

진해만에 있어서의 COD의 시공간적인 특성 및 결정인자

김종구·조은일*

군산대학교 해양환경공학과, *제주대학교 환경공학과
(1998년 10월 27일 접수)

The Determining factors and Temporal and Spatial Characteristics of Chemical Oxygen Demand in Jinhae Bay

Jong-Gu Kim and Eun-Il Cho*

Dep't of Marine Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan, 573-400, Korea

*Dep't. of Environmental Engineering, Cheju National University, Cheju, Chejudo 690-756, Korea

(Manuscript received 27 October, 1998)

Determining factors and temporal & spatial characteristics of COD(Chemical Oxygen Demand) at the sea surface in Jinhae bay have been examined by using seasonal data, taken at twenty six stations over the whole bay during 1989~1994 by NFRDA. The data have been analyzed in terms of long term means, anomalously large values.

Jinhae bay is divided into three regions based on the time mean : mouth of Jinhae bay, inner sea of Masan bay, western sea of Jinhae bay called region 1,2 and 3, respectively.

The horizontal distribution of the long term mean of COD at each station is similar to those of nitrogen and phosphorus.

Characteristics of whole mean variation in the year shows high range of variation in region 2. It was appear to decreases every year in whole trend. Factors determining seasonal variation in whole COD mean are relative to salinity and nutrient, affected by precipitation in summer.

Spatial variation shows high range of fluctuation in region 2 compare to other region. Factors determining of spatial variation of COD was appear to nutrient, affected by pollutant load of land area and bottom sediment.

The long term mean of COD at each station is closely related with that of nutrients. The coorelation coefficient between COD and nitrogen, phosphate phosphorus was found to be high as 0.75, 0.78, respectively.

Anomalously large COD was observed 14 times at 6 stations. These stations are located in inner sea of Masan bay(Region 2) and Songjeong bay(Region 1). The seasonal frequency of the observed anomalous COD is large in April, and other seasons are much the same.

Key words : COD, anomalous COD, Jinhae bay, temporal variation, spatial variation, long term means.

1. 서 론

우리나라 남해안의 동쪽에 위치하고 있는 진해만은 동서로는 가덕도에서 거제대교, 남북으로는 마산만에서 장승포시까지의 범위를 가지며, 진해시, 마산시, 창원시, 고성군, 거제군으로 둘러 쌓인 대표적인 반폐쇄성 내만이다. 또한 진해만은 해안선의 굴곡이 심하고 수심이 비교적 얕으며 해류의 영향을 직접적으로 받지 않는다. 그리고 주변하천으로부터 많은 영양염 유입으로 인해 어족의 산란, 부화 및 성장에 적당한 환경을 가지고 있는 우리나라의 대표적인 해조류 및 꽈류 양식어장이다.

진해만은 남북방향의 길이가 총 25km, 동서방향의 폭이 총 25km 정도의 크기로 평균수심이 10m 인 천혜의

내만으로 내부해역에는 6개의 소규모 만으로 이루어져 있다. 주변 육상에서 유입되는 하천의 수는 대략 40여개를 가지고 있으며, 이들 중에서 마산만으로 유입되는 하천을 통한 오염부하가 가장 큰 특징을 가진다.

그러나 1960년대 이후 산업 발달과 인구 집중화 및 도시화로 인하여 각종 하폐수의 유입량이 급격히 증가하였고 아울러 양식산업이 발전하면서 과밀사육에 의한 오염부하의 증가로 인하여 자연의 균형상태가 깨어지면서 부영양화가 급속히 진전되어 진해만의 적조발생빈도는 매년 증가하고 있는 추세이다.

진해만 대상유역은 농공단지 및 관광자원 개발 등으로 오염원이 점점 증가하고 있는 반면 환경기초시설이 매우

부족하여 집중적인 수질관리가 요망되고 있다.

진해만의 수질오염 관련 연구로는 진해만 적조현상 및 특성에 관한 연구¹⁾를 비롯하여 진해만 해수의 부영양화에 관한 연구,²⁾ 마산만 오염부하와 대책에 관한 조사보고,³⁾ 진해만 영양염과 클로로필 a 농도의 일주변화,⁴⁾ 진해만의 질소화합물 순환에 관한 연구,⁵⁾ 진해만 일원 오염실태 조사보고 등 다수의 연구가 있다. 또한 수질보전과 수질관리에 관한 연구로는 적조 및 오염모니터링 시스템 개발을 위한 연구,^{6~8)} 마산만을 중심으로 한 연안환경 보전기술 개발연구,⁹⁾ 진해만 빈산소수과 형성과 관리방안에 관한 모델링,¹⁰⁾ 진해만 해역의 하계 부영양화 모델링,¹¹⁾ 마산만의 영양염 물질순환에 관한 연구¹²⁾ 등 다수의 연구가 있다.

그러나 진해만의 수질관리에 대한 많은 연구가 한 시점의 수질자료만을 주로 이용하고 있어, 수질의 연변화를 바탕으로 한 수질관리연구는 부족한 실정이다.

일반적인 해역의 수질관리에 많이 적용되는 수질인자는 유기오염물질에 의한 영향을 고려할 수 있는 화학적산소요구량(COD; Chemical Oxygen Demand)을 많이 이용하고 있다. 화학적산소요구량은 해역의 자정능력을 평가하는데 필수적인 용존산소와 밀접한 관계를 가지고 있는 인자로서 유기물질의 부패에 의한 산소소모를 이용하여 유기물질의 양을 간접적으로 나타내는 인자이다.

COD는 해수 중에 있는 화학물질, 유기물 등의 환원성 물질의 오염정도를 평가하는데 이용되며, 해역에서의 적조발생으로 인하여 식물플랑크톤이 대량으로 번식한 경우 이에 의한 유기오염원의 증가도 고려할 수 있는 중요한 인자로서 해역의 수질관리에 있어 그 활용의 가능성이 높은 수질인자이다.

본 연구에서는 육상으로부터의 유기물 및 무기물오염의 영향을 많이 받고 있는 진해만 전체해역을 대상으로 하여 조사한 한국연안어장 환경오염 조사결과보고서¹³⁾의 장기적인 자료를 바탕으로 COD 인자를 중심으로 한 시공간적인 변화특성 및 결정요인을 밝힘으로서 해역의 관리방안을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

진해만 전체해역의 수질특성을 평가하기 위하여 1989년부터 1994년까지 6년간 총 26개 정점을 대상으로 조사한 연구보고자료¹³⁾를 이용하였다. 조사시기는 2월, 4월, 8월, 11월 년 4회 실시하였으며, 시료는 실험실에서 시수 50ml을 알카리성으로 하여 과망간산칼륨용액 일정량을 가하여 항온수조에서 30분간 가열반응시킨 후 냉각시켜, 요오드칼륨용액을 가하고 황산으로 시료용액을 산성화시킨 다음 유리되는 요오드를 티오향산나트륨으로 적정하여 이때 소비되는 산소량으로 표시하였다.

COD의 공간적인 특성을 파악하기 위하여 진해만을 크게 3개의 지역으로 구분하였는데, 지역 1은 진해만 입구부, 지역 2는 마산만, 지역 3은 서부해역으로 구분하여 자료의 공간적인 분석을 행하였다(Fig. 1). 지역 1은 거제도와 가덕도사이의 해역이며, 송정만을 포함하고 있고, 지역 2는 창원과 마산시의 영향을 직접 받는 마산만과 진해시

의 영향을 받는 행암만을 포함하고 있으며, 지역 3은 진동만, 당동만, 원문만, 고현만을 포함하고 있으며, 대부분의 양식이 이곳에서 이루어지고 있다.

COD자료의 처리수순은, COD의 평균과 표준편차를 1989-1994년 동안 전지점에서 얻은 모든 자료에 대하여 계산한 후 평균에서 3배의 표준편차 이내 COD자료는 각 지점별 계절별 장기적 평균을 계산하는데 사용하였다. 계절별 장기적 평균의 편차는 만내 모든 정점에 대해서 표준편차 1.07mg/l, 평균 0.73mg/l를 가진다. 빈도분포는 0을 기준으로 대칭이며, 주로 양의 값을 가진다(Fig. 2). Anomalous COD는 6mg/l 이상의 편차를 가진 자료로 한정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 장기시간평균과 연변동의 특성

Fig. 1에 표시(●)된 만 입구부(지역 1의 A), 마산만 내부해역(지역 2의 B) 및 진해만 서부중심해역(지역 3의 C)

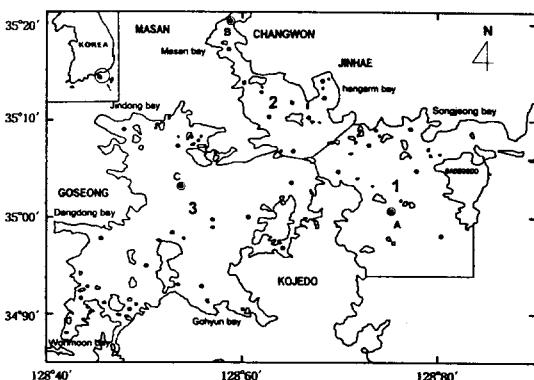


Fig. 1. Map of Jinhae bay and region 1~3. The regions were divided by characteristics of COD. Dots show the observation stations.

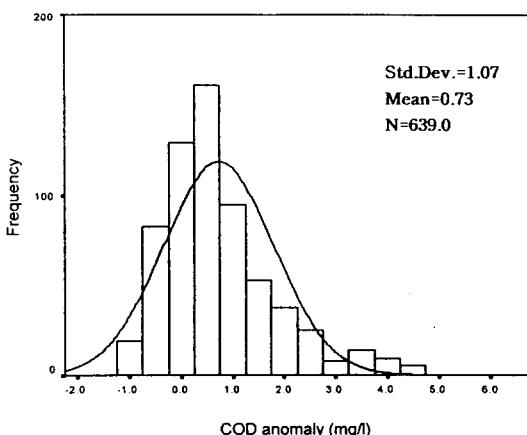


Fig. 2. Histogram of COD anomaly from the monthly mean averaged for 1989-1994 at each station in Jinhae bay. All monthly data at every station are used.

의 3지점을 대상으로 1989년부터 1994년까지 COD의 계절별 시계열 변동특성을 Fig. 3에 나타내었다. 진해만 내부에서의 지역간의 변화특성은 마산만 내부해역이 전체적으로 높은 농도를 보였고, 만입구와 진해서부해역은 1989년 자료를 제외하고는 낮은 농도를 나타내었다. 지점간의 평균 농도차는 마산만이 만입구보다는 평균 2.7mg/l , 진해서부해역보다는 평균 2.17mg/l 정도 높은 농도를 보여, 공간적인 변화가 큰 해역임을 알 수 있다. 계절별 변동특성을 보면, 전체적으로 춘계와 하계에 높은 농도를 나타내었고 추계와 동계에 낮은 농도를 보였고, 마산만 내측에서 1992년 추계(11월)에 아주 높은 농도를 보였다. 연도별 COD 변동특성은 지역 1과 2에서는 큰 변동폭을 보이고 있지 않았으나, 지역 3에서는 1989년, 1993년 및 1994년도에 큰 변동폭을 보였는데, 이는 주변에 위치한 마산, 창원 및 진해시의 오염부하를 직접적으로 받고 있기 때문에 COD의 변동이 크게 나타난 것으로 판단된다. 이러한 결과는 김^[11]이 발표한 진해만 오염원조사 자료에서도 나타난 바와 같이 마산만으로의 유입부하가 진해만 전체 오염원 부하에 대하여 DIP는 90%, DIN 53%, POC는 58%로서 절대적으로 많은 양을 차지하고 있는 것에서 알 수 있다.

Fig. 4는 1989년부터 1994년까지 COD의 각 정점별 평균값을 수평분포도로 나타낸 것이다. 6년간의 COD 평균값은 만입구부에서 내만으로 갈수록 크게 증가하는 경향을 나타내었고, 특히 마산만으로 갈수록 크게 증가하는 경향을 보였다. 마산만과 행암만이 포함된 지역 2에서 평균값은 2.93mg/l 이상의 농도를 나타내었으며, 최대값(4mg/l 이상)은 마산과 창원시의 도시하수 및 공장폐수가 유입되는 마산만 내만에서 나타났다. 지역 1에서는 송정만 입구지역을 제외하면 평균값은 1.74mg/l 의 낮은 농도를 보였다. 진해서부해역에 해당되는 지역 3은 최대 2.3mg/l , 최소 1.47mg/l 의 농도범위로 평균값은 1.88mg/l 를 나타내었다.

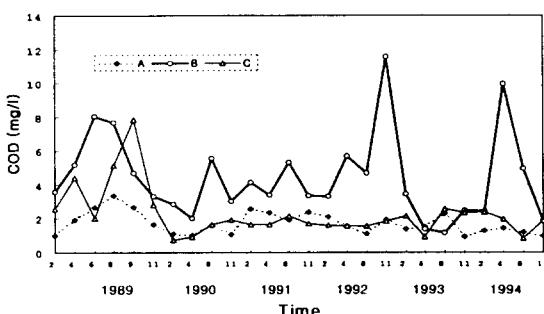


Fig. 3. Time series of monthly COD from 1989 through 1994 at the mouth of Jinhae bay(A), Masan bay station(B) and western part of Jinhae bay(C).

대표정점에 대한 1989-1994년 동안 COD의 연평균값(Fig. 5)을 보면 최대값은 1989년 지역 2에서 나타났으며, 최저값은 1990년 지역 1에서 나타났다. 공간적 특성상 지역 2에서 전체적으로 높게 나타났으며, 변동폭 또한 크게 나타났다. 전체적인 COD 연변동은 1990년을 제외하고는

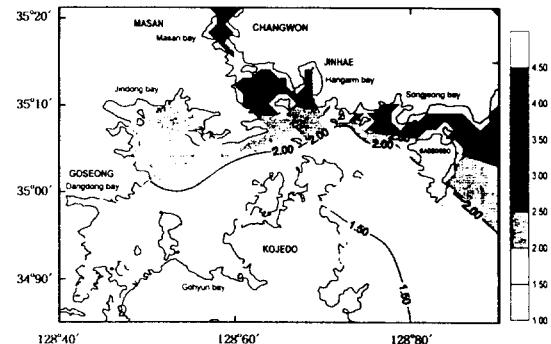


Fig. 4. Horizontal distribution of the long term mean at each station of COD(mg/l) during 1989~1994.

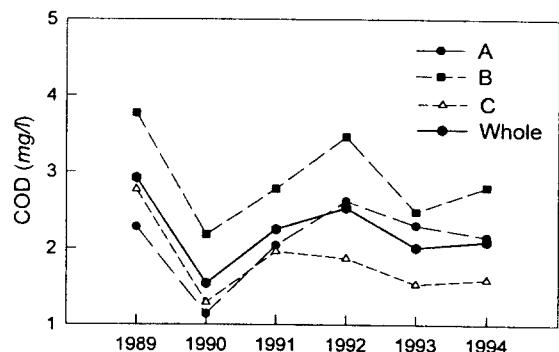


Fig. 5. Annual means of COD during 1982~1994 in each region of Jinhae bay.

COD의 농도가 계속 감소하는 경향을 나타내었다. 1990년도의 전체적인 COD의 감소는 본 자료를 바탕으로 판단하면 육상으로부터의 질소유입원의 감소에 의한 영향을 받은 것으로 것으로 판단된다(Fig. 6).

3.2. COD의 계절적 변동의 결정요인

진해만에서 1989-1994년 동안의 SST(Sea Surface temperature), Salinity, COD, 용존무기질소, 인산염의 계절적 변동을 Fig. 6에 나타내었다. 표면수온의 계절변화주기에 비해서 COD농도의 계절변화주기가 빠르게 나타나는 것으로 보아 이 지역에서는 COD농도변화에 영향을 주는 인자로 계절적 요인 이외에 다른 외적인 요인에 의한 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 COD의 변동에 있어 상관성이 있는 인자로는 담수유입에 따른 변화를 일으키는 염분, 용존무기질소와 인산염 등으로 담수에 포함된 풍부한 유기물, 질소 및 인의 농도에 기인한다. 특히 영양염류의 경우 조류의 증식에 이용되며 이에 따른 자생유기물의 증가도 COD의 증가에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.^[11] 본 대상해역은 하계 8월에 강우로 인한 담수유입에 의해서 염분농도가 저하하는 시기에 영양염류 농도가 상대적으로 크게 증가

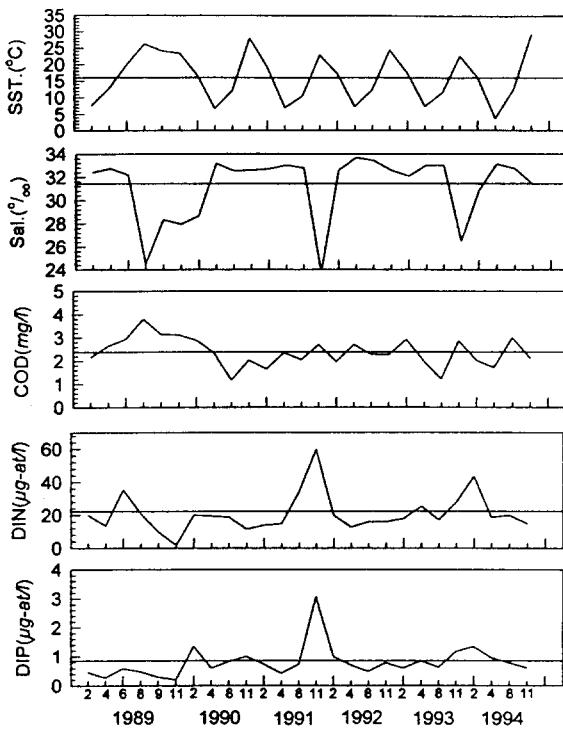


Fig. 6. Time series of Monthly values during 1989~1994 in Jinhae bay. The values are averaged over the twenty six stations. The horizontal lines show the 1989~1994 means.

하였으며, COD의 농도도 증가하는 경향을 나타내고 있어, 육상으로부터의 영향을 상대적으로 많이 받고 있는 것으로 평가된다.

해역에서의 계절적인 COD 결정요인으로는 계절적으로 담수유입이 증가하는 시기인 하계로서, 육상으로부터의 유기물의 오염부하가 가장 큰 시기로 평가되며, 영양염류의 농도증가로 인한 영향도 일부 기여하고 있는 것으로 평가된다.

3.3. COD의 공간적 변동의 결정요인

COD, SST, 용존무기질소, 인산염, 염분 및 총부유물질(TSS)의 1989~1994년 동안의 평균에 대한 공간적 분포를 Fig. 7에 나타내었다.

SST의 평균은 외해역이 높고, 내만으로 갈수록 낮은 온도분포를 나타내고 있다. 용존무기질소와 용존인의 농도분포는 지역 2에 해당되는 마산만 내부해역으로 갈수록 높은 농도를 나타내었다. 염분의 경우 마산만 내부해역에서 가장 낮은 농도를 나타내었고, 진동만에서도 낮은 농도를 보였다. 총부유물질은 지역 1의 송정만 외해역에서 가장 높은 농도를 보였고, 마산만 내부해역으로 갈수록 높은 농도를 나타내었다.

각 지점에서의 COD의 평균분포는 영양염류(용존무기질소와 인산염)의 분포와 밀접한 관계를 가지고 있다(Fig.

8). COD의 농도가 2.5mg/l 이상 증가하는 해역에서 용존무기질소는 $20\mu\text{g-at/l}$ (0.28ppm) 이상의 농도를 보이며, 인산염도 $1\mu\text{g-at/l}$ (0.03ppm) 이상의 농도분포를 보였다.

COD와 영양염류와의 상관식은 아래식과 같다.

$$\text{COD} = 0.016 \text{ DIN} + 1.89 \quad (r=0.752, n=26)$$

$$\text{COD} = 0.680 \text{ DIP} + 1.67 \quad (r=0.735, n=26)$$

여기서, COD, N, P는 각 지점에서의 평균, r은 상관계수, 그리고 n은 자료수를 나타낸다. 이는 Midori Kawabe and Masaki Kawabe¹⁵⁾가 동경만에서 조사한 COD와 DIN 및 DIP의 상관성인 0.73~0.81과 비슷하였다.

그리고 COD의 평균분포와 부유물질, 표면수온 및 염분과의 상관성은 각각 0.687, 0.60, 0.50으로 나타났다.

COD가 부유물질 및 표면수온과도 어느 정도 상관성이 있는 것을 알 수 있으나 가장 큰 영향을 미치는 인자는 영양염류임을 알 수 있다.

따라서, 해역의 공간적인 COD를 결정하는 요인 중에서 중요한 인자중의 하나는 영양염류로서, 이를 관리하기 위해서는 김¹¹⁾의 자료에서 밝힌 바와 같이 전해만 오염원의 대부분을 차지하는 육상을 통한 오염원와 저층에서 저질용출에 의한 오염원에 대한 관리가 필요하다 하겠다.

3.4. Anomalous COD의 특성

Anomalous COD는 6개 지점에서 총 14회 관측되었다. 이들은 마산만 내부해역(지역 2)과 진해만 입구에 위치한 송정만 지점에서 대부분 관측되었다(Table 1, Fig. 9).

Table 1. Frequencies of the observed anomalous COD(Freq.) and numbers of the station at which anomalous COD was observed (Sta.) in regions 1-3 of Jinhae bay

Region	Frequency	Station (total)
1	5	1(6)
2	8	4(8)
3	1	1(12)
Total	14	6(26)

지역 2에서 anomalous COD는 4개 지점에서 8회 관측되었는데, 지역 2 전체지점의 50%에 해당되며, 마산만 내부해역 2개 지점과 행암만 내 2개 지점으로 조사되었다. 발생빈도는 전체 만 내 총 발생빈도의 57%를 차지하였다. 그리고 지역 1에서 5회의 빈도로 관측되었는데 이를 값은 송정만 지점에서 모두 관측되었다. 이들 5 지점에서 관측된 anomalous COD는 전체 발생빈도의 93%에 해당되며, 이들이 관측된 지점은 모두 육상으로부터 오염부하의 영향을 직접적으로 받고 있는 만 내부해역인 것으로 나타났다.

연도별로는 1989년과 1994년이 각 4회씩 발생되어 발생빈도가 가장 높았으며, 1990년과 1991년도에는 나타나지 않았다. 계절별 발생빈도를 보면, 춘계인 4월에 총 5회의 anomalous COD가 발생되어 가장 높은 빈도를 보였으며, 그 외의 계절에는 1-2회의 발생빈도를 보였다(Table 2).

진해만에 있어서의 COD의 시공간적인 특성 및 결정인자

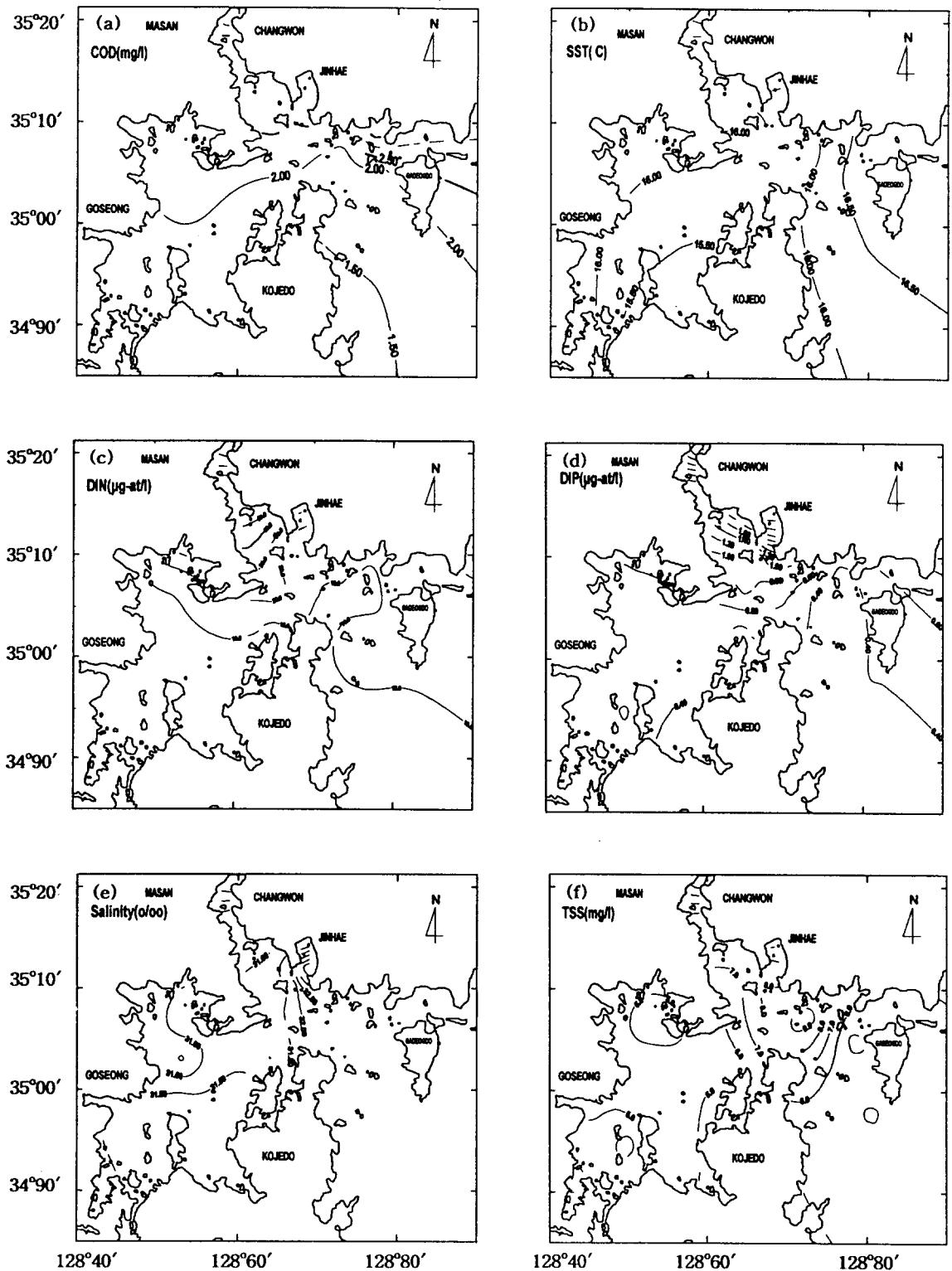


Fig. 7. Horizontal distribution of the long term(1989~1994) mean at each station of COD(a), SST(b), DIN(c), DIP(d), salinity(e) and TSS(f).

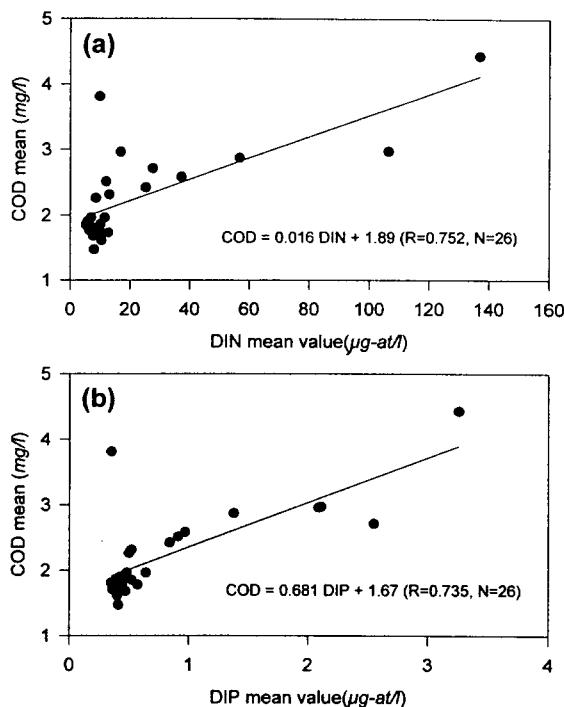


Fig. 8. Relation of COD to DIN(a) and DIP(b) in terms of the long-term mean(1989~1994) at each station in Jinhae bay.

Table 2. Frequencies of the observed anomalous COD(Freq.) for monthly and yearly

Year Month \ Year	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Total
Month							
2				1	1	2	
4			1	1	3	5	
6	2					2	
8	1			1		2	
9	1					1	
11		1	1			2	
Total	4		3	3	4	14	

Anomalous COD의 발생에 대한 적조발생과의 관계를 살펴보기 위하여 진해만에 대하여 조사된 적조발생 자료^[6]에서 제시된 1989년부터 1994년까지의 적조발생 지역 및 발생빈도를 분석해 보았다(Table 3).

적조발생 빈도자료를 보면, 지역 2에서 전체 발생빈도의 58%를 차지하고 있어, anomalous COD에서 나타난 발생빈도와 같았다. 다음이 진해서부해역인 지역 3으로 전체 발생빈도의 41%를 차지하였다. 연도별 적조발생빈도는 1989년과 1991년이 각각 전체의 25%로 가장 크게 나타났다. 월별 적조발생빈도는 하계 7월이 전체의 32%로서 가장 크게 나타났고, 하계에 해당되는 6월~9월 사이의 발생빈도는 전체의 75%를 차지하여 대부분의 적조가

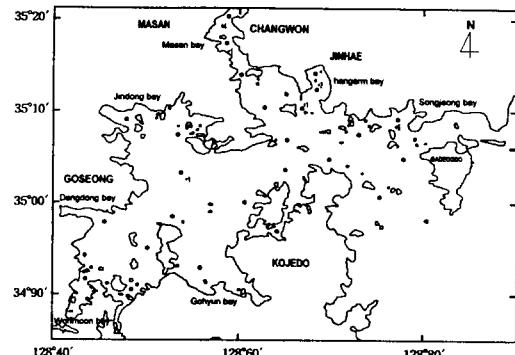


Fig. 9. Distribution of the stations (+) at which COD was observed during 1989~1994. The numerals denote the frequencies of the observed anomalous COD at each station.

하계에 일어남을 알 수 있다.

따라서 적조의 빈발시기가 하계 6월~9월이며, 부분적으로 그 외의 계절에 1~4회 정도 발생하는 것으로 나타난 것에 비하여, 본 조사연구 자료가 계절별 1회 조사자료에 대한 것으로 4월과 8월의 조사자료만으로는 적조가 빈발하는 시기의 COD의 특성을 파악 할 수 없었다.

Table 3. Monthly frequencies of red tides outbreak at each region in Jinhae bay

Region	Year	Monthly frequency												Total
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
	1989													
	1990								1					1
	1991													
1	1992													
	1993													
	1994													
	1989	1		2	2	2	1	1	1					10
	1990	1			2	2	1	1						7
	1991	1	1		1	3	1	1						8
2	1992			1	1	3								5
	1993		1		3		1							5
	1994	1	1	2		1								5
	1989			2		3		1	1					7
	1990				1	3								4
	1991		1		3	2	2			1				9
3	1992					1								1
	1993			1	2	2			1					6
	1994						1							1
	Total	3	3	6	11	22	12	7	2	2	1			69

4. 결 론

진해만 전체해역을 대상으로 하여 1989~1994년 동안의

수질자료중에서 COD 인자를 중심으로 한 시공간적인 변화특성 및 결정요인을 조사한 결과는 다음과 같다.

장기평균 COD의 수평분포는 영양염류의 분포와 비슷한 경향을 가지고 있었다.

COD의 연변동의 특성은 변동폭이 크게 나타났으나, 1990년을 제외하고는 전제적으로 감소하는 경향을 보였다.

COD의 계절적 변동요인은 강우로 인한 담수유입이 증가하는 시기인 하계의 영향을 받고 있으며, 염분 및 영양염류농도와 관계가 있다.

COD의 공간적인 변동은 마산만 내부해역으로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보였으며, 변동요인으로는 육상 및 저층에서의 오염부하에 영향을 받는 영양염류와 상관성이 있는 것으로 나타났다.

Anomalous COD는 만내부 해역에서 전체 발생빈도의 93%로 대부분이 육상으로부터의 오염의 영향을 직접적으로 받고 있는 것으로 판측되었다.

전체적으로, 진해만은 육상오염원의 영향을 받는 만내부 해역에 대한 집중적인 수질관리가 요망되어지며, 하계 강우로 인하여 유출 가능한 오염원의 관리가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문에서 이용한 자료는 국립수산진흥원에서 발표된 연안정선 관측자료의 일부로서 자료를 만들기 위해 현장에서 수고하시는 여러분과 국립수산진흥원 관계자 여러분에게 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 박주석·김종두, 1967, 진해만 적조현상에 관한 연구, 국립수산진흥원 연구보고, 43, 63-79.
- 2) 박청길, 1975, 진해만 해수의 부영양화와 Chlorophyll 분포, 한국수산학회지, 8(3), 121-126.
- 3) 서봉수, 1987, 마산만의 오염물질 부하와 대책, 적조현상과 어장보전, 국립수산진흥원, 19-26.

- 4) 양동범, 1987, 진해만 영양염과 클로로필 a 농도의 일주변화, 적조현상과 어장보전, 국립수산진흥원, 39-40.
- 5) 해양연구소, 1987, 진해만의 질소화합물 순환에 관한 연구.
- 6) 해양연구소, 1980, 진해만의 적조 및 오염 모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구, BSPE. 00022-43-7.
- 7) 해양연구소, 1981, 진해만의 적조 및 오염 모니터링 시스템 개발을 위한 연구, BSPE. 00031-51-7.
- 8) 해양연구소, 1983, 적조 및 오염 모니터링 연구, BSPE. 00048-80-7.
- 9) 해양연구소, 1989, 연안환경 보전기술 개발연구, BSPG. 083-242-4.
- 10) 최우경, 1993, 진해만의 빈산소수괴 형성에 관한 시뮬레이션, 부산수산대학교 박사학위논문.
- 11) 김종구, 1994, 진해만 해역의 하계 부영양화 모델링, 부산수산대학교 박사학위논문.
- 12) 김동명, 1994, 마산만의 영양염 물질순환모델링, 부산수산대학교 석사학위논문.
- 13) 국립수산진흥원, 1996, 한국연안여장 환경오염조사 결과보고서, 140-167.
- 14) 신성교, 1996, 자생BOD를 고려한 낙동강의 수질관리, 부경대학교, 공학박사학위논문.
- 15) Midori Kawabe and Masaki Kawabe, 1997, Temporal and Spatial Characteristics of Chemical Oxygen Demand in Tokyo Bay., Journal of Oceanography, Vol.53, 19-26.
- Midori Kawabe and Masaki Kawabe, 1997, Factors Determining Chemical Oxygen Demand in Tokyo Bay., Journal of Oceanography, Vol.53, 443-453.
- 16) 국립수산진흥원, 1997, 한국연안의 적조 -최근적조의 발생원인과 대책-, 70-79.