

# 2007년 가막만의 해양수질 및 저질의 계절 변동에 관한 연구

조현서<sup>1)</sup> · 조근옥 · 박정채 · 김해주

전남대학교 해양기술학부

## Study of Characteristics of Seasonal Fluctuation of Water Quality and Sediment Environment in Kamak Bay in 2007

Geun ock CHO, Jeong chae PARK\*, Hae ju KIM, Hyun seo CHO

Faculty of Marine Technology, College of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu, Korea.

**요 약 :** 가막만 해양수질 및 저질의 계절적 변동에 관한 조사를 위해 2007년 5월부터 2008년 2월까지 가막만의 20개 정점을 선정하여 계절별로 관측하였다. 용존산소(DO)는 표층에서 4.83~11.07mg/L와 저층에서 4.70~11.19mg/L, 화학적 산소요구량은(COD)은 표층에서 0.16~2.03mg/L와 저층에서 0.10~1.55mg/L, 용존무기질소는 표층에서 0.01~22.06µg-at/L와 저층에서 0~15.21µg-at/L, 용존무기인(DIP)은 표층에서 0~3.04µg-at/L와 저층에서 0~2.01µg-at/L 의 농도를 보였다. 퇴적물에서의 강열감량은(IL)은 3.80~9.78%, 산 휘발성 황화물은(AVS)은 0~5.37mg/g-dry 그리고 화학적 산소요구량(COD)은 3.09~41.01mg/g-dry 의 농도분포를 보였다.

**핵심용어 :** 가막만, 해양수질환경

**Abstract :** This study was performed to characterize the seasonal variation of water quality and sediment environment from May, 2007 to February, 2008 in 20 stations of Kamak bay. 4.83~11.07mg/L on surface and 4.70~11.19mg/L on bottom in DO, 0.16~2.03mg/L on surface and 0.10~1.55mg/L on bottom in COD, 0~3.04µg-at/L on surface and 0~15.21µg-at/L on bottom in DIN, 0~3.04µg-at/L on surface and 0~2.01µg-at/L on bottom in DIP. IN sediment the ranges were 3.80 to 9.78% in IL, 0~5.37mg/g-dry in AVS and 3.09~41.01mg/g-dry in COD.

**Key Words :** Kamak Bay, Seawater quality

### 1. 서 론

가막만은 남해안의 중앙에 위치하며, 주변 해역은 크고 작은 반도와 섬들로 형성된 내만이 잘 발달한 곳으로서 서측으로 여자만, 득량만, 북측으로 광양만 그리고 동측으로 여수해만, 진주만 등이 분포하고 있다. 가막만은 북측으로 여수반도, 동·서측은 각각 돌산도와 고돌산 반도, 남측으로는 개도 등 몇몇 작은 섬들에 의해 둘러싸여져 있고, 남북 15km, 동서 약 9km인 타원형 내만이며, 평균수심이 약 9m인 천해로서 용적이 10.2×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>으로 알려져 있다(수산진흥원 전라남도, 1982).

해저지형은 오목하게 수심이 깊은 북서 내만역, 만중앙에서 남쪽으로 갈수록 차츰 깊어져 수심이 40m까지 이르는 남쪽 만입구역, 수심이 얇고, 경사가 완만한 동부 천해역으로 구분된다(Kang[1981]). 또한 지형특성에 따른 조류 등에 의해 대체로 3개의 수괴가 존재하며 때때로 복잡한 해황을 나타낸다(Lee and

Cho[1990]).

주변해안의 도시화와 산업화로 인한 생활하수와 산업하수의 유입이 급증하고 있고, 최근에는 대규모의 수하식 양식장과 가두리양식 및 축양장 등에서 투입되는 먹이의 잉여 양식 잔해물, 양식생물의 배설물 등의 유입으로 생물에게 필요한 영양염이 풍부하여 기초생산력이 매우 크며 많은 종류의 어패류가 서식하여 각종 어패류의 증양식이 행해짐은 물론 산란 및 서식장으로서의 천해의 보고이다. 따라서 환경보전해역으로 지정하여 관리하고 있다(해양수산부, 2000). 그러나 폐쇄성 해역에 도시화로 인한 인구증가 및 생활하수 증가, 주변 임해 산업시설 및 과도한 양식장으로 생태환경의 악화나 어장의 노화가 예상되고 있다. 또한 2004년 하수종말 처리장의 완성과 북서부 연안역에서의 오염 저지 준설 작업, 만내에서의 어장 정화작업 등으로 환경 변화가 크게 일어나고 있어 수질 및 저질의 변화가 클 것으로 예상된다.

따라서 본 연구는 가막만의 수질 및 저질환경의 계절적 농도 분포 및 변동양상을 살펴보고 해양환경의 특성을 파악하여 효

\*대표저자 : 종신회원, hscho@chonnam.ac.kr, 061-659-3146

울적으로 관리하고 이용하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시료 채취 및 분석 항목

가막만의 수질 및 저질환경의 계절별 변동특성을 파악하기 위하여 Fig. 1의 20개 정점을 선정하여 2007년 5월 17일(춘계), 8월 10일(하계), 10월 26일(추계), 2008년 2월 29일(동계) 총 4회에 걸쳐 수질과 저질을 각각 조사하였다. 수질시료의 경우 표층수는 바켓스, 저층수는 Van Dorn 채수기를 이용하여 폴리에틸렌 (PE)병에 채수하였으며 채수 후 실험실로 운반하여 즉시 분석하였다. 저질시료의 경우, 중력식 core 채나기를 이용하여 경질유리병에 채집하여 아이스박스에 넣어 실험실로 운반 후 실험시까지 영하 20℃에서 냉동 보관하였다.

수질분석은 pH, 용존산소(DO), 총부유물질(SS), 화학적 산소요구량(COD)과 영양염류인 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), 아질산성 질소(NO<sub>2</sub>-N), 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N), 인산염 인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P), 규산 규소(Si(OH)<sub>4</sub>-Si), 총인(TP) 및 총 질소(TN)를 분석하였다. 분석방법은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002, 2005) 및 해양관측지침(1985)에 준하여 분석하였다. 저질 분석은 함수율(%), 강열감량(IL), 화학적 산소요구량(COD), 산화발성황화물(AVS)을 분석하였으며 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002, 2005)에 준하여 분석하였다.

수질의 분석항목별 분석방법은 pH는 pH Meter(IQ150), 염분은 전도도 측정기(YSI-3200)를 사용하여 현장에서 측정하였으며, 총부유물질(SS)는 유리섬유 여과지로 여과하여 중량법으로 측정하였다.

용존산소(DO)는 잉클러-아지드화 나트륨 적정법을 이용하여 측정하였으며, 현장에서 고정 후 실험실로 옮겨 즉시 측정하였다. 화학적 산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산 칼륨법으로 측정하였다. 영양염류의 분석은 채수한 해수를 유리섬유 여과지(GF/C)를 여과기로 여과한 후 여액을 시료로 사용하여 암모니아성 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)는 인도페놀법, 아질산성 질소(NO<sub>2</sub>-N)는 디아조법, 질산성 질소(NO<sub>3</sub>-N)는 카드뮴-구리 칼럼 환원법, 인산염 인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P) 및 규산 규소(Si(OH)<sub>4</sub>-Si)는 몰리브덴 청법으로 분석하였다. 그리고 총인(TP)과 총 질소(TN)는 비여과수를 이용한 알칼리성 과황산칼륨 산화에 의한 동시분석법을 통해 분석하였다. 저질의 분석항목별 분석방법은 공극율과 함수관계를 가지는 함수율은 해저퇴적물의 건조 전 무게와 건조 후 무게 차이를 측정하였고, 퇴적물 중의 유기물 측정하는 방법 중 하나인 강열감량(IL)은 건조 후 고온도 회화법을 이용하여 화학저울로 중량을 측정하여 백분율로 나타내었다. 퇴적물내의 간접적으로 유기물의 양을 추정할 수 있는 화학적 산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 측정하였고, 산화발성황화수소(AVS)는 황산 산성 하에서 황화수소를 추출시켜 검지관법으로 측정하였다.

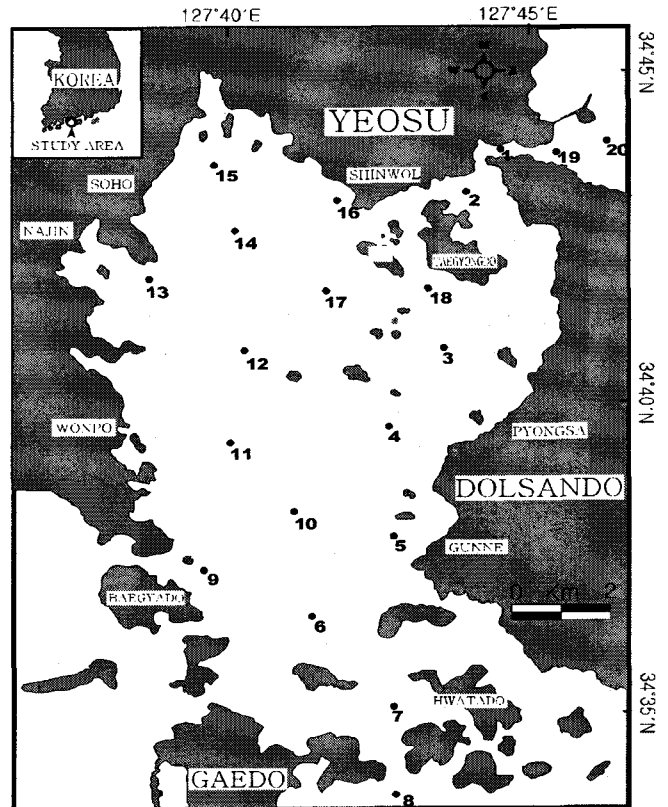


Fig. 1. Map showing sampling stations.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 가막만의 수질환경

표층의 pH는 춘계 7.98~8.10(평균 8.05), 하계 8.06~8.29(평균 8.16), 추계 8.06~8.28(평균 8.17), 동계 8.13~8.25(평균 8.20)을 보였고, 저층에서는 춘계 7.99~8.11(평균 8.06), 하계 7.99~8.16(평균 8.09), 추계 8.12~8.25(평균 8.18), 동계 8.09~8.26(평균 8.19)의 범위를 보였다. 저층이 표층에 비해 비교적 높았고, 계절별로는 춘계가 가장 낮았고, 동계가 높은 것으로 나타났다. 염분은 표층에서 춘계 30.80~31.50(평균 31.19)psu, 하계 13.80~18.00(평균 15.12)psu, 추계 30.90~33.20(평균 32.10)psu, 동계 32.80~34.10(평균 33.42)psu의 분포를 보였고, 저층에서는 춘계 30.70~31.30(평균 31.05)psu, 하계 11.60~32.00(평균 24.33)psu, 추계 31.50~33.20(평균 32.43)psu, 동계 32.70~33.90(평균 33.38)psu의 변동범위를 보였다. 계절별로는 동계가 하계에 비해 높은 농도를 보였다. 지역별로는 남쪽 만 입구에서 비교적 높게 나타났고, 육수 및 도시하수의 영향을 많이 받는 북서내만역과 북쪽 만입구역에서 낮은 값을 보였다. 부유물질(SS)은 전 기간 동안 표층에서 0.86~124.57mg/L의 농도범위를 보였으며, 저층에서는 6.07~131.57mg/L의 값을 보였다. 저층에서 다소 높은 농도를 보였다.

용존산소(DO)의 농도분포는 표층에서 춘계 5.95~8.44(평균 7.02)mg/L, 하계 4.83~8.85(평균 6.93)mg/L, 추계 4.83~8.85(평균 6.93)mg/L, 동계 4.83~8.85(평균 6.93)mg/L의 범위를 보

Table 1. Seasonal range and mean values of analytical parameters in seawater of Kamak Bay at 2007-2008

Parameters		2007			2008
		May	August	October	February
		Range (Mean)	Range(Mean)	Range (Mean)	Range (Mean)
Temp(°C)	S	14.80 ~ 20.00(17.05)	24.20 ~ 28.60(26.90)	19.10 ~ 21.50(20.40)	4.80 ~ 9.00(6.66)
	B	14.30 ~ 19.00(16.96)	21.00 ~ 28.00(25.81)	19.70 ~ 21.50(20.34)	4.90 ~ 9.80(6.62)
Sal(psu)	S	30.80 ~ 31.50(31.19)	13.80 ~ 18.00(15.12)	30.90 ~ 33.20(32.10)	32.80 ~ 34.10(33.42)
	B	30.70 ~ 31.30(31.05)	11.60 ~ 32.00(24.38)	31.50 ~ 33.20(32.43)	32.70 ~ 33.90(33.38)
pH	S	7.98 ~ 8.10(8.05)	8.06 ~ 8.29(8.16)	8.06 ~ 8.28(8.17)	8.13 ~ 8.25(8.20)
	B	7.99 ~ 8.11(8.06)	7.99 ~ 8.16(8.09)	8.12 ~ 8.25(8.18)	8.09 ~ 8.26(8.19)
SS	S	5.14 ~ 21.71(15.59)	38.86 ~ 124.57(57.17)	0.86 ~ 51.29(14.53)	3.14 ~ 24.86(13.68)
	B	6.07 ~ 7.99(6.94)	36.14 ~ 87.57(50.98)	6.71 ~ 131.57(20.50)	6.14 ~ 36.86(20.82)
DO (mg/L)	S	5.95 ~ 8.44(7.02)	4.83 ~ 8.85(6.93)	6.38 ~ 7.94(7.40)	9.68 ~ 11.07(10.55)
	B	6.07 ~ 7.99(6.90)	4.70 ~ 7.95(6.42)	6.48 ~ 7.59(7.00)	9.79 ~ 11.19(10.53)
COD (mg/L)	S	0.37 ~ 1.57(0.94)	0.95 ~ 2.03(1.30)	0.30 ~ 1.74(0.83)	0.16 ~ 1.16(0.66)
	B	0.10 ~ 1.29(0.82)	0.79 ~ 1.55(1.16)	0.18 ~ 1.42(0.76)	0.12 ~ 1.44(0.68)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (µg-at./L)	S	ND ~ 3.15(0.54)	0.21 ~ 1.02(0.54)	0.10 ~ 2.75(0.98)	0.18 ~ 2.53(0.66)
	B	ND ~ 1.24(0.29)	0.33 ~ 2.31(0.68)	0.06 ~ 2.40(1.13)	0.20 ~ 1.01(0.38)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (µg-at./L)	S	ND ~ 3.54(1.37)	0.64 ~ 21.31(10.95)	0.21 ~ 2.33(1.23)	0.20 ~ 3.82(0.97)
	B	ND ~ 2.53(1.05)	0.72 ~ 13.32(7.97)	0.45 ~ 1.98(1.33)	0.16 ~ 5.32(0.92)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (µg-at./L)	S	0.01 ~ 0.55(0.22)	0.04 ~ 0.39(0.12)	ND ~ 0.30(0.13)	ND ~ 0.13(0.03)
	B	0.02 ~ 0.81(0.26)	0.10 ~ 0.71(0.25)	0.01 ~ 0.26(0.16)	ND ~ 0.07(0.03)
DIN (µg-at./L)	S	0.01 ~ 5.81(1.90)	0.78 ~ 22.06(10.98)	0.42 ~ 4.14(2.21)	0.38 ~ 5.53(1.63)
	B	ND ~ 3.09(1.33)	1.22 ~ 15.21(8.63)	0.62 ~ 3.99(2.47)	0.42 ~ 6.18(1.31)
DIP (µg-at./L)	S	0.68 ~ 1.22(0.90)	ND ~ 3.04(1.74)	ND ~ 1.54(0.54)	0.21 ~ 0.84(0.59)
	B	0.95 ~ 1.45(1.24)	ND ~ 2.01(1.29)	ND ~ 1.26(0.70)	0.18 ~ 0.87(0.52)
Si(OH) <sub>4</sub> -Si (µg-at./L)	S	0.94 ~ 7.44(4.77)	0.96 ~ 13.89(6.74)	1.52 ~ 8.00(5.46)	3.31 ~ 11.41(5.29)
	B	1.64 ~ 8.58(5.34)	1.22 ~ 15.37(8.37)	3.10 ~ 9.13(6.42)	2.99 ~ 7.22(4.61)
TN (mg/L)	S	0.65 ~ 1.14(0.86)	0.62 ~ 1.34(0.88)	0.42 ~ 0.60(0.49)	0.27 ~ 0.98(0.47)
	B	0.62 ~ 8.58(5.34)	0.73 ~ 1.09(0.90)	0.47 ~ 0.64(0.56)	0.40 ~ 0.91(0.51)
TP (mg/L)	S	0.02 ~ 0.05(0.03)	0.04 ~ 0.09(0.06)	ND ~ 0.07(0.04)	0.02 ~ 0.04(0.03)
	B	0.03 ~ 0.05(0.04)	0.04 ~ 0.07(0.05)	0.03 ~ 0.06(0.04)	0.02 ~ 0.03(0.02)

였고, 저층에서는 춘계 6.07~7.99(평균 6.90)mg/L, 하계 6.07~7.99(평균 6.90)mg/L, 추계 6.48~7.59(평균 7.00)mg/L, 동계 9.79~11.19(평균 10.53)mg/L의 농도 범위를 보였다. 계절별로는 해수 중에 산소가 많이 녹아 있는 동계에 10mg/L 이상으로 높게 나타났고, 성층과 적조가 발생하는 하계에는 특히 저층에서 낮은 농도를 보였다. 이러한 값은 일반적인 해양환경에서 나타나는 계절적 특징과 일치한다.

화학적산소요구량(COD)은 강산화제로 화학적으로 산화했을 때 소비되는 산소량으로, 수중의 유기물의 분포를 아는 척도로서 질소와 인과 함께 해역의 부영양화 상태를 판단하는 지표로 이용되고 있다. 표층의 경우 춘계 0.37~1.57(평균 0.94)mg/L, 하계 0.95~2.03(평균 1.30)mg/L, 추계 0.30~1.74(평균 0.83)mg/L,

동계 0.16~1.16(평균 0.66)mg/L의 값을 보였고, 저층에서는 춘계 0.10~1.29(평균 0.82)mg/L, 하계 0.79~1.55(평균 1.16)mg/L, 추계 0.18~1.42(평균 0.76)mg/L, 동계 0.12~1.44(평균 0.68)mg/L의 값을 보였다. 북서 내만역과 북쪽 만입구역에서 비교적 높았고, 남쪽 만입구역과 만 중앙에서는 비교적 낮은 농도범위를 보였다.

암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 합으로 나타내는 용존무기질소 (DIN)는 생물의 성장에 필수적인 원소이며 특히 인과 함께 생물의 성장에 제한 요소로 작용하나, 과하게

Table 2. Seasonal range and mean values of analytical parameters in seawater of Kamak Bay at 2007-2008

Parameter	2007			2008
	May	August	October	February
	Range (Mean)	Range(Mean)	Range (Mean)	Range (Mean)
AVS(mgS/g-dry)	ND ~ 5.27 (1.18)	ND ~ 5.37 (1.19)	0.03 ~ 5.30(1.76)	0.02 ~ 4.42(1.21)
COD(mgO2/g-dry)	8.93 ~ 41.01(17.54)	3.09 ~ 31.49(12.26)	7.68 ~ 24.34(15.20)	6.20 ~ 33.80(14.18)
IL(%)	3.80 ~ 8.82(5.21)	4.93 ~ 8.04(6.26)	5.15 ~ 9.78(7.36)	4.30 ~ 9.18(6.05)

되던 부영양화 및 적조 등의 유해한 영향을 유발한다. 용존무기 질소의 계절별 변동은 하계에 표층과 저층에서 각각 0.78~22.06(평균 10.98) $\mu\text{g-at./L}$ , 1.22~15.21(평균 8.63) $\mu\text{g-at./L}$ 로 가장 높았고, 동계에 표층과 저층에서 각각 0.38~5.53(평균 1.63) $\mu\text{g-at./L}$ , 0.42~6.18(평균 1.31) $\mu\text{g-at./L}$ 로 가장 낮은 값을 보였으며 춘계와 추계는 대체로 비슷한 양상을 보였다. 하계가 가장 높은 값을 보인 것은 많은 강우로 인한 육상으로부터의 질소유입량이 늘었을 것으로 판단된다.

용존무기인(DIP)은 해수중에서 인산염( $\text{PO}_4\text{-P}$ )의 형태로 존재하는 인을 말한다. 표층에서 춘계 0.68~1.22(평균 0.90) $\mu\text{g-at./L}$ , 하계 ND~3.04(평균 1.74) $\mu\text{g-at./L}$ , 추계 ND~1.54(평균 0.54) $\mu\text{g-at./L}$ , 동계 0.21~0.84(평균 0.59) $\mu\text{g-at./L}$ 의 농도를 보였고, 저층에서 춘계 0.95~1.45(평균 1.24) $\mu\text{g-at./L}$ , 하계 ND~2.01(평균 1.29) $\mu\text{g-at./L}$ , 추계 ND~1.26(평균 0.70) $\mu\text{g-at./L}$ , 동계 0.18~0.87(평균 0.52) $\mu\text{g-at./L}$ 의 농도를 보였다. 하계에 가장 높은 값을 보였고 동계에 가장 낮은 분포를 나타내고 있었다. 그러나 용존무기질소와는 다르게 용존무기인의 계절적 변동폭은 상대적으로 작게 나타났다.

총 질소(TN)는 표층에서 춘계 0.65~1.14(평균 0.86) $\text{mg/L}$ , 하계 0.62~1.34(평균 0.88) $\text{mg/L}$ , 추계 0.42~0.60(평균 0.49) $\text{mg/L}$ , 동계 0.27~0.98(평균 0.47) $\text{mg/L}$ 의 농도를 보였고, 저층에서는 춘계 0.62~8.58(평균 5.34) $\text{mg/L}$ , 하계 0.73~1.09(평균 0.90) $\text{mg/L}$ , 추계 0.47~0.64(평균 0.56) $\text{mg/L}$ , 동계 0.40~0.91(평균 0.51) $\text{mg/L}$ 의 농도분포를 보였다. 하계에 표층과 저층에서 가장 높은 농도를 보였으며, 하계 총질소의 농도는 수질등급 III 수준의 값을 보이고 있었다.

총 인(TP)은 전 조사기간 동안 표층에서 ND~0.09 $\text{mg/L}$ , 저층에서 0.02~0.07 $\text{mg/L}$ 로 II등급의 수질을 보였다. 총인의 농도 변화는 계절에 따라서 크게 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 그러나 북서내만역과 북쪽 만입구에서는 상대적으로 높은 값을 보였는데 이는 가막만내의 유입원으로 판단된다.

### 3. 2 가막만의 저질환경

계절별 항목별 분석결과를 Table 2에 나타내었다. 유기물 함량의 상대적 지표를 나타내는 강열감량(IL)의 값은 춘계 3.80~8.82(평균 5.21)%, 하계 4.93~8.04(평균 6.26)%, 추계 5.15~9.78(평균 7.36)%, 동계 4.30~9.18(평균 6.05)%의 범위를 보였다. 강열감량은 조사기간 동안 소폭의 변화를 보였을 뿐 계절의 영향이나 다른 인자에 의한 변동은 거의 없는 것으로 보인다. 그러나 북서 내만역과 북쪽 만입구역의 저질에서 다른 정점에

서 높은 함량을 보였는데 이는 수하식 양식장과 가두리 양식장에서의 유입으로 판단된다.

산 휘발성 황화물(AVS)의 계절적 변동범위는 춘계에 ND~5.27(평균 1.18) $\text{mgS/g-dry}$ , 하계 ND~5.37(평균 1.19) $\text{mgS/g-dry}$ , 추계 0.03~5.30(평균 1.76) $\text{mgS/g-dry}$ , 동계 0.02~4.42(평균 1.21) $\text{mgS/g-dry}$ 의 범위를 보였다. 추계에 가장 높은 값을 나타내었고, 춘계에는 가장 낮은 농도 분포를 보였다. 또한 다른 정점에 비해서 수하식 양식장이 위치한 북서내만역의 저질에서 높은 값을 보였다.

화학적 산소요구량(COD)은 저질중에 함유되어있는 유기물 중 산화되기 쉬운 물질의 양을 과망간산칼륨으로 산화시켜 산소소비량을 구하는 것으로 저질중에 유기물질이 많으면 산소소비량이 증가하므로 오염의 지표로 중요하게 이용된다. 춘계에 8.93~41.01(평균 17.54) $\text{mgO}_2\text{/g-dry}$ , 하계 3.09~31.49(평균 12.26) $\text{mgO}_2\text{/g-dry}$ , 추계 7.68~24.34(평균 15.20) $\text{mgO}_2\text{/g-dry}$ , 동계 6.20~33.80(평균 14.18) $\text{mgO}_2\text{/g-dry}$ 의 농도를 보였다. 하계와 동계에 농도가 비슷하거나 낮은 값을 보였다. 그러나 북서내만역과 북쪽 만입구역의 저질에서 높은 값이 나왔는데 이것은 주변양식장의 오염원과 해저지형의 특성으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 팽우현, 2003, "가막만 양식장 주변해역 수질 및 저질환경 특성에 관한 연구", 여수대학교 대학원 이학석사 학위 논문, 109pp
- [2] 신현출, 1993, "가막만의 생물생산현황과 문제점에 관한 심포지움", 여수수산대학교 수산과학 연구소, 37-43.
- [3] 조현서, 박정채, 이규형, 2006, "2005년 가막만의 해양수질 및 저질의 계절 변동에 관한 연구" 2381-2386.
- [4] 이연규, 김종규 외, 2006, 가막만 자연환경과 산업, 구덕, 3-16, 52-75.
- [5] 해양수산부, 2001, 환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립연구, 147-215.
- [6] 해양수산부, 2005, 해양환경공정시험방법.
- [7] 해양수산부, 2003, 해역수질기준.