

論 文

## 목포항의 수질 특성(Ⅱ) - 하계의 부영양화를 중심으로 -

김 광 수\*

The Characteristics of Water Quality in Mokpo Harbour(Ⅱ)  
- Centering on eutrophication in summer -

*Gwang-Su Kim*

<목 차>

Abstract

1. 서 론

2. 재료 및 방법

2.1 수질 조사

2.2 수질 평가

3. 결과 및 고찰

3.1 수질 평가

3.2 오염지수 및 부영양도

4. 결 론

참고문헌

### Abstract

The *in situ* observations and the seawater analyses were conducted in July and August, 1996 for the purpose of evaluating the characteristics of seawater quality centered about eutrophication in Mokpo harbour. By applying the OECD standards of trophic classification to the parameters such as secchi depth, total inorganic nitrogen, phosphate phosphorus and chlorophyll-a, the trophic level of seawater in Mokpo harbour was evaluated to be in eutrophic state in summer. The estimation of pollution index by eutrophication showed the seawater quality of Mokpo harbour to deteriorate and fall under the regular grades. The results of eutrophic index estimation showed the high potentiality of red tide occurrence in Mokpo harbour.

\* 목포해양대학교

## 1. 서 론

한반도 서남권에 위치한 목포항은 폐쇄성이 강한 해역으로서 육상이나 선박으로부터 각종의 오염물질이 유입되면 외해로 쉽게 확산되거나 희석되지 못하고 축적되기 때문에 수질 악화가 빠르게 진행된다. 그래서 목포항 자체의 수질 오염 문제뿐만 아니라 장기적으로는 주변 해역의 수질에도 영향을 미치게 된다. 특히 하계에 있어서 성층현상이 나타나고 일사량이 증가하면, 부영양화에 따른 적조 발생과 저층의 빈산소수괴 형성 등 여러 가지 해양오염문제가 심각하게 대두될 가능성이 크다.

질소나 인과 같은 식물영양염류가 수중에 적당히 들어 있으면 식물플랑크톤이 번식하여 수역의 기초생산력이 높아지지만, 생활하수나 산업폐수의 유입으로 영양염류의 농도가 너무 높아져서 수역이 부영양화되면 식물플랑크톤이 일시에 대량 번식하여 적조 현상을 일으킬 수도 있다. 또한, 선박의 발라스트수를 통하여 적조 생물과 같은 유해한 수중 생물과 병원균이 세계의 각 곳으로 이동될 수도 있으므로 이것을 최소화하기 위한 선박 발라스트수의 통제와 관리에 대한 규정의 초안이 국제해사기구(IMO)의 해양환경보호위원회(MEPC)에서 마련되었으며, 국제적으로 계속 논의될 것으로 전망된다<sup>1)</sup>. 그러므로 국제해역에 종사하는 선박이 목포항에 입항하여 발라스트수를 적재하거나 배출함으로써 또는 육상의 생활하수나 산업폐수가 해역에 유입함으로써 발생할 수 있는 여러 가지 문제들을 사전에 예측하고 이에 따른 최적의 방안을 강구하기 위하여 목포항의 수질 특성을 이해하고, 아울러 적조와 관련된 부영양화에 관한 현황을 정확히 파악하는 것이 필요하다.

해역의 수질관리를 위하여 국내에서는 수소이온농도(pH), 화학적 산소요구량(COD), 용존산소(DO), 부유물질(SS), 대장균군수, 노말핵산추출물질(유분), 총질소 및 총인의 8개 항목에 대한 기준을 설정함으로써 해역의 수질 등급을 해역의 용도에 따라서 I, II, III등급으로 구분하고 있다. 그러나 이 8개의 수질항목 중에서도 주로 화학적 산소요구량

(COD)을 해양현황지표로 이용하고 있어서 해양의 오염현황을 정확히 나타내지 못하는 문제점이 있다. 그래서 박<sup>2)</sup>은 해양에서 부영양화와 관련이 있는 총인, 총질소의 오염도를 포함하는 오염지표에 대한 개발의 필요성을 제기하면서 Nemerow<sup>3)</sup>가 제안한 오염지수를 사용하여 해역의 수질등급을 분류한 바가 있다. 이러한 부영양화에 의한 오염지수는 하나의 수질항목만을 고려한 단편적 오염지표가 아니라, 부영양화와 관련된 질소, 인 등의 수질항목들을 고려하여 종합적으로 표현한 오염지표라는 특징을 가진다. 또한 You et. al.<sup>4)</sup>은 岡市<sup>5)</sup>가 제안한 부영양도 산정식을 이용하여 황해의 전역에 대한 부영양화를 정량적으로 파악한 바가 있다. 岡市의 부영양도 산정식은 해역의 부영양도를 정량화함으로써 적조 발생 가능성을 평가할 수 있다. 그러나 부영양화에 의한 오염지수와 부영양도를 동시에 산정하여 해역의 부영양화를 정량적으로 파악한 연구는 지금까지 全無할 뿐만 아니라 OECD의 영양단계 분류 기준<sup>6)</sup>을 국내의 해역에 적용한 실례는 찾아보기 어렵다. 그리고 목포항과 주변해역을 대상으로 지금까지 수행된 수질 조사 및 연구는 국립수산진흥원<sup>7)</sup>의 연안어장 환경오염 조사를 비롯하여, 목포항의 개발과 산업공단의 조성에 따른 연안해역의 변화에 관한 연구<sup>8-12)</sup> 등이 있으나, 적조 발생에 관한 보고 또는 연구는 발표되지 않았으며 부영양화에 관한 체계적인 연구도 크게 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 목포항의 수질 특성을 파악하기 위한 일환으로서 하계에 있어서 부영양화를 중심으로 목포항의 수질을 정량적으로 평가하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 하계에 목포항의 수질을 조사한 후, 총무기질소, 인산인 등 부영양화와 관련된 수질항목들에 대하여 OECD의 영양상태 분류기준을 적용함과 동시에, Nemerow의 오염지수 산정식과 岡市의 부영양도 산정식을 적용하여 목포항의 부영양화 정도를 정량화하였다. 본 연구의 결과는 목포항과 그 주변 해역의 이용 및 보전에 관한 정책 수립 뿐만 아니라 합리적 수질 관리에 기여할 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 수질 조사

#### 2.1.1 채수

하계에 있어서 목포항의 수질을 조사하기 위하여 Fig. 1에 제시한 바와 같이, 항내 수역과 항외 수역에 설정한 11개의 정점에서 1996년 7월 10일과 8월 15일 두차례에 걸쳐 낙조시에 목포해양대학교의 선박 "전남 706호"를 이용하여 Niskin 채수기로 썬 표층과 저층의 해수를 채취한 후, 실험실로 신속히 운반하여 분석하였다. 본 연구에서는 고힌도의 북단과 무안반도의 남서단을 연결하는 구항계를 기준으로 동쪽에 위치한 3개의 정박 수역, 즉 제1구, 제2구 및 제3구 수역을 항내 수역이라 하였고, 구항계의 서쪽에 위치한 외측의 해역을 항외 수역이라고 표현하였다.

#### 2.1.2 수질 분석

시료수에 대하여 pH, 투명도(S.D.), 수온(Temp), 염분(Sal), 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD),

총부유성 고형물(TSS), 휘발성 부유물(VSS), 암모니아성 질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), 아질산성 질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 인산인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ), 클로로필 a(Chl-a), 입자성 유기탄소(POC) 및 입자성 유기질소(PON)를 측정 및 분석하였다. 그러나 본 연구에서는 투명도, 총무기질소, 인산인, 클로로필 a 및 화학적 산소요구량에 대한 자료를 제시하였다. 투명도는 직경 30cm의 백색 원판을 사용하여 현장에서 측정하였고, 아질산성 질소는 Sulfanilamide-NED법, 질산성 질소는 Cadmium-reduction법, 암모니아성 질소는 Indophenol법, 인산인은 Ascorbic acid법, Chlorophyll-a는 Strickland and Parson법에 의하여 각각 비색정량하였다. 총무기질소(TIN)는 아질산성 질소, 질산성 질소 및 암모니아성 질소의 합계를 말한다.

### 2.2 수질 평가

#### 2.2.1 OECD의 영양상태기준에 의한 분류

목포항의 영양상태를 분류하기 위하여 수층별 수질 분석 자료에 대하여 Table 1에 제시한 OECD의 영양단계 분류 기준<sup>(6)</sup>을 적용하였다.

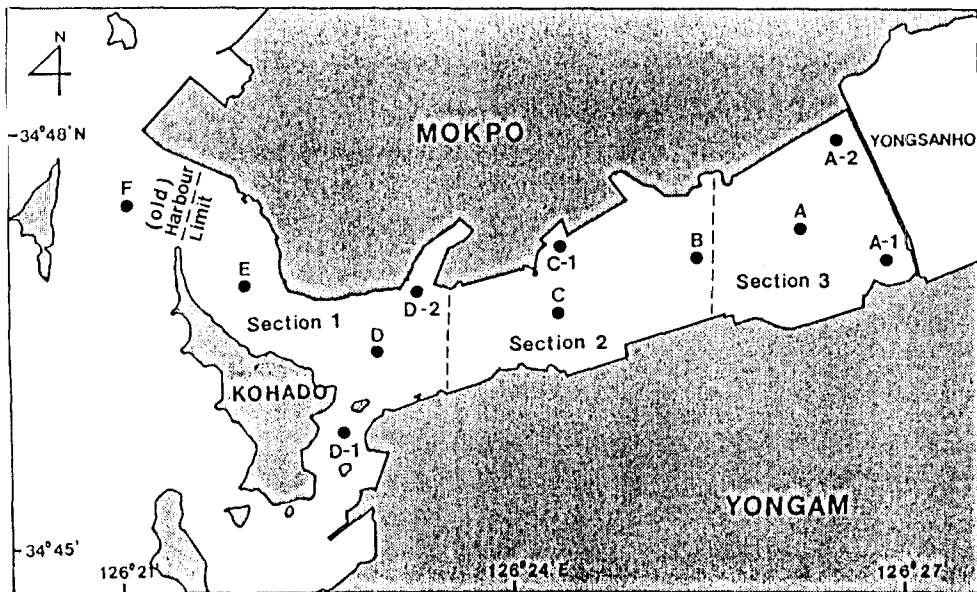


Fig. 1 Location of stations for sampling seawater in Mokpo harbour.

Table 1. Classification of trophic state in the OECD eutrophication program<sup>6)</sup>

Parameter	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrophic	Hypertrophic
Secchi depth(m)	5.4~28.3	1.5~8.1	0.8~7.0	0.4~0.5
Nitrogen(mg/ℓ)	0.307~1.387	0.361~1.630	0.393~6.100	
Phosphorus(mg/ℓ)	0.003~0.018	0.011~0.096	0.016~0.386	0.750~1.200
Chlorophyll-a(mg/m <sup>3</sup> )	0.3~4.5	3.0~11.0	2.7~78.0	100~150

### 2.2.2 오염지수 산정

해역의 부영양화와 관련된 수질 항목들, 즉 화학적 산소요구량(COD), 총무기질소(TIN) 및 인산인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)을 이용하여 오염지수(PIe)를 산정하는 식은 다음과 같다<sup>3)</sup>.

$$PIe = \sqrt{\frac{\max.(C_i/L_{i,1st})^2 + \text{mean}(C_i/L_{i,1st})^2}{2}}$$

$$\text{부영양도(EI)} = \frac{\text{화학적 산소요구량(mg/ℓ)} \times \text{무기태 질소(μg/ℓ)} \times \text{무기태 인(μg/ℓ)}}{1500}$$

여기서, C<sub>i</sub>는 복수의 수질 항목 중에서 i번째 수질 항목의 농도를 의미하며, L<sub>i,1st</sub>는 i번째 수질 항목에 대한 1등급 수질 기준 농도를 나타낸다. 또한 max.는 최대값을, mean은 평균값을 말한다.

목포항의 표층수 및 저층수에 대하여 한국의 해양수질기준 1등급의 COD, 총무기질소(TIN) 및 인산인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)을 기준으로 부영양화에 의한 오염지수(PIe)를 산정하였으며, 오염지수(PIe)가 1 이하이면 1등급 수질, 2 이하이면 2등급 수질, 4 이하이면 3등급 수질, 4 이상이면 등급외의 수질로서 평가하였다.

### 2.3 부영양도 산정

岡市<sup>3)</sup>는 COD 1mg/ℓ, 무기태 질소 100μg/ℓ 및 무기태 인 15μg/ℓ의 일본수산환경수질기준을 이용하여 일반 해역에서 부영양화의 진행 정도를 나타내는 하나의 척도로서 부영양도(EI)를 다음식으로 표현하였다. 부영양도가 1 이상이면 일본수산환경수질기준을 초과하여 적조 발생 가능성이 있다.

적조의 발생에 관여하는 유기물(COD) 및 영양염(총무기질소 및 인산인)의 수층별 농도를 이용하여 목포항의 표층수 및 저층수에 대한 부영양도를 산정함으로써 수질을 평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

목포항의 각 정점에서 수질을 조사 및 분석한 결과, 7월과 8월의 수층별 수질항목별 자료를 Table 2에 제시하였다.

Table 2. Results of seawater analyses for Mokpo Harbour in July and Aug. 1996

Section	St. No.	Layer	July					Aug.				
			S.D. (m)	COD (mg/ℓ)	TIN (mg/ℓ)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/ℓ)	Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )	S.D. (m)	COD (mg/ℓ)	TIN (mg/ℓ)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/ℓ)	Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )
Inner 3	A	S	1.5	3.12	3.341	0.046	12.73	0.7	4.46	1.437	0.008	45.89
		B		1.32	0.662	0.028	0.72		2.35	0.394	0.018	1.89
	A-1	S	1.5	3.08	1.634	0.025	20.23	0.7	4.94	1.567	0.016	52.32
		B		1.68	0.702	0.046	1.00		2.83	0.217	0.015	2.56
	A-2	S	0.5	8.31	3.729	0.081	32.79	0.7	4.11	1.579	0.027	50.59
		B		8.00	1.492	0.150	2.98		1.97	0.359	0.051	1.63
	Mean	S	1.2	4.84	2.901	0.051	21.92	0.7	4.50	1.528	0.017	49.60
		B		3.67	0.952	0.075	1.57		2.38	0.323	0.028	2.03
	Mean (S&B)		1.2	4.25	1.305	0.063	12.24	0.7	3.44	0.926	0.023	25.81
	Inner 2	B	S	1.6	2.79	1.484	0.037	10.73	0.8	3.62	1.322	0.013
B			1.73		0.471	0.025	1.27	2.37		0.356	0.036	0.75
C		S	2.0	1.75	1.713	0.028	18.73	1.1	4.26	0.589	0.009	40.94
		B		1.15	0.530	0.033	1.04		2.38	0.253	0.038	1.04
C-1		S	1.5	2.19	1.642	0.053	8.25	0.8	3.33	1.374	0.007	39.21
		B		1.65	0.632	0.023	2.35		2.51	0.279	0.027	2.06
Mean		S	1.7	2.24	1.613	0.039	12.57	0.9	3.74	1.095	0.010	41.07
		B		1.51	0.544	0.027	1.55		2.42	0.296	0.034	1.28
Mean (S&B)			1.7	1.88	1.079	0.033	7.06	0.9	3.08	0.696	0.022	21.18
Inner 1		D	S	2.0	2.19	1.469	0.039	14.01	1.5	2.83	0.290	0.010
	B		1.04		0.477	0.014	2.43	2.38		0.257	0.030	0.80
	D-1	S	1.6	1.67	1.805	0.044	7.24	1.0	2.67	0.355	0.008	10.91
		B		1.29	0.630	0.018	3.93		2.34	0.219	0.023	0.63
	D-2	S	1.5	1.68	1.679	0.021	14.71	1.5	2.75	0.256	0.006	12.44
		B		1.18	0.426	0.018	1.98		2.43	0.125	0.019	0.85
	E	S	2.0	1.79	0.960	0.023	13.71	1.6	2.93	0.240	0.007	11.80
		B		1.07	0.422	0.012	2.82		2.62	0.171	0.015	1.57
	Mean	S	1.8	1.83	1.478	0.032	12.42	1.4	2.80	0.285	0.008	12.70
		B		1.15	0.489	0.016	2.79		2.44	0.193	0.022	0.96
Mean (S&B)		1.8	1.49	0.984	0.024	7.60	1.4	2.62	0.239	0.015	6.83	
Outer	F	S	2.2	1.75	1.818	0.025	14.01	1.0	2.98	0.192	0.016	3.01
		B		1.21	0.450	0.016	12.73		2.77	0.135	0.018	2.20
	Mean (S&B)		2.2	1.48	1.134	0.021	13.37	1.0	2.88	0.164	0.017	2.61
Total	Mean	S	1.6	2.76	1.934	0.038	15.19	1.0	3.53	0.836	0.012	29.62
		B		1.94	0.627	0.035	3.02		2.45	0.251	0.026	1.45
Total	Mean (S&B)		1.6	2.35	1.280	0.037	9.11	1.0	2.99	0.544	0.019	15.54

### 3.1. 수질 평가

#### 3.1.1 영양 상태

Table 2에 제시된 투명도, 총무기질소, 인산인 및 엽록소(Chlorophyll-a)에 대하여 OECD의 영양 단계 분류 기준<sup>6)</sup>을 적용함으로써 목포항 해수의 영양 상태를 평가하였다.

##### (1) 투명도

투명도는 7월의 경우에 0.5~2.2m로서 중영양~부영양 상태, 8월의 경우에 0.7~1.6m로서 부영양 상태를 보임으로써 하계에 있어서 목포항의 투명도는 전반적으로 부영양 상태를 나타내었다. 또한 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 투명도는 7월과 8월의 경우 모두 증가하는 경향을 보였으며, 전반적으로 8월이 7월보다 작은 값을 보였다.

##### (2) 총무기질소

총무기질소는 7월의 경우 표층과 저층에서 각각 0.960~3.729mg/ℓ 와 0.422~1.492mg/ℓ 로서 부영양 상태와 중영양~부영양 상태를, 8월의 경우 표층과 저층에서 각각 0.192~1.579mg/ℓ 와 0.125~0.394mg/ℓ 로서 중영양 상태와 빈영양 상태를 보임으로써 하계에 있어서 목포항의 총무기질소는 전반적으로 부영양 상태를 나타내었다. 그래서 표층과 저층의 전수층에서 총무기질소는 한국의 해역 환경기준의 III급수 기준 0.2mg/ℓ 를 초과하여 등급외의 수질을 보였다.

Fig. 2에 제시한 바와 같이, 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 진행함에 따라 7월과 8월의 총무기질소는 표층과 저층에서 전반적으로 감소하는 경향을 보였으며, 표층과 저층의 전수층에서 7월이 8월보다 높은 값을 보였다. 또한 감소 경향은 저층에서 매우 완만하였으나 표층에서는 가파르며 다소의 기복이 있었다. 7월의 경우 항외 수역의 표층에서 다시 증가한 것이 특이하였다.

특히 항내 제1구 및 제2구 수역의 높은 값은 하천을 통하여 유입하는 오염부하가 목포항의 부영양화의 원인이 되고 있음을 암시한다. 그리고 수중

의 총무기질소가 7월에 비하여 8월에 낮게 나타난 것은 식물플랑크톤의 증식과 관계가 있다. 즉 Chlorophyll-a의 농도가 7월보다 8월에 높게 나타남으로써 수중의 무기질소는 식물플랑크톤에 의하여 8월에 더 많이 섭취되었기 때문이다<sup>13)</sup>. 그래서 내부생산으로 인하여 화학적 산소요구량도 7월보다 8월에 더 높게 나타났다.

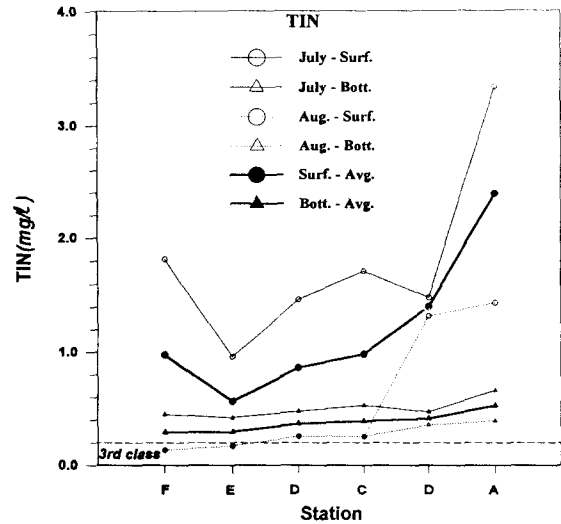


Fig. 2 Spatial variations of total inorganic nitrogen on surface and bottom layers of Mokpo harbour in summer.

##### (3) 인산인

인산인은 7월의 경우 표층과 저층에서 각각 0.021~0.081mg/ℓ 와 0.012~0.150mg/ℓ 로서 중영양 상태와 부영양 상태를, 8월의 경우 표층과 저층에서 각각 0.006~0.027mg/ℓ 와 0.015~0.051mg/ℓ 로서 빈영양 상태와 중영양 상태를 보임으로써 하계에 있어서 목포항의 인산인은 전반적으로 중영양~부영양 상태를 나타내었으며, 한국의 해역 환경기준의 III등급 수질을 보였다. 특히 항내 수역에서 7월의 표층수와 8월의 저층수는 III급수 기준 0.03mg/ℓ 를 초과하여 등급외의 수질을 보였다.

Fig. 3에서 나타난 바와 같이 하계의 인산인은 항내의 제3구 수역으로부터 항외 수역으로 갈수록 표층과 저층의 전수층에서 전반적으로 감소하는 경향을 보였으나, 7월의 경우 표층에서는 항내의

제1구 수역에 위치한 D정점에서 높은 값을 보였고, 저층에서는 항내의 제2구 수역에 위치한 C정점에서 높은 값을 보였다. 특히 7월의 경우에는 표층이 저층보다 높게 나타났으나, 8월의 경우에는 표층이 저층보다 오히려 낮게 나타났다. 이것은 하계의 성층현상과 광합성 활동이 7월보다 8월에 더 강하게 일어남에 따라서 저층에서 표층으로 인산인의 공급은 차단되고 표층에서 식물플랑크톤의 증식 속도가 7월보다 8월에 더 빠르며, 이로 인하여 표층의 인산인이 식물플랑크톤에 의하여 섭취되는 속도가 8월이 더 빠르기 때문이다<sup>13)</sup>. 그래서 내부생산으로 인하여 화학적 산소요구량도 8월이 7월에 비하여 높게 나타났다. 또한 항내의 제1구 및 제2구 수역의 높은 값은 도시하수의 오염부하로 인하여 목포항이 부영양화되고 있음을 암시한다.

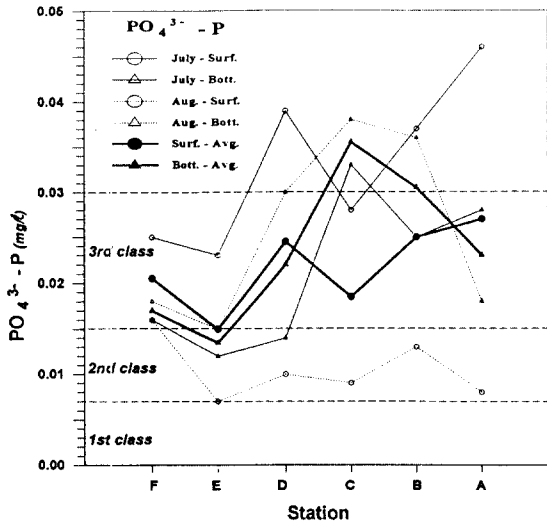


Fig. 3 Spatial variations of phosphate phosphorus on surface and bottom layers of Mokpo harbour in summer.

(4) 엽록소

목포항에서 식물플랑크톤 지표의 하나인 Chlorophyll-a는 7월의 경우 표층과 저층에서 각각

7.24~32.79mg/m<sup>3</sup>와 0.72~12.73mg/m<sup>3</sup>로서 부영양 상태와 빈영양~중영양 상태를, 8월의 경우 표층과 저층에서 각각 3.01~52.32mg/m<sup>3</sup>와 0.63~2.56mg/m<sup>3</sup>로서 부영양 상태와 빈영양 상태를 보임으로써 하계에 있어서 목포항의 엽록소는 전반적으로 표층에서는 부영양 상태의 특성을 나타내었으나, 저층에서는 빈영양 상태의 특성을 나타내었다.

Fig. 4에서 제시한 바와 같이, Chlorophyll-a는 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 7월의 경우 표층에서 다소의 기복을 보였으나, 저층에서 증가하는 경향을 보였다. 그리고 8월의 경우 표층에서 급격히 감소하는 경향을 보였으나, 저층에서는 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 하계의 Chlorophyll-a는 표층과 저층 간의 차이가 뚜렷하였으며, 8월의 경우가 7월의 경우보다 더욱 뚜렷하였다. 이것은 하계의 성층현상에 기인할 뿐만 아니라 영양염이 풍부하고 태양광의 강도가 큰 표층에서 광합성 활동이 활발하여 식물플랑크톤이 대량으로 증식하지만, 태양광이 도달하지 못하거나 미약한 저층에서는 광합성 활동이 거의 없어서 식물플랑크톤의 증식이 거의 없기 때문으로 판단된다<sup>13)</sup>. 성층현상이 뚜렷한 항내 수역의 표층에서는 Chlorophyll-a 농도가 7월에 비하여 8월에 훨씬 높고, 또한 내부생산으로 인하여 화학적 산소요구량도 8월이 7월에 비하여 높게 나타났다. 그러나 성층현상이 뚜렷하지 못하여 연직혼합이 가능한 항외 수역의 표층에서는 Chlorophyll-a 농도가 8월에 비하여 7월에 훨씬 높게 나타났다. 이와 같이 Chlorophyll-a 농도가 높은 시·공간에서는 식물플랑크톤의 영양염 섭취로 인하여 수중의 영양염 농도가 낮게 나타났다. 또한 일반적으로 식물플랑크톤 생체에 존재하는 질소와 인의 원자비(N/P)는 16이지만, 하계의 목포항 해수중에 존재하는 총무기질소와 인산인의 원자비(N/P)가 16을 훨씬 상회하고 있어서 식물플랑크톤의 성장에 대한 영양염의 제한 인자<sup>14)</sup>는 磷(P)으로 판단된다.

Table 3. Pollution indices by eutrophication(PIe) and eutrophication indices(EI) for surface (S) and bottom(B) layers of Mokpo harbour in summer

Section	St. No.	Layer	July		August	
			PIe	EI	PIe	EI
3	A	S	11.4	319.7	21.9	34.2
		B	10.3	16.3	6.3	11.1
	A-1	S	24.9	83.9	24.0	82.6
		B	11.2	31.2	3.8	6.1
	A-2	S	57.2	1673.4	24.2	116.8
		B	25.3	1193.6	6.4	24.0
Mean	S	31.2	692.3	23.4	77.9	
	B	15.6	413.7	5.5	13.7	
	Total Mean (S & B)		23.4	553.0	14.5	45.8
2	B	S	22.8	102.1	20.2	41.5
		B	7.5	13.6	6.1	20.2
	C	S	26.0	56.0	9.3	15.1
		B	8.4	13.4	4.9	15.3
	C-1	S	25.3	127.1	20.8	21.4
		B	9.9	16.0	4.8	12.6
Mean	S	24.7	95.1	16.8	26.0	
	B	8.6	14.3	5.3	16.0	
	Total Mean (S & B)		16.7	54.7	11.1	21.0
1	D	S	22.5	83.6	4.7	5.5
		B	7.4	4.6	4.6	12.2
	D-1	S	27.6	88.4	5.6	5.1
		B	9.7	9.8	3.9	7.9
	D-2	S	23.8	39.5	4.2	2.8
		B	6.7	6.0	2.6	3.8
Mean	S	22.2	59.5	4.6	4.2	
	B	7.6	6.0	3.6	7.1	
	Total Mean (S & B)		14.9	32.8	4.1	5.7
Outer harbour	F	S	27.5	53.0	3.5	6.1
		B	7.0	5.8	2.7	4.5
	Mean	(S & B)	17.3	29.4	3.1	5.3
Total Mean	S	26.4	225.0	12.1	28.6	
	B	9.7	110.0	4.3	10.3	
Total Mean	(S & B)		18.1	167.5	8.2	19.5



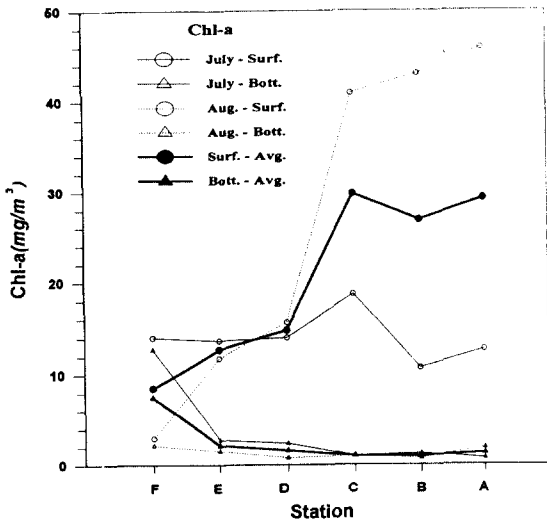


Fig. 4 Spatial variations of Chlorophyll-a on surface and bottom layers of Mokpo harbour in summer.

(5) 영양 상태의 평가

부영양화와 관련된 수질 항목으로서 투명도, 총 부기질소, 인산인 및 Chlorophyll-a을 선정하여 OECD의 영양단계 분류 기준을 적용한 결과, 하계에 있어서 목포항 해수의 영양은 부영양 상태로 평가되었다.

3.2 오염지수 및 부영양도

목포항의 표층과 저층의 수질 분석 자료를 기초로 하여 Nemerow<sup>3)</sup>가 제안한 식으로 산정한 부영양화에 의한 오염지수(PIe)와 岡市<sup>5)</sup>가 제안한 식으로 산정한 부영양도(EI)를 Table 3에 제시하였다.

3.2.1 부영양화에 의한 오염지수

부영양화에 의한 오염지수(PIe)를 살펴보면, 수역별 평균오염지수가 7월의 경우는 표층과 저층에서 각각 항내의 제3구 수역에서 31.2과 15.6, 제2구 수역에서 24.7과 8.6, 제1구 수역에서 22.2와 7.6 그리고 항외 수역에서 27.5와 7.0으로 나타나서 목포항의 전수역에 걸쳐서 전수층에서 3등급 기준의 4.0을 훨씬 초과하였다. 또한 8월의 경우는 표층과

저층에서 각각 항내의 제3구 수역에서 23.4과 5.5, 제2구 수역에서 16.8과 5.3, 제1구 수역에서 4.6와 3.6 그리고 항외 수역에서 3.5와 2.7로 나타나서

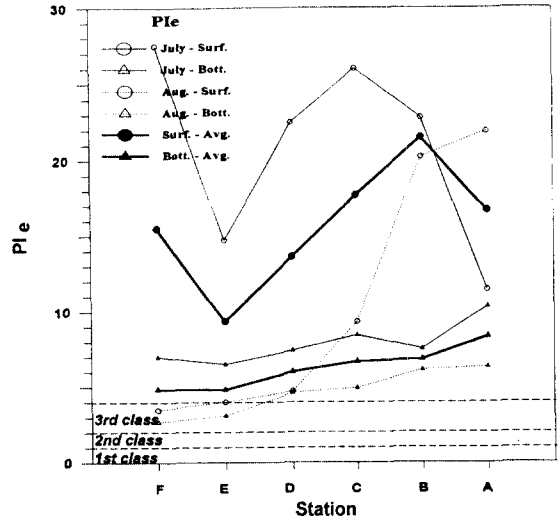


Fig. 5 Spatial variations of pollution index by eutrophication(PIe) on surface and bottom layers of Mokpo harbour in summer.

Fig. 5에서와 같이 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 3등급의 수질을 나타낸 제1구 수역의 E정점과 항외 수역의 F정점을 제외한 전수역의 전수층에서 3등급 기준의 4.0을 초과하였다. 전반적으로 부영양화에 의한 오염지수가 8월에 비하여 7월에 훨씬 높은 값을 보임으로써 수중의 부영양화는 7월에 훨씬 심각하지만, 투명도와 Chlorophyll-a 농도를 고려하면 부영양화로 인한 영향은 8월에 훨씬 심각하게 나타났다. 목포항 전역의 전수층에 대한 7월의 평균오염지수는 한반도 서해 중부해역의 오염지수 2.3~10.11<sup>5)</sup>보다 높은 18.1로서 3등급에도 미달하는 등급외의 수질을 보임으로써 화학적 산소요구량(COD)만을 환경현황지표로 이용하여 평가한 결과인 2~3등급과 상당한 차이가 있음을 알 수 있다<sup>2)</sup>. 또한 8월의 평균오염지수는 8.2로서 3등급에도 미달하는 등급외의 수질을 보임으로써 COD 지표에 의한 평가 결과인 3등급 수질과 차이가 있었으나, 제1구 수역의 E정점과 항외 수역의 F정점에서 부

영양화에 의한 오염지수는 COD에 의한 환경현황 지표와 일치하였다. 따라서 부영양화에 의한 오염지수를 기준으로 평가하면, 하계에 있어서 목포항의 수질은 부영양화가 상당히 진행된 오염된 해역이다.

### 3.2.2 부영양도

부영양도(EI)를 살펴보면, 수역별 평균부영양도가 7월의 경우는 표층과 저층에서 각각 항내의 제3구 수역에서 692.3과 413.7, 제2구 수역에서 95.1과 14.3, 제1구 수역에서 59.5와 6.0 그리고 항외 수역에서 53.0와 5.8을 나타냈고, 8월의 경우는 표층과 저층에서 각각 항내의 제3구 수역에서 77.9과 13.7, 제2구 수역에서 26.0과 16.0, 제1구 수역에서 4.2와 7.1 그리고 항외 수역에서 6.1와 4.5를 나타냄으로써

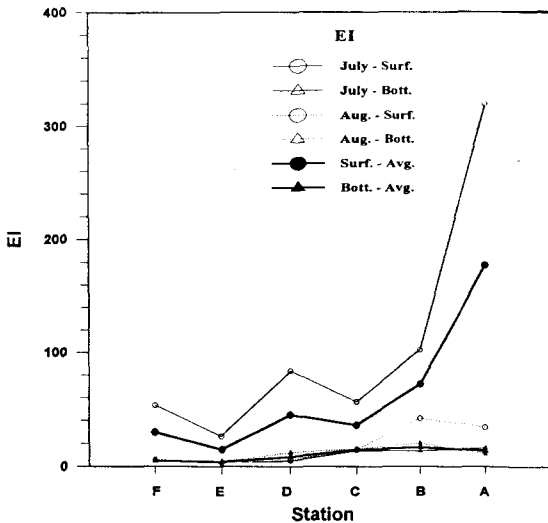


Fig. 6 Spatial variations of eutrophication index (EI) on surface and bottom layers of Mokpo harbour in summer.

Fig. 6에서와 같이 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있으나, 하계에 있어서 목포항의 전수역의 전수층에서 적조 발생 가능 기준치인 1.0을 훨씬 초과하였다. 또한 전반적으로 부영양도가 8월보다 7월에 훨씬 높음을 보임으로써 수중의 부영양화는 7월에 훨씬

심각하지만, 투명도와 Chlorophyll-a 농도를 고려하면 부영양화로 인한 영향은 8월에 훨씬 심각하게 나타났다. 이러한 결과는 한반도 서해의 중부 해역에 대한 부영양도 1.7~52.21<sup>5)</sup>보다 높고 마산만의 4.4~18.11<sup>6)</sup>보다 높다. 따라서 부영양도를 기준으로 평가하면, 하계에 있어서 목포항의 수질은 부영양화가 상당히 진행된 해역으로서 적조가 발생할 수 있는 잠재력이 대단히 크다.

## 4. 결 론

1996년의 하계에 목포항에 대하여 조사 및 분석한 수질 자료를 기초로 OECD의 영양상태 분류 기준을 적용하고, 부영양화에 의한 오염지수 및 부영양도를 산정함으로써 목포항의 수질을 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 부영양화와 관련된 수질 항목으로서 투명도, 총무기질소, 인산인, Chlorophyll-a를 선정하여 OECD의 영양단계 분류 기준을 적용한 결과, 목포항 해수는 부영양화 상태로 평가되었다.
2. 부영양화에 의한 오염지수를 기준으로 평가하면, 하계에 있어서 목포항의 수질은 부영양화가 심화된 오염 해역으로서 3등급의 수질에도 미달되는 등급외의 수질이었으며, 화학적 산소요구량(COD)만을 환경현황지표로 이용하여 평가한 2~3등급의 수질과 상당한 차이가 있었다.
3. 부영양도를 기준으로 평가하면, 하계에 있어서 목포항의 수질은 부영양화로 인하여 적조가 발생할 수 있는 잠재력이 대단히 크다.

## 참 고 문 헌

- 1) IMO, "IMO News", 3~4, 1996.
- 2) 박원규, "우리나라 해양오염방지를 위한 과제", 해양오염방지를 위한 정책 대토론회, 삼성지구 환경연구소, 25~42, 1994.
- 3) Nemerow N. L., "Stream, lake, estuary and ocean pollution", 2nd Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 271~286, 1991.

- 4) You S. J., J. G. Kim and G. S. Kim, "Water Quality of the Yellow Sea in Summer", Bull. Kor. Fish. Soc. 27(6), 825~835, 1994.
- 5) 岡市友利, "内灣赤潮の發生機構 - III 淺海の汚染と赤潮の發生", 水産研究叢書 23, 日本水産資源保護協會 : 58-76, 1972.
- 6) OECD, Vollenweider, R.A. and J.J.Kerekes, "Eutrophication of waters", Monitoring, Assessment and Control, Paris, 1982.
- 7) 국립수산진흥원, "한국연안어장환경오염조사 결과 보고서", 115~119, 1996.
- 8) 이중우 · 정명선, "목포항 개발 및 대불산입단지 조성에 따른 연안해역 변화(Ⅰ) : 해면 정온도를 중심으로", 한국항해학회지 제15권 제2호, 87~96, 1991.
- 9) 이중우 · 정명선 · 민병언, "목포항 개발 및 대불산입단지 조성에 따른 연안해역 변화(Ⅱ) : 해상환경을 중심으로", 한국항해학회지 제16권 제1호, 37~64, 1992.
- 10) 정명선, "목포 연안역 개발에 따른 연안수역 변화에 관한 연구", 한국해양대학교 공학박사학위논문, pp. 124, 1992.
- 11) 농어촌진흥공사, "영산강(Ⅲ)지구 대단위간척지종합개발사업 환경관리조사보고서", pp.234, 1991.
- 12) 여수수산대학 수산과학연구소, "목포신도심 조성 Ⅱ단계 매립사업에 따른 어업권 피해 영향 조사 보고서", pp.239, 1992.
- 13) 김광수, "목포항의 수질특성(Ⅰ) - 하계의 유기물 오염과 용존산소를 중심으로", 해양안전학회, 3(1), 99~109, 1997.
- 14) 해양연구소, "적조 및 오염 모니터링 연구", BSPE00048-80-7, 1983.
- 15) 김광수, "한반도 서해 해역의 하계 수질 평가", 목포해양대학교논문집, 4(2), 103~114, 1996.
- 16) 김종구, "진해만 해역의 하계 부영양화 모델링", 부산수산대학교 공학박사학위논문, pp. 130, 1994.