

BSPE: 00031 - 56 - 7

鎮海灣의 赤潮 및 汚染 모니터링 시스템 開發을 위한 研究

A study on the monitoring system for the red
tides in Jinhae Bay

1981年 12月

研究責任者：李 光 雨(海洋化學研究室長)

南 基 樹(海洋物理研究室長)

許 亨 澤(海洋生物研究室長)

研 究 員：金 哲 洙(海洋物理研究室)

朴 弼 聖(海洋物理研究室)

郭 熙 相(海洋化學研究室)

李 壽 珩(海洋化學研究室)

梁 東 範(海洋化學研究室)

金 銀 洙(海洋化學研究室)

吳 在 龍(海洋化學研究室)

金 東 燁(海洋生物研究室)

李 晉 煥(海洋生物研究室)

委囑研究員：韓 明 洙(漢陽大·生物學科)

韓 國 科 學 技 術 院
海 洋 研 究 所

ABSTRACT

This report comprises the results of physico-chemical and biological studies conducted during 1981 in Jinhae Bay as a part of surveys for the purpose of development of red tide and pollution monitoring system. Field surveys for physical oceanography were conducted 2 times, in Masan Bay in late July, and around Jam Do in late September. Hydrographical survey shows that temporal and spatial variations in temperature, salinity and σ_t during the observation period are mainly caused by changes in tidal currents with tidal condition.

Estuarine characteristics, salt flux, and fresh water flux through various transections were estimated. According to stratification-circulation diagram, estuarine characteristics of Masan Bay and around Jam Do are classified into "partially-stratified" estuary of the type-2b, with circulation parameter 0.98-7.59 and stratification parameter 0.10-0.25.

Salt fluxes through the transections-1, -14 and -15 are 12, 22 and 36 kg/m/sec, respectively. The portion of Q_1 is predominant, and those of Q_2 and Q_3 are about 5 - 10% and less than 2% of Q_1 , respectively. Estimated fresh water fluxes through the transections-1, -14 and -15 are in the range of 0.05 - 0.1m³/sec. The fresh water flux through the transections -14, and -15 is, respectively, 2 times of that through transection-1.

Analyses of tide data measured at St. T1 in Masan Bay show nearly the same results as that of Jam Do measured in 1980, but tidal range is a little smaller and high water occurs about 6 minutes later than Jam Do.

Continuous current measurements over 7 days with Aanderaa RCM-4 show several new features which were not detected from short-period measurements

in 1980. One of conspicuous features is the pattern of variation in residual currents: residual currents in the transection-1 vary with time and space, except bottom layer where weak residual flow persists southwards. The causes of such variations are not known yet, and simultaneous meteorological measurements seem to be necessary for further analysis. Estimated tidal excursions are nearly 8.9 km at the transection-1, and 9.2 km at the St. 14B.

The amount of fresh water discharge and flushing time were determined from hydrographical results and continuous measurements of currents and tides. Calculated flushing time on the basis of estimated amount of fresh water discharge is about 139 days.

The results of chemical investigation for red tides in Jinhae Bay in 1981 are summarized for general water-quality parameters, nutrients, and heavy metals as follows:

Distributions of water temperatures and salinities appeared to be uniform, indicating that water bodies in Jinhae Bay are relatively well-mixed.

Values of dissolved oxygen (DO) and pH were extremely high in surface waters of Jindong Bay and Masan Bay during summer while red tides were in bloom. Chemical oxygen demand (COD) and suspended solids (SS) were also highest during summer in Masan Bay.

Nitrate, nitrite, and urea concentrations were highest in the inner part of Masan Bay during summer, whereas they were lowest in Jindong Bay. In contrast, phosphate contents were relatively high in Haengam Bay throughout the year. In Masan Bay, phosphate values were higher in the outer part than in the inner part of the bay. Silicate concentrations were considerably high with no great diurnal or seasonal variations. Chlorophyll and carotenoid

values were also considerably high in both Masan and Jindong Bays during May through October.

Higher values of COD, nutrients and chlorophylls may indicate that Masan Bay and Haengam Bay are hypertrophic or nearly hypertrophic, whereas Jindong Bay is eutrophic.

Concentrations of Cd, Cu, and Zn in seawater were relatively high in the innermost part of Masan Bay. More than 75% of the total Cd, Cu, and Zn was in dissolved form, while more than 80% of the total Pb was in particulate fraction.

Levels of Cd, Co, Mn, Pb and Zn in sediments were higher in Masan Bay than in Jindong Bay, whereas Cu and Ni values were higher in Jindong Bay than in Masan Bay.

The results of the continuous monitoring at St. 7 in Masan Bay showed that nitrate levels were higher at low water than at high water, while the reverse is the case for the phosphate concentrations. This phenomenon appears to be due to high nitrate levels in the inner part and high phosphate values in the outer part of the bay. The phosphate concentrations showed good relationships to chlorophyll *a* contents during June through August, when the red tides were in bloom.

Heavy metals showed no diurnal variations in Jinhae Bay.

Monthly observations of phytoplankton communities were carried out during October, 1980 through November, 1981 in Jinhae Bay.

A total of 107 taxa representing 2 phyla (Chrysophyta and Dinophyta) were identified in the present study. Chrysophyta consisted of 23 genera, 60 species, 2 varieties and 1 forma, and Dinophyta of 44 taxa. Of these, *Cylindrotheca closterium*, *Eucampia zodiacus*, *Nitzschia pungens*, *Pleurosigma*

elongatum, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Ceratium fusus*, and *Gymnodinium splendens* were the representative species in the bay. The causative organisms of red tides were *Cylindrotheca closterium*, *Eucampia zodiacus*, *Rhizosolenia fragilissima*, *Skeletonema costatum*, *Gymnodinium '65* type, *Prorocentrum micans*, *p. minimum* and *Noctiluca miliaris*. The standing crops of phytoplankton were as high as 10^6 - 10^7 cells/l during the red tides.

Among the Copepoda species, *Oithona nana* was the dominant species throughout the study period. The dominance of *O. nana* in this study appeared much higher than that of 1980's results. Relatively large amounts of zooplankton occurred when the red tides were in bloom. However, there appeared to be no direct relationship between the number of zooplankton and the red tide phenomenon.

目 次

第Ⅰ章 鎮海灣의 物理 海洋學的 特性	1
第1節 序 論	3
第2節 馬山灣 및 蠶島 周圍 海水의 特性	19
第3節 潮汐 特性	85
第4節 Aanderaa RCM-4에 의한 連續 潮流觀測	90
第5節 淡水交替時間(flushing time).....	98
第6節 結 論	122
第Ⅱ章 鎮海灣의 化學的 特性	125
第1節 序 論	127
第2節 調查內容 및 方法	127
第3節 一般水質指數의 調查結果 및 考察	134
第4節 營養鹽 및 플랑크톤 色素量의 調查結果 및 考察	152
第5節 重金屬의 調查結果 및 考察	170
第6節 要 約	182
第Ⅲ章 鎮海灣의 生物學的 特性	187
第1節 序 論	189
第2節 材料 및 方法	189
第3節 結果 및 考察	190
1. 植物性 플랑크톤	190
2. 動物性 플랑크톤	216
第4節 要 約	233
第Ⅳ章 結論 및 提言	237
附 錄	243

表 目 次
LIST OF TABLES

		Page
Table I-1a	Oceanographic stations for the period from Jul. 24 to Aug. 1, 1981 in Masan Bay.	6
Table I-1b	Oceanographic stations for the period from Sept. 24 to 29, 1981 around Jam Do.	7
Table I-2	Oceanographic survey times and corresponding tidal phases.	8
Table I-3	Transectional and surface subsectional areas between transections in Masan Bay and around Jam Do.	14
Table I-4	Distances between oceanographic survey stations in Masan Bay and around Jam Do (m)	15
Table I-5	Oceanographic instruments used in field surveys in Masan Bay and around Jam Do.	17
Table I-6	Average temperature, salinity, sigma-T and longitudinal current speed at each station.	22
Table I-7	Stratification and circulation parameters in transections 1(Masan Bay), 14 and 15 (around Jam Do).	75
Table I-8a	Calculations of salt flux terms appearing in equation (2-7) using the data for the July 28th, 1981. Salinity is in part per mil and velocity is in cm/sec.	79
Table I-8b	Calculations of salt flux terms appearing in equation (2-7). (Transection 14 is based on Sept. 26, 1981).	79
Table I-8c	Calculations of salt flux terms appearing in equation (2-7). (Transection 15 is based on Sept. 26, 1981).	80
Table I-9	Salt flux (Kg/m. sec) across transection 1, 14 and 15. Q_i is defined by equation (2-7) Numbers in parentheses are percentages of Q_2 and Q_3 with respect to Q_1 at each station.	81
Table I-10	Fresh water flux ($m^2/m. sec$) across transections 1, 14 and 15.	83
Table I-11	Specification of tide gauge moorings.	85
Table I-12	Harmonic constants of the tidal constituents at station T1 in Masan Bay (Aug. 1-Nov. 10, 1981)	87
Table I-13	Specification of RCM-4 moorings	91

Table I-14	Observed maximum and minimum current speeds during each measurement (F: flood current, E: ebb current).....	94
Table I-15	Estimated maximum and minimum tidal excursions (Unit: Km) .	95
Table I-16	Horizontal sectional area at different water depths below water surface in Masan Bay	102
Table I-17	Tidally averaged salinity at each station and its transectional mean in Masan Bay.	104
Table I-18	Fresh water fraction in each transection in Masan Bay. ...	105
Table I-19	Volume of sea water and fresh water in each volume element in Masan Bay	107
Table I-20	Tidal phase, water level change, and volume transport through transection 1 on Jul. 28, 1981.	112
Table I-21	Results of net volume transport calculation from equation (5-5c). Current data are from stations 1A, 1B and 1C (Jul. 27, 00:00 - Aug. 1, 04:00, 1981).....	114
Table II-1	Seasonal mean water temperature in each zone.	135
Table II-2	Mean salinity in each zone.	137
Table II-3	Saturation percentage of dissolved oxygen in each zone.	139
Table II-4	Total mean of pH at each station.	141
Table II-5	Monthly mean of pH.	141
Table II-6	Monthly mean of pH in the Jindong Bay and the Masan Bay	141
Table II-7	Total mean of COD at each station	141
Table II-8	Monthly mean of COD.	145
Table II-9	Total mean of suspended solids at each station	145
Table II-10	Monthly mean of suspended solids.	145
Table II-11	Nitrate-nitrogen of surface water at station 6, 7 and 8 during 1980-1981.	155
Table II-12	Nitrite-nitrogen of surface water at station 6, 7 and 8 during 1980-1981.	157
Table II-13	Phosphate-phosphorous of surface water at station 6, 7 and 8 during 1980-1981.	160

Table II-14	Total averages of heavy metals at each station.	171
Table II-15	Monthly mean concentrations of heavy metals.	171
Table II-16	Seasonal mean concentrations of heavy metals.	172
Table II-17	Dissolved and particulate fractions of heavy metals in Jinhae Bay.	172
Table II-18	Continuous monitoring data for heavy metals at St. 7 on November 12-13, 1981.	179
Table II-19	Heavy metal contents in sediments in Jinhae Bay.	180
Table III-1	Monthly occurrence of phytoplankton communities in Jinhae Bay (Oct. 1980-Nov. 1981)	191
Table III-2	Characteristics of seawater in Jinhae Bay (Apr.-Nov., 1981)	211
Table III-3	Occurrence of Copepoda species at station 7.	223
Table III-4	Occurrence of Copepoda species at station 5.	224
Table III-5	Occurrence of Copepoda species at station 3.	225
Table III-6	Occurrence of Copepoda species at station 9.	226
Table III-7	Number of zooplankton sampled from June 7 to June 8, 1981 at station 7.	231
Table III-8	Number of zooplankton sampled from November 11 to November 12, 1981 at station 7.	232

目 次

LIST OF FIGURES

	Page
Fig. I-1a. Map for oceanographic survey in Masan Bay.	4
Fig. I-1b. Map for oceanographic survey around Jam Do.	5
Fig. I-2a. Periods of oceanographic survey in Masan Bay.	11
Fig. I-2b. Periods of oceanographic survey around Jam Do.	12
Fig. I-3a. Transections for oceanographic survey in Masan Bay.	16
Fig. I-3b. Transections for oceanographic survey around Jam Do.	16
Fig. I-4a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 1A (Jul. 28, 1981).	28
Fig. I-4b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 1B (Jul. 28, 1981).	28
Fig. I-4c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 1C (Jul. 28, 1981).	29
Fig. I-4d. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-1 (Jul. 28, 1981). Negative sign means outflow.	30
Fig. I-5a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 4A (Jul. 27, 1981).	33
Fig. I-5b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 4B (Jul. 27, 1981).	33
Fig. I-5c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 4C (Jul. 27, 1981).	34
Fig. I-5d. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-4 (Jul. 27, 1981). Negative sign means outflow.	34
Fig. I-6a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 6A (Jul. 27, 1981).	36
Fig. I-6b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 6B (Jul. 27, 1981).	36
Fig. I-6c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 6C (Jul. 27, 1981).	37

Fig. I-6d.	Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-6 (Jul. 27, 1981). Negative sign means outflow.	37
Fig. I-7a.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 7A (Jul. 28, 1981).	39
Fig. I-7b.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 7B (Jul. 28, 1981).....	39
Fig. I-7c.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 7C (Jul. 28, 1981).	40
Fig. I-7d.	Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-10 (Jul. 28, 1981). Negative sign means outflow.	40
Fig. I-8a.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 10A (Jul. 28, 1981).	41
Fig. I-8b.	Temporal variations of temperature salinity, and sigma-T at station 10B (Jul. 28, 1981).	41
Fig. I-8c.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 10C (Jul. 28, 1981).	41
Fig. I-8d.	Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-10 (Jul. 28, 1981). Negative sign means outflow.	41
Fig. I-9a.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 14A (Sept. 26, 1981).	45
Fig. I-9b.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 14B (Sept. 26, 1981).	45
Fig. I-9c.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 14C (Sept. 26, 1981).	46
Fig. I-9d.	Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-14 (Sept. 26, 1981). Negative sign means inflow.	47
Fig. I-10a.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 15A (Sept. 26, 1981).	48
Fig. I-10b.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 15C (Sept. 26, 1981).	48
Fig. I-10c.	Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-15 (Sept. 26, 1981). Negative sign means inflow.	49

Fig. I-11a.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 16A (Sept. 26, 1981).	52
Fig. I-11b.	Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 16C (Sept. 26, 1981).	52
Fig. I-11c.	Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-16 (Sept, 26, 1981). Negative sign means inflow.	52
Fig. I-12a.	Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-1 (Jul. 28, 1981).	53
Fig. I-12b.	Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-4 (Jul. 27, 1981).	53
Fig. I-12c.	Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-6 (Jul. 27, 1981).	54
Fig. I-12d.	Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-7 (Jul. 28, 1981).	54
Fig. I-12e.	Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-10 (Jul. 28, 1981).	55
Fig. I-12f.	Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in longitudinal section.	55
Fig. I-12g.	Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity and sigma-T in transection-14 (Sept. 26, 1981).	56
Fig. I-12h.	Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-15 (Sept. 26, 1981).	57
Fig. I-12i.	Vertical distribution of tidally averaged salinity in transection-16 (Sept. 24, 1981).	57
Fig. I-13a.	Vertical variations of tidally averaged temperature in transection-1 (Jul. 28, 1981).	58
Fig. I-13b.	Vertical variations of tidally averaged salinity in transection-1 (Jul. 28, 1981).	58
Fig. I-13c.	Vertical variations of tidally averaged sigma-T in transection-1 (Jul. 28, 1981).	59

Fig. I-13d.	Vertical variations of tidally averaged longitudinal current speed in transection-1 (Jul. 28, 1981).	59
Fig. I-14a.	Vertical variations of tidally averaged temperature in transection-4 (Jul. 27, 1981).	60
Fig. I-14b.	Vertical variations of tidally averaged salinity in transection-4 (Jul. 27, 1981).	60
Fig. I-14c.	Vertical variations of tidally averaged sigma-T in transection-4 (Jul. 27, 1981).	61
Fig. I-14d.	Vertical variations of tidally averaged longitudinal current speed in transection-4 (Jul. 27, 1981).	61
Fig. I-15a.	Vertical variations of tidally averaged temperature in transection-6 (Jul. 27, 1981).	62
Fig. I-15b.	Vertical variations of tidally averaged salinity in transection-6 (Jul. 27, 1981).	62
Fig. I-15c.	Vertical variations of tidally averaged sigma-T in transection-6 (Jul.27, 1981).	63
Fig. I-15d.	Vertical variations of tidally averaged longitudinal current speed in transection-6 (Jul. 27, 1981).	63
Fig. I-16a.	Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-7 (Jul. 28, 1981).	64
Fig. I-16b.	Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-7 (Jul. 28, 1981).	64
Fig. I-16c.	Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-7 (Jul. 28, 1981).	65
Fig. I-16d.	Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-7 (Jul. 28, 1981).	65
Fig. I-17a.	Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-10 (Jul. 28, 1981).	66
Fig. I-17b.	Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-10 (Jul. 28, 1981).	66
Fig. I-17c.	Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-10 (Jul. 28, 1981).	67
Fig. I-17d.	Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-10 (Jul. 28, 1981).	67
Fig. I-18a.	Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-14 (Sept. 26, 1981).	68

Fig. I-18b.	Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-14 (Sept. 26, 1981).	68
Fig. I-18c.	Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-14 (Sept. 26, 1981).	69
Fig. I-18d.	Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-14 (Sept. 26, 1981).	69
Fig. I-19a.	Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-15 (Sept. 26, 1981).	70
Fig. I-19b.	Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-15 (Sept. 26, 1981).	70
Fig. I-19c.	Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-15 (Sept. 26, 1981).	71
Fig. I-19d.	Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-15 (Sept. 26, 1981).	71
Fig. I-20a.	Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-16 (Sept. 26, 1981).	72
Fig. I-20b.	Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-16 (Sept. 26, 1981).	72
Fig. I-20c.	Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-16 (Sept. 26, 1981).	73
Fig. I-20d.	Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-16 (Sept. 26, 1981).	73
Fig. I-21.	Stratification-circulation diagram in Masan Bay (Jul. 28, 1981) and around Jam Do (Sept. 26, 1981).	74
Fig. I-22.	Transfer functions of two smoothing filters, $\frac{1}{2016} \mathcal{L}_{12}^2 \mathcal{L}_{14}$ and $\frac{1}{252} \mathcal{L}_6^2 \mathcal{L}_7$	87
Fig. I-23.	Transfer function of 5-point least-square quadratic fitting	87
Fig. I-24.	Tide at station T1 in Masan Bay (Aug. 1 - Nov. 10, 1981).	88
Fig. I-25.	Various water levels at station T1 in Masan Bay estimated from the data observed from Aug. 1 to Nov. 11, 1981 (unit:cm).	89
Fig. I-26.	Transfer function of Doodson's X_0 filter.	92

Fig I-27	Time varying patterns of residual currents in the transection-1 located at the mouth of Mansan Bay.	96
Fig. I-28a	Tidally averaged salinities in transections-1 (Jul. 28, 1981) and -4 (Jul. 27, 1981).	106
Fig. I-28b	Tidally averaged salinities in transections-6 (Jul. 27, 1981), -7, and -10 (Jul. 28, 1981).	106
Fig. I-29	Transectional mean of the tidally averaged salinities in Masan Bay. Transections-1, -7, and -10 are based on the data of Jul. 28, 1981, and transections-4, and -6 are on those of Jul. 27, 1981.	107
Fig. I-30	Residual current at station 1B (a:upper ; b:middle ; c:lower layer).	112
Fig. II-1	Sampling stations of Jinhae Bay.	128
Fig. II-2	Monthly variations of water temperature in Jinhae Bay.	136
Fig. II-3	Monthly variations of salinity in Jinhae Bay.	137
Fig. II-4	Monthly variations of chemical oxygen demand in Jinhae Bay.	143
Fig. II-5	Vertical distribution of salinity at St. 7 on June 10~11, 1981.	147
Fig. II-6	Vertical distribution of dissolved oxygen at St. 7 on June 10~11, 1981.	147
Fig. II-7	Variations of salinity at St. 7 on Aug. 12, 1981.....	148
Fig. II-8	Concentrations of dissolved oxygen at St. 7 on Aug. 12, 1981.	149
Fig. II-9	variations of pH at St. 7 on Aug. 12, 1981.	150
Fig. II-10	Monthly variations of nitrate-nitrogen of surface water at Sts 6, 7, and 8.	154
Fig. II-11	Monthly variations of nitrate-nitrogen and chlorophyll <i>a</i> at St. 2.	154
Fig. II-12	Monthly variations of nitrite- nitrogen of surface water at Sts 6,7, and 8.	156
Fig. II-13	Monthly variations of phosphate-phosphorus at Sts 6 and 7.	159

Fig. II-14	Concentrations of nitrate-nitrogen, chlorophyll <i>a</i> and chlorophyll <i>b</i> at St. 7 on Apr. 8, 1981.	161
Fig. II-15	Relationship between chlorophyll <i>a</i> and NO ₃ -N at St. 7 on Apr. 8, 1981.	161
Fig. II-16	Concentrations of nitrate-nitrogen, phosphate-phosphorus and chlorophyll <i>a</i> at St. 7 on June 10 ~ 11, 1981.	162
Fig. II-17	Relationship between chlorophyll <i>a</i> and phosphate-phosphorus at St. 7 on June 10 ~ 11, 1981.	165
Fig. II-18	Relationship between chlorophyll <i>a</i> and <i>in vivo</i> fluorescence at St. 7 on June 10 ~ 11, 1981.	166
Fig. II-19	Concentrations of nitrate-nitrogen, Phosphate-phosphorous, chlorophyll <i>a</i> and chlorophyll <i>b</i> at St. 7 on Aug. 12.....	167
Fig. II-20	Relationship between chlorophyll <i>a</i> and phosphate-phosphorus at St. 7 on Aug. 12, 1981.	167
Fig. II-21	Concentrations of nitrate-nitrogen, phosphate-phosphorus and chlorophyll <i>a</i> at St. 7 on Nov. 12 ~ 13, 1981.	168
Fig. III-1	Biological sampling stations in Jinhae Bay.	190
Fig. III-2	Number of phytoplankton species in Jinhae Bay (Apr.~Nov, 1981)	198
Fig. III-3	Monthly variations of phytoplankton standing crop in Jinhae Bay (Oct.1980~Mar,1981).	202
Fig. III-4	Monthly variations of phytoplankton standing crop in Jinhae Bay (Apr.~Nov. 1981).	203
Fig. III-5	Monthly fluctuations of <i>Noctiluca miliaris</i> organisms in Jinhae Bay (Apr~Nov.1981)	206
Fig. III-6	Distribution of water temperature and phytoplankton standing crop at station 7 in Jinhae Bay (Oct. 1980~ Jun. 1981).	208
Fig. III-7	Diurnal variations of phytoplankton standing crop of station 7 in Jinhae Bay (Apr, June, Aug., 1981).	209
Fig. III+8	Occurrence of red tides in Jinhae Bay (May ~ Oct. 1981).	213
Fig. III-9	The relationship of red tide organisms to salinity in Jinhae Bay (Apr. ~Nov. 1981)	214
Fig. III-10	Monthly variations of number of total zooplankton in Jinhae Bay (Oct. 1980 ~ Nov. 1981)	217

Fig. III-11	Monthly variations of Protozoa and Rotatoria communities in Jinhae Bay (Oct., 1980~Nov., 1981).	221
Fig. III-12	Monthly variations of number of Copepoda in Jinhae Bay (Oct., ~1980 Nov., 1981)	228
Fig. III-13	Monthly variations of number of zoolplanktons exclusive of Protozoa, Rotatoria and Copepoda in Jinhae Bay (Oct., 1980~Nov., 1981).	229

第 I 章 鎮海灣의 物理 海洋學的 特性

第1節 序 論

本 研究은 鎭海灣 일대에서 수산 자원의 보호 및 환경 보전상 심각한 문제로 대두된 赤潮와 오염 현상의 원인 규명 및 대책 수립을 위한 장기 연구의 일환으로서 1981년에 실시한 物理海洋學的 조사 分析 結果를 그 내용으로 하고 있다.

1980년의 진해만의 물리 해양학적 조사 (KORDI 1980 b)가 馬山灣과 鎭海灣 일대의 광범위한 해역의 海水特性, 海水流動狀況, 潮汐, 染料擴散, 氣象 등의 내용을 취급하였으나 광범위한 해역을 대상으로 실시된 현장 조사이니만큼 인원과 장비의 제한으로 인하여 조사 기간도 潮汐을 제외하면 25시간 이상의 연속 자료 수집이 어려웠고 관측점들간의 자료도 동시성을 유지하기가 不可하였다. 따라서 연구 결과도 定性的인 면에서 全體的인 개황을 나타내게 되었고 潮汐의 영향이 큰 海域임에도 不拘하고 조석 변화에 따른 제 현상의 기술은 어려웠다.

본 연구에서는 1980년도의 조사 결과에 추가해서 기초 자료의 補完 수집을 실시함과 동시에 赤潮現象에서 營養鹽類로서 등장한 汚染物質이 流入되고 전파되는 마산만에 대하여 집중적으로 현장 조사를 계획 실시하였고 잠도 주위에서도 용적 수송량을 계산하기 위한 조사를 실시하였다.

마산만과 진해만 인근 해역에 대한 과거의 연구는 작년도 1차조사보고서(KORDI 1980 b)에 언급되어 있으며 1981년도에 마산만과 진해만에서 실시한 해양 조사 및 연구 내용은 아래와 같다.

本 研究의 海洋觀測은 7월 하순과 9월 하순에 각각 마산만과 잠도 주위에서 실시되었다. 마산만 內의 관측 정점의 위치는 Fig. I-1a에 나타나 있는 바와 같이 5개의 橫斷面(transection)을 선정하여 각 횡단면 상에 3개의 정점(station)을 정하였고 資料의 보완상 후일에 추가될 수 있다고 고려되는 지점에는 가상적 횡단면을 추가 설정하였다. 잠도 주위의 관측망은 Fig. I-1b에 나타나 있는 바와 같이 잠도와 실리도, 초리도 및 광지말을 연결하는 3개의 횡단면으로 구성되어 있으며 각 횡

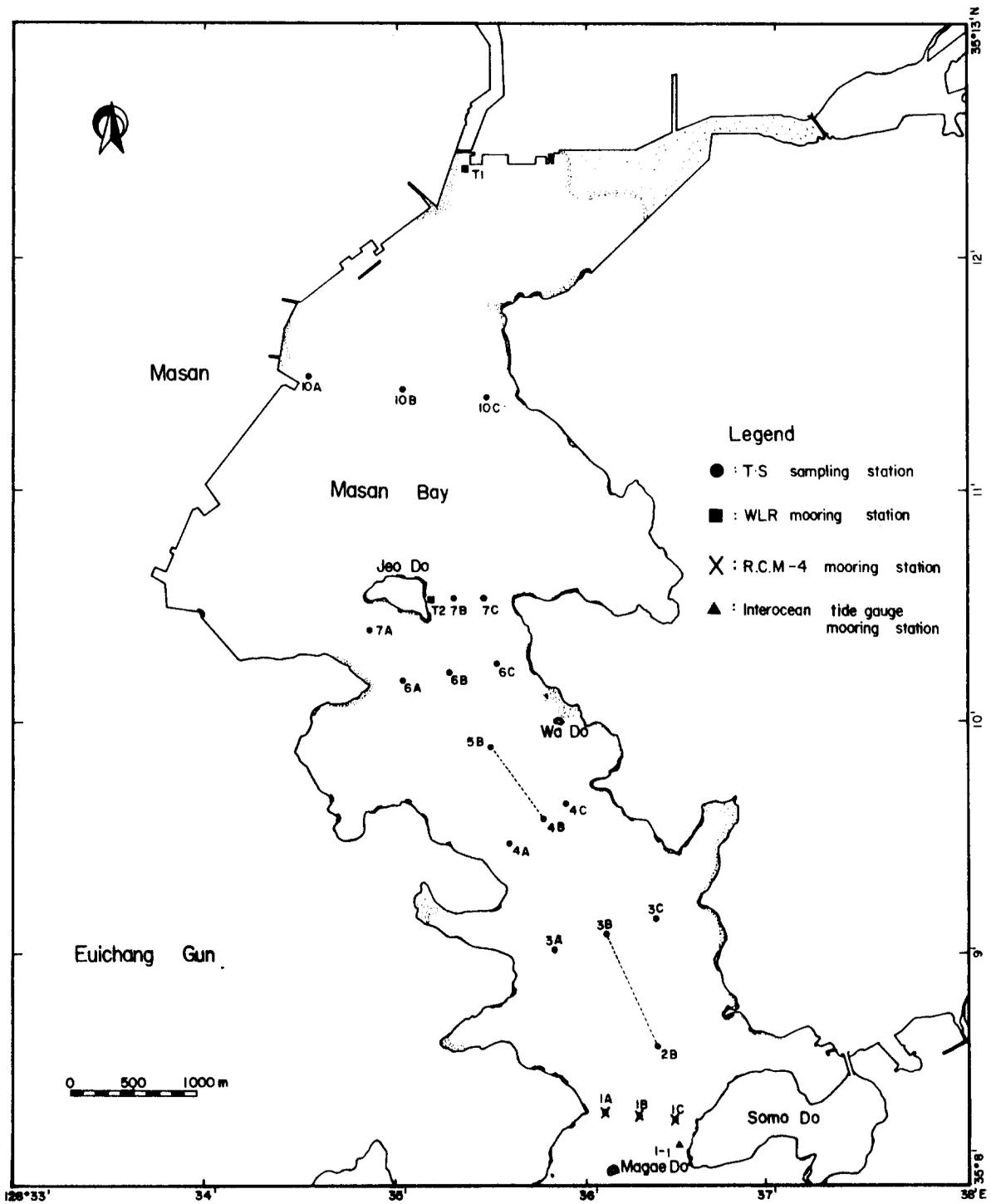


Fig. I-1a. Map for oceanographic survey in Masan Bay.

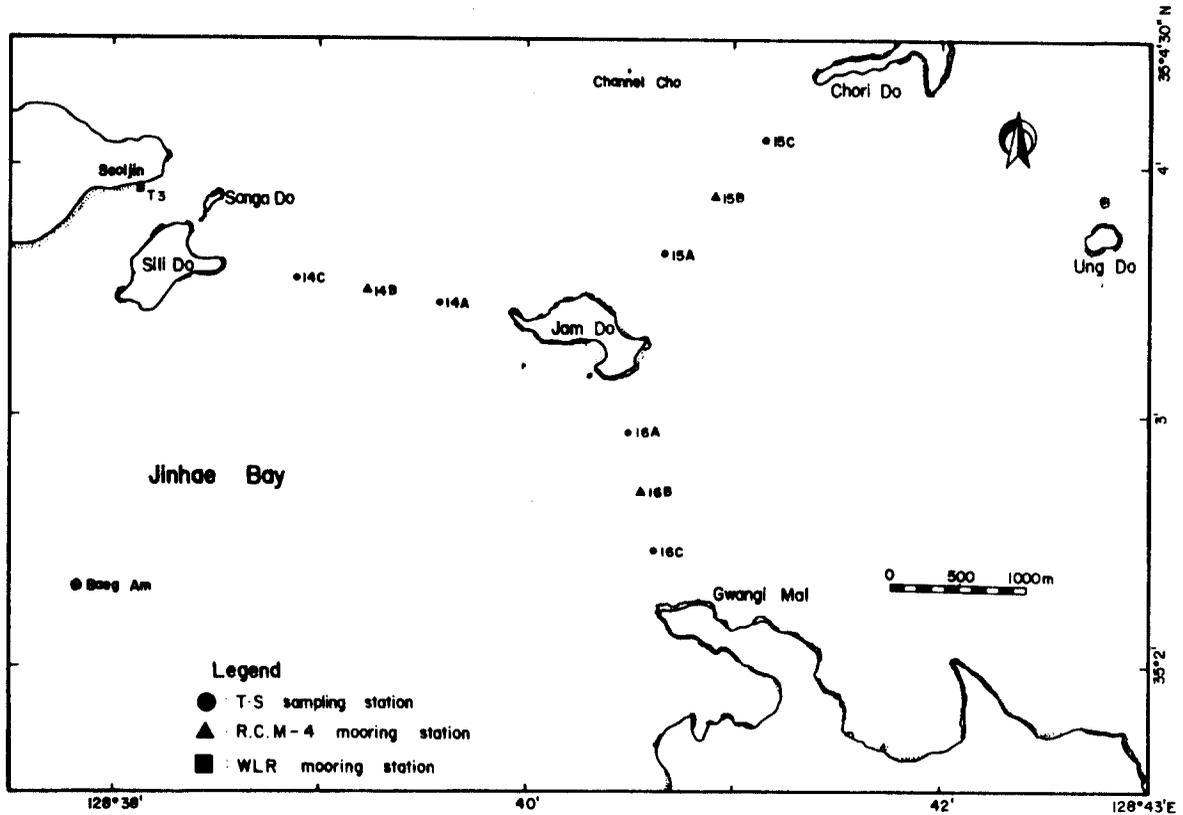


Fig. I-1b. Map for oceanographic survey around Jam Do.

단면 상에는 중앙과 좌우에 1개씩 3개의 관측 정점이 선정되었다. 각 관측 정점의 위치 및 水深을 관측 내용별로 표로 나타낸 것은 Table I-1a와 Table I-1b와 같다.

觀測期間은 小潮期에서 大潮期까지 潮汐이 變하는 동안 調査量의 特性變化를 관찰할 수 있도록 하였으며 조석에 따른 변화와 평균치도 알 수 있도록 1조석 주기(약 13 시간) 동안 매 시간마다 연속 관측을 실시하였다. 觀測中에는 동시성을 유지하기 위하여 3척의 조사선을 사용하였다.

7월 하순의 1차 현장 조사와 9월 하순의 2차 현장 조사의 관측 시각은 관측 정점별로 정리하여 潮汐位相에 따라서 Table I-2에 수록하였으며 관측 기간을

Table I-1a. Oceanographic stations for the period from Jul. 24 to Aug. 1, 1981 in Masan Bay.

1) Temperature, salinity and current (hourly measurement)

Station No.	Latitude	Longitude	Sonic depth(m)
1A	35° 8' 18.9" N	128° 36' 5.7" E	22
1B	35° 8' 18.3" N	128° 36' 16.8" E	26
1C	35° 8' 17.6" N	128° 36' 28"E	18
2B	35° 8' 37.4" N	128° 36' 12.3" E	14
3B	35° 9' 4.9" N	128° 36' 6"E	13
4A	35° 9' 28" N	128° 35' 36" E	14
4B	35° 9' 34" N	128° 35' 46.2" E	14
4C	35° 9' 39" N	128° 35' 53.9" E	15
5B	35° 9' 53" N	128° 35' 30" E	13
6A	35° 10' 11" N	128° 35' 2.5" E	11
6B	35° 10' 13" N	128° 35' 17.5" E	11
6C	35° 10' 15.1" N	128° 35' 22" E	13
7A	35° 10' 23.6" N	128° 34' 52" E	13
7B	35° 10' 32.2" N	128° 35' 19" E	12
7C	35° 10' 32.2" N	128° 35' 28" E	14
10A	35° 11' 28.7" N	128° 34' 33" E	7
10B	35° 11' 25.8" N	128° 35' 2" E	6
10C	35° 11' 23.5" N	128° 35' 29" E	6

2) Continuous current measurement by Aanderaa RCM-4

1A	35° 8' 18.9" N	128° 36' 5.7" E	22
1B	35° 8' 18.3" N	128° 36' 16.8" E	26
1C	35° 8' 17.6" N	128° 36' 28" E	18

3) Water level measurement by Aanderaa WLR

T1	35° 12' 24" N	127° 35' 24" E	
T2	35° 10' 32" N	127° 35' 10" E	

4) Water level measurement by Interocean Tide gauge

I1	35° 8' 6.8" N	128° 36' 33" E	
----	---------------	----------------	--

Table I-1b. Oceanographic stations for the period from Sept. 24 to 29, 1981 around Jam Do.

1) Temperature, salinity and current (hourly measurement)

Station No.	Latitude	Longitude	Sonic depth(m)
14A	35° 3' 28" N	128° 39' 36" E	26
14C	35° 3' 32" N	128° 38' 54" E	27
15A	35° 3' 40" N	128° 40' 41" E	27
15C	35° 4' 7" N	128° 41' 9" E	22
16A	35° 2' 56" N	128° 40' 30" E	48
16C	35° 2' 28" N	128° 40' 38" E	40

2) Continuous current measurement by Aanderaa RCM-4

14B	35° 3' 29" N	128° 39' 14" E	24
15B	35° 3' 53" N	128° 40' 55" E	22
16B	35° 2' 42" N	128° 40' 34" E	43

3) Water level measurement by Aanderaa WLR

T3	35° 3' 51" N	128° 37' 56" E	
----	--------------	----------------	--

관측 내용별로 분류하여 Fig. I-2에 나타내었다.

7월 하순의 1차 현장 조사에서는 馬山灣 内の 3개의 지점에서 潮汐이 관측되었으며 (잠도 주위의 1개 지점에서도 조석 관측이 동시에 수행되었음), 馬山灣 入口에 위치한 횡단면 -1의 3개 정점에서는 상, 중, 하층별로 RCM-4가 계류되었고, 수온, 염분, 유속 및 유향의 횡단면 상의 profiling이 6~13시간 동안 매 시간 연속 시행되었으며 관측시 3개의 횡단면이 동시에 점유되어서 관측 자료의 동시성을 유지하였다. 9월 하순의 2차 현장 조사에서는 잠도 주위의 3개의 횡단면 상에서 1차 현장 조사와 동일 방법으로 수행하였다. 그러나 성어기를 맞이한 어로 작업 때

Table I-2. Oceanographic survey times and corresponding tidal phases.

Station Tidal phase with respect to high water	Transaction 1															
	1C				1B				1A							
	Jul.	27	28	30	Aug.	1	26	27	28	30	Aug.	1	26	27	28	30
HW+0																
+1	-	-	-	9:20 10:04	9:43		-	-	-	8:35	10:10		-	-	-	9:00
+2	-	-	9:05	11:03	11:00		-	-	-	10:19	11:30		-	-	10:36	9:50
+3	-	-	10:09	12:04	12:10		-	-	9:25	11:20	12:35		-	-	11:35	10:40
+4	-	-	11:05	13:10	13:30		-	-	10:27	12:17	-		-	-	10:42	-
+5	-	11:00	12:10	14:05	14:25		-	11:20	11:22	13:27	13:50		-	10:42	11:38	13:05
+6	-	12:00	13:10	15:10	15:13		-	12:20	12:25	14:23	14:40		-	11:40	12:40	14:05
-5	-	13:14	14:15	16:05	-		-	13:30	13:25	15:23	-		-	12:40	13:55	14:55
-4	-	14:05	15:10	17:00	-		-	14:22	14:30	16:21	-		-	13:45	14:45	16:40
-3	13:30	15:10	16:15	18:10	-		13:50	15:27	15:26	17:20	-		-	14:50	15:43	17:50
-2	14:35	16:00	17:10	19:10	-		14:50	16:25	16:30	18:28	-		-	14:08	15:42	18:42
-1	15:40	17:09	18:07	20:10	-		15:55	17:25	17:27	19:24	-		-	15:10	16:42	19:45
HW+0	16:40	18:12	19:05	-	-		17:00	18:25	18:25	-	-		-	16:11	17:44	18:43
+1	17:40	19:10	20:00	-	-		17:55	19:24	19:20	-	-		-	17:18	18:42	19:40
+2	18:38	-	-	-	-		18:56	-	20:10	-	-		-	18:09	19:38	20:38
+3														19:11		

(Continue)

Station Tidal phase with respect to high water	Transaction 4		Transaction 6			Transaction 7			Transaction 10						
	4A	4B	4C	6A	6B	6C	7A	7B	7C	10A	10B	10C	2B	3B	5B
HW+0	Jul. 27	Jul. 27 30	Jul. 27	Jul. 27	Jul. 27	Jul. 27	Jul. 28	Jul. 28	Jul. 28	Jul. 28	Jul. 28	Jul. 28	Jul. 30	Jul. 30	Jul. 30
+1		9:30											9:33	10:01	10:00
+2		10:30											10:30	11:00	11:00
+3		11:30						10:00				10:00	11:30	12:00	12:00
+4		12:30					10:40	10:22	11:00	10:40	10:20	11:00	12:00	13:00	13:00
+5	-	13:30	11:00				11:40	11:20	12:03	11:40	11:20	12:00	13:30	14:07	14:00
+6	11:40	11:21 14:30	12:03	11:40		12:00	12:40	12:20	13:00	12:40	12:20	13:00	14:30	15:00	15:00
-5	12:42	12:20 15:30	13:05	12:40	12:20	13:05	13:57	13:20	14:15	13:40	13:20	14:07	15:30	16:00	16:00
-4	13:40	13:20 16:30	14:00	13:45	13:30	14:00	14:47	14:27	-	14:40	14:27	15:00	16:30	17:00	17:00
-3	14:40	14:26 17:30	15:00	14:20	14:40	15:00	15:55	15:45	15:27	15:40	15:20	-	17:27	18:00	18:00
-2	16:40	15:20 18:30	16:10 17:08	15:40	15:20	16:00				16:40	16:30	16:17 17:00	18:30	19:00	19:00
-1	17:40	17:20 19:30	18:00	16:40	16:20	17:00				17:40	17:20	18:00	19:26	20:00	20:00
HW+0	18:40	18:21 20:30	19:00	17:40	17:20	18:00				18:40	18:20	19:00	-	21:00	21:00
+1	19:40	19:20	-	18:40	18:20	19:00				19:40	19:20	-			
+2				-	19:20										

(Continue)

Station Tidal phase with respect to high water	Transaction 15			Transaction 14			Transaction 16		
	15A	15C	14A	14C	14B	16A	16C		
	Sept. 24 26 28	Sept. 24 26 28	Sept. 24 26 28	Sept. 24 26 28	Sept. 26-27 28	Sept. 24 26 28	Sept. 24 26 28		
-3	6:30	7:00	6:30						
-2	7:30		7:04	6:50 7:22		7:00			
-1	8:29	8:01	7:00 8:00	7:15 8:17	20:00	8:00			
HW+0	7:15 9:37	7:43 9:00	8:00 9:00	8:15 9:20	21:00	7:10 9:00	7:45 -		
+1	8:09 10:28	8:30 10:00	7:15 9:00 10:00	9:15 10:21	21:58	8:11 10:00	8:34 -		
+2	8:55 11:30	8:06 9:29 11:00	8:18 10:00 11:00	7:56 10:13 11:18	23:00	9:01 11:00	9:52 -		
+3	8:45 9:59 12:30	9:16 10:30 12:00	9:05 11:00 12:00	8:43 11:15		8:30 10:14 11:00	9:05 10:35		
+4	9:42 11:00 13:31	10:05 11:30 13:00	12:00 13:00	9:34 12:18 12:40 13:17	0:00	- 13:00	11:45 -		
+5	10:41 12:05 14:32	11:02 12:33 14:01	13:00 14:02	13:15 14:20	1:00	- 14:00	- -		
+6	11:30 13:02 15:34	12:03 13:30 15:10	14:00 15:00	14:15 15:22	2:00	14:00 15:00	- -		
-5	12:33 13:58 16:30	12:59 14:30 16:00	13:00 15:00 16:00	13:25 15:15 16:17	3:00	13:02 15:00 16:00	13:20 -		
-4	13:30 15:00 17:31	14:00 15:30 17:00	14:00 16:00 17:00	14:17 16:15 17:18	4:00	14:00 16:00 17:00	14:22 -		
-3	14:30 16:00 -	15:04 16:31 18:00	15:00 16:58	15:15 17:18	5:00	15:00 - 18:00	- -		
-2	15:31 17:00	- 17:29	16:00 18:08	16:15 18:28	6:00		- -		
-1	- 17:55	- 18:33			7:00	17:30 18:00	- -		
HW+0					8:00				

Area	Survey items	Period Stations	JUL.							AUG.					
			25	26	27	28	29	30	31						
Masan Bay	Temperature, Salinity and Current (hourly measurement)	1 A													
		1 B													
		1 C													
		2 B													
		3 B													
		4 A													
		4 B													
		4 C													
		5 B													
		6 A													
6 B															
6 C															
7 A															
7 B															
7 C															
10 A															
10 B															
10 C															
	Continuous measurement of current	1 A													
		1 B													
		1 C													
Around Jam Do	Water level	T ₁													
		T ₂													
		I ₁													
		T ₃													
			(To Sept. 29 12:00)												

Fig. I-2a. Periods of oceanographic survey in Masan Bay.

Area	Survey items	Period Stations	Sept. 5	Sept. 24	25	26	27	28	29
Around Jam Do	Temperature, Salinity and Current (hourly measurement)	14A							
		14B							
		14C							
		15A							
		15C							
		16A							
Around Jam Do	Continuous measurement of current	16C							
		14B							
		15B							
		16B							
Mason Bay around Jam Do	Water level	T ₃							
	Water level	T ₁							
	Echo sounding	T ₁							
			(from Jul. 25 15:00)	(from Aug. 1 18:00)					(to Nov. 10 09:00 1981)

Fig. I-2b. Periods of oceanographic survey around Jam Do.

문에 潮流의 연속 측정을 위한 고정점 장기 계류(fixed point mooring)는 어려웠으며 횡단면 상에서 수온, 염분, 유속, 유향을 측정하기 위하여 정점 표시 부이도 계류하여 두기 어려웠으므로 자료의 수집은 계획된 대로 시행되기 어려웠다.

7월과 9월 하순의 해양 관측 외에 마산만과 잠도 주위의 각 횡단면의 水深測定을 위하여 음향 측심(echo sounding)을 실시하였다. 測深의 결과는 음향 측심 기간 중에 관측된 조석 자료를 참고하여 補正되었고, 이 結果와 海圖를 利用하여 얻은 각 횡단면의 단면적과 두 횡단면 사이의 구간 해역 표면적을 Table I-3에 수록하여 놓았으며 각 정점간의 거리는 Table I-4에 나타난 바와 같다. 각 단면적의 모양은 Fig. I-3a와 Fig. I-3 b에 도시되어 있다.

1,2차 해양 관측시에 사용된 기기의 종류와 제작 회사 및 성능에 대한 제반 사항은 Table I-5에 수록하였다. 제 1장의 각 節에서 취급된 내용은 아래와 같다.

제 2 절에서는 수온, 염분, 해수 밀도, 종축 방향의 유속 분포가 기술되어 있다. 마산만 내와 잠도 주위에서 1 조석 주기 동안의 평균 분포를 횡단면과 만의 종 단면을 따라서 고찰하였으며 1 조석 주기 동안의 변화를 수심별로 구분하여 검토하였다. 또한 마산만과 잠도 주위의 海水의 河口域으로서의 特性이 고찰되었으며 鹽 및 淡水流動率도 고려되었다. 제 3 절에서는 조석 자료의 분석 검토가 실려있으며 제 4 절에서는 해수 유동의 연속 관측 결과가 나타나 있다. 馬山灣의 용적 계산, 淡水交替時間(flushing time), 淡水流入量 決定은 제 5 절에서 취급되었으며 제 6 절에 본 物理 海洋학적 연구의 요약이 실려 있다.

Table I-3. Transectional and surface subsectional areas between transections in Masan Bay and around Jam Do.

Transections	Surface subsections	Transectional area(m^2)	Surface subsectional area(m^2)
*tr.1		20,340	
	between tr.1 and tr.3		2,437,000
tr.3		21,160	
	between tr.3 and tr.4		1,792,000
tr.4		15,070	
	between tr.4 and tr.6		2,527,000
tr.6		17,129	
	between tr.6 and tr.7		757,000
tr.7		10,941	
	between tr.7 and tr.10		4,640,000
tr. 10		8,825	
	between tr.10 and third pier		2,705,000
tr.14		25,207	
tr.15		26,719	
tr.16		32,446	

* tr.1 = transection 1

Table I-4. Distances between oceanographic survey stations in Masan Bay and around Jam Do (m).

1) Transections in Masan Bay.

Sangdae Mal - 1A	150	5A - Wa Do	650
1A - 1B	280	Isim Mal - 6A	255
1B - 1C	290	6A - 6B	475
1C - Somo Do	175	6B - 6C	380
Sangdae Mal - 2B	720	6C - Yongho Dong	240
2B - Dong Do	590	Isim Mal - 7A (Northern section)	250
Duckdong Ri - 3A	345	7A - Jeo Do	250
3A - 3B	420	Jeo Do - 7B	190
3B - 3C	420	7B - 7C	250
3C - Suckhoi Po	370	7C - Gajiduri Mal	200
Nochul Mal - 4A	220	Central Pier - 10A	125
4A - 4B	340	10A - 10B	760
4B - 4C	220	10B - 10C	680
4C - Guisan Dong	220	10C - Guihyun Dong (quarry)	220
Gapo Dong - 5A	770		
5A - Wa Do	650		

2) Longitudinal direction in Masan Bay.

1B - 2B	570	5B - 6B	680
2B - 3B	990	6B - 7B	590
3B - 4B	1040	7B - 10B	1720
4B - 5B	720	10B - Third pier	1950

3) Transections around Jam Do.

Jam Do - 14B	1070	16B - Jam Do	880
14B - Sili Do	1070	14B - 15B	2650
Jam Do - 15B	1150	15B - 16B	2280
15B - Chori Do	1100	14B - 16B	2500
Gwangji Mal - 16B	880		

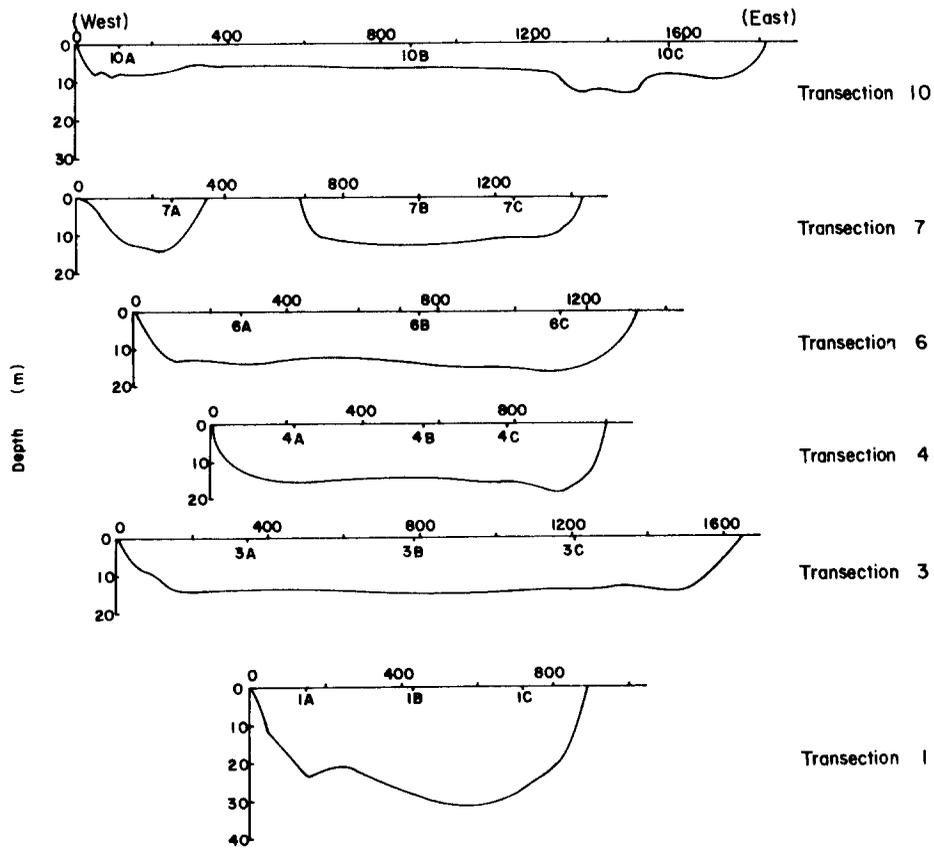


Fig. I-3a. Transections for oceanographic survey in Masan Bay.

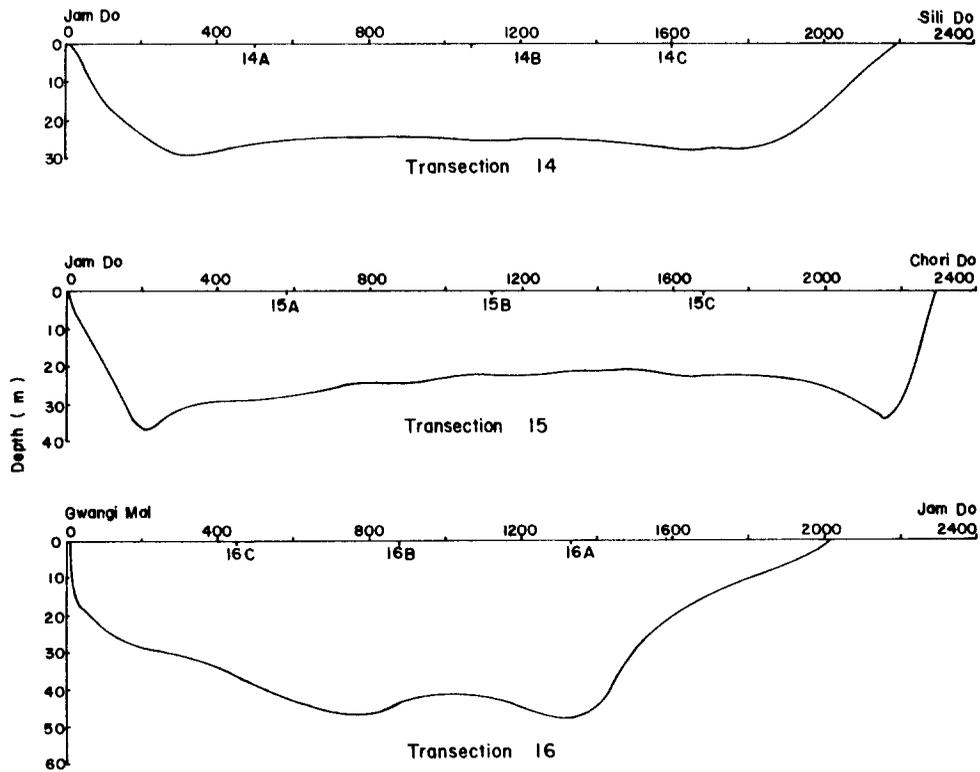


Fig. I-3b. Transections for oceanographic survey around Jam Do.

Table I-5. Oceanographic instruments used in field surveys in Masan Bay and around Jam Do.

Oceanographic survey items	Instruments (maker)	Specific remarks
Temperature	Reversing thermometer (Yoshino Keiki, Co.) Bar-thermometer T-S bridge (Hydro-Bios) Aanderaa R.C.M.-4 (Aanderaa Instruments)	Protected type Scale range; -2°C to $+30^{\circ}\text{C}$ in 1/10 Scale range; 0°C to $+50^{\circ}\text{C}$ in 1/10 Model; MC-5 Range of measurement; $+1.4$ to $+30^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ Sensor type; Thermistor (Fenwal GB32JH19) Range (wide range); -0.34°C to $+32.17^{\circ}\text{C}$ Accuracy; $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ Resolution; 0.1% of range selected 63% Response time; 12 sec
Salinity	Nansen bottle Salinometer (Watanabe keiki) T-S bridge (Hydro-Bios) Aanderaa R.C.M.-4 (Aanderaa Instruments)	Sampling capacity; 1300 cc Conductivity ratio; 1.4 - 0 1.0000 at 35 ppt salinity Range; 0 - 51‰ salinity Accuracy; 0.003 parts per mil Model; MC-5 Range; 0.5 to 32.5‰. Accuracy; $\pm 0.1\%$. Sensor type; Inductive cell Range; 0 to 70mmho/cm (standard) Resolution; 0.1% of range
Current	Aanderaa R.C.M.-4 (Aanderaa Instruments)	a. Current direction Sensor type; Magnetic compass with needle clamped on the potentiometer ring Resolution; 0.35° Accuracy; $+7.5^{\circ}$ speed within 2.5 to $\bar{5}\text{cm/sec}$ or 100 to 200cm/sec $+5^{\circ}$ speed within 5 to $\bar{100}\text{cm/sec}$ Maximum compass tilt; 12° from horizontal

(continue)

Oceanographic survey items	Instruments (maker)	Specific remarks
Water level	CM-2 (Toho Dentan Co. Ltd.)	b. Current speed Principle; Rotor with magnetic coupling through instrument case. The number of rotations during the period between two samplings are counted by an electronic counter. Range; 2.5 to 250cm/sec. Accuracy; ± 1 cm/sec or $\pm 2\%$ of the actual speed, whichever is greater. Starting velocity; 2.0cm/sec
	Braystoke (Valeport Development Ltd.)	a. Current velocity measuring range 0.1m/sec - 1.5m/sec (0.05m/sec per graduation) 0.1m/sec - 3.0m/sec (0.1m/sec per graduation) (strong-weak) switch over b. Current direction measuring range 0 - 360° (10° per graduation; Clockwise magnetic azimuth with 0° representing northward current) c. Accuracy; 0.05m/sec
	Aanderaa WLR (Aanderaa Instruments)	Velocity range; 0.1 to 25ft/sec: 0.03 to 7.0m/sec Operational environment; Salt or fresh water Maximum depth; 5000ft Direction; Maximum reading error -5° to +5° Range; 0 to 360 in increments of 10° Range; 0 - 400 psi(standard) Accuracy; 0.01% of full scale range Resolution; 0.001% of full scale range
	Interocean tide gauge (Interocean)	Sensing element; precision bourdon tube with optical lever system Range; 20m comprised of five 13 feet (4.0m) automatic scale changes Resolution; 0.06mm Precision; ± 0.8 mm

(Continue)

Oceanographic survey items	Instruments (maker)	Specific remarks
Echo sounding	PS-10E (Kaijo Denki Co. Ltd.)	Depth-range; First scale: 0 - 13, 10 - 23, 20 - 33, 30 - 43, 40 - 55m, 0 - 53m overlapping Effective angle for recording; 78°
Positioning	Decca Trisponder (Decca Survey System Inc.)	Sounding accuracy; +5cm + depth/1000 between 0.5m - 50m Range accuracy; +3 meters Range to 80Km Range resolution; +1 meter

第2節 馬山灣 및 蠶島 周圍 海水의 特性

1. 觀測方法

1981년도에 실시된 현장 관측은 馬山灣 內와 잠도 주위에 設定된 橫斷面 上에서 潮汐과 水深에 따른 水溫, 鹽分, 流速의 變化를 알 수 있도록 관측망(Fig. I-1), 관측 시각 (Table I-2), 관측 기간(Fig. I-2)을 決定하였으며 可用 기기를 最大限 活用하였다. 기존 자료의 量이 많으나 時空間的인 상호 연관성이 희박하여 오염 물질의 流動, 전파 현상에 必要한 定量적 계산에 이용되기가 어려웠다.

금번 觀測에서는 이러한 점을 보완하기에 力點을 두었으며 특히 鹽流動率 (salt flux), 淡水流入量(river runoff), 淡水交替時間(flushing time) 등 河口域(estuary)에서 發生되는 역학적 현상(dynamic phenomena)을 定量적으로 다루기 위한 자료를 획득하려고 노력을 하였다.

馬山灣 內의 관측망은 灣의 종축을 가로질러 5개의 횡단면이 선정되었고 (Fig. I-1a), 각 횡단면에서 중앙과 좌우에 각각 1개씩 정점을 정하여 고유 정점 번호

를 횡단면 번호에 추가하여 서쪽에서 동쪽 方向으로 A, B, C의 순으로 붙였다. 그리고 마산 수출 자유 지역 제 3 부두에서 시작하여 灣의 중앙을 따라서 馬山灣 入口까지 연결되는 종단면 상의 觀測點을 定하여 고유 번호를 붙였다. 이 종단면은 각 횡단면의 중앙 정점을 포함하는 동시에 水溫, 鹽分, 流速의 종축상의 변화를 알기 위하여 必要하다고 고려되는 지점에 추가로 선정된 정점들로 구성되어 있다.

잠도 주위의 관측망은 잠도와 실리도, 초리도, 광지말을 연결하는 횡단면으로 구성되어 있다 (Fig. I-1b). 각 횡단면에는 2개의 관측 정점이 선정되었고 고유 번호는 횡단면의 번호에 추가하여 잠도 쪽에서부터 A, B, C의 순으로 정하였다.

관측은 多雨 시기인 7월 하순 (7월 24일~8월 1일)에는 馬山灣 일대에서, 9월 하순 (9월 24일~29일)에는 잠도 주위에서 소조에서 대조까지의 조석 조건의 변화에 의한 영향을 알 수 있도록 실시되었다 (Fig. I 2a, b).

관측 시각은 조사선, 조사 요원, 조사 해역의 환경 조건 등으로 인하여 임의로 조절하기가 어려웠으나 가능한 한 1 조석 주기 동안에 변화하는 水溫, 鹽分, 流速과 流向의 特性이 觀測值에 反影될 수 있도록 노력하였다. 따라서 每時間 간격으로 관측을 실시하였으며 觀測回數는 6회 이상 1 조석 주기를 포함할 수 있을 때까지 가능한 한 반복하였으며 (12~13회) 관측 기간 동안 3 척의 조사선을 운용하여 횡단면상의 관측치들이 동시성을 유지하도록 하였다 (Table I-2).

水溫의 觀測에는 방압 전도 온도계를 사용하였으며 염분의 측정에는 난센 채수기를 사용하여 채수된 시료 해수를 실험실에서 염분 측정기 (Autolab salinometer)를 사용하여 측정하였고 동시에 직독식 T-S Bridge도 사용하였다. 조류의 관측은 고정 정점에 계류된 RCM-4 연속 관측 이외에도 직독식 Braystoke과 CM-2를 사용하였다 (Table I-5).

水溫과 鹽分은 T-S Bridge를 사용한 횡단면 -1과 -15의 정점에서는 2 m의水深 간격으로 測定하였으며 그 외의 정점에서는 表面, 上層, 中層, 下層으로 4個水深에서 觀測하였고 流速과 流向의 測定은 2 m 수심 간격으로 실시하였다. 소조기에서 대조기까지의 기간 중에 觀測回數는 馬山灣 內의 정점 관측시에는 횡단면 -1을

제외한 횡단면들 上의 정점에서는 1회에 국한했으며 횡단면 -1의 정점 관측 및 잠도 주위의 횡단면 상의 정점 관측은 소조시, 소조와 대조의 중간 시기, 대조시에 각 1회씩 3회의 관측을 실시하였다. 이렇게 수집된 관측 자료 중 尙 調査海域의 特性을 가급적 적은 時差 內에서 반영시킬 수 있는 자료를 선택하였으며 따라서 分析에 사용된 馬山灣 內의 자료는 횡단면 -1, -7, -10에서 7월 28일에 1 조석 주기 동안 관측된 자료와 횡단면-4, -6에서 7월 27일에 1 조석 주기 동안 觀測된 자료이며 잠도 주위의 횡단면 -14, -15는 9월 26일에 관측된 자료를 사용하였고 횡단면-16은 9월 24일에 觀測된 자료와 9월 26일에 관측된 자료를 사용하였다.

水溫, 鹽分, 密度, 流速의 단면 분포의 특성은 潮汐의 조건에 따라서 漲潮時의 平均 및 1 조석 주기 동안의 平均을 통해서 고찰하였으며 (횡단면 -14, -15) 觀測值가 漲落潮의 平均을 取하기에 미흡한 경우에는 高潮(high water) 시와 低潮 (low water) 시의 觀測結果와 이 값들의 平均을 통하여 고찰하거나 (횡단면 -1, -4, -6, -10) 고조와 저조의 중간 및 저조와 고조의 중간 시각에 관측된 자료를 사용하여 고찰하였다(횡단면 -7, -16).

2. 觀測結果 및 考察

1) 水溫, 鹽分, 海水密度 및 流速의 分布特性

馬山灣 일대와 잠도 주위에서 실시한 水溫, 鹽分, 海水密度, 流速의 시간에 따른 변화를 水深別로 나타낸 것이 Fig. I-4에서 Fig. I-11까지 圖示되어 있다. 各 觀測定點의 水溫, 鹽分, 海水密度的 時系列(time-series) 자료로부터 高潮時와 低潮時의 平均과 1 조석 주기 동안의 平均을 求하여 Table I-6에 나타내었으며 조석 평균으로부터 各 橫단면의 水溫, 鹽分, 海水密度的 연직 變化를 도면화 한 것이 Fig. I-12이다. 各 定點에서 水深에 對한 水溫, 鹽分, 海水密度 및 縱軸 方向의 流速의 變化를 고조시와 저조시 또는 淸조시와 濁조시, 조석 주기에 대한 평균치로서 나타낸 것이 Fig. I-13에서 Fig. I-20까지 도시되어 있으며 각 橫단면 別 水溫, 鹽分, 海

Table I-6. Average temperature, salinity, sigma-T and longitudinal current speed at each station.

Station (Date)	Depth (m)	Temperature(°C)			Salinity(‰)			Sigma-T			Long. current speed(cm/sec)		
		HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average
1A (Jul. 28)	0	29.5	28.4	28.95	26.13	26.88	26.51	15.29	16.21	15.75	22.6	5.4	14.0
	2	26.2	26.4	26.3	29.49	29.59	29.54	18.86	18.87	18.87	23.9	4.5	13.55
	4	24.5	24.4	24.45	30.34	30.24	30.29	20.0	19.96	19.98	16.9	3.2	10.05
	6	20.2	22.2	21.2	31.55	30.80	31.18	22.11	21.01	21.56	4.2	0.0	-2.1
	8	18.8	19.7	19.25	31.93	31.46	31.70	22.75	22.17	22.46	-0.5	0.0	-0.25
	10	17.3	18.2	17.75	32.58	32.11	32.35	23.61	23.04	23.33	0.4	-0.6	-0.1
	12	16.5	17.1	16.8	32.95	32.77	32.86	24.08	23.80	23.94	0.5	0.0	0.25
	14	16.3	16.3	16.25	32.95	32.95	32.95	24.13	24.15	24.14	-0.9	0.0	-0.45
	16	16.0	16.0	16.0	32.95	32.95	32.95	24.20	24.20	24.20	-2.5	0.0	-1.25
	18	16.0		16.0	32.95		32.95	24.20		24.20	-4.0		-4.0
	20	16.0	16.0	16.0	32.95	32.86	32.91	24.20	24.13	24.17	0.0	-1.0	-0.5
	22	15.9		15.9	32.86		32.86	24.15		24.15	0.4		0.4
24	15.9	15.9	15.9	32.86	32.86	32.86	24.15	24.15	24.15	-0.2	0.0	-0.1	
1B (Jul. 28)	0	29.0	28.6	28.8	27.34	27.63	27.49	16.36	16.70	16.38	19.4	15.1	17.25
	2	27.4	25.8	26.6	28.47	29.96	29.22	17.71	19.33	18.52	17.7	15.0	16.35
	4	24.5	25.2	24.85	30.34	30.06	30.20	20.0	19.58	19.79	5.4	13.8	9.6
	6	20.6	23.3	21.95	31.36	30.71	31.04	21.86	20.63	21.25	4.3	10.9	7.6
	8	18.7	21.2	19.95	32.02	31.46	31.74	22.85	21.78	22.32	0.8	0.0	0.4
	10	17.6	18.6	18.1	32.49	31.93	32.21	23.47	22.80	23.14	4.4	0.0	2.2
	12	16.7	16.7	16.7	32.77	32.86	32.82	23.90	23.97	23.94	0.0	0.0	0.0
	14	16.2	16.2	16.2	32.95	32.86	32.91	24.15	24.08	24.12	0.2	0.0	0.1
	16	16.1	16.1	16.1	32.95	32.86	32.91	24.18	24.10	24.14	5.4	0.0	2.7
	18	16.0		16.0	32.95		32.95	24.20	24.13	24.17	0.0		0.0
	20	16.0		16.0	32.95	32.86	32.91	24.20	24.20	24.20	-4.7	0.0	-2.35
	24		16.0	16.0		32.95	32.95					-0.6	-0.6
1C (Jul. 28)	0	29.3	28.4	28.85	27.91	27.91	27.91	16.68	16.98	16.83	0.0	15.5	7.5
	2	25.7	26.4	26.05	30.15	29.78	29.97	19.50	19.01	19.26	22.4	-6.2	8.1
	4	22.8	23.7	23.25	30.99	30.62	30.81	20.98	20.44	20.71	0.0	9.8	4.9
	6	21.0	22.5	21.75	31.08	30.90	30.99	21.55	21.00	21.28	0.0	-1.4	-0.7
	8	18.8	20.8	19.8	31.83	31.27	31.55	22.68	21.74	22.21	0.0	-8.3	-4.15
1C (Jul. 28)	10	17.1	18.9	18.0	32.58	32.30	32.44	23.66	23.01	23.34	-0.6	-6.0	-3.3
	12	16.6	17.0	16.8	32.11	32.86	32.49	23.42	23.90	23.66	0.5	0.0	0.25
	14	16.2	16.4	16.3	32.77	32.86	32.82	24.01	24.04	24.02	1.3	0.0	0.65
	16	16.1	16.1	16.1	32.86	32.86	32.86	24.10	24.10	24.10	0.0	0.0	0.0
	18	16.0		16.0	32.86		32.86	24.14		24.13	3.4	0.0	1.7
	20	16.0	16.0	16.0	32.86	32.95	32.91	24.13	24.20	24.17	3.4	0.0	1.7

(continue)

Station (Date)	Depth (m)	Temperature (°C)			Salinity (‰)			Sigma-T			Long. current speed (cm/sec)		
		HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average
4A (Jul. 27)	0	28.2	2.83	28.25	26.19	27.04	25.62	15.76	16.36	16.06	20.0	3.0	11.5
	2	27.69	27.89	27.79	28.31	28.27	28.29	17.50	17.41	17.46	-6.3	3.6	-1.35
	4										-8.2	0.0	-4.1
	6	20.69	21.36	21.03	31.31	31.32	31.32	21.80	21.63	21.72	-4.9	-2.8	-3.85
	8										-7.5	3.8	-1.85
	10	17.57	17.89	17.73	32.26	32.64	32.45	23.31	23.52	23.42	-3.0	3.2	0.1
	12										-3.7	2.5	-0.6
4B (Jul. 27)	0	28.30	28.40	28.35	25.58	26.83	26.21	15.27	16.17	15.72	1.0	4.4	2.7
	2	27.62	27.66	27.64	30.18	28.46	29.32	18.93	17.63	18.28	0.9	2.0	1.45
	4										-1.0	-0.8	-0.9
	6	19.83	22.14	20.99	31.18	31.17	31.18	21.93	21.30	21.62	-4.7	-9.3	-7.0
	8										1.4	0.0	0.7
	10	16.86	17.92	17.39	32.18	32.46	32.32	23.41	23.47	23.44	0.5	11.0	5.75
	12										1.6	7.8	4.7
4C (Jul. 27)	0	28.60	28.20	28.40	26.90	26.53	26.72	16.16	16.02	16.09	1.0	-0.4	0.3
	2	27.95	27.80	27.88	28.82	28.35	28.59	17.80	17.50	17.65	-0.4	-0.8	-0.6
	4										-0.5	-9.8	-5.15
	6	20.85	22.96	21.91	31.60	31.23	31.42	21.98	21.12	21.55	2.5	-6.7	-2.1
	8										4.2	-1.3	1.45
	10	18.38	17.57	17.98	32.75	32.70	32.73	23.48	23.64	23.56	8.3	0.0	4.15
	12										3.1	2.5	2.8
6A (Jul. 27)	0				25.30	26.44	25.87						
	2	-	27.35	27.35	-	28.21	28.21	-	17.54	17.54	3.6	1.8	2.7
	4										-17.4	-14.4	-15.9
	6										-7.2	-4.7	-5.95
	8	19.30	21.10	20.2	31.61	30.94	31.28	22.39	21.41	21.9	-2.4	-1.4	-1.9
6A (Jul. 27)	10	19.30	21.10	20.2	31.61	30.94	31.28	22.39	21.41	21.9	-10.0	-0.1	-4.95
	12										-6.1	-2.1	-2.0
	14	17.53	17.16	17.35	32.78	32.39	32.59	23.71	23.50	23.61	0.7	1.1	0.9
6B (Jul. 27)	0				26.95	26.07	26.51						
	2	27.22	27.26	27.24	28.74	28.37	28.56	17.98	17.69	17.84	-16.6	-3.7	-10.15
	4										1.4	-2.5	-0.55
	6										-3.0	-6.8	-4.9
	8	17.74	20.21	18.98	31.97	31.02	31.50	23.04	21.71	22.38	11.7	-4.1	3.8
	10										18.4	-4.1	7.15
	12										13.3	-3.8	4.75
	14	16.94	17.04	16.99	32.89	32.41	32.65	23.94	23.55	23.75	0.3	8.0	4.15

(continue)

Station (Date)	Depth (m)	Temperature(°C)			Salinity(‰)			Sigma-T			Long. current speed(cm/sec)		
		HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average	HW+6	HW+0	Average
6C (Jul. 27)	0				27.07	25.92	26.51						
	2	27.19	25.95	26.57	27.80	28.62	28.21	17.28	18.28	17.78	9.5	-7.2	1.15
	4										-1.9	-18.2	-10.05
	6										-3.3	-10.0	-6.65
	8	19.01	20.81	19.91	31.80	30.99	31.40	22.61	21.53	22.07	8.6	4.4	6.5
	10										12.8	6.2	9.5
	12										1.8	0.0	0.9
	14	16.07	16.23	16.15	33.16	32.59	32.88	24.34	23.87	24.11	3.0	-2.5	0.25
	16									10.3	-1.1	4.6	
7A (Jul. 28)	0	28.40	28.3	28.35	25.73	26.27	26.0	15.35	15.79	15.57			
	2	26.74	26.60	26.67	26.46	28.43	27.45	16.42	17.93	17.18	7.8	0.4	4.1
	4										6.0	-2.9	1.55
	6	21.76	23.83	22.80	30.06	30.14	30.10	20.56	20.05	20.31	14.4	5.8	10.1
	8										11.0	-0.4	5.3
	10	17.56	17.60	17.58	31.89	32.17	32.03	23.03	23.23	23.13	12.5	-4.5	4.0
	12									2.3	0.2	1.25	
7B (Jul. 28)	0	28.70	27.40	28.05	25.65	27.09	26.37	15.20	16.68	15.94			
	2	28.45	28.06	28.26	25.69	27.51	26.60	15.30	16.79	16.05	-1.9	15.3	6.7
	4										5.1	4.7	4.9
	6	21.88	23.94	22.91	29.98	30.43	30.21	20.47	20.24	20.36	-7.1	2.8	-2.15
	8										-5.1	1.4	-1.9
	10	19.22	18.08	18.65	30.97	31.93	31.45	21.91	22.42	21.51	-10.3	2.4	-3.95
7C (Jul. 28)	0	28.5	28.5	28.5	26.54	26.93	26.74	15.93	16.21	16.07			
	2	28.78	27.37	28.08	27.00	27.92	27.46	16.18	17.32	16.75	7.5	9.7	8.6
	4										-3.7	13.5	4.9
	6	24.89	24.73	24.81	29.66	29.28	29.47	19.38	19.14	19.26	2.4	4.2	3.3
	10	20.47	20.12	20.30	30.86	30.96	30.91	21.51	21.68	21.59	-0.7	-1.3	-1.0
10A (Jul. 28)	0	29.4	28.8	29.1	24.27	23.72	24.00	13.94	13.73	13.84	9.4	-4.4	2.5
	2	27.89	28.05	27.97	25.72	26.92	26.32	15.50	16.35	15.93	3.3	-0.9	1.2
	4	25.65	25.25	25.45	30.06	29.69	29.88	19.46	19.29	19.38	0.0	0.0	0.0
10B (Jul. 28)	0	29.5	28.8	29.15	25.52	24.40	24.96	14.84	14.23	14.54	15.0	-1.4	6.8
	2	27.87	28.15	28.01	26.91	26.61	26.76	16.40	16.09	16.25	1.0	0.0	0.5
	4	24.44	25.74	25.09	29.70	28.93	29.32	19.54	18.57	19.06	0.1	-2.1	-1.0
	6										-0.5	-1.0	-0.75
10C (Jul. 28)	0	28.9	29.0	28.95	26.55	24.80	25.68	15.80	14.46	15.13	3.1	0.6	1.85
	2	28.43	28.43	28.43	26.56	26.37	26.47	15.96	15.82	15.89	9.8	5.4	7.6
	4	23.54	24.72	24.13	30.36	29.78	30.07	20.30	19.51	19.91	-6.6	0.0	-3.3
	6										0.1	3.0	1.55

(continue)

Station (Date)	Depth (m)	Temperature (°C)			Salinity (‰)			Sigma-T			Long. current speed (cm/sec)		
		Ebb	Flood	Average	Ebb	Flood	Average	Ebb	Flood	Average	Ebb	Flood	Average
14A (Sept. 26)	0	21.83	22.33	22.08	25.09	26.38	25.74	16.79	17.63	17.21	-24.92	-13.76	-19.34
	4	21.79	21.94	21.87	27.90	28.01	27.96	18.92	18.97	18.85	8.73	-11.1	-1.19
	8										9.22	-15.27	-3.03
	12										15.13	13.63	14.38
	14	19.88	19.19	19.54	30.36	30.44	30.40	21.28	21.52	21.40			
	16										5.12	-15.83	-5.36
	20										12.78	-18.83	-3.03
24	18.18	18.25	18.22	31.48	31.41	31.45	22.56	22.49	22.53	7.35	-14.67	-3.66	
14C (Sept. 26)	0	21.62	22.32	21.97	23.66	24.90	24.28	15.77	16.52	16.15	-12.65	-24.82	-18.74
	4	21.79	21.85	21.82	27.96	27.91	27.94	18.97	18.91	18.94	27.6	-18.37	4.62
	8										25.15	-13.43	5.86
	12										15.65	-14.83	4.1
	14	19.33	19.95	19.64	30.57	30.20	30.39	21.58	21.14	21.36			
	16										8.07	-18.87	-5.40
	20										7.85	-19.38	-5.77
24	18.00	18.24	18.12	31.60	31.44	31.52	22.70	22.52	22.61	-1.85	-16.15	-9.00	
15A (Sept. 26)	0	21.70	22.13	21.92	27.61	26.81	27.21	18.74	18.01	18.38	7.5	0.1	3.8
	2	21.63	21.93	21.78	27.77	27.83	27.80	18.87	18.84	18.86	3.8	-0.5	1.7
	4	21.55	21.70	21.63	28.12	28.31	28.22	19.16	19.26	19.21	5.3	-2.3	1.5
	6	21.20	21.38	21.29	28.75	28.93	28.84	19.73	19.82	19.78	7.7	-10.5	-1.4
	8	20.63	20.75	20.69	29.57	29.60	29.59	20.49	20.49	20.49	14.8	-8.2	3.3
	10	20.20	20.33	20.27	30.08	30.01	30.04	21.00	20.90	20.95	11.8	-9.6	1.1
	12	19.47	20.06	19.77	30.52	30.33	30.43	21.52	21.21	21.36	11.4	-10.6	0.4
	14	19.12	19.83	19.48	30.69	30.44	30.57	21.74	21.36	21.55	7.8	-9.5	-0.8
	16	18.83	19.47	19.15	30.83	30.67	30.75	21.91	21.63	21.77	9	-11.4	-1.2
	18	18.67	19.29	19.98	30.96	30.78	30.87	22.05	21.77	21.90	10.6	-10.6	0
	20	18.39	18.77	18.58	31.13	31.21	31.17	22.25	21.21	22.23	10.9	-7.32	1.79
	22	18.23	18.43	18.33	31.27	31.44	31.36	22.39	22.47	22.43	9	-3.02	3.0
24	18.09	18.22	18.16	31.39	31.54	31.47	22.52	22.60	22.56	6.5	-3.8	1.4	
15C (Sept. 26)	0	21.77	22.30	22.03	28.24	28.11	28.18	19.19	18.96	19.07	19.7	-0.9	9.4
	2	21.65	21.80	21.73	28.36	28.62	28.49	19.31	19.47	19.39	19.8	-0.3	9.5
	4	21.36	21.45	21.41	28.63	28.96	28.79	19.60	19.81	19.71	18.7	1.6	10.1
	6	21.19	20.99	21.09	28.92	29.35	29.13	19.86	20.23	20.04	16.0	0.1	8.0
	8	20.81	20.76	20.79	29.45	29.60	29.53	20.36	20.49	20.43	13.0	1.0	7.0

(continue)

Station (Date)	Depth (m)	Temperature(°C)			Salinity(‰)			Sigma-T			Long. current speed(cm/sec)		
		Ebb	Flood	Average	Ebb	Flood	Average	Ebb	Flood	Average	Ebb	Flood	Average
15C (Sept. 26)	10	20.31	20.32	20.32	29.89	30.01	29.95	20.82	20.91	20.86	17.1	5.4	11.3
	12	20.03	19.86	19.95	30.08	30.34	30.25	21.04	21.27	21.16	16.8	6.7	11.8
	14	19.87	19.50	19.68	30.23	30.63	30.43	21.19	21.60	21.39	17.6	4.3	11.0
	16	19.64	19.19	19.42	30.39	30.79	30.59	21.37	21.79	21.58	17.7	2.2	10.0
	18	19.17	18.79	18.98	30.67	31.13	30.90	21.70	21.15	21.92	17.1	1.5	9.3
	20	19.05	18.43	18.74	30.75	31.41	31.08	21.80	22.45	22.13	17.3	0.9	9.1
	22	18.66	18.03	18.35	30.95	31.63	31.29	22.04	22.70	22.37	13.9	4.4	11.2
	24	18.50						22.21			12.3		
16A (Sept. 24)	0	21.50	22.20	21.85	29.38	29.57	29.48	20.13	20.08	20.11	19.3	-42.9	-11.8
	4		21.28	21.28	29.16	30.01	29.59		20.66	20.66	11.8	-27.3	-7.8
	8										9.1	-26.4	-8.7
	12										21.1	-14.1	3.5
	16										15.7	-27.3	-5.8
	20		17.96	17.96	30.68	31.72	31.20		20.80	20.80	19.0	-29.9	-5.5
	24										10.6	-29.0	-9.2
	28										3.1	-20.3	-8.6
	32										2.9	-14.2	-5.7
	36		16.92	16.92		32.34	32.34		23.52	23.52	5.3	-6.8	-0.8
40										-11.3		-11.3	
16C (Sept. 24)	0		22.40	22.40	29.12	29.28	29.20		19.80	19.80	8.3	-57.6	-24.7
	4	21.71	21.77	21.74	29.37	29.55	29.46	20.06	20.18	20.12	45.0	-49.4	-2.2
	8										42.4	-47.6	-2.6
	12										38.4	-48.5	-5.1
	16										57.1	-36.2	10.5
	20	21.20	17.72	19.46	30.68	31.72	31.20	20.49	22.93	21.17	50.8	-26.3	12.3
	24										49.3	-26.1	11.6
	28										49.3	-26.5	11.4
	32										42.9	-34.4	4.3
36	18.86	16.34	17.60	32.50	32.64	32.57	23.18	23.88	23.53	48.4	-27.4	10.5	

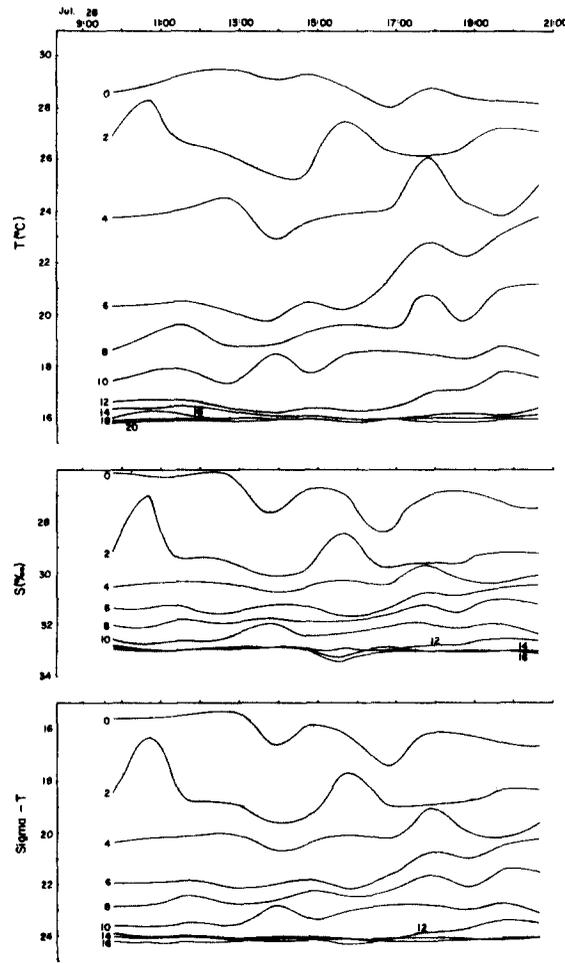
수밀도, 종축 방향의 유속 등의 연직 분포는 다음과 같다.

횡단면 1

水溫, 鹽分, 海水密度 : 各 水深別 水溫, 鹽分, 海水密度的 變化 양상은 Fig. 1-4에
서 보는 바와 같이 2~3시간 주기성을 띤 波形(wave)으로서 0~2 m 水深層에
서 불규칙한 變화를 나타내고 있으며 최대 變화폭은 수온이 3°C, 염분이 2.5‰,

σ_t 가 3 정도된다. 그러나 4 m 以深에서는 그 변화폭은 감소되어서 外部로부터의 영향 및 전단 유속(current shear)의 영향이 현저하게 감소된 것을 알 수 있다. 저조에서 고조로 진행됨에 따라서 표층의 염분과 밀도가 증가하고 있으며 4~8 m 수심의 염분, 밀도 등이 증가하다가 감소하는데 이것은 고조에 가까워지면서 下層에서 전류되어 창조류를 형성하면서 灣 內로 流入되는 해수의 영향 때문이다(Fig. I-4 d).

횡단면-1上에서 水温, 鹽分, 密度는 水平分布를 보이고 있다 하겠으나 (Fig. I-12 a), 각 정점별로 비교할 때, 0~6 m 수심에서 정점 1A가 정점 1C보다 높은



(a) Station 1A
 Fig. I-4a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 1A (Jul. 28, 1981).

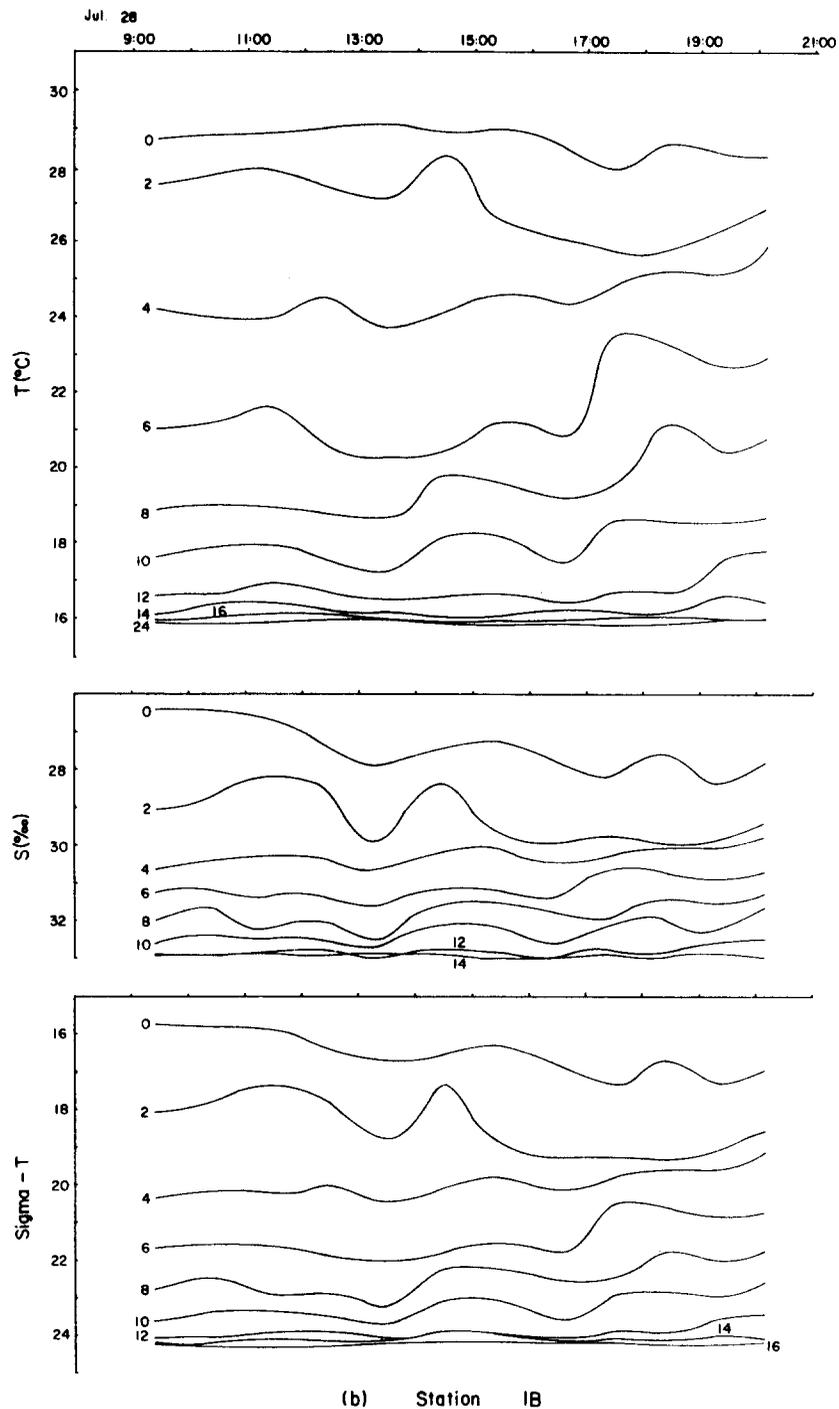


Fig. I-4b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 1B (Jul. 28, 1981).

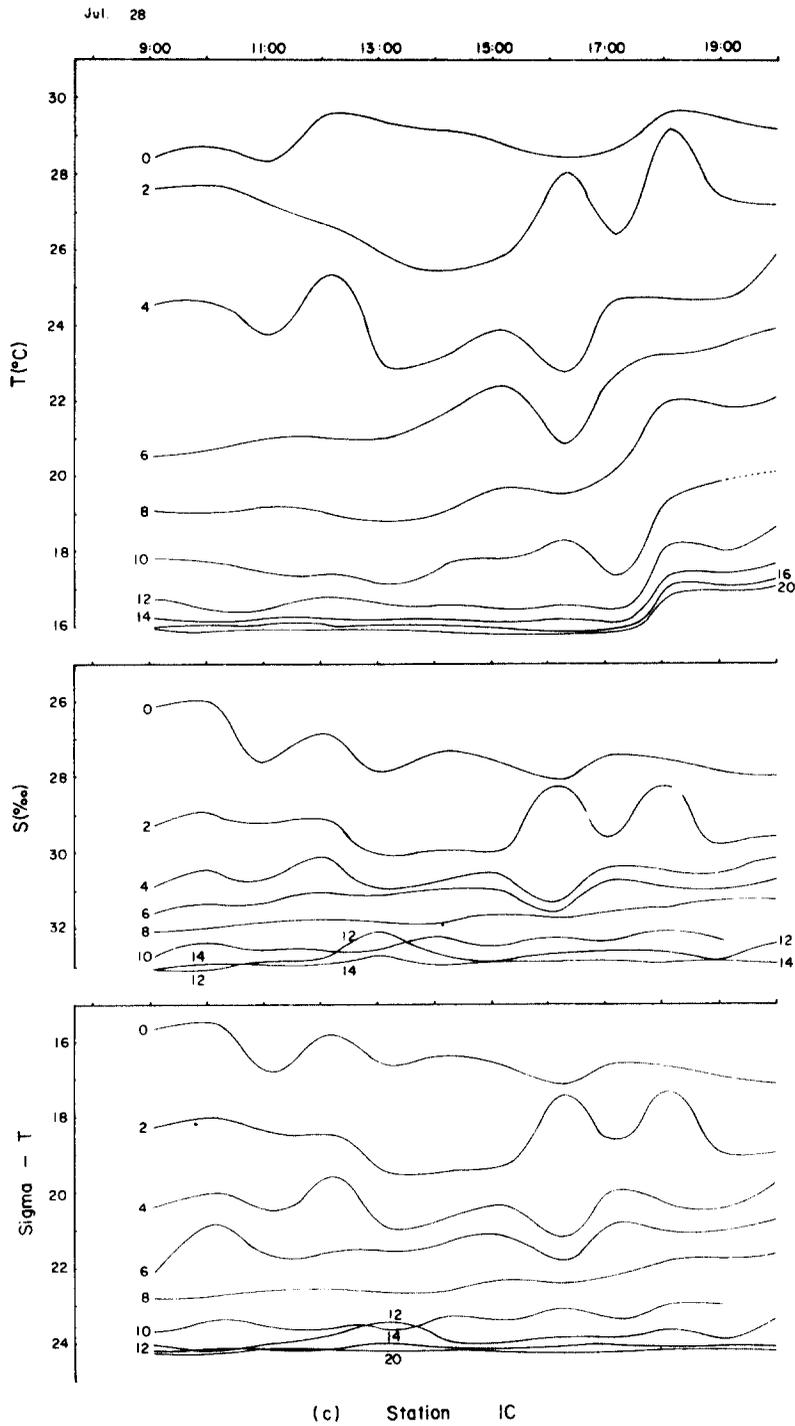
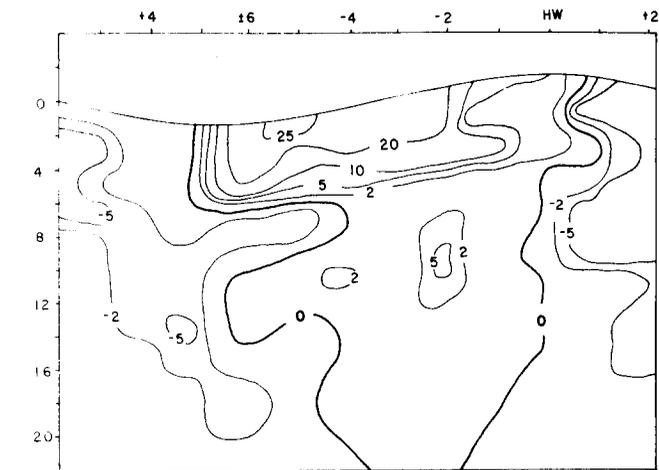
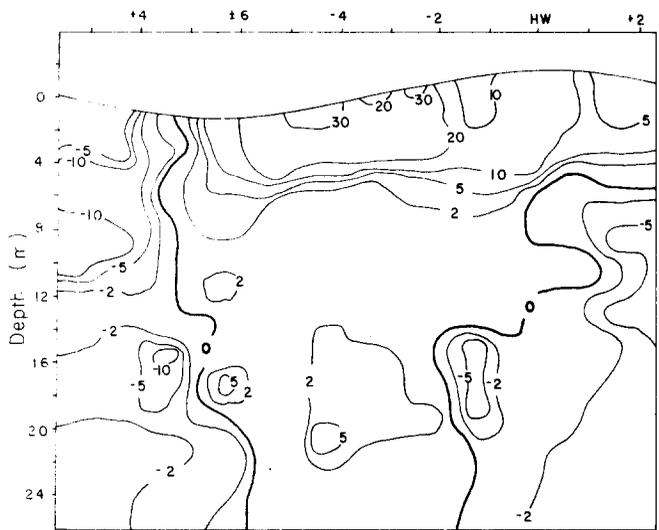


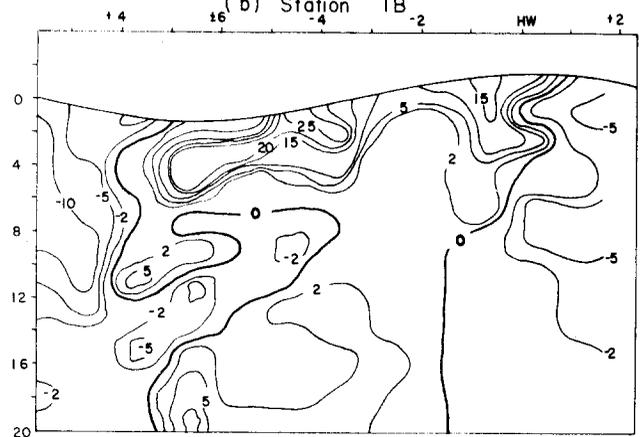
Fig. I-4c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 1C (Jul. 28, 1981).



(a) Station 1A



(b) Station 1B



(c) Station 1C

Fig. I-4d. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transect-1 (Jul. 28, 1981). Negative sign means outflow.

水溫, 낮은 鹽分 및 낮은 密度를 나타내고 있고 6 m 以深에서는 이와 반대 현상을 보인다(Fig. I-13 a,b,c).

고조와 저조시의 평균 수온, 염분, 밀도 등의 연직 변화의 폭은 수온이 下層의 15.9 °C에서 表層의 28.95 °C까지로 13.05 °C, 염분이 表層의 26.51 ‰에서 下層의 32.95 ‰로 6.44 ‰, σ_t 가 표층의 15.75에서 下層의 24.20까지로 8.45의 변화폭을 보이고 있으며 연직 방향에 대한 수온, 염분, 밀도 구배(gradient)는 4 ~ 6 m, 0 ~ 4 m 수심에서 큰 값을 가진다. 12 m 以深에서는 水溫, 鹽分, 密度는 거의 균일한 분포를 보이고 있다.

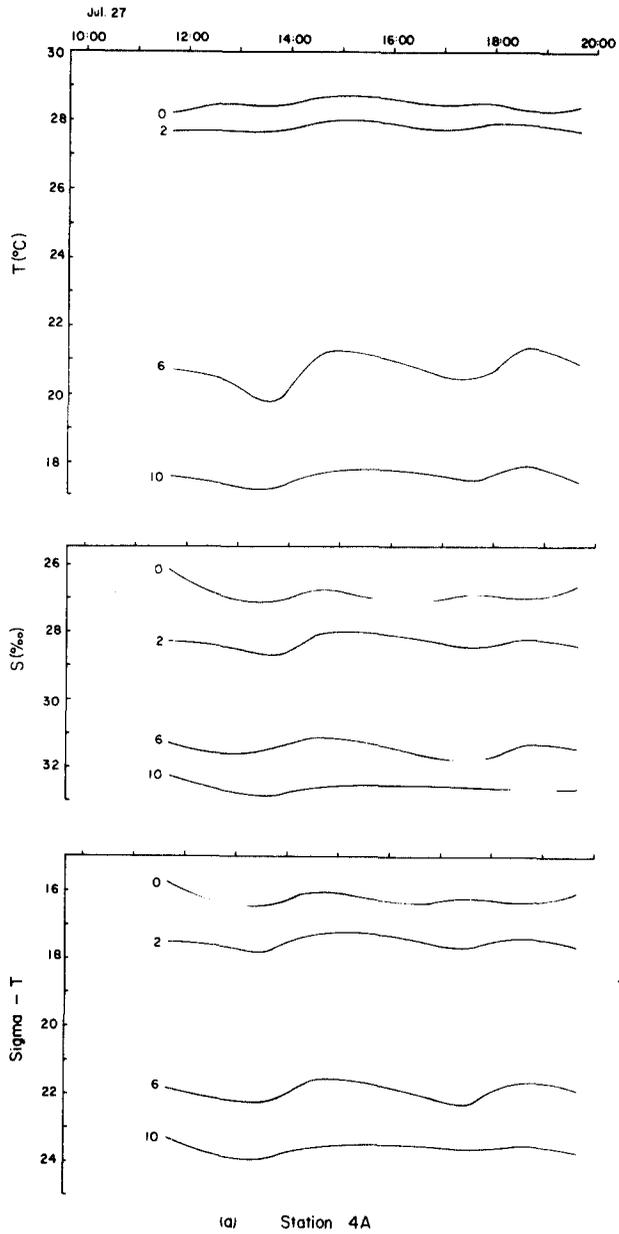
연직 유속 분포(Fig. I-13d) : 정점 1A에서 저조시에는 0 ~ 4 m 수심에서 창조류(최강 유속 24 cm/sec), 6 ~ 24 m에서 낙조류(6 m와 18 m에서 4 cm/sec)를 나타내었다. 고조시에 0 ~ 4 m에서 창조류(최강 유속 5 cm/sec)에 4 m ~ 24 m에서는 약한 낙조류를 보인다. 정점 1B에서 저조시에는 0 ~ 18 m 수심에서 창조류(최강 유속은 표층에서 19.4 cm/sec), 10 m, 16 m 수심에서는 각각 4.4 cm/sec, 5.4 cm/sec의 유속을 보이며 20 m에서는 낙조류로서 4.7 cm/sec의 유속을 보인다. 고조시에는 0 ~ 8 m 수심에서 창조류(최강 유속 15 cm/sec)를 보이며 8 m 以深에서는 유속은 0에 가깝다. 정점 1C에서 저조시에는 2 m 수심에서 최강 유속 22.4 cm/sec를 나타내고 표층, 2 m, 4 m, 8 m 수심층에서 교대로 창낙조류를 나타내고 있다. 정점 1A, 1B, 1C의 조석 평균 유속은 정점 1B에서 가장 강한 창조류(17.25 cm/sec)가 표층에서 관측되었으며 유속은 수심과 함께 점차 감소하여 20 m 以深에서 낙조류를 보인다. 정점 1C에서는 3층류를 나타내고 있으며, 0 ~ 6 m 수심에서 창조류(최강 유속 8.1 cm/sec), 6 ~ 12 m 수심에서 낙조류를 보이다가 12 m 以深에서 다시 창조류를 나타내고 있다. 정점 1A에서는 0 ~ 4 m에서 창조류, 6 ~ 12 m에서는 미약한 유속을 보이며 12 ~ 20 m 수심에서 낙조류를 나타내어 단면 전체로는 대체로 0 ~ 6 m의 수심에서 창조류가 우세하며 8 ~ 24 m까지의 수심에서는 정점별로 창낙조류의 양상이 多様하다.

水溫, 鹽分, 海水密度: 표층과 2 m, 6 m, 10 m 수심에서 관측된 수온, 염분 밀도의 시간적 변화가 Fig. I-5에 나타나 있다. 변화의 양상은 횡단면--1보다 단순한 편으로 0~6 m의 수심에서 주로 波形으로 나타나며 정점 4C가 가장 변화가 심한데 이런 현상은 조류의 시간에 따른 변화에 기인된다(Fig. I-5d). 변화의 폭은 수온의 경우 표층이 최대로 3.5°C이며 10 m 수심에서는 1.5°C 미만으로 감소되고 염분의 경우는 2‰ 이하이며 밀도의 변화는 염분의 변화와 유사한 양상을 띠고 있다. 횡단면 상에서 고조시와 저조시의 평균치는 수평 분포를 보이고 있으며 (Fig. I-12b) 연직 방향의 수온과 밀도의 구배는 2~6 m 수심에서, 염분 구배는 0~2 m 수심에서 현저하다. 표층과 하층간의 연직 변화를 보면 수온은 표층에서 28.40°C, 10 m 수심에서 17.39°C로서 11.01°C, 염분은 표층이 26.21‰, 10 m 수심이 32.73‰로서 6.52‰, σ_t 는 표층이 15.72, 10 m 수심이 23.56으로서 7.84이다.

고조시와 저조시의 평균치를 정점별로 비교하여 보면 (Fig. I-14) 수온의 경우 정점 4C가 가장 높고 4B가 가장 낮으며 4A는 4B와 4C의 중간치를 나타내며, 염분의 경우 정점 4A가 전 수심에 걸쳐서 4C보다 낮으며 표층과 10 m 수심에서 4B가 최저, 2 m 수심에서 최고치를 보이고 있다. 밀도는 표층에서 정점 4B가 제일 낮고 4A와 4C가 높게 나타나고 있으며 2 m 수심에서는 4A, 4C, 4B의 순서로 증가하며 10 m 수심에서는 4C가 제일 높고 4A와 4B가 같은 값을 보인다. 이러한 변화 양상은 주로 낙조류와 창조류의 연직 변화에 기인된다(Fig. I-14 d).

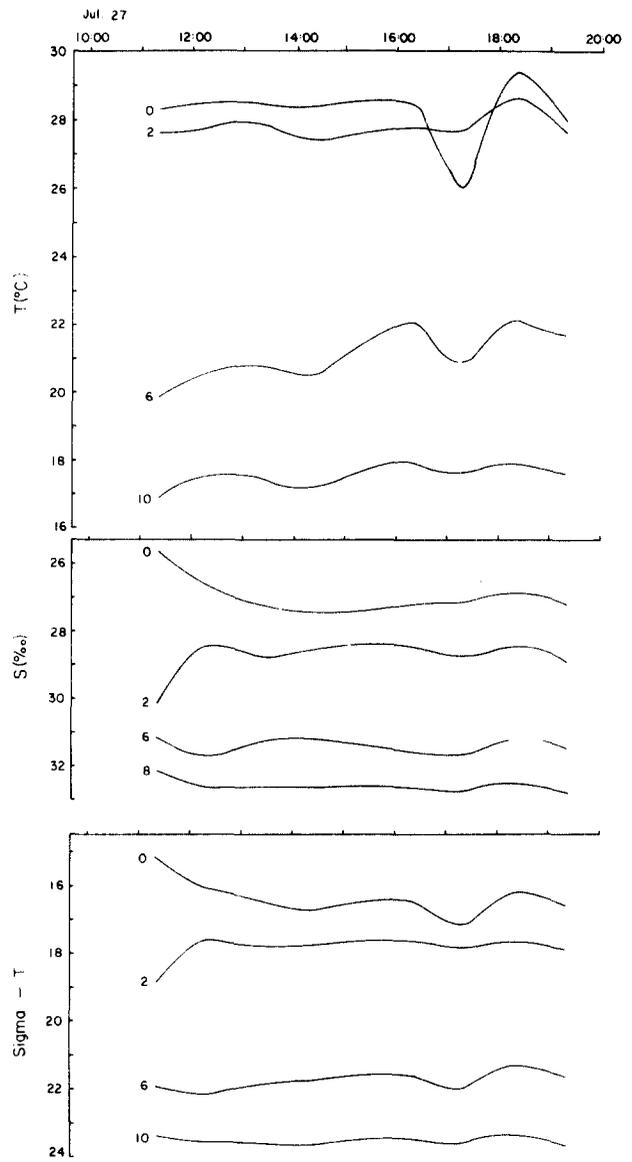
연직 유속 분포: 정점 4A, 4B, 4C는 고조 및 저조시의 유속 분포 양상이 서로 다르다. 정점 4A에서 저조시에 표층이 20 cm/sec 크기의 창조류를 나타내는 반면 2 m 以深에서는 5 cm/sec 이상의 낙조류를 형성한다.

고조시에는 유속은 감소되어서 최대값이 5 cm/sec 미만으로서 0~4 m, 8 m~12 m 수심에서는 창조류, 6 m 수심 부근에서는 낙조류를 보여 3층류를 형성한다. 정점



(a) Station 4A

Fig. I-5a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 4A (Jul. 27, 1981).



(b) Station 4B

Fig. I-5b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 4B (Jul. 27, 1981).

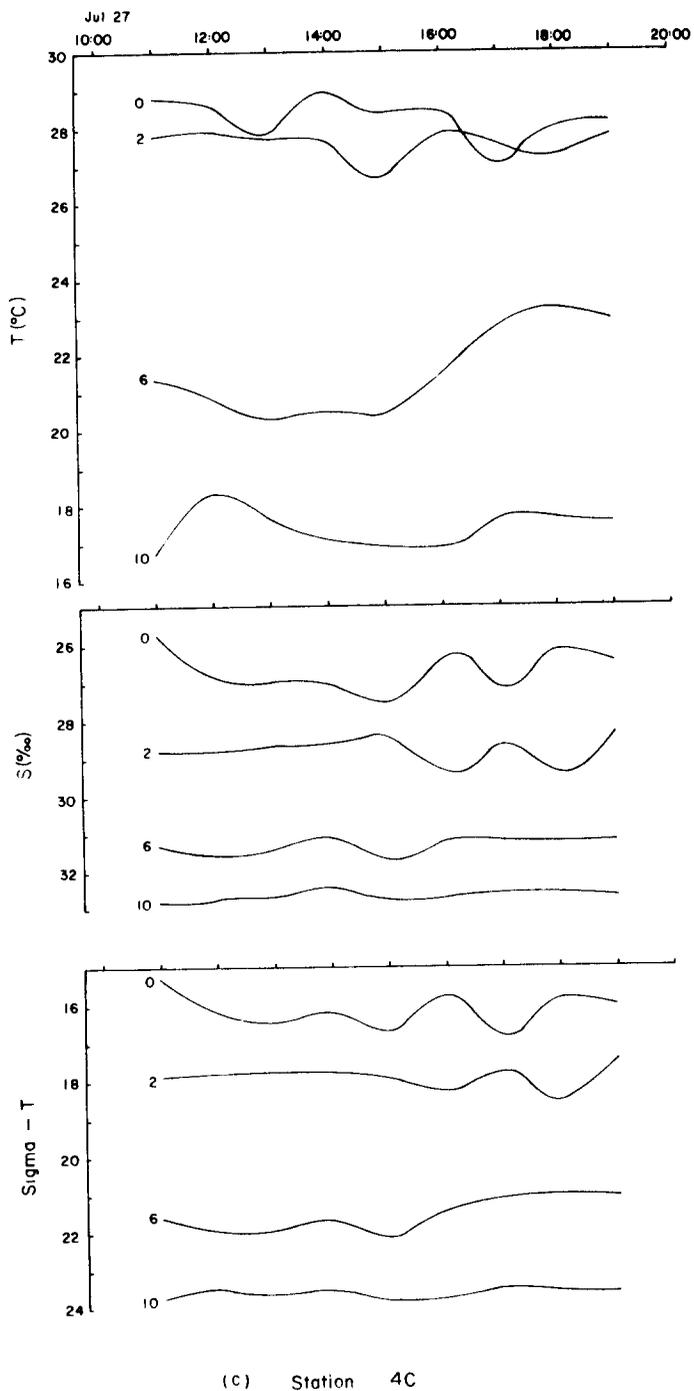


Fig. I-5c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 4C (Jul. 27, 1981).

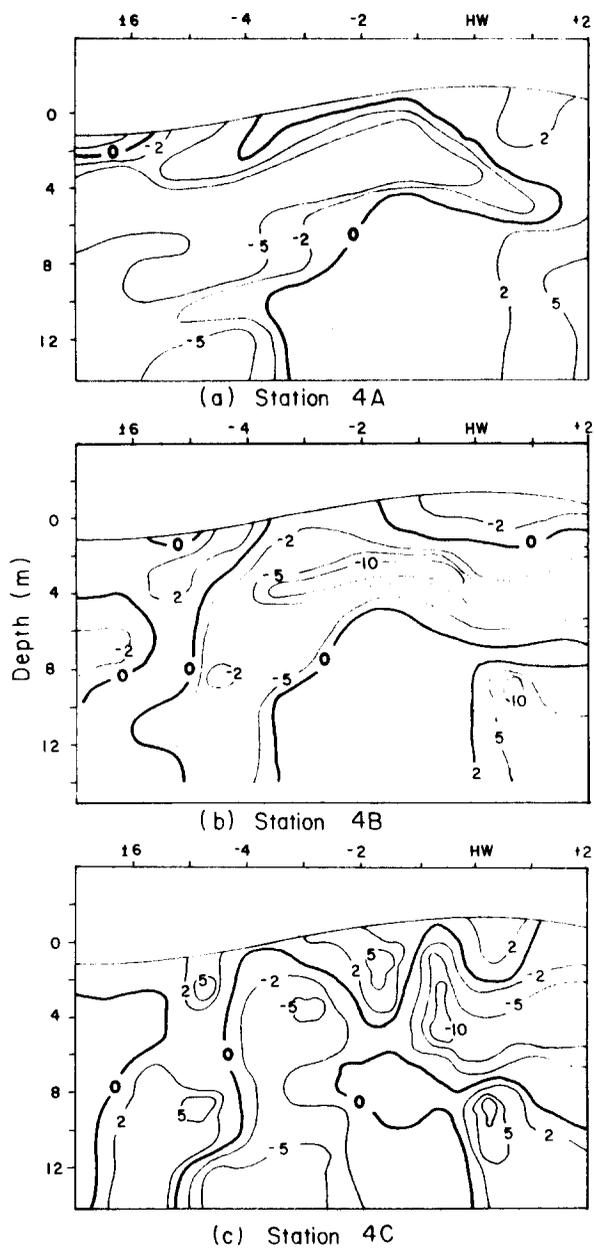


Fig. I-5d. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-4 (Jul. 27, 1981). Negative sign means outflow.

4B는 고조시와 저조시의 양상이 같으며 0~4 m, 8~12 m 수심의 창조류와 4~6 m 수심의 낙조류로서 형성된 3층류를 형성하며 고조시의 유속이 저조시보다 크게 나타나고 있다. 즉 창조류는 표층이 4.5 cm/sec, 10 m 수심이 11 cm/sec, 낙조류는 6 m 수심이 9.5 cm/sec이다.

정점 4C는 저조시 0~4 m 수심에서는 미약한 흐름을 보이거나 4~12 m 수심에서 역시 뚜렷한 낙조류를 보이며 (6 cm/sec) 고조시에는 2~8 m 수심에서 역시 뚜렷한 낙조류를 보인다 (최강 유속 10 cm/sec).

조석 평균 유속의 분포는 0~2 m 수심에서 정점 4A, 4B, 4C의 순으로 감소되는 창조류를 보이며 주로 2~8 m 수심에서 나타나는 낙조류는 정점 4B, 4C, 4A의 순으로 최강 유속이 감소되고 있다. 그리고 8 m 以深에서는 다시 창조류가 나타나고 있는데 정점 4B, 4C의 유속은 최강 유속이 5 cm/sec 전후가 되나 정점 4A의 유속은 미약하다(0.5 cm/sec이하).

횡단면 - 6

수온, 염분, 해수 밀도 : 표층과 2 m, 8 m, 14 m 수심에서 관측된 수온, 염분, 밀도의 시간적 변화는 Fig. 1-6에 나타난 바와 같다. 변화의 폭은 0~2 m 수심에서 크게 나타나며 수온이 3~4°C, 염분이 2‰, σ_t 가 3.5의 폭으로서 창조류와 낙조류의 영향이 주원인이 된다(Fig. 1-6d). 횡단면 상에서 볼 때 고조시와 저조시의 평균 관측치는 수평 분포를 보이고 있으나 (Fig. 1-12C) 정점별로 비교하여 보면 (Fig. 1-15) 정점 6A가 정점 6C보다 수온, 염분, 밀도의 구배가 크게 나타난다. 상하층의 연직 변화를 보면 수온은 2 m 수심에서 27.35°C, 14 m 수심에서 16.15°C로서 11.2°C, 염분은 표층이 25.87‰, 14 m 수심이 32.88‰로서 7.01‰, σ_t 는 2 m 수심에서 17.54, 14 m 수심에서 24.11로서 6.6의 변화를 보인다.

연직 유속 분포 : 정점 6A는 고조시에 2 m 수심에서는 창조류, 4~14 m 수심에서는 낙조류를 보이고 있으며 (최강 유속 17.5 cm/sec) 고조시에는 저조시보다 유속이 약간 작으나 2~8 m 水深에서는 저조시와 비슷한 분포 양상을 나타내고 8 m 以

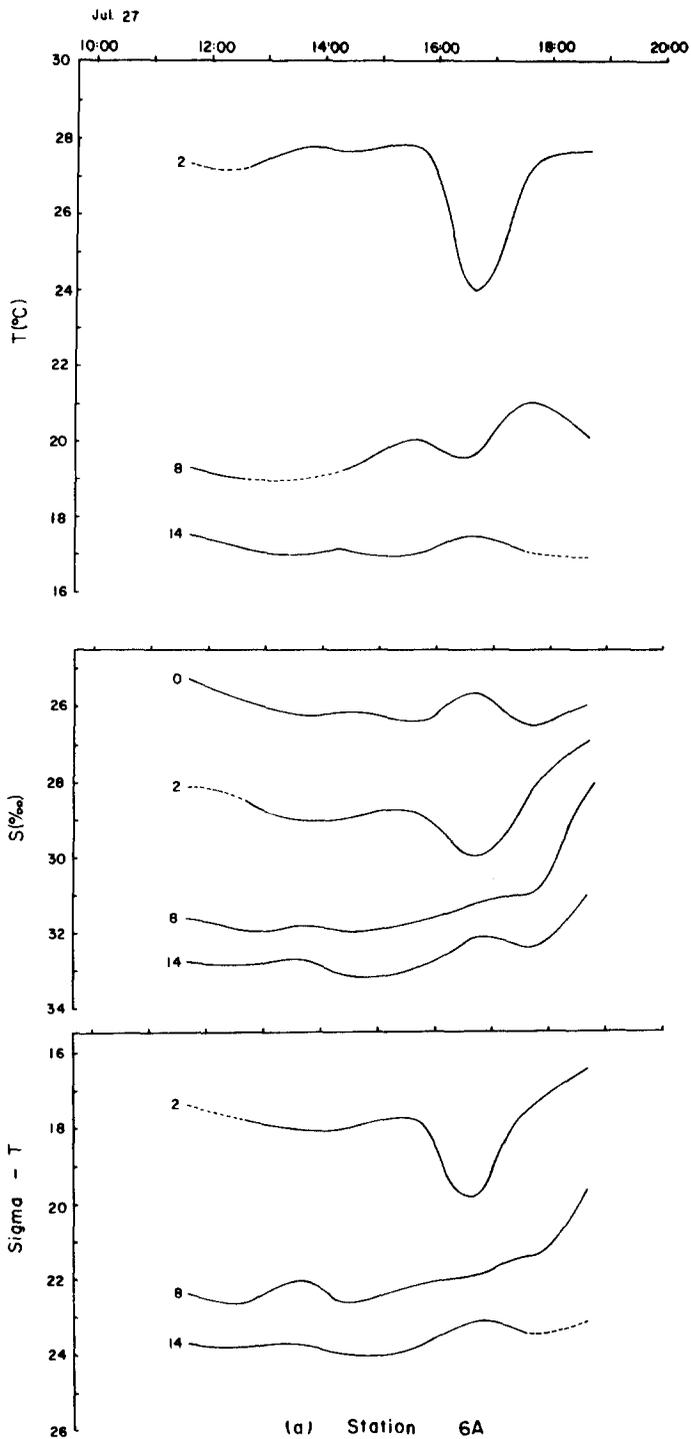


Fig. I-6a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 6A (Jul. 27, 1981).

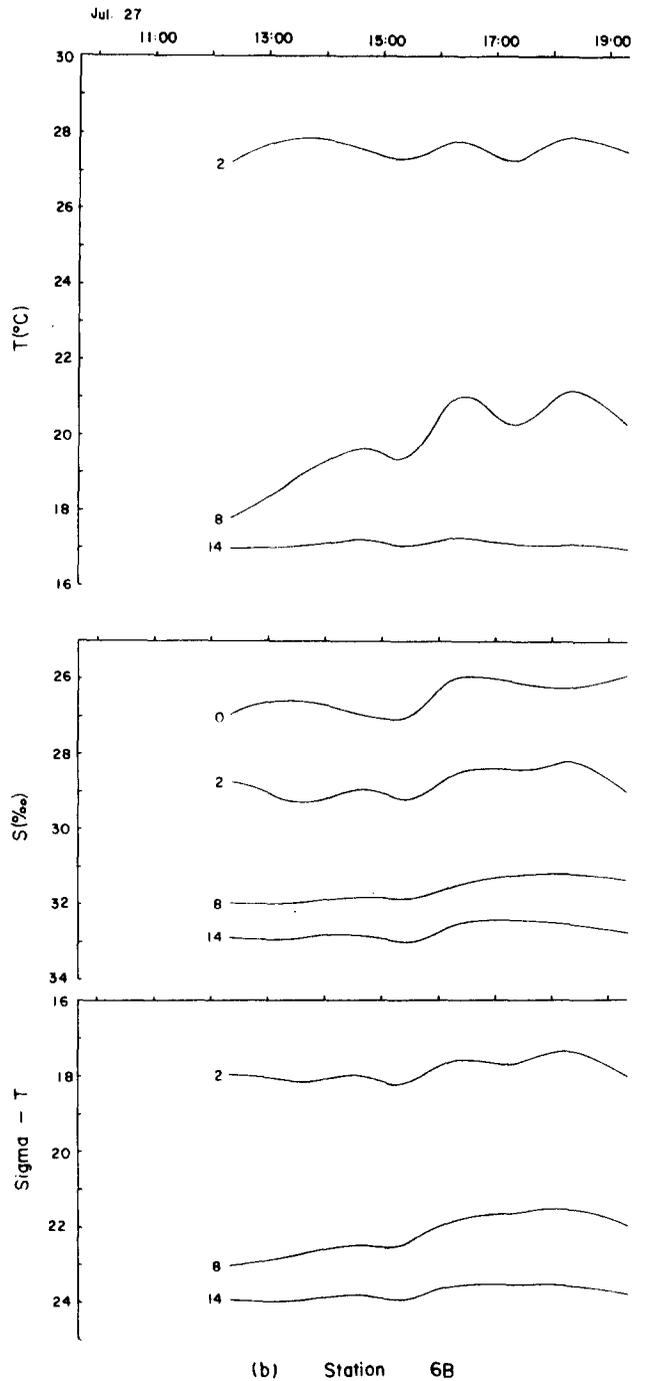


Fig. I-6b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 6B (Jul. 27, 1981).

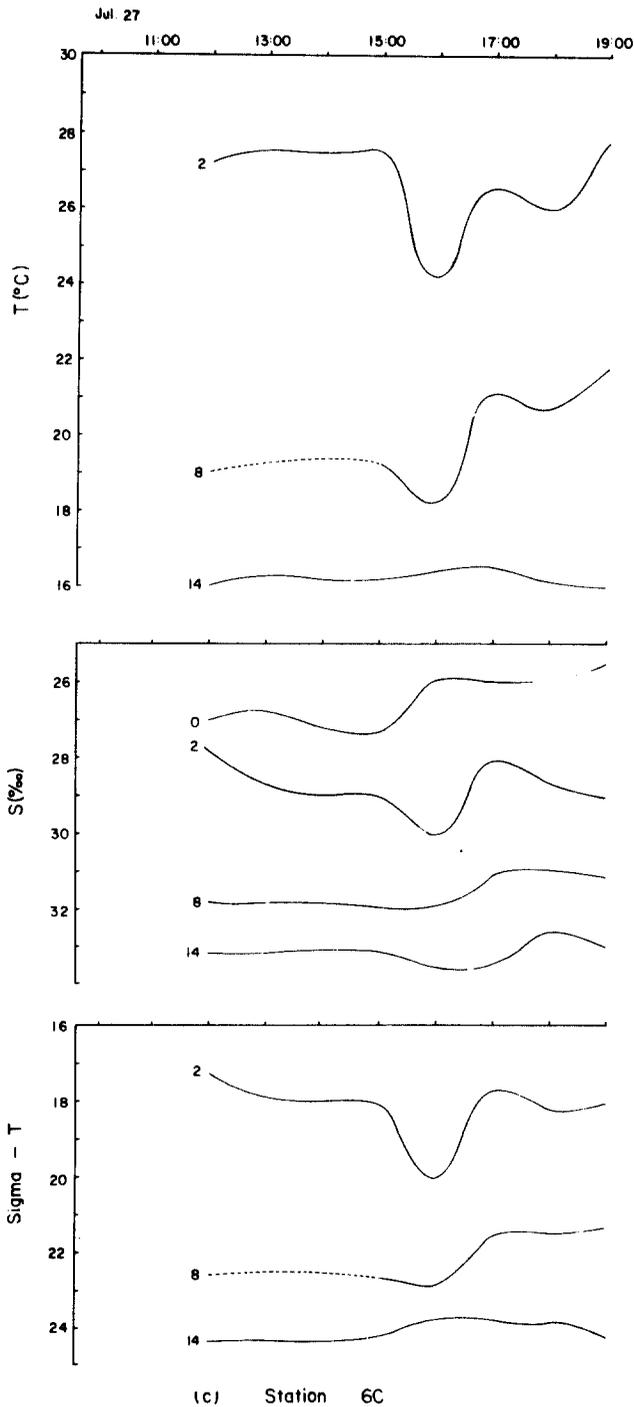


Fig. I-6c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 6C (Jul. 27, 1981).

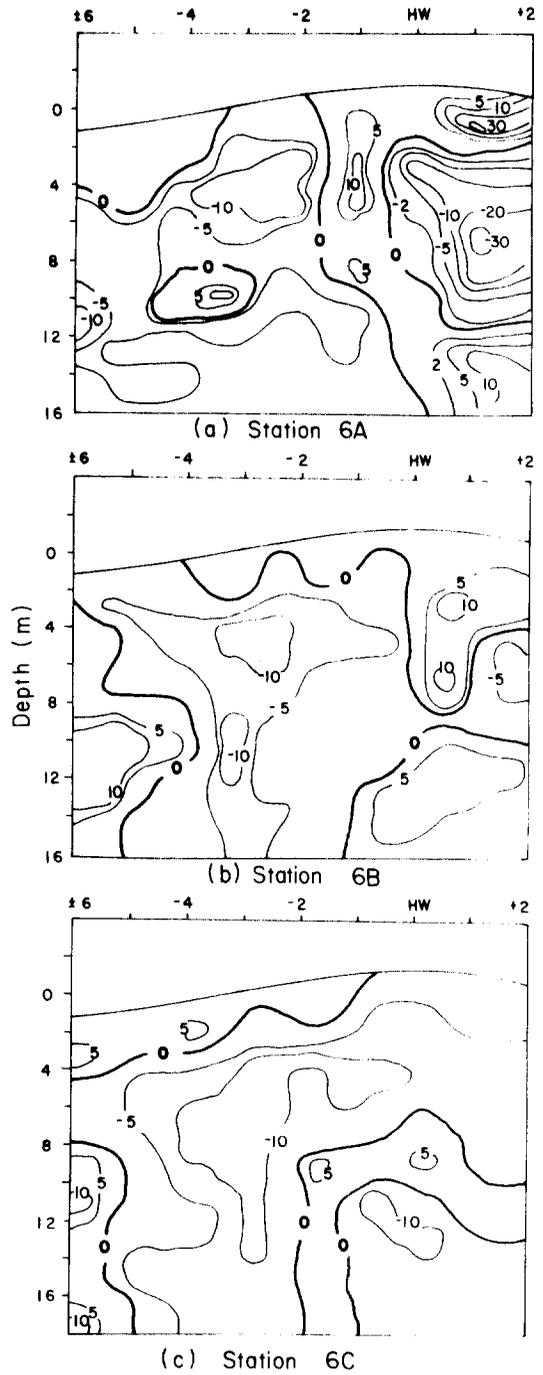


Fig. I-6d. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-6 (Jul. 27, 1981). Negative sign means outflow.

深에서는 낙조류가 창조류로 바뀌어서 12 m 수심에서 2 cm / sec의 유속을 나타낸다.

정점 6B는 2 m 수심에서 저조, 고조시 모두 낙조류, 14 m 수심에서 창조류를 나타낸다. 고조시에 12 m 수심까지는 낙조류, 12 m 以深에서는 창조류를 보이며 저조시에 8 m 以深에서 창조류 (최강 유속 18 cm / sec)를 나타내고 있다.

정점 6C는 저조시에 4~6 m 수심에서 낙조류, 고조시에 8~12 m 수심에서 창조류를 나타내고 있으며 연직 유속 변화는 저조와 고조시의 양상이 서로 유사하다.

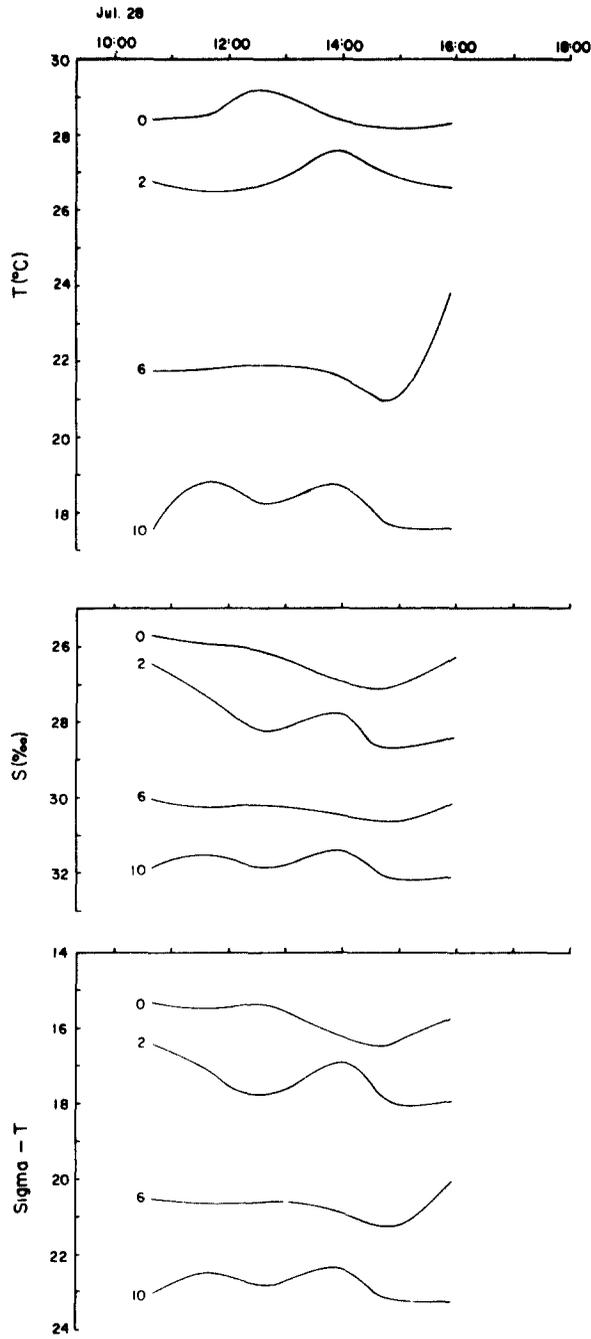
각 정점의 조석 주기 동안의 평균을 취할 때에 0~6 m 수심에서는 낙조류, 8~14 m 수심에서는 창조류를 보인다.

횡단면 - 7

수온, 염분, 해수 밀도 : 저조를 전후로 6 시간 동안 관측된 시계열 자료는 Fig. 1-7에 나타난 바와 같다. 급격한 변화는 정점 7A에서는 14시 경에, 정점 7B에서는 12시 경에, 정점 7C에서는 11시경에 나타나는데 이러한 변화는 창조류와 낙조류의 시간적 변화 때문이며 (Fig. 1-7 d) 변화의 폭은 2 m 수심에서 수온, 염분, σ_t 가 각각 3°C, 2‰, 2.5의 크기를 나타내고 있다.

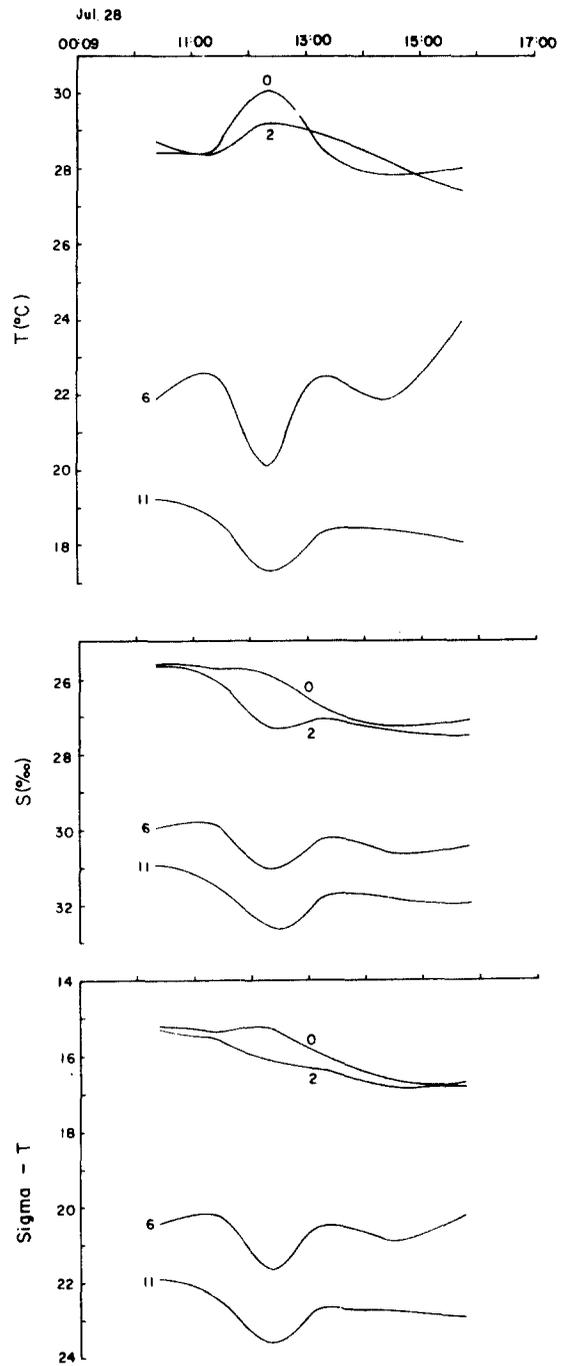
HW + 4시와 HW - 3시의 평균 관측치의 횡단면상 변화는 수평 분포를 보이고 있으나 (Fig. 1-12 d) 정점별로 비교하여 보면 (Fig. 16) 수온은 2 m 수심을 제외한 전 수심에서 정점 7C가 7B보다 높은 값을 나타내며 2 m 以深에서는 정점 7A의 수온이 가장 낮다. 염분과 밀도는 같은 양상으로 변하고 있는데 정점 7C의 염분, 밀도가 0~2 m 수심에서 정점 7B보다 높으나 4 m 수심 부근에서 변하여 6~10 m 수심에서는 정점 7B가 높은 값을 나타내고 있으며 정점 7A의 염분 및 밀도는 표층에서 가장 낮고 저층에서 가장 높다. 연직 방향의 변화의 폭을 볼 때 수온은 표층에서 28.5°C, 10 m 수심에서 17.58°C로서 10.92°C, 염분은 표층에서 26‰, 10 m 수심에서 32.03‰로서 6.03‰, σ_t 는 표층에서 15.57, 10 m 수심에서 23.13으로 7.56의 크기를 나타내며 연직 방향의 수온, 염분, 밀도의 구배는 6~10 m, 2~6 m, 2~6 m에서 큰 값을 나타낸다.

연직 유속 변화 : 정점 7A에서는 저조시에 창조류 (최강 유속 14 cm / sec), 정점 7B와 7C에서는 고조시에 창조류 (최강 유속 15.5 cm / sec)를 나타내며 정점 7B



(a) Station 7A

Fig. I-7a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 7A (Jul. 28, 1981).



(b) Station 7B

Fig. I-7b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 7B (Jul. 28, 1981).

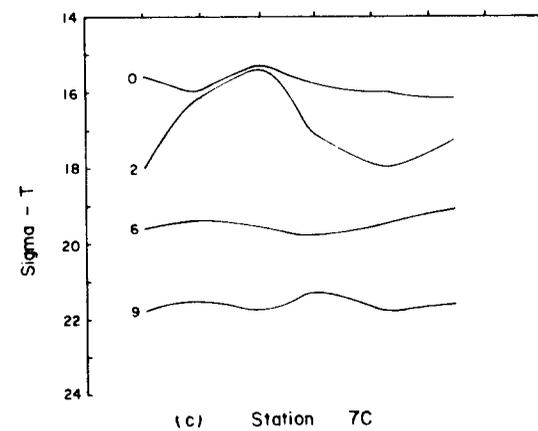
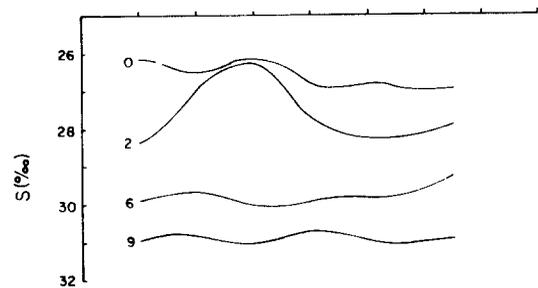
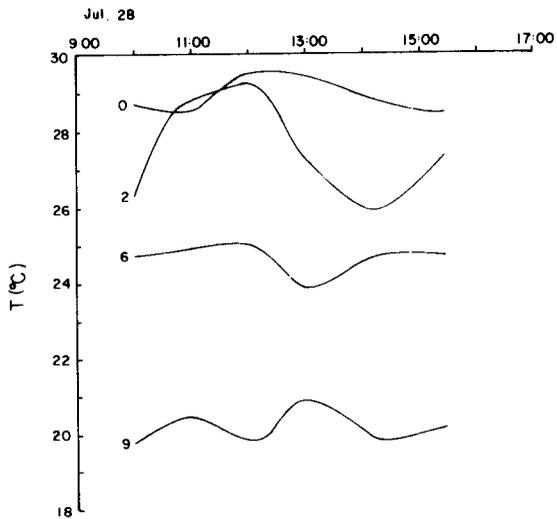
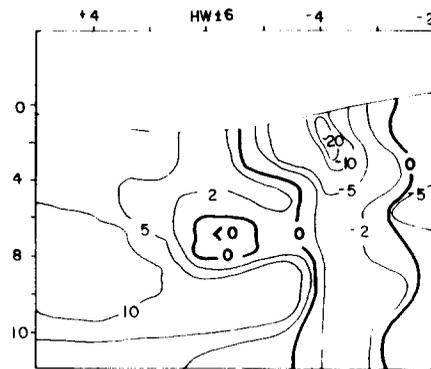
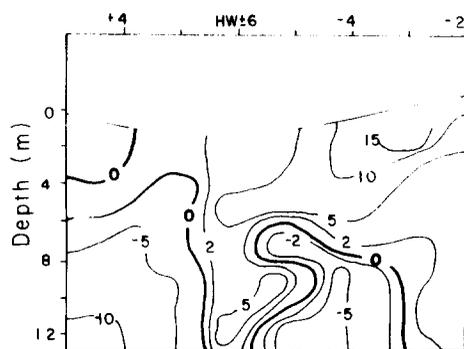


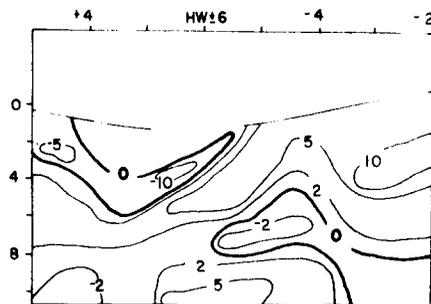
Fig. I-7c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 7C (Jul. 28, 1981).



(a) Station 7A



(b) Station 7B



(c) Station 7C

Fig. I-7d. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-10 (Jul. 28, 1981). Negative sign means outflow.

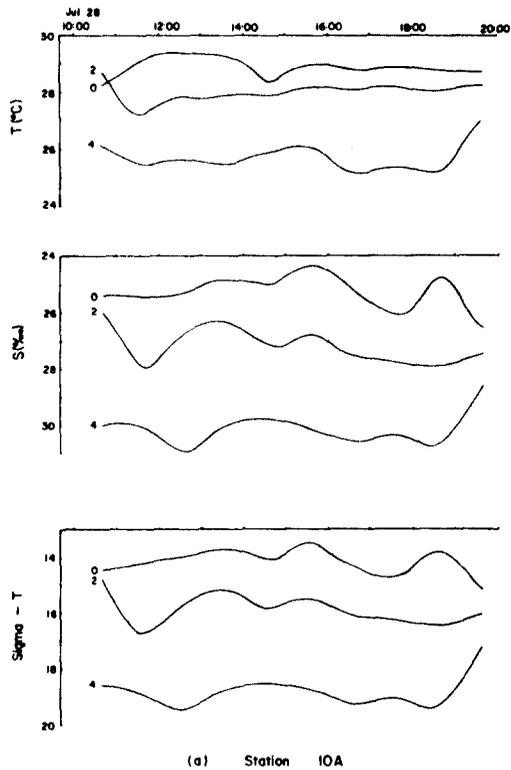


Fig. I-8a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 10A (Jul. 28, 1981).

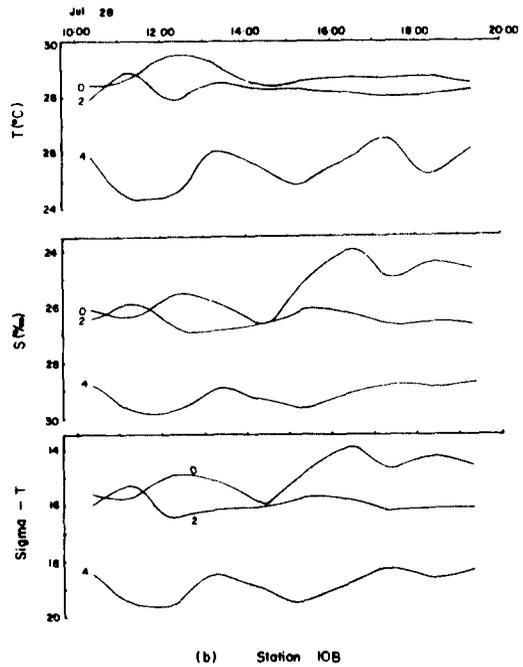


Fig. I-8b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 10B (Jul. 28, 1981).

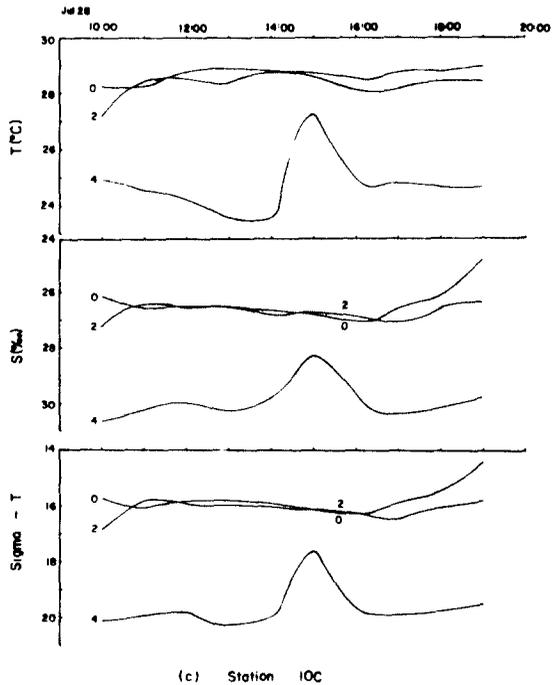


Fig. I-8c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 10C (Jul. 28, 1981).

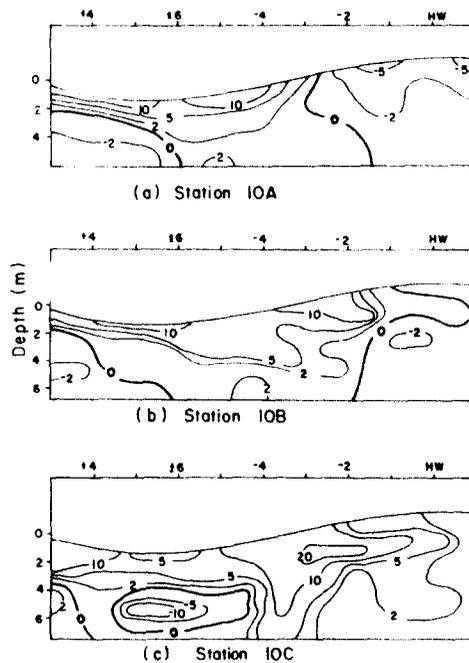


Fig. I-8d. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-10 (Jul. 28, 1981). Negative sign means outflow.

에서는 저조시에 4 m 수심에서 창조류가 나타날 뿐이며 7C에서는 4 m 수심에서만 낙조류를 형성한다. 정점 7A는 고조시에 2 m, 6 m, 12 m 수심에서는 창조류, 4 m, 10 m에서는 낙조류를 형성하고 있다.

유속의 조석 평균치는 2~4 m 수심에서는 정점 7C, 7B, 7A의 크기 순으로 창조류를 나타내나 (최강 유속 8.5 cm/sec) 6 m 以深에서는 정점 7A의 유속이 10 cm/sec 정도로 증대하는 반면 정점 7C의 창조류는 감소하기 시작하며 정점 7B에서는 이미 낙조류가 나타나기 시작하고 10 m 以深에서 정점 7A도 낙조류를 보인다.

횡단면 - 10

수온, 염분, 해수 밀도 : 수온, 염분, 해수 밀도의 시계열 자료는 Fig. I-8에 나타난 바와 같다. 불규칙한 波形的 양상이 0~4 m 수심에서 다수 관측되며 정점 10C에서 15시경에 수온이 4°C, 염분이 2‰, σ_t 가 3 변하는 현상이 관측되었는데 (Fig. I-8 c) 이것은 창낙조류의 급격한 전류의 영향에 기인한다 (Fig. I-8 d)

고조시와 저조시의 평균 관측치의 횡단면 상의 변화는 Fig. I-12 e에 나타난 바와 같이 수온, 염분, 해수 밀도 모두 수평 분포를 보이고 있으나 정점별로 비교하여 보면 표층과 4 m 수심에서 정점 10C가 정점 10A보다 낮은 수온, 높은 염분, 높은 밀도를 보이며 2 m 수심에서는 정점 10C의 수온이 10A보다 높다. 조석 평균치의 연직 변화폭을 볼 때 수온은 표층에서 29.15°C, 하층에서 24.13°C로 5.02°C, 염분은 표층이 24‰, 하층이 30.07‰로서 6.07‰, σ_t 는 표층이 13.84, 하층이 19.91로 6.11이 된다. 연직 방향의 수온, 염분, 밀도의 구배는 0~2 m 수심보다 2~4 m 수심에서 더 크게 나타난다.

연직 유속 분포 : 정점 10A와 10B의 유속 분포는 저조시와 고조시에 비교적 뚜렷한 양상을 나타낸다 (Fig. I-17 d). 즉 저조시 두 정점 모두 창조류를 보이며 (최강 유속은 10B의 15 cm/sec) 4 m 수심에서는 거의 0에 가깝고 고조시에는 반대로 두 정점 모두 약한 낙조류를 보인다 (최강 유속은 10A의 4.5 cm/sec). 한편 정점 10C의 유속 분포는 저조시에 0~2 m 수심에서 창조류 (최강 유속 10 cm/sec), 4 m 以深에서 낙조류 (최강 유속 6.6 cm/sec)를 형성하며 고조시에는 전 수심

에 걸쳐서 창조류를 보인다 (최강 유속은 2 m 수심에서 5 cm/sec).

조석 평균으로 볼 때 0~2 m 수심에서 정점 10 A, 10 B, 10 C 모두 창조류를 형성하며 (최강 유속은 10 C의 7.6 cm/sec) 4 m 以深에서 낙조류가 형성되나 정점 7 C는 6 m 수심에서 미약한 창조류를 나타낸다.

마산만 중앙 종단면

수온, 염분, 해수 밀도: 마산만의 중앙 종축을 따른 연직면 상의 수온, 염분 및 해수 밀도의 분포는 Fig. I-12f에 나타난 바와 같다. 마산 수출 자유지역 제 3부두로부터 마산만 입구로 나가면서 수온은 감소되고 염분과 밀도는 증가하고 있다. 제 3부두로부터 정점 7 B 사이에서는 0~2 m 수심에서 종축 방향의 수온, 염분 밀도 구배가 나타나나 2 m 以深에서는 거의 수평한 분포가 보인다. 그러나 정점 7B와 6B 사이에서는 종축 방향의 수온, 염분, 밀도 구배가 전 수심에 걸쳐서 나타나며 정점 1 B에서는 12 m 以深에서 수온, 염분, 밀도가 거의 균일하다.

횡단면-14

수온, 염분, 해수 밀도: 9월 26일에 표층, 4 m, 14 m, 24 m 수심에서 관측한 시계열 자료는 Fig. I-9에서 나타난 바와 같으며 수온, 염분, 밀도의 급격한 변화는 창낙조류의 전환 특성을 뚜렷하게 나타내 주고 있다. 즉 정점 14A의 표층~4 m 수심에서 발견되는 급격한 염분과 밀도의 감소, 증가 현상은 9시 (HW+4)와 14시 (HW-4) 경에 발생하는 창조류-낙조류 창조류의 전류 현상에 기인하며 같은 원인이 정점 14 C에서의 수온, 염분, 밀도 변화의 주 원인을 이룬다. 시계열 자료에서 발견되는 변화의 폭은 수온이 2°C, 염분이 3‰ 이상이 된다.

횡단면 상의 수온, 염분, 해수 밀도의 조석 평균치는 수평 분포를 보이고 있으나 (Fig. I-12 g), 각 정점별로 비교하여 보면 표층에서는 정점 14 C가 14 A보다 낮은 낮은 수온, 낮은 염분, 낮은 밀도를 보이며 하층 (24 m)에서는 낮은 수온, 높은 염분, 높은 밀도를 보이고 있고 4~14 m층에서는 미세한 차이를 나타내고 있다. 연직 방향의 수온의 구배는 4~14 m 수심에서, 염분 및 밀도구배는 0~4 m 수심에서 큰 값을 보인다 (Fig. I-18). 수온, 염분, σ_t 의 변화폭을 볼때 수온은 표층이 22.08

℃, 24 m 수심이 18.25℃로서 3.83℃, 염분은 표층이 24.28‰, 24 m 수심이 31.52‰로 7.24‰, σ_t 는 표층이 16.15, 24 m 수심이 22.61로서 6.46의 변화폭을 가진다.

전직 유속 분포: Fig. I-18d에서 보는 바와 같이 정점 14 A에서 평균 유속을 볼 때 낙조시에는 표층에서 25 cm/sec의 창조류를 보이거나 4 m 以深에서는 낙조류가 강하며 (최강 유속은 12 m 수심에서 16.5 cm/sec), 창조시에는 수심 12 m에서 나타나는 낙조류 (유속 13.6 cm/sec)를 제외하면 창조류가 우세하다 (최강 유속 18.8 cm/sec).

정점 14 C에서는 낙조시에 표층에서 유속 12.6 cm/sec의 창조류를 형성하며 24 m 수심에서 다시 미약한 창조류를 보이는 것을 제외하면 4~20 m 수심에서 강한 낙조류를 보인다 (최강 유속 27.6 cm/sec). 창조시에서는 전 수심에 걸쳐서 13 cm/sec 이상의 강한 창조류를 형성한다 (최강 유속은 표층의 24.8 cm/sec).

조석 평균 유속을 볼 때 수심 12 m 부근에서 낙조류가 존재하며 정점 14 A에서는 낙조류가 나타나는 수심은 4 m 까지 부상한다. 그 외 수심에서는 두 정점 모두 창조류가 우세하다 (최강 유속은 19 cm/sec 정도).

횡단면 15

수온, 염분, 해수 밀도: 9월 26일의 수온, 염분, 밀도의 시계열 관측 자료는 Fig. I-10에 나타난 바와 같다. 전 수심에 걸쳐서 波形的 변화가 매우 복잡하게 나타나 있으며 9시부터 14시까지 0~6 m 수심에서 수온이 증가하며 염분과 밀도가 급격히 감소하다가 14시 이후에 수온은 서서히 감소하며 염분과 밀도가 다시 증가하기 시작함을 볼 수 있다. 이것은 창조류-낙조류-창조류의 전류 현상이 그 주원인이 되고 있으나 (Fig. I-10 C) 이러한 전류의 영향이 10 m 以深에서는 크게 나타나지 않는다. 관측 기간 중 시계열 상의 수온의 변화폭은 3℃ 정도가 되며 염분과 σ_t 의 변화폭은 각각 3‰, 2.5 정도로 나타난다.

횡단면 상의 조석 평균 수온, 염분, 밀도의 변화는 Fig. I-12 h에 나타나 있는 바와 같이 0~8 m 수심에서는 정점 15 A가 15 C보다 낮은 염분과 밀도를 나타

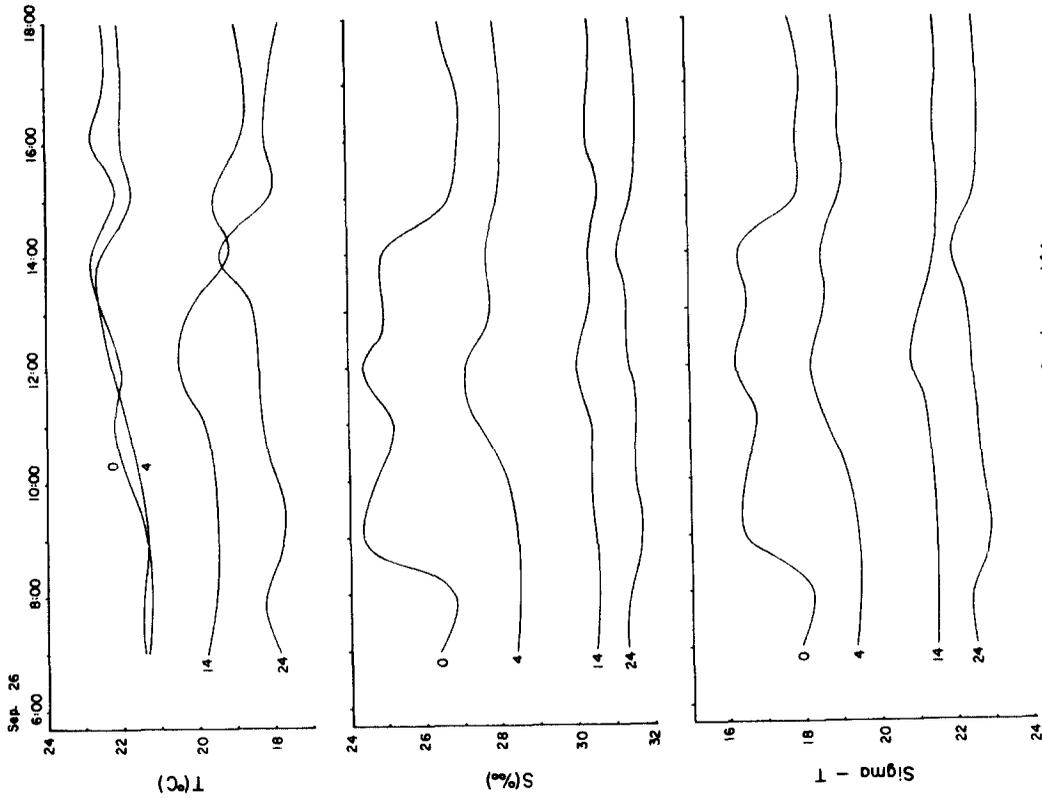
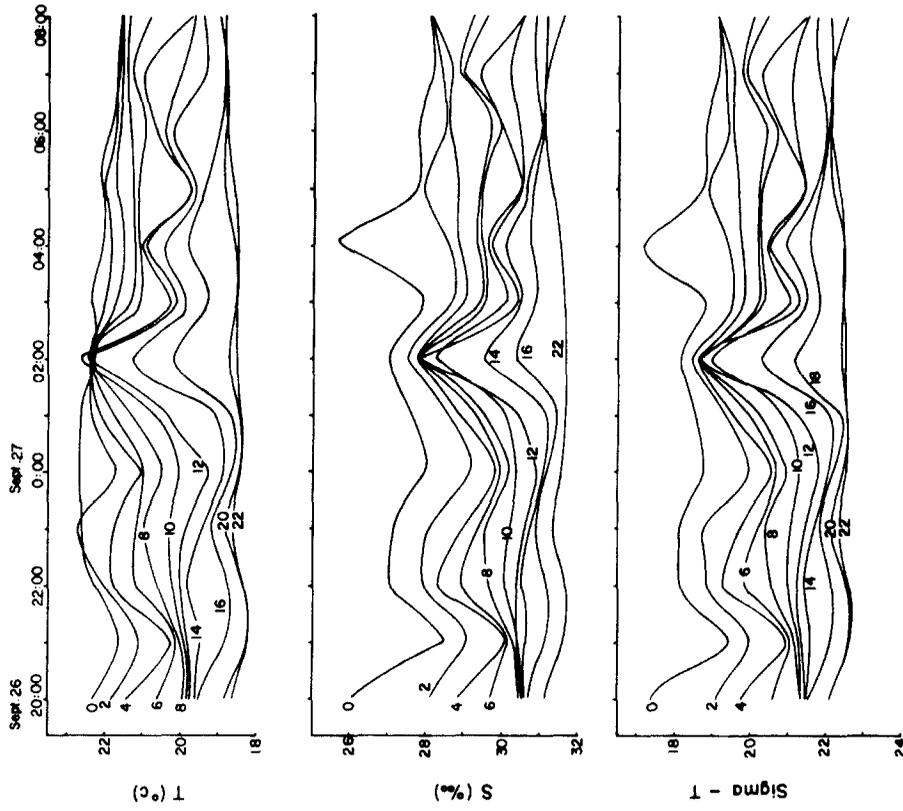


Fig. I-9a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 14A (Sept. 26, 1981).



(b) Station 14B

Fig. I-9b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 14B (Sept. 26, 1981).

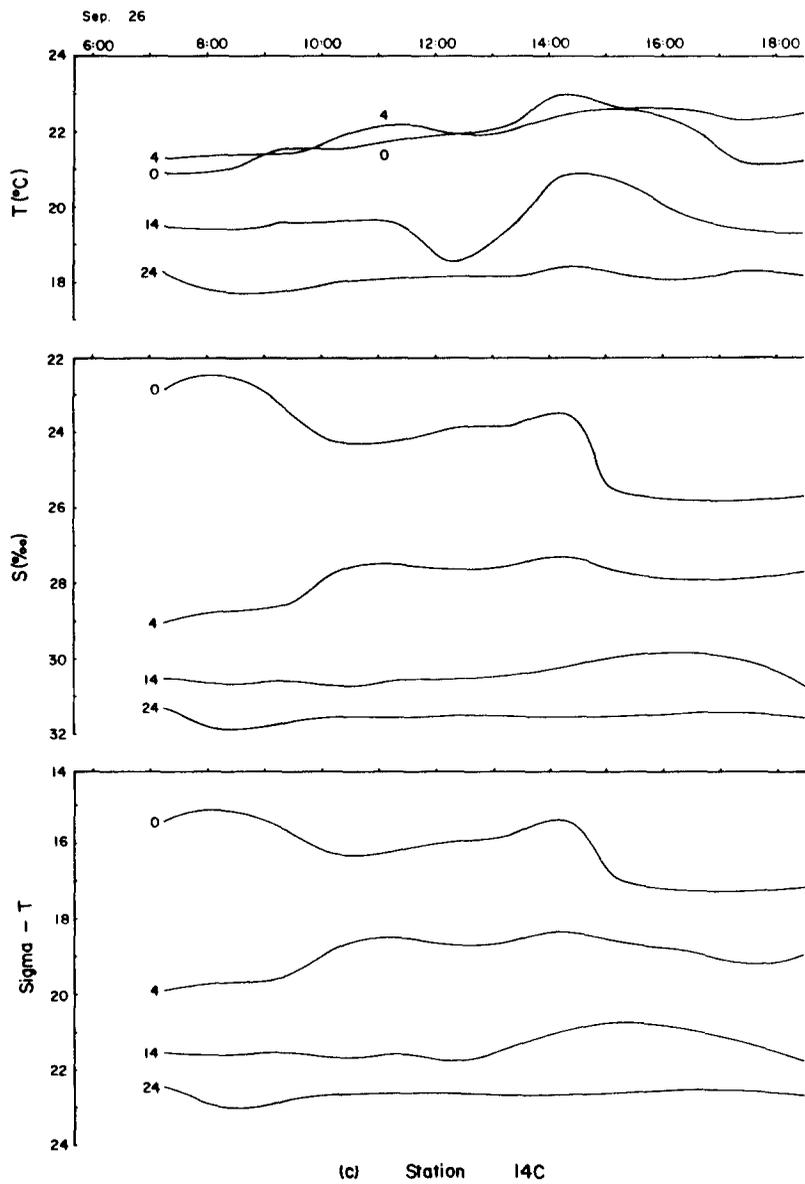
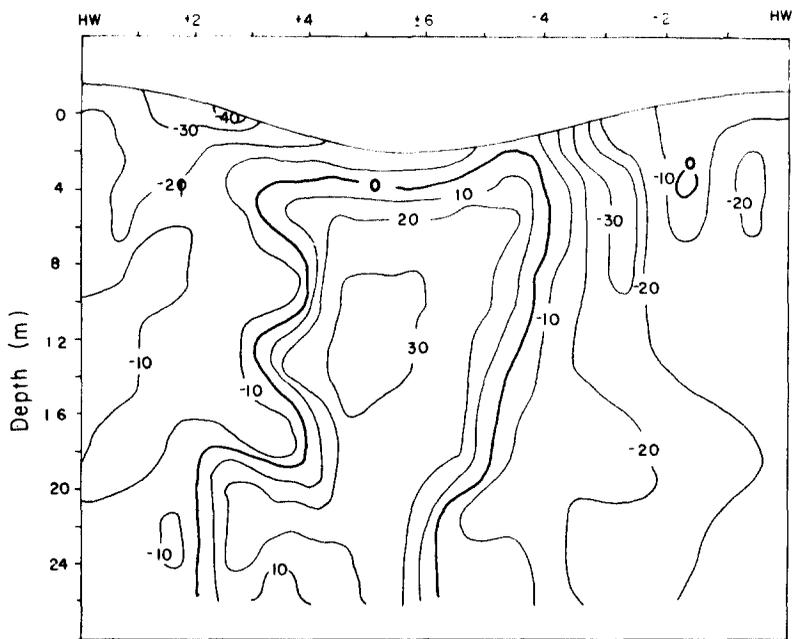
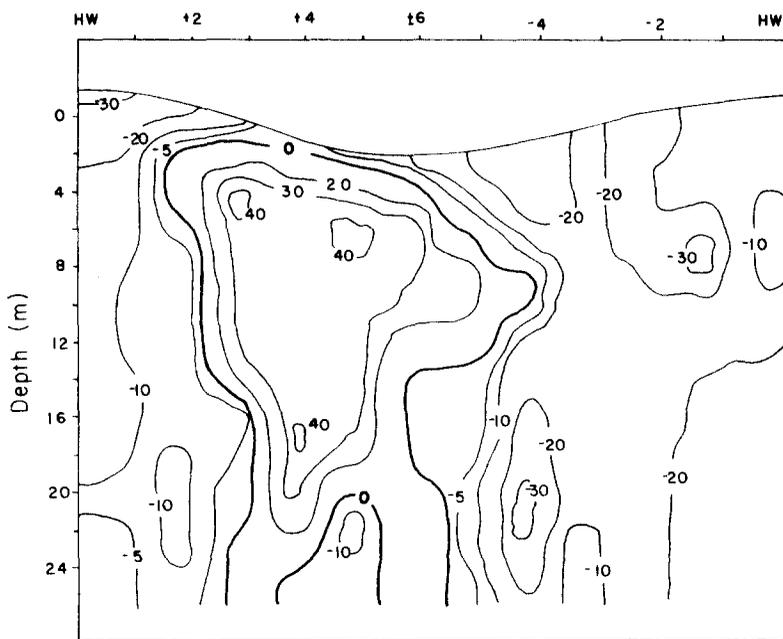


Fig. I-9c. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 14C (Sept. 26, 1981).

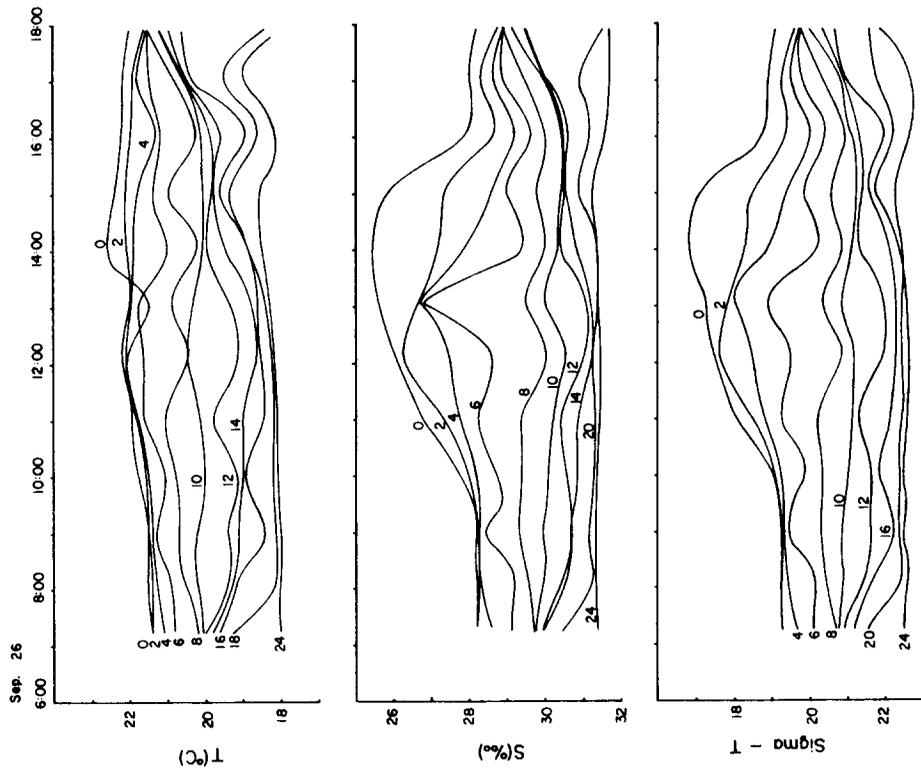


(a) Station 14A



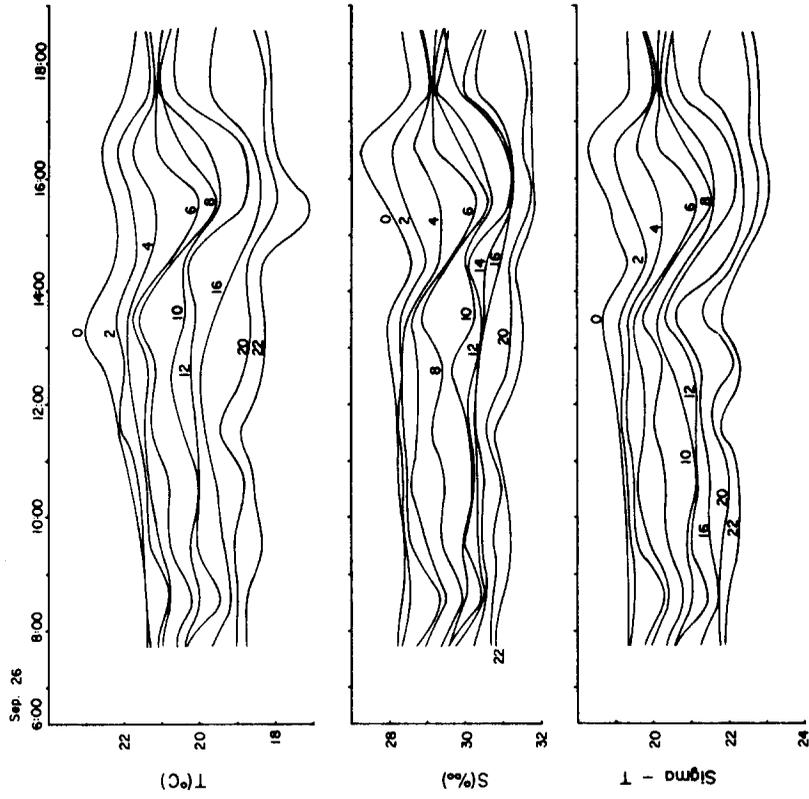
(b) Station 14C

Fig. I-9d. Temporal variation of longitudinal current variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-14 (Sept. 26, 1981). Negative sign means inflow.



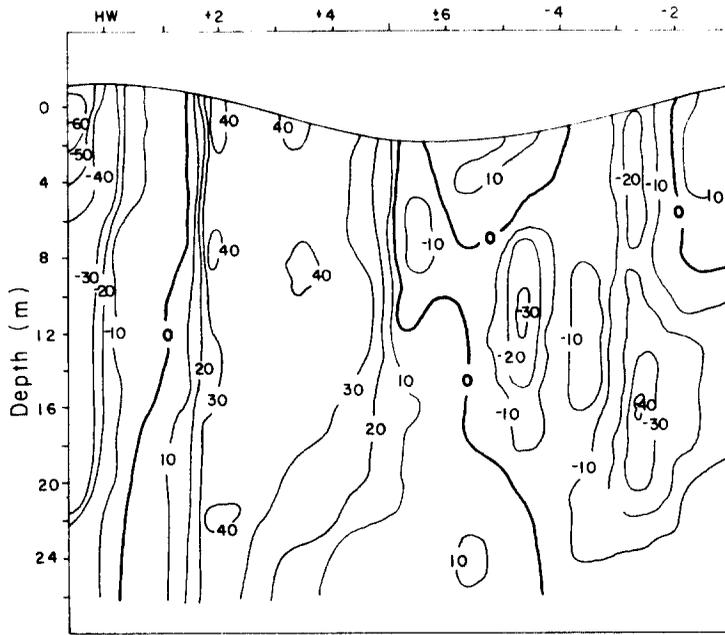
(a) Station 15A

Fig. I-10a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 15A (Sept. 26, 1981).

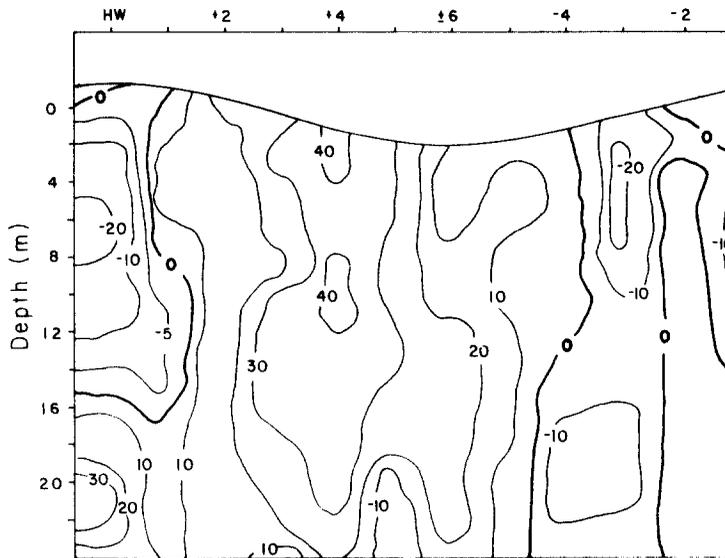


(c) Station 15C

Fig. I-10b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 15C (Sept. 26, 1981).



(a) Station 15A



(b) Station 15C

Fig. I-10c. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-15 (Sept. 26, 1981). Negative sign means inflow.

내고 있으며 8 m 以深에서는 정점 15C가 낮은 염분, 낮은 밀도, 높은 수온을 보이나 그 차이는 미세한 편이다.

연직 방향의 수온, 염분, 밀도의 구배는 정점 15A는 0~6 m에서보다 6~12 m

에서 큰 값을 보이거나 정점 15 C는 비교적 일정한 값을 보이고 있으며 연직 방향의 변화의 폭은 수온은 표면이 22.03°C, 24 m 수심이 18.16°C로 3.87°C, 염분은 표층이 27.21‰, 24 m 수심이 31.47‰로 4.26‰, σ_t 는 표면이 18.38, 24 m 수심이 22.56으로 4.18의 폭을 나타낸다.

연직 유속 분포: 정점 15 A에서 낙조시에는 낙조류(8 m 수심에서 최강 유속 15 cm/sec)를, 창조시에는 창조류(최강 유속은 16 m 수심에서 11.4 cm/sec)를 형성한다(Fig. I-19d).

정점 15 C에서 낙조시에는 12 cm/sec 이상의 강한 낙조류를 형성하며(최강 유속은 2 m 수심의 19.8 cm/sec), 창조시에는 0~2 m 수심의 미약한 창조류를 제외하면 전 수심에 걸쳐서 낙조류를 형성한다(최강 유속은 12 m 수심의 6.7 cm/sec).

조석 평균 유속은 정점 15 A가 6 m와 16 m 수심에서 미약한 창조류(최강 유속 1.4 cm/sec)와 표층, 8 m, 22 m 수심 상하에서 낙조류(최강 유속 3.8 cm/sec)를 보이고 있음에 반하여 정점 15 C는 7~11.8 cm/sec의 비교적 강한 낙조류를 전 수심에 걸쳐서 보이고 있다.

횡단면 16

수온, 염분, 해수 밀도: 9월 26일에 관측된 수온, 염분, 해수 밀도의 시간적 변화가 Fig. I-11에 나타나 있다. 7시부터 14시까지 0~4 m 수심에서 수온이 증가되고 염분과 밀도가 감소되고 있는 것은 창조류-낙조류-창조류의 전류에 기인하며(Fig. I-11c) 변화의 폭은 수온이 2.5°C, 염분이 2.5‰, σ_t 가 2.5가 된다.

9월 24일 HW+4시와 HW-3시에 관측된 평균치의 연직 분포는 Fig. I-20에서 보는 바와 같이 수온은 정점 16 A가 16 C보다 낮다. 염분과 밀도는 0~4 m 수심에서는 16 C가 낮고 16 A가 높으며 16 m 以深에서는 정점 16 A가 16 C보다 낮다. 연직 변화의 폭은 수온은 표면이 22.40°C, 36 m 수심이 17.60°C로 4.8°C, 염분은 표면이 29.20‰, 36 m 수심이 32.57‰로 3.37‰, σ_t 는 표면이 19.80, 36 m 수심이 23.53으로 3.73의 폭을 가진다.

연직 유속 분포: 정점 16 A와 16 C에서 창조시와 낙조시의 유속의 연직 분포는 전 수심에 걸쳐서 창조류와 낙조류를 각각 보이고 있다. 정점 16 A에서 창조류는

표층에서 최강 유속 42.9 cm/sec 를 보이며 낙조류는 12 m 수심에서 21.1 cm/sec 를 보였다.

정점 16 C의 유속은 16 A보다 강하여 창조류는 표층에서 최강 유속 57.6 cm/sec 를 보였으며 낙조류는 20 m 수심에서 50.8 cm 를 보이고 있다.

조석 평균을 보면 정점 16 A에서는 창조류(최강 유속은 표층의 11.8 cm/sec)가 우세하며 12 m 수심에서 5 cm/sec 정도의 낙조류가 보일 뿐이다. 정점 16 C에서는 수심 $0 \sim 12 \text{ m}$ 에서는 창조류(최강 유속은 표층의 24.7 cm/sec), $12 \sim 36 \text{ m}$ 까지에서 낙조류가 우세하다(최강 유속은 20 m 수심에서 12.3 cm/sec).

2) 河口域의 特性(estuarine characteristics)

河口域(estuary)의 相異한 特性을 상호 비교하고 보편적인 공통성을 유추하여 유사한 河口域의 특징을 예측하기 위하여 河口域을 여러가지 관점에서 분류할 필요가 있다. 河口域은 1) 地形的 特性에 따라서 (Pritchard 1952), 2) 鹽分 구조 (salinity structure)에 따라서 (Pritchard 1955; Pritchard and Cameron 1963), 3) 成層 경수 (stratification parameter)에 따라서 (Ippen and Harleman 1961), 4) 成層 循環圖 (stratification circulation diagram)에 따라서 (Hansen and Rattray 1966) 각기 다른 方法으로 분류 될 수 있고 분류된 河口域의 공통적 특성은 Dyer (1973) 에 자세히 설명되어 있다.

본 연구에서는 馬山灣 入口의 횡단면-1과 잠도 주위에서 관측된 염분과 流速을 사용하여 염분 구조와 成層 循環圖에 依한 分類方法을 택하여 河口域으로서의 특성을 고찰하였다.

성층-순환도를 이용한 분류 방법을 적용하기 위하여 사용된 횡단면-1의 자료는 7월 28일에 매 시간 수심 2 m 간격으로 12시간 동안 연속 측정된 염분과 유속 자료이며 횡단면-14의 자료는 9월 26일에 매 시간 수심 4 m 간격으로 12시간 동안 측정된 유속 자료와 표층(0 m), 상층(4 m), 중층(14 m), 하층(24 m)에서 측정된 염분이며 횡단면-15의 자료는 9월 26일에 매 시간 수심 2 m 간격으로 12시간 동안 측정된 유속과 염분 자료이다. 표층과 하층의 조석 평균 염분 \bar{S}_s 와 \bar{S}_B 는 12시간 측정치의 평균으로 정했으며 각 수심의 조석 평균 염분의 진

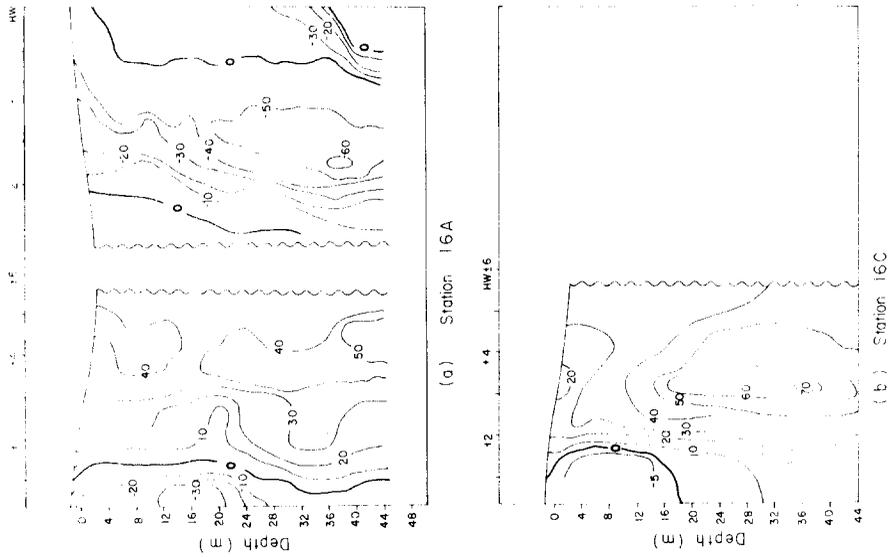


Fig. I-11c. Temporal variation of longitudinal current speed (cm/sec) in transection-16 (Sept. 26, 1981). Negative sign means inflow.

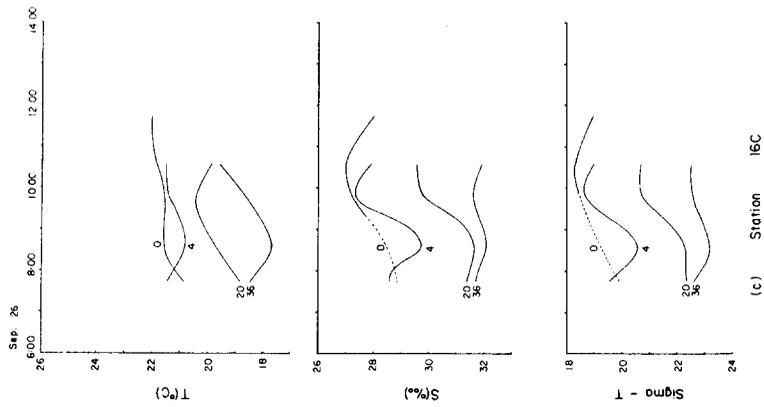


Fig. I-11b. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 16C (Sept. 26, 1981).

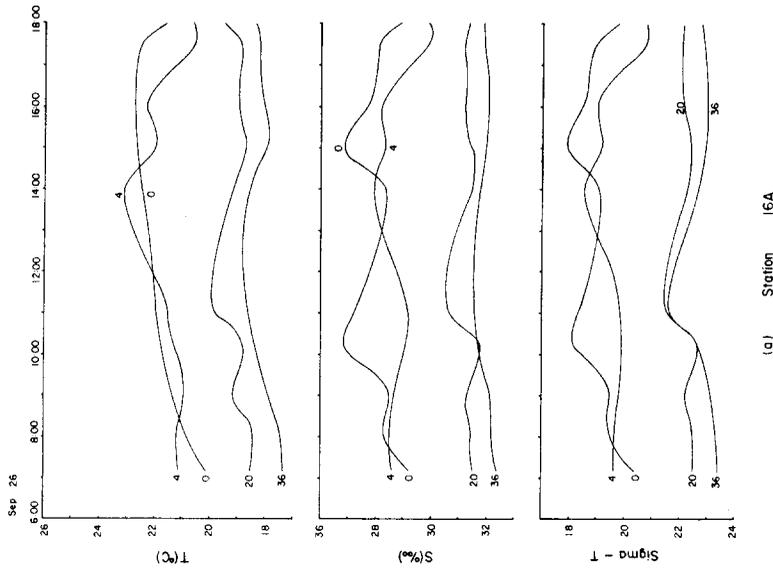
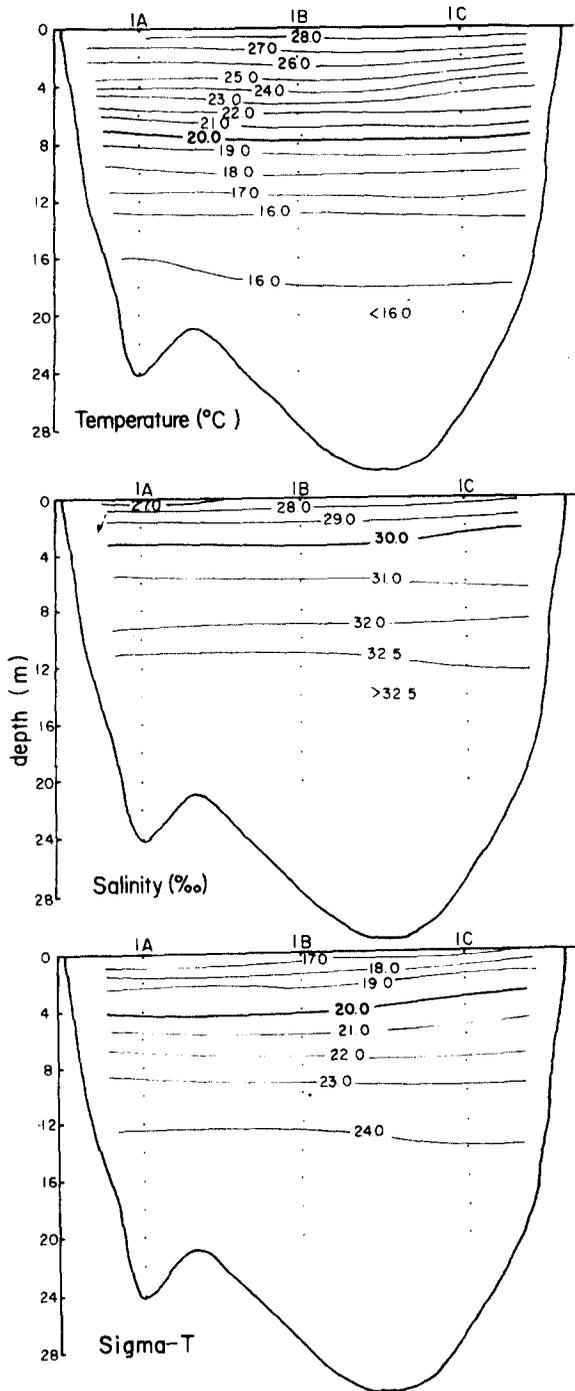
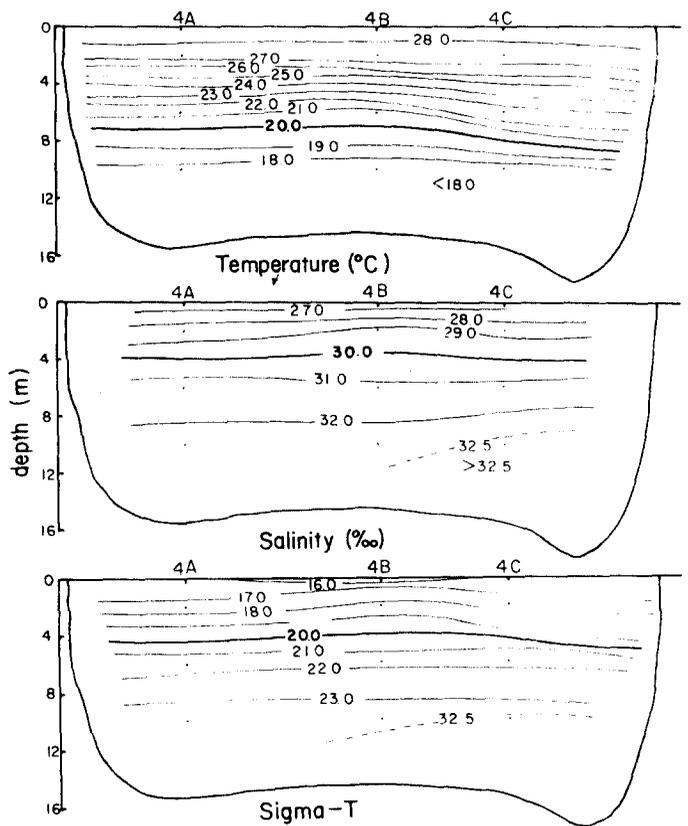


Fig. I-11a. Temporal variations of temperature, salinity, and sigma-T at station 16A (Sept. 26, 1981).



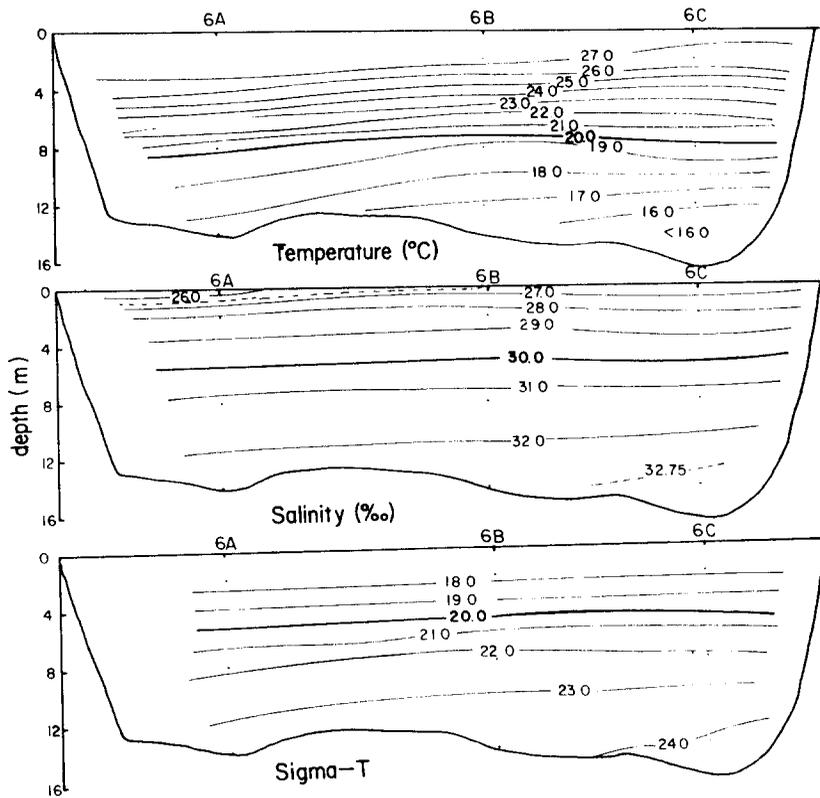
Transection 1

Fig. I-12a. Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-1 (Jul. 28, 1981).



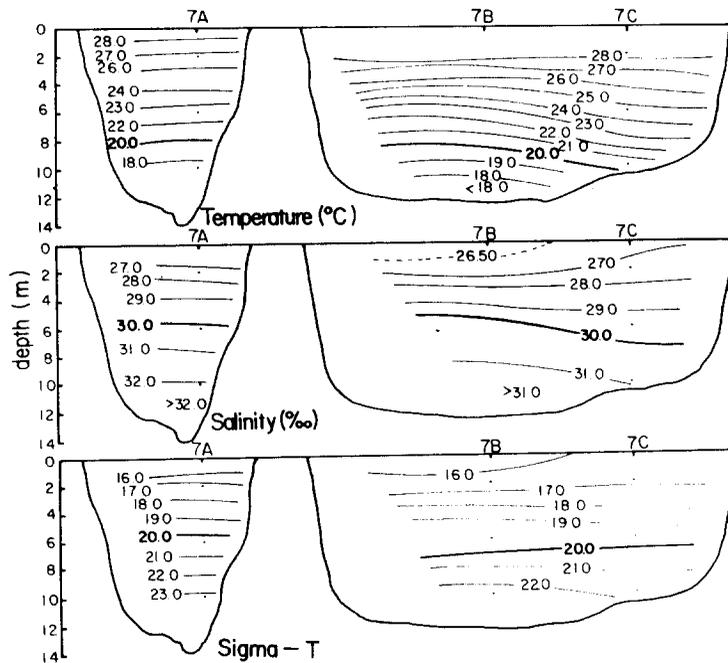
Transection 4

Fig. I-12b. Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-4 (Jul. 27, 1981).



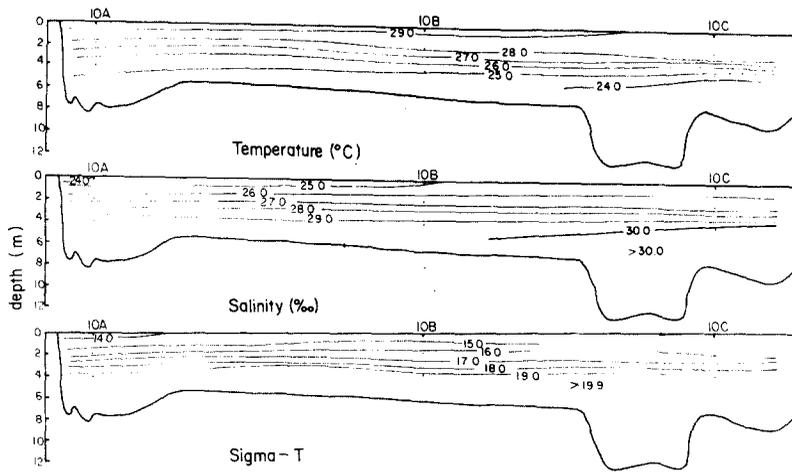
Transection 6

Fig. I-12c. Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-6 (Jul. 27, 1981).



Transection 7

Fig. I-12d. Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-7 (Jul. 28, 1981).



Transection 10

Fig. I-12e. Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-10 (Jul. 28, 1981).

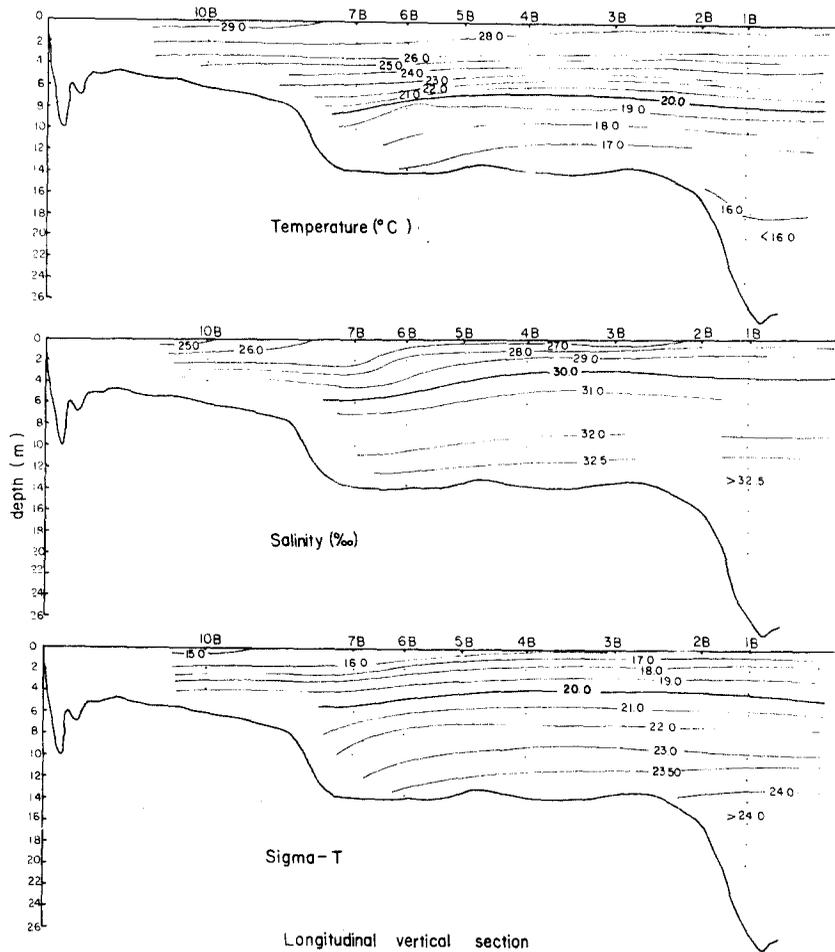
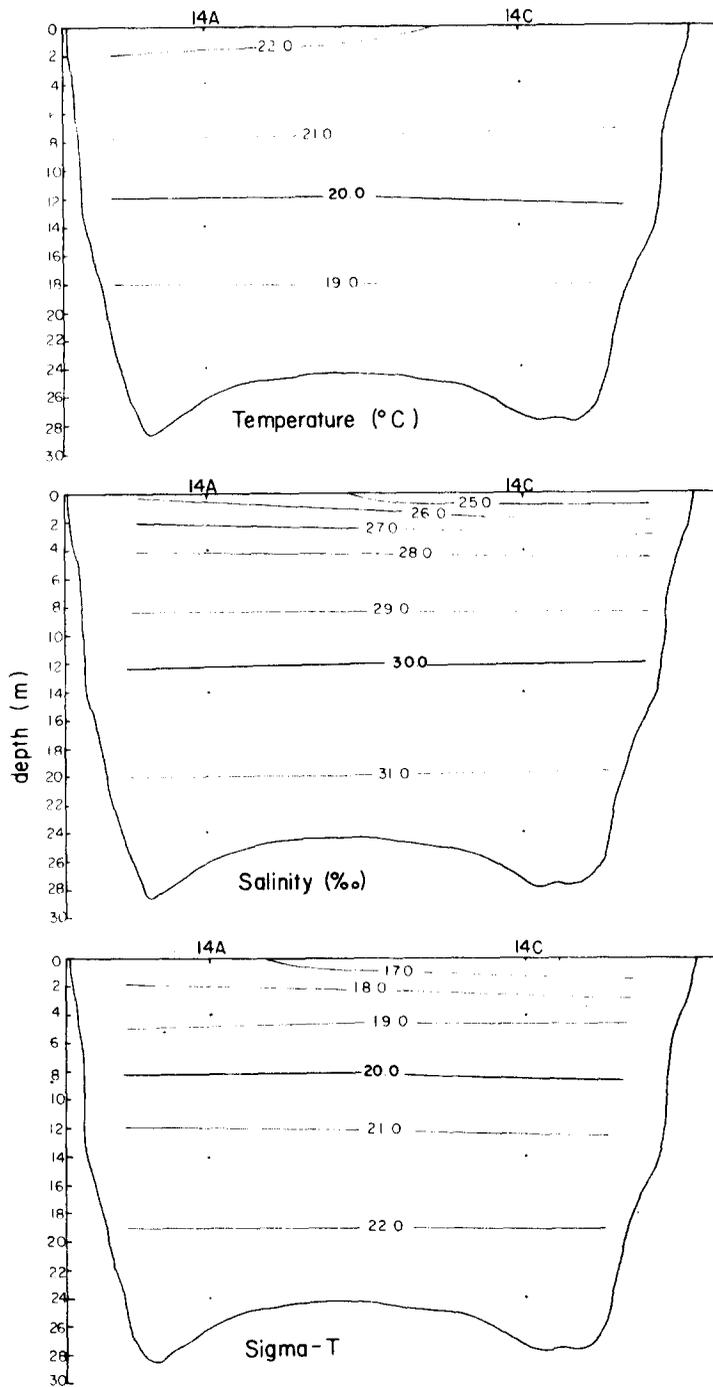


Fig. I-12f. Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in longitudinal section.



Transection 14

Fig. I-12g. Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-14 (Sept. 26, 1981).

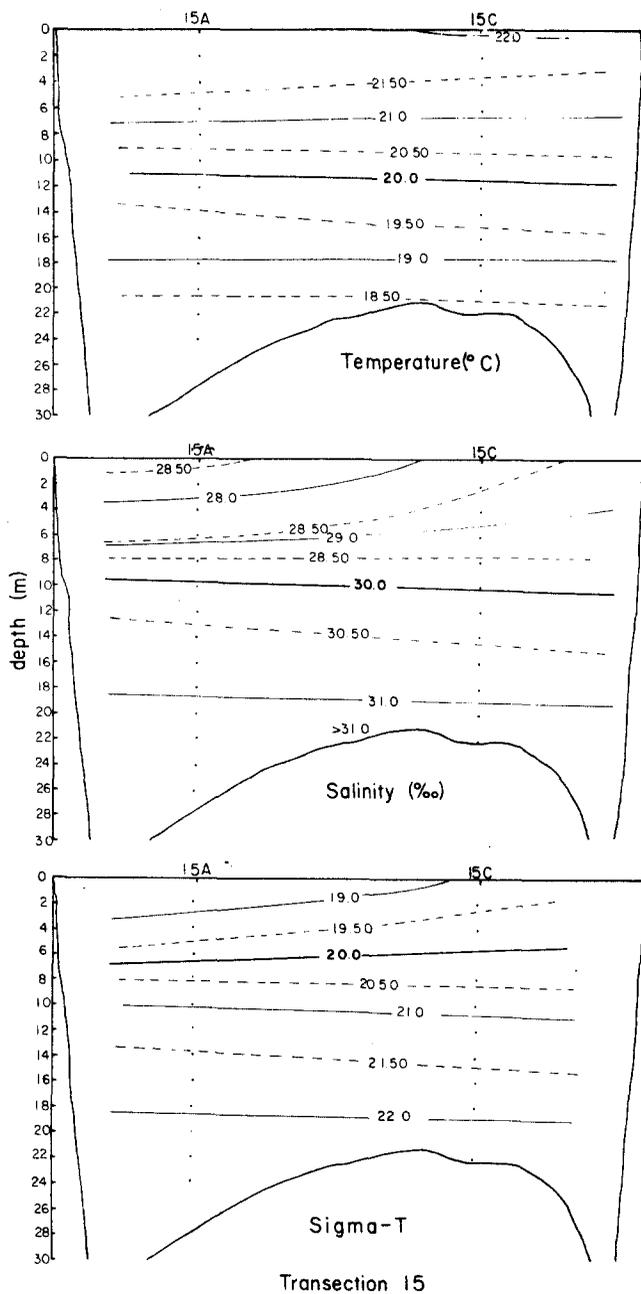


Fig. I-12h. Vertical distributions of tidally averaged temperature, salinity, and sigma-T in transection-1 (Sept. 26, 1981).

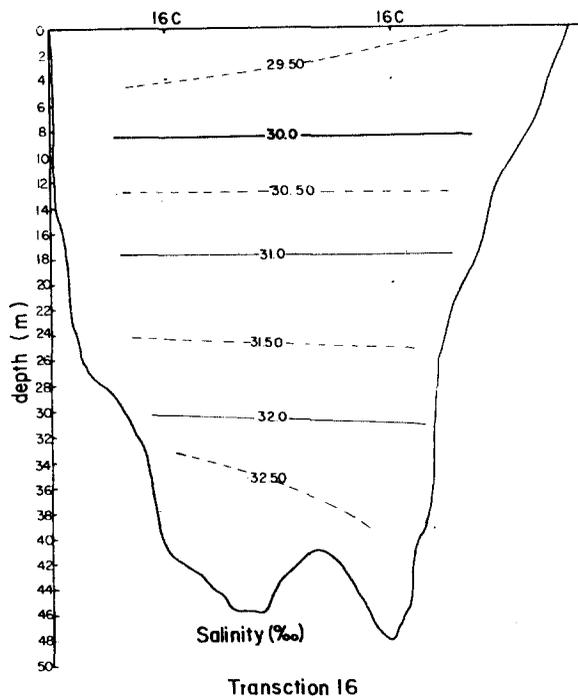


Fig. I-12i. Vertical distribution of tidally averaged salinity in transection-16 (Sept. 24, 1981).

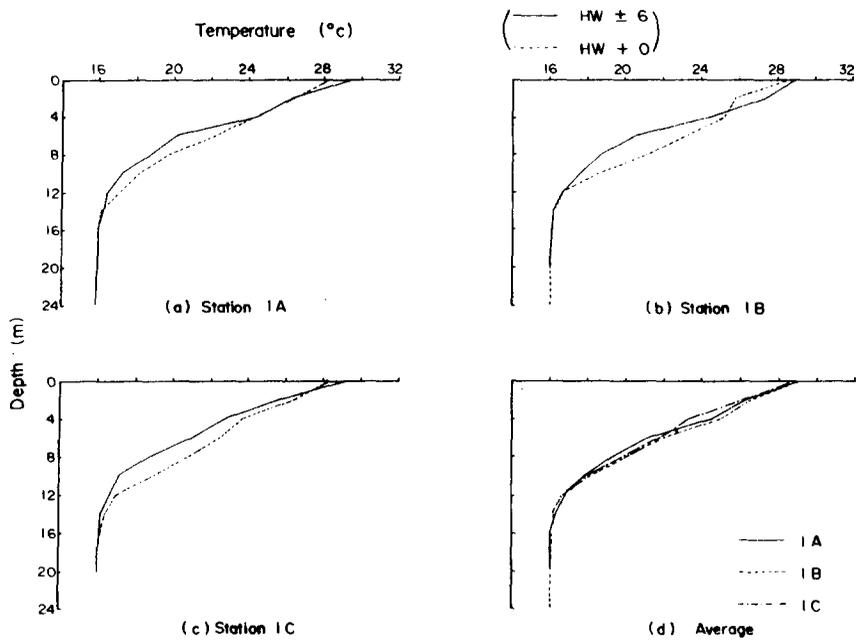


Fig. I-13a. Vertical variations of tidally averaged temperature in transection-1 (Jul. 28, 1981).

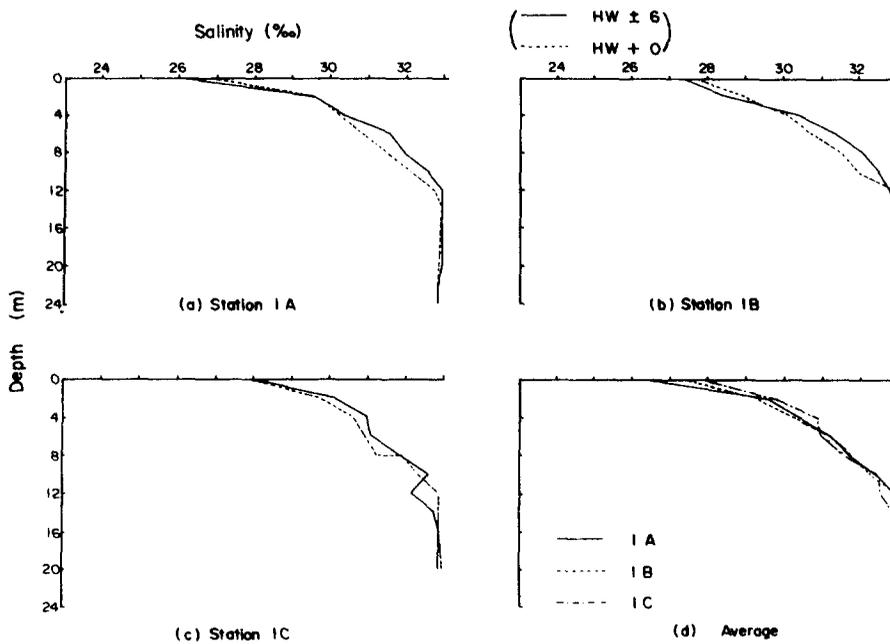


Fig. I-13b. Vertical variations of tidally averaged salinity in transection-1 (Jul. 28, 1981).

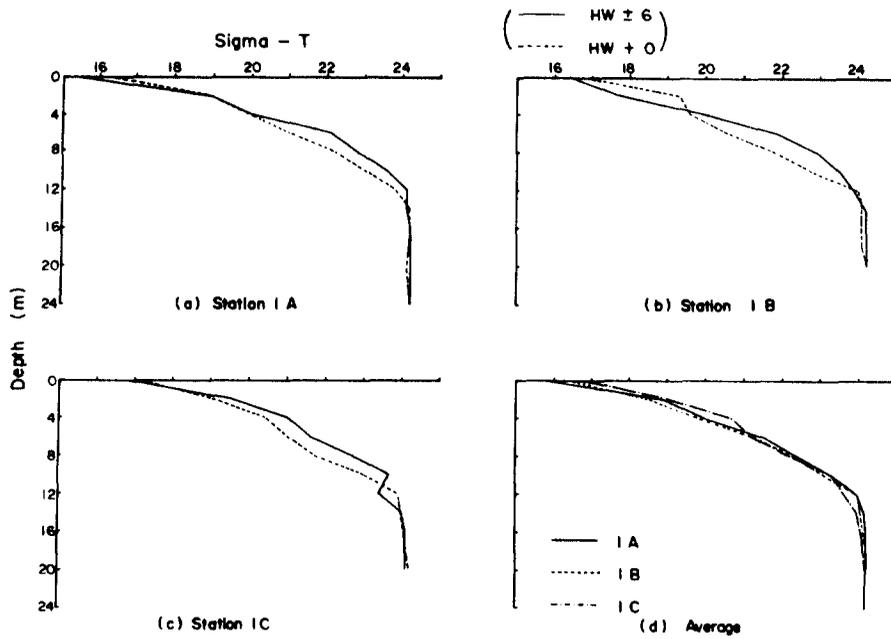


Fig. I-13c. Vertical variations of tidally averaged sigma-T in transection-1 (Jul. 28, 1981).

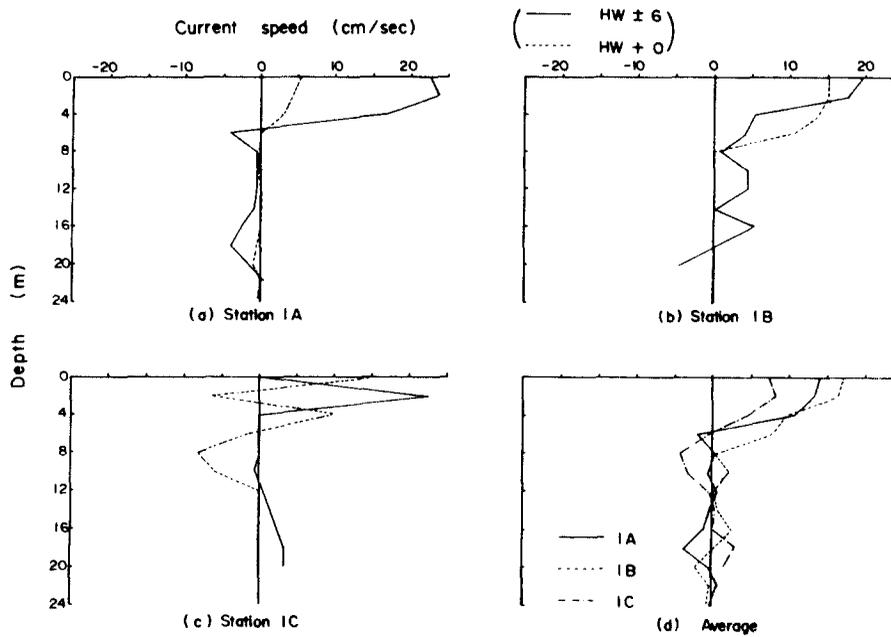


Fig. I-13d. Vertical variations of tidally averaged longitudinal current speed in transection-1 (Jul. 28, 1981).

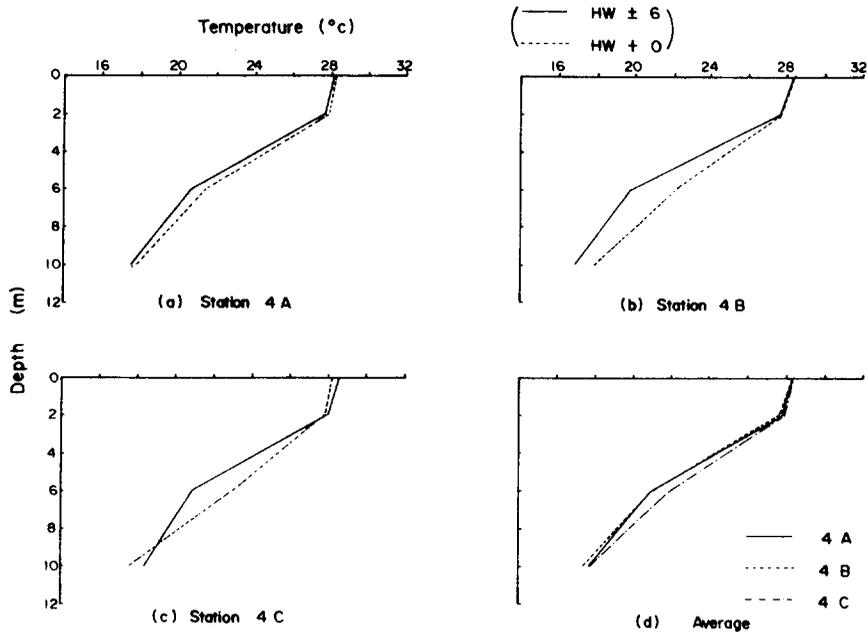


Fig. I-14a. Vertical variations of tidally averaged temperature in transection-4 (Jul. 27, 1981).

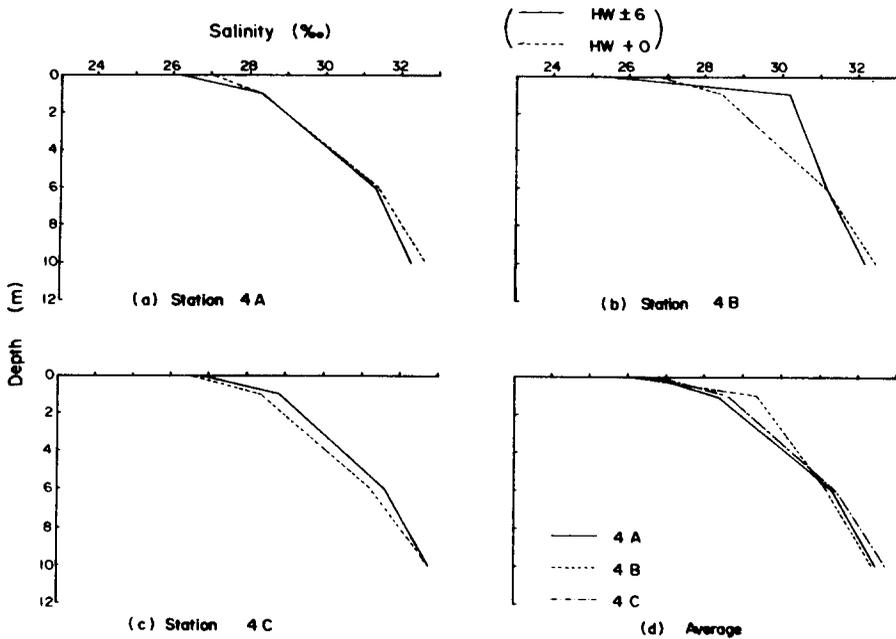


Fig. I-14b. Vertical variations of tidally averaged salinity in transection-4 (Jul. 27, 1981).

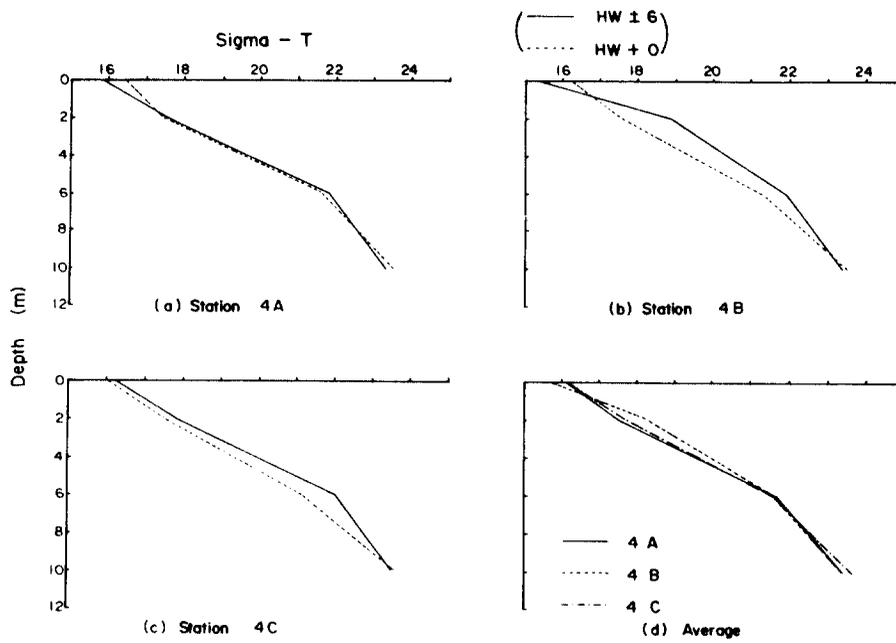


Fig. I-14c. Vertical variations of tidally averaged sigma-T in transection-4 (Jul. 27, 1981).

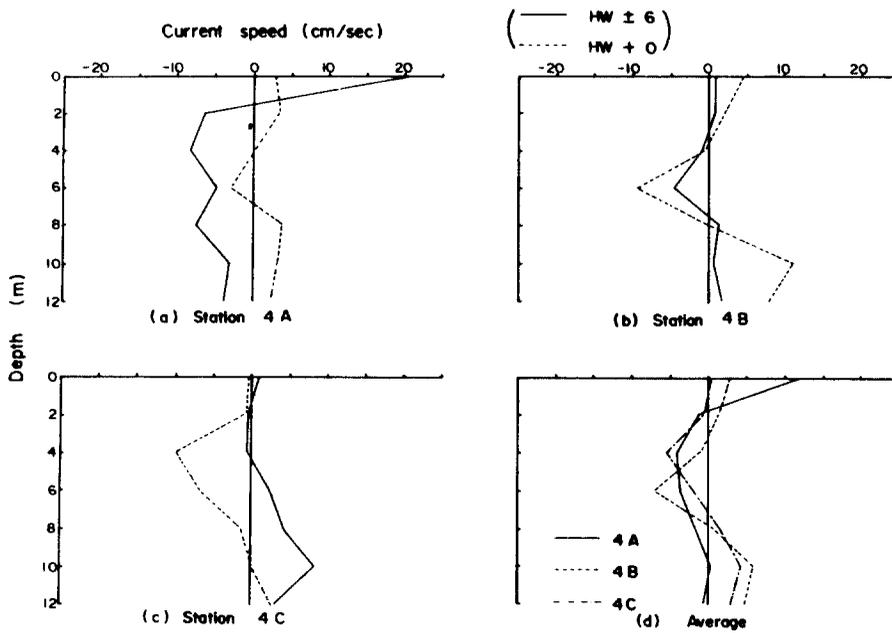


Fig. I-14d. Vertical variations of tidally averaged longitudinal current speed in transection-4 (Jul. 27, 1981).

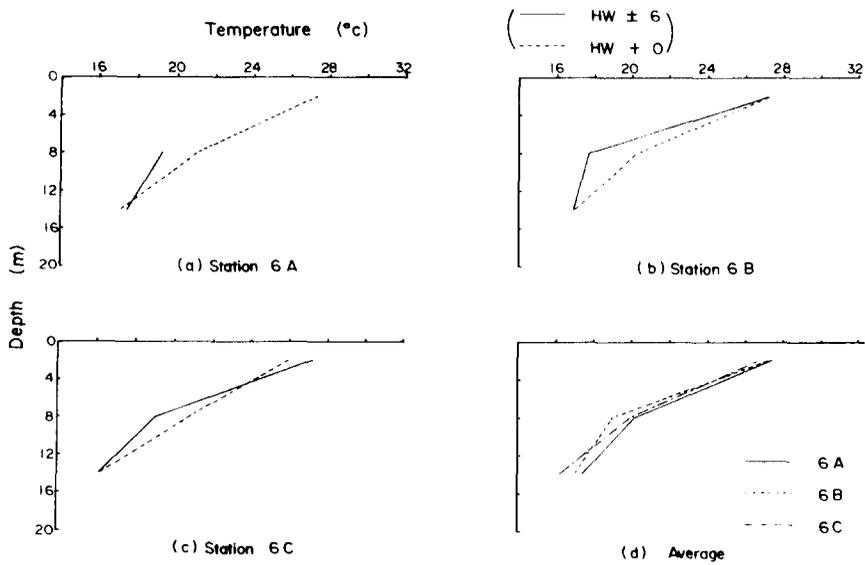


Fig. I-15a. Vertical variations of tidally averaged temperature in transection-6 (Jul. 27, 1981).

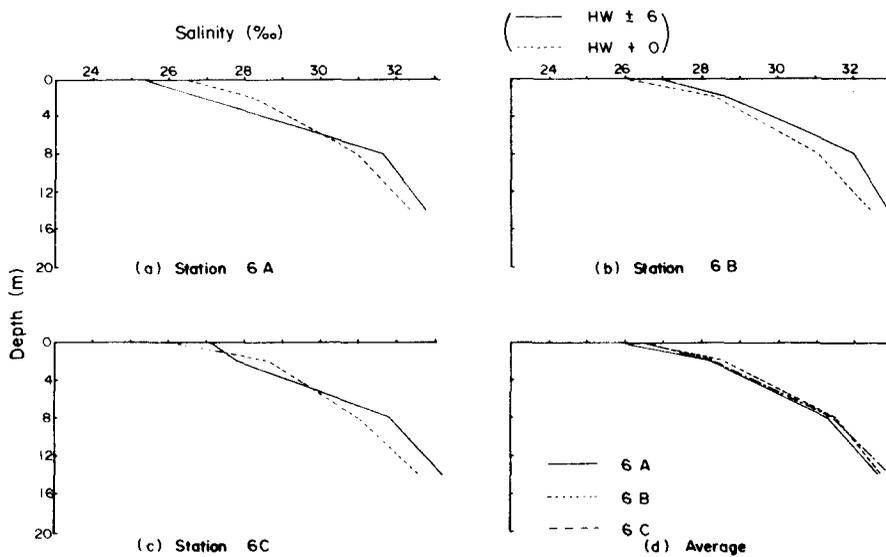


Fig. I-15b. Vertical variations of tidally averaged salinity in transection-6 (Jul. 27, 1981).

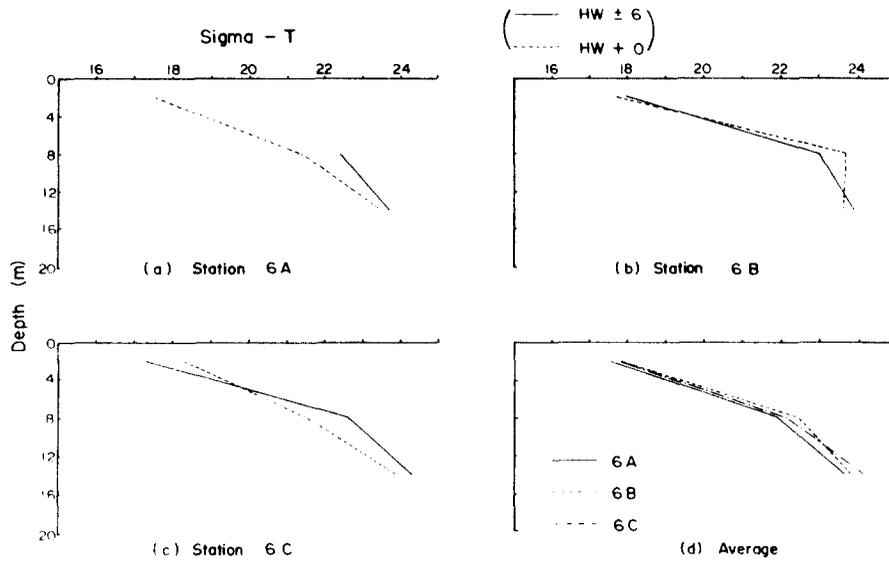


Fig. I-15c. Vertical variations of tidally averaged sigma-T in transection-6 (Jul. 27, 1981).

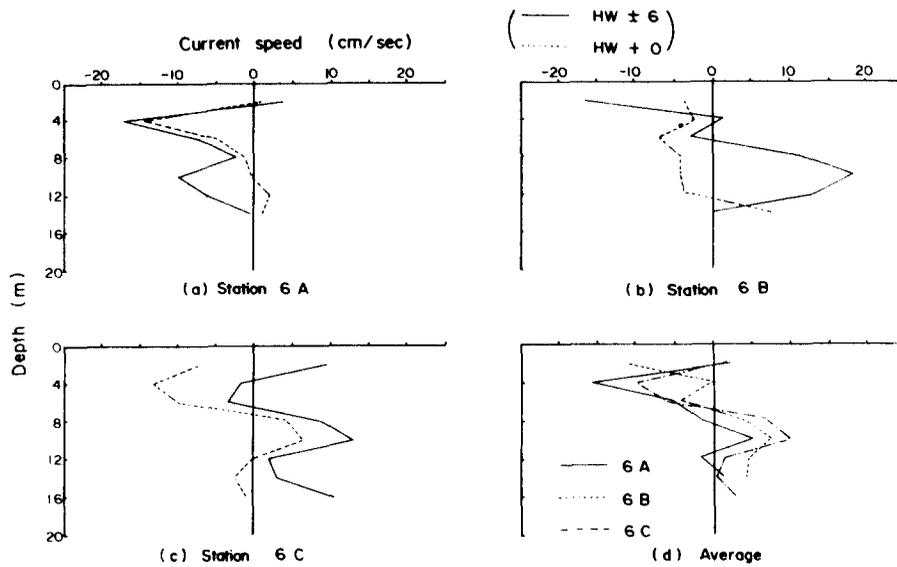


Fig. I-15d. Vertical variations of tidally averaged longitudinal current speed in transection-6 (Jul. 27, 1981).

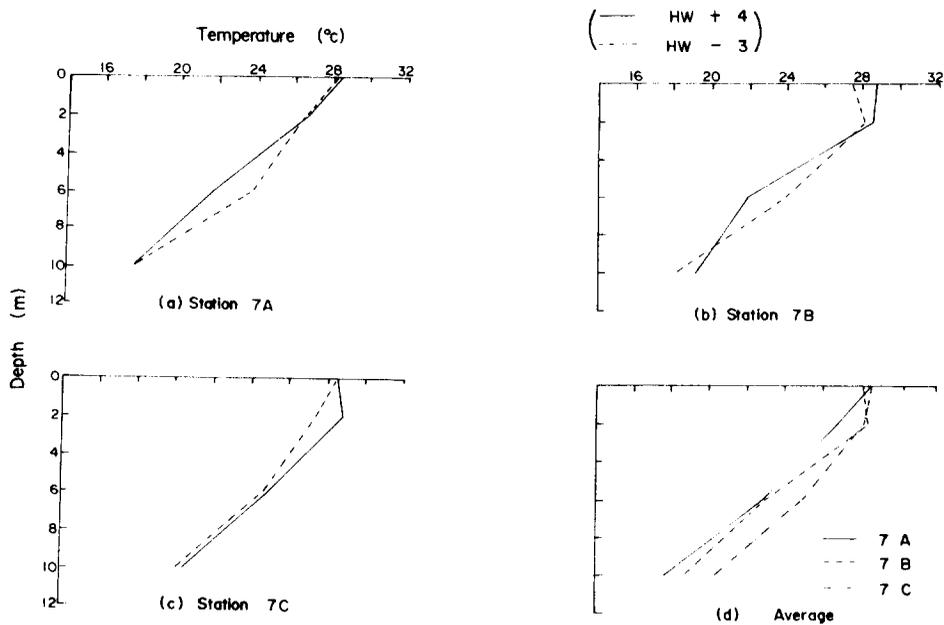


Fig. I-16a. Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-7 (Jul. 28, 1981).

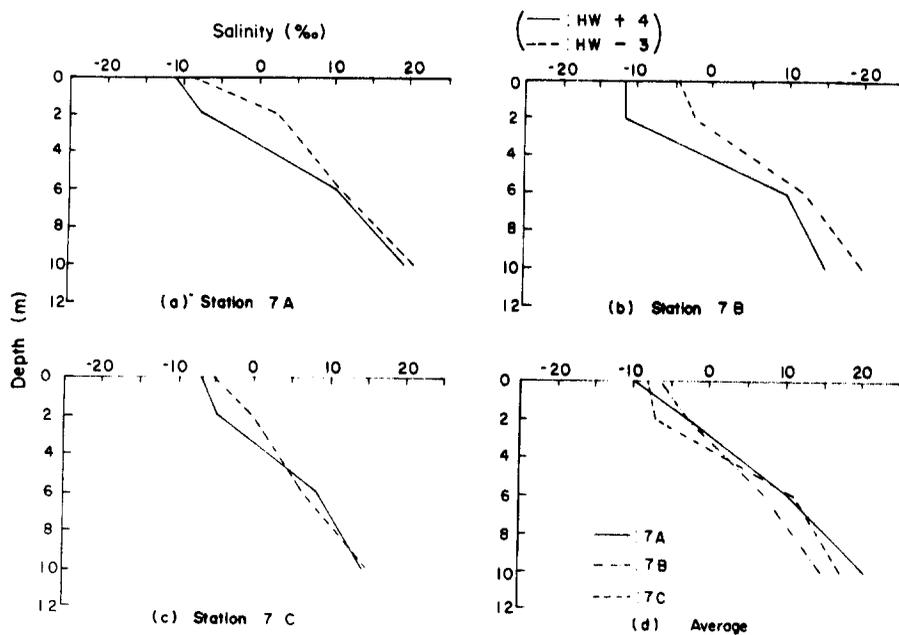


Fig. I-16b. Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-7 (Jul. 28, 1981).

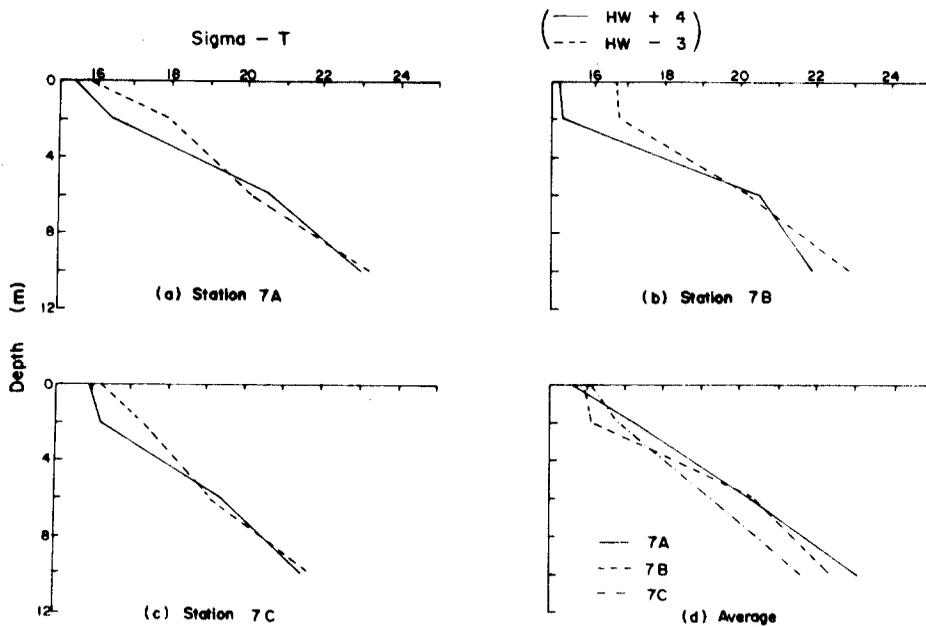


Fig. I-16c. Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-7 (Jul. 28, 1981).

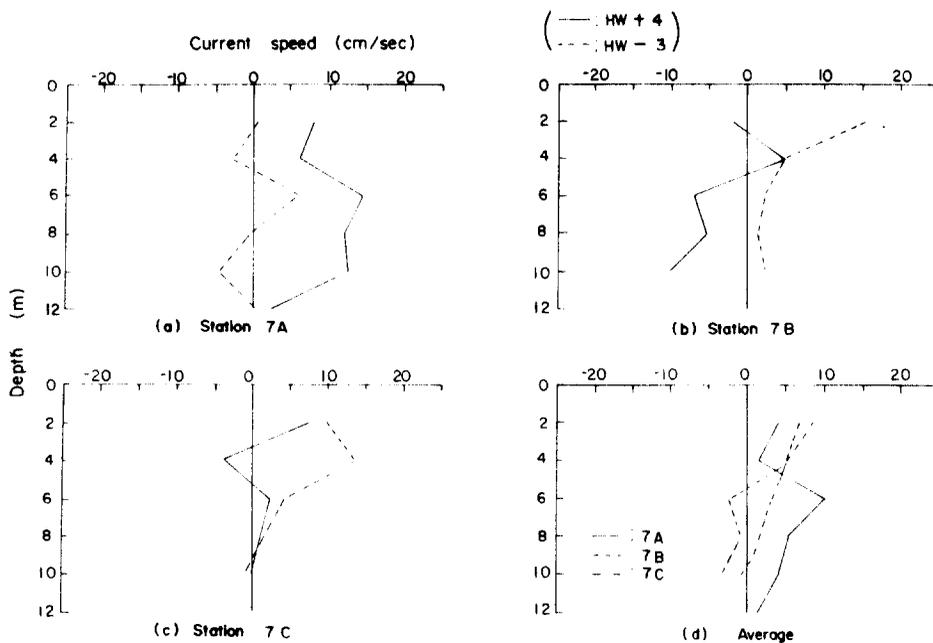


Fig. I-16d. Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-7 (Jul. 28, 1981).

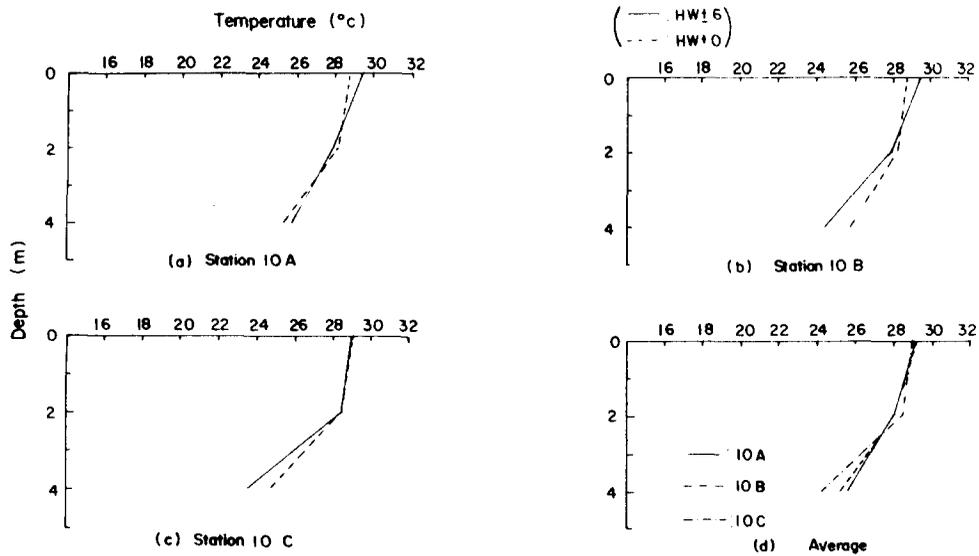


Fig. I-17a. Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-10 (Jul. 28, 1981).

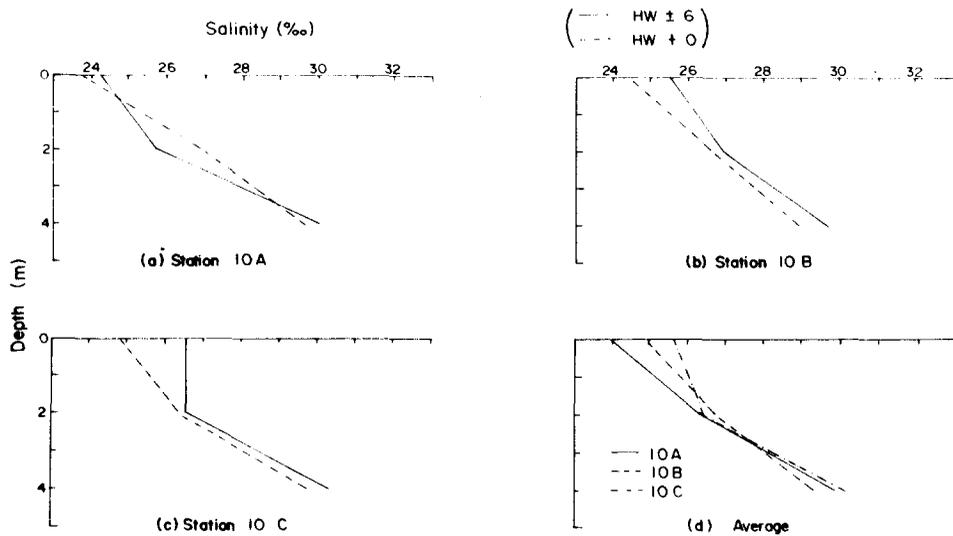


Fig. I-17b. Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-10 (Jul. 28, 1981).

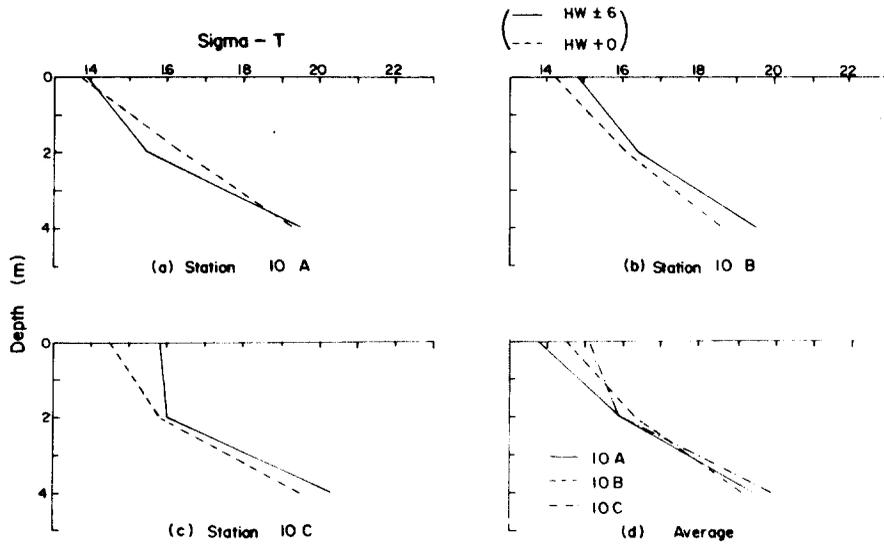


Fig. I-17c. Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-10 (Jul. 28, 1981).

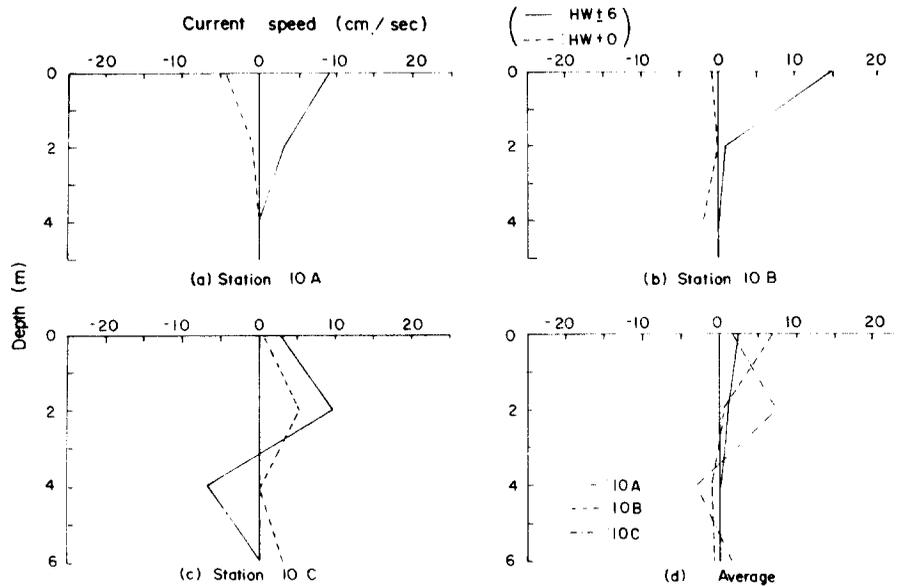


Fig. I-17d. Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-10 (Jul. 28, 1981).

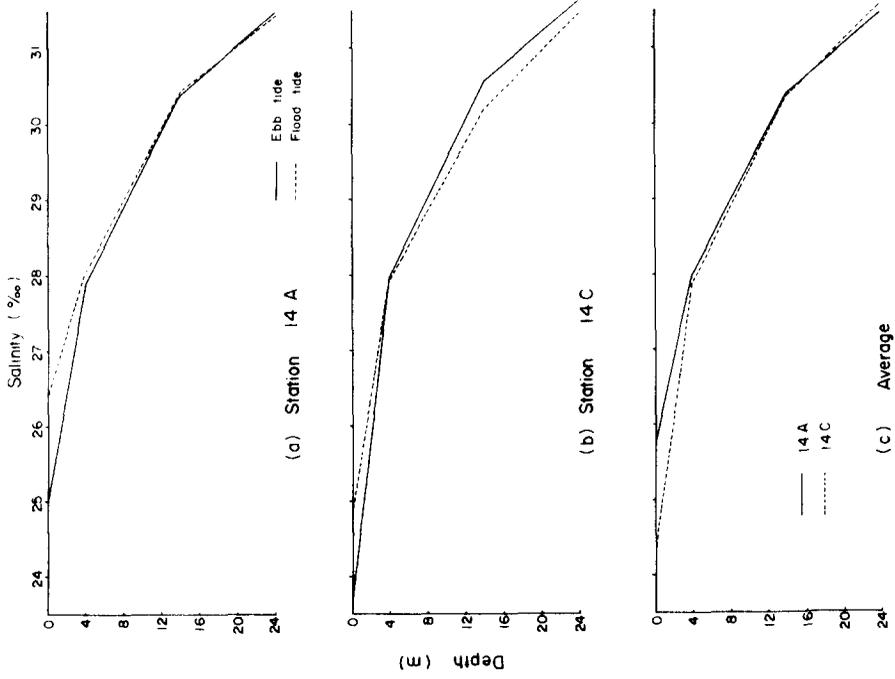


Fig. I-18b. Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-14 (Sept. 26, 1981).

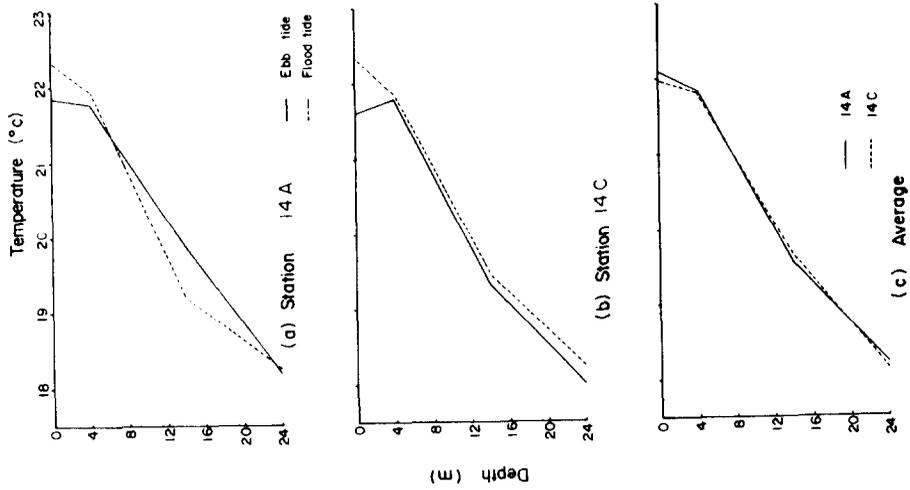


Fig. I-18a. Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-14 (Sept. 26, 1981).

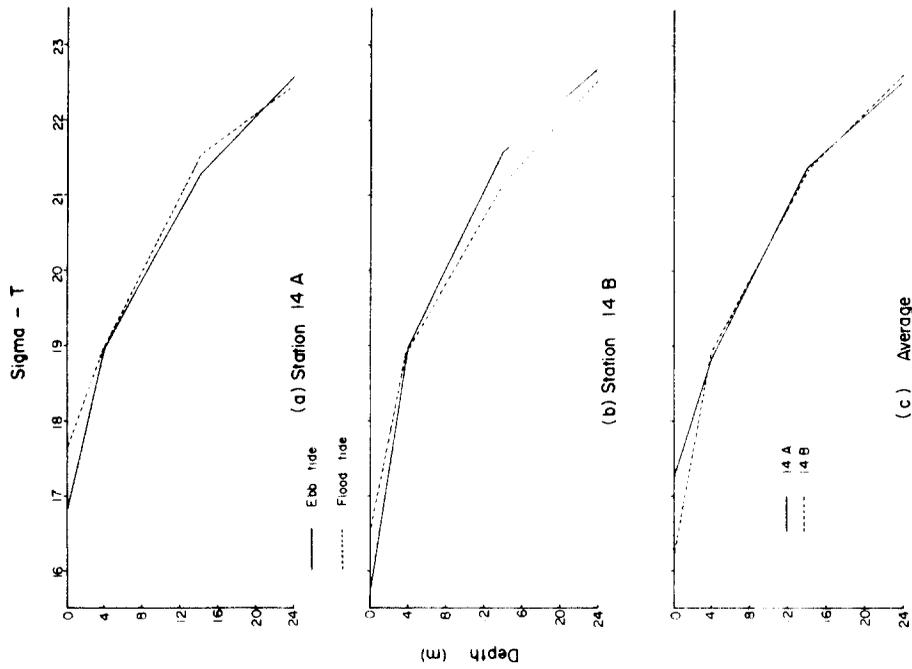


Fig. I-18c. Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-14 (Sept. 26, 1981).

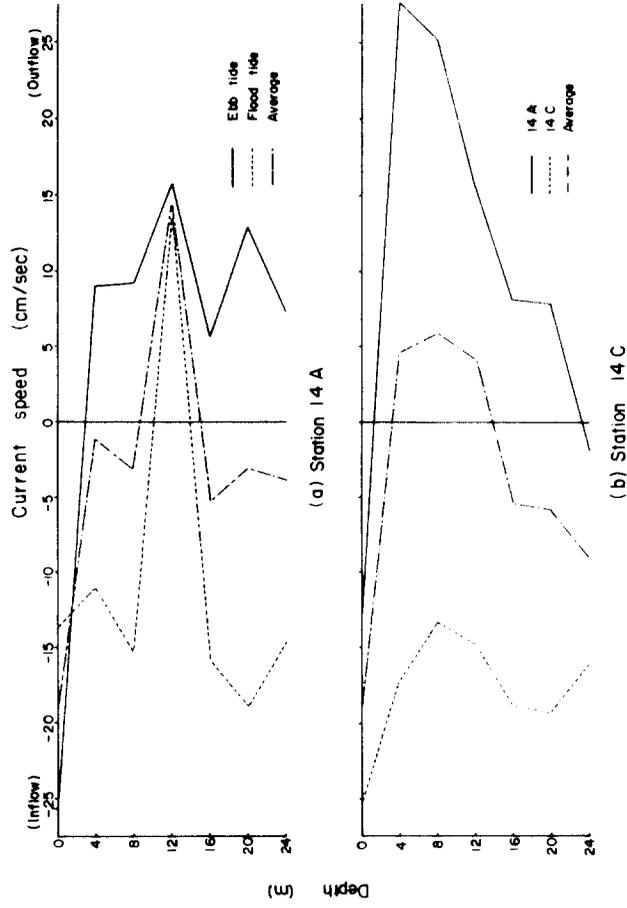


Fig. I-18d. Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-14 (Sept. 26, 1981)

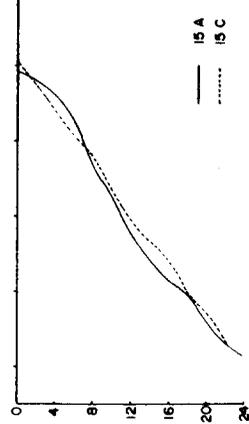
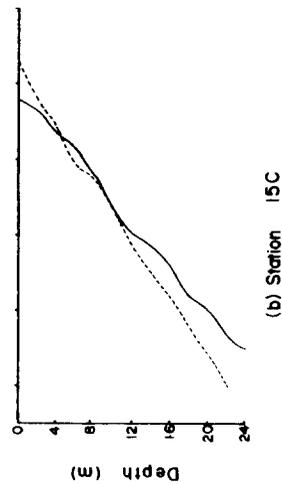
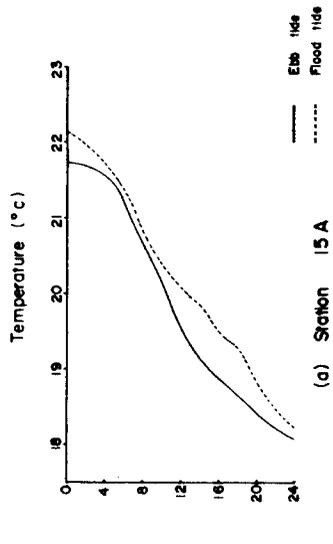


Fig. I-19a. Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-15 (Sept. 26, 1981).

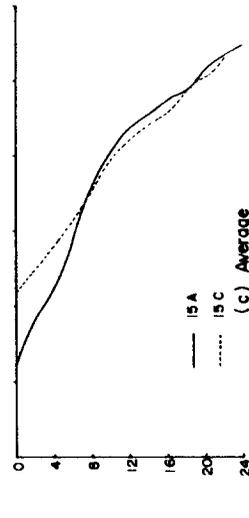
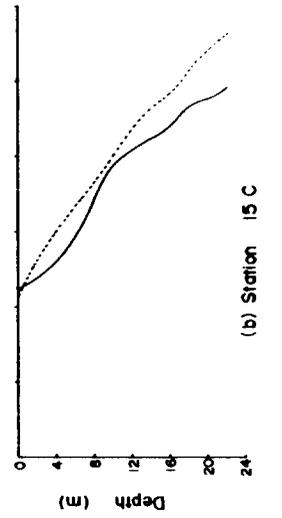
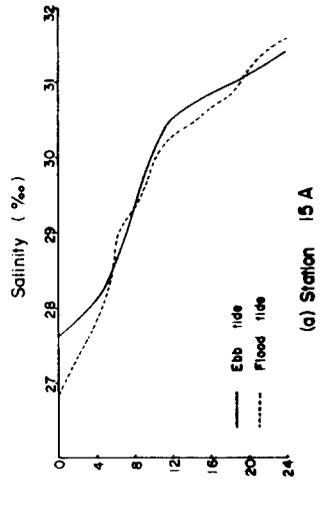


Fig. I-19b. Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-15 (Sept. 26, 1981).

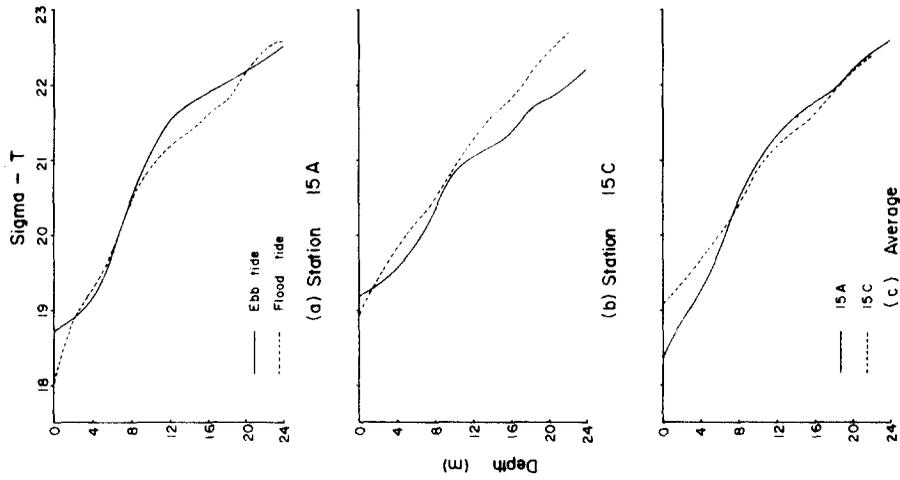


Fig. I-19c. Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-15 (Sept. 26, 1981).

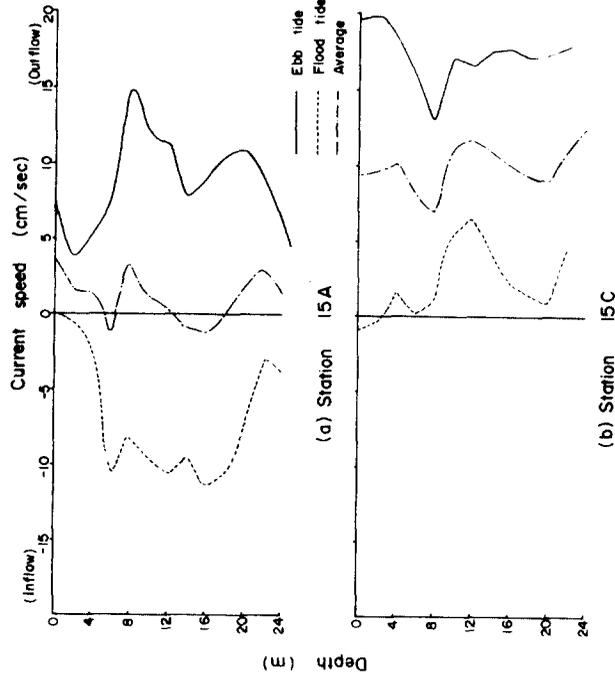


Fig. I-19d. Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-15 (Sept. 26, 1981).

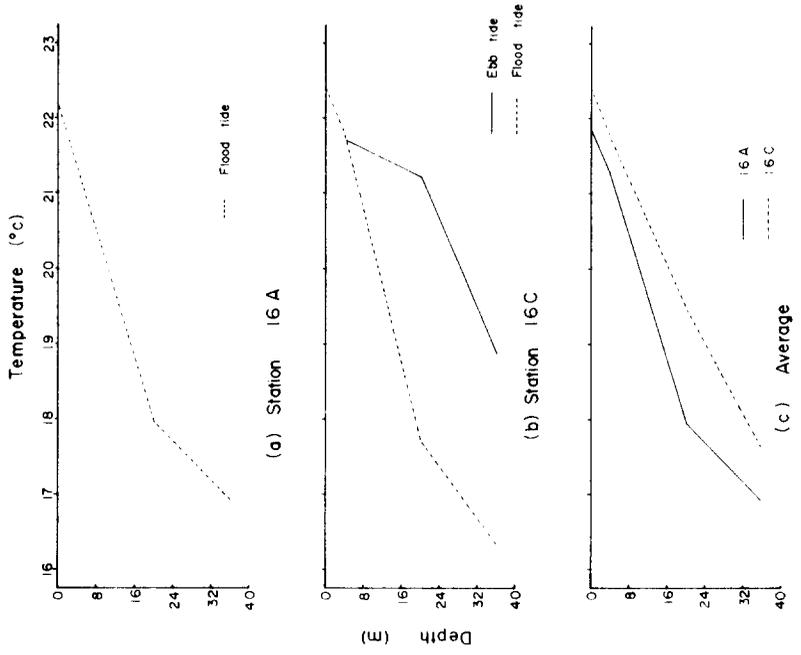


Fig. I-20a. Vertical distributions of tidally averaged temperature in transection-16 (Sept. 26, 1981).

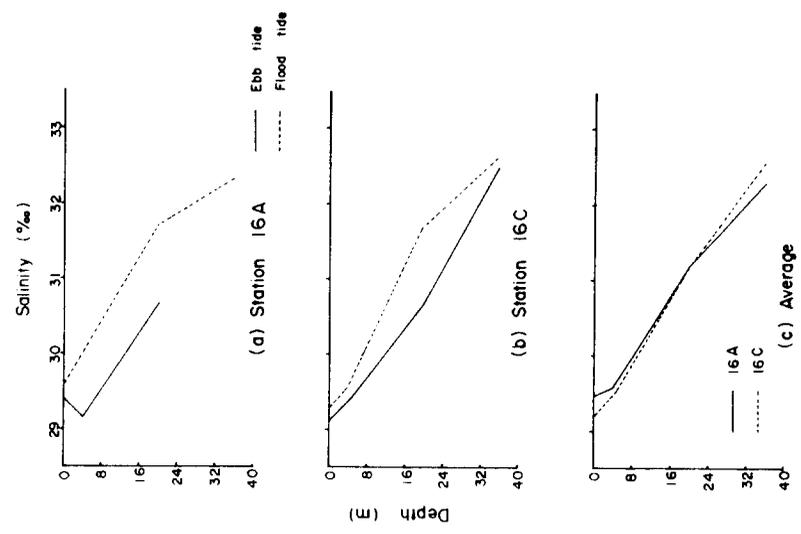


Fig. I-20b. Vertical distributions of tidally averaged salinity in transection-16 (Sept. 26, 1981).

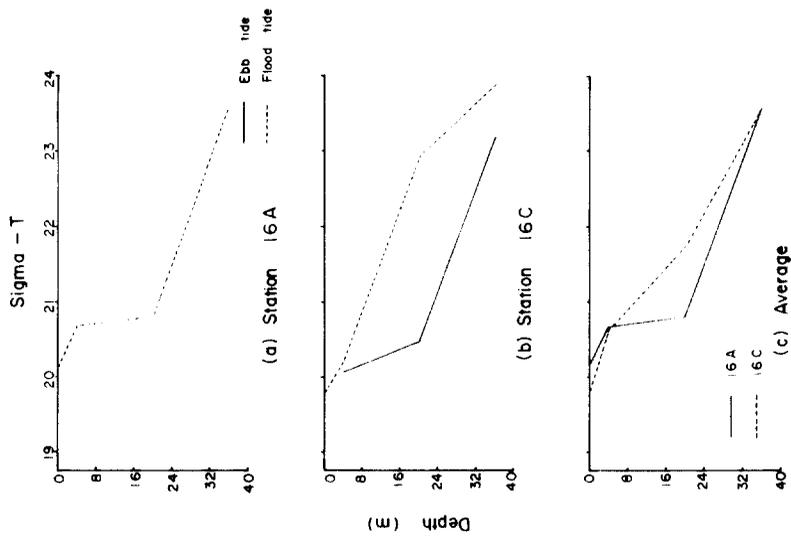


Fig. I-20c. Vertical distributions of tidally averaged sigma-T in transection-16 (Sept. 26, 1981).

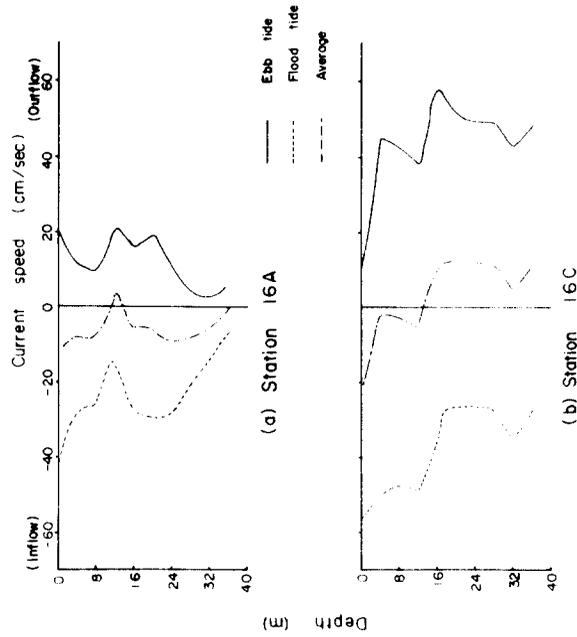


Fig. I-20d. Vertical distributions of tidally averaged longitudinal current speed in transection-16 (Sept. 26, 1981).

수심에 대한 평균치를 구하여 $\langle \bar{S} \rangle$ 를 얻었다. 유속의 경우에도 염분에 대해 적용한 방법을 그대로 사용하였으며 淡水流入量 R과 단면적 A에 의해서 정의되는 $\langle \bar{V} \rangle = R/A$ 는, 조석 평균 \bar{V} 의 전 수심에 대한 평균치 $\langle \bar{V} \rangle$ 로서 결정하였다.

이와같이 결정된 결과는 Table. I-7에 수록된 바와 같으며 이것을 도시한 것이 Fig. I-21이다. Table. I-7에서 보는 바와 같이 성층경수(stratification parameter)는 0.10 ~ 0.25의 범위 내에 있으며 이 값은 부분적 성층 상태 (partially stratified)에 해당된다 (Hansen and Rattray 1966). 미소한 차이이나 정점별 성층의 정도를 비교하여 보면 정점 15 C, 정점 15 A, 다음에 횡단면-1의 정점 1 B, 정점 1 C와 정점 1 A와 횡단면 14의 정점 14 A, 정점 14 C의 순이 될 것이다.

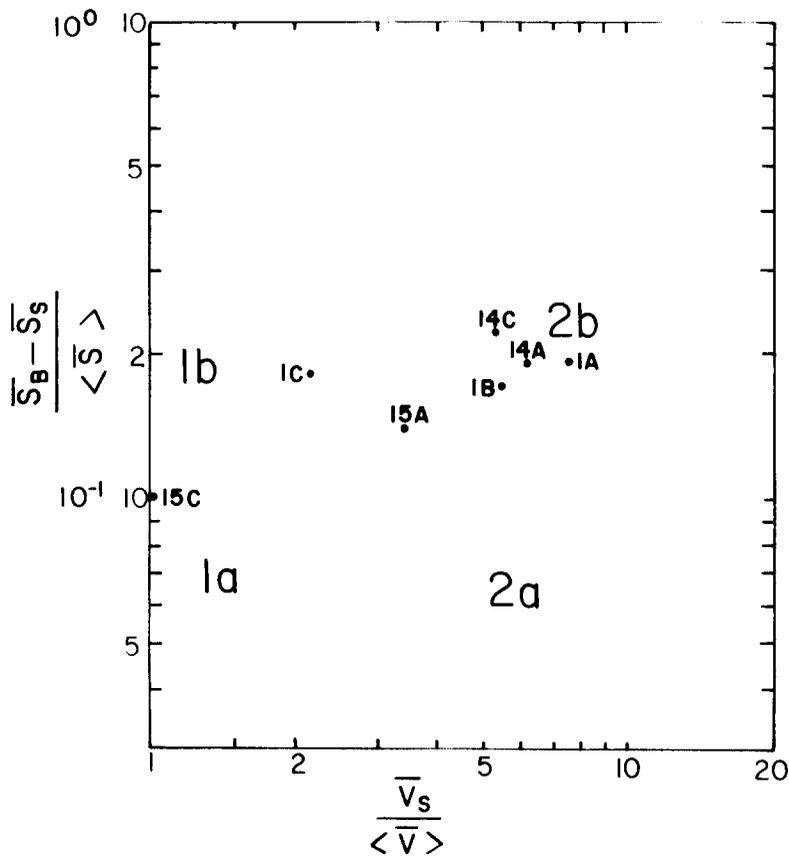


Fig. I-21. Stratification-circulation diagram in Masan Bay (Jul. 28, 1981) and around Jam Do (Sept. 26, 1981).

Table I-7. Stratification and circulation parameters in transections 1
(Masan Bay), 14 and 15 (around Jam Do).

Transection 1

Station	\bar{S}_B	S_s	$\langle \bar{S} \rangle$	\bar{V}_s	$\langle \bar{V} \rangle$	$\frac{\bar{S}_B - \bar{S}_s}{\bar{S}}$	$\frac{\bar{V}_s}{\langle \bar{V} \rangle}$	Remarks
1A	32.91	26.92	31.60	10.1	1.33	0.19	7.59	Jul. 28 data
1B	32.90	27.45	31.73	11.8	2.01	0.17	5.59	
1C	32.94	27.39	31.52	5.9	2.17	0.18	2.72	
Average	32.92	27.25	31.62	9.27	1.84	0.18	5.04	

Transection 14

14A	31.45	25.74	29.38	-19.34	-3.03	0.19	6.38	Sept. 26 data
14C	31.52	24.28	29.25	-18.74	-3.48	0.25	5.39	
Average	31.49	25.01	29.32	-19.04	-3.26	0.22	5.84	

Transection 15

15A	31.36	27.21	29.74	3.8	1.1	0.14	3.45	Sept. 26 data
15C	31.29	28.18	29.88	9.4	9.81	0.10	0.98	
Average	31.33	27.70	29.81	6.6	5.5	0.12	1.2	

循環 경수 (circulation parameter)의 범위는 0.98 - 7.59로서 이 범위는 流速의 方向이 수심에 대하여 균일한 흐름으로 부터 수심에 따라서 흐름의 방향이 변하는 해수의 流動 구조 (current structure)를 포함하고 있다. 순환 경수를 각 정점별로 비교하여 볼 때 流向이 全水深에 걸쳐서 外海로 향하고 있는 정점 15 C가 0.98로서 제일 작으며 정점 1 A가 7.59로서 가장 크다. 성층 순환도 Fig. I-21에서 순환 경수의 크기에 따라 특성을 비교하여 볼 때 類型-1에서는 각 수심의 조석 평균의 흐름이 모두 外海로 향하고 있으며 內海로 향하는 鹽流動率 (salt flux)은 주로 확산에 의해 이루어진다.

類型-2에서는 조석 평균 흐름이 수심에 따라서 內海나 外海로 변하고 있으며 鹽流動率은 移流현상 (advection)과 확산에 의존한다.

성층 경수의 크기에 따라 특성을 비교하여 볼 때 類型-a는 연직 방향으로 균질한 염분 분포를 나타내고 있으며 성층의 구조가 점차로 강화되면서 類型은 a에서 b로 옮겨가고 염분 구조는 부분적 성층 상태를 나타내게 된다.

馬山灣 入口의 세 정점 1A, 1B, 1C는 類型-2 b에 속하고 있으며 蠶島주위의 정점들도 정점 15 C를 제외하면 모두 類型-2 b에 속하고 있으므로 마산만과 잠도주위의 海水는 부분적 성층 상태의 河口域 (partially stratified estuary)으로 분류된다 하겠다. 정점 15 C는 類型-1 b에 해당되며 동일 횡단면상의 좌우 두 정점 15 A와 15 C의 類型이 상이한 것은 유속의 연직 분포 상태가 다르기 때문이다. 정점 15 C의 類型은 균질 혼합의 類型에 가깝다 하겠다.

3) 鹽流動率 (salt flux)

河口域 (estuary)의 연직 횡단면을 통해서 물질이 전파 (dispersion)하여 나가는 현상을 예측하기 위한 한 方法으로 보존량 (conservative quantity)으로서 염분 (salinity)을 택하여 鹽流動流 (salt flux)에 미치는 해수 순환, 조석, 淡水流入量 (river runoff) 등의 영향을 검토하였으며 횡단면-1 (마산만 입구), 횡단면-14 (잠도와 실리도), 횡단면-15 (잠도와 초리도)를 통과하는 염 유동율을 아래와 같은 방법으로 비교 분석하였다.

주어진 횡단면에 수직으로 통과하는 流速 V 와 鹽分 S 는 다음과 같이 정의되는
 量들의 합으로 나타낼 수 있다.

$$V = \langle \bar{V} \rangle + V_t + V_d + V' \quad (2-1a)$$

$$S = \langle \bar{S} \rangle + S_t + S_d + S' \quad (2-1b)$$

식 (2-1)에서 \bar{V} 와 \bar{S} 는 주어진 조석 주기 T 에 대한 평균으로서

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T V dt, \quad \bar{S} = \frac{1}{T} \int_0^T S dt \quad (2-2a)$$

$$0 = \frac{1}{T} \int_0^T V_t dt = \frac{1}{T} \int_0^T S_t dt \quad (2-2b)$$

로 주어지며, $\langle \bar{V} \rangle$ 와 $\langle \bar{S} \rangle$ 는 \bar{V} 와 \bar{S} 의 수심 h 에 대한 평균치로서

$$\langle \bar{V} \rangle = \frac{1}{h} \int_0^h \bar{V} dz, \quad \langle \bar{S} \rangle = \frac{1}{h} \int_0^h \bar{S} dz \quad (2-3a)$$

$$0 = \frac{1}{h} \int_0^h V_t dz = \frac{1}{h} \int_0^h S_d dz \quad (2-3b)$$

로 주어진다. 그리고 V' 와 S' 는 V 와 S 의 亂流性 微小 변동량 (small scale turbulent fluctuation)으로서 조석 주기 T 에 대하여

$$\int_0^T V' dt = \int_0^T S' dt = 0 \quad (2-4)$$

로 간주될 수 있다.

鹽流動率 S 를 연직 횡단면의 단위 폭(unit breadth)을 통해서 단위 시간 동안에 통과하는 鹽의 量(salt amount)으로 정의할 때 조석 주기 T 동안의 평균 鹽流動率 \bar{S} 는 다음과 같다.

$$\bar{S} = \frac{1}{T} \int_0^T dt \int_0^h V S dz \quad (2-5)$$

식 (2-5)에 식 (2-1)의 V 와 S 를 대입한 다음 식(2-2)와 식(2-3)에서 정의된 특성을 고려하고 V' 와 S' 이 V_t 와 S_t 와의 상관없이 없다고 하면 식 (2

$$5)는 \quad \bar{S} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (2-6)$$

로 주어지며 식 (2-6)의 Q 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
Q_1 &= h \langle \bar{V} \rangle \langle \bar{S} \rangle \\
Q_2 &= \int_0^h V_d S_d dz \quad (2-7) \\
Q_3 &= \int_0^h \overline{V_t S_t} dz \quad \overline{V_t S_t} = \frac{1}{T} \int_0^T V_t S_t dt \\
Q_4 &= \int_0^h \overline{S'V'} dz \quad \overline{S'V'} = \frac{1}{T} \int_0^T S'V' dt
\end{aligned}$$

식 (2-7)에서 정의된 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 는 정성적으로 다음과 같이 해석된다.

Q_1 은 조석 주기 T동안의 평균 유속에 의한 移流 현상(advection)이 鹽流動率에 기여하는 量으로서

$$\langle \bar{V} \rangle = \frac{R}{A}$$

로 쓸 수 있으므로 淡水流入量 R에 의한 것으로 해석될 수 있다. 그러나 R이 횡단면 A를 통과하는 殘差流에 비하여 미소하고 잔차류의 크기와 유향이 조석 주기 T보다 긴 주기로 변하는 경우 R의 $\langle \bar{V} \rangle$ 에 대한 기여는 잔차류의 기여 성분으로부터 분명하게 구분하기 어렵게 되며 R의 영향을 고려하기 위해서는 T의 기간이 길어야 될 것이다. Q_2 는 조석 주기 T에 대한 평균 유속과 염분이 수심에 따라서 변하는 정도에 따라 결정되는 量으로서 대상 해역의 해수의 유동 특성, 즉 순환 특성에 의존하며 속도 전단(velocity shear)의 기여 성분을 나타낸다. Q_3 는 조석 확산(tidal diffusion)에 의한 양이라고 할 수 있는데 조석 주기 T동안에 변하는 유속과 염분의 변동량(fluctuation)에 의해서 결정되며 유속과 염분의 조석 변화에 나타나는 위상차에 의존하는 바 크다. Q_4 는 유속과 염분의 미소 변동량에 의한 것으로서 보통 他 항에 비하여 무시된다.

식 (2-7)에서 정의된 Q값을 구하기 위하여 횡단면-1에서는 1981년 7월 28일에 수심 2 m 간격으로 12시간 관측된 유속과 염분 자료를 사용하였다. 부족한 자료는 내삽법에 의해서 보워하였으며 수심에 대한 적분은 有限sum으로 梯型 면적 공식을 사용하였다. 식 (2-7)에 나타난 量들의 계산 결과는 Table I-8a,b,c에 나타난 바와 같으며 이 수치들을 식 (2-7)에 代入하여 얻은 결과는 Table I-9에 나타나 있다.

Table I-9에 의하면 각 횡단면의 단위 폭 당 鹽流動率은 횡단면-1이 12 kg /

Table I-8a. Calculations of salt flux terms appearing in equation (2-7) using data for the July 28th, 1981. Salinity is in part per mil and velocity is in cm/sec.

Depth (m)	Station 1A						Station 1B						Station 1C					
	\bar{S}	\bar{V}	S_e	V_e	$S_e \cdot V_e$	$\overline{S_e \cdot V_e}$	\bar{S}	\bar{V}	S_e	V_e	$S_e \cdot V_e$	$\overline{S_e \cdot V_e}$	\bar{S}	\bar{V}	S_e	V_e	$S_e \cdot V_e$	$\overline{S_e \cdot V_e}$
0	26.92	10.1	-4.68	8.77	-41.04	2.77	27.45	11.8	-4.28	9.69	-41.47	6.51	27.39	5.9	-4.13	3.73	-15.40	2.69
2	29.25	7.8	-2.35	6.47	-15.20	2.70	29.29	10.3	-2.44	8.19	-19.98	3.92	29.35	7.1	-2.17	4.93	-10.70	1.48
4	30.32	6.4	-1.28	5.07	-6.49	-0.26	30.27	10.2	-1.46	8.09	-11.81	-0.48	30.61	3.0	-0.91	0.83	-0.76	-1.49
6	31.13	-2.3	-0.47	-3.63	1.71	0.29	31.11	0.8	-0.62	-1.31	0.81	-0.40	31.10	-1.3	-0.42	-3.47	1.46	-0.63
8	31.60	-1.9	0	-3.23	0	0.39	31.79	-2.2	0.06	-4.31	-0.26	-0.70	31.68	-0.3	0.16	-2.47	-0.40	-0.59
10	32.48	-0.8	0.88	-2.13	-1.87	-0.17	32.29	-1.5	0.56	-3.61	-2.02	0.12	32.44	-2.6	0.92	-4.77	-4.39	-0.21
12	32.86	-0.9	1.26	-2.23	-2.81	0.002	32.81	-0.1	1.08	-2.21	-2.39	-0.026	32.64	-0.7	1.12	-0.87	-0.97	-0.07
14	32.94	-0.9	1.34	-2.23	-2.99	-0.008	32.91	-1.4	1.18	-3.51	-4.18	-0.04	32.83	0	1.31	-2.17	-2.84	-0.17
16	32.93	-0.5	1.33	-1.83	-2.43	-0.021	32.91	-0.9	1.18	-3.01	-3.55	0.05	32.82	10.0	1.30	7.83	10.18	-0.76
20	32.93	-0.1	1.33	-1.43	-1.90	0.016	32.91	-0.6	1.18	-2.71	-3.20	-0.025	32.94	0.6	1.42	-1.57	-2.23	-0.009
22	32.92	-0.3	1.32	-1.63	-2.15	-0.018	32.92	-0.5	1.19	-2.61	-3.11	-0.08						
24	32.91	-0.6	1.31	-1.93	-2.53	0.008	32.90	-0.6	1.17	-2.71	-3.17	0.02						
	$\langle \bar{S} \rangle =$ 31.60	$\langle \bar{V} \rangle =$ 1.33					$\langle \bar{S} \rangle =$ 31.73	$\langle \bar{V} \rangle =$ 2.11					$\langle \bar{S} \rangle =$ 31.52	$\langle \bar{V} \rangle =$ 2.17				

Table I-8b. Calculations of salt flux terms appearing in equation (2-7). (Transection 14 is based on Sept. 26, 1981).

Depth (m)	Station 14A						Station 14C					
	\bar{S}	\bar{V}	S_e	V_e	$S_e \cdot V_e$	$\overline{S_e \cdot V_e}$	\bar{S}	\bar{V}	S_e	V_e	$S_e \cdot V_e$	$\overline{S_e \cdot V_e}$
0	25.74	-19.34	-3.64	-16.31	59.37	3.09	24.28	-18.74	-4.97	-15.26	75.84	0.49
4	27.96	-1.19	-1.42	1.84	-2.61	-4.74	27.94	4.62	-1.31	8.10	-10.61	1.02
8	(28.94)	-3.03	-0.44	0	0		(28.92)	5.86	-0.33	-9.34	3.08	
12	(29.91)	14.38	0.53	17.41	9.23		(29.90)	4.1	0.65	7.58	4.93	
14	30.40					-1.59	30.39					3.59
16	(30.61)	-5.36	1.23	-2.33	-2.87		(30.62)	-5.40	1.37	-1.92	-1.63	
20	(31.03)	-3.03	1.65	0	0		(31.60)	-5.77	2.35	-2.29	-5.38	
24	31.45	-3.66	2.07	-0.63	-1.30	0.51	31.52	-9.0	2.27	-5.52	-12.53	0.08
	$\langle \bar{S} \rangle =$ 29.38	$\langle \bar{V} \rangle =$ -3.03					$\langle \bar{S} \rangle =$ 29.25	$\langle \bar{V} \rangle =$ -3.48				

Table I-8C. Calculations of salt flux terms appearing in equation (2-7).
(Transection 15 is based on Sept. 26, 1981).

Depth (m)	Station 15A						Station 15C					
	\bar{S}	\bar{V}	S_d	V_d	$S_d \cdot V_d$	$\overline{S_t \cdot V_t}$	\bar{S}	\bar{V}	S_d	V_d	$S_d \cdot V_d$	$\overline{S_t \cdot V_t}$
0	27.21	3.8	-2.53	2.7	-6.83	-10.73	28.18	9.4	-1.70	-0.41	0.70	1.52
2	27.80	1.7	-1.94	0.6	-1.16	-6.11	28.49	9.5	-1.39	-0.31	0.43	-0.11
4	28.22	1.5	-1.52	0.4	-0.61	-3.89	28.79	10.1	1.09	0.29	-0.32	-0.49
6	28.84	-1.4	-0.90	-2.5	2.25	-3.98	29.13	8.0	-0.75	-1.81	1.36	-2.37
8	29.59	3.3	-0.15	2.2	-0.33	-1.05	29.53	7.0	-0.35	-2.81	0.98	-3.37
10	30.04	1.1	0.30	0	0	2.24	29.95	11.3	0.07	1.49	0.10	1.47
12	30.43	0.4	0.69	-0.7	-0.48	4.87	30.25	11.8	0.37	1.99	0.74	-2.82
14	30.57	-0.8	0.83	-0.9	-1.58	9.53	30.43	11.0	0.55	1.19	0.65	-0.37
16	30.75	-1.2	1.01	-2.3	-2.32	9.71	30.59	10.0	0.71	0.19	0.13	-2.97
18	30.87	0.0	1.13	-1.1	-1.24	4.93	30.90	9.3	1.02	-0.51	-0.52	2.69
20	31.17	1.79	1.43	0.69	0.99	3.22	31.08	9.1	1.20	-0.71	-0.85	-4.10
22	31.36	3.0	1.64	1.9	3.12	0.16	31.29	11.2	1.41	1.39	1.96	-3.60
	$\langle \bar{S} \rangle =$ 29.74	$\langle \bar{V} \rangle =$ 1.1					$\langle \bar{S} \rangle =$ 29.88	$\langle \bar{V} \rangle =$ 9.81				

Table I-9. Salt flux(kg/m.sec) across transections 1, 14 and 15. Q_i is defined by equation(2-7). Numbers in parentheses are percentages of Q_2 and Q_3 with respect to Q_1 at each station.

Transection 1

Station	Q_1	Q_2	Q_3	$\sum_{i=1}^3 Q_i$
1A	10.09(100)	-1.16*(11)	0.09(1)	9.01
1B	16.07(100)	-1.51 (9)	0.11(1)	14.67
1C	13.68(100)	-0.26 (2)	-0.03(0.2)	13.39
Average	13.28(100)	-0.98 (7)	0.06(0.45)	12.36

Transection 14

14A	-21.37**(100)	1.31 (6)	0.40(2)	-20.46
14C	-24.43 (100)	0.88 (4)	0.44(2)	-23.10
Average	-22.90 (100)	1.10 (5)	0.02(0.09)	-21.78

Transection 15

15A	7.20(100)	-0.13*** (2)	0.28(4)	7.35
15C	64.49(100)	0.08 (0.1)	-0.27(0.4)	64.30
Average	35.84(100)	-0.02 (0.06)	0.01(0.03)	35.83

* minus sign implies salt flux is out of the Masan Bay,

** minus sign implies salt flux is into the Jin Dong Bay.

*** minus sign implies salt flux is north wards.

$m \cdot sec$ 로서 馬山灣으로 流入되고 있으며 횡단면 14가 $22 kg / m \cdot sec$ 로서 진동만으로 流入되고 횡단면 15가 $36 kg / m \cdot sec$ 로서 外海로 流出되고 있음을 알 수 있다. Table I-9에서 $\sum Q_i$ 가 0이 되지 않는 것은 주로 조석 평균치가 시간에 따라서 변하고 있기 때문이며 유속의 변화가 시간적, 공간적으로 크기 때문이다.

각 횡단면에서 Q_1 이 Q_2 나 Q_3 보다 크게 나타나고 Q_2 는 횡단면 1과 횡단면 14에서는 Q_1 의 5-10%에 달하며 Q_3 는 Q_1 의 2%이하에 불과하다. Q_2 는 성층강도와 層流의 有無에 크게 좌우되며 염분과 유속이 수심에 대하여 균일한 경우에는 작은 값을 가지는데, 정성적인 견지에서 볼 때 연직 확산 계수에 반비례한다.

횡단면 - 15 에 비해서 횡단면 - 1 과 - 14 의 Q_2 가 큰 것은 수심에 대한 流速의 변화가 큰 때문이다.

鹽流動率 \bar{S} 로부터 淡水流動率 (fresh water flux) \bar{F} 를 다음과 같이 계산할 수 있다. 기준 염분 S_o 와 염분 S 에 대한 淡水比 (fresh water fraction) f 는

$$F = \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^h \int_0^b V_t dz dt$$

로 정의되므로, 단위 폭 당 淡水流動率 \bar{F} 는

$$\begin{aligned} \bar{F} &= \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^h \int_0^b V_t dz dt \\ &= \frac{1}{T} \iint V \left(1 - \frac{S}{S_o}\right) dz dt \\ &= h \langle \bar{V} \rangle - \frac{1}{S_o} \frac{1}{T} \iint v_s dz dt \\ &= h \langle \bar{V} \rangle - \frac{\bar{S}}{S_o} \\ &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \end{aligned} \quad (2 - 8a)$$

로 표현되며, 여기서

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{h}{S_o} \langle \bar{V} \rangle (S_o - \langle S \rangle) \\ F_2 &= -\frac{1}{S_o} Q_2 \\ F_3 &= \frac{1}{S_o} Q_3 \\ F_4 &= -\frac{1}{S_o} Q_4 \end{aligned} \quad (2 - 8b)$$

로 정의된다.

식 (2 - 8 b)에서 는 Q 와 유사한 원인에서 F 에 기여되는 量으로서 Table I 9의 Q 값에 대하여 $S_o = 33\%$ (횡단면 1)과 $S_o = 32\%$ (횡단면 - 14, 15)를 택할 때 Table I 10과 같은 결과를 얻는다.

식(2 - 8 b)에 의하면 F_1 은 $\langle \bar{V} \rangle$ 와 $(S_o - \langle S \rangle)$ 의 크기에 좌우되며 주어진 $\langle \bar{V} \rangle$ 와 $\langle S \rangle$ 에 대하여 S_o 에 따라서 다른 값을 가진다. 따라서 주어진 S_o 에 대하여 淡水流入量 R 과 성층 강도 (stratification)가 크면 F_1 은 증가하며 연직 방향으로 균질한 분포 특성을 나타내는 해역에서는 F_1 은 작은 값을 가진다.

횡단면 - 14 와 - 15 는 평균적으로 비슷한 크기의 淡水流動率을 나타내며 ($0.1 \text{ m}^3 /$

sec), F_1, F_2, F_3 의 상대적인 크기는 정점에 따라서 다른데 횡단면 1의 F_2 값이 F_1 보다 큰 것이 주목되며 蠶島 주위의 횡단면 14와 15에서는 移流的 원인에 의한 F_1 이 F_2 와 F_3 보다 큰 값을 나타낸다.

Table I-10. Fresh water flux(m^3/sec) across transections 1, 14 and 15.

Transection 1

Station	$S_0 F_1$	$+S_0 F_2$	$+S_0 F_3$	$\sum_{i=1}^3 S_0 F_i$	$\frac{\sum_{i=1}^3 S_0 F_i}{S_0}$
1A	0.44(100)	1.16(264)	-0.09(15)	1.51	0.05
1B	0.64(100)	1.51(336)	-0.11(17)	2.04	0.06
1C	0.64(100)	0.26(41)	0.03(5)	0.93	0.03
Average	0.57	0.98	-0.06		0.05

Transection 14

14A	-1.90(100)	-1.31(69)	0.40(21)	-2.81	-0.09
14C	-2.30(100)	-0.88(38)	-0.44(19)	-3.62	-0.11
Average	-2.10	-1.10	-0.02		-0.10

Transection 15

15A	0.54(100)	0.13(24)	-0.28(52)	0.39	0.01
15C	4.60(100)	0.08(2)	0.27(6)	4.79	0.15
Average	2.57	0.03	-0.01		0.08

3. 要約 및 結語

馬山灣 및 蠶島 주위의 海水特性은 다음과 같이 要約된다.

1) 馬山灣內에 5개, 蠶島 주위에 3개의 횡단면을 정하고 각 횡단면상에 2~3개의 관측 정점을 정하여 연직 방향으로 수온, 염분, 유속, 유향을 6~12 시간 동안 매 시간 간격으로 연속 관측을 동시에 실시하였다. 수온, 염분, 해수 밀도, 측방향의 유속 등의 관측 결과는 時系列資料로서 Fig. 14에서 Fig. 111 까지 도시하였으며 조석 평균치로서 연직 단면도를 Fig. 112에 도시하였고, 낙조시, 창조시

조석 평균치의 연직 변화를 Fig. I-13에서 Fig. I-20 까지 도시하였다.

馬山灣內에서 관측된 資料의 시간에 따른 변화는 상층이 큰 편으로 수온의 변화 폭은 3~4°C가 되며 염분, σ_t 의 변화폭은 각각 2~2.5‰, 2.5~3.5가 된다. 潮汐平均의 수온, 염분, σ_t 의 수심에 대한 변화폭은 수온, 염분, σ_t 가 각각 15.9~28.95°C, 26.51~32.85‰, 15.75~24.20으로서 횡단면 별로 5.2~13.05°C, 6~7‰, 6.1~8.5에 이르며 수온의 변화폭이 횡단면-1에서 馬山灣 內측으로 가면서 감소 되는데에 비해서 鹽分과 σ_t 의 변화폭은 큰 변화를 보이지 않는다. 횡단면 상의 분포는 수평 분포를 보이나 각 횡단면의 정점 A가 정점 C보다 약간 높은 수온, 낮은 염분, 낮은 밀도를 나타내고 있어서 淡水의 영향이 마산만 西側에 큰 것을 알 수 있다. 수온, 염분, 해수 밀도의 약층은 각 횡단면 상에서 수심 2~4 m 수심층에서 발견되며 조석 평균 流向은 횡단면의 정점에 따라 다소 차이는 있으나 상층은 창조류가 우세하고 중층은 낙조류, 하층은 창조류가 우세하며 3층류의 類型을 나타낸다.

잠도 주위의 時系列 관측 자료의 변화폭은 상층에서 큰 편으로 수온의 변화폭은 2~3°C이며 염분과 σ_t 의 변화폭은 각각 2.5~3‰, 2.5로서 7월 하순의 馬山灣 內의 변화폭과 비교해서 큰 차이가 없다.

潮汐平均의 수심에 대한 변화폭은 수온, 염분, σ_t 가 각각 17.6~22.4°C, 24.28~32.57‰, 16.15~23.53으로서 횡단면 별로 3.8~4.8°C, 3.37~7.24‰, 3.7~6.46의 변화폭을 보이며 횡단면-14, -15, -16의 순으로 수온의 변화는 증가하며 염분과 σ_t 의 변화는 감소한다.

潮汐平均流向은 횡단면-14가 상층으로부터 창조류-낙조류-창조류의 3층류를 형성하고 횡단면-15는 낙조류가 우세하며 횡단면-16은 정점 16 A에서는 창조류가 우세하고 16 C는 0~8 m 수심에서는 창조류, 12~36 m 수심에서는 낙조류가 우세하다.

2) 成層-循環圖를 利用해서 馬山灣 入口와 蠶島 주위에서 관측된 자료를 사용하여 河口域으로서의 類型을 고찰하였다. 馬山灣과 蠶島 주위의 成層 경수는 0.10~0.25의 범위 내에 있으며 循環 경수는 0.98~7.59의 범위를 나타내어서 成層-循環圖

상에서 類型 2 b에 속함을 알 수 있으며 부분적 성층 상태의 河口域 (partially stratified estuary)으로 분류된다 하겠다.

3) 鹽流動率을 移流 (advection), 해수 순환 (circulation), 潮汐 확산 (tidal diffusion) 등의 기여 성분으로 분해하여 각 정점 별로 비교하였고 횡단면 별로 평균치를 구하여 고찰하였다.

鹽流動率은 횡단면 -1이 약 $12 \text{ kg} / \text{m} / \text{sec}$, 횡단면 14가 약 $22 \text{ kg} / \text{m} / \text{sec}$, 횡단면 15가 약 $36 \text{ kg} / \text{m} / \text{sec}$ 로서 Q_1 이 우세하며 Q_2 는 Q_1 의 5~10%, Q_3 는 Q_1 의 2%이하에 불과하다.

淡水流動率은 $0.05 \sim 0.10 \text{ m}^3 / \text{sec}$ 의 크기를 가지며 횡단면 14, -15가 횡단면 -1에 비해서 2배 정도에 달한다.

第3節 潮汐 特性

1. 觀測 方法

潮汐은 Aanderaa Water Level Recorder (Model WLR-5) 및 InterOcean Tide de Gauge (Model STG/100)을 사용하여 觀測하였으며 各各의 관측 위치, 관측 기간 및 사용 기기는 Table I-11과 같다.

Table I-11. Specification of tide gauge moorings.

Instrument	Station	Data set name	Observation period	Sampling interval (min.)	Remark
WLR-5	T1	427-12	Jul. 24 - Aug. 1, 1981	2	Only part of data available
		427-13	Aug. 1 - Sept. 4, 1981	10	
		427-14	Sept. 4 - Sept. 23, 1981	5	
		427-15	Sept. 23 - Sept. 29, 1981	2	
		427-16	Sept. 29 - Nov. 10, 1981	10	
	T2	430-5	Jul. 24 - Aug. 1, 1981	2	
	T3	431-10	Jul. 24 - Aug. 1, 1981	2	abrupt level change occurred during measurement
		430-8	Sept. 4 - Sept. 23, 1981	5	
STG/100	I1	STG-1	Jul. 25 - Aug. 23, 1981	analogue	
		STG-2	Sept. 5 - Sept. 29, 1981	"	

대부분의 조석 관측시 기기는 海底에 계류(mooring)하였으나 馬山灣 內쪽의 정점 T1 만은 부두에 鐵製 frame 을 사용하여 계류하였다(KORDI 1980 a).

그 결과 자료의 관측 기간이 긴 정점 T1의 4개월 간의 자료를 전산 처리하여 調和分解하였다.

2. 分 析

1) 資料處理

관측된 자료는 水位의 변동에 따른 水壓 변화 외에 대기압도 포함되므로 실제의 昇降 운동보다 완화된 결과를 보이게 된다. 따라서 관측된 자료로부터 중앙 기상대의 매 6시간 간격의 중무의 대기압 자료를 interpolation하여 얻은 값을 빼어 raw data로 하였다. 각 raw data는 통상 여러 가지 오차를 포함하게 된다. 따라서, 각 자료는 관측 시간 간격에 따라 다음의 두 가지 smoothing filter 를 사용하여 hourly value로 환산하여 사용하였으며 각각의 transfer function 은 Fig. I-22 와 같다 (Godin 1972).

$$5 \text{ 분 간격 자료 : } \frac{1}{2016} \alpha_{12}^2 \alpha_{14}$$

$$10 \text{ 분 간격 자료 : } \frac{1}{252} \alpha_6^2 \alpha_7$$

$$\text{단, } \alpha_n(\sigma) = \frac{\sin(n\pi\sigma\Delta t)}{\sin(n\sigma\Delta t)}$$

또한 2분 간격의 자료는 5-point least square quadratic fitting으로 10분 간격의 자료로 환산하여 상기 smoothing filter를 사용하였으며 5-point quadratic fitting의 transfer function은 $\frac{1}{35} (17 + 24\cos(2\pi\sigma\Delta t) - 6\cos(4\pi\sigma\Delta t))$ 와 같고, 이를 도식하면 Fig. I-23 과 같다. 이를 볼 때 Nyquist frequency 부근에서는 좋지 않으나 위의 smoothing filter와 같이 쓸 때는 high frequency 는 거의 제거될 것이다.

2) 潮汐의 調和常數 및 非調和常數

가) 調和常數

관측된 4개월 간의 자료는 Fig. I-24 와 같으며 이를 조화 분해한 결과는 Table I-12 와 같다.

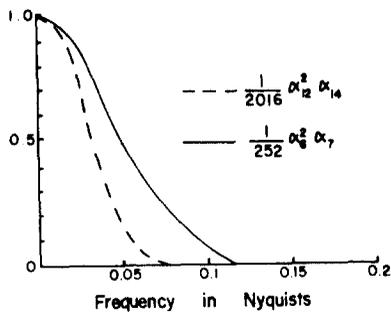


Fig. I-22. Transfer functions of two smoothing filters, $\frac{1}{2016} \alpha_{12}^2 \alpha_{14}$ and $\frac{1}{252} \alpha_6^2 \alpha_7$.

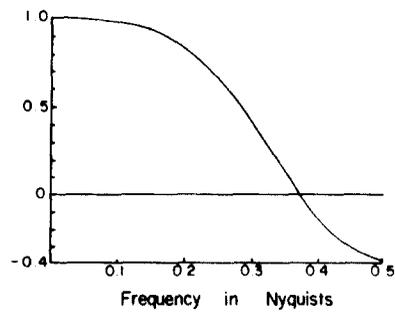


Fig. I-23. Transfer function of 5-point least-square quadratic fitting .

Table I-12. Harmonic constants of the tidal constituents at station T1 in Masan Bay (Aug. 1 - Nov. 10, 1981).

Constituent	Speed (degrees/hour)	Amplitude (cm)	Phase-lag (degrees)*	
			G	K
M _m	0.5444	4.10	132.05	127.15
M _{Sf}	1.0159	4.12	154.89	145.75
O ₁	13.9430	3.89	133-40	136.50
K ₁	15.0411	7.04	163.14	156.36
μ ₂	27.9682	2.19	225.41	230.86
N ₂	28.4397	10.80	241.97	243.18
M ₂	28.9841	58.88	245.41	241.72
S ₂	30.000	31.51	280.38	267.55
M ₃	43.4762	2.08	350.57	345.03
SK ₃	45.0411	1.35	154.87	135.25
M ₄	57.9682	2.25	246.43	239.05
MS ₄	58.9841	2.37	279.30	262.78

* Phase-lag G: Greenwich phase-lag
K: Local phase-lag

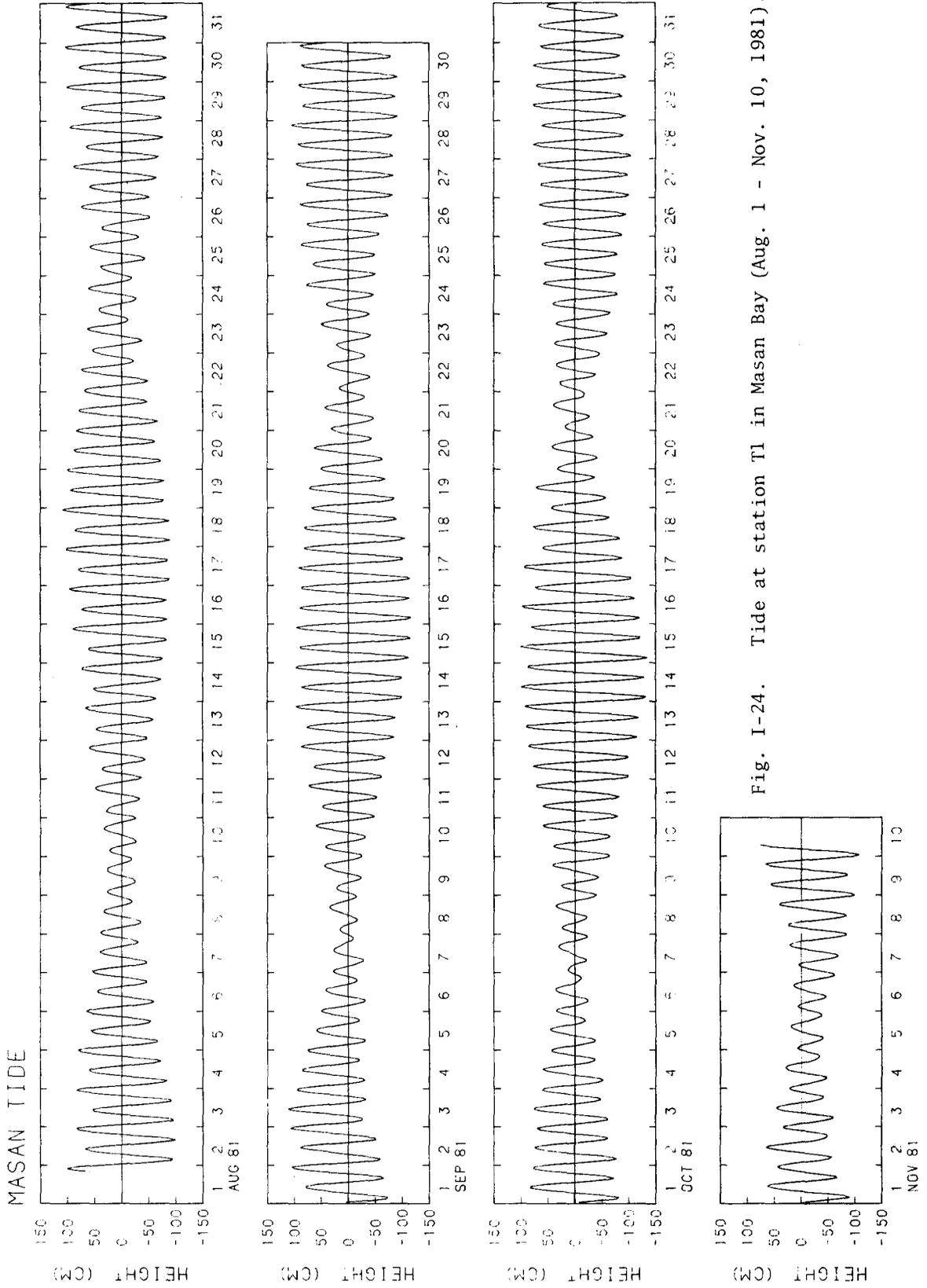


Fig. I-24. Tide at station T1 in Masan Bay (Aug. 1 - Nov. 10, 1981).

1980년 蠶島에서 1개월 간 관측한 결과 (KORDI 1980 b) 와 비교해 볼 때 半日週潮 및 日週潮는 별 차이가 없고 形態數도 0.12로서 뚜렷한 半日週潮의 성격을 보인다. 다만 長週期인 Mm 및 MSf 의 기여가 뚜렷이 나타나는데 이는 長週期 변화에 의한 것이며 Fig. I-24에서 그 영향을 뚜렷하게 볼 수 있다.

Fig. I-24에서 中央線은 전 기간 동안의 平均値를 나타낸다. 전반적으로 보아 기압이 낮아지는 8, 9월 경에는 평균 level이 다른 달보다 높아지며 10월 이후 점차 다시 낮아진다. 9월 초의 異常高潮現象은 당시 우리나라 근해를 통과한 태풍의 영향으로 사료되며 중앙기상대의 자료에 의하면 당시의 대기압은 989 mb 까지 하강하였다.

나) 非調和常數

위의 調和常數에 의거하여 算出된 非調和常數는 다음과 같고, 이에 의한 潮位圖表는 Fig. I-25와 같다.

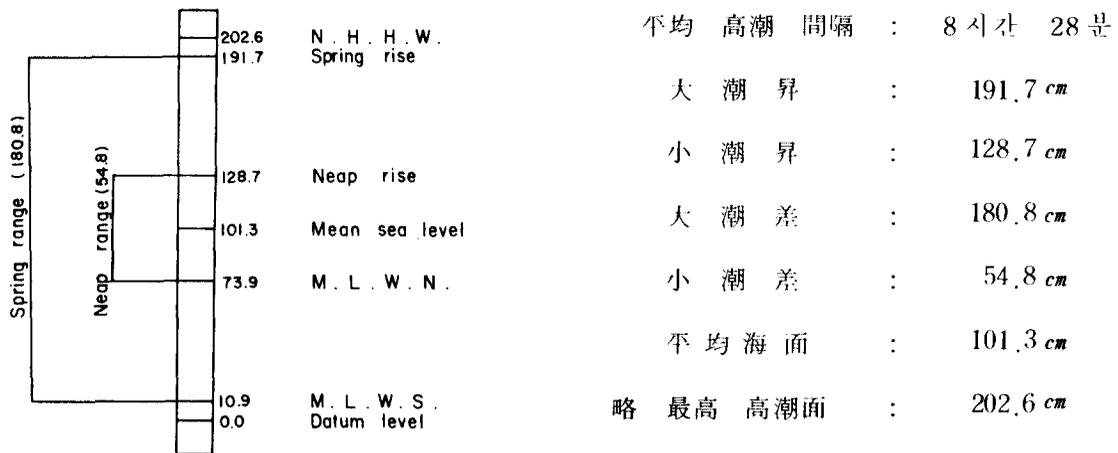


Fig. I-25. Various water levels at station T1 in Masan Bay estimated from the data observed from Aug. 1 to Nov. 11, 1981 (unit:cm).

3. 要約 및 結語

馬山灣에는 固定檢潮所가 없고 부산을 標準港으로 한 短期觀測資料가 있을 뿐이다. 따라서 馬山灣에 流出入되는 海水量, 다른 定點의 조석과의 관계 및 海水流動과의 관계를 보기 위하여 灣 內에 여러 지점을 선택하여 계류하였다.

馬山灣의 정점 T1의 관측 결과로 볼 때 潮差는 최소 55 cm, 최대 230 cm 까지

달하며 1980년 蠶島의 관측치와 비교해 보면 潮高比는 약간 작운데 이는 內灣쪽으로 갈수록 해저에 의한 마찰의 영향을 받은 결과로 생각된다. 또한 비체로 마산만 끝의 정점 T1은 잠도보다 조석의 위상이 약 6분 가량 늦음을 알 수 있다. 日潮不等은 매우 적으며 하루 중의 水位 변화는 80년 잠도 관측과 같은 樣狀이다.

앞으로 馬山灣內의 海水 순환을 고찰함에 있어서 각 조석 자료는 다른 정점의 潮汐資料 및 灣入口에 계류한 RCM-4 자료와의 cross correlation 분석을 통하여 그 상호 관계를 연구함으로써 전반적인 力學構造를 밝힐 수 있을 것이다.

第4節 Anderaa RCM-4에 의한 連續 潮流觀測

1. 觀測方法

自記流速計 Anderaa RCM 4를 이용한 連續潮流觀測은 7월 말 및 9월 말 2회에 걸쳐 실시되었으며 각 觀測位置, 觀測期間 및 水深등은 Table I-13과 같다.

금번의 連續潮流觀測은 1980년 觀測時의 短期觀測方法을 止揚하고 海水 순환 등에 중요한 殘差流(residual current)의 변화에 역점을 두어 連續長期繫留를 시도하였다. 따라서 1회의 관측시 적어도 2주일 이상의 연속 관측으로 大潮期 및 小潮期를 모두 포함하여 1주기 기간 동안 連續觀測함이 이상적이나 조사 해역에서의 잦은 船舶의 往來 및 漁勞활동으로 인하여 장기간 觀測은 不可하였다. 그러므로 각각의 觀測은 潮汐條件을 엄밀히 고려하여 小潮期 直前부터 大潮期 直後까지 약 1주일간 시행되어 가능한 모든 潮汐條件을 포함할 수 있도록 시도하였다.

7월 말의 觀測에서는 馬山灣 海水의 유출입과 관련하여 馬山灣 入口의 橫斷面 1을 선정하여 橫斷面 內에서의 流速의 水平 및 垂直分布와 殘差流 變化의 규명에 역점을 두고 集中繫留하였다. 9월 달의 觀測時는 蠶島 주변에 3개의 橫斷面을 設定하고 同時觀測으로 상호관계를 보려고 하였다. 그러나 器機不足으로 상하층으로 繫留하지 못하고 汚染物質移動에 특히 중요한 상층에만 繫留하였다.

2. 資料의 處理 및 分析

觀測된 連續資料는 以前의 방법(KORDI 1981 b)과 같이 처리되었으며 결과 圖面

은 부록과 같다. 1980년의 觀測은 25시간 정도의 短期觀測이어서 2 潮汐週期 동안의 단순한 算術平均에 의해 殘差流를 類推했을 뿐 그 시간적 변화를 볼 수 없고 창낙조의 持續時間이 다른 경우나 日潮不等이 있는 경우 사용되는 자료에 따라 漲落潮의 比重이 달라져서 歪曲된 결과를 보일 수도 있었다.

반면 금번의 觀測은 약 1週日 이상의 連續觀測으로 비교적 資料가 길기 때문에 단순한 算術平均이 아닌 filtering을 통하여 殘差流를 計算하였다. 즉 각각의 raw data는 觀測時間 간격에 따라 제 3 절에서 言及된 smoothing filter를 사용하여 error 및 high frequency 변화를 除去한 후 殘差流를 구하기 위하여 潮汐成分(tidal component)과 殘留成分(residual component)으로 分解하였다. 이때 tidal eliminator로서는 Doodson의 Xo filter를 사용하였으며 그 transfer function은

$$F(\sigma) = \frac{1}{30} A_2 (I + A_{16}) (I + A_{10} + A_{20})$$

$$\text{단, } A_n(\sigma) = 2 \cos(n \pi \sigma \Delta t)$$

$$I = 1 \text{ (identity)}$$

와 같고 이를 도식하면 Fig. I-26 과 같다(Lie 1978).

이를 볼 때 유속 변화의 대부분을 차지하는 日週潮 및 半日週潮에 해당되는 부분은 거의 消去되나 1.44 cpd(주기 약 16시간 40분) 부근의 成分은 완전히 消去되지는 않는다. 그러나 제 3 절의 調和分解 결과를 참고해 볼 때 이 주기에 해

Table I-13. Specification of RCM-4 moorings.

Data set name	Station	Depth* (m)	Observation period	Sampling interval (min.)	Moon's age (days)	Remark
4758-16	1A	5/22	Jul. 25-Aug. 1, 1981	5	23.3- 1.0	**July 26: neap
4759-14	"	17/22	"	"	"	Aug. 1: spring
3450-811	1B	4/27	Jul. 26-Aug. 1, 1981	"	24.3- 1.0	
4188-14	"	13/27	"	"	"	
4757-16	"	22/27	"	"	"	
4761-16	1C	5/19	Jul. 25-Aug. 1, 1981	"	23.3- 1.0	
4760-16	"	14/19	"	"	"	
4188-16	14B	4/25	Sept. 23-Sept. 29, 1981	2	24.5- 1.0	**Sept. 22: neap Sept. 28: spring
4757-18	15B	4/22	"	"	"	data unavailable
4761-18	16B	3/47	Sept. 23-Sept. 24, 1981	"	24.5-25.5	recovered early

* depth: a/b a: RCM-4 mooring depth
b: total depth

** tide condition

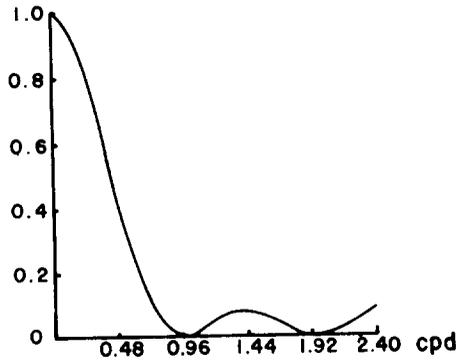


Fig. I-26. Transfer function of Doodson's X_0 filter.

당되는 부분이 거의 없으므로 별 문제가 되지 않을 듯하다.

대체적으로 볼 때 1980년 觀測 결과와 비슷하고 조석 상태의 변화에 따른 시간적 변화는 다음과 같다.

1) 7월 말 관측

정점 1A의 상층에서는 小潮期 1일 후부터 약 3일 간은 落潮流가 강하며 漲潮流는 아주 微弱하다. 그 이후 大潮期에 가까와질수록 다시 漲潮流가 落潮流보다 강해지며 持續時間도 길어진다. 반면 하층에서는 潮汐狀態에 따른 流速變化는 크지 않고 大潮期로 갈수록 약간씩 流續이 커지고 漲潮流의 持續時間이 길어질 뿐이며 전 기간에 걸쳐서는 대체로 落潮流가 강하다. 漲潮流는 최대 $10 \sim 15 \text{ cm/sec}$ 정도, 落潮流는 $15 \sim 20 \text{ cm/sec}$ 가량이다. 또한 scatter diagram으로 볼 때 상층은 전반적으로 약간 우측으로 치우친 반면 하층은 약간 좌측으로 치우쳐서 정점 1B의 하층 資料와 연관시켜 보면 馬山灣을 향해 보았을 때 斷面 內에서 시계 방향의 殘差流 循環이 類推된다.

정점 1B의 상층은 대부분의 潮汐狀態에서 漲潮流가 더 강하게 나타났으며 小潮期에는 최고 25 cm/sec , 大潮期에는 40 cm/sec 까지 이른다. 반면 중층은 대체로 落潮流가 우세하나 小潮期 약 4일 후부터는 漲潮流가 강하다. 最低流速은 小潮期 1일 후에 나타났으며 最強流速은 오히려 大潮期 직전에 나타났다. 또한 중층의 落潮流는 潮汐狀態에 따른 流速變化가 크지 않으며 最強流速은 $10 \sim 15 \text{ cm/sec}$ 이나 漲潮流는 潮汐狀態에 따른 變化가 커서 小潮期부터 약 4일 간은 거의 微弱하다가 大潮期 2일 전부터 비교적 커져서 最高 15 cm/sec 까지 이른다. 하층은 전 기간에 걸쳐 漲潮流의 持續時間이 별 차이가 없고 단지 大潮期로 갈수록 조금씩 유속이 커질 뿐이나 전반적으로 落潮流가 약간 강하다. 大潮期에는 漲潮流는 최고 20 cm/sec , 落潮流는 약 30 cm/sec 까지 이른다. 정점 1C에서는 小潮期 直後를 제외하고는 전 기간에 걸쳐

落潮流가 강하고 持續時間도 길며 최고 25 cm/sec까지 이르나 漲潮流는 아주 微弱하다. 반면 하층에서는 漲落潮流 持續時間이 거의 같고 流速도 비슷하나 전반적으로 漲潮流가 강하다.

2) 9월말 관측

제 2 차 現場調査期間에는 잠도 주위에 3개의 橫斷面을 設定하고 그 중앙 지점인 3개의 정점 14B, 15B, 16B의 상층에 繫留하여 觀測하였다. 그 중 정점 15B의 資料는 器機의 作動 不良으로 사용할 수 없고 정점 16B는 觀測 始作 1일 후 주변에 操業 중이던 漁船에 의해 觀測 位置가 移動되었고 빈번한 船舶의 왕래로 인하여 중도 回收하였기 때문에 단기 資料만이 사용 가능하다.

정점 14B의 상층은 대체로 1980년 관측 결과와 비슷하며 落潮流가 훨씬 우세한 非對稱을 보인다. 潮流의 主方向은 東南東-西南西이며 落潮流의 持續時間이 더 길다. 潮汐狀態에 따른 流速의 變化를 볼 때 漲潮流는 最低 20 cm/sec부터 50 cm/sec까지 이르는 반면 落潮流는 最低 25 cm/sec부터 70 cm/sec까지 이른다.

정점 16B 상층은 정점 14B보다 流速이 훨씬 크다. 관측된 資料가 小潮期 뿐이어서 전체적인 變化는 알 수 없으나 小潮期때는 最低 20 cm/sec, 최고 50 cm/sec 정도이고 最强流速은 漲潮流 方向이며 漲潮流가 持續時間이 落潮流보다 길다.

3. 考察

殘差流의 크기 및 시간적 變化와 潮流의 時間的 變化는 부록의 stick diagram 및 progressive vector diagram으로 쉽게 파악할 수 있다. 전반적으로 보아 1980년의 短期 觀測資料에 근거를 둔 결론, 즉 대체로 상층은 落潮流가 강하고 하층은 漲潮流가 강하다는 결론과는 상이한 현상이 많이 나타났으며 시간적 變化도 크다.

Table I - 14는 관측 기간 중 觀測된 漲落潮의 最强流速을 나타낸다. 즉 하루중 H潮不等에 의한 流速差가 크므로 각 潮汐週기로 보아 流速이 가장 약한 時期의 가장 강한 시기를 골라 그 때의 漲落潮流의 最强流速을 산출한 것이다. 전반적으로 小潮期 1~2일 후에 가장 流速이 약하며 大潮期 직후의 資料가 없어서 단정지을 수는 없으나 最强流速은 大潮期에 나타날 것으로 사료된다.

Table I-14. Observed maximum and minimum current speeds during each measurement (F: flood current, E: ebb current).

Station	Layer	Maximum value		Minimum value		Remark
		Date	Speed (cm/sec)	Date	Speed (cm/sec)	
1A	upper	Jul. 31	F 24.8	Jul. 27	F 4.4	Jul. 26: neap Aug. 1: spring
		Aug. 1	E 28.3	"	E 6.9	
	lower	Jul. 31	F 6.8	Jul. 28	F 3.3	
		"	E 14.6	"	E 4.7	
1B	upper	Jul. 31	F 37.0	Jul. 28	F 17.8	
		"	E 26.4	Jul. 27	E 11.8	
	middle	Jul. 31	F 20.3	Jul. 27	F 1.4	
		"	E 19.2	"	E 9.9	
	lower	Aug. 1	F 17.6	Jul. 27	F 4.4	
		Jul. 31	E 27.5	"	E 2.5	
1C	upper	Jul. 31	F 13.1	Jul. 27	F 2.5	
		Aug. 1	E 21.2	"	E 9.1	
	lower	Jul. 31	F 11.4	Jul. 26	F 3.9	
		Aug. 1	E 21.1	Jul. 27	E 3.8	
14B	upper	Sept. 29	F 53.9	Sept. 24	F 26.9	Sept. 22: neap Sept. 28: spring
		"	E 62.2	"	E 24.8	
16B	upper	-	F -	Sept. 24	F 57.1	
			E -	"	E 40.3	

小潮期에는 정점 1B의 상층을 제외하고는 漲落潮流의 最强流速은 모두 10 cm/sec 이하로 微弱하나 大潮期에는 정점에 따라 最强流速은 小潮期の 2배에서 10배 이상까지 이르러서 거의 전 단면의 落潮流는 20 cm/sec 이상이며 정점 1A 상층이 가장 강하다. 전체적으로 보아 정점 1B 상층은 항상 漲潮流가 강한 반면 다른 부분은 대체로 落潮流가 강하다. 부록의 stick diagram으로 殘差流를 비교해 보면 정점 1A 하층 및 정점 1B 하층은 꾸준한 南向 殘差流를 보이는 반면 정점 1C 하층은 小潮期 2일 후 南向流에서 北向流로 바뀐다. 그러나 하층의 殘差流는 모두가 流速이 微弱하여 residual circlation에는 별 기여가 없다. 정점

1 A 상층은 小潮期 후 微弱한 南向 殘差流를 보이다가 小潮期 4일 후부터는 거의 10 cm/sec 까지 이르는 北向의 강한 殘差流를 보이는 반면 정점 1 B 상층은 小潮期에 강한 北向 殘差流를 보이다가 정점 1 A 상층의 北向 殘差流가 강해지면 점차 北向 殘差流가 약해져서 정점 1 A 상층과는 정반대의 경향을 띠게 된다. 한편 정점 1 C 상층은 꾸준한 南向 殘差流를 보이며 별 變化가 없으나 정점 1 B 상층의 北向 殘差流가 강해질 때는 남향 殘差流가 약해진다. 종합하여 말하면 Fig I - 27 같이 하층은 residual circulation에는 별로 큰 영향을 못 미치며 小潮期에는 주로 정점 1 B 상층으로 유입하여 정점 1 A 상층, 정점 1 B 중층 및 정점 1 C 상층으로 流出되며 小潮期 약 4일 후에는 傾向이 거의 반대로 되었다가 大潮期가 되면 다시 傾向이 뒤바뀐다.

Table I - 15는 단면 내의 각 觀測點에서 계산된 tidal excursion을 나타낸다. 小潮期에 마산만 내의 각 정점은 창조시는 정점 1 B 상층을 제외하고는 1km이내이며 낙조시의 tidal excursion이 훨씬 길다. 대조기에는 전체가 1km 이상이며 특히 정점 1 A 상

Table I-15. Estimated maximum and minimum tidal excursions (unit: km).

Station	Layer	Maximum		Minimum	
		Flood	Ebb	Flood	Ebb
1A	upper	5.4	3.6	0.6	1.1
	lower	1.1	2.2	0.5	0.8
1B	upper	8.9	6.4	3.8	1.0
	middle	4.9	2.6	0.5	1.9
	lower	2.5	3.4	1.0	1.0
1C	upper	2.2	2.7	0.3	1.4
	lower	2.1	1.6	0.9	0.7
14B	upper	5.7	9.2	2.2	3.3
16B	upper	-	-	6.8	2.8

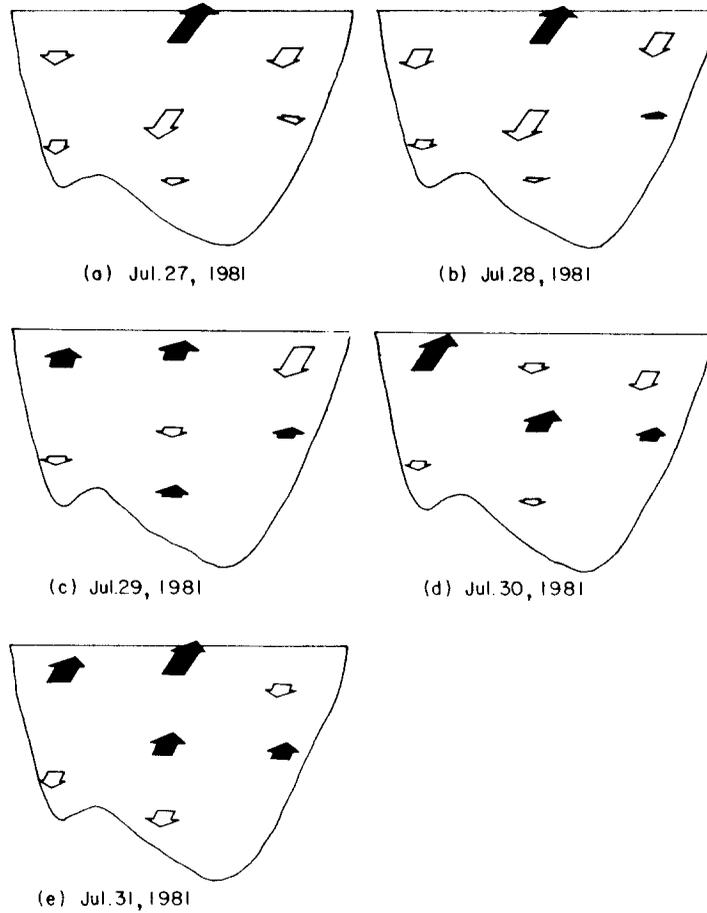


Fig. I-27. Time varying patterns of residual currents in the transection-1 located at the mouth of Mansan Bay.

층 및 정점 1B 상층층은 거의 5km 이상에 달하며 馬山灣 전체의 길이와 같거나 그 이상이다. 따라서 Table I-15에 나타난 결과에 의하면 馬山灣 입구로 流入된 海水는 最高 마산만 입구의 저도까지 밖에 도달할 수 없으며 港灣으로부터 오염 物質을 擴散시킬 수 없을 것이다. 반면 大潮期에는 最高 약 9km까지 달하므로 거의 馬山灣 끝까지 도달할 수 있어서 만 전체의 混濁 상태가 양호하여 순환이 잘 될 것이다. 그러나 蠶島 實利島사이의 정점 14 B의 tidal excursion도 落潮時 거의 9km 이상에 달하므로 실제 馬山灣 내부로부터의 海水의 流出은 상당히 지체될 것으로 思料된다.

4. 要約 및 結語

1980년 조사에 이은 금번의 連續潮流觀測 결과 E方向은 대체로 1980년도 관측과 비슷한 結果를 보였으나 殘差流에 있어서는 相異한 結果를 나타냈다. 즉 1980년의 結果에 의하면 殘差流의 流向은 上층은 모두 落潮流 方向이며 下층은 모두 漲潮流 方向이었으나 금번의 조사 結果 횡단면-1의 殘差流는 南向流를 보이는 下층을 제외하고는 時間에 따라 變化하였다. 특히 횡단면-1의 중앙에 위치한 정점 1B의 上층은 꾸준히 北向 殘差流를 나타내며 정점 1A의 上층, 정점 1B의 中층 및 정점 1C의 上층은 정점 1B의 上층과는 반대의 傾向을 보였고 대체로 이 두 부분이 殘差流를 특징짓는다.

또한 最強流速 分布를 볼 때 정점 1A 및 정점 1B가 강하며 정점 1C는 流速이 비교적 약해서 海水交換은 주로 서쪽 斷面을 통해 활발하다. 그러나 본 現場觀測時에 南風이 우세하였는데 이로 인한 영향은 관계되는 기상 자료의 결핍으로 알 수 없으며 추후에 계속되는 現場 조사시에는 氣象觀測을 병행해서 실시할 必要가 있다.

또한 tidal excursion에 의한 馬山灣 内の 海水混合 및 汚染物質移動에는 蠶島-實利島 사이의 정점 14B로부터 流出되는 落潮流의 영향이 클 것이다. 그러나 실제로 蠶島와 釜島 및 주변에서의 觀測資料가 없어서 정확한 結論을 내릴 수 없고 앞으로 RCM-4 mooring 및 drogue study에 의한 蠶島와 釜島 사이 海역의 集中 조사가 必要한 것으로 思料된다.

第5節 淡水交替時間(flushing time)

환경 보존 문제를 염두에 둘 때 河口나 内灣에서 發生하는 중요한 物理海洋學的 과정의 하나로 海水와 淡水의 混合 현상을 들 수 있다. 해수와 담수나 내륙으로부터 유입된 물질의 혼합은 순환(circulation), 확산(diffusion), 移流(advection)에 의해서 이루어진다. 따라서 혼합 현상을 다룰 때 대상 海域 内の 해수의 순환, 확산, 이류 현상 등의 특성을 규명하고 그 원인 메카니즘을 밝힐 필요가 있게 되며 이로부터 오염 물질의 分布 특성, 잔류 시간 등에 대한 예측을 하고 그 대책을 강구할 수 있게 된다.

河口나 内灣에서 發生될 오염 현상을 다룰 때에 보존성 오염 물질의 전파와 분포 현상을 연구하기 위하여 담수의 분포를 대표적인 예로서 연구하여 왔다. 내륙으로부터 유입되는 여러 가지 오염 물질의 대부분이 담수와 함께 유입되기 때문이기도 하겠으나 염분을 측정함으로써 용이하게 담수의 혼합 및 분포를 밝혀낼 수 있기 때문이다.

마산만 内の 오염 물질의 流入, 확산, 전파 및 flushing에 의한 제거 현상을 고찰하기 위한 첫 단계로서 마산만 내에 유입되고 있는 담수의 量을 추정하고 淡水를 추적물(tracer)로 하여 마산만 内の 淡水交替時間(flushing time)을 추정함으로써 마산만 주위 工團으로부터 流入되는 汚染物質의 灣內 체류 시간을 결정하고 이로 인한 화학적, 생물학적 영향을 고찰할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

1. 方 法

海水에 淡水가 加해져서 혼합되고 여러 가지 메카니즘에 의해서 교체되는 가장 간단한 개념적 원리는 질량(혹은 체적)의 보존, 염분의 보존 및 수심에 대한 완전한 혼합이라는 가정에서 시작된다. 내륙으로부터 淡水의 量 R (체적/단위시간)이 만 내로 유입될 때에 만내에 존재하고 있는 淡水의 量 V_f 를 유입되는 유량 R 의 比率로 교체하는데 걸리는 시간을 淡水交替時間이라고 한다. 즉 담수 교체

시간 t 는

$$t = \frac{V_f}{R}$$

로서 정의된다. 위 식을 이용하여 V_f 와 R 을 알고 있으면 t 를 계산할 수 있으며 따라서 V_f 와 R 을 결정하는 것이 담수 교체 시간을 결정하기 위해서 필요하게 된다. V_f 와 R 을 결정하기 위하여 사용된 방법과 결과는 다음과 같다.

2. 分析 및 結果

1) 단면적의 계산

馬山灣 內의 淡水交替時間 (flushing time) 을 決定하는데 要求되는 正確한 體積을 計算하기 爲하여 선정된 地點에서 橫斷面積을 알 必要가 있다. 기존 해도(수심도) 를 참고로 하고 측정된 각 橫斷面의 潮汐 주기에 따른 斷面積 變化를 결정함으로써 純容積輸送量 (net volume transport) 을 결정하고 淡水交替時間을 計算할 수 있게 된다.

馬山灣 內에서 斷面積을 決定하기 爲하여 횡단면 -1, -3, -4, -6, -7 및 -10 의 6 개를 선정하였다. 횡단 지점을 선정하게 된 정량적인 기준은 없으나 마산만을 여러 부분으로 구획하여 놓을 때 각 구획의 지형이 마산만의 종축에 대하여 대칭 성을 가지도록 하였다.

정밀 음향 측심기 (echo sounder) (Table I-4 참조) 를 사용하여 수집된 자료로부터 수심을 결정한 方法은 아래와 같다.

음향 측심을 시작한 시각을 t_i , 끝낸 시각을 t_f 라고 할 때 음향 측심 기간 동안의 조석 수위의 평균 $\overline{d_{\Delta t}}$ 는

$$\overline{d_{\Delta t}} = \frac{\int_{t_i}^{t_f} d(t) dt}{\int_{t_i}^{t_f} dt}, \quad \Delta t = t_f - t_i \quad (5-1a)$$

로 계산되며, $d(t)$ 는 t 시각의 조석 자료에 나타낸 水位이다. 음향 측심 기간 을 포함하는 조석계 (tide gauge) 의 계류 (mooring) 기간 T 동안의 조석 수위의 평

균 \bar{d}_T 는

$$\bar{d}_T = \frac{\int_0^T d(t)dt}{\int_0^T dt} \quad (5-1b)$$

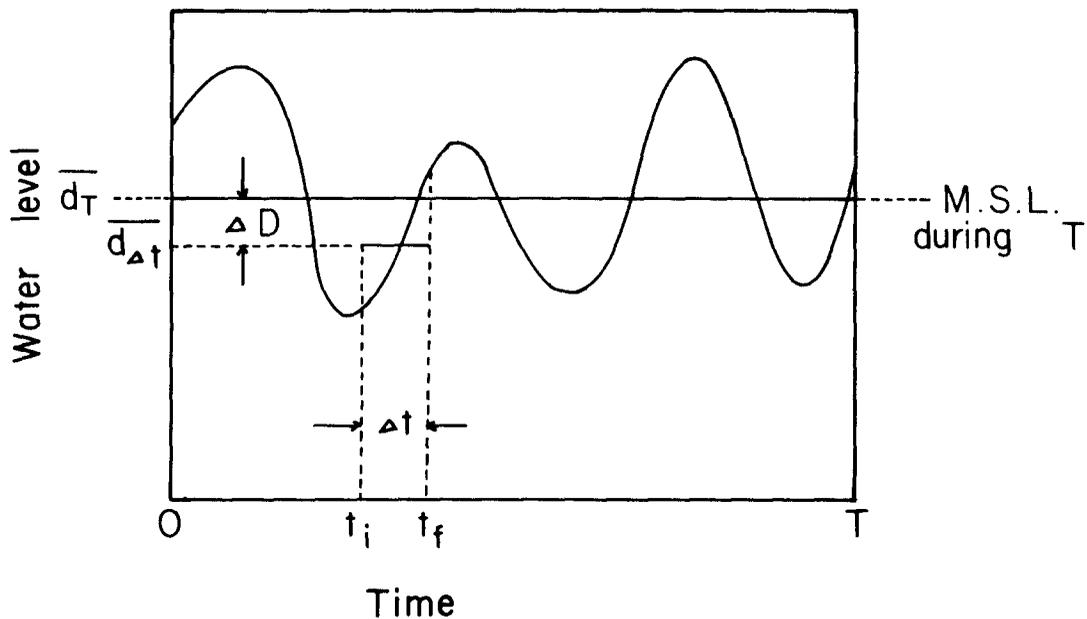
로 계산되고 \bar{d}_T 를 평균 해면(mean sea level)으로 택할 때 수심 보정 인수 ΔD 는

$$\Delta D = \bar{d}_T - \overline{d_{\Delta t}}$$

이며 보정된 수심 D 는

$$D = \text{음향 측심시의 수심} + \Delta D \quad (5-1c)$$

로 나타낸다. (참고도 1)



참고도 1

마산만 내의 평균 기준 수위는 마산 수출 자유 지역 제 3부두에서 Aanderaa 조석계로부터 수집된 1981년 9월 4일 10:05~9월 23일 10:55 사이의 조석 자료를 식(5-1b)에 대입하여 구하였고 잠도 주위의 평균 기준 수위는 원전 앞 해역에서 Aanderaa 조석계로부터 수집된 1981년 9월 4일 15:05~9월 29일

08:00 사이의 조석 자료를 식(5-1b)에 대입하여 결정하였다. 유향 측정 기간(1981년 9월 5일) 중의 조석 자료를 원전과 제 3부두에서 각각 측정된 조석 자료로부터 구하여 식(5-1a)를 이용하여 $\overline{d\Delta_t}$ 를 구한 식(5-1c)에 대입하여 수심을 각 단면별로 구하였고 이로부터 횡단면적을 계산하였다. (Table.I-5)

馬山灣 内の 橫斷面들이 일정 시기에 나타내는 단면적은 위에서 결정된 평균 기준 수위와 그 시기의 제 3부두의 조석 자료와의 차이를 구해서 계산하였다.

2) 馬山灣 内の 淡水量의 計算

馬山灣 内の 淡水量은 淡水比 f 를 식(5-2)에서와 같이 導入함으로써 용이하게 염분의 分布로부터 계산될 수 있다.

$$f = \frac{S_0 - S}{S_0} \quad (5-2)$$

위의 식에서 S_0 는 임의의 기준 염분(대개 淡水의 混合과는 무관한 外海水의 염분이며, S 는 淡水比 f 를 계산하기 위한 염분을 나타낸다. 淡水量 Vf 는 灣 内の 海水의 총체적 V 에서 염분의 총량을 빼 것이므로

$$Vf = \int dV - \int \left(\frac{S}{S_0}\right) dV = \int \left(1 - \frac{S}{S_0}\right) dV = \int \left(\frac{S_0 - S}{S_0}\right) dV = \int f dV \quad (5-3)$$

식(5-3)은 利用 가능한 有限個數의 現場 觀측치를 사용하여 계산할 수 있고 有限合으로 대치하여

$$Vf = \sum_i f_i \Delta V_i \quad (5-4)$$

로 표시할 수 있으며 여기서 f_i 는 體積素 ΔV_i 内の f 의 평균치이며 ΔV_i 는

$$V = \sum \Delta V_i$$

를 만족시킨다.

식(5-4)를 利用해서 Vf 를 계산하기 爲해서 馬山灣을 灣의 縱축을 따라서 6個의 體積素로 나누었으며 各 體積素의 境界面 상의 鹽分 分포로부터 f 를 계산하였다.

가) 體積素의 計算

馬山灣을 형성하는 6개의 體積素는 橫斷面—1을 灣의 境界面으로해서 外部와 區

분한 뒤에 横斷面 -3, -4, -6, -7 및 -10에 依해서 區分하였다. 각 체적 소 내에서 수심별 수평 면적은 水路局 發行의 馬山灣 海圖 (No.237, 1967年 6月 第四版)를 참조하였고 面積槪를 사용하였으며 결과는 Table I-16에 나타난 바와 같다.

Table I-16. Horizontal sectional area at different water depths below water surface in Masan Bay.

Water depths (m)	Sectional area ($\times 10^4 \text{ m}^2$)					
	ΔV_1	ΔV_2	ΔV_3	ΔV_4	ΔV_5	ΔV_6
Surface	243.7	179.2	252.7	75.7	464.0	270.5
2	234.1	170.1	243.7	73.0	458.2	251.4
4	231.2	165.1	236.0	71.5	443.2	203.7
6	223.8	159.4	226.0	69.5	375.6	111.4
8	220.7	152.7	212.4	66.9	125.4	88.3
10	213.4	142.7	183.5	61.7	72.2	80.7
12	197.3	128.1	91.7	30.0	8.2	-
14	93.5	34.6	12.2	4.8	1.8	
16	43.8	1.2	0.8	-	0.8	
18	26.9	0.9	0.3		-	
20	10.6	-	-			
22	6.3					
24	1.8					

ΔV_1 : Volume element defined by transections 1 and 3.

ΔV_2 : Volume element defined by transections 3 and 4.

ΔV_3 : Volume element defined by transections 4 and 6.

ΔV_4 : Volume element defined by transections 6 and 7.

ΔV_5 : Volume element defined by transections 7 and 10.

ΔV_6 : Volume element defined by transections 10 and the third pier.

나) 淡水比의 計算

淡水比 f 의 값을 體積素마다 계산하기 위하여 각각의 體積素를 區分하는 橫斷面
上의 鹽分의 水深別 分布를 考慮하였다. 使用된 鹽分의 관측 자료 中 횡단면-1,
7 및 10의 資料는 7월 28일에, 횡단면-4와 -6의 자료는 7월 27일에
각각 同時 관측된 것으로서 조석의 변화에 따른 平均值를 取하기 위하여 高조와
저조시의 염분을 사용하였다(자료의 조석 주기에 따른 수집 상태가 균일하지 못하
어서 최적의 공통성을 찾을 수 있는 高조와 低조시의 자료 뿐이었음).

그리고 各 횡단면 상에서 每時間 관측된 염분의 時系列 도표를 검토하여 高조와
저조의 평균치가 매시간 관측된 염분의 총 평균치와 크게 다르지 않음을 확인 하
였다.

각 횡단면 상에서 관측된 자료 中에서 f 의 결정에 使用된 鹽分 관측치는 횡단
면과 정점별로 Table I-17에 수록하여 橫斷面 및 관측 정점별 평균치를 水深에 따
라서 나타내었다. Table I-17의 조석에 대한 鹽分의 평균치는 Fig.I-28에 나타
나 있는 바와 같이 각각 橫斷面 上에서 유사한 모양으로 수집에 따라 증가하고
있다. 鹽分의 橫斷面 上의 평균치를 수심별로 取해서 Fig.I-29에 나타내었는데
수심에 따른 鹽分의 變化樣狀은 횡단면-1, -4 및 -6이 비슷한 모양으로 변하
고 있으며, 횡단면-7과 -10의 鹽分曲線은 前者와는 다른 面을 나타내고 있음이
발견된다. f 의 값이 관측상 缺如되어 있는 水深層에 대해서는 鹽分曲線을 利用해
서 해당 수심층에 대한 鹽分値를 內插하여 f 값을 定하였다. 任意的 鹽分 S 로부터
 f 를 계산하는데 필요한 基準鹽分 \dot{S}_0 의 값은 Fig.I 29에서 橫斷面-1의 鹽分
의 最大值인 33‰을 擇했으며 이 값을 사용해서 各 橫斷面에서 水深別 f 값을
계산하여 Table I-18에 수록하였다.

다) 淡水量의 計算

Table I-16에 수록되어 있는 各 體積素의 水深別 面積素(sectional area)와 Ta-
ble I-18의 各 橫斷面 上의 水深別 淡水比를 사용해서 各 體積素의 淡水量을 아
래와 같이 계산하였으며 이로부터 馬山灣 內의 總淡水量을 계산하였다.

Table I-17. Tidally averaged salinity at each station and its transectional mean in Masan Bay.

Transection (Date)	Station	Tidal phase	Depth (m)													
			Time	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1 (Jul. 28)	1A	HW±6	12:40	26.13	29.49	30.34	31.55	31.93	32.58	32.95	32.95	32.95	32.95	32.95	32.86	32.86
		HW+0	18:43	26.88	29.59	30.24	30.80	31.46	32.11	32.77	32.95	32.95	32.95	32.86	32.86	32.86
		Average		26.51	29.54	30.29	31.18	31.70	32.35	32.86	32.95	32.95	32.95	32.91	32.86	32.86
	1B	HW±6	12:25	27.34	28.47	30.34	31.36	32.02	32.49	32.77	32.95	32.95	32.95	32.95	32.95	32.95
		HW+0	18:25	27.63	29.96	30.06	30.71	31.46	31.93	32.86	32.86	32.86	32.86	32.86	32.86	32.95
		Average		27.49	29.22	30.20	31.04	31.74	32.21	32.82	32.91	32.91	32.95	32.91	32.91	32.91
	1C	HW±6	13:10	27.91	30.15	30.99	31.08	31.83	32.58	32.11	32.77	32.86	32.86	32.86	32.86	32.86
		HW+0	19:05	27.91	29.78	30.62	30.90	31.27	32.30	32.86	32.86	32.86	32.86	32.86	32.86	32.95
		Average		27.91	29.97	30.81	30.99	31.55	32.44	32.49	32.82	32.86	32.86	32.86	32.91	32.91
	Transectional Average				27.30	29.58	30.43	31.07	31.66	32.33	32.72	32.89	32.91	32.92	32.91	32.86
4 (Jul. 27)	4A	HW±6	11:40	26.19	28.31		31.31		32.26							
		HW+0	18:40	27.04	28.27		31.32		32.64							
		Average		26.62	28.29		31.32		32.45							
	4B	HW±6	11:21	25.58	30.18		31.18		32.18							
		HW+0	18:21	26.83	28.46		31.17		32.46							
		Average		26.21	29.32		31.18		32.32							
	4C	HW±6	12:03	26.90	28.82		31.60		32.75							
		HW+0	19:00	26.53	28.35		31.23		32.70							
		Average		26.72	28.59		31.42		32.73							
	Transectional Average				26.52	28.73		31.31		32.50						
6 (Jul. 27)	6A	HW±6	11:40	25.30			31.61		32.78							
		HW+0	17:40	26.44	28.21		30.94		32.39							
		Average		25.87	28.21		31.28		32.59							
	6B	HW±6	12:20	26.95	28.74		31.97		32.89							
		HW+0	17:20	26.07	28.37		31.02		32.41							
		Average		26.51	28.56		31.50		32.65							
	6C	HW±6	12:00	27.07	27.80		31.80		33.16							
		HW+0	18:00	25.92	28.62		30.99		32.59							
		Average		26.51	28.21		31.40		32.88							
	Transectional Average				26.30	28.33		31.39		32.71						
7 (Jul. 28)	7A	HW+4	10:40	25.73	26.46		30.06		31.89							
		HW-3	15:55	26.27	28.43		30.14		32.17							
		Average		26.00	27.45		30.10		32.03							
	7B	HW+4	10:22	25.65	25.69		29.98		30.97							
		HW-3	15:45	27.09	27.51		30.43		31.93							
		Average		26.37	26.60		30.21		31.45							
	7C	HW+4	11:00	26.54	27.00		29.66		30.86							
		HW-3	15:27	26.93	27.92		29.28		30.96							
		Average		26.74	27.46		29.47		30.91							
	Transectional Average				26.37	27.17		29.93		31.46						
10 (Jul. 28)	10A	HW±6	12:40	24.27	25.72	30.06										
		HW+0	18:40	23.72	26.92	29.69										
		Average		24.00	26.32	29.88										
	10B	HW±6	12:20	25.52	26.91	29.70										
		HW+0	18:20	24.40	26.61	28.93										
		Average		24.96	26.76	29.32										
	10C	HW±6	13:00	26.55	26.56	30.36										
		HW+0	19:00	24.80	26.37	29.78										
		Average		25.68	26.47	30.07										
	Transectional Average				24.88	26.52	29.76									

Table I-18. Fresh water fraction in each transection in Masan Bay.

Depth (m)	Transections														
	1			4			6			7			10		
	S	S/S ₀	f	S	S/S ₀	f	S	S/S ₀	f	S	S/S ₀	f	S	S/S ₀	f
Surface	27.30	0.827	0.173	26.52	0.804	0.196	26.30	0.797	0.203	26.37	0.799	0.201	24.88	0.754	0.246
2	29.58	0.896	0.104	28.73	0.871	0.129	28.33	0.858	0.142	27.17	0.823	0.177	26.52	0.804	0.196
4	30.43	0.921	0.079	30.00	0.909	0.091	29.30	0.888	0.112	28.50	0.864	0.136	29.76	0.902	0.098
6	31.07	0.942	0.058	31.31	0.949	0.051	30.40	0.921	0.079	29.93	0.907	0.093	29.90	0.906	0.094
8	31.66	0.959	0.041	31.90	0.967	0.033	31.39	0.951	0.049	30.70	0.930	0.070	30.50	0.924	0.076
10	32.33	0.980	0.020	32.50	0.945	0.055	31.80	0.964	0.036	31.46	0.953	0.047			
12	32.72	0.992	0.008	32.70	0.991	0.009	32.30	0.979	0.021	31.90	0.967	0.033			
14	32.89	0.997	0.003	32.90	0.997	0.003	32.71	0.991	0.009	32.20	0.976	0.024			
16	32.91	0.997	0.003												
18	32.92	0.998	0.002												
20	32.91	0.997	0.003												
22	32.86	0.996	0.004												
24	32.91	0.997	0.003												

The reference salinity S₀ is 33‰ taken from the bottom salinity of the transection 1 in Jul. 28, 1981.

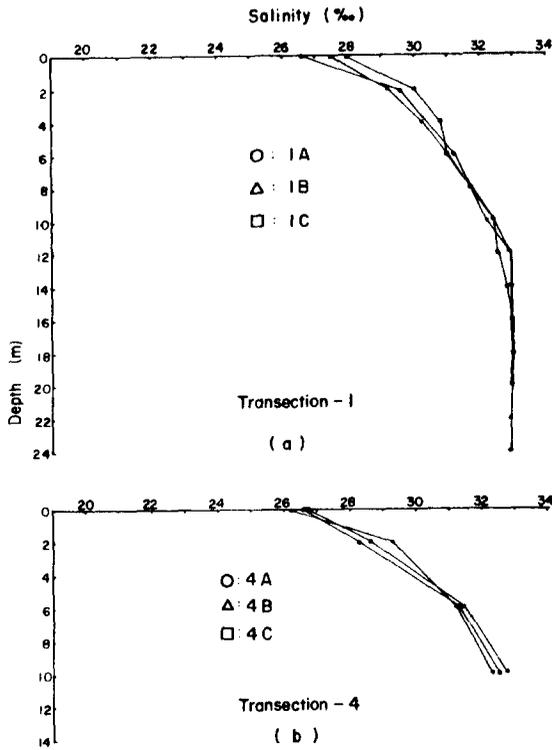


Fig. 1-28a. Tidally averaged salinities in transections-1 (Jul. 28, 1981), -4 (Jul. 27, 1981).

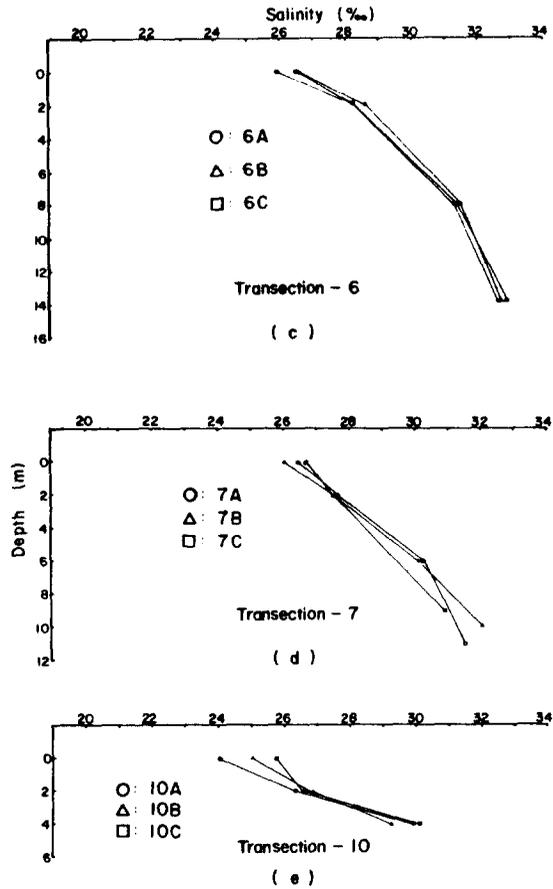


Fig. I-28b. Tidally averaged salinities in transections-6 (Jul. 27, 1981), -7, and -10 (Jul. 28, 1981)

横断面-1과 -4로서 구획된 體積素 (Table I-16에서 $\Delta V_1 + \Delta V_2$) 内の 淡水量을 求하기 위하여

- (1) 이 體積素를 水深 0~2 m의 층, 2~4 m의 층 등으로 分割한 다음,
- (2) 먼저 0~2 m 층의 담수량을 求하기 위하여 아래와 같은 式

f_0^1, f_0^4 : 횡단면-1과 -4의 水深 0 m의 담수비

f_2^1, f_2^4 : 횡단면-1과 -4의 水深 2 m의 담수비

S_0, S_2 : 횡단면-1과 -4 사이의 體積素에서 水深 0 m의 수평 면적
및 水深 2 m에서의 수평 면적

V_f : 횡단면-1과 -4 사이의 체적소 内の 담수량

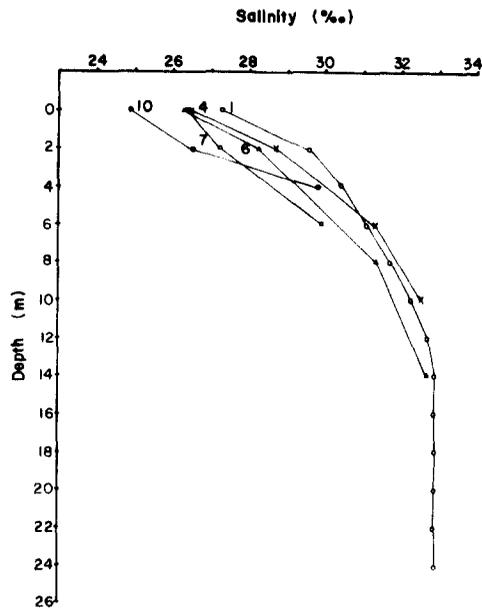


Fig. I-29. Transectional mean of the tidally averaged salinities in Masan Bay. Transections-1, -7, and -10 are based on the data of Jul. 28, 1981, and transections -4, and -6 are on those of Jul. 27, 1981.

Table I-19. Volume of sea water and fresh water in each volume element in Masan Bay.
(unit: 10^4 m^3)

Volume element*	Total volume of water	Total volume of fresh water	$\frac{\text{Fresh water volume}}{\text{Total volume}}$
$\Delta V_1 + \Delta V_2$	5762.2	273.2	0.047
ΔV_3	2918.6	228.0	0.078
ΔV_4	906.2	82.9	0.091
ΔV_5	3998.8	472.5	0.118
ΔV_6	2012.0	242.3	0.120
Total	15597.8	1298.9	0.083

* Volume elements are defined in Table I-16.

을 사용하였다.

$$V_f = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{f_0^1 + f_2^1}{2} \right) + \left(\frac{f_0^4 + f_2^4}{2} \right) \right\} \times \frac{(S_0 + S_2)}{2} \times 2m$$

(3) 上記 方法을 수심 2~4 m, 4~6 m... 등의 海水層에 적용하여 각 층별의 淡水量을 구한 뒤 이를 모두 합하여 횡단면 -- 1과 -- 4 사이의 체적소의 담수량을 결정하였다.

이상의 방법을 마산만 내의 전 구간에 적용하여 求한 담수량은 Table I-19에 나타난 바와 같다. Table I-19에서 횡단면 -- 10에서 제 3 부두까지의 체적소 내의 담수량은 제 3 부두에서의 염분 추정치가 없기 때문에 횡단면 -- 10의 염분이 이 체적소 내의 염분을 평균적으로 대표한다고 간주 하였다. 이러한 가정은 실제 담수량보다 적은 계산치를 나타낼 것이므로 담수 교체 시간에서는 下限쪽의 값을 주게 될 것이다.

3) 淡水流入量 R (체적 / 단위시간)의 計算

馬山灣 內에 流入하는 淡水流入量 R의 계산은 淡水가 실제로 流入되고 있는 水路에서 測定하여 決定되어야 하나 現場測定 上의 제한으로 인하여 間接적인 방법을 택하였다. 이 間接적인 방법은 다음과 같은 가정 下에서 고려하였다. 즉 강수량이나 증발량에 의한 영향은 무시될 만큼 적으며 마산만에 유입되는 담수의 총량은 조석 주기에 대한 평균치를 취할 때에 마산만 입구의 횡단면을 통하여만 외부로 유출되는 순용적 수송량 (net volume transport)과 같다. 이러한 가정에서 流量 R은 다음과 같은 식으로 表示된다.

$$R = \frac{1}{T} \int_0^T AU dt \quad (5-5a)$$

$$R = \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^h \int_0^B U dy dz dt \quad (5-5b)$$

여기서 U는 流速, h는 수심, B는 폭, T는 관측 기간을 나타낸다. 따라서 式 (5-5)로부터 R을 계산하기 위해서는 時空間적으로 流速 U의 精밀한 測定이 進行되어야 한다. 즉 일정 시각에 있어서 U의 측정치가 주어진 횡단면상의 유속의

분포를 대표할 수 있을 만큼 조밀한 정점들로부터 수집되어야 하며 측정 기간 T도 시간에 따라서 변동하는 유속 성분이 평균 과정에서 모두 여과될 수 있을 만큼 길어야 한다. 그러나 이러한 先決 조건의 만족은 現實적으로 매우 實現性이 적으며 따라서 式(5-5)의 積分을 有限合의 근사식으로 대체하여 놓게 되며 이 때에 얻게되는 R의 값은 횡단면상 관측 정점의 위치, 수 및 관측 기간 T의 길이에 따라서 큰 변화 범위를 가지게 된다.

式(5-5a)로부터 마산만의 R을 결정하기 위하여 적분을 有限合으로 다음과 같이 대체한 뒤에 관련된 문제점을 고찰하였다.

$$R = \frac{1}{T} \int_0^T AU dt$$

$$\approx \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N A_i U_i \Delta T \quad (5-5a)$$

式(5-5a)에서

$$N = \frac{T}{\Delta T}$$

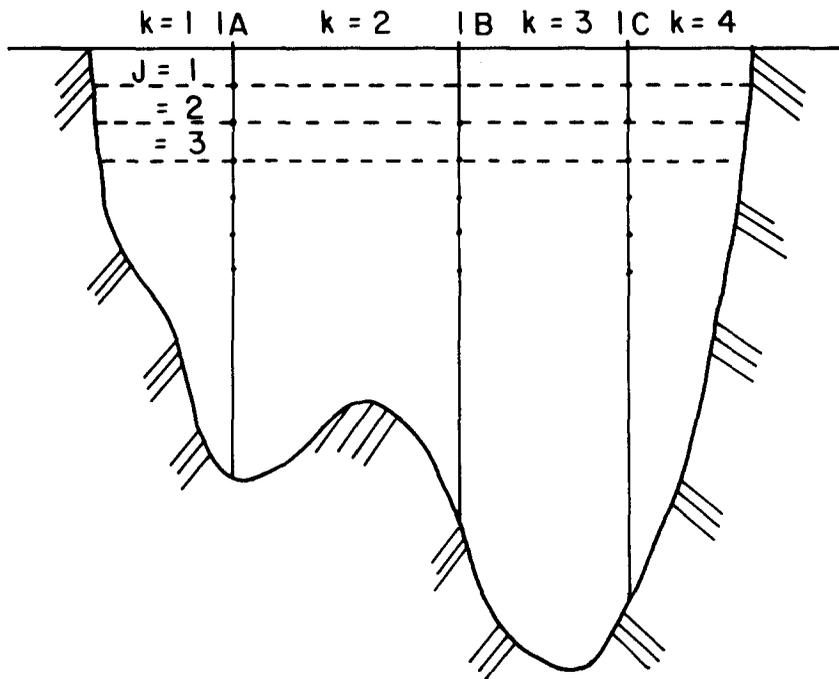
이며 A_i 는 시각 T_i 에서의 단면적을 나타내고 U_i 는 단면적 A_i 에서 시각 T_i 때의 유속 U_i 의 평균을 나타낸다. 式(5-5c)를 사용하기 위해서 고려되어야 할 것은 단면적 A_i 의 시간에 따른 변화, 평균 유속 U_i 의 계산, 관측 시간 간격 ΔT , 관측 기간 T 및 관측 기간의 시작과 끝이 되겠다. 관측된 수심, 조석, 유속의 자료를 검토하여 관측 기간, 관측 시각의 동시성 및 관측 시각이 조석 주기상에서 차지하는 位相의 동일성을 고려하여 7월 28일과 7월 30일에 12시간씩 연속 관측된 자료를 사용할 수 있다고 판단하여 7월 28일의 조석과 유속 자료로부터 式(5-5b)를 이용하여 R을 다음과 같이 계산하였다.

가) 橫斷面-1의 3個 관측 정점 1A, 1B, 1C의 매 시간 유속 관측치를 利用하여 R을 계산하기 위하여 式(5-5b)를 다음과 같이 有限合으로 변형하여 필요한 값을 관측치로부터 계산하여 대입하였다.

$$R \approx \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N A_i \bar{U}_i \Delta T$$

$$= \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left[\sum_{j=1}^4 \left(\sum_{k=1}^{15} S_{ijk} \bar{U}_{ijk} \right) \right] \quad (5-6)$$

式(5-6)에서 i 는 한 조석 주기에 걸쳐서 매시간 관측한 관측치의 순서를 나타내며 참고도 2에 나타나있는 바와 같이 j 는 횡단면을 관측점의 수심에 따라서 2m 수심 간격으로 수평 방향으로 15등분하였을때 표층으로부터 연직 방향으로의 일련 번호를 나타내고 k 는 횡단면-1을 정점 1A, 1B, 1C에서 연직으로 내린 직선으로 分割할 때 생기는 4개의 면적소를 횡단면-1의 西쪽으로부터 셀 때의 일련 번호를 나타낸다.



참고도. 2

이렇게 i, j, k 를 定義할 때 S_{ijk} 는 i 번째 관측 시각에 표층으로부터 j 번째 면적소 중 西쪽으로부터 k 번째에 해당하는 면적소를 나타내며 \bar{U}_{ijk} 는 면적소 S_{ijk} 의 평균 유속을 나타낸다.

면적소 S_{ijk} 에서의 평균 流速 \bar{U}_{ijk} 는 면적소 S_{ijk} 를 形成하는 정점에서의 유속의 평균을 의미하고 횡단면-1의 側面 및 低面의 境界 上의 정점에서의 流速은 0으로 尙주되었다.

면적소 S_{ijk} 를 계산할 때 潮汐의 주기에 따른 수면의 변화를 고려하기 위하여

마산만 내에서 同時間 中에 측정된 조석 자료를 사용하였으며 계산 결과는 Table I-20에 나타난 바와 같다. 따라서 海水가 매초 $207 m^3$ 씩 灣 內로 流入하고 있음을 나타내고 있는 이 결과에 의하면 12시간 동안에 平均的으로 馬山灣 內의 海水의 증가량 V' 는

$$\begin{aligned} V' &= 207 m^3/sec \times 3600 sec/hr \times 12hr \\ &= 2.07 \times 3600 \times 1.2 \times 10^6 m^3 \\ &= 8.94 \times 10^6 m^3 \end{aligned}$$

와 같으며 마산만의 표면적은 $A = 14.858 \times 10^6 m^2$ 이므로 12시간 동안에 海面 높이의 증가량 Δh 는

$$\Delta h = \frac{V'}{A} = \frac{8.94 \times 10^6 m^3}{14.858 \times 10^6 m^2} = 0.6 m = 60 cm$$

가 된다.

조석 자료로부터 확인된 해면의 높이는 Table I-20에서 보는 바와 같이 HW+1인 7월 28일 07:40의 +31 cm (above mean sea level)로부터 HW+0인 18:40의 +80 cm (above MSL)로 증가하였으며 증가량은 $H = 80 - 31 = 49 cm$ 이다. 이 결과는 횡단면상의 유속 및 단면적의 측정을 통해서 계산된 流量이 비교적 정확하게 實際值를 나타내주고 있음을 입증한다 하겠다.

Table I-20의 결과에서 조석의 변화에 대한 용적 수송량의 변화를 검토하여 보면 海水는 高潮 이후 4시간 동안 流出되다가 5시간이 경과되면서부터 다음 高潮時까지 灣內로 流入되고 있음을 알 수 있다. 이러한 용적 수송량의 변화는 同時間中 정점 1B의 上층 (4 m 수심)에 계류되었던 RCM-4의 流速 자료와 비교하여 볼 때 그 변화의 원인이 횡단면-1을 흐르는 流速의 변화에 있다 하겠다. Fig. I-30에 나타나 있는 바와 같이 마산만 入口의 橫斷面-1을 통과하는 잔차류는 상, 중, 하층 모두 일정한 방향성을 유지하는 것이 아니라 그 크기와 방향이 시간에 따라서 변화하고 있다. 따라서 측정 기간 동안의 자료로서는 이유가 명확하지 않으나 시간과 수심에 따른 잔차류의 流況特性을 규명하는 것이 용적 수송량

Table I-20. Tidal phase, water level change and volume transport through transection 1 on Jul. 28, 1981.

Tidal phase Time		Water level (cm) (above MSL)	Volume transport* (m ³ /sec)	Current speed (cm/sec)** perpendicular to the transection 1
HW+1	7:40	+31	-114	9.08
+2	8:40	+13	-663	-15.75
+3	9:40	-18	-482	-12.34
+4	10:40	-47	-491	-16.28
+5	11:40	-66	142	-5.18
±6	12:40	-66	456	12.44
-5	13:40	-46	660	26.28
-4	14:40	-19	954	31.18
-3	15:40	+12	661	24.76
-2	16:40	+40	771	26.62
-1	17:40	+65	309	21.94
HW+0	18:40	+80	278	20.54
		Total	2481	

* calculated from equation (5-6)

** at station 1B, 4 m below water surface.

$$R = \frac{2481}{12} = 207 \text{ m}^3/\text{sec}.$$

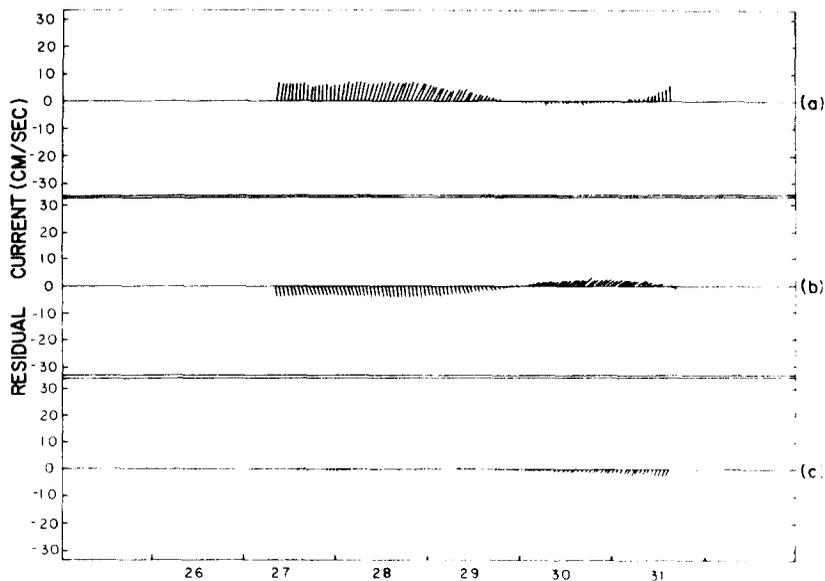


Fig. I-30. Residual current at station 1B
(a:upper; b:middle; c:lower layer).

의 계산 및 나가서는 마산만 내의 오염 물질의 전파 현상을 연구하는데 도움이 될 것은 당연한 노릇이다. Table I-20에 나타난 결과와 Fig.I-30을 검토해 볼 때 식(5-6)에 의해서 R 을 계산할 경우 관측 기간 T 의 선정이 R 의 값을 결정하는데 중요하며 Table I-3에 수록되어 있는 관측 기간 중의 어느 자료를 사용한다 하여도 R 의 값을 옳게 하기는 어렵다.

따라서 적어도 3, 4일 이상의 연속 관측 결과를 이용하여 R 을 결정하기 위하여 횡단면-1에서 측정된 125시간의 연속 유속 자료를 다음과 같은 방법으로 사용하였다.

나) 횡단면 1에 장기 계류된 Aanderaa RCM-4의 자료를 이용하여 R 을 결정식(5-5c)를 이용하여 R 을 결정하기 위하여 횡단면 1에서 장기 계류되었던 Aanderaa RCM-4의 유속 자료를 사용하였고 단면적의 조석 주기에 따른 변화를 고려하기 위하여 同期間中에 同時 관측된 조석 자료를 사용하였다.

식(5-5c)

$$R = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N A_i \bar{U}_i \Delta T \quad (5-5c)$$

에서

$$T = 125 \text{ 시간 (7월 27일 0시부터 8월 1일 6시까지)}$$

$$\Delta T = 1 \text{ 시간}$$

\bar{U}_i 는 i 번째 시각에 횡단면 A_i 위의 평균 유속으로서 정점 1A의 수심 6m와 18m, 정점 1B의 수심 4m, 13m, 23m 및 정점 1C의 수심 8m, 18m에서 측정된 유속의 평균을 취함으로써 결정하였다. 평균 유속 \bar{U}_i 를 계산할 때에 7개의 관측점의 유속에 대해서 관측점의 수심과 횡단면상의 상대적 위치에 관계없이 일정한 비중(weight = 1)을 두었다. A_i 는 i 번째 시각의 횡단면-1의 면적으로서 수심 측정 결과로부터 수심을 결정할 때에 사용한 평균 해면 높이(MSL)에 대해서 계산된 固定值 $A_0 = 20.340 \text{ m}^2$ 와 MSL과 i 번째 시각에 관측된 조석 자료의 差에 해당되는 면적소 ΔA 의 代數合을 취함으로써 결정하였다. 조석 주기에 따른 단면적의 변화 ΔA_i 는 횡단면-1의 水面에서 兩側間의 직선 거리 $L (= 885 \text{ m})$ 에 조

Table I-21. Results of net volume transport calculation from equation (5-5C). Current data are from stations 1A, 1B and 1C (Jul. 27 00:00 - Aug. 1 04:00, 1981).

Date	Time	i	\bar{U}_i (cm/sec)	ΔH_i (cm)	ΔA_i (m ²) ($885 \times \frac{\Delta H_i}{100}$)	A_i (m ²) (20340 + ΔA_i)	$\frac{1}{100} (\bar{U}_i \times A_i)$ (m ³ /sec)
Jul. 27	0:00	1	3.18	-30	-266	20074	638.4
	1:00	2	1.61	-11	-97	20243	326.0
	2:00	3	4.15	8	71	20411	847.1
	3:00	4	3.01	24	212	20552	618.6
	4:00	5	2.89	35	310	20650	596.8
	5:00	6	-3.78	39	345	20685	-781.9
	6:00	7	-5.38	32	283	20623	-1109.5
	7:00	8	-7.16	15	133	20473	-1465.9
	8:00	9	-6.31	-7	-62	20278	-1279.5
	9:00	10	-6.64	-33	-292	20048	-1331.2
	10:00	11	-6.24	-53	-469	19871	-1240.0
	11:00	12	4.07	-61	-540	19800	805.9
	12:00	13	2.71	-53	-469	19871	538.5
	13:00	14	6.13	-33	-292	20048	1228.9
	14:00	15	6.40	-8	-71	20269	1297.2
	15:00	16	6.83	19	168	20508	1400.7
	16:00	17	4.52	44	389	20729	937.0
	17:00	18	2.19	62	549	20889	457.5
	18:00	19	-0.75	65	575	20915	-156.9
	19:00	20	-1.87	52	460	20800	-389.0
	20:00	21	-9.91	29	257	20597	-2041.2
	21:00	22	-6.91	1	9	20331	-1404.9
	22:00	23	-8.24	-25	-221	20119	-1657.8
	23:00	24	0.80	-42	-372	19968	159.7
Jul. 28	0:00	25	0.22	-48	-425	19915	43.8
	1:00	26	3.36	-37	-327	20013	672.4
	2:00	27	4.41	-19	-168	20172	889.6
	3:00	28	4.36	4	35	20375	888.4
	4:00	29	11.05	27	239	20579	2274.0
5:00	30	2.72	43	381	20721	563.6	

(continue)

Date	Time	i	\bar{U}_i (cm/sec)	ΔH_i (cm)	ΔA_i (m ²) ($885 \times \frac{\Delta H_i}{100}$)	ΔA_i (m ²) ($20340 + \Delta A_i$)	$\frac{1}{100} (\bar{U}_i \times A_i)$ (m ³ /sec)
	6:00	31	-0.38	49	434	20777	-79.0
	7:00	32	-5.29	44	389	20729	-1096.6
	8:00	33	-4.67	27	239	20579	-961.0
	9:00	34	-6.31	1	89	20429	-1289.1
	10:00	35	-8.56	-28	-248	20092	-1719.9
	11:00	36	-5.33	-55	-487	19853	-1058.2
	12:00	37	-2.67	-67	-593	19747	-527.0
	13:00	38	0.31	-61	-540	19800	61.4
	14:00	39	2.81	-37	-327	20013	562.4
	15:00	40	7.66	-8	-71	20269	1552.6
	16:00	41	2.13	22	195	20535	437.4
	17:00	42	7.38	49	434	20774	1533.1
	18:00	43	-0.16	71	628	20968	-33.5
	19:00	44	-1.43	80	708	21048	-301.0
	20:00	45	-4.93	69	611	20950	-1032.9
	21:00	46	-5.12	41	363	20703	-1060.0
	22:00	47	-11.17	5	44	20384	-2327.2
	23:00	48	-7.52	-28	248	20588	-1548.2
Jul. 29	0:00	49	-4.96	-53	-469	19871	-985.6
	1:00	50	3.67	-63	-558	19782	726.0
	2:00	51	3.61	-54	-478	19862	707.0
	3:00	52	7.69	-29	-257	20083	1544.4
	4:00	53	9.46	2	18	20358	1925.9
	5:00	54	9.21	31	274	20614	1898.5
	6:00	55	5.86	50	443	20783	1217.9
	7:00	56	-2.23	57	504	20844	-464.8
	8:00	57	-0.60	52	460	20800	-124.8
	9:00	58	-4.41	32	283	20623	-909.5
	10:00	59	-9.91	-1	-9	20331	-2014.8
	11:00	60	-9.35	-39	-345	19995	-1869.5
	12:00	61	-5.38	-68	-602	19738	-1061.9
	13:00	62	2.90	-81	-717	19623	569.1
	14:00	63	8.40	-71	-628	19712	1655.8
	15:00	64	11.03	-43	-381	19959	2201.5

(continue)

Date	Time	i	\bar{U}_i (cm/sec)	ΔH_i (cm)	ΔA_i (m ²) ($885 \times \frac{\Delta H_i}{100}$)	ΔA_i (m ²) ($20340 + \Delta A_i$)	$\frac{1}{100}(\bar{U}_i \times A_i)$ (m ³ /sec)
	16:00	65	6.39	-6	-53	20287	1296.3
	17:00	66	10.02	27	239	20579	2062.0
	18:00	67	6.71	54	478	20818	1396.9
	19:00	68	5.50	77	681	21021	1156.1
	20:00	69	-0.35	88	779	21119	-73.9
	21:00	70	-7.94	78	690	21030	-1669.8
	22:00	71	-11.05	46	407	20747	-2292.5
	23:00	72	-8.63	2	18	20358	-1756.9
Jul. 30	0:00	73	-12.40	-41	-363	19977	-2477.1
	1:00	74	-3.40	-72	-637	19703	-669.9
	2:00	75	2.70	-81	-717	19623	529.8
	3:00	76	6.77	-66	-584	19756	1337.5
	4:00	77	6.23	-34	-301	20039	1248.4
	5:00	78	10.68	5	44	20384	2177.0
	6:00	79	6.26	36	319	20659	1293.3
	7:00	80	4.15	66	531	20871	866.1
	8:00	81	3.24	68	602	20942	678.5
	9:00	82	-8.06	57	505	20845	-1680.1
	10:00	83	-7.71	28	248	20588	-1587.3
	11:00	84	-9.27	-13	-115	20225	-1874.9
	12:00	85	-8.85	-54	-478	19862	-1757.8
	13:00	86	-7.05	-84	-743	19597	-1381.6
	14:00	87	-1.34	-92	-814	19526	-261.6
	15:00	88	7.64	-78	-690	19650	1501.3
	16:00	89	11.29	-46	-407	19933	2250.4
	17:00	90	4.00	-6	-53	20287	811.5
	18:00	91	12.01	33	292	20632	2477.9
	19:00	92	9.94	68	602	20942	2081.6
	20:00	93	5.00	92	184	21154	1057.7
	21:00	94	-2.50	99	876	21216	-530.4
	22:00	95	-12.34	75	664	21004	-2591.9
	23:00	96	-12.56	31	274	20614	-2589.1

(continue)

Date	Time	i	\bar{U}_i (cm/sec)	ΔH_i (cm)	ΔA_i (m ²) ($885 \times \frac{H_i}{100}$)	A_i (m ²) ($20340 + \Delta A_i$)	$\frac{1}{100(\bar{U}_i \times A_i)}$ (m ³ /sec)
Jul. 31	0:00	97	-12.73	-19	-168	20172	-2567.9
	1:00	98	-7.95	-60	-531	19809	-1574.8
	2:00	99	-4.55	-84	-743	19579	-890.8
	3:00	100	0.95	-83	-735	19605	186.2
	4:00	101	9.16	-60	-531	19805	1814.5
	5:00	102	11.70	-23	-204	20136	2355.9
	6:00	103	7.86	14	124	20464	1608.6
	7:00	104	6.87	47	416	20756	1425.9
	8:00	105	2.74	68	602	20942	573.8
	9:00	106	0.41	72	637	20977	86.0
	10:00	107	-4.53	57	504	20844	-944.2
	11:00	108	-4.41	26	230	20570	-907.1
	12:00	109	-9.26	-16	-142	20198	-1870.3
	13:00	110	-15.01	-56	-496	19844	-2978.6
	14:00	111	-5.25	-82	-726	19614	-1029.7
	15:00	112	9.80	-89	-788	19552	1916.1
	16:00	113	8.50	-69	-611	19729	1677.0
	17:00	114	5.92	-31	-274	20066	1187.9
	18:00	115	14.56	14	124	20464	2979.6
	19:00	116	13.16	54	478	20818	2739.6
	20:00	117	6.73	89	788	21128	1421.9
	21:00	118	1.93	111	982	21322	411.5
	22:00	119	-5.07	108	956	21296	-1079.7
23:00	120	-8.93	74	655	20995	-1874.9	
Aug. 1	0:00	121	-16.81	23	204	20544	-3453.4
	1:00	122	-7.99	-29	-885	19455	-1554.5
	2:00	123	-11.23	-72	-637	19703	-2212.6
	3:00	124	0.10	-90	-797	19543	20.0
	4:00	125	8.67	-81	-717	19623	1701.3
Total							-1350.5

식 수위 H_i 와 MSL의 差 $\Delta H_i (=H_i - \text{MSL})$ 를 곱해서 구했다.

$$\begin{aligned} A_i &= A_0 + \Delta A_i \\ &= A_0 + L \times (H_i - \text{MSL}) \\ &= A_0 + L \times \Delta H_i \end{aligned}$$

이때 식 (5-5c)에서

$$\begin{aligned} R &= \frac{\Delta T}{T} \sum_{i=1}^N \bar{U}_i \times [A_0 + L \times \Delta H_i] \\ &= \frac{1}{125} \sum_{i=1}^{125} \bar{U}_i \times [20340 + 885 \times \Delta H_i] \end{aligned}$$

에 \bar{U}_i 와 ΔH_i 의 값을 代入함으로써 R 을 얻는다. 관측치로부터 계산된 \bar{U}_i 와 ΔH_i , 그리고 R 을 얻기 위한 $i=1$ 에서 $i=125$ 까지의 값들이 Table I-21에 수록되어 있다.

Table I-21의 결과로부터

$$\sum_{i=1}^{125} \bar{U}_i \times A_i = -1350.5 \text{ m}^3/\text{sec}$$

이므로

$$R = \frac{1}{125} (-1350.5) = -10.8 \text{ m}^3/\text{sec} \quad (5-7)$$

즉, 7월 27일 0시부터 8월 1일 4시까지의 평균 淡水流入量은 $10.8 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이다.

Table I-19로부터 마산만 내의 총 담수량은 $V_f = 1298.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ 이며 식 (5-7)에서 담수 유입량 $R = 10.8 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이므로 담수 교체 시간 t 는

$$\begin{aligned} t &= \frac{V_f}{R} = \frac{1298.9 \times 10^4 \text{ m}^3}{10.8 \text{ m}^3/\text{sec}} = 12.027 \times 10^6 \text{ sec} \\ &= \frac{12.027 \times 10^6 \text{ sec}}{3.6 \times 10^3 \text{ sec/hr}} = 3.341 \times 10^3 \text{ hr} \\ &= 139.2 \text{ days} \\ &= 4.64 \text{ month} \end{aligned}$$

3. 考 察

馬山灣 內의 淡水 교체 시간 t 를 그 정의에 따라서 馬山灣 內의 總 담수량 V_f 를 淡水流入量 R 로 나눔으로써 決定할 때에 V_f 와 R 의 값을 決定하는 과정 상에 도입된 가정에 따라서 淡水 교체 시간 t 의 값은 변한다. 본 조사에서 V_f 와 R 을 決定하는 데에는 아래와 같은 내용이 전제되었다.

1) 馬山灣 內의 海域을 數個의 작은 海域으로 구분하여 各各의 체적소를 計算할 때에 灣 側面은 연직을 이룬다. 또한 각 체적소 내의 수심은 海도의 값과 같다.

2) 淡水比 f 를 決定할 때에 基準鹽 S_0 는 灣단면-1의 하층의 염분의 최고치의 상한인 33‰로 擇하였다.

3) 潮汐 주기에 따라서 변화하는 鹽分의 平均은 저조시와 고조시의 鹽分의 平均 値로부터 구한 값과 같으며 灣內의 平均鹽分의 分布는 1일이나 2일 사이에는 크게 변하지 않는다.

4) 各 體積소 內에서 담수비 f 의 값은 수심에 따라서 線型的으로 변한다.

5) 灣단면-10에서 제 3 부두까지의 海域의 鹽分分布는 平均적으로 灣단면-10 상의 염분의 潮汐平均値로서 대표된다.

6) 淡水流入量 R 을 決定하는데 있어서 灣단면-1 상에서 觀측된 流速은 觀측점의 灣단면-1 상에서의 위치에 관계없이 같은 크기의 통계적 비중을 가진다.

7) 馬山灣 內의 流入된 淡水는 馬山灣 內의 海水와 완전히 혼합하여 潮汐平均을 취할 때에 순용적 수송량으로서 灣의 외부로 유출되고 이 때에 강수량과 증발량은 무시할만큼 작다.

이상의 전제 조건들은 모두 觀측 자료의 미흡한 면을 보완하기 위한 것으로서 1~5 까지는 V_f 의 決定에, 6~7은 R 의 決定에 특히 關係된다. V_f 의 결정에 영향을 미치게 될 조건 1~5 중에서 조건 1은 실제로 큰 문제점을 제기하지 않는다. 음향 측심과 조석 觀측에 의해서 각 體積소의 縱축상의 양 경계면이 결정되어 있으므로 海圖로 부터 연계되는 수심은 灣단면-1과 -3, 灣단면-7과 -10 사이에서 縱축상으로 급격한 변화를 보이고 있는 수심의 보완 자료로서 사용되며

하층의 수심의 불규칙으로 인한 각 체적소의 체적 변화량의 계산에 이용될 뿐이다. 灣의 측면 경계를 2 m 수심 간격 내에서 각각 연직으로 가정함도 체적의 계산에 큰 영향을 미치지 않는 것이다. 조건 2에서 나타난 $S_0 = 33\%$ 이라는 가정은 $f = 1 - (S/S_0)$ 라는 관계식으로 알 수 있듯이 f 의 값에 직접적인 영향을 미친다. S_0 의 값은 고찰중인 대상 해역 内の 염분 S 와는 무관한 값을 택해야되므로 횡단면 -1상의 下層에서 발견된 염분의 觀測期間中の 極値로서 정함은 타당하다 하겠다. 그러나 灣의 外部海域이 河口域의 일부로서 마산만 内の 해수의 조석 주기에 맞추어서 해수를 援受하는 경우에는 담수 교체 시간 뿐만 아니라 육수 유입량 R 에 반배의 해수와 효과적으로 혼합하는 정도를 나타낼 수 있도록 S_0 의 값이 결정될 수 있어야 하겠다. 조건 3은 조석 주기에 따른 鹽分의 변화량을 고려하고 있다. 조석 주기에 따른 鹽分의 변화는 水方向으로 均質한 分布를 보이고 있다고 할 수 있으며 따라서 各 水深에 있어서 저조시와 고조시의 平均값이 鹽分의 조석 평균이라고 생각할 수 있다. 조건 4에서 鹽分은 Fig.I-28과 Fig.I-29에서 보는 바와 같이 水深에 따라서 선형적인 변화를 보이지는 않는다. 그러나 담수량을 계산하고 있는 2 m 두께의 各 水深層 內에서는 선형적인 변화를 가정하여도 $f = \frac{S_0 - S}{S}$ 의 값에는 극히 미세한 변화가 따르게 된다. 조건 5는 제 3부두쪽의 鹽分 觀측치가 미흡하기 때문에 이를 보완하기 위한 가정으로 도입된 것으로서 체적소 ΔV_6 (Table I-16) 內에 100%의 담수비를 가정했을 때와 조건 5 下에서의 담수량 $242.3 \times 10^4 m^3$ (Table I-19)와의 평균 담수량 ($\sim 11.27 \times 10^6 m^3$)을 교체하기 위한 시간은 $R = 10.8 m^3/sec$ 로 取했을 때 約 12일 정도가 추가된다. 따라서 조건 5는 담수 교체 시간의 크기에서 실제보다 작은 값을 계산하게 될 것이나 그 차이는 크게 問題가 되지 않는 것이다. 조건 6은 순 용적 수송량 R 을 계산하기 위한 조건으로 도입되었으며 조건 7은 순 용적 수송량 R 이 담수 유입량과 같다는 것을 말해주고 있다. 따라서 조건 6과 7을 가정하여 담수 유입량 R 을 계산할 때 첫째로 고려되는 것은 횡단면 -1상의 流速의 分布와 이로부터 계산되는 용적 수송량이 된다. 용적 수송량은 이론적으로 式(5-5b)에 依해서 정의되는 量

으로서 관측 기간 T 의 길이에 따라서 그 크기가 변할수 있다. 式(5-5b)로부터 출발하여 현장 관측치의 성격을 고려해서 式(5-6)과 같이 수정한 다음에 7월 28일에 정점 1A, 1B, 1C에서 2m 水深別로 每時間 연속 관측한 結果를 이용하여 계산된 용적 수송량은 Table I-20에 수록되어 있는 바와 같이 $207\text{ m}^3/\text{sec}$ 의 크기로 灣內로 流入되는 結果를 보이고 있는데 이렇게 灣內로 流入되고 있는 용적 수송량은 잔차류에 그 원인이 있다(제 4 절 참조). 따라서 잔차류의 특성이 充分히 규명되고 조석의 영향이 관측 기간에 대한 평균 과정에서 消去될 수 있는 만큼 긴 시간의 관측이 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 125시간의 긴 관측 기간을 가진 Aanderaa RCM-4의 관측 자료를 이용 하였으며 이 때에 관측 자료의 미비한 점을 보완하기 위하여 조건 6을 가정하였다. 조건 6 下에서 계산된 結果는 Table I-21에 수록되어 있으며 이로부터 계산된 結果는 $R = 10.8\text{ m}^3/\text{sec}$ 로서 馬山灣으로부터 流出되고 있는 유량이다. 流出量 $R = 10.8\text{ m}^3/\text{sec}$ 는 타 河川의 年平均流量과 비교하여 볼 때 영산강의 $56\text{ m}^3/\text{sec}$, 만경강의 $35\text{ m}^3/\text{sec}$ (산업기지개발공사 1974)등과 비교하여 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ 의 크기를 보이고 있는데 馬山灣 일대의 流域 면적과 流入河川의 크기에 비해서 오히려 큰 값을 가지고 있다 하겠으나 7월 하순이 마산만 일대의 最多雨 시기에 속함을 고려할 때 현실적으로 타당한 값이라고 생각된다. V_f 와 R 의 값이 결정되었고 이로부터 계산된 담수 교체 시간은 139일 정도의 긴 시간을 나타내고 있다. 따라서 마산만 내에 존재하는 총 담수량을 담수 유입량과 같은 율로 교체하는 데에는 139일 정도의 시일이 소요된다 하겠다. 그러나 이 시간(139일)을 오염 물질이 마산만 내에 流入된 후 완전히 灣의 외부로 流出되어 나가는데 소요되는 기간으로 해석하는 데에는 적어도 2가지 면에서 문제점이 있다. 첫째는 流入된 담수가 만 내의 해수와 완전히 혼합 한다는 가정의 타당성이며 둘째는 조석 조건에 따라서 횡단면--1을 통해서 왕복성 조류의 흐름이 반복될 때 1 조석 주기마다 灣의 內部와 外部의 담수가 얼마씩 교체되는가 하는 점이다. 본 조사에서는 담수 교체 시간을 계산하는데 추적물로서 담수가 사용되었으므로 灣 内部의 담수와 灣 外部의 담수가 서로 교체되었다

하여도 그 결과는 동일한 것이나 추적자가 담수 내에 포함된 오염 물질이나 영양염류라고 한다면 만 내외의 담수의 교체는 오염 물질의 만 외부로의 이동 확산 과정을 수반하게 되므로 同一한 결과를 가져오지는 않는다. 첫번째의 가정을 염두에 둔다면 실제 담수 교체 시간은 계산치보다 길게 나타나게 될 것이며 둘째번의 문제점을 고려한다면 담수 교체 시간은 계산치보다 짧게 나타나게 될 것이다. 그러므로 이 두 가지의 문제점을 염두에 두고 담수 교체 시간 139일을 현실에 적용해야 하며 오염 물질의 잔류 시간을 결정하기 위해서는 염료 확산 실험등에 의해서 보완됨이 바람직하다.

4. 要約 및 結語

횡단면-1의 세정점 1A, 1B, 1C에서 上, 中, 下층에 장기 채류 되었던 Aanderaa RCM-4의 유속 자료를 이용하여 (125 시간 길이의 유속 자료) 마산만 내의 담수 교체 시간 (flushing time)을 계산하였다. 마산만 내의 담수량을 계산하기 위하여 音響測深資料와 基存海圖를 이용하여 마산만의 용적을 계산하였고 각 횡단면에 의해서 區分된 體積素의 層別面積을 계산한 뒤에 鹽分 分布로부터 담수 분포를 구하여 마산만 내의 총 담수량을 결정하였다.

마산만 내의 담수 流入量은 Aanderaa RCM-4의 資料와 횡단면-1의 조석 주기에 따른 단면적 변화를 조석 관측치를 이용하여 구해서 얻었으며 마산만의 총 담수량과 담수 유입량을 이용하여 결정된 담수 교체 시간은 총 139일 정도 된다.

조석의 조건과 기상 조건에 따라서 크게 변화할 수 있는 잔차류의 크기와 방향에 의존하는 net 용적 수송량의 계산에 있어서는 장기간(10일~2주일)의 조류 관측이 필요하며 동시에 기상 관측이 실시되어야 하겠다.

第6節 結 論

1981년도 7월 하순에 마산만 내에서, 9월 하순에 잠도 주위에서 실시한 해양 조사의 결과로부터 다음과 같은 결론을 내린다.

1. 馬山灣 내에서 7월 28일에 관측된 수온, 염분, 해수 밀도의 변화는 수온이 $15.9 \sim 28.95^{\circ}\text{C}$, 염분이 $26.51 \sim 32.85\%$, 해수 밀도(σ_t)가 $15.75 \sim 24.20$ 으로서 수온, 염분, 해수 밀도의 변화량은 橫斷面별로 $5.2 \sim 13.05^{\circ}\text{C}$, $6 \sim 7\%$, $6.1 \sim 8.5$ 이며 수온의 변화폭은 馬山灣 내측으로 가면서 감소되고 있으나 鹽分과 密度의 변화폭은 큰 變化를 보이지 않는다.

時系列 觀測資料의 시간적 變化는 하층보다 상층에서 크게 나타나며 그 변화폭은 수온이 $3 \sim 4^{\circ}\text{C}$, 鹽分이 $2 \sim 2.5\%$, σ_t 가 $2.5 \sim 3.5$ 정도 되는데 이 變化의 주 원인은 潮汐 조건에 따라서 변하는 潮流에 있다.

水溫, 鹽分, 密度의 橫斷面상의 연직 分布는 水平分布를 보이고 있으며 약층은 $2 \sim 4\text{ m}$ 수심층에서 주로 발견된다. 각 橫斷面 상의 정점 A가 정점 C보다 약간 높은 수온, 낮은 鹽分, 낮은 密度를 나타내고 있어서 담수의 유출은 만의 西側에서 활발한 것을 알 수 있다.

2. 잠도 주위에서 9월 26일에 觀測된 수온, 염분, 해수 밀도의 變化는 水溫, 鹽分, 密度(σ_t)가 각각 $17.6 \sim 22.4^{\circ}\text{C}$, $24.28 \sim 37.57\%$, $16.15 \sim 23.53$ 으로서 橫斷面 별로 $3.8 \sim 4.8^{\circ}\text{C}$, $3.37 \sim 7.24\%$, $3.7 \sim 6.46$ 의 변화폭을 보이고 橫斷面-14, 橫斷面-15, 횡단면-16의 순으로 수온의 변화량은 증가하며 염분과 밀도는 감소한다.

時系列 觀測資料의 시간적 變化는 상층에서 크며 그 변화폭은 수온, 염분, σ_t 가 각각 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$, $2.5 \sim 3.0\%$, 2.5 가 되는데 潮汐에 따라서 변하는 潮流에 그 원인이 있다.

3. 成層-循環圖를 이용한 馬山灣 및 蠶島 주위의 하구역(estuary)으로서의 특성은 순환 경수가 $0.98 \sim 7.59$, 성층 경수가 $0.10 \sim 0.25$ 의 범위 내에 있으며 類型-2b에 속하는 부분적 成層 상태의 하구역(partially stratified estuary)으로서 분류된다.

4. 馬山灣 入口와 蠶島 주위에서 계산된 鹽 流動率(salt flux)와 淡水流動率(fresh water flux)은 염 유동율의 경우 橫斷面-1이 12 kg/m/sec , 횡단면-14가 약 22, 횡단면-15가 약 36 kg/m/sec 로서 Q_1 이 우세하고 Q_2 는 Q_1 의 $5 \sim 10\%$, Q_3

은 Q_1 의 2% 이하에 불과하다. 淡水流動率은 $0.05 \sim 0.10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 크기를 가지며 횡단면-14와 횡단면-15가 횡단면-1의 2배 정도 된다.

5. 대기압의 영향이 제거된 潮汐의 特性은 1980년도의 蠶島에서의 관측 결과와 비교하여 볼 때 반일주조와 日週潮는 별 차이가 없으나 M_2 과 MS_1 등의 장주기 성분이 뚜렷이 나타났으며 형태수는 0.12로서 半日週潮의 성격을 띠고 있다.

정점 T1의 조차는 최소 55 cm, 最大 230 cm가 되며 蠶島보다 6分 늦은 위상을 나타낸다. T1의 조고비도 잠도보다 약간 낮으며 日潮不等은 작다.

6. 7月 末에 橫斷面-1 상에, 9月 末에 蠶島 주위에서 소조 직전으로부터 대조 직후까지 약 7日間の 潮流連續觀測 結果를 殘差流에 力點을 두어서 고찰한 바 潮流의 主方向은 1980년도의 觀測結果와 유사한 것으로 나타났으나 殘差流의 變化 양상은 많은 새로운 면을 보여 주었다. 橫斷面-1上的 殘差流는 Fig.I-27에 圖示된 바와 같이 下層에서는 南向의 잔차류를 나타내는 반면 상층과 중층에서는 잔차류의 流速, 流向이 時間에 따라서 변하였다. 정점 1B의 상층은 꾸준한 北向流가 보이는 反面에 정점 1A의 상층, 정점 1B의 중층 정점 1C의 상층은 정점 1B의 상층과는 반대 경향을 보이고 있다. 이러한 변화 양상을 유발시키는 주원인은 관측된 資料만으로는 규명되기 어려우며, 觀測期間 중에 氣象(風向, 風速)도 병행 실시하여 서로 연관시켜서 고찰할 필요가 있다.

7月 末과 9月 末의 最强, 最小 流速은 Table I-14에 요약되어 있는 바와 같다. 최강 유속은 대조시에 觀測되었으며 최소 流速은 소조후 1일 경에 나타났다. 橫斷面-1 上에서는 정점 1A와 정점 1C의 最强流速은 落潮流가 강하며 정점 1B를 상층, 중층에서 漲潮流가 강하고 하층에서 落潮流가 강하게 나타났다. 정점 14B는 落潮流가 우세하게 나타났다.

연속 觀測資料로 추정된 tidal excursion은 橫斷面-1에서 8.9 km , 정점 14B에서 9.2 km 정도가 된다.

7. 馬山灣 내의 淡水交替時間(flushing time)은 139일 정도가 된다. 담수 교체 시간의 계산에 필요한 流速의 斷面分布 및 殘差流를 구하기 위해서 충분히 긴 기간 동안의 連續觀測이 필요하며 기상 관측이 同時에 실시되어야 한다.

參 考 文 獻

- 건설부 산업기지개발공사. 1974. 한국하천조사서.
- Cameron, W. M. and D. W. Pritchard, 1963. Estuaries, p. 306 ~ 324.
in M. N. Hill (*ed.*), The Sea. Vol. 2, John Willey & Sons, N. Y.,
U. S. A.
- Dyer, K. R. 1973. Estuaries: A physical introduction. John Wiley &
Sons, N. Y., U. S. A.
- Godin, G. 1973. The analysis of tides. Univ. of Toronto Press, Toronto,
Canada.
- Hansen, D. V., and M. Rattray Jr. 1966. New dimensions in estuary
classification. *Limnol. Oceanogr.* 11: 319 ~ 326.
- Ippen, A. T. and D. R. T. Harleman. 1961. One-dimensional analysis of
salinity intrusion in estuaries. Tech. Bull. 5. Comm. Tidal Hydraul.
Corps. Eng. U. S. Army.
- KORID. 1980a. Oceanographic studies for Uljin Nuclear Power Plant.
BPSI:00022-39-1.
- KORDI. 1980b. A preliminary investigation on the monitoring system for
the red tides in the Jinhae Bay. BSPE:00022-43-7.
- Lie, H. J. 1978. A review of some filters for the calculation of
daily mean sea level. *J. Oce. Soc. Korea*, 13(2): 1~4.
- Pritchard, D. W. 1952a. Salinity distribution and circulation in the
Chesapeake Bay estuaries system. *J. Mar. Res.* 11: 106 ~ 123.
- Pritchard, D. W. 1952b. Estuarine hydrography. *Advan. Geophy.*
1: 243 ~ 280.
- Pritchard, D. W. 1955. Estuarine circulation patterns. *Proc. Amer.*
Soc. Civil Eng. 81(717).

第Ⅱ章 鎮海灣의 化學的 特性

第1節 序 論

진해만의 적조와 오염 모니터링을 위한 chemical modelling을 만들기 위하여 금년에도 작년에 이어 化學水質指數에 대한 기초자료를 수집하고자 조사연구를 수행하였다. 그러나 금년에는 화학수질지수들의 月別變化와 함께 時間別變化 관측에 보다 중점을 두었다. 금년에 조사 측정항목으로는 일반수질지수로서 수온, 염분, pH, 용존산소량, 투명도, COD, 부유물질등과 urea, chlorophyll a,b,c, 영양염류인 NO_3 , NO_2 , PO_4 , $\text{Si}(\text{OH})_4$, 그리고 해수중의 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn) 등과 해저퇴적물중의 카드뮴, 구리, 납, 아연, 니켈(Ni), 코발트(Co), 망간(Mn) 등의 중금속을 들수있다. 이와같은 화학수질지수의 변화 관측은 적조발생의 환경조건과 발생원인을 규명하는데 있어서 매우 중요한 요인이 되기 때문에 앞으로도 계속 그 조사연구가 수행되겠지만 우선 지난 일년동안의 조사자료가 종합 정리 되었기에 이를 보고하고자 한다.

第2節 調査内容 및 方法

1. 調査海域 및 調査時期

1) 調査海域

調査海域은 Fig. II - 1에서 보는 바와같이 鎭東灣과 馬山灣, 그리고 行岩灣을 주 대상으로 삼았다.

鎭東灣의 調査點으로는 계도와 화도 중간(st. 1)과 화도 부근(st. 2), 저도와 호암산사이의 중간(st. 3) 등 3個點을 定하였고 加助島海域과 蠶島사이의 水路에도 한 개의 調査點(st. 4)을 定하여 調査를 실시하였다.

行岩灣의 調査點으로는 대죽도 남쪽(st. 5)의 한개 調査點만 定하였고 馬山灣은 돌섬 동쪽(st. 6)과 마산만 입구의 모개등대와 모도사이(st. 7) 등 2개 調査點을

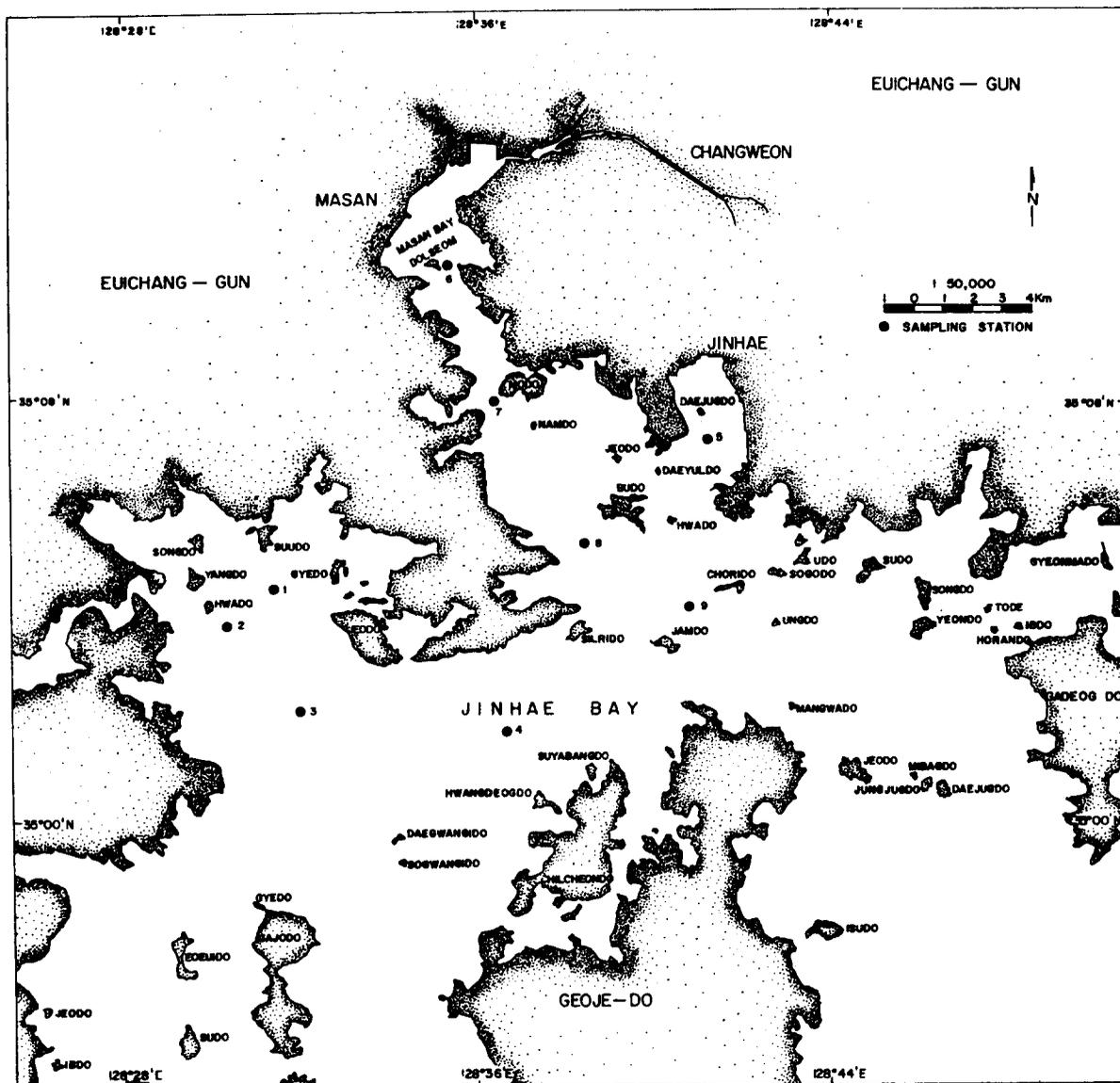


Fig. II-1. Sampling stations of Jinhae Bay.

定하였으며 馬山水路의 調査點으로는 釜島 서쪽 (st. 8)과 草理島와 蠶島사이 (st. 9)의 2개點 等 모두 9개의 調査點을 定하여 調査를 실시하였다.

2) 調査時期

수질지수의 月變化 觀測目的을 위한 현장조사는 1980년 10월 12~14일, 1981년 1월 27일, 4월 7일, 5월 7일, 6월 9일, 7월 7일, 8월 11일, 9월 8일, 10월 13일, 11월 10~11일 等 모두 10회 조사하였고 24시간 연속관측을 위한 현장조사로는 1981년 4월 8~9일 (st. 7, st. 2), 6월 10~11일 (st. 7), 6월 11~12일 (st. 2), 11월 12~13일 (st. 7) 等 4회 조사를 수행하였으며 8시간 연속관측을 위한 현장조사는 8월 12일 (st. 7)과 13일 (st. 4) 2회 실시하였다.

2. 試料採取 및 保存方法

해수시료는 각 조사점에서 van Dorn 채수기를 사용하여 표층, 저층에서 채취하는것을 원칙으로 하였으며 수질지수에 따라 다음과 같은 容器와 保存方法을 사용하였다.

Winkler 法에 의한 용존산소량 (DO) 측정용 시료는 300 ml用 유리병에 기포가 생기지 않도록 잘 담은후 황산망간과 알카리성 요오드화칼륨 용액으로 용존산소를 고정시켜서 얼음상자에 넣고 실험실에 옮긴 다음 측정하였다.

영양염측정을 위해서는 묽은 질산과 증류수로 각각 세척한 1 l用 폴리에틸렌병에 담아 마산시내 冷凍工場에서 급속냉동시킨후 시료를 얼음상자에 넣어 실험실로 옮긴 다음 측정하였다. Auto Analyzer 로 측정된 영양염시료는 현장에서 일단 여과한 후 여액을 20 ml用 폴리에틸렌병에 담아 冷凍시키고 실험실로 옮긴다음 분석하였다.

클로로필과 화학적산소요구량 (COD) 은 시료를 각각 1 l用과 300 ml用 폴리에틸렌병에 담아서 얼음상자에 넣은뒤 실험실로 옮겨서 측정하였다.

중금속 측정용 해수시료는 미리 질산과 증류수로 수회 세척한 3.8 l用 폴리에틸렌병에 담아 실험실로 옮긴후 분석하였다. 또 해저퇴적물시료는 sediment snapper 로 채취하여 폴리에틸렌병에 담아 냉동공장에서 일단 냉동시킨후 얼음상자에

넣어 실험실로 옮긴 다음 분석하였다.

3. 分析機器

- 1) Dissolved oxygen meter: Yellow Springs Instrument Co. Model 57.
- 2) pH meter : Orion Model 407 A/F, Fisher Model 525, digital.
- 3) Salinometer : Yeo-Kal Environmental Electronics Model 601 MKⅢ.
- 4) Automatic titrator : Metrohm Herisau Co. Multi-Dosimet E 415.
- 5) UV-VIS spectrophotometer : Cary 14, Recording type.
- 6) Atomic absorption spectrophotometer : Instrumentation Laboratory Model 251.
- 7) Freeze dryer : Virtis # 10-100
- 8) Auto Analyzer : Technicon AA Ⅱ
- 9) Spectrofluorometer: Farrand, MK Ⅱ
- 10) Muffle furnace : Gallenhamp
- 11) Centrifuge: Sorvall SS-3

4. 測定 및 分析方法

1) 一般水質指數

가) 水 溫 (water temperature)

휴대용 DO meter 를 사용하여 현장에서 측정하였다.

나) 鹽 分 (salinity)

시료를 300 ml용 폴리에틸렌병에 담아 실험실로 운반해서 conductivity meter 로 전도도를 측정한 후 염분으로 다시 환산하였다.

다) pH

휴대용 pH meter 로 현장에서 측정하였다.

라) 溶存酸素量 (dissolved oxygen)

휴대용 DO meter 로 현장에서 일차 측정하고, 또 300 ml용 BOD병에 시료를 담아 Winkler 法에 의해 황산망간(II)과 알칼리성 요오드화 칼륨용액으로 용존산소를 고정시킨 후 실험실로 옮겨 황산으로 시료를 산성으로 한 다음 유리되어 나오는 요오드를 치오황산소다로 역적정하여 (Standard Methods, 1976) 측정된 용존산소량은 Weiss의 포화도표를 써서 다시 포화백분율로 나타냈다. (Weiss, 1970).

마) 浮遊物質 (suspended solids)

부유물질의 측정은 미리 desiccator 속에서 건조시켜 무게를 측정한 Millipore HA type membrane filter paper (pore size $0.45 \mu m$, 직경 47 mm) 로 여과한 다음 105°C oven속에서 24시간 건조하고 다시 desiccator속에서 실온으로 식힌 후 무게를 측정하여 여과하기 전 filter paper 무게를 뺀 값으로 하였다. 부유물질 측정을 위해서는 시료 1 l를 여과하였으며 그 함량은 mg/l 농도로 표시하였다.

바) 化學的酸素要求量 (chemical oxygen demand)

시료 50 ml를 알칼리성하에서 일정 과량의 과망간산칼륨용액을 가하고 수욕상에서 20분간 가열한 후 냉각시키고 요오드화칼륨용액을 가한 다음 황산으로 시료용액을 산성으로 만들어 요오드를 유리시킨 후 치오황산소다로 역적정하였다. (Carlberg, 1972). 화학적산소요구량은 O_2 mg/l 농도로 표시했다.

사) 透明度 (transparency)

Secchi disc (직경 20 cm)를 사용해서 현장에서 측정하였다.

2) 營養鹽類 및 플랑크톤 색소량 (nutrients and pigments)

시료를 pore size $0.45 \mu m$ 의 Millipore HA type membrane filter paper 로 여과하여 용存性 (dissolved or filtered) 영양염을 측정하였다. 1981년 8월, 11월의 st. 7에서의 연속측정 시료는 Zimmermann *et al.* (1977) 에 의거 Technicon AA II 자동분석기를 사용하여 측정하였다.

가) 亞寧酸鹽 - 寧素 ($NO_2 - N$)

시료에 sulfanilamide 와 N(1-naphthyl) - ethylenediamine dihydro -

chloride 로 발색시킨후 UV-VIS 분광광도계로 파장 543 nm에서 5 cm cell 을 사용하여 측정하였다.(Strickland and Parsons, 1972).

나) 窒酸鹽 - 窒素 (NO₃ - N)

시료를 Cd-column에 통과시켜 아질산염으로 환원시킨 후 NO₂-N 측정과 같은 방법으로 1 cm cell 을 사용하여 측정하였다.(Strickland and Parsons, 1972)

다) 磷酸鹽 - 磷 (PO₄ - P)

시료를 ammonium molybdate, 황산, ascorbic acid, potassium antimonyl tartrate 의 혼합시약으로 발색시켜 분광광도계로 885 nm에서 10 cm cell 을 사용하여 측정하였다.(Strickland and Parsons, 1972).

라) 硅酸鹽 - 硅素

Ammonium molybdate 10 ml에 시료를 가해 silico-molybdate complex 를 만든 후 metol-sulfite, 수산, 황산의 혼합시약으로 발색시켜 UV-VIS 분광광도계로 파장 810 nm에서 1 cm cell 을 사용하여 측정하였다.(Strickland and Parsons, 1972).

마) 플랑크톤色素 (Pigments)

시료를 pore size 0.45 μm, 직경 47 mm Millipore membrane filter paper (HA type) 로 여과하고 다시 90%아세톤으로 20시간 동안 냉암소에서 추출한 후 5 cm cell 을 사용하여 흡수파장 480 nm, 510 nm, 630 nm, 645 nm, 663 nm, 750 nm 에서 吸光度를 측정하였다. 측정된 값은 SCOR/UNESCO 공식에 의해 클로로필 a, b, c를 계산하고 plant carotenoids 는 Richard 공식에 의하여 계산하였다 (Strickland and Parsons, 1972). *In vivo* fluorescence 는 Turner Designs 10-005 fluorometer를 사용하여 25 × 150 mm borosilicate cuvette에 시료를 넣어 F4T5 blue lamp와 Corning CS 5-60 filter 를 사용하여 勵起(excitation)시키고 Corning CS 2-64 filter로 emission 을 받았다 (Lorenzen, 1966).

바) Urea

시료를 di-acetyl-monoxime 에 의해 발색시켜 UV-VIS 분광광도계로 520 nm에서

5 cm cell 을 사용하여 吸光度를 測定하였다 (Newell et al., 1967).

3) 重金屬 (heavy metals)

海水中的 重金屬은 溶存性 (dissolved) 금속과 粒子性 (particulate) 금속으로 구분하여 측정하였으며 용존성 금속의 측정을 위한 농축단계를 제외하고는 대체로 미국환경보호청의 분석방법 (U.S. Environmental Protection Agency, 1974) 을 따랐다. 모든 분석은 2회 중복해서 실시하고 그 평균값을 측정값으로 나타냈다.

중금속분석에 사용된 모든 시약들은 독일 Merck 제 특급시약 (G.R.) 이었으며 증류수는 일단 증류한 물을 다시 이온교환수지 컬럼을 통과시켜 脫鹽水로 만들어 사용하였다. ammonium citrate 는 dithizone 추출법으로 정제한 후 사용했으며 APDC (ammonium pyrrolidine dithiocarbamate) 용액도 MIBK (methylisobutyl ketone) 로 2~3회 추출해 낸후 사용하였다. 그리고 용존성중금속 측정에 사용된 Millipore membrane filter paper 도 2N 질산용액, 0.1% APDC 용액, 증류수순으로 각각 2~3회 세척한 후 사용하였다.

가) 溶存性 重金屬 (Cd, Cu, Pb, Zn)

Pore size 0.45 μ m, 직경 47 mm의 Millipore membrane filter paper 로 여과한 시료를 Fe-APDC 침전법 (Lee et al., 1980) 으로 160배 농축한 후 원자흡수분광기로 분석하였다.

동근바닥 플라스크 (1ℓ 용) 에 시료 800 ml 를 넣고 緩衝溶液 (saturated ammonium citrate dibasic) 15 ml 와 1,000 mg/l Fe⁺³ 溶液 5 ml 를 가하고 붉은 염산 및 붉은 암모니아수로 pH 2.7~3.0 되게 조절하였다. 여기에 5% APDC 용액 5 ml 를 가하고 1분동안 흔들어 준다음 20~30분간 침전이 완결토록 방치하였다. 이렇게 처리된 용액을 0.45 μ m Millipore membrane filter paper 로 여과하여 침전은 filter paper 와 함께 시험관에 넣고 2N 질산용액 5 ml 를 가한 후 60°C 건조기속에서 30분 동안 방치시켰다. 이와같이 처리하면 filter paper 는 그대로 남고 침전물만 용해되어 맑은 용액이 되는데 이 용액을 공기-아세틸렌 불꽃에 분무시켜 각 원소의 농도를 측정하였다. 각 금속의 측정 흡수파장은 Cd 228.8 nm, Cu 324.7

nm, Pb 283.3 nm, Zn 213.9 nm였다.

나) 粒子性 重金屬 (Cd, Cu, Pb, Zn)

미국환경보호청 (EPA, 1974)의 입자성 중금속의 측정방법에 따라 각 원소의 농도를 측정하였다.

다) 總重金屬 (Cd, Cu, Pb, Zn)

미국환경보호청의 방법에 따라 용존성 중금속과 입자성 중금속의 합을 總重金屬의 농도로 하였다 (EPA, 1974).

라) 海底堆積物中的 重金屬分析法 (Cd, Cu, Co, Mn, Ni, Pb, Zn)

시료를 freeze dryer 로 말려서 mortar 로 곱게 빻은 다음 60mesh nylon sieve 로 걸렀다. 이 堆積物試料 1 g 을 50 ml porcelain crucible 에 담아 전기도가니 (electric muffle furnace) 에 넣고 550 °C 에서 2 시간 반 동안 가열하여 유기물을 태운 후 다시 꺼내 식힌 다음 30 ml pyrex test tube 에 옮겨 담았다. 여기에다 진한 염산 3 ml 를 가하고 oil bath 에서 120 °C 를 유지한 채 digestion 시켰다. 다시 2N-HCl 20 ml 를 test tube 에 가하고 잘 흔들어 준 다음 이 용액을 원자흡수분광기의 공기-아세틸렌 불꽃에 분무시켜 각 원소의 농도를 측정하였으며 농도표시는 乾重量 (dry weight) 으로 ppm 단위로 나타냈다. 측정에 사용된 각 원소의 吸收波長은 Cd 228.8 nm, Cu 324.7 nm, Co 240.7 nm, Mn 279.5 nm, Ni 232.0 nm, Pb 283.3 nm, Zn 213.9 nm 이었다.

第3節 一般水質指數의 調查結果 및 考察

1. 月別定期調查結果

1) 水溫 (Water temperature)

本 調査에서 나타난 전체적인 水溫分布를 보면 1년중 最高水溫을 나타낸곳은 馬山內灣의 st.6 으로서 여름철에는 다른 海域보다 水溫이 높고 겨울철에는 가장 낮은 값을 나타내 이 地點은 陸水의 영향을 많이 받는 것으로 생각된다 (Table II-1) 各 海域別로 본 月別表層水溫은 馬山灣(st.6 과 st.7)이 8월에 29.5 °C로 가장

Table II-1. Seasonal mean water temperature in each zone ($^{\circ}\text{C}$).

Zone	Season		Spring	Summer	Fall	Winter
	W. Layer					
Jindong Bay St. (1-3)	S		14.7	24.9	21.6	-
	B		12.9	20.0	21.3	-
Silrido Area St. (4)	S		13.3	24.2	21.6	-
	B		11.8	18.9	21.2	-
Haengam Bay St. (5)	S		14.2	24.5	21.7	7.9
	B		13.7	20.8	21.4	7.8
Masan Bay St. (6-7)	S		14.6	26.4	22.0	7.4
	B		12.2	20.0	21.5	7.6
Budo Area St. (8-9)	S		13.1	24.2	22.3	8.5
	B		12.5	19.5	20.8	8.5

높았으며 st.8, 9에서 25°C 로서 4°C 라는 큰 水溫差를 나타냈다. 또 가장 낮은 水溫을 나타낸 곳은 1月の st.6의 3.4°C 이었으며 가장 높은 곳은 7月の st.6의 29.8°C 로서 작년보다 약 2°C 가량 높았다. 馬山灣(st.6과 st.7)과 그 外洋(st.8과 9)을 비교해 볼 때 겨울철을 除外하고는 馬山內灣에서의 水溫이 항상 높았으며 行岩灣과 鎮東灣 그리고 st.4에서는 거의 비슷한 分布를 나타냈다(Fig. II-2).

底層의 水溫을 보면 表層과 마찬가지로 最高水溫은 9月 st.6의 24.8°C 이며 最低水溫은 1月の st.6의 3.4°C 이었다. 表層과의 가장 큰 水溫差를 나타낸 곳은 8月 st.7의 表層이 29.3°C , 底層이 20.4°C 로서 거의 9°C 의 差異를 보였다. (Table A-1 참조)

위에서 본 바와같이 鎮海灣의 水溫은 馬山灣(st.6과 7)의 여름철을 除外하고는 上, 下層이 고르게 분포되었다.

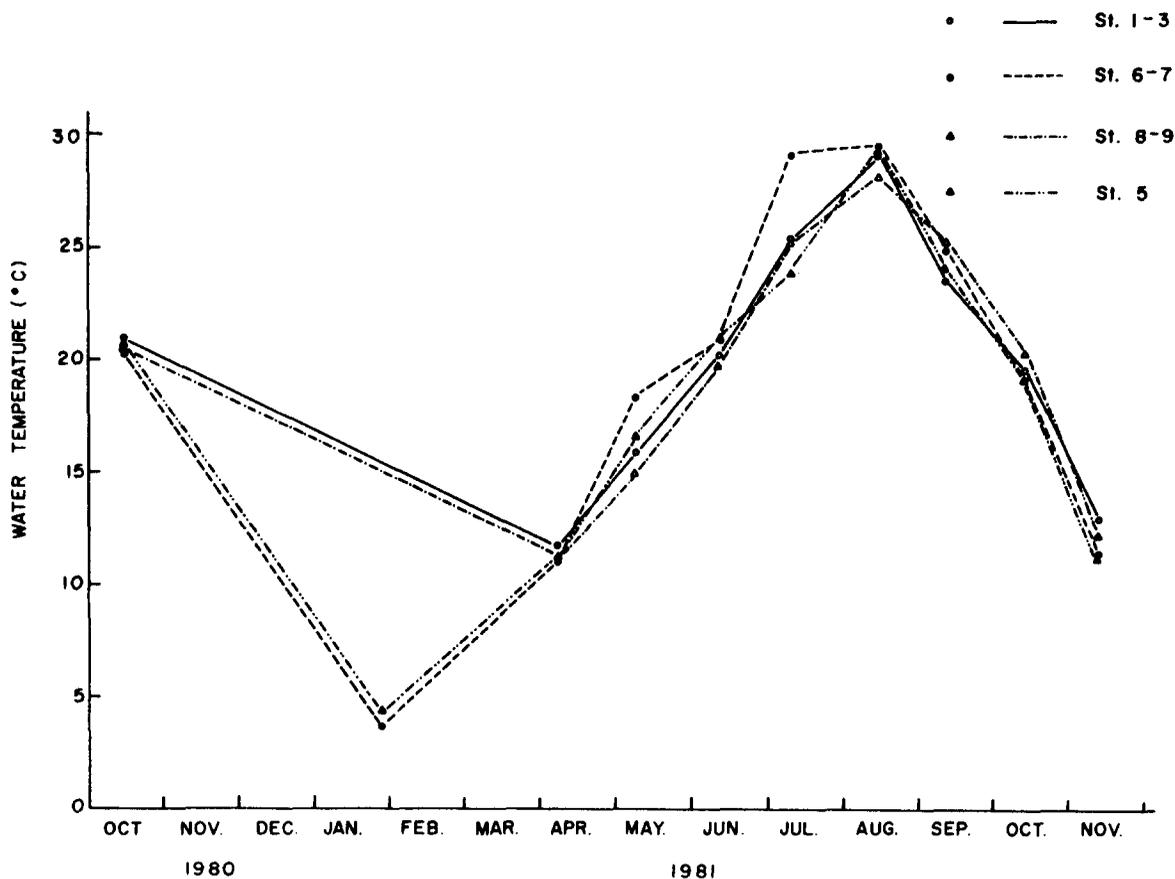


Fig. II-2. Monthly variations of water temperature in Jinhae Bay.

2) 鹽分 (salinity)

이번 調査에서 나타난 全體的인 鹽分分布를 보면 작년도 調査에서와 같이 여름철에 낮으며 그 外의 季節에는 높게 나타났다 (Table A-2). 1981年 7月과 9月은 集中降雨에 의해 특히 鹽分이 낮아 7月에는 表層 鹽分이 馬山內灣의 st.6과 st.7에서 各各 18.15‰, 20.82‰로 떨어졌고 9月에는 全 海域이 19.8~22.5‰로 낮은 分布를 보였는데 馬山內灣보다 그 바깥쪽인 st.8과 9에서 鹽分이 더 낮은 것은 특기할 만하다. st.6에서는 陸水流入이 많아 表層의 鹽分이 연중 낮은 값을 보이고 있고 st.9에서는 9, 10月을 除外하고는 비교적 높은 값을 유지하고 있다 (Fig. II-3).

月別 鹽分分布를 海域別로 살펴 보면 (Table II-2) 4, 5, 6月에는 馬山灣(st.6,

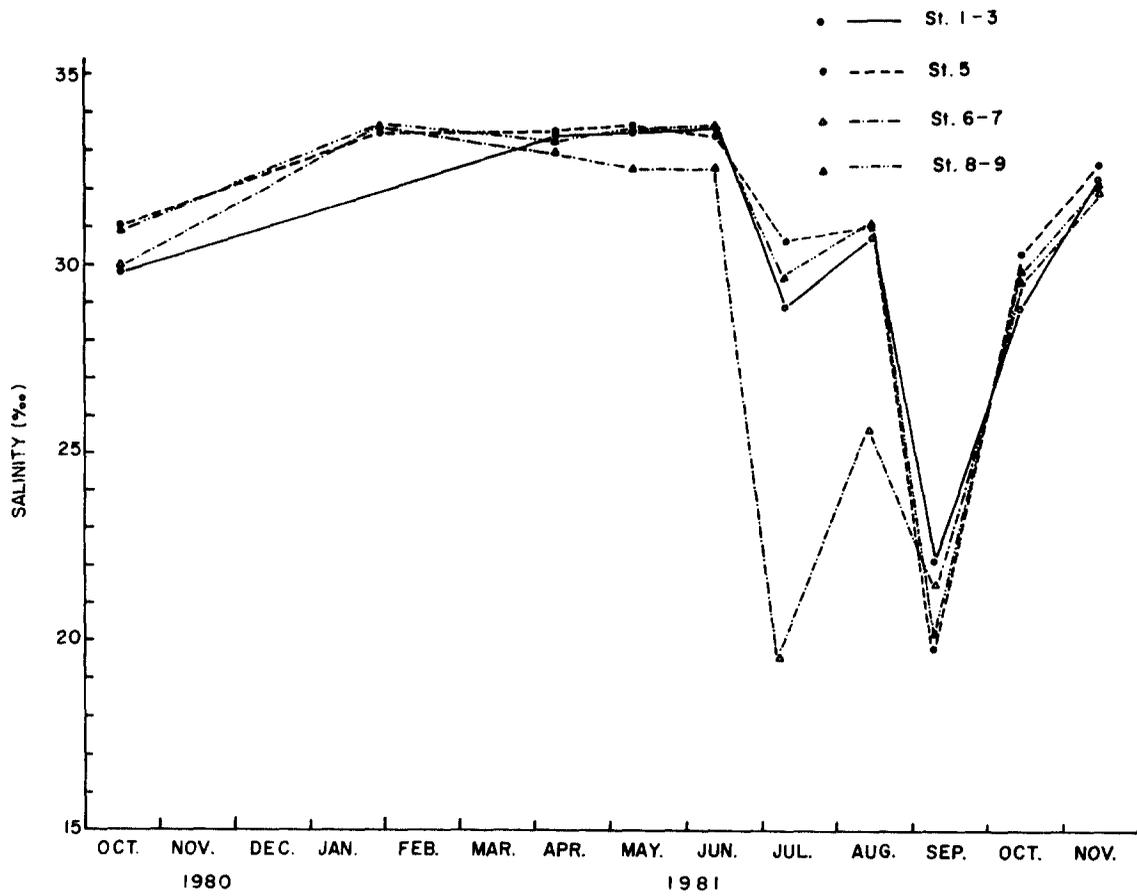


Fig. II-3. Monthly variations of salinity in Jinhae Bay.

Table II-2. Mean salinity in each zone (‰)

Zone	Date w. Layer	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
Jindong Bay St. (1-3)	S	29.84	-	33.41	33.44	33.45	28.83	30.75	22.13	28.86	32.38	30.12
	B	31.74	-	33.39	33.51	33.55	32.34	32.76	31.71	31.33	32.44	32.48
Silrido Area St. (4)	S	29.81	-	33.30	33.56	33.47	31.25	31.29	20.02	29.19	32.31	30.47
	B	31.33	-	33.36	33.70	33.56	33.59	32.95	31.51	32.19	32.77	32.77
Haeangam Bay St. (5)	S	31.13	33.49	33.50	33.62	33.39	30.62	31.02	19.78	30.35	32.77	30.97
	B	31.14	33.45	33.45	33.67	33.64	32.66	31.90	28.28	30.61	32.73	32.15
Masan Bay St. (6-7)	S	30.00	33.61	32.94	32.50	32.56	19.49	25.66	21.56	29.60	32.07	29.00
	B	31.14	33.69	33.41	33.36	33.55	32.61	32.11	27.76	30.95	32.46	32.18
Budo Area St. (8-9)	S	30.95	33.54	33.34	33.63	33.36	29.58	31.15	20.10	29.93	32.73	30.83
	B	31.27	33.52	33.44	33.70	33.69	33.49	32.51	29.61	31.37	32.85	32.54

7)을 제외하고는 전 해역이 33.3‰ 이상의 값을 나타냈다. 연평균 表層의 鹽分度는 馬山灣이 29.00‰ (19.49~32.94‰), st.4가 30.47‰ (20.02~33.56‰), 鎮東灣이 30.12‰ (22.13~33.45‰), st.8과 9가 30.83‰ (20.10~33.63‰), 行岩灣이 30.12‰ (22.13~33.45‰)로서 馬山灣이 월등히 낮았다.

底層의 鹽分은 表層에서와 같이 9월에 전반적으로 낮았으며 특히 st.5, 6, 7, 8에서 낮은 값을 보였다. 全 海域의 연평균 變化는 27.22~33.96‰로서 변화폭이 7‰로 表層보다 좁으며 季節的인 變化도 各 海域間에 크게 나타나지 않았다.

以上과 같이 鎮海灣에서의 鹽分은 馬山內灣에서는 流入되는 陸水의 영향으로 상당히 낮고 기타 海域은 서로 비슷한 分布를 나타내며 강우량의 차이에 의해 연간변화가 나타나는 것으로 보인다.

3) 溶存酸素量(dissolved oxygen)

본 조사에서 나타난 表層의 溶存酸素량과 그 飽和度를 보면 가장 높게 나타난 때는 5월 st.7에서 12.3 ml/l (224.9%)이며 st.6, 7, 8에서 연중 전체적으로 높게 나타났고 季節的으로는 봄철부터 차츰 높아져 여름철에 최고조에 달하고 가을철이 되면서 차츰 減少되었다(Table II-3), 8월 st.5에서 9.5 ml/l(210.4%)까지 올라갔던 것은 7月末 부터 8월에 걸친 赤潮現象때문이며 이때는 赤潮가 鎮海灣 全域에 퍼져 全 海域에서 溶存酸素량의 變化分布는 3.0~12.3 ml/l (56.4~224.9%)였으며 여름철(6~8월)에 全 海域平均 7.4 ml/l (138.2%)를 나타냈고 年中 全 海域의 平均 溶存酸素量은 약 6.8 ml/l (124.2%)이었다.

各 海域別로 보면(Table II-3) 鎮東灣에서 6.2 ml/l (116.5%) st.4에서 6.0 ml/l (113.2%), 行岩灣에서 7.1 ml/l (129.0%), 鎮海灣에서 7.6 ml/l (138.5%) st.8~9에서 6.6 ml/l (119.3%)이며 變化幅도 馬山內灣이 3.0 ml/l ~ 9.5 ml/l (56.6~184.2%)로서 가장 컸다. 또 st.6, 7, 8, 9의 表層 溶存酸素飽和度를 비교해 보면 겨울철을 제외하고는 큰 변화폭을 보이며 外洋으로 나가면서 漸次 낮은 포화도를 보여 주고있다(Table A-5).

底層의 溶存酸素量은 예년과 마찬가지로 여름철에는 상당히 낮았으며 馬山灣內에서

의 7月에는 底質의 有機物에 의한 산소 소비량이 증대되어 霧에 가까운 상태에 이르렀으며 겨울에는 表層과 거의 같은 수준이었다. 各 海域別 月別變化를 보면 역시 마산만의 저층에서 봄부터 차츰 낮아져 7月에는 霧에 이르며 가을에 들어 점차 회복되는것을 알 수 있다. 行岩灣의 저층에서 8月에 포화도가 10% 정도이었던 것은 赤潮現象 때문이라고 생각되며 그 外의 海域은 연평균 70~80% 정도의 고른 分布를 보였다. 底層의 全 海域의 平均 溶存酸素量은 4.0ml/l (68.3%)로서 작년조사와 비슷했다.

이상과 같이 馬山灣에서의 溶存酸素量은 여름철에 表層에서의 光合性 增大로 인해

Table II-3. Saturation percentage of dissolved oxygen in each zone (%).

Zone	Date W. Layer	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
Jindong Bay	S	82.2	-	105.4	107.9	104.5	130.1	178.5	165.9	98.8	80.0	116.5
St. (1-3)	B	46.3	-	99.8	99.0	80.4	84.3	30.6	62.8	54.4	77.1	70.1
Silrido Area	S	83.7	-	104.9	111.2	104.5	123.8	170.5	127.7	108.7	82.8	113.2
St. (4)	B	59.4	-	92.7	104.7	86.0	80.8	49.1	59.2	71.9	76.7	75.6
Haengam Bay	B	76.4	129.4	104.4	132.9	126.5	102.9	210.4	162.3	159.6	85.3	129.0
St. (5)	B	72.4	111.5	110.5	119.9	81.2	75.3	10.2	60.0	86.5	86.3	81.4
Masan Bay	S	56.6	120.4	111.7	197.1	184.2	183.5	174.5	182.4	101.6	73.4	138.5
St. (6-7)	B	47.5	177.8	94.3	69.3	24.4	0	6.8	29.1	55.6	69.1	50.8
Budo Area	S	70.5	131.5	112.9	106.0	134.6	160.9	172.4	107.5	114.3	82.5	119.4
St. (8-9)	B	67.4	114.8	104.0	90.6	98.5	80.0	46.5	50.7	78.4	79.4	81.0

最高 200%에 달하는 포화도를 가지며 底層에서는 有機物의 酸化로 인해 露에 가까운 상태에 이르고 있다. 그 외의 海域에서는 表層에서 높은 포화도를 나타내며 底層에서는 대체로 비슷한 상태를 보이고 있다.

4) pH

各 調査點에서 測定한 pH값이 Table A-5 (부록참조)에 수록되어 있고 各 調査點別 年平均 pH는 Table II-4에 또 全 調査點의 月別 pH 평균은 Table II-5에 그리고 鎭海灣과 馬山灣의 月別 pH 평균은 Table II-6에 各各 나와 있다.

鎭海灣과 같은 沿岸海水의 pH는 주로 水溫, 流入되는 陸水의 特性 및 量 그리고 植物性플랑크톤의 現存量에 따라 크게 영향을 받는 것 같다. 이번 조사에서 나타난 결과를 보면 鎭海灣의 pH는 赤潮가 발생했던 5月~10月 사이에 最高 9.4까지 올라가는 등 전반적으로 높은 경향을 나타냈다. 全 調査期間을 통한 pH 변동범위는 7.7~9.4로서 變化幅이 대단히 컸으며 Table II-4에서 보는 바와같이 調査點別 年平均 pH는 表層의 경우 鎭東灣의 st.1과 st.3 그리고 馬山灣의 st.6 등이 다같이 8.5로 가장 높았고 또 底層의 경우는 行岩灣의 st.5와 馬山灣入口에 있는 釜島앞의 st.8이 8.3으로 역시 가장 높았다. 月別로는 表層의 경우 赤潮가 많이 일어나는 夏節期인 7月이 平均 8.9로 가장 높았고 8월도 8.7로 비교적 높은 pH를 보인 반면에 冬節期가 시작되는 11월은 8.0으로 7월이나 8월과는 큰 差異를 나타냈다. 그러나 底層의 경우는 pH 평균이 8.0~8.4로 일반적인 海水의 pH 領域內 이었다 (Table II-5).

地域的인 pH 特性을 보면 (Table II-6) 鎭東灣의 경우 7月~9月 사이에 表層의 pH가 8.7~9.1 정도로 높은데 이것은 주로 海洋植物의 光合性作用에 의한 것으로 推定된다. 이 사실은 A-15에서 보는 바와 같이 7~9月中 鎭東灣의 클로로필 a 含量이 높은 점이나 또는 5月~10月 사이에 鎭東灣의 pH와 클로로필 a 含量과는 $pH = 8.318 \times \text{클로로필 } a (\mu\text{g}/\ell) + 0.014$ ($r = 0.716$)의 相關關係式이 成立되는 것으로 부터도 유추해 볼 수 있다. 그러나 馬山灣의 경우는 陸水流入이 많아 營養鹽供給이 비교적 잘 되기 때문에 클로로필 a 含量도 언제나 높은 편이지

Table II-4. Total mean of pH at each station.

St. W. Layer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean
	Surface	8.5	8.3	8.5	8.3	8.3	8.5	8.4	8.4	8.3
Bottom	8.2	8.0	8.2	8.1	8.3	8.1	8.1	8.3	8.1	8.2

Table II-5. Monthly mean of pH.

Date W. Layer	1980	1981									Mean
	OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
Surface	8.1	8.4	8.2	8.2	8.2	8.9	8.7	8.5	8.4	8.0	8.4
Bottom	8.1	8.4	8.2	8.0	8.1	8.2	8.2	8.0	8.3	8.0	8.2

Table II-6. Monthly mean of pH in the Jindong Bay and the Masan Bay.

Area W. Layer	Date	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
Jindong Bay (St. 1-3)	S	-	-	-	8.1	8.1	8.8	9.1	8.7	8.3	7.9	8.4
	B	-	-	-	8.2	8.1	8.3	8.2	8.1	8.2	7.9	8.3
Masan Bay (St. 6-8)	S	8.1	8.4	8.3	8.4	8.6	9.3	8.4	8.2	8.4	8.2	8.4
	B	8.1	8.4	8.2	8.0	8.2	8.2	8.1	7.9	8.3	8.2	8.2

Table II-7. Total mean of COD at each station(O_2 mg/l).

St. W. Layer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean
	Surface	3.48	2.76	2.90	2.84	2.86	4.66	5.00	3.11	2.40
Bottom	2.81	1.95	1.91	1.75	1.92	2.47	2.15	2.05	1.55	1.81

만 특히 클로로필 a 含量이 높았던 5月~10月 사이에는 전반적으로 pH 도 높았다.

表, 底層間的 pH 를 비교해 보면 대체로 10月부터 다음해 4月까지의 冬節期에는 그 차이가 별로 없지만 5月부터 9月까지의 夏節期에는 表層이 底層보다 pH 가 월등히 높으며 이것도 生物活動이 活發하고 또 日照量이 많은 여름철에 海水表面에서는 光合性作用이 活發히 이루어지나 底層에서는 그렇지 못함에서 pH 差異가 큰 것으로 생각된다.

5) 化學的酸素要求量(chemical oxygen demand)

各 調査點에서 측정된 COD값이 Table A-6 (부록참조)에 나와 있으며 調査點別 年平均 COD는 Table II-7에 그리고 全 調査點의 月別 COD 평균은 Table II-8에 各各 나와 있다.

本 調査에서 나타난 COD含量은 全 調査期間을 통해 $0.44 \sim 12.79 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 사이에서 變化하였으며 全體平均은 表層이 $3.36 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$, 底層이 $1.81 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 로서 表層이 底層보다 대략 2배 가량 높았다.

各 調査點別 年平均 COD를 비교해 보면 表層의 경우 馬山內灣의 st.6과 st.7이 各各 $4.66 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 와 $5.00 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 로 높은 값을 나타낸 반면에 st.9는 $2.40 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 로 st.6이나 st.7의 절반정도에 지나지 않았다. 그러나 底層의 경우는 鎭東灣의 st.1이 平均 $2.8 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 로 가장 높았으며 st.9는 $1.55 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 로 表層과 마찬가지로 COD가 가장 낮았다(Table II-7). 月別로는 表層의 경우 8月이 平均 $5.96 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 로 가장 높았으며 5月($4.40 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$)과 9月($4.36 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$)도 비교적 높은 값을 보였으며 底層에서는 역시 8月($3.06 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$)과 9月($3.14 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$)이 높은 COD를 나타냈으며 이처럼 하절기에 COD가 높은 것은 여름철에는 陸水流入의 增加와 함께 生物活動이 活發해지는 데서 오는 영향으로 생각할 수 있다(Table II-8, Table A-15).

地域的인 COD分布特性을 볼때 st.6과 st.7이 있는 馬山灣은 항상 COD가 높아서 表層($4.83 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$)과 底層($2.31 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$)이 全體平均을 상회하고 있는데

이것은 馬山內灣의 높은 浮遊物質量때문인 듯 하며 (Table II-7과 Table II-9) 鎮東灣에서 7月~9月 사이에만 COD가 높은 것은 같은시기에 일어났었던 赤潮와 큰 관계가 있는 것으로 보인다. Fig.II-4에서 보는 바와같이 馬山灣의 COD는 대체로 外洋으로 나가면서 감소하는 경향을 나타냈다.

흔히 COD로서 海域의 營養程度를 간접적으로 表示하기도 하는데 가령 COD가 $1 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 以下이면 그 海域은 貧營養海域 (oligotrophic zone) $1 \sim 3 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 사이는 富營養海域 (eutrophic zone), $3 \sim 10 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 사이는 過營養海域 (hypertrophic zone), 그리고 $10 \text{ O}_2 \text{ mg}/\ell$ 以上이 되면 腐敗海域 (dystrophic zone)으로 區分하고 있다 (吉田, 1973). 이것을 本 調査에 적용해 볼때 馬山灣은 過營養海域 鎮東灣과 行岩灣은 富營養海域에 해당된다고 보겠다.

6) 浮遊物質 (suspended solids)

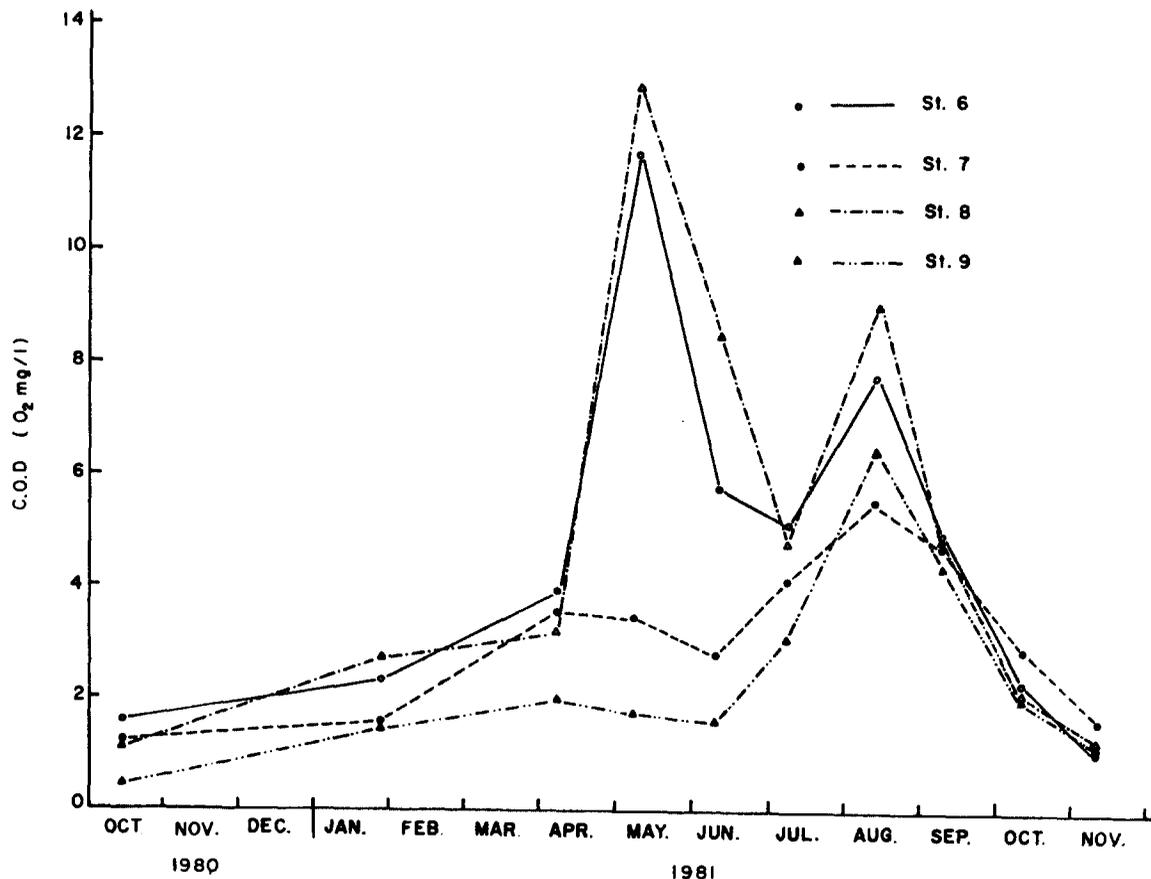


Fig. II-4. Monthly variations of chemical oxygen demand in Jinhae Bay.

各 調査點에서 測定된 浮遊物質含量이 Table A-7 (부록참조)에 나와있고 調査點別 年平均이 Table II-9에 그리고 全 調査點의 月別平均이 Table II-10에 각각 나와있다.

全 調査期間을 통한 부유물질의 變動範圍는 $0.4 \sim 26.0 \text{ mg/l}$ 이며 全體平均은 表層이 5.3 mg/l , 底層이 4.1 mg/l 로 表層이 약간 더 높다(Table II-9). 그러나 馬山內灣의 st.6과 st.7에서는 表層이 각각 7.4 mg/l 와 9.6 mg/l 로 底層의 3.8 mg/l 나 3.2 mg/l 보다 2~3倍 높게 나타났다. 이것은 馬山內灣으로 流入되는 陸水가 부유물질함량이 높은 都市下水 및 工場廢水인 점과 이海域에서의 活發한 生物活動에 起因된 것으로 思料된다.

月別 부유물질 함량을 비교해 보면 表層은 8月~11月 사이가 平均 $6.5 \sim 6.7 \text{ mg/l}$ 로 높으며 底層은 81年 10月~11月이 $6.5 \sim 6.9 \text{ mg/l}$ 로 역시 높게 나타났다 (Table II-10). 地域的인 부유물질 분포경향은 馬山灣이 陸水流入이 많기 때문에 他地域보다 월등히 높은 것을 볼 수 있으며 行岩灣은 鎮東灣보다 약간 높은 정도였다.

7) 水深 및 透明度(water depths and transparency)

各 調査點에서 測定된 水深 및 透明度가 Table A-8과 A-9 (부록참조)에 나와있다.

鎮海灣과 같이 潮汐의 영향이 크게 미치는 海域에서 測定된 水深은 단순히 測定當時의 代表값외에는 별다른 의미를 갖지 못한다고 보겠다. 水深은 대략 鎮東灣이 $14 \sim 24 \text{ m}$ 정도이며 馬山灣은 $11 \sim 31 \text{ m}$ 그리고 行岩灣은 $9 \sim 13 \text{ m}$ 의 分布를 보였다.

透明度는 Table A-9 (부록참조)에서 보는 바와같이 $0.6 \sim 10.5 \text{ m}$ 로 變化幅이 대단히 크며 月別로는 6月이 대체로 높았고 降雨量이 많았던 8月이 낮았다. 地域別로는 降雨流入이 많은 馬山灣이 年平均 1.6 m 로 鎮東灣의 4.3 m 의 1/3 정도에 지나지 않고 行岩灣도 2.4 m 로 비교적 낮은 편이었다. 鎮海灣의 透明度는 대체로 馬山灣처럼 浮遊物質이 많은 곳에서는 낮았던 반면에 鎮東灣이나 外洋쪽에 위치한 調

Table II-8. Monthly mean of COD (O_2 mg/l).

Date W. Layer	1980	1981								
	OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.
Surface	1.07	2.02	2.87	4.40	2.82	3.12	5.96	4.36	2.25	0.86
Bottom	0.87	1.55	2.35	2.18	1.12	1.96	3.06	3.14	1.56	0.72

Table II-9. Total mean of suspended solids at each station (mg/l).

St. W. Layer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean
	Surface	3.9	5.6	3.5	2.6	5.2	7.4	9.6	4.6	4.7
Bottom	2.7	3.4	3.5	4.8	4.0	3.8	3.2	4.2	6.4	4.1

Table II-10. Monthly mean of suspended solids (mg/l).

Date W. Layer	1980	1981								
	OCT.	JAN.	APR.	MAR	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.
Surface	2.4	4.7	3.3	5.3	4.6	5.2	6.7	6.7	6.5	6.5
Bottom	1.8	5.0	4.2	3.7	3.4	4.0	3.1	2.3	6.5	6.9

査點들 처럼 浮遊物質이 비교적 적은 곳에서는 높았으며 특히 赤潮가 發生했던 8 ~ 9月 鎮東灣과 5月, 7~9月사이의 馬山灣에서 透明度가 낮았다.

2. 連續測定 結果 (조사점 7)

馬山灣은 幅이 좁으며 길게 뻗은 內灣으로서 平均水深은 10 ~ 30 m인데 거의 모든 海域이 18 m以下로 비교적 낮은 편이다. 灣内에는 馬山市内の 生活下水와 工場 密集地域에서 工場廢水가 흘러들어와 이로인한 汚濁負荷量이 크며 船舶의 航行도 빈번하다. 더욱기 馬山灣은 地形的特性에 의해 外洋과의 순환이 잘 되지않아 海水의 汚染을 피할수 없는 海域으로 되어있다.

최근 調査된 이海域에서의 資料를 보면 水温은 여름철에 높고 겨울철에 낮으며 pH도 表層이 底層보다 높다. 또 海水의 垂直循環이 거의 이루어지지 않으며 停滯現象

이 일어나는 것을 알수있다.

이번 連續觀測點으로 택한 st. 7은 馬山港과 外洋과의 中間地點으로서 다른 海域보다 水深이 매우 깊으며(약 30 m) 底層은 陸地로 부터 기원한 汚染物의 沈降이 많은데다 海水循環이 잘 이루어지지 않아 여름에 低酸素層水塊가 形成된다. 透明度도 타 海域에 비해 낮은 2 m 정도이며 浮遊物質含量도 매우 높고 여름철에는 表層에서의 海藻類의 異常增殖으로 해마다 赤潮를 일으키고 있는 實情이다.

1) 81年4月

4月8日 06時부터 19時까지 st. 7에서 머물며 連續觀測을 實施하였는데 當日에는 04時 38분에 低潮 11時 19분에 高潮 16時 50분에 低潮가 있었다.

調査當日의 水溫은 表層에서 10.2~11.0°C의 分布를 보였고 底層에서는 9.8~10.2°C의 範圍로서 뚜렷한 水溫躍層이 나타나지 않았다.

DO는 表層에서 7.0~8.4 ml/l까지의 變化를 보였고 底層에서 5.3~6.1 ml/l의 變化가 나타나 表底層水間의 차이가 적었다.

pH는 表層을 제외하면 時間變化에 相關없이 8.2~8.5를 維持했으나 表層의 경우는 8.2~8.3을 維持하다가 17~18時 사이에서는 8.4까지 增加하였고 그리고 다시 8.3으로 떨어지는 傾向을 보였다.

COD는 表層만 調査하였는데 全般的으로 1.72~2.89 O₂ mg/l 사이에서 變化가 있을뿐 高低潮나 또는 時間에 따라 뚜렷한 變化는 없었다.

2) 81年6月

6月에는 10日과 11日에 걸쳐 25時間連續測定을 行하였는데 이 地域에는 10日 09時 04분에 低潮, 15時 32분에 高潮, 21時 22분에 低潮 11日 03時 58분에 高潮, 0時 08분에 低潮, 16時 48분에 高潮가 있었다. 水溫은 表層에서 23.0~23.8°C의 分布를 보였고 5 m層에서는 19.7~22.4°C로 떨어지며 20 m層에서는 19.2~19.6°C로 時間에 따른 變化가 적었다. 鹽分은 表層에서 32.18~32.46%의 分布를 보였고 20 m層에서는 33.49~33.67%까지 變하고 있다(Fig II-5).

DO는 表層에서 4.3~6.9 ml/l였고 底層에서는 0.9~1.8 ml/l로 이 時期에는 底層에서 활발한 有機物의 酸化가 잘 이루어 진다고 생각된다(Fig II-6).

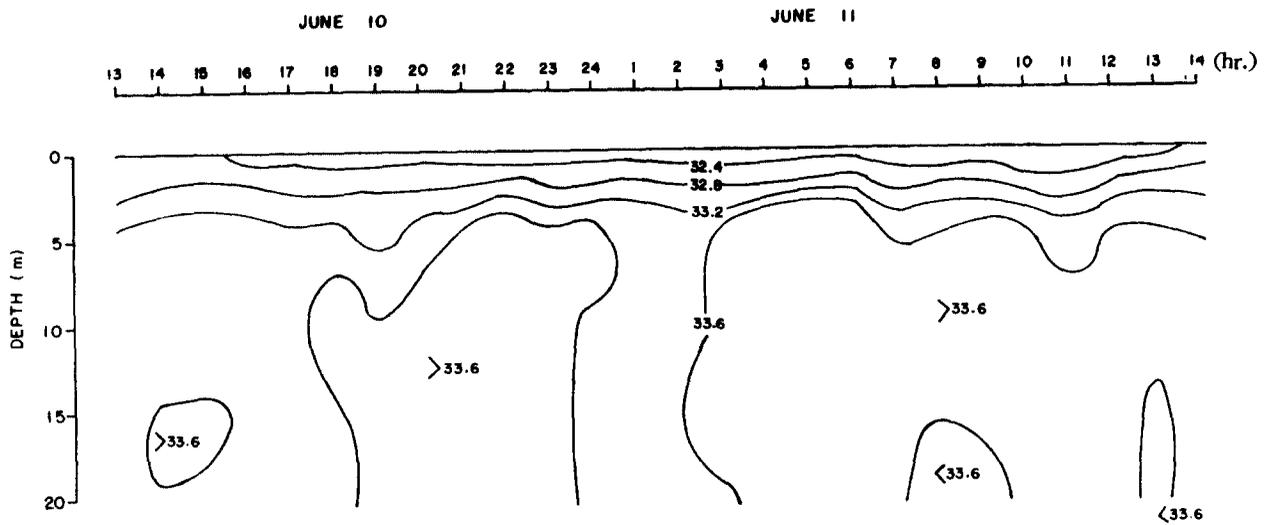


Fig. II-5. Vertical distribution of salinity at St. 7 on June 10-11, 1981.

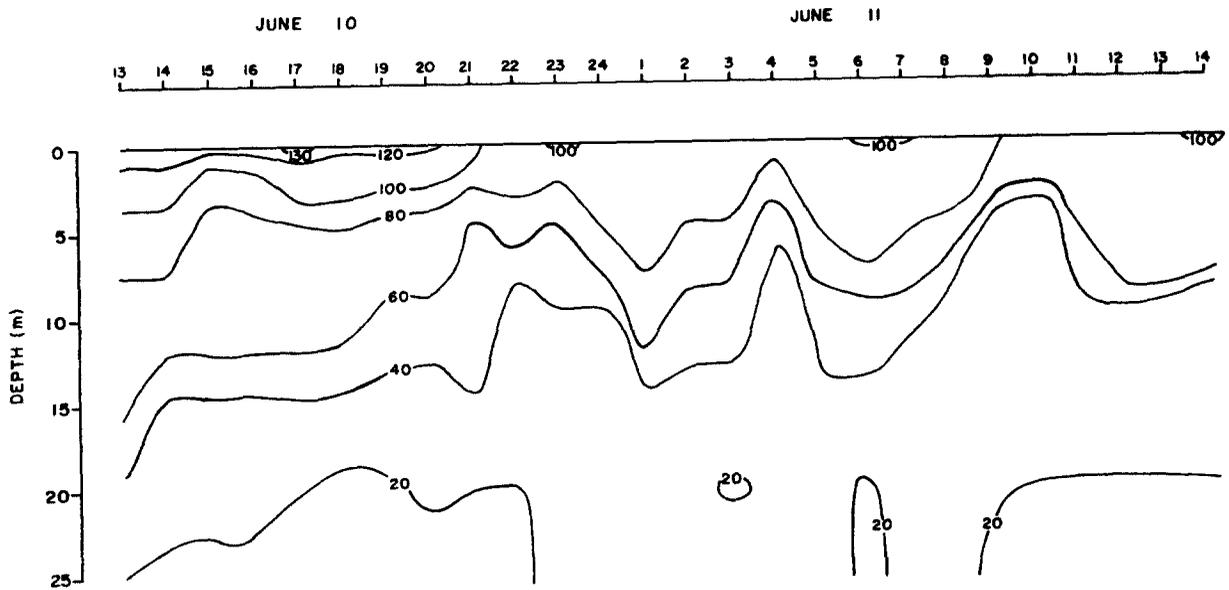


Fig. II-6. Vertical distribution of dissolved oxygen at St. 7 on June 10~11, 1981.

表層의 pH는 低潮시각인 06時 50分을 前後해 8.6~8.7로 가장 높았다가 高潮로 갈수록 pH가 減少하는 傾向을 보였으며 10 m層은 全般的으로 高潮에서 低潮로 가면서 pH가 높아졌다가 다시 高潮로 가면서 減少하는 傾向이 反復되는 現象을 나타냈다. 또한 表層에서부터 15 m層까지는 05~08時 사이에서 pH가 가장 높았다.

COD는 表層과 25 m層만 測定했는데 表層(平均 4.68 O_2 mg/l)이 底層(平均 1.87 O_2 mg/l)보다 平均 2.5배나 높았다. 底層에서는 高低潮사이에 뚜렷한 COD 차이는 없어도 대체로 高低潮시각을 前後해서 COD가 높게 나타났으나 底層에서는 COD 分布가 전혀 불규칙 하였다.

3) 81年 8月

赤潮가 극성기에 달한 8月에는 12日 07時부터 19時까지 連續測定을 실시하였는데 06時 17分에 高潮, 12時 23分에 低潮, 19時 04分에 高潮가 있었다. 이 時期에는 表層水溫이 30°C를 넘고 底層에서는 19°C에 지나지 않아 水層이 매우 안정되어 있었다.

鹽分은 表層이 28.49 ~ 30.41%의 비교적 큰 變化幅을 가지며 底層이 32.11 ~ 33.21%까지 變하며 表底層間의 鹽分차이도 크다(Fig II - 7).

表層의 DO는 赤潮生物의 影響으로 5.7 ~ 11.8 ml/l의 높은 값을 보이며 (Fig II - 8), 5 m層에서는 2.2 ~ 3.5 ml/l, 10 m層에서는 0.5 ~ 2.8 ml/l로 減少하고 15 m

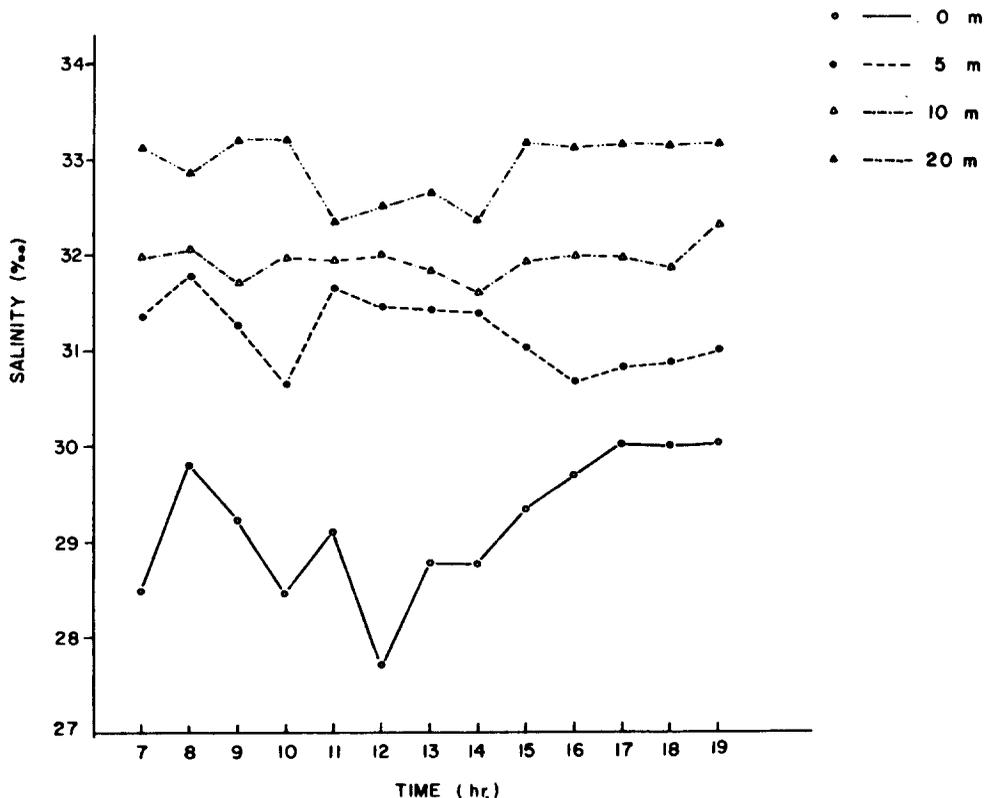


Fig. II-7. Variations of salinity at St. 7 on Aug. 12, 1981.

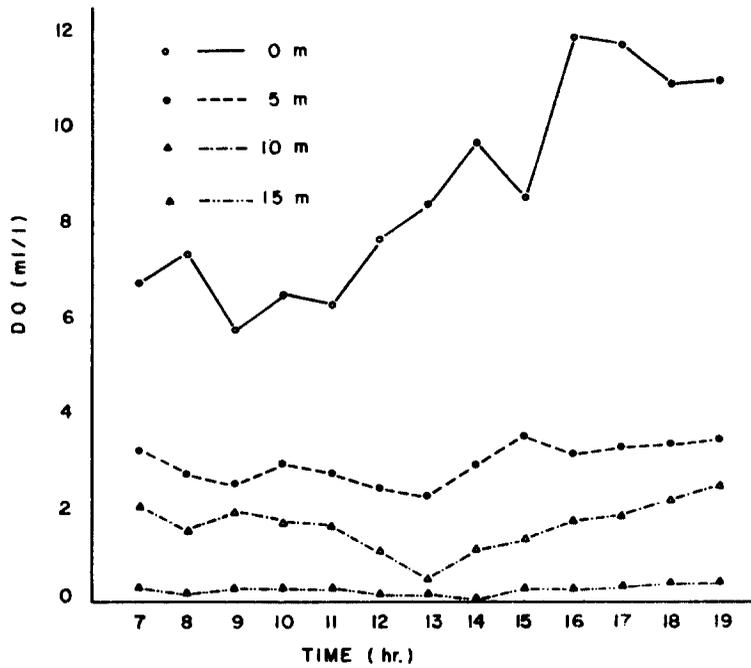


Fig. II-8. Concentrations of dissolved oxygen at St. 7 on Aug. 12, 1981.

層 以下에서는 0.4 ml/l 以下の 낮은濃도가 나타난다. 이는 表底層水間의 심한 密度차이로 垂直 混合이 이루어 지지 못한채 底層水가 停滯되어 있는데다 有機物의 酸化로 酸素 消耗가 많이있기 때문일 것이다.

pH는 全般的으로 表層이 높아서 $8.4 \sim 9.1$ 의 分布를 보였고 高潮인 19時 직전 이 높아 $8.8 \sim 9.1$ 까지 增加하였다. pH는 層別에 相關없이 12時 低潮에서 19時 高潮로 가면서 增加하는 傾向을 나타냈고 表層에서 底層으로 갈수록 pH가 減少하였다. 8月의 pH는 海洋植物의 光合成作用에 큰 影響을 받으며 이 영향은 水深이 깊을수록 減少되어 pH의 低下를 가져온것 같다(Fig II - 9).

COD는 表層이 $4.05 \sim 11.62 \text{ O}_2 \text{ mg/l}$ 에서 變化하였고 平均은 $7.22 \text{ O}_2 \text{ mg/l}$ 로 높은 값을 보였으며 底層은 變動範圍가 $0.83 \sim 3.36 \text{ O}_2 \text{ mg/l}$ 였고 平均은 $2.11 \text{ O}_2 \text{ mg/l}$ 로 表層이 底層에 비해 3倍以上 높았다. COD는 表層의 경우 대체로 高潮인 06時와 19時 前後에서 높았고 低潮인 12時 前後에서는 약간 낮았으나 底層에서는 반대로 低潮에서 높았고 高潮에서 낮은 傾向을 보였다.

表層의 COD가 底層보다 월등히 높은 것은 馬山灣에 流入되는 陸水가 浮遊物質을 많이 含有하고 있는데다 여름철 表層에서의 生物活動이 활발한데 起因되는 것으로 생각된다.

4) 81年 11月

81年 11月 12日 09時부터 13日 7時까지 2時間 間隔으로 連續測定을 실시하였는데 潮汐時間은 11月 12日 08時 56分에 高潮, 14時 37分에 低潮, 21時 11分에 高潮, 11月 13日 02時 49分에 低潮, 09時 39分에 高潮였다.

水溫은 表層에서 10.9 ~ 11.3°C, 25 m層에서 11.2 ~ 11.7°C의 變化를 보여 거의 차이가 없었다.

鹽分은 表層에서 32.08에서 32.36‰까지 變하며 高潮때의 鹽分增加와 低潮때의 鹽分減少가 뚜렷했다. 5 m層 以下에서는 潮汐週期에 따른 鹽分增減이 잘 나타나지 않으며 5 m層에서는 32.43 ~ 32.80‰의 分布를 보여 表層과의 차이가 적었다.

DO는 表層에서 5.5 ~ 6.7 ml / ℓ의 變化幅을 가지며 潮汐週期에 따른 增減傾向이

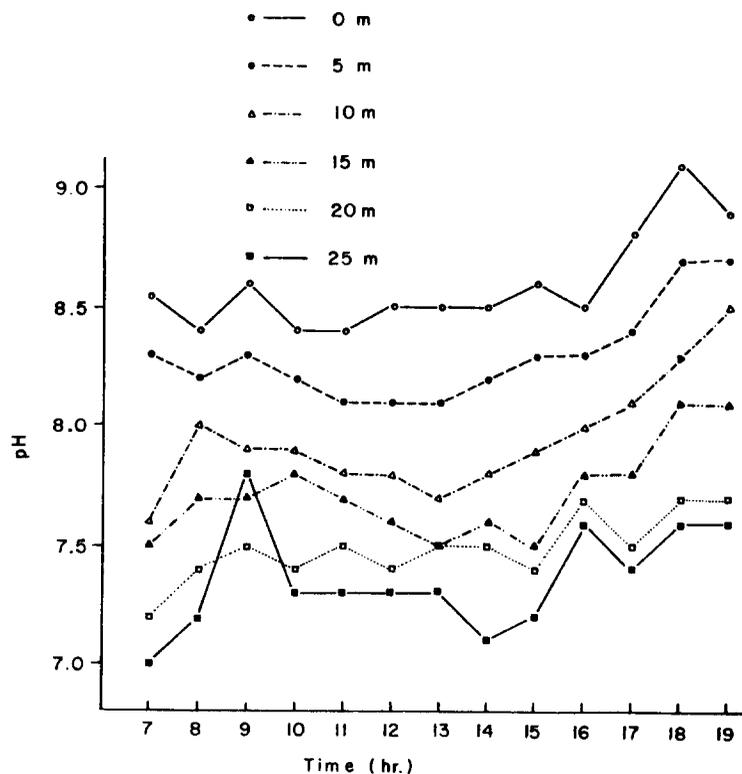


Fig. II-9. Variations of pH at St. 7 on Aug. 12, 1981.

뚜렷하지 않다.

25 m層에서도 DO는 4.6 ~ 5.4 ml/l의 비교적 높은 값을 維持하고 있다.

pH는 水深에 관계없이 8.0 ~ 8.2 여서 비교적 安定된 값을 나타냈으며 時間이나 潮汐에 따른 變化도 별로 없었다.

COD는 表層이 1.33 ~ 2.77 O₂ mg/l 사이에서 變化하였고 平均은 1.95 O₂ mg/l 또 底層은 變動範圍가 0.84 ~ 2.09 O₂ mg/l였고 平均은 1.67 O₂ mg/l 였다. 表層의 COD는 底層보다 약간 높기는 하지만 그 차이는 별로 크지 않고 또 表底層 共に 低潮때가 高潮때보다 COD가 약간씩 높았다.

3. 連續測定 結果(조사점 2 및 4)

1) 81年 4月(조사점 2)

4月에는 鎮東灣에 위치한 st. 2에서 連續測定을 실시하였다.

調査當日 表層水溫은 10.0 ~ 10.7°C의 分布를 보였고 20 m層이 9.3 ~ 9.8°C로 表·底層의 차이가 심하지 않으며 潮汐週期에 따른 變化도 없었다. DO는 表層에서 6.5에서 7.4 ml/l 까지, 저층은 5.3에서 6.7 ml/l 까지 변하며 역시 조석주기에 따른 변화는 나타나지 않았다. pH는 전반적으로 8.2 ~ 8.4 사이에서 변화하였으며 層別, 時間別, 또는 潮汐에 따른 변화가 없었다. COD는 비교적 낮아 0.41 ~ 1.47 O₂ mg/l 사이에서 변화하였으며 高潮직전인 11시경이 가장낮고 시간이 지나면서 점차 증가하였다가 低潮인 17시경에 최대치를 기록한후 다시 COD가 감소하는 경향을 나타냈다.

2) 81年 6月(조사점 2)

표층수온은 22.4 ~ 23.2°C였고 10 m층에서는 20.2 ~ 20.8°C로 감소한다. 염분은 표층에서 32.00에서 32.55‰ 까지 변화하며 10 m層 이하에서는 33.17 ~ 33.77‰의 分布를 보였다. pH는 表層이 7.9 ~ 8.5, 5 m層이 7.9 ~ 8.4, 10 m層이 7.8 ~ 8.4, 15 m層이 7.9 ~ 8.5 그리고 底層이 7.6 ~ 8.3으로 대체로 表層에서 底層으로 갈수록 약간씩 감소했으며 層別에 상관없이 高潮에서 높고 低潮에서 낮아지는 경향을 보였다. COD는 表層(평균 1.82 O₂ mg/l)과 底層사이에 큰 차이없이 비슷한 값을 보였으며 時間別또는 潮汐에 따른 변화가 불규칙 하였다.

3) 81年8月(조사점 4)

표층수온은 26.7에서 29.4°C 까지 변하며 5 m層에서는 23.3~27.6°C로서 표층과의 온도차가 크다. 염분은 표층에서 31.52~31.77%의 변화를 보이며 潮汐週期에 의한 변화가 뚜렷하지 않다. 層別 pH변화를 보면 表層이 8.7~9.1로 높고, 5 m層은 8.4~8.7, 10 m層은 8.1~8.5, 15 m層은 7.7~8.0 그리고 底層인 20 m層이 7.5~7.7로 表層에서 底層으로 갈수록 pH가 급격히 감소하는 양상을 나타냈다. 이것은 表層에서 海洋植物들의 光合成作用이 여름철에 活發히 이루어져 pH가 증가하지만 底層으로 갈수록 光合成作用이 줄어들며 따라서 pH도 감소하는것 같다. COD는 表層이 底層보다 2배가까이 높으며 時間別로는 14시 30분때가 表層(9.23 O₂ mg/l)과 底層(3.46 O₂ mg/l)에서 共히 가장 높았다. 그러나 潮汐에 따른 COD 변화는 별로 없었다.

第4節 營養鹽 및 플랑크톤 色素量의 調查結果 및 考察

植物性플랑크톤의 成長에 必要한 一次的인 營養鹽에는 窒素, 磷, 矽素 등이 있는데 充分한 營養鹽의 供給은 一般的으로 赤潮發生의 必要條件으로 받아들여지고 있다.

海水中에 溶存되어 있는 重要한 窒素源의 形態는 窒酸鹽-窒素(NO₃-N) 암모니아窒素(NH₄-N), 亞窒酸鹽窒素(NO₂-N), 尿素(urea-N) 등이 있다. 그러나 *Oscillatoria* (= *Trichodesmium*) *erythraea* 는 窒素源으로 海水中的 N₂ 를 固定하며 (Rounsefell and Dragovich, 1966), 溶存된 아미노酸도 窒素源으로 使用될수 있고 (Wheeler et al., 1974) *Peridinium hangoei*, *Gymnodinium nelsoni* 처럼 有機物形態의 窒素化合物을 必要로하는 半從屬營養性 赤潮生物도 있다.

磷은 無機物形態의 orthophosphate가 植物性플랑크톤에 의해 利用되지만 adenine, guanine 등 有機物形態의 磷을 取하는 種類도 있다. Solorzano and Strickland (1969)는 植物性플랑크톤에 의해 polyphosphate가 生成됨을 指摘한바 있고 이는 體內에 貯藏物質로 蓄積될수 있어 *Polykrikos* 의 경우 磷의 供給이 中斷되어도 5回以上 細胞分裂을 할수 있다고 한다.(岩崎, 1979)

海水中에 溶存된 矽酸鹽은 orthosilicic acid [$\text{Si}(\text{OH})_4$] 의 形態라고 알려져 있으며 沿岸海域에서는 陸上에서의 風化作用에 의해 石英, 長石, 粘土礦物等 矽素를 包含한 粒子가 大量으로 流入되기 때문에 一般的으로 充分한 量의 矽酸鹽이 溶解되어 있다.

植物性플랑크톤이 가지고 있는 클로로필은 그 種類에 따라 약간씩의 差異가 있으나 海洋에 棲息하는 많은 種類는 主로 클로로필 a 와 c 를 가지고 있으며 沿岸에 棲息하는 種類中에 클로로필 b 를 가지는 것들이 있다.

1. 月別 定期調査結果

1) 窒酸鹽—窒素($\text{NO}_3 - \text{N}$)

調査海域中 馬山灣에서 釜島水道로 이어지는 st. 6, 7, 8, 9에서는 表層의 年平均 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量이 各各 592, 296, 102, 53 $\mu\text{g N}/\ell$ 로서 馬山灣入口인 st. 6에서 가장 높은 값을 나타내며, 外灣으로 갈수록 漸次 減少하는 傾向이 뚜렷하여 汚染物質이 主로 表層을 따라 擴散, 移動해감을 나타내는데 가장 바깥쪽에 위치한 st. 9에서는 降雨後였던 81年9月을 除外하고는 底層의 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 表層보다 높아 馬山灣에 流入되는 營養鹽이 이 定點附近에는 크게 影響을 미치지 못하는 것으로 보인다.

이 地域에서 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 의 季節的인 分布를 보면 表層에서는 여름에 높고 겨울에 낮은 變化를 보인다(Fig II - 10). St. 6의 경우 81年 1, 4, 5, 6월에 437 ~ 571 $\mu\text{g N}/\ell$ 로 比較的 變化가 적다가 7월에 987 $\mu\text{g N}/\ell$, 8월에 1,303 $\mu\text{g N}/\ell$ 의 높은 값을 나타내고 가을에 들어 漸次 減少하며 st. 7에서도 6월까지 68 ~ 189 $\mu\text{g N}/\ell$ 이던 것이 7, 8월에 各各 762, 1,052 $\mu\text{g N}/\ell$ 로 增加한다. 底層에서는 反對로 여름에 낮아 5월부터 8월까지 st. 6에서 6 ~ 54 $\mu\text{g N}/\ell$, st. 7에서 0 ~ 17 $\mu\text{g N}/\ell$ 의 낮은 分布를 보인다. 이는 夏節에 表層水溫의 上昇으로 表, 底層의 密度의 差가 심해 營養鹽이 豊富한 表層과의 수직혼합이 잘 이루어지지 않기 때문이라 생각된다.

行岩灣에서는 9월에 表層의 310 $\mu\text{g N}/\ell$ 가 年中最高값이었고 4, 6, 8월에 表, 底層에는 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 거의없는 狀態여서 馬山灣보다 훨씬 그 量이 적었다.

鎮東灣에서는 年中 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量이 極히 낮아 5월에는 st. 1, 2, 3의 表, 底層에서 全部 檢出되지 않았고 6월에도 st. 1 表層의 82 $\mu\text{g N}/\ell$ 를 除外하면 거

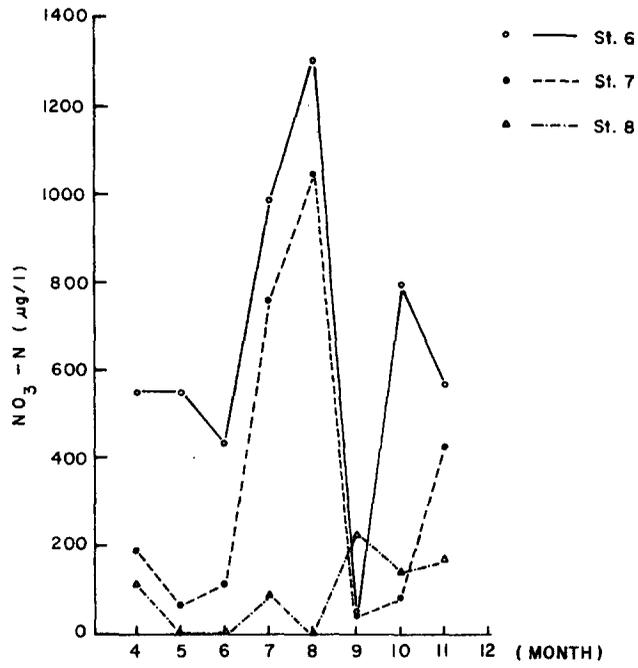


Fig. II-10. Monthly variations of nitrate-nitrogen of surface water at Sts. 6, 7, and 8.

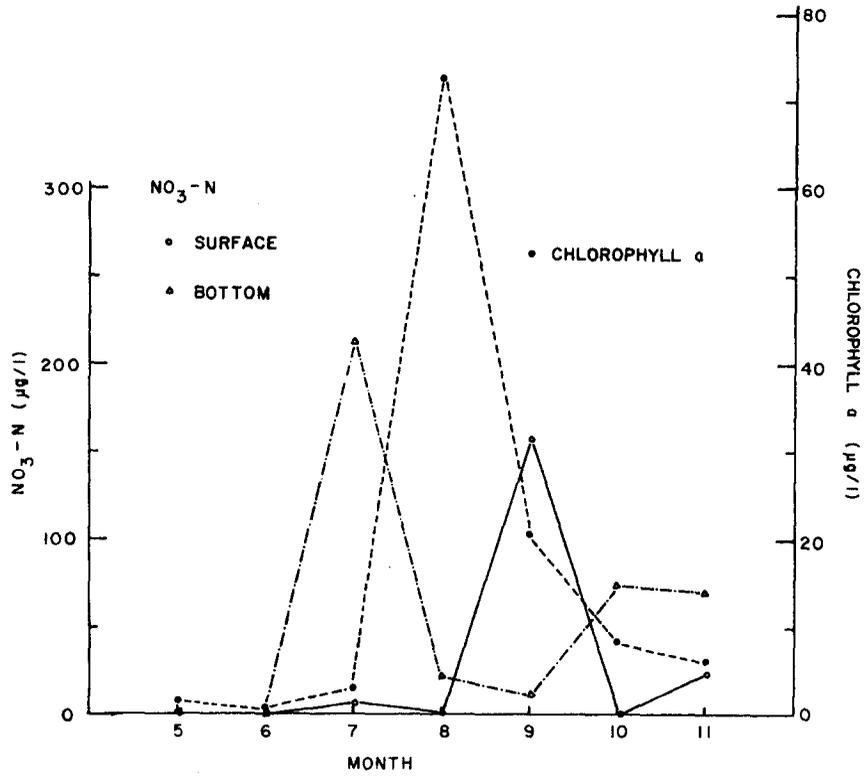


Fig. II-11. Monthly variations of nitrate-nitrogen and chlorophyll *a* at St. 2.

의 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 없는 상태이다. 그러나 赤潮가 發生하기前인 7월에 底層의 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 st. 2와 3에서 各各 $193, 213 \mu\text{g N}/\ell$ 로 增加한다(Fig II - 12). 嶺東灣全域에 赤潮가 極盛期에 達한 8월에는 表·底層의 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 全部 0에 가까운데 이를 이 地域 8月の 定常的인 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 濃度라 보기는 힘들고 장마시에 陸水流入에 의해 크게 增加한 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 赤潮生物의 폭발적인 증식에 의해 완전히 소모되었기 때문이라고 보는것이 妥當할 것이다. 1980년에 調査된 結果와 본 조사결과를 比較하여 보면 st. 6의 表層에서 80年 4, 5월에 測定된 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 의 濃度 $617, 513 \mu\text{g N}/\ell$ 에 비해 81년 冬期間에는 各各 $548, 549 \mu\text{g N}/\ell$ 로 비슷한 分布를 보인다(Table II - 11). 이 定點에서는 7월에도 80年 調査値와 비슷했으나 8월에는 80年の $196 \mu\text{g N}/\ell$ 에 비해 81년에는 $1,303 \mu\text{g N}/\ell$ 라는 差異를 보였고 st. 7에서도 비슷

Table II-11. Nitrate-nitrogen of surface water at stations 6, 7 and 8 during 1980-1981 ($\mu\text{g N}/\ell$).

St. Yr. Month	6		7		8	
	1980	1981	1980	1981	1980	1981
JAN.	-	571	-	185	-	206
FEB.	396	-	149	-	63	-
MAR.	364	-	138	-	86	-
APR.	617	548	746	189	146	115
MAY	513	549	51	68	1	nd
JUN.	115	437	15	117	12	2
JUL.	1,022	987	619	762	141	92
AUG.	196	1,303	13	1,052	10	nd
SEP.	328	56	384	54	135	224
OCT.	104	793	113	90	67	144
NOV.	-	571	-	424	-	171

* nd: not detected

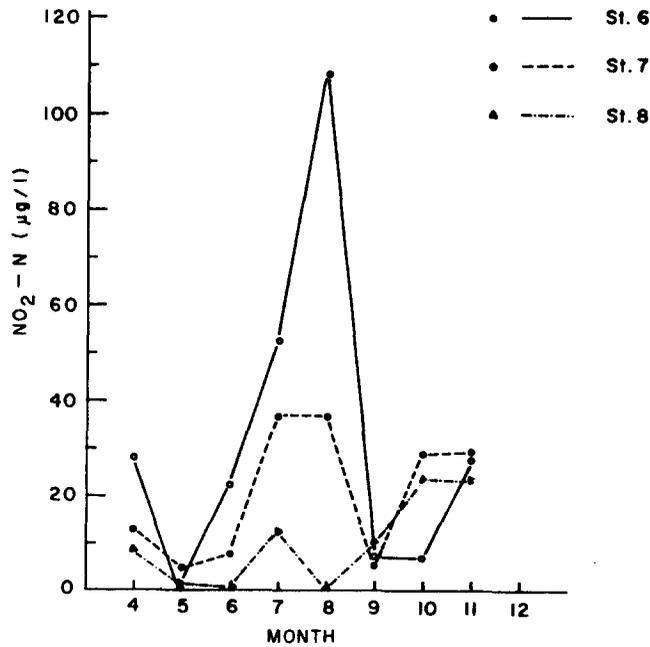


Fig. II-12. Monthly variations of nitrite-nitrogen of surface water at Sts. 6, 7 and 8.

한 樣相을 나타내고 있다. 富營養化 進行에 대해 吉田(1973)가 구분한 基準으로 보면 st. 6 과 7은 無機窒素量만으로도 140~1,400 μgN/l의 범위에 들어 過營養水域에 속한다고 할 수 있다.

2) 亞硝酸鹽-窒素(NO₂-N)

調査海域의 NO₂-N는 그 地理的, 季節的分布樣相이 NO₃-N과 비슷하다(Fig II-12) 馬山灣入口에서 釜島水道에 이어지는 st. 6, 7, 8, 9의 年平均 NO₂-N濃度는 表層에서 各各 29.8, 20.2, 11.3, 4.4 μgN/l로 外灣으로 갈수록 漸次 減少하여 NO₃-N과 마찬가지로 馬山灣에서 流入된 營養鹽이 表層을 따라 이동함을 나타낸다. st. 6, 7, 8에서는 表層이 底層보다 높고 st. 9에서는 6월부터 11월에 걸쳐 底層의 NO₂-N이 더 높았다.

季節的으로는 表層의 경우 여름에 가장 높은값을 나타내는데 st. 6에서 7, 8월에 各各 52.7, 108.6 μgN/l였고 st. 7에서는 모두 36.8 μgN/l였다. 底層에서는 反對로 여름에 가장 낮은 값을 보이고있다. st. 6에서 6, 7, 8월에 各各 2.7, 2.5,

3.7 $\mu\text{g N}/\ell$ 의 낮은 값이 測定됐다. 이는 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 의 경우와 마찬가지로 夏節에 水溫增加에 의해 밀도차가 심해 表層의 豊富한 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 이 底層까지 미치지 못하기 때문이라 생각된다.

鎮東灣의 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 의 分布樣相을 보면 表層의 경우 比較的 陸水流入의 영향이 큰 st. 1에서 7, 8월에 各各 13.6, 13.8 $\mu\text{g N}/\ell$ 의 높은값을 보였을 뿐 다른 定點들에서는 뚜렷한 季節的인 特徵이 없다. 그리고 鎮東灣에서 赤潮가 나타나기前인 7월에 st. 2, 3에서 底層의 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 이 各各 25.8, 10.0 $\mu\text{g N}/\ell$ 로 높은값을 보이고 있어 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 의 경우와 같은데 이는 表, 底層의 밀도차가 심한 夏節에 底層에서 微生物의 活動에 의한 유기물의 분해 때문이라 할 수 있다. 赤潮가 한창 번성한 시기인 8월에 st. 2, 3, 4의 表層 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 은 各各 0.7, 0.1, 0.2 $\mu\text{g N}/\ell$ 로서 역시 流入된 營養鹽이 거의 소모되었기 때문이라 생각된다.

行岩灣에서는 表層의 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 이 0.1 ~ 9.9 $\mu\text{g N}/\ell$ 의 낮은分布를 보이며 81年 10月, 11月을 除外하고는 表, 底層의 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 含量이 비슷하다.

이번 조사된 st. 6, 7, 8에서의 表層 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 濃度を 1981年 資料와 比較하면 (Table II-12), 前年에 비해 전체적으로 減少한것으로 나타나지만 8月에는 st. 6

Table II-12. Nitrite-nitrogen of surface water at stations 6, 7, and 8 during 1980-1981 ($\mu\text{g-N}/\ell$).

St. Yr. Month	6		7		8	
	1980	1981	1980	1981	1980	1981
JAN.	—	11.3	—	5.7	—	3.4
FEB.	15.7	—	9.6	—	5.7	—
MAR.	10.9	—	10.2	—	5.4	—
APR.	29.5	27.9	16.4	12.9	4.8	8.4
MAY	36.0	0.6	5.0	5.0	3.0	1.2
JUN.	30.7	22.4	1.8	7.9	1.2	1.4
JUL.	127.6	52.7	51.8	36.8	15.1	12.3
AUG.	25.5	108.6	1.7	36.8	0.7	0.3
SEP.	33.8	7.3	30.8	5.5	14.5	10.2
OCT.	32.1	7.0	32.7	29.1	28.5	23.7
NOV.	—	27.6	—	29.5	—	23.1

에서 80年의 $25.5 \mu\text{g N}/\ell$ 에 비해 81年에는 $108.6 \mu\text{g N}/\ell$ 가 測定되었고, st. 7에서는 80年의 $1.7 \mu\text{g N}/\ell$ 에 비해 81年에는 $36.8 \mu\text{g N}/\ell$ 로 나타났다.

3) 磷酸鹽-磷($\text{PO}_4 - \text{P}$)

馬山灣入口에서 釜島水道로 이어지는 st. 6, 7, 8, 9에서의 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 分布를 보면 表層의 年平均濃도가 各各 $32.8, 41.7, 20.8, 17.7 \mu\text{g P}/\ell$ 로 st. 7이 st. 6보다 높은 것으로 나타났다(Fig II - 13). 季節的으로는 5月부터 8月에 걸쳐 st. 7에서 높은 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 濃도가 測定되었는데 이地域에는 마산만에서 유출되는 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 外에도 상당량이 다른 지역에서 흘러들어온다고 할 수 있다. 또한 st. 7은 주변해역에 비해 수심이 깊어 7, 8月에는 底層의 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 가 $100 \mu\text{g P}/\ell$ 를 넘고있다. st. 9에서는 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 과 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 경우와같이 底層의 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 가 4月부터 10月에 걸쳐 表層보다 높다.

行岩灣은 항상 높은 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 濃도를 유지하고 있는데 st. 5의 表層에서 80年 10月에 $63.5 \mu\text{g P}/\ell$, 81年 1月에 $49.3 \mu\text{g P}/\ell$, 3月에 $62.0 \mu\text{g P}/\ell$ 로 冬期間에도 계속 높은分布를 나타낸다. 4, 5月에는 各各 $14.6, 14.4 \mu\text{g P}/\ell$ 로 낮은濃도에 머물렀던 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 6月부터 다시 增加하여 8月에 $71.6 \mu\text{g P}/\ell$ 로 最高値를 보이고 以後 감소한다.

底層의 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 4月부터 8月에 걸쳐 $11.4 \sim 18.4 \mu\text{g P}/\ell$ 에 머물다가 9月에는 $105.6 \mu\text{g P}/\ell$ 를 기록했으며 10月이후에도 $20 \mu\text{g P}/\ell$ 이상을 유지한다.

鎭東灣의 경우 st. 1, 2, 3에서 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 5月부터 11月에 걸쳐 $0.6 \sim 69.3 \mu\text{g P}/\ell$ 의 分布를 보이며 底層이 表層보다 濃도가 높을 때가 많다. 7月에는 $\text{NO}_3 - \text{N}$, $\text{NO}_2 - \text{N}$ 의 경우와 마찬가지로 st. 2, 3에서 底層의 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 가 增加하기 시작하는 것을 알수 있다. 赤潮가 심했던 8月에는 st. 2, 3에서 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 거의 없는데도 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 表層에서 各各 $45.7 \mu\text{g P}/\ell, 58.9 \mu\text{g P}/\ell$ 라는 높은 濃도를 보인다.

본 조사자료를 80年 조사치와 比較하여 보면 st. 7에서의 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 증가가 두드러진다(Table II - 13). 行岩灣에서 지금까지 조사된 자료들을 보면 1974年 1月과 2月에는 各各 $432, 531 \mu\text{g P}/\ell$ 를 測定하였다. 朴(1975)에 의하여 1972年에 測定된 行岩灣 表層의 年平均 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 濃도는 $151 \mu\text{g P}/\ell$ 였고 위 조사들은 이곳을 中心

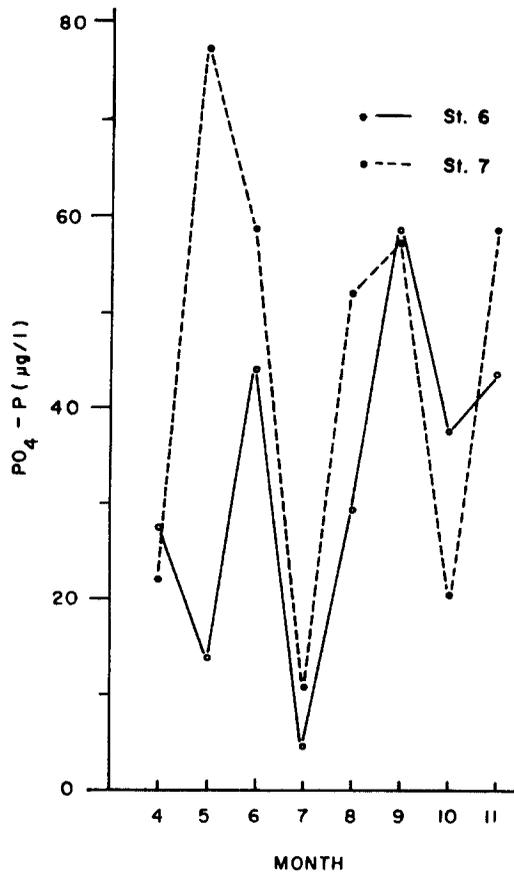


Fig. II-13. Monthly variations of phosphate-phosphorus at Sts 6 and 7.

으로 高濃度の 磷酸鹽이 鎭海灣全 域으로 확산되어 간다고 보고한바 있다.

4) 硅酸鹽 - 硅素 [$\text{Si}(\text{OH})_4 - \text{Si}$]
 st. 6, 7, 8, 9에서의 年平均 $\text{Si}(\text{OH})_4 - \text{Si}$ 濃度는 各各 861, 780, 602, 544 $\mu\text{gSi}/\ell$ 로서 外灣으로 갈수록 점차 감소한다 (Table A-13). $\text{Si}(\text{OH})_4 - \text{Si}$ 의 分布는 계절적인 變化를 찾아보기 힘들며 강우에 의해 陸水流入이 많을때에 그 농도가 증가한다. 例로서 81年 9월에 전지역의 表層鹽分이 降雨에 의해 20.02 ~ 22.48% 까지 떨어졌으며 $\text{Si}(\text{OH})_4 - \text{Si}$ 도 表層의 年平均 농도가 573 ~ 655 $\mu\text{g Si}/\ell$ 였고 行岩灣에서는

이보다 약간 낮은 573 $\mu\text{g Si}/\ell$ 였다.

5) 尿素 (urea - N)

Urea - N은 많은 생물의 질소대사과정의 최종산물로 배설되며 아미노산의 미생물에 의한 분해 산물이기도 하다. Corner and Newell (1967)은 *Calanus helgolandicus* 의 총 배설되는 窒素中 約 10%가 urea - N이라 推定하고 있으며 植物性플랑크톤중 많은 沿岸棲息種들이 urea - N을 窒素源으로 使用할 수 있다고 보고되어 있다 (Guillard, 1963; Lui and Roels, 1970; Syrett, 1962; Vaccaro, 1963). 1981年 6月부터 10月까지의 urea - N分布는 6월에 st. 9의 14.1 $\mu\text{g N}/\ell$ 로 최저치를 보였고 8월에 st. 1의 底層에서 100.8 $\mu\text{g N}/\ell$ 의 최고치를 보였다 (Table A-14).

Table II-13. Phosphate-phosphorus of surface water at stations 6, 7, and 8 during 1980-1981 ($\mu\text{g-P}/\ell$).

St. Yr. Month	6		7		8	
	1980	1981	1980	1981	1980	1981
JAN.	13.2	18.3	—	10.5	—	5.9
FEB.	—	—	4.7	—	9.5	—
MAR.	30.0	—	44.3	—	10.3	—
APR.	12.3	27.6	12.4	22.0	12.0	14.3
MAY	7.2	13.9	22.9	77.1	25.1	3.6
JUN.	20.8	44.1	31.0	58.8	11.2	11.6
JUL.	118.2	4.4	87.4	10.7	10.5	44.7
AUG.	31.4	29.2	30.3	52.1	12.2	12.2
SEP.	78.1	58.9	75.4	57.6	58.7	6.8
OCT.	50.3	37.8	49.1	20.6	41.0	9.7
NOV.	—	43.4	—	58.9	—	48.0

St. 6, 7, 8, 9에서는 馬山灣入口에 위치한 st. 6에서 가장 높고 外灣으로 갈수록 漸次減少하는 傾向이 뚜렷해 이地域의 urea N은 대체로 都市下水에 起源을 두고 있는 것 같다. 月別로는 7월에 st. 6에서 71.4, st. 7에서 $55.5 \mu\text{g N}/\ell$ 의 높은 값을 보이고 있고 이 定點에서는 表層의 urea N濃도가 底層보다 항상 높다.

行岩灣에서는 年中 urea N이 $40.8 \sim 49.0 \mu\text{g N}/\ell$ 로 變化가 적으며 鎮東灣에서는 st. 2, 3에서 赤潮가 한창 번성했던 8월에 높은 濃도가 측정되었다.

鎮東灣의 본 조사치는 Newell(1967)이 영불해협에서 測定한 $42 \mu\text{g N}/\ell$ 와 비슷하나 McCarthy(1970)가 California의 La Jolla 沿岸에서 測定한 $7 \sim 14 \mu\text{g N}/\ell$ 보다는 훨씬 높다.

6) 플랑크톤色素

調査海域中에서 st. 6, 7, 8, 9의 클로로필 a 分布는 營養鹽에서와 같은 뚜렷한 地域的 特徵이 없다. 81年 4月에는 st. 6, 7에서 각각 $2.84, 4.12 \mu\text{g}/\ell$ 를 기록했고 5月에는 연중최고치인 $833.96, 737.40 \mu\text{g}/\ell$ 의 濃도를 보였다(Table - 15). 이地域에서는 5月부터 10月에 걸쳐 赤潮가 계속되었는데 6, 8, 9月에는 st. 7이 馬山灣入口에 위치한 st. 6보다도 클로로필 a 含量이 더 높아 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 分布와 비슷한 樣相을 보였다. 가장 바깥쪽에 위치한 st. 9에서는 클로로필 a 濃도가 赤潮가 심했던 8月에 $28.08 \mu\text{g}/\ell$ 의 높은값을 보였고 다른시기에는 $10 \mu\text{g}/\ell$ 以下였다. 클로로필 b

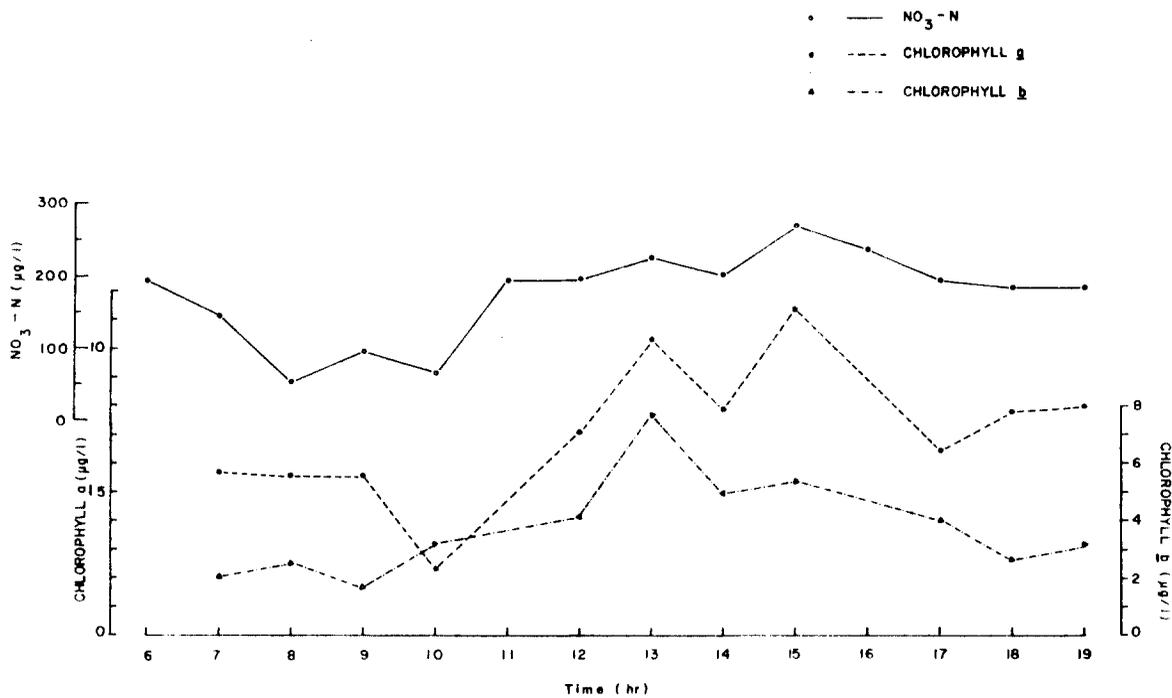


Fig. II-14. Concentrations of nitrate-nitrogen, chlorophyll *a* and chlorophyll *b* at St. 7 on Apr. 8, 1981.

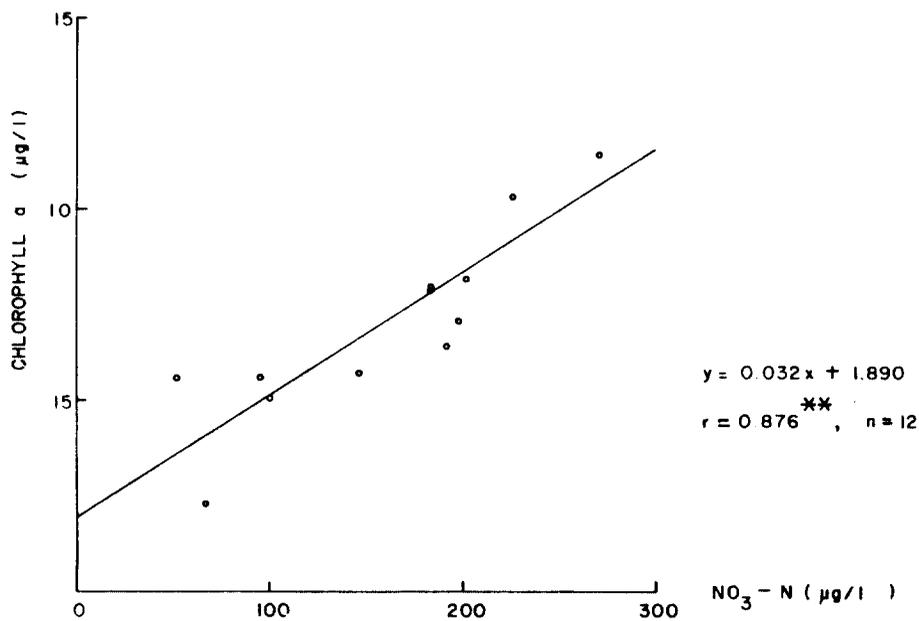


Fig. II-15. Relationship between chlorophyll *a* and NO₃-N at St. 7 on Apr. 8, 1981.

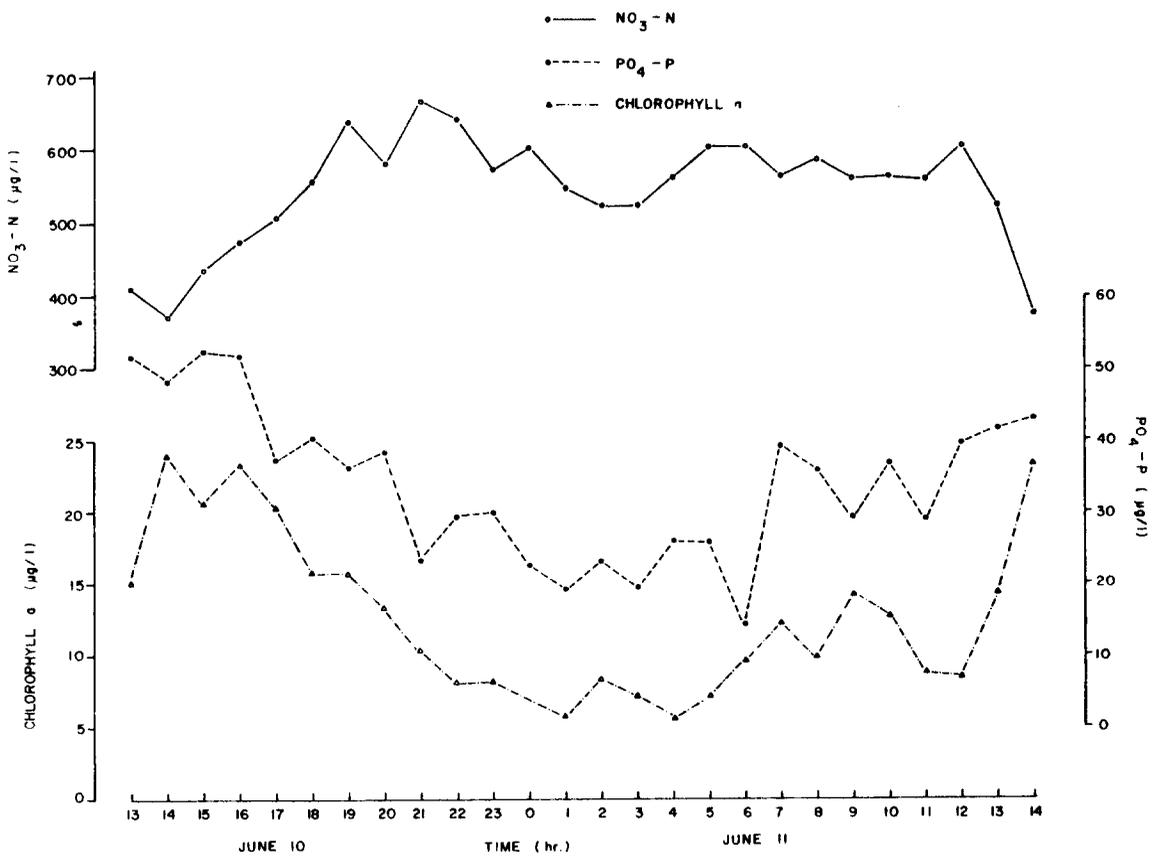


Fig. II-16. Concentrations of nitrate-nitrogen, phosphate-phosphorus and chlorophyll *a* at St. 7 on June 10 - 11, 1981.

*c*와 carotenoids의 分布는 대체로 클로로필 *a*의 경우와 비슷한데 st. 6, 7에서의 클로로필 *b* 濃도가 各各 35.53, 31.03 µg/l로 st. 6이 더 높은데 비해 클로로필 *c*는 各各 33.74, 37.41 µg/l로 st. 7에서 더 높다. 이는 港灣에 서식하는 식물성 플랑크톤중에 클로로필 *b*를 含有하는 것이 많아 馬山灣入口인 st. 6에 影響을 미치기 때문이라고 생각된다 (Table A 16, A 17).

鎮東灣에서는 클로로필 *a* 濃도가 4月부터 6月까지는 1 µg/l 内外로 낮은 分布를 보이다가 赤潮가 發生하기전인 7월에 이미 st. 1, 2에서 各各 6.51, 6.21 µg/l로 증가를 보이기 시작한다 (Fig II 11). 8月에는 st. 2, 3, 4에서 각각 50.26, 72.56, 290.46 µg/l의 높은 농도를 보였고 9月에도 st. 1, 2, 3에서 20 µg/l 이상의 클로로필 *a*가 測定되었다. 이地域에서의 클로로필 *a*, 클로로필 *c*, carotenoids의 연평균치는 st. 2에서 낮고 st. 3, 4로 갈수록 증가하는데 비해 클로로필 *b*는 st. 2에서 가장 높으며 st. 3, 4로 갈수록 減少하고 있다. 이는 馬山灣入口와 마찬가지로 陸水流入에 의한 結果라 할 수 있으며 鹽分및 浮遊物質자료와도 一致하고 있다.

2. 連續觀測 結果 (조사점 7)

1) 81年 4月

81年 4月 8日 st. 7에서 오전 6시부터 오후 7시까지 머물면서 매시 정각에 一般水質指數와 함께 營養鹽, 플랑크톤色素量을 觀測하였는데 當日에는 04時 38분에 低潮(2 cm), 11時 19분에 高潮(195 cm), 16時 50분에 低潮가 있었다.

한 定點에서 繼續된 관측이었지만 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 의 濃度는 潮汐週期에 따라 $52 \mu\text{g N} / \ell$ 에서 $269 \mu\text{g N} / \ell$ 까지 變化를 보였다. 高潮時보다 앞선 10時에는 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 $66 \mu\text{g N} / \ell$ 의 낮은 값이었고 低潮時보다 2시간 앞선 15時에 $269 \mu\text{g N} / \ell$ 가 측정되었는데 이는 고조시에 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 豊富한 馬山灣의 海水가 外灣으로 빠져나가기 때문일 것이다.

$\text{NO}_2 - \text{N}$ 의 分布도 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 과 매우 類似하게 나타나는데 10時에 $3.8 \mu\text{g N} / \ell$ 의 最低値를 보이고 15時에 $14.1 \mu\text{g N} / \ell$ 의 最高値를 보이며 이후 漸次 減少하여 이地域의 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 이 馬山灣이 起源임을 알 수 있다. $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 13.0에서 $27.6 \mu\text{g P} / \ell$ 까지의 分布를 보이는데 潮汐週期에 따른 變化는 뚜렷하지 않다. $\text{Si}(\text{OH})_4 - \text{Si}$ 도 127에서 $299 \mu\text{g Si} / \ell$ 의 變化를 보이나 潮汐週期에 따른 濃度變化가 나타나지 않았다.

클로로필 a 의 變化는 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 과 비슷하여 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 $66 \mu\text{g N} / \ell$ 의 낮은 값이었던 10時에 最低値인 $2.31 \mu\text{g} / \ell$ 가 測定되었고 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 $269 \mu\text{g N} / \ell$ 로 最高値를 보인 15時에 $11.36 \mu\text{g} / \ell$ 의 最高値를 기록했다. Fig II 15에서 보는 바와같이 클로로필 a 와 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 은 相關關係를 보이고 있어 ($r = 0.876$, $n = 11$) 이時期的 식물성플랑크톤 증식은 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 과 밀접한 관계가 있는것 같다.

2) 81年 6月

6月 10日 13時부터 6月 11日 14時까지 st. 7에서 4月과 같은 方法으로 실시하였는데 潮汐時間은 6月 10日 09時 04분에 低潮(75 cm), 15時 32분에 高潮(145 cm), 21時 22분에 低潮(87 cm), 6月 11日 03時 58분에 高潮(154 cm), 10時 08분에 低潮(73 cm), 16時 48분에 高潮(150 cm)였다.

이 定點에서의 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 은 375에서 $664 \mu\text{g N} / \ell$ 까지의 變化를 보였으며 6月 10日 高潮時間 보다 1시간반 앞선 14時에 $376 \mu\text{g N} / \ell$ 의 낮은 값을 보이다가 低潮

時間 바로 前日 21時에 $664 \mu\text{g N}/\ell$ 의 높은 濃度를 나타낸다(Fig II 17). 그러나 高潮時間인 6月11日 03時 58분에 前日 02時, 03時에는 各各 $524, 523 \mu\text{g N}/\ell$ 로서 前日의 高潮때 보다 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 의 濃度減少가 著했다. 다음 低潮인 10時 08분에도 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 은 큰 變化를 보이지 않다가 14時에는 $375 \mu\text{g N}/\ell$ 의 낮은 값으로 떨어졌다. $\text{NO}_2 - \text{N}$ 은 이 定點에서 19.5에서 $39.4 \mu\text{g N}/\ell$ 까지 變化했는데 그 變化樣相은 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 과 類似하다. $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 $664 \mu\text{g N}/\ell$ 의 最高値에 달한 6月10日 21時에 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 도 $39.4 \mu\text{g N}/\ell$ 의 最高치를 기록하고 6月11日 03時에는 $33.5 \mu\text{g N}/\ell$ 로 減少의 程度가 적었는데 14時에는 $21.8 \mu\text{g N}/\ell$ 로 減少한다. $\text{Si(OH)}_4 - \text{Si}$ 도 그 變化 樣相이 비슷하여 6月10日 14時에 $334 \mu\text{g Si}/\ell$ 이던 것이 21時에는 $446 \mu\text{g Si}/\ell$ 의 높은 濃度를 보이고 6月11日에는 低潮時인 10時 08分을 前後한 10時부터 13時 사이에 439에서 $473 \mu\text{g Si}/\ell$ 의 分布를 보이며 14時에는 $294 \mu\text{g Si}/\ell$ 로 減少했다. 이것의 結果에서 低潮시에 馬山灣의 물이 빠져나갈때 $\text{NO}_3 - \text{N}$, $\text{NO}_2 - \text{N}$, $\text{Si(OH)}_4 - \text{Si}$ 의 含量이 높은 것으로 보아 이들 營養鹽은 陸水流入에 의해 馬山灣에 起源하여 釜道수도를 거쳐 外海로 빠져 나간다고 생각된다.

그러나 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 그 變化樣相이 위의 세가지 營養鹽과는 전혀 다르다. 高潮時에 가까운 6月10日 15時에 $52.5 \mu\text{g P}/\ell$ 의 높은 값이 測定되었으며 21時에는 $23.1 \mu\text{g P}/\ell$ 로 떨어지고 6月11日의 03時 58分, 10時 08分の 高潮, 低潮時엔 별다른 變化가 없다가 14時에는 $42.7 \mu\text{g P}/\ell$ 로 增加하여 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 오히려 馬山灣 바깥 쪽에서 안쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 클로로필 *a*는 5.53에서 $23.97 \mu\text{g}/\ell$ 의 變化폭을 가지며 6月10日 14時에 $23.97 \mu\text{g}/\ell$ 의 最高値를 보이고 21時, 22時에 各各 10.27, $8.01 \mu\text{g}/\ell$ 의 낮은 값을 보이며 다음 高潮時인 6月11日 03時 58分 近處에는 큰 變化가 나타나지 않다가 14時에는 $23.40 \mu\text{g}/\ell$ 로 증가했다. 따라서 이 시기에는 식물성플랑크톤이 內灣에서 증식하여 조류의 운동에 따라 외부로 이동하는 것이 아니라 오히려 外灣에서 大量 發生하여 안으로 이동하고 있음을 알 수 있다.

또한 Fig II 17에서 볼 수 있는 바와같이 클로로필 *a* 濃度の 潮汐週期에 따른

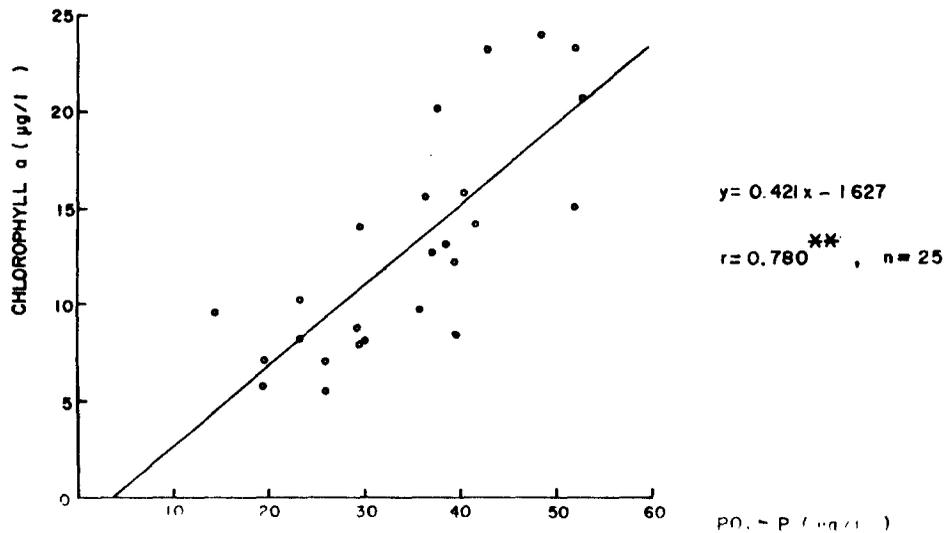


Fig. II-17. Relationship between chlorophyll *a* and phosphate-phosphorus at St. 7 on June 10 - 11, 1981.

변화와 $PO_4 - P$ 의 변화는 그 樣相이 類似하며 相關關係를 나타내고 있어($r = 0.780$, $n = 25$) 이 시기의 赤潮發生에 $PO_4 - P$ 가 큰 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 월별 정기조사에서도 st. 7의 $PO_4 - P$ 濃도가 st. 6보다 높은 것으로 나타나 이 지역에서의 P의 重要性을 말해주고 있다. 朴(1975)은 行岩灣의 高濃度 $PO_4 - P$ 가 鎭海灣 全域으로 확산되어 간다고 報告한바 있는데 本 調査資料는 st. 5에서의 $PO_4 - P$ 가 st. 7보다도 적게 나타나 있어 이 지역의 P의 起源이 단순히 行岩灣 뿐이라고 할 수는 없을 것 같다. 6月에는 또한 식물성플랑크톤의 色素量을 빠른 시간에 파악할 수 있는 *in vivo* fluorescence를 본지역에서 使用 할 수 있는지를 시험하였는데 클로로필 *a* 濃도와 좋은 相關關係를 보였다(Fig II-18, $r = 0.872$, $n = 25$). 이 방법은 클로로필 *a* 測定에서와 같은 복잡한 色素抽出過程이 없어 船舶의 航海時에 連續적인 測定이 可能하므로 赤潮의 發生과 擴散 等の 研究에 有用한 手段이 될 것이다.

3) 81年 8月

7月末부터 鎭海灣 全域에서 심한 赤潮가 發生했으며 本 調査팀은 8月12日 07時

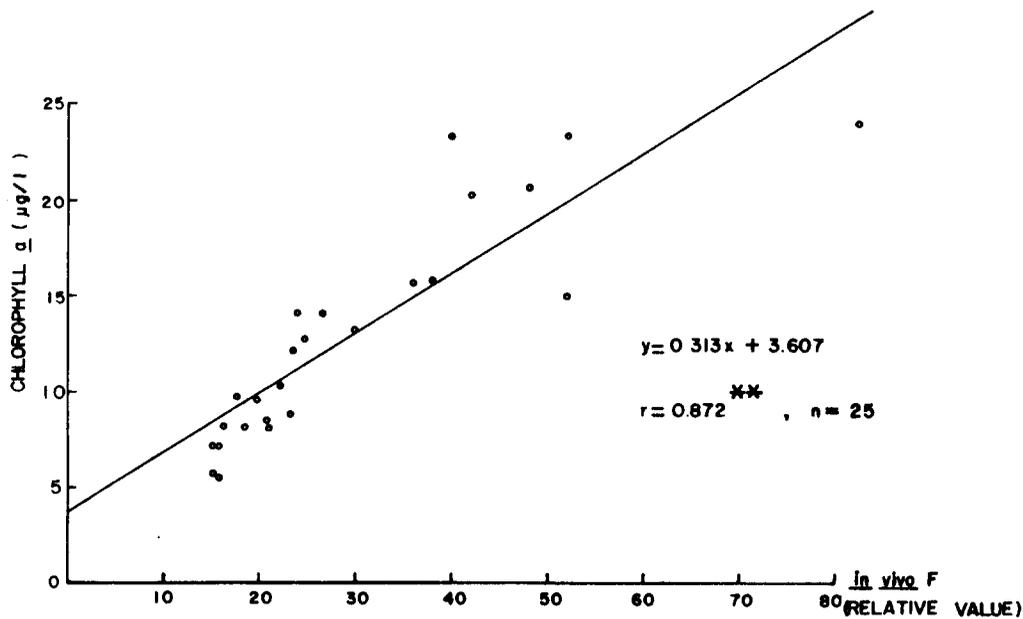


Fig. II-18. Relationship between chlorophyll *a* and *in vivo* fluorescence at St. 7 on June 10 - 11, 1981.

부터 19時까지 st. 7에서 연속측정을 실시하였다. 당일의 潮汐時間은 06時 17분에 高潮 (161 cm), 12時 32분에 低潮 (78 cm), 19時 04분에 高潮 (188 cm)가 있었다. 당일 NO_3

N은 14에서 $432 \mu\text{g N}/\ell$ 까지 變化하였으며 低潮와 高潮시의 變化가 뚜렷하지 않다. $\text{NO}_2 - \text{N}$ 은 5.6에서 $152.2 \mu\text{g N}/\ell$ 의 分布를 보였는데 亦是 潮汐에 의한 變化는 나타나지 않았다. 그러나 이 두가지 營養鹽이 한 定點에서 하루동안 最高值가 最低值의 30倍가 된다는 사실은 다른 時期에는 찾아 볼 수 없는 것이다. $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 8월에 특히 그 濃度가 높아 조사 당일 $50.2 \mu\text{g P}/\ell$ 에서 $313.5 \mu\text{g P}/\ell$ 의 分布를 보였는데 6월과 마찬가지로 고조시에 그 濃度가 높았다 (Fig II - 20). 클로로필 *a*의 양은 $13.45 \mu\text{g}/\ell$ 에서 $181.79 \mu\text{g}/\ell$ 까지 변하며 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 와 마찬가지로 低潮시에 낮고 高潮시에 높은 濃度를 보였다. 8월에도 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 와 클로로필 *a*는 조석 주기에 따른 變化樣相이 類似했으며 Fig II - 20에서 보는바와 같은 상관관계를 나타내고 있어 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 이지역 적조생물의 대량증식에 관련되는 중요한 環境因子라고 생각된다. 8월에 클로로필 *b*는 클로로필 *a*에 비해 그 양이 적어 $0 \sim 1.58 \mu\text{g}/\ell$ 의 變化를 보이며 赤潮發生시에 그 중요성이 별로 없는 것 같고 주로 內灣의 식물성플랑크톤에서 찾아 볼 수 있기 때문에 低潮時間 近處에 그 농도가 증가하는 것을 볼 수 있다.

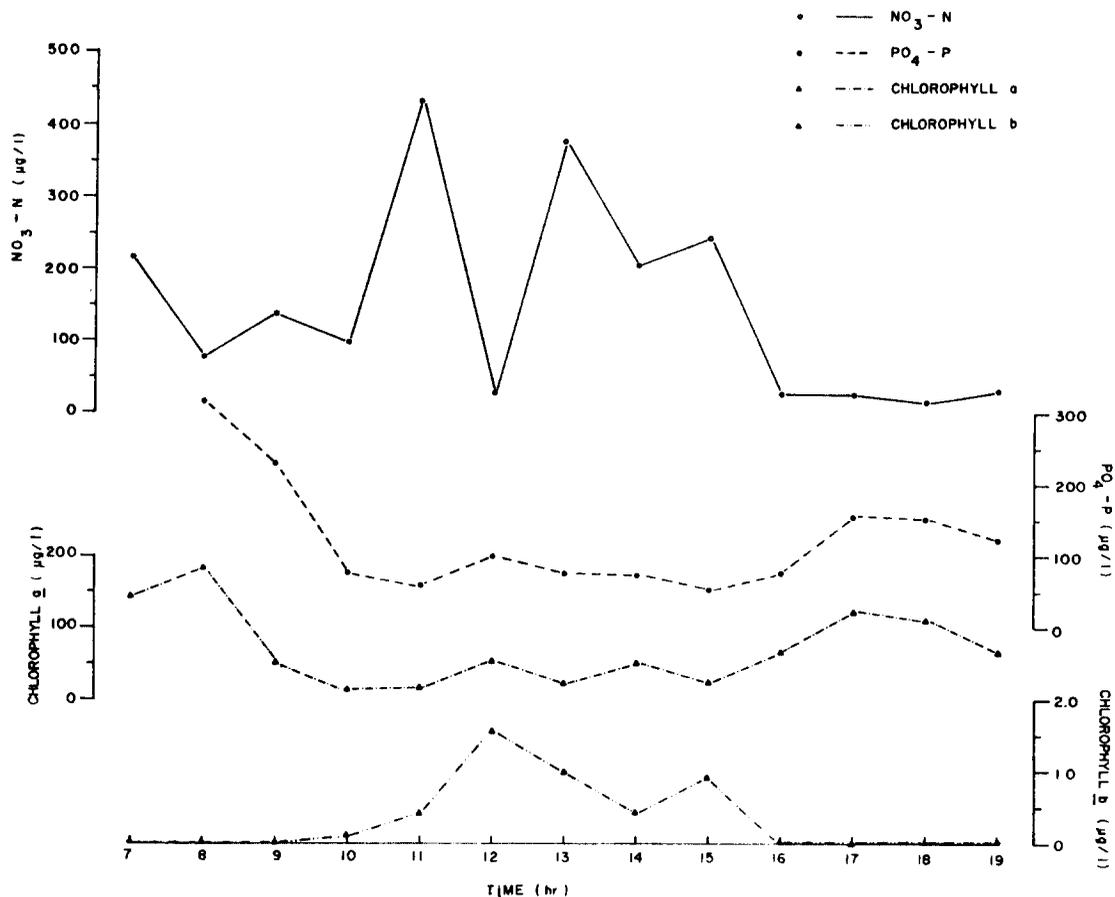


Fig. II-19 Concentrations of nitrate-nitrogen, Phosphate-phosphorous, chlorophyll a and chlorophyll b at St. 7 on Aug. 12.

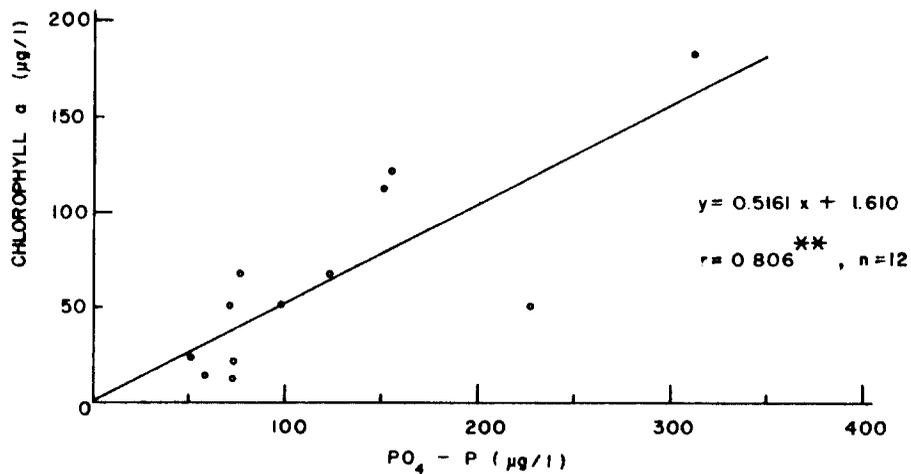


Fig. II-20. Relationship between chlorophyll a and phosphate-phosphorus at St. 7 on Aug. 12, 1981.

4) 81年 11月

11月 12日 09時부터 11月 13日 07時까지의 連續觀測은 2時間 間격으로 실시되었다. 당일의 조석시간은 11月 12日 08時 56分에 高潮(224 cm), 14時 37分에 低潮(0 cm) 21시 11분에 高潮(211 cm), 11月 13日 02時 49分에 低潮(-12 cm), 09時 39分에 高潮(228 cm)였다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 11月 12日 15時에 $440 \mu\text{g N}/\ell$ 로 최고값을 보이고 21時에 $259 \mu\text{g N}/\ell$ 로 최저값을 보인다. $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 15.4에서 $20.0 \mu\text{g N}/\ell$ 까지 변화하며 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 같이 低潮시에 그 농도가 높아 11월에도 마산만에서 질소원들이 外灣으로 向하고 있음을 나타낸다. 그러나 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 變化範圍가 좁으며 조석주기에 따른 濃度變化도 찾아 볼 수 없었다. 클로로필 a의 量은 11月 12日 15時 17時에 各各 $6.61, 7.13 \mu\text{g}/\ell$ 의 높은 값을 보이고 21時에는 $2.02 \mu\text{g}/\ell$ 로 減少했다가 11月 13日 03時에는 $7.05 \mu\text{g}/\ell$ 로 증가한다. 다른 시기와 달리 11월에는 클로로필 a와 어느 營養鹽과도 相關關係가 없었다(Fig II-21).

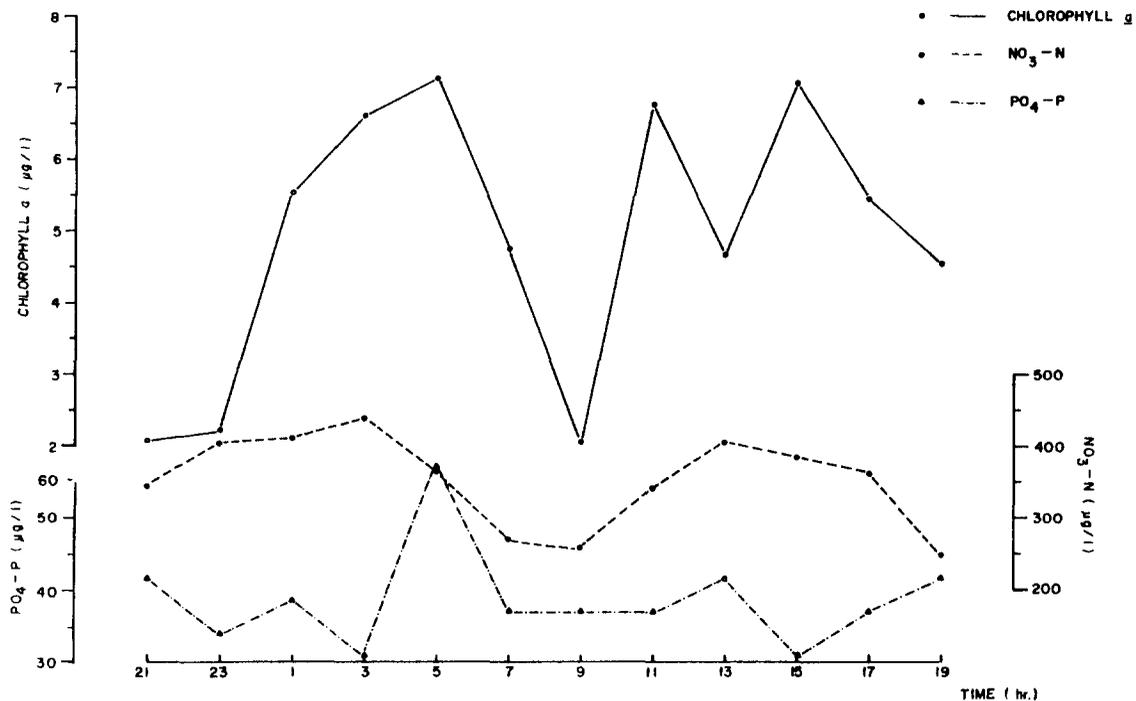


Fig. II-21. Concentrations of nitrate-nitrogen, phosphate-phosphorus and chlorophyll a at St. 7 on Nov. 12 - 13, 1981.

3. 連續觀測 結果(조사점 2 및 4)

1) 81年 4月

4月 9日에는 鎮東灣에 위치한 st. 2에서 07時부터 19時까지 매시간 간격으로 관측을 실시하였다. 調査當日에는 05時 21분에 低潮, 11時 59분에 高潮, 17時 30분에 低潮가 있었다.

$\text{NO}_2\text{-N}$ 은 0.4에서 $3.0\ \mu\text{g N}/\ell$ 까지 변하며 潮汐週期에 따른 변화는 나타나지 않았다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 08시에 $5.7\ \mu\text{g P}/\ell$ 의 최고치를 보이며 17시에 $13.0\ \mu\text{g P}/\ell$ 의 최고치를 보이며, $\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$ 는 $76\sim 568\ \mu\text{g Si}/\ell$ 의 分布를 보였다. 클로로필 a 는 $0.38\sim 1.89\ \mu\text{g}/\ell$ 가 측정되었는데 역시 조석주기에 따른 변화는 나타나지 않았다.

2) 81年 6月

鎮東灣의 st. 2에서 6月 12日 21時부터 6月 13日 16時까지 連續測定을 실시하였는데 6月 12日 23時 36분에 低潮(78 cm), 6月 13日 05時 53분에 高潮(158 cm), 17時 52분에 低潮(61 cm), 18時 31분에 高潮(170 cm)가 있었다.

영양염 및 플랑크톤색소량은 매시간간격으로 表層에서만 測定되었는데 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 각각 42, $1.2\ \mu\text{g N}/\ell$ 의 최고치를 보일뿐 그 농도가 극히 낮았고 潮汐週期에 따른 변화도 나타나지 않았다.

$\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$ 는 6월 12일 22시에 $163\ \mu\text{g Si}/\ell$, 6月 13日 10시에 $218\ \mu\text{g Si}/\ell$ 가 측정되어 低潮보다 조금 앞선 시각에 최고치를 기록하는 것으로 보인다. 클로로필 a 는 $0.48\sim 1.67\ \mu\text{g}/\ell$ 의 分布를 보이며 역시 潮汐週期에 따른 변화는 없었다.

3) 81年 8月

st. 4에서는 8월 13일 10時 30분부터 17時 30분까지 연속관측을 행하였는데 당일에는 07時 10분에 高潮, 13時 6분에 低潮, 19時 48분에 高潮가 있었다. 8월은 鎮東灣의 赤潮가 극성기에 달했으며 02時 30분에는 클로로필 a 가 $238.68\ \mu\text{g}/\ell$ 가 測定되는등 적조생물의 patch가 灣內를 이동하고 있었다. 이 조사점에서 클로로필 b

의 농도는 극히 낮았으며 클로로필 *c*는 클로로필 *a*와 비슷한 시간별 변화를 보였다.

$\text{NO}_3 - \text{N}$ 의 농도는 $1 \sim 15 \mu\text{g N}/\ell$ 로 낮은 값이었지만 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 02時 30분에 $232.3 \mu\text{g P}/\ell$ 의 높은값을 보였으며 이들 영양염의 농도는 조석주기에 따른 변화를 보이지 않았다.

第5節 重金屬의 調查結果 및 考察

일반적으로 重金屬은 赤潮와 직접적인 연관성은 없으나 구리나 아연등은 海洋生物의 細胞形成에 必須的인 微量元素(essential microelement)로서 生物의 生殖, 成長과 發育 등에 관여하며 그 含量이 過多할 경우 여러가지 阻害要素가 發生하게 된다. 또한 植物性 플랑크톤種에 따라서는 중금속을 적게는 海水濃度の 數倍에서 많게는 數百萬倍까지도 生物濃縮(bioaccumulation)시키기 때문에(Bowen, 1979) 이것은 食物連鎖(food chain)를 따라 他 生物에 까지도 영향을 미칠수 있다.

沿岸海水中の 重金屬含量에 영향을 나타내는 要因으로는 江이나 河川을 통한 陸水流入, 都市下水나 工場廢水流入, 潮汐, 海水流動, 水溫躍層이나 鹽分躍層形成 등과 海洋生物活動에 의한 影響, 그리고 大氣를 통한 重金屬 流入 등을 들수있다.

海水中的 重金屬調查에서는 環境汚染과 관련이 깊은 중금속가운데서 특히 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb) 및 아연(Zn)을 작년에도 이어 올해에도 계속 調查項目으로 택하였다. 중금속은 溶存性(dissolved)과 粒子性(particulate) 성분으로 區分하여 測定하였고 이 두成分의 合計를 總(total) 중금속으로 나타냈다. Table II - 14 에는各 調查點別 重金屬含量의 總平均이 나와 있고 Table II - 15 에는 全調查點의 月別平均, Table II - 16 에는 季節別平均濃度分布가 나와 있으며 그리고 Table II - 17 에는 鎭海灣의 總重金屬含量中 溶存性과 粒子性이 차지하는 平均百分率이 나와 있다.

海水中的 重金屬은 1981년 1월부터 11월까지 各 調查點 表層의 月別變化를 보기 위해 9회에 걸쳐 測定調査하였고 또 時間別 重金屬含量變化를 보기 위해서는 11월에 st. 7에서 表層, 15 m層 그리고 25 m層을 6時間 간격으로 24時間동안

Table II-14. Total averages of heavy metals at each Station ($\mu\text{g}/\text{l}$).

Element Fraction Station	Cd			Cu			Pb			Zn		
	Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.
1	0.09	0.04	0.13	1.35	0.40	1.75	0.6	2.7	3.3	13.3	1.7	15.0
2	0.07	0.03	0.11	0.91	0.33	1.24	0.8	2.4	3.3	10.9	2.1	13.0
3	0.08	0.04	0.13	1.12	0.34	1.46	0.5	1.8	2.3	14.5	1.9	16.4
4	0.23	0.04	0.26	1.09	0.52	1.61	0.3	3.0	3.4	15.4	3.3	18.7
5	0.07	<0.03	0.09	1.14	0.26	1.40	0.5	3.1	3.6	15.4	2.7	18.0
6	0.18	<0.03	0.20	1.16	0.54	1.70	0.9	4.1	5.0	14.4	5.7	20.0
7	0.06	0.03	0.08	1.08	0.45	1.54	<0.3	2.1	2.3	21.6	4.6	26.2
8	0.10	<0.03	0.11	0.92	0.21	1.13	0.6	1.6	2.3	15.0	2.6	17.6
9	0.05	<0.03	0.07	1.24	0.24	1.48	0.4	2.5	2.9	18.2	2.6	20.8
Mean	0.10	0.03	0.13	1.11	0.37	1.48	0.5	2.6	3.1	15.4	3.0	18.4

Table II-15. Monthly mean concentrations of heavy metals ($\mu\text{g}/\text{l}$).

Element Fraction	Date	1981								
		JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.
Cd	Dis.	<0.03	<0.03	<0.03	0.30	<0.03	0.15	0.16	<0.03	0.21
	Par.	<0.03	<0.03	<0.03	0.05	<0.03	0.04	<0.03	<0.03	0.07
	Tot.	0.03	0.03	0.03	0.35	0.03	0.19	0.18	0.03	0.28
Cu	Dis.	1.22	1.98	1.09	0.61	1.73	0.97	0.72	0.40	1.40
	Par.	<0.03	0.57	0.72	0.54	0.44	0.19	0.24	0.07	0.36
	Tot.	1.24	2.55	1.81	1.15	2.17	1.15	0.96	0.47	1.76
Pb	Dis.	<0.3	<0.3	<0.3	1.9	<0.3	0.4	0.7	0.6	0.6
	Par.	<0.3	2.7	5.2	4.7	<0.3	1.3	5.1	1.4	1.1
	Tot.	0.3	2.9	5.4	6.6	0.3	1.7	5.8	2.0	1.7
Zn	Dis.	27.2	26.0	19.1	14.9	8.0	23.6	5.8	4.9	15.3
	Par.	9.2	2.2	5.1	2.1	3.0	5.3	1.6	1.0	0.6
	Tot.	36.4	28.2	24.2	17.0	11.1	28.9	7.3	5.9	16.0

Table II-16. Seasonal mean concentrations of heavy metals ($\mu\text{g/l}$).

Element	Season	Spring	Summer	Fall	Winter
	Fraction	APR.-MAY	JUN.-AUG.	SEP.-OCT.	NOV.-JAN.
Cd	Dis.	< 0.03	0.16	0.08	0.15
	Par.	< 0.03	0.03	< 0.03	0.05
	Tot.	0.03	0.19	0.10	0.20
Cu	Dis.	1.53	1.04	0.56	1.34
	Par.	0.64	0.39	0.15	0.23
	Tot.	2.17	1.47	0.71	1.57
Pb	Dis.	< 0.3	0.8	0.7	0.4
	Par.	4.0	2.1	3.3	0.8
	Tot.	4.2	2.9	4.0	1.2
Zn	Dis.	22.5	15.5	14.7	21.2
	Par.	3.6	3.5	1.3	5.2
	Tot.	26.1	19.0	16.0	26.4

Table II-17. Dissolved and particulate fractions of heavy metals in the Jinhae Bay (%).

Fraction	Dissolved	Particulate
Element		
Cd	76.9	23.1
Cu	75.0	25.0
Pb	16.1	83.9
Zn	83.7	16.3

連續觀測하였다. 또한 海底堆積物中の 重金屬含量調査는 11月 現場調査時 試料를 採取하여 1回 分析測定하였다.

1. 海水中的 重金屬(Cd, Cu, Pb, Zn)

1) 카드뮴(cadmium)

各 調査點에서 測定된 溶存性카드뮴含量이 Table A-19 (부록참조)에 粒子性카드뮴

含量이 Table A 20 (부록참조)에, 그리고 總카드뮴含量이 Table A 21(부록참조)에
각각 나와 있다.

全 調査期間을 통한 카드뮴의 變動範圍와 平均濃度는 各各 용존성카드뮴이 < 0.03
 $\sim 0.98 \mu\text{g}/\ell$ 와 $0.10 \mu\text{g}/\ell$, 沉적성카드뮴이 $< 0.03 \sim 0.22 \mu\text{g}/\ell$, 와 $0.03 \mu\text{g}/\ell$, 총
카드뮴이 $0.03 \sim 1.07 \mu\text{g}/\ell$ 와 $0.13 \mu\text{g}/\ell$ 이다. 全 調査點의 月別 濃度分布를 보면
6月(총카드뮴 $0.35 \mu\text{g}/\ell$)과 11月(총카드뮴 $0.28 \mu\text{g}/\ell$)이 약간 높은 편이며 8
月(총카드뮴 $0.19 \mu\text{g}/\ell$)과 9月(총카드뮴 $0.18 \mu\text{g}/\ell$) 6月の 절반정도, 그리고
나머지는 모두 $0.03 \mu\text{g}/\ell$ 以下로 매우 낮은 값을 보였다(Table II 15).

季節別로는 장마期인 여름(총카드뮴 $0.19 \mu\text{g}/\ell$)과 渴水期인 겨울(총카드뮴 0.20
 $\mu\text{g}/\ell$)이 대체로 높고 봄은 $0.03 \mu\text{g}/\ell$ 以下로 가장 낮으며(Table II 16) 이러한
季節別 카드뮴농도 分布傾向은 작년의 1次調査때와 아주 類似하다(李 等, 1980).

Table II 17에서 보는 바와같이 용존성카드뮴은 총카드뮴함량의 76.9%를 차지하
고 있기 때문에 총카드뮴의 濃度分布樣相은 용존성카드뮴함량에 따라 좌우되고 있다.
이런現象은 우리나라 沿岸 어느海域에서나 나타나고 있어서 작년의 1次調査때도 총
카드뮴함량중 80.3%가 용존성카드뮴이었고 洛東江河口에서는 84.4%(Lee *et al.* ,
1981a) , Lee *et al.* , (1981b) 이 調査한바로는 半月海域이 82.4% , 蔚山海域은
92.2% , 馬山灣은 84.2% 그리고 光陽灣은 75.0%가 各各 용존성카드뮴成分 이었
다. 또한 Preston *et al.* ,(1972) 이 조사한 The British Isles 沿岸海水에서도 용
존성카드뮴성분이 80~83.3%였으며 Boyden and Romeril (1974) 이 1972년 11월
英國 Bristol Channel 의 한 調査點에서 測定한바로는 용존성카드뮴성분이 72.3 ~
92.6%였다. 이처럼 海水中の 카드뮴成分은 浮遊物質에 吸着(adsorption) 되어 粒子性
成分으로 있기보다는 오히려 脫着(desorption) 되어 溶存性成分으로 있으려는 경향이
큰듯하며 이러한 경향은 무엇보다도 浮遊物質의 特性에 크게 좌우되는 것 같다.

外洋에서 카드뮴은 營養鹽 特히 磷酸鹽과 밀접한 相關關係에 있어 카드뮴농도분포
는 磷酸鹽의 分布樣相과 매우 類似하며(Boyle *et al.* , 1976) 카드뮴과 燐과의 原子
比(atomic ratio)는 $3.47 \times 10^{-4} : 1$ 로 조사되고 있다(Brulan, 1980). 그러나 陸

水流入이 많고 또 潮汐影響을 크게 받는 沿岸海域에서는 이와같은 카드뮴과 인산염과의 밀접한 상관관계를 기대하기 어려운데 本 調査에서도 카드뮴과 인산염간에는 별다른 상관관계가 없었으나 다만 용존성카드뮴과 인산염 그리고 용존성카드뮴과 질산염농도로서 對比한 鎭海灣 全 海域의 平均 Cd/P 와 Cd/N 原子比는 대략 1.5×10^{-3} 과 3×10^{-4} 으로서 유지되는 것 같다.

本 調査에서 測定된 카드뮴함량은 대체로 낮은편이어서 총카드뮴 평균농도 $0.13 \mu\text{g}/\ell$ 도 日本 서쪽 近海의 $0.11 \mu\text{g}/\ell$ 나 日本南海岸海水의 $0.13 \mu\text{g}/\ell$ (Nriagu, 1980) 또는 外洋海水의 평균농도 $0.11 \mu\text{g}/\ell$ (Goldberg, 1965) 등과 비슷한 값을 나타내고 있다.

2) 구리(copper)

各 調査點에서 測定된 溶存性구리含量이 Table A - 22 (부록참조)에, 粒子性구리含量이 Table A - 23 (부록참조)에, 그리고 總구리含量이 Table A - 24 (부록참조)에 각각 나와있다.

全 調査期間을 통한 구리의 變動範圍와 平均濃度는 各各 溶存性구리가 $0.11 \sim 3.13 \mu\text{g}/\ell$ 와 $1.11 \mu\text{g}/\ell$, 粒子性구리가 $<0.03 \sim 1.82 \mu\text{g}/\ell$ 와 $0.36 \mu\text{g}/\ell$ 그리고 總구리가 $1.47 \mu\text{g}/\ell$ 이다. 調査點別 年平均 總구리농도는 鎭海灣의 st.1 ($1.75 \mu\text{g}/\ell$)과 馬山灣의 st.6 ($1.70 \mu\text{g}/\ell$)이 약간 높은 편이지만 調査點간에 큰 차이없이 전 조사점이 비교적 고른 값을 보였다(Table II - 14). 月別로는 차이가 심해서 4月(총구리 $2.55 \mu\text{g}/\ell$)과 7月(총구리 $2.17 \mu\text{g}/\ell$)은 平均含量이 가장 낮은 10月(총구리 $0.47 \mu\text{g}/\ell$)에 비해 5배 또는 4.5배 이상 높게 나타났다(Table II - 15). 또한 季節別 總구리濃度分布를 보면 봄이 平均 $2.17 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 높아서 가을의 $0.71 \mu\text{g}/\ell$ 에 비해 3배나 높으며 특이한 것은 카드뮴 함량이 가장 낮은 봄에 구리含量이 가장 높은 값을 나타낸 것인데 이러한 季節의分布樣相은 남이나 아연의 경우에서도 비슷하게 나타나고 있다(Table II - 16).

Table II - 17에서 보는 바와같이 溶存性구리는 總구리含量의 75%를 차지하고 있는데 이 값은 작년의 1次調査때와 꼭 一致한다(李 等, 1980). 總구리含量中 溶存

性구리가 차지하는 比率은 카드뮴의 경우와는 달리 地域에 따라 큰 差異가 있어서 洛東江河口에서는 73.8%(Lee *et al.*, 1980 a)였고 Lee *et al.*(1981 b)이 調査한바로는 半月海域이 53.1%, 蔚山海域이 79.3%, 昌原海域이 81.7% 그리고 麗川海域이 68.8%였다. 구리도 카드뮴의 경우처럼 粒子成分보다는 溶存成分으로 남아 있으려는 경향성이 크긴 하지만 浮遊物質量과 그 特性에 따라서 溶存成分과 粒子成分間의 比率이 달라지는 것 같다. 예를 들어 半月海域과 같이 浮遊物質이 大部分 微砂(silt)로 構成되어 있는 곳에서는 粒子性구리比率이 높아지며 또 浮遊物質量은 바로 粒子性구리含量에 관계되는것으로 나타났다(Lee *et al.*, 1981 b).

本 調査에서 測定된 平均구리含量(총구리 $1.47\mu\text{g}/\ell$)을 他 調査의 測定값과 비교해 보면 洛東江河口의 $1.8\mu\text{g}/\ell$ (Lee *et al.*, 1981 a)이나 Lee *et al.*(1981 b)이 調査한 半月($2.1\mu\text{g}/\ell$), 여천($1.6\mu\text{g}/\ell$) 또는 울산($3.0\mu\text{g}/\ell$)보다는 낮으나 작년 1次調査(李 等, 1980) 때의 平均값인 $1.13\mu\text{g}/\ell$ 보다는 약간 높게 나타났다. 外洋 및 沿岸海水의 구리濃度는 地域에 따라 큰 差異가 있어서 濃度範圍는 $0.05\sim 12\mu\text{g}/\ell$ 나 되며 平均濃度 亦是 지금까지는 $3\mu\text{g}/\ell$ (Goldberg, 1965)로 알려져 왔었지만 그간 分析技術의 發展에 따라 測定限界가 많이 내려가서 지금은 그 平均濃度도 $0.25\mu\text{g}/\ell$ (Bowen, 1979)로 감소되었다. 本 調査의 測定값과 이 平均값을 직접 비교할 수는 없지만 대략 본 조사값이 6倍 정도 높은 것으로 나타나고 있다.

3) 납(lead)

各 調査點에서 測定된 溶存性납含量이 Table A - 25 (부록참조)에, 粒子性납含量이 Table A - 26(부록참조)에 그리고 總납含量이 Table A - 27 (부록참조)에 各各 나와있다.

全 調査期間을 통한 납의 變動範圍와 平均濃度を 보면 용존성납이 $<0.3\sim 5.2\mu\text{g}/\ell$ 와 $0.5\mu\text{g}/\ell$, 粒子性납이 $<0.3\sim 12.0\mu\text{g}/\ell$ 와 $2.6\mu\text{g}/\ell$ 그리고 總납이 $0.3\sim 12.2\mu\text{g}/\ell$ 와 $3.1\mu\text{g}/\ell$ 이다. 各 調査點別 年平均납濃度を 보면 馬山內灣에 있는 st. 6이 溶存性($0.9\mu\text{g}/\ell$)이나 粒子性($4.1\mu\text{g}/\ell$) 모두 가장 높은데 이것은 內灣 곳곳에서 流入되는 陸水影響이 큰 것 같다(Table II - 14). 月別 납濃度分布는 5月(總

남 $5.4 \mu\text{g}/\ell$), 6月(總남 $6.6 \mu\text{g}/\ell$)과 9月(總남 $5.8 \mu\text{g}/\ell$) 등이 월등히 높아서 심한 경우 6月은 1月이나 7月(總남 $0.3 \mu\text{g}/\ell$)에 비해 20배나 높게 나타났다 (Table II-15). 이처럼 鎭海灣의 남含量은 月別變動이 극심한데 이것은 月別 陸水流入量의 變動에도 一部 기인하지만 그것보다는 試料採取 및 分析過程에서의 汚染問題에 더 크게 기인했던 것으로 생각된다.

季節別 남濃度分布는 溶存成分과 粒子成分이 약간 相異한 樣相을 보이고 있다. 즉 溶存成分은 여름이 $0.8 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 높고 봄이 $<0.3 \mu\text{g}/\ell$ 으로 낮은 반면에 粒子成分은 여름($2.1 \mu\text{g}/\ell$)이 봄($4.0 \mu\text{g}/\ell$)의 절반정도에 지나지 않는다. 그러나 總남의 分布樣相을 보면 봄이 $4.2 \mu\text{g}/\ell$ 로 겨울의 $1.2 \mu\text{g}/\ell$ 보다 3.5배나 높고 가을도 $4.0 \mu\text{g}/\ell$ 로 비교적 높았다 (Table II-16).

Table II-17에서 보는 바와같이 總남의 含量中 용존성분과 입자성분이 차지하는 比率은 다른 金屬과는 正反對의 樣相을 보이고 있다. 용존성분은 불과 16.1% 밖에 되지 않고 입자성분이 83.9%로서 總남의 濃度分布樣相에 큰 영향을 미치고 있다. 總남에 대한 입자성분이 차지하는 比率은 地域에 따라 큰 차이가 나타나고 있는데 Lee *et al.* (1981 b) 이 調査한 것을 보면 半月海域이 92.1%, 蔚山海域이 66.8% 昌原海域이 80.3%, 麗川海域이 60%로 나타났고 작년도 鎭海灣 1次調査때는 61.7%로 모두 입자성분이 용존성분보다 比率이 높은 것에 비해 Lee *et al.* (1981 a)이 調査한 洛東江河口에서는 입자성분이 겨우 35.8% 밖에 되지 않았다. 이와 같은 사실로 미루어 보아 남은 浮遊物質뿐만 아니라 그 特性에 따라서도 용존성분과 입자성분의 比率이 크게 달라지는 듯 하며 일반적으로 海水中の 남成分은 용존성분으로 남아있기보다는 浮遊物質에 吸着되어 입자성분으로, 있으려는 경향이 큰 것 같다. 특히 鎭海灣의 경우 남成分은 自動車나 船舶 등에서 大氣中으로 排出되어 浮遊粒子에 묻어 있다가 降雨나 降雪 등에 의해 다시 바다로 沈降함으로서 流入되는 量이 많으리라 생각되며 이것은 다음에 반드시 調査되어야 할 것으로 思料된다.

本 調査에서 測定된 平均남含量(總남 $3.1 \mu\text{g}/\ell$)은 작년도 1次調査때의 $2.7 \mu\text{g}/\ell$ (李等, 1980)나 Lee *et al.* (1981 b) 이 調査한 半月($2.0 \mu\text{g}/\ell$), 昌原($2.2 \mu\text{g}/\ell$), 蔚山($2.7 \mu\text{g}/\ell$)이나 Lee *et al.* (1981 a) 이 調査한 洛東江河口($2.2 \mu\text{g}/\ell$)보다

는 다소 높은 값이지만 麗川의 $0.5 \mu\text{g}/\ell$ (Lee et al., 1981 b) 보다는 6 배 이
이 높다.

4) 아연 (zinc)

各 調査點에서 測定된 溶存性아연含量이 Table A-28 (부록참조)에 粒子性아연含量
이 Table A-29 (부록참조)에 그리고 總아연含量이 Table A-30 (부록참조)에 各各 나와있다.

全 調査期間을 통한 아연의 變動範圍와 平均濃度는 各各 溶存性아연이 $2.4 \sim 65.0$
 $\mu\text{g}/\ell$ 와 $15.4 \mu\text{g}/\ell$, 粒子性아연이 $0.2 \sim 17.5 \mu\text{g}/\ell$ 와 $3.0 \mu\text{g}/\ell$ 그리고 總아연이
 $3.2 \sim 67.8 \mu\text{g}/\ell$ 와 $18.4 \mu\text{g}/\ell$ 이다. 各 調査點別 年平均아연濃度を 보면 馬山灣의 st.
7이 가장 높고(總아연 $21.6 \mu\text{g}/\ell$) 鎮東灣의 st. 2가 가장 낮지만(총아연 $13.0 \mu\text{g}/$
 ℓ) 粒子性아연은 馬山灣의 st. 6이 $5.7 \mu\text{g}/\ell$ 으로 他調査點보다 높은 값을 보였다
(Table II-14). 地域的인 아연濃度分布는 馬山灣쪽의 st. 6, 7, 8 (총아연平均 21.3
 $\mu\text{g}/\ell$) 등이 鎮東灣쪽의 st. 1, 2, 3 (총아연平均 $14.8 \mu\text{g}/\ell$)보다 높은 경향을 보였는
데 이것은 馬山灣쪽에서 流入되는 都市下水를 비롯한 陸水流入에 크게 기인되는 것
같다. 月別로는 8月을 除外하고는 1月에서 10月까지 아연濃도가 減少하는 경향을
보였는데 이것은 調査年度의 일시적 現象일뿐 週期的인 月別 變動事項으로 보기는
어렵다 (Table II-15).

季節別 아연分布는 겨울(총아연 $26.4 \mu\text{g}/\ell$)에서 봄(총아연 $26.1 \mu\text{g}/\ell$)에 걸쳐 아연濃
도가 높아졌다가 여름(총아연 $19.0 \mu\text{g}/\ell$)에서 가을(총아연 $16.0 \mu\text{g}/\ell$)로 가면서 떨어
지는 現象을 보였는데 (Table II-16) 이것은 작년도 1次年度때와 正反對되는 結果
로서 鎮海灣의 아연濃度分布에서 어떤 뚜렷한 季節的特徵 亦是 찾아보기가 어려운 것
같다. Table II-17에서 보는 바와같이 溶存性아연과 粒子性아연의 比率은 平均 83.7
%와 16.3%로 총아연합량의 대부분이 溶存性아연에서 온 것임을 알수 있다. 一般
的으로 海水中の 아연成分은 80%以上이 溶存成分으로 存在하는 것 같다. 이러한 事
實은 작년도 1次調査때의 溶存成分比率이 78.9%, 洛東江河口の 84.6% (Lee et al.,
1981 a)나 Lee et al. (1981 b)이 調査한 蔚山海域이 85.3%, 昌原海域이 79.5
% 그리고 麗川海域이 89.4%나 되는 것에서도 確認할수 있다. 그러나 우리나라의
黃海처럼 浮遊物質量이 많고 특히 그 主成分이 微砂로 되어 있는 곳에서는 溶存性

아연比率이 60%(Lee *et al.*, 1981 b) 정도까지 減少하는 것으로 생각된다.

本 調査에서 測定된 總아연 平均濃度는 18.4 $\mu\text{g}/\ell$ 는 작년도 1次調査때의 15.5 $\mu\text{g}/\ell$ 나 Lee *et al.*, (1981 b)이 調査한 半月의 16.6 $\mu\text{g}/\ell$ 보다는 약간 높고 麗川(18.8 $\mu\text{g}/\ell$)이나 蔚山(18.4 $\mu\text{g}/\ell$)과는 비슷한 값이지만 昌原海域(30.1 $\mu\text{g}/\ell$) 보다는 훨씬 낮다. 海水中の 아연濃度範圍는 0.2 ~ 48 $\mu\text{g}/\ell$ 로 變動이 심한편이며 그 平均값은 4.9 $\mu\text{g}/\ell$ 로 本 調査값의 1/4 정도에 지나지 않지만 (Bowen, 1979) Goldberg(1965)가 調査한 아연평균값은 10 $\mu\text{g}/\ell$ 로서 대략 本 調査의 절반 정도값이다.

2. 重金屬連續觀測結果

馬山灣의 重金屬含量이 時間에 따라 어떻게 變化하는가를 보기위해 馬山灣入口와 馬山港사이의 中間地點에 있는 st. 7에서 1982年 11月 12日 09時부터 13日 03時까지 低潮(15時와 03時)와 高潮(09時와 21時)때를 택해 6時間간격으로 連續觀測調査하였는데 이 調査結果는 Table II—18에 나와 있다. 중금속에 대한 24時間연속관측조사는 6時間週기로 1회밖에 하지않아 精確한 時間別變化는 알수 없었지만 Table II—18에서 보는 바와같이 카드뮴과 粒子性납은 대체로 表層에서 底層으로 갈수록 濃度가 증가하는 경향을 보인 반면에 溶存性납은 層別이나 時間變化에 상관없이 <0.3 $\mu\text{g}/\ell$ 였다. 구리의 경우 粒子成分은 表層이 가장 높았으며 15 m層으로 가면서 減少하다가 다시 底層으로 갈수록 증가하는 樣相을 나타냈고 溶存成分도 15時를 除外하고는 粒子成分과 같은 경향을 보였는데 이와같은 現象은 粒子性아연에서도 나타났다.

低潮와 高潮때의 中금속함량을 비교해 볼때 아연, 구리, 납등은 表層에서 含量差異가 뚜렷하게 나타났는데 아연과 납은 高潮(총아연 17.9 $\mu\text{g}/\ell$, 총납 1.0 $\mu\text{g}/\ell$)때가 低潮(총아연 11.2 $\mu\text{g}/\ell$, 총납 0.7 $\mu\text{g}/\ell$)때보다 높았으나 구리의 경우는 반대로 低潮(총구리 1.85 $\mu\text{g}/\ell$)때가 高潮(총구리 1.62 $\mu\text{g}/\ell$)때보다 높았으며 카드뮴은 低潮나 高潮때가 비슷한 값을 보였다. 그러나 15 m層이나 底層에서는 이와같은 低潮나 高潮때의 中금속함량차이가 나타나지 않았다. 전반적으로 中금속함량은 時間에 따라 어떤 뚜렷한 變化樣相을 나타내기 보다는 陸水流入量變動에 따라 약간의 差異를 나타내는 것으로 생각된다.

Table II-18. Continuous monitoring data for heavy metals at St. 7 on November 12~13, 1981 ($\mu\text{g/l}$).

Sampling time	Element Fraction Depth(m)	Cd			Cu			Pb			Zn		
		Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.	Dis.	Par.	Tot.
09:00	0	0.15	0.06	0.21	1.24	0.34	1.58	<0.3	1.0	1.2	16.9	4.1	21.0
	15	0.29	<0.03	0.31	1.15	0.27	1.42	<0.3	0.7	0.9	26.3	2.2	28.4
	25	1.02	<0.03	1.04	1.22	0.28	1.50	<0.3	0.6	0.8	12.5	2.0	14.5
15:00	0	0.29	0.05	0.34	0.38	0.43	1.81	<0.3	0.6	0.8	9.0	1.2	10.2
	15	0.44	0.04	0.48	1.65	0.24	1.89	<0.3	0.6	0.8	10.5	0.6	11.1
	25	0.36	0.07	0.43	1.01	0.34	1.35	<0.3	0.8	1.0	6.5	0.9	7.4
21:00	0	0.36	0.04	0.40	1.36	0.29	1.65	<0.3	0.5	0.7	12.8	1.9	14.7
	15	0.87	0.05	0.92	1.01	0.22	1.23	<0.3	0.3	0.5	4.5	0.6	5.1
	25	0.36	0.05	0.41	1.15	0.28	1.43	<0.3	0.8	1.0	8.3	2.8	11.1
03:00	0	0.22	0.08	0.30	1.52	0.36	1.88	<0.3	0.4	0.6	10.8	1.4	12.1
	15	0.29	0.10	0.39	1.02	0.24	1.26	<0.3	0.5	0.7	19.0	1.2	20.2
	25	0.44	0.07	0.51	1.15	0.30	1.45	<0.3	0.8	1.0	21.0	1.3	22.3

3. 海底堆積物中の 重金屬(Cd, Cu, Co, Ni, Mn, Pb, Zn)

各 調査點에서 測定된 堆積物中の 重金屬含量이 Table II-19에 나와있다. 測定된 重金屬은 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 코발트(Co), 니켈(Ni), 망간(Mn), 납(Pb)과 아연(Zn) 등 7가지 元素이며 試料는 11月 現場調査時 1回 採取하여 分析하였다. 堆積物中の 重金屬濃度分析解釋은 平均上 7가지 元素를 4部分으로 나뉘서 설명하기로 한다.

1) 카드뮴(Cd)

各 調査點에서 測定된 堆積物中の 카드뮴濃度範圍는 0.4 ~ 2.3 ppm이고 平均은 0.7 ppm이다. Table II-19에서 보는 바와같이 堆積物中の 카드뮴濃度는 st. 1, 2, 3의 鎮東灣(平均 0.4 ppm)보다 st. 6, 7, 8의 馬山灣(平均 1.2 ppm)이 3倍 以上 높운데 이것은 馬山灣쪽이 鎮東灣보다 産業活動이 活發한데 起因되는 것으로 思料된다. 特히 馬山灣의 調査點들 中에서도 가장 內灣쪽에 자리잡은 st. 6은 카드뮴濃度가 2.3 ppm으로서 全體平均값인 0.7 ppm보다도 3倍以上 높은것이 注目된다.

本 調査의 平均카드뮴濃度 0.7 ppm은 Roth and Flomung (1977)이 이스라엘쪽의 지중해연안에서 調査한 堆積物의 平均값(0.7 ppm) 과는 같지만 Jones (1973)가 비

Table II-19. Heavy metal contents in sediments in the Jinhae Bay (ppm).

Element Station	Cd	Cu	Co	Ni	Pb	Zn	Mn
1	0.4	26	24	72	21	102	480
2	0.4	26	27	72	23	107	672
3	0.4	26	29	72	29	105	700
4	0.5	16	24	69	23	91	700
5	0.4	23	27	63	35	121	440
6	2.3	23	29	44	33	114	572
7	0.7	28	33	72	40	148	732
8	0.7	20	24	66	24	107	572
9	0.5	19	27	61	25	102	812
Mean	0.7	23	27	66	28	111	631

교적 汚染이 심한 英國 Wales 地方의 Cardigan Bay에서 조사한 값인 1.1 ppm 보다
는 약간 낮고 海底堆積物中の 카드뮴平均濃度(0.17 ppm: Bowen, 1979)보다는 4倍
以上 높은 값이다.

2) 구리(Cu) 및 니켈(Ni)

各 調査點의 구리와 니켈의 농도범위 및 평균농도는 각각 16~28 ppm 과 23 ppm
그리고 44~72 ppm 과 66 ppm 이다. 구리와 니켈의 농도범위를 보면 카드뮴의 경우
와 反對의 樣相을 나타냈는데 카드뮴濃도가 가장 높았던 st. 6이 니켈濃도가 가장
낮았는데 구리濃度 亦是 평균값에 지나지 않는것을 볼수있다. 또한 地域的인 濃度分
布도 鎮海灣쪽이 구리(平均 26 ppm)와 니켈(平均 72 ppm) 모두 馬山灣쪽 (구리
: 平均 24 ppm, 니켈 : 平均 61 ppm) 보다 약간씩 높았으나 그 確實한 理由를 推定
하기는 어렵다.

본 조사에서 測定된 구리(23 ppm)와 니켈(66 ppm)의 平均濃度를 他 調査結果와
比較해 보면 구리의 경우 李 等(1978)이 南海東部沿岸海底堆積物에서 調査한 구리
濃度(18 ppm)보다 약간 높지만 니켈은 李 等の 조사값(29 ppm)보다 2倍以上의 높
은값을 나타냈다. 이처럼 本 調査의 니켈값이 李 等の 조사값보다 월등히 높은것은
本 調査海域이 李 等の 調査海域보다 內灣地域이라는 點도 있지만 그 보다는 分析
方法에 더 큰 差異點이 있다고 하겠다. 즉 李 等の 分析方法인 HCl:HNO₃ wet
ashing은 一般的으로 本 調査의 測定方法인 dry ashing 方法보다 니켈含量이 적게
나오는 것으로 보고되고 있다(Ritter *et al.*, 1978). 그러나 본 조사의 구리평균값
은 堆積物中の 平均구리濃度(33 ppm: Bowen, 1979) 보다도 낮으며 니켈 亦是 平均濃
度인 52 ppm 보다 약간 높은 程度이다.

3) 코발트(Co) 및 납(Pb)

各 調査點의 코발트와 납의 濃度範圍 및 平均濃度는 各各 24~33 ppm 과 27 ppm
그리고 21~40 ppm 과 28 ppm 이다. 코발트와 납의 調査點別濃度分布를 보면 둘다
st. 7이 가장 높게 나타났고 地域的인 分布傾向을 比較해 볼때 카드뮴의 경우와 마
가지로 鎮東灣(코발트: 27 ppm, 납: 24 ppm) 보다는 馬山灣(코발트: 29 ppm, 납: 32
ppm) 쪽이 약간씩 높게 나타났다. 그러나 코발트의 경우 各 調査點들 사이에 큰

濃度差異없이 比較的 고른 濃度分布를 보였다.

本 調査의 코발트와 납측정값을 他 調査의 측정값과 比較해보면 먼저 납의 경우 李 等(1978)이 南海東部沿岸海底堆積物에서 調査한 납濃度(28 ppm)와 本 調査의 평균값이 꼭 一致하는데 一般的으로 堆積物中の 납分析에 있어서 wet ashing 法이나 dry ashing 法이나 同一한 測定結果를 나타내기 때문에(Jones, 1973 ; Ritter *et al.*, 1978)비슷한 海域에서 調査된 이 두 측정값이 比較的 잘 一致하는것 같다. 그러나 코발트의 경우는 李 等(1978)의 조사값이 平均 13 ppm 으로 本 조사값(27 ppm)의 절반 程度밖에 되지 않았다. 本 조사값과 堆積物中の 平均濃度(코발트 : 14 ppm 납 19 ppm ; Bowen , 1979)를 比較하면 코발트는 平均濃度보다 2배가량 높고 납도 약간 높다.

4) 아연(Zn) 및 망간(Mn)

各 調査點의 아연과 망간의 濃度範圍및 平均濃度は 各各 91 ~ 148 ppm 과 111 ppm 그리고 440 ~ 812 ppm 과 631 ppm 이다. 아연과 망간의 調査點別濃度分布를 보면 아연은 구리, 코발트, 납의 경우와 같이 st. 7이 가장 높았으며(148 ppm) 망간은 오히려 內灣쪽으로부터 더 멀리 떨어져있는 st. 9가 812 ppm 으로 가장 높은 값을 나타냈다. 地域間 濃度分布는 다른 元素들의 경우처럼 馬山灣쪽(아연 : 123 ppm 망간 ; 625 ppm)이 鎮東灣쪽(아연 : 105 ppm, 망간 : 617 ppm)보다 약간 높은 傾向을 보였다.

本 조사에서 測定된 아연의 平均濃度(111 ppm)는 李 等(1978)이 南海東部沿岸海底堆積物에서 調査한 값(111 ppm)과 꼭 一致하지만 堆積物의 平均濃度 95 ppm 보다는 약간 높으며 망간은 本 조사값이 631 ppm 으로서 李 等の 조사값 499 ppm 보다 훨씬 높은 반면에 堆積物의 平均濃度 770 ppm 보다는 낮은 값을 나타냈다.

第6節 要約

鎮東灣의 赤潮및 오염모니터링시스템 研究를 위해 일반수질지수, 영양염및 플랑크톤 색소량, 중금속의 分布를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 水溫은 겨울에는 표·저층간의 차이가 적지만 여름에는 表層水溫이 30℃ 까지

올라가며 저층과의 차이가 크다. 年平均 鹽分은 馬山灣이 29%, 鎮東灣과 行岩灣이 30.12%로서 마산만이 월등히 낮았으며 계절별로는 여름에 낮은 分布를 보인다. 용존산소량은 표층에서는 봄부터 차츰 높아져 여름에 높은값을 나타내고 저층에서는 유기물의 산화에 의한 산소소모가 증대되어 여름에 낮은 값을 보인다. pH는 7.7~9.4 사이에서 폭넓게 변화하였는데 月別로는 7~8월이 월등히 높아서 表層이 평균 8.7~8.9나 되었다. 특히 7~9월사이 鎮東灣에서 적조가 발생하였을때 pH는 8.7~9.1 정도로 높게 나타났다. COD는 表層(平均 3.36 O₂ mg/l)이 底層(平均 1.81 O₂ mg/l)보다 월등히 높으며 계절별로는 陸水流入이 많고 生物活動이 活潑한 여름철이 가장높다. 地域別로는 馬山灣이 表層(平均 4.83 O₂ mg/l)과 底層(平均 2.31 O₂ mg/l) 共히 가장 높으며 鎮東灣은 적조가 발생했던 7~9월사이 COD가 表層(平均 4.83 O₂ mg/l)과 底層(2.82 O₂ mg/l)에서 모두 높았다. 浮遊物質은 馬山灣(表層 8.5 mg/l, 底層 3.5 mg/l)이 높고 行岩灣과 鎮東灣은 비교적 낮으며 계절별로는 陸水流入이 많은 여름철에 많다. 透明度는 계절및 지역에 따라 0.6~10.5 m로 變化幅이 크며 지역별로는 馬山灣이 평균 1.6 m로 가장 낮고 行岩灣도 평균 2.4 m로 비교적 낮으며 鎮東灣은 평균 4.3 m로 透明度가 높다.

2. NO₃-N은 馬山灣입구에서 가장 높은값을 보이고 외양으로 갈수록 점차 감소하며 계절별로는 여름에 높아 1000 μg N/l 이상을 기록했다. 鎮東灣에서는 년중 NO₃-N 농도가 낮으며 적조가 심했던 8월에도 아주 낮은 分布를 보이고 있다. NO₂-N은 그 지리적, 계절적 분포양상이 NO₃-N과 비슷했다. PO₄-P는 行岩灣에서 항상 높아 겨울에 표층에서 50 μg/l 이상이 측정되며 8월에는 71.6 μg P/l의 높은 값을 보였다. 馬山灣에서는 그 입구보다 바깥쪽이 오히려 PO₄-P 농도가 높아 이지역에는 마산내만에서 유출되는 PO₄-P 외에도 상당량이 다른지역에서 흘러들어오는 듯하다. Si(OH)₄-Si의 함량은 年中 높은값을 유지하며 계절적변화가 뚜렷하지 않다. urea-N은 여름에 마산만에서 50 μg N/l 이상의 높은값이 측정되었으며 鎮東灣에서는 계절에 따른 변화가 적다. 클로로필 a는 마산만에서 5월부터 10월에 걸쳐 높은 값을 보이고 鎮東灣에서는 8월에 50 μg/l 이상의 높은 값이 측정되었다.

클로로필 *b*는 육수유입이 많은 지역에 풍부하며 클로로필 *c*, carotenoids의 분포는 클로로필 *a*와 비슷하다.

3. 4월에 st. 7에서 실시한 연속관측에서는 표·저층간의 온도차가 적었고 용존 산소도 표·저층에서 모두 풍부한것으로 나타났다. 이 시기에는 조석주기에 따라 52에서 $269 \mu\text{g N}/\ell$ 까지 변하는 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 과 2.31에서 $11.36 \mu\text{g}/\ell$ 까지 변하는 클로로필 *a* 사이에 상관관계가 있었다.

4. 6월에 st. 7에서 행한 연속관측에서 水溫은 表層($23.0 \sim 23.8^\circ\text{C}$)과 底層($19.2 \sim 19.6^\circ\text{C}$)의 차이가 컸으며 鹽分역시 표·저층간에 1%이상의 차이가 있었다. DO는 底層에서 $1.0 \sim 1.8 \mu\text{g}/\ell$ 로 유기물의 산화가 활발해졌음을 말해준다. 표층의 pH는 低潮때에 8.6~8.7로 가장높고 高潮로 갈수록 pH가 감소하는 경향이 있다. $\text{NO}_3 - \text{N}$ 은 마산내만쪽의 영향을 받아 低潮시에 높은 농도를 나타내며 $\text{NO}_2 - \text{N}$, $\text{Si}(\text{OH})_4$, Si도 低潮시에 높다. 반면 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 高潮때에 많아 마산만 바깥쪽에서 양쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 클로로필 *a*도 高潮때에 많아 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 와 상관관계를 보이며 이 시기에는 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 가 식물성플랑크톤 증식과 밀접한 관계를 가지는것 같다.

5. 같은 정점에서 8월에는 표·저층의 수온차가 11°C 에 이르며 鹽分은 3%의 차이를 보여 수층이 매우 안정되어 있었다. pH는 低潮에서 高潮로 가며 증가하는 경향이 있었고 底層에서는 용존산소가 거의 소모된 상태였다. $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 8월에 특히 그 농도가 높아 50.2에서 $313.5 \mu\text{g P}/\ell$ 의 분포를 보였는데 6월과 마찬가지로 高潮때에 그 농도가 높았다. 클로로필 *a*는 조석주기에 따라 13.45에서 $181.79 \mu\text{g}/\ell$ 까지의 큰 변화폭을 보이며 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 와 상관관계가 있었다.

6. 11월에 st. 7에서 실시한 연속관측에서는 조석주기에 따른 수질자수의 변화가 뚜렷하지 않았으며 st. 2에서 4월, 6월, st. 4에서 8월에 실시한 연속관측에서도 조석주기에 따른 변화가 잘 나타나지 않았다.

7. 중금속조사는 해수에서는 Cd, Cu, Pb, Zn 등 4원소를, 해저퇴적물에서는 Cd, Cu, Co, Ni, Pb, Mn, Zn 등 7원소를 조사하였다. Cd는 6월(평균 $0.35 \mu\text{g}/\ell$)과 11월(평

균 $0.28 \mu\text{g}/\ell$)이 비교적 높았고 그외는 $<0.03 \mu\text{g}/\ell$ 로 낮다. Cd는 용존성이 총 Cd의 77%를 차지한다. Cu는 용존성분이 총 Cu의 75%이상을 차지하며 계절별로는 봄(평균 $2.17 \mu\text{g}/\ell$)이 높고 가을(평균 $0.71 \mu\text{g}/\ell$)이 낮으며 조사점별로는 마산내만의 st. 6이(평균 $1.70 \mu\text{g}/\ell$)과 鎮東灣의 st. 1(평균 $1.75 \mu\text{g}/\ell$)이 높다. Pb는 Cd, Cu, Zn 등과 달리 입자성분이 총 Pb의 84%나 차지한다.

계절별로는 봄(평균 $4.2 \mu\text{g}/\ell$)과 가을(평균 $4.0 \mu\text{g}/\ell$)이 높으며 겨울(평균 $1.2 \mu\text{g}/\ell$)이 낮다. Zn은 馬山灣(평균 $21.3 \mu\text{g}/\ell$)이 鎮東灣(평균 $14.8 \mu\text{g}/\ell$)보다 높으며 계절별로는 봄(평균 $26.1 \mu\text{g}/\ell$)과 겨울(평균 $26.4 \mu\text{g}/\ell$)이 높고 가을(평균 $16.0 \mu\text{g}/\ell$)이 낮다. 또 Zn은 용존성분이 84%정도나 차지해 Cd, Cu와 비슷한 양상을 보였다.

8. 해적퇴적물중에서 Cd는 마산만(평균 1.2 ppm)이 鎮東灣(평균 0.4 ppm)보다 3배이상 높으며 특히 st. 6은 2.3 ppm 으로서 평균농도 0.7 ppm 보다 3배이상 높다. 또 Cu와 Ni는 鎮東灣(Cu 26 ppm , Ni 72 ppm)이 馬山灣(Cu 24 ppm , Ni 61 ppm)보다 높으며 마산내만의 st.6은 Ni이 44 ppm 으로 가장 낮으며 Cu는 st.7이 28 ppm 으로 가장 높다. 海底堆積物중의 Co와 Pb는 馬山灣의 st.7(Co 33 ppm , Pb 40 ppm)이 가장 높으며 馬山灣(Co 29 ppm , Pb 32 ppm)이 鎮東灣(Co 27 ppm)보다 높다. Zn은 Cu, Co, Pb의 경우처럼 st.7이 148 ppm 으로 가장 높으나 Mn은 마산만바깥쪽의 st.9가 812 ppm 으로 가장높다. 지역별로는 馬山灣(Zn 123 ppm , Mn 625 ppm)이 鎮東灣(Zn 105 ppm , Mn 617 ppm)보다 높다. 전체적으로 보아 堆積物중의 중금속농도는 대체로 馬山灣이 鎮東灣보다 높으며 특히 마산만의 st. 6과 7이 높다. Cd, Co, Ni, Pb, Zn 등은 해적퇴적물의 평균농도보다 높으나 Cu와 Mn은 오히려 더 낮은것으로 나타났다.

9. 11월에 st. 7에서 행한 연속관측에서 Cd와 입자성 Pb는 표층에서 저층으로 내려갈수록 농도가 증가하지만 용존성 Pb는 층별이나 시간에 상관없이 $<0.3 \mu\text{g}/\ell$ 였다. Cu와 입자성 Zn은 대체로 표층에서 15 m층으로 가면서 감소하다가 다시 저층으로 내려가면서 농도가 증가한다. 표층에서 Cu는 低潮(평균 $1.85 \mu\text{g}/\ell$) 때가 高潮(평균 $1.62 \mu\text{g}/\ell$)보다 높고 Zn과 Pb는 高潮(총 Zn $17.9 \mu\text{g}/\ell$, 총 Pb $1.0 \mu\text{g}/\ell$) 때가

低潮(총 Zn $11.2 \mu\text{g}/\ell$, 총 Pb $0.7 \mu\text{g}/\ell$)때보다 높으나 Cd는 低潮(평균 $0.32 \mu\text{g}/\ell$)때나 高潮(평균 $0.31 \mu\text{g}/\ell$)때나 별차이없이 비슷하다. 중금속은 대체로 시간에 따라 뚜렷한 농도변화양상을 나타내기 보다는 육수유입량 변화에 따라 약간씩의 농도차이를 나타내는것 같다.

參 考 文 獻

- 吉田陽一, 1973. 低質生産における 生物生産の 変化. 水産学シリーズ-1, 恒星社 原生閣, 東京, 日本.
- 朴清吉, 1975. 鎮海湾海域의 磷酸塩分布의 特性에 関하여. 韓國水産学会誌, 8: 68~72.
- 岩崎英雄, 1971. 赤潮鞭毛藻に 関する 研究. V. *Polykrikos schwartzii* But-
*uchi*에 について. 日本水産学誌, 31: 606~609.
- 李光雨·郭熙相·李寿珩·梁東範·洪基勲, 1980, 鎮海湾의 赤潮 및 汚染모니터
링 시스템開發을 위한 基礎研究. 海洋研究所報告書, BSPE-00022-43-7.
- 李鍾華·金春洙·郭熙相, 1974. 冬季 鎮海湾 一帶 海水의 化学的 成分含量分布.
한국해양학회지, 9: 39~51.
- Biagu, J. O. 1980. Cadmium in the environment. part I. Ecological cycle.
John Wiley and Sons, New York, U. S. A.
- Bowen, H. J. M. 1979. Environmental Chemistry of the elements. Academic
Press, Longon, U. K.
- Boyden, C. R., and M. G. Romeril. 1974. A trace metal problem in pond
oyster culture. Mar. Pollut. Bull., 5(5): 74~44.
- Boyle, E. A., F. Sclater and J. M. Edmond. 1976. On the marine geoche-
mistry of cadmium. Nature, 263: 42~44.
- Bruland, K. W. 1980. Oceanographic distribution of cadmium, zinc,
nickel and copper in the North Pacific. Earth and Planetary,
Science Letters, 47: 176~198.

- Carlberg, D. R. 1972. New Baltic manual with methods for sampling and analysis of physical, chemical and biological parameters.
- Inter. Council for the Exploration of the Sea, Charlottenlund Slot, DK-2920 Charlottenlund, Denmark.
- Environmental Protection Agency (E.P.A). 1974. Manual of methods for chemical analysis of water and wastes. U. S. Environmental Protection Agency. U. S. A.
- Goldberg, E. D. 1965. Minor elements in sea water. *in* J. P. Riley and G. Skirrow (*ed.*), Chemical Oceanography, Vol. 1. Academic Press, New York, U. S. A.
- Guillard, R. R. L. 1963. Organic sources of nitrogen for marine centric diatoms. page 93 ~ 104. *in* C. H. Oppenheimer (*ed.*), Symposium on marine microbiology. Thomas, N. Y., U. S. A.
- Jones, A. S. G. 1973. The concentration of copper, lead, zinc, and cadmium in shallow marine sediments, Cardigan Bay. Wales Marine Geol., 14: M ~ M9.
- Lee, D. S., S. H. Lee, H. S. Kwak, and K. W. Lee. 1980. Determination of dissolved trace metals in sea water by atomic absorption spectrophotometry after concentration by Fe(III)-APDC coprecipitation. J. Oceanol. Soc. Korea, 15: 66 ~ 70.
- Lee, K. W., G. H. Hong, J. R. Oh., and S. H. Lee. 1981. Heavy metals in coastal surface waters of Korea Four Industrial Complex Areas, 1981. Bull. of Korea Ocean Res. and Develop. Inst. 3. (in press).
- Lee, S. H., D. S. Lee, E. S. Kim, H. S. Kwak, and K. W. Lee. 1981. Heavy metals in the Nagdong Estuary. J. Oceanol. Soc. Korea, 16: 24 ~ 30.
- Lorenzen, C. J. 1966. A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. Deep-Sea Res., 13: 223 ~ 227.
- Newell, B. S. 1967. The determination of ammonia in seawater. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 47: 271 ~ 280.
- Newell, B. S., B. Morgan, and J. Cundy. 1967. The determination of urea in seawater. J. Mar. Res., 25: 201 ~ 202.

- Preston, A., D. F. Jefferies, J. W. R. Dutton, B. R. Harvey, and A. K. Steele. 1972. British Isles Coastal Waters; "the concentrations of selected heavy metals in seawater, suspended matter and biological indicators -- a pilot survey." *Environ. Pollut.* 3: 69 ~ 82.
- Ritter, C. J., S. C. Bergman, C. R. Cothorn, and E. E. Zamierowski. 1978. Comparison of sample preparation techniques of atomic absorption analysis of sewage sludge and soil. *Atom. Absorp. News Letter*, 17 (4), 70 ~ 72.
- Roth, I. and H. Hornung. 1977. Heavy metal concentrations in water, sediments and fish from Mediterranean coastal area, Israel *Environ. Science & Technol.* 11: 265 ~ 269.
- Rounsefell, G. A., and A. Dragovich. 1966. Correlation between oceanographic factors and abundance of the Florida red tide (*Gymnodinium breve* Davis), 1954 ~ 1961. *Bull. Mar. Sci.*, 16: 402 ~ 422.
- Solorzano, L., and J. D. H. Strickland. 1969. Phosphate in sea water. *Limnol. Oceanogr.*, 13: 511 ~ 518.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A Practical handbook of seawater analysis, *Bull. Fish. Res. Bd. Can. No. 167*, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canada.
- Zimmermann, C., M. Price, and J. Montgomery. 1977. Operation, methods, and quality control of Technicon Automalyzer II systems for nutrient determinations in seawater. Harbor Branch Foundation, Inc. Technical Report No.11.

第Ⅲ章 鎮海灣의 生物學的 特性

第1節 序 論

本 研究는 “鎮海灣 赤潮 및 汚染모니터링 시스템 개발을 위한 研究”의 第二次 年度 사업으로 赤潮原因生物의 分類學的 考察, 月別動態, 現存量의 月別變化, 水深別 變化, 日週動態(diurnal dynamic), 赤潮發生時 海域間 比較, 赤潮와 鹽分度와의 關係, 水産生物의 被害등을 다루었다. 특히 赤潮原因生物로 널리 알려져 있는 夜光虫도 植物性플랑크톤 分野에서 논의하였으며 動物性플랑크톤은 現存量의 變化, 微細플랑크톤, copepoda의 變化, 日週變化등을 重點적으로 다루었다.

第2節 材料 및 方法

試料는 1980年 10月부터 1981年 3月까지 馬山灣과 行岩灣을 중심으로 6個定 點(5, 6, 7, 8, 9, 10)의 表層에서 植物性플랑크톤을 採集하였다. 특히 1980年 10月부터 1981年 1月까지 水深別 植物性플랑크톤現存量의 變化를 究明할 目的으로 1980年度에 赤潮가 심하게 發生했던 定點 7(李 等 1981)에서 水溫과 함께 定 量實驗을 하였다. 1981年 4月부터 11月까지 上記 海域을 포함하여 鎮東灣까지 9 個定點의 表層水에서 植物性플랑크톤을 조사하였으며 定點 7에서는 1981年 4月과 8月에는 日出時부터 日沒時까지 時間에 따른 變化를 조사하였고 6月에는 日週變化 調査를 하였다(Fig III-1).

採集된 試料는 현장에서 고정된 후 實驗室로 옮겨와 Yoo and Lee (1979)가 사 용한 方法으로 計數·分類 하였다.

動物性플랑크톤의 採集은 定點 1, 2, 3, 4에서는 1981年 4월 부터 11월 까지 그리고 定點 5, 6, 7, 8, 9에서는 1980年 10월 부터 1981年 11월 까지 每月 實施하였다. 採集에는 Marukawa Net를 사용하여 底層 부터 表層 까지 垂直으로 引網하였다. 採集된 試料의 處理過程 및 方法은 李 等(1980)이 사용했던 方法과 同一하였다. 한편 1981年 7월에는 사정에 의하여 表層採水法(1ℓ)에 의하여 採集 하였다. 動物性플랑크톤의 日週變化를 調査하기 위하여 1981年 6월과 11월 2회에 걸쳐 定點 7에서 2時間 間격으로 24時間 동안 역시 Marukawa Net를 사용하여 垂直으로 引網 採集하였다.

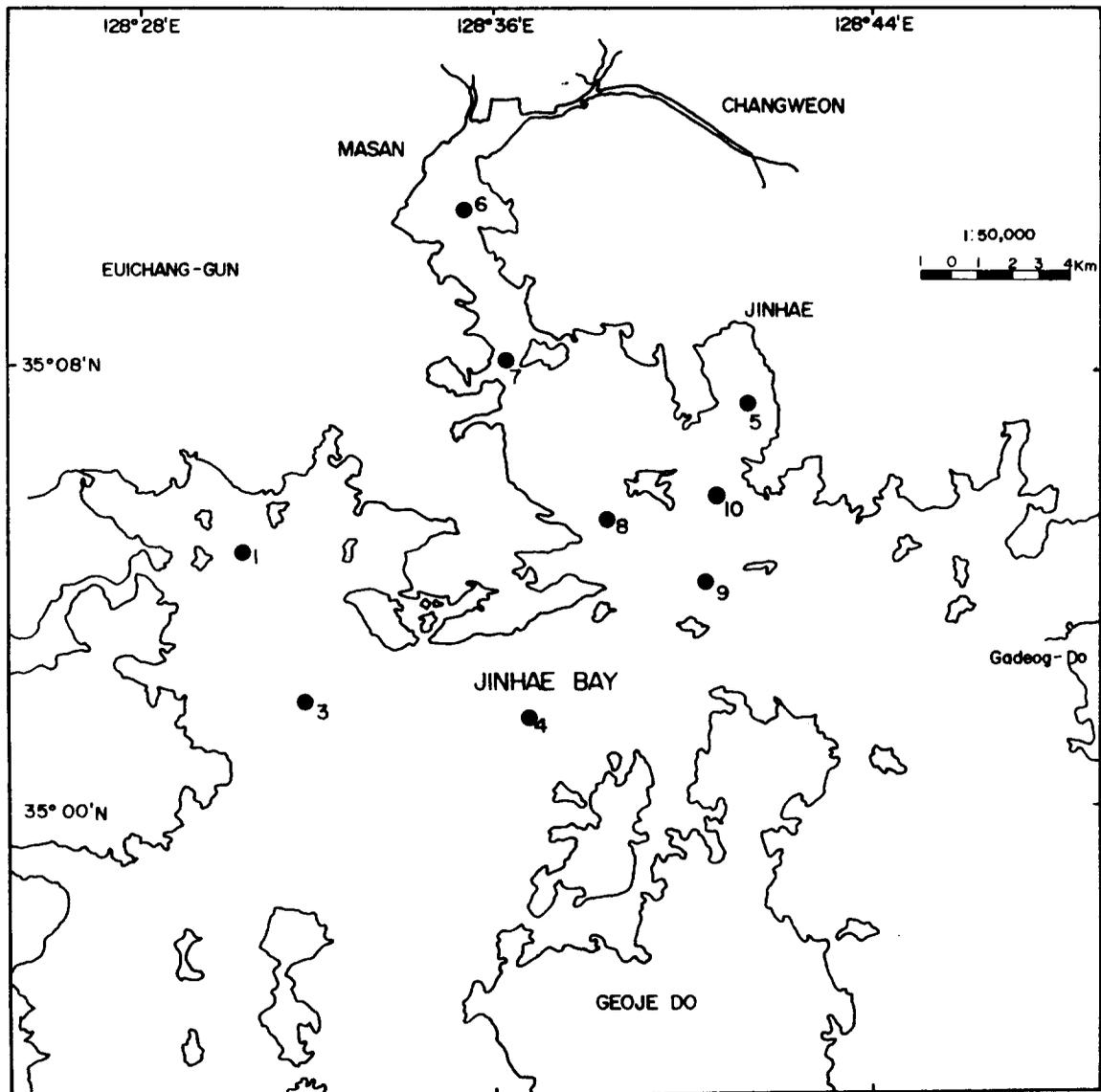


Fig. III-1. Biological sampling stations in Jinhae Bay.

第3節 結果 및 考察

1. 植物性 플랑크톤

1) 分類學的 研究

硅藻類: 본 조사기간 중 총 출현한硅藻類는 63種類로서 23屬 60種 2變種 1品種으로 구성되어 있었다(Table III - 1). 李 等(1980)은 100種類를 보고하였고 또 李 等(1981)은 表層에서 85種類를 同定하여 본 조사에서 나타난 種類數가 훨씬 적은 결과를 보였으나 이는 汚染海域에서의 일반적인 현상으로 볼 수 있다. 이

Table III-1. Monthly occurrence of phytoplankton species in the Jinhae Bay (Oct. 1980~Nov. 1981).

Species	1980 Oct.	Nov.	Dec.	1981 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
<i>Actinopterychus seranus</i>	+	+	+											+
<i>Amphiprora gigantea</i> var.	+												+	
<i>Asterionella gracialis</i>		+	+	+										
<i>Asteromphalus heptactis</i>		+							+	+				
<i>Bacteriasterum hyalinum</i>														
<i>Biddulphia mobiliensis</i>														
<i>B. sinensis</i>														
<i>Chaetoceros affinis</i>														
<i>C. atlanticus</i>					+									
<i>C. compressus</i>					+									
<i>C. constrictus</i>														
<i>C. curvisetus</i>														
<i>C. debilis</i>														
<i>C. decipiens</i>														
<i>C. didymus</i>														
<i>C. difficilis</i>														
<i>C. gracilis</i>														
<i>C. laciniosus</i>														
<i>C. peruvianus</i>														
<i>C. socialis</i>														
<i>Coscinodiscus centralis</i> var. <i>pacifica</i>														
<i>C. concinniformis</i>														
<i>C. grani</i>														
<i>C. radiatus</i>														
<i>C. rothii</i>														
<i>C. wailesii</i>														
<i>Cylindrotheca closterium</i>														
<i>Ditylum brightwellii</i>														
<i>D. sol</i>														
<i>Eucampia cornuta</i>														
<i>Eucampia sodiaca</i>														
<i>Guinardia flaccida</i>														

Table III-1. Continued.

Species	Month	1980 Oct.	Nov.	Dec.	1981 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
<i>Lauderia borealis</i>			+	+		+	+	+							+
<i>Leptocylindrus danicus</i>															
<i>Navicula distans</i>															
<i>N. membranacea</i>															
<i>Nitzschia delicatissima</i>		+													
<i>N. longissima</i>		+													
<i>N. pungens</i>		+													
<i>N. seriata</i>		+													
<i>Planctonella sol</i>															
<i>Pleurosigma elongatum</i>															
<i>P. normanii</i>															
<i>Rhizosolenia alata</i>															
<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>															
<i>R. delicatula</i>															
<i>R. fragilissima</i>															
<i>R. hebetata</i> f. <i>semispina</i>															
<i>R. imbricata</i>															
<i>R. robusta</i>															
<i>R. setigera</i>															
<i>R. stolicerfothii</i>															
<i>Schroederella delicatula</i>															
<i>Skeletonema costatum</i>															
<i>Thalassionema nitzschioides</i>															
<i>Thalassiosira decipiens</i>															
<i>T. angustii</i>															
<i>T. exentrica</i>															
<i>T. hyalina</i>															
<i>T. pacifica</i>															
<i>T. polychorda</i>															
<i>T. subtilis</i>															
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>															
<i>Amphidinium longum</i>															
<i>Ceratium breve</i>															
<i>C. furca</i>															
<i>C. fusus</i>															

Table III-1. Continued.

Species	Month	1980 Oct.	Nov.	Dec.	1981 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
<i>C. lineatum</i>															
<i>Dinophysis</i> sp.															
<i>Diplopsalis pillula</i>															
<i>Gonyaulax digitalis</i>															
<i>G. fratercula</i>															
<i>G. Orientalis</i>															
<i>G. polygramma</i>															
<i>G. spinifera</i>															
<i>G. triacantha</i>															
<i>G. sp.</i>															
<i>Gymnodinium pseudonoctiluca</i>															
<i>G. splendens</i>															
<i>G. 65 type</i>															
<i>G. sp. 1</i>															
<i>G. sp. 2</i>															
<i>Heterocapsa triquetra</i>															
<i>Heterodinium</i> sp.															
<i>Heterodinium sphaeroideum</i>															
<i>Miniscula bipes</i>															
Others															
<i>Oryphysis orytoroides</i>															
Peridiniaceae sp.															
<i>Peridiniopsis rotunda</i>															
<i>Peridinium achromatium</i>															
<i>P. breve</i>															
<i>P. brevipes</i>															
<i>P. cerasus</i>															
<i>P. claudicans</i>															
<i>P. conicum</i>															
<i>P. depressum</i>															
<i>P. granii</i>															
<i>P. minisculum</i>															
<i>P. pallidum</i>															
<i>P. guamerense</i>															
<i>P. orichoideum</i>															

Table III-1. Continued.

Species	Month	1980 Oct.	Nov.	Dec.	1981 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	
<i>P. veloi</i>		+	+	+	+	+									+	
<i>P. sp.</i>																
<i>Procoentrum micans</i>							+	+	+		+	+	+	+	+	
<i>P. minimum</i>								+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. triestimum</i>								+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Protoceratium reticulatum</i>																

해역에서 出現頻度로 볼 때 *Cylindrotheca closterium*, *Eucampia zodiacus*, *Nitzschia pungens*, *Pleurosigma elongatum*, *Rhizosolenia setigera* 및 *Skeletonema costatum*이 代表種이었다. 李 等(1980)의 조사와 비교할 때 代表種의 數가 단조로워 있으며 本 조사에서 새로이 出現한 것은 *Coscinodiscus rothii*, *Eucampia cornuta*, *Planktoniella sol*, *Rhizosolenia alata* 등 4種이 새로이 同定되었다. 그러나 *E. comuta*와 *P. sol*은 熱帶性(Cupp 1943; Kokubo 1955)으로 黑潮의 指標種으로 알려져 있다(Karawada 1965). 이 海域에서 1974년부터 현재까지의 조사(劉와 李 1976; Yoo and Lee 1979; 1980; 朴 1979; 1980; 李 等 1981)에서 전혀 出現한 바 없었던 것이 本 調査에서 처음으로 同定되어 2種이 鎭海灣植物性플랑크톤 區界에 포함되게 되었다. 李 等(1980)의 조사에서는 年中 出現種이 均一하게 分布하고 있었으나 本 조사에서는 夏季에 빈약하게 출현하고 있어 樣相이 달라졌음을 보여 주었다.

雙鞭毛藻類: 本 조사기간 동안 출현한 쌍편모조류는 15屬 44種類였다(Table III 1). 李 等(1981)은 이 海域에서 1979년 8월부터 1980년 9월까지 表層水에서 10屬 18種類를 보고한 바 있어 쌍편모조류의 種構成을 점차 다양해지고 있음을 알 수 있었다. 出現種中에서 *Ceratium fusus*와 *Gymnodinium splendens*는 거의 매달 출현하여 이 해역의 代表種이라 할 수 있다. 그러나 대부분의 種類들은 特定季節에 출현하고 있어 계절적 變化樣相이 뚜렷하였다. 즉 3~11월에 *Dinophysis* sp., *Diplopsalis* sp., *Peridiniaceal* sp., *Peridinium trichoideum*, *Prorocentrum minimum* 및 *Prorocentrum triestinum* 등이 出現하였고, 3~8월에 *Gonyaulax digitalis*, *Gonyaulax spinifera*와 *Heterocapsa triquetra* 그리고 7~10월에는 *Gymnodinium '65 type*과 *Prorocentrum micans*가 집중적으로 出現하였다. 그러나 1980년에 빈번하게 出現했던 *Eutreptiella* sp.와 *Oodinium* sp.는 本 조사에서는 出現하지 않았으며 *Gonyaulax*屬과 *Peridinium*屬은 種構成이 다양하였다. 本 조사에서 새로이 同定된 種類로는 *Amphidinium latum*, *Ceratium breve*, *Diplopsalis pilula*, *Gonyaulax*屬의 6種, *Gymnodinium pseudonoctiluca*, *Heterocapsa triquetra*, *Heterodinium sphaevoidem*, *Miniscula bipes*, *Peridiniacal* sp., *Peridiniopsis rotunda*, *Pe-*

*rinium*屬의 13種 그리고 *Protoceratium reticulum*等이었다 (Table .III - 1)

2) 月別 出現種의 動態

1980년 10월 : 구조류 10종류와 쌍편모조류 6종류등 16종류로 構成되어 있으며 定點別 出現種數도 5~9種類로 빈약하였다. 특별히 出現頻도가 높은 種은 없었으며 *Ceratium fusus*가 전 정점에서 출현하였다. 1979년 10월에는 정점 6에서 *Gonyaulax* sp.가 전 現存量의 98.48%를 차지하였으나 *C. fusus*의 出現은 거의 없었다(李 等 1980).

1980년 11월 : 出現한 種數는 39種類로서 硅藻類가 85%(32種類)를 차지 하였다. 정점별로 보면 정점 7과 8에서 각각 24, 26種類的 多樣한 출현종수를 보였으며 정점 5와 6, 9와 10에서는 16~19종류로 그 보다는 낮은 數였다. 출현종수가 다양한 반면 優勢한 單一種은 없었으나 *Chaetoceros debilis*, *C. socialis*, *Skeletonema costatum* 등이 비교적 출현빈도가 높았다. Yoo and Lee (1980)에 따르면 鎭海灣에서 1974~1978의 11월은 *Skeletonema costatum*이 우점종이었으며 1979년 11월은 *Biddulphia mobiliensis*가 전 現存量의 56~63%를 차지하였다고 보고한 바 있다.

1980년 12월 : 36種類가 출현하여 11월보다 약간 낮은 數值였다. 쌍편모조류는 6종류로 빈약하였으며 出現頻度 또한 낮았다. 정점별로 出現種數는 14~19種類的 범위였으며 평균 15種類이었다. 모든 정점에서 *Eucampia zodiacus*가 월등히 우세하게 나타났으며 *Asterionella gracialis*, *Ditylum sol* 및 *Thalassiothrix frauenfeldii* 등은 전 海역에서 출현하였다.

1981년 1월 : 11~12월보다 훨씬 낮은 구조류 16종류와 쌍편모조류 5종류로 構成種이 단조로웠으며 정점별 出現種數도 5~10으로 빈약하였다. *Chaetoceros compressus*와 *Eucampia zodiacus*는 전 정점에서 출현하였으며 특히 *E. zodiacus*는 現存量의 77~90%를 차지하였다. Yoo and Lee (1980)는 鎭海灣에서 1975년 1월 *E. zodiacus*가 우점종이었으며 出現量도 86~88%였음을 보고하였다.

1981년 2월 : 각 정점별 출현종수는 전체적으로 17種類이었다. 12월~1월에 出

現頻도가 높던 *E. zodiacus* 는 역시 2월에도 정점 8을 제외하고 優占하고 있었다. *Nitzschia pungens* 와 *Thalassiosira decipiens* 의 出現頻도가 눈에 띄었다. 李等(1980)에 의하면 이 海域의 2월 代表種은 *Skeletonema costatum*, *Asterionella gracialis* 및 *Leptocylindrus danicus* 로 보고 하였다.

1981년 3월 : 봄철이 되면서 出現種數가 多樣해지고 出現量도 많아졌다. 硅藻類 15種類와 雙鞭毛藻類 16種類로서 構成되어 있으며 優占種은 *Thalassiosira poly-chorda* 였다. 이 種은 전 현존량의 70~80%를 차지 하였다. *Chaetoceros decipiens*, *Ceratium fusus* 및 *Gonyaulax spinifera* 는 전 정점에서 出現하였고 出現量도 많아 代表種이라 생각된다. 특히 쌍편모조류의 卓越種은 없었으나 多樣하게 출현하였다.

1981년 4월 : 硅藻類 9種類와 雙鞭毛藻類 18種類로 총 27종류가 출현하였다 (Fig. III 2). 정점 1에서 3種類로 가장 적고 정점 8에서 16종류가 출현하여 가장 높은 出現種數를 보였다. 鎮東海域과 行岩海域에서 낮은 수의 出現種數를 보인 반면 馬山海域에서는 많은 數를 보여 좋은 대조를 이루었다. 특별한 優占種은 없었다.

1981년 5월 : 규조류는 4월과 비슷한 8종류가 출현하였으며, 쌍편모조류는 14종류가 同定되었다. 정점 1~5, 8~9에서는 특별한 우점종은 없었으나 정점 6과 7에서는 *Nitzschia pungens* 가 $7.9 \sim 8.6 \times 10^5$ cell/ℓ의 大發生을 일으켰다. 쌍편모조류중에서는 *Gymnodinium splendens* 가 우점종으로 정점 6과 7에서 $2.0 \sim 2.8 \times 10^6$ cell/ℓ의 심한 赤潮를 유발시켰으며 그 다음으로는 *Prorocentrum minimum* 이 大發生을 일으켰다. 5월은 馬山灣內에서 *G. splendens* 가 主體種으로 *Nitzschia pungens* 및 *Prorocentrum minimum*과 合勢하여 赤潮를 일으켰다. 李等(1981)은 1980년 5월에 이 海域의 馬山灣과 行岩灣에서 *Skeletonema costatum* 과 *Heterosigma* sp. 에 의한 赤潮를 보고 하였다.

1981년 6월 : 4~5월보다 2배에 가까운 14種類の 硅藻類가 출현하였으며 쌍편모조류 또한 18種類로 증가하였다. 정점별로 보면 정점 9에서 최저 3종류에서 정점 5의 최고 14종류가 同定되었으며 정점 1~3은 13종류, 정점 7~8은 11

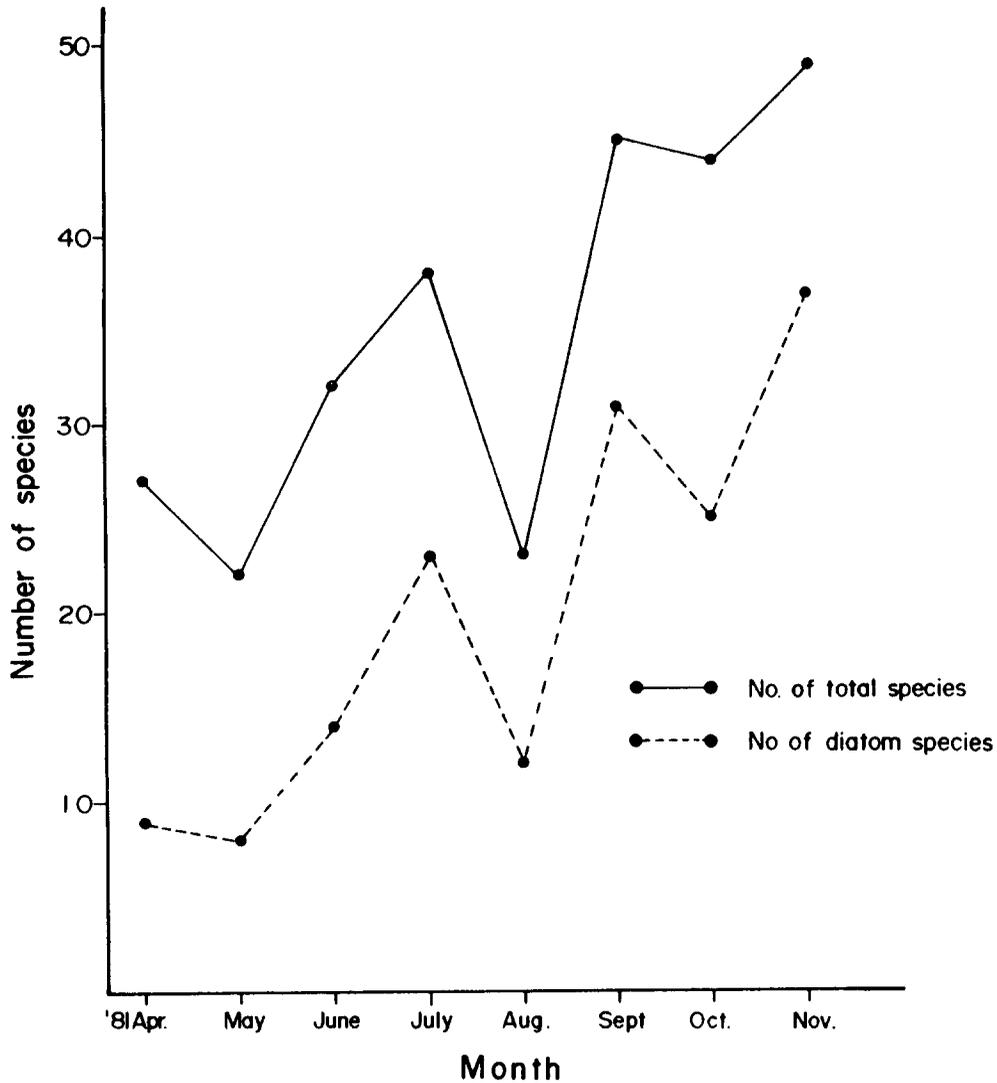


Fig. III-2. Number of phytoplankton species in Jinhae Bay (Apr.-Nov., 1981).

종류였다. 赤潮發生海域은 5월과 같은 馬山灣 海域뿐이었으며 赤潮發生原因生物은 5월과 달리 *Prorocentrum minimum* 이었다. 赤潮規模도 5월보다 큰 $2.5 \sim 4.2 \times 10^6$ cell/ ℓ 이었으며 馬山灣 入口인 정점 8에서 7.5×10^5 cell/ ℓ 을 기록한 것을 보면 外海로 擴散되고 있음을 알 수 있다. 그 다음으로 現存量이 높은 種類로는 *Prorocentrum triestinum* 이었다. 李 等(1980)의 보고는 *Prorocentrum micans*가 6월의 赤潮原因生物이라고 하였다.

1981년 7월 : 4월부터 점점 種이 다양하기 시작하여 7월에는 38種類가 출현하

였으며 정점 6에서 최저 11종류로부터 정점 9의 최고 23종류까지 多樣하게 출현하였다. 즉 정점 1~5, 8, 9에서 18~23種類, 정점 6, 7에서는 11~14종류가 同定되어 좋은 대조를 이루었다. 7월은 전 海역에서 赤潮가 발생되었는데 정점 1~5에서 *Gymnodinium* '65 type, 정점 6~7에서 *Prorocentrum micans*와 *P. minimum*이 그리고 정점 8~9는 *Skeletonema costatum*과 *Gymnodinium* '65 type이 각각 赤潮主體生物이었다. 馬山灣은 5월과 6월에 이어 赤潮가 지속되었으며 그 규모는 $2.4 \sim 5.3 \times 10^6$ cell/ ℓ 으로 上述한 種 이외에 *Skeletonema costatum*이 複合的으로 赤潮를 일으켰다. 鎭東海역의 정점 1~3의 赤潮도 *G.* '65 type 外에 *Chaetoceros debilis*, *Skeletonema costatum* 및 *Thalassionema nitzschioides*가 함께 赤潮를 일으켰다. Cho(1981)는 7월 20~22일은 *Chaetoceros* spp., 24~31 일에는 *Gymnodinium* sp.가 赤潮主體生物이었다고 보고하였다. 李 等(1981)은 1980년 이 海역의 赤潮를 *Prorocentrum* spp., *Gymnodinium* spp., *Skeletonema costatum*에 의하여 발생되었다고 하여 今年의 原因生物과 달랐다.

1981년 8월 : 7월보다 훨씬 적은 23종류가 出現하였는데 정점별로 6~11종류의 범위였다. 7월에 이어 이달에도 赤潮가 지속되었으며 主體種은 정점 6~7을 제외하고 전 海역에서 *Gymnodinium* '65 type이었으며 馬山灣은 7월과 마찬가지로 *Prorocentrum micans*와 *Skeletonema costatum*이었다. 특히 정점 3에서 *G.* '65 type이 1.5×10^7 cell/ ℓ 으로 현존량의 98.78%로서 單一種(monospecific)에 의한 惡性赤潮였으며 정점 1, 4~5, 8~9에서도 $1.7 \sim 4.5 \times 10^6$ cell/ ℓ 로서 이 種이 76~97%를 차지 하였다. 그러나 정점 6에서는 *Prorocentrum micans*가 현존량의 51%, *Skeletonema costatum*이 36%를 차지하여 海역間 차이가 있는 赤潮가 발생하였다. 李 等(1981)은 馬山灣에서 8월에 *Prorocentrum* spp.에 의한 赤潮를 보고하여 本 조사와 主體種과 같았다. Cho(1981)는 鎭東灣에서 8월 1~8일에 *Ceratium fusus*과 *Gymnodinium* sp., 14일에 *Gymnodinium* sp.와 *Nitzschia seriata*가 각각 優占種으로 赤潮를 發生시켰다고 하였다.

1981년 9월 : 4~8월보다 種數가 많은 45種類가 同定되었으며 硅藻類 31種類와

雙鞭毛藻類 14 種類였다. 정점별로 보면 정점 4의 11 種類에서 정점 7의 24 種類까지 變化幅이 있었으며 대체로 구조류의 數가 많았다. 전 정점에서 *Rhizosolenia fragilissima*, *Skeletonema costatum* 과 *Gymnodinium* '65 type이 출현하였으며 정점 3과 5~8에서는 이들 種에 의해 赤潮가 발생되었다. 즉 정점 3에서 *Rhizosolenia fragilissima* 와 *Skeletonema costatum* 이 $1.3 \sim 4.4 \times 10^6$ cell/ ℓ 로 현존량의 85%를 차지하였다. 行岩灣인 정점 5는 *Gymnodinium* '65 type과 *Skeletonema costatum*이 각각 2.4×10^6 cell/ ℓ , 1.0×10^6 cell/ ℓ 를 보였으며 馬山灣의 정점 6과 7에서도 G.'65 type, S. *costatum* 과 *Rhizosolenia fragilissima* 가 현존량의 90~92%를 차지하였다. 정점 8에서도 S. *costatum* 과 R. *fragilissima* 가 우점종이었다. 따라서 9월에 馬山·行岩灣에서는 주로 雙鞭毛藻類에 의해, 나머지 海域에서는 硅藻類에 의해 赤潮가 발생하였다. Yoo and Lee (1980)는 1974~1980년의 植物性플랑크톤群集의 月別變化에서 9월은 *Skeletonema costatum* 이었다고 하였으나 최근에는 生物組成이 많이 달라졌음을 보고 하였다(李等, 1980). 특히 李等(1981)은 이 海域에서 1979년 9월 *Cylindrotheca closterium* 과 *Gymnodinium* spp., 1980년 9월은 *Chaetoceros curvisetus* 와 *Gymnodinium* spp.가 優占種이라고 보고한 바 있다. Cho (1981)는 9월 5일에 *Gymnodinium* sp.와 9일에는 *Skeletonema costatum* 을 우점종을 보고하였다. 이와같이 鎭海灣의 9월 生物組成은 구조류에서 쌍편모조류로 점차 변화하고 있었다.

1981년 10월 : 9월과 마찬가지로 비교적 多樣하여 出現種數가 44 種類가 同定되었으며 구조류가 25종류 그리고 쌍편모조류가 19종류로 構成되었다. 정점별로는 14종류(정점 5)에서 21종류(정점 1, 6)이었다. 10월의 赤潮現象은 植物性플랑크톤 現存量으로 볼 때 그 어느때보다 심하였으나 대부분이 구조류에 의해서 나타났다. 즉 *Cylindrotheca closterium*, *Skeletonema costatum* 이 全 海域에서 主體種으로 출현하였으나 정점 5에서는 硅藻類의 *Chaetoceros compressus*, C. *debilis*, *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia fragilissima* 및 雙鞭毛藻類의 *Ceratium fusus*, *Peridinium minisculum* 이 混合되어 2.4×10^7 cell/ ℓ 의 대규모 적조가 발생되었다. 또한 정점 6~9에서도 *Peridinium minisculum*이 上記 硅藻類와 함께

6.9 ~ 11.8 × 10⁶ cell/ℓ의 규모가 큰 적조였다. 따라서 조사기간 중 最高値는 10월 정점 5에서 기록하였으며 그 다음으로는 9월 정점 6, 10월 정점 6 ~ 8에서 1.0 ~ 1.1 × 10⁷ cell/ℓ의 수준을 보였다.

1981년 11월 : 조사기간 중 出現種類가 最高値인 49種類가 同定되었으며 규조류 37종류와 쌍편모조류 12종류로 構成되어 있었다. 각 정점에서 비교적 多樣하게 출현하여 1980년의 11월과 비슷하였다. 특별한 주요 優占種은 없었고 赤潮 또한 발생하지 않았다. 정점 7에서 黑潮의 指標種(Karawada 1965)으로 알려져 있는 *Planktoniella sol*의 출현은 특기할만 하였다.

3) 現存量의 月別變化

1980년 10월 : 植物性플랑크톤現存量은 정점 6에서 최저 7,000 cell/ℓ로부터 정점 10의 35,830 cell/ℓ까지 변화가 있었으며 대체로 낮은편이었다(Fig.Ⅲ-3).

1980년 11월 : 10월보다 약 30배이상 높은 현존량을 보이고 있으며 정점 8과 9에서는 10⁶ cell/ℓ이 넘는 大發性이 있었다. 대부분이 硅藻類였으며 정점간 차이도 심하여 馬山灣에서 오히려 가장 낮은 현존량을 기록했다.

1981년 12월 : 11월에 최저치를 기록했던 정점 6에서 2.1 × 10⁶ cell/ℓ, 정점 7과 8에서 1.1 × 10⁶ cell/ℓ를 보며 저울질 大發生이 있었다. 정점 9에서는 3 × 10⁵ cell/ℓ로 가장 낮은 식물성플랑크톤 現存量이었으며 行岩灣인 정점 11과 12에서 각각 1.6 × 10⁶ cell/ℓ, 9 × 10⁵ cell/ℓ를 기록하였다. 따라서 정점 9는 11보다 현존량이 1/3로 감소한 반면 다른 정점은 모두 증가하였다. 12월 植物性플랑크톤 大發生은 飛風海域에서도 보고된 바 있다(許 等 1981).

1981년 1월 : 정점 5에서 1.3 × 10⁶ cell/ℓ을 보여 植物性플랑크톤 현존량의 最高値를 기록하였으며 나머지 정점에서는 12월보다 약간 낮은 0.4 ~ 0.8 × 10⁶ cell/ℓ을 보였다.

1981년 2월 : 정점 6과 7에서 식물성 플랑크톤 현존량은 각각 47,275 cell/ℓ, 62,494 cell/ℓ을 보였으나 나머지 정점에서는 1.6 ~ 2.4 × 10⁵ cell/ℓ로 정점간 차이가 명확하였다. 1980년 2월 조사에서는 정점 6과 7에서 현존량이 3.3 × 10⁶ cell/ℓ, 4.6 × 10⁶ cell/ℓ이었고 나머지 정점에서도 10⁶ cell/ℓ이상을 보여(李 等 1980) 본 조사

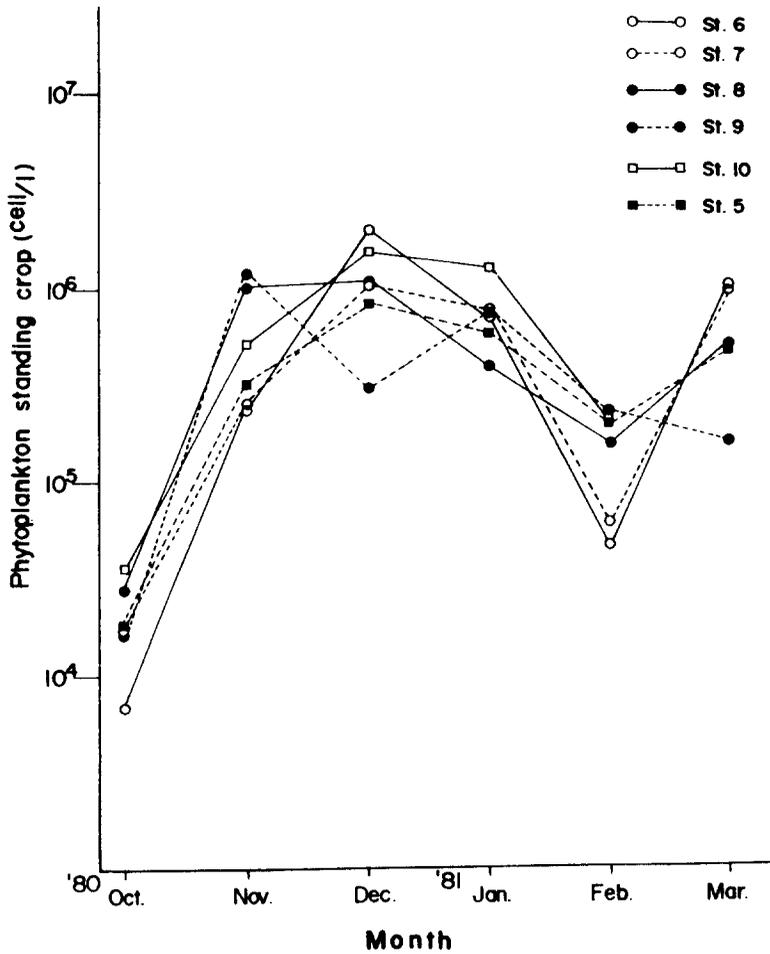


Fig. III-3. Monthly variations of phytoplankton standing crop in Jinhae Bay (Oct. 1980-Mar., 1981).

보다 훨씬 現存量이 많았다. 그러나 飛風海域에서는 $10^4 \sim 10^5$ cell/l로 본 조사 보다 낮은 값을 보였다(許等 1981).

1981년 3월 : 정점 9에서는 2월보다 植物性 플랑크톤 現存量이 약간 감소하였으나 다른 정점에서는 증가하여 정점 6과 7에서 평균 1.04×10^6 cell/l, 정점 5와 8에서 평균 5.3×10^5 cell/l 을 기록하였다.

1981년 4월 : 4월부터는 調査定點을 鎮東灣의 4個定點을 선정하였고 나머지 정점은 1980년 10월부터 계속하였다.

전 정점에서 現存量은 鎮東海域이 가장 낮아 정점 1에서 최저 7,350 cell/l 이었으며 馬山灣의 정점 6에서 최고 106,200 cell/l 를 기록하였다. 정점간 변화폭은 그리 크지 않았으며 4월 이후(5~11월)와 비교하여서 비교적 낮은 달이었다(Fig. III-4).

1981년 5월 : 정점 1~4에서 植物性플랑크톤 現存量이 15,533 ~ 60,720 cell/l 의 범위였고 정점 6과 7에서는 $3.3 \sim 4.3 \times 10^6$ cell/l 으로 赤潮가 발생되었다. 정점 5에서는 1.8×10^5 cell/l, 정점 8과 9에서 각각 48,510 cell/l, 98,633 cell/l 을 기록하여 馬山灣에서 제일 높은 現存量을 보였다.

1981년 6월 : 정점 1~4에서 14,465 ~ 21,485 cell/l 의 낮은 現存量을 보인 반면

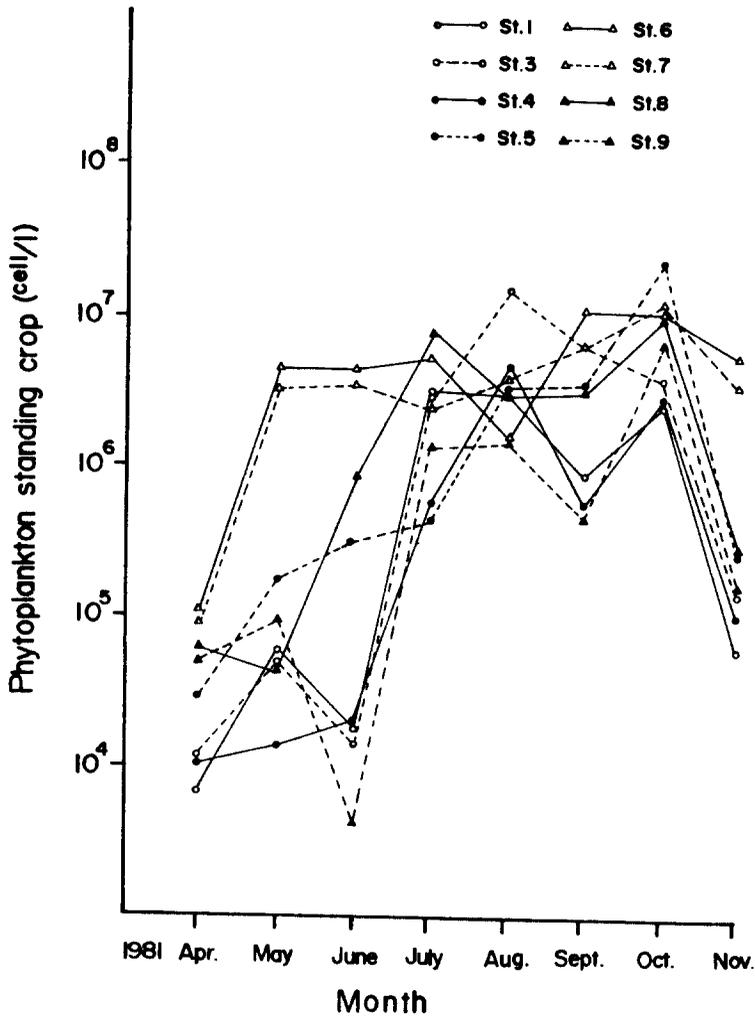


Fig. III-4. Monthly variations of phytoplankton standing crop in Jinhae Bay (Apr.-Nov., 1981).

정점 6과 7에서는 $3.2 \sim 4.4 \times 10^6$ cell/l로서 그 樣相이 5월과 거의 유사하였다. 정점 5에서는 5월의 2배인 3.2×10^5 cell/l이었고 馬山灣의 入口인 정점 8에서는 8.7×10^5 cell/l을 보여 馬山灣의 영향을 크게 받는 것으로 보인다. 정점 9에서는 가장 낮은 $4,390$ cell/l이었다.

1981년 7월 : 정정

1~3과 정점 6~8에서 대단히 높은 植物性 플랑크톤의 현존량을 기록하였으며 그 범위는 각각 $3.0 \sim 3.7 \times 10^6$

cell/l 과 $2.4 \sim 7.7 \times 10^6$

cell/l을 보여 赤潮狀態가 심각하였다. 반면 정점 4~5, 9의 현존량은 $1.2 \sim 5.9 \times 10^6$ cell/l이었다. 1980년 7월의 조사 결과(李等 1980)보다 1981년 7월의 현존량이 현저히 증가하였다.

1981년 8월 : 전 해역에서 植物性 플랑크톤 現存량이 7월보다 훨씬 더 높았으며 최저 2.0×10^6 cell/l(정점 9)에서 최고 1.53×10^7 cell/l(정점 3)까지 變化幅이 컸다. 특히 정점 1~4가 위치한 鎭東灣에서 馬山灣의 정점 6~7보다 現存量

은 3배, 行岩灣의 정점 5의 2.5배정도 높았다. 이는 1980년 조사와 分布樣相이 매우 다른 것이다(李 等 1980).

1981년 9월 : 9월에는 8월보다 植物性 플랑크톤 現存量이 적지만 全海域에서 赤潮가 발생하였으며 그 범위는 474,000~10,259,262 cell/ℓ이었다. 정점별로 보면 정점 2, 3에서 현존량이 $3.6 \sim 6.7 \times 10^6$ cell/ℓ, 정점 5에서 3.7×10^6 cell/ℓ, 정점 6에서는 최고치 10.3×10^6 cell/ℓ을 기록하였다. 또한 정점 7과 8에서 현존량이 각각 6.8×10^6 cell/ℓ, 3.2×10^6 cell/ℓ을 각각 보였다. 硅藻類와 雙鞭毛藻類의 現存量 비율을 보면 정점 3~4와 8~9에서 구조류가 95%이상이었으며 나머지 정점에서도 대체로 구조류가 우세하였다. 1980년 보고(李 等 1980)와 비교하면 대체로 現存量이 비슷하였고 硅藻類 및 雙鞭毛藻類의 비율도 유사하였다.

1981년 10월 : 전 海域에서 硅藻類에 의한 赤潮가 심하였다. 植物性 플랑크톤의 현존량은 정점 1에서 最底 2.6×10^6 cell/ℓ에서 最高는 정점 5에서 2.4×10^7 cell/ℓ을 보였다. 해역별로 보면 마산만에 위치한 정점 6~8에서 현존량이 모두 $1.0 \sim 1.1 \times 10^7$ cell/ℓ로 나타났으며 가장 外海인 정점 9에서도 6.9×10^6 cell/ℓ이었다. 특히 鎭東灣의 경우 $2.6 \sim 3.7 \times 10^6$ cell을 기록하여 7~9월과 함께 계속적으로 赤潮가 발생되었다. 그러나 1980년 10월에 馬山·行岩灣에서 7,000~35,830 cell/ℓ의 현존량을 보여 큰 대조를 이루었다.

1981년 11월 : 전 해역의 植物性플랑크톤現存量의 分布는 89,694 cell/ℓ(정점 2) ~ 556,628 cell/ℓ(정점 6)의 범위로서 赤潮가 심각하던 5월~10월에 비해 植物性플랑크톤의 現存量이 적어지고 있었다.

4) *Nocitiluca miliaris*의 年中 動態

1980년 10월에는 6개 정점 모두 적은 個體數를 보였으며 그 범위는 979 ~ 6,312 個體數/ m^3 으로 평균 3,615 個體數/ m^3 이었다. 1980년 11월 정점 9에서는 10월과 비슷한 수치를 보였으나 나머지 정점에서는 個體數가 증가하였다. 특히 정점 5에서는 10월의 100배에 달하는 265,966 個體數/ m^3 이었다. 1980년 12월과 1981년 1월에도 증가하던 個體數가 2월에는 馬山灣의 정점 6과 7에서 417,972 個體數/ m^3 , 236,604 個體數/ m^3 을 각각 보여 서울천에 增殖이 되고 있었다. 또 정점 8과 10에서는 증

가하였으나 정점 5와 9에서는 반대로 감소하여 海域 전체의 통일된 樣相은 찾기 힘들었다. 3월 정점 10의 시료가 파손된 관계로 알 수 없었으나 다른 정점에서는 $4.2 \sim 14.1 \times 10^5$ 個體數/ m^3 로 증식되어서 봄철 赤潮로 나타났다.

1981년 4월부터 11월까지 鎭海灣 全域에 걸쳐 매월 조사된 *Noctiluca miliaris*의 月別 變化 樣相은 鎭東灣에 위치한 정점 1~4, 行岩灣의 정점 5 그리고 馬山灣의 정점 6~8은 같은 경향으로 변화하고 있었다(Fig. III-4). 4월에는 정점 1~4에서 *N. miliaris*가 27,212~280,113 個體數/ m^3 를 보였고, 정점 5~9에서는 405,729~637,219 個體數/ m^3 의 범위로서 평균 512,824 個體數/ m^3 였다. 5월에는 정점 5에서 9까지는 4월보다 감소하고 있는 반면 정점 1~4에서는 오히려 증가하고 있어 좋은 대조를 이루었다. 李 等(1980) 보고에 따르면 鎭海灣에서 1980년 4~5월에 *Noctiluca miliaris* 평균 26,639 個體數/ m^3 를 기록한 바 있어 本 조사결과보다 훨씬 낮은 값을 보였다. 6월에는 정점 6을 제외한 전 정점에서 月平均 최저치에 가까운 수치를 보였다. 馬山灣의 정점 6에서는 218,254 個體數/ m^3 로 다른 정점보다 평균 25배가량 높았다. 1980년 6월 정점 6과 7에서도 *Noctiluca miliaris*가 전혀 出現하지 않았다(李 等 1980). 7월과 8월은 이 種이 계속 증가하고 있었다. 즉 7월에는 10^4 個體數/ m^3 , 8월에는 정점 1~3에서 10^4 個體數/ m^3 , 정점 4~9는 $1.4 \sim 3.6 \times 10^5$ 個體數/ m^3 였다. 9월에는 정점 1, 3, 6에서 299,593 個體數/ m^3 , 200,192 個體數/ m^3 , 588,931 個體數/ m^3 를 각각 보여 8월보다 더 증가하였으나 정점 4~5, 정점 7~9에서는 현저하게 감소하여 2,247 個體數/ m^3 (정점 9)에서 94,616 個體數/ m^3 (정점 7)까지 8월의 1/2~1/30 정도였다. 10월과 11월의 *Noctiluca miliaris* 個體數는 특기할 만한 것이 없었다.

이상과 같이 *Noctiluca miliaris*의 月別動態를 볼 때 3월부터 赤潮를 유발시키기 시작하여 4월에 絶頂을 이루었으며 5월~6월의 赤潮時는 이보다 낮은 個體數였으며 植物性플랑크톤과 함께 複合的인 赤潮였다. 7월부터 9월초순까지 雙鞭毛藻類에 의해 赤潮가 발생되었을 때 *Noctiluca miliaris*도 많은 數가 出現하여 混性赤潮였다. 특히 9월하순부터 10월중순까지 矽藻類에 의한 심한 赤潮가 발생되었을 때 오히려 *Noctiluca miliaris*는 줄어드는 경향이 있었다.

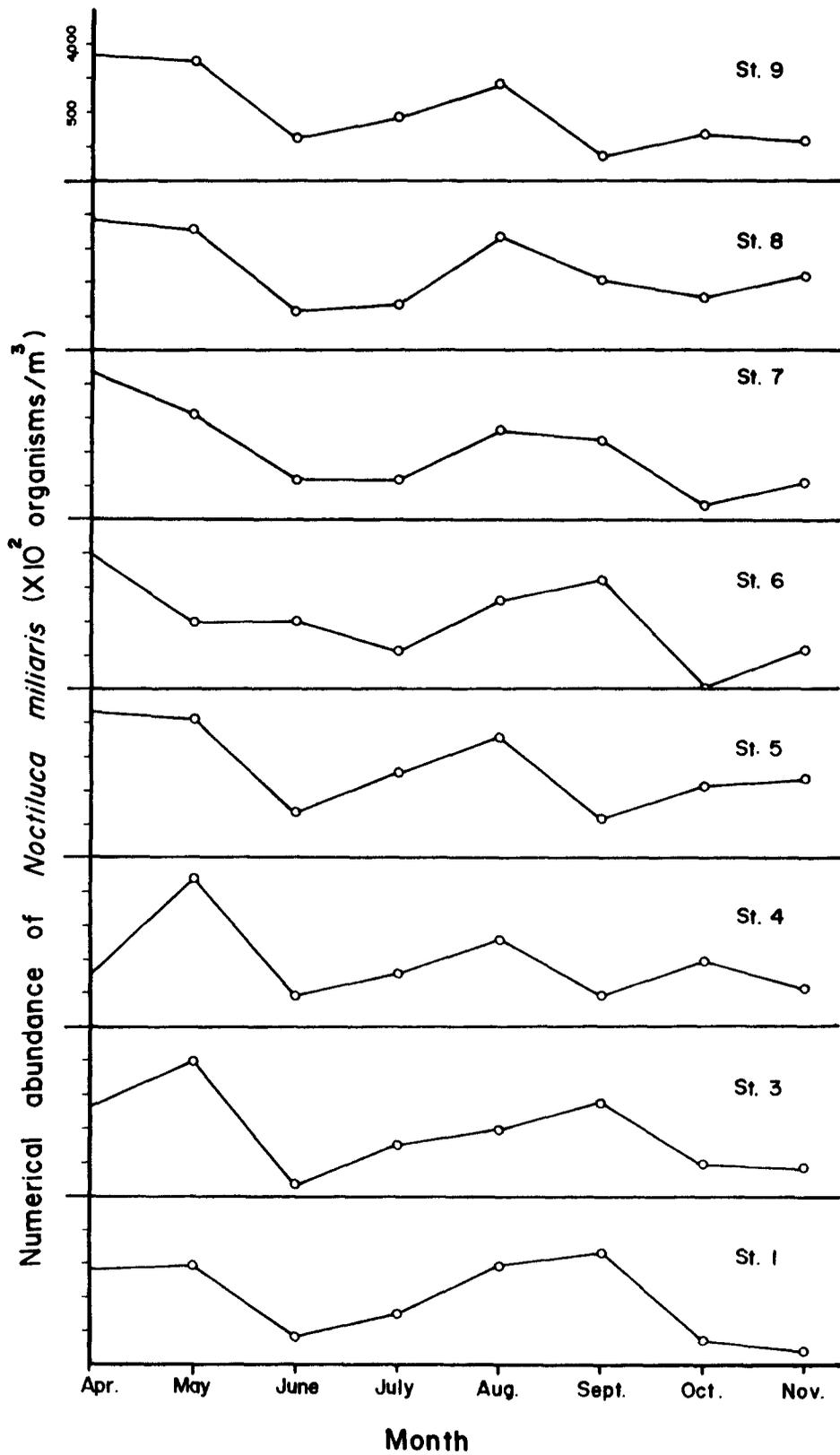


Fig. III-5. Monthly fluctuations of *Noctiluca miliaris* organisms in Jinhae Bay (Apr. ~ Nov., 1981).

5) 水深別 水溫과 植物性플랑크톤現存量의 變化

1980년 10월부터 1981년 1월까지 정점 7에서水深 5 m 간격으로 水溫 및 植物性플랑크톤現存量의 月別·水深別 變化는 多樣 하였다(Fig. III - 6). 10월은 水溫이 最高 17.2°C(표층)에서 最低 16.9°C(25 m)까지 비교적 變化가 없었으며 植物性플랑크톤現存量도 $2 \sim 3 \times 10^4$ cell/ℓ로 매우 均一한 分布를 하고 있었다. 本 조사 시간은 10월 14일 16時 45分 이었고 滿潮는 17時 03分 이었다. 11월 水溫은 12.0 ~ 12.3°C로 水深別 變化樣相이 均一하였으나 植物性플랑크톤現存量은 10 ~ 20 m 層에서 $2 \sim 5 \times 10^6$ cell/ℓ의 높은 數值를 보였다. 조사시간은 11월 19일 17時 였으며 滿潮時間은 18時 38分 이었다. 1980년 12월과 1981년 1월은 植物性플랑크톤現存量 分布樣相이 비슷하여 12월에 10^6 cell/ℓ 내외, 1월에 $4 \sim 7 \times 10^5$ cell / ℓ를 보였으며 水溫은 層別로 均一하였다. 12월에는 27일 11時 50분에 조사하였으며 滿潮時는 12時 27分 이었고, 1월에는 15일 14時 45분에 조사하였고 滿潮時間은 16時 28分이었다. 本 研究者들의 오랜 경험으로 定點 7에서 滿潮時에 植物性플랑크톤現存量이 높아지는 것으로 생각되었기 때문에 가급적 이 시간에 맞추려 하였다. 그러나 本 조사가 1981년의 日週觀測을 목적으로 예비조사였던 점을 감안하면 表層에서의 植物性플랑크톤 變化가 오히려 중요하게 생각되었다.

6) 植物性플랑크톤의 日週變化(diurnal variations)

1981년 4월 9일

06時 부터 18時 까지 2시간 간격으로 정점 7에서 物理·化學的 環境要因과 더불어 植物性플랑크톤을 조사하였다. 植物性플랑크톤現存量의 시간별 變化를 보면 海流의 流動과 관계가 깊어 滿潮(12時)때 최대치 84,193 cell/ℓ를 보였고 汗潮(17時 30分)때 최소치 49,652 cell/ℓ를 보였으나 變化幅은 심하지 않았다. 시간별로 규조류가 쌍편모조류보다 2~7배 가량 우세하게 出現했으며 *Noctiluca miliaris*의 現存量은 현저하였다. *N. miliaris*의 變化를 보면 06時에 244,780 個體數/m³에서 滿潮인 12時에 1,624,654 개체수/m³로 최대치를 보였으며 이후 점차 감소하여 16時에는 838,428 개체수/m³ 이었다. 이때의 物理·化學的 環境要因을 보면 水溫이 10.2 ~ 11.0°C, pH가 8.2 ~ 8.4의 범위였다. 安達(1972)은 18.7 ~ 19.6°C일때 *N. miliaris*가 赤潮를 發生시켰다고

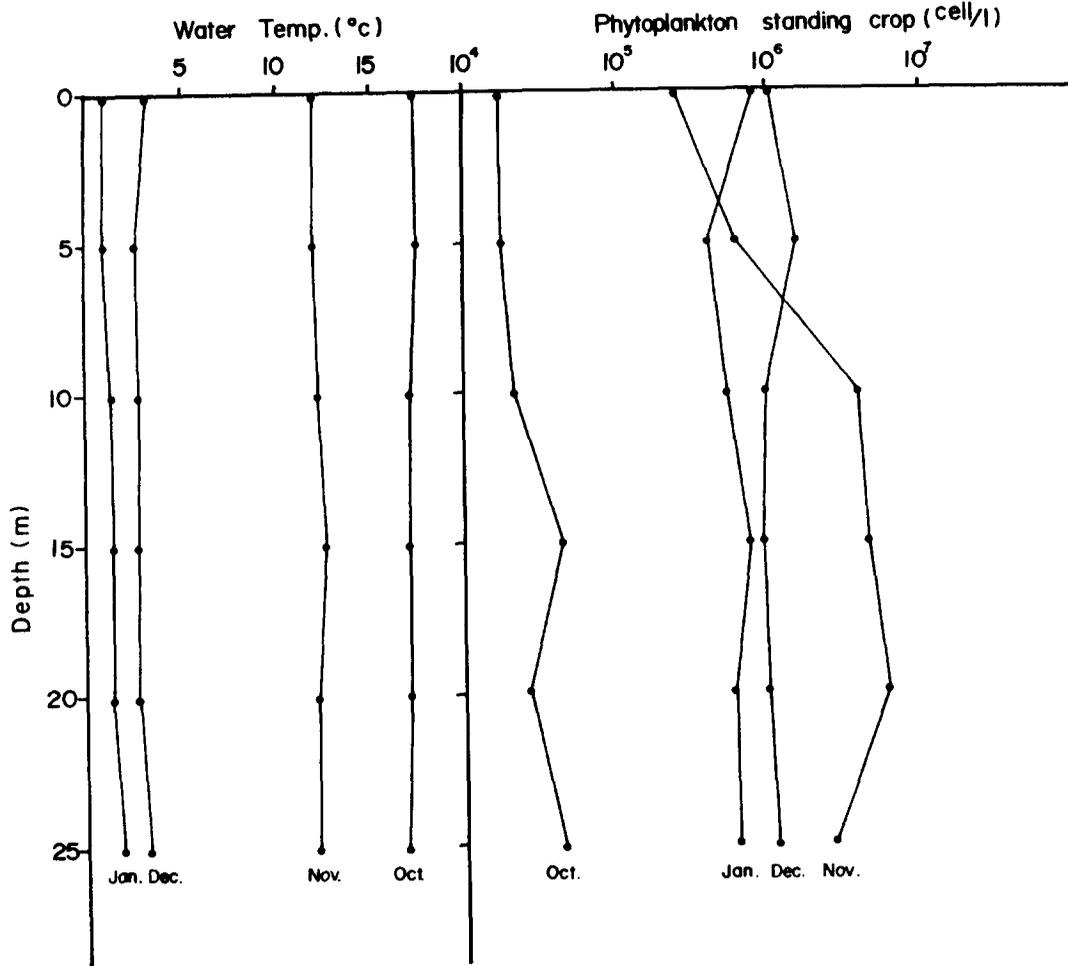


Fig. III-6. Vertical distribution of water temperature and phytoplankton standing crop at station 7 in Jinhae Bay (Oct., 1980-Jun., 1981).

하여 본 조사시보다 약 8°C 가량 높았다. COD는 14시에 $2.89\text{ mg}/\ell$ 로 최대치였으며 08시에 $1.78\text{ mg}/\ell$ 로 최소치였다. 식물성플랑크톤 현존량은 12시에 최대치였으나 Chlorophyll *a*의 함량은 13시에 $10.30\text{ }\mu\text{g}/\ell$ 로 최대치를 보여 밀접한 관계를 보였다.

1981년 6월 7일~6월 8일

6월 7일 14시부터 6월 8일 12시까지 2시간 간격으로 조사하였으며 이때의 만조는 6월 7일 12시 20분, 6월 8일에는 00시 50분과 13시 11분이었다. 시간별 식물성플랑크톤현존량의 변화는 해류 이동과 관계가 깊어 만조시간에 대체로 높았으며 하조시간에 낮았다(Fig. III-7). 6월 7일 14시에 식물성플랑크톤현존량은

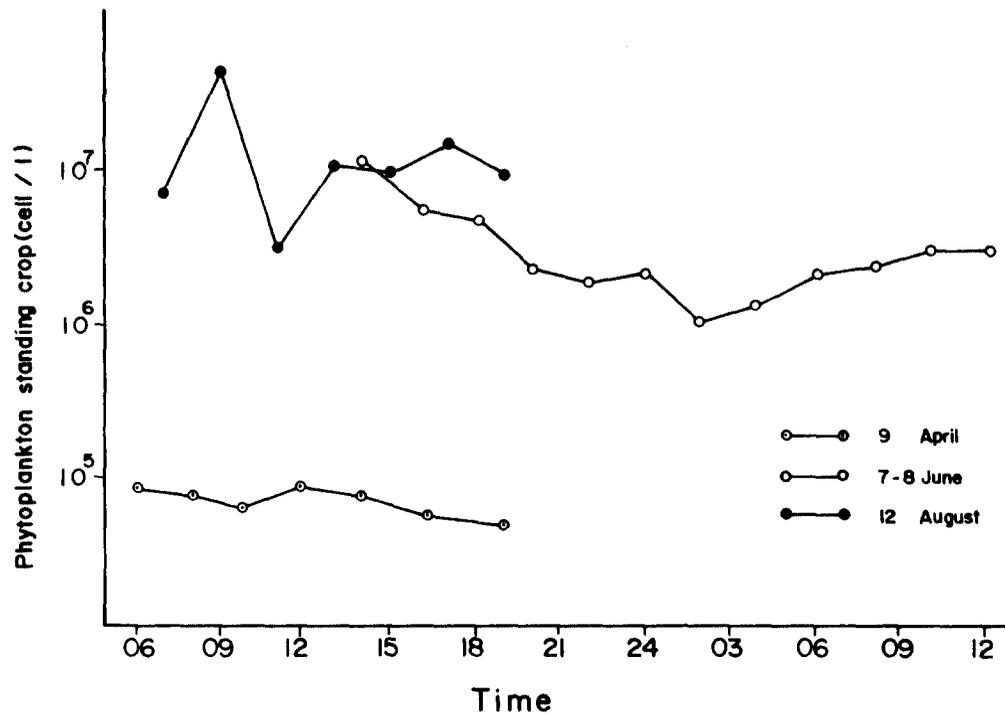


Fig. III-7. Diurnal variations of phytoplankton standing crop of station 7 in Jinhae Bay (Apr., June, Aug., 1981).

최고치 1.1×10^7 cell/l이었으며 시간이 지나면서 점차 감소하여 야간에는 $1 \sim 2 \times 10^6$ cell/l을 유지하였다. 6월 8일日出時인 06時~08時에는 $2.1 \sim 2.4 \times 10^6$ cell/l이었으며 10時~12時에 점차 증가하여 3.0×10^6 cell/l을 기록하였다. Chlorophyll *a*의 값도 이와같은 경향을 보여 7일 14時에 $23.97 \mu\text{g/l}$ 으로 最高値를 기록하였으며 日沒時間인 21時까지 계속 감소하였다. 밤사이에는 $5.5 \sim 8.3 \mu\text{g/l}$ 을 유지하다 8일日出과 함께 $9.6 \mu\text{g/l}$ (06時)에서 $14.23 \mu\text{g/l}$ (13時)로 증가하다가 14時에는 $23.40 \mu\text{g/l}$ 로 높은 함량을 보였다. 이것 역시 海流의 流動 및 植物性플랑크톤현존량과 변화 양상이 비슷하였다. 시간에 따라 水溫의 변화는 크게 없는 것으로 조사되었으며 특히 鹽分度의 變化 樣相은 生物學的 변화와 유사하였다. 즉 鹽分度는 滿潮때 높았고 汗潮때 낮았다. 이것은 滿潮時 外海의 流入에 따라 鹽分度가 높아지고 汗潮때 馬山灣內의 각종 陸水流入源으로 인한 低鹽性이 되는 것으로 생각

된다(物理編 參照). *Noctiluca miliaris*의 변화를 보면 8日 日出時間인 06時에 최고치 143,505 個體數/ m^3 를 보였고 7日 植物性플랑크톤現存량 및 Chlorophyll *a*의 함량이 높던 14時에 최저치 1,194 個體數/ m^3 를 보여 4월 9일의 결과와 좋은 대조를 이루었다.

1981년 8월 12일

07時부터 19時까지 2시간 간격으로 7회에 걸쳐 조사하였으며 06時 7분과 19時 04분에 滿潮였고 12時 23분에 汗潮였다. 水溫의 변화는 특별한 樣相이 없었고 鹽分度는 4월이나 6월과 마찬가지로 汗潮인 12時경에 27.72‰로 가장 낮았고 滿潮인 19時에 30.41‰를 보여 최대치였다. Chlorophyll *a*의 변화는 07時~08時에 140.10~181.79 $\mu g/\ell$, 17時~18時에 112.8~121.84 $\mu g/\ell$ 의 分布를 보였으며 10時에 13.48 mg/ℓ 의 낮은 값을 보였다. 이같은 변화양상은 pH와 그 경향이 유사하여 17時~19時에 pH가 8.8~9.1을 보였다. 특히 赤潮가 극심했던 8월에는 COD의 함량이 높았으며 12일에는 4.05~11.62 mg/ℓ 의 分布로 거의 廢水域에 가까운 海역이었다(吉田 1973).

植物性플랑크톤現存량의 시간별 消長關係는 Fig. III - 7에서 보듯이 09時에 4.4×10^7 cell/ ℓ 로 最大値를 보였으며 13時와 17時에 각각 1.7×10^7 cell/ ℓ , 1.5×10^7 cell/ ℓ 로 높은 現存량을 보였다. 또한 15時와 19時에도 9×10^6 cell/ ℓ 정도로 높아 12일은 내내 赤潮現象이 심하였다. 단지 간조때인 11時에 3×10^6 cell/ ℓ 로서 가장 낮은 植物性플랑크톤現存량을 보여 이 역시 海流의 流動과 관계가 있었다. 物理·化學的 環境요인과 植物性플랑크톤現存량과의 관계는 鹽分度, pH, COD가 대체로 같은경향으로 변화하고 있었으며 基礎生産力은 주로 植物性플랑크톤에 의해 유도되고 있었다.

7) 赤潮發生時 海역間 比較

赤潮가 발생했던 1981년 4월부터 10월까지 鎭海灣을 4個의 海역으로 나누고 吉田(1973)의 富營養化 基準値와 비교하였다(Table III - 2). 본 조사기간 중 모든 海역이 이 기준치보다 대체로 상회하고 있어 過營養化 海역이었다. 특히 馬山灣은 다른 海역에 비해 汚染정도가 심하여 廢水域임을 짐작케 해준다. 鹽分度の 變化를 보

Table III-2. Characteristics of seawater in Jinhae Bay (Apr. 1981 - Nov. 1981).

areas Parameters	Eutrophic Seawater	Jindong (st. 1-4)	Haengam (st. 5)	Masan (st. 6-8)	Control (st. 9)
Salinity (%)		29.83	30.26	28.57	30.33
Dissolved Oxygen (mg/l)		9.08	10.24	10.97	8.55
pH		8.39	8.36	8.46	8.33
Transparency (m)	3-10	4.3	2.5	1.4	3.6
C.O.D (mg/l)	1-3	3.18	3.21	4.88	2.76
Si(OH) ₄ (μg-Si/l)		611.07	549.88	771.38	574.63
No ₃ - N (μg-N/l)	24-140 ^a	28.23	64.12	364.50	49.12
PO ₄ - P (μg-P/l)	30-100 ^b	17.49	33.73	29.51	15.89
Chlorophyll -a	1-10	18.78	7.20	89.00	7.51
Diatom (cell/l)	10 ³ -10 ⁶	1.1 x 10 ⁶	3.7 x 10 ⁶	2.8 x 10 ⁶	1.2 x 10 ⁶
Dinoflagellate (cell/l)	10 ³ -10 ⁶	1.2 x 10 ⁶	0.9 x 10 ⁶	1.7 x 10 ⁶	0.4 x 10 ⁶

a: inorganic N

b: Total P

면 馬山灣에서 가장 낮아 28.57%를 보였다. 溶存酸素량은 馬山灣이 제일 높았으며 이는 왕성한 光合成에 의한 것으로 생각되고 pH가 높은 것 역시 마찬가지로 생각된다. 透明度는 1980년의 조사(李等 1981)와 비교할 때 약간 낮아서 植物性플랑크톤을 포함한 浮遊物質이 많아 濁도가 높았던 것으로 생각된다. 해역별 년 중 변화를 보면 정점 1~4에서 4.5 m, 정점 5에서 2.5 m 그리고 馬山灣인 정점 6~8에서 1.5 m를 보였다. C.O.D.는 富營養化 海域에서 1~3 mg/l이나 본 조사 해역에서는 이보다 높은 수치를 보였다. 즉 馬山灣이 4.88 mg/l, 行岩灣에서 3.21 mg/l 그리고 鎮東灣에서 3.18 mg/l였으며 비교적 外海인 정점 9에서 2.76 mg/l 을 보이 가장 낮았다. 이와 같은 C.O.D.의 分布變化로 보면 진 海역이 廢水域化

되어 가고 있으며 특히 馬山灣은 정도가 심했다. 營養鹽類(Si(OH)_4 , $\text{NO}_3 - \text{N}$, $\text{PO}_4 - \text{P}$ 등)의 變化樣相은 1980年의 조사(李 等 1981)와 유사하였으며 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 의 경우 馬山灣은 鎮東灣보다 100 배이상 높았다. $\text{PO}_4 - \text{P}$ 의 分布는 정점 5에서 $33.73 \mu\text{g} - \text{P}/\ell$ 로서 가장 높았으며 정점 1~4와 정점 9에서 각각 $17.49 \mu\text{g} - \text{P}/\ell$, $15.89 \mu\text{g} - \text{P}/\ell$ 으로 비슷한 수치를 보였고 정점 6~8에서는 $29.51 \mu\text{g} - \text{P}/\ell$ 이었다. 앞에서 본 바와 같이 Chlorophyll α 는 정점 5와 9에서 비슷한 數值를 보였으며 赤潮가 이른 봄철부터 발생했던 정점 6~8에서는 이들 정점보다 약 12배($89.00 \text{mg}/\ell$)나 높았고 정점 1~4에서는 약 2.5배($18.78 \text{mg}/\ell$)가량 높았다. 이와 같은 傾向은 植物性플랑크톤現存量의 變化와 관계가 있으며 특히 雙鞭毛藻類에 의해 基礎生産이 이루어지고 있었다. 또한 矽藻類 및 雙鞭毛藻類의 分布量도 富營養化 基準值(吉田 1973)보다 진부 높아 過營養化域으로 진행된다고 할 수 있다.

各 海域의 月別 赤潮狀態를 보면 Fig. III 8과 같다. 즉 5~6월에는 馬山灣內에서 赤潮가 發生하고 있으나 7월부터는 擴散되어 全海域으로 進行되고 있었다.

8) 赤潮와 鹽分度の 關係

鹽分도와 赤潮와의 關係는 柳田(1976)가 지적한 것처럼 多量 降雨후에 鹽分도가 낮을때 赤潮發生이 이루어진다는 점과 Cho(1981)의 鎮東灣 赤潮의 原因中에 하나를 降雨라고 한것도 鹽分도가 주요 요인이라고 생각된다. 또한 赤潮發生要因에는 무엇보다 水溫, 鹽分도가 중요하며 기타 營養鹽類, 重金屬 및 海流의 流動등이 중요하다고 지적한 바 있다(李 等 1980). 특히 Rounsefell과 Neslon(1966)은 赤潮發生條件을 포괄적으로 잘 지적한 바 있다.

본 조사기간 중에 赤潮는 3월부터 *Noctiluca miliaris*에 의해 시작되어 4월에 본격적으로 규모가 커졌다. 이때의 鹽分도는 33.16% (馬山灣 表·底層 平均値)로 植物性플랑크톤에 의한 赤潮일때보다 1~15% 가량 높았다(Fig. III - 9). 5월은 정점 6과 7에서 鹽分度 32.26~32.74%의 범위일 때 赤潮가 발생하였으며 主體種은 *Gymnodinium splendens*였다. 6월 역시 32.42~32.70%의 범위에서 *Prorocentrum minimum*이 赤潮를 일으켰다. 7월은 정점 4, 5를 제외하고 全 海域에서 赤潮가 발

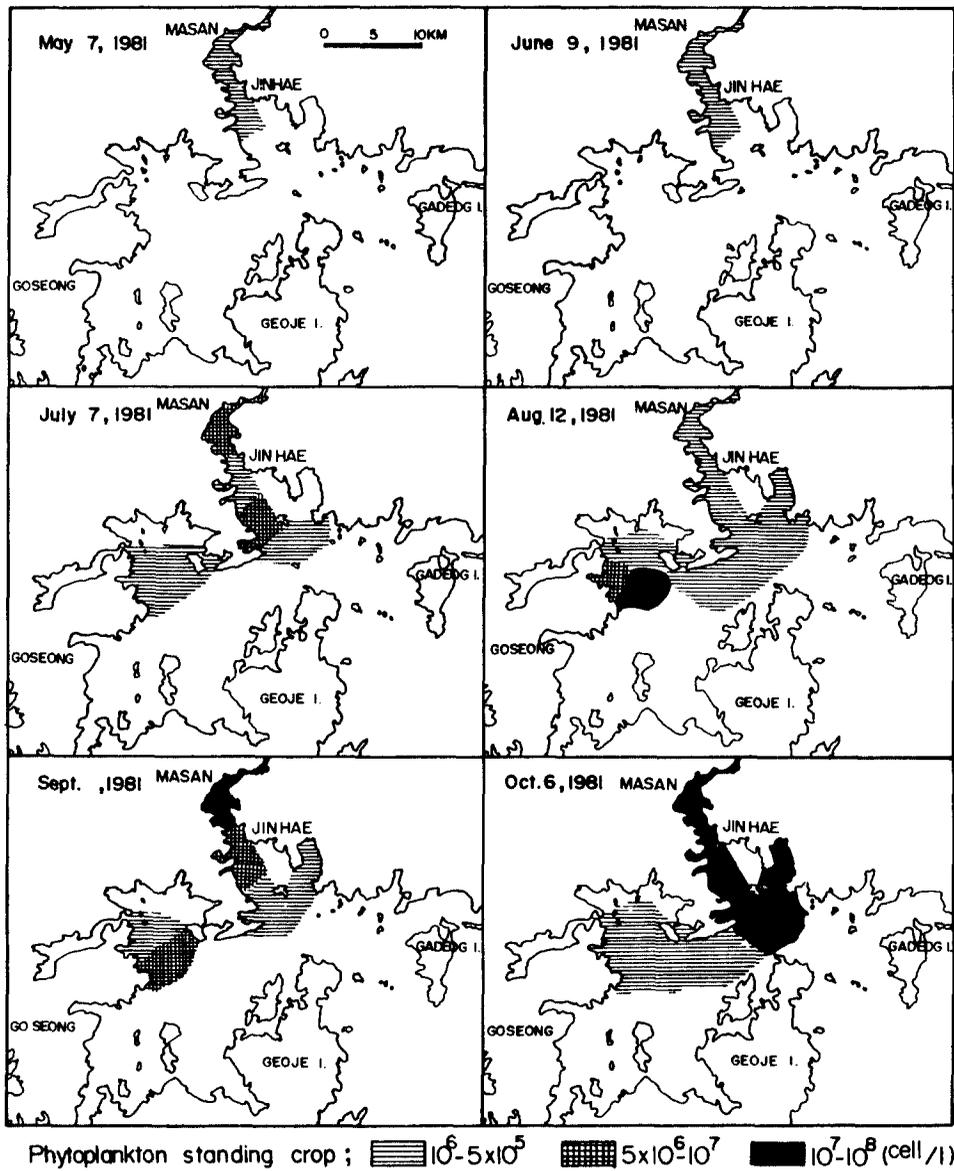


Fig. III-8. Occurrence of red tides in Jinhae Bay (May ~ Oct., 1981).

생되어 5, 6월보다 확대되었으며 鹽分度의 범위는 18.15 ~ 31.09%까지 넓은 分布를 보이고 있었다. 즉 정점 1, 3, 8, 9에서 鹽分度는 28.06 ~ 31.09%의 범위였으며 이때의 赤潮主體生物은 *Gymnodinium* '65 type이었고 정점 6과 7에서는 鹽分度도 18.15 ~ 20.82%일때 *Prorocentrum micans* 및 *P. minimum* 이 赤潮를 發

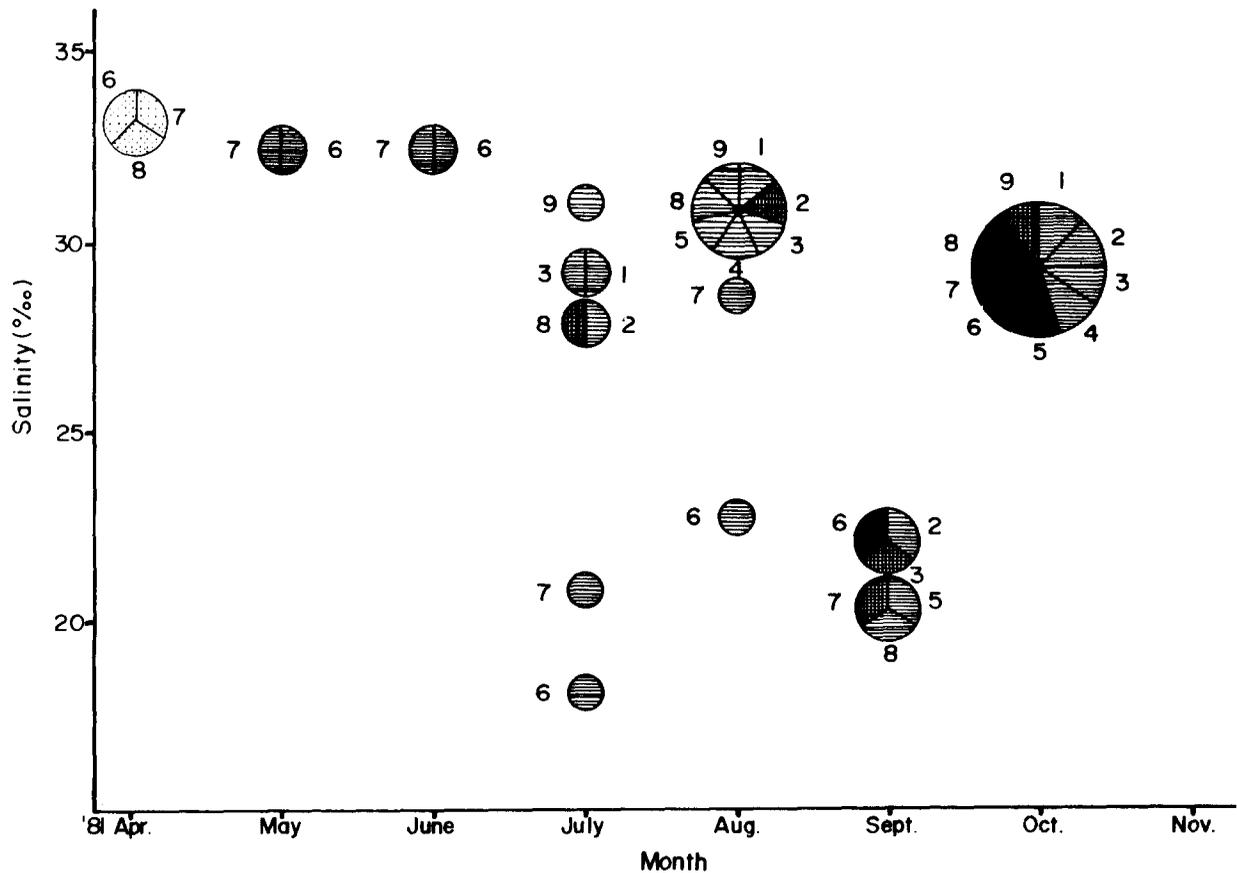


Fig. III-9. The relationship of red tide organisms to salinity in Jinhae Bay (Apr.-Nov., 1981).

생시켰다. 李 等(1981)의 보고에 의하면 1980년 7월 정점 6과 7에서 22.98~23.08‰일때 *Prorocentrum micans*, *P. minimum* 및 *P. triestinum*이 심한 赤潮를 유발시켰다고 하였다. 따라서 低鹽分度에서 *Prorocentrum* spp.는 異常增殖이 되고 있으나 上述한 6월 赤潮의 경우 *Prorocentrum minimum*은 32.56‰에서도 發生하였다. 8월의 赤潮에서도 볼 수 있듯이 정점 6의 鹽分度는 22.72‰였고 主體生物은 *Prorocentrum micans*였다. 정점 1~5와 8~9는 *Gymnodinium* '65 type으로 鹽分度는 각각 30.16~31.29‰와 31.02~31.27‰로서 7월과 마찬가지로 狹鹽條件에서 赤潮가 발생되고 있다. 9월의 경우는 정점 2, 3, 5~8에서 鹽分濃度는 20.12~22.13‰였으며 이때 主體生物은 *Rhizosolenia fragilissima*, *Skeletonema costatum* 및 *Gymnodinium* '65 type였다. 조사기간중 惡性 赤潮가 있었던 10월에는 鹽分度가 28.42~30.55‰였으며 주로 硅藻類에 의해 적

조가 發生되었다. 이 때에 複合種에 의해 發生되었기 때문에 어느 特定種의 鹽分度 限界를 규정하기는 어려웠다. 李 等(1981)은 전 植物性플랑크톤現存量の 生長에 C.O.D, 鹽分度 및 營養鹽類 등이 중요한 要因이라고 하였다.

9) 赤潮에 의한 水産生物의 피해

赤潮發生에 따른 水産生物의 피해는 直接·間接으로 인간에게 영향을 미친다. 본 조사해역은 赤潮多發地域으로 봄철부터 가을철까지 發生하고 있으며 각종 魚貝類의 폐사는 水産業活動에 막대한 阻害를 초래하고 있다.

汚染海域에서는 油類汚染, 大氣公害, 都市下水 및 工場廢水에 의한 重金屬 및 각종 營養鹽類의 과다유입으로 인해 植物性플랑크톤의 異常成長促進은 赤潮發生을 유도하며 그로 인해 動物·植物플랑크톤의 호흡에 의한 산소소비, 魚貝類의 대사촉진에 따른 상대적 산소부족, 赤潮生物이 사멸한 후에 有機物 分解에 의한 산소소비, 수중 탄소증가에 따른 호흡저해, 赤潮生物이 아가미에 부착되어 나타나는 魚貝類의 호흡저해, 저산소 水塊形成時 도피력 부족으로 많은 水産生物이 窒息死하고 있으며 特定赤潮生物種의 毒素分泌, 赤潮生物의 사멸후에 腐敗性毒素의 生成 및 細菌繁殖에 의한 水産生物의 中毒死 등은 피해의 主要원인으로 설명된다(柳田 1976).

본 조사기간동안 발생했던 赤潮는 夜光虫, 硅藻類 및 雙鞭毛藻類에 의했으며 主體種은 *Noctiluca miliaris*, *Chaetoceros debilis*, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia pungens*, *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, *Ceratium fusus*, *Gymnodinium splendens*, G. '65 type, *Peridinium miniscutum*, *Prorocentrum micans*, *P. minimum* 이었다. 被害狀況은 4월 *Noctiluca miliaris*에 의한 赤潮일때 정점 7근처의 홍합 양식장에서 대량으로 폐사되었으며, 5월~6월에는 적갈색의 적조가 발생되었으나 그 정도는 심하지 않아 특별한 水産生物被害는 알수 없었다. 7월중순부터 9월초순까지 대형 惡性赤潮가 발생하여 약 17억 상당의 피해가 있었다. 7월에 *Gymnodinium* '65 type에 의한 赤潮가 鎭東灣(정점 1~4)에서 발생하여 굴, 꼬막, 홍합이 폐사되었으며 馬山灣(정점 6~8)에서는 *Prorocentrum micans*, *P. minimum* 및 *Gymnodinium* '65 type에 적조로 홍합등이 폐

사되었다. 本 조사시기는 7월 7일~10일이었으며 Cho(1981)의 시기는 7월말이었던 점으로 미루어 鎭海灣 전 해역에서 7월내내 惡性赤潮가 지속된 것으로 기록되었다. 또한 Cho(1981)의 8월초 조사와 本 조사의 8월 10일부터 15일까지로 장기간 赤潮가 지속되었으며 主體種은 7월과 마찬가지로 정점 1, 4~5, 8~9에서는 *Gymnodinium* '65 type, 정점 6에서는 *Prorocentrum micans*와 *Skeletonema costatum*에 의한 赤潮였다. 이렇게 赤潮가 장기간 지속됨에 따라 被害水産生物도 확대되어 魚類, 貝類, 甲殼類에 이르기까지 多樣하였다. 이와 같은 赤潮는 9월까지 계속되었으며 7월, 8월의 主體種은 *Gymnodinium* '65 type과 다수의 硅藻類에 의해 지속되었다. 李 等(1981)이 지적한 바 있는 人爲的인 赤潮와 自然的인 赤潮의 구분에서 볼 수 있듯이 10월에는 주로 인위적인 적조로 규조류에 의해 발생되었으며 養殖生物 또는 魚類의 뚜렷한 피해는 볼 수 없었다.

2. 動物性 플랑크톤

1) 現存量의 變化

分析의 편의를 위하여 出現 動物性 플랑크톤을 原生動物과 Rotatoria를 묶어 微細 플랑크톤으로, Copepoda와 그 幼生을 하나로 그리고 나머지를 其他 플랑크톤으로 하여 기술하였다. 또한 調査定點도 크게 馬山灣, 行岩灣, 鎭東灣 그리고 蠶島 部分으로 4 區分하여 주로 기술하였다.

調査期間 동안 動物性 플랑크톤의 現存量은 12,358 個體/ m^3 (1981년 6월 定點 2)로 부터 952,000 個體/ m^3 (1981년 7월 定點 8)의 범위로 나타났으며 전체 평균은 145,674 個體/ m^3 로 매우 豊富한 樣相을 나타내었다(Appendix III - 1).

馬山灣內的 調査定點인 定點 6, 7, 8의 평균 現存量은 1981년 6월에 36,229 個體/ m^3 로 最少量이었으며 7월에 512,666 個體/ m^3 로 最大量이었다. 調査期間을 통하여 1980년 11월, 1981년 7월과 8월 그리고 10월과 11월에 200,000 個體/ m^3 이상의 많은 現存量이 나타나 대체로 年中 現存量의 變化가 심한편이었다(Fig. III 10). 現存量이 많았던 1980년 11월에는 Cladocera가 多量 出現하였는데 특히 定點 7 부분에서 100,000 個體/ m^3 이상이 나타났다. 1981년 2월에도 비교적 높은 現存量

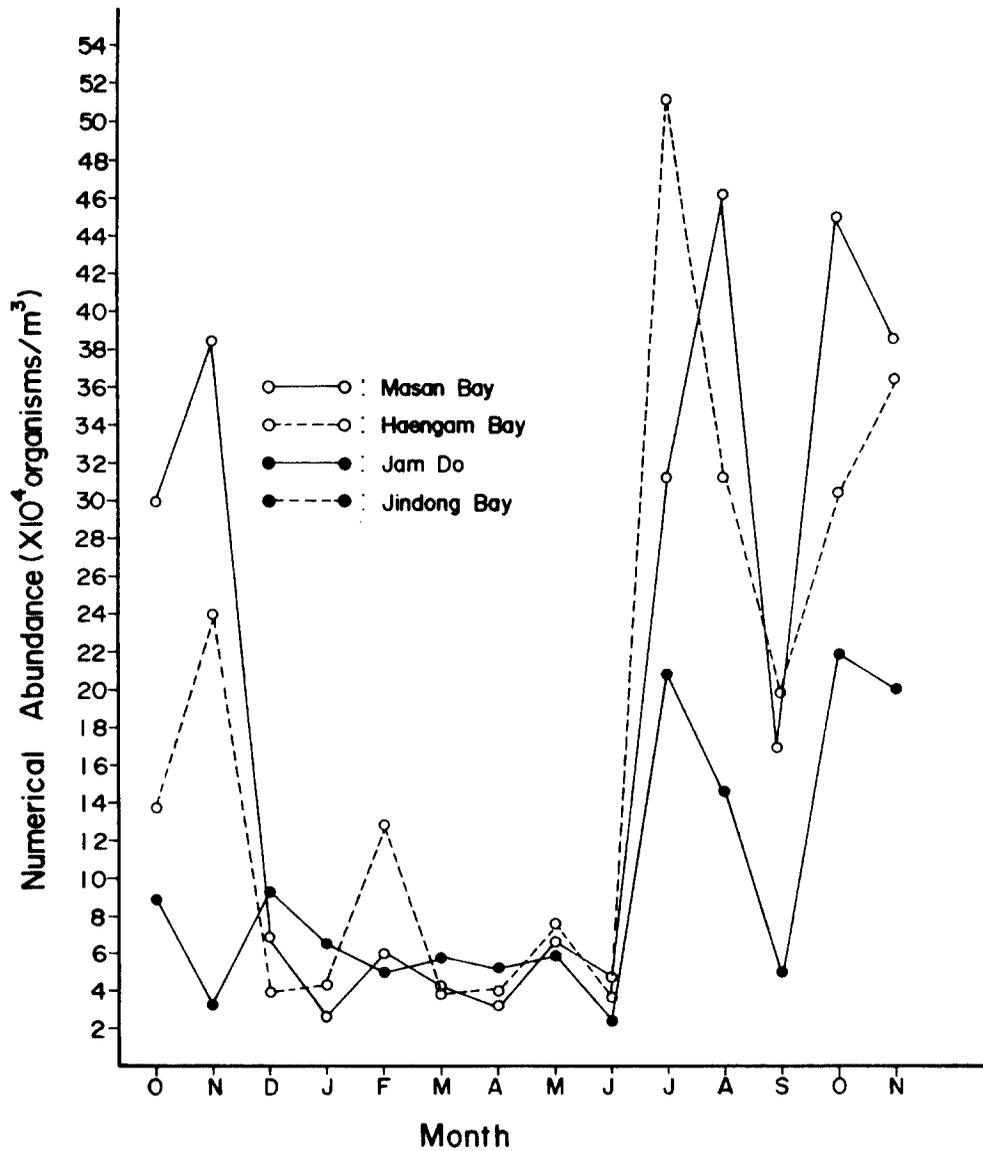


Fig. III-10. Monthly variations of number of total zooplankton in Jinhae Bay (Oct., 1980 - Nov., 1981).

이 나타났는데 이는 주로 Rotatoria에 의한 것이었다. 1981년 7월에는 馬山灣의 입구 쪽에서는 Copepoda의 양도 상당하였으나 Rotatoria가 급격히 증가하여 전체 평균 現存量이 500,000 個體/ m^3 이상에 달하였고 특히 定點 8에서 952,000 個體/ m^3 로 調査期間中 가장 높은 現存量을 나타내었다. 7월에 높았던 現存量은 8월과 9월 두 달에 걸쳐 감소하였으나 9월의 現存量도 190,000 個體/ m^3 이상으로 높았다.

行岩灣에 위치한 定點 5에서 現存量의 年中 變化는 馬山灣內的 그것과 類似한 樣相을 나타내었다. 最少의 現存量은 1981년 1월의 26,373 個體/ m^3 이었고 最大의 現存量은 1981년 8월의 461,763 個體/ m^3 로 나타나서 年中 現存量의 變化幅이 비교적 컸다(Fig. III - 10). 行岩灣에서는 1980년 10월과 11월에 다른 調査海域에 비하여 越等한 動物性 플랑크톤의 現存量이 나타났는데 이는 주로 Copepoda에 의한 것이었다. 1980년 12월 부터 1981년 6월에 걸친 기간에는 다른 海域과 類似한 現存量의 變化를 나타내었으며 現存量도 70,000 個體/ m^3 이하로 적었다. 1981년 7월에는 다른 海域에서와 같이 現存量이 급격한 증가 樣相을 나타내었는데 이는 Copepoda의 증가도 있었지만 Tintinnida와 Rotatoria의 급격한 증가가 그 원인이었다. 다른 海域과 달리 8월에도 現存量은 증가하였는데 이는 주로 Copepoda에 의한 現象이었다. 9월에는 다른 海域과 같이 現存量이 감소하였다가 10월에 다시 급격한 증가를 나타내었는데 이 역시 Copepoda에 의한 것이었으며 11월에 약간 감소하는 경향을 나타내었으나 그 감소폭은 적었다. 대체로 보아 行岩灣은 鎮海灣內에서 動物性 플랑크톤의 現存量이 가장 높았으며 Copepoda의 증가가 現存量의 變化를 대개의 경우 결정하였다.

鎮東灣에 위치한 定點 1, 2, 3에서는 1981년 4월 부터 11월 사이에 평균 現存量이 6월의 16,677 個體/ m^3 에서 7월의 378,500 個體/ m^3 의 범위로 나타났다. 4월 부터 6월 사이의 現存量의 월 별 변화는 비교적 적었으며 7월에 급격히 증가하였다가 8월에는 급격히 감소하였으며 9월과 10월에 걸쳐 증가하였으나 11월에는 다시 감소하는 樣相을 나타내었다(Fig. III - 10). 鎮東灣에서는 7월을 제외하면 다른 海域에 비하여 대체로 낮은 現存量을 나타내었는데 7월중의 높은 現存量은 定點 1 부근에서는 Copepoda의 대량 발생에 의한 것으로 전체의 87.7%에 달하였으며 定點 2와 3에서는 Copepoda 외에도 Tintinnida가 다량 출현한데 기인하였다.

鎮海灣의 중앙부이며 外海水의 영향을 가장 많이 받는다고 생각되는 蠶島 부근에서는 1981년 6월의 24,109 個體/ m^3 로 부터 10월의 218,399 個體/ m^3 사이의 現存量의 變化를 나타내어 그 변화폭이나 양에 있어서 調査海域中 가장 적었다(Fig. III - 10). 現存量의 變化에 있어서 특이한 점은 1980년 10월에 비하여 11월의 現存

량이 馬山灣이나 行岩灣에서는 모두 증가하였으나 이 곳에서는 감소하였으며 1981년 7월의 現存量 증가도 다른 海域에 비하여 급격하지 않았다. 다른 調査海域에 비하여 특이하게 1981년 10월에 최대의 現存量이 나타났는데 Copepoda의 양이 越等하였으며 11월에는 약간 감소하는 경향을 보였으나 역시 높은 現存量을 유지하였다.

이상의 결과를 보아 鎮海灣에서의 動物性 플랑크톤의 現存量은 1981년 6월에 가장 적은 양이 나타났고 1981년 7월에 최대의 양이 나타났다. 赤潮가 빈발하는 馬山灣, 行岩灣 그리고 鎮東灣에서의 現存量이 鎮海灣의 중앙부인 蠶島 부근에 비하여 대체로 높게 나타났으며 鎮海灣에서 動物性플랑크톤의 現存量은 일부의 경우를 제외하면 대체로 Copepoda에 의해서 결정되었다. 금번 조사 결과를 1979년 8월부터 1980년 9월 사이의 결과(李 等 1980)와 비교하여보면 現存量에서는 약간 증가한 樣相을 나타내었는데 금번 조사 결과는 原生動物中 *Noctiluca miliaris*를 제외한 결과이므로 이를 감안하면 지난번 조사 결과와의 차는 좀 더 클 것으로 생각된다. 각 조사 定點間의 現存量의 차는 대체로 지난번 조사 결과에 비하여 감소한 樣相을 나타내었는데 이는 금번 조사 海域의 범위가 지난번 조사에 비하여 좁아진데 기인한 現象으로 생각된다. 한편 赤潮發生과 動物性플랑크톤 現存量과의 관계는 조사기간을 통하여 별 뚜렷한 상관이 없는 것으로 나타났으나 鎮海灣 전체에서 赤潮現象이 나타났던 1980년 11월 그리고 1981년 7월 8월과 10월에 대체로 動物性 플랑크톤의 現存量이 높게 나타났다.

2) 微細 플랑크톤

鎮海灣에서 나타난 微細 플랑크톤은 Tintinnida, Foraminifera, Radiolaria 그리고 Rotatoria의 4 分類群으로 나누어지며 그 중 Tintinnida가 가장 널리 그리고 빈번히 출현하였다.

調査期間을 통하여 微細 플랑크톤의 出現量은 1981년 6월의 545 個體/ m^3 가 최소이었으며 1981년 7월의 168,281 個體/ m^3 가 최대의 양이었다. 微細플랑크톤이 전체 動物性 플랑크톤에 대하여 차지하는 비율은 1980년 10월이 0.6%로 가장 낮았으며 1981년 2월에 72.9%로 가장 높았는데 1981년 2월의 경우 蠶島 부근의 定

點9에서는 9.0%에 불과하여 다른 調査定點에 비하여 매우 낮은 비율을 나타내었다.

1980년 10월 부터 최소의 出現量이 나타난 1981년 6월까지는 月別 出現量의 변화가 비교적 적었는데 馬山灣의 경우 1980년 11월과 1981년 2월 그리고 行岩灣에서는 1981년 2월에 出現量의 증가를 나타내었고 1981년 5월에는 적은 양이지만 전 調査海域에서 出現量의 증가를 나타내었다. 1980년 11월의 馬山灣에서 出現量이 증가한 것은 Tintinnida의 다량 出現에 기인한 現象이었으며 1981년 2월의 馬山灣과 鎮東灣에서 出現量이 증가한 것은 Rotatoria에 의한 것으로 특히 定點8의 경우 Rotatoria의 양이 134,610 個體/ m^3 에 달하였다. 1981년 6월에는 전 調査海域에서 이들의 양은 매우 적어서 한 개체도 나타나지 않은 곳도 있고(定點 2, 3) 최고는 1,359 個體/ m^3 (定點 5)이었는데 7월에 들어서서 급격한 증가를 나타내었다. 7월에는 전 調査海域에서 Tintinnida와 Rotatoria가 다량 出現하였다. 7월중 Tintinnida의 분포는 馬山灣에서 다른 調査海域에 비하여 비교적 적은 양이 나타난 반면 Rotatoria는 다른 海域에 비하여 馬山灣에서 越等히 많은 양이 나타났다. 8월에는 대체로 微細플랑크톤의 出現量이 감소하였는데 馬山灣과 行岩灣에서는 Tintinnida의 出現量이 높아 비교적 높은 出現量을 유지하였다(Fig. III-11). 대체로 보아 鎮海灣에서의 微細플랑크톤의 出現量은 Tintinnida에 의하여 좌우되었으며 일부의 調査期間에는 Rotatoria도 역시 높은 出現量을 나타내었다. Rotatoria의 대량 出現은 지난번 調査時 1980년 4월에도 관찰되었던 것인데 금번 調査中 지난번 調査에 비하여 그 出現 빈도가 훨씬 높아졌다.

3) Copepoda 와 그 幼生

調査期間中 鎮海灣內의 定點 3, 5, 7, 9에서 出現한 Copepoda는 總 20屬 28種이었다. 馬山灣에 位置한 定點7에서는 16屬 22種, 行岩灣에 位置한 定點5에서는 14屬 19種, 鎮東灣에 位置한 定點3에서는 10屬 17種 그리고 蠶島 부근에서는 17屬 25種이 나타나 蠶島 부근의 Copepoda 種構成이 가장 多樣하였다.

馬山灣에서는 *Acartia clausi*가 優占種으로 나타났던 1981년 5월과 6월을 제외하면 *Oithona nana*가 전 調査期間을 통하여 優占種으로 나타났다. *O. nana*,

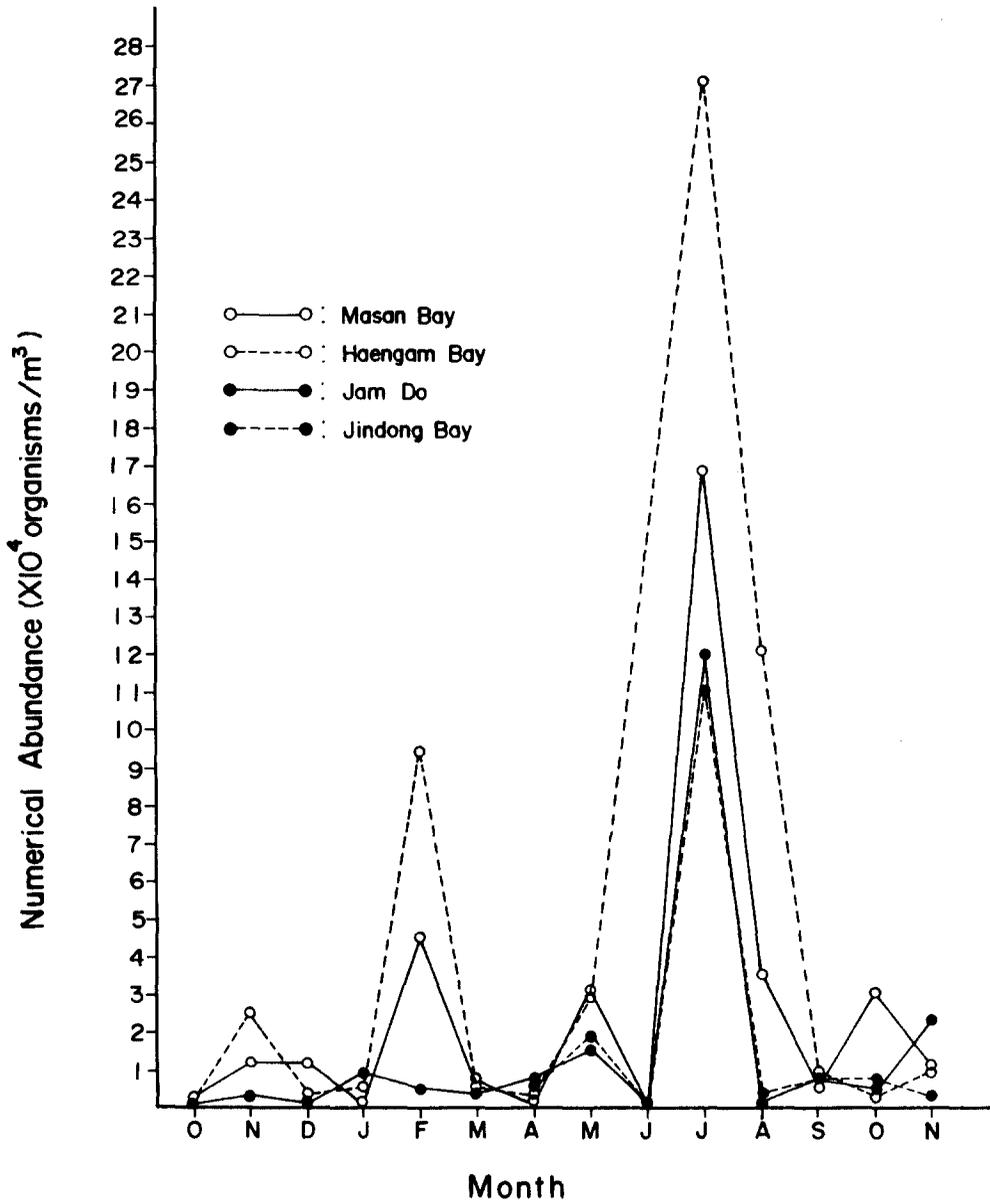


Fig. III-11. Monthly variations of Protozoa and Rotatoria communities in Jinhae Bay (Oct., 1980 - Nov., 1981).

A. clausi 그리고 *Paracalanus parvus* 의 세 種을 제외하면 다른 Copepoda 의 出現은 매우 미약하였으며 *P. parvus* 의 出現도 대체로 미약하여 1979년 8월 부터 1980년 9월 사이의 Copepoda 種構成(李 等 1980) 과는 차이가 있었다. 지난번 (李 等 1980) 과 비교하여 보면 금번 조사의 경우 *A. clausi* 가 차지하는 비율이 *P. parvus* 가 차지하는 비율에 비하여 높아졌으며 *O. nana* 의 優占度는 더욱 높

아졌음을 알 수 있다(Table III - 3). 역시 조사기간을 통하여 *O. nana* 가 優占種으로 나타났던 行岩灣에서는 *O. nana* 가 차지하는 비율이 매우 높았는데 1981년 8월과 10월 그리고 11월에 특히 높았다. 馬山灣에서와 같이 *A. clausi* 가 1981년 5월과 6월에만 優占種으로 나타났으며 그 외의 Copepoda 의 出現은 거의 무시할 정도이었다(Table III - 4). 鎮東灣에서도 1981년 4월과 6월을 제외하면 *O. nana* 가 優占種으로 나타나 馬山灣과 類似하였으나 出現種數는 17種으로 調査定點中 가장 단순하였다. 이 곳에서도 馬山灣과 마찬가지로 지난번 調査에 비하여 *A. clausi* 의 出現 비율이 *P. parvus* 에 비하여 높아졌으며 *O. nana* 의 優占度가 더욱 높아졌다(Table III - 5). Copepoda 가 가장 多樣하게 出現하였던 蠶島 부근에서는 鎮東灣의 다른 海域과 달리 1980년 11월과 12월 그리고 1981년 9월에 *P. parvus* 가 優占種이었으며 *A. clausi* 는 1981년 3월부터 6월 그리고 8월에 優占種이었고 나머지 調査期間에는 *O. nana* 가 優占種으로 나타나 鎮海灣에서 *O. nana* 의 優占도가 가장 낮았다(Table III - 6).

대체로 보아 調査期間中 鎮海灣에서의 Copepoda 는 *O. nana* 가 優占種으로 나타났으며 극히 일부의 경우 *A. clausi* 와 *P. parvus* 가 優占的으로 나타났다. 특히 *O. nana* 는 鎮海灣內에서도 폐쇄되어있는 곳인 馬山灣, 行岩灣과 鎮東灣에서 그 出現量이 越等하였으며 蠶島 부근에서는 出現種의 多樣性으로 이루어 보아 外海水의 영향을 어느 정도 받는 것으로 생각된다. 이와 같은 Copepoda 의 出現樣相은 1979년 8월 부터 1980년 9월 까지의 조사 결과(李 等 1980)와 유사하였는데 금번 조사시 *O. nana* 의 出現 비율이 더욱 높아졌다.

Copepoda 와 그 幼生의 出現量은 1981년 6월에 평균 15,231 個體/ m^3 로 最少이었으며 10월에 224,164 個體/ m^3 로 最大이었다. 1980년 12월 부터 1981년 6월에 걸쳐 평균 50,000 個體/ m^3 이하의 낮은 出現量을 나타내었으며 그 외의 기간에는 평균 100,000 個體/ m^3 이상의 많은 양이 나타났는데 특히 1981년 10월과 11월에는 200,000 個體/ m^3 이상의 많은 양이 나타났다. 한편 전체 動物性 플랑크톤에 대하여 Copepoda 가 차지하는 비율은 1981년 2월에 16.9%로 가장 낮았으며 1980

Table III-3. Occurrence of copepoda species at station 7.

Species	Month	1981 Oct.	Nov.	Dec.	1981 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
<i>Calanus helgolandicus</i>			-	-	-	-	+	-							-
<i>Paracalanus parvus</i>		+	+	+	+	++	+	++							+
<i>Acrocalanus gibber</i>		-	-										+	-	-
<i>Euchaeta marina</i>															
<i>Temora turbinata</i>		+													
<i>Eurytemora pacifica</i>															
<i>Centropages memmrichi</i>								+							
<i>C. tenuiremis</i>							+	-							
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>		-										+			
<i>Labidocera minuta</i>															
<i>Acartia clausi</i>								++	+++	+++	+	++			
<i>A. pacifica</i>															
<i>A. negligens</i>															
<i>Tortanus forcipatus</i>															
<i>Oithona nana</i>		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++		+++	+++	+++	+++	+++
<i>O. rigida</i>		-	-	-	-	-	-	-							-
<i>O. similis</i>							+	+							
<i>Oncea venusta</i>															
<i>Corycaeus affinis</i>															
<i>C. gibbulus</i>															
<i>Microsetella rosea</i>															
<i>Clytemnestra scutellata</i>															

+++ : very common ++ : common + : rare - : very rare

Table III-4 . Occurrence of copepoda species at station 5.

Species	1980	1981	1980	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
<i>Calanus helgolandicus</i>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paracalanus parvus</i>	++	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	++	-	-
<i>Acrocalanus gibber</i>	-															
<i>Temora turbinata</i>	-															
<i>Centropages memmrichi</i>							+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. tenuiremis</i>							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>																
<i>Acartia clausi</i>	-							+	++	+++	+++	+	+	-	-	-
<i>A. pacifica</i>																
<i>Tortanus foreipatus</i>																
<i>Oithona nana</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>O. rigida</i>	+			-			-	-	-		-		-	+	-	-
<i>O. similis</i>				-			-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corycaeus affinis</i>	-			-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. gibbulus</i>																
<i>Microsetella rosea</i>																
<i>Clytemnestra scutellata</i>																
<i>Euterpina acutifrons</i>																
<i>Tigriopus japonicus</i>																

+++ : very common ++ : common + : rare - : very rare

Table III-5 Occurrence of copepoda species at station 3.

Species \ Month	1981 Apr.	May.	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
<i>Calanus helgolandicus</i>	-							
<i>Paracalanus parvus</i>	++	+	-	+		+	+	+
<i>Euchaeta marina</i>					-			
<i>Centropages tenuiremis</i>		-	-					-
<i>C. memurrich</i>	-							
<i>C. longicornis</i>	+					-		
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>							-	-
<i>Temora turbinata</i>								-
<i>Acartia clausi</i>	+++	++	+++	+	++	-	-	+
<i>A. negligens</i>				-		-	-	
<i>A. pacifica</i>				-		-	-	
<i>Oithona nana</i>	++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>O. rigida</i>	-	-	-		-	+	-	-
<i>O. similis</i>	-	-				-	-	-
<i>Corycaeus affinis</i>	-	-		-	-	-	-	-
<i>C. gibbulus</i>			-			-		
<i>Microsetella rosea</i>	-					-		-

+++ : very common ++ : common + : rare - : very rare

년 10월에 92.1%로 가장 높았는데 調査期間을 통하여 전체 動物性 플랑크톤의 50.0% 이상을 차지하는 경우가 대부분이었다.

馬山灣內의 Copepoda 出現量의 季節變化를 보면 1980년 10월과 11월에는 비교적 높은 出現量이 나타났으나 12월에는 감소하여 1981년 6월에 이르는 동안

Table III-6 . Occurrence of copepoda species at station 9.

Species	Month	1980 Oct.	Nov.	Dec.	1981 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
<i>Calanus helgolandicus</i>			+		-										
<i>Eucalanus subcrassus</i>															
<i>Paracalanus parvus</i>		++	+++	+++	++	++	+	+	-	++	+	+	+++	++	++
<i>Aerocalanus gibber</i>															
<i>Temora turbinata</i>		-	+												
<i>T. stylifera</i>															
<i>Centropages memmurrich</i>															
<i>C. tenuiremis</i>															
<i>C. longicornis</i>															
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>															
<i>Acartia clausi</i>															
<i>A. pacifica</i>															
<i>A. negligens</i>															
<i>Tortanus forcipatus</i>															
<i>Oithona nana</i>		+++	+	++	+++	+++	++	++	++	+	+++	++	++	+++	+++
<i>O. rigida</i>															
<i>O. similis</i>															
<i>Oncea venusta</i>															
<i>Corycaeus affinis</i>															
<i>C. gibbulus</i>															
<i>Microsetella rosea</i>															
<i>Clytemnestra scutellata</i>															
<i>Euterpina acutifrons</i>															
<i>Tigriopus japonicus</i>															
<i>Longipedia cornata</i>															

+++ : very common ++ : common + : rare - : very rare

에는 뚜렷한 증감 현상이 나타나지 않았다. 1981년 7월에 出現量은 급격한 증가를 보였는데 다소의 증감 현상은 있었으나 대체로 1981년 11월 까지 出現量은 증가하는 樣相을 나타내었다. 이와 같은 증감 현상은 行岩灣에서도 類似하게 나타났는데 行岩灣에서 Copepoda의 出現은 1981년 8월과 10월에 특히 많은 양이 나타났던 것이 다른 海域에 비하여 특이하였다. 鎭東灣에서도 馬山灣과 類似한 出現量의 변화 樣相을 나타내었는데 1981년 7월 부터 11월 사이의 변화폭이 馬山灣에 비하여 적게 나타났다. 蠶島 부근의 鎭海灣 중부에서는 다른 調査海域과 달리 1980년 12월에 出現量이 증가하는 樣相을 나타내었으며 또한 海域間 出現量의 차와 季節別 變化가 적었던 1980년 12월에서 5월에 걸쳐 다른 海域에 비하여 항상 높은 出現量을 나타낸 것이 특이하였다. 1981년 7월과 8월에 걸쳐 다른 調査海域과 마찬가지로 出現量은 증가하였으나 그 양은 많지 않아서 $100,000$ 個體/ m^3 이 하이었고 9월에는 감소하였다가 10월에 다시 증가하여서 1981년 6월 부터 11월 까지의 월 별 變化는 양은 적었지만 行岩灣의 變化樣相과 일치 하였다(Fig. III - 12).

鎭海灣에서 Copepoda의 出現量은 대체로 보아 1980년 12월 부터 1981년 6월에 걸친 기간에는 $40,000$ 個體/ m^3 이하로 낮았고 또한 海域間 차이와 월 별 變化도 적었다. 높은 出現量은 1981년 7월 부터 11월에 걸쳐 기록되었는데 이 기간 동안 월별 증감 現象은 비교적 심한 편이었다. 1979년 8월 부터 1980년 9월 까지의 결과와 금번 調査 결과를 비교하면 금번 調査의 결과가 出現量에 있어서 전 調査기간 평균 약 $10,000$ 個體/ m^3 정도 증가한 樣相을 나타내었고 季節變化의 차이가 심하여졌다. 그러나 각 調査海域別 出現量의 차이는 금번 調査의 결과가 李等(1980)의 調査에 비하여 감소한 樣相을 나타내었다. 한편 금번 調査 결과는 朴(1979)에 의한 馬山灣의 결과와 出現量이나 出現種에 있어서 모두 잘 일치하는 것 같았다.

4) 其他 動物性 플랑크톤

其他의 動物性 플랑크톤으로 중요한 出現群은 Chaetognatha, Cladocera, Tuni-

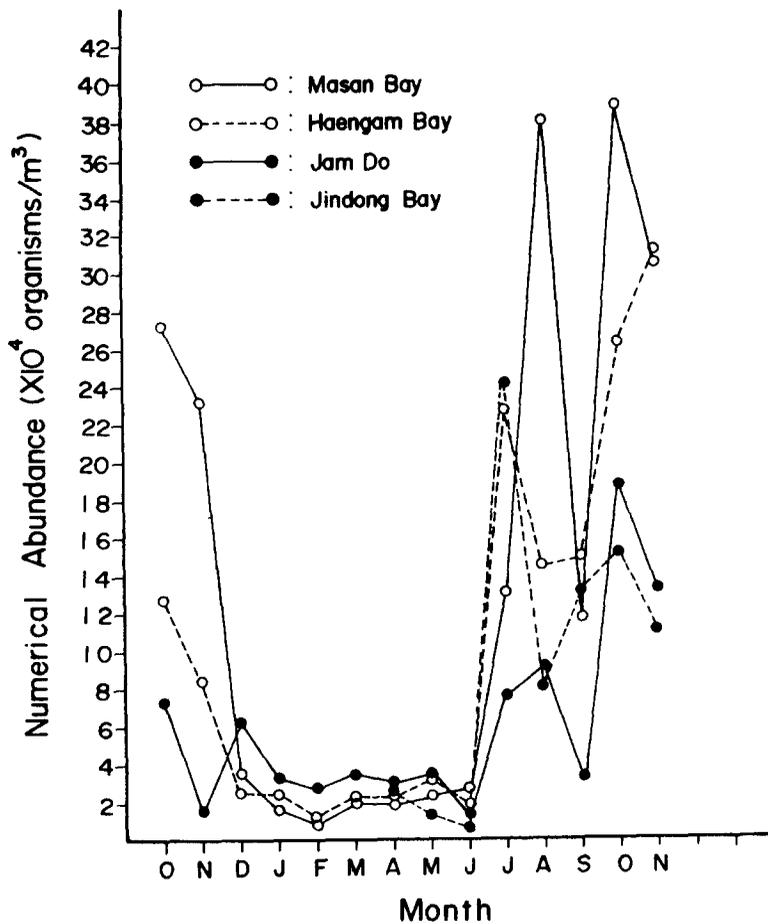


Fig. III-12 Monthly variations of number of Copepoda in Jinhae Bay (Oct., 1980~Nov., 1981)

cate 그리고 多様한 海洋無脊椎動物의 幼生들이었다. 이들의 出現量은 비교적 적어서 50,000 個體/ m^2 이상이 나타났던 경우가 거의 없었으며 定點別, 月別 變化도 비교적 적었다 (Fig. III 13).

1980년 12월 부터 1981년 7월에 걸친 기간 동안 이들의 월별변화는 매우적었으며 또한 調査海域間 出現量의 차이도 적었다. 原生動物이나 Copepoda의 경우는 달리 이들 플랑크톤의 1981년 7월의 出現量은 비교적 적은 양을 유지하였는데 8월에 들어서서 대부분의 調査海域에서 평균 40,000 個體/ m^2 이상이므로 급격한 증가 樣相을 나타내었다. 8월 이후 11월까지 出現量의 月別 變化는 多様하였고 또

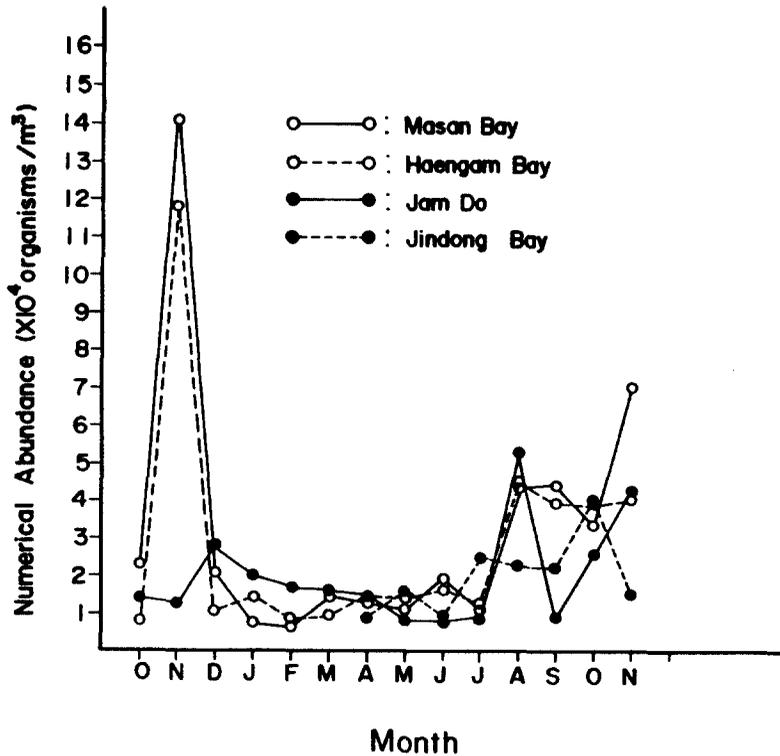


Fig. III-13. Monthly variations of number of zooplanktons exclusive of Protozoa, Rotatoria and Copepoda in Jinhae Bay (Oct., 1980 ~ Nov., 1981).

한 調査海域別 차이도 비교적 크게 나타났다.

1980년 11월에 馬山灣과 行岩灣에서 다량의 Cladocera가 出現하였는데 馬山灣에서의 出現量이 卓越하여 蠶島 부근의 출현양에 비해서 100배 이상에 달하는 現象을 나타내었다. Cladocera는 그 다음 달인 1980년 12월에는 鎭海灣에서 거의 출현하지 않았으며 1981년 5월에야 나타나기 시작하였으나 그 양은 많지 않았다. 7월에는 거의 전 調査海域에서 나타나지 않았으나 行岩灣과 鎭東灣에서 일부 出現하였는데 8월에 들어서서 전 調査海域에서 出現量이 급격히 증가하였다. 9월에는 전 調査海域에서 出現量은 감소하였으나 馬山灣 깊숙히 위치한 定點6에서는 여전히 높은 出現量을 나타내었으며 10월에도 9월과 비슷한 정도의 出現量이 나타났다. 11월에는 다시 출현량이 증가하는 樣相을 나타내었는데 1980년 11월과 같이 馬山灣과 行岩灣에서 多量 出現하였다. 이로 미루어 보아 鎭海灣에서 Cladocera의 出現은 季節性이 뚜렷하다고 할 수 있겠으며 따라서 Cladocera의 種別 季節的 消

長關係는 매우 흥미있는 研究課題가 될 것 같다. 出現幼生中 중요한 것은 Polychaete larvae, Cirripedia larvae 그리고 Veliger larvae 이었으며 그 중 Veliger larval 가 周年을 통하여 높은 出現量을 나타내었다.

5) 動物性 플랑크톤의 日週變化

馬山灣에 위치한 定點 7에서 1981년 6월과 11월 2회에 걸쳐 2시간 간격으로 1일간 動物性플랑크톤을 調査하였다(Table III-7, 8). 1981년 6월 7일 14시 부터 8일 12시 까지 24시간 동안 動物性 플랑크톤 現存量의 日週變化를 보면 7일 22시경에 29,070 個體/ m^3 로 가장 많은 양의 現存量이 나타났고 7일 14시경의 5,174 個體/ m^3 가 가장 적은 現存量으로 時間別 現存量의 變化幅이 컸다. 대체로 보아 滿潮를 전후하여 적은 양의 現存量이 나타났고 干潮를 전후하여 多量의 現存量이 나타났는데 이는 馬山灣에서 1981년 6월의 動物性 플랑크톤 現存量의 분포가 定點 8에 비하여 定點 6에서 높았던 사실에 비추어 보아 당연한 결과라 생각된다. 1981년 11월 11일 09시 부터 12일 07시 사이에는 12일 01시에 233,322 個體/ m^3 가 최소의 現存量이었고 11일 15시의 569,457 個體/ m^3 가 최대의 現存量이었다. 日間 평균 現存量은 407,936 個體/ m^3 로 나타나 각 定點 調査時 定點 7의 381, 148 個體/ m^3 에 비하여 큰 차이가 없이 나타났다. 11월 11일 09시 부터 21시 사이의 時間別 現存量의 變化는 6시간을 주기로 증감이 뚜렷하였으나 그 후 12일 07시 까지의 증감은 불규칙하여 어떤 경향성을 찾아보기 어려웠다.

1981년 6월과 11월의 결과를 보면 馬山灣에서 動物性 플랑크톤의 日週變化는 주로 潮汐에 의하여 영향을 받는 것 같으나 뚜렷하지 않고 晝夜間의 차도 뚜렷하지 않았으며 時間에 따른 種構成도 특별한 점이 없었다. 금번 調査는 動物性 플랑크톤의 日週變化를 파악하기에는 調査期間(24時間)이 짧았던 것 같으며 따라서 적어도 48時間의 調査가 바람직하고 또한 層別調査가 이루어져야 어느 정도 動物性 플랑크톤의 日週變化를 파악 할 수 있을것 같다. 한편 1981년 11월 11일 23시 부터 12일 01시 사이의 現存量의 변화폭이 매우 커서 後者が 前者의 약 1/2에 불과한 양을 나타내었는데 이와 비슷한 現象은 6월에도 관찰되었다. 따라서 鎭海灣에서의 動物性 플랑크톤 現存量의 定點間 비교시 특히 인접한 定點間에서 現存量의 비교시는 이러한 現象을 고려하여야만 할 것으로 생각된다.

Table III-7 . Number of zooplankton sampled at station 7, June 7-8, 1981 (*Organisms/m³*).

Species	June 7.							June 8						
	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00		
Tintinnida			531	265	849	318	195	955	531	531	265	292		
Rotatoria	133		265		212	637	778	1,273	531	531	531	584		
Chaetognatha			133		424			318		265				
Cladocera						318	195	637	531	1,061	265			
Copepoda	3,714	9,682	15,650	11,671	19,523	12,732	6,614	8,276	10,610	20,160	15,915	14,589		
Copepoda larvae		265	1,459	796	1,485	637	778	1,273	1,857	1,061	2,918	584		
Tunicate			133	265	424	318	195	955	531	265	531	292		
Polychaete larvae	531	928	1,194	796	3,183	955		637	796	1,326	2,653	1,167		
Cirripedia larvae											265			
Veliger larvae	663	663	3,581	1,592	2,758	2,228	2,334	7,321	4,509	3,183	3,714	2,334		
Bipinnaria larvae	133		398		212				531					
Echinopluteus larvae				265		318								
Total	5,174	11,538	23,344	15,650	29,070	18,461	11,089	21,645	20,427	28,383	27,057	19,842		

Table III-8 . Number of zooplankton sampled at station 7, November 11-12, 1981 (*Organisms/m³*).

Species	11 Nov.		12 Nov.									
	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00	01:00	03:00	05:00	07:00
Tintinnida	8,594	6,366	8,913	10,504	10,504	5,942	3,793	12,732	2,865	3,104	4,456	7,003
Rotatoria			318	318	637	371	292	637	637	345	371	318
Chaetognatha	1,910	1,273	2,546	1,910	1,910	1,114	1,459	1,273	1,592	690	2,228	2,228
Cladocera	20,690	19,097	14,642	19,417	15,915	15,226	13,714	16,870	13,369	10,690	14,112	21,008
Copepoda	293,800	378,789	474,918	507,068	417,623	388,816	282,447	431,628	192,896	272,420	388,444	202,763
Copepoda larvae	6,048	6,048	4,775	7,958	4,775	2,600	2,042	4,775	2,228	3,104	4,828	3,501
Tunicate	6,366	4,456	6,366	3,183	6,685	5,570	5,836	5,093	2,865	2,069	4,085	6,366
Polychaete larvae	2,228	1,273	2,228	637	2,546	3,342	2,042	1,592	2,546	2,069	2,600	1,273
Decapoda larvae										345		
Cirripedia larvae	1,273	637	1,273	1,592	1,273	1,114	1,751	637	955	1,035	1,485	637
Trochophora larvae	318	318	318	318	1,273	1,857	1,167	955	637	345	743	
Veliger larvae	12,096	14,006	20,691	16,552	33,105	17,825	18,091	14,005	12,414	11,035	15,597	11,459
Echinopluteus larvae		318					292	637			371	637
Auricularia larvae	318											
Ascidian larvae		318						318			371	318
Fish egg									318		371	318
Total	353,642	432,901	536,670	569,457	496,246	443,777	332,926	491,152	233,322	307,251	440,062	257,829

第4節 要約

1) 鎮海灣에서 出現한 硅藻類는 23屬 60種 2變種 1品種으로 63 種類였다. 雙鞭毛藻類는 15屬 44 種類였다.

2) 出現頻도로 볼 때 *Cylindrotheca closterium*, *Eucampia zodiacus* *Nitzschia pungens*, *Pleurosigma elongatum*, *Rhizosolenia setigera*와 *Skeletonema costatum*은 硅藻類의 代表種이었으며 雙鞭毛藻類에서는 *Ceratium fusus*, *Gymnodinium splendens*였다.

3) 植物性플랑크톤現存量은 대체로 높은편이어서 $10^5 \sim 10^7$ cell/l를 보였으며 특히 馬山·鎮東灣에서 赤潮가 심하였다.

4) 赤潮原因生物로는 *Cylindrotheca closterium*, *Eucampia zodiacus*, *Rhizosolenia fragilissima*, *Skeletonema costatum*, *Gymnodinium '65 type*, *Peridinium minisculum*, *Prorocentrum micans*, *P. minimum*등이었으며 *Noctiluca miliaris*도 포함되었다.

5) 3회에 걸친 植物性플랑크톤 日週變化에서 海流의 潮汐週期에 따라 現存量이 變하고 있었다.

6) 鎮東·馬山灣 및 行岩灣의 環境要因을 富營養化 基準値와 比較하면 全 海역이 부영양화 되어 있었으며 馬山灣이 더욱 심각하여 過營養化 상태였다.

7) 赤潮原因生物의 鹽分濃도에 따른 分布는 매우 뚜렷하였으며 *Noctiluca miliaris*는 33.16%일 때, *Prorocentrum* spp.는 低鹽性일 때, 赤潮가 발생하였다. *Gymnodinium '65 type*는 30.16~31.27%의 범위, 10월 赤潮의 主體種類인 硅藻類는 28.42~30.55%의 범위였다.

8) 赤潮에 의한 水産生物의 피해는 年 17억원에 달했으며 被害種類로는 홍합, 꼬막, 굴, 어류, 貝類 및 甲殼類가 있었다.

9) 鎮東灣에서 動物性 플랑크톤의 現存量은 대체로 높았는데 1980년 11월과 1981년 7~11월에 특히 높았다.

10) Copepoda 는 *Oithona O.nana* 가 극히 일부의 경우를 제외하고는 優占種으로 周年을 통하여 나타났는데 *O.nana* 의 優占度는 鎭海灣에서 시간이 지남에 따라 더욱 높아지는 경향을 나타내었다.

11) 赤潮發生과 動物性플랑크톤과의 상관 관계는 찾아보기 어려웠으나 鎭海灣 전체에서 赤潮가 發生하였을 때 대체로 動物性플랑크톤의 양이 많았다.

參 考 文 獻

- 古田陽一, 1973. 低質生産に おける 生物生産の 變化. 水産學シリーズ-1, 恒星社 原生閣, 東京, 日本
- 朴 周 錫, 1979. 馬山灣의 環境汚染評價를 위한 野外毒性實驗. 韓國海洋學會誌 14 : 15 ~ 25.
- 朴 周 錫, 1980. 韓國南海岸의 植物性플랑크톤 出現量 및 組成과 이들이 먹이와 赤潮로서 養殖生物에 미치는 影響. 國立水産振興院 研究報告, 23 : 5 ~ 92.
- 小久保清治, 1955. 浮游硅藻類, 恒星社厚生閣, 日本.
- 安達六郎, 1972. 赤潮生物의 分類學的 研究. 三重縣立大學, 水産學部紀要, 9 : 9 ~ 145.
- 劉 光日·李 鍾華, 1976. 馬山灣의 環境學的 研究, 2. 植物性플랑크톤의 年變化. 韓國海洋學會誌, 11 : 34 ~ 38.
- 柳田友達, 1976. 赤潮, 新日本印刷株式會社, 東京, 日本.
- 李 晉煥·韓 明洙·許 亨澤, 1981. 鎭海灣의 赤潮原因生物에 關하여. 海洋研究所 所報 (印刷中).
- 李 光雨·南 基樹·許 亨澤 等, 1980. 鎭海灣의 赤潮 및 汚染모니터링 시스템 開發을 爲한 基礎研究. 韓國科學技術研究所 附設 海洋開發研究所 報告書 BSPE 00022 43 7.
- 許亨澤, 南基樹, 李光雨, 許聖範, 洪在上, 金東燁, 李梓學, 李晉煥, 金鍾萬, 異舜吉, 柳在銘, 承永鎬, 李東揆, 魯英宰, 梁東範, 李壽衍, 洪基勳, 吳在龍, 尹用達, 孫徹鉉. 1981.

發電所 溫排水에 의한 水産資源에의 影響 및 對策에 관한 研究.

韓國科學技術院 海洋研究所 報告書 BSP1 00025 - 49 - 3 .

Cho, Chang Hwan. 1981. On the *Gymnodinium* red tide in Jinhae Bay. Bull. Korea Fish. Soc., 14 (4) : 227 - 232.

Cupp, E. E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of America. Bull. Scripps Inst. Oceanogr, Univ. California, 5:1 ~ 237.

Karawada, Y. 1965. Diatoms in the Kuroshio waters neighboring Japan Inform. Bull. Plankton. Japan, 12 : 8 ~ 16.

Rounsefell, G. A. and W. R. Nelson. 1966. Red-tide research summarized to 1964 including an annotated bibliography. U. S. Fish and Wildlife service special scientific report. —Fisheries No. 535.

Yoo, Kwang Il and Jin Hwan Lee. 1979. Environmental studies of the Jinhae Bay. 1. Annual cycle of phytoplankton population, 1976 ~ 1978. J. Oceanol. Soc. Kor., 14 : 26 ~ 31.

Yoo, Kwang Il and Jin Hwan Lee. 1980. Environmental studies of the Jinhae Bay. 3. Ecological succession of phytoplankton populations, 1974 ~ 1980. J. Oceanol. Soc. Kor., 15 : 100 ~ 107.

第Ⅳ章 結論 및 提言

鎮海灣일대에서 조사된 해양물리, 해양화학 및 생물학적 특성 및 이에 대한 결론은 다음과 같다.

馬山灣 내에서 7월 28일에 관측된 수온, 鹽分, 해수 밀도(σ_t)의 변화량은 각각 橫斷面별로 5.2~13.05°C, 6~7‰, 6.1~8.5이며 수온의 변화폭은 馬山灣 내측으로 가면서 감소되며 鹽分과 密度의 변화폭도 큰 변화를 보이지 않는다. 時系列 觀測資料의 시간적 變化는 하층보다 상층에서 크게 나타나며 變化의 주 원인은 潮汐 조건에 따라서 변하는 潮流에 있다. 수온, 鹽分, 해수 밀도(σ_t)의 橫斷面상의 연직 分布는 水平分布를 보이고 있으며 躍層은 2~4 m 수심층에서 주로 발견되고 담수의 유출은 馬山灣의 西側에서 활발하다.

蠶島 주위에서 9월 26일에 觀測된 수온, 鹽分, 해수 밀도(σ_t)는 橫斷面별로 각각 3.8~48°C, 3.37~7.24‰, 3.7~6.46의 변화폭을 보이며 時系列 觀測資料의 시간적 變化는 역시 상층에서 크고 潮汐에 따라서 변하는 潮流에 그 원인이 있다.

成層-循環圖를 이용한 馬山灣 및 蠶島 주위의 하구역(estuary)으로서의 특성은 순환 경수가 0.98~7.59, 성층 경수가 0.10~0.25의 범위내에 있으며 類型-2 b에 속하는 부분적 成層 상태의 하구역(partially stratified estuary)으로서 분류된다.

대기압의 영향을 고려하지 않은 潮汐의 特性은 1980 년도의 蠶島에서의 관측결과와 비교하여 볼 때 반일주조와 日週期는 별 차이가 없으나 Mm과 MSf 등의 장주기 성분이 뚜렷이 나타났으며 형태수는 0.12로서 半日週期の 성격을 띠고있다.

橫斷面-1 위의 殘差流는 하층에서는 南向의 殘差流를 나타내는 반면 상층과 중층에서는 殘差流의 流速, 流向이 時間에 따라서 변하였다. 상층과 중층에서는 殘差流의 流速, 流向이 時間에 따라서 변하였다. 橫斷面-1 위에서 정점 1A와 정점 1C의 최강유속은 落潮流가 강하며 정점 1B는 상층, 중층에서 漲潮流가 강하고 하층에서 落潮流가 강하게 나타났다.

연속 觀測資料로 추정된 tidal excursion은 橫斷面-1에서 8.9 km, 정점 14B에서 9.2 km 정도가 되며 馬山灣내의 담수교체시간(flushing time)은 139일 정도

가 된다.

鎮海灣의 海洋化學的 特性을 규명하기 위한 조사에서 용존산소량은 여름에 표층에서는 생물활동에 의해 높은값을, 저층에서는 산소소모에 의해 낮은 값을 나타냈으며 COD, 浮遊物質은 계절별로는 여름에, 지역별로는 馬山灣에서 가장 높았다. 중금속은 해수에서는 Cd, Cu, Pb, Zn 등 4 원소를, 海底堆積物에서는 Cd, Cu, Co, Ni, Pb, Mn, Zn 등 7 원소를 조사하였는데 진해만의 중금속오염은 마산만내에서 조금씩 나타나는듯 하지만 아직 우려할 바는 아닌것 같다.

정점 7에서의 4번에 걸친 연속관측 결과를 보면 4월과 11월에는 表·底層의 수온차가 크지 않으며 底層에서도 용존산소량이 많은데 6월에는 水溫·鹽分이 表·底層간에 차이를 보이기 시작하며 저층수가 정체되고 유기물의 산화가 활발해져 저층의 용존산소량이 줄어드는것을 알 수 있다. 潮汐週期에 따른 영양염농도의 변화를 보면 이 해역에서는 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 마산내만쪽에 풍부하고 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 외만쪽에서 높은 농도를 유지하기 때문에 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 은 低潮때에 최고치에 이르고 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 는 高潮때에 최고치에 달하는 것으로 보인다. 6월, 8월의 연속관측에서는 클로로필 a의 농도가 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 의 농도에 비례하는 것으로 보아 馬山灣의 경우 赤潮生物의 증식은 마산외만에서 활발하여 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 가 제한요인중의 하나라고 생각할 수 있다. 그리고 8월에는 전체적인 영양염농도의 증가외에도 표층수온의 상승과 담수유입에 의해 수층이 극히 안정되며 육지로부터의 증식촉진물질유입 등 여러조건들이 복합되어 적조생물의 폭발적인 증식을 초래했다고 볼 수 있다. 鎮東灣에서는 赤潮가 심했던 8월에 표층의 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 거의 없는데 이는 장마후 대량유입된 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 이 적조발생에 따라 점차 소모되었기 때문이라 생각할 수 있다.

鎮東灣일대의 植物性플랑크톤現存量은 대체로 높은편이어서 $10^5 \sim 10^7$ cell/l를 보였으며 특히 馬山·鎮東灣에서 赤潮가 심하였다. 赤潮原因生物로는 *Cylindrotheca closterium*, *Eucampia zodiacus*, *Rhizosolera fragilissima*, *Skeletonema costatum*, *Gymnodinium '65 type*, *Peridinium minisculum*, *Prorocentrum micans*, *P. minimum* 등이었으며 *Noctiluca miliaris* 도 포함되었다. 3회에 걸친 植物

性플랑크톤 日週變化에서 海流의 潮汐에 따라 現存量이 變하고 있었다. 赤潮原因生物의 鹽分에 따른 分布는 매우 뚜렷하였으며 *Noctiluca miliaris* 는 33.16 %일때, *Prorocentrum* spp.는 低鹽性일때, 赤潮가 발생하였다. *Gymnodinium* '65 type 는 30.16 ~ 31.27 %의 범위, 10월 赤潮의 主體種類인 硅藻類는 28.42 ~ 30.55 %의 범위였다.

赤潮에 의한 水産生物의 피해는 년 17억원에 달했으며 피해종류로는 홍합, 꼬막, 굴, 어류, 貝類 및 甲殼類가 있었다.

鎭東灣에서 動物性플랑크톤의 現存量은 대체로 높은편인데 1980년 11월과 1981년 7~11월에 특히 높았다. Copepoda 는 *Oithona nana* 가 극히 일부의 경우를 제외하고는 우점종으로 周年을 통하여 나타났는데 *O.nana* 의 우점도는 鎭海灣에서 시간이 지남에 따라 더욱 높아지는 경향을 나타내었다.

위와같은 본조사의 결과를 종합·검토한다면 앞으로는 다음과 같은 과제를 수행해 나가야 한다고 생각된다.

1. 시간에 따라 流速, 流向이 변하는 殘差流의 특성을 파악하기 위해 관측기간중에 기상관측도 병행하여 서로 연관시켜 고찰할 필요가 있다.

2. 마산만 一부도수도—가덕수로를 잇는 종축면상에서의 鹽分分布, 오염물질이 동등에 대한 세부적인 조사가 필요하다.

3. 潮汐週期에 따라 변하는 물리적 지수와 영양염, 플랑크톤색소량등에 대한 time series 분석을 행하여 그 연관성에 대한 구체적인 조사가 수행되어야 한다.

4. 鎭東灣의 赤潮는 장마후인 7월하순부터 갑자기 발생하기 시작했으며 대량으로 유입된 육수에 그 원인이 있는 듯하다. 따라서 이 해역에서는 장마후 15~20 일간 머물면서 염분, 영양염, 식물성플랑크톤現存量등에 대한 시간적변화를 계속 조사할 필요가 있다.

5. 여러 赤潮原因生物들의 생육에 적합한 水溫, 鹽分의 범위가 더욱 자세히 조사되어야 하며 種間競爭등 생태학적인 특성을 연구하기 위하여 배양실험을 해야 할 것이다.

6. 이외에도 赤潮發生의 原因이 되는 수층의 안정성, 성장촉진물질(growth stimulator)의 역할, 海底堆積物과 海水間의 물질이동등에 대한 연구가 진행되어야 한다.

附 録

附 錄 表 目 次

LIST OF TABLES IN APPENDIX

	Page
Table A-1. Water temperature of the Jinhae Bay.	268
Table A-2. Salinity of the Jinhae Bay.	268
Table A-3. Dissolved oxygen of the Jinhae Bay	269
Table A-4. Saturation percentage of dissolved oxygen of the Jinhae Bay.	269
Table A-5. pH of the Jinhae Bay	270
Table A-6. Chemical oxygen demand of the Jinhae Bay	270
Table A-7. Suspended solids of the Jinhae Bay.	271
Table A-8. Depths of the Jinhae Bay.	271
Table A-9. Transparency of the Jinhae Bay.	271
Table A-10. Nitrate-nitrogen of the Jinhae Bay.	272
Table A-11. Nitrite-nitrogen of the Jinhae Bay.	272
Table A-12. Phosphate-phosphorus of the Jinhae Bay.	273
Table A-13. Silicate-silicon of the Jinhae Bay.	273
Table A-14. Urea-nitrogen of the Jinhae Bay.	274
Table A-15. Chlorophyll <i>a</i> of the Jinhae Bay.	275
Table A-16. Chlorophyll <i>b</i> of the Jinhae Bay.	275
Table A-17. Chlorophyll <i>c</i> of the Jinhae Bay.	275
Table A-18. Plant carotenoids of the Jinhae Bay.	275
Table A-19. Dissolved cadmium of the Jinhae Bay.	276
Table A-20. Particulate cadmium of the Jinhae Bay.	276
Table A-21. Total cadmium of the Jinhae Bay.	276
Table A-22. Dissolved copper of the Jinhae Bay.	277
Table A-23. Particulate copper of the Jinhae Bay.	277
Table A-24. Total copper of the Jinhae Bay.	277

Table A-25.	Dissolved lead of the Jinhae Bay.	278
Table A-26.	Particulate lead of the Jinhae Bay.	278
Table A-27.	Total lead of the Jinhae Bay.	278
Table A-28.	Dissolved zinc of the Jinhae Bay.	279
Table A-29.	Particulate zinc of the Jinhae Bay.	279
Table A-30.	Total zinc of the Jinhae Bay.	279
Table A-31.	Continuous monitoring data at stations 2, 4 and 7 in the Jinhae Bay.	280
Table A-32.	Number of zooplankton in the Jinhae Bay from Oct. 1980 to Nov. 1981.	287

본 부록에는 마산만 및 잠도 주변 해수 유동 조사의 일환으로 1981년 7월 및 9월 2회에 걸쳐 Aanderaa RCM-4 流速計를 사용하여 약 1주일간 연속 관측한 자료의 결과가 수록되어 있다. 각 자료에 대한 상세한 내용은 제 4 절의 Table I-13에 표시되어 있으며 각 자료의 data set number, 관측 위치 및 기간, 관측 수심, 관측 시간 간격, 사용된 기기의 일련 번호 및 기록된 磁氣 tape의 번호등 전반적인 내용을 포함하고 있다. 총 10 set의 연속 관측 자료 중 사용 가능한 9 set를 전산 처리하여 그 결과의 도면을 다음 순서에 의거 수록하였다.

1. 통계 처리 결과표

유속 자료는 각각 東方成分 및 北方成分으로 나누어 각 成分에 대해 통계 처리하여 그 결과를 수록하였다.

2. Time plot

RCM-4로 관측된 raw data 및 이로부터 계산된 자료의 time-history plotting으로 전반적인 경향을 알 수 있으며 圖面은 위로부터 다음 순서로 되어 있다.

- (1) 유속(cm / sec)
- (2) 유향($^{\circ}$)
- (3) 유속의 수로의 종축에 수직 성분(cm / sec)
- (4) 유속의 수로의 종축에 평행 성분(cm / sec) : +는 창조류를 나타낸다. 단, data set 8 및 10은 낙조류임.
- (5) 유속의 북방 성분(cm / sec)
- (6) 유속의 동방 성분(cm / sec)
- (7) 염분($\%$)
- (8) 수온($^{\circ}C$)
- (9) σ_t

3. Scatter diagram

해류의 流速 및 유향을 동시에 나타내며 유속 및 유향의 대체적인 분포를 알 수 있다.

4. Stick plot

raw data로부터 high frequency를 filter하여 hourly value로 계산한 값을 tidal component, residual component로 분리하였으며 그 관계는 다음과 같다.

$$\vec{V}_{total} = \vec{V}_{tidal} + \vec{V}_{residual}$$

5. Progressive vector diagram

Eulerian method로 觀測된 자료에서 水粒子(water particle)가 이동되는 경로를 나타낸다. 어떤 시각 t_0 로부터 시작하여 관측 時間 간격 Δt 로 觀測된 각각의 유속 벡터를 $\vec{U}_k(t_0 + k\Delta t)$ 라 하면, 시간 $N\Delta t$ 후의 위치 벡터는 출발점으로부터

$$\vec{P}(t_0 + N\Delta t) = \sum_{k=1}^N \vec{U}_k(t_0 + k\Delta t) \cdot \Delta t \quad \text{단, } k=0, 1, \dots, N$$

로 표시되며 이로부터 殘差流 및 tidal excursion을 구할 수 있다.

조석에 의한 조류가 대부분의 海水 순환을 결정하는 본 海域에서는 조석 상태에 따라 조류의 방향이 크게 변하므로 자료의 처리시 scatter diagram 및 통계 처리 결과표에서는 창조와 낙조의 비중이 同一하게 1 潮汐週期(약 12시간 25분)의 정수배가 되도록 하였다.

※ P 267의 도표 참조

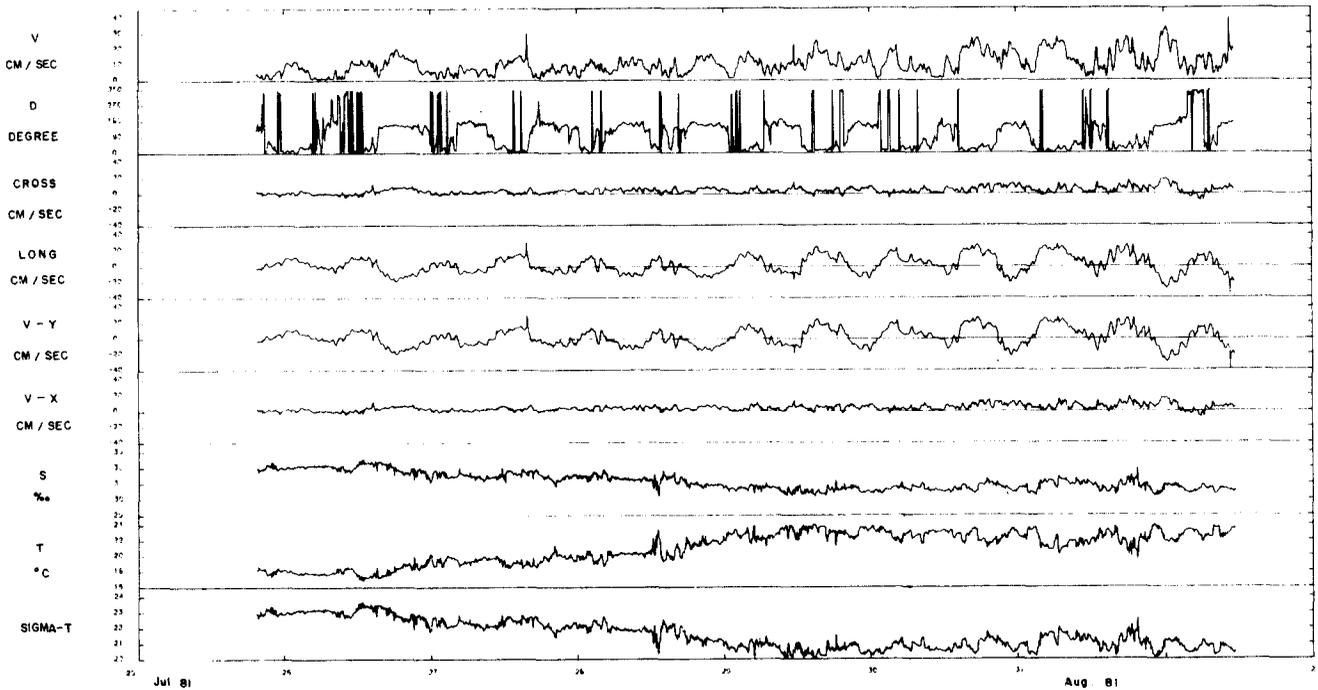
 STATISTICS RCM 4758-16

	E - COMP.	N - COMP.
MEAN	3.826	1.486
VARIANCE	12.101	123.158
STANDARD DEVIATION	3.479	11.098
STANDARD ERROR	0.082	0.262

VECTOR MEAN	SPEED	E -, AND N - COMP.
	DIRECTION(DEG)	4.10
COVARIANCE		68.78
CORRELATION COEFF.		-5.917
VARIANCE OF CORRELATION		-0.153
ST. DEVIATION OF COVARIANCE		6282.480
ST. ERROR OF COVARIANCE		79.262
		1.874

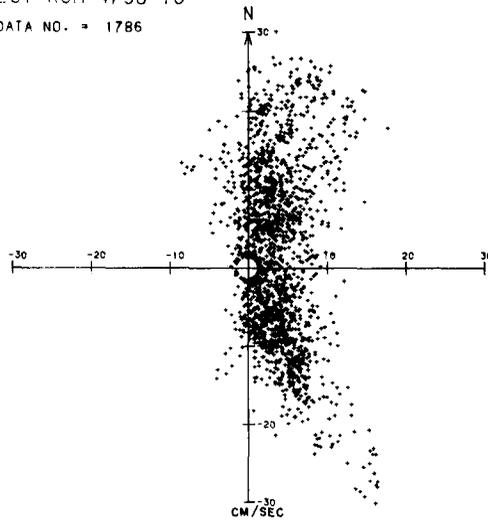
UNIT	CM/SEC
SAMPLE NUMBER	1788
MEASUREMENT PERIOD	1981. 7. 26. 02:20 - 8. 1. 07:15
DURATION	149.0 HOURS

TINE PLOT R M TWA 1788

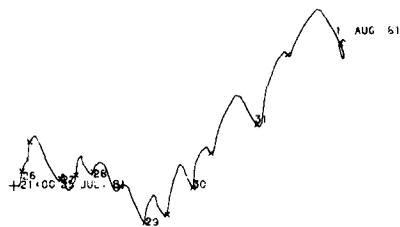
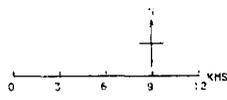
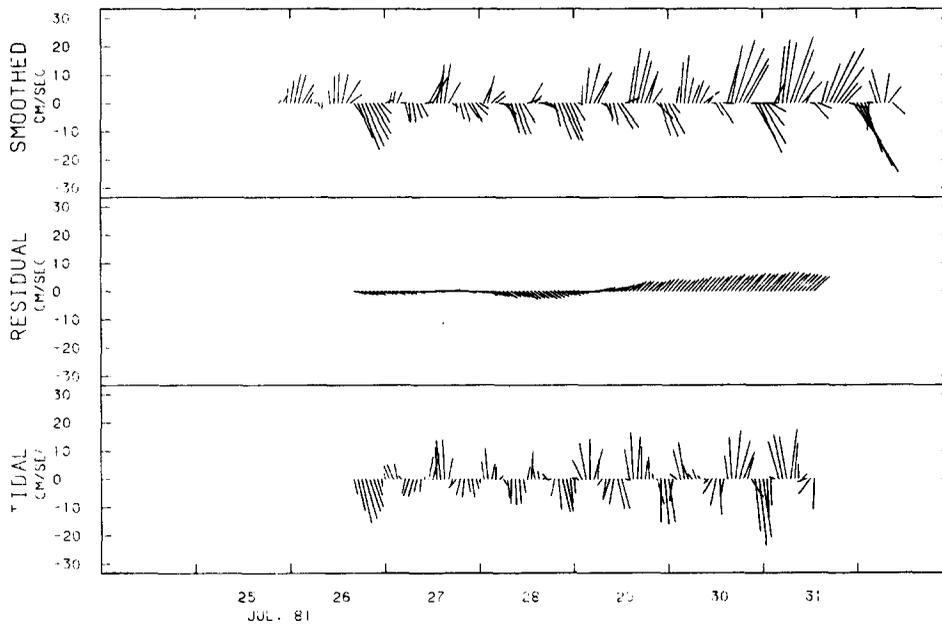


SCATTER PLOT RCM 4758-16

TOTAL DATA NO. = 1786



STICK PLOT RCM 4758-16



PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM RCM 4758-16

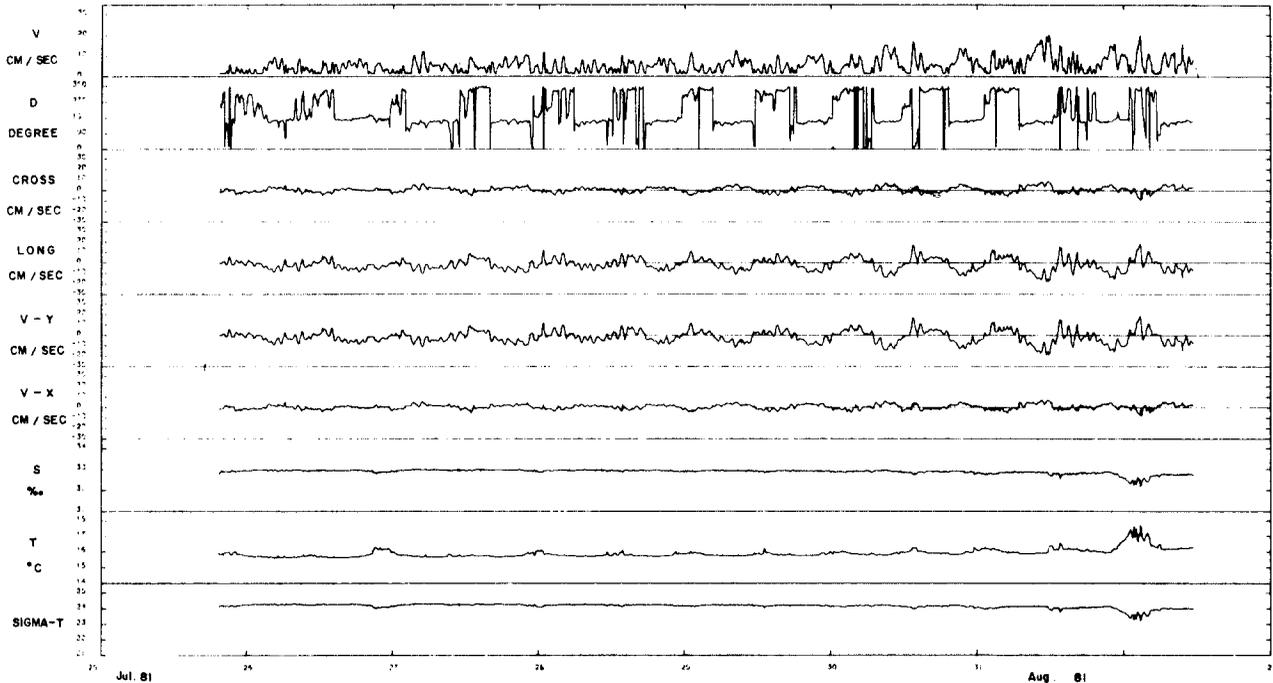
 STATISTICS RCM 4759-14

	E - COMP.	N - COMP.
MEAN	0.484	-1.836
VARIANCE	5.126	32.952
STANDARD DEVIATION	2.264	5.740
STANDARD ERROR	0.054	0.136

VECTOR MEAN	SPEED	E -, AND N - COMP.
	DIRECTION(DEG)	1.90
COVARIANCE		165.22
CORRELATION COEFF.		-10.029
VARIANCE OF CORRELATION		-0.772
ST. DEVIATION OF COVARIANCE		315.410
ST. ERROR OF COVARIANCE		17.760
		0.420

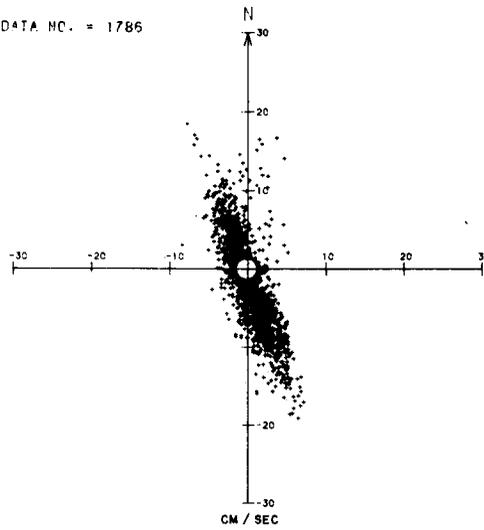
UNIT	CM/SEC
SAMPLE NUMBER	1788
MEASUREMENT PERIOD	1981. 7. 26. 02:20 - 8. 1. 07:15
DURATION	149.0 HOURS

TIME PLOT RCM 4759-14

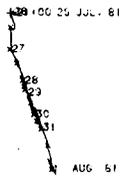
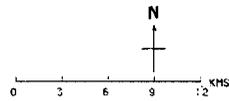
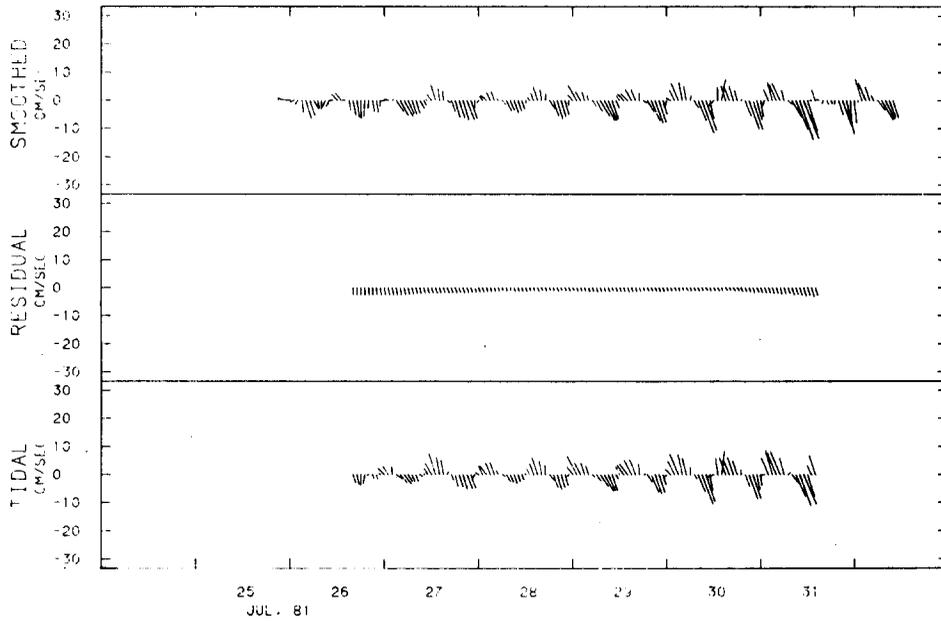


SCATTER PLOT RCM 4759-14

TOTAL DATA NO. = 1786



STICK PLOT RCM 4759-14



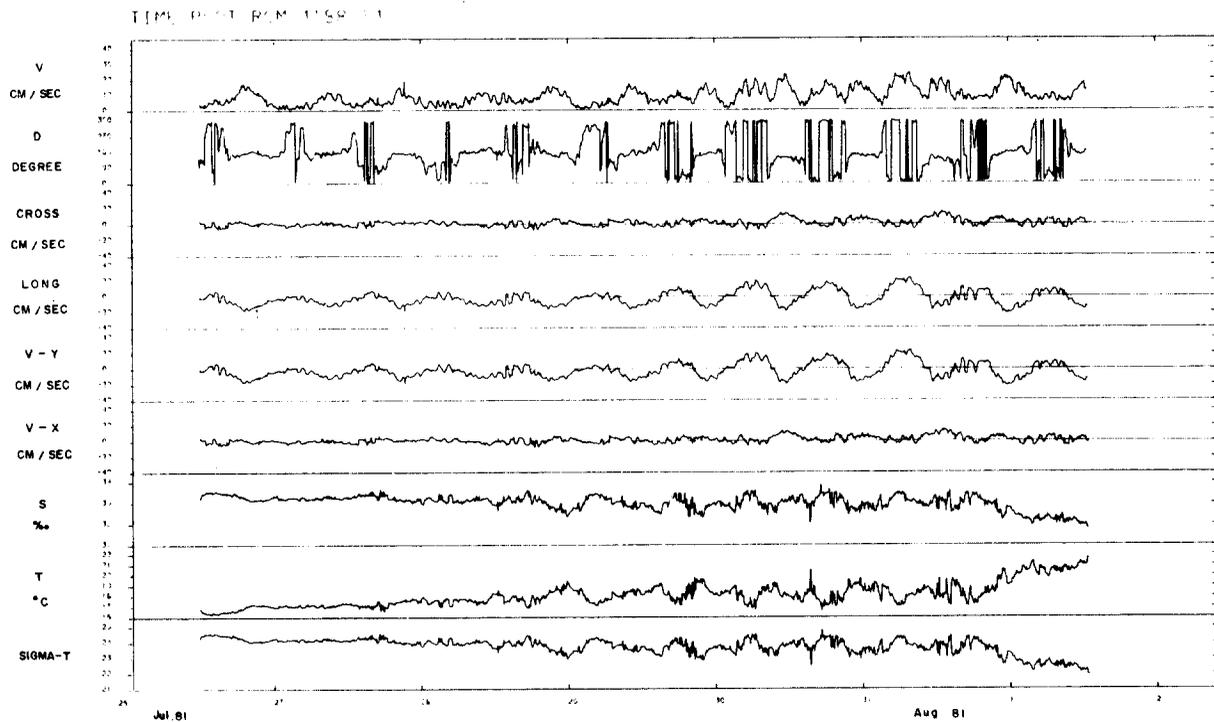
PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM RCM 4759-14

 STATISTICS RCM 4188-14

	E - COMP.	N - COMP.
MEAN	1.653	-2.405
VARIANCE	13.501	83.623
STANDARD DEVIATION	3.674	9.145
STANDARD ERROR	0.091	0.226

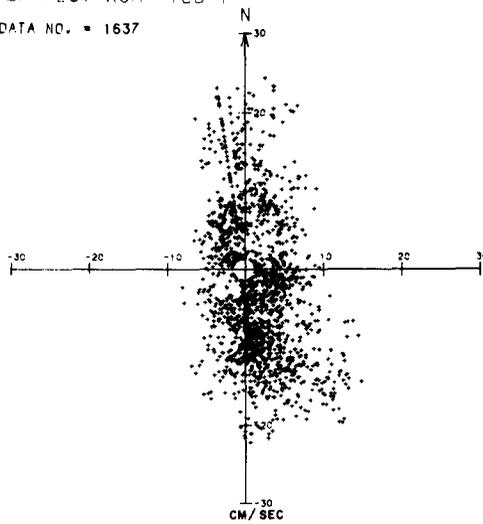
	E -, AND N - COMP.
VECTOR MEAN SPEED	2.92
DIRECTION(DEG)	145.51
COVARIANCE	-9.885
CORRELATION COEFF.	-0.294
VARIANCE OF CORRELATION	1695.109
ST. DEVIATION OF COVARIANCE	41.172
ST. ERROR OF COVARIANCE	1.017

UNIT	CM/SEC
SAMPLE NUMBER	1639
MEASUREMENT PERIOD	1981. 7. 26. 13:10 - 8. 1. 05:40
DURATION	136.6 HOURS

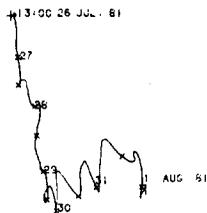
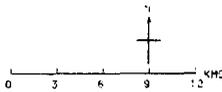
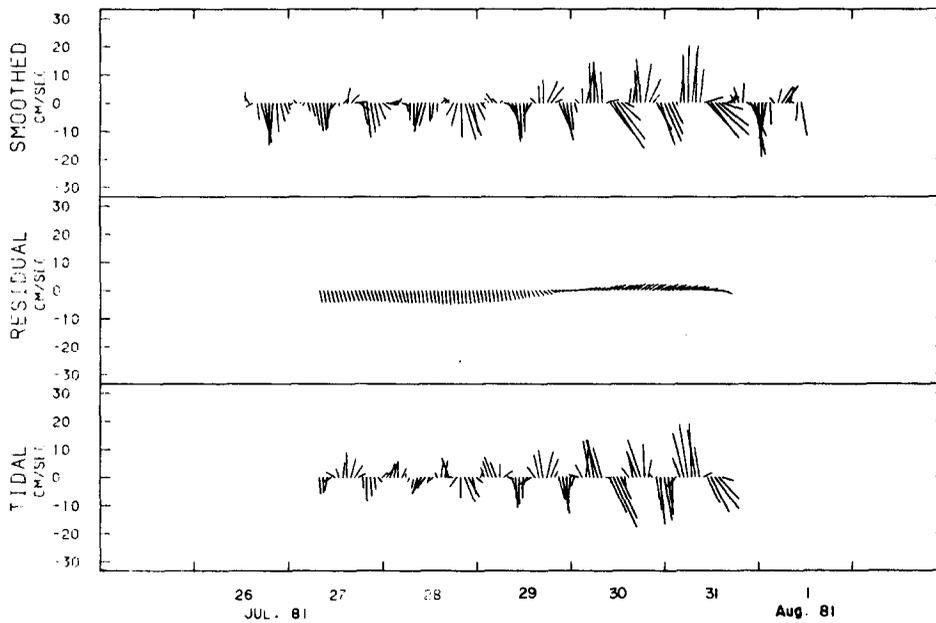


SCATTER PLOT RCM 4188-14

TOTAL DATA NO. = 1637



STICK PLOT RCM 4188-14



PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM RCM 4188-14

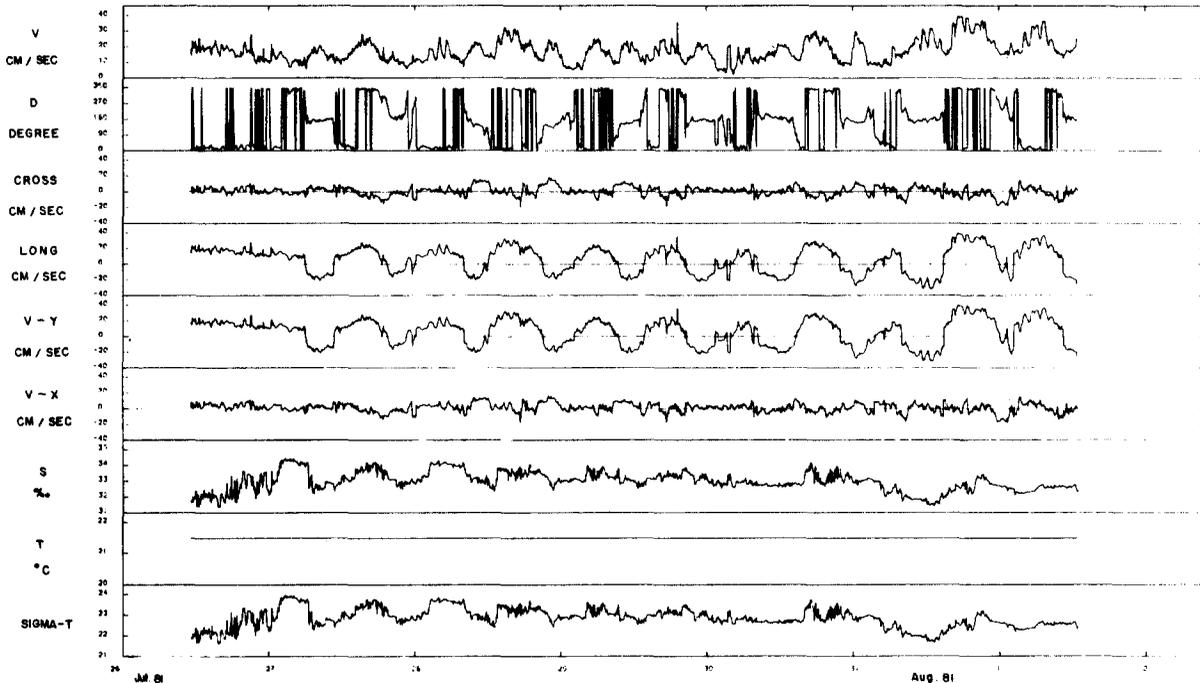
 STATISTICS RCM 3450-811

	E - COMP.	N - COMP.
MEAN	1.153	5.133
VARIANCE	33.248	277.762
STANDARD DEVIATION	5.766	16.666
STANDARD ERROR	0.142	0.412

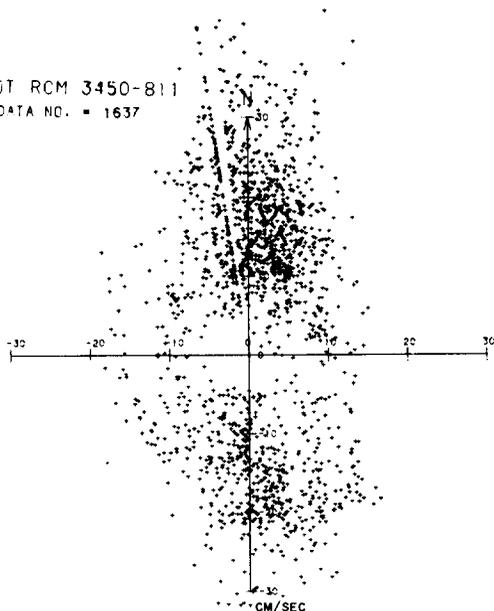
VECTOR MEAN	SPEED	E -, AND N - COMP.
	DIRECTION(DEG)	5.26
COVARIANCE		12.66
CORRELATION COEFF.		-7.176
VARIANCE OF CORRELATION		-0.075
ST. DEVIATION OF COVARIANCE		8130.921
ST. ERROR OF COVARIANCE		90.172
		2.227

UNIT	CM/SEC
SAMPLE NUMBER	1639
MEASUREMENT PERIOD	1981. 7. 26. 13:10 - 8. 1. 05:40
DURATION	136.HOURS

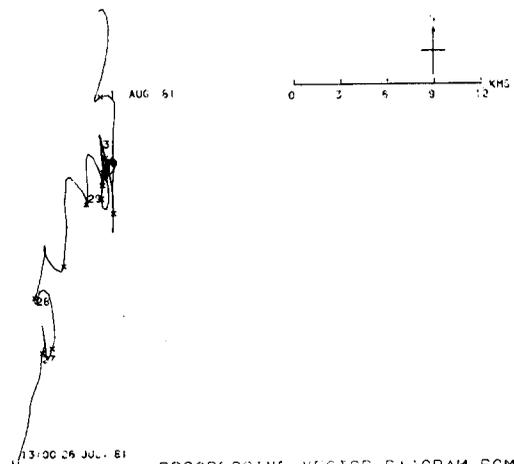
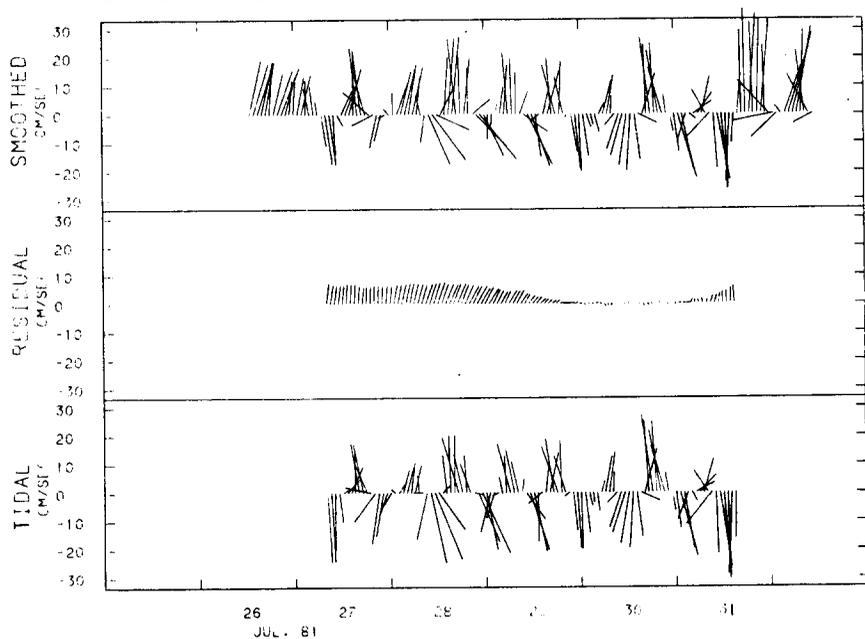
TIME PLOT RCM 3450-811



SCATTER PLOT RCM 3450-811
 TOTAL DATA NO. = 1637



STICK PLOT RCM 3450-811



PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM RCM 3450-811

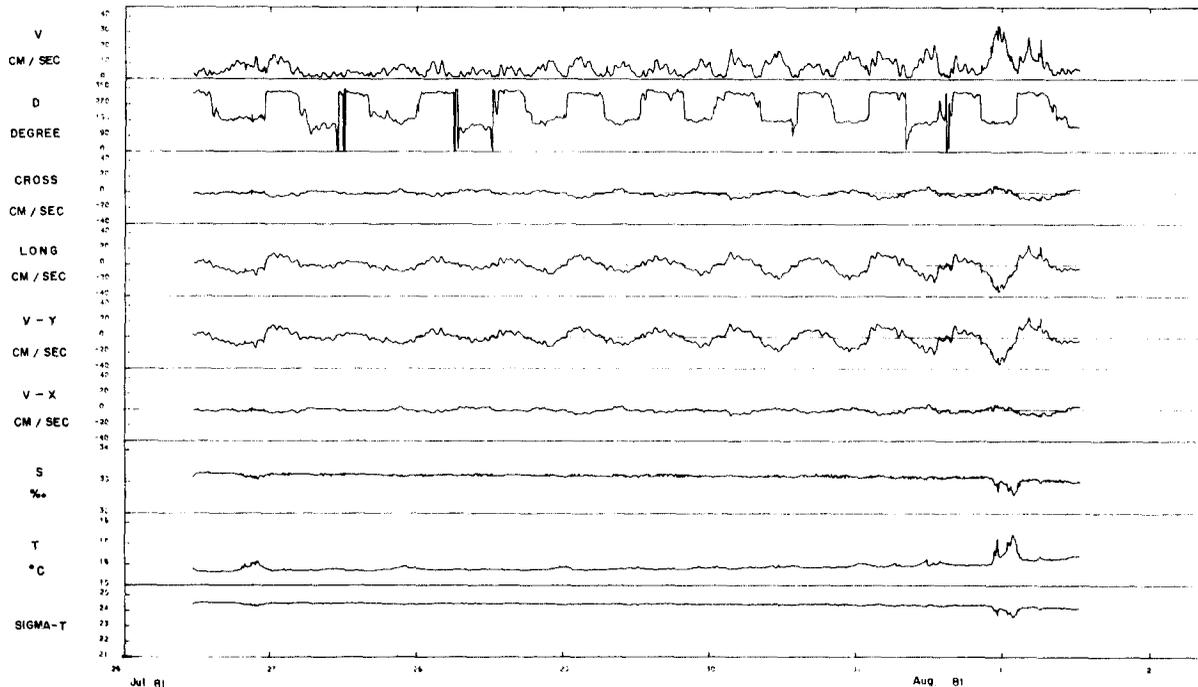
 S T A T I S T I C S R O M 4757-16

	E - COMP.	N - COMP.
MEAN	-1.132	-0.838
VARIANCE	5.686	75.175
STANDARD DEVIATION	2.385	8.670
STANDARD ERROR	0.059	0.214

	E -, AND N - COMP.
VECTOR MEAN	1.41
SPEED	233.49
DIRECTION(DEG)	-15.708
COVARIANCE	-0.760
CORRELATION COEFF.	743.908
VARIANCE OF CORRELATION	27.275
ST. DEVIATION OF COVARIANCE	0.674
ST. ERROR OF COVARIANCE	

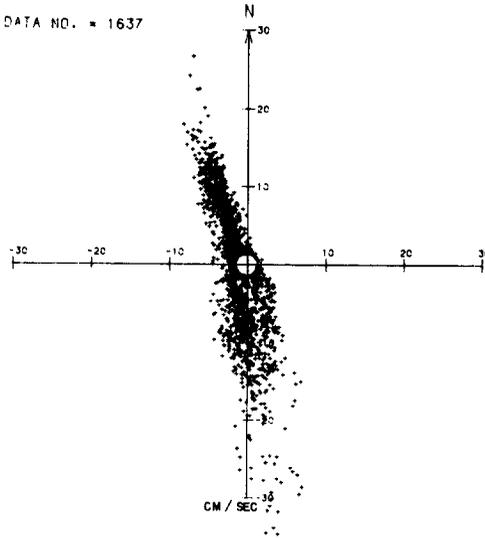
UNIT	CM/SEC
SAMPLE NUMBER	1639
MEASUREMENT PERIOD	1981. 7. 26. 13:10 - 8. 1. 05:40
DURATION	136.6 HOURS

TIM PLOT ROM 4757-16

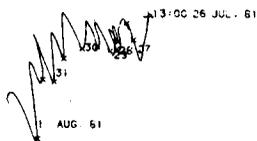
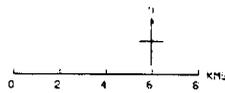
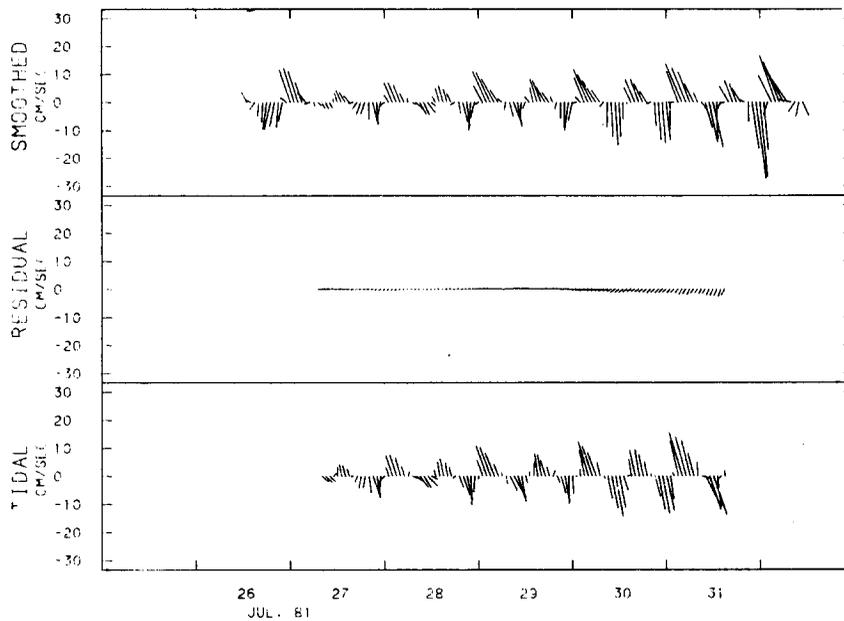


SCATTER PLOT RCM 4757-16

TOTAL DATA NO. = 1637



STICK PLOT RCM 4757-16



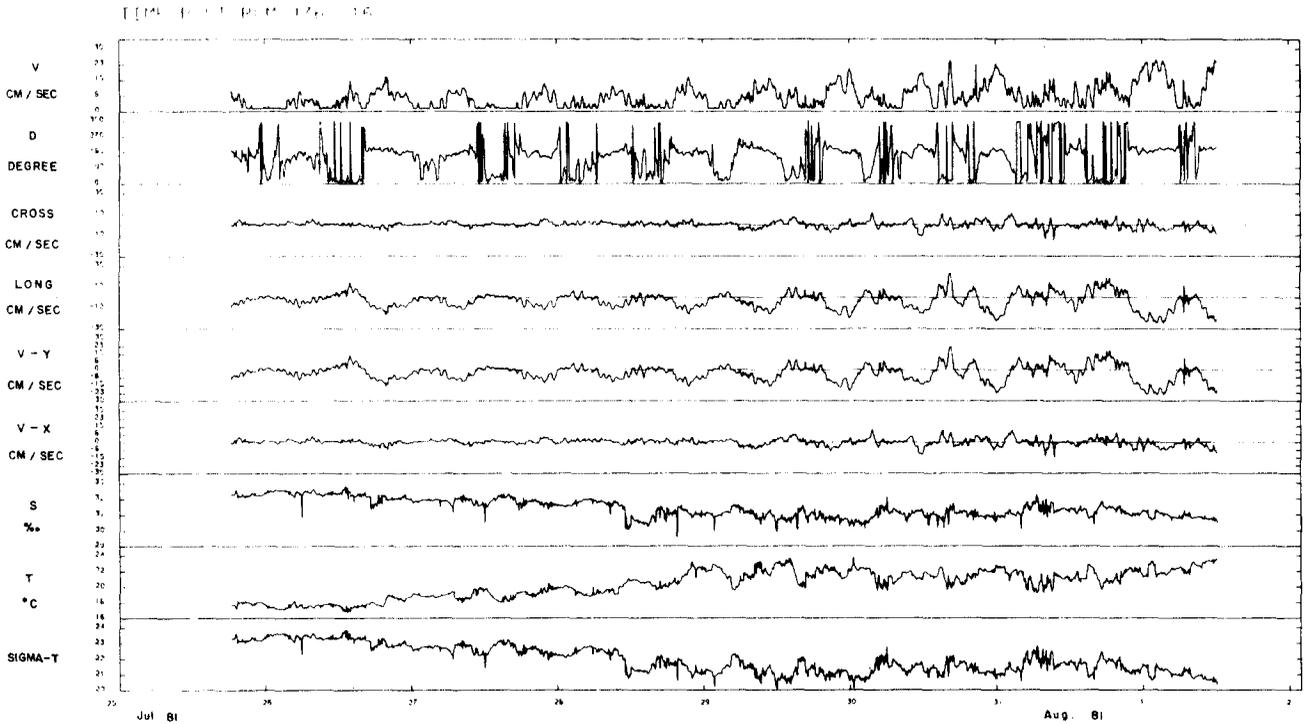
PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM RCM 4757-16

 S T A T I S T I C S RCM 4761-16

	E - COMP.	N - COMP.
MEAN	0.245	-3.087
VARIANCE	10.494	55.417
STANDARD DEVIATION	3.239	7.444
STANDARD ERROR	0.077	0.176

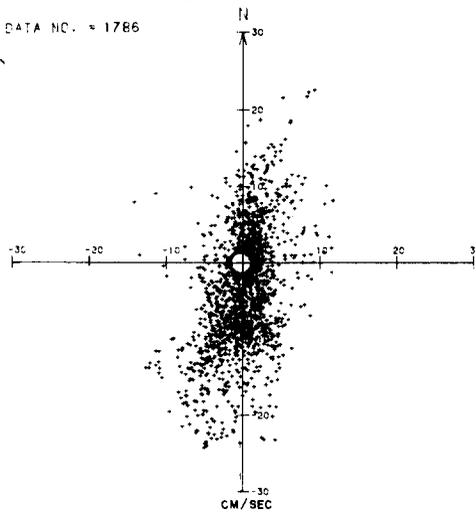
VECTOR MEAN	SPEED	E -, AND N - COMP.
	DIRECTION(DEG)	3.10
COVARIANCE		175.46
CORRELATION COEFF.		10.108
VARIANCE OF CORRELATION		0.419
ST. DEVIATION OF COVARIANCE		1028.505
ST. ERROR OF COVARIANCE		32.070
		0.758

UNIT	CM/SEC
SAMPLE NUMBER	1788
MEASUREMENT PERIOD	1981. 7. 26. 0:20 - 8. 1. 05:15
DURATION	149.HOURS

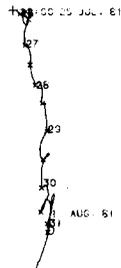
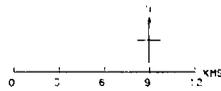
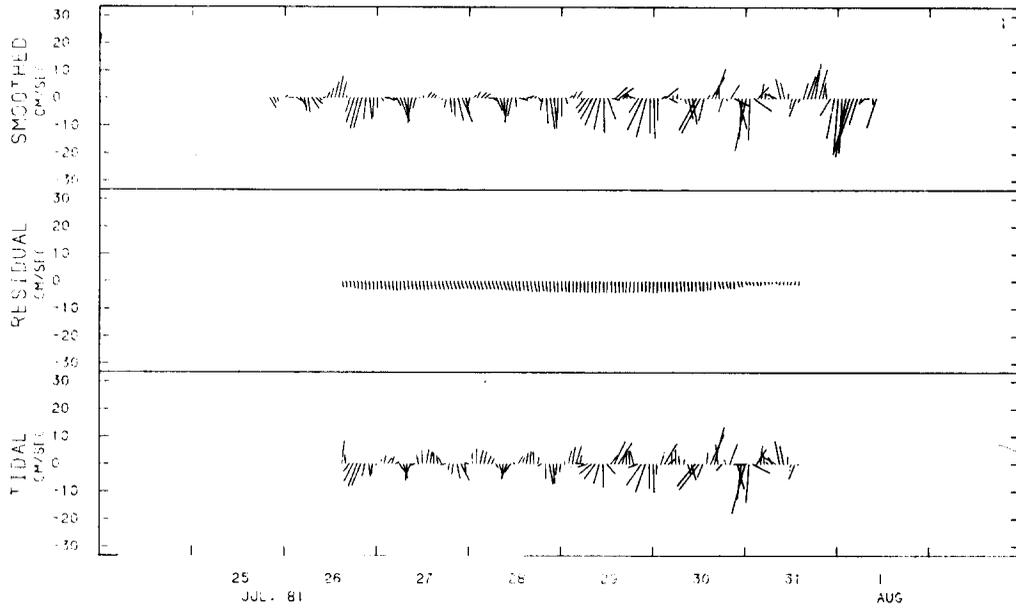


SCATTER PLOT RCM 4761-16

TOTAL DATA NO. = 1786



STICK PLOT RCM 4761-16



PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM RCM 4761-16

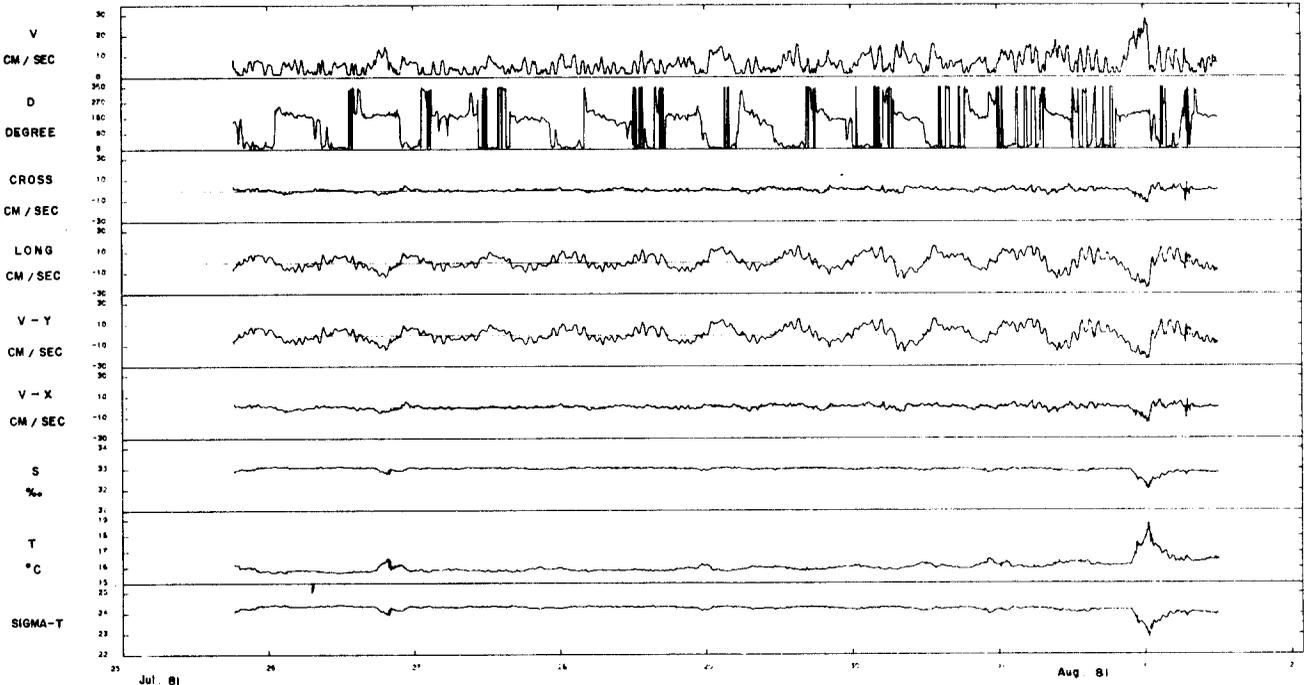
 S T A T I S T I C S RCM 4760-16

	E - COMP.	N - COMP.
MEAN	0.003	0.269
VARIANCE	4.727	47.858
STANDARD DEVIATION	2.174	6.918
STANDARD ERROR	0.051	0.164

VECTOR MEAN	SPEED	E -, AND N - COMP.
	DIRECTION(DEG)	0.27
COVARIANCE		0.62
CORRELATION COEFF.		9.060
VARIANCE OF CORRELATION		0.602
ST. DEVIATION OF COVARIANCE		739.697
ST. ERROR OF COVARIANCE		27.197
		0.643

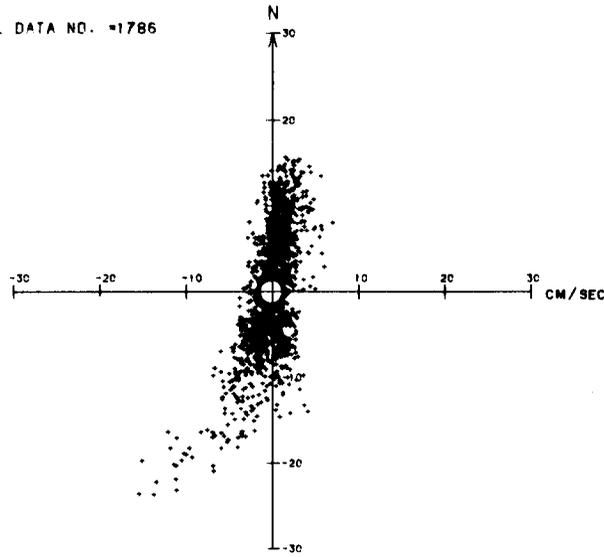
UNIT	CM/SEC
SAMPLE NUMBER	1788
MEASUREMENT PERIOD	1981. 7. 26. 0:20 - 8. 1. 05:15
DURATION	149.HOURS

TIME PLOT RCM 4760-16

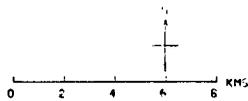
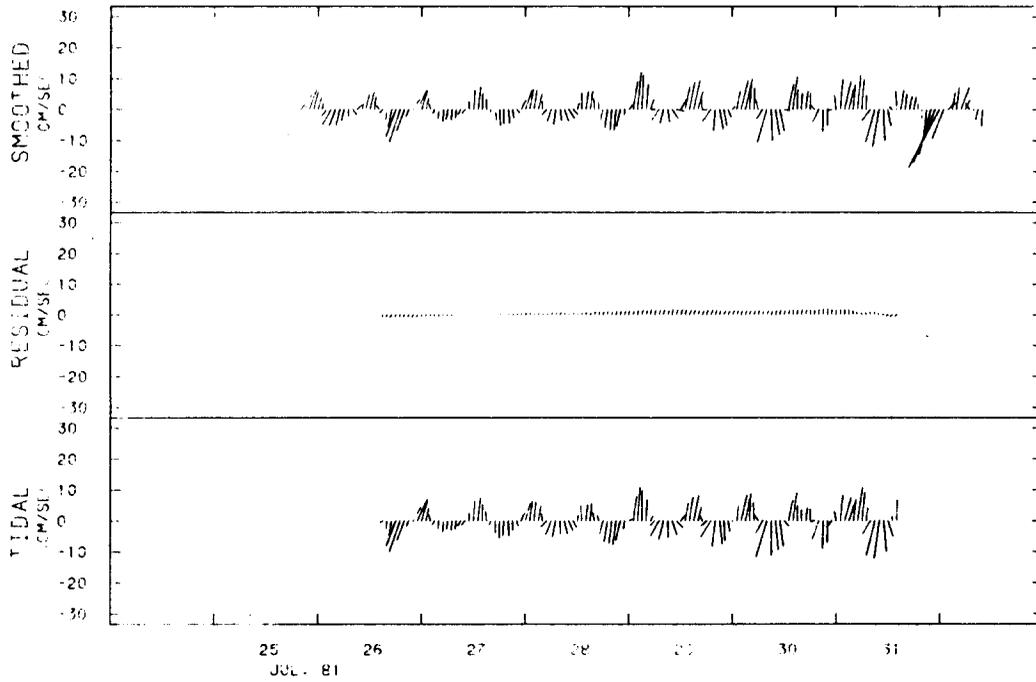


SCATTER PLOT RCM 4760-1.6

TOTAL DATA NO. =1786

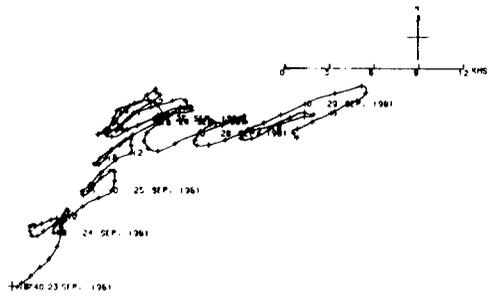
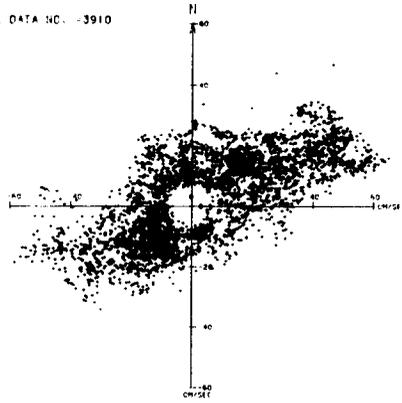


STICK PLOT RCM 4760-16



PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM RCM 4760-16

SCATTER PLOT ROM 418: 16
TOTAL DATA NO. -3910

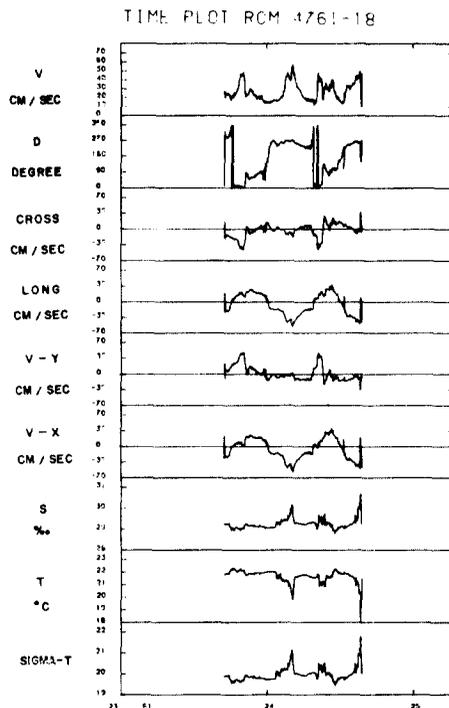


 S T A T I S T I C S RCM 4761-18

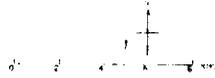
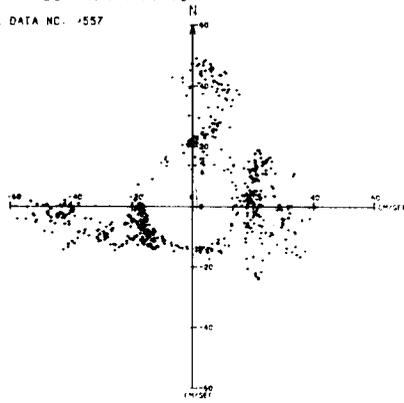
	E - COMP.	N - COMP.
MEAN	-1.252	3.239
VARIANCE	497.639	285.313
STANDARD DEVIATION	22.308	16.891
STANDARD ERROR	0.944	0.714

VECTOR MEAN	SPEED	E -, AND N - COMP.
	DIRECTION(DEG)	3.47
COVARIANCE		338.87
CORRELATION COEFF.		96.159
VARIANCE OF CORRELATION		0.255
ST. DEVIATION OF COVARIANCE		34616.297
ST. ERROR OF COVARIANCE		186.055
		7.869

UNIT	CM/SEC	
SAMPLE NUMBER	559	
MEASUREMENT PERIOD	1981. 9. 23, 17:54 - 9. 24. 12:30	
DURATION	18.6 HOURS	



SCATTER PLOT ROM 4761-18
TOTAL DATA NO. 4557



PROGRESSIVE VECTOR DIAGRAM ROM 4761-18

Data set number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mooring station	1A	1A	1B	1B	1B	1C	1C	14B	15B	16B
Mooring position	35°08'18.9"N 128°36'15.7"E	35°08'18.9"N 128°36'16.8"E	35°08'18.3"N 128°36'16.8"E	35°08'18.3"N 128°36'16.8"E	35°08'18.3"N 128°36'16.8"E	35°08'17.6"N 128°36'28"E	35°08'17.6"N 128°36'28"E	35°03'29"N 128°39'14"E	35°03'53"N 128°40'55"E	35°02'42"N 128°40'34"E
Period										
Mooring	19:17 July 25, '81	19:17 July 25, '81	11:00 July 26, '81	11:02 July 26, '81	11:02 July 26, '81	18:12 July 25, '81	18:12 July 25, '81	17:36 Sept. 23, '81	15:54 Sept. 23, '81	16:51 Sept. 23, '81
Recovery	11:32 Aug. 1, '81	11:32 Aug. 1, '81	12:53 Aug. 1, '81	12:53 Aug. 1, '81	12:53 Aug. 1, '81	12:15 Aug. 1, '81	12:15 Aug. 1, '81	09:17 Sept. 29, '81	10:20 Sept. 29, '81	15:34 Sept. 24, '81
Observation length (hours)	184	184	169	169	169	186	186	136	-	23
Bottom depth(m)	22	22	27	27	27	19	19	25	22	47
Mooring depth(m)	5	17	4	13	22	5	14	4	4	3
Data sampling interval (min.)	5	5	5	5	5	5	5	2	2	2
RCM number	4758	4759	3450	4188	4757	4761	4760	4188	4757	4761
Magnetic tape number	4758-16	4759-14	3450-811	4188-14	4757-16	4761-16	4760-16	4188-16	4757-18	4761-18
Angle of channel axis (degree from true north)	5	5	5	5	5	5	5	9	311	74
Remark								*	**	***

* In time-history plotting, velocity components along the channel are positive in the direction of flood current. Stick plot is not included.

** Data unavailable due to malfunction of recording unit.

*** Moored RCM position was shifted by passing fishing boats, and recovered earlier. Stick plot is absent due to short length of data. In time-history plotting, velocity components along the channel are positive in the direction of flood current.

Table A-1. Water Temperature of the Jinhae Bay ($^{\circ}\text{C}$).

St.	Date W. Layer	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	S	-	-	-	17.0	20.3	25.3	29.3	23.7	19.4	12.6	21.1
	B	-	-	-	14.7	17.2	20.7	23.6	23.5	18.9	12.3	18.7
2	S	21.0	-	11.6	15.0	20.6	25.2	28.9	23.5	19.7	12.9	19.8
	B	20.8	-	9.1	13.8	17.6	20.2	21.8	23.5	19.0	13.1	17.7
3	S	-	-	-	15.3	19.5	25.5	29.1	23.3	19.7	13.1	20.8
	B	-	-	-	13.9	17.5	19.6	21.9	24.3	18.7	12.9	18.4
4	S	20.7	-	11.4	15.3	19.5	24.8	28.2	23.1	20.1	12.9	19.6
	B	20.6	-	9.4	14.2	16.4	18.8	21.5	24.1	18.3	13.1	17.4
5	S	20.5	4.4	11.1	17.2	20.8	23.7	29.1	24.1	19.2	11.4	18.2
	B	20.4	4.4	11.0	16.3	17.9	20.6	23.8	24.0	18.7	11.1	16.8
6	S	20.2	3.4	11.1	18.7	21.5	29.8	29.6	25.3	19.2	11.3	19.0
	B	20.2	3.4	10.4	14.4	17.1	22.5	23.1	24.8	18.9	11.5	16.6
7	S	20.2	3.7	10.8	17.7	20.1	28.1	29.3	24.3	19.2	11.1	18.5
	B	20.1	4.0	10.0	13.9	16.4	20.7	20.4	23.4	18.9	11.4	15.9
8	S	20.5	4.1	11.6	14.7	20.6	26.1	28.5	24.1	19.1	11.4	18.1
	B	20.2	4.1	10.8	14.8	17.4	19.8	23.8	24.3	18.8	11.5	16.5
9	S	20.3	5.6	11.0	15.0	18.6	23.8	27.7	26.2	19.7	12.9	18.1
	B	20.0	5.6	10.3	14.2	16.1	18.2	21.5	21.8	18.3	12.9	15.9

Table A-2 Salinity of the Jinhae Bay (‰).

St.	Date W. Layer	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	S	-	-	-	33.50	33.38	29.15	30.16	22.48	29.55	32.42	30.09
	B	-	-	-	33.52	33.49	33.15	32.30	30.61	31.04	32.45	32.37
2	S	29.84	-	33.41	33.40	33.40	27.86	30.84	21.84	28.42	32.30	30.15
	B	31.74	-	33.39	33.49	33.57	33.68	33.03	31.60	31.32	32.45	32.70
3	S	-	-	-	33.41	33.56	29.47	31.26	22.05	28.61	32.42	30.11
	B	-	-	-	33.52	33.59	30.18	32.94	31.13	31.62	32.43	32.20
4	S	29.81	-	33.30	33.56	33.47	31.25	31.29	20.02	29.19	32.31	30.47
	B	31.33	-	33.36	33.70	33.56	33.59	32.95	31.51	32.19	32.77	32.77
5	S	31.13	33.49	33.50	33.62	33.39	30.62	31.02	19.78	30.35	32.77	30.97
	B	31.14	33.45	33.45	33.67	33.64	32.66	31.90	28.28	30.61	32.73	32.15
6	S	29.49	33.99	32.74	32.26	32.42	18.15	22.72	22.13	29.31	31.98	28.52
	B	31.05	33.96	33.01	33.24	33.56	33.54	30.99	28.05	30.73	32.35	32.05
7	S	30.51	33.23	33.13	32.74	32.70	20.82	28.60	20.99	29.89	32.16	29.48
	B	31.22	33.41	33.38	33.48	33.53	33.68	33.22	27.46	31.17	32.56	32.31
8	S	30.77	33.41	33.24	33.59	33.18	28.06	31.02	20.12	30.13	32.58	30.61
	B	30.96	33.39	33.43	33.66	33.66	33.10	32.02	27.22	30.83	32.65	32.09
9	S	31.13	33.66	33.43	33.67	33.54	31.09	31.27	20.07	29.72	32.87	31.05
	B	31.57	33.64	33.46	33.73	33.72	33.87	33.00	32.00	31.91	33.04	32.99

Table A-3. Dissolved oxygen of the Jinhae Bay (ml/l).

Date St. Layer	1980		1981									Mean
	OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.		
1	S	-	-	-	6.2	5.5	6.7	8.2	9.1	5.8	4.7	6.6
	B	-	-	-	6.0	4.6	6.9	1.3	3.6	2.3	4.9	4.2
2	S	4.3	-	6.5	6.1	5.4	6.4	7.3	8.7	5.0	4.7	6.0
	B	2.4	-	6.5	5.7	4.0	2.4	0.7	2.3	2.7	4.4	3.5
3	S	-	-	-	6.0	5.4	5.9	8.7	8.2	5.2	5.1	6.4
	B	-	-	-	5.6	4.6	3.9	2.6	3.4	3.7	4.7	4.1
4	S	4.4	-	6.5	6.4	5.5	6.0	7.8	6.8	5.8	5.0	6.0
	B	3.1	-	6.0	6.1	4.8	4.3	2.5	2.9	3.9	4.6	4.2
5	S	4.0	9.4	6.5	7.3	6.5	5.1	9.5	8.5	8.6	5.3	7.1
	B	3.8	8.1	6.9	6.7	4.4	3.9	0.5	3.0	4.7	5.4	4.7
6	S	3.0	9.2	6.9	9.1	10.6	8.0	6.7	8.3	5.1	4.8	7.2
	B	2.2	8.1	6.0	4.0	1.3	0	0.1	1.8	3.1	4.2	3.1
7	S	3.0	9.0	7.1	12.3	8.4	9.7	9.4	10.4	5.9	4.4	8.0
	B	2.8	8.4	6.0	4.1	1.4	0	0.6	1.1	2.9	4.4	3.2
8	S	3.6	9.7	8.0	6.0	8.3	8.3	8.7	4.7	6.4	5.3	6.9
	B	3.7	8.5	7.1	4.4	5.8	4.2	0.8	3.3	4.4	5.0	4.7
9	S	3.8	9.2	6.0	6.2	5.8	7.4	7.6	6.3	5.9	4.8	6.3
	B	3.4	8.0	6.0	6.1	5.1	4.3	3.9	1.8	4.1	4.7	4.7

Table A-4. Saturation percentage of dissolved oxygen of the Jinhae Bay (%).

Date St. Layer	1980		1981									Mean
	OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.		
1	S	-	-	-	112.4	106.1	137.8	181.4	175.2	107.5	77.4	128.3
	B	-	-	-	103.9	83.7	133.8	26.4	72.4	42.6	80.2	77.6
2	S	82.2	-	105.4	106.2	104.7	130.5	161.0	166.3	92.6	77.8	102.3
	B	46.3	-	99.8	97.7	73.4	46.3	13.8	46.5	50.2	73.2	60.8
3	S	-	-	-	105.1	102.7	122.0	193.0	156.3	96.4	84.9	122.9
	B	-	-	-	95.4	84.2	72.8	51.5	69.5	70.5	77.9	74.5
4	S	83.7	-	104.9	112.2	104.5	123.8	170.5	127.7	108.7	82.8	113.2
	B	59.4	-	92.7	104.7	86.0	80.8	49.1	59.2	71.9	76.7	75.6
5	S	76.4	129.4	104.4	132.9	126.5	102.9	210.4	162.3	159.6	85.3	129.0
	B	72.4	111.5	110.5	119.9	81.2	75.3	10.2	60.0	86.5	86.3	81.4
6	S	56.4	123.9	110.3	169.2	207.7	167.0	142.9	164.0	94.0	76.7	131.2
	B	41.8	109.1	94.6	68.7	23.6	0	2.0	36.5	57.3	67.5	50.1
7	S	56.8	116.8	113.0	224.9	160.7	200.0	206.1	200.7	109.2	70.1	145.8
	B	53.1	114.4	94.0	69.8	25.1	0	11.6	21.7	53.8	70.7	51.4
8	S	68.6	132.5	129.6	103.9	160.7	171.7	190.8	89.9	118.4	85.2	125.1
	B	70.2	116.1	113.2	76.4	106.1	80.1	16.3	66.0	81.2	80.6	80.6
9	S	72.3	130.5	96.1	108.1	108.4	150.0	154.0	125.0	110.1	79.8	113.4
	B	64.5	113.5	94.7	104.7	90.9	79.9	76.7	35.4	75.5	78.2	81.4

Table A-5. pH of the Jinhae Bay.

St.	Date L.	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NAV.	
1	S	-	-	-	8.3	8.1	8.8	8.9	8.9	8.3	7.9	8.5
	B	-	-	-	8.3	8.1	8.3	8.3	8.3	8.1	7.9	8.2
2	S	8.0	-	8.1	8.0	8.0	8.8	8.9	8.7	8.3	7.9	8.3
	B	8.1	-	8.1	8.1	7.9	8.2	7.8	8.0	8.2	7.9	8.0
3	S	-	-	-	8.1	8.1	8.8	9.4	8.5	8.4	7.9	8.5
	B	-	-	-	8.1	8.1	8.4	8.4	8.1	8.3	7.9	8.2
4	S	8.2	-	8.1	8.2	8.0	8.6	9.1	8.1	8.5	7.9	8.3
	B	8.1	-	8.1	7.9	8.0	8.2	8.2	7.8	8.4	7.8	8.1
5	S	8.1	8.4	8.2	8.0	8.0	8.6	8.4	8.7	8.7	8.3	8.3
	B	8.2	8.3	8.2	7.9	7.9	8.3	8.7	8.2	8.4	8.4	8.3
6	S	8.1	8.4	8.3	8.5	8.9	9.4	8.9	8.2	8.4	8.1	8.5
	B	8.0	8.4	8.2	7.9	8.3	8.0	8.1	7.7	8.3	8.1	8.1
7	S	8.1	8.3	8.2	8.4	8.7	9.4	8.1	8.1	8.4	8.2	8.4
	B	8.1	8.4	8.2	7.9	8.3	8.1	7.7	7.9	8.3	8.2	8.1
8	S	8.2	8.4	8.3	8.2	8.2	9.1	8.2	8.4	8.5	8.2	8.4
	B	8.2	8.4	8.3	8.1	8.1	8.4	8.5	8.2	8.4	8.3	8.3
9	S	8.2	8.4	8.1	8.2	8.0	8.8	8.7	8.5	8.5	7.8	8.3
	B	8.2	8.3	8.1	8.1	8.0	8.3	8.2	8.1	8.3	7.8	8.1

Table A-6. Chemical oxygen demand of the Jinhae Bay (O₂ mg/l).

St.	Date W. Layer	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	S	-	-	-	2.80	1.67	4.20	5.62	6.51	3.22	0.37	3.49
	B	-	-	-	3.01	1.78	2.10	3.79	4.82	3.70	0.50	2.81
2	S	1.36	-	2.13	2.61	2.30	3.18	5.60	5.26	1.89	0.52	2.76
	B	0.79	-	1.70	2.77	1.11	1.88	1.52	4.82	2.06	0.87	1.95
3	S	-	-	-	2.83	1.35	2.10	6.67	4.35	2.30	0.71	2.90
	B	-	-	-	2.61	1.08	2.04	2.59	1.84	2.38	0.82	1.91
4	S	0.82	-	1.82	3.56	2.26	2.55	8.43	3.17	2.27	0.72	2.84
	B	0.56	-	2.31	2.98	1.31	1.99	2.48	3.14	0.51	0.44	1.75
5	S	0.92	2.05	3.52	2.68	2.02	2.75	4.51	5.44	3.42	1.31	2.86
	B	0.86	1.48	1.70	2.40	1.41	1.82	3.46	2.18	2.91	1.02	1.92
6	S	1.71	2.36	3.92	11.60	5.77	5.05	7.86	4.95	2.34	1.06	4.66
	B	1.05	2.08	4.34	2.59	1.33	3.56	4.10	3.70	0.99	0.95	2.47
7	S	1.03	2.60	3.19	12.79	8.44	4.70	8.96	4.81	2.11	1.20	5.00
	B	1.18	1.60	3.34	1.71	1.21	2.84	4.27	3.32	1.22	0.84	2.15
8	S	1.16	1.66	3.52	3.37	2.70	4.10	5.54	4.63	2.94	1.52	3.11
	B	0.88	1.18	1.70	2.13	1.60	1.87	4.85	4.12	1.22	0.95	2.05
9	S	0.48	1.42	2.00	1.72	1.69	2.52	6.37	4.50	2.03	1.24	2.40
	B	0.80	1.42	1.39	1.59	0.40	1.46	3.52	3.46	0.62	0.80	1.55

Table A-7. Suspended solids of the Jinhae Bay (mg/l).

St.	Date W. Layer	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	S	-	-	-	1.8	2.3	2.8	2.2	5.6	6.1	6.5	3.9
	B	-	-	-	1.8	2.6	2.3	2.1	1.5	2.6	6.2	2.7
2	S	8.5	-	4.1	1.1	3.6	4.7	13.0	6.5	3.7	5.7	5.7
	B	1.8	-	2.3	2.0	3.2	4.6	4.2	3.2	4.2	5.4	3.4
3	S	-	-	-	1.2	1.4	3.1	5.7	4.5	3.0	5.4	3.5
	B	-	-	-	1.5	3.0	4.8	1.7	0.7	6.0	6.4	3.5
4	S	1.1	-	0.7	1.5	2.5	3.2	1.4	1.9	4.6	6.8	2.6
	B	1.0	-	2.2	3.4	4.2	5.1	11.0	0.7	8.2	7.2	4.8
5	S	2.1	3.5	3.9	13.2	3.1	2.9	4.6	2.8	9.7	5.9	5.2
	B	2.0	5.9	4.4	7.9	3.2	3.7	1.7	1.3	4.9	4.6	4.0
6	S	0.8	7.6	3.1	14.6	7.6	10.2	10.0	7.5	6.7	6.3	7.5
	B	0.7	5.1	3.5	6.3	5.6	3.4	0.8	2.6	4.1	7.4	3.8
7	S	1.2	4.0	2.5	7.8	14.9	8.2	14.9	26.0	9.2	7.6	9.6
	B	0.5	3.9	2.1	2.7	2.1	3.0	2.5	2.6	5.0	8.0	3.2
8	S	1.0	4.1	4.2	2.8	2.9	7.4	4.2	3.6	8.8	7.2	4.6
	B	0.4	5.5	4.0	2.3	2.7	5.9	0.8	1.2	14.5	5.2	4.3
9	S	1.9	4.5	4.3	3.5	2.8	4.4	4.0	2.2	6.5	7.2	4.1
	B	6.3	4.8	10.7	5.3	4.0	2.8	2.7	6.7	9.1	11.7	6.4

Table A-8. Depths of the Jinhae Bay (m).

St.	Date	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1		-	-	-	16	16	16	15	15	15	14	15
2		24	-	21	24	21	20	21	21	23	19	22
3		-	-	-	21	20	18	19	18	20	20	19
4		24	-	23	24	23	21	21	22	22	22	22
5		12	13	12	10	10	9	10	10	10	9	11
6		13	12	11	11	13	14	13	13	12	12	12
7		28	31	29	28	29	29	31	29	28	28	29
8		12	13	12	13	13	12	13	15	13	12	13
9		24	25	24	21	22	24	20	24	22	20	23

Table A-9. Transparency of the Jinhae Bay (m).

St.	Date	1980	1981									Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1		-	-	-	5.7	10.5	3.0	2.5	1.4	3.5	5.0	4.5
2		3.5	-	4.5	6.0	9.5	3.7	1.2	1.2	2.5	5.5	4.2
3		-	-	-	5.4	10.0	3.6	0.9	1.5	2.5	4.5	4.1
4		4.5	-	8.0	3.5	9.5	3.6	0.6	2.5	2.5	4.0	4.3
5		2.0	2.0	2.5	3.0	4.5	3.2	1.1	1.5	1.5	3.0	2.4
6		1.5	2.0	2.0	0.3	2.5	0.9	1.0	0.8	1.0	2.5	1.5
7		2.0	2.5	2.0	0.5	2.5	1.1	1.2	0.9	1.0	3.0	1.7
8		2.5	3.5	3.5	3.5	5.5	1.0	1.8	2.0	1.5	3.0	2.8
9		3.0	3.0	2.5	3.5	9.5	2.5	2.0	2.5	2.5	4.0	3.5

Table A-10. Nitrate-nitrogen of the Jinhae Bay ($\mu\text{gN/l}$).

St.	Date W. Layer	1980										Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	S	-	-	-	nd	82	-	nd	17	nd	53	25
	B	-	-	-	nd	nd	25	nd	26	181	36	38
2	S	-	-	-	nd	nd	5	1	8	16	46	10
	B	-	-	-	nd	1	193	6	8	158	43	58
3	S	-	-	-	nd	nd	6	nd	158	nd	24	26
	B	-	-	-	nd	nd	213	21	17	74	69	56
4	S	124	39	6	nd	3	45	nd	342	nd	32	59
	B	61	6	3	nd	8	255	27	11	87	62	52
5	S	68	43	2	73	nd	93	nd	310	nd	35	62
	B	117	21	2	nd	nd	122	nd	118	42	147	57
6	S	104	571	548	549	437	987	1303	56	793	571	592
	B	54	517	331	54	18	51	6	202	93	207	153
7	S	113	185	189	68	117	762	1052	54	90	424	296
	B	34	147	16	16	3	17	nd	13	65	139	45
8	S	67	206	115	nd	2	92	nd	224	144	171	102
	B	43	164	47	3	nd	183	nd	182	57	97	78
9	S	71	65	6	nd	nd	7	nd	327	nd	53	53
	B	61	92	7	76	7	257	46	41	72	66	73

nd: not detected

Table A-11. Nitrite-nitrogen of the Jinhae Bay ($\mu\text{gN/l}$).

St.	Date W. Layer	1980										Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	S	-	-	-	2.7	0.8	13.6	13.8	3.5	0.4	6.4	5.9
	B	-	-	-	1.5	0.8	1.4	0.6	4.0	1.0	3.9	1.9
2	S	-	-	-	5.5	0.7	0.6	0.7	1.6	0.1	6.9	2.3
	B	-	-	-	8.2	1.2	25.8	3.6	8.8	1.0	6.4	7.9
3	S	-	-	-	3.7	0.4	0.3	0.1	8.7	0.1	2.0	2.2
	B	-	-	-	14.6	0.6	10.0	6.7	4.6	21.4	8.4	9.5
4	S	32.4	1.5	1.2	11.9	1.0	3.3	0.2	7.8	0.1	2.4	6.2
	B	17.5	0.4	0.6	8.2	2.0	5.8	8.8	6.2	15.3	13.9	7.9
5	S	22.8	3.2	0.9	0.1	0.6	9.9	0.3	9.8	0.1	3.5	5.2
	B	22.3	2.9	0.9	nd	0.5	9.0	0.2	8.3	7.7	16.2	6.8
6	S	32.1	11.3	27.9	0.6	22.4	52.7	108.6	7.3	7.0	27.6	29.8
	B	27.1	11.8	15.8	7.4	2.7	2.5	3.7	16.9	19.7	24.6	13.2
7	S	32.7	5.7	12.9	5.0	7.9	36.8	36.8	5.5	29.1	29.5	20.2
	B	20.8	1.7	3.3	3.8	1.3	1.0	2.1	7.0	18.6	15.8	7.5
8	S	28.5	3.4	8.4	1.2	1.4	12.3	0.3	10.2	23.7	23.1	11.3
	B	23.3	2.7	1.2	0.2	0.5	6.4	0.1	10.6	12.4	11.3	6.9
9	S	25.1	1.5	1.5	nd	0.6	2.6	0.5	8.2	0.1	4.1	4.4
	B	20.5	1.4	1.3	nd	2.6	3.4	7.5	12.4	14.9	9.2	7.3

nd: not detected

Table A-12. Phosphate-phosphorus of the Jinhae Bay ($\mu\text{gP}/\text{l}$).

St.	Date W. Layer	1981										Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	S	-	-	-	8.2	13.9	11.0	12.2	23.1	4.3	17.0	12.8
	B	-	-	-	15.9	16.5	0.8	6.6	28.9	44.9	38.7	21.8
2	S	-	-	-	10.8	12.3	0.6	45.7	36.6	16.0	38.7	23.0
	B	-	-	-	19.2	23.1	32.6	69.3	4.3	42.4	41.8	33.2
3	S	-	-	-	13.5	9.5	1.6	58.9	9.4	6.6	38.7	19.7
	B	-	-	-	19.7	15.5	16.7	23.4	24.6	27.2	43.4	24.4
4	S	38.3	10.2	6.5	11.3	9.5	0.8	17.5	22.3	4.3	43.4	16.4
	B	24.4	9.0	13.0	11.5	14.4	11.2	25.9	31.2	23.9	49.6	21.4
5	S	63.5	49.3	14.6	14.4	29.1	35.4	71.6	35.8	6.9	62.0	38.3
	B	43.2	54.3	16.7	15.4	16.0	18.4	11.4	105.6	32.5	24.8	33.8
6	S	50.3	18.3	27.6	13.9	44.1	4.4	29.2	58.9	37.8	43.4	32.8
	B	53.9	17.1	40.6	44.9	53.8	107.7	46.0	53.3	37.1	52.7	50.7
7	S	49.1	10.5	22.0	77.1	58.8	10.7	52.1	57.6	20.6	58.9	41.7
	B	38.1	16.7	25.4	33.1	64.1	110.5	136.8	62.7	37.1	46.5	57.1
8	S	41.0	5.9	14.3	3.6	11.6	44.7	12.2	16.8	9.7	48.0	20.8
	B	28.8	19.2	11.5	10.6	13.1	16.7	1.5	34.3	23.1	44.9	20.4
9	S	34.9	14.6	8.4	7.2	10.2	15.4	5.8	22.1	3.8	54.2	17.7
	B	28.8	10.5	12.1	8.6	16.5	14.5	18.5	49.5	20.8	55.8	23.6

Table A-13. Silicate-silicon of the Jinhae Bay ($\mu\text{gSi}/\text{l}$).

St.	Date W. Layer	1980										Mean
		OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	S	-	-	-	224	477	556	565	1129	660	674	612
	B	-	-	-	290	378	275	977	562	1236	663	625
2	S	-	-	-	259	428	254	712	1256	956	722	655
	B	-	-	-	341	648	1037	1979	1026	1250	559	977
3	S	-	-	-	256	398	164	608	1291	772	590	582
	B	-	-	-	360	428	403	982	547	781	674	596
4	S	870	114	202	278	374	188	688	1927	501	595	573
	B	690	47	172	218	344	335	1043	665	648	584	475
5	S	860	115	132	410	378	388	593	1905	3	590	537
	B	860	87	121	331	377	418	579	1069	576	626	504
6	S	1350	116	269	738	491	1524	1498	801	1115	711	861
	B	1330	229	234	795	511	1231	902	605	902	705	744
7	S	1180	198	201	656	678	1443	573	1377	807	688	780
	B	850	21	207	779	1039	1285	1708	1282	1008	711	889
8	S	920	158	228	385	372	577	472	1714	737	458	602
	B	800	39	187	290	298	356	570	775	697	601	459
9	S	770	75	139	240	312	326	570	1930	513	567	544
	B	740	46	152	275	359	308	510	1109	602	573	467

Table A-14. Urea-nitrogen of the Jinhae Bay (ugN/l).

St.	Month W. Layer	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	Mean
		1	S	25.5	33.8	33.6	37.8
	B	45.8	49.4	100.8	53.2	28.0	55.4
2	S	31.0	38.1	53.2	37.8	35.0	39.0
	B	-	52.1	18.2	37.8	23.8	33.0
3	S	25.5	29.9	40.6	37.8	43.4	35.4
	B	37.4	40.0	19.6	53.2	21.0	34.2
4	S	22.4	35.5	26.6	16.8	23.8	25.0
	B	41.7	37.7	21.0	32.2	22.4	31.0
5	S	40.8	44.2	-	49.0	44.8	44.7
	B	25.7	31.9	98.0	19.6	21.0	39.2
6	S	65.0	71.4	56.0	50.4	58.8	60.3
	B	-	27.6	29.4	29.4	36.4	30.7
7	S	51.5	55.5	40.6	54.6	36.4	47.7
	B	-	33.6	-	23.8	14.0	23.8
8	S	20.3	33.3	19.6	40.6	51.8	33.1
	B	20.3	39.1	29.4	36.4	60.2	37.1
9	S	14.1	27.9	33.6	51.8	30.8	34.5
	B	-	43.4	36.4	22.4	30.8	33.3

Table A-15. Chlorophyll *a* of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date St.	1980	1981									Mean
	OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	-	-	1.12	0.98	6.51	2.18	25.96	4.64	3.08	6.35
2	3.07	-	0.81	1.63	1.05	6.21	50.26	35.07	9.48	2.64	12.24
3	-	-	-	1.38	0.98	3.07	72.56	20.34	8.49	6.10	16.13
4	3.81	-	0.41	1.40	0.97	3.32	290.46	4.86	7.00	5.46	35.29
5	2.90	4.58	1.33	1.54	3.53	2.54	17.26	9.33	15.97	7.66	6.66
6	1.30	12.50	2.84	833.96	16.48	28.37	18.78	75.15	22.99	7.86	10.20
7	0.53	6.92	4.12	737.40	32.21	22.81	49.16	94.22	19.58	4.20	9.71
8	1.83	5.35	2.90	0.95	4.60	29.90	27.70	15.16	26.36	7.76	12.25
9	1.36	4.14	1.52	2.11	1.16	6.38	28.08	8.21	8.41	4.20	6.56

Table A-16. Chlorophyll *b* of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date St.	1980	1981									Mean
	OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	-	-	0.35	0.72	1.63	n.d	0.25	0.21	0.82	0.56
2	0.44	-	0.75	1.36	0.83	1.14	2.74	2.29	0.49	0.36	1.15
3	-	-	-	1.23	0.56	0.95	1.46	1.28	0.58	0.50	0.93
4	0.80	-	1.11	n.d	0.53	1.18	2.19	0.34	0.22	0.74	0.79
5	0.90	0.16	0.71	1.63	1.19	0.95	1.48	0.11	1.04	0.18	0.75
6	0.39	2.89	0.99	338.94	5.37	3.07	0.99	1.40	1.15	0.14	35.53
7	n.d	1.54	1.53	283.11	11.03	2.90	2.72	2.12	5.35	0.02	31.05
8	0.19	1.13	1.41	1.31	1.55	1.91	0.92	0.44	0.99	n.d	0.99
9	0.33	1.08	1.51	0.78	0.59	1.81	0.36	0.16	0.30	1.44	0.84

Table A-17. Chlorophyll *c* of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date St.	1980	1981									Mean
	OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	-	-	1.78	0.62	5.20	2.80	7.55	2.06	2.64	3.24
2	nd	-	1.56	3.59	0.94	3.91	18.54	12.30	3.74	2.12	5.19
3	-	-	-	3.52	0.14	2.87	22.32	7.74	3.04	3.54	6.17
4	nd	-	0.75	4.63	0.23	2.95	109.56	2.01	2.99	3.40	14.06
5	nd	1.75	0.93	0.36	1.26	2.91	7.78	2.75	6.23	2.82	2.68
6	nd	1.21	1.03	268.48	7.83	12.13	14.21	22.16	8.02	2.22	33.74
7	nd	1.72	1.75	249.34	13.47	10.25	19.82	60.06	15.68	2.00	37.41
8	nd	1.27	1.66	1.13	1.17	10.35	10.98	5.87	8.27	1.72	4.24
9	1.33	0.78	3.20	3.48	nd	5.58	10.09	2.51	2.55	4.62	3.41

Table A-18. Plant carotenoids of the Jinhae Bay (m-spu).

Date St.	1980	1981									Mean
	OCT.	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	-	-	nd	0.29	2.32	0.60	11.28	1.84	1.06	2.48
2	1.28	-	nd	0.23	0.33	2.15	27.30	13.96	2.06	0.14	5.27
3	-	-	-	0.16	0.52	0.68	39.90	6.79	2.66	2.52	7.60
4	1.06	-	nd	0.27	0.42	0.64	159.56	7.10	2.71	2.63	19.38
5	1.65	0.85	0.40	0.22	1.86	0.87	7.96	0.53	3.04	2.89	2.03
6	nd	2.44	1.19	193.39	1.61	7.19	5.98	30.26	2.71	3.04	24.78
7	nd	1.07	2.11	172.41	11.20	8.53	14.74	66.34	9.06	2.89	28.84
8	0.06	0.78	0.18	0.85	2.00	18.39	26.63	0.79	0.52	2.77	5.30
9	0.70	0.69	0.12	0.77	0.63	2.45	28.41	5.27	2.62	1.70	4.34

nd: not detected

Table A-19. Dissolved cadmium of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$)

Date Station	1981									Mean	
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.		
1	-	<0.03	<0.03	0.28	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.36	0.09
2	-	<0.03	<0.03	0.14	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.34	0.07
3	-	<0.03	<0.03	0.14	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.44	0.08
4	-	<0.03	<0.03	0.98	<0.03	0.30	0.25	<0.03	<0.03	0.22	0.23
5	<0.03	<0.03	<0.03	0.14	<0.03	0.20	<0.03	<0.03	<0.03	0.22	0.07
6	<0.03	<0.03	<0.03	0.84	<0.03	0.30	0.25	<0.03	<0.03	0.18	0.18
7	<0.03	<0.03	<0.03	0.14	<0.03	0.25	<0.03	<0.03	<0.03	0.04	0.06
8	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.75	<0.03	<0.03	0.04	0.10
9	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.30	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.05

Table A-20. Particulate cadmium of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date Station	1981									Mean	
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.		
1	-	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.22	0.04
2	-	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.16	<0.03
3	-	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.09	<0.03	<0.03	<0.03	0.15	0.04
4	-	<0.03	<0.03	0.09	<0.03	0.12	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.04
5	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
6	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
7	<0.03	<0.03	<0.03	0.13	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
8	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
9	<0.03	<0.03	<0.03	0.09	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03

Table A-21. Total cadmium of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date Station	1981									Mean	
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.		
1	-	0.03	0.03	0.30	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.58	0.13
2	-	0.03	0.03	0.16	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.50	0.11
3	-	0.03	0.03	0.16	0.03	0.10	0.03	0.03	0.03	0.59	0.13
4	-	0.03	0.03	1.07	0.03	0.42 ¹	0.26	0.03	0.03	0.23	0.26
5	0.03	0.03	0.03	0.16	0.03	0.21	0.03	0.03	0.03	0.23	0.09
6	0.03	0.03	0.03	0.86	0.03	0.31	0.26	0.03	0.03	0.19	0.20
7	0.03	0.03	0.03	0.27	0.03	0.26	0.03	0.03	0.03	0.05	0.08
8	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.76	0.03	0.03	0.05	0.11
9	0.03	0.03	0.03	0.11	0.03	0.31	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07

Table A-22. Dissolved copper of the Jinhae Bay ($\mu\text{g}/\text{l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	1.20	2.64	0.88	2.42	0.25	1.45	0.24	1.75	1.35
2	-	2.40	0.48	0.11	2.30	0.20	0.25	0.48	1.10	0.91
3	-	3.13	0.48	0.44	-	1.00	0.60	0.52	0.70	1.12
4	-	2.16	0.72	0.22	1.03	1.00	1.85	0.38	1.35	1.09
5	0.99	1.44	0.96	1.10	1.38	1.50	0.40	0.62	1.75	1.13
6	1.28	2.24	0.48	1.32	1.84	1.25	0.60	0.28	1.15	1.16
7	0.99	1.08	0.48	0.88	1.84	2.00	0.60	0.44	1.45	1.08
8	0.99	1.67	0.96	0.44	1.61	0.50	0.35	0.34	1.40	0.92
9	1.87	2.50	2.64	0.11	1.38	1.00	0.40	0.28	0.95	1.24

Table A-23. Particulate copper of the Jinhae Bay ($\mu\text{g}/\text{l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	0.59	0.28	0.74	0.90	<0.03	0.23	0.07	0.34	0.40
2	-	0.12	0.77	0.65	1.06	<0.03	0.09	<0.03	0.29	0.33
3	-	0.77	0.27	0.26	0.37	0.31	0.29	0.10	0.34	0.34
4	-	1.41	0.74	0.43	0.41	0.58	0.24	0.08	0.28	0.52
5	<0.03	0.80	0.21	0.50	<0.03	0.06	0.04	<0.03	0.41	0.23
6	<0.03	1.15	1.82	0.84	0.23	<0.03	0.47	0.07	0.28	0.54
7	<0.03	0.14	1.61	0.57	0.62	0.21	0.55	0.03	0.32	0.45
8	<0.03	0.05	0.37	0.42	0.21	0.06	<0.03	0.18	0.56	0.21
9	<0.03	0.12	0.37	0.43	0.10	0.44	0.18	0.05	0.44	0.24

Table A-24. Total copper of the Jinhae Bay ($\mu\text{g}/\text{l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	1.79	2.92	1.62	3.32	0.26	1.68	0.31	2.09	1.75
2	-	2.52	1.25	0.76	3.36	0.21	0.34	0.50	1.39	1.24
3	-	3.90	0.75	0.70	-	1.31	0.89	0.62	2.04	1.46
4	-	3.57	1.46	0.67	1.44	1.58	2.09	0.46	1.63	1.61
5	1.01	2.24	1.17	1.60	1.40	1.56	0.44	0.64	2.16	1.36
6	1.30	3.39	2.30	2.16	2.07	1.26	1.07	0.35	1.43	1.70
7	1.01	1.22	2.09	1.45	2.46	2.21	1.15	0.47	1.77	1.54
8	1.01	1.72	1.33	0.86	1.82	0.56	0.36	0.52	1.96	1.13
9	1.89	2.62	3.01	0.54	1.48	1.44	0.58	0.33	1.39	1.48

Table A-25. Dissolved lead of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	<0.3	<0.3	2.0	1.0	0.5	0.5	0.4	<0.3	0.6
2	-	<0.3	<0.3	3.3	<0.3	0.3	0.8	1.3	0.6	0.8
3	-	<0.3	<0.3	1.3	<0.3	0.6	0.7	0.9	<0.3	0.5
4	-	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.5	0.9	0.6	<0.3	0.3
5	<0.3	<0.3	<0.3	1.3	<0.3	0.7	0.6	0.6	<0.3	0.4
6	<0.3	<0.3	<0.3	5.2	<0.3	<0.3	0.4	0.4	1.3	0.9
7	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.6	<0.3	<0.3	0.3
8	<0.3	<0.3	<0.3	2.6	<0.3	<0.3	1.1	0.6	<0.3	0.6
9	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.7	0.4	1.3	0.4

Table A-26. Particulate lead of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	4.2	9.6	1.1	<0.3	1.2	3.3	1.6	0.4	2.7
2	-	<0.3	6.2	4.0	<0.3	1.4	5.5	1.4	0.5	2.4
3	-	<0.3	3.2	1.2	<0.3	0.8	6.6	1.4	0.8	1.8
4	-	4.0	2.4	10.6	<0.3	1.2	4.0	1.2	0.3	3.0
5	<0.3	1.1	8.7	5.9	<0.3	1.2	5.2	2.0	0.6	2.8
6	<0.3	12.0	11.9	4.0	<0.3	1.0	5.3	1.2	1.2	4.1
7	<0.3	<0.3	2.1	6.2	<0.3	1.5	6.1	2.0	0.6	2.1
8	<0.3	<0.3	1.4	3.8	<0.3	1.4	4.7	1.2	1.0	1.6
9	<0.3	2.4	1.7	5.9	<0.3	1.9	5.4	1.0	4.2	2.5

Table A-27. Total lead of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	4.4	9.8	3.1	1.2	1.7	3.8	2.0	0.6	3.3
2	-	0.3	6.4	7.3	0.3	1.7	6.3	2.7	1.1	3.3
3	-	0.3	3.4	2.5	0.3	1.4	7.3	2.3	1.0	2.3
4	-	4.2	2.6	10.8	0.3	1.7	4.9	1.8	0.5	3.4
5	0.3	1.3	8.9	7.2	0.3	1.9	5.8	2.6	0.8	3.2
6	0.3	12.2	12.1	9.2	0.3	1.3	5.7	1.6	2.5	5.0
7	0.3	0.3	2.3	6.4	0.3	1.8	6.7	2.2	0.8	2.3
8	0.3	0.3	1.6	6.4	0.3	1.7	5.8	1.8	1.2	2.3
9	0.3	2.6	1.9	6.1	0.3	2.2	6.1	1.4	5.5	2.9

Table A-28. Dissolved zinc of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	15.6	24.2	6.3	6.3	30.5	6.3	4.8	12.5	13.3
2	-	14.8	9.8	8.8	6.3	16.5	7.5	6.6	17.0	10.9
3	-	21.1	14.8	9.8	17.8	19.5	5.8	8.1	19.1	14.5
4	-	15.2	19.1	15.0	3.4	36.0	7.0	9.0	18.6	15.4
5	25.0	11.3	11.7	35.5	5.3	29.5	2.5	2.4	15.0	15.4
6	21.9	23.6	17.2	2.7	5.6	30.7	9.3	5.7	12.5	14.4
7	25.0	65.0	28.1	26.3	7.5	18.5	4.3	3.0	16.5	21.6
8	25.0	28.3	22.7	8.3	12.5	13.5	6.0	3.0	15.5	15.0
9	39.1	38.8	24.2	21.1	7.5	17.5	3.5	1.5	11.0	18.2

Table A-29. Particulate zinc of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	1.5	2.1	1.2	2.3	2.7	1.7	1.7	0.6	1.7
2	-	1.2	4.2	1.4	3.7	2.1	2.0	1.4	0.4	2.1
3	-	1.4	0.6	1.2	3.3	5.2	1.6	1.2	0.4	1.9
4	-	0.9	4.8	1.1	2.6	13.9	2.0	1.0	0.3	3.3
5	9.3	0.6	1.3	4.3	1.0	3.3	0.7	2.9	0.8	2.7
6	9.5	5.4	17.5	1.4	5.2	8.2	2.5	0.2	1.2	5.7
7	7.7	2.8	10.2	5.2	6.2	7.1	1.1	0.2	0.8	4.6
8	9.3	2.3	2.4	2.1	1.4	2.9	1.6	0.5	0.8	2.6
9	10.0	3.6	2.6	1.4	1.4	2.2	0.9	0.2	0.8	2.6

Table A-30. Total zinc of the Jinhae Bay ($\mu\text{g/l}$).

Date Station	1981									Mean
	JAN.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	
1	-	17.1	26.3	7.4	9.0	33.2	7.0	6.5	13.1	15.0
2	-	16.1	14.0	10.2	10.0	18.6	9.5	8.0	17.4	13.0
3	-	22.5	15.4	11.1	21.1	24.7	7.4	9.3	19.5	16.4
4	-	16.1	23.9	16.1	6.0	49.9	9.0	10.0	18.9	18.7
5	34.3	11.9	13.0	39.8	6.3	32.8	3.2	5.3	15.8	18.0
6	31.4	29.0	34.7	4.1	10.8	38.9	11.8	5.9	13.7	20.0
7	32.7	67.8	38.3	31.5	13.7	25.6	5.4	3.2	17.3	26.2
8	34.3	30.7	25.0	10.4	13.9	16.4	7.6	3.5	16.3	17.6
9	49.1	42.4	26.8	22.5	8.9	19.7	4.4	1.7	11.8	20.8

Table A-31. Continuous monitoring data at stations 2, 4, and 7 in the Jinhae Bay.

Date	Station	Depth (m)	Parameter	Day Time Unit	9													Mean				
					7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
April, 1981	2	0	Water Temperature		10.0	10.0	10.0	10.1	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.7	10.5	10.4	10.3	10.3				
			Salinity	‰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			DO	ml/l	7.4	6.5	6.8	6.6	6.7	6.5	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6	6.6	6.6	6.6		
			pH		8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	
			COD	mg/l	1.16	0.65	0.84	0.82	0.41	0.68	0.82	1.32	1.35	1.41	1.47	1.41	1.47	0.97	0.78	0.96	0.96	
			NO ₃ -N	mg-N/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			NO ₂ -N	mg-N/l	0.9	0.7	1.2	0.3	0.9	0.8	0.8	0.6	0.6	0.5	0.9	3.0	0.4	0.6	0.6	0.9	0.9	
			PO ₄ -P	mg-P/l	7.0	5.7	6.5	7.3	9.1	9.6	11.2	9.6	10.4	10.7	13.0	10.4	8.3	9.1	9.1	9.1	9.1	
			SiO ₂ -Si	mg-Si/l	140	154	140	135	146	137	124	140	140	140	76	113	116	568	164	164	164	
			Chl. a	µg/l	0.38	0.56	0.56	0.62	0.94	0.87	1.11	0.46	1.02	1.29	1.63	1.65	1.89	1.00	1.00	1.00	1.00	
			Chl. b	µg/l	0.43	1.81	0.97	1.09	0.90	2.05	0.23	2.51	0.76	1.76	0.68	2.65	1.83	1.36	1.36	1.36	1.36	
			Chl. c	µg/l	1.83	1.68	1.75	3.39	0.01	1.75	2.92	0.77	3.35	2.64	1.07	2.69	4.00	2.14	2.14	2.14	2.14	
			Carotenoids	mg-spu	0.05	nd	nd	0.12	0.39	0.98	0.27	nd	nd	nd	0.16	0.08	nd	0.29	0.29	0.29	0.29	
			2	5	Water Temperature		9.9	10.0	9.9	9.9	10.0	10.0	10.0	10.2	10.0	10.0	10.0	10.5	10.0	10.1	10.0	10.0
Salinity	‰	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
DO	ml/l	7.8			8.1	7.9	7.7	8.0	7.7	8.4	7.8	8.0	7.8	8.0	7.8	8.0	7.8	7.6	7.9	7.9		
pH		8.2			8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.4	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3		
2	10	Water Temperature		9.8	9.9	9.8	9.9	9.9	9.7	9.5	9.7	9.8	9.8	9.8	9.8	10.0	10.0	9.8	9.8			
		Salinity	‰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		DO	ml/l	8.1	8.4	8.2	7.8	8.1	8.2	8.4	8.2	8.1	8.0	7.4	7.9	7.9	7.9	8.1	8.1	8.1		
		pH		8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.3	8.4	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3		
2	15	Water Temperature		9.7	9.8	9.7	9.8	9.6	9.3	9.3	9.5	9.7	9.7	9.5	9.5	9.8	9.8	9.7	9.7			
		Salinity	‰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		DO	ml/l	8.0	8.3	8.1	7.9	7.8	8.4	8.1	7.4	7.5	7.4	6.9	7.5	7.4	7.4	7.7	7.7	7.7		
		pH		8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4	8.3	8.4	8.3	8.3	8.3	8.3		
2	20	Water Temperature		9.6	9.6	9.5	9.5	9.5	9.3	9.3	9.5	9.7	9.8	9.5	9.3	9.5	9.5	9.5	9.5			
		Salinity	‰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		DO	ml/l	5.6	6.5	5.8	6.0	5.6	6.7	6.2	5.5	5.7	6.3	5.8	5.4	5.3	5.4	5.9	5.9	5.9		
		pH		8.1	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.3	8.3		

nd: not detected

Table A-31 Continued

Date	Station	Depth (m)	Parameter	Day Time Unit	8														Mean					
					6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
April, 1981	7	0	Water Temperature Salinity DO PH COD NO ₃ -N NO ₂ -N PO ₄ -P SiO ₂ -Si Chl. <i>a</i> Chl. <i>b</i> Chl. <i>c</i> Carotenoids	% mL/l O ₂ mg/l µg-N/l µg-N/l µg-P/l µg-Si/l µg/l µg/l µg/l m-SPU	10.3	10.2	10.2	10.2	10.4	11.0	11.0	11.0	11.0	10.9	11.0	10.8	10.5	10.3	10.9	10.6				
					8.4	7.4	7.1	7.1	7.0	8.1	8.2	8.2	8.2	7.6	8.3	7.6	7.0	7.0	7.0	7.0	7.2	7.6		
					8.3	8.2	8.3	8.3	8.3	8.2	8.2	8.2	8.3	8.3	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.3	8.3	
					2.48	2.20	1.72	2.27	2.15	1.75	2.15	2.48	2.89	2.20	2.45	2.17	2.04	2.17	2.04	2.17	2.04	2.47	2.24	
					193	146	52	95	66	192	197	225	201	267	233	192	183	233	192	183	183	173	173	
					10.7	8.0	3.8	3.8	3.8	9.9	12.1	12.2	13.5	14.1	12.5	11.2	9.6	10.0	9.6	10.0	9.6	10.0	9.7	
					27.6	13.0	20.8	19.0	21.3	25.3	17.7	20.0	13.5	27.0	20.0	16.9	17.2	20.8	17.2	20.8	17.2	20.8	20.0	
					220	299	146	291	148	140	140	135	155	149	138	173	129	127	173	129	127	171	171	
					-	5.72	5.57	5.61	2.31	-	7.09	10.30	8.17	11.36	-	6.47	7.78	8.00	6.47	7.78	8.00	7.13	7.13	
					-	2.01	2.54	1.67	2.98	-	4.19	7.68	5.02	5.41	-	4.03	2.69	3.15	4.03	2.69	3.15	3.76	3.76	
					-	1.68	1.58	2.70	6.83	-	2.47	3.22	2.59	3.15	-	4.20	18.02	5.89	4.20	18.02	5.89	4.76	4.76	
					-	1.47	2.11	2.63	2.01	-	0.62	0.96	2.23	3.27	-	1.70	0.73	2.08	1.70	0.73	2.08	1.80	1.80	
						7	5	Water Temperature Salinity DO PH	% mL/l	10.1	10.2	10.1	10.1	10.3	10.7	10.7	10.5	10.5	10.5	10.0	10.3	10.1	10.5	10.3
						7	10	Water Temperature Salinity DO PH	% mL/l	10.0	10.1	10.1	10.0	10.2	10.3	10.5	10.0	10.2	10.2	9.9	10.1	10.0	10.0	10.1
	7	15	Water Temperature Salinity DO PH	% mL/l	9.9	9.9	10.0	10.0	10.1	10.1	10.2	10.0	10.1	10.1	9.8	9.9	10.0	10.0	10.0					
	7	20	Water Temperature Salinity DO PH	% mL/l	9.8	9.9	9.9	10.0	10.1	10.1	10.2	10.2	10.1	10.1	9.8	9.9	9.8	9.9	10.0					
	7	25	Water Temperature Salinity DO PH	% mL/l	9.2	9.9	9.9	10.0	10.1	10.1	10.2	10.2	10.0	10.0	9.8	9.9	9.8	9.9	9.9					

Table A-31 Continued

Date	Station	Depth (m)	Parameter	Day Time Unit	13											Mean
					10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30				
August, 1981	4	0	Water Temperature	%	29.4	29.4	28.9	28.7	27.4	27.0	26.7	27.0	26.7	27.0	28.1	
			Salinity	‰	31.75	31.77	31.71	31.75	31.52	31.57	31.69	31.76	31.69	31.76	31.69	31.69
			DO	ml/l	7.0	7.1	7.1	9.5	9.5	7.3	6.3	8.3	7.8	8.3	7.8	7.8
			pH		8.9	9.1	8.9	9.1	8.9	8.7	8.9	8.9	8.7	8.9	8.9	8.9
			COD	mg/l	3.04	4.06	3.26	3.30	9.23	2.56	1.71	3.41	3.82	1.71	3.41	3.82
			NO ₃ -N	mg/l	1	5	11	2	6	5	15	1	6	15	1	6
			NO ₂ -N	µg-N/l	5.5	3.4	5.3	9.4	9.8	2.1	4.3	5.2	5.6	4.3	5.2	5.6
			PO ₄ -P	µg-P/l	101	102	97	110	232	96	98	95	116	98	95	116
			SiO ₂ -Si	µg-Si/l	636	638	640	662	640	551	638	547	619	638	547	619
			Chl. a	µg/l	3.6	36.1	4.1	60.9	238.7	17.8	5.2	48.0	51.8	5.2	48.0	51.8
			Chl. b	µg/l	0.08	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8.02	4.05	nd	8.02	4.05
			Chl. c	µg/l	1.14	7.32	0.18	11.28	43.86	2.69	0.35	32.10	12.37	0.35	32.10	12.37
			Carotenoids	m-SPU	0.39	22.01	2.52	49.02	140.08	10.62	2.98	20.11	30.97	2.98	20.11	30.97
	4	5	Water Temperature	%	27.5	27.6	26.0	26.7	27.0	26.3	25.5	26.3	25.5	26.3	26.2	
			Salinity	‰	31.69	31.68	31.68	31.70	31.48	31.54	31.75	31.67	31.65	31.75	31.67	31.65
			DO	ml/l	5.5	5.6	3.9	5.7	7.8	6.0	5.0	5.0	5.6	5.0	5.0	5.6
			pH		8.7	8.6	8.7	8.7	8.7	8.4	8.5	8.7	8.6	8.5	8.7	8.6
	4	10	Water Temperature	%	25.0	23.9	23.6	23.1	25.0	25.4	24.1	25.4	24.1	24.5	24.3	
			Salinity	‰	32.12	32.18	32.18	32.13	31.99	31.96	32.06	31.90	32.07	32.06	31.90	32.07
			DO	ml/l	2.6	2.8	2.9	3.1	3.9	3.9	3.0	3.4	3.2	3.0	3.4	3.2
			pH		8.2	8.1	8.1	8.3	8.5	7.8	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
	4	15	Water Temperature	%	23.5	22.6	22.3	21.0	23.4	23.7	22.7	23.7	22.7	23.0	22.8	
			Salinity	‰	32.48	32.57	32.47	32.65	32.47	32.37	32.78	32.39	32.52	32.78	32.39	32.52
			DO	ml/l	2.7	2.6	2.6	2.2	2.7	3.2	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7
			pH		7.8	7.9	7.9	7.9	8.0	7.9	7.9	7.7	7.9	7.9	7.7	7.9
	4	20	Water Temperature	%	21.7	21.0	20.5	18.7	18.7	21.0	21.0	21.0	21.0	18.8	20.2	
			Salinity	‰	33.23	33.10	32.92	32.91	33.15	33.13	33.19	33.33	33.12	33.19	33.33	33.12
			DO	ml/l	2.5	1.8	1.5	1.9	2.0	2.2	2.7	2.3	2.1	2.7	2.3	2.1
			pH		7.5	7.6	7.6	7.7	7.7	7.5	7.6	7.5	7.6	7.6	7.5	7.6
			COD	mg/l	1.33	1.30	2.48	2.21	3.46	1.76	2.16	2.16	2.54	2.16		

nd: not detected

Table A-31 Continued

Date	Station	Depth (m)	Parameter	Day Time Unit	12														Mean									
					7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19											
August 1981	7	0	Water Temperature Salinity DO PH COD NO ₃ -N NO ₂ -N PO ₄ -P SiO ₂ -Si Chl. a Chl. b Chl. c Carotenoids	% ml/l mg/l mg-N/l mg-P/l µg-sil/l µg/l µg/l µg/l m-spu	-	28.49	29.80	29.25	28.46	29.11	27.72	28.79	28.78	29.35	31.2	31.1	30.6	31.2	30.6	31.1	30.6	30.5	30.8					
					6.7	7.3	5.7	6.4	6.2	7.6	8.3	9.7	8.4	11.8	11.6	10.8	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9		
					8.5	8.4	8.6	8.4	8.4	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	
					7.97	11.62	10.91	4.99	4.05	6.30	5.09	7.22	5.30	8.13	9.09	6.98	6.26	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22
					218	78	139	100	432	30	379	205	243	26	25	14	30	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148
					96.7	92.1	55.9	152.2	48.7	52.1	48.4	103.3	38.8	33.9	5.6	6.2	8.1	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1
					-	313.5	228.6	73.7	58.9	97.3	72.5	70.6	50.2	76.8	154.9	150.5	123.9	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6	122.6
					653	825	541	486	417	365	510	388	327	408	572	572	572	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509
					140.1	181.8	50.5	13.5	15.4	51.4	22.9	50.3	24.0	67.4	121.8	112.8	67.0	70.7	70.7	70.7	70.7	70.7	70.7	70.7	70.7	70.7	70.7	70.7
					nd	0.04	nd	0.12	0.42	1.58	1.00	0.42	0.91	nd	nd	nd	nd	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
					39.64	9.87	36.32	7.88	3.70	16.52	13.14	18.94	7.80	28.68	24.82	39.76	11.90	19.92	19.92	19.92	19.92	19.92	19.92	19.92	19.92	19.92	19.92	19.92
					77.90	92.57	5.84	5.70	6.04	31.76	7.04	21.60	1.90	55.54	77.68	73.55	39.88	38.23	38.23	38.23	38.23	38.23	38.23	38.23	38.23	38.23	38.23	38.23
					7	7	5	Water Temperature Salinity DO PH	% ml/l	-	31.34	31.79	31.27	30.65	31.66	31.47	31.44	31.39	31.05	26.1	25.7	26.2	26.1	26.1	25.7	26.0	26.3	26.0
										3.2	2.7	2.5	2.9	2.7	2.4	2.2	2.9	3.5	3.1	3.2	3.3	3.4	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
8.3	8.2	8.3	8.2	8.1						8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3		
7	7	10	Water Temperature Salinity DO PH	% ml/l	-	31.99	32.06	31.71	31.98	31.95	32.00	31.84	31.60	31.94	23.7	24.3	23.6	23.7	23.6	23.7	24.3	23.2	24.0	23.8				
					2.0	1.5	1.8	1.7	1.6	1.1	0.5	1.1	1.3	1.7	2.8	2.1	2.4	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7		
					7.6	8.0	7.9	7.9	7.8	7.7	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.3	8.5	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	
7	7	15	Water Temperature Salinity DO PH	% ml/l	-	32.22	32.15	32.55	32.61	32.55	32.64	32.52	32.34	32.77	20.2	24.3	22.0	20.2	22.0	20.2	24.3	20.6	20.6	21.3				
					0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
					7.5	7.7	7.7	7.8	7.7	7.6	7.5	7.6	7.5	7.8	7.5	7.8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	
7	7	20	Water Temperature Salinity DO PH	% ml/l	-	33.12	32.86	33.20	33.20	32.34	32.50	32.65	32.35	33.16	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3	19.4	19.4				
					0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
					7.2	7.4	7.5	7.4	7.5	7.4	7.5	7.5	7.4	7.7	7.5	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	
7	7	25	Water Temperature Salinity DO PH COD	% ml/l	-	33.19	32.33	33.13	32.96	33.19	32.11	33.21	33.21	33.21	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.0	19.2	19.1				
					0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.1	0.4	0.3	0.5	0.1	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
					7.0	7.2	7.8	7.3	7.3	7.3	7.3	7.1	7.2	7.6	7.4	7.6	7.4	7.6	7.4	7.6	7.4	7.6	7.4	7.6	7.4	7.6	7.4	
2.21	2.19	3.36	1.47	2.64	2.83	2.45	1.95	2.42	1.44	1.70	0.83	1.38	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07					

nd: not detected

Table A-31 Continued

Date	Station	Depth (m)	Parameter	Day Time Unit	Time												Mean														
					9	11	13	15	17	19	21	23	1	3	5	7															
November, 1981	7	0	Water Temperature Salinity DO pH COD NO ₃ -N NO ₂ -N PO ₄ -P SiO ₂ -Si Chl. <i>a</i> Chl. <i>b</i> Chl. <i>c</i> Carotenoids	% mg/l mg/l mg/l mg/l mg-N/l mg-N/l mg-P/l mg-Si/l µg/l µg/l µg/l m-spu	11.0	11.2	11.1	11.3	11.2	11.2	11.0	11.0	11.0	10.9	10.9	10.9	11.0	11.0	11.1												
					32.18	32.08	32.07	32.03	32.17	32.34	32.36	32.20	32.08	32.09	32.16	32.32	32.17														
					5.5	5.5	6.2	6.7	6.3	6.0	6.2	6.3	6.0	6.2	5.9	5.9	6.1														
					8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.2	8.1	8.2														
					1.93	2.07	2.41	2.41	2.77	1.33	1.56	1.36	2.05	1.71	2.08	1.48	1.93														
					343	405	412	440	367	270	259	342	405	385	361	249	353														
					19.0	20.0	19.9	19.9	17.8	15.8	15.4	17.4	14.6	19.0	18.6	15.4	17.7														
					41.8	34.1	38.7	31.0	57.3	37.2	37.2	37.2	41.8	31.0	37.2	41.8	38.9														
					694	688	694	688	674	680	674	668	674	674	674	674	680														
					2.09	2.24	5.55	6.61	7.13	4.76	2.02	6.75	4.68	7.05	5.47	4.52	4.91														
					1.27	0.06	0.33	0.19	0.14	0.14	nd	0.35	nd	0.11	0.98	1.00	0.38														
					1.58	2.05	2.22	29.04	3.27	2.74	3.43	5.81	2.27	3.70	4.45	4.72	5.44														
					0.65	1.65	1.72	3.65	2.51	2.51	1.55	1.55	1.58	2.22	1.35	0.96	1.83														
					7	5	Water Temperature Salinity DO pH	% mg/l	11.3	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.3	11.2	11.1	11.1	11.0	11.1	11.2	11.2	11.2	11.2							
32.22	32.12	32.25	32.20	32.13					32.30	32.29	32.18	32.14	32.17	32.30	32.44	32.23															
5.2	5.5	6.0	5.9	6.0					5.7	6.6	6.2	6.1	5.9	5.8	6.0	5.9															
8.1	8.2	8.1	8.1	8.1					8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.1															
7	10	Water Temperature Salinity DO pH	% mg/l	11.3					11.5	11.3	11.2	11.2	11.3	11.2	11.2	11.3	11.3	11.3	11.1	11.3	11.2	11.3	11.3								
				32.30					32.28	32.39	32.19	32.34	32.37	32.32	32.38	32.35	32.37	32.44	32.48	32.35											
				5.4					5.5	5.8	5.8	5.8	5.9	5.8	6.2	5.8	6.0	6.0	5.9	5.8											
				8.2					8.2	8.1	8.0	8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.1											
				7					15	Water Temperature Salinity DO pH	% mg/l	11.3	11.7	11.3	11.1	11.2	11.2	11.2	11.0	11.2	11.2	11.2	11.2	11.0	11.3	11.3	11.2				
												32.34	32.44	32.46	32.29	32.53	32.37	32.40	32.47	32.48	32.66	32.62	32.55	32.47							
												5.3	5.7	5.5	5.8	5.9	5.9	6.0	5.8	6.0	5.9	5.8	6.0	5.8							
												8.2	8.1	8.1	8.0	8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.1							
												7	20	Water Temperature Salinity DO pH	% mg/l	11.3	11.7	11.3	11.3	11.2	11.2	11.1	11.2	11.5	11.4	11.4	11.3	11.2	11.6	11.4	11.4
																32.37	32.47	32.50	32.36	32.54	32.46	32.49	32.61	32.67	32.66	32.65	33.76	32.55			
					5.3	5.4	5.0	4.6								5.2	5.3	5.0	5.8	5.5	4.6	4.8	5.2	5.1							
					8.2	8.1	8.1	8.0								8.0	8.0	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.1							
					7	25	Water Temperature Salinity DO pH COD	% mg/l								11.3	11.7	11.3	11.3	11.5	11.5	11.2	11.2	11.2	11.2	11.5	11.3	11.5	11.7	11.4	11.4
																32.43	32.55	32.55	32.48	32.62	32.69	32.53	32.66	32.66	32.69	32.74	32.80	32.62			
5.1	5.0	4.8	4.7													4.6	5.4	5.0	5.1	5.0	4.6	5.0	4.8	4.9							
8.2	8.1	8.1	8.0													8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.1							
1.41	1.62	2.04	2.09													1.69	1.96	0.84	2.04	1.35	2.04	1.51	1.46	1.67							

nd: not detected

Table A-32 Number of zooplankton in the Jinhae Bay from Oct. 1980 to Nov. 1981 (ind./m³)

Species	1980										1981												
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec								
Tintinnida	585	177	1,623	1,415	12,379	22,969	51,495	33,104	3,531	11,823	1,940	6,275	1,940	303	606	5,325	8,185	1,455	6,669	9,458	2,668	2,425	
Foraminifera	146	500	250	100																			
Rotatoria	2,781	979	2,122	1,850	2,122	3,305	3,865	1,132	1,103	394	485	728	819	1,455	303	949	303	243	606				
Charophylla	439		125	106																			
Ostracoda	1,171	1,415	1,408	1,632	54,820	63,379	100,539	21,221	662														
Cladocera	275,276	119,325	132,806	128,947	71,171	224,939	137,510	66,821	21,787	12,138	31,922	10,186	25,465	35,742	52,676	15,158	33,044	18,492	16,734	28,658	6,912	18,125	
Copepoda	1,463	163	1,768	2,996	3,647	7,074	15,279	7,366	8,771	3,973	5,947	1,213	5,184	10,186	2,425	2,122	1,213	4,123	6,966	1,091	549	842	
Amphipoda	293	326	707	749	2,394	20,513	30,480	44,752	18,957	5,517	8,852	485	2,425	4,033	5,035	969	2,122	2,668	5,437	728			
Tunicata																							
Mollusc larvae																							
Polychaete larvae	9,074	163	1,061	624	782	1,061	1,132	613	566	441	788	485	273	970	606	606	303	243	304	275	437	380	
Decapoda larvae	439	163	884	374	109	354	1,132	613															
Cirripedia larvae	293	177	699	707	1,132	1,226	849	441															
Trochophora larvae	7,003	1,795	1,946	1,997	1,414	56,234	6,791	25,361	4,244	1,324	7,842	2,183	5,578	8,731	7,761	6,063	17,886	5,154	3,880	6,669	2,910	11,259	
Veliger larvae																							
Bipinnaria larvae																							
Echinopluteus larvae																							
Ancistrotrocha larvae	146	177	177	109																			
Ancistrotrocha larvae	585	979	707	1,123	5,224	2,476	4,527	4,594	849	2,207	1,182	485	1,698	546	1,455	409	2,123	485	909	728			
Fish egg	300,584	123,893	144,124	142,353	89,780	385,156	299,920	308,358	112,612	33,103	68,572	15,622	39,532	64,938	93,613	26,372	62,448	32,650	38,804	64,266	59,661	126,651	
Total																							

Species	1981									
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct
Tintinnida	311	611	33,756	87,750	82,000	45,500	122,750			
Foraminifera										
Rotatoria	26,000	3,250	7,000	45,000	108,500	201,500	800,500	71,500		
Nemertea	1,000	1,000								
Ostracoda	311									
Cladocera	311									
Copepoda	311									
Copepoda larvae	45,000	29,250	29,250	17,250	41,250	3,500	104,000	199,500	22,750	
Amphipoda	13,000	15,250								
Tunicata	311									
Lingular larvae										
Polychaete larvae										
Decapoda larvae										
Cirripedia larvae	204	3,750								
Trochophora larvae	311									
Veliger larvae	4,074	3,750	3,250							
Bipinnaria larvae	611									
Echinopluteus larvae										
Ancistrotrocha larvae										
Ancistrotrocha larvae										
Fish egg	6,500									
Total	23,631	457,500	338,000	139,000	104,000	111,250	56,500	435,500	602,000	279,500

Species	1981									
	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug
Tintinnida	4,859	9,074	7,559	2,258	30,166	452	644	7,674	5,492	1,292
Rotatoria										
Nemertea										
Charophylla										
Ostracoda										
Cladocera										
Copepoda										
Copepoda larvae										
Tunicata										
Lingular larvae										
Polychaete larvae										
Decapoda larvae										
Cirripedia larvae										
Trochophora larvae										
Veliger larvae										
Bipinnaria larvae										
Echinopluteus larvae										
Ancistrotrocha larvae										
Ancistrotrocha larvae										
Fish egg										
Total	251,001	119,877,064	92,784,281	247,856,507	452,361,148	237,864,119	859,182,859	1,482,361,148	1,482,361,148	237,864,119