정점을 정하여 두고, 양식장마다 매회 1연의 수하연을 상, 중, 하부로 나누어 각 부분당 3개의 부착기를 채취하여 개체수와 육질부 중량을 측정하였다.

### 2) 먹이 공급 능력의 추정이론

사용한 이론식은 다음과 같다.

#### (1) 양식장별 총개체수 $N$

$$N_o = \frac{\Sigma L}{H_s} \times C \times n_c \quad (\text{식 II-11})$$

#### (2) 개체당 여수율 $FR$

$$FR = \text{Exp}(0.208 - 4.324 T) \cdot DW^{0.223} \quad (\ell/\text{hr}) \quad (\text{김, 1995})(\text{식 II-12})$$

#### (3) 순간여수량 $\Delta FR$

$$\Delta FR = FR / 60 \quad (\ell/\text{min}) \quad (\text{식 II-13})$$

#### (4) 순간해수유속 $U_i$

해수의 창조류~낙조류 진동주기를 6.2시간(=372분)으로 보고

$$U_i = Vx \times \sin\left(\pi \times \frac{i}{372}\right) \quad (\text{m}/\text{min}) \quad (\text{식 II-14})$$

#### (5) 해수유동면적 $S$

$$S = L \times H \quad (\text{m}^2) \quad (\text{식 II-15})$$

#### (6) 순간여수효율 $rF_i$

$$rF' = U_i \times S / (\Delta FR \times N \times 10^{-3})$$

$$rF' \geq 1 \rightarrow rF_i = 1 \quad (\text{식 II-16})$$

$$rF' < 1 \rightarrow rF_i = rF'$$



(7) 집단유효여수량  $VF$

$$VF = \left( \sum_{i=0}^{372} \Delta FR \cdot rF_i \right) \times \frac{24}{6.2} \times N \times 10^{-3} \quad (\text{m}^3/\text{day}) \quad (\text{식 II-17})$$

(8) 집단여과에너지  $VE$

$$VE = VF \times PP \times 10^{-3} \quad (\text{Mcal}/\text{day}) \quad (\text{식 II-18})$$

(9) 시간  $t$ 에 있어서의 알골중량  $W_t$

$$W_t = W_{\max} (1 - e^{-k(t-t_0)})^3 \quad (\text{g}) \quad (\text{식 II-19})$$

(10) 시간  $t$ 에 있어서의 개체수  $N_t$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-Zt} \quad (\text{식 II-20})$$

(11) 시간  $t$ 에 있어서 1일 증중량  $\Delta W$

$t$ 를 월단위로 하여

$$\Delta W = (W_{t+1} - W_t) / 30 \quad (\text{g}/\text{day}) \quad (\text{식 II-21})$$

(12) 굴 육질의 에너지 함량  $E_k$

$DW < 0.5$  (g)

$$E_k = 4 - DW + 1.2(DW)^2 \quad (\text{김, 1980})$$

$DW \geq 0.5$  (g)

(식 II-22)

$$E_k = 3.375 + DW - 0.314(DW)^2 + 0.0435(DW)^3 \quad (\text{김, 1980})$$

(13) 증육효율  $rG$

$$rG = 0.75 - 0.028 T \quad (\text{김, 1980}) \quad (\text{식 II-23})$$

(14) 시간  $t$ 에 있어서의 1일 먹이에너지 요구량  $EFD$

$$EFD = (\Delta W \times dr \times E_k / rG) \times N_t \times 10^{-3} \quad (\text{Mcal}/\text{day}) \quad (\text{식 II-24})$$

(15) 먹이 공급능력 지수  $CC$

$$CC = \frac{VE}{EFD} \quad (\text{식 II-25})$$

이론식에 사용된 매개변수는 다음과 같다.

$PP$  기초생산력 kcal/m<sup>3</sup>/day

$VF$  집단유효여과수량 m<sup>3</sup>/day

$VE$	집단여과 에너지 kcal/day
$V_x$	각 양식장의 순간최고유속(소조-대조 평균류) m/min
$rF$	여수효율
$FR$	굴개체 여수율 L/day
$DW$	굴연체부 건조육중량 g
$S$	해수유동면적 $m^2$
$L$	연승길이 m
$H$	수하연 길이 m
$H_s$	수하연 간격 m
$Y$	굴 수확량 $g/m^2$ , kg/string
$N$	양식장별 총개체수
$N_o$	수하당시의 개체수
$Nt$	시간 t에서의 총개체수
$W$	알굴 개체중량
$W_t$	시간 t에서의 알굴 개체중량
$k$	성장계수
$W_{max}$	한계체중
$D$	밀도에 의한 성장저감계수
$dr$	알굴 습중량에 대한 건조중량의 비율, 건조율
$rG$	먹이섭취 에너지양에 대한 증중 에너지의 효율
$T$	수온 $^{\circ}C$
$CC$	먹이공급능력 지수
$EFD$	먹이 에너지 요구량
$C$	수하연당 덩어리수
$\bar{n}_c$	덩어리당 평균개체수
$Z$	전사망계수
$E_k$	육질의 에너지 함량

## 2) 매개변수

### (1) 수온

조사정점에서 관측된 월별 수온변화는 Fig. II-9와 같다.

(2) 양식장별 유효여수량

식 VII-2를 사용하여 월별로 수온 및 체중에 다른 개체여수량을 산출하였으며, 이를 그림으로 나타내면 Fig. II-10과 같다. 개체 여수율을 기준으로 식 II-17로서 각 양식장별 1일 유효 여과수량을 구하면 Table II-2와 같았다.

(3) 양식장별 해수유동량

누적유량계를 21개 굴양식장에 설치하였으며, 각 양식장의 굴 시료 채취장소와 같은 곳에서 수하연 사이에 유량계가 위치하도록 간승에 매달았다. 설치하고 만 24시간 후 수거하면서 누적적산값을 읽어서 기록하고, 기록자료는 계측기별로 보정하여, 다음식에 따라 최대유속을 산출하였다.

$$\begin{aligned} \text{24시간 총유동량} & V_{day} \\ \pi \text{ 주기 동안의 해수유동량} & V_{\pi} \end{aligned}$$

$$V_{\pi} = V_{day} \times \frac{6.2}{24}$$

순간 최고유속

$$\begin{aligned} V_x &= \int_0^{\pi} H \cdot \sin x \cdot dx \\ &= 2H \end{aligned}$$

따라서 1분당 최고유속  $V_x$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{V_{\pi} (m)}{2} \times \frac{3.1416 (/ \pi)}{372 (min / \pi)} \\ &= V_{day} \times \frac{6.2}{24} \times \frac{1}{2} \times \frac{3.1416}{372} \quad (\text{식 II-26}) \\ &= V_{day} \times 0.00109 \quad (m / min) \end{aligned}$$

측정은 1996년 7월 23일~24일 소조기와 1996년 7월 31일~8월 1일 대조기에 실시하였으며, 소조기와 대조기의 평균유동량을 취하여 1분당 최고유속을 산출하였다 (Table II-3).

(4) 양식장별 해수유동면적, 초기 개체수, 개체수 감소계수

Table II-4는 각 양식장의 여과면적, 초기 개체수 및 개체감소계수를 나타낸 것이다. 여과면적은 3547양식장이 158,205m<sup>2</sup>로 가장 넓은 면적을 나타내었고, 초기개체수는 5029양식장이 27,479,800개체로 가장 많았다. 한편 초기개체감소계수는 대평포의

입구에 위치한 4565양식장이 0.3466으로 가장 높은 감소계수를 보인 반면, 장구도 동쪽 해역에 위치한 4861양식장이 0.0099로 가장 낮은 감소계수를 나타내었다.

(5) 성장 매개변수

한계체중  $W_{max}$ , 성장계수  $k$  및 체중 0일 때의 이론적 시점  $t_0$ 는 Table II-5에서 보는 바와 같다.

(6) 굴 육질의 에너지 함량  $E_k$

김(1980)의 자료를 사용하였으며, 그 패턴은 Fig. II-11과 같다.

(7) 증육효율  $rG$

김(1980)의 자료를 사용하여 증육효율을 정리하면 Fig. II-12에서 보는 바와 같으며, 수온에 대하여 강한 역상관관계를 나타내었다.

$$rG = 0.75 - 0.028 \cdot T$$

(8) 기초생산력과 에너지 계수

기초생산력은 VI장에서  $mgC/m^3/day$  단위로 표기한 자료를 사용하였고, 탄소의 에너지 등가계수는 Platt(1971)의 15.8 kcal/gC을 사용하였다. 조사해역의 에너지 요구량은 Table II-6에, 섭취량은 Table II-7에 나타내었다.

Table II-2. Daily effectual filtered water volume at each observation farm (Kton/day)

	Farm code	Month									
		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	'97 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	4946	95.7	176.7	113.2	102.0	28.1	12.8	6.7	7.1	10.6	24.0
2	4947	32.7	64.0	40.8	35.7	9.5	4.2	2.1	2.1	3.0	6.5
3	104	94.1	156.2	90.0	73.0	18.1	7.4	3.5	3.3	4.5	9.1
4	4792	164.2	294.3	183.0	160.1	42.8	19.0	9.7	9.9	14.4	31.6
5	4945	194.7	268.4	142.9	136.2	36.1	17.3	7.3	11.1	13.2	36.0
6	5029	709.6	943.2	494.5	468.7	123.9	59.4	25.0	38.2	45.1	122.3
7	4774	715.2	986.2	525.0	500.5	132.5	63.6	26.8	40.9	48.6	132.2
8	4783	689.7	927.4	496.0	482.2	131.2	65.1	28.4	44.8	55.0	155.0
9	4289	68.8	105.2	42.7	39.3	9.5	4.1	2.3	2.1	2.9	7.8
10	4486	190.2	311.1	127.9	116.8	27.7	11.7	6.5	5.9	7.9	20.9
11	5053	348.8	570.5	234.4	214.2	50.9	21.4	12.0	10.8	14.5	38.3
12	4861	405.3	687.7	313.7	310.6	85.5	32.6	23.1	19.2	35.1	109.9
13	3704	364.1	568.4	194.6	178.4	44.6	20.7	9.9	10.2	14.7	36.1
14	4463	170.5	258.7	106.0	94.5	23.4	8.1	5.1	3.9	6.3	17.9
15	4952	150.3	282.2	131.2	128.5	34.6	12.8	8.8	7.1	12.5	38.1
16	3718	93.3	154.2	52.9	39.1	8.7	3.0	1.1	1.0	1.6	4.0
17	3547	473.7	924.8	365.2	307.4	77.4	30.4	12.1	12.9	22.1	62.3
18	4565	55.3	89.3	29.7	20.1	4.0	1.2	0.4	0.3	0.5	1.0
19	4730	62.4	119.9	47.6	40.8	10.5	4.3	1.8	2.0	3.5	10.3
20	4782	52.0	107.2	43.2	36.8	9.3	3.7	1.5	1.6	2.7	7.8
21	4836	312.6	543.2	203.4	202.1	54.5	27.1	14.0	15.5	23.8	62.7

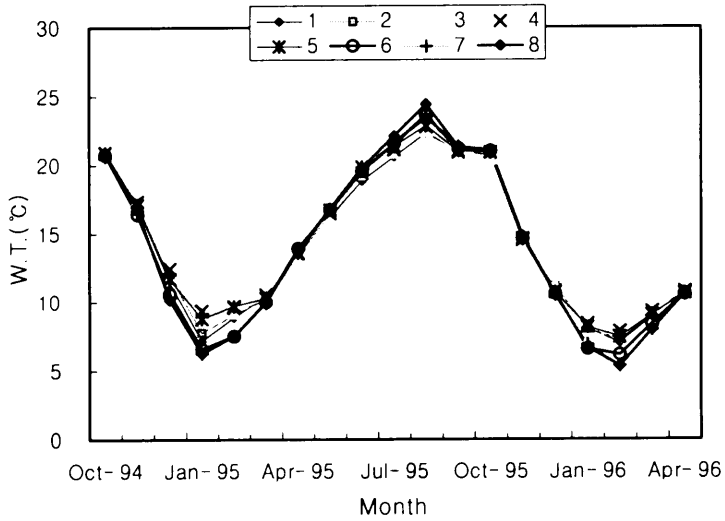


Fig. II-9. Monthly variation of water temperature from Oct. 1994 to Apr. 1996. (#1 indicate Oct. 1994.)

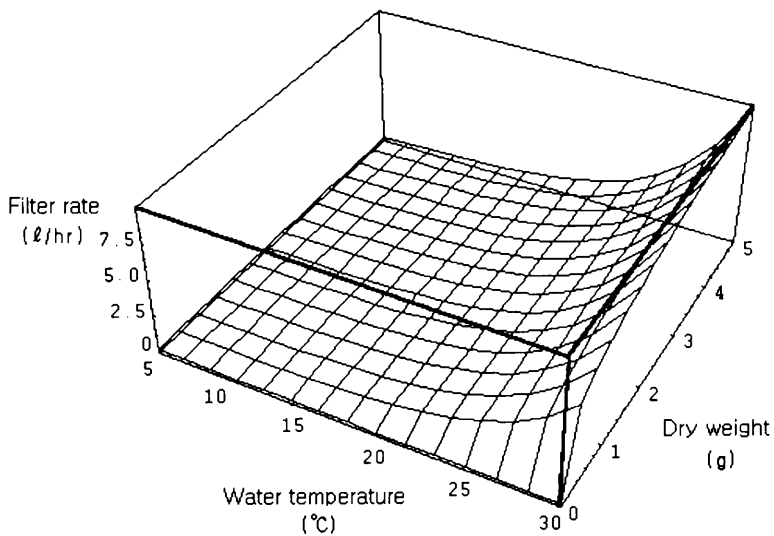


Fig. II-10. Relationship between filtering rate, water temperature and body weight.

Table II-3. Hydrographic and calculated data of observation farms

Order	Farm code	Total flux a day (m/day)		Mean flux (m/day)	Instantaneous maximum current (m/min)
		Neap tide	Spring tide		
1	4946	619.63	2540.49	1580.06	1.72
2	4947	236.50	975.33	605.92	0.66
3	104	860.40	3527.64	2194.02	2.39
4	4792	957.10	2514.69	1735.89	1.89
5	4945	725.67	1669.04	1197.36	1.31
6	5029	9256.32	21289.53	9256.32	10.09
7	4774	3028.43	6475.92	4752.18	5.18
8	4783	468.78	821.59	645.18	0.70
9	4289	83.95	151.11	117.53	0.13
10	4486	413.50	781.17	597.34	0.65
11	5053	609.21	913.81	761.51	0.83
12	4861	297.29	634.46	465.87	0.51
13	3704	260.10	546.21	403.16	0.44
14	4463	309.32	1168.24	738.78	0.81
15	4952	361.49	1445.98	903.74	0.99
16	3718	331.06	1575.87	953.46	1.04
17	3547	145.53	582.12	363.83	0.40
18	4565	225.60	902.40	564.00	0.61
19	4730	81.22	348.12	214.67	0.23
20	4782	183.93	367.85	275.89	0.30
21	4836	381.57	1717.07	1049.32	1.14

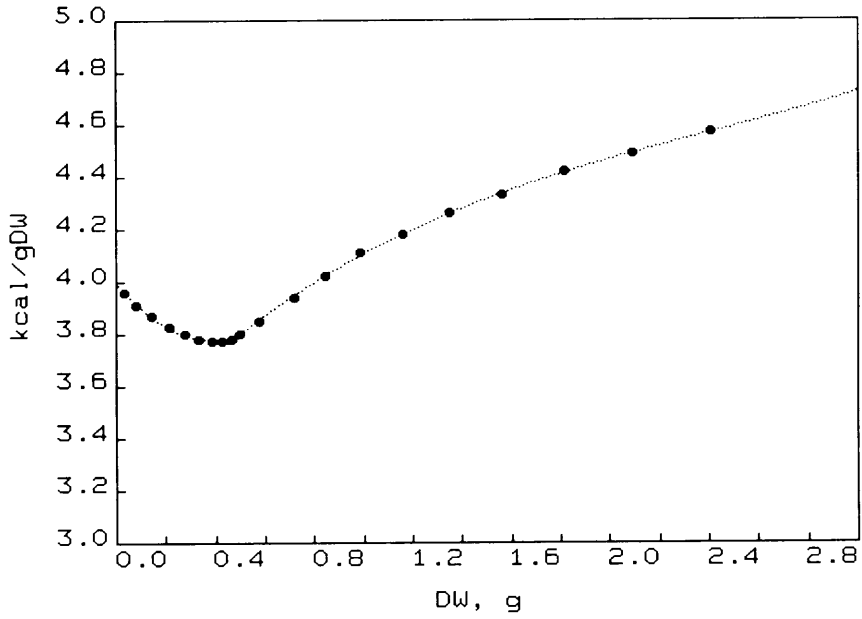


Fig. II-11. Relationship between energy content and meat weight of oyster.

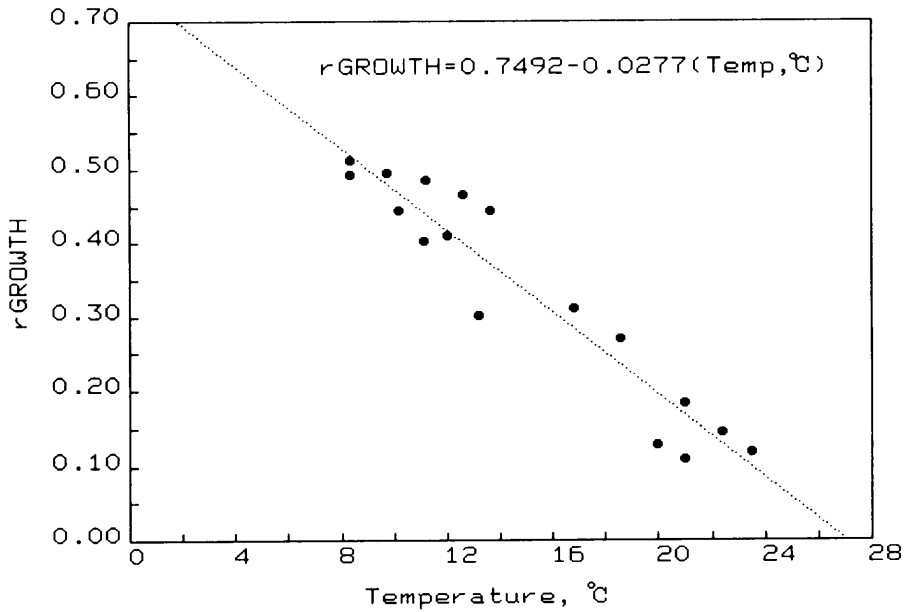


Fig. II-12. Water temperature dependency of oyster's conversion factor.



Table II-4. Filtered area, number of initial individuals, and decrease coefficient of each farm

Order	Farm code	Filtered area (m <sup>2</sup> )	Initial Indiv. × 1000	Decrease coefficient Z
1	4946	31020	5922.0	0.0676
2	4947	23000	2862.2	0.1116
3	104	36300	6468.0	0.1733
4	4792	57500	10465.0	0.0971
5	4945	37000	7104.0	0.0415
6	5029	127160	27479.8	0.0613
7	4774	112500	26100.0	0.0415
8	4783	98010	22809.6	0.0191
9	4289	28500	2736.0	0.1014
10	4486	31350	7600.0	0.1077
11	5053	57000	13933.3	0.1077
12	4861	84000	12600.0	0.0099
13	3704	88275	12358.5	0.0904
14	4463	51000	6346.7	0.1189
15	4952	36750	5635.0	0.0351
16	3718	32300	3876.0	0.231
17	3547	158205	21166.4	0.1226
18	4565	19800	3207.6	0.3466
19	4730	26520	2320.5	0.0673
20	4782	16900	2535.0	0.1034
21	4836	35530	9413.1	0.0179

Table II-5. Growth parameter of each farm

Location	Farm code	$W_{max}$	k	$t_0$
1	4946	9.22	0.2746	-1.31
2	4947	4.57	0.3475	-0.36
3	104	9.22	0.2746	-1.31
4	4792	9.22	0.2746	-1.31
5	4945	4.34	0.3919	-1.96
6	5029	10.14	0.1205	-4.55
7	4774	4.34	0.3919	-1.96
8	4783	10.02	0.1014	-7.6
9	4289	5.29	0.1932	-3.99
10	4486	4.89	0.5345	-0.89
11	5053	4.89	0.5349	-0.89
12	4861	10.00	0.2473	-3.02
13	3704	4.95	0.152	-3.65
14	4463	9.65	0.1823	-3.67
15	4952	8.91	0.4843	-0.49
16	3718	12.04	0.228	-2.35
17	3547	11.05	0.2303	-1.36
18	4565	10.01	0.2818	-0.87
19	4730	4.8	0.3825	-1.9
20	4782	4.8	0.3825	-0.67
21	4836	6.89	0.2602	-2.11

Table II -6. Daily energy demand of farm(Mcal/day)

	Farm code	Month									
		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	4946	759.0	1458.0	865.0	715.0	305.0	189.0	124.0	97.0	82.0	81.0
2	4947	172.0	397.0	226.0	168.0	64.0	35.0	21.0	14.0	11.0	9.0
3	104	746.0	1289.0	688.0	512.0	197.0	110.0	65.0	45.0	34.0	31.0
4	4792	1303.0	2428.0	1400.0	1124.0	466.0	280.0	179.0	135.0	111.0	107.0
5	4945	1167.0	1458.0	529.0	374.0	129.0	69.0	37.0	28.0	19.0	18.0
6	5029	2641.0	4031.0	1883.0	1776.0	834.0	614.0	452.0	463.0	441.0	562.0
7	4774	4286.0	5356.0	1945.0	1376.0	472.0	253.0	135.0	101.0	71.0	66.0
8	4783	2183.0	3266.0	1544.0	1481.0	709.0	537.0	409.0	436.0	434.0	581.0
9	4289	252.0	503.0	135.0	112.0	45.0	28.0	20.0	15.0	13.0	15.0
10	4486	1797.0	3137.0	650.0	384.0	105.0	44.0	21.0	11.0	7.0	5.0
11	5053	3297.0	5753.0	1191.0	703.0	192.0	81.0	38.0	21.0	12.0	9.0
12	4861	3081.0	6909.0	2055.0	1778.0	750.0	455.0	340.0	263.0	247.0	293.0
13	3704	1336.0	4589.0	593.0	497.0	204.0	134.0	91.0	76.0	68.0	76.0
14	4463	944.0	1946.0	555.0	465.0	191.0	113.0	82.0	62.0	57.0	65.0
15	4952	2077.0	5066.0	1351.0	945.0	308.0	142.0	80.0	46.0	33.0	29.0
16	3718	763.0	2647.0	416.0	287.0	103.0	54.0	30.0	21.0	17.0	16.0
17	3547	3387.0	14923.0	2801.0	2299.0	957.0	581.0	366.0	290.0	258.0	285.0
18	4565	444.0	1639.0	252.0	158.0	49.0	22.0	10.0	6.0	4.0	3.0
19	4730	402.0	1322.0	195.0	128.0	43.0	22.0	12.0	8.0	6.0	6.0
20	4782	348.0	1483.0	240.0	163.0	57.0	29.0	15.0	10.0	8.0	7.0
21	4836	2072.0	7862.0	1084.0	953.0	400.0	262.0	178.0	146.0	130.0	142.0

Table II-7. Daily intake energy of farm(Mcal/day)

	Farm code	Month									
		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	4946	5798.0	8517.0	3946.0	2717.0	579.0	124.0	81.0	112.0	201.0	614.0
2	4947	1978.0	3087.0	1423.0	952.0	195.0	40.0	25.0	33.0	57.0	165.0
3	104	5698.0	7529.0	3139.0	1944.0	373.0	72.0	42.0	53.0	85.0	233.0
4	4792	9949.0	14188.0	6383.0	4266.0	883.0	184.0	116.0	157.0	273.0	807.0
5	4945	3387.0	3697.0	1594.0	1634.0	290.0	123.0	54.0	111.0	151.0	710.0
6	5029	12345.0	12990.0	5517.0	5622.0	997.0	424.0	184.0	379.0	515.0	2411.0
7	4774	12442.0	13583.0	5857.0	6003.0	1067.0	454.0	197.0	407.0	554.0	2608.0
8	4783	11998.0	12772.0	5533.0	5784.0	1057.0	464.0	208.0	446.0	628.0	3057.0
9	4289	1372.0	2154.0	742.0	483.0	83.0	29.0	17.0	20.0	24.0	85.0
10	4486	3791.0	6369.0	2220.0	1435.0	244.0	83.0	47.0	54.0	66.0	227.0
11	5053	6951.0	11679.0	4071.0	2631.0	448.0	153.0	85.0	99.0	121.0	417.0
12	4861	4760.0	8821.0	4381.0	4340.0	821.0	253.0	189.0	185.0	291.0	1263.0
13	3704	8478.0	7839.0	4638.0	4046.0	745.0	309.0	159.0	219.0	250.0	966.0
14	4463	2003.0	3318.0	1481.0	1321.0	225.0	62.0	42.0	37.0	53.0	206.0
15	4952	1766.0	3619.0	1833.0	1796.0	332.0	99.0	72.0	68.0	104.0	438.0
16	3718	1989.0	3614.0	945.0	704.0	123.0	30.0	11.0	13.0	17.0	51.0
17	3547	10101.0	21678.0	6527.0	5531.0	1094.0	296.0	124.0	157.0	244.0	804.0
18	4565	1887.0	2624.0	882.0	456.0	68.0	37.0	12.0	13.0	5.0	16.0
19	4730	1330.0	2811.0	851.0	734.0	149.0	42.0	18.0	24.0	39.0	133.0
20	4782	1109.0	2513.0	773.0	661.0	132.0	36.0	15.0	19.0	30.0	101.0
21	4836	7278.0	7492.0	4848.0	4583.0	910.0	406.0	225.0	331.0	405.0	1679.0

## 6. 환경용량

### 1) 생태 유체역학 모델의 개요

연안해역의 수질은 수층에 따라 변화가 심하고, 저층수의 경우 저질의 영향을 받을 수 있다. 그러므로 저질이 수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 해수유동은 다층 모델에 의해 저층 부근의 흐름을 상세하게 표현할 수 있어야 하고, 해역 내에서 질소 및 인의 순환을 거시적으로 표현할 수 있어야 한다. 사용된 모델은 藏本·中田(1991)의 생태유체역학모델로써 Fig II-13과 같이 해수유동을 재현하는 해수유동모델과 수질을 재현하는 생태계모델로 구성된다.

한편 연안 생태계 내의 탄소, 질소 및 인의 흐름과 용존산소와의 관계를 도식적으로 나타내면 Fig. II-14와 같다. 모델은 생태계 내의 물질 흐름을 미분 방정식으로 표현하고 있지만 순환 경로의 하나 하나가 실험이나 관측 사실로부터 유도된 경험에 따르고 있고 구성에 있어서도 유체역학 모델과 같이 물리법칙에 근거한 모델과는 성격이 다르다.

생태계의 구성 요소로서 식물성플랑크톤, 동물성플랑크톤, 현탁태 비생물상 유기물, 용존 유기물의 4개의 요소를 고려하였으며 무기태 요소로서 용존성 무기질소, 수질 요소로서 COD와 용존산소를 고려하였다. 용존산소에 대해서는 대기와의 교환, 내부생산에 따른 증가, 유기물 분해에 따른 소비, 저질에 의한 소비를 고려했다. 이와 같은 과정들을 임의의 지점에서 현존량 C의 시간변화 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\partial B}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x}(uB) - \frac{\partial}{\partial y}(vB) - \frac{\partial}{\partial z}(wB) + \frac{\partial}{\partial x}(Kx \frac{\partial B}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(Ky \frac{\partial B}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(Kz \frac{\partial B}{\partial z}) + (\frac{dB}{dt})$$

여기서  $u, v, w$  : x, y, z 방향의 속도성분(cm/sec)

$Kx, Ky, Kz$  : x, y, z 방향의 와동점성계수( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )

$(\frac{dB}{dt})$  : 생물·화학적 변화항

위 식에서 생물·화학적 변화량  $(\frac{dB}{dt})$ 를 용존산소의 항으로 표현하면

$$\frac{dDO}{dt} = \text{광합성} + \text{재폭기} - (\text{식물성플랑크톤의 호흡} + \text{동물성플랑크톤의 호흡} + \text{POM의 무기화} + \text{DOM의 무기화} + \text{저질에 의한 소비})$$

위 식에 의해 대상 해역의 용존산소 수치가 계산되고 환경용량 산정이 가능하다.

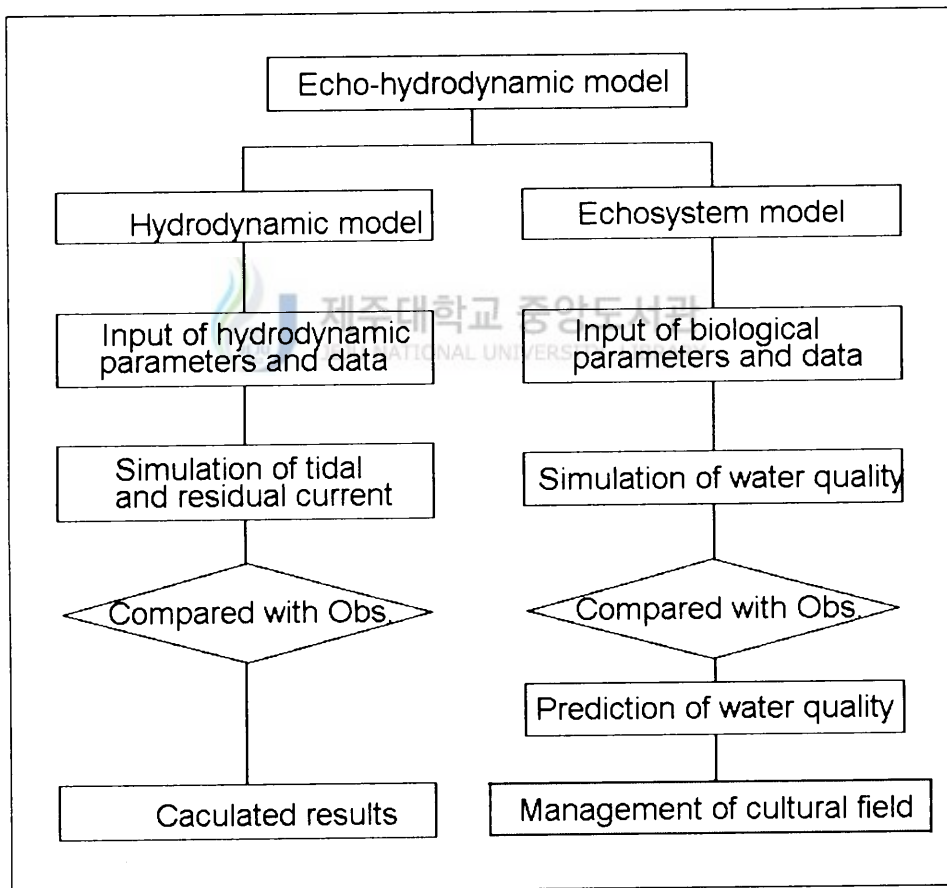


Fig. II-13. Basic model system.

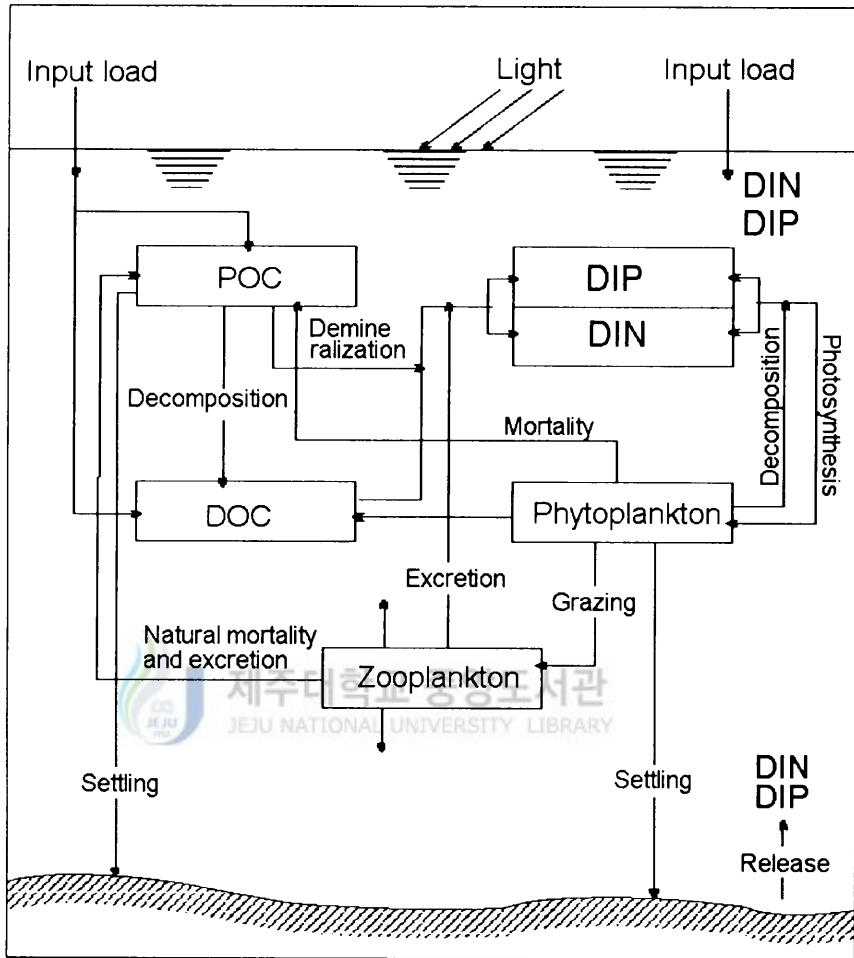


Fig. II-14. A schematic cycle system of nutrient in the coastal waters.

## 2) 대상해역

북만은 통영시 북서쪽에 위치한 좁고 길다란 내만으로 수심은 7m전후로 얇고 만의 외측에서 굴양식이 주로 행하여지고 있다. 유역내 인구는 약 3만명이며(통영시, 1993), 큰 하천이 없으므로 유역내의 오염부하는 소하천을 통한 생활하수가 대부분을 차지한다. 모델의 계산영역은 통영시 산양읍 풍화리 함박도와 광도면 수월리를 잇는 선과 풍화리 방우말과 인평동을 잇는 선을 개 경계로 설정하였다(Fig. II-15).

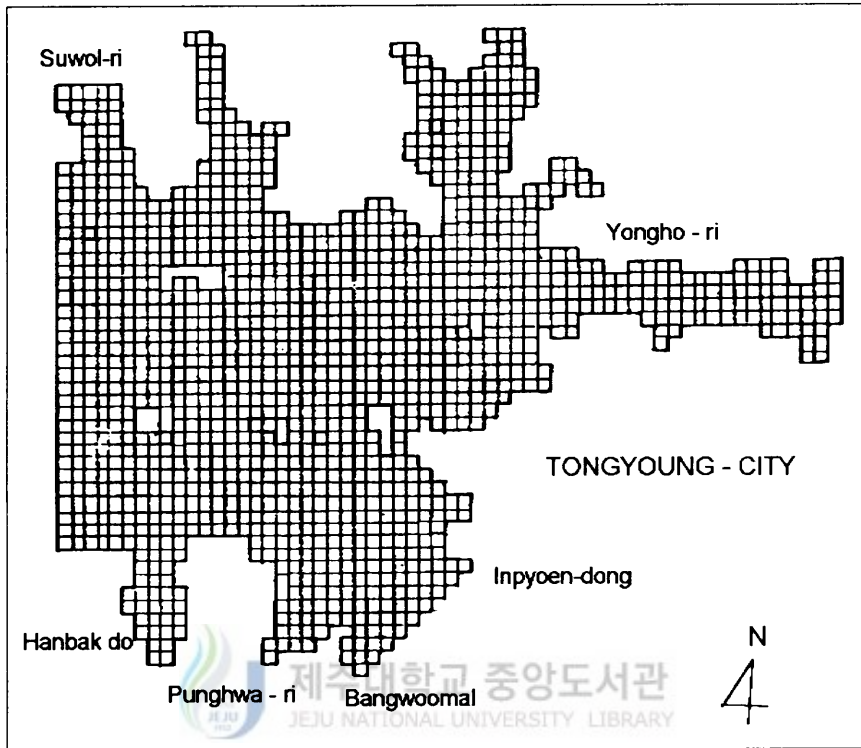


Fig. II-15. Grid system of numerical computation.

### 3) 모델 입력인자 산정

#### (1) 해양환경 조사

모델의 입력자료는 1994년 10월부터 1995년 4월까지의 수질 조사자료를 사용하였고, 수치실험결과와 비교를 위한 여름철 DO 분포는 1994년 8월 26일 Fig. II-16과 같이 9개 조사지점에서 DO meter(YSI사, model 58)로 현장 측정하였다.

#### (2) 오염부하량 조사

북만의 육상기원 오염발생 부하량 산정은 유역내 인구, 가축사육현황, 및 토지이용현황으로부터 배출원별 원단위법으로 오염발생 부하량을 산정하였다(환경청, 1981; 국립환경연구원, 1983).

양식 굴에 의한 자가오염 부하량은 대상해역의 총 양식 개체수를 조사하여 여기에 개체당 배설물 양을 곱하여 산정하였다.



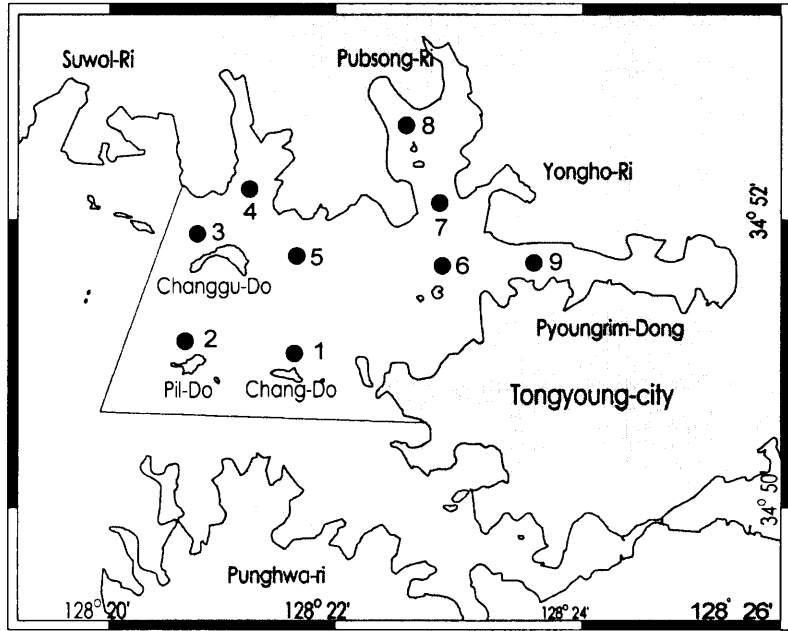


Fig. II-16. Sampling sites for oxygen-deficient watermass.

(3) 생물학적 parameter

생태계 모델의 입력자료 중 초기조건은 실측자료와 기존 측정된 자료를 적용하였고, 모델 parameter는 광범위하므로 대부분은 문헌조사를 통하여 선정하였다.

(4) 해수유동

대상해역의 해수유동은 북만에서 관측된  $M_2$ (평균조) 조를 이용하여 유동장을 재현한 후 생태계 모델의 입력자료로 이용하였다.

(5) 용존산소 재현

해수유동모델로 계산된 잔차류 성분과 생태계 모델의 기본적인 입력자료를 이용하여 북만의 여름철 용존산소 분포를 재현하였다. 계산결과가 실측치와 일치하는지의 여부를 판단하기 위하여 현장에서 관측된 자료와 비교하였다.

(6) 오염부하가 용존산소분포에 미치는 영향예측

북만의 수질에 영향을 미치는 주요 오염부하는 육상기원 오염물질, 양식생물에 의한 자가오염, 저질오염 등을 들 수 있으며, 이들 오염물질의 삭감이 용존산소에 미치는 영향을 수치실험을 통하여 정량적으로 해석하였다.

(7) 환경용량산정

용존산소를 환경용량의 지표로 이용하기 위해서는 적절한 기준이 설정되어야 한다. 柳(1989)에 따르면 용존산소 농도가  $4.3\text{mg}/\ell$  이하에서는 방어가 생리적 장애를 받으며, 정상적인 저서생물 분포에 위협을 초래하는 용존산소 농도는  $3.6\text{mg}/\ell$ , 저서성 패류는  $2.2\text{mg}/\ell$  이하에서 위험한 것으로 보고하였다. 우리 나라의 경우 수산생물의 서식, 양식 및 산란에 적합한 용존산소 농도를  $6\text{mg}/\ell$  이상으로 규정하고 있고, 언급한 수산생물 이외의 수산생물이나 해수욕 등의 해양 관광에 적합한 용존산소 농도를  $5\text{mg}/\ell$  이상으로 정의하고 있으므로 기준 용존산소 농도를  $5\text{mg}/\ell$  이상으로 설정하였다.



### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 연구해역의 개황

##### 1) 지리적 위치

연구 대상해역은 경상남도 통영시의 서쪽에 위치한 북만이며, 수면적은 1,470 ha에 이른다(Fig. Ⅲ-1-1). 만의 서쪽은 동도만, 남쪽으로는 남만에 연결하여 있으며, 북·동쪽은 육지에 둘러싸여 있다. 만 내에는 대평포와 범송포 및 호곡포 등이 있으며, 장구도를 비롯한 9개의 무인도가 있다.

대상해역의 만 중앙부는 수심 7~9m 범위의 비교적 평탄한 해저 지형이고, 필도 동쪽은 수심 10m 이심으로 비교적 깊었다. 특히 함박도 동쪽은 수심 30m 이심으로 매우 가파른 해저 지형이다(Fig. Ⅲ-1-2).

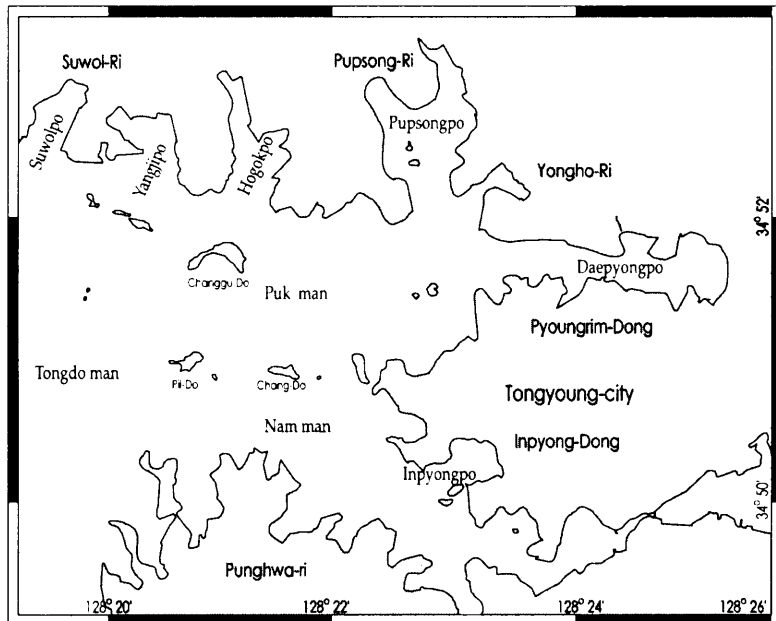


Fig. Ⅲ-1-1. Map showing Pukman Bay area.

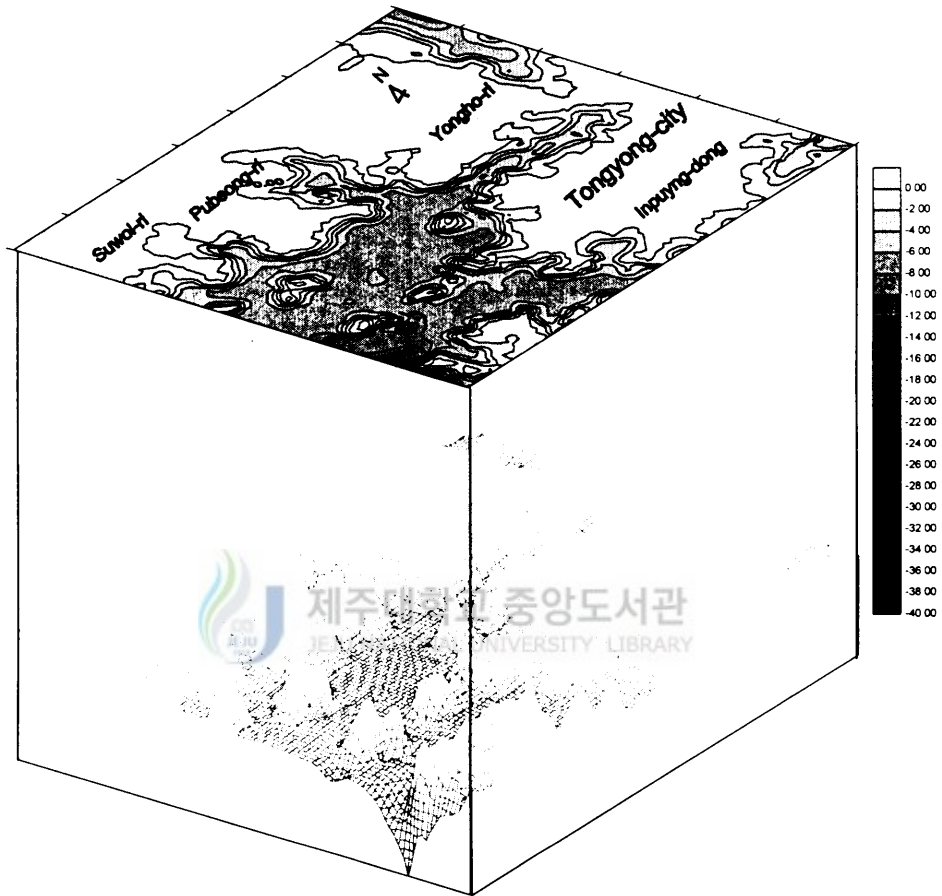


Fig. III-1-2. Topographic distribution in Pukman Bay.

## 2) 기상

### (1) 기온

통영지역은 연중 온화한 해양성 기후로 기온 연교차가 적었다(Table III-1-1). 10년간의 년 평균기온은 14.3 °C 였다. 월별 최고 및 최저 평균기온은 1월이 3.2 °C로 가장 낮았고, 8월이 24.3 °C로 가장 높았다(Korea Meteorological Administration, 1997).

Table III-1-1. Monthly change of air temperatures (°C) from 1987 to 1996

Year	Month												Mean	±S.D
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1987	3.0	5.1	7.6	12.8	17.3	20.6	23.5	24.4	20.8	18.1	11.5	5.5	14.2	7.6
1988	3.6	3.3	6.9	12.9	17.1	20.8	24.0	26.1	22.2	17.6	10.1	5.3	14.2	8.2
1989	5.1	5.6	8.6	14.7	17.7	20.1	24.1	25.6	22.0	16.6	11.0	6.3	14.8	7.4
1990	2.4	6.9	9.5	12.9	17.0	21.2	25.4	27.5	22.8	17.6	13.5	5.7	15.2	8.1
1991	3.0	3.2	7.9	13.1	16.8	21.3	23.9	24.0	22.6	16.7	10.7	6.9	14.2	7.8
1992	4.5	4.5	9.0	13.5	16.9	19.9	24.3	25.4	22.8	16.6	10.6	6.6	14.6	7.6
1993	3.0	5.1	8.0	12.9	17.1	20.6	22.4	23.2	21.5	16.1	11.6	4.8	13.9	7.4
1994	2.8	4.0	7.9	14.0	17.5	20.2	27.3	27.9	22.8	17.4	13.1	6.2	15.0	8.6
1995	4.1	5.1	7.3	9.5	13.2	18.1	25.7	29.4	18.2	13.9	7.5	4.6	13.1	8.4
1996	2.8	2.6	7.0	11.2	17.1	20.3	23.5	26.1	22.3	17.2	10.7	4.9	13.8	8.4
Mean	3.4	4.5	8.0	12.8	16.8	20.3	24.4	26.0	21.8	16.8	11.0	5.7		
±S.D.	0.9	1.3	0.8	1.5	1.3	0.9	1.4	1.9	1.4	1.2	1.7	0.8		

(2) 강수량

통영지역의 연도별, 월별 강수량은 Table III-1-2와 같다. 1987년도부터 1996년까지 연평균 강수량은 1,168.2mm였고, 월별로는 12월이 20.2mm로 가장 적은 비가 내렸으며, 7월이 232.0mm의 최대 강우량을 보였다. 특히 6~8월이 연간 강우의 절반을 차지하여 여름철 강우의 집중 현상이 뚜렷하였다(Table III-1-2).

Table III-1-2. Monthly change of precipitation (mm) for 10 years, from 1987 to 1996

Year	Month												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1987	51.3	38.6	85.6	134.0	100.6	167.1	420.0	322.8	43.7	88.9	33.0	0.0	1485.8
1988	14.7	3.7	81.7	115.1	133.8	188.1	174.1	55.6	63.5	4.3	2.5	7.9	845.0
1989	109.7	103.5	61.8	43.4	23.2	232.4	493.7	171.5	275.6	5.0	99.3	9.3	1628.4
1990	42.8	125.1	84.3	182.1	143.4	207.5	90.7	59.5	234.1	8.3	66.1	1.4	1245.3
1991	38.4	44.2	137.8	69.1	72.5	335.5	421.5	445.4	121.8	0.1	19.5	42.1	1747.9
1992	24.2	60.3	86.1	207.3	157.0	68.5	168.9	264.2	187.0	39.5	19.3	72.1	1354.4
1993	34.8	102.1	81.5	45.1	154.9	190.3	198.1	606.3	64.1	61.8	82.9	41.6	1663.5
1994	32.6	18.6	29.2	87.5	321.5	45.3	70.8	60.4	19.4	71.7	25.0	10.5	792.5
1995	46.1	17.9	79.0	99.5	120.1	115.3	294.5	84.9	55.5	39.6	8.1	0.0	884.0
1996	33.1	15.6	190.1	64.7	30.4	356.6	214.4	145.8	20.4	31.2	63.4	26.8	1192.5
Mean	42.8	53.0	83.5	95.4	114.6	173.7	232.0	202.0	99.3	32.6	39.0	20.2	1168.2
±S.D.	25.8	43.1	43.6	55.8	84.1	101.6	146.5	187.6	92.3	31.3	33.5	24.0	354.0

### 3) 유역 현황

북만에 영향을 미치는 수계를 행정 구역별로 구획한 것은 Fig III-1-3과 같이 4개 구역으로 구성되어 있다. 북만에 크게 영향을 미치는 유역은 A, B구역과 C구역으로 이 유역에는 대평포와 법송포가 해당된다. A, B구역은 통영시에 새로이 조성되고 있는 신도시의 하수의 영향을 많이 받으며, C구역은 통영시 도산면 법송리, 관덕리로서 농지가 많이 조성되어 있는 곳이다. D구역은 통영시 산양읍 풍화리이며 일부의 농지가 있다.

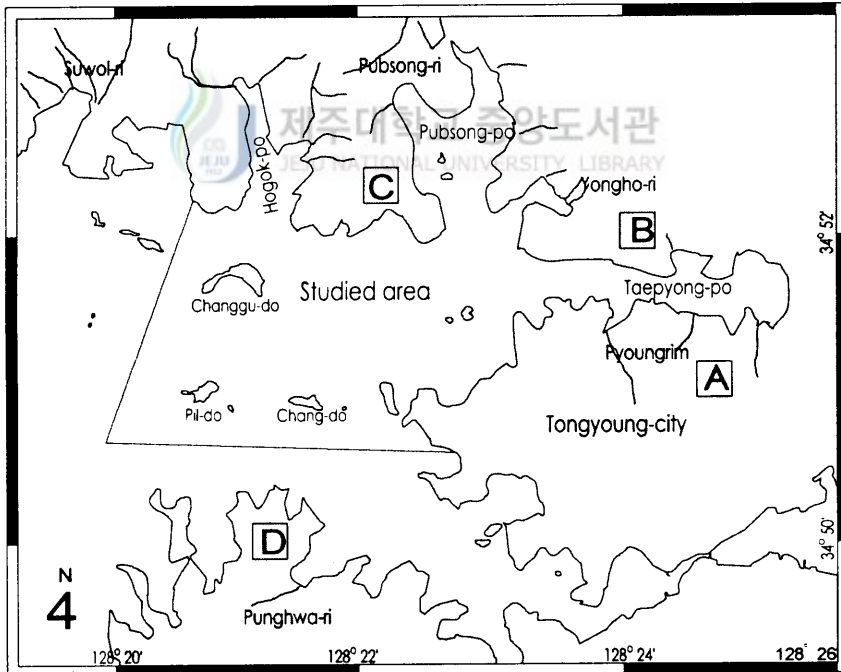


Fig. III-1-3. Map showing four influential areas around Pukman Bay.

#### 4) 굴양식장 현황

북만의 굴양식장 현황은 굴양식장 어업권은 27건, 면허면적은 총 198.63ha이다. 이 중에서 대평포의 5061, 법성포의 4552, 4629, 4888양식장은 굴 대신에 주름미더덕을 양식하고 있었고, 6과 5323양식장은 어장을 쉬고 있었다(Fig. III-1-4, Table III-1-3).

굴양식장의 연승 시설은 면허면적의 규모, 형태, 조류의 방향에 따라 다르며, 연승의 길이도 달라진다. 북만 굴양식장의 연승길이는 최소 100 m에서 최대 270 m까지 다양하였으며, 이 중에서 150~200 m 범위가 가장 많았는데, 이는 연승용 로프 1롤의 길이가 약 200 m로 작업상의 용이성 때문이다.

수하연 간격은 지도 권장 간격인 70 cm를 시설한 양식장은 없고 3547호 양식장만이 60 cm 간격이었으며, 평균 43 cm로 소밀하게 수하되어 있었다. 이는 이 등(1991)이 보고한 전남 가막만의 굴양식장 수하연 간격인 22~25 cm 보다는 넓으나, 국립수산진흥원(1993b)이 보고한 통영해역의 45 cm와는 비슷하였다.

수하연 길이는 4~6 m 범위로, 평균 5.7 m였으며, 수심이 얇은 5053양식장은 4 m였다. 수하연 당 콜렉터 수는 길이 4 m 수하연인 경우 20개, 그 외는 23~30개 범위였다.

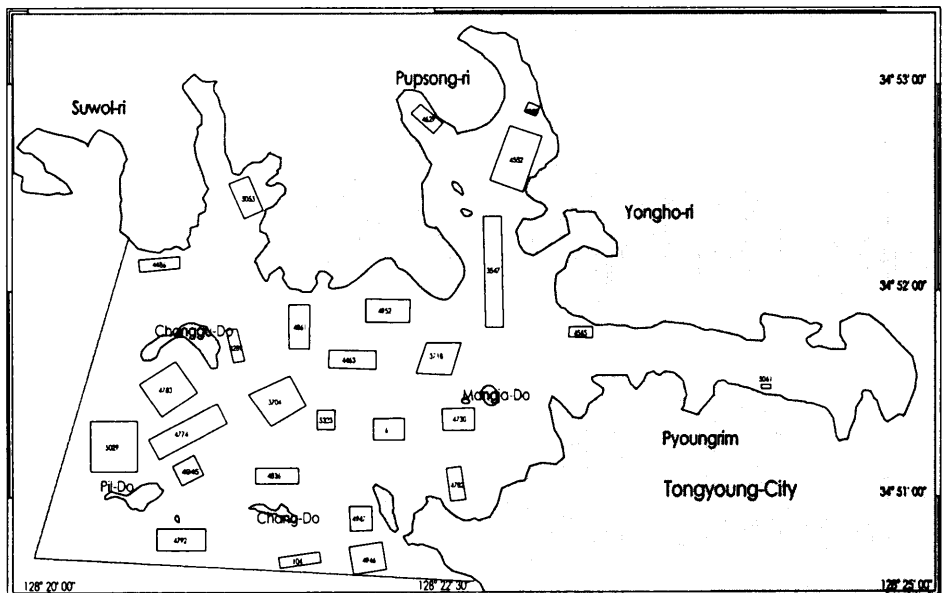


Fig. III-1-4. Map showing the distribution of oyster farms.

Table III-1-3. Culture area and facilities of oyster farm at Pukman Bay in 1995

Farm code	Culture area (ha)	Numbers of string	Length of string (m)	Interval of suspended line(m)	Length of suspended line (m)	Numbers of collector
4946	7.80	98	120	0.40	6.0	30
104	3.70	44	150	0.40	5.5	28
4792	8.40	82	100	0.40	6.0	30
4945	4.40	45	200	0.40	6.0	30
4836	6.30	32	200	0.45	6.0	30
		31	220	0.45	6.0	30
4947	4.80	36	230	0.40	6.2	31
4782	3.80	42	130	0.50	5.0	25
5029	19.30	181	170	0.40	5.6	28
4774	13.60	140	150	0.40	5.8	29
4783	14.00	54	220	0.40	6.0	30
		65	180	0.40	6.0	30
3704	13.50	115	150	0.40	6.0	30
4730	6.00	25	260	0.40	6.0	30
3718	9.60	124	150	0.35	6.0	30
4463	6.70	41	150	0.50	5.6	28
		41	100	0.50	5.6	28
4861	7.79	83	200	0.40	5.4	27
4289	3.00	40	150	0.50	5.4	27
4486	3.50	33	150	0.40	6.0	30
5053	6.40	47	270	0.45	4.0	20
3547	15.00	179	150	0.60	5.6	28
4952	8.84	61	150	0.40	4.6	23
4565	2.00	20	240	0.40	5.2	26
*6	5.06					
*5323	2.88					
**5061	0.40					
**4552	16.80					
**4629	3.92					
**4888	1.14					
Total (Mean)	198.63	1,659	(175)	(0.43)	(5.7)	(28)

\* Rest, \*\* sea squirt (*Styela plicata*) culture farm.



## 2. 해수유동 특성

내만 해역에서 물질의 순환은 매우 복잡하다. 보존성 물질은 해수유동에 주된 영향을 받으나, 비 보존성 물질은 내부생산, 분해, 침강, 용출 등의 생·화학적 요인과 이류·확산 등의 물리적 요인에 좌우된다. 그러므로 오염물질의 확산이나 수질의 예측 및 어장의 수용능력의 산정을 위해서는 해수유동의 파악이 필수적이다. 그러나 현장관측을 통하여 전 어장의 해수유동을 파악하는 일은 현실적으로 제약이 많으므로 수치모형실험에 의해 해수유동을 이해하려고 하는 노력이 많이 시도되고 있다. 해수유동에 의한 오염물질의 확산은 초기에는 조류와 수평·연직점성력 및 난류확산에 의해 분포하고, 이후 조석의 왕복운동에 의해 이동하지만 장기적으로는 조석간차류, 밀도류, 취송류 등과 같은 성분에 의해서 이동한다(Yanagi, 1974).

해수유동 모델은 최근까지 오염물질의 이류확산을 예측하기 위해 2차원 수치모델이 많이 이용되어 왔으나 취송류, 밀도류 및 성층이 존재할 경우 적용이 어려우며(해양연구소, 1983), 표·중·저층의 흐름의 특성이 서로 다를 경우 정확한 농도를 재현하기 곤란하다. 따라서 해양에서 오염물질의 예측을 위해서는 해수유동의 3차원적 취급이 필요하다.

### 1) 현장관측

현장관측에 의한 대조시의 평균 조류도와 성분별 조류타원도에서 횡축은 동서방향이고 종축은 남북방향이며, 각 좌표의 단위는 유속(cm/sec)이다. 그리고 각 점의 시각별 유향, 유속에서 시각은 10월 21일 15시를 0시로 하여 태음시로 환산하였다.

직독식 유속계로 관측지점에서 측정한 결과는 Fig. III-2-1과 같고, 관측지점 B의 경우 각 수층 별 측정자료를 이용하여 평균조류를 환산하였다.

관측지점 A에서의 조류는 비교적 약한 시계방향의 환류를 형성하였다. 반일주조 성분의 조류는 주축이 북동과 남서방향이며 최대유속은 약 4 cm/sec 였다. 일주조 성분은 주축이 북서와 남동방향이며 유속은 반일주조 성분과 유사하였다. 항류는 동향이고 유속은 0.5 cm/sec 로 미약하였다.

관측지점 B의 2 m 층에서의 조류는 시계방향과 반시계방향의 복합된 환류로 남향 성분이 비교적 강하다. 반일주조 성분의 주축은 북동과 남서 방향으로 최대 약 4 cm/sec이었으며, 일주조 성분은 북북서와 남남동으로 약 5 cm/sec, 항류 성분은 약 1

cm/sec의 남동류이었다. 관측지점 B의 4 m 층에서의 조류는 2m층과 유사하게 시계 방향과 반시계방향의 복합된 환류였지만, 남향과 동향성분이 비교적 강하였다. 반일주조 성분의 주축은 북동과 남서 방향으로 최대 약 8 cm/sec였으며, 일주조 성분은 북서와 남동으로 약 4 cm/sec, 항류 성분은 약 2 cm/sec의 남동류였다. 관측지점 B의 6 m 층에서 흐름이 미약하였으나, 8 m 층에서는 반시계방향의 환류로 동향 및 남동향의 흐름이 강하였다. 반일주조 성분의 주축은 동쪽과 서쪽방향으로 최대 약 6 cm/sec의 흐름을 보이며, 일주조 성분은 북쪽과 남쪽으로 약 3 cm/sec, 항류 성분은 약 2 cm/sec의 남동류였다. 이들 4층의 평균으로 반일주조 성분은 북동과 남서 방향의 약 3 cm/sec, 일주조 성분은 북서와 남동 방향의 2 cm/sec의 흐름였다. 항류 성분은 약 0.5 cm/sec의 동류였다.

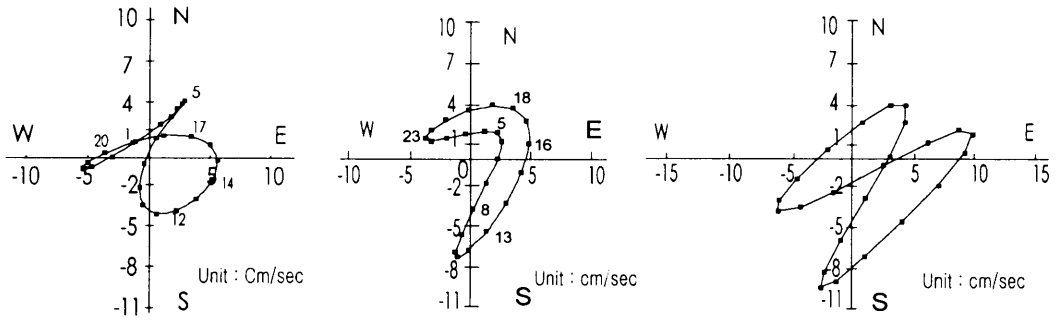
관측지점 B의 4 m층과 8 m층의 조류는 비교적 강한 반면 6 m층의 흐름이 상당히 약하였고, 10 m 정도인 곳에서 상·하층 사이에 흐름의 뚜렷한 경계층이 형성되어 있었다. 조사시 다른 관측지점에서는 단일 층의 측류만 하였으므로 같은 현상이 나타나는 다른 곳이 있는지 확인할 수는 없지만, 10 m 정도의 천해에서 상·하층 사이에 흐름의 뚜렷한 경계 현상이 나타나는 이유는 분명하지 않다.

관측지점 C에서의 조류는 반시계방향의 비교적 강한 환류로 주로 북동과 남서류였다. 반일주조 성분은 북동과 남서쪽 방향으로 약 4 cm/sec, 일주조 성분도 북동과 남서쪽으로 6 cm/sec의 속도로 흘렀다. 항류 성분은 약 1.5 cm/sec의 북동류였다.

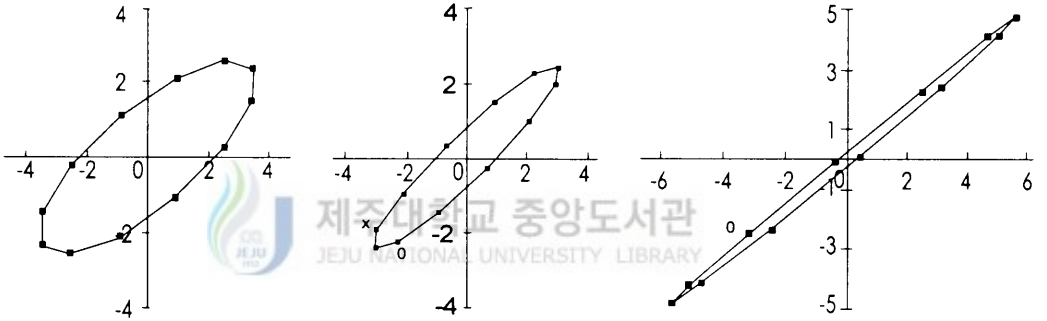
관측지점 D 에서의 조류는 시계방향과 반시계방향이 반복되는 환류이다. 반일주조 성분은 동쪽과 서쪽방향으로 7 cm/sec의 흐름을 보이며, 일주조 성분은 북쪽과 남쪽으로 약 4 cm/sec, 항류 성분은 약 0.5 cm/sec의 남서류이었다.

관측지점 E 에서의 조류는 반일주조 성분은 북동쪽과 남서쪽 방향으로 약 5 cm/sec, 일주조 성분은 미약하였고, 항류 성분은 약 3 cm/sec의 북서류였다.

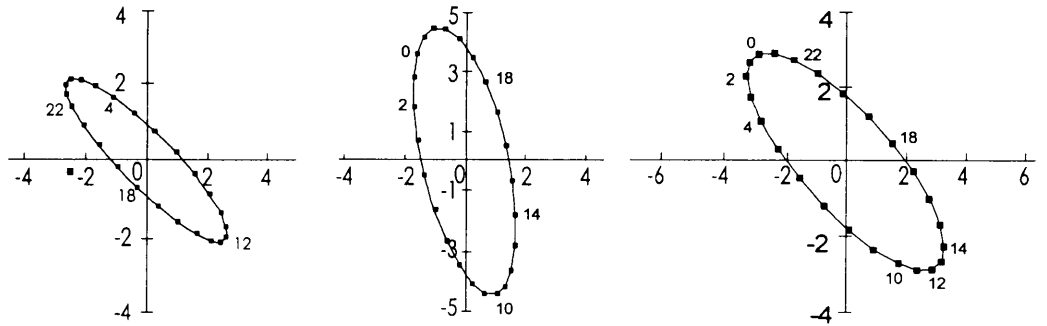
평균적으로 북만의 조류는 북동과 남서향이 지배적이고 유속은 5 cm/sec 전후이고 항류는 1 cm/sec 미만이다.



Tidal current ellipse



Semidiurnal tide



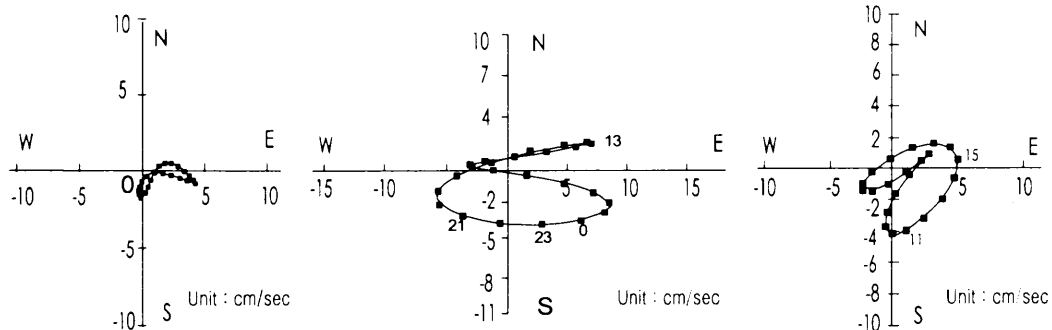
Diurnal tide

Station A

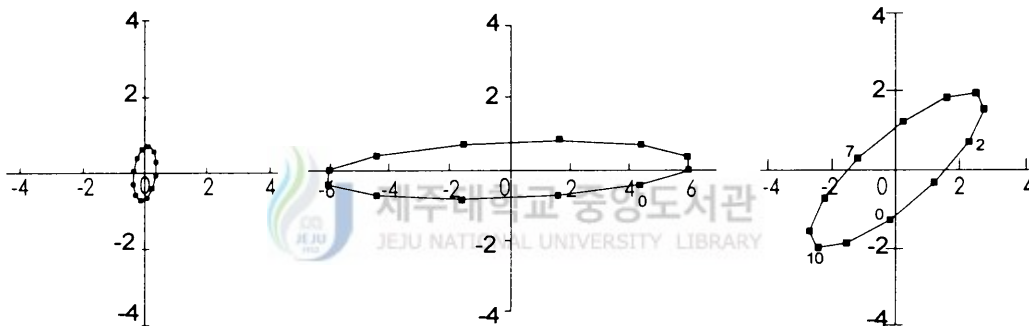
Station B(2m)

Station B(4m)

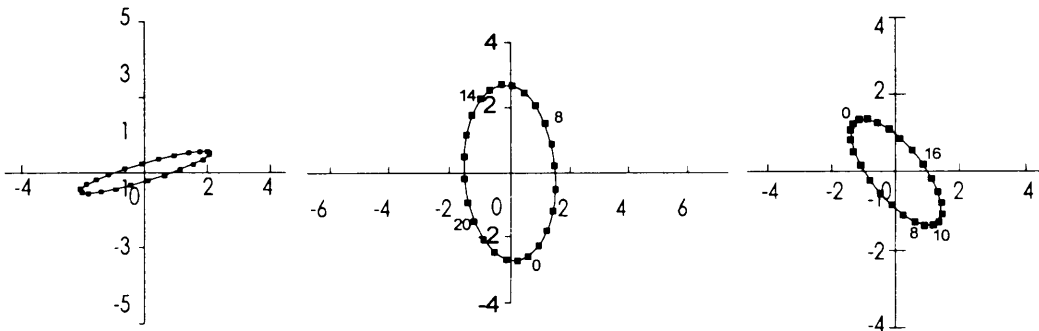
Fig. III-2-1. The tidal current ellipses at each station.



Tidal current ellipse



Semidiurnal tide



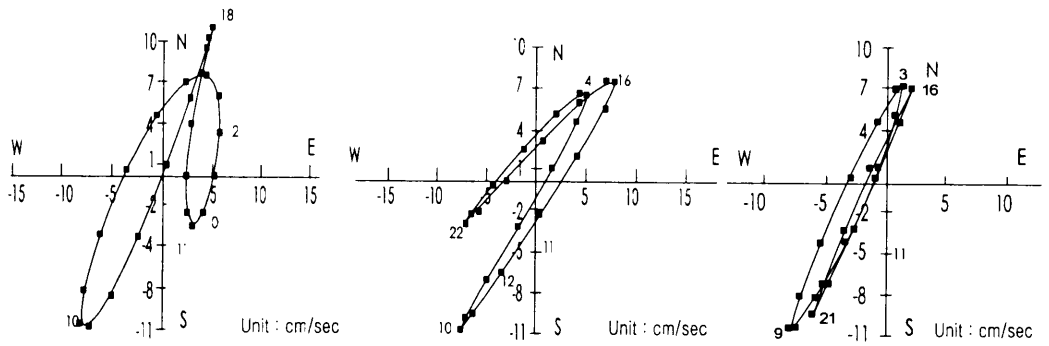
Diurnal tide

Station B(6m)

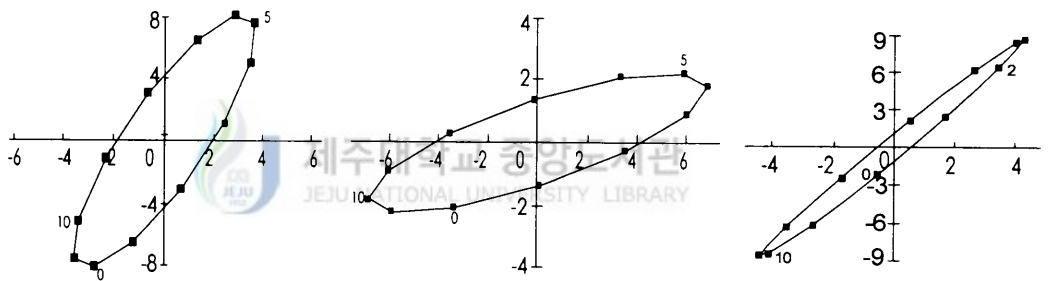
Station B(8m)

Station B(Mean)

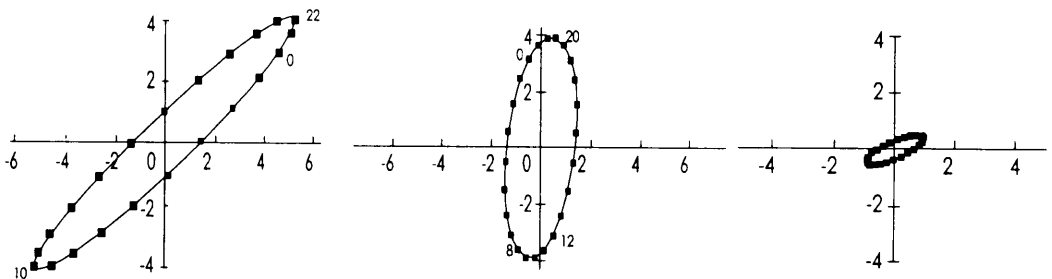
Fig. III-2-1. Continued.



Tidal current ellipse



Semidiurnal tide



Diurnal tide

Station C

Station D

Station E

Fig. III-2-1. Continued

## 2) 수치모형실험

### (1) 조류의 특성

Table II-1에 나타난 계산조건을 이용하여 북만의 유동장을 재현하였다. 조위의 패턴으로 수치적 안정성을 확인한 후 마지막 1 조석에 대한 성분을 취하였으며 그 결과를 2시간 간격으로 Fig. III-2-2~Fig. III-2-7에 각각 나타내었다.

창조시(4태음시) Level 1에서 흐름은 Fig. III-2-2의 우측 외양 경계인 남만 협수로를 따라 유입되며 주 수로를 따라 북서진 하다가 주류는 장도와 필도 사이를 지나 사랑도 방향으로 진행하는 것과 필도 외측을 지나 사랑도 방향으로 진행하는 것으로 나누어진다. 그리고 일부는 장도와 항도 사이를 통과하여 곧바로 북진하다가 장구도 뒤편으로 유입하여 복잡한 형태를 보여주고 있는데, 이 북진하는 흐름에 의해 북만의 내측과 외측이 뚜렷이 구분되는 것이 특징적이었다.

Level 1에서 최대 유속은 약 40~50 cm/sec로 남만의 외양 경계 부근에서 발생하며 필도 부근에서는 20 cm/sec 전후, 범송포와 북만 내측에서는 6 cm/sec 전후의 유속이었다.

Level 2는 Level 1과 유향은 비슷한 경향이었고, 유속은 남만과 필도 등 대부분 해역에서 Level 1에 비하여 감소하였으나 범송포와 북만 내측의 경우 오히려 level 1에 비해 강하게 나타나는 것이 특징이었다(Fig. III-2-2).

6 태음시의 유향은 Fig. III-2-4에서와 같이 전체적인 경향은 4 태음시와 유사하나 장도와 항도 사이를 북진하여 장구도 뒤편으로 향하던 흐름이 대부분 범송포와 북만으로 향했으며, 유속은 4 태음시의 경우와 마찬가지로 범송포와 북만 내측 해역에서 Level 1에 비하여 Level 2의 경우가 더 컸었는데, 이와 같은 현상은 현장관측의 조사 결과와도 유사하였다.

낙조시(10 태음시)의 흐름은 최초 장구도와 필도 부근 해역에서부터 남서진 하여 남만의 협수로로 합쳐져 유출되며 Fig. III-2-6에서와 같이, 시간이 경과함에 따라(12 태음시) 범송포와 북만 내측의 흐름도 장도와 항도 사이를 통해 남만으로 유출되었다(Fig. III-2-7).

Level 1에서 최대 유속은 40 cm 전후로 창조시의 유속에 비해 약했고, Level 2에서는 유속이 뚜렷이 감소하는 경향이였다. 해수유동 시뮬레이션 결과의 타당성을 검토하기 위해 조류 관측지점에서 실측한 조류타원도와 계산된 결과를 비교하였다. 북만의 관측지점 B와 관측지점 C의 관측지점에서 계산된 조류타원도를 Fig. III-2-8에 나타내었다. 관측지점 B의 Level 1에서의 계산결과를 4m 층에서 실측치와 비교한 최대

창·낙조류의 유향은 거의 동일하였으며 유속의 계산치는 2배정도 차이가 났으며, 관측지점 C에서의 유속은 계산치가 관측치보다 조금 컸다. 따라서 계산치와 관측치는 국부적으로 유속의 차이가 나타날 경우도 있으나 비교적 재현성이 높았다.

## (2) 잔차류의 특성

각 Level 별 잔차류 계산 결과는 Fig. III-2-9와 같다. Level 1에서 잔차류의 유향은 남만의 개 경계에서 협수로를 따라 북서진 하다가 필도와 장도 사이, 필도 외측을 통하여 대부분 사랑도 방향으로 이동하는 흐름이 주류를 형성한다. 또 한 흐름은 장도와 항도 사이를 통과해서 북진하여 장구도 뒤편으로 향하는데 이것에 의해 북만 내측과 외측이 뚜렷이 구분된다. 북만 내측의 망자도 뒤편에서 시계방향의 환류가 형성되며 범송포와 북만 내측에서는 만 입구방향으로 미세한 흐름이 발생하였다.

Level 2에서는 Level 1과는 다르게 남만 수로부근에서 북서진하는 형태의 흐름은 없어지고 장도, 필도, 장구도 사이에서 시계방향의 환류가 형성되며 장도와 항도 사이를 북진하던 흐름도 약해졌다. 또한 범송포와 북만 내측은 만의 외측에서 내측으로 향하는 흐름이 형성되었다. 유속의 크기는 Level 1의 경우 남만 개 경계 부근에서 10 cm 전후의 유속을 보이며 필도와 장도부근 해역은 5cm 전후, 범송포와 북만 내측은 약 3 cm 이하의 유속을 보였다. Level 2는 대부분의 지역에서 유속이 감소하였으나 범송포와 북만 내측에서는 오히려 강한 흐름이 나타났다.

이와 같은 북만의 잔차류를 종합하면, 북만 내측의 오염물질은 만의 외측으로 이동하면서 저층으로 침강하면 만의 내측으로 흐르는 저층 잔차류에 의해 다시 내측으로 이동할 가능성이 높고 또 장도와 항도 사이의 북진하는 잔차류 성분에 의해 만의 외측으로 쉽게 확산되지 않는 특성을 지니고 있다고 추정된다.

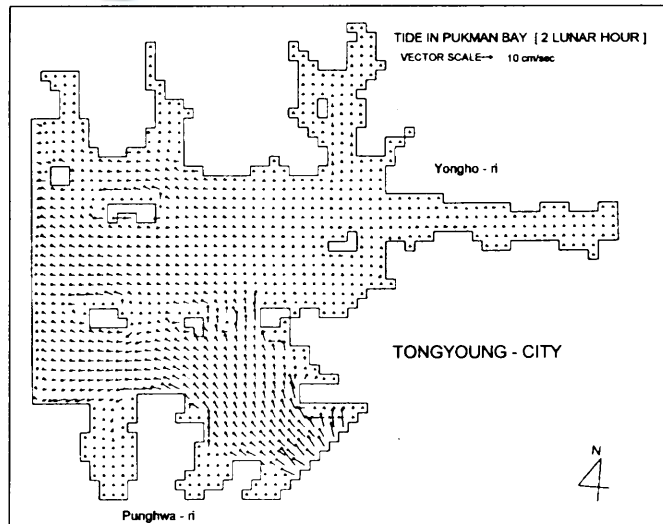
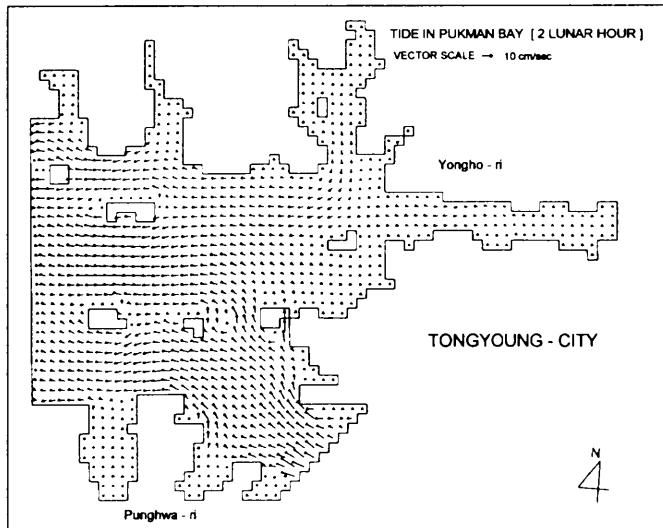


Fig. III-2-2. The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during flood flow (2 lunar hour).



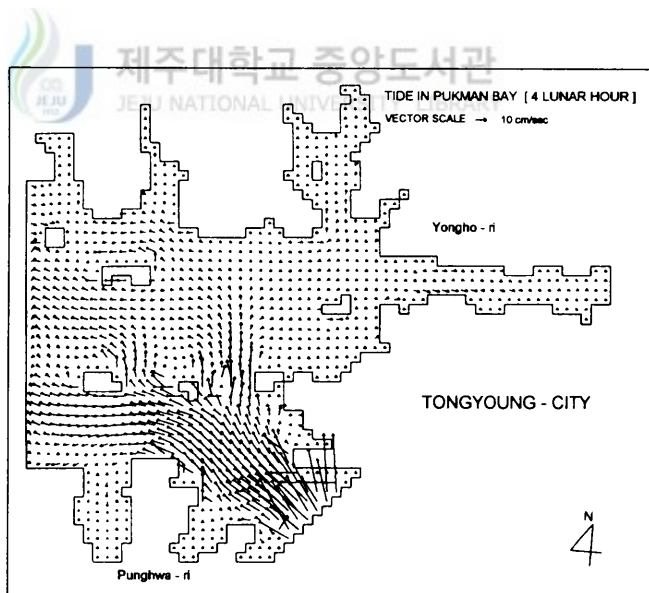
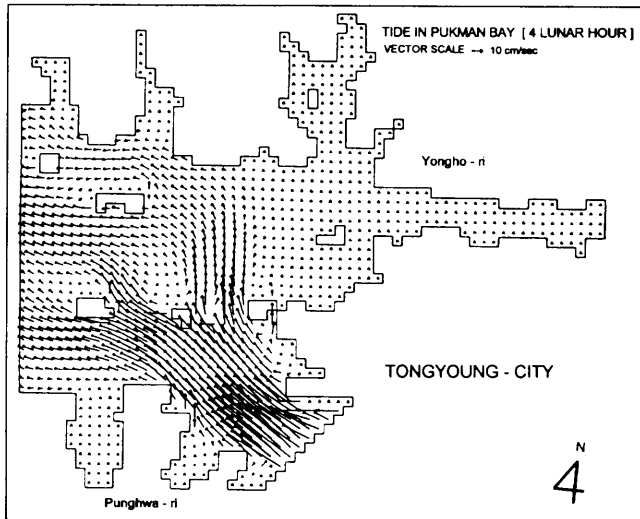


Fig. III-2-3. The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during flood flow (4 lunar hour).

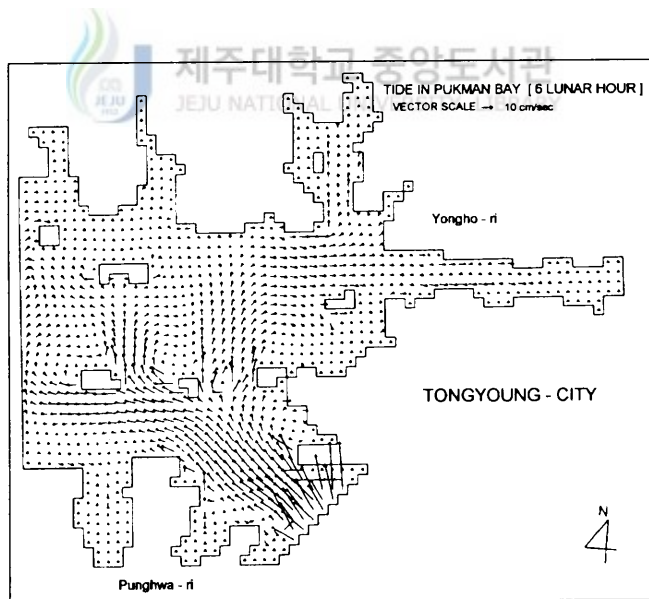
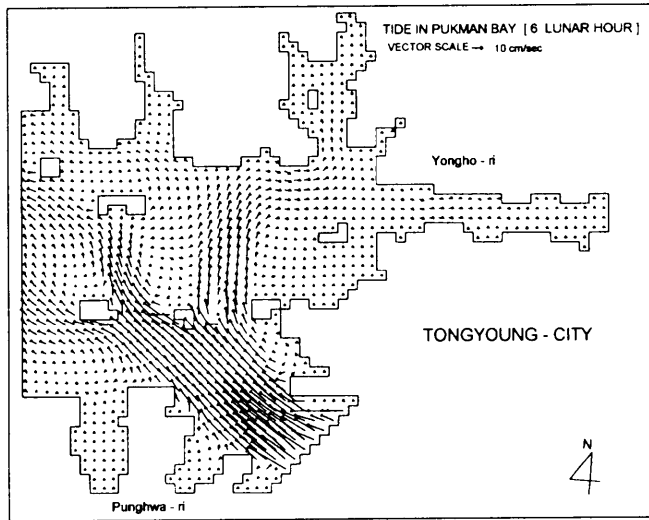


Fig. III-2-4. The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during flood flow (6 lunar hour).

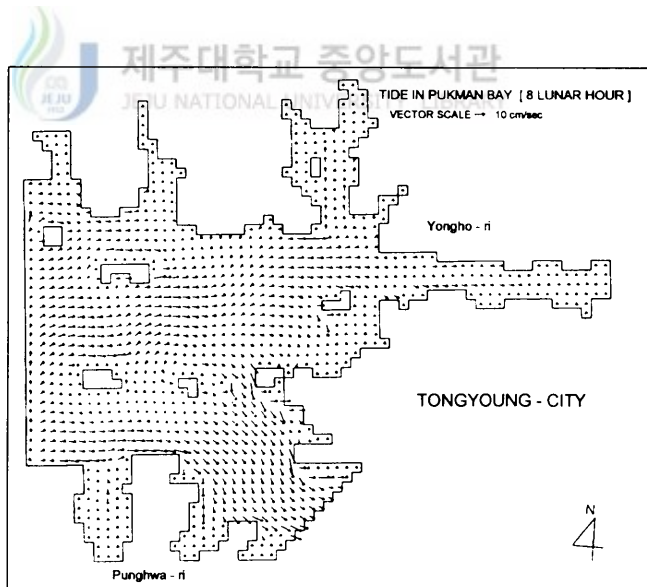
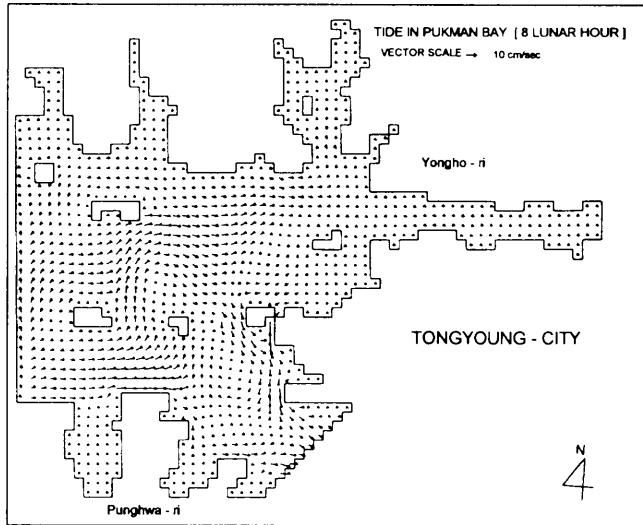


Fig. III-2-5. The computed velocity field at level 1(upper) and level 2(lower) during ebb flow (8 lunar hour).

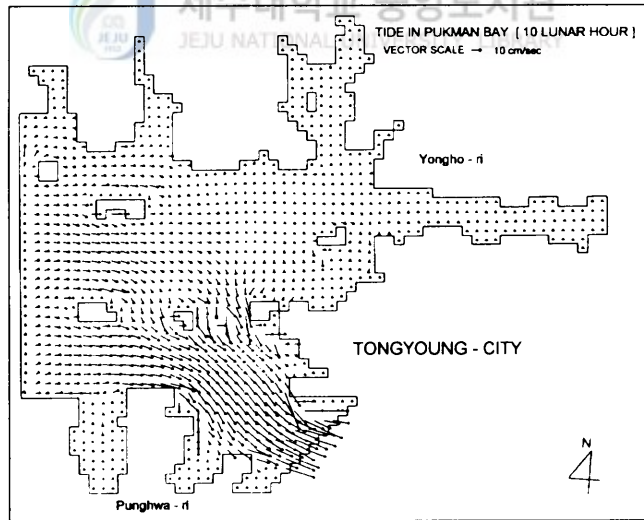
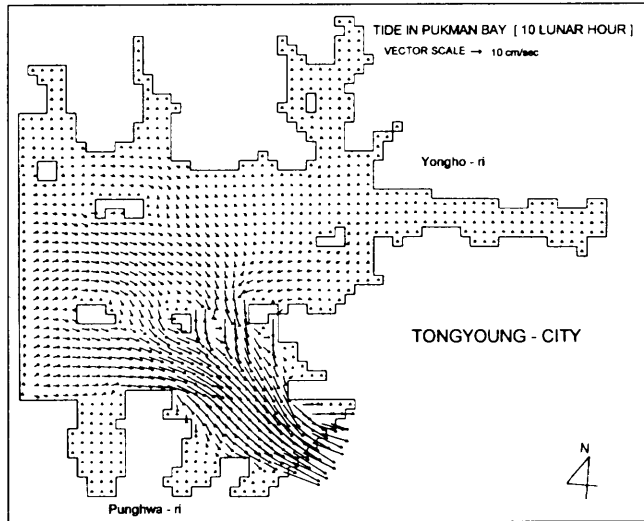


Fig. III-2-6. The computed velocity field at level 1 (upper) and level 2(lower) during ebb flow (10 lunar hour).

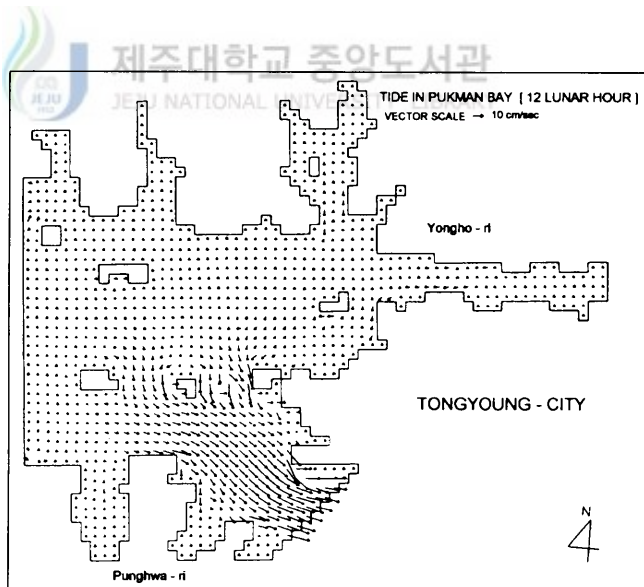
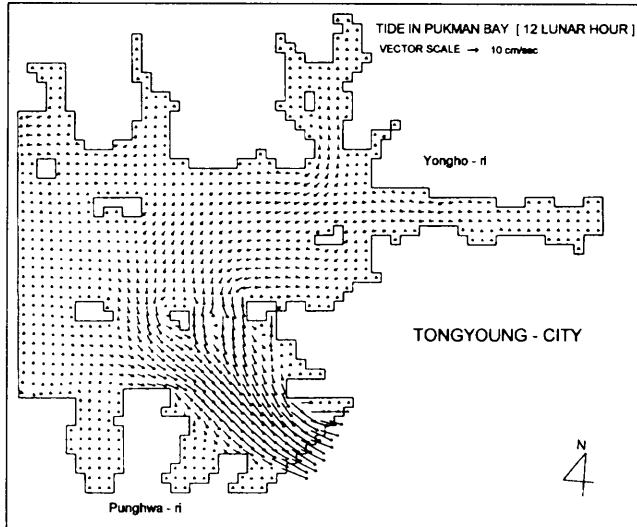
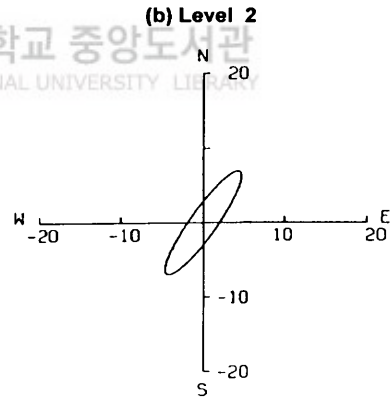
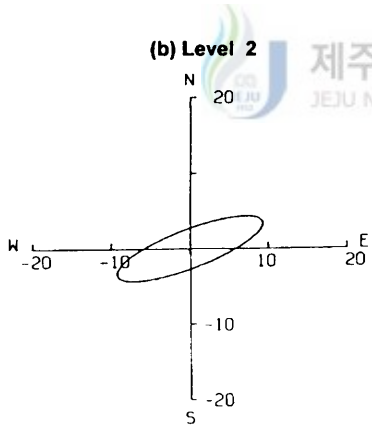
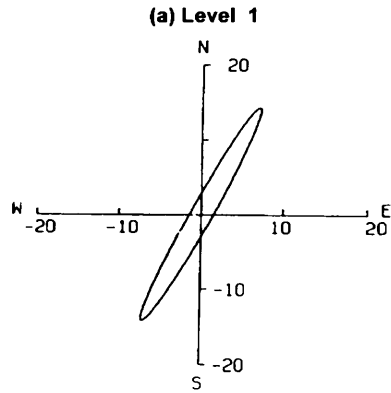
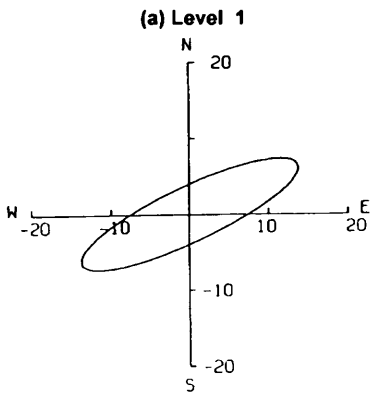


Fig. III-2-7. The computed velocity field at level 1 (upper) and level 2(lower) during ebb flow (12 lunar hour).



Station B

Station C

Fig III-2-8. The computed tidal current ellipses at station B.

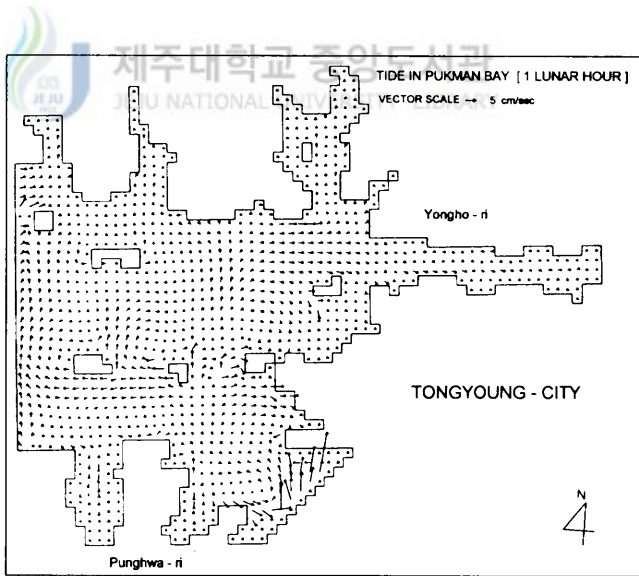
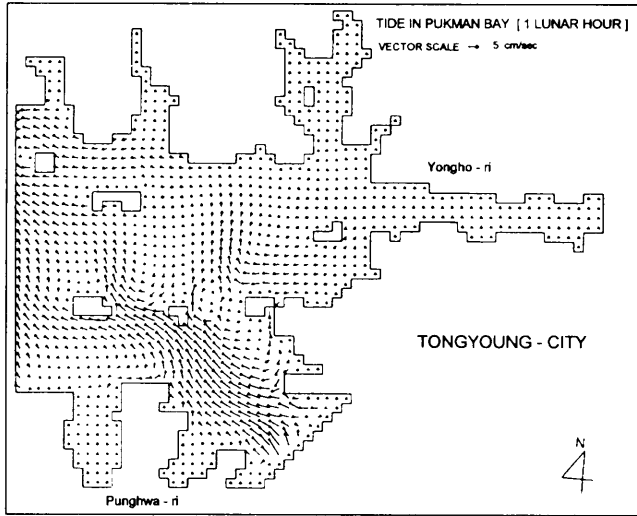


Fig. III-2-9. Residual current computed by mean tide at level 1(upper) and level 2(lower).

### 3) 요약

북만의 해수유동은 창조시 주류는 장도와 필도 사이를 지나 사랑도 방향으로 진행하는 것과 필도 외측을 지나 사랑도 방향으로 진행하는 것으로 나누어지고 일부는 장도와 향도 사이를 통과하여 곧바로 북진하다가 장구도 뒤편으로 유입하며 북만의 내측과 외측이 뚜렷이 구분되는 것이 특징적이었다(4 태음시). 그러나 6태음시는 장도와 향도 사이를 북진하여 장구도 뒤편으로 향하던 흐름이 대부분 법송포와 북만으로 향했다. 유속은 법송포와 북만 내측 해역에서 Level 1에 비하여 Level 2의 경우가 더 큰 값을 보였다.

낙조시(10 태음시)의 흐름은 최초 장구도와 필도 부근 해역에서부터 남서진하여 남만의 협수로에서 합쳐져 유출되었고, 시간이 경과함에 따라(12 태음시) 법송포와 북만 내측의 흐름도 장도와 향도 사이를 통해 남만으로 유출되었다. Level 1에서 최대 유속은 40 cm 전후로 창조시의 유속에 비해 약했고, Level 2에서는 유속이 뚜렷이 감소하는 것을 추정할 수 있었다.

북만의 잔차류 특성은 Level 1에서 장도와 향도 사이를 통과해서 북진하여 장구도 뒤편으로 향하는 수류에 의해 만 내측과 외측이 뚜렷이 구분되는 것이 특징적이었고, 북만 내측의 망자도 뒤편에서 시계방향의 환류가 형성되며 법송포와 북만 내측에서는 만 입구방향으로 미세한 흐름이 발생하였다. Level 2에서는 남만 수로부근에서 북서진하는 형태의 흐름은 없어지고 장도, 필도, 장구도 사이에서 시계방향의 환류가 형성되며 장도와 향도사이를 북진하던 흐름도 약해졌다. 또한 법송포와 북만 내측은 만의 외측에서 내측으로 향하는 흐름이 형성되었다. 유속의 크기는 만 내측으로 향할수록 낮아졌지만 법송포와 북만 내측에서는 오히려 강한 흐름이 나타났다.

이와 같은 북만의 잔차류 특성으로 볼 때, 북만 내측의 오염물질은 만의 외측으로 이동하면서 저층으로 침강하면 만의 내측으로 흐르는 저층 잔차류에 의해 다시 내측으로 이동할 가능성이 높고 또 장도와 향도 사이의 북진하는 잔차류 성분에 의해 만 외측으로 쉽게 확산되지 않는 특성을 지니고 있다.



### 3. 해양 수질 및 저질의 이화학적 특성

굴은 고착성 생물이면서 식물플랑크톤을 주 먹이로 하는 여과섭식성 이매패류로서 영양염류가 풍부한 내만에 주로 서식한다. 그러나 양식이 집중적으로 행하여지고 있는 연안 지역은 도시, 공장 등이 많이 형성되고 있어 생활하수, 산업폐수, 비점원 오염물질 등이 대량 유입되는 곳으로 부영양화 현상이 현저하다(박, 1975)

육지로부터 유입되는 영양염류는 일차적으로는 해역의 기초생산력을 높이지만, 과도한 유입은 해역의 수질환경을 악화시켜 적조가 발생하고, 여름철에는 저산소수괴가 형성된다. 또한 저질이 환원환경으로 되어 저질 중의 각종 염류들이 대량 용출되어 수질을 더욱 악화시키는 현상이 일어난다. 이러한 수질 및 저질환경의 악화는 양식생물의 성장장애와 대량폐사를 일으키고 결국 단위면적당 생산량을 감소시키는 주요인으로 작용하고 있다(風出田, 1988). 또한 오염된 해역에서 생산된 패류는 이를 식용으로 하는 사람에게까지 영향을 줄 수 있으므로 위생적으로도 대단히 중요하다(Jensen, 1996; Sherwood, 1952).

우리 나라 굴양식장의 수질 및 저질환경에 관한 보고는 다수가 있다(조·김, 1977; Cho and Kim, 1978 ; Cho, 1980; Yoo *et al.*, 1980; Lee, 1993; Choi *et al.*, 1997). 그러나 북만에 관한 연구는 만 내측의 대평포에 관한 세균학적인 연구(최 등, 1995)와 자정능력에 관한 보고(최 등, 1991)가 있을 뿐이다.

#### 1) 수질

실험기간 중 북만의 해수 수온, 염분, pH, DO, COD, 영양염류의 월별 측정결과의 개요는 Table III-3-1과 같다(Appendix 3-1~3-10).

수온은 표층이 6.9~25.3℃(평균 14.6℃), 저층에서 6.7~21.1℃(평균 13.9℃)였고, pH는 표층이 7.92~8.27(평균 8.13), 저층이 7.98~8.48(평균 8.15)이었다. 염분농도는 표층이 31.51~34.52‰(평균 33.52‰), 저층이 31.67~34.53‰(평균 33.60‰), DO는 표층 6.46~9.35 mg/ℓ(평균 8.31mg/ℓ), 저층 4.01~9.45mg/ℓ(7.63mg/ℓ), COD는 표층 1.41~2.41mg/ℓ(평균 1.93mg/ℓ), 저층 1.35~2.22mg/ℓ(평균 1.79mg/ℓ), PO<sub>4</sub>-P는 표층이 0.08~1.69μg-at P/ℓ(0.44μg-at P/ℓ), 저층이 0.20~1.62μg-at P/ℓ(평균 0.48μg-at P/ℓ), DIN은 표층이 2.00~18.58μg-at N/ℓ(평균 7.31μg-at N/ℓ), 저층이 1.36~15.10μg-at N/ℓ(평균 6.10μg-at N/ℓ)였다. 북만은 Table III-3-2에서와 같이 COD 평균치가 1.86mg/ℓ로 해역수질

Table III-3-1. Mean values of water quality in Pukman Bay

Month	W.T. (°C)		pH		Salinity (‰)		DO (mg/ℓ)		COD (mg/ℓ)		DIN (μg-at N/ℓ)		PO <sub>4</sub> -P (μg-at P/ℓ)	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Oct. -94	21.1	20.5	8.07	8.08	32.64	32.62	7.95	8.26	1.65	1.72	9.71	8.17	0.42	0.40
Nov.	17.3	16.7	8.08	8.08	33.29	33.31	8.90	9.06	1.53	1.61	5.35	4.55	0.25	0.27
Dec.	11.3	10.0	7.93	7.98	33.83	33.85	8.84	8.94	2.15	2.07	14.90	14.66	0.70	0.73
Jan. -95	7.5	7.8	8.06	8.06	34.32	34.40	9.28	9.11	2.20	2.22	7.01	5.99	0.50	0.51
Feb.	8.6	8.7	8.27	8.28	34.03	34.06	8.21	8.13	2.05	2.10	8.05	4.11	0.32	0.31
Miar.	10.3	10.2	8.23	8.23	34.02	34.13	9.00	9.45	2.01	1.95	7.74	5.86	0.36	0.37
Apr.	13.7	13.5	8.25	8.48	33.45	33.45	8.65	8.36	1.41	1.35	3.21	1.36	0.39	0.43
May	16.9	16.2	8.21	8.33	33.68	33.67	7.81	6.87	1.62	1.44	5.37	2.96	0.32	0.34
Jun.	20.2	18.8	8.18	8.18	33.91	33.89	6.97	5.38	1.83	1.54	7.54	4.56	0.25	0.26
Jul.	22.8	19.9	8.20	8.17	33.41	33.73	6.72	4.78	2.00	1.80	4.77	4.12	0.19	0.37
Aug.	25.3	21.1	8.23	8.17	32.91	33.57	6.46	4.01	2.18	2.05	2.00	3.69	0.13	0.48
Sep.	21.4	20.8	8.26	8.15	31.51	31.67	6.69	4.93	2.41	1.88	2.08	2.32	0.20	0.39
Oct.	21.0	20.6	8.21	8.10	31.64	31.75	8.51	4.10	2.06	1.76	2.45	2.75	0.08	0.20
Nov.	14.7	14.6	8.03	8.04	33.14	33.20	8.74	8.75	2.20	1.90	18.58	15.10	1.69	1.62
Dec.	10.8	10.8	7.99	8.02	34.52	34.53	8.77	8.77	2.07	1.77	14.74	14.30	0.86	0.83
Jan. -96	7.5	7.4	7.92	8.20	33.86	33.85	8.48	8.79	2.09	2.18	7.29	7.73	0.53	0.54
Feb.	6.9	6.7	8.08	8.08	34.25	34.25	9.26	8.96	1.80	1.62	6.27	4.67	0.46	0.46
Mar.	8.8	8.7	8.10	8.08	34.22	34.24	9.30	9.08	1.72	1.56	6.01	4.56	0.38	0.38
Apr.	10.8	10.6	8.11	8.09	34.20	34.23	9.35	9.19	1.64	1.49	5.74	4.45	0.30	0.30

COD : Chemical Oxygen Demand, DO : Dissolved Oxygen, DIN : Dissolved Inorganic Nitrogen, W.T. : Water Temperature

Table III-3-2. Water qualities in Pukman Bay and neighboring bays

	pH	DO(mg/ℓ)	COD(mg/ℓ)	T-N(μg/ℓ)	T-P(μg/ℓ)
Pukman Bay	8.14	7.97	1.86	108.22	15.54
Gosung Bay <sup>1)</sup>	8.23	7.40	1.96	40.88	14.35
Charan Bay <sup>2)</sup>	8.25	7.76	1.87	70.98	20.83
Gohyun Bay <sup>3)</sup>	8.24	9.07	1.87	61.93	19.79
Hansan-koge Bay <sup>4)</sup>	-	8.05	1.35	65.52	9.30
Second level of seawater quality	6.5~8.5	> 5	> 2	> 100	> 15

<sup>1)</sup>KSND, 1997

<sup>2)</sup>KSDN, Kosung, 1997

<sup>3)</sup>KSDN, 1998

<sup>4)</sup>Choi *et al.* 1997



2등급의 한계치에 가까우며, 용존 질소와 총 인산염의 평균치도 각각 108.22μg/ℓ, 15.54μg/ℓ로 해역수질 2등급을 초과하여 부영양화 해역임을 알 수 있었으며, 주변해역과 비교시 오염의 정도가 높은 것으로 판단되었다.

#### (1) 수 온

조사기간 중 수층 별 수온변화는 Fig. III-3-1과 같다. 수층 별 수온의 측정값은 표층이 5.3~26.2℃, 하층에서 5.3~22.8℃ 였고, 표층은 1995년 8월에 St. 2에서 26.2℃로 가장 높았고, 1996년 2월 St. 8에서 5.3℃로 가장 낮았다. 저층은 1995년 8월에 St. 2에서 24.3℃로 가장 높았고, 1996년 2월 St. 8에서 5.3℃로 가장 낮았다. 수층 간의 수온 차이는 고수온기에는 차이가 컸으며, 저수온기에는 차이가 작은 경향이였다.

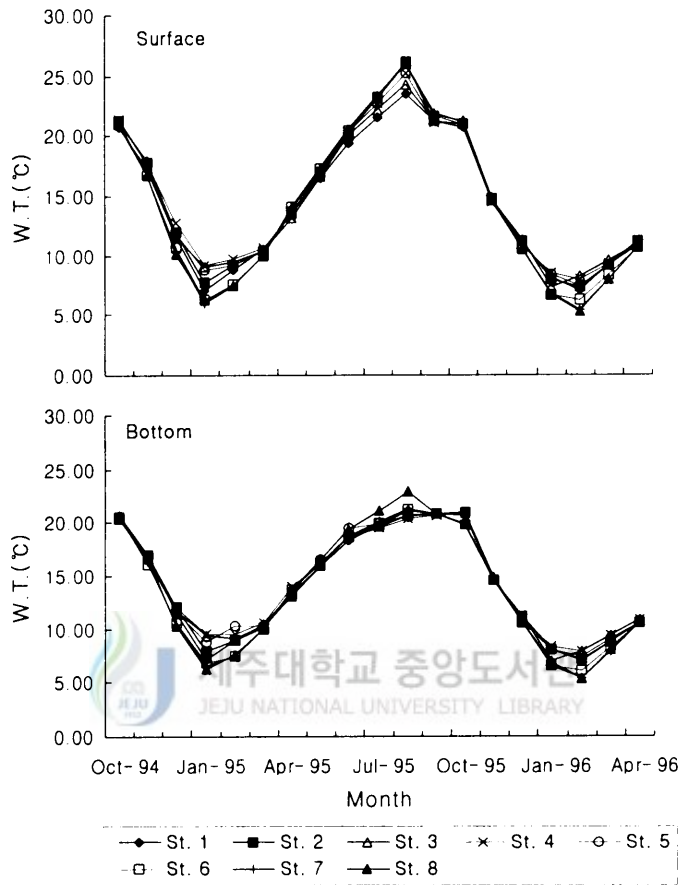


Fig. III-3-1. Monthly variation in water temperature at eight stations.

(2) pH

월별 수층별 pH분포는 Fig. III-3-2와 같다. 조사기간중 분포범위는 표층 7.63~8.34, 저층 7.65~8.43이었고, 저층이 표층에 비해 다소 높았다. 전체적으로는 해역수질 2등급인 6.5~8.5 내의 값이었으나, 북만의 안쪽 대평포와 법송포 해역에서는 기준을 초과하는 경우도 있었다. 조사기간 중 측정치의 평균값으로 볼 때 표층은 St. 5가 8.14로 가장 높았고, 저층은 St. 7이 8.15로 가장 높았다. 전체적으로는 봄철로 갈수록 점차 증가하는 경향이었고, 만의 외측보다 만의 내측이 다소 높은 경향이였다.

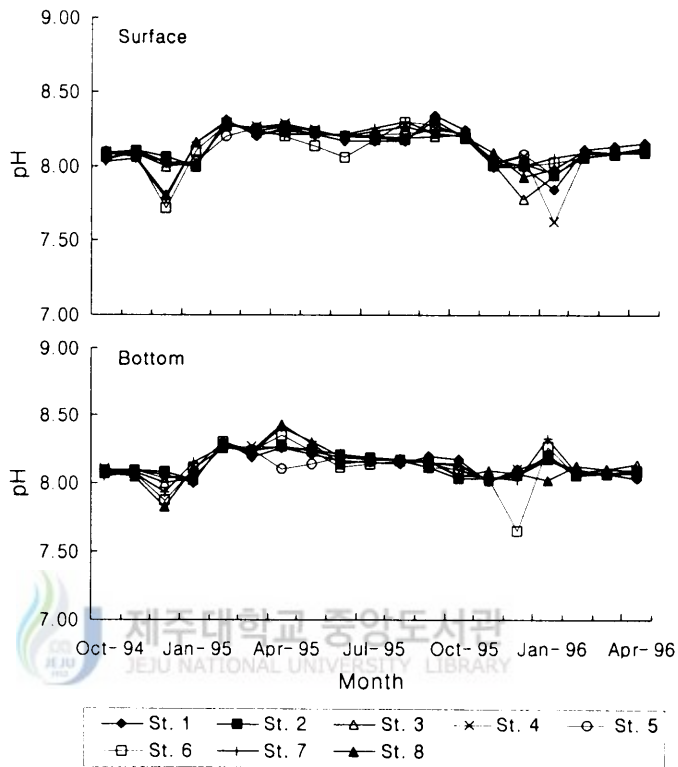


Fig. III-3-2. Monthly variation of pH at eight stations.

### (3) 염분농도

조사기간중 월별 수층별 염분농도의 변화는 Fig. III-3-3과 같다. 조사기간중 염분농도 분포 범위는 표층 31.32~34.99%, 저층 31.52~34.99%였다. 조사지점별 염분농도 분포는 St. 4에서 다소 높았고, St. 8에서 다소 낮았다. 이는 도시하수의 영향으로 St. 8이 타 조사지점에 비해 다소 낮은 것으로 생각된다. 계절 별 염분농도는 강수량이 적은 겨울철에 높고, 가을철에 낮았다.

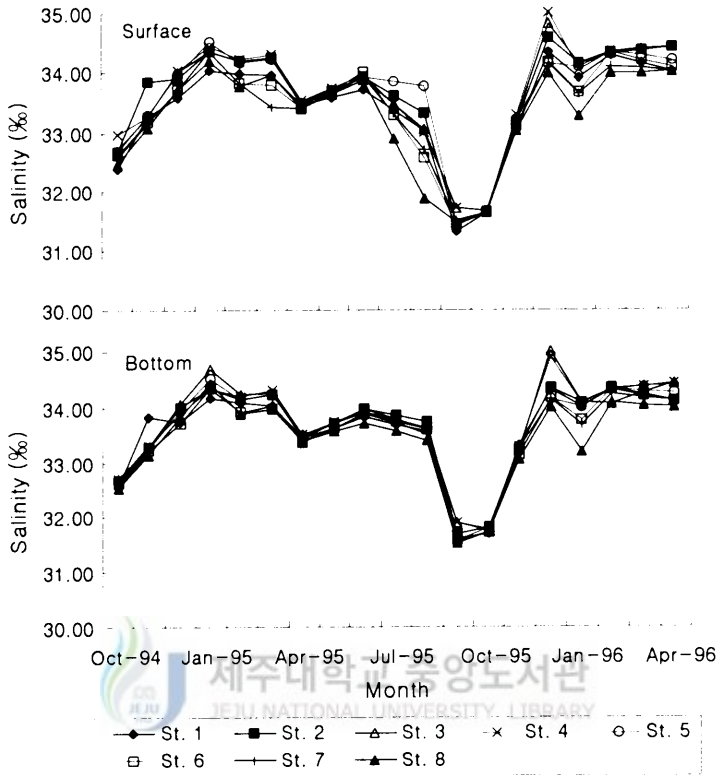


Fig. III-3-3. Monthly variation of salinity at eight stations.

(4) 용존산소

북만의 월별 수층별 용존산소의 변화는 Fig. III-3-4와 같다. 수층별 용존산소량은 표층에서 4.21~9.95mg/l, 저층에서 1.01~9.90mg/l 이었다. 계절별로는 겨울철이 높고 여름철이 낮은 것으로 나타났다. 조사지점 별로는 조사시기에 따라 다소 차이는 있었으나 St. 6, 7, 8의 저층에서 1.01~3.28mg/l의 범위로 여름철에 매우 낮았다. 한편 1995년 10월에는 St. 1을 제외한 전 조사지점의 저층 용존산소가 5mg/l 이하로 매우 낮았다. Fig. III-3-5는 조사정점별 평균 용존산소량과 표준편차를 나타낸 것이다. St. 5를 기점으로 현저한 용존산소 농도의 변화가 있었는데, 이는 해수유동에 의한 해역의 구분과 일치하는 결과였다. 또한 St. 5를 기점으로 만 내측과 외측의 DO 표준편차도 현저한 범위의 차이를 나타내었는데, 이는 육지 오염원에 영향을 받는 만 내측의 계절별 DO변화가 심하기 때문이다.

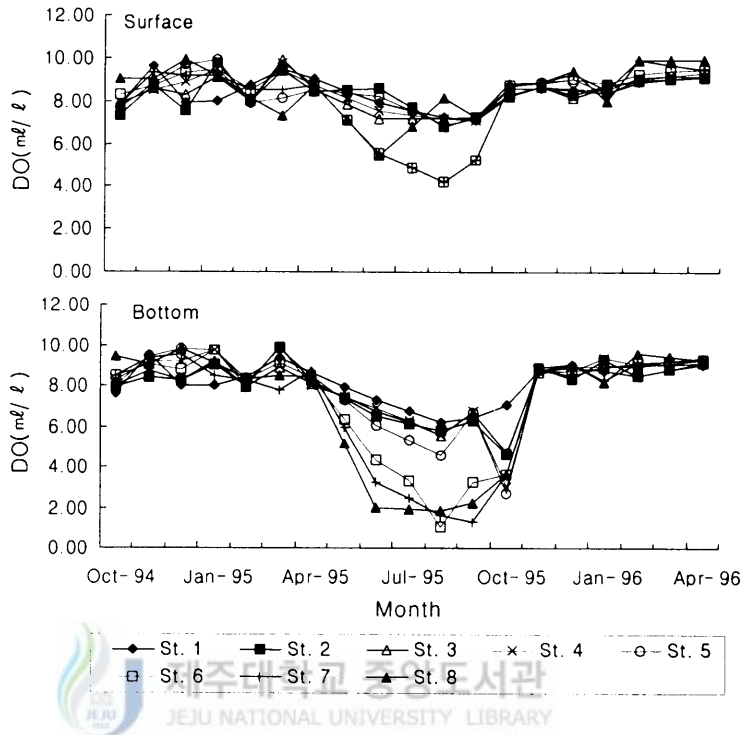


Fig. III-3-4. Monthly variation of DO at eight stations in Pukman Bay.

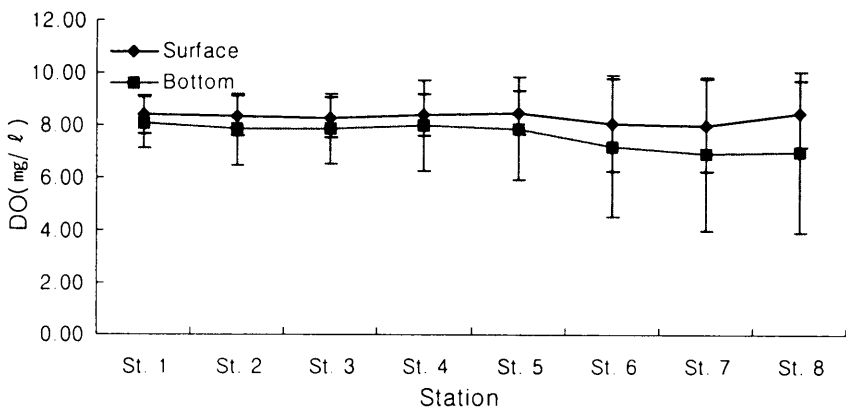


Fig. III-3-5. Distribution of mean dissolved oxygen at eight stations.

(Bar represents standard deviation)

(5) 화학적 산소요구량

조사기간중 월별 조사지점별 COD변화는 Fig. III-3-6과 같다. 수층별 COD 분포범위는 표층 1.09~3.26mg/ℓ, 저층 1.04~4.48mg/ℓ였고, 조사지점 별로 보면 표층에서는 1995년 10월 St. 1이 3.26mg/ℓ로 가장 높았고 1995년 4월 St. 5에서 1.09mg/ℓ로 가장 낮은 반면, 저층의 경우는 St. 8이 1995년 8월 4.48mg/ℓ로 가장 높았으며 1994년 10월에 1.04mg/ℓ로 가장 낮았다. 계절별로는 겨울철과 여름철에 높게 나타났고, 봄, 가을에 다소 낮았다. St. 1, 7, 8은 우리나라의 연안 평균값보다 다소 높았다.

조사지점별 평균 COD분포는 Fig. III-3-7과 같다. DO와 마찬가지로 St. 5를 기점으로 COD 평균치가 높아지고, 편차범위도 커지는 경향이였다. 이는 해수유동의 패턴처럼 필도와 장도 사이를 가로지는 가상의 경계에 의해 육지로부터 유입되는 오염원이 만 내측에 축적됨으로써 외측보다 높았고, 또한 계절과 강우량 등에 의해 유입되는 오염원이 변화가 심하므로 편차범위도 만 외측에 비해 큰 것으로 판단된다.

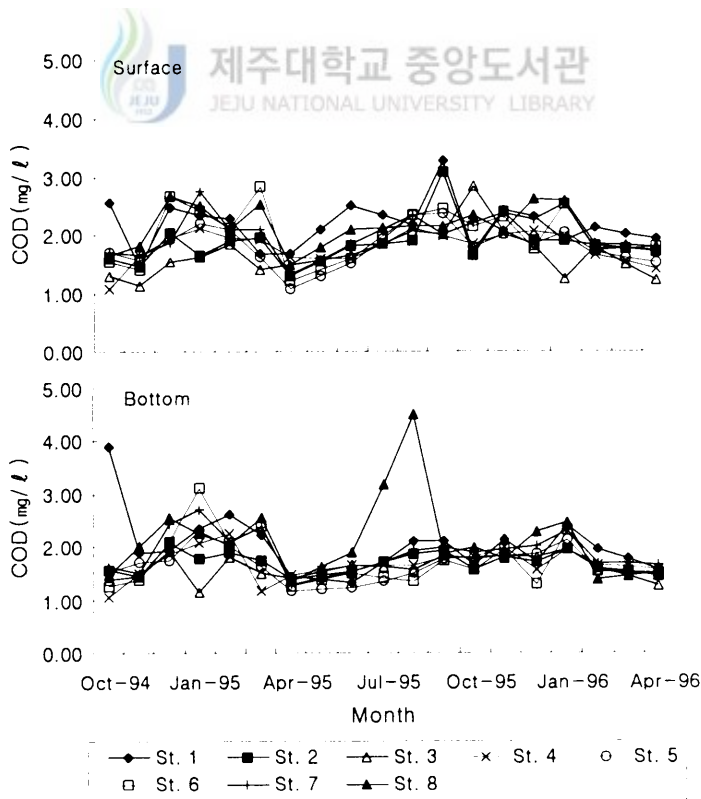


Fig. III-3-6. Variation of COD at each station in Pukman Bay.



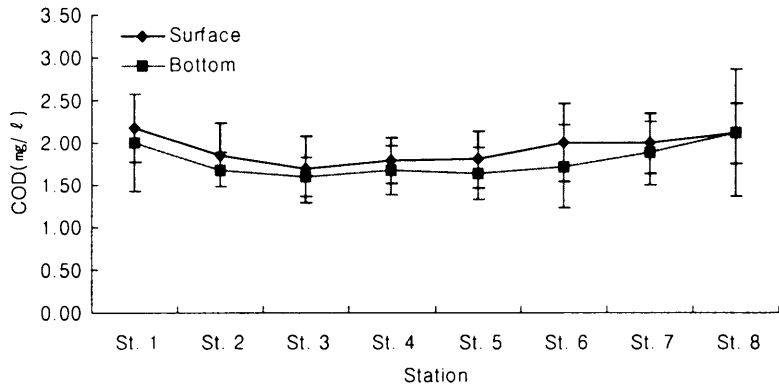


Fig. III-3-7. Distribution of mean COD at each station.

#### (6) 영양염류

북만해역에서 인산염의 수층별 분포범위는 표층이  $0.04 \sim 2.11 \mu\text{g-at P/l}$ , 저층이  $0.04 \sim 2.163 \mu\text{g-at P/l}$ 로 수층별 차이는 거의 없었다. 조사지점 별로는 St. 1이 조사 기간 평균  $0.54 \mu\text{g-at P/l}$ 로 가장 높았고, St. 8이  $0.42 \mu\text{g-at P/l}$ 로 가장 낮았다. 부영양화 현상을 나타내는 인산염의 농도는 단정하기 어려우나 대략  $0.03 \sim 0.04 \mu\text{g-at P/l}$ 라고 알려져 있고, 일본의 수산환경 수질기준(日本水産資源保護協會, 1973)에서도  $0.05 \mu\text{g-at P/l}$  이하로 규정하고 있다. 이러한 기준에 비교하면 조사해역은 이미 부영양화 수준에 있었다(Fig. III-3-8).

DIN의 분포범위는 표층  $0.46 \sim 35.32 \mu\text{g-at N/l}$ , 저층이  $0.33 \sim 35.89 \mu\text{g-at N/l}$ 로 수층간 변동은 적었지만 조사지점별 변동이 심하였다. 조사지점별 분포는 주변의 인구 밀집지역으로부터 생활 하수의 영향을 직접적으로 받는 St. 8이 평균  $9.07 \mu\text{g-at N/l}$ 로 가장 높았고, St. 5가 평균  $5.07 \mu\text{g-at N/l}$ 로 가장 낮았다. 계절별로는 겨울과 여름에 높고 봄과 가을에 낮게 나타났다(Fig. III-3-9).

DIN분포는 St. 5를 기점으로 DIN 농도가 높아지고, 또한 표준 편차범위도 커지는 경향을 볼 수 있다. 이는 육지 오염원의 영향을 직접적으로 받는 만 내측이 해수유동특성에 따라 이들 오염물질이 만 외부로 확산되지 않기 때문으로 판단된다. 또한 강우 등의 기후 특성에 따라 오염원의 유입의 변화가 크므로 시기별 DIN의 농도차가 큰 것으로 판단된다(Fig. III-3-10).

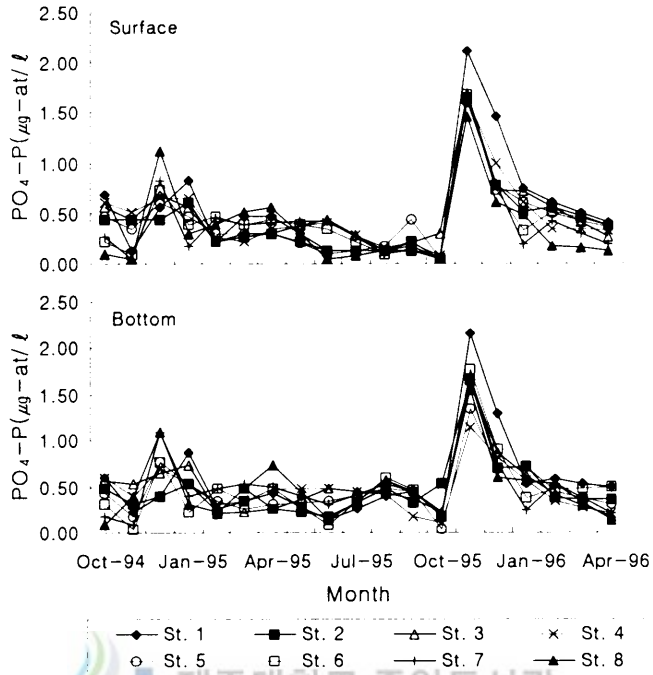


Fig. III-3-8. Variation of  $PO_4\text{-P}$  at eight stations in Pukman Bay.

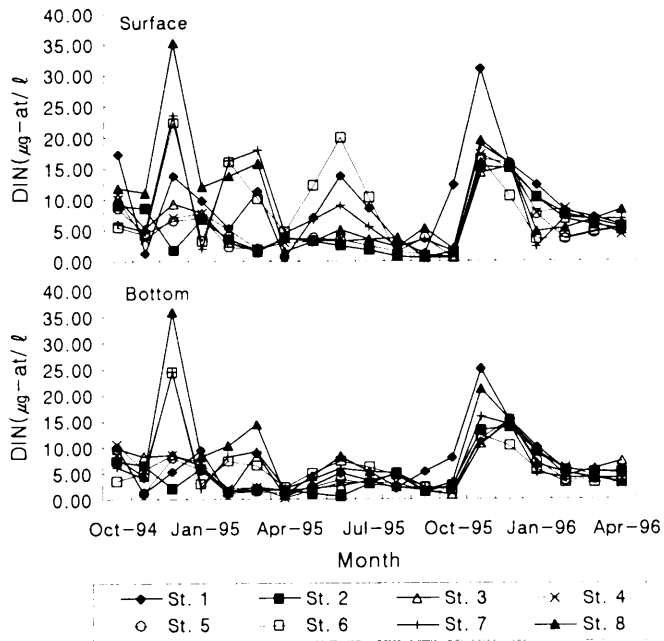


Fig. III-3-9. Variation of DIN at eight stations in Pukman Bay.

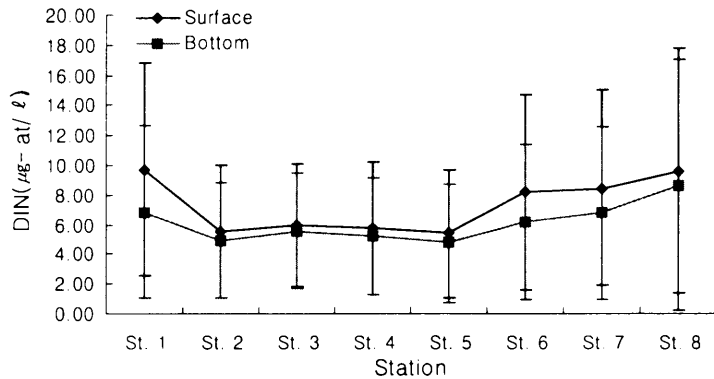


Fig. III-3-10. Distribution of mean DIN at eight stations.

## 2) 저질

저니 중 COD는 26.39~27.27mg/g로 부영양화 기준인 20.0mg/g(日本水産資源保護協會, 1973)을 초과하였고, H<sub>2</sub>S도 0.34~0.47mg/g범위로 부영양화 기준인 0.20mg/g을 초과하는 높은 농도였다. 또한 강열감량도 7.9%~9.2%로 비교적 높은 값을 나타내었다 (Table III-3-3).

Table III-3-3. Mean value of COD, H<sub>2</sub>S and Ignition loss in the sediment of Pukman Bay

Date	COD (mg/ℓ)	H <sub>2</sub> S (mg/ℓ)	Ignition loss (%)
1994 Oct.	26.39	0.34	7.9
1995 Jan.	27.27	0.40	8.7
Nov.	27.17	0.47	8.6
1996 Feb.	27.15	0.43	9.2
Mean	27.00	0.41	8.6

### (1) COD

COD는 모든 조사지점에서 부영양화 기준인 20.0mg/g(日本水産資源保護協會, 1973)을 초과하고 있다. 특히 대평포 지역의 St. 8은 매우 높은 농도분포를 보였는데, 이것은 도시에서 유입되고 있는 생활하수의 영향으로 생각된다. 이와 같은 결과는 국립수

산진홍원(1990)이 통영 원문만에서 조사한 17.3~30.6mg/g (평균 23.1mg/g)과 비슷하였고, 진해만의 평균농도(최, 1993) 30.38mg/g 보다는 낮았으며, Choi *et al.*(1997)이 한산·거제만에서 보고한 9.3~25.2mg/g(평균 16.8mg/g) 보다는 높았다(Table III-3-4).

Table III-3-4. COD contents in the sediment of Pukman Bay

Station	Oct. 1994.	Jan. 1995.	Nov. 1995.	Feb. 1996	Mean
1	29.60	19.81	23.46	21.97	22.72 ± 4.20
2	28.25	25.32	27.28	26.30	26.79 ± 1.26
3	25.35	26.57	26.42	25.59	26.01 ± 0.60
4	27.21	19.17	25.34	21.42	23.38 ± 3.65
5	24.02	21.82	24.31	23.19	23.75 ± 1.12
6	26.62	18.88	25.25	20.14	22.70 ± 3.79
7	27.38	41.56	32.25	38.17	35.21 ± 6.29
8	32.61	49.13	35.98	45.25	40.62 ± 7.73

(2) H<sub>2</sub>S

H<sub>2</sub>S는 1994년 10월, 1995년 1월의 조사에서는 0.05~1.17 mg/g(평균 0.40mg/g)였으며 95년 11월, 96년 2월의 조사에서는 0.09~1.25(평균 0.44)mg/g였다. 이 값은 Choi *et al.*(1997)이 보고한 한산·거제의 0.16mg/g 보다 훨씬 높았다. 조사지점별로는 북만 내측 해역의 조사지점이 높았고, St. 1, 2, 6, 7, 8은 부영양화 기준인 0.20mg/g을 초과하는 높은 농도였다. 장도~장구도 유역의 St. 3, 4, 5는 0.10~0.18mg/g 로 기준치 이하였다(Table III-3-5, Fig. III-3-13).

Table III-3-5. H<sub>2</sub>S in the sediment of Pukman Bay

St.	Oct. 1994	Jan. 1995	Nov. 1995	Feb. 1996	Mean
1	0.96	0.28	0.42	0.63	0.53 ± 0.30
2	0.14	0.17	0.21	0.25	0.23 ± 0.05
3	0.18	0.13	0.11	0.15	0.13 ± 0.03
4	0.31	0.05	0.09	0.11	0.10 ± 0.12
5	0.10	0.17	0.18	0.17	0.18 ± 0.04
6	0.09	0.30	0.31	0.25	0.28 ± 0.10
7	0.08	0.66	0.74	0.41	0.58 ± 0.30
8	0.59	1.17	1.25	1.11	1.18 ± 0.30

(3) Ignition Loss

Ignition Loss의 변화는 1994년 10월, 1995년 1월은 4.5~12.2% 였고, 1995년 11월, 1996년 2월은 5.2~13.2%로 다소 높았다. 조사지점별로는 북만 내측에 위치한 St. 7 및 8이 9.9~13.2%로 높았는데, 이것은 도시 하수의 유입에 의한 영향으로 판단된다 (Table III-3-6).

Table III-3-6. Ignition Loss(%) in the sediment of Pukman Bay

Station	Oct. 1994	Jan. 1995	Nov. 1995	Feb. 1996	Mean
1	8.1	7.1	9.2	8.1	8.7±0.9
2	7.8	7.9	7.5	7.9	7.7±0.2
3	9.0	7.6	8.5	8.2	8.4±0.6
4	8.5	7.6	8.7	8.1	8.4±0.5
5	7.9	6.6	8.0	7.5	7.8±0.6
6	8.6	9.0	8.9	8.5	8.7±0.2
7	9.2	10.4	9.9	11.2	10.6±0.8
8	7.9	12.2	11.3	13.2	12.3±2.3

Fig III-3-11은 조사해역의 조사지점별 COD, H<sub>2</sub>S, IL의 평균값을 나타낸 것이다. 모든 조사항목에서 St. 5를 기점으로 높아지는 경향이었는데, 이는 해수유동특성에 의해 육지로부터 유입되는 오염원이 만 외부로 확산되지 못하여 저질층에 축적되기 때문으로 판단된다.

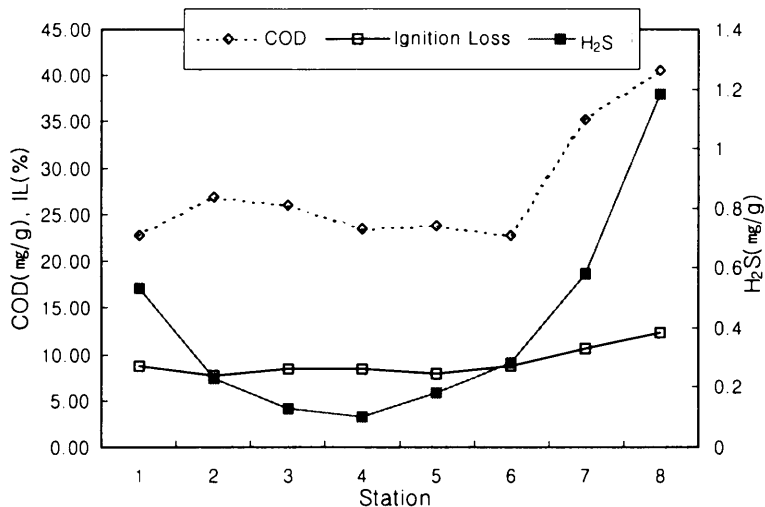


Fig. III-3-11. Distribution of mean sediment quality.

### 3) 요약

북만의 수질 및 저질의 이화학적 특성중 수온은 표층 5.3~26.2℃, 저층 5.3~22.8℃였고, pH는 표층 7.63~8.34, 저층 7.65~8.77, 염분농도는 표층 31.32~34.99‰, 저층 31.52~34.99‰, DO는 표층 4.21~9.95mg/ℓ, 저층 1.01~9.90mg/ℓ, COD는 표층 1.09~3.26mg/ℓ, 저층 1.04~4.48mg/ℓ, PO<sub>4</sub>-P는 표층 0.04~2.11μg-at P/ℓ, 저층 0.04~2.16μg-at P/ℓ, DIN은 표층 0.46~35.32μg-at N/ℓ, 저층 0.33~35.89μg-at N/ℓ였다. 북만은 주변해역과 비교하여 볼 때 다른 만에 비하여 오염이 많이 된 것으로 판단되었고, 특히 용존질소와 총인산염이 해역수질 II등급을 초과하여 부영양화 해역에 해당되었다.

저질은 COD의 경우 16.45~49.13mg/g로 대부분의 조사지점에서 해역 II등급의 기준치를 초과하였고, 황화물은 0.05~1.17mg/g으로 통영항보다 높았다. 강열감량은 7.1~10.1%로 북만의 내측에서 높았다.

수질 및 저질의 평균값의 분포는 St. 5를 기점으로 만 내측에 위치한 조사지점으로 향할수록 수질의 COD 및 DIN과 저질의 COD, H<sub>2</sub>S, IL이 높아지거나 증가하고, 수질의 DO는 감소하는 경향이었는데, 이는 해수유통의 특성에 의한 필도와 장도사이를 가로지르는 가상의 경계에 의해 육지로부터 만 내측으로 유입되는 오염물질이 외측으로 확산되지 못하기 때문으로 판단된다. 또한 육지로부터 유입되는 오염원은 계절별 변동이 크므로 대부분의 조사항목에서 만 내측의 조사지점에서 표준편차의 범위가 넓어지는 경향이였다.

## 4. 식물플랑크톤

식물플랑크톤의 생체량 및 조성에 관한 연구는 그 해역의 생산력 판단의 척도가 되고 생태계 해석에 필수적인 자료가 되며, 또한 해역의 식물플랑크톤 현존량은 유용양식 및 어업자원의 풍흉을 좌우하는 기본 요인으로서 매우 중요한 의의를 갖게 된다(박, 1980).

한국 연안해역에서의 식물플랑크톤에 관한 연구는 1940년대부터 시작되어(小久保·鈴木, 1940; 倉茂, 1943) 현재까지 많은 보고가 있었지만 먹이로서 양식생물에 미치는 영향을 장기간의 자료로 분석한 것은 매우 적다(박, 1980).

연구대상해역에서의 식물플랑크톤 조사는 국립수산진흥원에서 정기적으로 조사하지만 1개 조사지점에 불과하여 정밀한 자료를 얻을 수 없다. 그 외 조사해역 내 측에 위치한 대평포에 관한 몇 편의 보고가 있었지만 식물플랑크톤에 관한 것은 한 편에 불과하다(조, 1993).



### 1) 분류군

조사기간(1994년 11월~1996년 4월)동안 출현한 식물플랑크톤의 분류군은 5강 61속 153종 7변종 1품종으로 종명 미확인 21종을 포함하여 총 161종이었다(Appendix 4-1~16). 분류군의 구성은 남조류 1속 1종, 와편모조류 11속 30종 1변종, 규조류 45속 118종 5변종 1품종, 규질편모조류 3속 2종 1변종 그리고 유글레나조류 1속 2종이었다(Appendix 4-17). 월 평균 출현 분류군은 25속(16~37속), 51종(37~69종)이었지만 4월부터 8월에는 월별 출현종의 수가 비교적 적었고(37~45종), 9월부터 익년 3월까지는 비교적 출현종수가 많았다(46~69종). 조사기간 중 총 161종이 출현하여 매우 많은 출현종수를 나타내었지만, 월 평균 25속 50여종은 남해동부 연안해역에서 흔히 발견된다.

연중 종다양성이 높은 달은 3월(64종)과 9월(69종)이었고, 3월과 9월중에는 와편모조류의 출현율이 높아 11~13%를 차지했다.

출현율이 가장 높았던 분류군은 규조류로, 3월과 9월을 제외한 나머지 달에서는 94.5~99.6%로 평균 97.9%이었다. 그 외 분류군 중에서는 와편모조류가 비교적 많이 나타났고, 남조류와 규질편모조류 그리고 유글레나조류는 거의 흔적적이었다.

2) 우점속과 우점종

조사기간 중 식물플랑크톤 출현결과는 Appendix 4-1~17과 같고, 우점속은 *Chaetoceros*, *Nitzschia*, *Skeletonema*, *Eucampia*, *Thalassiosira*, *Ditylum*, *Asterionella*, *Ceratium* 그리고 *Coscinodiscus* 등이었다.

*Chaetoceros*는 1995년 3월, 1996년 8월과 9월을 제외하고 최우점하여 35.9~77.5% (평균 56.9%)의 출현율을 나타내었고, *Nitzschia*는 4월과 8~9월에 많아 1995년 4월에 45.4%, 1996년 4월에 49.0%이었고 1995년 8월과 9월에는 각각 63.8%와 50.4%이었다. 그 밖의 달에도 3.0~12.7%(평균 6.5%)가 출현했다. *Skeletonema*는 1994년 11월(11.9%), 1995년 1월(16.4%), 12월(22.1%) 그리고 1996년 1월(11.2%)에 출현율이 높아 주로 겨울철에 출현율이 높았고, 이외 계절에서도 연중 약 3~4% 이상 지속적으로 출현했다. *Eucampia*는 1994년 11월(9.5%), 1996년 2월(7.7%)과 3월(28.4%)에 다른 시기에 비해 현존량이 많았고, *Thalassiosira*는 1995년 11월(10.2%), 12월(21.3%), *Ditylum*은 1995년 7월(14.6%), *Asterionella*는 9월부터 12월 사이에 3.0~10.8%(월평균 약 6.3%)가 출현하였다(Fig. III-4-1).

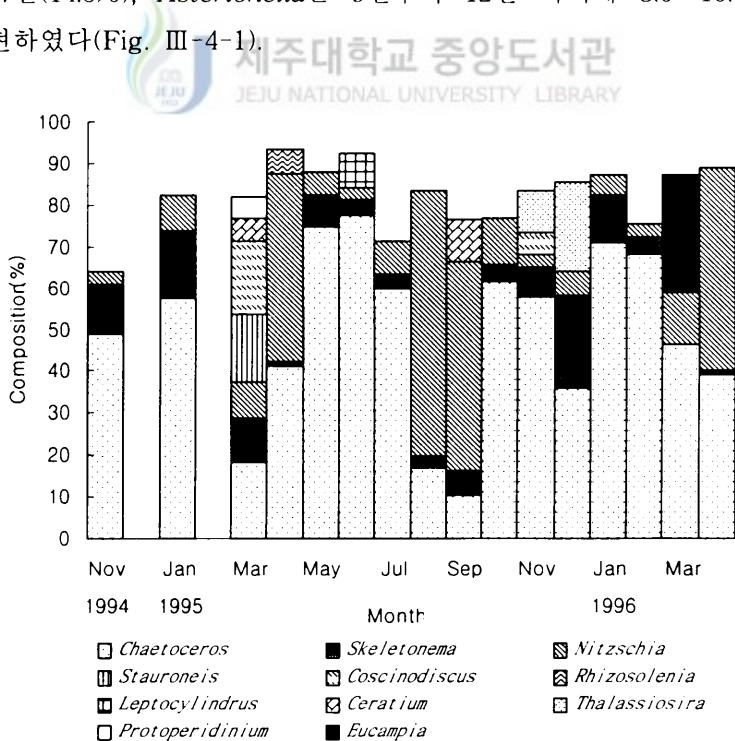


Fig. III-4-1. Monthly variation of species composition (%) for major genus in Pukman Bay from November 1994 to April 1996.



이 해역의 우점속의 천이는 *Chaetoceros*를 포함한 10종 미만의 종들로 이뤄지고 있고, 가장 큰 비중을 차지하는 속은 *Chaetoceros*, *Nitzschia* 그리고 *Skeletonema* 3 속이었다.

조사지점에 따라서도 우점종의 차이가 있었지만(Table III-4-1), 대부분의 경우만을 대표하는 우점종이 출현하였으나, 1994년 11월과 같이 만을 대표하는 특정한 우점종은 없었고, 조사지점에 따라 몇 종이 우점하는 경우도 있었다.

Appendix 4-1~17과 같이 월별 우점종은 1995년 1월은 *Chaetoceros compressus*가 St. 2를 제외한 조사지점에서 35.7~44.4%로 우점하였고, 3월에는 특별한 우점종이 없이 St. 2에서 *Skeletonema costatum*이 17.4% 출현하였다. 4월에는 *Nitzschia pungens* v. *atlantica*가 단연 우세하여 St. 4를 제외한 모든 조사지점에서 30~40% 출현하였지만, St. 2에서는 *N. seriata*도 23.0%나 출현했다. 5월중 우점종은 *Chaetoceros affinis*로 모든 조사지점에서 46.7~65.0%(평균 56.5%)이었다. 6월에는 *Chaetoceros vanheuckii*가 우점하여 St. 4를 제외하고는 35.0~41.5(평균 39.3%)의 출현율을 나타내었고 St. 4에서는 *Leptocylindrus danicus*가 32.5% 출현하여 우점하였고 이 종은 St. 4에서 유일하게 출현하였다. 7월에는 St. 1에서 *Ditylum brightwellii*(23.0%), St. 3에서 *Chaetoceros decipiens*(33.9%)가 우점하였다. 8월에는 *Nitzschia pungens* v. *atlantica*가 단연 우세하여 St. 4에서 최고 71.1%이었고 그 밖의 조사지점에서 33.1~38.6% 출현하여 우점하였으며, St. 2에서는 와편모조인 *Ceratium furca*가 28.1% 출현하였다. 9월에도 8월과 같이, *Nitzschia pungens* v. *atlantica*가 우세하였으며 조사지점 3에서 39.5%이었다. 10월에는 *Chaetoceros debilis*가 36.7~44.1%(39.9%) 출현하였다. 11월에는 *Chaetoceros subsecundus*(St. 3, 21.8%)와 *C. debilis*(St. 1, 20.6%)가 각각 정점별로 우점하였다. 12월은 *Skeletonema costatum* (St. 3, 40.6%)과 *Chaetoceros didymus*(St. 1, 20.9%)였다.

1996년 1월에는 *Chaetoceros radicans*(St. 4, 35.4%)와 *C. compressus*(St. 3, 23.2%), 2월에는 *Chaetoceros radicans*(St. 3, 33.7%)와 *C. debilis*(St. 1, 24.9%)가 우점하였다. 3월에는 *Eucampia zodiacus*가 St. 1에서 16.4% 출현하였고, 그외 조사지점에서 27.9~35.1% 출현하여 우점하였으며, *Chaetoceros vanheurckii*가 St. 3에서 35.3% 출현했다. 4월에는 St. 1, 2, 4에서 31.3~46.1%를 차지한 *Nitzschia pungens* v. *atlantica*가 우점하였고, St. 3에서는 *Chaetoceros didymus*가 36.4%를 차지했다.

북만 해역의 식물플랑크톤 우점종은 2개월 또는 1개월 간격으로 바뀌었고, 조사기간중 나타난 월별 우점속의 변화과정은 *Chaetoceros affinis*(5월), *Leptocylindrus danicus*(6월), *Chaetoceros decipiens*(7월), *Ditylum brightwellii*(7월), *Nitzschia*

Table III-4-1. Dominant species of phytoplankton and their occurrence frequency rate(%) in Pukman Bay from November 1994 to April 1996

Date	Dominant species	% (Maximum)	Remark
Nov. 1994	<i>Chaetoceros debilis</i>	21.6	St. 1
	<i>Eucampia zodiacus</i>	30.5	St. 2
	<i>Skeletonema costatum</i>	24.4	St. 4
Jan. 1995	<i>Chaetoceros compressus</i>	34.3 (44.4)	
Mar.	-		
Apr.	<i>Nitzschia pungens</i>		
	v. <i>atlantica</i>	30.5 (40.4)	
May	<i>Chaetoceros affinis</i>	56.5 (65.0)	
July	<i>Chaetoceros decipiens</i>	23.3 (33.9)	
	<i>Ditylum brightwellii</i>	23.0	St. 1
Aug.	<i>Nitzschia pungens</i>		
	v. <i>atlantica</i>	44.6 (71.1)	
Sept.	<i>Nitzschia pungens</i>	26.6 (39.5)	
	v. <i>atlantica</i>	26.6 (39.5)	
	<i>Nitzschia sigma</i>	26.2	St. 3
	<i>Ceratium furca</i>	28.1	St. 2
Oct.	<i>Asterionella glacialis</i>	25.4	St. 1
	<i>Chaetoceros debilis</i>	39.9 (44.1)	
Nov.	<i>Chaetoceros debilis</i>	20.6	St. 1
	<i>Chaetoceros subsecundus</i>	21.8	St. 3
Dec.	<i>Chaetoceros didymus</i>	20.9	St. 1
	<i>Skeletonema costatum</i>	22.1 (40.6)	
	<i>Thalassiosira rotula</i>	38.4	St. 4
	<i>Chaetoceros compressus</i>	23.2	St. 3
Jan. 1996	<i>Chaetoceros radicans</i>	25.6 (35.4)	
	<i>Chaetoceros debilis</i>	24.9	St. 1
Feb.	<i>Chaetoceros radicans</i>	24.5 (33.7)	
	<i>Chaetoceros subsecundus</i>	24.6	St. 4
	<i>Eucampia zodiacus</i>	28.4 (35.1)	
Mar.	<i>Chaetoceros compressus</i>	20.5	St. 1
Apr.	<i>Chaetoceros compressus</i>	21.4	St. 2
	<i>Chaetoceros didymus</i>	36.4	St. 3
	<i>Nitzschia pungens</i>		
	Nit. v. <i>atlantica</i>	33.7 (46.1)	

*sigma*(9월), *Ceratium furca*(9월), *Asterionella glacialis*(10월), *Skeletonema costatum*(12월), *Eucampia zodiacus*(3월)의 순이였고, 동일종이 년중 한 번씩 우점하였으나, 몇몇 종은 일정 조사지점에 국한해서 우점한 경우도 있다.

출현종 중 *Nitzschia pungens* v. *atlantica*와 *Skeletonema costatum* 두 종은 만 전체 또는 일부에서 적조를 유발하였다. 1978년 7~8월 진해만 서부해역에서 대형 적조를 유발했던 *Ceratium* sp.(조, 1979)는 이 조사해역에서 9월중 국지적으로 대량 발생하긴 했지만 적조까지는 발전하지 않았다. 또 근년에 문제가 되었던 *Cochlodinium* sp.는 흔적적으로 발생하였고, 조사해역을 포함해 대평포에서는 1990~1996년 5월부터 11월 사이에 *Nitzschia seriata*를 포함해 *Prorocentrum* spp., *Heterosigma akashiwo*, *Gymnodinium sanguineum* 등의 10여종에 의한 크고 작은 적조가 17회 발생했고(국립수산진흥원, 1997), 1981년부터 1986년까지의 기간중에도 6월부터 10월 사이에 8종의 의한 적조가 19회나 발생했다(조, 1993). 그러나 적조원인종으로는 1980년대의 *Skeletonema costatum*과 *Nitzschia* spp. 등의 규조가 주 원인종이었지만, 1990년대는 *Nitzschia* spp.를 제외하고는 와편모조가 주 원인종이었다. 이는 이 해역의 수질을 포함한 환경이 악화되었음을 대변한다.

조사기간중 매월 출현한 종은 4종이고 15회, 14회 출현한 종은 각각 4종과 5종이다(Table III-4-2). 그리고 10회 이상 출현한 종은 31종이다. 출현빈도가 높은 종의 우점율은 비교적 낮았다. 이 연구해역에서 출현빈도가 높은 종들은 한국 연안해역에서 1930~1980년대에 발견된 식물플랑크톤의 출현 및 분포양상(조, 1986)과 비슷하였지만, *Chaetoceros lacinosus*와 *C. vanheurckii*는 조(1986)의 보고에는 포함되지 않아 1990년대 들어 출현빈도가 높아진 것으로 생각된다.

### 3) 클로로필-a 양

세포수로 해역의 식물플랑크톤의 현존량을 대표하는데 몇 가지 문제점이 있으므로 클로로필-a 양으로 대신하였다. 월별, 조사지점별 클로로필-a 양은 Table III-4-3과 같다.

월별·조사지점별 클로로필-a 양은 0.66~10.10 $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위로 분포하며 차이가 심하였다(Table III-4-3). 월별 분포는 1995년 1월, 5월 그리고 10월에 많았고 조사지점별로는 St. 1과 St. 4에서 많았다. 특히 1995년 5월의 St. 1에서 9.63 $\mu\text{g}/\ell$ , 1995년 1월과 1996년 1월의 St. 4에서 각각 8.32 $\mu\text{g}/\ell$ 과 10.10 $\mu\text{g}/\ell$ 으로 비교적 많았다. 그러나 우점속과 우점종의 출현을 및 클로로필-a 양의 상관관계를 비교했지만 상관관계를 찾을 수 없었다.

Table III-4-2. Species occurred almost every month sampling in Pukman Bay from November 1994 to April 1996

Species	'94	'95	Mar.	Apr	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	'96	Feb.	Mar.	Apr.	Total
	Nov.	Jan.											Jan.				
<i>Asterionella glacialis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	15
<i>Chaetoceros affinis</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	14
<i>C. compressus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	16
<i>C. debilis</i>	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	14
<i>C. didymus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	16
<i>C. lacinosus</i>	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	14
<i>C. vanheurckii</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	15
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	15
<i>Guinardia flaccida</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+		+	+	+	+	14
<i>Nitzschia pungens v. atlantica</i>			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	14
<i>Rhizosolenia setigera</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	16
<i>Skeletonema costatum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	16
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	15

Table III-4-3. Chlorophyll-a contents in Pukman Bay

( $\mu\text{g}/\ell$  : mean of surface and bottom water's contents)

	Stations				Mean
	1	2	3	4	
Nov. 1994	3.31	0.66	1.20	1.22	1.60
Jan. 1995	5.28	2.26	1.46	8.32	4.33
Mar.	1.08	1.08	0.96	1.31	1.11
Apr.	1.22	0.92	0.99	2.61	1.44
May	9.63	6.66	6.22	3.66	6.54
Jun.	5.97	1.85	1.73	4.85	3.60
Jul.	1.54	2.73	6.04	2.83	3.29
Aug.	1.89	3.42	0.81	0.81	1.73
Sep.	2.09	2.10	2.56	3.00	2.44
Oct.	6.94	2.47	4.95	5.94	5.08
Nov.	2.42	1.81	1.58	1.82	1.91
Dec.	1.17	1.20	2.39	1.95	1.68
Jan. 1996	7.23	2.36	3.67	10.10	5.84
Feb.	2.64	1.42	1.42	1.62	1.78
Mar.	2.71	1.54	2.63	1.78	2.17
Apr.	3.77	1.53	1.84	1.94	2.27
Mean	3.68	2.12	2.53	3.35	2.92

吉田(1973)에 따르면 클로로필 10.0 $\mu\text{g}/\ell$  이상이면 수질의 부영양화가 진행중이라 하였다. 북만 해역은 10.0 $\mu\text{g}/\ell$  이상으로 측정된 수치는 1회뿐으로서 식물플랑크톤의 양적인 면에서만 본다면 이 해역의 수질은 부영양화의 초기 단계에도 들어서지 않았다고 할 수 있다. 이는 수질 및 저질의 이화학적 특성과는 상이한 결과를 보였으나, 비록 연중은 아니지만 종종 *Nitzschia* spp.가 대량으로 발생하는 점과 1990년대에 와편모조류에 의한 적조가 빈번히 발생하는 점으로 보아 조사해역의 수질은 부영양화 단계로 진행중이라 생각된다.

#### 4) 요약

1994년 11월부터 1996년 4월까지의 16개월간 북만해역의 4개 조사정점에서 식물플랑크톤의 종 조성 및 양(클로로필-a 양)을 조사했다. 출현종은 21개의 미확인종을 포함해 총 161종이 출현하였으며, 출현율이 가장 높았던 분류군은 규조류였고 그 외는 와편모조류가 비교적 많았으며, 남조류, 규질편모조류 및 유글레나조류는 흔적적이었다. 규조류는 3월과 9월을 제외한 달에서는 94.5~99.6%(평균 97.9%)였다. 우점속은 *Chaetoceros*, *Nitzschia* 및 *Skeletonema* 등이었고, 우점종은 월별, 조사지점별로 차이가 있었지만 *Chaetoceros affinis*, *C. compressus*, *C. debilis*, *C. decipiens*, *Eucampia zodiacus*, *Nitzschia pungens* v. *atlantica*, *Skeletonema costatum* 등이었다. 16회의 채집에서 14회 이상 출현한 출현빈도가 높은 종은 *Asterionella glacialis*를 포함해 13종이었다. *Nitzschia pungens* v. *atlantica*에 의한 국지적인 적조가 있었지만 단기간에 소멸되었다. 클로로필-a량은 0.66~10.10 $\mu\text{g}/\ell$ 였으며, 월별, 조사지점별 차이가 컸고 1월, 5월, 10월에 많았으며, 조사지점별로는 St. 1과 St. 4에서 다소 많았다.

## 5. 기초생산력

해양의 유기물 합성의 95%정도를 담당하는 식물플랑크톤은 해양 먹이연쇄의 1차 생산자로서 이들을 여과 섭식하는 이매패류는 식물플랑크톤의 분포나 양에 따라 그 생산이 좌우된다(Steemann-Nielsen, 1975). 그러나 이들의 분포는 동일한 해역에서도 영양염류, 수온, 태양광선의 세기와 해수면에 입사된 광선이 해수중에서 소멸되는 정도 등에 따라 생산속도가 달라지므로 동일해역에서도 분포의 변이가 매우 심하므로 각 요인별 측정치로부터 이들의 생산속도를 추정하기는 매우 어렵다.

이 장에서는 클로로필 양으로부터 식물플랑크톤의 생산속도를 추정하는 방법을 사용하여 그 결과를 다른 해역과 비교하고 먹이생물의 생산능력에 의한 굴양식장 수용력을 검토하는 자료로 제공하였다.

### 1) 기초생산력 추정을 위한 기초자료

조사기간 동안의 수온은 Table III-5-1, Fig. III-5-1과 같이 외해수의 영향을 많이 받는 조사지점 1과, 내만에 위치한 조사지점 6~8의 변화가 많았으며, 투명도는 Table III-5-2, Fig. III-5-2와 같이 조사지점별로 비슷한 경향이었으며 대부분 2~8 m 범위였다.

조사일별 및 조사지점별로 chlorophyll-*a* 양을 조사한 결과는 Table III-5-3과 같으며, 각 조사지점별 chlorophyll-*a* 양의 변화는 Fig. III-5-3과 같다. Chlorophyll-*a* 양은 수온의 변화 경향과 비슷하여 만의 내측과 해수유동이 원활한 St. 1, St. 6, St. 7, St. 8이 월별 변화가 컸다.

Table III-5-1. Monthly water temperature (°C) at each station in Pukman Bay

Station Month	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	20.7	21.2	21.3	21.4	21.3	21.0	20.9	21.1
Nov.	17.2	17.8	17.9	17.8	17.7	16.7	16.7	16.7
Dec.	11.5	11.9	11.6	12.8	11.8	10.6	10.3	10.1
Jan. 1995	7.1	7.7	9.0	9.2	8.7	6.3	6.0	6.2
Feb.	8.8	9.2	9.4	9.5	9.1	7.6	7.5	7.4
Mar.	10.5	10.3	10.4	10.6	10.3	10.0	9.9	10.0
Apr.	13.6	13.5	13.2	13.2	13.7	14.1	14.1	13.9
May	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
Jun.	19.4	20.2	20.0	20.3	20.3	20.5	20.6	20.3
Jul.	21.0	24.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
Aug.	23.5	26.2	24.3	25.2	25.2	26.0	26.0	26.0
Sep.	21.2	21.2	21.2	21.1	21.2	21.6	21.9	21.8
Oct.	20.7	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.1	21.2
Nov.	14.6	14.6	14.7	14.5	14.7	14.7	14.6	14.9
Dec.	11.0	11.2	11.3	10.8	10.0	10.6	10.5	10.5
Jan. 1996	8.1	8.0	7.3	8.5	8.3	6.6	6.8	6.7
Feb.	8.6	8.5	9.5	8.5	7.4	7.4	7.0	7.6
Mar.	10.8	10.6	10.5	10.4	10.3	10.5	10.5	10.6
Apr.	15.0	15.3	15.5	15.6	5.8	16.0	16.0	16.2

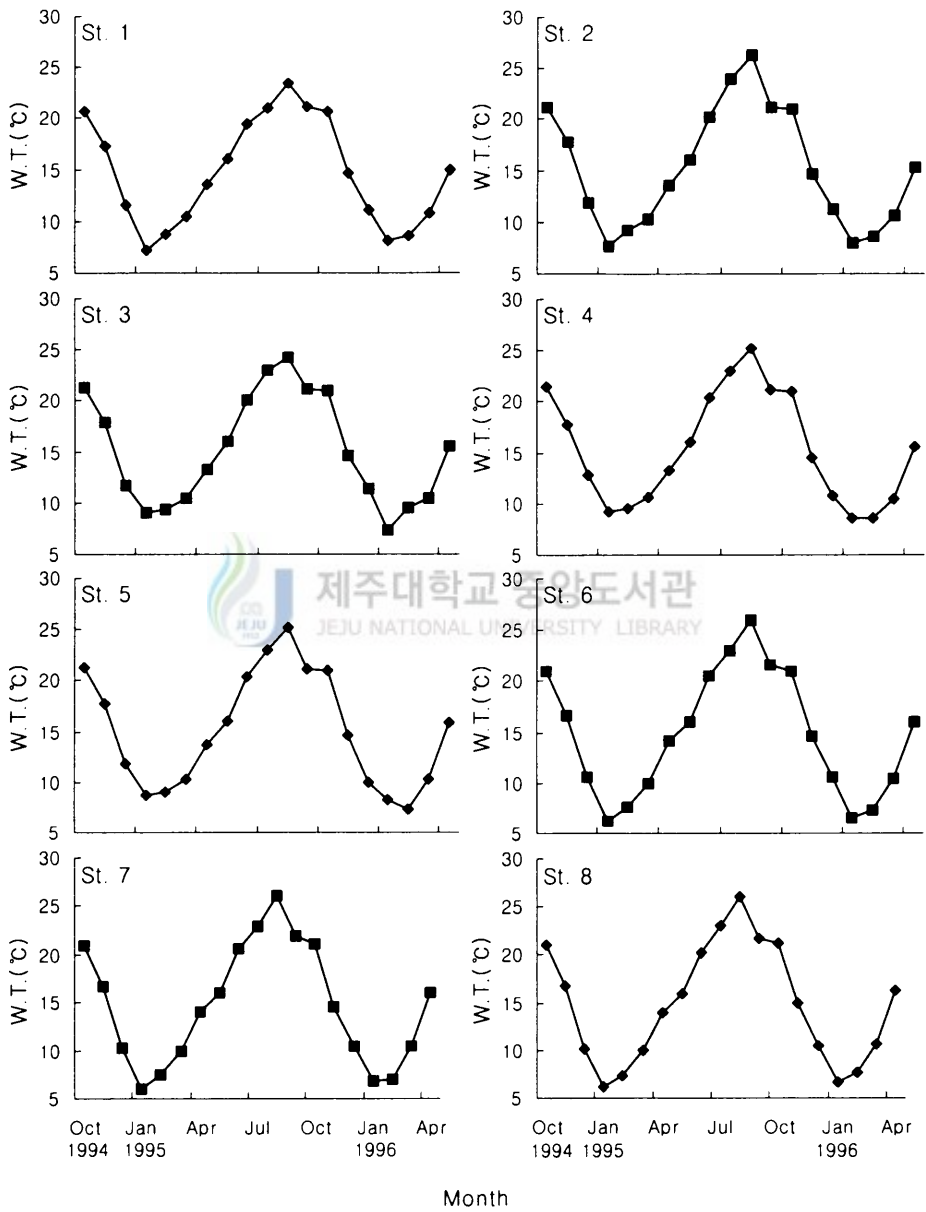


Fig. III-5-1. Monthly variation of water temperature at each station in Pukman Bay.



Table III-5-2. Monthly transparency (m) at each station in Pukman Bay

Station Month	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	2.2	2.2	2.5	2.2	2.1	2.8	3.0	3.0
Nov.	2.0	4.5	4.2	4.4	4.0	4.0	4.0	3.5
Dec.	2.5	4.8	4.5	4.7	4.6	4.8	4.7	5.0
Jan. 1995	4.5	5.5	5.5	5.7	6.3	6.0	6.1	5.8
Feb.	5.8	6.0	6.5	5.5	8.5	5.3	5.0	4.8
Mar.	4.2	4.0	3.0	3.5	3.0	3.3	3.0	2.8
Apr.	4.2	4.0	5.7	3.9	4.2	4.1	3.1	3.2
May	2.9	3.0	5.0	3.5	4.2	3.8	4.0	2.9
Jun.	4.4	4.8	3.8	5.0	8.0	2.5	2.1	4.5
Jul.	4.8	5.2	4.9	5.1	4.8	5.0	3.7	2.4
Aug.	6.5	5.0	5.3	4.7	5.5	4.6	3.5	3.0
Sep.	5.0	3.2	4.8	3.1	4.0	3.7	3.4	2.0
Oct.	4.2	7.5	3.0	7.0	4.2	7.5	6.1	2.5
Nov.	4.5	6.0	5.2	6.0	4.5	5.5	5.5	5.2
Dec.	10.0	4.0	4.7	6.0	3.5	7.5	7.0	7.0
Jan. 1996	6.0	5.5	5.8	5.6	3.0	3.5	3.2	3.5
Feb.	5.0	4.2	5.2	4.5	2.7	5.5	5.0	5.2
Mar.	4.5	4.6	4.7	4.0	5.2	4.5	5.0	4.7
Apr.	6.0	5.8	6.0	5.7	4.5	4.1	4.0	4.0

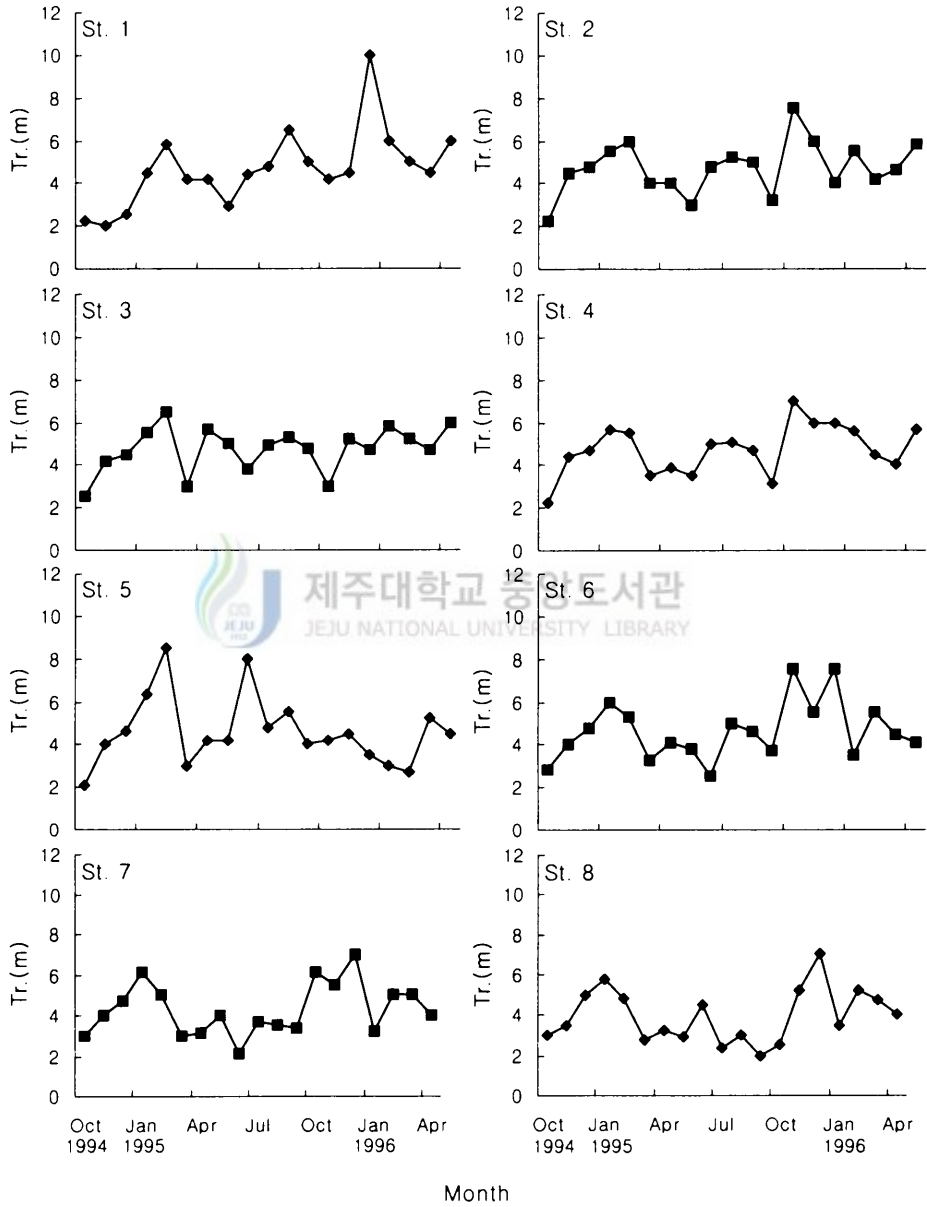


Fig. III-5-2. Monthly variation of transparency (Tr.) at each station in Pukman Bay.

Table III-5-3. Monthly variation of chlorophyll-a (mgChl/m<sup>3</sup>) at each station in Pukman Bay

Station \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	3.69	1.49	0.98	1.42	1.43	4.05	2.66	6.43
Nov.	4.87	2.58	1.02	1.46	1.44	4.29	3.50	6.03
Dec.	4.94	2.77	1.43	1.55	1.35	4.77	5.18	7.68
Jan. 1995	4.17	2.66	1.46	1.30	1.28	4.77	4.87	7.13
Feb.	2.46	1.43	1.36	1.15	1.14	3.62	3.53	7.09
Mar.	1.10	0.91	0.92	0.91	0.99	1.71	1.62	1.88
Apr.	3.98	1.38	2.89	1.16	2.72	2.55	2.42	3.89
May	5.61	2.19	3.14	1.41	2.98	3.73	3.66	7.01
Jun.	5.71	2.67	3.75	1.61	4.66	3.80	4.39	10.45
Jul.	3.13	2.32	2.67	1.57	2.86	2.82	4.66	8.93
Aug.	1.84	1.85	2.75	1.73	3.14	2.21	4.03	6.92
Sep.	3.64	1.76	2.66	2.21	2.77	3.25	4.65	5.96
Oct.	3.82	1.96	2.13	2.29	3.03	3.59	3.74	4.86
Nov.	3.51	1.66	1.83	1.98	2.97	3.24	3.48	4.41
Dec.	3.61	1.82	1.79	1.92	2.55	4.62	7.57	2.46
Jan. 1996	3.68	1.69	1.66	1.87	2.49	4.56	7.53	3.06
Feb.	4.19	1.97	1.77	1.90	2.57	4.50	7.44	3.27
Mar.	3.04	2.04	1.50	1.50	1.96	1.78	1.95	3.50
Apr.	3.77	2.78	1.53	1.62	1.84	1.94	2.25	3.76

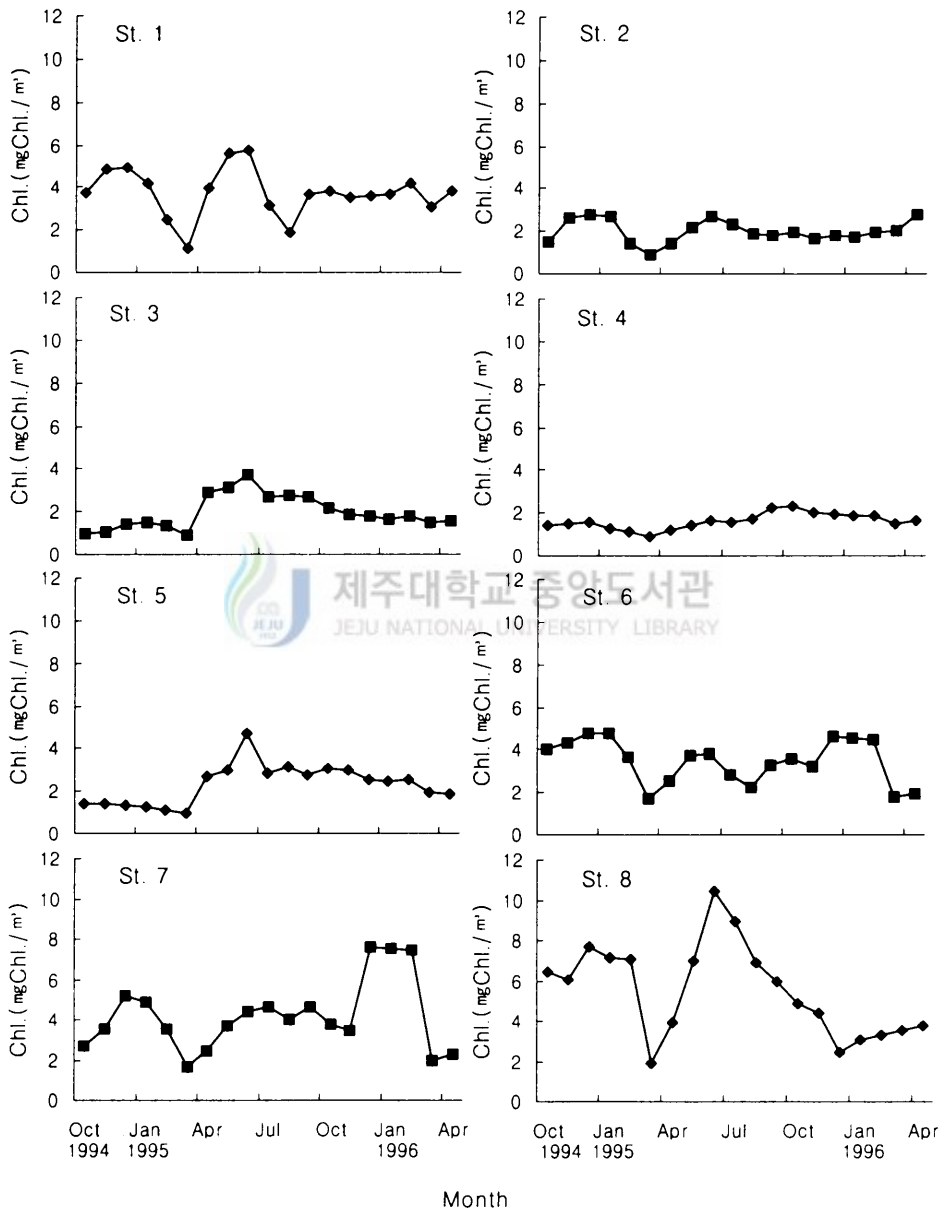


Fig. III-5-3. Monthly variation of chlorophyll-a (Chl.) at each station in Pukman Bay.

## 2) 기초생산력 추정 결과

Table III-5-1, Table III-5-2 및 Table III-5-3의 자료와 2개년간의 매일 시간별 일사량 자료를 사용하여 앞에서 기술한 식 II-1, 식 II-10에 따라 일단위의 기초생산력을 산출하였다. 조사일별, 조사지점별 기초생산력의 크기는 Table III-5-4에 단위 수면적당 자료로, 단위 수량당의 결과는 Table III-5-5와 같다.

일일 단위 수면적당 기초생산력의 크기는 0.07~1.5 gC/m<sup>2</sup>/day 였다. 전 조사기간을 통하여 장구도 서쪽 해역인 St. 5에서 0.09~0.46(평균 0.22) gC/m<sup>2</sup>/day으로 생산량이 매우 낮았다.

1995년 6월 가장 높은 생물잠재에너지를 생산하여 전 조사지점 평균은 6.831kcal/m<sup>2</sup>/day 였다. 이는 인접한 고성만(KSDN, 1997)의 5월 값인 29.345kcal/m<sup>2</sup>/day에 비해 매우 낮은 에너지 생산력이었다.

일반적으로 영양염의 증가는 기초생산력과 정상관 관계를 이루므로 조사 해역은 영양염의 공급원동력이 되는 조석류 특성에 따라 대평포와 법송포가 위치한 동쪽 해역과 장구도와 필도를 기점으로 하는 서쪽 해역, 그리고 장도를 중심으로 하는 남쪽 해역으로 구분할 수 있다. 동쪽 해역은 인근의 도시하수로부터 공급되는 풍부한 영양염을 바탕으로 만의 외측 해역에 비해 생산력이 높았고, 서쪽 해역은 장구도 서쪽에서 형성된 잔차와류에 의해 대평포와 법송포, 남만으로부터 공급되는 풍부한 영양염이 차단되어 상대적으로 생산력이 낮았다. 한편 남쪽해역은 통영시 하수처리장의 직접적인 영향을 받는 남만으로부터 풍부한 영양염을 공급받음으로써 구분된 해역 중에서 생산력이 가장 높았다. 이러한 현상은 기초생산력의 변동폭으로도 알 수 있었다(Fig. III-5-4).

해수유동의 폭이 큰 St. 1과 St. 2의 남쪽해역은 편차가 가장 컸고, 잔차와류에 의해 비교적 일정한 영양염을 공급받고 있는 St. 3과 St. 4 및 St. 5는 비교적 편차가 작았다. 한편 만의 내측인 St. 8이 위치한 법송포 해역은 봄철 갈수기에 낮게 나타나 계절에 따른 변동이 심하였고, St. 7이 위치한 대평포 해역은 지속적인 도시하수의 영향을 받는 해역으로 비교적 편차가 작았다.

계절적인 변동은 주로 늦가을부터 시작하여 초겨울에 이르는 동안에 상대적으로 낮았고, 봄과 여름에 높았다(Fig. III-5-5).

이 등(1991)은 한산 거제만의 기초생산력을 0.22~1.02(평균 0.52) gC/m<sup>2</sup>/day이고, 가막양만은 0.11~3.61(평균 0.91) gC/m<sup>2</sup>/day 라고 하였다. 북만의 기초생산력은 이들 해역보다 다소 낮아 0.07~1.53 gC/m<sup>2</sup>/day(평균 0.38) gC/m<sup>2</sup>/day였다.

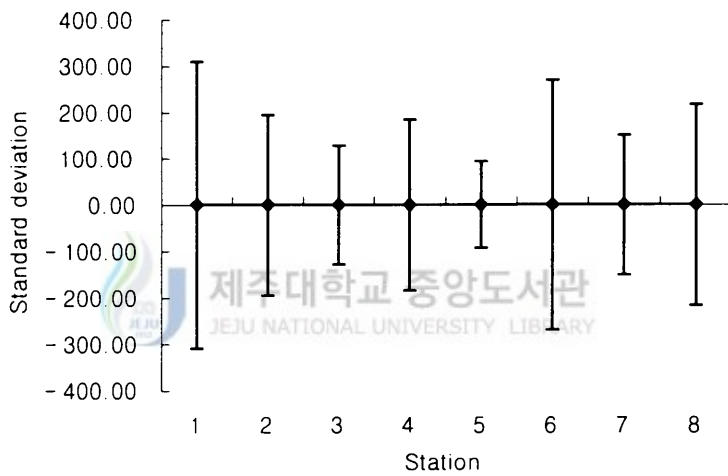


Fig. III-5-4. Standard deviation of primary production during observed period in Pukman Bay.

Table III-5-4. Primary productivity (mgC/m<sup>2</sup>/day) per unit area at each station in Pukman Bay

Station Month	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	546.9	236.6	95.6	71.6	91.1	87.5	331.4	233.3
Nov.	456.7	214.9	258.9	95.5	143.2	128.3	382.1	311.7
Dec.	655.6	218.3	237.1	114.6	130.2	110.7	406.6	431.8
Jan. 1995	785.8	377.0	295.3	163.7	151.1	163.4	567.1	585.8
Feb.	808.1	357.0	215.1	221.1	159.3	236.3	475.8	437.6
Mar.	140.0	128.2	100.8	76.4	88.3	82.1	155.9	134.1
Apr.	435.6	598.8	197.6	587.4	161.8	409.4	375.0	268.7
May	752.7	626.4	253.0	605.3	190.3	482.9	546.6	564.7
Jun.	1527.1	832.8	424.9	472.3	266.8	1205.2	314.1	304.2
Jul.	779.9	566.3	455.1	493.6	302.0	518.1	531.9	650.4
Aug.	810.0	478.1	374.0	587.8	328.8	696.3	411.4	570.4
Sep.	389.0	609.7	188.5	427.9	229.2	371.3	402.9	529.6
Oct.	344.1	469.9	422.8	186.8	463.6	372.8	774.5	664.9
Nov.	495.5	351.0	220.4	211.4	262.9	297.0	395.4	424.6
Dec.	291.5	609.7	129.4	149.8	204.0	157.8	605.7	930.7
Jan. 1996	205.3	446.1	188.1	193.3	212.7	151.4	318.3	481.4
Feb.	404.5	525.0	207.2	232.1	214.2	171.3	611.9	916.9
Mar.	440.0	380.2	260.6	195.6	166.3	282.3	222.3	270.5
Apr.	529.1	808.7	577.6	328.5	331.1	298.1	286.3	323.9

Table III-5-5. Primary productivity (mgC/m<sup>3</sup>/day) per unit water volume at each station in Pukman Bay

Month \ Station	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	227.8	129.4	52.3	35.0	49.8	49.8	146.8	97.1
Nov.	173.4	132.2	78.3	30.8	44.2	43.3	128.6	104.9
Dec.	185.7	114.9	70.2	36.0	39.4	34.1	119.7	129.4
Jan. 1995	181.2	110.9	72.6	40.8	36.5	35.8	126.6	128.2
Feb.	214.8	80.5	47.2	45.2	37.9	38.1	115.3	111.8
Mar.	61.1	38.7	31.8	31.3	31.5	33.7	58.5	54.8
Apr.	162.9	174.3	60.2	128.4	50.4	119.2	111.8	103.8
May	306.2	254.1	99.5	147.8	64.9	138.9	172.8	170.1
Jun.	433.2	242.1	113.9	157.5	68.8	202.7	153.0	172.2
Jul.	383.4	147.4	110.1	126.2	74.0	135.0	133.4	216.1
Aug.	305.1	87.3	87.2	129.6	81.2	148.3	103.7	186.0
Sep.	220.7	150.8	70.6	109.9	88.4	113.1	132.0	187.7
Oct.	168.6	143.5	75.9	77.7	88.5	113.9	139.0	143.6
Nov.	130.5	105.7	51.0	55.7	60.8	89.5	99.0	106.3
Dec.	61.2	94.8	45.1	45.1	49.1	61.6	119.4	194.7
Jan. 1996	76.1	101.7	46.4	45.1	51.8	65.2	117.3	192.9
Feb.	100.2	135.5	62.9	58.2	61.0	77.2	142.9	232.9
Mar.	119.8	107.7	72.2	53.1	52.5	69.7	62.9	69.4
Apr.	161.5	169.3	124.8	68.8	72.7	81.7	85.6	99.2



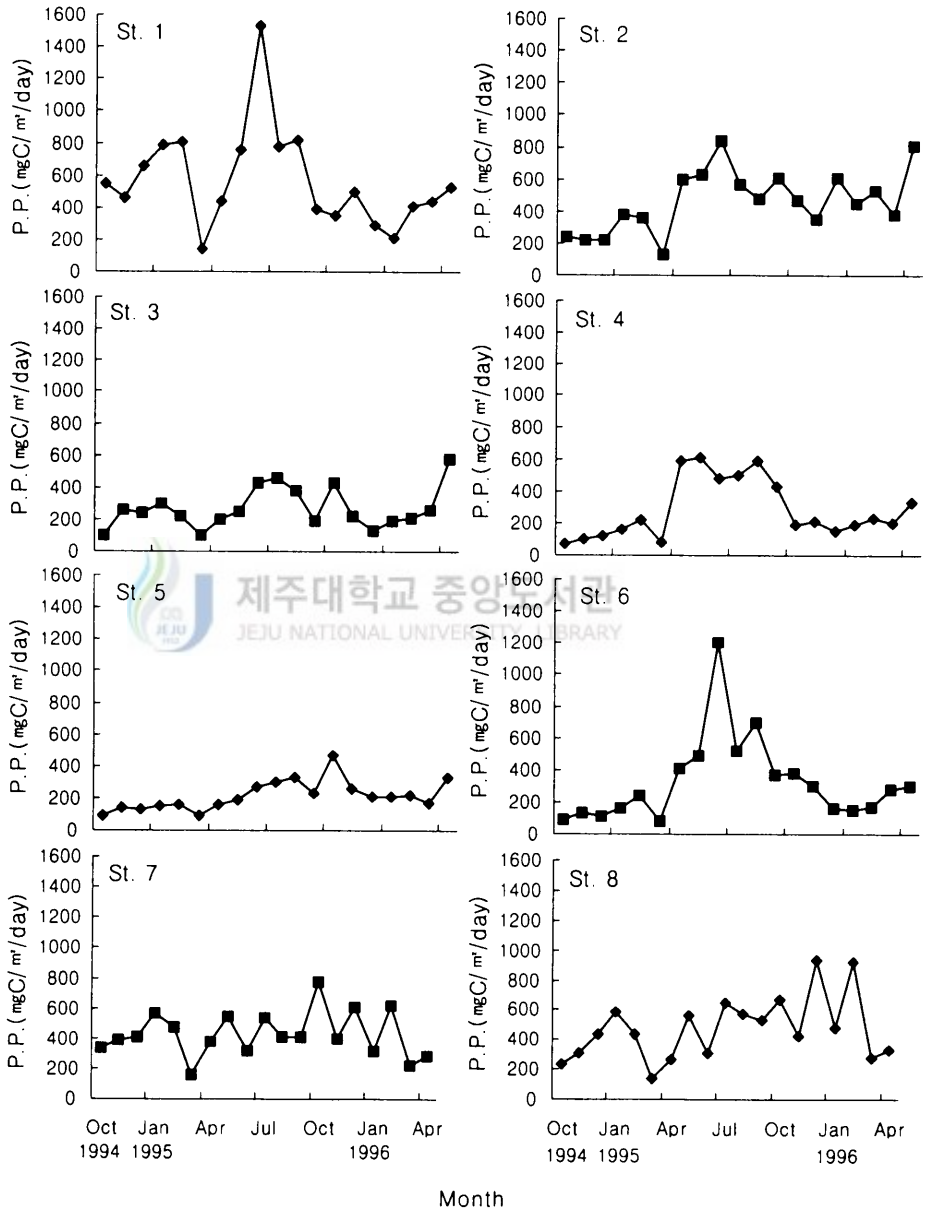


Fig. III-5-5. Monthly variation of primary productivity (P.P.) per unit area at each station in Pukman Bay.

3) 기초생산력에 의한 원료와 제품

조사해역에서 추정된 기초생산력을 기초로 하여 Odum(1971)의 광합성 결보기식에 따라 월별로 추정하여 원료물질로서 CO<sub>2</sub>와 질산염, 인산염, 미네랄, 생산물질을 추정 한 1일 단위 해면적당 결과는 Table III-5-6과 같으며, 북만해역 1,470 ha에서 이루어 졌을 원료량 및 제품량의 추정치는 Table III-5-7과 같다. 월별, 조사지점별로는 Appendix 5-1과 같다.

최고의 생산력을 나타낸 6월에 북만해역 1,470 ha에서 하루에 420.149GJ의 생물잠 재에너지가 함유된 25.17톤의 원형질 합성이 이루어 졌으며, 38.07톤의 산소가 발생되 었고, 해수 중에서 NO<sub>3</sub> 7.66톤, PO<sub>4</sub> 0.74톤, 미네랄 6.29톤이 생체로 전환된 것으로 추 정된다.

Table III-5-6. Amount of production and raw material per unit area for primary production (Unit : /m<sup>2</sup>/day) in Pukman Bay

Date	CO <sub>2</sub> (g)	NO <sub>3</sub> (g)	PO <sub>4</sub> (g)	Mineral (g)	Protoplasm (g)	Potential energy (K-cal)	Oxygen (g)
Oct. 1994	0.777	0.165	0.019	0.136	0.542	2.167	0.820
Nov.	0.913	0.194	0.019	0.160	0.638	2.544	0.964
Dec.	1.056	0.225	0.022	0.185	0.738	2.944	1.116
Jan. 1995	1.416	0.301	0.029	0.247	0.989	3.947	1.496
Feb.	1.334	0.284	0.027	0.233	0.932	3.718	2.107
Mar.	0.415	0.089	0.009	0.073	0.290	1.157	0.439
Apr.	1.391	0.296	0.029	0.243	0.972	3.876	1.470
May	1.844	0.392	0.038	0.322	1.288	5.138	1.948
Jun.	2.451	0.521	0.050	0.428	1.712	6.831	2.590
Jul.	1.970	0.419	0.040	0.344	1.376	5.490	2.081
Aug.	1.951	0.415	0.040	0.341	1.363	5.438	2.062
Sep.	1.443	0.307	0.030	0.252	1.008	4.022	1.525
Oct.	1.696	0.361	0.035	0.296	1.184	4.726	1.792
Nov.	1.218	0.259	0.022	0.213	0.851	3.396	1.288
Dec.	1.411	0.300	0.029	0.247	0.986	3.933	1.491
Jan. 1996	1.007	0.214	0.020	0.176	0.703	2.806	1.064
Feb.	1.505	0.320	0.031	0.263	1.051	4.194	1.590
Mar.	1.017	0.216	0.021	0.178	0.710	2.833	1.074
Apr.	1.579	0.340	0.033	0.297	1.022	4.450	1.687
Mean	1.390	0.296	0.028	0.243	0.966	2.915	1.505

Table III-5-7. The amount of raw material and production per day for primary production at Pukman Bay (1,470ha, Unit: /day)

Date	CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	NO <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	PO <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> )	Mineral (m <sup>3</sup> )	Protoplasm (m <sup>3</sup> )	Potential energy (G-Joule)	Oxygen (m <sup>3</sup> )
Oct. 1994	11.42	2.43	0.24	2.00	7.97	133.284	12.05
Nov.	13.42	2.85	0.28	2.35	9.38	156.471	14.17
Dec	15.52	3.31	0.32	2.72	10.85	181.074	16.41
Jan. 1995	20.82	4.42	0.43	3.63	14.54	242.765	21.99
Feb	19.61	4.17	0.40	3.43	13.70	228.680	30.97
Mar	6.10	1.31	0.13	1.07	4.26	71.162	6.45
Apr	20.45	4.35	0.43	3.57	14.29	238.398	21.61
May	27.11	5.76	0.56	4.73	18.93	316.029	28.64
Jun	36.03	7.66	0.74	6.29	25.17	420.149	38.07
July	28.96	6.16	0.59	5.06	20.23	337.669	30.59
Aug	28.68	6.10	0.59	5.01	20.04	334.471	30.31
Sep	21.21	4.51	0.44	3.70	14.82	247.378	22.42
Oct	24.93	5.31	0.51	4.35	17.40	290.678	26.34
Nov	17.90	3.81	0.32	3.13	12.51	208.875	18.93
Dec	20.74	4.41	0.43	3.63	14.49	241.904	21.92
Jan. 1996	14.80	3.15	0.29	2.59	10.33	172.586	15.64
Feb	22.12	4.70	0.46	3.87	15.45	257.957	23.37
Mar	14.95	3.18	0.31	2.62	10.44	174.247	15.79
Apr	23.21	5.00	0.49	4.37	15.02	273.702	24.80
Mean	20.43	4.35	0.41	3.57	14.20	238.280	22.12

#### 4) 요약

북만의 일일 단위 수면적당 기초생산력의 크기는 0.07~1.5 gC/m<sup>2</sup>/day 범위였다. 1995년 6월 가장 높은 생물잡재에너지를 생산하여 전 조사지점 평균은 6.831kcal/m<sup>2</sup>/day 였다.

기초생산력의 분포는 조석류 특성에 따라 대평포와 범송포가 위치한 동쪽 해역과 장구도와 필도를 기점으로 하는 서쪽 해역, 그리고 장도를 중심으로 하는 남쪽 해역 등의 3 해역으로 구분할 수 있다. 동쪽 해역은 인근의 도시하수로부터 공급되는 풍부한 영양염을 바탕으로 만의 외측 해역에 비해 생산력이 높았고, 서쪽 해역은 장구도 서쪽에서 형성된 잔차와류에 의해 대평포와 범송포, 남만으로부터 공급되는 풍부한 영양염이 차단되어 상대적으로 생산력이 낮았다. 한편 남쪽해역은 통영시 하수처리장의 직접적인 영향을 받는 남만으로부터 풍부한 영양염을 공급받음으로써 구분된 해역 중에서 가장 생산력이 높았다.

계절적으로는 주로 늦가을부터 시작하여 초겨울에 이르는 동안에 상대적으로 낮았고, 봄과 여름에 생산력이 높았다.



## 6. 먹이생물 생산능력에 의한 수용력

먹이생물로부터 양식장의 수용력을 모색하려는 시도는 일본의 青森縣水産増殖センター(1986)에서 수행한 참가리비 양식장의 적정 수용력에 관한 연구를 비롯하여, 岩手縣栽培漁業センター(1986)의 굴, 참가리비, 우렁쉥이 양식장의 수용력에 관한 연구가 있다. 국내의 경우 조와 김(1977)이 거제만의 굴 양식장 밀도와 부영양화에 관한 연구를 시작으로, 조(1980)는 한산·거제만의 저니 오염치로부터 굴양식장의 양식밀도에 관해 추정하면서, 에너지 흐름의 관점에서 수용력을 다룰 필요성을 강조하였으며, 김(1980)은 거제·한산만 양식굴의 에너지 전환효율에 관하여 보고하였다.

이 장에서는 북만해역의 양식굴의 최대 기대생산량을 산정하여 현재의 생산량과 비교하여 만 전체의 수용력을 추정하고, 각 양식장별 양식굴의 먹이 요구량에 대한 먹이 공급량의 충족정도를 추정하여 각각의 굴양식장별 수용력을 산정하였다.

### 1) 북만 전체 굴양식장 수용력 평가

#### (1) 개념

입력과 과정(過程) 및 출력을 능동적으로 관리할 수 있는 육상의 경작포장(耕作圃場)과는 달리 굴 양식장은 입력과 과정(過程)을 자연적 해황에 의존할 수 밖에 없는 수동적 재배생산의 틀로 규정된다. 따라서 굴 종패를 수하하여 수확할 때까지의 기간 동안 해수의 생물생산 매카니즘의 복합적 작용결과에 따라 양식장의 굴 생산량이 결정된다고 볼 수 있다. 그러므로 양식장별 굴 생산성적은 양식기간동안의 생산환경의 역동적 결과물로 간주할 수 있으며, 각 양식장의 굴 생산력은 그 자체로서 해당 양식장의 수용능력에 관한 정보를 내포하고 있을 것으로 여겨진다.

굴 양식장의 생산력은 수평으로 유동하는 해수에 의하여 공급되는 먹이를 원동력으로 한다고 할 수 있으므로, 연승 길이와 수하연 길이의 곱을 해수유동 면적으로 하고, 생산에 관련되는 자료를 단위유동면적당 자료로 환산하여 자료를 균질화한 다음, 균질화된 자료를 가공, 수치해석하여 굴 생산량에 내포된 양식장 수용능력에 관한 정보를 도출하였다.

#### (2) 논리식

하나의 굴 양식장은 그 양식장의 생물생산에 관여하는 요인들이 복합적으로 작용하

여 하나의 생산공간을 형성한다고 가정하면, 이 생산공간은 어떤 크기를 갖게 될 것이다. 즉, 어느 단위 공간에서 최대수용능력은 개체수의 증가에 따라 그 밀도효과는 지수적으로 감소한다. 따라서 최대수용능력을  $K$ 라 하고, 수확시기의 개체수를  $N$ 이라 하면,

$$\frac{dK}{dN} = -MK$$

$K_0$ 는  $N=0$  일 때 초기조건인 환경용량이므로 여기서는 단위유동용량에 해당되고,  $M$ 은 감소율이다. 위 식을 적분하면,

$$K_N = K_0 \cdot e^{-MN} \quad (\text{식 III-1})$$

으로 된다.

$K_N$ 은 단위유동용적에서 이미 소진한 부분을 제외한 남은 공간에 해당되고  $K_0$ 는 초기 최대수용능력인 단위유동용적 전체를 의미한다. 따라서 알굴 중량이 양식장의 유동용적에 비례한다고 가정하면, 수확시의 알굴중량  $W_N$ 은  $K_N$ 에, 이론적인 최대알굴중량  $W_K$ 는  $K_0$ 에 해당하므로

$$W_N = W_K \cdot e^{-MN} \quad (\text{식 III-2})$$

으로 된다. 따라서 단위유동면적당 생체량은

$$Y = W_N \cdot N \quad (\text{식 III-3})$$

가 된다. 그리고 수확기의 생체량  $Y$ 를 수확량으로 간주하기로 한다.

### (3)해석 결과 및 평가

1994년 9월부터 1996년 4월까지 북만의 굴양식장에서 월별로 채취한 굴 시료의 생체 측정자료와 양식장 시설자료로 부터 단위유동면적당 개체수와 개체알굴중량 자료를 정리한 결과는 Fig. III-6-1과 같다.

$$\text{양식장별 총개체수 } N_{total} = \frac{\text{연승총길이}}{\text{수하연간격}} \times \text{수하연당개체수}$$

$$\text{총유동면적 } U = \text{연승총길이} \times \text{수하연길이}$$

$$\text{단위유동면적당 개체밀도 } N = \frac{N_{total}}{U}, \quad (\text{개체수}/m^2)$$

Fig. III-6-1에서 보는 바와 같이 식 III-3에서 기대한 대로 단위유동면적당 개체수  $N$ 와 개체알굴중량  $W$ 사이에는 상, 하 각 그룹별로

$$W = 17 \cdot e^{-0.008 \cdot N} \quad (\text{식 III-4})$$

$$W = (7.64) \cdot e^{-0.0075 \cdot N} \quad (\text{식 III-5})$$

의 관계가 성립하고 있었다. 이 식들을 식 III-2에 대입하고,  $N = 1 \sim 400$  범위에서  $Y$  를 계산하여 Fig. III-6-2에서 보는 바와 같이 북만에서 단위유동면적당 개체수가 125~133일 때 개체의 알굴 무게가 가장 높은 값이었고, 상하층간의 적정 개체밀도의 차이는 무시할 만한 수준이었다.

따라서 수하연 간격 0.5m, 수하연 길이 5m로 보면, 수하연당 유동면적은  $2.5m^2$ 가 되므로, 수하연당 최적밀도는 310~330 개체라고 할 수 있다. 그러나 이 최적밀도는 수확시의 수하연당 생존개체수를 의미하는 것으로서 종패수하시의 개체수는 아니다. 그러므로 북만해역에서 위의 최적밀도에서 기대되는 수하연당 최대생산량은 양식장에 따라 0.94kg~1.95kg 이다.

북만의 양식굴의 최대기대 단위생산량의 분포는 Fig. VII-7에서 보는 바와 같이 2개의 양식장군으로 구분된다. 즉 장구도와 목섬을 잇는 선을 경계로 하여, 동쪽 구역은 저생산구역으로 수하연당 최대 기대알굴생산량은 1~1.2kg이며, 서쪽구역은 1.8~2kg 이다.

동서구역의 굴양식장 설치가능 총 해면적은 동쪽구역이 540ha, 서쪽구역이 550ha로써 총 1090ha에 해당된다. 1995년 북만해역의 굴양식장 면허 연면적은 198.63ha로서 해면 면적의 18.2%에 해당한다. 식 III-4, 식 III-5로 도출된 개체알굴중량의 밀도의존계수  $M=0.0075 \sim 0.008$ 은 환경용량의 격년진동에 따라 유동 가능한 계수로 보아야 하므로, 현재의 면허면적 비율을 그대로 적용할 필요가 있다. 이를 굴 양식장 시설기준 20000연/5ha를 적용하여 추정되는 북만의 연간 알굴 생산량 한계는 다음과 같이 추정된다. 아래와 같이 기대되는 알굴생산가능량은 1,193 Ton/year이고, 현재 알굴 생산량은 기대알굴생산량의 87% 수준인 1,038 Ton/year이었다. 이상의 결과를 토대로 먹이 공급능력에 따른 양식시설적정 수준은 북만의 굴양식장 설치 가능면적 18.2% 수준의 면적에서 굴양식을 계속하는 것은 무리가 없는 것으로 여겨진다.

$$\text{동쪽구역} \quad (540\text{ha} \times 0.182) \times 20000\text{연}/5\text{ha} \times 1\text{kg}/\text{수하연} = 393 \text{ Ton}$$

$$\text{서쪽구역} \quad (550\text{ha} \times 0.182) \times 20000\text{연}/5\text{ha} \times 2\text{kg}/\text{수하연} = 800 \text{ Ton}$$

## 2) SFC(Surplus Food Coefficient)에 의한 굴양식장별 수용력 평가

단위시간당 해수 여과량에 포함된 먹이 에너지의 양을 공급량으로 하고, 단위시간 동안 굴 집단의 생리대사에 요구되는 에너지양을 요구량으로 하여, 공급량이 요구량을 충족할 수 있는지 여부를 추정하였다. 이 때 단위수량당 먹이 에너지 함량은 기초생산력을 사용하였으며, 생리대사 에너지 요구량은 섭취한 먹이 에너지의 증중효율

값과 단위시간당 연체부의 육중량 증가량으로부터 산정하였다. 먹이의 공급능력은 요구량에 대한 공급량의 비율로 평가하며, 비율이 0 이하이면 먹이 부족을 나타내는 것으로 하였다. 이러한 먹이 부족비율을 각 양식장별로 검토하여 수용력을 추정하였다.

북만해역의 먹이공급능력으로 추정된 양식굴의 기대생존율은 Table III-6-1과 같다. 이 결과에 의하면 4947, 4945, 4774, 4486, 3704, 4565, 4730, 4782 양식장에서는 먹이부족 요인으로 인한 폐사는 없는 양식장으로 추정되었으며, 먹이부족으로 인한 폐사율이 50%이상으로 추정되는 양식장은 5029, 3718, 3547 양식장이었다.

굴양식장의 시점별로 조사된 생존율은 Table III-6-2와 같다. 양식굴의 채취작업이 대부분 이루어지는 12월을 기준으로 할 때 대평포 입구에 있는 4565 양식장이 2%, 망자도 주변의 3718 양식장이 20%의 낮은 생존율을 보였으며, 장도 남쪽의 104 양식장은 진주담치의 과도한 부착으로 인하여 30%의 생존율을 나타내었다. 이를 제외하면 42~93%의 생존율을 나타내었으며, 4861양식장의 생존율이 가장 높았다. 양식굴의 대량폐사는 50~60%가 폐사하는 것이 특징이고 60%이상이 폐사하는 것은 상업적인 실패로 간주하였다(Ventilla, 1984). 북만해역에서는 대평포 입구에 위치한 4565 양식장과 해수의 유동이 좋지 않는 곳의 양식장이었다.

먹이를 제외한 다른 요인에 의한 폐사율이 50% 이상인 양식장은 12월에 4947, 4289, 4486, 5053, 4565, 4782 양식장으로 나타났으며, 특히 북만의 내측인 대평포 입구에 있는 4565 양식장은 먹이 이외의 다른 요인에 의해 91%가 폐사되어, 이는 수질환경의 악화, 부착생물의 피해 등에 의하여 폐사된 것으로 추정된다(Table III-6-3).

위의 결과를 보면 장구도 주변 북서쪽과 목섬 주변 및 망자도를 중심으로 하는 북만의 내측에 위치한 양식장은 먹이 이외의 다른 요인에 의한 폐사율이 높은 해역이었고, 만의 외측에 위치한 양식장과 망자도와 장구도를 잇는 가상선의 북쪽에 위치한 양식장은 먹이공급력이 폐사율에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

6월에 굴 종패를 수하하고 익년 4월에 수확을 종료한다는 조건으로 북만해역의 관측자료와 매개변수들을 사용하여 식 II-25에 따라 양식장별 먹이공급능력 지수를 추정한 결과는 Table III-6-4와 같고, 굴의 성장에 소요되고 남은 잉여먹이공급지수(SFC, Surplus Food Coefficient)를 다음 식으로 산출하여 각 양식장별로 정리하면 Fig. III-6-4와 같다.

$$SFC = \frac{VE - EFD}{EFD} \quad (\text{식 III-6})$$

대부분의 양식장에서 7월부터 11월까지 먹이 요구량을 충족시켰으나, 4952양식장만이 양성 초기인 7~8월에 먹이 요구량을 충족시키지 못하는 것으로 나타났다. 그러나,



수확기에 들어가는 12월과 1월에는 4946, 104, 4792, 5029, 4783, 4861, 4463, 4952, 3718, 3547 양식장에서도 먹이 요구량에 대한 먹이 공급량이 부족하였다. 특히 5029, 3718 양식장은 12월~2월까지의 3개월동안, 4463과 3547 양식장은 4개월간 먹이 공급량이 부족한 것으로 나타났다.

7월부터 11월까지 잉여먹이공급지수가 가장 낮은 양식장은 4952 양식장이었으며, 3547 양식장은 12월부터 2월까지 최저치를 나타내었고 특히 12월에 요구량의 49%가, 1월에 66%, 2월 46%가 부족하여 심각한 먹이부족 현상을 보였다. 그러나 2월이 되면 먹이 부족현상은 다소 회복되었지만, 여전히 5개의 양식장(5029, 4861, 4463, 3718, 3547)에서는 먹이부족현상이 나타났다. 3월에 들면 4463과 3547 양식장을 제외한 모든 양식장에서 먹이 공급량이 먹이 요구량을 충족시키는 것으로 추정되었다.

굴의 생산력은 수온과 염분 등 다양한 환경, 질병 및 생물적인 요인에 지배되고 (Mackin, 1962; Ray, 1987; Allen and Turner, 1989), 굴양식장의 먹이공급과 폐사율의 상호작용은 개체군의 밀도와 크기의 도수분포를 결정하는데 중요한 요소이다(Powell *et al.*, 1993). 그러나 먹이량이 부족하여도 당장의 폐사는 없지만 종종이 중단되며, 기간이 길어지면 소화맹장이 보일 정도까지 되는 물굴상태가 된다. 일반적으로 먹이량의 부족 기간이 1개월 이상 지속되면 이러한 현상이 발생하는 것으로 보고 있다.

앞의 식 II-24에서  $(\Delta W \times dr \times \frac{E_k}{rG})$ 를 시점  $t$ 에 있어서의 정수  $\beta_t$ 로 둔다면 식 II-24는

$$EFD = \beta_t \cdot N_t \quad (\text{식 III-7})$$

즉, 기준  $t$ 점에서 기대 알굴 증량에 도달하기 위하여 시간  $t$ 에 있어서 요구되는 먹이 에너지 요구량( $EFD$ )은 단위 굴양식장의 굴 집단을 구성하는 총 개체수  $N_t$  의존성이 된다.

SFC(Surplus Food Coefficient)에 의한 북만해역의 굴양식장별 수용력을 평가하면, SFC가 0이하로 되는 즉, 증육에 필요한 먹이의 공급이 되지 않는 기간이 1개월 이상 지속되는 굴양식장은 북만 전체의 21개 양식장 중에서 10개에 달한다. 그러므로 위의 10개 양식장에서는 먹이공급능력을 초과하는 개체가 수용되어 있다고 볼 수 있으며, 10개 과밀양식장의 과밀정도는 평균 39%로 추정되었다.

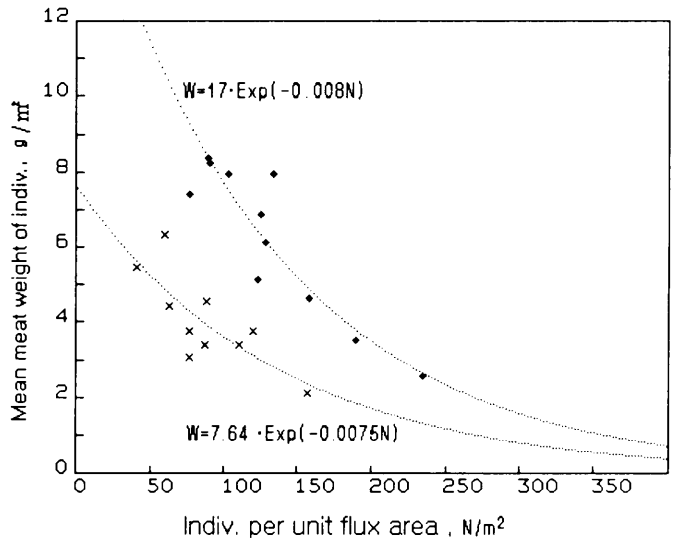


Fig. III-6-1. Relationship between Individual density and meat weight in unit flux area.

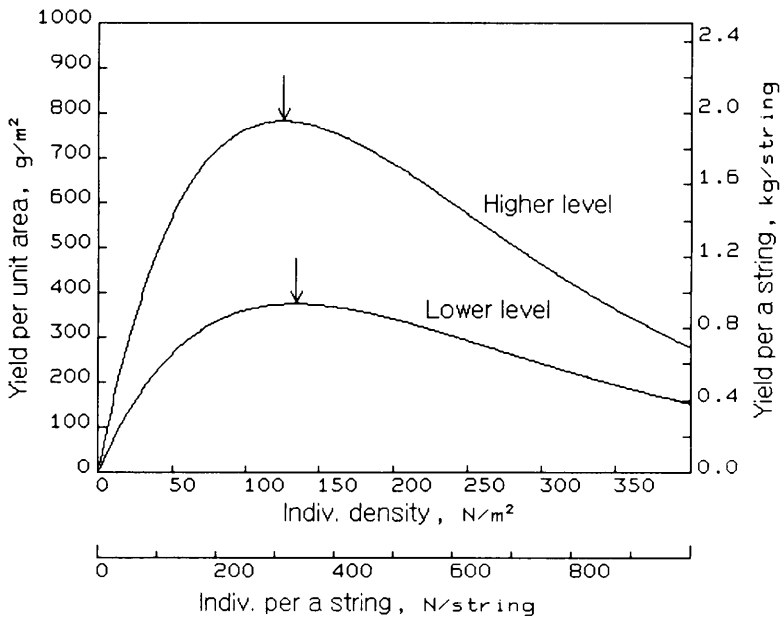
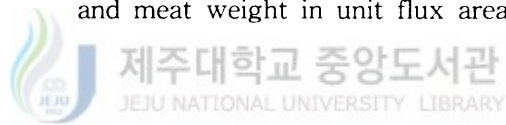


Fig. III-6-2. Relationship between individual density and yield content.

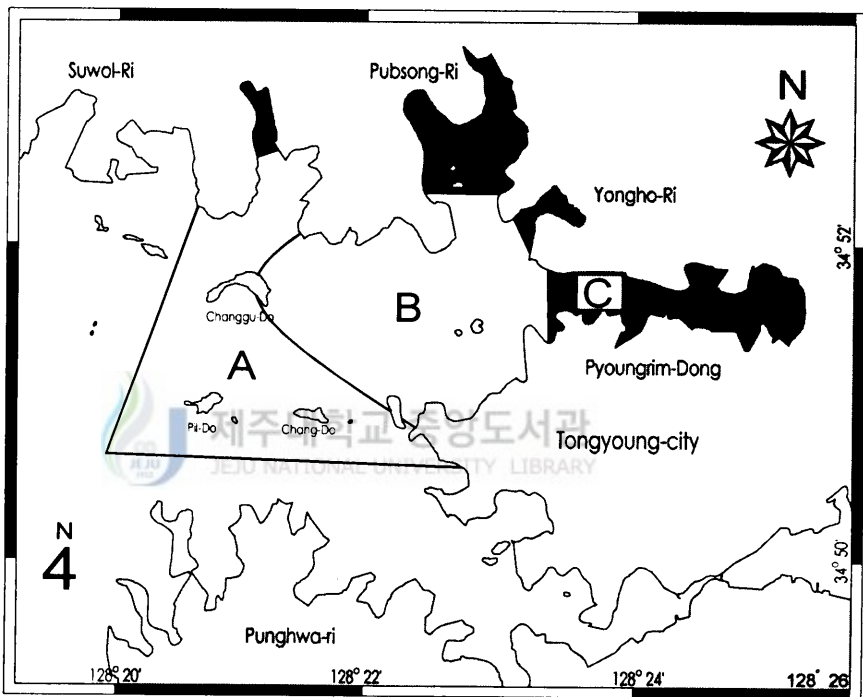


Fig. III-6-3. Division of observed area estimated by carrying capacity of oyster farm in Pukman Bay.  
 A : High yield area for oysters farming  
 B : Low yield area for oysters farming  
 C : Unavailable area for oysters farming

Table III-6-1. The expected survival rate deduced by food coefficient

	Farm code	Month									
		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	4946	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66	0.65	0.65	0.65	0.65
2	4947	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	104	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66	0.65	0.65	0.65	0.65
4	4792	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66	0.65	0.65	0.65	0.65
5	4945	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	5029	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	0.41	0.41	0.41	0.41
7	4774	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8	4783	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	0.51	0.51	0.51	0.51
9	4289	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.85	0.85	0.85
10	4486	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
11	5053	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
12	4861	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
13	3704	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
14	4463	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	0.51	0.51	0.51	0.51
15	4952	0.85	0.71	0.71	0.71	0.71	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
16	3718	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	0.37	0.37	0.37	0.37
17	3547	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.51	0.34	0.34	0.34	0.34
18	4565	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
19	4730	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	4782	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
21	4836	1.00	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95

Table III-6-2. The surveyed survival rate

	Farm code	Month									
		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	4946	0.87	0.82	0.76	0.71	0.67	0.62	0.58	0.54	0.51	0.48
2	4947	0.80	0.72	0.64	0.57	0.51	0.46	0.41	0.37	0.33	0.29
3	104	0.71	0.59	0.50	0.42	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15
4	4792	0.82	0.75	0.68	0.62	0.56	0.51	0.46	0.42	0.38	0.34
5	4945	0.92	0.88	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.69	0.66	0.63
6	5029	0.88	0.83	0.78	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.54	0.51
7	4774	0.92	0.88	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.69	0.66	0.63
8	4783	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	0.81
9	4289	0.82	0.74	0.67	0.06	0.54	0.49	0.44	0.40	0.36	0.33
10	4486	0.81	0.72	0.65	0.58	0.52	0.47	0.42	0.38	0.34	0.31
11	5053	0.81	0.72	0.65	0.58	0.52	0.47	0.42	0.38	0.34	0.31
12	4861	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.91	0.90
13	3704	0.83	0.76	0.70	0.64	0.58	0.53	0.49	0.44	0.40	0.37
14	4463	0.79	0.70	0.62	0.55	0.49	0.44	0.39	0.34	0.30	0.27
15	4952	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78	0.76	0.73	0.70	0.68
16	3718	0.63	0.50	0.40	0.32	0.25	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08
17	3547	0.78	0.69	0.61	0.54	0.48	0.42	0.38	0.33	0.29	0.26
18	4565	0.50	0.35	0.25	0.18	0.12	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02
19	4730	0.87	0.82	0.76	0.71	0.67	0.62	0.58	0.55	0.55	0.48
20	4782	0.81	0.73	0.66	0.60	0.54	0.48	0.44	0.39	0.36	0.32
21	4836	0.96	0.95	0.93	0.91	0.90	0.88	0.87	0.85	0.84	0.82

Table III-6-3. The mortality rate with other cause except food

	Farm code	Month									
		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1	4946	0.13	0.18	0.24	0.29	0.33	0.03	0.07	0.11	0.14	0.18
2	4947	0.20	0.28	0.36	0.43	0.49	0.54	0.59	0.63	0.67	0.71
3	104	0.29	0.41	0.50	0.58	0.65	0.36	0.40	0.44	0.47	0.50
4	4792	0.18	0.25	0.32	0.38	0.44	0.15	0.19	0.23	0.27	0.31
5	4945	0.08	0.12	0.15	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.37
6	5029	0.12	0.17	0.22	0.26	0.31	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
7	4774	0.08	0.12	0.15	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.37
8	4783	0.04	0.06	0.07	0.09	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	4289	0.18	0.26	0.33	0.40	0.46	0.51	0.40	0.44	0.48	0.52
10	4486	0.19	0.28	0.35	0.42	0.48	0.53	0.58	0.62	0.66	0.69
11	5053	0.19	0.28	0.35	0.42	0.48	0.53	0.58	0.62	0.66	0.69
12	4861	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	3704	0.17	0.24	0.30	0.36	0.42	0.47	0.51	0.56	0.60	0.63
14	4463	0.21	0.30	0.38	0.45	0.51	0.12	0.12	0.17	0.21	0.24
15	4952	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
16	3718	0.37	0.50	0.60	0.68	0.75	0.35	0.21	0.25	0.27	0.29
17	3547	0.22	0.31	0.39	0.46	0.52	0.09	0.00	0.01	0.05	0.08
18	4565	0.50	0.65	0.75	0.82	0.88	0.91	0.94	0.96	0.97	0.98
19	4730	0.13	0.18	0.24	0.29	0.33	0.38	0.42	0.45	0.49	0.52
20	4782	0.19	0.27	0.34	0.40	0.46	0.52	0.56	0.61	0.64	0.68
21	4836	0.04	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13

Table III-6-4. The monthly capacity index of each cultural field  
 [ capacity index = supply / demand ]

Farm code	Month									
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
1 4946	7.64	5.84	4.56	3.80	1.90	0.66	0.65	1.16	2.47	7.58
2 4947	11.49	7.77	6.30	5.68	3.05	1.14	1.22	2.35	5.39	17.92
3 104	7.64	5.84	4.56	3.80	1.90	0.66	0.65	1.16	2.47	7.58
4 4792	7.64	5.84	4.56	3.80	1.90	0.66	0.65	1.16	2.47	7.58
5 4945	2.90	2.54	3.01	4.36	2.26	1.79	1.45	4.03	7.85	39.33
6 5029	4.68	3.22	2.93	3.17	1.20	0.69	0.41	0.82	1.17	4.29
7 4774	2.90	2.54	3.01	4.36	2.26	1.79	1.45	4.03	7.85	39.33
8 4783	5.50	3.91	3.58	3.91	1.49	0.86	0.51	1.02	1.45	5.26
9 4289	5.44	4.28	5.49	4.31	1.87	1.04	0.85	1.27	1.82	5.66
10 4486	2.11	2.03	3.42	3.74	2.33	1.87	2.22	4.83	9.98	44.60
11 5053	2.11	2.03	3.42	3.74	2.33	1.87	2.22	4.85	10.01	44.74
12 4861	1.55	1.28	2.13	2.44	1.10	0.56	0.56	0.70	1.18	4.31
13 3704	6.34	1.71	7.82	8.14	3.65	2.31	1.74	2.89	3.66	12.76
14 4463	2.12	1.71	2.67	2.84	1.18	0.55	0.51	0.60	0.93	3.15
15 4952	0.85	0.71	1.36	1.90	1.08	0.70	0.90	1.47	3.16	14.88
16 3718	2.61	1.37	2.27	2.45	1.20	0.55	0.37	0.60	1.05	3.15
17 3547	2.98	1.45	2.33	2.41	1.14	0.51	0.34	0.54	0.95	2.82
18 4565	4.25	1.60	3.50	2.88	1.38	1.66	1.14	2.00	1.20	4.68
19 4730	3.31	2.13	4.36	5.75	3.44	1.89	1.55	2.99	6.27	22.39
20 4782	3.19	1.69	3.22	4.05	2.32	1.25	1.00	1.91	3.98	14.13
21 4836	3.51	0.95	4.47	4.81	2.27	1.55	1.26	2.27	3.11	11.79

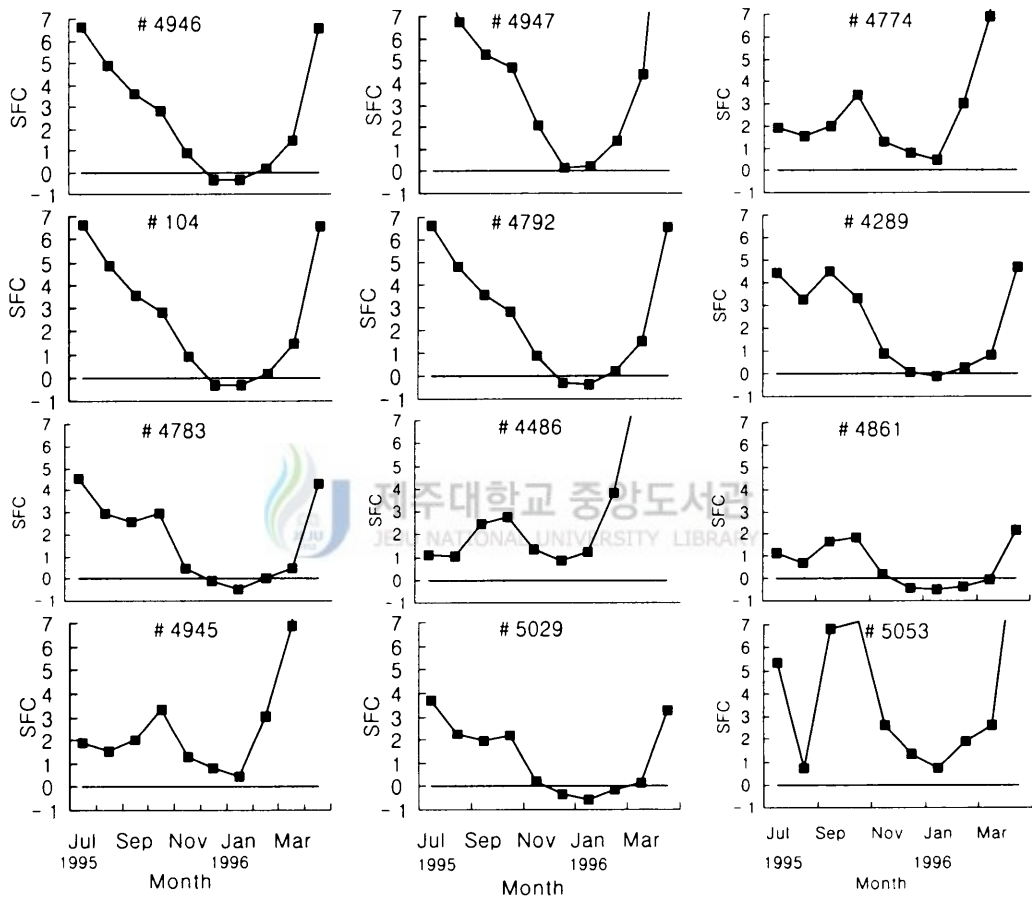


Fig. III-6-4. Monthly variation of SFC at each Oyster farm in Pukman Bay.  
 SFC : Surplus Food coefficient.



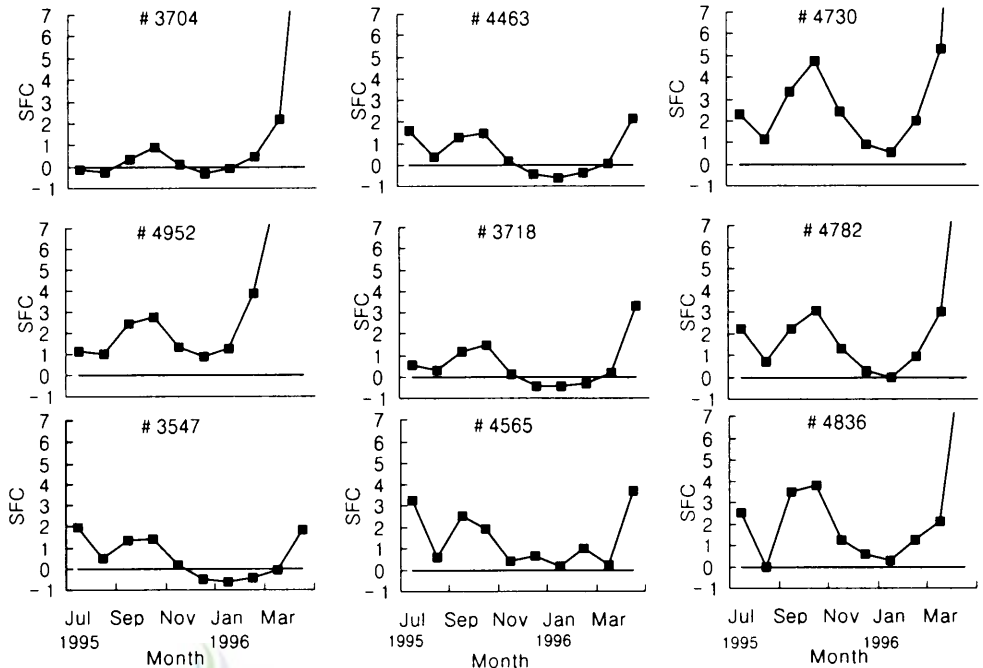


Fig. III-6-4. Continued.

### 3) 요약

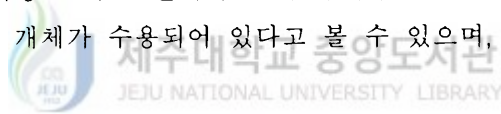
북만의 최적 단위유동면적당 양식굴의 개체수는 125~133였고, 수하연당 최적밀도는 310~330 개체, 수하연당 기대 최대생산량은 양식장에 따라 0.94kg~1.95kg 였다. 수하연당 생산력의 분포는 장구도와 목숨을 잇는 가상의 경계를 기준으로 동서로 구분되었고, 각각의 기대 알굴생산량은 각각 1~1.2kg, 1.8~2kg이었다. 북만 굴양식장의 알굴 생산가능량은 1,193 Ton/year이고, 현재 알굴 생산량은 알굴 생산가능량의 87% 수준인 1,038 Ton/year이었다. 그러므로 먹이생물 생산능력에 의한 북만 전체의 적정 양식시설은 북만의 굴양식장 설치 가능면적의 18.2%인 현재 수준이 적정한 것으로 생각된다.

북만해역의 먹이공급능력으로 추정된 양식굴의 기대생존률에 의하면 4947, 4945, 4774, 4486, 3704, 4565, 4730, 4782 양식장에서는 먹이부족 요인으로 인한 폐사는 없는 양식장으로 추정되었으며, 먹이부족으로 인한 폐사율이 50%이상으로 추정되는 양식장은 5029, 3718, 3547 양식장이었다. 먹이를 제외한 다른 요인에 의한 폐사율이 50% 이

상인 양식장은 12월에 4947, 4289, 4486, 5053, 4565, 4782 양식장으로 나타났으며, 특히 북만의 내측인 대평포 입구에 있는 4565 양식장은 먹이 이외의 다른 요인에 의해 91%가 폐사되어, 이는 수질환경의 악화, 부착생물의 피해 등에 의하여 폐사된 것으로 추정된다. 장구도 주변 북서쪽과 목섬 주변 및 망자도를 중심으로 하는 북만의 내측에 위치한 양식장은 먹이 이외의 다른 요인에 의한 폐사율이 높은 해역이었고, 만의 외측에 위치한 양식장과 망자도와 장구도를 잇는 가상경계의 북쪽에 위치한 양식장은 먹이공급력이 폐사율에 영향을 미치는 것으로 추정되었다.

대부분의 양식장에서 7월부터 11월까지 먹이 요구량을 충족시켰으나, 4952양식장만이 양성 초기인 7~8월에 먹이 요구량을 충족시키지 못하였고, 수확기에 들어가는 12월과 1월에는 4946, 104, 4792, 5029, 4783, 4861, 4463, 4952, 3718, 3547 양식장에서도 먹이 요구량에 대한 먹이 공급량이 부족하였다. 특히 5029, 3718 양식장은 12월~2월까지의 3개월동안, 4463과 3547 양식장은 4개월간 먹이 공급량이 부족하였다.

SFC에서 의해 굴양식장별 수용력을 평가하면, SFC가 0이하로 되는 기간이 1개월 이상 지속되는 굴양식장은 북만 전체의 21개 양식장 중에서 10개 양식장에서는 먹이 공급능력을 초과하는 개체가 수용되어 있다고 볼 수 있으며, 과밀정도는 평균 39%로 추정되었다.



## 7. 환경용량

환경용량의 정의는 Odum(1971)에 따르면 주어진 조건하의 환경이 수용할 수 있는 어떤 생물종의 최대 개체수라 정의하였고, 平野(1992)는 이를 연안어장에 적용하여 생물의 생산적 측면과 환경적 측면을 동시에 고려하여 전자는 주어진 환경조건하에서 어장의 최대생산력이라 하였고, 후자는 환경의 악화현상이 일어나기 시작하는 오염물질의 부하량 한계라고 정립하였다. 또한 日本水産資源保護協會(1990)에서는 어장 환경용량의 정의를 어장의 최대수용력, 어장을 유지하기 위한 환경조건 또는 어장의 변화를 일으키는 impact의 한계 등 3가지로 대별하였다.

그러므로 굴과 같은 이매패 양식장에서의 어장 환경 용량은 생물 서식환경의 질적, 양적 저하 없이 지속적으로 최적 생산할 수 있는 생물의 양이라고 할 수 있다. 즉, 환경용량이란 환경에 악영향을 미치지 않으면서 지속적으로 최대 생산을 얻을 수 있는 최대 오염부하 즉 자정 능력적 의미를 포함한다고 볼 수 있다. 연안 양식장은 대상해역에 따라 해수유동과 같은 물리적 특성, 해역이용 실태, 오염부하량등 제반 환경특성이 상이함으로 환경용량은 서로 다르다고 볼 수 있다.

환경용량에 관한 연구는 최 등(1991)이 경험적 방법에 의해 북신만의 용존산소 수지에 의한 자정능력을 연구한 바 있으며, 국립수산진흥원(1993a), 최(1993)는 수치모델 기법을 이용하여 연안양식어장의 환경용량을 산정하여 어장환경의 관리방안을 제시하였으며, 조 등(1996a, b)은 가막만의 기초생산력을 산정한 바 있다.

### 1) 여름철 용존산소 분포

여름철 북만의 용존산소 분포 경향은 대평포와 법송포는  $2\text{mg}/\ell$  이하의 낮은 빈산소 상태였고, 양식어장이 밀집한 망자도 외측까지도  $4\text{mg}/\ell$  이하, 향도 북단의 해역은  $5\text{mg}/\ell$  의 농도분포를 보였다. 한편 북만의 내측에서 최 등(1991)이 1988년에 조사한 결과에 따르면  $2\text{mg}/\ell$  이하의 낮은 빈산소가 15일 가량 지속된다고 한 바 있어, 이 해역은 도시하수로 인한 오염으로 인해 수년 전부터 빈산소가 형성되어 온 것으로 생각된다.  $2\text{mg}/\ell$  이하의 용존산소 분포를 보인 법송포와 대평포는 생물의 서식에 부적합한 농도였고, 향도에서 북단에 이르는 내측해역도 용존산소가 낮아 지속적인 생물생산을 위해서는 환경개선이 필요한 것으로 생각되었다(Fig. III-7-1).

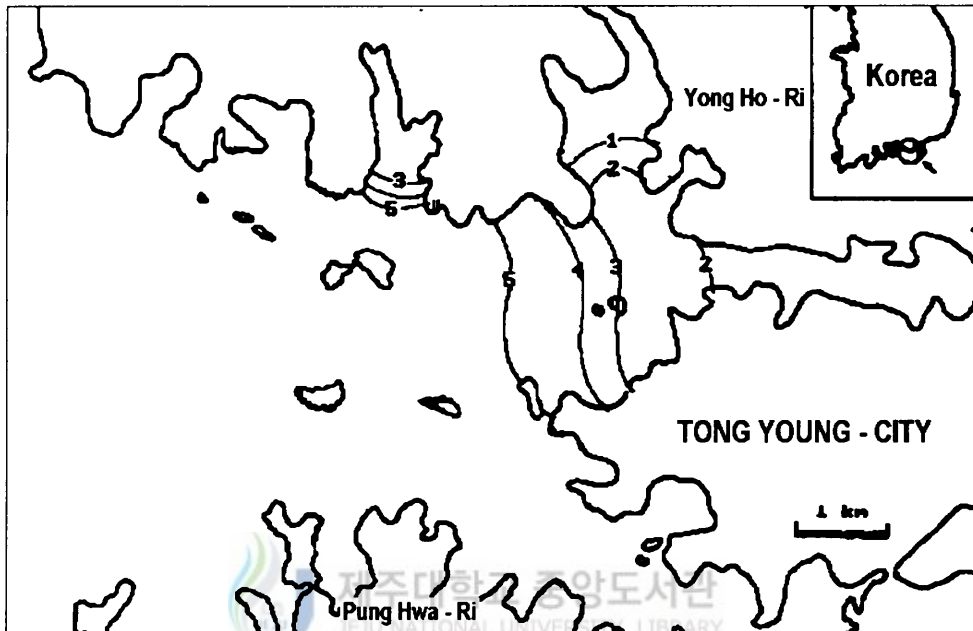


Fig. III-7-1. The observed distribution of DO in Pukman Bay.

## 2) 오염부하량

### (1) 육상오염 부하

원단위 방법으로 Fig. III-1-5의 유역도에 따라 북만에 영향을 미치는 오염부하를 산정한 결과는 Table III-7-1과 같다. 총 BOD 발생량은 1.98ton/day로 북만 내측의 하천으로 유입되는 양이 가장 많으며, 총 질소는 470.3kg/day, 총 인은 114.5kg/day였다.

Table III-7-1. The observed amount of pollution load calculated by source in Pukman Bay

Area*	BOD (Ton/day)	SS (Ton/day)	T-N (kg/day)	T-P (kg/day)
A	1.15	1.31	335.9	31.9
B	0.32	2.24	62.3	39.3
C	0.42	1.92	67.6	40.7
D	0.09	0.22	4.5	2.6
Total	1.98	5.69	470.3	114.5

※ : A; Inside of Pukman Bay, B; Yongho-Ri, C; Bubsongpo, D; Punghwa-Ri

(2) 자가오염 부하

조사해역 내 양식 굴의 총 개체수는  $2.1 \times 10^8$  개체이고, 굴 개체당 평균 배설량은 84.5mg/개체/일로 적용하여 총 배설량은 18톤/일이 된다. 부착생물에 의한 배설량을 20%로 가정하면 22톤/일 가량의 굴 배설물이 배출된다. 굴 배설물 중 질소의 비율을 5.5%, 인을 0.14%, 유기탄소를 10%로 하여 모델의 입력자료로 하였다(楠木, 1981).

3) 모델 Parameter

(1) 초기치 및 경계치

생태 모델의 초기치 및 경계치는 Table III-7-2와 같다. Mesh size는  $\Delta x = \Delta y = 125m$ 로 하였고 초기치는 여름철의 관측결과를 참고로 하여 입력하였다.

(2) 생물학적 Parameter

생태계 모델의 시뮬레이션에 이용한 생물학적 Parameter들은 광범위함으로 Table III-7-3과 같이 문헌조사를 통하여 선정하였다.

Table III-7-2. The input data for modeling

Parameter		Input values							
Mesh size		$\Delta x = \Delta y = 125$ m							
Water depth		chart datum + MSL							
Time interval		400 sec							
Initial condition for compartments									
level	DO	COD	DIP	DIN	POC	DOC	PHYTP	ZOO	
	( mg/ℓ )	( μg-at/ℓ )	( μg-at/ℓ )	( μg-at/ℓ )	( mg-C/m <sup>3</sup> )	( mg-C/m <sup>3</sup> )	( mg-C/m <sup>3</sup> )	( mg-C/m <sup>3</sup> )	( mg-C/m <sup>3</sup> )
1	8.0	1.5	0.5	5.0	500.0	1,500	200.0	20.0	
2	8.0	1.5	0.5	5.0	500.0	1,500	200.0	20.0	
3	8.0	1.5	0.5	5.0	500.0	1,500	200.0	20.0	
Boundary condition for compartments									
level	DO	COD	DIP	DIN	POC	DOC	PHYTP	ZOO	
	( mg/ℓ )	( μg-at/ℓ )	( μg-at/ℓ )	( μg-at/ℓ )	( mg-C/m <sup>3</sup> )	( mg-C/m <sup>3</sup> )	( mg-C/m <sup>3</sup> )	( mg-C/m <sup>3</sup> )	( mg-C/m <sup>3</sup> )
1	8.0	1.5	1.0	5.0	500.0	1,500	200.0	20.0	
2	8.0	1.5	1.0	5.0	500.0	1,500	200.0	20.0	
3	8.0	1.5	1.0	5.0	500.0	1,500	200.0	20.0	
Horizontal viscosity coefficient		3.50E4(cm <sup>2</sup> /sec)							
Horizontal diffusion coefficient		3.50E4(cm <sup>2</sup> /sec)							
Vertical diffusion coefficient									
		level 1	:	0.1(cm <sup>2</sup> /sec)					
		level 2	:	0.01(cm <sup>2</sup> /sec)					
		level 3	:	0.01(cm <sup>2</sup> /sec)					
Calculation time		30 tidal cycles							

Table III-7-3. The biological input data for modeling

Discription	Unit	Typical range values	Used values
Phytoplankton growth rate	/day	Variables	0.59
Phytoplankton respiration rate	/day	Variables	0.01
Phytoplankton mortality rate	/day	0.003~0.17	0.01
Zooplankton mortality rate	/day	0.001~0.125	0.05
POC decomposition rate	/day	Variables	0.15
DOC decomposition rate	/day	Variables	0.02
Sediment release rate for DIP	mg/m <sup>2</sup> /day	Observed	2.0
Sediment release rate for Ammonia	mg/m <sup>2</sup> /day	Observed	20.0
Reaeration rate	/day	Variables	0.15
Sediment oxygen uptake rate	mgO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /day	Observed	800
Half saturation constants for DIP	μg-at/ℓ	0.008~0.04	0.10
Half saturation constants for Ammonia	μg-at/ℓ	0.15~2.0	3.0
Phytoplankton settling velocity	m/day	0.08~17.1	0.173
Detritus settling velocity	m/day	0.00~666.0	2.0
Zooplankton growth efficiency		0.17~0.45	0.3

#### 4) 용존산소의 재현

생태계 모델을 이용하여 북만 저층수의 용존산소를 재현하였다. 해의 안정성은 만 중앙부의 한 지점을 택해 50 조석 주기동안 계산한 결과 30조석 이상에서 안정된 수치가 나타남을 확인하였으므로 이 실험에서 계산시간은 30조석으로 하였다.

Fig. III-7-2는 저층(Level 2)의 용존산소 분포를 재현한 것으로 북만과 범송포의 내측에서 1mg/ℓ 이하의 낮은 농도였다. 망자도 부근은 4mg/ℓ, 향도 북단으로 5 mg/ℓ 의 등농도 분포 곡선이 나타났으며, 필도 부근에서 6 mg/ℓ 였다. 이와 같이 재현된

결과는 망자도 부근에서 급격한 농도 기울기가 나타나는 것을 볼 수 있는데 이것은 만의 내측과 외측의 해수교환이 원활치 못함에 기인한 것으로 판단되며, 실측한 용존 산소 등농도 분포곡선과 매우 유사하였다.

생태모델의 적용성을 검토하기 위해 9개 지점에서 관측한 실측값과 계산값을 비교한 결과를 Table III-7-4에 나타냈다.

각 조사지점별 상대오차는 3.6~66.7%범위였다. St. 7에서는 실측값이 2.93mg/ℓ였고 계산 값이 2.77mg/ℓ로 상대오차는 5.5%의 낮은 값이었으나 법송포의 내측에 있는 St. 8에서는 실측값이 0.12mg/ℓ, 계산 값이 0.20mg/ℓ로 상대오차는 66.7%에 달해 오차범위가 가장 컸다. 그러나 평균적인 상대오차는 14.4%로 전체적으로 용존산소 재현은 양호한 것으로 판단되었다.

Table III-7-4. The comparison between computed and calculated value

Station	Observed(A) (mg/ℓ)	Calculated(B) (mg/ℓ)	Deviation(A-B) (mg/ℓ)	Relative Deviation
				(A-B)/A %
1	5.77	5.98	-0.21	3.6
2	5.57	6.00	-0.43	7.7
3	5.60	5.16	0.44	7.9
4	4.90	4.60	0.30	6.1
5	5.75	5.37	0.38	6.6
6	3.73	4.41	-0.68	18.2
7	2.93	2.77	0.16	5.5
8	0.12	0.20	-0.08	66.7
9	2.25	2.41	-0.16	7.1
Mean	4.07	4.10	-	14.4



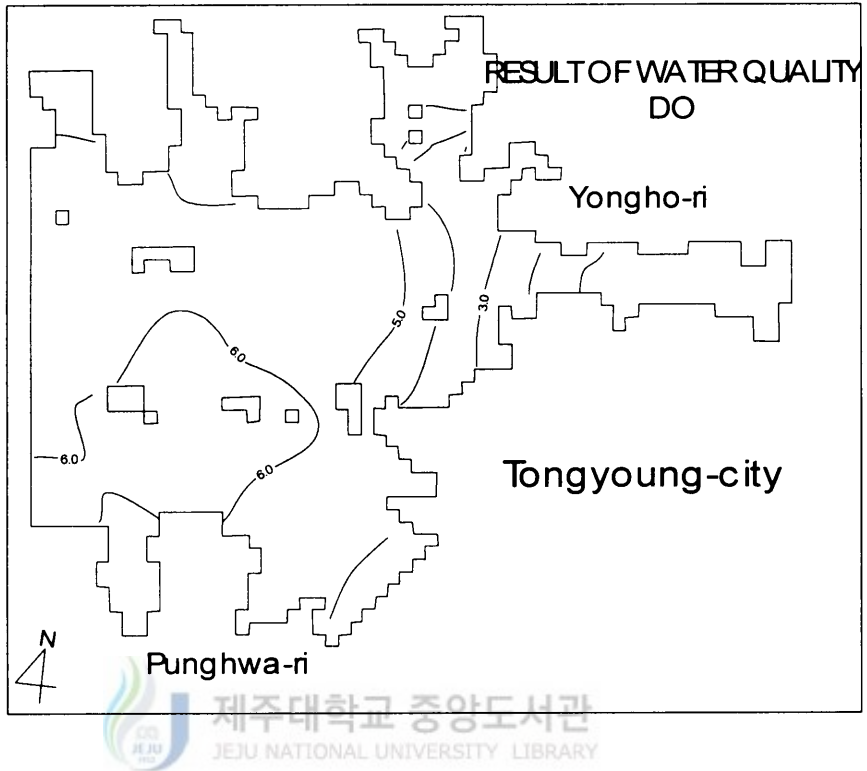


Fig. III-7-2. The reappearance of DO at bottom layer with model.

5) 오염부하 저감에 따른 용존산소 분포의 예측

조사대상 해역의 내측인 대평포와 법송포는 여름철 상승적인 빈산소수괴가 형성되는 해역이다. 이 해역의 환경악화 요인으로는 도시하수가 대부분을 차지하는 육상기원 오염부하, 악화된 저질 및 양식생물 배설물 등을 들 수 있다. Lee(1993)에 따르면 저층의 빈산소화가 가속됨에 따라 저질중의 영양염 용출이 가속되고 특히 AOU 4~5mg/l 이상의 강한 저산소수괴에서는 저질 중에 존재하는 인의 용출이 가속화되고 또한 해수중의 유기물 분해됨에 따라 재생되는 용존유기인이 합쳐져서 해역의 유기물농도를 증가시킨다고 하였다. 또한 그는 이 영양염이 연직혼합에 의해 상층부로 공급될 경우 부영양화 및 적조 발생과 같은 이차적인 피해가 발생할 수 있음을 주장하였다. 따라서 양식어장의 적정 생산을 유지하기 위해서는 적정 용존산소량을 유지하는 것이 중요하고, 조사대상 해역의 적정 용존산소 유지를 위해서는 이들 오염물질을 수용할 수 있는 양, 즉 환경용량을 정량적으로 산정하여야 한다. 여기서는 현 시점을

기준으로 조사대상 해역에 영향을 미치는 각종 주요 오염 부하의 감소정도에 따라 용존산소를 기준으로 한 수질개선효과를 시뮬레이션 하였다.

#### (1) 육상기원 오염부하량 저감

북만의 육상기원 오염부하를 현 시점의 부하량 보다 20%, 40%, 60% 및 80%로 저감하였을 때 저층의 용존산소 분포를 Fig. III-7-3~Fig. III-7-6에 나타냈다.

20% 저감하였을 경우(Fig. III-7-3), 재현결과(Fig. III-7-2)와 비교하여 볼 때 망자도 부근이 4mg/ℓ에서 5mg/ℓ로 개선되는 것을 볼 수 있었으나, 대평포와 법송포의 내측에서는 여전히 1mg/ℓ 이하의 낮은 용존산소 농도를 보였다. 오염부하를 60%로 저감할 경우(Fig. III-7-5) 대평포 및 법송포 입구까지 5mg/ℓ의 용존산소 농도분포를 보여 양식어장이 위치한 대부분의 해역에서 5mg/ℓ 이상의 농도 분포였고, 이들 만의 내측도 대부분 2~3mg/ℓ로 수질이 개선되었다. 80% 저감시에는(Fig. III-7-6) 재현결과 1mg/ℓ 이하의 강한 빈산소를 나타내었던 대평포 및 법송포의 내측도 4mg/ℓ의 용존산소 농도를 보여 조사해역 전역이 양호한 수질상태를 나타내었다.

#### (2) 저질산소 요구량(SOD)저감

저질산소 요구량(SOD)은 저질오염과 밀접한 관계가 있고 저질오염은 장기간에 걸친 오염의 누적으로 발생한다. 과다하게 축적된 유기물이 미생물에 의해 분해 될 경우 일시에 많은 양의 산소를 소모함으로써 저층수의 빈산소화에 기여하게 된다.

최(1993)의 보고에 따르면 진해만의 빈산소수괴 형성의 가장 큰 요인은 SOD이고 이를 90% 저감시에 4.6mg/ℓ로 회복되었다고 하였다. 조사 해역의 SOD를 20%, 40% 및 60%로 저감하였을 경우 Fig. III-7-7~Fig. III-7-9와 같이 저층의 용존산소 분포를 나타내었다. SOD 저감율을 20%로 했을 경우(Fig. III-7-7) 시뮬레이션에 의한 재현 결과(Fig. III-7-2)와 비교해 볼 때 필도와 장도 부근에 형성된 6mg/ℓ 등 농도 분포 곡선이 조사대상 해역의 내측으로 확대되었고 망자도 부근까지 5mg/ℓ로 회복되는 것을 볼 수 있었으나, 대평포에 해당하는 내측에서는 뚜렷한 회복경향은 볼 수 없었다. 저감율을 40%로 할 경우(Fig. III-7-8) 장구도, 필도 및 장도에 이르는 만의 외측해역 대부분은 6mg/ℓ 까지 회복되는 것을 볼 수 있었다. 60% 저감에서는(Fig. III-7-9) 필도, 장도 부근은 7.0mg/ℓ의 분포를 보였고, 망자도 부근은 6.0mg/ℓ의 용존산소 농도분포를 보였다. 그러나 육상기원 오염부하량의 유입이 많은 대평포와 법송포 내측은 뚜렷한 개선효과가 없었다.

### (3) 굴 배설량 저감

굴 배설물을 현 시점보다 20% 및 60%로 저감하였을 때 저층 용존산소 회복정도를 Fig. III-7-10~11에 나타냈다.

굴의 배설량을 20%로 저감할 경우 용존산소(Fig. III-7-10)는 재현 결과(Fig. III-7-1)와 비교해 볼 때 필도와 장도 부근의 6.0mg/l 용존산소 농도 분포곡선이 다소 넓어져 외측에서는 미약한 개선 효과가 있는 것으로 나타났으나, 빈산소가 강하게 형성되는 망자도 내측은 개선효과가 나타나지 않았다. 60% 저감에서는 필도, 장도 부근의 6.0mg/l의 용존산소 분포 곡선이 더욱 넓어지고(Fig. III-7-11), 망자도 외측의 5.0 mg/l의 용존산소 농도분포 곡선도 조사대상 해역의 내측으로 다소 이동되게 나타나 만의 외측에서는 굴 배설물의 저감에 따라 용존산소 상승효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 여름철 강한 빈산소수괴가 빈번하게 형성되는 범송포와 대평포의 만 내측은 뚜렷한 용존산소 개선효과가 없었다. 이는 북만의 굴 양식 배설물이 범송포 및 대평포의 빈산소화에 미치는 영향이 상대적으로 낮음을 의미하며, 그 원인은 굴 양식장이 만의 외측에 집중되어 있고, 잔차류 및 영양염류의 분포 특성으로 볼 때 내측과 외측의 물질교환이 매우 불량하여 외측의 굴 양식 배설물에 의한 내측 해역의 수질악화는 나타나지 않기 때문인 것으로 생각된다.

### 6) 환경용량 산정

북만의 현장조사 결과 용존산소는 크게 두 해역으로 구분되었다. 즉 대평포의 입구에 있는 망자도를 경계로 내측과 외측의 수질이 뚜렷하게 양분되는 경향을 보였다. 환경용량 산정의 기준 지표로 삼은 여름철 용존산소의 경우 망자도 외측은 5 mg/l 이상의 농도분포로 현 시점의 수질이 목표 수질을 상회하여 비교적 양호한 어장환경을 나타내었지만, 망자도 내측의 경우 3 mg/l 이하의 낮은 빈산소를 나타내어 지속적인 양식을 위해서는 수질개선이 필요한 지역으로 조사되었다.

내측 해역의 빈산소 수괴 해소를 위해 북만의 주요 오염부하가 용존산소에 미치는 영향의 정도를 시뮬레이션을 통해 예측해 본 결과 굴 양식어장 배설물 저감(시설량 저감)은 망자도 내측 해역의 용존산소 개선에 영향을 주지 못했다(Fig. III-7-10 및 III-7-11). 이와 같은 사실은 만 내측해역의 빈산소 수괴 방지를 위해 굴 시설량을 감축하는 것은 적절한 방법이 아님을 의미한다. 실제 양식시설도 용존산소가 양호한 망자도 외측에 집중되어 있고, 또한 망자도를 경계로 하는 내측과 외측 해역은 잔차류 특성상 물질교환이 잘 이루어지지 않으므로 외측 해역의 오염부하가 내측 해역에 영향

을 주지 못하기 때문인 것으로 판단되었다.

유기오염의 누적 효과로 나타나는 저질산소 요구량(SOD)은 Fig. III-7-9와 같이 60% 저감에서 망자도 외측의 용존산소를 해역 I 등급인 6.0 mg/ℓ 수준까지 개선하여 어장환경 개선의 효과적인 방안의 하나로 여겨졌으나, 조사대상 해역의 내측 해역에 속하는 대평포와 범송포 해역에서는 목표 수질에 미치지 못하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 만의 이들 해역은 조류소통이 미약하고 또 육상에서 유입하는 유기오염부하가 수질 악화에 주 요인으로 작용하기 때문인 것으로 여겨졌다.

북만해역의 육상기원 점원오염 부하량은 BOD 약 2 톤/일로 대부분 대평포 및 범송포 해역으로 유입되고 있다. 이들 유입 BOD를 80% 저감시켜 일일 유입 부하량을 0.4 톤/일로 저감시킬 경우 Fig. III-7-6과 같이 조사대상 해역의 용존산소를 목표 수질인 5.0 mg/ℓ 를 유지하는 것으로 나타났다. 따라서 용존산소 분포에 따른 북만이 수용할 수 있는 오염부하량은 0.4톤/일로 볼 수 있다. 그러나 현실적으로 유역 내에서 발생하는 총 점원 부하량의 80%를 저감하는 것은 어려운 것으로 생각되므로, 오염이 심한 북만 내측과 비교적 수질이 양호한 외측을 구분하여 관리하는 방안이 고려되어야 한다. 육상기원 오염 부하의 60% 저감에서(Fig. III-7-5) 범송포와 대평포를 제외한 굴 양식장이 위치하는 대부분의 해역이 5mg/ℓ 이상의 용존산소 농도 분포였으므로 북만의 내측을 제외한 대상 해역의 수질 관리를 위해서는 육상기원 오염 부하의 60%만 저감하여도 목표 수질을 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

오염이 심한 범송포와 대평포의 수질개선을 위해서는 육상기원 오염부하 뿐만 아니라 저질 개선도 병행해야 한다. 국립수산진흥원(1993 b)에 의하면 경운에 의한 저질 COD 저감효과는 18.2%로 조사된 바 있으므로 SOD 저감율을 20%로 하고 육상기원 오염부하를 60%로 할 경우 용존산소의 분포는 Fig. III-7-12와 같이 양식이 이뤄지고 있는 해역은 3~4mg/ℓ 범위로 용존산소가 다소 회복되었다.

이상의 결과를 종합하면 북만의 수질은 망자도를 경계로 내측 해역과 외측 해역이 뚜렷이 구분되었고, 지속적인 양식 생산을 위해서는 내측 해역의 수질개선이 필요하였다. 개선방안으로는 양식 시설량 감축으로는 개선효과가 거의 나타나지 않았고, 육상기원 오염 부하의 저감이 가장 효과적이었다. 전 해역이 목표 수질을 달성하기 위한 환경용량은 총 발생 BOD의 20%정도였다. 이는 SOD가 환경용량을 제어하는 주요인인 진해만(최, 1993)이나, SOD를 35%로 저감하고 굴 양식 시설량을 15%로 줄여야만 개선의 효과가 있는 자란만(KSND, 1997)과는 확연하게 구분되는 특성을 나타내었다.

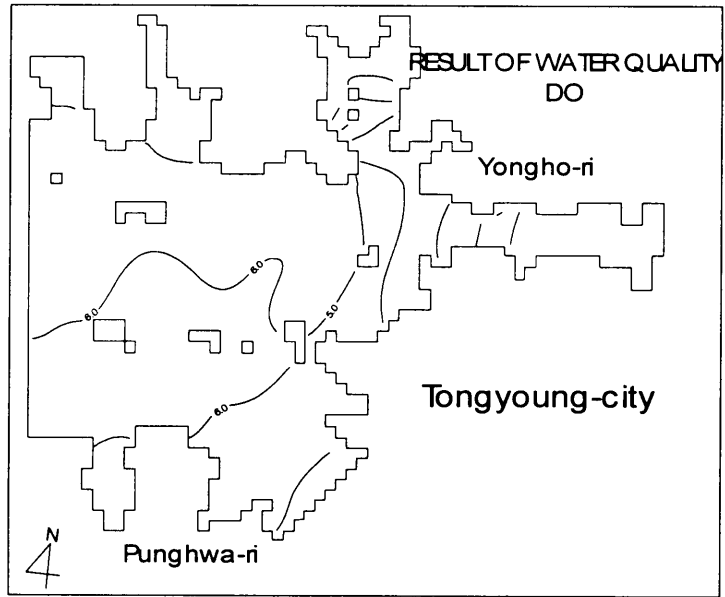


Fig. III-7-3. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing pollution load originated from land by 20%.

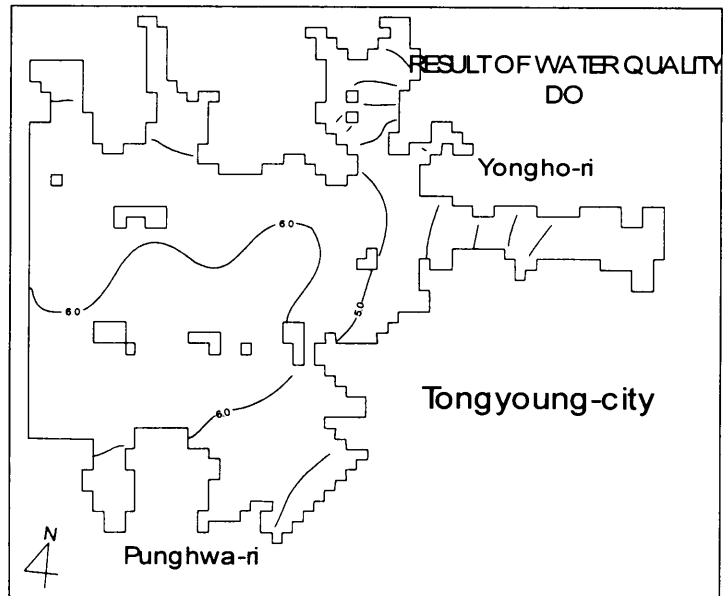


Fig. III-7-4. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing pollution load originated from land by 40%.

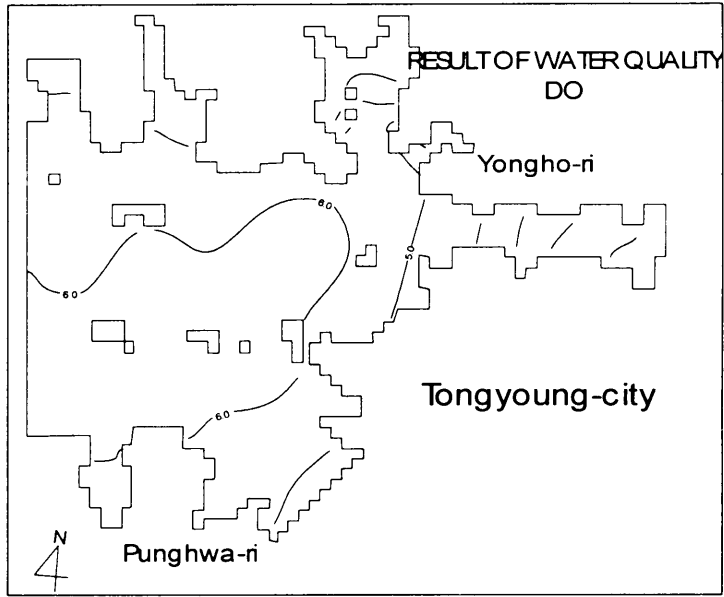


Fig. III-7-5. The computed distribution of DO reducing, reducing pollution load originated from land by 60%.

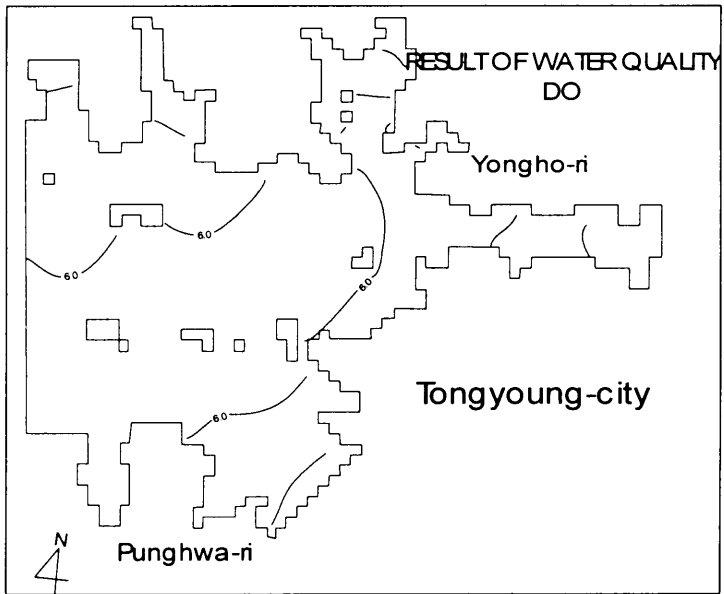


Fig. III-7-6. The computed distribution of DO reducing, reducing pollution load originated from land by 80%.

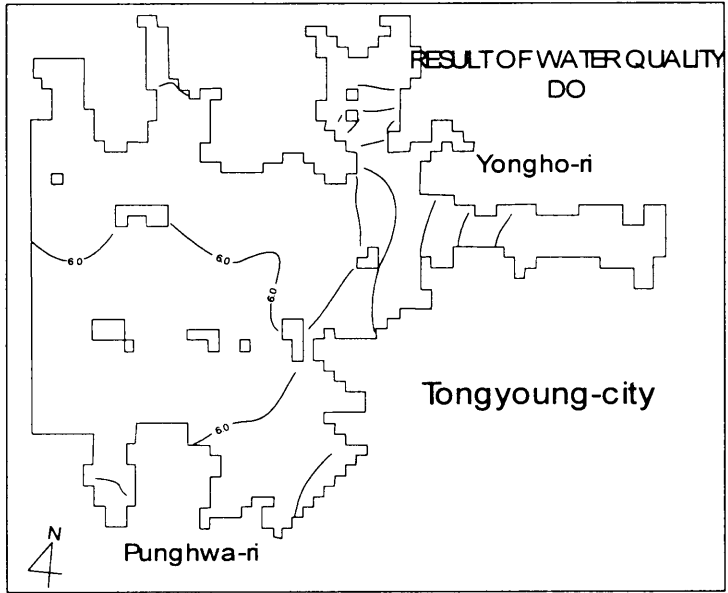


Fig. III-7-7. The computed distribution of Do at bottom layer, reducing SOD by 20%.

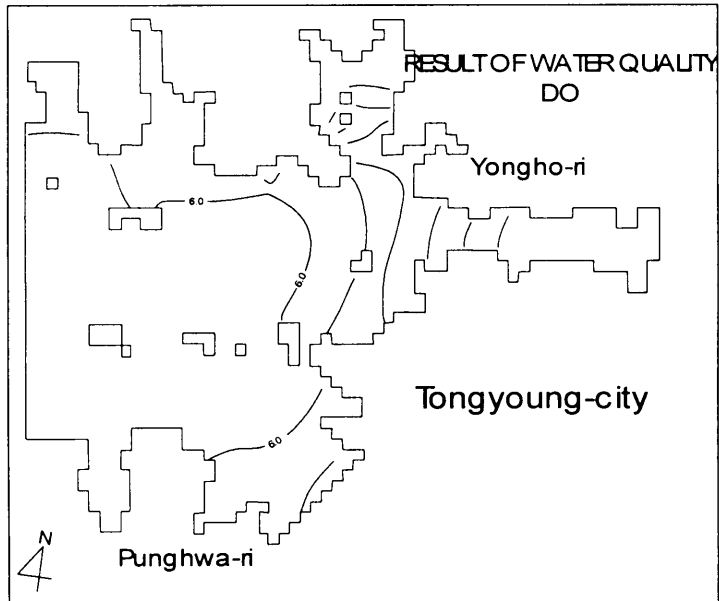


Fig. III-7-8. The computed distribution of Do at bottom layer, reducing SOD by 40%.

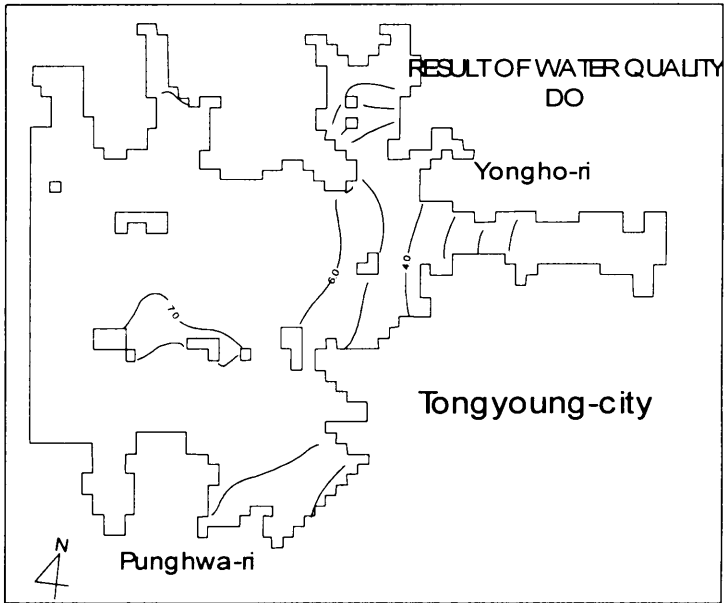


Fig. III-7-9. The computed distribution of Do at bottom layer, reducing SOD by 60%.


 제주대학교 중앙도서관  
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

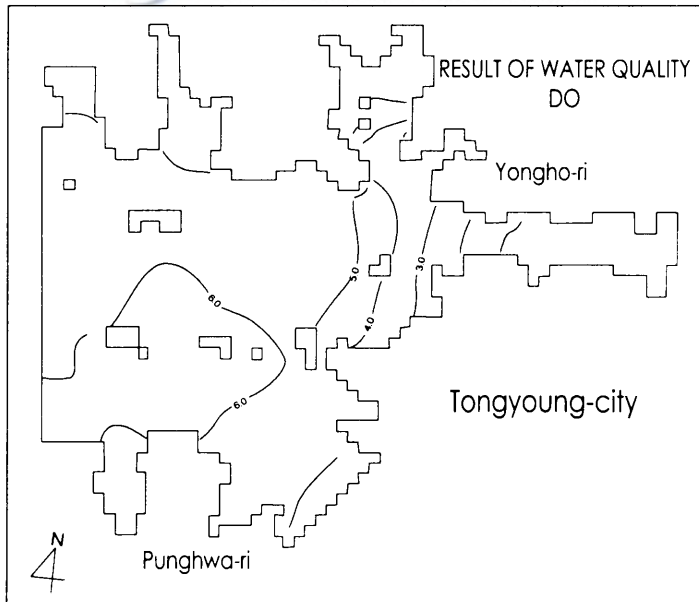


Fig. III-7-10. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing feces of cultured oysters by 20%.



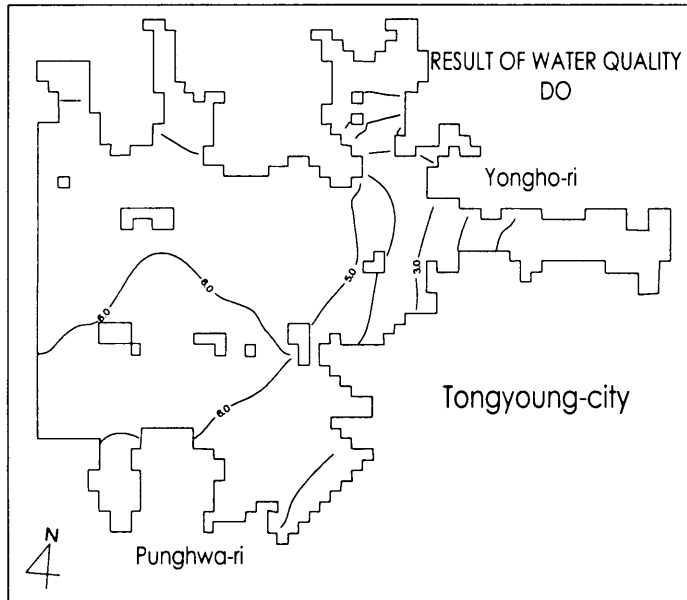


Fig. III-7-11. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing feces of cultured oysters by 60%.

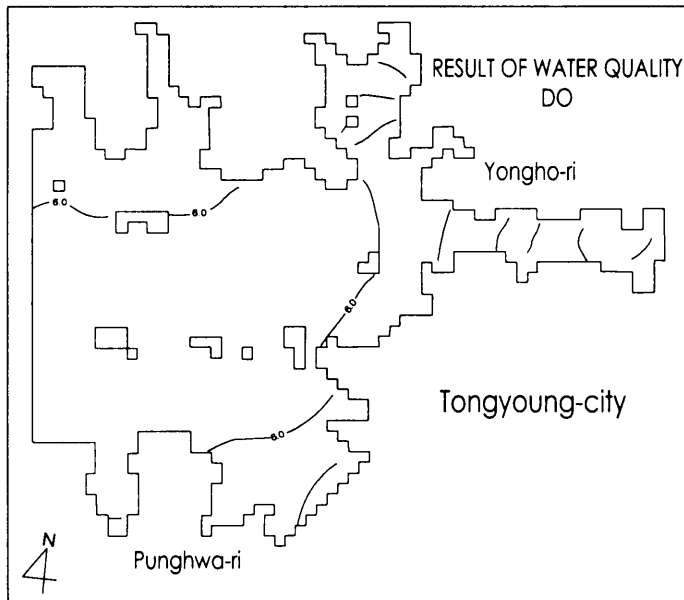
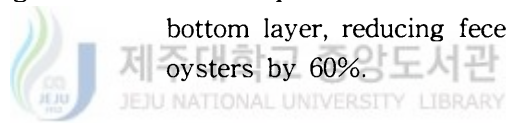


Fig. III-7-12. The computed distribution of DO at bottom layer, reducing pollution load by 60% and SOD by 20%.

## 7) 요약

여름철 북만의 용존산소 분포는 대평포와 범송포 내측해역이  $2\text{mg}/\ell$  이하의 강한 빈산소 상태였고, 양식어장이 밀집하는 망자도 외측까지도  $4\text{mg}/\ell$  이하였다.

생태모델의 적용성을 검토하기 위해 9개 조사지점에서 관측한 실측값과 계산값을 비교한 결과 각 조사지점별 상대오차는 3.6~66.7%범위에 평균 상대오차는 14.4%로 전체적으로 용존산소 재현은 비교적 양호하였다.

북만의 주요 오염부하가 빈산소화에 미치는 영향을 모델을 통하여 예측한 결과 육상기원 오염부하가 가장 큰 영향을 미쳤고, 굴 배설물량은 큰 영향을 주지 못하였다.

북만의 환경용량은 유기물 량으로 0.4톤/일로 용존산소의 농도를  $5.0\text{mg}/\ell$  이상으로 유지시키기 위해서는 육상기원 유기물 부하를 80%이상 삭감해야 하는 것으로 나타났으나 현실적으로 유역 내에서 발생하는 총 점원 부하량의 80%를 저감하는 것은 어려운 것으로 생각되므로, 오염이 심한 북만의 내측과 비교적 수질이 양호한 외측을 구분하여 관리하는 방안이 합리적이라 생각되었다.

굴양식장이 주로 위치하는 북만의 외측은 육상기원 오염부하의 60% 저감만으로  $5\text{mg}/\ell$  이상의 용존산소 농도 분포를 나타내었고, 만의 내측은 오염된 저질개선을 통하여 SOD를 20% 개선하고, 육상부하를 60%로 저감할 경우 빈산소 수괴를 해소할 수 있었다.

## IV. 논 의

생물군집은 서로 다른 종류가 성층화되어 있어, 일정면적 위의 생물량은 언제나 가능한 한 증가하고 최대수준에 도달하려고 하는데, 이는 결국 기여와 소비의 조화에 따라 좌우되므로 먹이사슬과 이용할 수 있는 먹이량에 의하여 한정된다고 볼 수 있다 (이, 1975).

북만의 굴 생산량은 장구도와 항도를 잇는 선을 경계로 만의 외측은 높고, 내측은 낮았으며, 1995년도 알굴 생산량은 1,038 Ton/year이고, 먹이 생산능력으로부터 추정된 알굴 생산가능량은 1,193 Ton/year으로써 생산가능량의 87% 수준이었다. 따라서 먹이 생산능력에 의한 북만 전체의 굴양식장 수용력은 만내의 굴양식장 설치 가능면적의 18.2%인 현재 수준은 적절한 것으로 여겨진다.

이때때의 군집에는 해수의 유속이 개체군의 여과능력보다 작을 때에는 먹이를 제한한다는 가능성이 제시되고 있다(Peterson · Black, 1988; Wildish · Kristmanson, 1988; Frechette et al., 1989). 북만의 굴양식장은 위치에 따라 유속이 다르므로 각각의 굴양식장별 수용력을 평가할 필요가 있다. 잉여먹이공급지수(SFC, Surplus Food Coefficient)를 산정한 결과, SFC가 0이하로 되는 기간이 1개월 이상 지속되는 굴양식장은 북만 전체의 21개 양식장 중에서 10개이다. 그러므로 10개 양식장에서는 먹이공급능력을 초과하는 개체가 수용되어 있다고 볼 수 있으며, 이들 양식장의 과밀정도는 평균 39%로 추정되었다. 이러한 양식장에서는 성장과 생존을 제고시키기 위하여 양식굴의 수용을 감소시켜야 할 것이다.

굴은 여과섭식성 이매패류이므로 이론적으로 굴의 유지 가능한 집단 생체량은 단위 시간당 요구되는 에너지량이 단위시간당 여과 가능한 에너지량의 한계를 초과하지 아니하는 범위로 한정된다고 할 수 있다. 그러나 양식장의 굴은 먹이섭취와 관련되는 인자뿐만 아니라, 생리적, 환경적인 복합 요인에 의하여 성장 또는 폐사 등의 반응을 통해 생체량을 환경계로부터 조절받게 된다. 따라서 굴 양식장의 실질적 단위면적당 생산량은 양식기간 동안의 모든 요인들의 복합적인 효과가 누적되어 나타난 결과라고 할 수 있다. 북만의 굴양식장에서 먹이 공급능력으로 산정한 먹이부족에 의한 양식굴의 폐사율이 50%이상으로 추정되는 양식장은 3개로 만의 외측에 있고, 먹이를 제외한 다른 요인에 의한 폐사율이 50% 이상인 것은 6개 양식장이며, 특히 4565 양식장은 먹이 이외의 다른 요인에 의해 91%가 폐사하는 것으로 추정되었는데, 이들 양식장은 만

의 내측에 있다. 굴양식장에서 클로로필 양의 분포는 조류의 유향에 따라서 결정된다고 하였는데(廣島縣水産試驗場, 1986), 이 연구에서도 같은 경향으로써 만의 내측은 도시로부터 공급되는 풍부한 영양염을 바탕으로 생산력이 높은 반면에 오염의 정도가 높았으며, 만의 외측은 잔차와류에 의해 만의 내측의 영양염 공급이 차단되어 낮은 생산력을 나타내었다. 그러므로 기초생산력이 낮은 만의 외측 양식장은 먹이 공급 능력이, 만의 내측에 있는 양식장은 환경 악화가 폐사에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

북만의 수질 및 저질은 전반적으로 해역 II등급을 초과하여 부영양화 해역이었고, 만의 내측으로 향할수록 오염의 정도가 심하였으며, *Nitzschia pungens* v. *atlantica*에 의한 국지적인 적조가 발생하였는데 이러한 이유는 해수유동 특성에 의하여 육지 기원 유입 물질이 만의 외측으로 확산되지 못하기 때문인 것으로 생각된다.

수용력을 Odum(1971)은 주어진 조건하의 환경이 수용할 수 있는 어떤 생물종의 최대 개체수라 정의하였다. 平野(1992)는 이를 연안어장에 적용하여 생물적인 측면에서는 주어진 환경조건하에서 최대생산력이라 하였고, 환경적인 측면에서 보면 환경의 악화가 시작되는 오염물질 부하량의 한계라고 하였으며, 日本水産資源保護協會(1990)에서는 어장 환경용량의 정의를 어장의 최대수용력, 어장을 유지하기 위한 환경조건 또는 어장의 변화를 일으키는 impact의 한계로 구분하였다.

북만의 빈산소화에 미치는 영향을 수치실험으로 예측한 결과, 육상기원 오염부하가 가장 큰 영향을 미쳤으며, 굴 배설물에 의한 영향은 적었다. 그러므로 북만 오염의 주원인은 인접한 도시의 하수 영향이므로 이를 저감시킬 하수처리시설이 시급히 시설되어야 할 것으로 판단되었다.

북만의 환경용량은 유기물의 양으로 0.4 Ton/day으로써, 용존산소를 5.0mg/ℓ 이상으로 유지하기 위해서는 육상기원 유기물 부하를 80%정도 저감해야 한다. 그러나, 현실적으로 유역 내에서 발생하는 총 점원 부하량의 80%를 저감하는 것은 어려운 것이므로, 오염이 심한 북만의 내측과 수질이 비교적 양호한 외측을 구분하여 관리하는 방안이 합리적이라 생각한다. 이를 위하여 북만의 외측은 용존산소를 5mg/ℓ 이상으로 회복시키는 것을 목표로 두어 육상기원 오염부하의 60%를 저감시켜야 하며, 만의 내측은 빈산소수괴를 해소하는 것을 목표로 하여 육상 기원 오염부하의 60% 저감과 함께 저질개선을 병행하여 SOD를 20% 저감시키는 방안이 모색되어야 할 것이다.

조(1991)는 해역 부영양화의 주 요인인 도시하수와 공장폐수, 밀식과 자가오염으로 전자는 완벽한 정화처리와 엄격한 통제로, 후자는 적정 수용력을 산출하여 그를 토대로 양식장을 재정비하여야 함을 제안하였다.

굴양식장의 적정관리 방안으로는 해역에 따라 해수유동, 양식장의 환경 수준과 주 오염의 원인이 다를 수 있으므로 지속적인 모니터링을 통한 조사가 필요하며, 양식장 시설시에는 해수 유동 특성에 의한 배치가 가장 중요하다고 본다. 또한 지속적인 굴 양식 생산을 유지하기 위해서는 먹이 생산능력에 의한 수용력과 자정능력에 의한 환경용량을 산정하여 이를 양식해역에 적용시켜 양식장 재배치와 하수종말처리시설의 확충, 저질 개선을 위한 경운, 준설 등 환경 개선 사업을 병행해야 할 것으로 생각된다. 한편 이와 관련된 물리, 화학, 생물, 기계 등의 분야에서 발표된 현재까지의 연구 결과를 토대로 하여 연구자들의 활발한 논의와 함께 검정을 통하여 굴양식장 적정관리를 위한 새로운 방안을 모색하여야 할 것이다.



## V. 전체 요약

북만의 굴양식 생산을 지속적으로 유지하기 위한 적정관리 방안을 제시하고자, 1994년 8월~1996년 4월까지 해수유동, 수질 및 저질, 식물플랑크톤, 기초생산력을 조사하여, 현재 굴양식장의 환경 수준을 평가하고, 나아가서 먹이생물의 생산능력으로부터 양식장 수용력을 추정하고, 환경용량을 산정하였다.

북만의 수면적은 1,470 ha이며, 굴양식어업권은 27건, 면허면적은 총 198.63 ha였다.

해수유동은 창조시의 주류는 사량도 방향으로 진행하며, 일부는 장도와 향도 사이를 지나 북진하다가 장구도 뒤편으로 유입되므로 북만의 내측과 외측의 흐름이 뚜렷이 구분되었다. 낙조시의 흐름은 장구도와 필도 부근에서부터 남서진하여 남만의 협수로에서 합쳐져 유출되었고, 시간이 경과함에 따라 만 내측의 흐름도 장도와 향도 사이를 통해 남만으로 유출되었다. 잔차류는 Level 1에서 만의 내측과 외측이 뚜렷이 구분되었으며, 망자도 뒤편에서 시계방향의 환류가 형성되고 만의 내측에서 외측으로 약한 흐름이 있었다. Level 2에서는 남만에서 북서진하는 흐름은 없고 장도, 필도, 장구도 부근에서 시계방향의 환류가 형성되고, 장도와 향도사이를 북진하는 흐름도 미약하였으며, 특이한 것은 만의 외측에서 내측으로 향하는 흐름이 있었다. 그러므로 만의 내측의 오염물질이 흐름에 따라 만의 외측으로 이동하면서 저층으로 침강되면, 이는 만의 내측으로 흐르는 저층 잔차류에 의해 다시 내측으로 이동할 가능성이 높았으며, 또한 오염물질은 장도와 향도 사이로 북진하는 잔차류에 의해 만 외측으로 쉽게 확산되지 않았다.

수질의 용존질소와 총인산염은 해역수질 II등급을 초과하여 부영양화 해역이었으며, 저질은 COD 16.45~49.13mg/g로 해역 II등급의 기준치를 초과하였다. 수질 및 저질의 평균값은 만의 내측으로 향할수록 수질의 COD, DIN과 저질의 COD, H<sub>2</sub>S, IL이 증가하고 DO는 감소하였는데, 이는 해수유동에 의하여 육지로부터 유입되는 오염물질이 만의 외측으로 확산되지 못하기 때문이었다.

식물플랑크톤은 총 161종이 출현하였는데 그 중 규조류가 가장 많이 출현하였고, 와편모조류가 비교적 많았으며, *Nitzschia pungens* v. *atlantica*에 의한 국지적인 적조가 있었다.

기초생산력은 0.07~1.5 gC/m<sup>2</sup>/day 범위였으며, 만의 내측인 동쪽해역은 도시하수로부터 공급되는 풍부한 영양염을 바탕으로 생산력이 높았고, 서쪽 해역은 잔차와류에

의해 만의 내측으로부터의 영양염 공급이 차단되어 생산력이 낮았으며, 남쪽해역은 남만으로부터 풍부한 영양염을 공급받음으로써 생산력이 가장 높았다. 계절적으로는 늦가을부터 초겨울까지 낮았으며, 봄과 여름의 생산력이 높았다.

굴양식장의 단위유동면적당 굴의 최적 개체수는 125~133개/m<sup>2</sup>였고, 수하연당 최적 밀도는 310~330개체, 수하연당 최대기대 알굴생산량은 0.94kg~1.95kg 범위였다. 굴 생산량은 장구도와 향도를 잇는 선을 경계로 만의 외측은 많고, 내측은 적었다. 북만 굴양식장의 알굴 생산가능량은 1,193 Ton/year이고, 현재 알굴 생산량은 알굴 생산가능량의 87% 수준인 1,038 Ton/year이었다. 그러므로 먹이생물 생산능력에 의한 북만 전체의 적정 양식시설은 북만의 굴양식장 설치 가능면적의 18.2%인 현재 수준이 적정한 것으로 생각된다.

먹이 공급능력으로 추정된 양식굴의 기대생존률에 의하면 먹이부족으로 인한 폐사율이 50%이상으로 추정되는 양식장은 3개였고, 먹이를 제외한 다른 요인에 의한 폐사율이 50% 이상인 양식장은 12월에 6개 양식장이었으며, 만의 내측인 대평포 입구의 4565 양식장은 먹이 이외의 다른 요인에 의해 91%가 폐사하였다. 따라서 장구도 북서쪽과 향도 및 망자도를 경계로 만의 내측에 위치한 양식장은 먹이 이외의 다른 요인에 의한 폐사율이 높고, 만의 외측에 있는 양식장은 먹이 공급능력이 폐사에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

잉여먹이공급지수(SFC, Surplus Food Coefficient)에 의한 굴양식장별 수용력을 평가하면 SFC가 0이하로 되는 기간이 1개월 이상 지속되는 굴양식장은 북만 전체의 21개 양식장 중에서 10개이다. 그러므로 위의 10개 양식장에서는 먹이공급능력을 초과하는 개체가 수용되어 있다고 볼 수 있으며, 10개 과밀양식장의 과밀정도는 평균 39%로 추정되었다.

북만의 주요 오염원이 빈산소화에 미치는 영향을 수치실험으로 예측한 결과 육상기원 오염부하가 가장 큰 영향을 미쳤으며, 굴 배설물의 영향은 적었다. 북만의 환경용량은 유기물의 양으로 0.4 Ton/day으로써, 용존산소를 5.0mg/l 이상으로 유지하기 위해서는 육상기원 오염물질 부하를 80%정도 저감해야 한다. 그러나, 현실적으로 유역 내에서 발생하는 총 점원 부하량의 80%를 저감하는 것은 어려울 것이므로, 오염이 심한 북만의 내측과 수질이 비교적 양호한 외측을 구분하여 관리하는 방안이 합리적이라 생각한다. 이를 위하여 북만의 외측은 육상기원 오염부하의 60%를 저감하여 용존산소를 5mg/l 이상으로 회복시키고, 만의 내측은 이와 함께 저질개선을 병행하여 SOD를 20% 저감함으로써 빈산소수를 해소하는 방안이 모색되어야 할 것이다.

## VI. 참고 문헌

- Alllen, R. L. and R. E. Turner., 1989. Environmental influences on the oyster industry along the west coast of Florida. J. Shellfish Res., 8. 95-104.
- Atkins, W. R. G., P. G. Jenkins, and F. J. Warren, 1954. The suspended matter in sea water and its seasonal changes as affecting the visual range of the Secchi disc. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 33. 497-509.
- Cho, C. H., 1980. Farming density of oyster in Hansan-Geoje Bay(in Korean). J. K or. Fish. Soc. 13(2). 45-56.
- Cho, C. H., 1996. Present status and prospects of oyster industry in Korea. Jour. o f Aqua. 9(4). 303-309.
- Cho, C. H. and Y. S. Kim, 1978. Environment in oyster farm area Chungmu, raft density in Geoje Bay(in Korean). J. Kor. Fish. Soc., 11(4). 243-247.
- Choi, W. J., Y. Y. Chun, J.H. Park, and Y.C. Park. 1997. The Influence of Environmental Characteristic on the Fatness of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, in Hansan-Koge Bay(in Korean). J. Kor. Fish. Soc. 30(5), 794-803.
- Frechette, M., C. A. Butman and W. R. Geyer, 1989. The importance of boundary layer flows in supplying phytoplankton to the benthic suspension feeder, *Mytilus edulis* L. Limnol. Oceanogr., 34. 19-36.
- Hofmann E. E., J. M. Klinck, E. N. Powell, 1994. Modeling oyster populations II. Adult size and reproductive effort. Shellfish Res., 13. 165-182.
- Holmes, R. W., 1970. The secchi disc in turbid coastal waters. Limnol. and Ocenogr., 15. 688-694.
- Ito, S. and T. Imai, 1955. Ecology of oyster bed. 1. On the decline of productivity due to repeated cultures. Tohoku J. Agr. Res., 5. 251-268.
- Jensen, E. T., 1966. Shellfish and public health. J. Milk and Food Tech., 19. 281-283.
- Klinck J. M., Powell E. N., Hofmann E. E., Wilson E. A., Ray S. M., 1992. Modelling oyster populations : The effect of denisity and food supply on production, Adv. Mar. Ech. Conf., 5. 85~105.



- Kobayashi M., E. E. Hofmann, E. N. Powell, J. M. Klinck and K. Kusaka, 1996. A population dynamics model for the Japanese oyster, *Crassostrea gigas*, Aquaculture. pp. 73.
- Korea Meteorological Administration, 1997. Annual climatological report. 1~242.
- KSND, 경상남도, 1997. 고성만 특별관리어장 정화사업 기본조사 및 실시설계 용역 최종보고서, pp. 406.
- KSND, 경상남도, 1998. 거제북부해역 특별관리어장 정화사업 기본조사 및 실시설계 용역 최종보고서. pp. 108.
- KSND, Kosung, 경상남도 고성군, 1997. 자란만의 양식어장 수용력에 관한 조사연구. pp. 285.
- Lee, P. Y., 1993. Occurrence and seasonal variation of oxygen-Deficient watermass in Wonmun Bay(in Korean). J. Kor. Fish. Soc., 26(4). 392-400.
- Leedale, G. E., 1967. Euglenoid flagellates. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- Mackin, J. G., 1962. Oyster disease caused by dermocystidium marinum and other microorganisms in Louisiana. Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas, 7: 132-229.
- Odum, E. P., 1971. Fundamentals of ecology. Saunders Press, Philadelphia.
- Parke, M. and P. S. Dixon, 1976. Checklist of british marine algae. Third revision. J. Mar. Biol. Assoc. U. Kind., 56, 527-594.
- Parke, M. and J. C. Green, 1976. Haptophyta. Check-list of British marine algae. Third revision(Parke, M. and P. S. Dixon). J. Mar. Biol. U.K. 527-594.
- Parsons, T. R., 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford.
- Peterson, C. H. and R. Black, 1988. Density-dependent mortality caused by physical stress interacting with biotic history. Am. Nat., 131. 257-270.
- Platt, T., 1971. The annual production by phytoplankton in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. J. Cons., 33. 324-334.
- Powell, N. E., J. M. Klinck, E. E. Hofman, S. M. Ray, 1993. Modeling oyster populations. IV: Rate of Mortality, population crashes, and management. Fishery Bulletin, 92. 347-373.
- Ray, S. M., 1987. Salinity requirements of the American oyster, *Crassostrea virginica* p. E. 1-E. 28, in A. J. Mueller and G. A. Mattnew(eds.), Freshwater inflow needs of the Matagorda Bay system with focus on penaeid

- shrimp. U.S. Dept. Commerce. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC-189.
- Sherwood, H. P., 1952. Some observations of the viability of sewage bacteria in relation to self-purification of mussels. Proceeding of Soc. for Appl. Bact. 15. 21-28.
- Simonsen, R., 1979. The diatom system: Ideas on phylogeny. Bacillaria 2. 9-71.
- Steemann-Nielsen, E., 1975. Marine photosynthesis with special emphasis on the ecological aspects. Elsevier scientific publ. Co., New York, p. 141.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1968. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Canada. Bulletin 167. 311pp.
- Ventilla, R. F., 1984. Recent Developments in the Japanese oyster culture industry. Marine Biol. 21. 1-57.
- Wildish, D. J. and D. D. Kristmanson, 1988. Growth response of giant scallops to periodicity of flow. Mar. Ecol. Prog. Ser., 42. 163-169.
- Yanagi, T., 1974. Contributions. Geophysical Institute, Kyoto University, 14. 1-10.
- Yoo, S. K., J. S. Park, P. Chin, D. S. Chang, C. K. Park and S. S. Lee. 1980. Comprehensive studies on oyster culture in Hansan, Geoje Bay(in Korean). Bull. Fish. Res. and Develop. Agency. 24. 7-46.
- 국립수산진흥원, 1990. 연안 양식어장 환경용량 산정에 관한 연구. 1-95.
- 국립수산진흥원, 1993 a. 부영양화 및 적조현상 규명에 관한 연구. 환경처선도기술개발 사업보고서. 3-49.
- 국립수산진흥원, 1993 b. 양식어장 저질개선 기술개발.
- 국립수산진흥원, 1997. 한국 연안의 적조. 부산 구덕인쇄사, pp. 280.
- 국립환경연구원, 1983. 전국주요하천 유역기초조사(1) 최종보고.
- 김용술, 1980. 거제·한산만 양식굴의 에너지 전환효율. 한국수산학회지, 13(4). 179-193.
- 김용술, 1995. 수질분석. 신흥출판사, pp. 385
- 김용술, 1995. 수온과 크기의 영향을 고려한 양식굴, *Crassostrea gigas*의 여수율 모형. 한수지, 28(5). 589-598.
- 김용술, 1996. 양식장 수용밀도와 환경용량. 수산학, 신흥출판사, 통영, pp. 285.
- 박주석, 1980. 한국 남해안의 식물성 Plankton의 출현량 및 조성과 이들이 먹이와 적조로서 양식생물에 미치는 영향. 수진연구보고, 23. 5-157.
- 박청길, 1975. 진해만 해수의 부영양화와 Chlorophyll 분포, 한수지, 8(3). 121~126.

- 배평암·김윤, 1978. 충무근해 굴 양식어장 기초생산력 조사. 수진연보, 20. 129-139.
- 이병돈·최형구·강용주, 1991. 굴 양식장 수역의 기초생산 연구, 한수지, 24(1). 39-51.
- 이병훈, 1975. 생태학이란 무엇인가. 현대과학신서 53, 전파과학사, 서울, p.153.
- 장선덕, 1987. 연안해역 오염물질의 이동과 분산. 적조현상과 어장보전, 71-81.
- 조은일·박청길·이석모, 1996 a. 가막만의 환경용량 산정(Ⅰ). 한수지, 29(3). 369-385.
- 조은일·박청길·이석모, 1996 b. 가막만의 환경용량 산정(Ⅱ). 한수지, 29(5). 709-715
- 조창환, 1979. 1978년 진해만 적조와 양식굴의 대량폐사. 한수지, 12(1). 27-33.
- 조창환, 1980. 한산·거제만 굴양식장의 양식밀도에 관한 연구. 한수지, 13. 45~56.
- 조창환, 1986. 한국 연안해역 식물플랑크톤의 출현 및 분포양상, 1030年代~1980年代. 한조지, 1(1). 135-143.
- 조창환, 1991. 진해만의 양식해양학적 연구의 업적과 미래. 한양지, 4(2). 129-136.
- 조창환, 1993. 북신만의 적조에 관하여. 한양지, 6(2). 63-69.
- 조창환·김용술, 1977. 굴양식장의 미세환경에 관한 연구 1. 거제만의 양식장 밀도 및 부영양화에 관하여. 한수지, 10. 259-265.
- 최종덕, 1995. 북신만의 대장균군 및 해양세균의 분포. 한수지, 28(2). 202-208.
- 최우정, 1993. 진해만의 빈산소 수괴 형성에 관한 시뮬레이션. 부산수산대학교 학위논문. pp. 97.
- 최우정·나기환·전영열·박청길, 1991. 부영양화된 북만의 용존산소 수지에 의한 자정능력. 한수지, 24(1). 21~30.
- 통영시, 1993. 통영통계연보.
- 해양연구소, 1983. 적조 및 오염 모니터링 연구. BSPE00048-80-7.
- 해양연구소, 1989. 연안환경 보전기술 개발연구. DSPG0083-242-4.
- 환경청, 1981. 전국주요하천 유역기초조사
- 青森縣水産増殖センター, 1986. 二枚貝養殖漁場における適正収容力に関する研究, 指定調査研究總合助成事業報告書. 9-36.
- 荒川好滿·楠木禮·神恒正昭, 1971. カキ養殖場における生物原堆積現象の研究.(1). 養殖適正密度について. Venus, 30. 113-128.
- 平野敏行, 1992. 漁場環境容量. 水産學シリーズ 87. 恒星社厚生閣, 9-36.
- 廣島縣水産試験場, 1986. 二枚貝養殖漁場における適正収容力に関する研究. 指定調査研究總合助成事業報告書, 85-104.
- 風呂田利夫, 1988. 東京灣における 貧酸素水塊の底生附着動物群集に與える影響につい

- て. 沿岸海洋研究, 25(2). 104-113.
- 岩手縣栽培漁業センター, 1986. 二枚貝養殖漁場における適正収容力に関する研究. 指定調査研究総合助成事業報告書, 37-84.
- 木村知博・橋本俊將, 1968. 廣島灣の カキ養殖場水域における基礎生産について. 日本水産増殖, 16. 1~14.
- 藏本 武明・中田喜三郎, 1991. 東京灣における流動と底層DO濃度シミュレーション. 沿岸海洋ノート, 28(2). 140-158.
- 倉茂英次郎, 1943. 朝鮮黃海側 吳 南鮮にある浮游性珪藻の量 吳 質的 特性, 第1報. 朝鮮總督府水産試験場報告, No. 3.
- 楠木 豊, 1981. カキ養殖漁場における漁場老化に関する基礎的研究. 廣水試研報, 11.
- 中田喜三郎・石川公敏・松川康夫, 1985. 内灣の流動場の數値實驗. 沿岸海洋ノート, 27(2). 96~108.
- 中村曲行・西田克司・早川典生・西村, 1989. 沿岸海域における鉛直擴散係數の推定に関する研究. 沿岸工學論文集, 36. 809-813.
- 日本水産資源保護協會, 1973. 水産環境水質基準.
- 日本水産資源保護協會, 1990. 漁場環境容量策定事業報告書(第2分冊).
- 小久保清治・鈴木朝得, 1940. プラクトン時報, 15.
- 宇野木早蕃, 1974. 内灣の海水交換と鉛直混合にする考察. 沿岸海洋研究ノート, 11(2). 85-95.
- 上鳴英機・早川典生, 1982. 瀬戸内海の物質擴散, 分散特性. 沿岸海洋研究ノート, 20(1). 1-11.
- 柳哲雄, 1989. シンホシウム貧酸素水塊のまとめ. 沿岸海洋 ノート, 26(2). 141-145.
- 吉田陽一, 1973. 低次生産段階にある生物生産の變化. p. 92-103. 日本水産學會編, 水産學シリーズ 1. 恒星社厚生閣. pp. 129.

## 감사의 글

학위논문이 완성되기까지 지도하여 주신 이정재 교수님께 깊이 감사드립니다. 논문을 심사하시면서 세세히 읽으시고 정성스럽게 다듬어주신 정상철 교수님, 이기완 교수님, 양성기 교수님, 최광식 교수님께 깊은 감사를 드리며, 학위과정 중에 지도와 격려를 하여 주신 노섭 교수님, 송춘복 교수님, 이영돈 교수님께도 감사를 드립니다.

항상 옆에서 격려를 하여 주시고 연구 여건을 마련해주신 경상대학교 조창환 교수님, 김무상 교수님, 김용술 교수님께 깊은 감사를 드리며, 양식학과 여러분의 도움이 많았습니다.

연구과정에서 많은 도움을 주신 경상대학교 염말구 교수님, 최종덕 교수님, 국립수산진흥원의 최우정 연구관님께 감사를 드립니다. 또한 힘든 일에도 마다 않고 현장조사를 함께 했던 경상대학교 원용인 선생님, 자료 정리와 타이핑에 땀을 흘리며 도와준 조상만 군에게도 감사를 드립니다.

멀리에서 성원하여 주셨던 부경대학교 이원재 교수님, 조재윤 교수님, 양한섭 교수님, 전 국립수산진흥원장 하성환 님, 국립수산진흥원 김응오 연구관님께 감사의 말씀을 드립니다.

한 발짝 떨어져 있으면서도 늘 격려하여 주신 박충길 님, 유태수 님, 유국명 님께 감사드리며, 신선한 바람을 불어준 통영수산학교 양식학과 선배님, 동기, 후배들에게도 고마운 마음을 전합니다.

이 논문은 “양식장 수용력에 관한 조사”의 일환으로 현장조사가 수행되었고, 연구비를 제공한 경상남도 관계자 여러분께 감사드리며, 시료를 제공하였던 굴양식수협과 관련 어업인 여러분께도 감사드립니다.

정성으로 길러주시고 학문의 길을 가게 해주신 어머니께 이 영광을 드리며, 용기를 주었던 장인, 숙부님, 형제들의 성원에 깊은 감사를 드립니다.

그간 어려움 속에서도 말없이 참고 견디어준 아내 경희와 건강하게 잘 자라고 있는 아들 호정에게 고마운 마음을 이 논문으로 대신합니다.

앞으로도 겸손한 자세로 이 작은 씨앗을 심어 큰 나무로 키울 것을 다짐하면서, 자식의 조그마한 결실을 보지 못하고 영면하신 아버님의 영전에 이 논문을 바칩니다.

# Appendix



Appendix 3-1. Water temperature at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	20.7	20.6	21.2	20.4	21.3	20.5	21.4	20.5	21.3	20.5	21.0	20.5	20.9	20.4	21.1	20.5
Nov.	17.2	17.0	17.8	16.9	17.9	17.0	17.8	16.9	17.7	16.5	16.7	16.1	16.7	16.3	16.7	16.7
Dec.	11.5	11.4	11.9	12.0	11.6	11.8	12.8	12.1	11.8	11.6	10.6	10.6	10.3	10.4	10.1	10.2
Jan. 1995	7.1	7.2	7.7	7.8	9.0	9.3	9.2	9.5	8.7	8.8	6.3	6.8	6.0	6.5	6.2	6.3
Feb.	8.8	8.9	9.2	8.9	9.4	9.1	9.7	9.5	9.1	10.3	7.6	7.4	7.5	7.5	7.4	7.6
Mar.	10.5	10.4	10.3	10.1	10.4	10.3	10.6	10.5	10.3	10.3	10.0	10.0	9.9	9.9	10.0	9.9
Apr.	13.6	13.4	13.5	13.2	13.2	13.1	13.2	13.9	13.7	13.5	14.1	13.7	14.1	13.7	13.9	13.7
May	16.5	15.9	16.9	16.0	16.6	15.9	16.8	16.2	17.0	16.5	17.3	16.2	17.4	16.2	17.1	16.5
Jun.	19.4	18.3	20.2	18.7	20.0	18.7	20.3	18.5	20.3	19.4	20.5	18.6	20.6	18.7	20.3	19.3
Jul.	21.5	19.7	23.2	19.7	22.2	19.7	22.8	19.5	22.7	20.0	23.3	19.9	23.3	20.0	23.2	21.1
Aug.	23.5	21.1	26.2	20.6	24.3	20.7	25.2	20.4	25.2	20.5	26.0	21.2	26.0	21.3	26.0	22.8
Sep.	21.2	20.8	21.2	20.8	21.2	20.8	21.1	20.7	21.2	20.8	21.6	20.8	21.9	20.8	21.8	20.8
Oct.	20.7	20.7	21.0	19.8	21.0	19.9	21.0	20.8	21.0	20.8	21.0	21.0	21.1	21.0	21.2	21.0
Nov.	14.6	14.5	14.6	14.5	14.7	14.5	14.5	14.5	14.7	14.6	14.7	14.6	14.6	14.5	14.9	14.8
Dec.	11.0	11.0	11.2	11.1	11.3	11.1	10.8	10.8	10.8	10.6	10.6	10.6	10.5	10.5	10.5	10.5
Jan. 1996	8.1	8.0	8.0	8.0	7.3	7.0	8.5	8.3	8.3	8.0	6.6	6.5	6.8	6.9	6.7	6.6
Feb.	7.0	7.0	7.3	7.1	8.2	7.9	7.9	7.8	7.5	7.4	6.2	6.1	5.4	5.3	5.3	5.3
Mar.	9.1	8.8	9.2	8.8	9.6	9.4	9.4	9.3	9.1	9.0	8.4	8.4	8.0	7.9	8.0	8.0
Apr.	11.2	10.5	11.1	10.5	10.9	10.9	10.8	10.8	10.7	10.6	10.6	10.6	10.6	10.5	10.6	10.6

Appendix 3-2. pH at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	8.04	8.09	8.08	8.09	8.08	8.08	8.09	8.10	8.09	8.07	8.06	8.07	8.03	8.05	8.08	8.07
Nov.	8.09	8.09	8.10	8.09	8.08	8.08	8.09	8.09	8.10	8.09	8.07	8.07	8.05	8.07	8.06	8.05
Dec.	8.02	8.06	8.06	8.08	7.99	8.00	8.02	8.03	8.03	8.06	7.72	7.87	7.78	7.93	7.80	7.82
Jan. 1995	7.99	8.00	7.99	8.02	8.02	8.04	8.03	8.05	8.03	8.02	8.10	8.11	8.15	8.15	8.15	8.11
Feb.	8.30	8.30	8.28	8.28	8.27	8.27	8.26	8.27	8.20	8.29	8.27	8.30	8.28	8.27	8.29	8.26
Mar.	8.20	8.19	8.23	8.23	8.25	8.25	8.26	8.27	8.25	8.25	8.24	8.23	8.22	8.22	8.22	8.23
Apr.	8.25	8.26	8.26	8.27	8.27	8.27	8.28	8.27	8.26	8.10	8.20	8.35	8.21	8.41	8.23	8.43
May	8.21	8.21	8.23	8.24	8.24	8.23	8.24	8.23	8.23	8.15	8.13	8.24	8.21	8.31	8.22	8.29
Jun.	8.17	8.16	8.20	8.21	8.20	8.19	8.20	8.19	8.20	8.19	8.06	8.12	8.21	8.20	8.20	8.14
Jul.	8.17	8.15	8.19	8.19	8.20	8.18	8.20	8.18	8.21	8.18	8.18	8.14	8.25	8.19	8.23	8.16
Aug.	8.17	8.14	8.18	8.16	8.19	8.17	8.20	8.17	8.22	8.17	8.29	8.16	8.29	8.18	8.26	8.18
Sep.	8.34	8.20	8.30	8.12	8.20	8.15	8.25	8.15	8.24	8.12	8.27	8.15	8.22	8.16	8.22	8.16
Oct.	8.24	8.17	8.19	8.04	8.21	8.14	8.22	8.13	8.22	8.11	8.20	8.09	8.20	8.06	8.20	8.05
Nov.	8.00	8.01	8.01	8.04	8.02	8.02	8.02	8.02	8.03	8.04	8.03	8.03	8.05	8.05	8.09	8.09
Dec.	8.00	8.10	8.02	8.07	7.78	8.06	8.07	8.10	8.08	8.07	8.01	7.65	8.01	8.02	7.93	8.07
Jan. 1996	7.85	8.18	7.95	8.20	7.94	8.17	7.63	8.19	7.94	8.21	8.03	8.27	8.06	8.32	7.98	8.02
Feb.	8.11	8.10	8.06	8.06	8.09	8.08	8.08	8.08	8.08	8.07	8.06	8.06	8.09	8.08	8.10	8.13
Mar.	8.13	8.07	8.09	8.07	8.09	8.11	8.09	8.08	8.10	8.08	8.08	8.08	8.09	8.08	8.10	8.11
Apr.	8.15	8.04	8.12	8.08	8.09	8.14	8.10	8.07	8.11	8.09	8.10	8.09	8.09	8.08	8.09	8.09



Appendix 3-3. Salinity at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	32.39	32.57	32.68	32.67	32.71	32.69	32.98	32.69	32.68	32.65	32.62	32.62	32.57	32.57	32.45	32.52
Nov.	33.26	33.82	33.84	33.27	33.27	33.28	33.26	33.31	33.28	33.24	33.17	33.21	33.15	33.20	33.07	33.14
Dec.	33.59	33.74	33.90	33.99	34.00	34.04	34.04	33.88	33.98	33.93	33.72	33.72	33.72	33.72	33.72	33.81
Jan. 1995	34.03	34.18	34.35	34.35	34.37	34.67	34.43	34.35	34.51	34.51	34.35	34.35	34.35	34.35	34.19	34.42
Feb.	33.98	34.08	34.20	34.15	34.21	34.21	34.22	34.20	34.18	34.15	33.83	33.90	33.82	33.90	33.78	33.88
Mar.	33.95	34.01	34.24	34.23	34.25	34.26	34.30	34.32	34.23	34.22	33.80	33.97	33.43	34.03	33.95	33.97
Apr.	33.44	33.44	33.47	33.46	33.50	33.52	33.53	33.52	33.46	33.47	33.40	33.37	33.40	33.39	33.39	33.39
May	33.57	33.64	33.70	33.71	33.71	33.72	33.74	33.74	33.70	33.72	33.70	33.62	33.67	33.63	33.64	33.56
Jun.	33.71	33.83	33.93	33.96	33.91	33.92	33.95	33.96	33.94	33.96	34.00	33.87	33.94	33.87	33.89	33.72
Jul.	33.36	33.69	33.62	33.85	33.48	33.77	33.48	33.78	33.86	33.77	33.29	33.73	33.32	33.70	32.88	33.56
Aug.	33.01	33.55	33.31	33.74	33.05	33.61	33.00	33.60	33.78	33.58	32.58	33.58	32.69	33.52	31.87	33.40
Sep.	31.32	31.62	31.45	31.69	31.72	31.89	31.72	31.90	31.44	31.57	31.42	31.57	31.49	31.56	31.48	31.52
Oct.	31.62	31.69	31.63	31.82	31.67	31.75	31.66	31.77	31.65	31.80	31.63	31.71	31.63	31.71	31.62	31.71
Nov.	33.02	33.30	33.16	33.24	33.22	33.22	33.30	33.27	33.20	33.25	33.12	33.14	33.10	33.14	33.03	33.04
Dec.	34.32	34.32	34.57	34.35	34.82	34.99	34.99	34.88	34.15	34.15	34.16	34.16	34.14	34.14	33.98	33.98
Jan. 1996	33.90	33.98	34.14	34.09	34.14	34.08	34.04	34.04	34.08	33.99	33.65	33.76	33.63	33.67	33.27	33.18
Feb.	34.29	34.32	34.30	34.31	34.34	34.05	34.32	34.33	34.33	34.33	34.32	34.35	34.09	34.21	33.98	34.07
Mar.	34.15	34.36	34.36	34.21	34.38	34.24	34.37	34.38	34.27	34.29	34.21	34.23	34.06	34.17	34.00	34.03
Apr.	34.00	34.40	34.41	34.10	34.42	34.43	34.42	34.42	34.20	34.25	34.10	34.11	34.02	34.12	34.01	33.99

Appendix 3-4. DO concentration at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	7.80	7.60	7.30	7.90	7.80	8.00	7.90	8.20	7.70	8.00	8.30	8.50	7.80	8.50	9.00	9.40
Nov.	9.60	9.50	8.70	8.40	8.60	8.70	8.50	9.20	8.80	9.40	8.70	9.00	9.30	9.30	9.00	9.00
Dec.	7.90	8.00	7.50	8.20	8.30	8.20	8.90	9.20	9.70	9.80	9.30	8.80	9.20	9.50	9.90	9.80
Jan. 1995	8.00	8.00	9.80	9.00	9.10	9.20	9.50	9.70	9.90	9.70	9.50	9.70	9.20	8.50	9.20	9.10
Feb.	8.70	8.40	8.00	7.90	8.00	7.90	8.00	7.90	7.90	8.13	8.50	8.30	8.50	8.20	8.10	8.30
Mar.	9.50	9.30	9.40	9.90	9.89	8.89	9.80	9.90	8.10	9.80	9.40	9.10	8.50	7.80	7.30	8.50
Apr.	9.00	8.60	8.40	8.20	8.50	8.10	8.70	8.00	8.50	8.50	8.70	8.40	8.70	8.70	8.70	8.40
May	8.44	7.94	8.50	7.35	7.84	7.43	8.10	7.47	8.34	7.29	7.10	6.36	7.11	5.96	7.07	5.19
Jun.	7.87	7.27	8.60	6.50	7.18	6.76	7.50	6.94	8.18	6.07	5.50	4.32	5.51	3.21	5.43	1.97
Jul.	7.54	6.72	7.69	6.14	7.16	6.17	7.33	6.27	7.51	5.32	4.86	3.28	4.86	2.40	6.79	1.92
Aug.	7.20	6.16	6.77	5.77	7.14	5.57	7.15	5.60	6.84	4.57	4.21	1.01	4.21	1.59	8.15	1.78
Sep.	7.07	6.40	7.26	6.27	7.25	6.70	7.11	6.72	7.12	6.70	5.23	3.21	5.24	1.24	7.21	2.23
Oct.	8.55	7.07	8.24	4.60	8.19	4.73	8.20	3.00	8.66	2.64	8.74	3.62	8.70	3.58	8.76	3.58
Nov.	8.60	8.72	8.66	8.84	8.62	8.79	8.61	8.67	8.84	8.82	8.81	8.59	8.90	8.70	8.88	8.85
Dec.	8.51	8.89	8.27	8.33	8.15	8.45	8.59	8.73	9.03	8.98	8.99	8.74	9.21	9.00	9.41	9.03
Jan. 1996	8.36	8.69	8.71	9.25	8.68	8.97	8.46	9.31	8.36	8.92	8.80	8.87	8.47	8.21	7.96	8.12
Feb.	8.90	8.47	8.93	8.50	8.92	8.99	9.12	9.04	9.05	8.97	9.27	9.12	9.94	9.06	9.95	9.54
Mar.	9.02	8.76	9.03	8.81	9.04	9.05	9.14	9.07	9.19	9.11	9.39	9.21	9.70	9.22	9.95	9.41
Apr.	9.14	9.05	9.13	9.12	9.16	9.10	9.15	9.10	9.32	9.24	9.50	9.29	9.45	9.37	9.94	9.27

Appendix 3-5. COD concentration at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	2.56	3.89	1.60	1.55	1.31	1.39	1.10	1.04	1.70	1.52	1.54	1.25	1.70	1.63	1.65	1.46
Nov.	1.46	1.89	1.47	1.44	1.15	1.44	1.65	1.49	1.58	1.70	1.42	1.39	1.66	1.49	1.81	2.02
Dec.	2.48	1.93	2.03	2.08	1.56	1.92	1.95	1.85	1.93	1.74	2.66	2.09	1.88	2.42	2.67	2.53
Jan. 1995	2.34	2.35	1.66	1.78	1.63	1.14	2.11	2.08	2.19	2.30	2.43	3.12	2.74	2.70	2.51	2.26
Feb.	2.29	2.59	1.90	1.89	1.85	1.80	1.95	2.24	2.10	2.02	2.11	2.08	2.10	2.09	2.08	2.05
Mar.	1.68	2.22	1.97	1.74	1.42	1.50	1.93	1.18	1.62	1.63	2.83	2.40	2.10	2.38	2.54	2.54
Apr.	1.68	1.44	1.30	1.38	1.50	1.40	1.63	1.47	1.09	1.18	1.22	1.25	1.32	1.30	1.50	1.36
May	2.10	1.39	1.56	1.46	1.58	1.53	1.62	1.57	1.31	1.20	1.41	1.38	1.58	1.41	1.80	1.63
Jun.	2.51	1.33	1.81	1.54	1.65	1.66	1.60	1.66	1.53	1.22	1.60	1.50	1.84	1.52	2.10	1.89
Jul.	2.35	1.72	1.86	1.71	1.86	1.61	1.86	1.66	1.94	1.36	1.98	1.42	2.09	1.72	2.12	3.19
Aug.	2.18	2.10	1.90	1.87	2.06	1.55	2.12	1.66	2.34	1.50	2.35	1.34	2.34	1.92	2.14	4.48
Sep.	3.26	2.10	3.06	1.92	2.01	1.83	1.98	1.80	2.37	1.77	2.45	1.74	2.00	1.98	2.16	1.87
Oct.	1.71	1.65	1.65	1.57	2.82	1.78	1.84	1.80	1.80	1.81	2.14	1.57	2.20	1.90	2.34	1.97
Nov.	2.42	2.14	2.38	1.79	2.06	1.84	2.00	1.97	2.01	1.82	2.32	1.94	2.36	1.96	2.06	1.76
Dec.	2.31	1.70	1.90	1.72	1.82	1.79	2.06	1.57	1.84	1.86	1.76	1.28	2.26	2.00	2.61	2.27
Jan. 1996	1.91	2.39	1.89	1.94	1.26	1.96	1.99	1.95	2.04	2.12	2.53	2.32	2.54	2.30	2.58	2.45
Feb.	2.12	1.94	1.81	1.59	1.79	1.60	1.66	1.66	1.70	1.54	1.74	1.54	1.76	1.69	1.84	1.39
Mar.	2.02	1.76	1.77	1.52	1.51	1.44	1.54	1.62	1.62	1.49	1.77	1.52	1.76	1.67	1.81	1.44
Apr.	1.92	1.57	1.72	1.45	1.22	1.27	1.42	1.57	1.53	1.43	1.79	1.50	1.75	1.65	1.78	1.49

Appendix 3-6. PO<sub>4</sub>-P concentration at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	0.69	0.60	0.43	0.47	0.56	0.56	0.60	0.60	0.47	0.43	0.22	0.30	0.26	0.17	0.09	0.09
Nov.	0.13	0.22	0.43	0.30	0.43	0.52	0.39	0.39	0.34	0.17	0.09	0.04	0.04	0.09	0.04	0.39
Dec.	0.56	0.39	0.43	0.39	0.69	0.65	0.69	0.69	0.60	0.77	0.73	0.77	0.82	1.08	1.12	1.08
Jan. 1995	0.82	0.86	0.60	0.52	0.56	0.73	0.65	0.52	0.47	0.52	0.39	0.22	0.17	0.39	0.30	0.30
Feb.	0.22	0.26	0.22	0.22	0.22	0.20	0.26	0.30	0.30	0.34	0.47	0.47	0.45	0.47	0.39	0.22
Mar.	0.47	0.34	0.26	0.47	0.30	0.22	0.22	0.34	0.30	0.26	0.39	0.34	0.39	0.52	0.52	0.47
Apr.	0.47	0.43	0.30	0.26	0.30	0.26	0.34	0.47	0.30	0.30	0.43	0.47	0.41	0.49	0.56	0.73
May	0.30	0.28	0.22	0.22	0.37	0.37	0.47	0.47	0.20	0.32	0.39	0.28	0.42	0.40	0.30	0.43
Jun.	0.13	0.13	0.13	0.17	0.43	0.47	0.40	0.47	0.09	0.34	0.34	0.09	0.42	0.30	0.04	0.13
Jul.	0.13	0.26	0.13	0.32	0.28	0.45	0.28	0.44	0.13	0.41	0.22	0.35	0.26	0.41	0.09	0.35
Aug.	0.13	0.39	0.13	0.47	0.13	0.43	0.15	0.40	0.17	0.47	0.09	0.60	0.10	0.52	0.13	0.56
Sep.	0.17	0.45	0.22	0.33	0.20	0.35	0.20	0.17	0.43	0.45	0.13	0.46	0.14	0.45	0.13	0.44
Oct.	0.04	0.17	0.04	0.52	0.30	0.22	0.08	0.10	0.04	0.04	0.04	0.17	0.04	0.19	0.04	0.22
Nov.	2.11	2.16	1.63	1.65	1.68	1.67	1.63	1.14	1.60	1.34	1.68	1.77	1.69	1.70	1.46	1.55
Dec.	1.46	1.29	0.77	0.70	0.73	0.86	0.99	0.82	0.77	0.69	0.73	0.90	0.79	0.74	0.60	0.60
Jan. 1996	0.75	0.52	0.52	0.71	0.71	0.61	0.61	0.56	0.61	0.71	0.33	0.38	0.19	0.24	0.48	0.56
Feb.	0.60	0.57	0.56	0.37	0.56	0.41	0.34	0.34	0.49	0.45	0.52	0.47	0.42	0.53	0.17	0.52
Mar.	0.50	0.53	0.47	0.36	0.41	0.29	0.34	0.28	0.42	0.38	0.45	0.48	0.30	0.37	0.15	0.33
Apr.	0.40	0.49	0.38	0.35	0.26	0.17	0.33	0.21	0.35	0.31	0.37	0.49	0.18	0.21	0.13	0.13

Appendix 3-7. DIN concentration at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	17.12	10.12	8.91	7.42	10.27	9.60	9.83	10.67	8.33	9.71	5.56	3.58	6.07	6.19	11.58	8.06
Nov.	1.14	1.31	8.46	6.60	5.21	8.14	3.57	5.46	4.44	1.13	4.27	4.98	4.70	4.25	10.98	4.53
Dec.	13.68	5.43	1.73	2.16	9.08	8.41	6.93	8.45	6.58	7.93	22.31	24.44	23.56	24.55	35.32	35.89
Jan. 1995	9.70	9.50	6.68	6.01	7.68	6.57	7.70	7.01	7.05	5.50	3.34	3.06	2.11	2.00	11.85	8.27
Feb.	5.33	0.87	3.46	1.57	3.01	1.51	4.93	2.01	2.25	1.31	15.80	7.23	16.03	8.19	13.59	10.17
Mar.	11.14	8.93	1.83	1.73	1.57	2.21	2.06	2.30	2.03	1.49	9.89	6.55	17.85	9.25	15.53	14.41
Apr.	0.47	0.61	3.84	1.62	3.85	1.65	3.09	0.33	3.74	1.20	4.72	2.39	4.48	2.10	1.45	0.95
May	7.08	2.76	3.22	1.09	3.60	2.13	3.28	1.85	3.62	2.49	12.27	4.90	6.67	3.92	3.25	4.53
Jun.	13.68	4.91	2.59	0.55	3.34	2.60	3.47	3.36	3.49	3.77	19.82	7.41	8.86	5.74	5.04	8.11
Jul.	8.46	3.53	1.70	2.80	3.59	3.64	2.44	3.25	2.52	3.06	10.31	6.13	5.56	5.33	3.59	5.27
Aug.	3.24	2.15	0.81	5.04	3.83	4.68	1.40	3.14	1.54	2.34	0.79	4.85	2.26	4.91	2.14	2.43
Sep.	1.19	5.27	0.58	1.52	0.59	1.61	1.00	1.47	3.69	2.24	0.84	2.30	3.55	2.31	5.17	1.84
Oct.	12.06	8.03	1.49	2.53	0.52	0.90	0.74	1.54	0.46	1.86	0.85	1.85	1.53	2.18	1.96	3.12
Nov.	31.18	25.04	15.18	13.17	14.16	10.67	17.22	10.68	16.52	11.87	16.49	12.24	18.55	16.02	19.37	21.12
Dec.	15.71	15.33	14.93	13.84	15.16	14.75	14.81	15.16	15.65	15.28	10.46	10.34	15.62	14.28	15.58	15.40
Jan. 1996	12.29	9.99	10.26	9.21	10.18	9.46	7.67	8.64	7.33	7.46	3.43	5.48	2.34	4.94	4.79	6.65
Feb.	8.01	5.57	7.56	5.48	6.69	4.37	8.48	6.05	3.52	3.46	3.77	3.23	6.87	4.15	5.28	5.01
Mar.	6.86	5.34	6.50	5.44	5.81	5.85	6.34	4.50	4.39	3.85	4.64	3.23	6.76	4.09	6.78	4.15
Apr.	5.71	5.11	5.44	5.40	4.93	7.33	4.19	2.95	5.25	4.24	5.51	3.23	6.64	4.03	8.27	3.28

Appendix 3-8. NH<sub>4</sub>-N concentration at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	8.90	6.90	4.62	4.36	5.76	5.49	5.29	5.96	6.03	6.70	3.15	1.81	3.62	4.02	2.01	1.47
Nov.	0.94	0.74	2.61	1.88	1.07	1.88	-	-	-	-	0.74	1.21	0.13	0.80	0.80	-
Dec.	6.50	1.61	-	0.07	2.21	1.94	1.54	1.94	0.87	1.74	8.71	9.92	9.72	10.32	13.87	13.60
Jan. 1995	5.83	5.16	0.74	0.87	1.01	0.34	0.87	0.74	0.67	0.60	1.61	1.41	1.14	0.80	1.54	1.21
Feb.	4.36	0.67	1.41	0.60	1.37	0.52	2.14	0.40	0.47	0.13	8.58	3.62	8.60	3.92	4.52	5.63
Mar.	5.29	3.40	0.63	0.76	0.88	1.20	1.01	1.13	0.95	0.69	4.03	2.33	6.87	5.48	8.76	8.43
Apr.	0.07	0.13	3.08	1.14	2.99	1.34	2.41	0.13	3.42	0.60	4.56	0.67	4.14	1.00	1.21	0.67
May	5.80	1.44	2.72	0.71	2.74	1.81	2.36	1.22	2.52	1.98	11.09	2.98	5.39	2.33	2.05	3.35
Jun.	11.52	2.75	2.35	0.27	2.48	2.28	2.30	2.30	1.61	3.35	17.62	5.29	6.64	3.66	2.88	6.03
Jul.	7.14	1.95	1.24	0.29	2.85	1.28	1.65	1.61	1.38	1.74	8.98	3.38	3.83	2.58	2.01	3.59
Aug.	2.75	1.14	0.13	0.30	3.22	0.27	1.00	0.92	1.14	0.13	0.34	1.47	1.02	1.50	1.14	1.14
Sep.	0.67	3.00	0.40	0.92	0.40	0.84	0.41	0.82	2.48	1.14	0.54	1.20	1.97	1.20	2.48	1.27
Oct.	10.65	7.50	0.38	1.27	0.27	0.20	0.20	0.84	0.13	1.21	0.20	0.47	0.30	0.80	0.34	0.74
Nov.	11.66	8.74	6.90	5.33	5.36	5.01	7.57	4.74	7.50	5.04	7.50	5.66	7.72	7.44	7.77	7.77
Dec.	2.81	2.95	3.04	2.46	3.08	3.02	2.81	3.08	4.56	2.95	2.01	1.94	3.00	2.01	2.21	2.08
Jan. 1996	3.15	3.95	4.02	3.89	3.22	3.22	2.55	4.56	2.81	3.62	2.55	4.76	1.34	4.22	2.32	4.87
Feb.	5.29	3.14	3.28	2.30	2.81	1.95	4.36	3.12	2.12	2.00	2.21	1.87	2.57	1.40	2.28	2.01
Mar.	4.63	3.49	3.65	3.14	3.45	4.26	3.58	2.58	2.50	2.48	2.62	2.00	3.39	2.19	4.36	2.22
Apr.	3.97	3.84	4.02	3.98	4.09	6.57	2.79	2.04	2.87	2.95	3.02	2.12	4.21	2.97	6.43	2.43

Appendix 3-9. NO<sub>2</sub>-N concentration at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	1.24	0.47	0.27	0.31	0.52	0.54	0.50	0.67	0.34	0.29	0.16	0.18	0.13	0.14	0.97	0.63
Nov.	-	0.13	1.06	0.72	1.21	1.22	0.99	0.49	0.81	0.16	0.20	0.18	0.20	0.18	0.32	0.20
Dec.	0.47	0.34	0.25	0.27	0.61	0.61	0.67	0.65	0.65	0.59	0.81	0.85	0.85	0.59	1.04	0.99
Jan. 1995	0.49	0.43	0.47	0.43	0.50	0.50	0.50	0.56	0.47	0.38	0.13	0.14	0.13	0.07	0.52	0.43
Feb.	0.11	0.02	0.14	0.13	0.14	0.14	0.15	0.29	0.34	0.34	0.47	0.29	0.49	0.30	0.65	0.31
Mar.	0.23	0.22	0.07	0.11	0.18	0.13	0.18	0.22	0.07	0.13	0.31	0.34	0.54	0.32	0.47	0.47
Apr.	0.04	0.05	0.13	0.11	0.12	0.11	0.09	0.04	0.05	0.07	0.05	0.18	0.04	0.12	0.18	0.04
May	0.04	0.05	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.04	0.11	0.08	0.13	0.11	0.04
Jun.	0.04	0.05	0.07	0.02	0.02	0.02	0.05	0.06	0.04	0.02	0.04	0.04	0.12	0.14	0.04	0.04
Jul.	0.11	0.12	0.18	0.16	0.12	0.12	0.09	0.09	0.10	0.09	0.17	0.17	0.21	0.22	0.08	0.08
Aug.	0.18	0.18	0.29	0.29	0.22	0.22	0.12	0.12	0.16	0.16	0.29	0.29	0.30	0.30	0.11	0.11
Sep.	0.14	0.15	0.07	0.10	0.07	0.11	0.09	0.13	0.32	0.12	0.20	0.11	0.11	0.11	1.23	0.11
Oct.	0.25	0.25	0.32	0.38	0.23	0.29	0.23	0.30	0.23	0.32	0.32	0.43	0.33	0.42	0.36	0.47
Nov.	1.06	18.51	0.72	7.56	0.79	8.01	0.85	0.80	0.85	0.82	0.65	0.66	0.77	0.84	0.76	0.70
Dec.	1.22	1.22	0.79	0.84	0.95	0.99	0.95	0.86	0.97	0.92	0.83	0.65	0.83	0.80	0.90	0.95
Jan. 1996	0.59	0.43	0.32	0.58	0.54	0.56	0.49	0.40	0.40	0.36	0.18	0.09	0.20	0.22	0.35	0.31
Feb.	0.47	0.33	0.49	0.31	0.59	0.45	0.41	0.40	0.33	0.39	0.40	0.30	1.40	0.50	2.01	0.47
Mar.	0.39	0.30	0.35	0.27	0.37	0.33	0.31	0.27	0.59	0.41	0.45	0.26	0.81	0.36	1.15	0.35
Apr.	0.30	0.27	0.21	0.22	0.14	0.20	0.20	0.14	0.85	0.42	0.50	0.21	0.22	0.21	0.29	0.22

Appendix 3-10. NO<sub>3</sub>-N concentration at surface and bottom layers in Pukman Bay

Month	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7		St. 8	
	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
Oct. 1994	6.98	2.75	4.02	2.75	3.99	3.57	4.04	4.04	1.96	2.72	2.25	1.59	2.32	2.03	8.60	5.96
Nov.	0.20	0.44	4.79	4.00	2.93	5.04	2.58	4.97	3.63	0.97	3.33	3.59	4.37	3.27	9.86	4.33
Dec.	6.71	3.48	1.48	1.82	6.26	5.86	4.72	5.86	5.06	5.60	12.79	13.67	12.99	13.64	20.41	21.30
Jan. 1995	3.38	3.91	5.47	4.71	6.17	5.73	6.33	5.71	5.91	4.52	1.60	1.51	0.84	1.13	9.79	6.63
Feb.	0.86	0.18	1.91	0.84	1.50	0.85	2.64	1.32	1.44	0.84	6.75	3.32	6.94	3.97	8.42	4.23
Mar.	5.62	5.31	1.13	0.86	0.51	0.88	0.87	0.95	1.01	0.67	5.55	3.88	10.44	3.45	6.30	5.51
Apr.	36.00	43.00	0.63	0.37	0.74	0.20	0.59	0.16	0.27	0.53	0.11	1.54	0.30	0.98	0.06	0.24
May	19.06	22.56	0.40	0.32	0.79	0.25	0.86	0.58	1.06	0.47	1.14	1.81	1.20	1.46	1.09	1.14
Jun.	2.12	2.11	0.17	0.26	0.84	0.30	1.12	1.00	1.84	0.40	2.16	2.08	2.10	1.94	2.12	2.04
Jul.	1.22	1.47	0.41	2.36	0.67	2.25	0.74	1.55	1.10	1.23	1.29	2.59	1.65	2.53	1.54	1.63
Aug.	0.31	0.83	0.64	4.45	0.50	4.19	0.36	2.10	0.35	2.05	0.41	3.09	1.20	3.11	0.95	1.22
Sep.	0.38	2.12	0.11	0.50	0.12	0.66	0.50	0.52	0.89	0.98	0.10	0.99	1.47	1.00	2.46	1.46
Oct.	0.28	0.28	0.37	0.88	0.41	0.41	0.31	0.40	0.10	0.33	0.95	0.95	0.90	0.96	1.91	1.91
Nov.	18.51	15.30	7.56	7.12	8.01	4.97	8.80	5.14	8.17	6.01	8.34	5.92	10.06	7.74	10.84	12.65
Dec.	11.68	11.16	11.10	10.54	11.13	10.74	11.05	11.22	10.12	11.41	7.62	7.78	11.79	11.47	12.47	12.37
Jan. 1996	8.45	5.61	5.92	4.74	6.42	5.68	4.63	3.68	4.12	2.48	0.70	0.63	0.80	0.50	2.12	1.47
Feb.	2.25	2.10	3.79	2.87	3.29	1.97	3.71	2.53	1.07	1.07	1.16	1.06	3.79	2.42	2.53	2.06
Mar.	1.85	1.55	2.50	2.04	2.00	1.27	2.46	1.65	1.30	0.97	1.58	0.98	3.00	1.64	2.34	1.32
Apr.	1.44	1.00	1.21	1.20	0.70	0.56	1.20	0.77	1.53	0.87	1.99	0.90	2.21	0.85	2.15	0.58



Appendix 4-1. Species composition(%) of phytoplankton and chlorophyll-a contents( $\mu\text{g}/\ell$ ) in Pukman Bay in November 1994

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<b>Diatoms</b>					
<i>Actinopterychus senarius</i>	+	+	+	0	+
<i>Amphiprora</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	10.6	1.8	8.2	14.8	8.8
<i>Bacillaria paxillifer</i>	0	+	0	0	+
<i>Bacteriastrum</i> sp.	0	1.7	+	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	2.5	2.6	5.5	6.1	4.1
<i>C. borealis</i>	+	+	1.0	0	+
<i>C. compressus</i>	+	2.0	2.2	5.2	2.4
<i>C. constrictus</i>	2.5	1.7	4.3	5.0	3.3
<i>C. curvisetus</i>	2.9	0	0	0	+
<i>C. danicus</i>	0	0	+	0	+
<i>C. debilis</i>	21.6	9.6	14.2	8.4	13.4
<i>C. decipiens</i>	0	0	0	3.0	+
<i>C. didymus</i>	0	2.0	2.8	3.0	1.9
<i>C. eibonii</i>	1.4	0	3.7	+	1.4
<i>C. hispidum</i>	+	1.2	1.9	2.4	1.5
<i>C. laciniosus</i>	0	0	+	3.0	+
<i>C. lorenzianus</i>	+	+	+	+	+
<i>C. pendulus</i>	+	0	0	0	+
<i>C. peruvianus</i>	0	0	0	+	+
<i>C. socialis</i>	7.6	8.4	19.4	4.6	10.0
<i>C. subsecundus</i>	3.4	3.9	9.0	3.8	5.0
<i>C. vanheurckii</i>	4.2	3.0	2.7	5.0	3.7
<i>Corethron pelagicum</i>	+	+	0	0	+
<i>Coscinodiscus gigas</i>	+	+	0	0	+
<i>C. marginatus</i>	+	+	0	+	+
<i>C. wailesii</i>	+	+	0	0	+
<i>C. spp.</i>	1.3	+	+	+	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	+	+	0	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	1.4	+	+	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	5.7	30.5	1.8	0	9.5

+ show less than 1.0%

Appendix 4-1. Continued

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<i>Grammatophora marina</i>	+	+	0	0	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	+	+	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	4.5	4.6	+	0	2.4
<i>Licmophora lyngbyei</i>	+	+	0	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	+	+	0	0	+
<i>N. seriata</i>	+	2.0	3.3	4.4	2.5
<i>N. sigma</i> v. <i>intermedia</i>	0	+	+	+	+
<i>Odontella aurita</i>	+	+	0	+	+
<i>O. sinensis</i>	+	+	+	0	+
<i>Pleurosigma</i> spp.	+	+	+	0	+
<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	+	+	0	0	+
<i>R. robusta</i>	+	+	0	0	+
<i>R. setigera</i>	+	+	+	+	+
<i>R. stolterfothii</i>	+	+	0	0	+
<i>R. styliformis</i>	+	+	+	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	11.4	4.6	7.5	24.4	11.9
<i>Stephanopyxis turris</i>	+	1.2	+	+	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	1.0	2.7	+	1.1
<i>Thalassiosira hyalina</i>	0	0	+	0	+
<i>T. rotula</i>	0	0	+	1.2	+
<i>T. subtilis</i>	10.1	5.2	1.3	0	4.1
<i>T. sp.</i>	+	0	0	0	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	+	1.3	1.0	+	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Alexandrium</i> sp.	0	0	0	+	+
<i>Ceratium fusus</i>	+	+	0	0	+
<i>C. lineatum</i>	0	+	0	0	+
<i>C. macroceros</i>	+	+	0	0	+
<i>Protoperdinium crassipes</i>	0	+	0	0	+
<i>P. pallidum</i>	+	+	0	+	+
<i>P. pentagonum</i> v. <i>latissi</i>	0	0	+	0	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Distephanus speculum</i> v. <i>oct</i>	+	0	0	0	+
Chlorophyll-a ( $\mu\text{g}/\ell$ )	3.31	0.66	1.20	1.22	1.60

+ show less than 1.0%

Appendix 4-2. Species composition(%) of phytoplankton and chlorophyll-a contents( $\mu\text{g}/\ell$ ) in Pukman Bay in January 1995.

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<b>Diatoms</b>					
<i>Actinoptychus senarius</i>	+	1.0	0	0	+
<i>A. splendens</i>	+	0	0	0	+
<i>Amphiprora</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	3.3	3.1	2.5	2.8	2.9
<i>Bacillaria paxillifer</i>	0	1.5	+	+	+
<i>Biddulphia obtusa</i>	+	+	+	+	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	0	0	0	+	+
<i>C. compressus</i>	35.7	18.3	39.0	44.4	34.3
<i>C. constrictus</i>	2.4	4.5	7.5	5.5	4.9
<i>C. debilis</i>	11.7	8.2	12.8	12.1	11.2
<i>C. decipiens</i>	+	1.0	+	0	+
<i>C. didymus</i>	1.9	2.5	5.0	3.1	3.1
<i>C. hispidum</i>	+	0	+	+	+
<i>C. lorenzianus</i>	+	+	+	2.4	+
<i>C. radiacans</i>	1.4	1.3	0	0	+
<i>C. socialis</i>	1.0	2.0	1.7	+	1.3
<i>C. subsecundus</i>	0	+	0	0	+
<i>C. vanheurckii</i>	2.4	1.0	+	1.3	1.3
<i>Climacosphenia moniligera</i>	+	0	0	0	+
<i>Corethron criophilum</i>	+	0	0	0	+
<i>Coscinodiscus gigas</i>	+	0	0	0	+
<i>C. marginatus</i>	+	+	+	+	+
<i>C. spp.</i>	+	2.1	+	+	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	0	+	+	+
<i>Detonula pumila</i>	0	+	0	0	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+	+	+	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	3.1	3.8	+	+	1.9
<i>Guinardia flaccida</i>	+	+	+	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	3.8	1.9	1.7	+	1.9
<i>Licmophora l yngbyei</i>	0	+	+	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	+	0	+	0	+
<i>Nitzschia longissima</i> v. <i>reversa</i>	0	0	+	+	+
<i>N. seriata</i>	7.0	18.3	4.2	2.0	7.8

+ show less than 1.0%

Appendix 4-2. Continued.

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<i>Nitzschia sigma</i> v. <i>intermedia</i>	0	0	+	+	+
<i>Pleurosigma</i> spp.	+	+	+	+	+
<i>Podosira stellige</i>	+	0	0	0	+
<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	+	0	0	0	+
<i>R. setigera</i>	+	0	0	0	+
<i>R. stolterfothii</i>	+	+	+	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	15.0	19.0	15.3	16.5	16.4
<i>Stauroneis membranacea</i>	+	0	0	0	+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+	0	0	0	+
<i>S. turris</i>	0	+	+	+	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+	0	0	+
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	+	+	0	0	+
<i>T. hyalina</i>	+	1.0	+	1.0	+
<i>T. nordenskioldii</i>	0	0	+	0	+
<i>T. pacifica</i>	0	0	1.3	+	+
<i>T. rotula</i>	4.3	3.3	2.0	2.5	3.0
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Alexandrium</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Ceratium fusus</i>	+	0	0	0	+
<i>C. lineatum</i>	0	+	0	0	+
<i>Heterocapsa triquetra</i>	0	0	+	1.4	+
<i>Protoperidinium pallidum</i>	+	+	+	0	+
<i>P. pentagonum</i> v. <i>latissi</i>	+	0	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	5.28	2.26	1.46	8.32	4.33

+ show less than 1.0%

Appendix XI-3. Species composition(%) of phytoplankton and chlorophyll-a contents( $\mu\text{g}/\ell$ ) in Pukman Bay in March 1995.

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<b>Diatoms</b>					
<i>Actinoptychus senarius</i>	1.8	+	3.2	3.1	2.2
<i>A. splendens</i>	0	0	1.0	0	+
<i>Amphiprora paludosa</i>	+	+	0	0	+
<i>Amphora lineolata</i>	0	0	1.0	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	3.9	+	0	0	1.1
<i>A. kariana</i>	1.1	0	0	0	+
<i>Bacillaria paxillifer</i>	0	3.7	1.0	6.2	2.8
<i>Bacteriastrum</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Chaetoceros compressus</i>	4.7	2.5	3.2	13.8	6.0
<i>C. constrictus</i>	9.7	0	2.1	4.6	4.1
<i>C. danicus</i>	+	0	0	0	+
<i>C. debilis</i>	5.7	0	0	0	1.4
<i>C. didymus</i>	5.4	0	2.1	0	1.9
<i>C. eibenii</i>	0	1.0	0	0	+
<i>C. hispidum</i>	+	+	0	0	+
<i>C. lacinosus</i>	4.3	1.5	0	0	1.5
<i>C. vanheurckii</i>	6.1	1.2	2.1	0	2.4
<i>Climacosphenia moniligera</i>	0	+	0	0	+
<i>Corethron criophilum</i>	+	0	0	0	+
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	8.2	13.5	5.3	6.2	8.3
<i>C. perforatus</i>	+	2.5	0	0	+
<i>C. wailesii</i>	0	+	0	0	+
<i>C.</i> spp.	7.2	3.7	9.7	13.8	8.6
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	0	0	1.5	+
<i>Detonula pumila</i>	1.1	1.7	0	0	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	0	+	0	0	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	2.5	5.6	0	0	2.0
<i>Fragilaria oceanic</i>	0	0	3.2	1.5	1.2
<i>F.</i> sp.	0	0	5.3	4.6	2.5
<i>Grammatophora</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	1.7	0	0	+
<i>Licmophora lyagbyei</i>	1.1	0	1.0	1.5	+
<i>Navicula salinarum</i>	+	0	0	0	+
<i>N.</i> sp.	0	0	3.2	3.1	1.6

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-3. Continued.

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<i>Nitzschia delicatissima</i>	2.5	0	4.3	1.5	2.1
<i>N. longissima</i>	0	0	1.0	0	+
<i>N. longissima v. reversa</i>	+	0	0	0	+
<i>N. pungens v. atlantia</i>	+	1.7	2.1	8.0	3.1
<i>N. sigma v. intermedia</i>	1.1	+	0	1.5	+
<i>N. sp.</i>	0	0	9.7	0	2.5
<i>Pleurosigma intermedium</i>	0	0	0	1.5	+
<i>P. spp.</i>	0	2.5	0	4.6	1.8
<i>Podosira stelliger</i>	0	1.0	0	0	+
<i>Rhabdonema adriaticum</i>	+	0	0	0	+
<i>R. delicatula</i>	2.2	+	0	0	+
<i>R. hebetata f. semispina</i>	3.9	6.1	2.1	1.5	3.4
<i>R. indica</i>	0	+	0	0	+
<i>R. robusta</i>	0	+	0	0	+
<i>R. setigera</i>	0	+	1.0	0	+
<i>R. stolterfothii</i>	+	2.9	0	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	8.2	17.4	9.7	6.2	10.4
<i>Stauroneis membranacea</i>	1.8	14.5	9.7	0	6.5
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	0	0	0	1.5	+
<i>T. rotula</i>	0	+	0	0	+
<i>T. sp.</i>	+	0	1.0	4.6	1.6
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	0	+	0	0	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium breve v. curvulum</i>	+	0	0	0	+
<i>C. fusus</i>	2.2	1.7	2.1	4.6	2.7
<i>C. lineatum</i>	1.8	3.2	4.3	0	2.4
<i>C. tripos</i>	+	0	1.0	0	+
<i>Protoperidinium pallidum</i>	4.7	1.5	3.2	4.6	3.5
<i>P. pentagonum</i>	+	+	0	0	+
<i>P. pentagonum v. latiss</i>	0	2.5	3.3	0	1.4
<b>Euglenophyceae</b>					
<i>Eutreptiella gymnastica</i>	+	0	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	1.08	1.08	0.96	1.31	1.10

+ show less than 1.0%

Appendix 4-4. Species composition(%) of phytoplankton and chlorophyll-a contents( $\mu\text{g}/\ell$ ) in Pukman Bay in April 1995.

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<b>Diatoms</b>					
<i>Actinoptychus senarius</i>	0	0	+	1.3	+
<i>Asterionella glacialis</i>	+	+	0	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	5.8	5.6	4.9	6.3	5.6
<i>C. compressus</i>	+	1.3	3.6	3.2	2.1
<i>C. constrictus</i>	5.8	6.6	6.1	13.9	8.1
<i>C. danicus</i>	0	0	+	0	+
<i>C. debilis</i>	1.3	4.9	3.6	3.2	3.2
<i>C. decipiens</i>	+	0	0	0	+
<i>C. didymus</i>	7.6	8.6	9.7	12.7	9.6
<i>C. eibenii</i>	+	+	2.2	0	+
<i>C. hispidum</i>	0	+	0	0	+
<i>C. laciniosus</i>	+	+	0	0	+
<i>C. lorenzianus</i>	+	1.8	0	0	+
<i>C. subsecundus</i>	+	2.2	2.4	22.2	6.8
<i>C. vanheurckii</i>	+	0	1.2	15.8	4.3
<i>Climacosphenia moniligera</i>	+	0	0	0	+
<i>Coscinodiscus gigas</i>	+	+	+	0	+
<i>C. marginatus</i>	1.2	+	0	0	+
<i>C. wailesii</i>	+	0	0	0	+
<i>C. spp.</i>	1.4	1.0	+	1.3	1.0
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+	+	+	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	+	0	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	+	+	0	0	+
<i>Nitzschia pungens v.atl</i>	39.1	31.1	40.4	11.4	30.5
<i>N. seriata</i>	16.7	23.0	15.8	2.5	14.5
<i>N. sigma v. intermedia</i>	+	+	+	0	+
<i>N. sp.</i>	+	0	0	0	+
<i>Pleurosigma spp.</i>	+	+	1.0	0	+
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	+	0	0	0	+
<i>R. hebetata f.semis</i>	1.2	1.3	1.0	+	1.0
<i>R. indica</i>	+	+	0	0	+
<i>R. robusta</i>	+	+	0	0	+
<i>R. setigera</i>	6.3	4.6	2.7	1.9	3.8

+ show less than 1.0%

Appendix XI-4. Continued.

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	+	0	0	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	4	0	0	0	1.1
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	+	0	0	0	+
<i>Thalassiosira hyalina</i>	1.	0	0	0	+
<i>T. rotula</i>	+	+	1.7	1.9	1.1
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	+	0	+	1.3	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium fusus</i>	+	+	+	0	+
<i>C. lineatum</i>	0	+	0	0	+
<i>Protoperdinium pallidum</i>	+	+	0	0	+
<i>P. sp.</i>	0	0	+	0	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Dictyocha fibula</i>	+	0	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	1.22	0.92	0.99	2.61	1.43

+ show less than 1.0%



Appendix 4-5. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay  
in May 1995.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Actinoptychus senarius</i>	+	0	0	0	+
<i>Amphiprora</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Asteronella glacialis</i>	+	+	0	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	46.7	52.2	65.0	62.4	56.5
<i>C. compressus</i>	+	5.5	5.2	3.2	3.6
<i>C. constrictus</i>	3.6	3.0	2.8	3.5	3.2
<i>C. curvisetus</i>	1.1	+	0	1.2	+
<i>C. danicus</i>	+	0	0	0	+
<i>C. decipiens</i>	0	0	0	0	+
<i>C. didymus</i>	4.6	2.2	1.0	2.5	2.5
<i>C. eibenii</i>	+	+	+	1.0	+
<i>C. vanheurckii</i>	14.8	7.4	4.7	3.5	7.6
<i>Coscinodiscus gigas</i>	+	0	0	0	+
<i>C. granii</i>	0	0	+	1.0	+
<i>C. nodulifer</i>	+	+	0	0	+
<i>C.</i> sp.	0	+	0	+	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	+	+	+	+
<i>Leptocylindrus minimus</i>	1.1	0	0	0	+
<i>Licmophora lyngbyei</i>	+	+	0	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	0	0	+	+	+
<i>N. longissima</i>	+	+	0	0	+
<i>N. pungens</i> v. <i>atlant</i>	5.0	2.2	6.5	7.2	5.2
<i>Rhizosolenia alata</i>	0	0	+	+	+
<i>R. hebetat</i> f. <i>sem</i>	+	+	1.0	+	+
<i>R. setigera</i>	0	+	0	0	+
<i>R. stolterfothii</i>	+	+	+	1.0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	10.3	13.7	5.2	2.7	7.9
<i>Synedra</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Thalassionema nitzschi</i>	1.8	+	0	1.5	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	3.6	1.6	1.3	1.7	2.0
<i>T. longissima</i>	0	1.1	2.6	2.2	1.4

+ show less than 1.0%

Appendix 4-5. Continued

Species	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	Mean
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium fusus</i>	+	3.8	+	2.0	1.4
<i>C. lineatum</i>	0	0	+	+	+
<i>Dinophysis</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Dissodinium pseudolunula</i>	+	0	0	0	+
<i>Protoperidinium claudican</i>	0	+	0	0	+
<i>P. pentagon</i>	0	0	+	+	+
<i>P.</i> sp.	+	+	+	+	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Dictyocha fibula</i>	+	+	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	9.63	6.66	6.22	3.66	6.54

+ show less than 1.0%



Appendix 4-6. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in June 1995.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Actinoptychus senarius</i>	0	+	0	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	1.4	1.2	1.5	0	1.0
<i>Chaetoceros affinis</i>	11.6	10.6	10.2	10.6	10.7
<i>C. compressus</i>	0	1.1	0	0	+
<i>C. constrictus</i>	8.1	3.5	0	0	2.9
<i>C. curvisetus</i>	0	0	1.5	7.1	2.1
<i>C. decipiens</i>	1.4	0	+	1.3	+
<i>C. denticulatus</i>	+	+	2.0	0	+
<i>C. didymus</i>	8.1	16.7	23.0	17.3	16.2
<i>C. eibenii</i>	0	0	+	0	+
<i>C. lacinosus</i>	15.1	11.4	17.9	0	11.1
<i>C. vanheurckii</i>	41.5	41.4	35.0	16.2	33.5
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	0	1.1	0	+	+
<i>C. sp.</i>	0	+	0	0	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0	0	0	+	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	0	+	0	0	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	0	0	0	+
<i>Leptocylindrus danicus</i>	0	0	0	32.5	8.1
<i>Lithodesmium undulatus</i>	+	+	+	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	0	+	1.0	1.5	+
<i>N. longissima</i>	+	+	0	0	+
<i>N. pungens v. atlant</i>	1.4	2.6	3.6	1.5	2.2
<i>N. sigma v. interme</i>	+	0	0	0	+
<i>Rhizosolenia alata</i>	0	0	0	+	+
<i>R. delicatula</i>	0	1.2	0	1.3	+
<i>R. hebetata f. sem</i>	0	+	0	0	+
<i>R. imbricata</i>	0	+	0	0	+
<i>R. setigera</i>	0	+	0	0	+
<i>R. stolterfothii</i>	0	0	+	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	8.1	0	0	6.9	3.7
<i>Stauroneis membranacea</i>	0	+	0	0	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+	0	0	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	+	0	0	+	+
<i>Triceratium alterans</i>	0	0	+	0	+

+ show less than 1.0%

Appendix 4-6. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium fusus</i>	0	+	0	+	+
<i>C. kofoidii</i>	0	0	0	+	+
<i>Protoperdinium divergens</i>	+	+	1.0	1.3	+
<i>P. pentagon</i>	0	+	+	0	+
<i>P. sp.</i>	0	0	+	+	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Dictyocha fibula</i>	0	1.1	0	+	+
<i>Distephanus speculum</i> v. <i>oct</i>	0	1.1	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	5.97	1.85	1.73	4.85	3.60

+ show less than 1.0%



Appendix 4-7. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in July 1995.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Asterionella glacialis</i>	1.4	4.9	+	3.1	2.3
<i>Bacteriastrum</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Biddulphia longicruris</i>	0	+	0	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	+	1.6	+	0	+
<i>Chaetoceros brevis</i>	0	+	0	4.5	1.1
<i>C. compressus</i>	4.0	2.9	3.6	+	2.7
<i>C. costatus</i>	7.1	6.5	8.9	8.6	7.7
<i>C. curvisetus</i>	5.1	8.6	2.6	5.1	5.3
<i>C. debilis</i>	1.4	5.0	0	+	1.6
<i>C. decipiens</i>	20.2	14.1	33.9	25.3	23.3
<i>C. denticulatus</i>	0	+	0	0	+
<i>C. didymus</i>	10.1	12.2	9.9	6.9	8.7
<i>C. holsaticus</i>	1.4	0	0	0	+
<i>C. laciniosus</i>	9.1	8.6	4.8	4.9	6.8
<i>C. lorenzianus</i>	3.0	+	+	+	+
<i>C. pendulus</i>	0	+	0	0	+
<i>C. vanheurkii</i>	0	1.4	0	0	+
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	0	0	0	+	+
<i>Cymbella</i> sp.	0	0	0	+	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	23.0	6.5	14.8	14.1	14.6
<i>Guinardia flaccida</i>	0	+	+	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	0	1.1	0	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	0	+	+	+	+
<i>N. pungens</i> v. <i>atlant</i>	7.1	6.9	5.1	10.8	7.4
<i>N. seriata</i>	0	2.7	0	0	+
<i>Pleurosigma</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Rhizosolenia alata</i>	0	0	0	+	+
<i>R. imbricata</i>	0	+	0	0	+
<i>R. robusta</i>	0	+	0	0	+
<i>R. setigera</i>	+	2.3	+	+	+
<i>R. stolterfothii</i>	1.2	+	+	1.4	+
<i>Skeletonema costatum</i>	1.0	7.5	3.8	+	3.2
<i>Synedra</i> sp.	+	0	+	0	+

+ show less than 1.0%

Appendix 4-7. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+	2.6	4.1	1.9
<i>Thalassiosira subtilis</i>	0	0	+	0	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	1.8	2.2	4.6	3.1	2.9
<i>T. longissima</i>	0	0	0	+	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium kofoidii</i>	0	+	0	0	+
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	+	0	0	+	+
<i>Prorocentrum minimum</i>	0	0	0	+	+
<i>Protoperdinium divergens</i>	0	0	+	+	+
<i>P. oceanicum</i>	+	+	0	+	+
<i>P. pentagonum</i>	0	0	0	+	+
<i>P. sp.</i>	0	0	+	0	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Distephanus speculum</i> v. <i>octo</i>	0	0	0	+	+
Chlorophyll-a ( $\mu\text{g}/\ell$ )	1.54	2.73	6.04	2.83	3.28

+ show less than 1.0%

Appendix 4-8. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in August 1995.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Actinoptychus senarius</i>	+	0	0	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	+	0	0	0	+
<i>Bacteriastrium</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	5.2	2.7	5.5	0	3.3
<i>C. compressus</i>	+	3.4	+	0	1.1
<i>C. curvisetus</i>	3.5	1.4	0	0	1.2
<i>C. danicus</i>	4.3	1.8	+	0	1.6
<i>C. debilis</i>	2.1	1.2	0	0	+
<i>C. decipiens</i>	5.2	6.6	5.0	2.9	4.9
<i>C. denticulatus</i>	0	+	0	0	+
<i>C. didymus</i>	1.7	3.6	0	0	1.3
<i>C. laciniosus</i>	+	3.0	5.2	+	2.3
<i>C. lorenzianus</i>	+	0	+	0	+
<i>C. peruvianus</i>	+	0	0	0	+
<i>C. vanheurckii</i>	+	0	0	0	+
<i>Coscinodiscus gigas</i>	+	+	0	0	+
<i>C. granii</i>	+	+	+	0	+
<i>C. nodulifer</i>	+	1.1	+	0	+
<i>C. sp.</i>	+	0	0	0	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	1.7	+	6.9	8.4	4.3
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+	+	0	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	+	+	5.4	1.7
<i>Lauderia annulata</i>	+	0	0	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	0	+	4.1	0	1.1
<i>N. pungens</i> v. <i>atlantica</i>	33.1	35.6	38.6	71.1	44.6
<i>N. seriata</i>	9.3	11.2	8.3	0	7.2
<i>N. sigma</i>	10.3	14.2	11.0	8.4	10.9
<i>Rhizosolenia setigera</i>	+	+	+	0	+
<i>R. stolterfothii</i>	0	0	+	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	6.0	5.7	0	0	2.9
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	0	+	0	0	+
<i>Striatella unipunctata</i>	3.7	0	3.3	0	1.7
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	3.3	2.7	5.5	2.1	3.4

+ show less than 1.0%

Appendix 4-8. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium furca</i>	1.7	+	+	0	+
<i>C. fusus</i>	+	0	0	0	+
<i>Ceratium macroceros</i>	0	0	+	0	+
<i>Protoperidinium divergens</i>	0	+	0	0	+
<i>P. oceanicum</i>	+	+	0	0	+
<i>P. pentagonum</i>	0	0	0	+	+
<i>P. sp.</i>					
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	1.89	3.42	0.81	0.81	1.73

+ show less than 1.0%





Appendix 4-9. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in September 1995.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Amphiprora</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	8.5	1.5	2.6	1.8	3.6
<i>Bacillaria paxillifer</i>	+	0	0	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	2.2	3.5	1.6	1.5	2.2
<i>C. compressus</i>	1.4	1.3	0	1.6	1.0
<i>C. curvisetus</i>	2.3	0	0	0	+
<i>C. debilis</i>	3.1	0	+	3.1	1.6
<i>C. decipiens</i>	4.5	+	1.1	1.3	1.8
<i>C. denticulatus</i>	+	+	+	+	+
<i>C. didymus</i>	2.3	+	1.1	0	1.0
<i>C. eibenii</i>	+	0	0	0	+
<i>C. lacinosus</i>	1.2	+	1.1	2.4	1.3
<i>C. peruvianus</i>	+	0	0	0	+
<i>C. vanheurckii</i>	+	+	1.1	0	+
<i>Chaetoceros</i> sp.	1.4	1.1	0	0	+
<i>Climacosphenia moniligera</i>	+	0	0	0	+
<i>Coscinodiscus gigas</i>	1.1	1.3	+	+	+
<i>C. granii</i>	0	0	0	+	+
<i>C. nodulifer</i>	0	+	0	0	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	+	2.6	1.8	1.3
<i>Ditylum brightwellii</i>	1.2	2.6	1.6	+	1.4
<i>Fragilaria</i> sp.	1.1	+	+	0	+
<i>Guinardia flaccida</i>	0	+	+	+	+
<i>Lauderia annulata</i>	+	+	+	+	+
<i>Leptocylindrus danicus</i>	1.4	+	0	0	+
<i>Licmophora lyngbyei</i>	0	+	+	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	4.0	3.2	0	2.4	2.4
<i>N. longissima</i> v. <i>reversa</i>	+	0	0	0	+
<i>N. obtusa</i> v. <i>scapellif</i>	+	0	+	0	+
<i>N. pungens</i> v. <i>atlantica</i>	15.8	17.7	39.5	33.7	26.6
<i>N. seriata</i>	6.2	2.2	4.6	5.5	4.6
<i>N. sigma</i>	9.0	6.9	26.2	22.0	16.0
<i>N. sigma</i> v. <i>intercedens</i>	+	0	0	0	+

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-9. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Paralia sulcata</i>	0	3.2	1.3	+	1.2
<i>Pleurosigma angulatum</i>	0	0	+	0	+
<i>P. elongatum</i>	+	+	0	+	+
<i>P. sp.</i>	+	0	0	0	+
<i>Podosira stelliger</i>	0	+	0	0	+
<i>Rhizosolenia alata</i>	+	2.4	+	0	+
<i>R. calcar-avis</i>	0	0	0	+	+
<i>R. setigera</i>	+	0	0	+	+
<i>Skeletonema costatum</i>	10.7	4.3	3.0	4.9	5.7
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+	+	0	0	+
<i>S. turris</i>	+	+	+	0	+
<i>Streptotheca tamesis</i>	0	+	0	0	+
<i>S. unipuctata</i>	1.5	1.9	0	0	+
<i>Synedra fulgens</i>	+	0	0	0	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	5.6	2.4	4.0	9.2	5.3
<i>Thalassiosira hyalina</i>	0	0	0	+	+
<i>T. mala</i>	0	0	+	+	+
<i>T. rotula</i>	0	0	0	+	+
<i>Thalassiothrix longissima</i>	0	0	+	0	+
<i>Triceratium gibbosum</i>	+	+	0	0	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Alexandrium sp.</i>	+	0	0	0	+
<i>Ceratium breve</i>	+	+	0	0	+
<i>Ceratium furca</i>	4.8	28.1	1.7	+	8.7
<i>C. fusus</i>	1.1	1.5	0	+	+
<i>C. kofoidii</i>	+	+	0	+	+
<i>C. macroceros</i>	0	0	0	+	+
<i>Cochlodinium sp.</i>	+	1.5	0	+	+
<i>Dinophysis caudata</i>	+	+	0	0	+
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	0	0	0	+	+
<i>P. pentagonum</i>	+	+	0	0	+
<i>P. sp.</i>	+	1.9	+	+	+
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	0	+	0	+	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Dictyocha fibula</i>	0	0	+	0	+
<i>Distephanus speculum v. octonari</i>	0	+	+	+	+
<i>Ebria tripartita</i>	+	0	0	+	+
<b>Cyanophyceae</b>					
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	0	1.4	+	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	2.09	2.10	2.56	3.00	2.43

Appendix 4-10. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in  
October 1995.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Actinoptychus senarius</i>	0	+	+	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	25.4	5.6	4.1	8.2	10.8
<i>Bacteriastrum</i> sp.	0	1.3	0	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	2.6	4.9	4.1	6.8	4.6
<i>C. compressus</i>	1.6	3.8	4.8	1.6	2.9
<i>C. curvisetus</i>	11.5	+	8.3	9.1	7.3
<i>C. danicus</i>	+	0	+	0	+
<i>C. debilis</i>	38.2	36.7	44.1	40.8	39.9
<i>C. decipiens</i>	+	5.6	2.2	3.4	2.9
<i>C. denticulatus</i>	+	0	0	+	+
<i>C. didymus</i>	0	2.1	2.1	+	1.1
<i>C. eibenii</i>	+	0	2.3	+	+
<i>C. lacinosus</i>	+	0	2.2	+	+
<i>C. lorenzianus</i>	0	0	0	0	+
<i>C. rostratus</i>	0	2.1	+	0	+
<i>C. vanheurckii</i>	+	2.3	1.1	1.4	1.3
<i>Coscinodiscus gigas</i>	+	+	0	+	+
<i>C. nodulifer</i>	0	+	0	0	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0	+	+	+	+
<i>Diatoma hyalina</i>	0	1.5	0	0	+
<i>Diploneis</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+	+	+	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	+	+
<i>Fragilaria</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	0	+	+	1.6	+
<i>Licmophora lyngbyei</i>	0	+	0	0	+
<i>Lithodesmium undulatus</i>	0	0	0	+	+
<i>Nitzschia longissima</i>	+	+	0	0	+
<i>N. -pungens</i> v. <i>atlan</i>	+	3.7	1.4	+	1.5
<i>N. seriata</i>	3.6	6.4	5.5	6.1	5.4
<i>N.</i> sp	6.0	2.4	3.4	4.1	3.9
<i>Odontella sinensis</i>	0	0	+	0	+
<i>Pleurosigma elongatum</i>	+	+	+	0	+
<i>P.</i> sp.	0	0	0	+	+

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-10. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	0	+	0	0	+
<i>R. imbricata</i>	0	0	0	+	+
<i>R. setigera</i>	+	1.7	+	1.1	+
<i>Skeletonema costatum</i>	4.0	1.1	6.9	5.4	4.3
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+	0	0	1.0	+
<i>S. turris</i>	+	+	+	0	+
<i>Streptotheca tamesis</i>	0	0	0	+	+
<i>Thalassionema nitzschioid</i>	+	1.3	1.8	1.8	1.3
<i>Thalassiosira rotula</i>	+	0	0	1.0	+
<i>T. subtilis</i>	1.0	0	+	+	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	0	+	0	+	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium furca</i>	+	9.0	0	0	2.3
<i>Protoperdinium oceanicum</i>	0	+	0	0	+
<i>P. pentagon</i>	0	+	0	0	+
<i>P. sp.</i>	+	+	0	0	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Dictyocha fibula</i>	0	+	0	0	+
<i>Distephanus speculum</i> v. <i>octonar</i>	0	+	+	0	+
<b>Cyanophyceae</b>					
<i>Oscillatoria</i> sp.	0	0	1.1	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	6.94	2.47	4.59	5.94	5.07

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-11. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in November 1995.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Achnanthes</i> sp.	0	0	+	0	+
<i>Actinoptychus senarius</i>	1.0	0	0	0	+
<i>Amphiprora</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Asteronella glacialis</i>	2.5	1.0	3.7	5.1	3.0
<i>Bacillaria paxillifer</i>	0	5.2	0	0	1.3
<i>Biddulphia longicruris</i>	0	0	+	+	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	8.7	1.3	0	0	2.5
<i>C. compressus</i>	0	1.0	0	0	+
<i>C. curvisetus</i>	0	3.3	0	0	+
<i>C. danicus</i>	+	0	0	0	+
<i>C. debilis</i>	20.6	14.8	14.3	5.4	13.7
<i>C. decipiens</i>	2.7	1.3	2.4	3.7	2.5
<i>C. denticulatus</i>	0	+	0	0	+
<i>C. didymus</i>	13.9	4.9	15.8	6.5	10.2
<i>C. eibenii</i>	0	1.0	0	0	+
<i>C. lacinosus</i>	2.5	0	4.4	5.7	3.1
<i>C. peruvianus</i>	0	0	+	0	+
<i>C. socialis</i>	0	2.3	15.1	7.1	6.1
<i>C. subsecundus</i>	17.4	9.8	21.8	13.6	15.6
<i>C. vanheurckii</i>	1.5	1.0	6.4	0	2.2
<i>Climacosphenia moniligera</i>	+	0	0	0	+
<i>Coscinodiscus gigas</i>	+	+	0	0	+
<i>C. nodulifer</i>	+	16.1	+	1.1	4.5
<i>C. sp.</i>	0	+	0	+	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	+	0	+	+
<i>Diatoma hyalina</i>	0	6.6	0	0	1.6
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	1.3	+	+	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	0	+	0	2.0	+
<i>Fragilaria</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Guinardia flaccida</i>	0	+	0	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	+	0	0	0	+
<i>Leptocylindrus minimus</i>	0	+	0	0	+
<i>Licmophora lyngbyei</i>	0	1.3	+	0	+
<i>Melosira nummuloides</i>	0	+	0	0	+
<i>Nitzschia obtusa</i> v. <i>scapelli</i>	0	0	+	0	+

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-11. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Nitzschia-pungens-v.-atlantica</i>	0	+	0	0	+
<i>N. seriata</i>	1.0	2.3	1.0	2.8	1.7
<i>N. sigma</i> v. <i>intercedens</i>	0	0	0	+	+
<i>N. sigma</i> v. <i>intermedia</i>	+	0	+	+	+
<i>N. sp.</i>	+	0	+	1.1	+
<i>Pleurosigma angulatum</i>	0	+	+	+	+
<i>P. elongatum</i>	+	+	0	0	+
<i>P. fasciola</i>	+	0	0	0	+
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semisp</i>	0	1.0	0	0	+
<i>R. setigera</i>	0	+	+	+	+
<i>Skeletonema costatum</i>	12.9	3.0	4.0	9.3	7.3
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	0	+	+	1.1	+
<i>Synedra</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	2.0	1.0	5.4	2.2
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	1.2	1.0	2.4	4.2	2.2
<i>T. hyalina</i>	1.7	1.3	0	3.7	1.6
<i>T. rotula</i>	3.7	1.3	2.4	17.0	6.1
<i>T. subtilis</i>	2.0	1.6	0	0	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	+	2.0	0	+	+
<i>T. longissima</i>	0	+	0	0	+
<i>Triceratium</i> sp.	0	2.0	0	0	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Protoperidinium pentagonum</i>	0	+	0	0	+
<i>P. sp.</i>	0	2.0	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	2.42	1.81	1.58	1.82	1.90

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-12. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in December1995

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Actinoptychus senarius</i>	0	+	0	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	8.6	4.6	6.0	2.9	5.5
<i>Bacillaria paxillifer</i>	1.1	3.1	0	0	1.0
<i>Biddulphia obtusa</i>	+	2.0	+	0	+
<i>B. pulchella</i>	0	1.4	0	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	1.3	0	1.0	0	+
<i>C. compressus</i>	5.3	2.5	0	0	1.9
<i>C. curvisetus</i>	+	1.1	1.0	0	+
<i>C. danicus</i>	+	0	+	+	+
<i>C. debilis</i>	9.9	13.6	+	0	6.0
<i>C. decipiens</i>	1.2	2.0	0	0	+
<i>C. didymus</i>	20.9	17.6	15.0	15.0	17.1
<i>C. eibenii</i>	0	+	0	0	+
<i>C. lacinosus</i>	+	+	1.0	0	+
<i>C. lorenzianus</i>	+	+	0	0	+
<i>C. radicans</i>	0	+	1.0	3.2	1.1
<i>C. socialis</i>	2.8	3.1	6.5	8.6	5.2
<i>C. subsecundus</i>	1.2	4.2	3.0	1.8	2.5
<i>C. vanheurckii</i>	1.1	+	0	0	+
<i>Climacosphenia moniligera</i>	+	0	0	0	+
<i>Coscinodiscus gigas</i>	+	+	+	0	+
<i>C. nodulifer</i>	+	2.2	0	0	+
<i>Diploneis</i> sp.	0	0	+	0	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+	+	+	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	0	+	0	+	+
<i>Fragilaria</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	+	0	0	0	+
<i>Licmophora lyngbyei</i>	+	0	0	0	+
<i>Nitzschia longissima</i>	+	+	0	0	+
<i>N. pungens</i> v. <i>atlant</i>	+	1.9	0	0	+
<i>N. seriata</i>	2.9	4.3	1.3	+	2.2
<i>N. sigma</i> v. <i>interce</i>	+	0	0	0	+
<i>N. sigma</i> v. <i>interme</i>	0	0	+	0	+
<i>N.</i> sp.	1.6	2.5	3.0	+	1.9

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-12. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Pleurosigma angulatum</i>	+	+	0	0	+
<i>P. elongatum</i>	+	+	0	0	+
<i>Podosira stelliger</i>	0	+	0	0	+
<i>Rhizosolenia alata</i>	0	+	0	0	+
<i>R. hebetata</i> f. <i>semi</i>	+	+	0	0	+
<i>R. setigera</i>	1.2	2.2	0	0	+
<i>R. stolterfothii</i>	0	1.2	0	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	11.9	11.4	40.6	24.7	22.1
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+	+	0	0	+
<i>S. turris</i>	+	0	0	0	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	1.4	0	+	2.7	1.1
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	3.3	+	+	+	1.2
<i>T. hyalina</i>	4.0	1.1	2.0	0	1.7
<i>T. rotula</i>	11.2	8.8	14.5	38.4	18.2
<i>T. subtilis</i>	2.0	+	0	0	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	+	0	0	0	+
<i>Triceratium alternans</i>	+	0	0	0	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium fusus</i>	0	+	0	0	+
<i>C. kofoidii</i>	0	+	0	0	+
<i>C. tripos</i>	0	+	0	0	+
<i>Protoperdinium pentagonum</i>	0	+	0	0	+
<i>P. sp.</i>	0	+	0	0	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Dictyocha fibula</i>	0	+	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	1.17	1.20	2.39	1.95	1.67

+ shows less than 1.0%



Appendix 4-13. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in January 1996.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Amphiprora</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Asterionella glacialis</i>	+	2.8	0	0	+
<i>Bacillaria paxillifer</i>	+	0	+	0	+
<i>Biddulphia obtusa</i>	3.0	0	0	0	+
<i>Chaetoceros compressus</i>	14.1	8.6	23.2	12.8	14.6
<i>C. onstrictus</i>	+	4.3	1.7	0	1.6
<i>C. urvisetus</i>	6.6	8.6	2.2	5.3	5.6
<i>C. danicus</i>	+	+	+	1.0	+
<i>C. debilis</i>	10.8	15.3	3.4	1.3	7.7
<i>C. didymus</i>	6.0	3.2	5.6	9.8	6.1
<i>C. eibenii</i>	0	1.2	0	0	+
<i>C. lacinosus</i>	2.3	+	+	0	+
<i>C. radiacans</i>	22.5	14.7	30.0	35.4	25.6
<i>C. socialis</i>	0	0	3.4	7.5	2.7
<i>C. subsecundus</i>	0	0	0	1.7	+
<i>C. vanheurckii</i>	10.8	7.2	3.9	2.0	5.9
<i>C. sp.</i>	+	0	0	0	+
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	0	+	0	0	+
<i>C. wailesii</i>	+	0	0	0	+
<i>C. sp.</i>	+	0	0	0	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	0	0	0	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+	0	0	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	1.6	3.1	+	0	1.3
<i>Fragilaria</i> sp.	+	0	0	0	+
<i>Grammatophora marina</i>	+	0	0	0	+
<i>Guinardia flaccida</i>	0	0	+	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	1.1	+	0	0	+
<i>Leptocylindrus danicus</i>	0	0	+	0	+
<i>Nitzschia-pungens-v.-atlantica</i>	+	+	+	2.5	1.0
<i>N. seriata</i>	2.2	2.5	2.1	2.0	2.2
<i>N. sigma v. interme</i>	0	0	+	0	+
<i>N. sp.</i>	+	0	+	5.0	1.5

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-13. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Pleurosigma angulatum</i>	0	0	+	0	+
<i>P. sp.</i>	+	+	0	0	+
<i>Podosira stelliger</i>	3.0	0	0	0	+
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semi</i>	0	+	0	0	+
<i>R. setigera</i>	4.2	2.9	1.7	+	2.3
<i>Skeletonema costatum</i>	3.6	12.3	16.3	12.6	11.2
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+	+	+	+
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	+	+	0	0	+
<i>T. hyalina</i>	+	+	+	0	+
<i>T. mala</i>	0	2.5	0	0	+
<i>T. rotula</i>	1.6	5.5	1.0	0	2.0
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	0	+	0	0	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium furca</i>	+	0	+	0	+
<i>Protoperdinium pentagonum</i>	+	+	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	7.23	2.36	3.67	10.10	5.84

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-14. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in February 1996. + shows less than 1.0%

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Asterionella glacialis</i>	+	1.9	+	3.3	1.5
<i>Chaetoceros affinis</i>	0	2.5	1.5	0	1.0
<i>C. danicus</i>	2.0	1.1	1.5	0	1.1
<i>C. compressus</i>	5.3	2.4	+	+	2.1
<i>C. constrictus</i>	+	0	3.4	0	1.0
<i>C. curvisetus</i>	5.3	9.4	2.2	4.6	5.3
<i>C. debilis</i>	24.9	12.6	4.0	2.5	11.0
<i>C. decipiens</i>	0	1.1	+	0	+
<i>C. didymus</i>	2.5	3.1	4.1	10.5	5.0
<i>C. laciniosus</i>	2.4	1.6	3.1	3.3	2.6
<i>C. pendulus</i>	0	0	+	0	+
<i>C. radicans</i>	18.6	13.0	33.7	32.8	24.5
<i>C. socialis</i>	0	3.8	0	0	+
<i>C. subsecundus</i>	4.7	1.9	15.4	24.6	11.6
<i>C. vanheurckii</i>	1.7	2.5	4.4	1.8	2.6
<i>C. sp.</i>	0	1.3	0	0	+
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	+	+	0	0	+
<i>C. sp.</i>	+	+	+	0	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	0	+	+	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	1.2	1.0	+	+	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	7.4	11.9	6.6	4.9	7.7
<i>Guinardia flaccida</i>	+	0	0	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	1.7	1.9	0	1.0	1.1
<i>Leptocylindrus danicus</i>	+	+	2.1	1.3	1.1
<i>Nitzschia longissima</i> v. rev	0	+	0	0	+
<i>N. pungens</i> v. atl	1.9	0	1.7	+	1.0
<i>N. seriata</i>	1.9	2.3	1.7	1.8	1.9
<i>N. sp.</i>	1.6	+	+	+	+
<i>Odontella sinensis</i>	0	+	0	0	+
<i>Pleurosigma angulatum</i>	0	+	0	0	+
<i>P. fuscidiola</i>	+	0	0	0	+

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-14. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Pleurosigma</i> sp.	+	+	0	0	+
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. se	+	+	0	0	+
<i>R. setigera</i>	3.6	2.3	3.7	+	2.5
<i>R. stolterfothii</i>	0	+	0	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	3.3	5.0	5.3	3.3	4.2
<i>Stauroneis membranacea</i>	+	0	0	0	+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+	+	0	0	+
<i>Striatella unipunctata</i>	1.3	0	0	0	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	2.4	1.8	0	+
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	0	+	0	0	+
<i>T. decipiens</i>	+	0	0	0	+
<i>T. hyalina</i>	1.3	+	0	+	+
<i>T. mala</i>	0	3.8	0	0	+
<i>T. rotula</i>	1.5	5.7	1.2	1.6	2.5
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium furca</i>	0	+	0	0	+
<i>C. kofoidii</i>	0	+	0	0	+
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	+	0	0	0	+
<i>Protoperidinium brochii</i>	0	0	0	+	+
<i>P. conicum</i>	0	+	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	2.64	1.42	1.42	1.62	1.77

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-15. Species composition of phytoplankton in Pukman Bay in March 1996.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Asterionella glacialis</i>	+	+	0	0	+
<i>Bacillaria paxillifer</i>	0	1.3	0	0	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	0	+	0	0	+
<i>C. compressus</i>	16.4	19.2	8.6	7.7	12.9
<i>C. constrictus</i>	3.1	2.9	5.1	4.7	3.9
<i>C. curvisetus</i>	0	1.9	1.6	0	+
<i>C. danicus</i>	0	0	0	0	+
<i>C. debilis</i>	2.2	3.3	2.8	0	2.0
<i>C. didymus</i>	8.6	5.4	3.1	4.0	5.2
<i>C. eibonii</i>	0	+	0	0	+
<i>C. laciniosus</i>	+	0	2.3	+	+
<i>C. radiacans</i>	13.6	3.1	2.5	4.0	5.8
<i>C. subsecundus</i>	2.3	0	4.7	+	1.8
<i>C. vanheurckii</i>	7.8	5.7	25.4	15.6	13.6
<i>Coscinodiscus</i> sp.	0	+	0	0	+
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	0	0	0	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	0	+	0	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	16.4	34.5	27.9	35.1	28.4
<i>Fragilaria</i> sp.	+	+	0	0	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	+	0	+	+
<i>Leptocylindrus danicus</i>	+	0	0	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	1.1	+	2.0	+	1.0
<i>N. longissima</i>	+	0	0	0	+
<i>N. -obtusata-v.-scap</i>	+	0	0	+	+
<i>N. -pungens-v.-atla</i>	4.4	8.6	3.1	7.2	5.8
<i>N. seriata</i>	6.3	4.4	5.5	4.2	5.1
<i>N. sp.</i>	1.6	0	+	0	+
<i>Pleurosigma angulatum</i>	+	0	0	0	+
<i>P. sp.</i>	+	0	+	0	+

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-15. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semisp</i>	1.6	2.5	+	0	1.1
<i>R. setigera</i>	+	0	0	0	+
<i>R. stolterfothii</i>	+	0	+	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	+	+	0	0	8.0
<i>Stauroneis membranacea</i>	+	+	0	0	+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+	0	0	+	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	1.9	+	+	0	1.7
<i>Thalassiosira anguste-line</i>	0	0	+	+	+
<i>T. hyalina</i>	0	+	0	0	+
<i>T. nordenskioldii</i>	+	0	0	0	+
<i>T. rotula</i>	+	0	1.7	0	1.9
<i>T. sp.</i>	1.6	0	0	0	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	+	+	+	0	+
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium furca</i>	0	1.9	0	0	+
<i>C. fusus</i>	+	+	0	0	+
<i>Gymnodinium sanguineum</i>	0	0	0	+	+
<i>Protoperidinium brochii</i>	+	+	+	0	+
<i>P. pentagonum</i> v. <i>la</i>	0	+	0	0	+
<b>Chrysophyceae</b>					
<i>Dictyocha fibula</i>	+	0	0	0	+
<i>Ebria tripartita</i>	0	0	+	0	+
<b>Euglenophyceae</b>					
<i>Eutreptiella</i> sp.	0	0	+	14.3	3.7
Chlorophyll-a ( $\mu\text{g}/\ell$ )	2.71	1.54	2.63	1.78	2.16

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-16. Species composition(%) of phytoplankton in Pukman Bay in April 1996.

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<b>Bacillariophyceae</b>					
<i>Chaetoceros affinis</i>	1.8	0	2.7	0	1.1
<i>C. compressus</i>	20.5	21.4	14.4	7.7	16.0
<i>C. curvisetus</i>	0	0	1.2	0	+
<i>C. danicus</i>	0	0	1.2	6.1	1.8
<i>C. debilis</i>	0	1.0	2.7	0	+
<i>C. decipiens</i>	0	0	1.4	0	+
<i>C. didymus</i>	11.7	9.1	36.4	10.8	17.0
<i>C. eibenii</i>	0	1.0	1.8	0	+
<i>C. lacinosus</i>	0	+	2.3	0	+
<i>C. pendulus</i>	0	+	0	0	+
<i>C. radicans</i>	0	4.0	0	0	1.0
<i>C. tortissimus</i>	0	1.2	0	0	+
<i>Coscinodiscus</i> sp.	0	+	+	0	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+	+	0	+
<i>Eucampia zodiacus</i>	1.2	0	0	0	+
<i>Fragilaria</i> sp.	+	+	+	+	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	0	+	0	+
<i>Lauderia annulata</i>	0	+	0	0	+
<i>Nitzschia delicatissima</i>	7.8	3.8	1.4	15.4	7.1
<i>N. longissima</i>	+	0	0	0	+
<i>N. -pungens-v. -atla</i>	39.8	31.3	17.8	46.1	33.7
<i>N. seriata</i>	5.1	12.1	7.1	6.1	7.6
<i>N. sp.</i>	+	0	0	1.5	+
<i>Pleurosigma angulatum</i>	+	+	0	0	+
<i>P. sp.</i>	0	+	0	0	+
<i>Rhizosolenia setigera</i>	+	0	+	0	+
<i>Skeletonema costatum</i>	1.0	2.0	1.5	0	1.1
<i>Striatella unipunctata</i>	1.4	0	0	0	+

+ shows less than 1.0%

Appendix 4-16. Continued

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	Mean
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	1.6	2.2	0	4.6	2.1
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	4.9	3.6	6.0	0	3.6
<b>Dinophyceae</b>					
<i>Ceratium arietinum</i>	0	+	0	0	+
<i>C. furca</i>	0	1.0	0	0	+
<i>C. fusus</i>	+	+	0	0	+
<i>C. kofoidii</i>	0	+	0	0	+
<i>Protoperdinium depressum</i>	0	+	0	0	+
<i>P. pentagonum</i>	+	1.2	0	0	+
<i>P. sp.</i>	0	+	0	0	+
Chlorophyll-a( $\mu\text{g}/\ell$ )	3.77	1.53	1.84	1.94	2.27

+ shows less than 1.0%



Appendix 4-17. A check-list of phytoplankton in Pukman Bay from November  
1994 to April 1996

---

Class Cyanophyceae

Order Nostocales

Family Oscillatoriaceae

*Oscilaoria* sp.

Class Dinophyceae

Order Procentrales

Family Procentraceae

*Prorocentrum minimum* (= *Exuviella marina*)

Order Dinophysiales

Family Amphisoneaceae

*Oxyphysis oxytoxoides*

Family Dinophyceae

*Dinophysis caudata* (= *D. homunculus*)

*D.* sp.

Order Gymnodiniales

Family Gymnodiniaceae

*Gymnodinium sanguineum* (= *G. splendens*)

*Cochlodinium* sp.

Order Pyrocystales

Family Pyrocystaceae

*Dissodinium pseudolunula*

(= *D. lunula*, *Pyrocystis lunula*, *Gymnodinium lunula*)

Order Peridinales

Family Peridiniaceae

*Heterocapsa triquetra* (= *Peridinium triquetra*)

*Protoperidinium brochii*

*P. claudicans*

*P. conicum*

*P. crassipes*

---

Appendix 4-17. Continued

---

*Protoberidinium depressum*

*P. divergens*

*P. oceanicum*

*P. pallidum*

*P. pellucidum*

*P. pentagonum*

*P. pentagonum* v. *latissimum*

*P. sp.*

Family Calciodinellidaceae

*Scrippsiella trochoidea* (= *Protoberidinium trochoideum*)

Family Gonyaulaceae

*Alexandrium sp.* (= *Protogonyaulax sp.*, *Gonyaulx sp.*)

Family Ceratiaceae

*Ceratum arieticum* (= *C. bucephalum*)

*C. breve*

*C. breve* v. *curnulum*

*C. furca*

*C. fusus*

*C. kofoidii*

*C. lineatum*

*C. macroceros*

*C. tripos*

Class Bacillariophyceae

Order Centrales

Suborder Coscinodiscineae

Family Thalassiosiraceae

*Detonula pumila* (= *Schroedella delicatula*)

*Lauderia annulata* (= *L. borealis*)

*Skeletonema costatum*

*Thalassiosira anguste-lineata* (= *Coscinodiscus polychorda*)

---

Appendix 4-17. Continued

---

*Thalassiosira decipiens*

*T. eccentrica*(=*Coscinodiscus excentricus*)

*T. hyalina*

*T. mala*

*T. nordenskioldii*

*T. pacifica*

*T. rotula*

*T. subtilis*

*T. sp.*

Family Melosiraceae

*Corethron criophilum* (= *C. histrix*)

*C. pelagicum*

*Leptocylindrus danicus*

*L. minimus*

*Melosira nummuloides*

*Paralia sulcata* (= *Melosira sulcata*)

*Podosira stelliger* (= *Hyalodiscus stelliger*)

*Stephanopyxis palmeriana*

*S. turris*

Family Coscinodiscaceae

*Coscinodiscus gigias* (= *C. janischii*)

*C. graniii*

*C. marginatus* (= *C. fimbriatus-limbatus*)

*C. nodulifer*

*C. perforatus*

*C. walesii*

*C. sp.*

Family Heliopeltaceae

*Actinoptychus seranius* (= *A. undulatus*)

*A. splendens*

---

Appendix 4-17. Continued

---

Suborder Rhizosoleniineae

Family Rhizosoleniaceae

*Guinardia flaccida*

*Rhizosolenia alata*

*R. calca-avis*

*R. delicatula*

*R. hebetata* f. *semispina*

*R. imbricata*

*R. indica*

*R. robusta*

*R. setigera*

*R. stolterforthii*

*R. styliformis*

Suborder Biddulphianeae

Family Biddulphiaceae

*Eucampia zodiacus*

*Biddulphia longcuris*

*B. obtusa*

*B. pulchella*

Family Chaetoceraceae

*Bacteriastrum* sp.

*Chaetoceros affinis*

*C. borealis*

*C. brevis*

*C. compressus*

*C. constrictus*

*Chaetoceros costatus*

*C. curvisetus*

*C. danicus*

*C. debilis*

Appendix 4-17. Continued

---

*C. decipiens*  
*C. delicatula*  
*C. denticulatus*  
*C. didymus*  
*C. eibenii*  
*C. hispidum*  
*C. holsaticus*  
*C. lacinosus*  
*C. lorenzianus*  
*C. pendulus*  
*C. peruvianus*  
*C. radicans*  
*C. rostratus*  
*C. socialis*  
*C. subsecundus* (= *C. diadema*)  
*C. tortissimus*  
*C. vanheurckii*  
*C. sp.*

Family Lithodesmiaceae

*Ditylum brightwellii*  
*Lithodesmium undulatus*  
*Streptotheca tamesis*

Family Eupodiscaceae

*Odontella aurita* (= *Biddulphia aurita*)  
*sinensis* (= *Biddulphia sinensis*)  
*Triceratium alternans*  
*T. gibbosum*  
*T. sp.*

Order Pennales

Suborder Araphidineae

---

Appendix 4-17. Continued

---

Family Diatomaceae

*Asterionella glacialis* (= *A. japonica*)

*A. kariana*

*Climacosphenia moniligera*

*Diatoma hyalina*

*Fragilaria oceanica*

*F.* sp.

*Grammatophora marina*

*G.* sp.

*Licmophora lyngbyei* (= *L. abbreviata*)

*Rhabdonema adriaticum*

*Striatella unipunctata*

*Synedra fulgens*

*S.* sp.

*Thalassionema nitzschioides*

*Thalassiothrix frauenfeldii*

*T. longissima*

Suborder *Raphidineae*

Family *Achnantheaceae*

*Achnanthes* sp.

Family *Naviculaceae*

*Amphiprora paludosa*

*A.* sp.

*Amphora lineolata*

*Cymbella* sp.

*Diploneis* sp.

*Navicula salinarum*

*N.* sp.

*Pleurosigma angulatum*

*P. elongatum*

---

Appendix 4-17. Continued

---

*Pleurosigma fasciola*

*P. intermedium*

*P. sp.*

*Stauroneis membranacea*(=*Navicula membranacea*)

Family Nitzschiaceae

*Bacillaria paxillifer*(=*Nitzschia paradoxa*)

*Cylindrotheca closterium*(=*Nitzschia closterium*)

*Nitzschia delicatissima*

*N. longissima*

*N. longissima* v. *reversa*

*N. obtusa* v. *scapelliformis*

*N. pungens* v. *atlantica*

*N. seriata*

*Nitzschia sigma*

*N. sigma* v. *intercedens*

*N. sigma* v. *intermedia*

*N. sp.*

Class Chrysophyceae

Order Dictyocales

Family Dictyocaceae

*Dictyoch fibula*

*Distephanus speculum* v. *octonarius*

Family Ebriaceae

*Ebria tripartia*

Class Euglenophyceae

Order Eutreptiales

Family Eutreptiaceae

*Eutreptiella gymnastica*

*E. sp.*

---

Appendix 5-1. Monthly variation of raw material for primary product  
(CO<sub>2</sub>, g/m<sup>3</sup>/day) in Pukman Bay

Month	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	2.005	0.868	0.351	0.263	0.334	0.321	1.215	0.855
Nov.	1.675	0.788	0.949	0.350	0.525	0.470	1.401	1.143
Dec.	2.404	0.800	0.869	0.420	0.477	0.406	1.491	1.583
Jan. 1995	2.881	1.382	1.083	0.600	0.554	0.599	2.079	2.148
Feb.	2.963	1.309	0.789	0.811	0.584	0.866	1.745	1.605
Mar.	0.513	0.470	0.370	0.280	0.324	0.301	0.572	0.492
Apr.	1.597	2.196	0.725	2.154	0.593	1.501	1.375	0.985
May	2.760	2.297	0.928	2.219	0.698	1.771	2.004	2.071
Jun.	5.599	3.054	1.558	1.732	0.978	4.419	1.152	1.115
Jul.	2.860	2.076	1.669	1.810	1.107	1.900	1.950	2.385
Aug.	2.970	1.753	1.371	2.155	1.206	2.553	1.508	2.091
Sep.	1.426	2.236	0.691	1.569	0.840	1.361	1.477	1.942
Oct.	1.262	1.723	1.550	0.685	1.700	1.367	2.840	2.438
Nov.	1.817	1.287	0.808	0.775	0.964	1.089	1.450	1.557
Dec.	1.069	2.236	0.474	0.549	0.748	0.579	2.221	3.413
Jan. 1996	0.753	1.636	0.690	0.709	0.780	0.555	1.167	1.765
Feb.	1.483	1.925	0.760	0.851	0.785	0.628	2.244	3.362
Mar.	1.613	1.394	0.956	0.717	0.610	1.035	0.815	0.992
Apr.	1.940	2.965	2.118	1.205	1.214	1.093	1.050	1.188



Appendix 5-1. Continued (NO<sub>3</sub>, g/m<sup>3</sup>/day)

Station Month	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	0.427	0.185	0.075	0.056	0.071	0.068	0.258	0.182
Nov.	0.356	0.168	0.202	0.074	0.112	0.100	0.298	0.243
Dec.	0.511	0.170	0.185	0.089	0.102	0.086	0.317	0.337
Jan. 1995	0.613	0.294	0.230	0.128	0.118	0.127	0.442	0.457
Feb.	0.630	0.278	0.168	0.172	0.124	0.184	0.371	0.341
Mar.	0.109	0.100	0.079	0.060	0.069	0.064	0.122	0.105
Apr.	0.340	0.467	0.154	0.458	0.126	0.319	0.292	0.210
May	0.587	0.489	0.197	0.472	0.148	0.377	0.426	0.440
Jun.	1.191	0.650	0.331	0.368	0.208	0.940	0.245	0.237
Jul.	0.608	0.442	0.355	0.385	0.236	0.404	0.415	0.507
Aug.	0.632	0.373	0.292	0.458	0.256	0.543	0.321	0.445
Sep.	0.303	0.476	0.147	0.334	0.179	0.290	0.314	0.413
Oct.	0.268	0.366	0.330	0.146	0.362	0.291	0.604	0.519
Nov.	0.386	0.274	0.172	0.165	0.205	0.232	0.308	0.331
Dec.	0.227	0.476	0.101	0.117	0.159	0.123	0.472	0.726
Jan. 1996	0.160	0.348	0.147	0.151	0.166	0.118	0.248	0.375
Feb.	0.315	0.409	0.162	0.181	0.167	0.134	0.477	0.715
Mar.	0.343	0.297	0.203	0.153	0.130	0.220	0.173	0.211
Apr.	0.413	0.631	0.450	0.256	0.258	0.232	0.223	0.253

Appendix 5-1. Continued (PO<sub>4</sub>, g/m<sup>3</sup>/day)

Station Month	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	0.041	0.018	0.007	0.005	0.007	0.007	0.025	0.017
Nov.	0.034	0.016	0.019	0.007	0.011	0.010	0.029	0.023
Dec.	0.049	0.016	0.018	0.009	0.010	0.008	0.030	0.032
Jan. 1995	0.059	0.028	0.022	0.012	0.011	0.012	0.042	0.044
Feb.	0.060	0.027	0.016	0.017	0.012	0.018	0.036	0.033
Mar.	0.010	0.010	0.008	0.006	0.007	0.006	0.012	0.010
Apr.	0.033	0.045	0.015	0.044	0.012	0.031	0.028	0.020
May	0.056	0.047	0.019	0.045	0.014	0.036	0.041	0.042
Jun.	0.114	0.062	0.032	0.035	0.020	0.090	0.023	0.023
Jul.	0.058	0.042	0.034	0.037	0.023	0.039	0.040	0.049
Aug.	0.060	0.036	0.028	0.044	0.025	0.052	0.031	0.043
Sep.	0.029	0.046	0.014	0.032	0.017	0.028	0.030	0.040
Oct.	0.026	0.035	0.032	0.014	0.035	0.028	0.058	0.050
Nov.	0.037	0.026	0.016	0.016	0.020	0.022	0.003	0.032
Dec.	0.022	0.046	0.010	0.011	0.015	0.012	0.045	0.070
Jan. 1996	0.015	0.033	0.014	0.014	0.016	0.011	0.024	0.036
Feb.	0.030	0.039	0.015	0.017	0.016	0.013	0.046	0.068
Mar.	0.033	0.028	0.019	0.015	0.012	0.021	0.017	0.020
Apr.	0.040	0.060	0.043	0.025	0.025	0.022	0.021	0.024

Appendix 5-1. Continued (Mineral, g/m<sup>3</sup>/day)

Station Month	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	0.350	0.152	0.061	0.046	0.058	0.056	0.212	0.149
Nov.	0.293	0.138	0.166	0.061	0.092	0.082	0.245	0.200
Dec.	0.420	0.140	0.152	0.073	0.083	0.071	0.261	0.277
Jan. 1995	0.503	0.242	0.189	0.105	0.097	0.105	0.363	0.375
Feb.	0.518	0.229	0.138	0.142	0.102	0.151	0.305	0.280
Mar.	0.090	0.082	0.065	0.049	0.057	0.053	0.100	0.086
Apr.	0.279	0.384	0.127	0.376	0.104	0.262	0.240	0.172
May	0.482	0.401	0.162	0.388	0.122	0.309	0.350	0.362
Jun.	0.978	0.534	0.272	0.303	0.171	0.772	0.201	0.195
Jul.	0.500	0.363	0.292	0.316	0.193	0.332	0.341	0.417
Aug.	0.519	0.306	0.240	0.377	0.211	0.446	0.264	0.365
Sep.	0.249	0.391	0.121	0.274	0.147	0.238	0.258	0.339
Oct.	0.220	0.301	0.271	0.120	0.297	0.239	0.496	0.426
Nov.	0.317	0.225	0.141	0.135	0.168	0.190	0.253	0.272
Dec.	0.187	0.391	0.083	0.096	0.131	0.101	0.388	0.596
Jan. 1996	0.132	0.286	0.121	0.124	0.136	0.097	0.204	0.308
Feb.	0.259	0.336	0.133	0.149	0.137	0.110	0.392	0.587
Mar.	0.282	0.244	0.167	0.125	0.107	0.181	0.142	0.173
Apr.	0.339	0.518	0.370	0.210	0.212	0.191	0.183	0.208

Appendix 5-1. Monthly variation of product of primary product  
(Protoplasm, g/m<sup>2</sup>/day) in Pukman Bay

Month \ Station	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	1.401	0.606	0.245	0.183	0.233	0.224	0.849	0.598
Nov.	1.170	0.550	0.663	0.245	0.367	0.329	0.979	0.798
Dec.	1.679	0.559	0.607	0.294	0.333	0.284	1.041	1.106
Jan. 1995	2.013	0.966	0.756	0.419	0.387	0.419	1.453	1.500
Feb.	2.070	0.914	0.551	0.566	0.408	0.605	1.219	1.121
Mar.	0.359	0.328	0.258	0.196	0.226	0.210	0.399	0.343
Apr.	1.116	1.534	0.506	1.505	0.414	1.049	0.960	0.688
May	1.928	1.604	0.648	1.550	0.487	1.237	1.400	1.446
Jun.	3.911	2.133	1.088	1.210	0.683	3.087	0.805	0.779
Jul.	1.998	1.450	1.166	1.264	0.774	1.327	1.362	1.666
Aug.	2.075	1.225	0.958	1.506	0.842	1.783	1.054	1.461
Sep.	0.996	1.562	0.483	1.096	0.587	0.951	1.032	1.356
Oct.	0.881	1.204	1.083	0.478	1.187	0.955	1.984	1.703
Nov.	1.269	0.899	0.565	0.541	0.673	0.761	1.013	1.088
Dec.	0.747	1.562	0.331	0.384	0.523	0.404	1.551	2.384
Jan. 1996	0.526	1.143	0.482	0.495	0.545	0.388	0.815	1.233
Feb.	1.036	1.345	0.531	0.594	0.549	0.439	1.567	2.348
Mar.	1.127	0.974	0.667	0.501	0.426	0.723	0.569	0.693
Apr.	81.355	2.071	1.479	0.841	0.848	0.764	0.733	0.083

Appendix 5-1. Continued (Potential energy, kcal/m<sup>3</sup>/day)

Month	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	5.589	2.418	0.997	0.732	0.931	0.894	3.387	2.384
Nov.	4.667	2.196	2.646	0.976	1.464	1.311	3.905	3.186
Dec.	6.700	2.231	2.423	1.171	1.331	1.131	4.155	4.413
Jan. 1995	8.031	3.853	3.018	1.673	1.544	1.670	5.796	5.987
Feb.	8.259	3.649	2.198	2.260	1.628	2.415	4.863	4.472
Mar.	1.431	1.310	1.030	0.781	0.902	0.839	1.593	1.371
Apr.	4.452	6.120	2.019	6.003	1.654	4.184	3.832	2.746
May	7.693	6.402	2.586	6.186	1.945	4.935	5.586	5.771
Jun.	15.607	8.511	4.342	4.827	2.727	12.317	3.210	3.109
Jul.	7.971	5.788	4.651	5.045	3.086	5.295	5.436	6.647
Aug.	8.278	4.886	3.822	6.007	3.360	7.116	4.205	5.829
Sep.	3.976	6.231	1.926	4.373	2.342	3.795	4.118	5.413
Oct.	3.517	4.802	4.321	1.909	4.738	3.810	7.915	6.795
Nov.	5.064	3.587	2.252	2.161	2.687	3.035	4.041	4.339
Dec.	2.979	6.231	1.322	1.531	2.085	1.613	6.190	9.512
Jan. 1996	2.098	4.559	1.922	1.976	2.174	1.547	3.253	4.920
Feb.	4.134	5.365	2.118	2.372	2.189	1.751	6.254	9.371
Mar.	4.497	3.886	2.663	1.999	1.700	2.885	2.272	2.765
Apr.	5.407	8.265	5.903	3.357	3.384	3.047	2.926	3.310

Appendix 5-1. Continued (Oxygen, g/m<sup>3</sup>/day)

Month	Station							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oct. 1994	2.119	0.917	0.357	1.912	0.353	0.339	1.284	0.904
Nov.	1.769	0.833	0.277	1.449	0.555	0.497	1.480	1.208
Dec.	2.540	0.846	1.003	2.277	0.504	0.429	1.575	1.673
Jan. 1995	3.044	1.461	0.370	0.730	0.585	0.633	2.197	2.270
Feb.	3.131	1.383	0.919	1.658	6.197	0.915	1.843	1.695
Mar.	0.542	0.497	0.444	1.638	0.342	0.318	0.604	0.520
Apr.	1.688	2.320	1.144	0.724	0.627	1.586	1.453	1.041
May	2.916	2.427	0.634	0.854	0.737	1.871	2.118	2.188
Jun.	5.916	3.226	0.833	0.819	1.034	4.669	1.217	1.179
Jul.	3.021	2.194	0.857	0.501	1.170	2.007	2.061	2.520
Aug.	3.138	1.852	0.391	0.580	1.274	2.698	1.594	2.210
Sep.	1.507	2.362	0.296	0.729	0.888	1.438	1.561	2.052
Oct.	1.333	1.820	0.766	0.749	1.796	1.444	3.001	2.576
Nov.	1.920	1.360	2.276	0.803	1.019	1.151	1.532	1.645
Dec.	1.129	2.362	0.980	0.899	0.790	0.611	2.347	3.606
Jan. 1996	0.795	1.728	2.345	1.010	0.824	0.587	1.233	1.865
Feb.	1.567	2.034	1.646	0.758	0.830	0.664	2.371	3.552
Mar.	1.705	1.473	1.830	2.238	0.644	1.094	0.861	1.048
Apr.	2.050	3.133	1.763	1.273	1.283	1.155	1.109	1.255