

論 文

목포항 수질의 계절적 변화 특성

1. 물리 환경과 유기 오염

김 광 수*

The Characteristics of Seasonal Variations of Water Quality in Mokpo Harbour

1. Physical Environment and Organic Pollution

*Gwang-Su Kim**

〈 목 차 〉

Abstract	3.2 용존산소
1. 서론	3.3 화학적 산소요구량
2. 재료 및 방법	4. 결론
3. 결과 및 고찰	참고문헌
3.1 물리 환경	

Abstract

The *in situ* observations and the seawater analyses were conducted at all seasons from July 1996 to April 1999 for the purpose of describing the characteristics of seasonal variations of water quality in Mokpo harbour, Korea. Vertical stratification started to be formed in water column in spring, developed in summer and disappeared in fall. In summer, vertical density distribution of water column was found to be in stable structure with lower temperature and higher salinity of bottom water, and the vertical mixing of water between surface and bottom layers was restricted. In winter, however, surface water was found to be similar to bottom water in temperature and salinity, and water column was in unstable structure and in well-mixed condition between surface and bottom waters. The saturation percentage of dissolved oxygen(DO) in bottom water of inner part of Mokpo harbour at all

* 정희원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

seasons was shown to be decreased to the third grade or under the third grade of Korean standards of seawater quality. In particular, dissolved oxygen was oversaturated in surface water and undersaturated in bottom water in summer, due to stratification and organic pollution. The difference of DO concentration between surface and bottom waters was found to be greater in spring and summer than in fall and winter, due to stratification and photosynthesis of phytoplankton. The concentrations of chemical oxygen demand(COD) over the entire waters of Mokpo harbour were found to fluctuate from below the third grade to the first grade of Korean standards through all seasons and COD concentrations of same seasons were shown to be different year after year. In particular, in view of COD, the annual average seawater quality of Mokpo harbour was evaluated to be in third grade of Korean standards, due to organic pollution. The average COD of surface water was greater than that of bottom water in spring and summer, due to the autochthonous COD caused by production of phytoplankton in surface waters, while the average COD of surface water was similar to that of bottom water in fall and winter, due to the vertical mixing of water between surface and bottom layers.

1. 서 론

한반도 서남권에 자리잡은 목포항은 영산강으로부터 담수가 서해로 빠져나가는 포구에 위치하며 개항 100년의 역사를 가진 한반도의 관문항이다. 또한 목포항은 동·남·북쪽으로는 육지로 둘러싸여 있고, 서쪽으로는 그 입구가 많은 섬들에 의하여 둘러싸인 천혜의 선박 피항지로서, 고하도 북단과 무안반도 남서단을 잇는 선이 그 항계로 되어 있었으나, 최근에 새로운 외항이 개발되면서 항계의 범위를 확대하였다. 목포항은 서남권의 물류중심항이자 도시민의 생활기지항으로서 그 역할이 증대되면서 새로운 부두와 항만의 건설, 항내의 준설사업 등이 진행되고 있다. 그리고 영산강 하구둑의 건설, 대불산업단지의 조성 등 각종 사업으로 인하여 목포항과 그 주변의 자연환경에는 많은 변화가 일어났고, 이러한 자연환경의 변화는 목포 주변 해역의 수질 변화에 지대한 영향을 미치게 되었다.

목포항을 중심으로 한 주변 해역의 해수는 선박통항로의 용도, 해수욕장, 해양관광, 바다낚시 등 각종 심미적·오락적 용도, 염전, 냉각수, 담수화와 같은 공업적 용도, 수산·양식의 용도 등 다양한 목적으로 이용되고 있는 귀중한 수자원이

다. 목포항은 반폐쇄성 해역으로서 해수의 유동이 제약을 받고 있어서 오염물질이 외해로 쉽게 확산되거나 희석되지 못함으로써 수질 악화가 빠르게 진행되는 입지적 조건 때문에 목포항 자체의 수질 문제뿐 아니라 장기적으로는 주변 해역의 연안환경에도 영향을 미치게 된다. 특히 일사량이 많은 여름철에 성층현상이 나타나면, 부영양화에 따른 적조 발생과 저층의 빈산소수괴 형성 등 해양오염문제가 심각하게 대두될 가능성이 있다. 또한 선박의 발라스트수를 통한 유기물 확산의 방지 및 적조 생물과 같은 유해 생물의 이동 최소화를 위하여 선박 발라스트수의 통제 및 관리에 관한 국제적 규제가 시행될 것으로 예상됨에 따라서, 선박이 목포항에 입항하여 발라스트수를 적재하거나 배출함으로써 발생할 수 있는 문제를 사전에 예측하고 대비하여야 할 것이다. 이러한 문제를 바르게 이해하고 적절한 대책을 세우기 위하여는 우선 다년간에 걸친 수질 조사를 통하여 목포항 수질의 계절적 변화를 파악할 필요가 있다.

목포항과 그 주변 해역에 대한 환경오염조사가 국립수산진흥원(1996)에 의해서 수행되어 왔고, 목포항의 개발과 산업공단의 조성에 따른 연안해역의 변화에 관한 연구가 수행된 바가 있다.

또한 목포항의 수질 현황을 조사하여 하계의 유기물 오염과 용존산소(김, 1997) 및 부영양화(김, 1997)를 중심으로 목포항의 수질 특성을 구명한 바가 있으며, 영산강 하구역의 여름철 빈산소수괴 출현과 저서동물 분포(임과 박, 1998), 영산강 하구 퇴적물의 중금속 분포(조와 박, 1998) 그리고 목포항에 유입하는 육상오염부하(이와 김, 1998)에 관한 연구가 수행된 바가 있다. 그러나 아직까지 목포항과 그 주변 해역에 대한 다년간의 체계적인 수질 조사가 미흡하며, 그에 따른 종합적인 수질 평가와 해석이 요구되고 있는 실정이다. 그리고 목포항의 수질오염을 제어하기 위하여 1998년 8월부터 하수종말처리장을 가동하기 시작하여 목포항에 유입하는 육상오염부하를 줄이고 있다. 그러나 하수종말처리장의 가동이 목포항 수질 개선에 기여한 역할에 대한 평가가 제대로 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구는 하수종말처리장의 가동전과 가동후를 포함하는 3년의 기간 동안, 목포항에 있어서 수온·염분과 같은 물리 항목 및 용존산소와 화학적 산소요구량 등과 같은 수질 항목에 대하여 계절별로 조사하고, 물리 환경과 유기 오염

을 중심으로 목포항 수질의 계절적 변화 특성을 구명하고자 하였다. 이러한 연구 결과는 하수종말처리장이 목포항 수질 개선에 기여한 역할을 평가하는데 도움이 될 뿐만 아니라 목포항 수질 관리를 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

목포항의 수질을 조사하기 위하여 Fig. 1에 제시한 바와 같이, 목포항의 13개 정점에서 1996년 7월부터 1999년 4월까지 계절별로 목포해양대학교의 선박 "전남 706호"를 이용하여 Niskin 채수기로써 표층과 저층의 해수를 채취한 후, 실험실로 신속히 운반하여 분석하였다. 그러나 1996년 추계에는 수질 조사를 실시하지 못하였다. 현장에서 또는 시료수에 대하여 pH, 투명도(S.D), 수온(Temp), 염분(Sal), 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 총부유성 고형물(TSS), 휘발성 부유물(VSS), 암모니아질소(NH₃-N), 아질산질소(NO₂⁻-N), 질산질소(NO₃⁻-N), 인산인(PO₄³⁻-P), 클로로필 a(Chl-a), 용존유기탄소(DOC), 입자유기탄소(POC) 및 입자유기질소(PON)를 분석 및 측정하였다. 본 연구에서는 수온, 염분, 용존산소

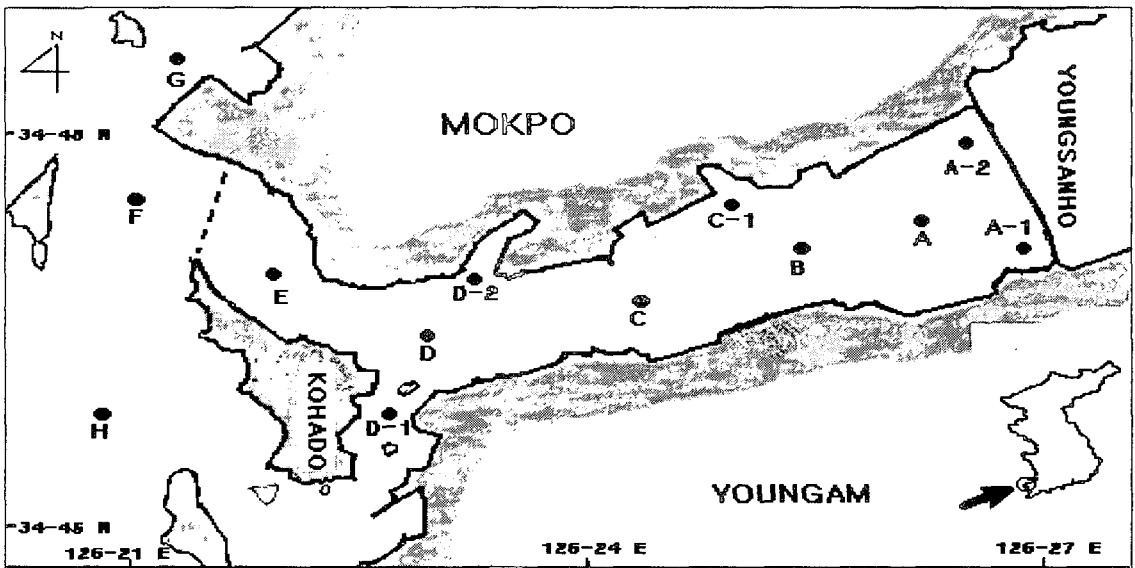


Fig. 1 Sampling stations in Mokpo harbour.

및 화학적 산소요구량에 대한 자료만을 이용하였으며, 수온과 염분은 SCT 측정기(ACT20-D)를, 용존산소는 용존산소계(YSI 57)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 그리고 화학적 산소요구량은 실험실에서 알칼리성 과망간산칼륨법으로 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 물리 환경

3.1.1 수온

Table 1에서와 같이, 목포항의 수온(water temperature)은 춘계에는 표층이 저층보다 다소 높아지면서 수온성층현상이 나타나기 시작하여, 하계에는 저층이 19.70~23.03℃로서 표층의 24.30~28.40℃보다 5℃정도 낮게 나타나서 수온성층현상이 뚜렷하게 발달하였다. 또한 추계에는 표층과 저층 간의 수온 차이가 거의 없어서 수온성층현상이 사라지기 시작하여, 동계에는 표층과 저층 간의 수온 차이가 없어지면서 연직 혼합이 잘 이루어지는 연직수온분포를 나타내었다. Fig. 2에서 제시한 바와 같이, 목포항의 모든 조사정점에 대하여 평균한 수온의 계절적 변화는 수온성층현상이 춘계에 나타나기 시작하여 하계에 가장 뚜렷하게 발달한 후, 추계에 소멸하여 동계에는 나타나지 않는 주기적 형태를 보였다. 1997년 8월에는 백중

사리의 영향으로 1996년 8월과 1998년 7월에 비하여 수온성층현상이 약하게 형성되었다.

3.1.2 염분

Table 1에서와 같이, 염분(salinity)은 모든 계절에 있어서 표층보다 저층에서 높게 나타났다. 춘·추·동계의 경우, 표층에서 29.35~32.75‰, 저층에서 30.07~32.96‰을 보인 반면에, 하계에는 표층에서 10.81~31.75‰, 저층에서 18.33~32.36‰을 나타내어 하계의 강우와 영산강 하구 등 수문의 개폐와 상관 관계가 있는 것으로 판단된다. 목포항의 모든 조사정점에 대하여 평균한 염분의 계절적 변화를 Fig. 3에 제시하였으며, 모든 계절에 나타나는 표층수와 저층수 간의 염분 차이는 추계와 동계에 비하여 춘계에 다소 크게 나타났으며, 하계에는 상당히 크게 나타남으로써 염분성층현상이 추계와 동계에 비하여 춘계에 좀 더 뚜렷하게 나타났고, 하계에는 매우 뚜렷하게 발달하였다. 1997년 8월에는 백중사리의 영향으로 1996년 8월과 1998년 7월에 비하여 염분성층현상이 약하게 형성되었다.

3.1.3 연직밀도분포

목포항의 수온은 하계에 있어서 저층이 표층보다 5℃정도 낮지만, 염분은 오히려 저층이 표

Table 1. Seasonal variations of water temperature and salinity in the entire Mokpo harbour for 3 years from July 1996 to April 1999

Season	Item	Water temperature (°C)		Salinity (‰)	
		Surface	Bottom	Surface	Bottom
Spring	Surface	11.22~16.30		Surface	29.40~32.39
	Bottom	11.15~15.40		Bottom	30.64~32.96
Summer	Surface	24.30~28.40		Surface	10.81~31.75
	Bottom	19.70~23.03		Bottom	18.33~32.36
Fall	Surface	14.70~16.97		Surface	29.76~32.00
	Bottom	14.50~16.96		Bottom	30.07~32.03
Winter	Surface	4.85~7.50		Surface	29.35~32.75
	Bottom	5.30~7.30		Bottom	30.46~32.79

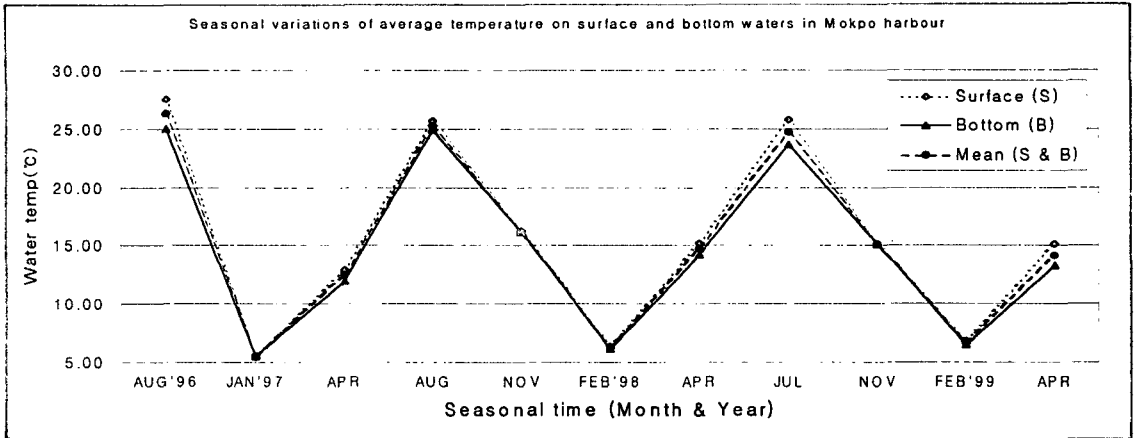


Fig. 2 Seasonal variations of average temperature of surface and bottom waters in Mokpo harbour.

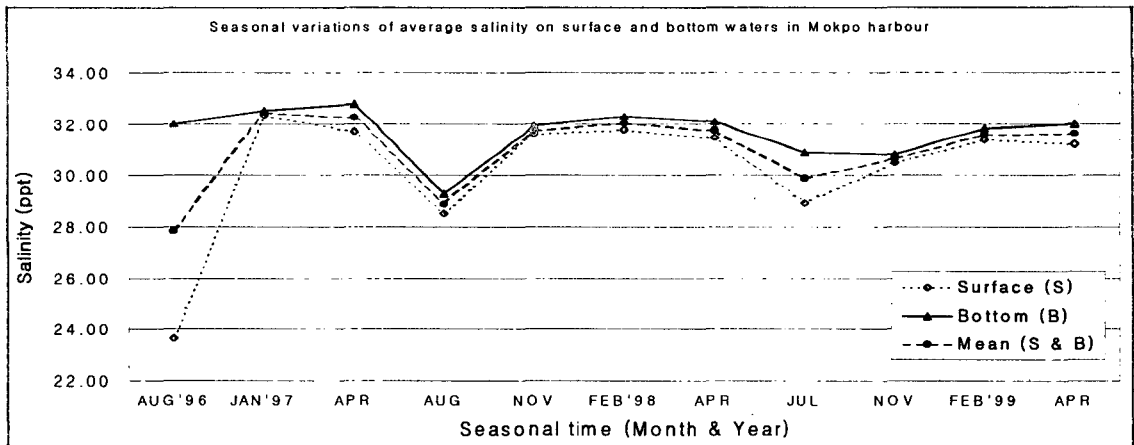


Fig. 3 Seasonal variations of average salinity of surface and bottom waters in Mokpo harbour.

층보다 높게 나타남에 따라서 전체 수층의 연직 밀도분포는 표층수와 저층수 간에 연직 혼합이 어려운 안정된 구조를 이루었다. 추계에는 수온과 염분이 모두 표층과 저층 간의 차이가 거의 없어지면서 성층현상이 사라지기 시작하고, 동계의 수온과 염분은 모두 표층과 저층 간의 차이가 거의 없었다. 춘계에는 다시 표층의 수온이 저층보다 다소 높아지고, 표층의 염분이 저층보다 다소 낮아지면서 성층현상이 나타나기 시작하였다. 1997년 8월에는 백중사리의 영향으로 1996년 8월과 1998년 7월에 비하여 성층현상이 약하게 형성

되었다.

3.2 용존산소

Table 2에서와 같이, 수중 생물의 생명 활동에 필수적인 용존산소(DO)의 포화율이 춘계에는 저층에서 60~118%로서 III등급에도 미치지 못하는 등급외의 수역이 항내 안쪽 해역에서 나타났으며, 하계에는 표층에서 과포화되는 반면에 저층에서는 농도와 포화율이 각각 3.48~7.40mg/l와

Table 2. Seasonal variations of dissolved oxygen in the entire Mokpo harbour for 3 years from July 1996 to April 1999

Item Season	DO concentration (mg/l)		DO saturation percentage(%)		Korean standards for marine water quality	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom		
Spring	Surface	7.90~12.47	Surface	92~148	Based on DO concentration; I class : $\geq 6\text{mg/l}$ II, III class : $\geq 5\text{mg/l}$	
	Bottom	5.21~ 9.97	Bottom	60~118		
Summer	Surface	4.81~12.60	Surface	67~168		
	Bottom	3.48~ 7.40	Bottom	49~104		
Fall	Surface	6.54~ 8.30	Surface	81~100		Based on DO saturation percentage; I class : $\geq 95\%$ II class : $\geq 85\%$ III class : $\geq 80\%$
	Bottom	6.71~ 8.13	Bottom	83~ 98		
Winter	Surface	7.83~12.55	Surface	76~124		
	Bottom	8.33~12.32	Bottom	84~121		

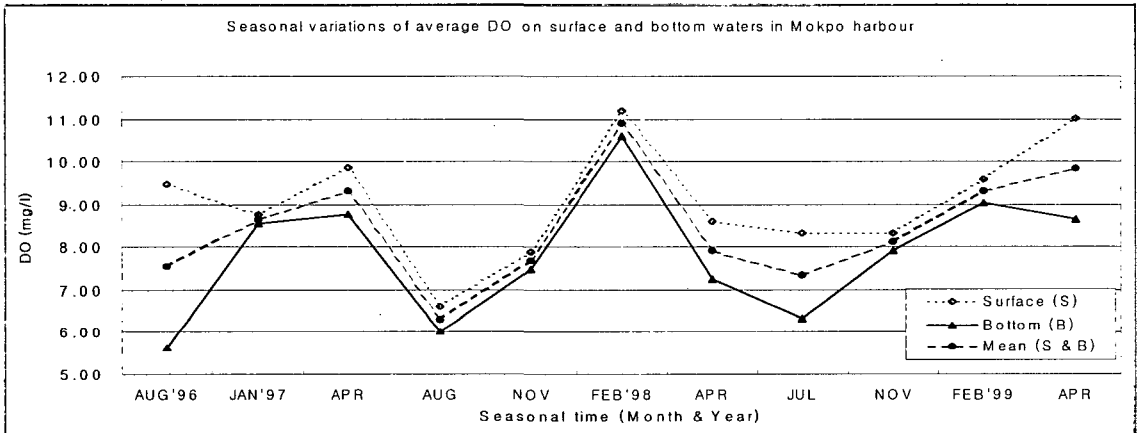


Fig. 4 Seasonal variation of average DO of surface and bottom waters in Mokpo harbour.

49~104%로서 III등급에도 미치지 못하는 등급외의 수역이 항내 안쪽 해역에서 나타났다. 이러한 용존산소분포는 표층에서 8.40~15.23mg/l, 저층에서 2.60~7.88mg/l를 보인 진해만(김, 1994)과 표층에서 6.36~13.62mg/l, 저층에서 4.00~6.86mg/l를 보인 가막만(조 등, 1994)과 유사한 경향을 보이고 있다. 추계에는 표층과 저층에서 포화율이 각각 81~100%와 83~98%로서 III등급에 해당하는 수역도 일부 나타났고, 동계에는 표층과 저층에서 각각 76~124%와 84~121%로서 표층에서는 등급외의 수역과 저층에서는 III등급의 수역도 일부 나타났다.

하계의 용존산소는 표층에서 과포화되는 경향

을 보이는 반면에, 저층에서는 포화율이 80%에도 미치지 못하는 수역이 나타남으로써 용존산소가 저하된 상태로서 III등급 수질의 기준에도 미달하는 등급외의 수질을 나타냈다. 특히 1997년 하계의 백중사리 기간 중에 측정된 수질조사 결과는 백중사리에 의한 외해수와의 해수교환이 목포항 안쪽 해역의 저층에서 저하된 용존산소농도의 개선에는 별로 기여하지 못한 것으로 평가되었다.

Fig. 4에서와 같이, 목포항의 모든 조사정점에 대하여 평균한 용존산소농도는 하계에는 감소하고 동계에는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이것은 수온·염분과 관계가 있는 것으로 판단된다.

다. 또한 용존산소농도가 모든 계절을 통하여 저층보다 표층에서 높게 나타나는 것은 표층에서의 식물플랑크톤의 광합성과 저층의 유기물 분해와 관계 있는 것으로 보인다(조 등, 1994). 그리고 표층과 저층간의 용존산소 농도차이는 추계와 동계보다 춘계와 하계에 크게 나타나는 경향을 보인 것은 성층현상과 식물플랑크톤의 광합성 활동과 관계있는 것으로 해석된다.

3.3 화학적 산소요구량

Table 3과 Fig. 5에서와 같이, 유기오염지표로 이용되는 화학적 산소요구량(COD)은 계절에 따

라서 차이가 컸으며, 동일한 계절에도 연도별로 차이가 나타났다.

춘계에는 0.23~5.08mg/l로서 대체로 II~III등급의 수질을 보였으며, 1997년 춘계에는 III등급, 1998년 춘계에는 II등급, 1999년 춘계에는 III등급의 수질을 보였다. 하계에는 표층에서 0.32~4.94mg/l, 저층에서 0.04~2.83mg/l로서 I등급~II등급외의 수질을 보였으며, 동일한 하계에도 연도별 차이가 크게 나타났다. 즉, 1996년의 하계에는 III등급~II등급외의 수질을 보였으나, 1997년과 1998년의 하계에는 각각 I~II등급과 II~III등급의 수질을 보였다. 하계의 COD 분포가 표층

Table 3. Seasonal variations of COD in the entire Mokpo harbour for 3 years from July 1996 to April 1999

Season	Item	COD (mg/l)		Korean standards for marine water quality
		Surface	Bottom	
Spring	Surface	0.81~5.08		Based on COD ; I class : ≤1mg/l II class : ≤2mg/l III class : ≤4mg/l
	Bottom	0.23~4.30		
Summer	Surface	0.32~4.94		
	Bottom	0.04~2.83		
Fall	Surface	1.15~6.38		
	Bottom	1.76~4.94		
Winter	Surface	0.84~3.86		
	Bottom	1.22~3.71		

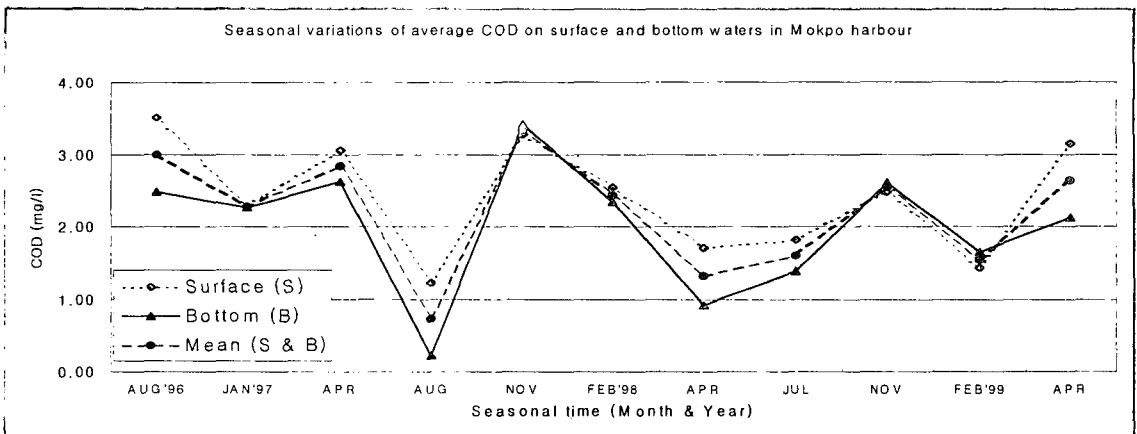


Fig. 5 Seasonal variation of COD of surface and bottom waters in Mokpo harbour

에서 1.13~11.28mg/l, 저층에서 0.77~7.32mg/l를 나타낸 진해만(김, 1994)보다는 양호한 상태를 유지하고 있으나, 하계의 COD 분포가 표층에서 0.40~3.06mg/l, 저층에서 0.58~2.26mg/l를 나타낸 가막만(조 등, 1994)과는 유사한 값을 보였다. 1997년의 하계 수질 조사는 백중사리 기간 중에 실시되었다는 점을 고려하면, 반폐쇄성의 목포항은 외해와의 해수교환이 큰 대조기에 혼합·회석 등의 자연작용에 의하여 수질이 상당히 정화되는 것으로 판단된다. 추계에는 1.76~6.38mg/l로서 II등급~등급외의 수질을 보였으나, 연도별 차이를 보였다. 1997년 추계에는 III등급~등급외의 수질이었으나, 1998년 추계에는 II~III등급의 수질을 보였다. 1998년 추계의 수질이 1997년 추계보다 다소 개선된 것은 1998년 8월부터 시작된 하수종말처리장의 가동과 1998년 하계의 집중 강우에 따른 영산강 하구둑 수문의 개방 등과 관련이 있는 것으로 추정된다. 동계에는 0.84~3.86mg/l로서 II~III등급의 수질을 보였으며, 연도별 차이가 나타났다. 1997년과 1998년의 동계에는 III등급의 수질을 보였으나 1999년 동계에는 II~III의 수질을 보였다. 1999년 동계의 화학적 산소요구량이 전년도보다 다소 개선된 것으로 보였으며, 그 원인이 하수종말처리장의 가동과 관련이 있는 것으로 추정이 되지만, 1999년의 춘계에는 III등급의 수질로서 1998년 춘계의 II등급 수질보다 오히려 유기오염이 심화된 점을 고려하면, 하수종말처리장의 가동으로 인하여 목포항의 수질이 개선되었다고 단정하기 어렵다.

Fig. 5에 제시한 바와 같이 목포항의 모든 조사정점에 대하여 평균한 화학적 산소요구량을 살펴보면, 목포항은 유기 오염이 진행된 상태로서 평균적으로 III등급의 수질을 나타냈다. 성층현상이 나타나는 춘계와 하계에는 화학적 산소요구량(COD)이 저층보다 표층에서 크게 나타났으며, 이것은 일사량이 많은 표층수 중에서 식물플랑크톤의 활발한 광합성과 증식에 의한 내부생산에 기인하는 것으로 보인다. 또한 춘계와 하계에 용존산소가 저층보다 표층에서 크게 나타난 것도 식물플랑크톤의 광합성에 기인하는 것으로 보인다.

다(Fig. 4). 그래서 일사량이 강한 춘계와 하계에는 표층 해수의 화학적 산소요구량이 III등급의 수질 기준에도 미치지 못하는 등급외의 수질을 나타내는 수역도 나타났다. 그러나 추계와 동계에는 표층과 저층의 COD가 유사한 값을 보였으며, 이것은 성층현상이 사라져서 표층과 저층간의 연직 혼합이 이루어졌기 때문으로 해석된다.

4. 결론

목포항에 대한 3년간의 계절별 수질 조사를 통하여 물리 환경과 유기 오염을 중심으로 목포항 수질의 계절적 변화 특성을 살펴본 결과는 다음과 같다.

1. 목포항의 물리 환경을 정리하면, 춘계에는 수온이 저층보다 표층에서 높아지지만, 염분은 오히려 저층보다 표층에서 낮아지면서 성층현상이 나타나기 시작하여, 하계에는 전체 수층의 연직밀도분포는 표층수와 저층수 간에 연직 혼합이 어려운 안정된 구조를 이룬다. 추계에는 성층현상이 사라지기 시작하였고, 동계의 수온과 염분은 표층과 저층 간의 차이는 거의 없어서 표층수와 저층수 간의 혼합이 잘 이루어지는 연직구조를 나타내었다. 그리고, 염분은 모든 계절에 표층보다 저층에서 높게 나타났다.
2. 용존산소(DO)는 모든 계절에 있어서 저층수에서보다 표층수에서 높게 나타났으며, 목포항 안쪽 해역 저층에서 포화율이 저하되어 III등급~등급외의 수질을 보였다. 춘계에는 저층에서 포화율이 III등급에도 미치지 못하는 등급외의 수역이 항내 안쪽 해역에서 나타났으며, 하계에는 표층에서 과포화되는 반면에 저층에서는 농도와 포화율이 III등급에도 미치지 못하는 등급외의 수역이 항내 안쪽 해역에서 나타났다. 추계에는 표층과 저층에서 포화율이 III등급에 해당하는 수역도 일부 나타났고, 동계에는 일부 수역의 표층과 저층에서 각각 등급외의 수역과 III등급의 수역도 나타났다. 표

층수와 저층수 간의 용존산소 농도차이는 추계와 동계보다 춘계와 하계에 크게 나타나는 경향을 보였으며, 이러한 현상은 성층현상과 식물플랑크톤의 광합성 활동과 깊은 관계있는 것으로 해석되었다.

3. 화학적 산소요구량(COD)은 연평균 III등급의 수질을 보임으로써 목포항은 유기 오염이 진행된 상태였으며, 계절별로 큰 차이를 보였을 뿐 아니라 동일한 계절에도 연도별로 차이가 나타났다. 춘계에는 대체로 II~III등급의 수질을, 하계에는 I등급~등급외의 수질을 보였다. 그리고, 추계에는 II등급~등급외의 수질을, 동계에는 II~III등급의 수질을 보였다. 일사량이 많아서 성층현상이 나타나는 춘계와 하계에는 화학적 산소요구량이 저층수보다 표층수에서 크게 나타났으며, 이것은 표층수 중에서 식물플랑크톤의 활발한 광합성과 증식에 의한 내부생산에 기인하는 것으로 해석되었다. 그러나 추계와 동계에는 COD가 표층수와 저층수 간에 유사한 값을 보였으며, 이것은 표층수와 저층수 간의 연직 혼합에 기인하는 것으로 해석되었다. 반폐쇄성의 목포항은 외해와의 해수교환이 큰 대조기에 혼합·회석 등의 자연작용에 의하여 수질이 상당히 정확되는 것으로 나타났다. 1998년 8월부터 시작된 하수종말처리장의 가동이 추계와 동계에는 목포항의 유기 오염을 정확하는데 기여하는 조짐을 보이고 있으나, 춘계에는 목포항의 수질 개선에 별로 기여하지 못하는 것으로 평가되었다.

참고문헌

- [1] 국립수산진흥원, "한국연안어장환경오염고사 결과 보고서", 115~119, 1996.
- [2] 김광수, "목포항의 수질특성(I) - 하계의 유기물 오염과 용존산소를 중심으로", 해양안전학회지, 3(1), 99~109, 1997.
- [3] 김광수, "목포항의 수질특성(II) - 하계의 부영양화를 중심으로", 해양안전학회지, 3(2), 51~61, 1997.
- [4] 임현식·박경양, "영산강 하구역의 연성저질에 서식하는 저서동물 군집", 한국수산학회지, 31(3), 330~352, 1998.
- [5] 조영길·박경양, "영산강 하구 표층 퇴적물의 중금속 함량과 분포", 한국환경과학회지, 7(4), 549~557, 1998.
- [6] 이남일·김광수, "목포항에 유입하는 오염부하량 산정", 한국해양환경공학회 1998년도 추계학술대회 논문집, 53~60, 1998
- [7] 김종구, "진해만 해역의 하계 부영양화 모델링", 부산수산대학교 대학원 박사학위논문, pp. 136, 1994
- [8] 조현서·유영석·이규형, "가막만 수질 및 저질 환경의 계절별 변동특성", 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고 제3권, 21~33, 1994