

## 제주 연안해역의 부유물질 변화특성

윤정수 · 변충규\*

제주대학교 해양학과, 제주대학교 증식학과\*

### Characteristics of Variation of Suspended Matters in the Cheju Coastal Area of Korea

Jeung Su YOUN and Choong Kyu PYEN\*

Department of Oceanography, \*Department of Aquaculture, Cheju National University, 690-756. Korea

#### ABSTRACT

This study was conducted to understand the variation of suspended matters in coastal waters of Cheju Island. Water sampling was carried out at 22 stations along the coast of this island from March 1988 to November 1989. Analyzed and/or observed items were water temperature, salinity, total solids (TS), total dissolved solids (TDS), volatile suspended solids (VSS), and fixed suspended solids (FSS). Inter-relationships between wind velocity, precipitation and total suspended solids (TSS) were also investigated.

More windy days prevail in winter season (December, January and February) in Cheju Island. Thirty-six points seven percent of total windy days of a year appeared in this season. The rate of windy days in spring was 27.3% and those in summer and fall were 17.9% each.

From February to July, the heaviest precipitation was observed in the southeastern area and that from August to January was observed in the eastern part of this island.

TS and TDS were firmly related with the fluctuation of salinity. Therefore, there were higher in spring and lower in summer. The highest TSS (7.73 mg/l) was observed in February and was the lowest (4.73 mg/l) in September. Annual mean value of TSS was 6.3mg/l. The highest VSS (2.03 mg/l) was observed in July and lowest (1.42 mg/l) in September.

The percentage of VSS per TSS was 30.6% in average that was not much higher level compared to the other polluted areas. This value became higher in summer (av. 34.17%) and lower in winter (av. 24.2%). Fluctuation of TSS was mainly related with the freshwater discharge, tidal action, and re-suspension of bottom sediments by the wind waves. Therefore, TSS concentration was low in summer and high in winter.

#### 서론

제주도 주변 해역은 서로 다른 특성을 갖는 여러 가지 이질 수괴가 복합된 양상으로 나타나 해황의 계절적인 변화가 심할 뿐 아니라, 화산지형으로 이루어진 해안선 부근에서는 용천수가 곳곳에 분포

하며, 강우기에는 다량의 육수 유입과 특이한 바람 등에 의하여 제주도 연안에 접근한 외해수는 천해역에서 크게 변질되어 제주도 특유의 연안수를 형성한다(노와 정 1976).

해안선을 따라 화산성 용암지대와 심한 굴곡의 암석 돌출부가 넓게 분포하고 있는 제주 천해역은 흑조 수괴를 바탕으로 한·난류 수력권 내에 연중 속하고 있으며, 인위적 오염이 배제되어 청정 상태가 유지되고 있는 고유 연안수에 의해 지배되고 있어 소라, 전복 및 어류의 좋은 서식지로 알려져 왔다. 그러나, 최근에는 공업화 정책에 따라 연안역 부근이 적절히 개발되어 양식장과 기타 공장들이 배치되는 등 해안선 주변 이용이 증가하기 시작했고 이에 따라 주변 연안 환경이 변해갈 것으로 예상되며, 또한 어떤 요인에 의해 수중에 부유 물질의 양이 많아지면 광투과율이 떨어지고 그에 따라 광합성률도 떨어져서 생태계가 심각하게 영향을 받게 될 것이다.

특히, 조개나 소라와 같은 저서 동물들은 여과성 섭식자이므로 부유 물질들이 수중에 다량으로 존재할 경우, 이들 동물의 여과 기능 및 호흡 기능에 장애를 초래하게 할 뿐만 아니라, 다량의 부유 물질들이 갑자기 해저면에 침전·퇴적되는 경우에는 매몰에 따른 대량 폐사도 발생하게 된다.

제주도 연안 해역 생태계의 영향에 관한 수질 연구가 일부되어 있으나(최 등 1989; 정 등 1983), 수질 오염 요소로서 부유 물질과 관련된 조사가 종합적으로 이루어진 경우가 없었다. 따라서, 본 연구에서는 제주도 연안 해역 22개 관측점에서 1988년 3월부터 1989년 11월까지 매월에 걸쳐 연안 생태계의 주요 변수로 작용할 수 있는 연안 지질의 특성과 부유 물질의 농도 변화 및 이에 영향을 주는 것으로 판단되는 강수에 의한 혼탁류의 유입과 바람 등의 관계를 조사하였다.

## 재료 및 방법

Fig. 1에 표시되어 있는 제주도 해안선 주변 22개 정점에서 1988년 3월부터 1989년 11월까지 매월 1회 채수를 하였다. 항구 주변 표층에서 각 조사 항목별 측정 및 분석 방법은 다음과 같다(Allen *et al.* 1974; Schubel 1968 1971).

1. 수온 : 봉상 수온계로 현장에서 측정.
2. 염분 : 실험실에서 Salinometer로 측정(‰).
3. 총고형 물질(Total Solid; TS) : 시료수를 105°C로 항온 건조시켜 Direct Reading Analytical Balance (Oertling R41)로 측정(mg/ℓ).
4. 총부유 물질(Total Suspended Solid; TSS) : glass fiber filter (0.45 μm)를 사용하여 시료수를 여과 한 후 105°C에서 1 시간 이상 건조시켜 함량을 구함(mg/ℓ).
5. 휘발성 부유 물질(Volatile Suspended Solid; VSS) : glass fiber filter를 사용하여 시료수를 여과한 후 550°C에서 15~20 분간 태워 중량 차를 구함(mg/ℓ).
6. 총부유 물질 중 잔류 물질(Fixed Suspended Solid; FSS) : 총부유물질과 휘발성 부유물질의 차로써 구함(mg/ℓ).
7. 총용존성 잔류 물질(Total Dissolved Solid; TDS) : 총고형 물질과 총부유 물질의 차로써 구함(mg/ℓ).

부유물질 농도 변화에 영향을 미치는 것으로 판단되는 풍속과 강수량 등의 자료를 수집 분석하였다.

제주 연안해역의 부유물질 변화특성

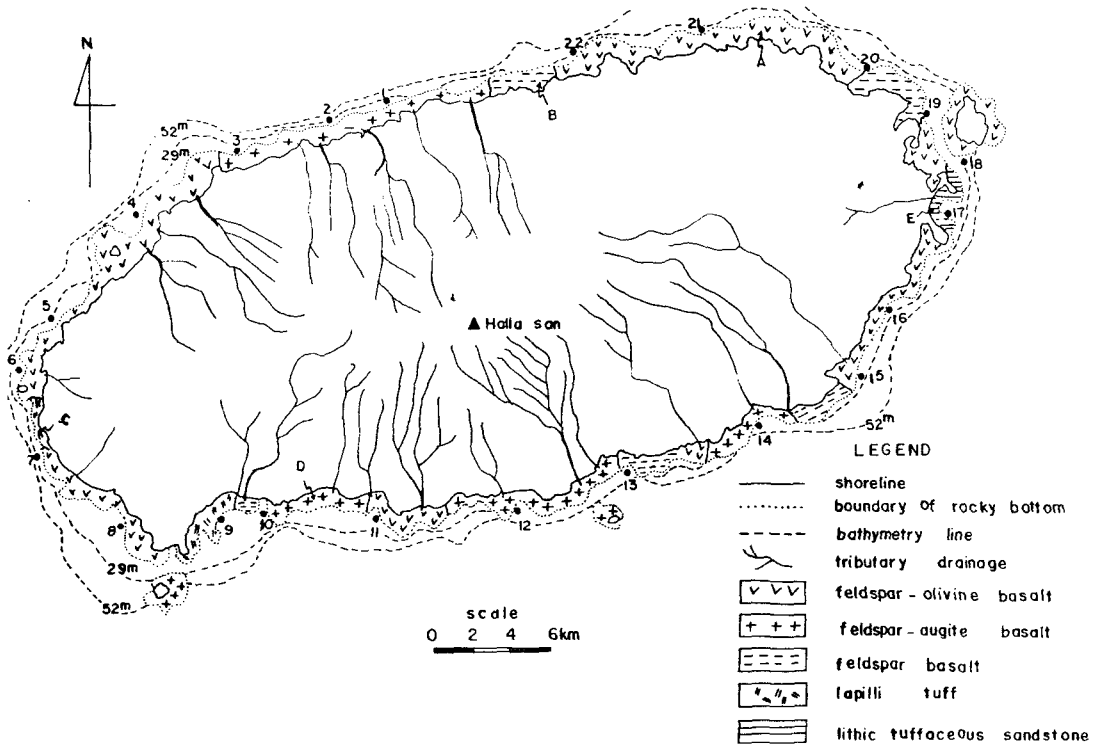


Fig. 1. Geological map of coastal area and sampling sites.

결과 및 고찰

1. 일반환경

1-1 연안 지질

해안 지역의 지질은 주로 침상장석-감람석현무암, 반상휘석-장석현무암 및 장석현무암류가 넓게 분포하며, 그 외 화산 응회암층과 폐각편 모래 등도 분포한다(Fig.1). 침상장석-감람석현무암과 반상휘석-장석현무암류는 해안 저지대에 넓은 대지상의 분포를 보이며 장석, 감람석 및 휘석 반정을 함유하는 치밀한 암석이나 용암류의 표면에서는 로피구조가 잘 발달되고, 구감상 및 침상의 주상절리가 발달하며, 다공질이고 기공이 커서 통기성이 좋은 암반 대지형을 이루어 부착 패류의 번식이 용이한 조건을 갖추고 있다.

해안선은 현무암류가 해안 저지대까지 대지상의 넓은 분포를 하고 있으나, 해파와 해류의 지속적인 침식 작용에 의하여 암석 돌출부, 암초, 풍화혈구조, 해식 동굴 및 해안 절벽 등으로 되어 있어 단조로운 파식암석해안 지형을 형성하나 협재, 화순, 표선, 신양 등의 일부 연안 해역은 폐각편을 많이 함유한 사·역질 해안을 형성한다 (Table1).

해저 지형에 있어서 수심 10 m는 중요한 의미를 갖는다. 즉, 파랑에 의한 해저 침식 한계를 약 10 m로 보기 때문이다. Fig. 1은 제주 연안역의 암반 분포도로 수심 약 29 m 지역까지 견고한

Table 1. Sediment type, textural parameters and total-organic matter

Station	Sediment composition				Classification-T-organic		Textural parameters			
	granule (%)	sand (%)	silt (%)	clay (%)	(%)	(%)	Mean (Mz)	Sorting ( $\sigma$ )	Skewness (SK <sub>1</sub> )	Kurtosis (K <sub>c</sub> )
1	17.8	59.1	15.1	8.0	gms	4.24	2.7	4.13	0.40	1.40
2	7.38	92.62			gS	2.59	1.32	0.84	0.47	0.70
3	18.1	66.2	12.7	3.0	gms	3.11	3.5	4.60	0.35	0.68
4	13.6	64.2	18.7	3.5	gms	4.36	3.4	4.08	0.34	1.91
5	14.0	57.9	16.2	11.9	gms	4.86	3.3	4.10	0.29	1.13
6	7.44	93.25			gS	1.30	-0.91	1.24	0.58	3.98
7	12.2	62.7	16.8	8.3	gms	3.92	3.6	3.98	0.33	1.91
8	21.67	78.32			gS	2.21	-0.57	1.54	0.37	0.82
9	61.71	38.29			sG	1.33	0.51	3.07	0.68	1.18
10	3.45	55.45	12.36	28.74	(g)mS	10.66	1.17	2.56	0.53	0.49
11	8.1	67.8	8.0	16.1	gms	5.20	3.1	4.01	0.55	1.33
12	3.34	66.33	9.83	20.5	(g)mS	6.50	1.74	3.11	0.74	0.85
13	3.27	65.36	9.36	22.01	(g)mS	7.09	1.83	3.35	0.49	1.82
14	9.4	61.6	19.4	9.6	gms	3.86	3.7	3.87	0.43	0.97
15	32.04	67.95			gS	3.01	-0.70	1.78	-0.22	1.06
16	21.93	78.06			gS	3.14	-0.95	1.30	0.23	0.70
17	17.31	61.3	12.5	8.89	gms	4.74	2.6	4.14	0.41	1.43
18	10.31	58.9	12.93	17.85	gms	4.97	3.38	3.71	0.46	1.54
19	5.16	94.83			gS	1.17	-1.24	1.87	0.98	1.73
20	6.75	92.23			gS	1.34	1.16	1.07	0.49	1.74
21	28.89	71.12			gS	2.04	-1.37	1.36	0.05	0.91
22	18.6	56.2	21.4	4.3	gms	3.75	3.46	4.12	0.38	1.23
Range	3.27~	38.29~	8.0~	3.0~		1.17~	-1.73~	0.84~	-0.22~	0.49~
Average	15.57	68.62	14.25	12.51		10.66	3.7	4.6	0.98	3.98
						3.88	2.1	2.9	0.44	1.34

Note : gS : gravelly sand, sG : sandy gravel, gms : gravelly muddy sand, (g)mS : slightly gravelly muddy sand,

1 : Do doo, 2 : Kwil, 3 : Aewol, 4 : Hallim, 5 : Shinchang, 6 : Yongsoo, 7 : Sindo, 8 : Taejeong, 9 : Sagae,

10 : Daepyeong, 11 : Daepo, 12 : Sogwi, 13 : Wimi, 14 : Tosan, 15 : Pyoson, 16 : Sinsan, 17 : Sungsan, 18 : U-do, 19 :

Chongdal 20 : Sehwa, 21 : Kimyeong, 22 : Jochon.

제주 연안해역의 부유물질 변화특성

암반 지질을 이루고 있고, 곳에 따라 수평적 요철과 급경사의 단애, 현무암초 및 경사가 완만한 현무암 암반대지가 반복되며, 좁은 수로 또는 갯골이 많이 발달되어 있어 해류의 활동이 활발하고 큰 파랑 접근이 용이한 해저 지형을 이루고 있다 (윤 1985, 윤 등 1989).

제주도의 수계는 한라산을 중심으로 하여 대체로 방사상을 이루나 중류 이하에서는 동서 장축 방향의 분수형을 이루는 관계로 남·북류하는 것이 보통이다. 도내에 있어서 연중 유출하는 하천은 전무하며 상류에서는 유출하다가 하천 사면의 경사가 급하고 하상에 발달하는 주상절리 등에 의하여 하류로 북류하여 건천을 이루는데, 해안 부근에서는 용출, 유출하여 천제연, 천지연, 정방 폭포처럼 해변에서 폭포를 이루고 유출한다. 상기와 같은 이유로 제주도에 분포하는 하천은 연중 유량이 없고, 강우시 이외에는 건천을 이룬다.

1-2 제주도 지역의 바람 특성

제주도는 고래로 풍다 지역으로 알려져 왔는데 이는 도서와 해양 지역은 비교적 바람이 많은 데서 기인하고, 또한 바람이 부는 날이 많으며 풍속이 거칠다는 의미로 해석할 수 있다 (이 1979 ; 이 1987).

월별 평균 풍속은 북제주 지방이 전체적으로 남제주 지방 보다 강한 편이고, 특히 겨울철 (12월~2월)에 차가 심하다. 최대 풍속은 남제주 지방이 26.0 m/sec를 보여 북제주 지방 25.7 m/sec 보다 강하게 나타나는데 이는 여름철에 발생하여 북상하는 태풍 때문이다. Fig. 2는 제주 지방 겨울철 탁월풍의 바람장미를 나타낸 것이다. 그림에서 직선의 눈금은 풍속의 등급을 나타내며 등치선의 숫자는 전체 풍향, 풍속에 대한 빈도의 비율을 나타낸다. 제주시 지방의 합성풍의 방향은 Fig. 2-A와 같이 327.7°로서 북서에 가까운 바람이 탁월함을 알 수 있으며, 합성풍의 풍속은 3.44 m/sec로서, 1.03 m/sec의

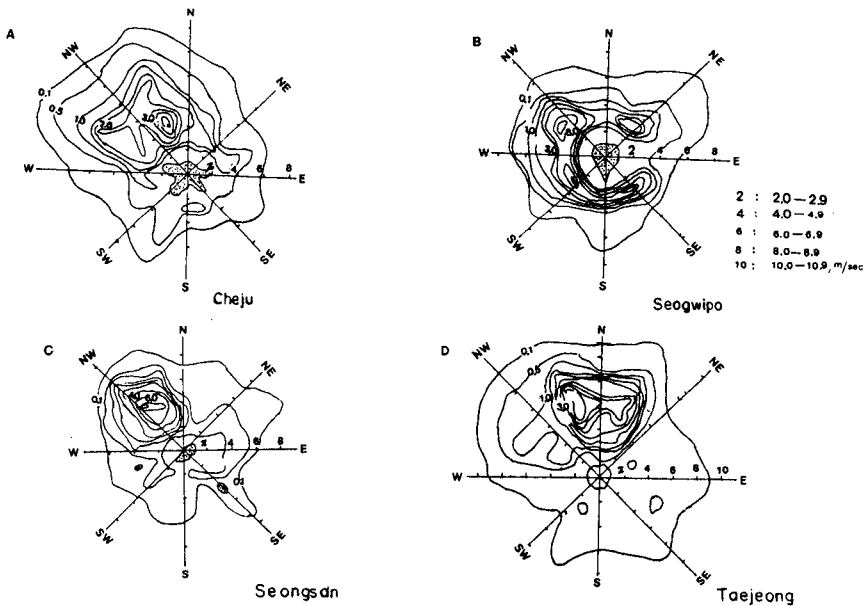


Fig. 2. Frequencies of daily mean wind speed at Cheju-do in Winter, 1974~1983.

서귀포 보다 매우 높다. 바람의 지속성은 69.0%로 북서풍이 제주시 지방의 탁월풍이다. 서귀포 지방은 Fig. 2-B에서 보듯 탁월풍은 뚜렷하지 않다. 합성풍의 방향은 299.5°로서 서북서향에 접근한 방향이지만, 바람의 지속성 값은 33.0%로 서북서방향이 탁월풍이라고는 할 수 없다.

Fig. 2-C는 성산포 지방의 바람장미이다. 합성풍 방향은 325.2°로 제주시와 비슷하다. 평균 풍속은 2.63 m/sec로 제주시보다 낮는데, 이는 주변 지형, 지물의 영향이라 생각된다. 바람의 지속성 값은 72.1%로서 북서풍이 성산포 지방의 탁월풍이라 할 수 있다.

Fig. 2-D는 대정 지방의 바람장미를 나타내는데, 타지방에 비하여 북풍계의 바람이 강화되었다. 합성풍도 347.3°로 가장 북풍에 가까운 값이다. 지속성 값은 76.1%로 가장 안정된 풍향을 유지하고 있으며 풍속도 3.96 m/sec로 가장 높은 값이다.

제주 지방의 계절별로 바람이 많은 달은 12, 1, 2월로 겨울철에 바람부는 날이 많아 전체의 36.7%가 이 계절에 나타나며, 풍속도 빨라 겨울 철의 풍속은 6.0 m/sec가 된다. 겨울철 다음에 바람이 많은 계절은 봄철로 전체의 27.3%이고 여름과 가을은 각 17.9%로 바람의 영향력이 적은 계절이 되고 있다.

제주에 있어서 24 시간 평균 풍속은 바람이 많은 계절에 그 값은 커져 겨울철은 6.0 m/sec로 가장 크고 그 중에서도 12월은 5.9 m/sec로 1년중 가장 큰 풍속을 나타내고 있다. 다음에 봄철은 4.6 m/sec의 풍속으로 두번째 다풍 및 강풍의 계절이 되며 여름은 가장 바람 부는 날이 적을 뿐 아니라 풍속 또한 가장 낮아 2.5 m/sec 밖에 보이지 않으며, 특히 6월은 연중 가장 풍속이 낮은 달이 되고 있다.

### 1-3 제주 지역의 강수량

연안 해역에서의 부유 물질 농도 변화는 육지 하천으로 부터의 담수 유출량과 밀접한 관계가 있다. 제주 지역의 강수량 중 제주시, 성산, 서귀포, 대정의 장기 (국립 중앙 기상대 제주 측후소 1972~1988) 월별 강수량을 구해 Table 2에 나타내었다. 연평균 강수량은 제주 동남 해안역인 성산 1817.2 mm, 서귀포 1811.3 mm로 다우 지역으로 나타나 한반도의 연평균 강수량 1159 mm 보다 약 100 mm 정도 더 많은 값을 보여준다.

Table 2. Monthly precipitation in the Cheju-Island (unit : mm)

Location	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Cheju	60.7	76.4	66.2	98.2	74.9	202.6	235.7	251.9	181.0	98.6	82.3	54.1	1485.7
Sungsan	75.6	93.0	100.9	145.0	144.5	249.3	270.3	259.4	201.5	107.5	102.4	67.8	1816.7
Seoguiipo	49.3	78.9	118.4	187.3	203.0	309.2	289.5	210.9	161.6	88.1	70.2	44.9	1811.3
Daejung	44.5	57.1	72.5	114.8	119.0	210.4	197.7	158.2	106.9	62.5	59.4	44.8	1247.8
Mean	57.5	76.4	89.5	136.3	135.4	242.9	248.3	220.1	162.8	89.2	78.6	52.9	1590.4

월 평균 강수량의 분포를 보면 계절에 따라 다음과 같은 분포의 변화 특징을 찾을 수 있다. 춘계인 3, 4, 5월에는 서귀포가 169.6 mm로 가장 많은 강수량을 보여주고, 그 다음은 성산 130.1 mm, 대정 102.1 mm, 제주 79.8 mm 순으로 나타나며 하계인 6, 7, 8월에는 서귀포 269.9 mm, 성산 259.7 mm, 제주 230.1 mm, 대정 188.8 mm 순으로 제주보다 대정에서 더 적은 강수량 분포를 나타낸다. 추계인 9, 10, 11월에서는 성산 137.1 mm, 제주 120.6 mm, 서귀포 106.6 mm, 대정 76.3 mm 그리고 동계인 12월, 1월, 2월에서 성산 78.8 mm, 제주 63.7 mm, 서귀포 57.7 mm, 대정 48.8 mm 순으로 성산이 가장 많은 강수량을 보여주고 그 다음 제주, 서귀포, 대정 순으로 나타난다.

제주 연안해역의 부유물질 변화특성

결과적으로 2월에서 7월까지의 제주도의 동남 지역이 서북 지역보다 강수량이 더 많은 다우 지역으로 나타나 8월에서 1월까지의 다우 지역이 동북역으로 이동되어 나타난다.

2. 수온, 염분 및 잔유물과 고형물

1988년 3월부터 1989년 11월까지 1년 7개월간 매월 1회씩 22개의 관측 지역에서 시료수를 채수하여 수온, 염분, 잔유물과 고형물 등을 조사하였고 각 항목별로 계절별 평균치는 Table 3과 같다.

Table 3. Seasonal mean values of each parameter ; water temperature(WT), salinity(SAL), total solids(TS), total suspended solids(TSS), total dissolved solids(TDS), volatile suspended solids(VSS) and fixed suspended solids(FSS).

Spring								
St.	WT	SAL	TS	TSS	TDS	VSS	FSS	VSS/TSS
1	14.8	32.9	39370	8.53	39362	2.05	6.48	24.0
2	15.2	32.7	38770	6.36	38764	2.16	4.2	34.0
3	15.4	33.0	48460	6.84	48453	1.87	4.97	27.3
4	13.2	31.2	36720	7.05	36713	2.63	4.42	37.3
5	13.0	32.4	38720	10.24	28710	2.58	7.66	25.2
6	13.2	31.3	34360	6.92	34353	1.56	5.36	22.5
7	15.4	32.2	40640	5.91	40634	1.72	4.19	29.1
8	14.7	32.4	36420	6.48	36414	1.64	4.84	25.3
9	14.5	32.2	41320	4.23	41316	1.67	2.56	39.5
10	15.2	32.4	39110	4.35	39106	1.63	2.72	37.5
11	15.5	31.7	38210	8.64	38201	1.72	6.92	19.9
12	15.3	32.1	38910	9.47	38901	2.36	7.11	24.9
13	15.4	32.02	40290	8.55	40282	2.32	6.23	27.1
14	15.4	32.0	41920	5.67	41914	1.72	3.95	30.3
15	13.8	31.4	37760	8.72	37751	2.04	6.68	23.4
16	13.5	32.4	37860	7.47	37853	1.81	5.66	24.2
17	14.3	32.2	29880	6.07	29894	2.66	3.41	43.8
18	13.6	33.4	37660	4.07	37656	1.60	2.47	39.3
19	14.4	32.8	39070	6.45	39064	1.68	4.77	26.0
20	14.7	33.3	31830	5.97	31824	1.64	4.33	27.5
21	14.6	32.4	46430	7.82	46422	1.59	6.23	20.3
22	13.7	31.3	21300	5.61	22294	2.74	2.87	48.8
Range	13.0~ 15.5	31.3~ 33.4	21300~ 48460	4.07~ 10.24	22294~ 48453	1.56~ 2.74	2.47~ 7.66	19.9~ 48.8
Mean	14.5	32.24	38001	6.88	37995	1.97	4.91	29.9

Table 3. (Continued)

Summer								
St.	WT	SAL	TS	TSS	TDS	VSS	FSS	VSS/TSS
1	23.4	29.8	25600	5.54	25595	1.84	3.7	33.2
2	23.2	28.4	28460	5.48	28455	2.04	3.44	37.2
3	23.5	28.2	25980	5.65	25974	1.67	3.98	29.6
4	25.1	28.4	21760	7.15	21753	2.46	4.69	34.4
5	25.7	29.4	24250	6.91	24243	2.54	4.37	36.8
6	22.1	28.0	29670	6.92	29663	1.58	5.34	22.8
7	25.6	28.4	24780	3.48	24777	1.6	1.88	46.0
8	25.8	28.2	22770	4.10	22766	1.62	2.48	39.5
9	25.7	29.4	30750	4.55	30746	1.67	2.88	36.7
10	24.1	30.4	25680	4.52	25676	1.53	2.99	33.9
11	24.3	29.1	24720	6.64	24463	1.84	4.8	27.7
12	24.3	29.9	28800	8.66	28791	2.26	6.4	26.1
13	24.5	30.2	26090	8.42	26082	2.21	6.2	26.2
14	24.3	30.5	26440	3.72	26436	1.64	2.08	44.1
15	24.2	27.8	27020	7.72	27012	2.16	5.56	28.0
16	24.4	29.4	21890	6.7	21883	1.66	5.04	24.8
17	23.6	27.8	12850	6.45	12844	2.37	4.1	36.7
18	23.6	30.04	24240	4.13	24236	1.45	2.68	35.1
19	23.1	27.6	27750	5.44	27745	1.65	3.79	30.3
20	23.4	29.4	6960	5.07	6955	1.61	3.46	31.9
21	23.4	28.2	24550	5.67	24544	1.67	4.0	29.5
22	21.9	28.4	8900	4.25	8896	2.61	1.64	61.4
Range	21.9~	27.6~	6960~	3.48~	6955~	1.45~	1.64~	22.8~
	25.8	30.5	30750	8.66	30746	2.61	6.4	61.4
Mean	24.05	28.95	23632	5.79	23479	1.9	3.89	34.17



제주 연안해역의 부유물질 변화특성

Table 3. (Continued)

St.	Autumn							
	WT	SAL	TS	TSS	TDS	VSS	FSS	VSS/TSS
1	20.1	33.7	31820	5.27	31815	1.76	3.51	33.4
2	21.0	33.4	30426	4.82	30422	1.87	2.95	38.8
3	23.1	33.2	29870	4.97	29865	1.66	3.31	33.4
4	23.7	33.24	28770	6.93	28763	1.64	5.29	23.7
5	23.6	33.0	30740	3.16	30737	1.87	1.27	59.6
6	17.4	32.7	30845	6.27	30839	1.83	4.44	29.2
7	19.8	34.4	28650	3.41	28647	1.04	2.37	30.5
8	21.0	33.24	28740	3.75	28736	1.12	2.63	29.9
9	20.8	33.4	33240	4.58	33235	1.07	3.51	23.4
10	22.1	33.1	30850	3.97	30846	1.04	2.93	26.2
11	22.0	33.01	30680	5.42	30675	1.62	3.8	29.9
12	22.3	33.1	31744	8.12	31736	1.72	6.4	21.2
13	22.5	33.5	29760	7.74	29752	1.23	6.51	15.9
14	22.7	33.1	34700	3.21	34679	1.24	1.96	38.9
15	20.7	33.4	28440	7.64	28432	1.76	5.88	23.0
16	20.4	33.3	28500	6.24	28494	1.76	4.48	28.2
17	19.7	33.7	23670	3.79	23666	2.08	1.71	54.9
18	21.4	34.4	30740	3.21	30737	1.45	1.76	45.2
19	21.0	33.2	28670	4.47	28666	1.46	3.01	32.7
20	20.1	33.4	24650	4.28	24646	1.48	2.8	34.6
21	20.2	33.2	27440	4.38	27436	1.46	2.92	33.3
22	20.1	32.6	10200	3.14	10197	2.05	1.12	64.9
Range	17.4~	32.6~	10200~	3.14~	10197~	1.04~	1.12~	15.9~
	23.7	34.4	34700	8.12	34697	2.08	6.51	64.9
Mean	21.17	33.3	28779	4.92	28775	1.56	3.39	34.13

Table 3. (Continued)

Winter								
St.	WT	SAL	TS	TSS	TDS	VSS	FSS	VSS/TSS
1	13.0	34.7	34520	8.87	34511	1.77	7.1	20.0
2	13.5	33.07	36640	7.87	36632	1.83	6.04	23.3
3	13.6	34.45	35870	7.16	35863	1.64	5.52	22.9
4	12.7	33.87	35272	8.05	35264	2.33	5.72	28.9
5	13.7	34.17	33620	10.75	33609	1.87	8.88	17.4
6	12.8	33.4	31630	7.68	31622	1.46	6.22	19.0
7	12.7	33.17	36720	6.44	36714	1.34	5.1	20.8
8	14.8	34.14	33500	7.3	33493	1.42	5.88	19.5
9	14.6	34.1	40670	5.27	40665	1.58	3.69	30.0
10	14.4	34.2	36750	4.55	36746	1.44	3.11	31.6
11	14.3	34.1	36720	8.95	36711	1.72	7.23	19.2
12	14.3	34.4	34640	9.58	34630	2.12	7.46	21.5
13	14.7	34.3	36630	9.46	36621	2.07	7.39	21.9
14	14.8	34.2	40260	6.27	40254	1.02	5.25	16.3
15	13.2	34.4	33210	9.74	33200	2.13	7.61	21.9
16	14.2	34.8	33400	5.24	33395	1.46	3.78	27.9
17	12.3	34.6	28520	6.51	28514	2.21	4.3	33.9
18	13.4	34.8	36640	3.22	36637	1.40	1.82	43.5
19	12.4	34.6	36520	7.52	36513	1.48	6.04	19.7
20	12.3	34.9	30765	6.98	30758	1.55	5.43	22.2
21	13.4	34.1	45210	8.57	45201	1.43	7.14	16.7
22	12.43	33.6	18220	6.32	18214	2.20	4.12	34.8
Range	12.3~ 14.8	33.07~ 34.9	18220~ 45210	3.22~ 10.75	18214~ 45201	1.02~ 2.33	1.82~ 8.88	16.3~ 43.5
Mean	13.52	34.18	34816	7.38	34808	1.70	5.67	24.22

### 2-1. 수온과 염분

조사 기간 중 제주도 해안선 주변 해역에서의 수온 범위는 12.3~25.8°C 이며 연평균은 18.3°C 였다.

관측 지역별로 동계 수온이 가장 낮은 곳은 12.3°C로 성산, 세화 해역이었고 가장 높은 곳은 14.8°C로 토산 해역이며, 하계 수온이 가장 낮은 곳은 21.9°C로 조천이며, 가장 높은 곳은 25.8°C로 대정이었다. 봄철은 최저가 13.0°C로 신창, 최고는 15.5°C로 대포였고, 추계는 최저가 17.4°C로 용수, 최고는 23.7°C로 한림 해역이었다.

수온의 계절별 평균 분포 특성은 남측 지역에서는 춘계 14.9°C, 하계 24.7°C, 추계 24.4°C, 동계 14.2°C로 북측 지역이 춘계 14.2°C, 하계 23.5°C, 추계 21.0°C, 동계 13.0°C 보다 높은 수온 분포를 보이고 있었다.

염분의 연평균치는 32.2%이며 제주 연안중 북쪽 연안의 연평균 염분은 29.3 (8월)~34.4 % (3월), 남쪽은 28.6(9월)~34.2 % (1월)의 범위였다. 관측 지역별로는 동계 염분이 가장 낮은 곳은 33.07 %로 귀일 해역이었고 가장 높은 곳은 34.9 %로 세화 해역이었다. 하계에서 가장 낮은 곳은 27.6 %로 종달 해역이며, 가장 높은 곳은 30.5 %로 토산이었다. 봄철은 최저가 31.3 %로 조천, 최고는 34.4 %로 신도해역이었다. 계절별로는 육수 유입이 상대적으로 증가하는 여름철의 평균이 28.95 %로 가장 낮고, 가장 높은 겨울철에 비해 5.22 %이나 낮게 나타났고, 그 다음이 가을, 봄철 순으로 나타났다.

### 2-2. 총고형 물질(TS)과 총용존성 고형 물질(TDS)

시료수를 105°C로 증발시켜 최후에 잔류한 고형 물질을 총고형 물질(TS)이라 하며 부유 물질과 용존 물질을 합한 것이다. 관측 지역에서 총고형 물질의 연평균치는 31,295 mg/l이고 봄철에 21,300 mg/l(조천)~48,460 mg/l(애월) 평균 38,001 mg/l로 그 농도가 가장 높고, 그 다음은 겨울철이 18,220 mg/l(조천)~45,210 mg/l(김녕) 평균 34,816 mg/l이고, 가을철은 10,200 mg/l(조천)~34,700 mg/l(토산) 평균 18,779 mg/l이었고, 여름철에 6,960 mg/l(세화)~30,750 mg/l(사계) 평균 23,632 mg/l로 가장 낮았다.

이처럼 계절적 차는 총고형 물질에 있는 부유 물질 뿐만 아니라 용존 물질도 함께 포함하고 있기 때문에 염분이 크게 낮은 여름철 보다 봄철에 그 농도가 높아지기 때문으로 해석 된다. 이렇게 보면 제주 주변 연안역에서의 총고형 물질의 농도는 부유 물질보다 용존 물질의 농도에 따라 좌우된다는 것을 알 수 있다. 관측 지점 별로는 육수나 용천수의 유입이 많은 조천, 성산, 용수 지역이 타지역에 비해 훨씬 낮았다.

총고형 물질(TS)에서 부유성 고형 물질을 제외한 것이 총용존성 고형물질(TDS)이다. 해수에는 많은 종류의 물질들이 용존하고 있으며 그 중에서도 흔히 NaCl, MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>등과 같은 염류가 많이 녹아 있기 때문에 용존성 고형 물질의 농도는 이들 염류의 농도에 따라 좌우된다 (Allen *et al.* 1980). 총부유성 고형 물질의 농도는 총고형 물질에 비해 대단히 적기 때문에 전체적으로 총용존성 고형 물질의 월별 및 계절별 변화 양상은 총고형 물질의 농도 변화와 비슷한 특성을 보이고 있다.

총고형 물질에서와 마찬가지로 총용존성 고형 물질의 농도 역시 봄철에 22,294~48,453 mg/l 평균 37,995 mg/l로 가장 높고 그 다음으로는 겨울철의 18,214~45,201 mg/l 평균 34,808 mg/l, 가을철은 10,197~34,697 mg/l 평균 28,775 mg/l이며, 여름철에 6,955~30,746 mg/l 평균 23,479 mg/l로 가장 낮았다 (Table 3). 관측지점 별로는 봄철에 성산, 조천 연안역이 22,294~29,894 mg/l로 최소의 값을 보이고 애월, 사계, 신도, 위미, 토산, 김녕 연안역은 40,282~48,453 mg/l로 최대값을 보였다. 그 다음으로는 겨울철 성산, 조천 지역이 18,214~28,514 mg/l로 최소, 김녕, 사계, 토산

지역은 40,254~45,201 mg/l로 최대이며, 가을철에는 세화, 조천, 성산 지역이 10,197~24,646 mg/l로 최소, 토산, 사계 지역이 33,235~34,697 mg/l로 최대였고, 여름철이 가장 낮게 나타나 성산, 세화, 조천 지역은 6,955~12,844 mg/l로 최소, 사계, 용수 지역이 29,633~30,747 mg/l로 최대치를 보였다.

이러한 계절별, 관측 지역별 총용존성 고형 물질의 농도 변화 경향은 총고형 물질(TS)에서 설명한 바와 같이 계절에 따른 하천수 유입량의 차이와 외해수의 영향 등으로 인한 염분 변동에 기인하는 것이며 조사 시기나 위치에 따라 총고형 물질과 총용존성 고형 물질의 값은 크게 변할 수 있다.

### 2-3 총 부유성 고형 물질(TSS), 휘발성 부유 물질(VSS) 및 무기성 부유물(FSS)

총부유성 고형 물질은 수중에 부유하는 무기 및 유기성 고형 물질로서 보통 직경이 0.1  $\mu\text{m}$  이상의 크기를 갖는 입자를 말한다. 2월의 농도가 5.12~10.53 mg/l (평균 7.73 mg/l)로 가장 높고, 9월에 2.74~7.31 mg/l (평균 4.73 mg/l)로 가장 낮게 나타났다. 총부유성 고형 물질의 연변동은 8월의 경우를 제외하면 9월부터 증가하기 시작하여 2월에 최대가 되고, 이후 4월부터 감소하기 시작하여 9월에 최소가 된다. 이와 같은 연변동 특성을 볼 때 제주도 주변 연안 해역에서의 총부유성 고형 물질은 강수에 의한 하천수의 유출보다 바람이나 파랑, 조석 등에 의한 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다. Table 3에서 총부유성 고형 물질의 계절적 변화를 보면, 겨울철이 3.22~10.75 mg/l(평균 7.38 mg/l)로 가장 높고, 그 다음이 봄철 4.07~10.24 mg/l(평균 6.88 mg/l), 여름철 3.48~8.66 mg/l(평균 5.79 mg/l), 가을철 3.14~8.12 mg/l(평균 4.92 mg/l)의 순으로 나타났다. 관측 지역별로는 동계의 신창 해역이 10.75 mg/l로 가장 높고, 가을철의 조천 해역이 34.14 mg/l로 가장 낮았다. 총부유성 고형 물질의 농도 변화는 조사 시기나 위치에 따라 차이가 있겠으나, 본 연구 결과 제주 연안역에서 연평균치는 6.3 mg/l로 (3.7~9.0 mg/l)로 나타났다(Table 3).

일반적으로 부유 물질은 수중 탁도를 증가시키고 빛의 투과 및 수중 식물의 광합성을 억제하며, 해조류의 표면에 부착하여 성장에 심각한 영향을 줄 뿐만 아니라 어패류의 아가미에 축적되어 호흡 기능을 마비시키는 등 제반 수중 생물의 생리에 나쁜 영향을 미친다. 현재까지 제주도 연안역에서의 높은 고형 물질로 인해 소라, 전복 등 유용 동물의 서식 환경에 직접적으로 바람직스럽지 못한 큰 영향을 미친 것으로는 생각하기 어려우나 시가지 밀집 지역 부근 연안역이나 공장이 위치해 있는 부근 해역은 생활 하수나 공장 폐수의 유입 등에 따른 농도가 높고 매년 그 농도가 급속히 증가할 것으로 예상된다. 총부유성 고형 물질(TSS)은 그 구성 성분에 따라 휘발성 부유 물질(VSS)과 무기성 부유 물질(FSS)로 나누어 진다. 이 중에서 휘발성 부유 물질의 농도가 높다는 것은 부유 물질 중 유기성 성분이 많이 포함되어 있다는 것을 뜻하며, 이러한 유기질이 부유 물질에 많다는 것은 부패 가능 성분이 많다는 것을 뜻하기 때문에 그만큼 수질 악화가 일어나기 쉽게 된다. 제주도 연안 지역에서 휘발성 부유 물질의 월별 농도는 7월이 1.87~3.79 mg/l (평균 2.03 mg/l)로 가장 높게 나타났는데 이는 장마철의 집중 호우로 인한 예외적인 경우로 판단된다. 이 경우를 제외하면 3월이 1.74~2.81 mg/l (평균 1.95 mg/l)로 가장 높고 9월이 1.13~2.18 mg/l (평균 1.42 mg/l)로 가장 낮게 나타났다. 전체적인 변동 양상은 총부유성 고형 물질(TSS)의 경우와 비슷하게 나타났으며, Table 3으로 부터 계절적인 변동을 살펴보면 봄철이 1.56~2.74 mg/l (평균 1.97 mg/l)로 가장 높고, 다음이 여름철로 1.45~2.61 mg/l (평균 1.90 mg/l), 겨울철 1.02~2.33 mg/l (평균 1.70 mg/l), 가을철 1.04~2.08 mg/l (평균 1.56 mg/l)로 가장 낮게 나타났다. 관측 지역별로는 총부유성 고형 물질의 농도 변화와 마찬가지로 한림, 신창, 성산, 조천 지역이 2.54~2.74 mg/l로 높고, 신도, 사계, 대평, 토산 지역이 1.02~1.07 mg/l로, 조사 지역에서의 연평균 휘발성 부유 물질의 농도는 1.8 mg/l(1.4~2.4 mg/l)로서

금강 하구 22.0 mg/l (조와 서 1988), 낙동강 하구 6.1 mg/l (박 등 1985 ; 조 등 1978)보다 아주 낮게 나타났다. 보통 수질 분석에 있어서는 휘발성 부유 물질 자체의 농도 만으로 평가하기 보다는 TSS에 대한 VSS의 비로 나타내어 평가하는 것이 일반적이다. 제주도 연안 해역에 있어서 VSS/TSS 비의 연변동을 살펴보면 7월이 34.6~64.2%(평균 42.7%)로 가장 높고 2월이 15.6~25.1%(평균 20.12%)로 가장 낮게 나타났다. 이와 같이 6월이 가장 높은 이유는 장마철 육수의 유입과 여름 농번기와 관련 있는 것으로 사료되나 상세한 것은 앞으로 더욱 연구가 필요하다. 계절별로는 여름철이 22.8~61.4%(평균 34.17%)로 가장 높고, 가을철 15.9~64.9%(평균 34.13%), 봄철 19.9~48.8%(평균 29.9%), 겨울철 16.3~43.5%(평균 24.22%)의 순으로 나타났다. 이와같이 여름철에 VSS/TSS의 비가 높은 것은 여름철 수온이 높아 플랑크톤과 같은 부유 생물이 많이 번식하기 때문으로 여겨진다. 제주도 연안해역에서의 VSS/TSS의 계절적 변동 경향은 금강 하구에서의 조와 서(1988)와 낙동강 하구에서의 박 등(1985)의 연구 결과와 유사한 경향을 보이며 박 등(1985)은 여름철 비가 높은 원인으로 여름철 일사량의 증가로 인한 생물 활동과 관련이 있는 것으로 해석하고 있다. 조사 지역별로는 위미, 대포, 용수, 대정, 종달, 김녕 지역은 15.9~19.4%로 낮는데 반해 성산, 조천, 신창, 한림 지역은 41.8~60.8%로 높게 나타났다. 이러한 관측 지역별 차이도 역시 부유 생물의 현존량과 관계가 있는 것으로 여겨진다. 조사 해역에서의 VSS/TSS의 연평균치는 22.8~52.5%(평균 30.6%)로 나타났는데 (Table 4), 이는 낙동강 하구의 35%(박 등 1985)에 비해 낮은 값이다. 이는 본 조사 해역이 아직 유기물에 의한 수질 오염은 적은 편이라는 것을 뜻한다. 그러나 제주도 연안 인접 지역에 양식장과 공장이 많이 자리잡았고 앞으로도 그 수가 증가할 것이며, 인구도 점차 증가하고 있기 때문에 VSS/TSS의 비도 앞으로 더욱 증가할 것으로 예상된다. 총부유성 고형 물질(TSS)에서 휘발성 부유 물질(VSS)를 제외하면 무기 성분인 무기성 부유물(FSS)이 된다. 무기성 부유물의 농도 변화 경향은 총부유성 고형 물질의 경우와 비슷하게 나타났다. 무기성 부유물의 연변동은 2월이 3.93~8.71 mg/l (평균 5.73 mg/l)로 가장 높고, 9월이 1.04~5.77 mg/l (평균 3.28 mg/l)로 가장 낮게 나타났다. 계절별로는 휘발성 부유 물질의 경우와는 달리 겨울철이 1.82~8.88 mg/l (평균 5.67 mg/l)로 가장 높고, 다음이 봄철 2.47~7.66 mg/l (평균 4.91 mg/l), 여름철 1.64~6.4 mg/l (평균 3.89 mg/l), 가을철 1.12~6.51 mg/l (평균 3.39 mg/l)의 순이었다. 제주도 연안 해역에서 무기성 부유물의 연평균 농도 변화는 2.2~6.8 mg/l (평균 4.5 mg/l)로 나타났다.

### 3. 일반 환경과 부유 물질 농도와와의 관계

일반적으로 연안 해역에는 여러 가지 외력이 복잡하게 작용하고 있다. 이러한 중요 외력으로서 풍속, 강수량, 조석, 이질 수괴 등을 고려하여 제주도 연안 해역에서의 부유 물질 농도 변화와의 관계를 종합적으로 연구할 필요가 있다(Grandpre 1980 ; Gelfenbaun 1983). 제주도 연안역에 있어서 가장 큰 외력은 담수의 유입, 조석, 풍속으로 생각할 수 있으며, 이러한 외력이 제주 연안 해역의 총부유성 고형 물질(TSS) 농도 변화를 지배한다고 볼 수 있다. Lee and Kim(1987)과 조와 서(1988)는 조석력과 하천수의 유입에 따른 금강 하구 지역의 최대 혼탁수 형성과 그 변동에 관한 조사에서, 그들 사이의 밀접한 관계를 밝혔다. 특히, 제주도와 같은 섬 지역은 바람이 세고, 외해에 노출되어 있어 파랑 에너지가 강해 수심이 얕은 연안역에서는 바람 자체에 의한 해수의 강한 혼합 작용과 파랑에 의한 침전 물질의 재부유 등으로 인해 총부유성 고형 물질의 농도 증가도 대단히 클 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 제주 지역의 장기간 월별 강수량(Table 2)과 풍속을 조사하여 총부유성 고형 물질과의 관계를 알아 보았다.

Table 5에서 보면 강수량이 적고 바람이 강한 겨울철에 총부유성 고형 물질의 농도가 가장 높고,

Table 4. Annual mean values of each parameter

St.	WT	SAL	TS	TSS	TDS	VSS	FSS	VSS/TSS
1	17.8	32.8	32828	7.1	32821	1.9	5.2	27.7
2	18.2	31.9	33574	6.1	33568	2.0	4.2	33.3
3	18.9	32.2	35023	6.2	35039	1.7	4.5	28.3
4	18.7	31.7	30631	7.3	30623	2.3	5.0	31.1
5	19.0	32.2	31833	7.8	31825	2.2	5.6	34.8
6	16.4	31.4	31626	7.0	31619	1.6	5.3	23.4
7	18.4	32.1	32698	4.8	32693	1.4	3.4	31.6
8	19.1	32.0	30358	5.4	30352	1.5	4.0	28.6
9	18.9	32.3	36495	4.7	36490	1.5	3.2	32.4
10	19.0	32.5	33098	4.3	33094	1.4	2.9	32.3
11	19.0	32.0	32583	7.4	32512	1.7	5.7	24.2
12	19.1	32.4	33524	9.0	33516	2.1	6.8	23.4
13	19.3	32.5	33193	8.5	33184	2.0	6.6	22.8
14	19.3	32.4	35830	4.7	35825	1.4	3.1	32.4
15	18.0	31.8	31608	8.5	31601	2.1	6.4	24.1
16	18.1	32.5	30413	6.4	30406	1.7	4.7	26.3
17	17.5	32.1	23730	5.7	23729	2.3	3.4	42.3
18	18.0	33.2	32320	3.7	32317	1.5	2.2	40.8
19	17.7	32.1	33003	6.0	32997	1.6	4.4	27.2
20	17.6	32.8	23551	5.6	16626	1.6	4.0	29.0
21	17.9	32.0	35908	6.6	35901	1.5	5.1	25.0
22	17.0	31.5	14655	4.8	14900	2.4	2.4	52.5
Range	16.4~ 19.3	31.4~ 32.8	14655~ 36495	3.7~ 9.0	14900~ 36490	1.4~ 2.4	2.2~ 6.8	22.8~ 52.5
Mean	18.3	32.2	31295	6.3	30979	1.8	4.5	30.6

Refer to Table 3 for abbreviations of parameters.

Table 5. Seasonal mean values of wind velocity, precipitation and total suspended solids(TSS)

Factor	Spring	Summer	Autumn	Winter
Wind Vel. (m.s.)	4.6	2.5	3.34	6.0
Precipitation (mm)	602.0	1185.5	550.9	311.3
TSS (mg/ℓ)	6.88	5.79	4.92	7.38

강수량은 많으나 풍속이 약한 여름철에 총부유성 고형 물질의 농도가 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 이는 제주 연안 해역에서의 총부유성 고형 물질의 농도는 하천수의 유입보다는 바람에 의한 영향을 직접적으로 더욱 많이 받고 있는 것으로 사료된다. 강수량이 많은 여름철에 총부유성 고형 물질의 농도가 낮은 원인은 장마철에 많은 비가 내려서 연안역에 부유 물질이 많이 유입된다 하더라도 담수의 양이 크게 증가함으로써 희석율이 크게 되어 상대적으로 총부유성 고형 물질의 농도가 낮아지거나 또한 장마철에는 하천수의 유출량이 크게 증가하는 것과 함께 수온도 높아져서 연안역의 해수 밀도가 크게 낮아지므로 부유 물질이 다른 계절에 비해 쉽게 침전되는 것도 여름 장마철 총부유성 고형 물질의 농도가 낮아지는 원인으로 생각된다. 이 밖에도 총부유성 고형 물질의 계절적 변동은 제주도 연안 육지 지역의 식생 상태, 경작지의 상태 등과도 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

## 요 약

제주도 연안 지역 22개 관측점에서 1988년 3월부터 1989년 11월까지 매월 부유 물질 농도를 조사하고, 바람, 강수량 등과의 관계를 알아보았다. 총고형 물질과 총용존성 고형 물질은 염분의 영향을 크게 받아 봄철에 그 농도가 가장 높고, 여름철에 가장 낮았다. 제주도 연안 해역에서의 연평균 총부유성 고형 물질의 값은 6.3 mg/l(3.7~9.0 mg/l)였으며, 2월에 7.73 mg/l(5.12~10.53 mg/l)로 가장 높고, 9월에 4.73 mg/l(2.74~7.31 mg/l)로 가장 낮았다. 휘발성 부유 물질의 연평균치는 1.8 mg/l였으며 월별 변화 양상은 7월이 2.03 mg/l로 가장 높고, 9월이 1.42 mg/l로 가장 낮았다. VSS/TSS의 평균치는 30.6 (22.8~52.5%)로 다른 지역에 비해 높지는 않았으나 여름철이 평균 34.17%(22.8~61.4%)로 높고, 겨울철이 24.2%(16.3~43.5%)로 가장 낮았다. 유기성 부유 물질의 연평균치는 4.5 mg/l(2.2~6.8 mg/l)였으며, 총부유성 고형 물질과 비슷한 변화 양상을 보였다. 제주도 연안 해역에서의 총부유성 고형 물질의 농도 변화는 하천수의 유입이나 조석력과 같은 외력과 섬 지방의 강한 풍랑에 의한 침전물의 재부유에 의한 영향이 크게 미치고 있다. 하천수 유입량의 계절적 변동은 희석률을 크게 증감 시킴으로써 총부유성 고형 물질의 농도가 여름철에 상대적으로 낮고 겨울철에는 높아지는 경향이었다.

## 참 고 문 헌

- 국립중앙기상대, 1972~1988. 기상년보.
- 노홍길, 정공훈, 1976. 제주도 연안의 수온, 염분 변동에 관한 연구 (1). 제대 논문집 8 : 115~122.
- 박연관, 오윤근, 박칭길, 1985. 낙동강 하구역에 출현하는 황록색 수색대의 특성에 관한 연구. 한국해양학회지 20(3) : 30~36.
- 이병와, 1979. 제주도의 바람에 관한 연구. 지리학 논총 6 : 11~18.
- 이승호, 1987. 제주도 해안지역의 겨울철 바람에 관한 연구. 제주도 연구 4 : 219~259.
- 윤정수, 1985. 제주도 연안의 해변 퇴적물에 관한 연구. 광산지질학회지 18 : 55~63.
- 윤정수, 김성복, 고기원, 1989. 제주도 서남 해역의 해저 퇴적물 특성. 한국해양학회지 24(3) : 132~147.
- 정상철, 노홍길, 박길순, 전득산, 1983. 서귀포 연안역의 기초생산에 영향을 미치는 해양환경. 한국수산학회지 16(4) : 305~315.

- 조현영, 나규환, 홍사오, 1978. 금강 하구의 이화학적 수질환경과 저서생물에 관한 연구. 한국육수학회지 11(2) : 7~15.
- 조주환, 서만석, 1988. 금강 하구역의 부유물질 년변동에 관한 연구. 한국지구과학회지 9(2) : 143~162.
- 최영찬, 고유봉, 이준백, 1989. 제주도 해안선 주변의 해수 특성(1987년 6월~1988년 4월). 한국지구과학회지 10(1) : 50~57.
- Allen, G. P., P. Castaing, and A. Klingebiel. 1974. Suspended sediment transport and deposition in the Gironde Estuary and adjacent shelf. Mem. Inst. Geol. Bassin Aquitaine 7 : 27~36.
- Allen, G. P., J. C. Salomon, P. Bassoullet, Y. Dupenhoat, and C. De Grandpre. 1980. Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. Sed. Geol. 27 : 69~90.
- Gelfenbaun, G., 1983. Suspended sediment response to semidiurnal and fortnightly tidal variation in an mesotidal estuary ; Colombia River. U.S. Mar. Geol. 52 : 39~57.
- Grandpre, C., 1980. Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. Sed. Geol. 27 : 69~90.
- Lee, C. B. and T. I. Kim. 1987. Formation and evolution of turbidity maximum in the Keum Estuary, West Coast of Korea. Jour. Oceano. Soc. Kor. 22(2) : 105~118.
- Schubel, J. R. 1968. Turbidity maximum of the northern Chesapeake Bay. Science 161 : 1013~1015.
- Schubel, J. R. 1971. The estuarine environment. American Geological Institute VI : 1~17.