

목포항의 수질특성

- 하계의 부영양화를 중심으로 -

1997. 5. 10

김 광 수*

* 목포해양대학교 교수

목포항의 수질 특성(Ⅱ)

- 하계의 부영양화를 중심으로 -

김 광 수*

* 목포해양대학교

The Characteristics of Water Quality in Mokpo Harbour(Ⅱ)

- Centering on eutrophication in summer -

Gwang-Su Kim

목 차

Abstract

1. 서론
2. 재료 및 방법
 - 2.1 수질조사
 - 2.2 수질평가

3. 결과 및 고찰
 - 3.1 수질 평가
 - 3.2 오염지수 및 부영양도
 4. 결론
- 참고문헌

Abstract

The observations *in situ* and the seawater analyses were conducted in July and August, 1996 for the purpose of evaluating the characteristics of seawater quality centered on 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. By the estimation of pollution index with relation to eutrophication, the seawater quality of Mokpo harbour was evaluated to be under the regular grades and this evaluation was found to be different from the results of evaluation obtained by the environmental index of single parameter, chemical oxygen demand. By the estimation of eutrophication index, the seawaters of Mokpo harbour were shown to have the high potentiality of red tide occurrence.

1. 서 론

한반도 서남권에 위치한 목포항은 무안반도, 영암반도, 영산강 하구언 그리고 수많은 섬에 의하여 둘러싸인 천혜의 선박 피항지로서, 최근에는 새로운 외항이 개발되면서 장좌도, 달리도, 화원반도, 금호방조제 및 영암방조제에 이르기까지 항계의 범위를 확대하였다. 또한 목포항의 역할이 증대되면서 새로운 항만의 건설, 영산강 하구언의 건설, 산업단지 조성 등 각종 개발 사업으로 인하여 목포항과 그 주변의 자연환경에는 많은 변화가 일어났으며, 목포 주변 해역의 수질에도 변화가 있었다. 해수는 해상운송, 수산·양식, 염전, 공업용수와 냉각수, 심미적·오락적 향유 등 다양한 분야에 이용되는 수자원이어서 그 가치는 무한하다. 그러나 육상의 생활 하수와 농·어·축·공업 폐수 그리고 각종 선박의 폐유 및 폐수 등이 목포항으로 유입되면, 목포항은 반폐쇄성 해역으로서 해수의 유동이 제약을 받고 있어서 오염물질이 외해로 쉽게 확산되거나 희석되지 못하고 축적되기 때문에 수질 악화가 빠르게 진행된다. 즉 목포항은 자정능력이 제한을 받는 입지적 조건 때문에 목포항 자체의 수질 문제 뿐만 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 해양 오염문제가 심각하게 대두될 가능성이 크다.

부영양화란 호수나 내만 해역에 영양염의 농도가 증가함으로써 식물플랑크톤의 생산량이 점차로 증가하여 수역이 점점 노화되어 가는 현상을 말한다. 질소나 인과 같은 식물영양염류가 수중에 적당히 들어 있으면 식물플랑크톤이 번식하여 수역의 기초생산력이 높아지지만, 생활하수나 산업폐수의 유입으로 영양염류의 농도가 너무 높아지면 식물플랑크톤이 일시에 대량 번식하여 다닷물이 적갈색으로 변하는 적조 현상을 일으킬 수도 있다. 이렇게 적조가 발생하면 어패류에 독성을 미치거나 질식사를 초래할 수 있다. 또한 수역의 부영양화가 진행되면 대량 번식한 식물플랑크톤의 사체가 수역의 저층에 쌓여서 세균에 의하여 분해될 때, 수중의 산소를 소모하게 된다. 특히 여름철에는 수온약층이 형성되어 표층으로부터 산소 공급이 없고, 저층에서는 유기물이나 식물플랑크톤 사체의 분해만 활발히 일어나서 산소 부족 상태, 또는 무산소 상태로 된다. 이렇게 되면 중저층에 사는 어패류가 질식하게 되고 혐기성 세균의 작용으로 황화수소나 암모니아 등 유독성 물질을 생성하게 되어 저층수와 저질의 환경을 악화시킴으로써 생태계에 악영향을 미치게 된다. 한편, 선박의 발라스트수를 통하여 적조 생물과 같은 유해한 수중 생물과 병원균이 세계의 각 곳으로 이동되는 것을 최소화하기 위하여 선박의 발라스트수의 통제와 관리에 대한 규정의 초안이 국제해사기구(IMO)의 해양환경보호위원회(MEPC)에서 마련되었으며, 국제적으로 계속 논의될 것으로 전망된다¹⁾. 그래서 국제항해에 종사하는 선박이 목포항에 입항하여 발라스트수를 적

재하거나 배출함으로써 발생할 수 있는 문제를 사전에 예측하고 대비하여야 한다. 따라서 목포항의 수질 특성을 이해해야 하고, 특히 적조와 관련이 있는 부영양화에 대한 파악이 필요가 있다.

목포항과 그 주변해역에 대한 환경오염조사가 국립수산진흥원에 의해서 수행되어 왔고²⁾, 목포항의 개발과 산업공단의 구성에 따른 연안해역의 변화에 관한 연구가 수행된 바가 있지만^{3, 4, 5, 6, 7)}, 체계적인 수질 조사가 미흡하고 수질 해석이 단편적이었다. 그래서 목포항의 수질 평가 및 수질 관리에 대한 체계적이고 종합적인 연구가 필요하다.

국내에서는 해역의 수질관리를 위하여 수소이온농도(pH), 화학적 산소요구량(COD), 용존산소(DO), 부유물질(SS), 대장균군수, 노말핵산추출물질(유분), 총질소 및 총인의 8개 항목에 대한 기준을 설정함으로써 해역의 수질 등급을 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. 따라서 박⁸⁾은 해양에서 큰 문제점으로 지적되고 있는 부영양화와 관련이 있는 총인, 총질소의 오염도를 포함하는 오염지표에 대한 개발의 필요성을 제기하면서 Nemerow⁹⁾가 제안한 오염지표를 사용하여 해역의 수질등급을 산정한 바가 있다. 또한 You *et. al.*¹⁰⁾은 황해의 전역에 대한 부영양화를 岡市¹¹⁾가 제안한 부영양도 산정식을 이용하여 정량적으로 파악한 바가 있다. 그러나 목포항의 부영양화에 대하여 Nemerow의 오염지표나 岡市の 부영양도 산정식을 적용한 연구는 全無하다.

따라서 본 연구는 목포항의 수질 특성을 파악하기 위한 일환으로서 하계에 있어서 부영양화를 중심으로 목포항의 수질을 평가하는데 그 목적이 있다. 이를 위해서 하계에 목포항의 수질을 조사한 후, OECD의 영양상태 분류기준을 적용하고, 岡市の 부영양도 산정식을 이용함과 동시에 Nemerow의 오염지표 산정식을 적용하여 목포항의 부영양화를 중심으로 수질을 평가하였다. 본 연구의 결과는 목포항과 그 주변 해역의 이용 및 보전에 관한 정책 수립에 필요할 뿐만 아니라 장래의 수질 예측 및 합리적 수질 관리에 필요한 기초가 될 것으로 기대된다.

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 채수기를 사용하여 표층과 저층의 해수를 채취한 후, 실험실로 신속히 운반하여 분석하였다. 95년 12월부터 목포항의 항계는 서쪽으로 장좌도 및 달리도까지 확장되었으나, 본 연구에서는 고하도의 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.

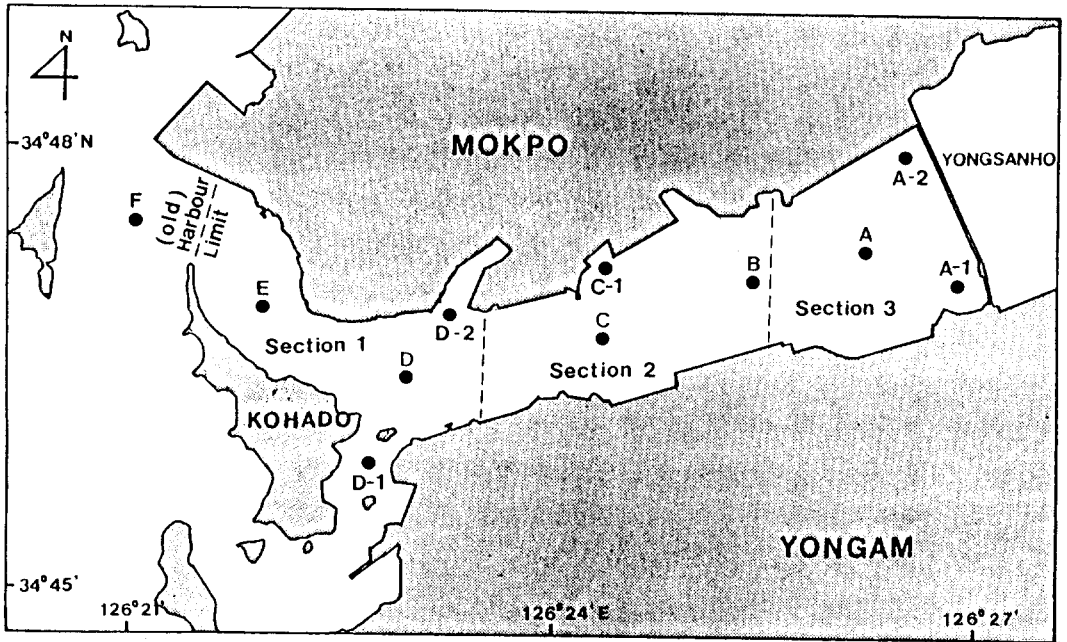


Fig. 1. Location of stations for sampling seawater in Mokpo harbour.

2.1.2 수질 분석

체수한 시료수에 대하여 pH, 투명도(Trans), 수온(Temp), 염분(Sal), 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 총부유성 고형물(TSS), 휘발성 부유물(VSS), 암모니아성 질소(NH₃-N), 아질산성 질소(NO₂⁻-N), 질산성 질소(NO₃⁻-N), 인산인(PO₄³⁻-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, 총무기질소는 아질산성 질소(NO₂⁻-N), 질산성 질소(NO₃⁻-N) 및 암모니아성 질소(NH₃-N)의 합계를 말한다. 아질산성 질소(NO₂⁻-N)는 Sulfanilamide-NED법, 질산성 질소(NO₃⁻-N)는 Cadmium-reduction법, 암모니아성 질소(NH₃-N)는 Indophenol법, 인산인(PO₄³⁻-P)은 Ascorbic acid법, Chlorophyll-a는 Strickland and Parson법에 의하여 비색정량하였다.

2.2 수질 평가

2.1 OECD 영양상태기준에 의한 분류

목포항의 영양상태를 분류하기 위하여 수층별 수질 분석 자료에 대하여 Table 1에 제시한 바와 같이 OECD에서 추천한 영양단계 분류 기준¹²⁾을 적용하였다.

Table 1. Classification of trophic state in the OECD eutrophication program¹²⁾

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)	0.3~4.5	3.0~11.0	2.7~78.0	100~150

2.2 오염지수 산정

해역의 부영양화에 관련된 수질 항목으로 화학적 산소요구량(COD), 총무기질소(TIN) 및 인산인(PO₄³⁻-P)을 이용하여 오염지수(Pollution Index)를 산정하는 오염지표 산정식은 다음과 같다⁹⁾.

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

여기서, C_i는 복수의 수질 항목 중에서 i번째 수질 항목의 농도를 의미하며, L_{i,1st}는 i번째 수질 항목에 대한 1등급 수질 기준 농도를 나타낸다. 또한 max.는 최대값을, mean은 평균값을 말한다.

목포항에 대한 수층별 즉 표층 및 저층의 부영양화에 의한 오염지수(PIe)를 한국의 해역수질기준 1등급의 COD, 총무기질소(TIN) 및 인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)을 기준으로 오염지표 산정식을 이용하여 산정하였으며, 오염지수(PI)가 1이하이면 1등급 수질, 2이하이면 2등급 수질, 4이하이면 3등급 수질, 4이상이면 등급외의 수질로서 평가하였다.

2.3 부영양도 산정

岡市는 부영양화로 인하여 적조가 발생할 때, 그 초기에 나타나는 규조류의 세포수 1000 개체수/ml에 포함된 $0.83\text{mgC}/\ell$ 의 탄소량(= $1\text{mg}/\ell$ 의 COD)을 기준으로 하고, 무기태질소(N), 무기태인(P)에 대해서는 각각 $7.14\mu\text{g-at}/\ell$ (= $100\mu\text{g}/\ell$) 및 $0.48\mu\text{g-at}/\ell$ (= $15\mu\text{g}/\ell$)를 적조 발생 가능 농도로 보고 계산한 값을 부영양도 1로서 평가하는 방법을 다음식으로 제안하였다¹¹⁾.

$$\begin{aligned} \text{부영양도(EI)} &= \frac{\text{화학적 산소요구량}(\text{mg}/\ell) \times \text{무기태 질소}(\mu\text{g}/\ell) \times \text{무기태 인}(\mu\text{g}/\ell)}{1500} \\ &= \frac{\text{COD}(\text{mg}/\ell) \times \text{TIN}(\mu\text{g-at}/\ell) \times \text{PO}_4^{3-}\text{-P}(\mu\text{g-at}/\ell)}{3.43} \end{aligned}$$

적조의 발생에 관여하는 유기물(COD) 및 영양염(총무기질소 및 인산인)의 수층별 농도를 이용하여 목포항에 대한 수층별 부영양도(Eutrophication Index)를 산정하고, 이 부영양도(EI)를 기준으로 수층별, 즉 표층 및 저층의 수질을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

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

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

Section	St. Layer No.	July					Aug.					
		S.D. (m)	COD (mg/ℓ)	TIN (mg/ℓ)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/ℓ)	Chl-a (mg/m ³)	S.D. (m)	COD (mg/ℓ)	TIN (mg/ℓ)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/ℓ)	Chl-a (mg/m ³)	
III	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
	II	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
I		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

목포항의 영양 상태를 평가하기 위하여 Table 2에 제시된 투명도, 총무기질소, 인산인 및 엽록소(Chlorophyll-a)에 대하여 OECD에서 추천한 영양단계 분류 기준¹²⁾을 적용하였다.

(1) 투명도

목포항의 투명도는 7월에는 0.5~2.2m로서 중영양~부영양 상태를 보였으며, 8월에는 0.7~1.6m로서 부영양 상태를 보임으로써 8월이 7월보다 작게 나타났다. 또한 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 투명도는 7월과 8월 모두 증가하였다. 따라서 하계에 있어서 목포항의 투명도는 전반적으로 부영양 상태를 나타내었다.

(2) 총무기질소

목포항의 총무기질소는 7월의 경우, 표층과 저층에서 각각 0.960~3.729mg/l 와 0.422~1.492mg/l 로서 부영양 상태와 중영양~부영양 상태를 보였으며, 표층과 저층에서 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 대체로 감소하는 경향을 보였다. 그러나 표층에서는 항외 수역에서 다소 증가하였고, 저층의 감소 경향은 매우 완만하였다. 8월의 경우, 표층과 저층에서 각각 0.192~1.579mg/l 와 0.125~0.394mg/l 로서 중영양 상태와 빈영양 상태를 보였으며, 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 대체로 감소하는 경향을 보였으나, 저층의 감소 경향은 완만하였다.

전반적으로 하계에 있어서 목포항의 총무기질소는 부영양 상태를 나타내었고, 표층과 저층의 전수층은 한국의 해역 환경기준 III급수 0.2mg/l 를 초과하여 등급 외의 수질을 나타내었다.

특히 항내의 제1구 및 제2구 수역에서 높은 값을 보임으로써 하천을 통하여 유입하는 도시하수의 오염부하로 인하여 목포항은 부영양화되고 있음을 알 수 있다. 그리고 수중의 총무기질소가 7월에 비하여 8월이 낮게 나타나는 것은 식물플랑크톤의 증식과 관계가 있다. 즉 8월의 Chlorophyll-a의 농도가 7월에 비하여 높게 나타남으로써 수중의 무기질소는 식물플랑크톤에 의하여 섭취되었기 때문이다¹³⁾. 그래서 내부생산으로 인하여 화학적 산소요구량도 8월이 7월에 비하여 높게 나타났다.

(3) 인산인

목포항의 인산인은 7월의 경우, 표층과 저층에서 각각 0.021~0.081mg/l 와 0.012~0.150mg/l 로서 중영양 상태와 부영양 상태를 보였으며, 표층과 저층에서 항내의 제3구 수역으로부터 항외 수역으로 갈수록 대체로 감소하는 경향을 보였다. 그러나 표층에서는 항내의 제1구 수역에 위치한 D정점에서 높은 값을 보였고, 저층에서는 항내의 제2구 수역에 위치한 C정점에서 높은 값을 보였다. 8월의 경우, 표층과 저층에서 각각 0.006~0.027mg/l 와 0.015~0.051mg/l 로서 빈영양 상태와 중영양 상태를 보였으며, 표층과 저층 모두에서 항내의 제2구 수역에서 높

은 값을 보였다. 특히 7월의 경우에는 표층이 저층보다 높게 나타났으나, 8월의 경우에는 저층이 표층보다 높게 나타났다. 이것은 하계의 성층현상에 기인할 뿐만 아니라 8월에 활발한 광합성활동을 통한 식물플랑크톤의 증식으로 인하여 표층의 인산인이 식물플랑크톤에 의하여 섭취되었기 때문이다¹³⁾. 그리고 항외 수역에서 표층과 저층 간의 수온과 염분의 차이가 7월에 비하여 8월이 훨씬 작게 나타나는 것으로 보아¹³⁾ 항외 수역에서 연직혼합이 어느 정도 이루어지기 때문에, 8월에는 항외 수역에서 표층과 저층의 값이 비슷하게 나타났다. 그래서 내부생산으로 인하여 화학적 산소요구량도 8월이 7월에 비하여 높게 나타났다.

전반적으로 하계에 있어서 목포항의 인산인은 중영양~부영양 상태를 나타내었고, 항내 수역에서는 한국의 해역 수질 III급수 기준인 0.03mg/l를 초과하여 등급외의 수질을 나타내거나 II급수 기준인 0.015mg/l를 초과하여 III등급의 수질을 나타내었다. 특히 항내의 제1구 및 제2구 수역에서 높은 값을 보임으로써 하천을 통하여 유입하는 도시하수의 오염부하로 인하여 목포항은 부영양화되고 있음을 알 수 있다.

(4) 엽록소

목포항에서 식물플랑크톤 지표의 하나인 Chlorophyll-a는 7월의 경우, 표층과 저층에서 각각 7.24~32.79mg/m³와 0.72~12.73mg/m³로서 부영양 상태와 빈영양~중영양 상태를 보임으로써 표층과 저층 간의 차이가 뚜렷하였으며, 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 표층에서는 다소의 기복을 보였다. 그러나 저층에서는 증가하는 경향을 보였다. 8월의 경우, 표층과 저층에서 각각 3.01~52.32mg/m³와 0.63~2.56mg/m³로서 부영양 상태와 빈영양 상태를 보임으로써 표층과 저층 간에 매우 뚜렷한 차이를 보였으며, 항내의 제3구 수역에서 항외 수역으로 갈수록 표층에서는 급격히 감소하는 경향을 보였으나, 저층에서는 완만하게 증가하는 경향을 보였다.

전반적으로 하계에 있어서 목포항의 엽록소는 표층에서는 부영양 상태를 나타내었으나, 저층에서는 빈영양 상태를 나타내었다. 이것은 하계의 성층현상 뿐만 아니라 영양염이 풍부하고 태양광이 도달하는 표층에서 광합성 활동이 활발하여 식물플랑크톤이 대량으로 증식하지만 태양광이 도달하지 못하거나 미약한 저층에서는 광합성 활동이 거의 없어서 식물플랑크톤의 증식이 거의 없기 때문이다. 표층과 저층 간에 수온 및 염분의 차이가 항내수역에서는 항외 수역에 비하여 다소 크다. 그래서 성층현상이 뚜렷한 항내 수역의 표층에서는 8월의 Chlorophyll-a 농도가 7월에 비하여 훨씬 높은 반면에 항내 수역에 비하여 성층현상이 뚜렷하지 못하여 연직혼합이 가능한 항외 수역의 표층에서는 8월의 Chlorophyll-a 농도가 7월에 비하여 훨씬 낮게 나타났다. 따라서 Chlorophyll-a 농도가 높은 8월에는 수중의 영양염 농도가 7월에 비하여 낮게 나타났다. 또한 내부생산으로 인하여 화

학적 산소요구량도 8월이 7월에 비하여 높게 나타났다.

(5) 영양상태의 평가

부영양화와 관련된 수질 항목으로서 투명도, 총무기질소, 인산인 및 Chlorophyll-a을 선정하여 OECD에서 추천한 영양단계 분류 기준을 적용한 결과, 목포항의 해수에 대한 영양상태는 부영양화된 상태로 평가되었다.

3.2 오염지수 및 부영양도

목포항의 표층과 저층의 수질 분석 자료를 기초로 하여 Nemerow⁹⁾가 제안한 산정식을 이용한 부영양화에 의한 오염지수(PIe)와 岡市¹¹⁾가 제안한 산정식에 의한 부영양도(EI)를 산출하여 Table 3에 제시하였다.

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

Section	St. No.	Layer	July		August	
			Ple	EI	Ple	EI
III	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
II	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
I	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
	E	S	14.7	26.3	4.0	3.3
		B	6.5	3.6	3.1	4.5
	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	

3.2.1 부영양화에 의한 오염지수

목포항에 있어서 부영양화에 의한 오염지수(PIe)를 살펴보면, 7월의 경우는 표층과 저층에서 각각 항내의 제3구 구역에서 31.2과 15.6, 제2구 구역에서 24.7과 8.6, 제1구 구역에서 22.2와 7.6 그리고 항외 구역에서 27.5와 7.0으로 나타나서 항내의 제3구 구역에서 항외 구역으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있으나, 전 구역에 걸쳐서 표층과 저층의 전수층에서 3등급 기준의 4.0을 훨씬 초과하였다. 또한 8월의 경우는 표층과 저층에서 각각 항내의 제3구 구역에서 23.4과 5.5, 제2구 구역에서 16.8과 5.3, 제1구 구역에서 4.6와 3.6 그리고 항외 구역에서 3.5와 2.7로 나타나서 항내의 제3구 구역에서 항외 구역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다, 그러나 제1구 구역의 E정점과 항외 구역의 F정점은 3등급의 수질을 보였으나 이 구역을 제외한 모든 구역에 걸쳐서 표층과 저층의 전수층에서 3등급 기준의 4.0을 초과하였다. 전반적으로 부영양화에 의한 오염지수가 8월에 비하여 7월이 훨씬 높은 값을 보임으로써 수중의 부영양화는 7월이 훨씬 심각하지만, 투명도와 Chlorophyll-a 농도를 고려하면 부영양화로 인한 영향은 8월이 훨씬 심각하게 나타났다. 목포항 전역의 전수층에 대한 7월 평균오염지수는 한반도 서해 중부해역의 오염지수 2.3~10.1¹⁴⁾보다 높은 18.1로서 3등급에도 미달하는 등급외의 수질을 보임으로써 화학적 산소요구량(COD) 항목만을 환경현황지표로 이용하여 평가한 결과인 2~3등급과 상당한 차이가 있음을 알 수 있다⁸⁾. 또한 8월의 평균값은 8.2로서 3등급에도 미달하는 등급외의 수질을 보임으로써 COD 지표에 의한 평가 결과인 3등급 수질과 차이가 있었으나, 제1구 구역의 E정점과 항외 구역의 오염지수는 COD에 의한 환경현황지표와 일치하였다. 따라서 부영양화에 의한 오염지수를 기준으로 평가하면, 하계에 있어서 목포항의 수질은 부영양화가 상당히 진행된 오염된 해역이다.

3.2.2 부영양도

목포항의 표층과 저층에 대한 부영양도(EI)를 살펴보면, 7월의 경우는 표층과 저층에서 각각 항내의 제3구 구역에서 692.3과 413.7, 제2구 구역에서 95.1과 14.3, 제1구 구역에서 59.5와 6.0 그리고 항외 구역에서 53.0와 5.8로 나타남으로써 항내의 제3구 구역에서 항외 구역으로 갈수록 감소하는 경향을 보이고 있으나, 전 구역에 걸쳐서 표층과 저층의 전수층에서 적조 발생 가능 기준치인 1.0을 훨씬 초과하였다. 또한 8월의 경우는 표층과 저층에서 각각 항내의 제3구 구역에서 77.9과 13.7, 제2구 구역에서 26.0과 16.0, 제1구 구역에서 4.2와 7.1 그리고 항외 구역에서 6.1와 4.5로 나타나서 항내의 제3구 구역에서 항외 구역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다, 그러나 모든 구역에 걸쳐서 표층과 저층의 전수층에서 적조 발생 가능 기준치인 1.0을 초과하였다. 전반적으로 부영양도가 8월에 비하여 7월이 훨씬 높은 값을 보임으로써 수중의 부영양화는 7월이 훨씬 심각하지만, 투명

도와 Chlorophyll-a 농도를 고려하면 부영양화로 인한 영향은 8월이 훨씬 심각하게 나타났다. 이러한 결과는 한반도 서해의 중부 해역에 대한 부영양도 1.7~52.2¹⁴⁾보다 높고 마산만의 4.4~18.1¹⁵⁾보다 높은 것으로 나타났다. 따라서 부영양도를 기준으로 평가하면, 하계에 있어서 목포항의 수질은 부영양화가 상당히 진행된 해역으로서 적조가 발생할 수 있는 잠재력이 대단히 크다.

4. 結 論

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

1. 부영양화와 관련된 수질 항목으로서 투명도, 총무기질소, 인산인, Chlorophyll-a을 선정하여 OECD에서 추천한 영양단계 분류 기준을 적용한 결과, 목포항의 해수에 대한 영양상태는 부영양화 상태로 평가되었다.

2. 부영양화에 의한 오염지수를 기준으로 평가하면, 하계에 있어서 목포항의 수질은 부영양화가 심화된 해역으로서 3등급의 수질에도 미달되는 등급외의 수질이었으며, 화학적 산소요구량(COD) 항목만을 환경현황지표로 이용하여 평가한 결과인 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] 국립수산진흥원, "한국연안어장환경오염고사 결과 보고서", 115~119, 1996.
- [3] 이중우·정명선, "목포항 개발 및 대불 산업단지 조성에 따른 연안해역 변화(Ⅰ) : 해면 정온도를 중심으로", 한국항해학회지 제15권 제2호, 87~96, 1991.
- [4] 이중우·정명선·민병언, "목포항 개발 및 대불 산업단지 조성에 따른 연안해역 변화(Ⅰ) : 해상환경을 중심으로", 한국항해학회지 제16권 제1호, 37~64, 1992.
- [5] 정명선, "목포 연안역 개발에 따른 연안수역 변화에 관한 연구", 한국해양대학교 공학박사학위논문, pp. 124, 1992.
- [6] 농어촌진흥공사, "영산강(Ⅲ)지구 대단위간척지종합개발사업 환경관리조사보고서", pp.234, 1991.
- [7] 여수수산대학 수산과학연구소, "목포신도심 조성 Ⅱ단계 매립사업에 따른 어업권 피해 영향 조사 보고서", pp.239, 1992.
- [8] 박원규, "우리나라 해양오염방지를 위한 과제", 해양오염방지를 위한 정책 대토론회, 삼성지구환경연구소, 25~42, 1994.
- [9] Nemerow N. L., "Stream, lake, estuary and ocean pollution", 2nd Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 271~286, 1991.
- [10] 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.
- [11] 岡市友利, "淺海の汚染と赤潮の發生", 水産研究業書 23, 内灣赤潮の發生機構, 日本水産資源保護協會 : 58-76, 1972.
- [12] OECD, Vollenweider, R.A. and J.J.Kerekes, "Eutrophication of waters", Monitoring and Assessment and Control, Paris, 1982.
- [13] 김광수, "목포항의 수질특성(Ⅰ) - 하계의 유기물 오염과 용존산소를 중심으로", 해양안전학회, 3(1), 99~109, 1997.
- [14] 김광수, "한반도 서해 해역의 하계 수질 평가", 목포해양대학교 논문집, 4(2), 103~114, 1996
- [15] 김종구, "진해만 해역의 하계 부영양화 모델링", 부산수산대학교 공학박사학위논문, 69, 1994