

가로림만의 이화학적 수질의 시·공간적 특성

남현준* · 허승**† · 박승윤** · 황운기** · 박종수** · 이해광**

*, ** 국립수산과학원 서해수산연구소

The Physico-chemical Characteristics in the Garorim Bay, Korea

Hyun-Jun Nam* · Seung Heo**† · Seung-Yun Park** · Un-Ki Hwang** ·

Jong-Soo Park** · Hae-Kwang Lee**

*, ** West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon, 400-420, Korea

요 약 : 본 연구는 2010년에 국립수산과학원에서 실시한 황해 어장환경 모니터링 중 가로림만의 11개 정점에 대해 년 6회 짝수 달에 조사한 수온, 염분, 용존산소(DO), 화학적산소요구량(COD), 엽록소 *a*, 입자성부유물질(SPM) 및 영양염류를 분석하여 가로림만의 이화학적 특성을 파악하였다. 수온, 염분, COD, 용존성무기질소, 엽록소 *a*, SPM은 표·저층간의 유의한 차이가 있었으며, 그 외 조사 항목은 표·저층간의 차이가 없었다. 모든 조사 항목에서 정점간 유의적인 차이는 없었다. 수온은 전형적인 온대 수역의 변화 양상을 보였으며, 염분은 8월에 평균 31이상으로 저염분 현상은 발생하지 않았다. DO는 농도가 낮은 6~8월에 평균값이 빈산소 수괴 발생 농도인 3mg/L보다 높은 농도를 보였다. 엽록소 *a*는 전체적으로 6월 표층 1.68 µg/L, 저층 2.38 µg/L, 8월 표층 1.68 µg/L, 저층 1.57 µg/L로 여름철에 가장 높았다. 영양염류는 전체 조사시기별 중에서 2월이 높고 8월이 낮은 경향을 보였는데, 이는 여름철에 가로림만으로 들어오는 담수유입이 제한받고 여름철에 번식하는 식물플랑크톤에 의해서 영양염이 소비가 되었기 때문이라고 생각된다. DIN/DIP 비는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며, 6월의 경우는 표층 30.52, 저층 37.89로 다른 조사시기별보다 높은 경향을 보였다. SPM은 2월 저층에서 44.15mg/L로 가장 높은 값을 보였는데, 이러한 현상은 겨울에 북서계절풍의 영향으로 사료된다. 영양염류의 결과와 저염분 현상 및 빈산소 수괴가 발생하지 않는 것으로 보아 가로림만은 외해의 해수 교환이 원활이 이루어지며, 작은 하천을 통해 들어오는 담수의 유입이 크게 영향을 받지 않는다. 그리고 해역별 수질등급은 전반적으로 I, II등급의 수질상태를 유지하고 있어 수산학적으로 매우 중요한 연안이므로 앞으로 지속적인 보전이 요구된다.

핵심용어 : 황해, 가로림만, 어장환경모니터링, 시·공간적, 이화학적 특성

Abstract : The physico-chemical characteristics including water temperature, salinity, dissolved oxygen(DO), chemical oxygen demand (COD), chlorophyll-*a*(Chl. *a*), suspended particulate matter(SPM) and dissolved inorganic nutrients were investigated in the Garolim Bay, Yellow Sea, Korea in 2010 carried out six times per year at 11 fixed stations by Korea Fisheries Research & Development Institute. The water temperature, salinity, COD, dissolved inorganic nutrients, Chl. *a* and SPM showed significant difference between surface and bottom water but the other parameters didn't. There were not significant difference between stations. The water temperature showed typical change patterns of the temperate seawater. The annual average of salinity showed more than 31 so that there could not have occurred low saline water. The average of DO from June to August showed over than 3mg/L which showed higher than the below standard value of the hypoxic (oxygen-deficient) water. The average of Chl. *a* varied 1.68µg/L at surface, 2.38µg/L at bottom layer in June and 1.68µg/L at surface, 1.57µg/L at bottom layer at August. The dissolved inorganic nutrients showed high concentration in February and low concentration in August due to the limitation of the freshwater input in summer and phytoplankton used to the dissolved inorganic nutrients. The ratio of DIN/DIP showed 30.52 at surface and 37.89 at bottom layer in June which was higher than other month. The SPM was 44.15mg/L at bottom layer in February which was the highest value in this study due to the northwest monsoon. Because of the actively water change in the open sea without inflow of freshwater from land in Garolom Bay, there were not occurred low saline water and hypoxic water. thus, this Bay showed good water quality and required to be conserved continuously as important costal area for fisheries.

Key Words : Yellow Sea, Garorim-Bay, Fishingground monitoring system, Spatio-Temporal, Phsico-chemical characteristics

* 대표저자 : 학생회원, namhhy@nfrdi.go.kr, 032-745-0641

† 교신저자 : 정희원, sheo2001@nfrdi.go.kr, 032-745-0641

1. 서론

최근 양식어업은 양적 성장을 지속하고 있으나 양식생물의 성장 둔화와 원인 불명의 폐사로 생산성이 감소하고 있는 실정이다. 이러한 원인으로는 어장의 장기 사용에 따른 자가오염 증가 및 육상기인 오염원 증가에 따른 빈산소 수괴, 적조 및 이상해황 발생 등으로 볼 수 있다. 그래서 황해의 경우 가로림만, 천수만 및 곰소만에 위치한 패류 및 어류양식어장을 대상으로 어장환경모니터링을 실시하고 있다.

이중 가로림만은 동·서·남쪽은 각각 충청남도 서산군의 팔봉면 지곡면·대산면과 태안군의 태안읍·이원면으로 둘러싸여 있으며 수심이 비교적 얕으며 육지 쪽으로 만입된 반폐쇄성형 만이다. 만 입구는 북쪽을 향해 열려 있으며 만 내측 해역은 2개의 잘 발달된 수로인 동수로와 서수로로 나뉘며 외해와 해수가 교환되고 있다. 입구의 너비는 2~3km, 만입의 길이는 25km이며 조수간만의 차가 7~9m로 대조차 환경이다. 가로림만은 유역면적이 좁아 큰 하천이 발달하지 못해 작은 지류를 통해 하천수가 유입되고 있으며, 만으로 유입되는 담수가 매우 제한되기 때문에 염분이 높고, 또한 공간 분포가 균일하다. 가로림만의 표층 퇴적물은 크게 펄, 모래, 자갈의 3개 퇴적상으로 구분된다. 펄이 우세한 퇴적상은 울도 남부 육지 돌출부에 접하는 갯벌과 안도 북서부 조하대의 모래가 우세한 지역을 제외한 지역과 만 중앙부에서 내부 갯벌에 광범위하게 분포한다. 이 지역 퇴적물은 펄이 주성분이지만 소량의 모래와 자갈이 포함되어 있다. 모래가 우세한 퇴적상은 만 입구 서쪽 갯벌과 북부의 수로가 발달한 조하대 지역에서 고파도남부 수로까지 분포한다. 자갈이 우세한 퇴적상은만 입구부터 중앙부까지 조류가 강한 수로에 국지적으로 분포한다. 가로림만의 표층퇴적물은 일반적으로 만 입구에서 내부로 갈수록 세립화 되는 경향을 보인다(우 등, 2009). 이러한 가로림만은 해안어업이 잘 발달되어 있으며 어족의 산란장으로 적합하여 저서환경의 건강성을 지금 까지 유지하고 있다.

가로림만은 1970년대 조력발전소 건설 타당성 예비조사가 실시되었고, 1982년 최적 후보지로 선정 되었으며, 2005년이후 조력발전소 건설이 추진 중인 실정이다. 그러나 조력발전소가 건설된다면 가로림만 내·외해와 그 일대의 갯벌·해안 생태계는 위기에 놓이게 된다. 2007년 발표된 가로림 조력발전소가 건설에 대한 환경영향평가서에 따르면 조력발전소가 건설될 경우 가로림만의 갯벌면적은 최대조간대에 30.3%, 최소조간대에 69.8%가 감소하는 것으로 나타났으며 해수교환율은 현재 62.4%에서 43.26%로 감소할 것으로 나타났다. 또한 건설시 바닷물이 가장 많이 들어오는 고조기에는 해수면의 높이가 25~50cm가 낮아지고 저조기에는 오히려 최대 4m 해수면의 높이가 높아질 것으로 예상되고 있다. 가로림만은 조력발전소 건설의 최적지이지만 건설을 한다면 해양환경의 피해가 불가피하게 발생할 것이다(유와 이, 2008). 그러나 지금까지 가로림만을 대상으로 수행 되었던 많은 연구 중 수질조사의 이화

학적 특성 대한 논문은 가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동(박 등, 2009a)의 연구 외에는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구는 수산학적으로 매우 중요한 가로림만 수질의 이화학적 특성을 파악하고자 2010년 총 6회(2, 4, 6, 8, 10, 12월) 걸쳐 수질환경성분에 대하여 조사하여 가로림만에 대한 이화학적 특성을 파악하였다.

2. 재료 및 방법

가로림만에서 서해수산연구소의 연구조사선인 탐구2호(90t)를 이용해 2010년 6회(2, 4, 6, 8, 10, 12월), 각각 11개 정점에 있어서 표층과 저층에 대해 조사를 실시하였다(Fig. 1).

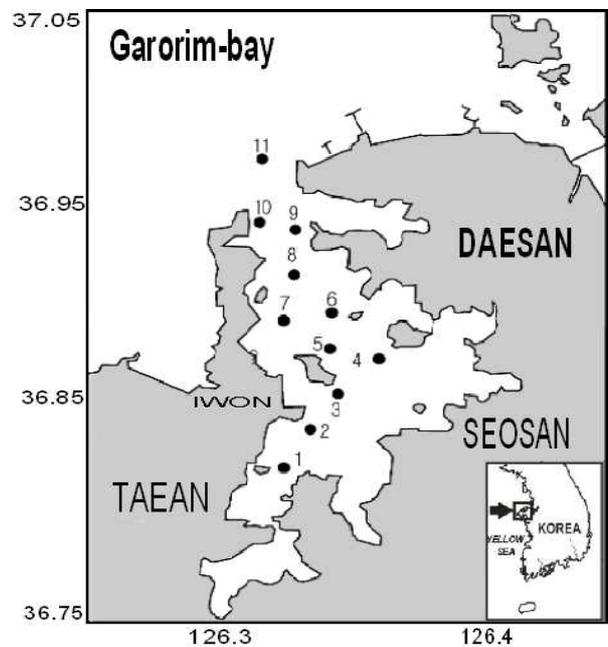


Fig. 1. Map showing the study area and sampling stations.

수온 및 염분은 CTD(SBE 19, Seabird Electronics Co. USA)로 용존산소는 YSI(US/6600 V2, YSI incorporated. USA)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 염분소 *a*는 현장에서 표층과 저층 해수 시료 500 mL를 Membrane filter로 여과한 후, 여과지를 튜브에 넣고 냉동 보관 후 실험실에서 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2005)에 따라 측정 하였다. 화학적 산소요구량과 용존성무기영양염류는 니스킨 채수기를 이용해 표·저층의 해수를 채취한 후 냉장 보관 하여 실험실로 운반한 후 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2005)에 따라 측정하였다. 용존성무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN)는 식물플랑크톤이 성장하기 위하여 필요한 영양염으로 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합으로 산출하였다. 수질 항목에 대해 표층수와 저층수를 조사하여 표·저층간의 차이에 대한 유의성 검정을 위해서 조사정점별로 표층 측정값에서 저층 측

정값을 뺀 차이를 이용하여 대응비교에 의한 T검정(Paired comparison T test)을 실시한 결과 수온, 염분, 화학적산소요구량, 암모니아질소, 질산질소, 용존성무기질소, 엽록소 a, 입자성부유물질은 표·저층간의 차이가 있었으며($p < 0.05$), 수소이온농도, 용존산소량, 아질산질소, 용존성무기인, 규산규소, DIN/DIP 조사 항목은 표·저층간의 차이가 없었다. 이에 본 자료 분석에는 표층과 저층을 분리하여 이용하였다. 각 측정 항목의 시공간적인 변동을 구명하기 위해서 제1모형 이항분산분석(Two factor model I ANOVA)을 이용하였으며, 수질변동의 요인을 구명하기 위하여 수질항목간 상관분석(Spearman's correlation analysis)을 통하여 $\alpha=0.05$ 유의수준에서 유의성을 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

뚜렷한 계절적인 특성을 가지고 있는 우리나라 특성상 가로림만의 수온은 겨울에 낮고 여름에 높은 전형적인 온대 수역의 변화 양상을 보였다. 조사시기별 6회 정점별 평균 표층 범위는 12.44 °C(정점 11)~13.84 °C(정점 4)이었고, 저층은 12.17 °C(정점 10)~13.49 °C(정점 4)로 표·저층 모두 정점 간 유의적인 차이가 없었고, 정점 4에서 수온이 표·저층에서 가장 높게 나왔다. 정점 내에서의 변동계수는 표층 59.63~69.24%, 저층 60.69~68.64%의 수준이었다. 조사시기별로 평균 표층은 3.00 °C(2월)~23.95 °C(8월)이었고 저층은 2.99 °C(2월)~23.52 °C(8월)로 표·저층 모두 조사시기별로 유의적인 차이가 있었다($p < 0.0001$). 변동 계수는 표층 2.33%(10월)~31.08%(2월), 저층 2.52(10월)~31.86%(2월)의 수준이었다(Table 1, Table 2, Fig. 2).

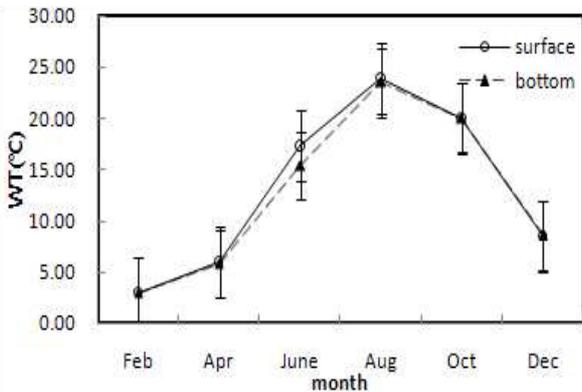


Fig. 2. The monthly variation of water temperature at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

염분은 강우량과 증발량 그리고 담수의 유입정도에 따라 크게 영향을 받는다. 표·저층의 조사시기별 6회 평균은 31.38, 31.44로 가로림만(박 등, 2009a)의 12년간 장기변동의 평년과 비교해봤을 때 표·저층 합계의 평균은 평년과 비슷한 경향을 보

였다. 정점별로 평균 표층 염분은 30.95(정점 1)~31.91(정점 9) 이었고 저층은 31.14(정점 1)~31.91(정점 9)로 만 안쪽의 정점 1과 만 입구의 정점 11까지 비슷한 값으로 정점 간 유의적인 차이가 없었다. 정점 내에서의 변동 계수는 1.67~4.64%로, 군산연안 9.56~46.23%(박 등, 2009b), 천수만 4.40~5.58%(박 등, 2006) 보다 낮은 분산량을 보였다. 조사시기별로 평균 표층 염분은 30.12(10월)~32.09(2월), 저층은 30.16(10월)~32.15(2월)로 표·저층 모두 조사시기별 유의적인 차이를 보였다($p < 0.0001$). 10월 염분 농도가 8월보다 낮게 나왔는데, 이는 10월 현장조사시기 3일 전부터 13mm 강수량을 보인 반면에 8월에는 강수량이 2.5mm로 10월 보다 낮았기 때문이라고 생각된다(<http://www.kma.go.kr>). 변동 계수는 표층 0.43%(12월)~1.70%(6월), 저층 0.43%(12월)~1.84%(10월)로 낮은 분산량을 나타냈다(Table 1, Table 2, Fig. 3). 조사시기별로 평균 염분이 30을 넘었으며, 정점 별 유의적 차이가 없는 것으로 보아 가로림만은 외해와 해수 교환이 원활하게 이루어지고 있는 것으로 사료된다. 또한 큰 하천이 발달하지 못해 작은 지류를 통해 담수가 유입되고 있어 가로림만에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

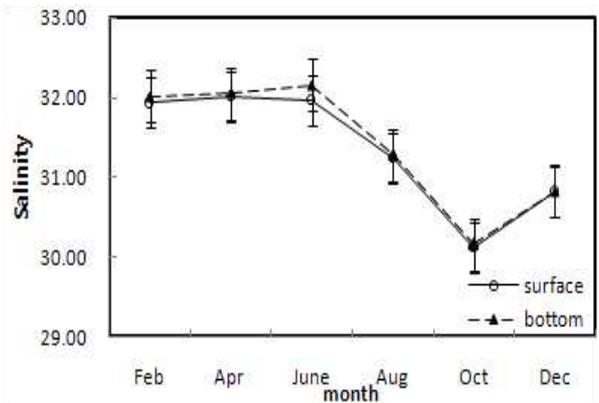


Fig. 3. The monthly variation of salinity at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

수소이온농도(pH)의 표·저층 조사시기별 6회 평균은 모두 8.08로 표·저층 합계의 평균은 가로림만(박 등, 2009a)의 평년보다 0.8정도 높은 경향을 보였다. 정점별로 평균이 표층은 8.02(정점 4)~8.11(정점 1, 2, 3, 8), 저층은 8.03(정점 4)~8.11(정점 9)로 표·저층 모두 정점 간 유의적인 차이가 없었다. 정점 내에서의 변동 계수는 표층 0.70%(정점 4)~2.07%(정점 10), 저층 1.13%(정점 4)~1.89%(정점 10)범위의 수준이었다. 조사시기별로 표층 7.92(8월)~8.18(12월), 저층 7.91(8월)~8.19(12월)로 표·저층 모두 유의적인 차이가 보였으며($p < 0.0001$), 변동 계수는 표층 0.76%(6월)~1.67%(12월), 저층 0.55%(6월)~1.66%(12월)의 범위 수준이었다(Table 1, Table 2, Fig. 4).

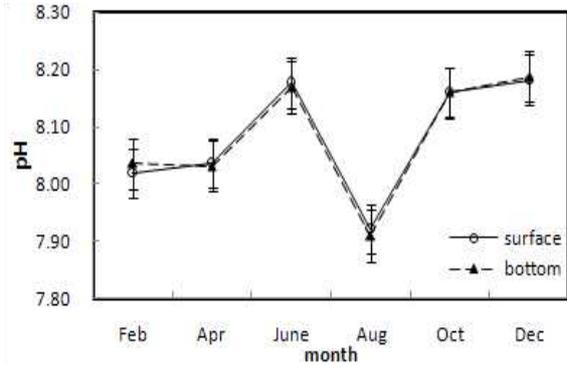


Fig. 4. The monthly variation of pH at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

용존산소(DO)는 어패류의 산란 및 성장에 중요한 역할을 하면서 수괴의 혼합특성을 나타내는 중요한 요인으로서 DO의 농도가 2 mg/L 이하로 낮아져 빈산소 수괴가 발생하면 저서 동물과 어패류의 산란 및 성장에 직접적인 영향을 미치며 그에 따른 여러 2차 피해가 나타난다(선, 2011). 표·저층의 조사 시기별 6회 평균은 9.15, 9.11 mg/L로 가로림만(박 등, 2009a)의 평년과 비교해봤을 때 표·저층 합계 평균은 평년보다 0.57 mg/L정도 높은 값을 보였다. 정점별 평균이 표층 8.68 mg/L(정점 1)~9.75 mg/L(정점 9), 저층 8.56 mg/L(정점 2)~9.77 mg/L(정점 9)로 표·저층 모두 정점 간 유의적 차이는 없었으며, 변동 계수는 표층 14.42%(정점 9)~25.88%(정점 1), 저층 13.82%(정점 9)~25.65%(정점 2)범위 수준이었다, 조사 시기별로 표층 7.37 mg/L(8월)~11.07 mg/L(2월), 저층 7.47 mg/L(8월)~11.06 mg/L(4월)로 표·저층 모두 조사 시기별로 유의적 차이를 보였다($p < 0.0001$). 변동 계수는 6월 표층과 저층에서 18.36%, 23.44%를 보였으며, 그 외 조사에서는 2.32%~9.32%정도였다(Table 1, Table 2, Fig. 5). 가로림만은 대체로 DO가 낮은 6~8월에 평균값이 빈산소 수괴 발생 농도인 2 mg/L보다 높은 농도를 보였다.

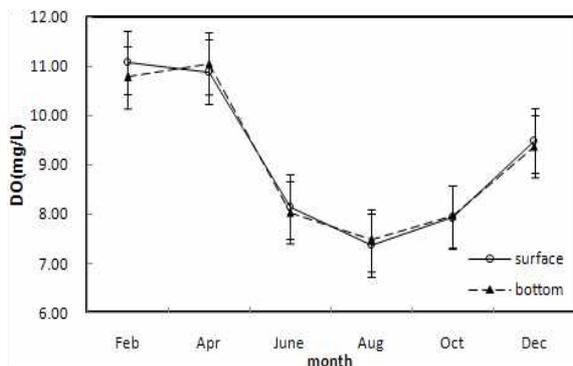


Fig. 5. The monthly variation of dissolved oxygen at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

화학적 산소요구량(COD)은 BOD와 더불어 유기오염의 농도를 나타내는 지표로서 해수나 공장폐수와 같이 무기물질을

함유하고 있어 BOD 측정이 불가능할 경우 일반적으로 COD를 측정한다(김 등, 2000). 표·저층의 조사시기별 6회 평균은 1.02, 1.21 mg/L로 표·저층 합계 평균은 가로림만(박 등, 2009a)의 평년과 비슷한 경향을 보였다. 정점별 평균이 표층 0.76 mg/L(정점 8)~1.18 mg/L(정점 9), 저층 0.98 mg/L(정점 3)~1.49 mg/L(정점 11)로 표·저층 모두 정점 간 유의적 차이는 없었으며, 변동 계수는 표층 20.32%(정점 2)~66.44%(정점 9), 저층 31.35%(정점 1)~50.09%(정점 9)의 수준이었다. 조사시기별로 평균 표층 0.72 mg/L(4월)~1.50 mg/L(6월), 저층 0.67 mg/L(12월)~1.75 mg/L(4월)로서 표·저층 모두 조사 시기별로 큰 차이를 보였으며(< 0.0001), 변동 계수는 표층 16.91%(10월)~46.43%(2월), 저층 16.77%(10월)~50.46%(12월)의 수준으로, 아산연안(박 등, 2007) 50.37~57.60%, 천수만(박 등, 2006) 50.88~64.91% 보다 낮은 상태였다(Table 1, Table 2, Fig. 6). 다른 해역에 있는 폐쇄성만인 순천만(장과 정, 2010)을 비교해 결과 가로림만 보다 높은 농도 값을 보이는데, 이는 순천만의 경우 하수종말처리장으로부터 유기물 및 영양염류가 지속적으로 유입이 되고 있기 때문이며, 하절기에 특히 높은 이유는 강수량이 많아 순천만으로 유입되는 유속이 빨라져서 순천만 갯벌에서 생성된 부유사로 인한 것이다, 이에 반해 가로림만은 지속적으로 유입되는 유기물과 영양염류가 없기 때문에 순천만과 다른 경향을 보이고 있다.

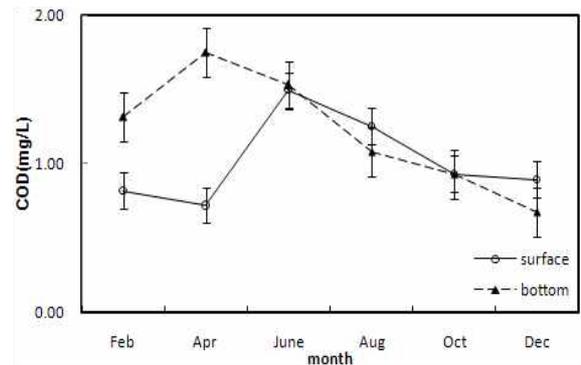


Fig. 6. The monthly variation of Chemical Oxygen Demand at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

엽록소 a는 식물플랑크톤의 광합성 색소로 엽록소 a는 모든 식물플랑크톤에 포함되어 있으므로 식물플랑크톤의 생물량을 가장 잘 평가 할 수 있는 요인이다(선, 2011). 표·저층의 조사 시기별 6회 평균은 1.10, 1.30 $\mu\text{g/L}$ 로 표층 평균은 가로림만(박 등, 2009a)의 평년보다 0.5 $\mu\text{g/L}$ 정도 낮은 값을 보였다. 정점별 평균은 표층 0.89 $\mu\text{g/L}$ (정점 6)~1.34 $\mu\text{g/L}$ (정점 8), 저층 0.90 $\mu\text{g/L}$ (정점 2)~1.68 $\mu\text{g/L}$ (정점 7)로 표·저층 모두 정점 간 유의적 차이는 없었으며, 변동 계수는 표층 34.77%(정점 7)~75.52%(정점 11), 저층 51.49%(정점 3)~85.54%(정점 8)의 수준이었다. 조사 시기 별로 평균 표층 0.35 $\mu\text{g/L}$ (12월)~1.68 $\mu\text{g/L}$ (8월), 저층 0.39 $\mu\text{g/L}$ (12월)~2.38 $\mu\text{g/L}$ (6월)로 표·저층 모두 조사 시기별로 큰 차이($p < 0.0001$)를 보였다. 변동 계수는 표층 12.31%(8

가로림만의 이화학적 수질의 시·공간적 특성

월)~82.49%(10월) 저층 17.46%(2월)~66.16%(10월) 의 수준 이었다(Table 1, Table 2, Fig. 7). 엽록소 *a*는 전체적으로 6월 표층 1.68 $\mu\text{g/L}$, 저층 2.38 $\mu\text{g/L}$, 8월 표층 1.68 $\mu\text{g/L}$, 저층 1.57 $\mu\text{g/L}$ 로 여름철에 가장 높았다.

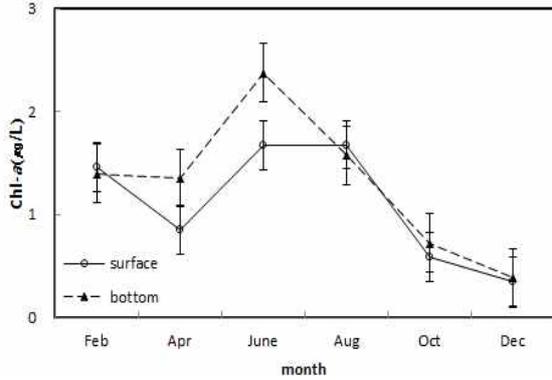


Fig. 7. The monthly variation of chlorophyll-*a* at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

입자성부유물질(SPM)은 물의 탁도 유발 원인물질로서 물을 흐리게 하여 햇빛이 물속에 투과되는 것을 어렵게 하고 수중 식물의 광합성을 방해한다. 표·저층 평균은 22.47, 27.41 mg/L로 표층 평균은 가로림만(박 등, 2009a)의 평년보다 비슷한 경향을 보였다. 정점별 평균이 15.27 mg/L(정점 1)~31.33 mg/L(정점 4), 저층 20.60 mg/L(정점 11)~40.50 mg/L(정점 4)로 정점 간 유의적인 차이는 없었으며, 변동계수는 표층 40.27%(정

점 1)~89.66%(정점 5), 저층 23.67%(정점 9)~83.94%(정점 7)의 수준이었다. 조사시기별은 평균 표층 15.47 mg/L(8월)~29.69 mg/L(12월), 저층 15.93 mg/L(6월)~44.15 mg/L(2월)로 표·저층 모두 조사 시기별 유의적 차이를 보였다(표층 $p=0.0284$, 저층 $p=0.0019$). 변동계수는 표층 30.26%(4월)~104.43%(10월), 저층 14.00%(4월)~101.03%(10월)의 수준이었다(Table 1, Table 2, Fig. 8). 순천만(장과 정, 2010)은 수심이 낮고 바깥이 펄로 구성되어 있어 해수 유동에 의해 쉽게 재부유 되기 때문에 전체적으로 SPM 농도가 높은 경향을 보이고 있으며 하절기에 가장 높은 값이었다. 이러한 결과는 가로림만과 다른 경향을 보였다.

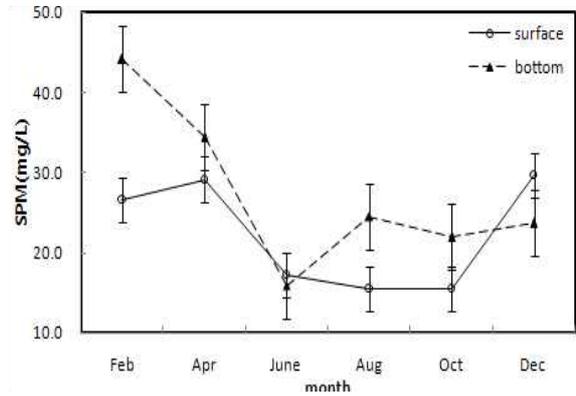


Fig. 8. The monthly variation of suspended particulate matter at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

Table 1. Descriptive statistics of water quality at the Garorim Bay of Yellow Sea in February, April, June, August, October and December 2010

Variable	St.	Layer	Mean	Range	CV(%)	Variable	St.	Layer	Mean	Range	CV(%)
WT	1	s	13.59	2.17 ~ 25.53	68.83	Salinity	1	s	30.95	29.35 ~ 31.97	2.92
		b	12.97	2.18 ~ 24.89	68.09			b	31.14	29.64 ~ 31.97	2.86
	2	s	13.45	2.36 ~ 25.25	68.09	2	s	31.08	29.67 ~ 32.00	2.66	
		b	13.07	2.31 ~ 25.56	68.64		b	31.15	29.83 ~ 31.99	2.54	
	3	s	13.12	2.41 ~ 24.96	67.89	3	s	31.10	29.86 ~ 31.70	2.29	
		b	12.88	2.46 ~ 24.81	67.84		b	31.25	29.95 ~ 32.01	2.55	
	4	s	13.84	1.46 ~ 24.58	69.24	4	s	31.61	29.84 ~ 32.80	3.90	
		b	13.49	1.43 ~ 24.07	68.52		b	31.51	29.08 ~ 32.78	4.64	
	5	s	13.10	3.63 ~ 24.60	64.15	5	s	31.25	29.93 ~ 32.02	2.49	
		b	12.75	3.65 ~ 24.27	64.47		b	31.28	30.03 ~ 32.04	2.45	
	6	s	13.44	2.00 ~ 23.31	68.38	6	s	31.76	30.51 ~ 32.81	3.20	
		b	12.65	1.94 ~ 22.23	67.83		b	31.73	30.5 ~ 32.76	3.20	
	7	s	12.91	3.65 ~ 24.35	64.45	7	s	31.29	30.03 ~ 32.01	2.43	
		b	12.55	3.63 ~ 23.71	64.04		b	31.44	30.09 ~ 32.49	2.78	
	8	s	12.80	3.92 ~ 23.98	63.53	8	s	31.42	30.33 ~ 32.23	2.32	
		b	12.49	3.96 ~ 23.69	64.10		b	31.47	30.34 ~ 32.39	2.46	
	9	s	12.97	3.32 ~ 21.57	59.63	9	s	31.91	30.82 ~ 32.81	2.70	
		b	12.38	3.22 ~ 21.57	61.90		b	31.91	30.83 ~ 32.80	2.70	

Table 1. Continued

Variable	St.	Layer	Mean	Range	CV(%)	Variable	St.	Layer	Mean	Range	CV(%)
pH	10	s	12.45	3.95 ~ 23.21	63.87	DO	10	s	31.37	30.24 ~ 31.92	2.17
		b	12.17	4.04 ~ 22.22	63.19			b	31.42	30.37 ~ 32.04	2.14
	11	s	12.44	4.09 ~ 22.08	60.78		11	s	31.43	30.54 ~ 32.94	1.93
		b	12.37	4.09 ~ 21.67	60.69			b	31.52	30.81 ~ 32.03	1.67
	1	s	8.11	7.87 ~ 8.27	1.63		1	s	8.68	5.83 ~ 11.43	25.88
		b	8.10	7.84 ~ 8.27	1.75			b	8.72	6.53 ~ 11.17	23.93
	2	s	8.11	7.88 ~ 8.27	1.57		2	s	8.85	6.79 ~ 11.15	21.56
		b	8.10	7.86 ~ 8.27	1.64			b	8.56	5.66 ~ 10.99	25.65
	3	s	8.11	7.91 ~ 8.26	1.47		3	s	8.78	6.80 ~ 11.03	21.04
		b	8.10	7.87 ~ 8.27	1.63			b	8.60	6.08 ~ 10.86	23.71
	4	s	8.02	7.93 ~ 8.08	0.70		4	s	9.51	7.30 ~ 12.07	22.17
		b	8.03	7.89 ~ 8.12	1.13			b	9.80	7.54 ~ 12.99	21.70
	5	s	8.09	7.88 ~ 8.26	1.72		5	s	8.79	7.00 ~ 10.50	18.06
		b	8.09	7.88 ~ 8.27	1.68			b	8.70	6.97 ~ 10.50	18.06
	6	s	8.05	7.9 ~ 8.29	1.69		6	s	9.42	7.50 ~ 11.84	18.36
		b	8.07	7.9 ~ 8.29	1.67			b	9.69	8.01 ~ 12.31	16.81
	7	s	8.09	7.91 ~ 8.27	1.72		7	s	8.92	7.11 ~ 10.53	16.12
		b	8.09	7.91 ~ 8.27	1.65			b	8.74	7.33 ~ 10.41	16.88
	8	s	8.11	7.94 ~ 8.27	1.55		8	s	9.19	7.35 ~ 11.26	17.27
		b	8.10	7.99 ~ 8.27	1.48			b	8.78	7.42 ~ 10.51	17.17
9	s	8.10	7.92 ~ 8.28	1.74	9	s	9.75	8.37 ~ 11.98	14.42		
	b	8.11	7.94 ~ 8.28	1.76		b	9.77	8.50 ~ 12.04	13.82		
10	s	8.09	7.92 ~ 8.27	2.07	10	s	9.30	7.66 ~ 11.44	15.83		
	b	8.08	7.94 ~ 8.27	1.89		b	9.35	7.53 ~ 11.44	15.33		
11	s	8.04	7.89 ~ 8.29	1.80	11	s	9.46	7.47 ~ 11.25	15.68		
	b	8.04	7.91 ~ 8.22	1.49		b	9.54	7.34 ~ 11.94	17.75		
COD	1	s	1.16	0.60 ~ 1.68	39.57	Chl- <i>a</i>	1	s	1.32	0.29 ~ 2.69	71.01
		b	1.32	0.75 ~ 1.85	31.35			b	1.05	0.28 ~ 1.95	61.75
	2	s	1.02	0.68 ~ 1.28	20.32		2	s	1.21	0.33 ~ 1.83	54.85
		b	1.10	0.61 ~ 1.68	35.14			b	0.90	0.20 ~ 1.39	56.95
	3	s	1.10	0.60 ~ 1.37	24.94		3	s	1.04	0.32 ~ 1.77	53.44
		b	0.98	0.50 ~ 1.48	43.11			b	1.20	0.21 ~ 1.81	51.49
	4	s	1.10	0.71 ~ 1.40	22.04		4	s	1.09	0.18 ~ 1.85	59.68
		b	1.14	0.52 ~ 1.82	40.93			b	1.09	0.34 ~ 1.85	54.90
	5	s	0.85	0.61 ~ 1.08	21.02		5	s	1.10	0.14 ~ 2.19	72.66
		b	1.20	0.67 ~ 1.74	34.45			b	1.41	0.18 ~ 2.71	69.81
	6	s	1.02	0.46 ~ 2.04	57.17		6	s	0.89	0.15 ~ 1.64	74.47
		b	1.20	0.32 ~ 2.09	50.09			b	1.24	0.29 ~ 1.89	51.87
	7	s	0.93	0.58 ~ 1.72	43.59		7	s	1.18	0.68 ~ 1.65	34.77
		b	1.36	0.79 ~ 2.01	33.23			b	1.68	0.71 ~ 3.15	53.78
	8	s	0.76	0.47 ~ 1.06	30.25		8	s	1.34	0.31 ~ 2.01	50.80
		b	1.10	0.32 ~ 1.50	37.15			b	1.64	0.27 ~ 4.35	85.84
	9	s	1.18	0.52 ~ 2.46	66.44		9	s	1.02	0.18 ~ 1.59	57.39
		b	1.19	0.48 ~ 1.98	45.70			b	1.43	0.52 ~ 2.89	56.01
	10	s	1.01	0.49 ~ 1.68	45.78		10	s	0.94	0.21 ~ 1.80	71.43
		b	1.28	0.76 ~ 1.84	35.95			b	1.62	0.56 ~ 3.53	64.77
	11	s	1.10	0.31 ~ 1.87	57.24		11	s	1.02	0.23 ~ 2.00	75.52
		b	1.49	0.66 ~ 2.56	45.44			b	1.06	0.19 ~ 2.35	70.71

가로림만의 이화학적 수질의 시·공간적 특성

Table 1. Continued

Variable	St.	Layer	Mean	Range	CV(%)	Variable	St.	Layer	Mean	Range	CV(%)
NH ₄ ⁺ -N	1	s	0.014	0.001 ~ 0.035	86.62	NO ₂ ⁻ -N	1	s	0.009	0.001 ~ 0.035	146.98
		b	0.014	0.002 ~ 0.039	92.73			b	0.010	0.001 ~ 0.039	150.58
	2	s	0.009	0.001 ~ 0.015	63.90		2	s	0.008	0.001 ~ 0.028	132.16
		b	0.012	0.001 ~ 0.028	78.12			b	0.011	0.001 ~ 0.038	130.69
	3	s	0.011	0.006 ~ 0.020	61.63		3	s	0.009	0.002 ~ 0.025	95.89
		b	0.010	0.001 ~ 0.016	59.85			b	0.010	0.001 ~ 0.038	145.81
	4	s	0.009	0.002 ~ 0.016	54.04		4	s	0.009	0.002 ~ 0.034	148.39
		b	0.010	0.002 ~ 0.016	61.65			b	0.008	0.002 ~ 0.033	146.12
	5	s	0.011	0.002 ~ 0.034	109.28		5	s	0.008	0.002 ~ 0.023	105.58
		b	0.008	0.001 ~ 0.017	69.88			b	0.010	0.001 ~ 0.037	135.35
	6	s	0.008	0.005 ~ 0.012	29.58		6	s	0.008	0.002 ~ 0.028	134.86
		b	0.012	0.001 ~ 0.017	47.73			b	0.008	0.002 ~ 0.028	134.59
	7	s	0.009	0.003 ~ 0.020	67.40		7	s	0.009	0.002 ~ 0.036	159.02
		b	0.010	0.001 ~ 0.021	80.65			b	0.009	0.001 ~ 0.037	146.39
	8	s	0.007	0.003 ~ 0.014	65.49		8	s	0.006	0.002 ~ 0.019	106.98
		b	0.013	0.002 ~ 0.033	87.84			b	0.009	0.001 ~ 0.033	133.15
	9	s	0.006	0.001 ~ 0.010	61.04		9	s	0.006	0.001 ~ 0.026	152.65
		b	0.010	0.002 ~ 0.018	59.82			b	0.007	0.002 ~ 0.026	142.51
	10	s	0.007	0.003 ~ 0.013	53.45		10	s	0.009	0.002 ~ 0.034	140.38
		b	0.013	0.002 ~ 0.023	72.93			b	0.007	0.001 ~ 0.028	143.23
	11	s	0.008	0.001 ~ 0.017	73.64		11	s	0.008	0.002 ~ 0.033	153.30
		b	0.017	0.001 ~ 0.039	94.57			b	0.008	0.001 ~ 0.028	135.65
NO ₃ ⁻ -N	1	s	0.072	0.015 ~ 0.125	62.51	DIN	1	s	0.095	0.033 ~ 0.152	49.21
		b	0.083	0.039 ~ 0.122	41.84			b	0.107	0.052 ~ 0.145	34.59
	2	s	0.074	0.019 ~ 0.117	55.02		2	s	0.090	0.038 ~ 0.136	45.33
		b	0.092	0.055 ~ 0.128	28.38			b	0.114	0.072 ~ 0.161	28.11
	3	s	0.089	0.046 ~ 0.119	34.81		3	s	0.109	0.077 ~ 0.144	25.29
		b	0.098	0.066 ~ 0.113	18.63			b	0.117	0.089 ~ 0.130	13.32
	4	s	0.081	0.011 ~ 0.127	52.75		4	s	0.098	0.029 ~ 0.139	39.90
		b	0.088	0.017 ~ 0.123	45.25			b	0.106	0.03 ~ 0.137	37.35
	5	s	0.101	0.04 ~ 0.173	45.54		5	s	0.119	0.065 ~ 0.180	31.47
		b	0.109	0.064 ~ 0.183	38.41			b	0.128	0.081 ~ 0.187	27.18
	6	s	0.088	0.026 ~ 0.142	53.47		6	s	0.104	0.043 ~ 0.149	38.76
		b	0.097	0.007 ~ 0.146	56.18			b	0.116	0.025 ~ 0.166	45.34
	7	s	0.103	0.007 ~ 0.180	59.92		7	s	0.121	0.019 ~ 0.191	50.26
		b	0.109	0.035 ~ 0.180	46.70			b	0.128	0.051 ~ 0.183	36.30
	8	s	0.099	0.025 ~ 0.191	64.30		8	s	0.113	0.043 ~ 0.207	53.90
		b	0.111	0.049 ~ 0.169	45.71			b	0.133	0.09 ~ 0.188	29.76
	9	s	0.098	0.005 ~ 0.164	67.36		9	s	0.110	0.015 ~ 0.177	57.27
		b	0.105	0.001 ~ 0.191	67.50			b	0.122	0.017 ~ 0.201	55.11
	10	s	0.112	0.027 ~ 0.193	59.09		10	s	0.128	0.043 ~ 0.208	48.46
		b	0.103	0.017 ~ 0.187	64.00			b	0.123	0.037 ~ 0.212	51.57
	11	s	0.122	0.011 ~ 0.234	69.00		11	s	0.138	0.024 ~ 0.254	59.37
		b	0.113	0.013 ~ 0.206	65.83			b	0.137	0.049 ~ 0.251	53.52

Table 1. Continued

Variable	St.	Layer	Mean	Range	CV(%)	Variable	St.	Layer	Mean	Range	CV(%)
PO ₄	1	s	0.012	0.003 ~ 0.021	56.82	DIN/DIP	1	s	19.72	14.13 ~ 28.05	27.5
		b	0.014	0.009 ~ 0.022	36.03			b	16.81	12.68 ~ 22.93	24.9
	2	s	0.013	0.007 ~ 0.023	45.17		2	s	14.98	12.02 ~ 21.97	23.8
		b	0.015	0.007 ~ 0.022	36.82			b	18.02	10.07 ~ 27.42	35.6
	3	s	0.019	0.011 ~ 0.043	64.49		3	s	14.87	7.41 ~ 24.36	38.6
		b	0.017	0.01 ~ 0.024	30.46			b	16.58	10.37 ~ 28.78	42.0
	4	s	0.014	0.007 ~ 0.023	43.33		4	s	17.26	8.03 ~ 38.91	63.2
		b	0.016	0.009 ~ 0.024	30.79			b	14.52	7.38 ~ 18.5	28.2
	5	s	0.016	0.009 ~ 0.024	37.68		5	s	17.11	13.29 ~ 28.05	32.6
		b	0.018	0.008 ~ 0.026	36.41			b	17.90	10.55 ~ 35.43	50.9
	6	s	0.016	0.009 ~ 0.023	36.03		6	s	14.75	10.58 ~ 22.7	29.0
		b	0.014	0.004 ~ 0.023	56.17			b	24.74	9.23 ~ 70.85	92.6
	7	s	0.016	0.005 ~ 0.026	51.22		7	s	16.81	8.41 ~ 28.51	41.0
		b	0.017	0.008 ~ 0.023	40.34			b	17.97	13.89 ~ 29.03	31.4
	8	s	0.016	0.007 ~ 0.026	55.16		8	s	17.27	10.58 ~ 32.58	45.9
		b	0.018	0.011 ~ 0.023	29.08			b	17.16	13.79 ~ 23.75	21.6
	9	s	0.015	0.003 ~ 0.023	60.63		9	s	22.87	5.54 ~ 71.59	106.0
		b	0.014	0.003 ~ 0.025	67.57			b	28.02	12.55 ~ 86.35	103.6
	10	s	0.019	0.008 ~ 0.027	45.23		10	s	15.06	11.75 ~ 20.33	22.7
		b	0.017	0.005 ~ 0.028	54.42			b	17.13	11.96 ~ 27.23	30.5
	11	s	0.018	0.007 ~ 0.026	41.95		11	s	16.10	7.59 ~ 21.63	30.7
		b	0.017	0.001 ~ 0.029	63.68			b	32.64	13.69 ~ 108.5	114.6
Silcate	1	s	0.226	0.085 ~ 0.345	47.49	SPM	1	s	15.27	6.8 ~ 24.4	40.27
		b	0.244	0.090 ~ 0.392	44.64			b	23.60	12.6 ~ 36.6	35.37
	2	s	0.234	0.104 ~ 0.384	45.87		2	s	25.77	12.6 ~ 58.8	73.26
		b	0.276	0.130 ~ 0.366	34.83			b	23.37	8.6 ~ 37.2	52.86
	3	s	0.285	0.171 ~ 0.422	37.39		3	s	18.27	9.2 ~ 35.2	53.73
		b	0.275	0.104 ~ 0.413	39.36			b	30.83	14.2 ~ 60.4	54.13
	4	s	0.296	0.063 ~ 0.442	47.18		4	s	31.33	15.8 ~ 54.2	46.68
		b	0.295	0.066 ~ 0.468	47.79			b	40.50	20.4 ~ 86.2	59.90
	5	s	0.289	0.128 ~ 0.548	50.73		5	s	25.33	9.4 ~ 66.6	89.66
		b	0.298	0.098 ~ 0.547	48.42			b	36.57	10 ~ 75.4	66.69
	6	s	0.277	0.150 ~ 0.491	45.44		6	s	22.77	8.6 ~ 35	47.29
		b	0.252	0.036 ~ 0.495	63.79			b	33.90	12 ~ 81	74.78
	7	s	0.264	0.051 ~ 0.576	72.97		7	s	17.87	6.6 ~ 40.4	75.71
		b	0.273	0.074 ~ 0.544	60.11			b	23.17	9.8 ~ 59	83.94
	8	s	0.251	0.069 ~ 0.475	67.58		8	s	17.57	4.8 ~ 32.4	66.31
		b	0.270	0.059 ~ 0.533	59.21			b	25.83	9.2 ~ 58	74.41
	9	s	0.246	0.095 ~ 0.497	65.92		9	s	22.97	6.4 ~ 51.6	72.89
		b	0.244	0.045 ~ 0.531	74.47			b	21.40	13.4 ~ 27.6	23.67
	10	s	0.284	0.055 ~ 0.560	65.15		10	s	19.77	5 ~ 42.8	69.38
		b	0.228	0.048 ~ 0.501	81.25			b	21.77	5.8 ~ 49.8	81.87
	11	s	0.264	0.030 ~ 0.564	79.00		11	s	28.07	5.6 ~ 59.8	72.41
		b	0.260	0.059 ~ 0.569	79.07			b	20.60	5.6 ~ 44.4	75.48

가로림만의 이화학적 수질의 시·공간적 특성

Table 2. Descriptive statistics of water quality at the Garolim Bay of Yellow Sea in February, April, June, August, October and December 2010

Variable	Mon	Layer	Mean	Range	CV(%)	Grouping	Variable	Mon	Layer	Mean	Range	CV(%)	Grouping
WT	2	s	3.00	1.46 ~ 4.09	31.09	F	Salinity	2	s	32.09	31.7 ~ 32.51	0.86	A
		b	2.99	1.43 ~ 4.09	31.86	F			b	32.15	31.97 ~ 32.52	0.72	A
	4	s	5.91	4.82 ~ 6.93	11.98	E		4	s	32.02	31.55 ~ 32.81	1.57	A
		b	5.77	4.80 ~ 6.58	11.02	E			b	32.05	31.59 ~ 32.80	1.49	A
	6	s	17.25	12.42 ~ 22.36	18.58	C		6	s	31.97	31.16 ~ 32.80	1.70	A
		b	15.37	12.13 ~ 20.63	17.33	C			b	32.16	31.63 ~ 32.78	1.31	A
	8	s	23.95	21.57 ~ 25.53	5.33	A		8	s	31.25	30.74 ~ 31.67	0.92	B
		b	23.52	21.57 ~ 25.56	5.89	A			b	31.28	30.82 ~ 31.67	0.89	B
	10	s	19.99	19.36 ~ 20.79	2.33	B		10	s	30.12	29.35 ~ 31.02	1.55	D
		b	20.03	19.35 ~ 20.78	2.52	B			b	30.16	29.08 ~ 31.01	1.84	D
	12	s	8.50	7.29 ~ 10.88	13.73	D		12	s	30.82	30.66 ~ 31.07	0.43	C
		b	8.55	7.29 ~ 10.96	13.54	D			b	30.83	30.67 ~ 31.11	0.43	C
pH	2	s	8.03	7.94 ~ 8.13	0.79	B	DO	2	s	11.07	10.45 ~ 12.07	4.32	A
		b	8.04	7.96 ~ 8.13	0.70	B			b	10.79	10.21 ~ 11.44	4.14	A
	4	s	8.04	7.94 ~ 8.17	0.84	B		4	s	10.89	10.36 ~ 11.98	6.09	A
		b	8.03	7.94 ~ 8.15	0.87	B			b	11.06	10.33 ~ 12.99	8.43	A
	6	s	8.18	8.08 ~ 8.29	0.76	A		6	s	8.15	5.83 ~ 11.25	18.36	C
		b	8.17	8.1 ~ 8.22	0.55	A			b	8.03	5.66 ~ 11.94	23.44	C
	8	s	7.92	7.87 ~ 8.08	0.76	C		8	s	7.37	6.68 ~ 8.57	8.15	C
		b	7.91	7.84 ~ 7.99	0.59	C			b	7.47	6.56 ~ 8.5	8.79	C
	10	s	8.16	8.02 ~ 8.29	0.97	A		10	s	7.93	7.47 ~ 8.78	5.67	C
		b	8.16	8.10 ~ 8.29	0.80	A			b	7.96	7.34 ~ 9.73	9.32	C
	12	s	8.18	7.93 ~ 8.27	1.67	A		12	s	9.49	8.92 ~ 9.76	2.49	B
		b	8.19	7.89 ~ 8.27	1.66	A			b	9.38	8.92 ~ 9.62	2.32	B
COD	2	s	0.82	0.31 ~ 1.68	46.43	C	Chl- <i>a</i>	2	s	1.46	1.13 ~ 1.73	14.58	A
		b	1.32	0.99 ~ 1.77	17.02	BC			b	1.40	1.01 ~ 1.81	17.46	B
	4	s	0.72	0.46 ~ 1.20	31.79	C		4	s	0.86	0.18 ~ 1.53	51.31	B
		b	1.75	1.3 ~ 2.56	19.05	A			b	1.36	0.84 ~ 1.89	31.50	B
	6	s	1.50	1.06 ~ 2.04	22.23	A		6	s	1.68	0.72 ~ 2.69	32.59	A
		b	1.53	1.05 ~ 2.09	22.90	AB			b	2.38	0.82 ~ 4.35	44.93	A
	8	s	1.25	0.78 ~ 2.46	38.75	AB		8	s	1.68	1.31 ~ 2.00	12.31	A
		b	1.08	0.61 ~ 1.85	32.06	CD			b	1.58	0.95 ~ 1.97	20.55	B
	10	s	0.93	0.61 ~ 1.15	16.91	BC		10	s	0.59	0.14 ~ 1.75	82.49	BC
		b	0.93	0.67 ~ 1.21	16.77	DE			b	0.72	0.19 ~ 1.81	66.16	C
	12	s	0.89	0.52 ~ 1.87	43.11	BC		12	s	0.35	0.15 ~ 0.68	50.85	C
		b	0.67	0.32 ~ 1.51	50.46	E			b	0.39	0.18 ~ 0.71	45.43	C
NH ₄ ⁺ -N	2	s	0.007	0.004 ~ 0.011	38.26	BC	NO ₂ ⁻ -N	2	s	0.002	0.002 ~ 0.004	28.52	B
		b	0.006	0.002 ~ 0.017	70.79	BC			b	0.001	0.001 ~ 0.003	56.39	C
	4	s	0.010	0.005 ~ 0.020	44.32	B		4	s	0.003	0.001 ~ 0.005	47.68	B
		b	0.016	0.007 ~ 0.039	55.76	A			b	0.003	0.001 ~ 0.006	47.27	BC
	6	s	0.009	0.003 ~ 0.021	53.52	BC		6	s	0.004	0.002 ~ 0.006	33.61	B
		b	0.018	0.014 ~ 0.028	23.41	A			b	0.004	0.002 ~ 0.006	31.79	BC
	8	s	0.017	0.009 ~ 0.035	56.28	A		8	s	0.004	0.001 ~ 0.009	60.21	B
		b	0.018	0.008 ~ 0.039	58.73	A			b	0.006	0.002 ~ 0.009	46.58	B
	10	s	0.003	0.001 ~ 0.008	81.74	C		10	s	0.029	0.019 ~ 0.036	19.19	A
		b	0.001	0.001 ~ 0.002	35.90	C			b	0.033	0.026 ~ 0.039	14.81	A
	12	s	0.008	0.002 ~ 0.020	67.25	BC		12	s	0.005	0.003 ~ 0.006	24.16	B
		b	0.009	0.006 ~ 0.014	24.48	B			b	0.005	0.003 ~ 0.006	20.37	B
NO ₃ ⁻ -N	2	s	0.141	0.071 ~ 0.189	27.83	A	DIN	2	s	0.150	0.085 ~ 0.196	25.66	A
		b	0.145	0.087 ~ 0.183	25.70	A			b	0.152	0.093 ~ 0.187	24.40	A
	4	s	0.122	0.027 ~ 0.234	56.40	A		4	s	0.135	0.033 ~ 0.254	54.02	A
		b	0.130	0.042 ~ 0.206	42.09	AB			b	0.149	0.052 ~ 0.251	40.97	A

Table 2. Continued

Variable	Mon	Layer	Mea	Range	CV(%)	Grouping	Variable	Mon	Layer	Mean	Range	CV(%)	Grouping
NO ₃ ⁻ -N	6	s	0.102	0.086 ~ 0.125	12.27	A	DIN	6	s	0.115	0.097 ~ 0.152	14.35	AB
		b	0.108	0.097 ~ 0.128	9.56	B			b	0.130	0.117 ~ 0.161	10.28	AB
	8	s	0.026	0.005 ~ 0.077	90.27	B		8	s	0.047	0.015 ~ 0.108	66.95	C
		b	0.034	0.001 ~ 0.071	73.30	D			b	0.058	0.017 ~ 0.091	49.44	C
	10	s	0.051	0.031 ~ 0.076	26.78	B		10	s	0.083	0.053 ~ 0.112	22.10	BC
		b	0.070	0.048 ~ 0.101	26.59	C			b	0.104	0.077 ~ 0.142	22.12	B
12	s	0.125	0.116 ~ 0.151	7.69	A	12	s	0.138	0.131 ~ 0.159	5.75	A		
	b	0.118	0.096 ~ 0.132	9.26	AB		b	0.132	0.108 ~ 0.148	7.72	AB		
DIN/DIP	2	s	16.08	13.84 ~ 18.87	8.66	B	SPM	2	s	26.55	10.8 ~ 42.8	44.24	A
		b	16.89	12.95 ~ 20.59	12.40	B			b	44.15	18 ~ 81	41.90	A
	4	s	17.81	14.87 ~ 24.36	16.98	B		4	s	29.15	13.8 ~ 40	30.26	A
		b	19.16	12.79 ~ 26.18	17.87	AB			b	34.36	26 ~ 40.8	14.00	AB
	6	s	30.52	18.64 ~ 71.59	48.55	A		6	s	17.24	4.8 ~ 51.6	79.07	A
		b	35.87	17.84 ~ 86.34	60.91	A			b	15.93	5.8 ~ 38.6	54.94	B
	8	s	10.71	5.54 ~ 19.19	33.75	B		8	s	15.47	6.6 ~ 54.2	84.67	A
		b	20.79	7.38 ~ 108.50	140.56	AB			b	24.47	10.6 ~ 60.4	65.99	B
	10	s	14.01	12.09 ~ 15.50	8.20	B		10	s	15.53	5 ~ 59.8	104.43	A
		b	15.12	13.46 ~ 16.55	5.92	B			b	21.93	8.4 ~ 86.2	101.03	B
	12	s	12.77	7.41 ~ 16.00	16.41	B		12	s	29.69	15.4 ~ 66.6	60.38	A
		b	12.97	11.41 ~ 14.25	7.50	B			b	23.64	5.6 ~ 75.4	79.88	B

용존성무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN)의 기여도 있어 질산질소는 표층 85%와 저층 83%, 암모니아 질소는 표층 8%와 저층 10%, 아질산질소는 표층 7%와 저층 7%의 비율을 차지하였다. DIN의 표·저층 평균은 0.111, 0.121 mg/L로 표·저층 합이 평균은 가로림만(박 등, 2009a)의 평년보다 0.06 mg/L정도 낮은 경향을 보였다. 정점별 평균은 표층 0.090 mg/L(정점 2)~0.138 mg/L(정점 11), 저층 0.106 mg/L(정점 4)~0.137 mg/L(정점 11)로 표·저층 모두 정점 간 유의적 차이는 없었으며, 변동계수는 표층 25.29(정점 3)~ 59.37%(정점 11), 저층 13.32(정점 3)~55.11%(정점 9)로 만 내측보다 외측에서 변동 폭이 큰 상태였다. 가로림만과 같은 반폐쇄성만의 DIN을 비교해 본 결과 함평만에서는 비슷한 결과를 보였으며, 영일만과 순천만보다 낮은 결과를 보였다(Table 3).

Table 3. Comparison of dissolved inorganic nitrogen and phosphate between major Bays in the coast of Korea

Area	Period	DIN (μM)	DIP (μM)	References
Garorim Bay	2010	8.32	0.52	In this study
Hampyeong Bay	2008 ~ 2009	8.43	0.63	Kang et al, 2009
Yungil Bay	1990 ~ 1998	11.83	0.44	Kang et al, 2002
Suncheon Bay	2008 ~ 2009	76.59	2.9	Jang and Jeong, 2010

조사시기별 평균 표층 0.047 mg/L(8월)~0.150 mg/L(2월), 저층 0.058 mg/L(8월)~0.152 mg/L(2월)로 표·저층 모두 조사시기별 큰 차이를 보였다(p<0.0001). 변동계수는 표층 5.75(12월)~66.95%(8월), 저층 7.72(2월)~49.44%(8월)로 겨울보다 여름에 변동 폭이 큰 상태이다(Table 1, Table 2, Fig. 9).

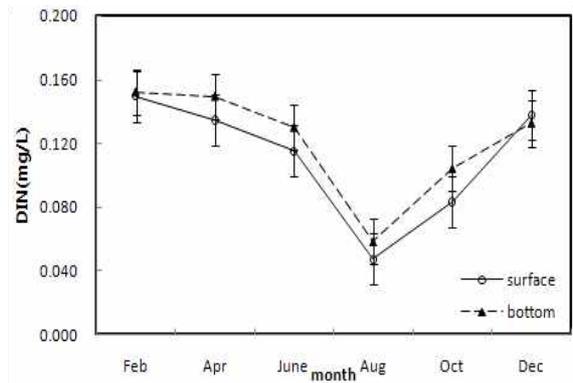


Fig. 9. The monthly variation of dissolved inorganic nitrogen at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

계절별 변동 양상은 질산질소의 변동양상과 유사한 형태를 보이고 있으며, 여름에 가장 낮은 값을 보였다. 이는 외부로부터 유입되는 영양염이 많지 않은 것으로 보아 근소만(김과 김, 2008)의 경향과 비슷하게 질산질소가 여름에 식물플랑크톤에 의한 질산염 섭취가 가장 크고 갯벌퇴적물에서의 탈질소화작용도 가장 활발히 일어나 상당한 양의 질산염이 제거되었기 때문이라고 사료된다.

식물플랑크톤의 성장을 제한하는 인자가 무엇인지 파악하기 위하여 N/P 비율로 계산을 하였다. 표·저층 평균은 16.98, 20.47로 표·저층 합이 평균은 가로림만(박 등, 2009a)의 평년보다 3.8정도 낮은 경향을 보였다. 정점별 평균이 표층 14.75(정점 6)~22.87(정점 9), 저층 14.52(정점 4)~32.64(정점 11)로 표·저층 간에 유의적인 차이가 없었으며, 정점 간 유적 차이도 없었다. 변동계수는 표층 22.7(정점 10)~106.0%(정점 9), 저층 21.6(정점 8)~114.6%(정점 11)로 정점별 변동 폭이 표·저층 모두 큰 상태이다. 조사시기별로 평균 표층 10.71(8월)~30.52(6월), 저층 12.97(2월)~35.87(6월)로 표·저층 모두 조사 시기별 차이를(표층 $p < 0.0001$, 저층 $p = 0.0109$) 보였으며, 6월의 경우는 표층 30.52, 저층 37.89로 다른 조사시기별보다 높은 경향을 보였다. N/P 비가 6월에 16 이상으로 인산인이 식물플랑크톤의 제한요인으로 작용하고 있어 인산인의 외부 유입이 있을시 적조의 대량 발생이 우려된다. 변동계수는 8월 저층에서 140.56%로 분산량이 가장 높았으며, 그 외는 표층 8.20(10월)~48.55%(6월), 저층 5.92(10월)~60.91%(6월)의 수준이었다(Table 1, Table 2, Fig. 10).

조사 항목의 시공간적 유의성 검정을 위해 정점별, 조사시기별로 조사 자료를 이용하여 분산 분석을 실시하였다. 조사 항목의 지역적 차이를 살펴보면 전 조사항목에서 유의적인 차이가 없었다. 즉 공간적으로 전 조사항목에서 분산분석결과 가로림만 내의 안쪽의 정점 1과 입구의 정점 11에 차이가 없는 것으로 나타나 가로림만의 해수교환이 원활히 이루어지고 있으며, 큰 하천이 없고 작은 지류를 통해서 하천이 유입되는데 이에 담수유입의 영향을 거의 받지 않는 것으로 생각

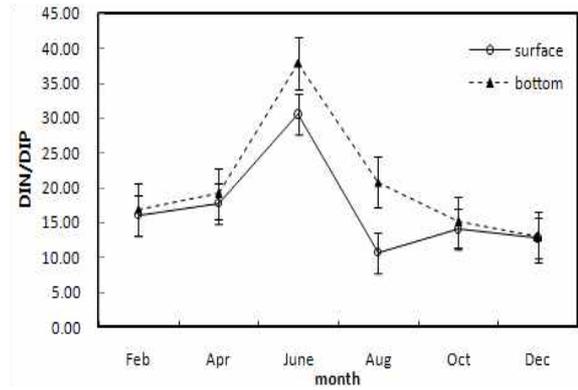


Fig. 10. The monthly variation of DIN/DIP at Garorim Bay, Yellow Sea, 2010.

된다(Table 4). 이 결과는 박 등(2009a)이 연구한 가로림만의 결과와 같은 경향을 보였다. 해양환경기준은 해역별 수질 등급에 맞게 세분화 되었는데, 기존의 해양환경기준은 7가지 항목에 대해 I~III등급의 구분이 되었지만, 새롭게 바뀐 해양환경기준의 생태기반 해수 수질기준은 해역별로 동해, 대한해협, 서남해역, 서해중부, 제주해역 5개 해역으로 구분해 기준이 적용이 되었다. 해수수질의 기준을 정하는 수질평가 지수값(Water Quality Index; $WQI = [10 \times DO\%] + 6 \times [(Chl-a \mu g/L + SD)/2] + 4 \times [(DIN \mu g/L + DIP \mu g/L)/2]$)은 저층 산소포화도(%), 엽록소 $a(\mu g/L)$, 표층 DIN($\mu g/L$), 표층 DIP ($\mu g/L$), 투명도 이 5가지 항목으로 I~V등급의 수질을 구해 더욱더 세분화 시켰다. 가로림만은 서해중부에 위치해 있어

Table 4. Spatial and temporal differences in water quality at the Garorim Bay of Yellow Sea, 2010 by ANOVA

Variable	Source	Layer	F	Pr>F	Variable	Source	Layer	F	Pr>F
Water Temperature	Station	Surface	0.02	1	Salinity	Station	Surface	0.72	0.7009
		Bottom	0.01	1			Bottom	0.42	0.9311
	Month	Surface	317.36	<.0001		Month	Surface	44.44	<.0001
		Bottom	373.25	<.0001			Bottom	52.73	<.0001
pH	Station	Surface	0.36	0.9583	DO	Station	Surface	0.26	0.9864
		Bottom	0.26	0.9872			Bottom	0.5	0.8798
	Month	Surface	18.13	<.0001		Month	Surface	46.85	<.0001
		Bottom	22.15	<.0001			Bottom	27.7	<.0001
COD	Station	Surface	0.5	0.8851	NH ₄ ⁺ -N	Station	Surface	0.66	0.7587
		Bottom	0.51	0.8723			Bottom	0.44	0.9189
	Month	Surface	7.99	<.0001		Month	Surface	7.78	<.0001
		Bottom	19.12	<.0001			Bottom	13.66	<.0001
NO ₂ ⁻ -N	Station	Surface	0.05	1	NO ₃ ⁻ -N	Station	Surface	0.46	0.9084
		Bottom	0.07	1			Bottom	0.23	0.9914
	Month	Surface	168.79	<.0001		Month	Surface	19	<.0001
		Bottom	267.86	<.0001			Bottom	20.12	<.0001
DIN	Station	Surface	0.45	0.9153	SPM	Station	Surface	0.65	0.7619
		Bottom	0.26	0.987			Bottom	0.86	0.5782
	Month	Surface	11.89	<.0001		Month	Surface	2.71	0.0284
		Bottom	12.02	<.0001			Bottom	4.37	0.0019
Chl- <i>a</i>	Station	Surface	0.28	0.9837	DIN/DIP	Station	Surface	0.41	0.9373
		Bottom	0.61	0.7978			Bottom	0.71	0.7122
	Month	Surface	26.22	<.0001		Month	Surface	13.27	<.0001
		Bottom	18.22	<.0001			Bottom	3.29	0.0109

서해중부의 기준을 토대로 조사시기별 해역별 WQI를 계산해 본 결과 2, 4월의 경우 항목별 점수 1점을 받았으나, 투명도에 의해 수질 등급 I, II등급이었다. 정점 1, 2, 3에서 I 등급을 보였으며 내만에서 등급이 더 높게 나왔다. 6월에서는 정점 1, 2, 3에서 III등급을 받았으며, 특히 정점 1에 엽록소 a가 높은 점수를 받았다. 그리고 내만에서 외해서 갈수록 수질등급이 낮아지는 경향을 볼 수 있으며 전반적으로 용존산소포화도에 의해 수질등급에 영향을 미쳤다. 이는 2, 4월의 결과와 다른 경향을 보였다. 8, 10월에서 모든 항목별 점수가 1점을 받아 모든 정점에서 수질 등급 I 등급을 받았다. 12월에는 투명도에 의해서 수질등급이 영향을 미쳤다. 전체적으로 대부분의 엽록소 a, DIN 및 DIP는 항목별 점수 1점을 받았다(Table 5). 이에 가로림만은 작은 지류를 통해 만으로 유입되는 담수가 제한을 받아 영양염류의 유입에 영향을 크게 받지 않는 것으로 생각된다.

4. 수질항목간의 상관성

각 조사항목간의 변동 요인을 구명하기 위해 조사시기 및 연도별로 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 통해 $\alpha = 0.05$ 유의수준에서 유의성을 검증하였다(Table 6, Table 7). 조사시기별로 1년간 표층과 저층의 조사항목들간의 상관관계에서 수온은 표층에서 용존성무기질소 -0.877 , 인산인 -0.637 , 투명도 -0.799 을 보였으며, 저층에서는 엽록소 a -0.636 , 용존성무기질소 -0.650 , SPM $.641$, 투명도는 -0.751 이었다. 이에 계절적으로 여름에 육상으로부터 유입되는 영양염이 적기 때문이라고 사료된다. 염분은 표·저층에서 DO와 $.924$, $.819$ 로 양의

상관성을 보여 염분과 DO 모두 담수의 영향을 받는 것으로 보인다. 그러나 수온의 표·저층에서 염분과 DO과 음의 상관성을 보이지만 유의성이 보이지 않아 가로림만은 담수에 의해 크게 영향을 받지 않는 것으로 보인다. pH는 표층에서 SPM -0.737 , 저층에서 DO와 -0.608 로 음의 상관성을 보였다. 저층에서 SPM은 투명도와 -0.799 로 음의 상관성을 보여 부유물질이 많아질수록 투명도가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 위의 분석을 토대로 가로림만은 외부로부터 들어오는 담수의 영향을 크게 받지 않아 여름에 육상으로부터 들어오는 영양염이 거의 없으며 그에 따른 염분과 DO도 담수의 영향을 크게 받지 않는다.

5. 결론

가로림만에서 일어나는 이화학적 특성을 규명하기 위해 국립수산과학원에서 조사한 2010년 11개 정점에 대해 년 6회(2, 4, 6, 8, 10, 12월) 표층과 저층의 어장 조사 결과를 토대로 가로림만의 이화학적 특성에 대해 연구를 실시하였다. 가로림만은 유역면적이 좁아 큰 하천이 발달하지 못해 작은 지류를 통해 하천수가 유입되고 있다. 그리고 만으로 유입되는 담수가 매우 제한되며, 외해와의 해수 교환이 원활이 이루어지는 특성으로 가로림만의 조사 통계 결과 정점간 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 계절별, 정점별 평균으로 본 결과 저염분 현상, 빈산소 수괴가 발생하지 않았으며, 영양염류는 전체적으로 여름이 낮고 겨울에 높은 모습을 보였다. N/P비 다른 조사 시기보다 6월에 높은 값을 보였으며 이때 인산인이 제한요인으로 작용하고 있다. 상관분석을 통

Table 5. Water Quality Index(WQI) of water quality parameters at the sampling stations collected in February, April, June, August, October and December from 2010 in the Garolim Bay of Yellow Sea

Mon	St	WQI	Grade	Mon	St	WQI	Grade	Mon	St	WQI	Grade
	1	20	I		1	20	I		1	36	III
	2	20	I		2	20	I		2	40	III
	3	23	I		3	20	I		3	40	III
	4	29	II		4	26	II		4	20	I
	5	29	II		5	29	II		5	30	II
2	6	29	II	4	6	23	I	6	6	26	II
	7	29	II		7	29	II		7	30	II
	8	29	II		8	26	II		8	30	II
	9	20	I		9	20	I		9	20	I
	10	29	II		10	29	II		10	20	I
	11	29	II		11	32	II		11	20	I
	1	20	I		1	20	I		1	20	I
	2	20	I		2	20	I		2	26	II
	3	20	I		3	20	I		3	28	II
	4	20	I		4	20	I		4	29	II
	5	20	I		5	20	I		5	26	II
8	6	20	I	10	6	20	I	12	6	26	II
	7	20	I		7	20	I		7	20	I
	8	20	I		8	20	I		8	23	I
	9	20	I		9	20	I		9	20	I
	10	20	I		10	20	I		10	20	I
	11	20	I		11	20	I		11	20	I

가로림만의 이화학적 수질의 시·공간적 특성

Table 6. Pearson's correlation analysis among water quality parameters in the Garorim Bay of Yellow Sea, 2010(surface)

	Salinity	pH	DO	COD	chl.a	DIN	PO4	DIN/DIP	SPM	SD
W.T	-0.085	-0.156	-0.204	0.269	0.227	-.877**	-.637*	0.095	0.201	-.799**
	0.804	0.648	0.547	0.425	0.502	0	0.035	0.782	0.553	0.003
Salinity		-0.511	.924**	0.101	-0.544	0.164	-0.023	0.324	0.398	0.127
	0.109	0	0.767	0.084	0.629	0.947	0.332	0.225	0.711	
	pH		-0.582	-0.215	0.485	-0.225	-0.034	0.193	-.737**	0.202
			0.06	0.526	0.13	0.506	0.922	0.57	0.01	0.552
			DO	0.256	-0.528	0.271	-0.104	0.288	0.478	0.283
				0.447	0.095	0.42	0.761	0.39	0.137	0.399
				COD	-0.322	-0.192	-0.583	0.327	0.179	0.052
					0.335	0.572	0.06	0.327	0.598	0.879
					chl.a	-0.404	-0.3	0.262	-0.361	0.028
						0.218	0.37	0.436	0.276	0.935
						DIN	-0.404	-0.3	0.262	-0.361
							0.218	0.37	0.436	0.276
							PO4	-0.557	-0.247	0.135
								0.075	0.463	0.691
								DIN/DIP	-0.104	0.404
									0.761	0.217
									SPM	-0.113
										0.741

Table 7. Pearson's correlation analysis among water quality parameters in the Garorim Bay of Yellow Sea, 2010(bottom)

	Salinity	pH	DO	COD	chl.a	DIN	PO4	DIN/DIP	SPM	SD
W.T	-0.407	-0.247	-0.135	-0.43	-.636*	-.650*	0.067	-0.518	.641*	-.751**
	0.214	0.464	0.693	0.186	0.035	0.03	0.844	0.102	0.034	0.008
Salinity		-0.196	.819**	0.134	0.321	0.24	-0.424	.614*	-0.019	0.269
		0.563	0.002	0.695	0.336	0.478	0.194	0.044	0.956	0.423
		pH		-0.608*	-0.365	0.294	-0.138	-0.261	-0.209	-0.388
				0.047	0.27	0.379	0.685	0.438	0.537	0.238
				DO	0.259	-0.038	-0.001	-0.351	0.534	0.137
					0.441	0.912	0.997	0.29	0.091	0.687
				COD	0.073	0.462	-0.106	0.509	-0.459	0.572
					0.832	0.153	0.756	0.11	0.156	0.066
					chl.a	0.459	0.158	-0.138	-0.156	0.299
						0.155	0.642	0.687	0.647	0.372
						DIN	0.337	0.511	-0.23	.609*
							0.311	0.108	0.497	0.047
							PO4	-0.343	0.104	0.025
								0.302	0.762	0.942
								DIN.DIP	-0.398	.623*
									0.225	0.041
									SPM	-.799**
										0.003

한 통계에서 외부로부터 들어오는 담수는 가로림만에 큰 영향을 미치지 않는다고 나와 유입되는 담수가 제한을 받고 있는 것으로 나타났다. 국토해양부가 새로이 제시한 해역별 수질등급에 따라 전반적으로 해양환경기준의 수질평가지수가 I, II등급의 수질상태를 유지하고 있으며, 전체적으로 대다수의 엽록소 a, DIN 및 DIP는 항목별 점수 1점을 보였다. 이에 가로림만은 저염분 현상과 빈산소 수괴, 그리고 외부로부터 유입되는 영양염류가 거의 없는 지역으로 수질평가지수 I, II등급의 수질상태를 유지하고 있어 앞으로도 지속적인 보존과 연구가 필요한 실정이다.

참 고 문 헌

[1] 강미란, 임동일, 장풍국, 김기범, 강영실(2009), 서해 함평만에서 조위변화에 따른 영양염 변동, 한국해양환경공학회지, 제12권, 제3호, pp. 202-208.
 [2] 강양순, 김귀영, 심정민, 성기탁, 박진일, 공재열(2002), 영일만 수질의 시공간적 변동, 한국수간과학회지, 제35권, 제4호, pp. 431-437.
 [3] 김기성, 이우범, 주현수, 이제철, 조재위, 전순배, 이성우, 바공천, 주현수(2000), 강진만 생태계에서의 이화학적 특

성과 미생물군집의 계절적 분포, 미생물학회지 제36권, 제4호, pp. 285-291.

- [4] 김동성, 김경희(2008), 서해 근소만에서 영양염의 조석 및 계절 변화, Ocean and polar research, 제30권, 제1호, pp. 1-10.
- [5] 우한준, 유주형, 조진형(2009), 가로림만 해수 교환 특성 파악을 위한 Hydro-hypsographic 분석, 한국습지학회지, 11(2), 39-46
- [6] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 고준영, 전상백, 이승민, 박종수(2009a), 가로림연안 수질환경의 특성과 장기변동, 해양환경안전학회지, 제15권, 제4호, pp. 315-328.
- [7] 박승윤, 최옥인, 권정노, 전경암, 조영조, 김형철, 김평중, 박종수(2009b), 군산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 해양환경안전학회지, 제15권, 제4호, pp. 297-313.
- [8] 박승윤, 김형철, 김평중, 박경수, 박정숙(2007), 아산연안 수질환경의 특성과 장기변동, 해양환경과학회지, 제16권, 제12호, pp. 1411-1424.
- [9] 박승윤, 박경수, 김형철, 김평중, 김진풍, 박중현, 김숙양 (2006), 천수만의 수질환경특성과 장기변동, 해양환경과학회지, 제15권, 제5호, pp. 447-459.
- [10] 유승훈, 이주석(2008), 가로림만의 환경가치 평가, 경제학 연구, 제56권, 제3호, pp. 5-28.
- [11] 선철인(2011), 황해 동부해역에서 영양염류 분포 및 생지화학적 특성, 인하대석사학위논문 pp. 1-123.
- [12] 장성국, 정정조(2010), 순천만 수질환경의 계절적 특성에 관한 연구, 한국습지학회지, 제12권, 제2호, pp. 45-57.
- [13] 해양수산부(2005), 해양환경공정시험방법, p. 391.

원고접수일 : 2012년 03월 13일

원고수정일 : 2012년 04월 10일 (1차)

2012년 04월 19일 (2차)

게재확정일 : 2012년 04월 23일