

論文

진해만 및 가덕도 주변 해역의 수질 환경

김경태* · 김은수

한국해양연구원 해양환경·방제연구부

Seawater Quality of Jinhae Bay and Adjacent Sea of Gaduk Island, Korea

Kyung Tae Kim*·Eun Soo Kim

Marine Environment and Pollution Prevention Department, KORDI, Ansan, 426-744, Korea

요약 : 진해만과 가덕도 주변 해역에서 2007년 2회(하계와 추계)에 걸쳐 표층 및 저층수 조사를 실시하여 수질 환경 특성을 파악하였다. 수온은 표층이 저층보다 높았는데 여름이 가을보다 표·저층간의 차이가 컸으며, 염분은 가덕도 남쪽에서 낙동강 물의 유입 영향으로 저염분을 나타내었다. 부유물질은 표층수의 경우 진해만 및 연안에서 높고 외해에서 낮았으며, 과거의 조사 농도 범위에 속하였다. POC는 계절별로 분포 차이가 있지만 유기물 유입원에 대한 근접성과 기초 생산에 영향을 받는 것으로 나타났다. COD는 표층에서 오염원의 영향이 많은 진해만에서 높고 외해로 가면서 낮아졌다. 여름에 진해만의 일부 정점은 해역별 수질기준 III등급이었다. DO는 저층이 표층보다 낮았는데 특히 진해만 내와 외해의 깊은 수심 정점에서 차이가 크고, 하계에 성층에 의하여 수층간에 큰 차이를 나타내었다. 인산염-인과 규산염-규소는 저층수에서 용존산소가 낮아짐에 따라 높은 농도를 나타내는 경향이 강하였으며, 암모니아-질소도 내만의 저산소층에서 높은 농도를 보였다. 표층수의 용존 무기질소는 신항과 가덕도 주변에서 높고 진해만 서쪽 및 외해로 갈수록 낮아졌으며, 과거 조사 농도보다 낮고 좁은 변동 범위를 보였다. 총질소와 총인도 외해역에서 낮은 농도였으며, 표층보다 저층이 높은 추세였고 여름에 더욱 뚜렷하였다. 총질소 평균 농도로는 해역별 수질기준과 I 등급을 만족하였으나 정점별로는 I ~ III등급까지 변화가 컸는데 진해만 내의 저층 또는 외해의 깊은 수심을 갖는 정점에서 등급이 좋지 않았다. Chl-a는 진해만 내 또는 가덕도수역에서 높은 분포였으며, 신항과 가덕도 남쪽에서는 과거보다 낮은 농도였다.

핵심용어 : 진해만, 가덕도, 해양 수질

1. 서론

가덕도 주변 해역은 낙동강 물의 영향을 많이 받는 하구 환경을 가지는 동시에 해양 오염으로 만홍노 연구 대상이 된 진해만의 입구에 접해 있다. 진해만은 우리나라 남동부 해안에 위치하고 있으며, 마산만, 행암만, 진동만, 원문만 및 고현성만 등의 작은 만으로 구성되어 있다. 일찍부터 각종 수산 생물의 서식 및 산란장으로 이용되었으며, 양식기술의 보급으로 어패류 양식이 활발하게 이루어지고 있는 곳이다. 진해만은 수심 20m 이상으로 폭이 넓은 남동부의 가덕수도와 수심 약 8m에 폭이 좁은 서부의 견내량 해협을 통하여 외해와 연결된다. 가덕수도는 진해만의 전체 해수 교환량 중에서 대조기에는 86~90%, 소조기에는 61~80%를 차지하는 진해만의 해수 유통에 있어 중요한 곳이며(장 등, 1984; 임, 1993), 해역 환경 특성에 따라 양식보다는 어로 행위가 많이 이루어지는 곳이기도 하다.

1960년 이후 진해만 주변 유역은 마산, 창원, 진해시 등의 급격한 도시화, 공단 조성 및 중·소 규모 및 대규모 조선소 건설 등의 산업화, 양식장에서 발생하는 오염물질의 축적과 내부 순환 과정에 의한 저층으로 영양염 공급에 의하여 부영양화 발생,

빈산소 수괴 형성(Hong et al., 1991), 유해성 적조가 발생할 뿐 아니라(박과 김, 1967), 최근엔 적조 출현 빈도가 증가하였을 뿐 아니라 발생 범위가 확장되고, 발생 기간도 장기화하고 있다(김 1989). 그리고 가덕수도 주변 해역은 진해만의 내측보다는 환경적으로 양호하지만(김 등, 1994; 최 등, 2005), 가덕도 북쪽 연안은 최근 들어 부산신항이 개발되고, 가덕도와 거제도 잇는 거가대교 건설, 그리고 주변 지역의 개발 등으로 해양환경에 대한 압력이 높아지고 있는 실정이다. 한편 정부는 마산만에서 진해만의 입구 주변까지의 해역과 육지부를 해양환경개선을 위한 육상오염원의 효과적인 관리의 일환으로 특별관리해역으로 지정하였다(임, 2007).

본 연구는 진해만 입구의 일부 해역을 포함하여 가덕도 주변 해역에서 해수의 물리·화학적 성분의 분포 특성과 수질 상호간의 변동을 이해하고, 해양 환경 관리를 위한 자료 확보의 목적으로 조사를 실시하였다.

2. 재료 및 방법

조사 정점은 진해만 입구 해역과 가덕도 주변 해역에서

총 30개를 선정하였으며(Fig. 1), 하계 조사는 2007년 7월 31일부터 8월 2일까지, 추계 조사는 2007년 10월 17일과 18일에 실시하였다. 각 정점에서 Niskin sampler를 이용하여 표층과 저층 해수를 채취하였다.

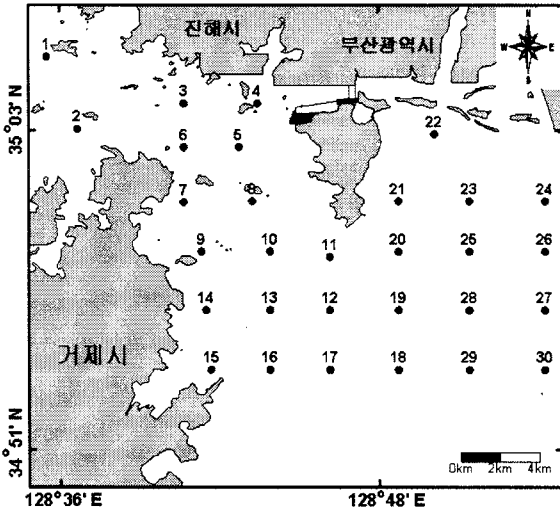


Fig. 1. Map showing the study area with location of sampling stations.

조사 항목은 수온, 염분, pH, 투명도, 용존산소(DO), 화학적산소요구량(COD), 영양염류(총인, 총질소 및 용존성 영양염류), POC, Chl-a이며, 측정 방법은 다음과 같다

수온과 염분은 Multi parameter monitoring system(YSI 6600EDS)을 이용하여 현장에서 측정하였으며, 해양의 투명도는 직경 30cm의 백색 원판으로 측정하였다. pH는 100mL 유리병에 해수를 담아 pH meter(Radiometer Analytical, pIONner 10)를 사용하여 측정하였다. 용존산소(DO)는 채취된 해수를 DO병에 기포가 생기지 않도록 담아 Winkler법에 의하여 용존산소를 고정시켜 실험실에서 측정하였다(Grasshoff *et al.*, 1983). COD는 알칼리법으로 측정하였다(해양수산부, 2005). 부유물질과 Chl-a는 현장에서 GF/F 여과지로 여과 후 냉동하였으며, 부유물질은 중량법(해양수산부, 2005), Chl-a는 UV-VIS Spectrophotometer(Shimadzu UV-2450)를 이용한 흡광도법으로 측정하였다(Strickland and Parsons, 1972). 부유물질 처리시의 여과액은 용존성 영양염류(아질산염-질소, 질산염-질소, 암모니아-질소, 규산염-규소, 인산-인) 분석에 이용하였으며, 용존 영양염류, TN, TP는 Parsons *et al.*(1984)의 기본 원리에 따라 비색법으로 측정하였는데 측정에는 영양염 자동분석기인 FIA(Flow Injection Analyzer: Lachat QuickChem AE)를 사용하였다. 한편 영양염의 분석 정확도는 호주의 NLLNCT에서 실시한 상호 비교 결과 모든 항목이 우수한 것으로 인정되었으며, 측정 시 일본 Wako사의 표준물질을 함께 분석하였다. 입자성 유기탄소는 부유물질 측정이 완료된 여과지를 1N 염산으

로 처리하여 C/S 분석기(LECO-SC 444)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일반수질의 분포

수온은 수괴의 물리적 해석 인자로서 중요할 뿐 아니라 생물의 생육에 미치는 영향이 큰 요소의 하나이지만 온배수와 같은 뚜렷한 영향 요인이 없는 연안 환경에서도 조사 시기와 시간, 조사 위치, 그리고 수심에 따라 차이가 크게 나타난다. 본 조사에서 수온은 여름(2007년 7월 31~8월 2일)에 표층 22.02~27.12°C(평균 23.91°C), 저층 14.24~21.82°C(평균 17.34°C)의 범위였으며, 가을(2007년 10월 17~18일)에는 표층 20.90~22.75°C(평균 21.46°C), 저층 11.59~21.88°C(평균 19.89°C)였다. 표층수의 경우 여름철이 가을보다 변동 폭이 컸으며, 평균 수온도 약 2.5°C 높았다. 저층수에서는 표층수와 달리 여름보다 가을에 다소 변동 폭이 컸으며, 평균 수온은 가을에 약 2.5°C 높게 나타났다. 표층수의 수온 공간 분포는 여름의 경우 거제도 와 진해시 사이의 해역(정점 2와 3)에서 26°C 이상을 나타내었고, 진해만 내측의 정점 1은 25.01°C로 낮았고, 외해로 갈수록 더욱 낮아지는 경향이었는데 특히 거제도 동쪽에서는 23°C 이하의 수괴가 분포하였다. 가을에는 여름과 반대로 진해만에서 낮고 외해의 남동방향으로 가면서 증가하였으나 그 변화는 크지 않았다(Fig. 2). 부경대 해양과학공동연구(2005)의 조사에 의하면 표층과 저층간의 수온 차이는 성층의 발달에 의하여 가을보다 여름에 더욱 컸으며, 수심이 깊어짐에 따라 더 큰 차이를 나타내었다.

염분은 여름에 표층 25.76~31.53(평균 30.06), 저층 31.10~32.71(평균 32.03)의 범위였으며, 가을에는 표층 25.20~32.20(평균 30.50), 저층 30.94~34.21(평균 32.41)의 범위였다. 연안 해역에서 염분은 주변의 배수지역으로부터의 담수 유입량, 증발량, 조석 및 수괴의 흐름 변화, 수심에 따라 차이가 크게 나타날 수 있는데 본 조사의 표층수 수평 분포는 여름엔 낙동강 하구에 인접한 정점 22에서 26이하이며, 그 남쪽으로 가면서 증가하여 외해역 및 거제도 동부 대부분에서는 30 이상을 보였다. 가을엔 여름보다 분포가 복잡하였는데 가덕도 남서쪽의 정점 10에서 가장 낮은 염분을 나타내었으며, 진해시 연안, 거제도의 옥포만 인접 해역 및 본 조사 해역의 남동부에서 31 이상의 높은 염분을 나타내었다(Fig. 2). 정점 10에서 낙동강 하구보다 낮은 염분을 나타낸 것은 조사 시간의 차이, 낙동강의 담수 유출과 이동 확산의 시간차에 기인하는 것으로 판단된다. 본 조사 해역과 많이 일치하는 부경대 해양과학공동연구(2005)의 조사에서는 시기별로 변동 범위 및 분포에 다소 차이가 있었다. 2003년 10월의 경우 표층 염분은 28.7~31.5(평균 30.6)로 가덕도 남쪽에서 낮고 진해만 내에서 높은 분포를 보였다. 부산 신항 공사 지역, 낙동강

하구 및 가덕도 동부 해역에 정점이 집중된 조사(한국해양연구원, 2002)에서는 담수의 영향으로 염분 변화가 크게 나타났으며, 특히 강우량이 많은 여름에는 전체 정점의 표층에서 15.10~33.16의 큰 변동을 보였고, 9월과 10월에는 각각 19.64~31.76, 22.84~32.69로 여름보다 변동이 다소 적었다. 그리고 가덕도 동쪽 연안 정점에서 저염분을 나타내었지만 전반적으로 낙동강 하구에서 남쪽으로 가면서 외해수의 영향으로 증가하는 경향이였다. 한편 국립수산과학원의 해양환경측정망에 의한 2002~2006년의 자료(<http://www.nfrda.re.kr>)에 의하면 연도 및 계절에 따라 염분의 차이가 있지만 진해만과 거제도 동쪽 연안 표층수의 염분은 담수 유입량이 많은 여름에 낮게 나타나는 빈도가 높지만 저층수는 담수 영향이 크게 미치지 않아서 지속적으로 고염분을 나타내었다.

pH는 여름에 표층에서 8.23~8.40(평균 8.31), 저층에서 7.95~8.29(평균 8.03), 가을에는 표층 8.22~8.33(평균 8.28), 저층에서 7.99~8.29(평균 8.19)의 범위였다. 표층수의 pH 수평 분포는 여름의 경우 낙동강 하구의 정점 22, 그리고 진해만 외측부터 남동방향으로 외해역까지 띠 형태를 이루는 해역은 8.3 이하였으며 그 외의 해역은 8.3 이상의 분포였다. 가을에는 대부분 해역이 8.3 이하였지만 진해만 내측과 거제도 북부의 인접 정점, 옥포만 외측의 정점 일부에서 8.3 이상이었다. 신항 개발사업 지역에 인접한 정점 4, 5는 모두 주변과 비슷한 pH 분포였다(Fig. 2). 여름에 정점 22, 가을에 정점 9, 15를 제외하면 각 정점들은 표층이 저층보다 높은 pH를 나타내었으며, 가을에는 수층간의 차이가 크지 않았지만 조사해역 남동부에 위치하며 비교적 수심이 깊은 곳(정점 26~30)은 0.2 이상의 다소 큰 차이를 보였다. 이와 같은 수직적인 분포 변화는 성층 현상 발생 정도, 표층에서 식물성 플랑크톤의 활발한 광합성과 대기에 의한 이산화탄소 유입에 의한 pH 증가 요인, 저층에서 유기물의 분해에 의한 감소 등에 영향에 의한 것으로 판단된다. 본 조사의 각 시기의 수층별 pH 평균값은 여름에 표층은 해역별 수질기준 I 등급인 pH 7.8~8.3을 초과하지만 그 외에는 I 등급이었다. 각 정점의 수층별로 구분하면 모든 정점의 저층수는 I 등급이었고, 여름에 표층수에서 I 등급을 초과하여 II 등급(6.5~8.5)을 나타내는 정점들이 많았는데 진해만 내, 거제도 동부, 가덕도 동쪽의 중앙 해역에서 출현하였다. 하지만 가을에 표층에서는 진해만과 거제도 동쪽의 제한된 지역에서 II 등급을 나타내었다.

투명도는 여름에 0.8~13.0m(평균 3.7m), 가을에 2.5~11.5m(평균 6.9m)로 두 시기 모두 정점간에 차이가 컸으며, 가을에 비교적 높은 투명도를 보였다. 여름에는 수심이 낮고 담수의 영향을 많이 받은 낙동강 하구의 정점 22에서 가장 낮았다. 외해의 정점 30에서 조사 기간 중 가장

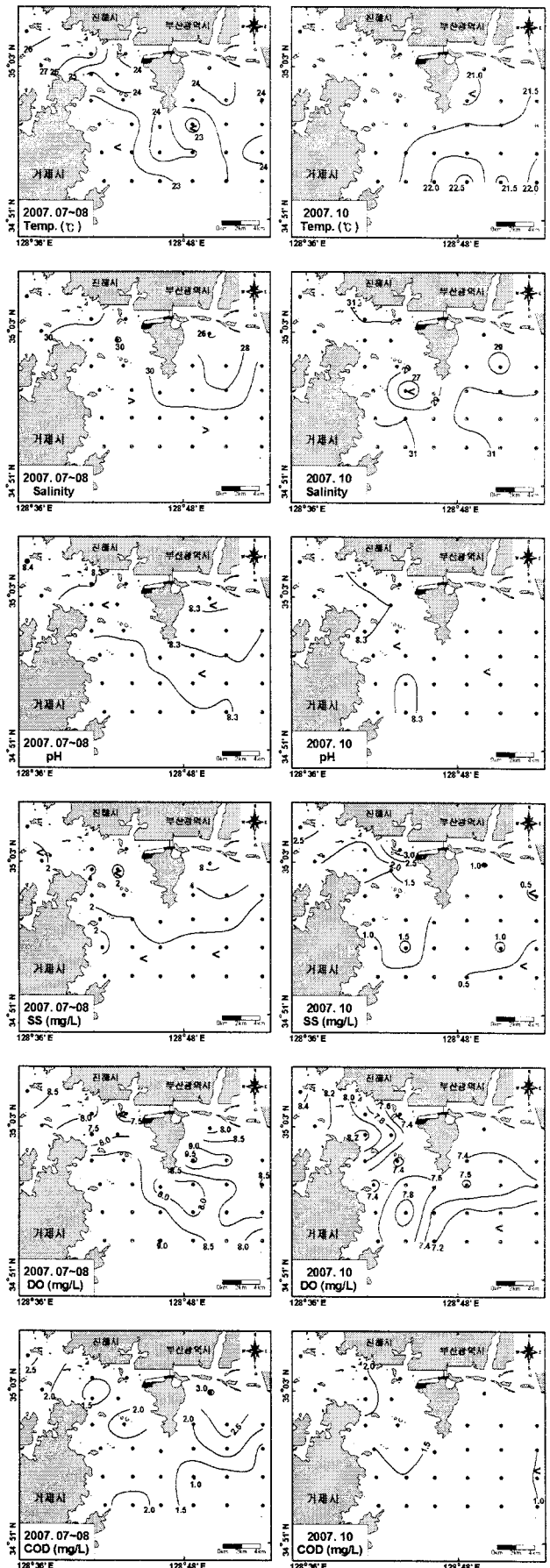


Fig. 2. Spatial distribution of water temperature, salinity, pH, SS, DO and COD in surface seawater.

높은 13.0m를 나타내었고, 그 주변의 정점 18, 19, 29에서 7m 내외, 이들 외에는 5m 이하였다. 가을에는 진해만의 정점 1에서 가장 낮았고 이 정점부터 거제도과 가덕도 사이, 낙동강 하구와 가덕도 동쪽 연안 정점 22에서는 상승하여 6m 이하, 남동쪽으로 가면서 계속 증가하여 정점 30을 비롯한 그 주변에서는 10m를 상회하는 분포였다(Fig. 2). 한국해양연구원(2002)의 조사에서는 8월과 10월에 각각 1.4~11.0m, 1.3~13.0m로 변화가 크고 9월에는 1.1~6.0m로 변동 범위가 좁았는데 9월 조사에서는 외해역 정점 조사가 수행되지 않았기 때문이다. 하지만 공간 분포는 본 조사와 같이 낙동강 하구에서 낮고 외해에서 높았다.

부유물질은 여름에 표층에서 0.31~9.39mg/L(평균 2.25mg/L), 저층에서 1.07~17.89mg/L(평균 7.59mg/L), 가을에는 표층 0.14~3.47mg/L(평균 1.09mg/L), 저층 0.39~14.76mg/L(평균 4.36mg/L)의 범위였다. 표층수 중의 부유물질 공간분포는 여름에 낙동강 하구에서 가장 높고 남쪽으로 갈수록 감소하여 외해의 대부분 정점들은 2mg/L 이하를 나타내었다. 가을에는 진해만 내측의 정점 1은 2.73mg/L이었고, 신항 개발지역에 인접한 정점 4에서 가장 높은 농도를 나타내고 주변으로 가면서 낮아져서 진해만 외곽 및 외해의 대부분 정점은 1mg/L 내외의 낮은 농도를 나타내었고, 외해에서는 0.5mg/L 이하로 아주 낮았다(Fig. 2). 이와 같은 분포는 자생적 물질의 생성 차이와 함께 주변의 연안에서 이루어지는 토목 공사에 의한 토사 유입과 관련되어 있을 것으로 판단된다. 한편 수중에서 빛의 투과 정도를 나타내는 투명도와 수중의 부유물질 농도 간에는 양호한 상관관계를 가지는데 본 조사의 모두 부유물질 농도가 높을수록 투명도가 낮아지는 음의 상관성을 나타내고 있다(Fig. 3). 한편 고현만에서도 가을에 일부 정점이 상관관계에서 벗어나기도 하였으나 대부분의 자료는 위와 비슷한 상관분포를 보였다(한국해양연구원, 2005).

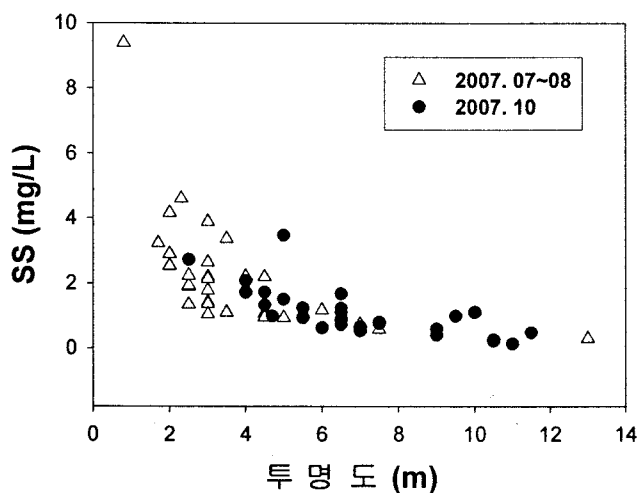


Fig. 3. Plot of transparency vs. SS in surface seawater of the study area.

입자성 유기탄소(POC)는 여름에 표층에서 0.06~0.97mg/L(평균 0.53mg/L), 저층에서 0.13~0.72mg/L(평균 0.42mg/L), 가을에는 표층 0.16~0.63mg/L(평균 0.33mg/L), 저층 0.02~0.59mg/L(평균 0.28mg/L)의 범위였으며, 시기별 각 수층의 평균 농도는 여름이 가을보다 1.5배 정도 높았다. 표층의 수평분포는 여름에 낙동강 하구 주변에서 0.8mg/L 이상으로 높고 남쪽 해역으로 갈수록 감소하였으며, 진해만 내측 및 거제도 북동부 연안에서 0.6mg/L 이상을 나타내었다. 가을에는 거제도 동쪽의 정점 13에서 가장 높았으며, 진해만 내측의 정점 1, 2, 가덕도 남동쪽의 일부 정점에서 0.4mg/L 이상을 나타내었고 조사 해역의 남동쪽 외곽 해역에서는 0.2mg/L 이하로 낮았다. 이와 같은 분포에서 높은 POC 농도는 유기물 유입원에 근접하고 있는 것과 더불어 해양에서 기초생산 지표인 Chl-a와 양호한 상관관계수(여름: R=0.639, 가을: R=0.576)를 나타내었다. 이러한 상관관계로 볼 때 해양의 기초 생산성에 영향을 많이 받은 것으로 보인다. 하지만 여름에 정점 21에서 Chl-a 농도에 비해 매우 낮은 POC를 보였고, 가을에 정점 13과 가덕도 동부의 정점 20, 23, 25에서는 다른 정점과 비교하여 POC는 높지만 낮은 Chl-a를 나타내는 등 전체적인 상관성에서 벗어나는 특이성을 보였다.

COD는 여름에 표층 1.0~3.0mg/L(평균 1.8mg/L), 저층 0.3~1.9mg/L(평균 1.0mg/L)의 범위였으며, 가을에는 표층 1.0~2.3mg/L(평균 1.5mg/L), 저층 0.6~1.8mg/L(평균 1.1mg/L)의 범위를 나타내었는데 시기별 각 수층의 평균 농도는 저층의 경우 서로 비슷하지만 표층은 여름이 가을보다 20% 높았다. 표층의 시기별 수평 분포는 여름의 경우 낙동강 하구의 정점 22에서 3mg/L로 가장 높았다. 낙동강 하구에서 남쪽으로, 그리고 진해만에서 외해로 갈수록 외해수의 영향으로 농도가 감소하였지만 거제도와 가덕도 사이의 정점 8, 옥포만 동쪽의 정점 16에서 2mg/L를 상회하였다. 가을에는 진해만의 정점에서 2mg/L 이상이었으며, 외해로 갈수록 감소하여 외해에서는 대부분 1.5mg/L 이하였고, 동쪽 최외곽의 정점은 1.0mg/L의 낮은 농도를 나타내기도 하였다.

DO는 여름에 표층 7.23~9.70mg/L(평균 8.44mg/L), 저층 5.13~8.79mg/L(평균 5.70mg/L), 가을에는 표층 7.01~8.47mg/L(평균 7.53mg/L), 저층 5.04~7.44mg/L(평균 6.25mg/L)의 범위였다. 표층수의 시기별 수평 분포는 여름의 경우 신항 주변과 진해만의 일부 정점에서 7.5mg/L 이하로 낮았지만 대부분 해역이 8mg/L 이상의 높은 농도를 보였다. 가을에는 신항 주변, 거제도 동부, 낙동강 하구 및 외해역 대부분 정점이 7.5mg/L 이하로 낮았으며, 진해만의 내측으로 갈수록 증가하는 분포였다(Fig. 2). 해양에서는 산소가 가장 변화가 큰 용존기체로서 생물 및 화학적 제반 과정에 깊이 관여하고 있다. 해수 중의 용존산소는 대기-해양간의 접촉에 의하여 대기에서 공급되고, 표층에서는 식물 플랑크톤의 광합성에 의하여 생산되므로 표층

에서는 쉽게 포화 농도에 이를 수 있다. 그러나 수심이 깊은 곳에서는 대기의 교환과 식물의 성장에 따른 산소의 공급이 제한되기 때문에 해양 동물의 호흡이나 유기물이 분해되면서 산소가 소비되어 용존산소는 감소하는데 본 조사에서도 이러한 경향이였다. 한편 수중 생물의 생존에 영향을 미치는 5mg/L 이하의 농도는 나타나지 않았다.

3.2 영양염류 및 Chl-a 분포

용존 무기질소(DIN)의 표층수 분포는 여름의 경우 담수 유입에 의한 영향으로 낙동강 하구와 가덕도 동부 해역에서 높았으며, 그 외에는 대부분이 0.05mg/L 이하였다. 가을에는 정점 4를 비롯한 가덕도 주변 정점들에서 높고, 진해만 서쪽 또는 외해로 가면서 감소하는 분포 보였다 (Fig. 4). 용존 무기질소 중에서 질산염-질소와 암모니아-질소의 점유율이 높았는데 여름에 표층에서는 질산염-질소와 암모니아-질소의 평균 점유율은 각각 47.3%와 45.79%로 비슷하지만 저층에서는 질산염-질소가 80.2%로 암모니아-질소의 16.56%보다 매우 우세하였으며, 저층의 암모니아 점유율은 진해만에서 조금 높은 편이다. 가을에는 아질산염-질소의 점유율이 표, 저층 모두 여름보다 조금 증가하였으며, 질산염 질소는 표층 57.3%, 저층 58.1%의 평균 점유율을 가졌고, 암모니아-질소는 표층 26.4%, 저층 28.8%의 평균 점유율을 보였다. 외해보다는 진해만과 거제도 동쪽 연안의 정점들에서 암모니아-질소의 점유율이 높았으며, 이는 오염물질의 유입원 및 저층에 퇴적된 다량의 유기물 분해에 따른 환경 악화에 따른 영향을 받은 결과로 보인다.

총질소는 여름에 표층에서 0.063~0.466mg/L(평균 0.154mg/L), 저층 0.106~0.311mg/L(평균 0.234mg/L), 가을에는 표층이 0.105~0.376mg/L(평균 0.212mg/L), 저층 0.092~0.355mg/L(평균 0.220mg/L)의 범위였다. 여름에 표층의 경우 낙동강 하구의 정점 22에서 가장 높았으며, 남쪽 해역으로 갈수록 낮아지고, 거제도 동쪽 해역에서는 0.1mg/L 이하의 농도를 나타내었다. 가을에는 가덕도 주변에서 0.4mg/L에 근접하는 높은 농도를 보였으며, 그 외곽으로 가면서 감소하였다(Fig. 4). 수층간의 농도를 비교하면 여름에는 낙동강 하구와 가덕도 동쪽 해역의 정점에서 표층이 저층보다 높았으며, 그 외의 정점은 저층이 높았다. 가을에는 낙동강 하구와 가덕도 동쪽, 그리고 거제도 동쪽의 많은 정점에서 표층이 저층보다 높았다.

본 조사해역의 결과를 해역별 수질기준과 비교하면 시기 및 정점별로 약간의 차이가 있었다. 정점별로 보면 여름에 정점 20, 22, 23의 표층, 정점 28, 29의 저층, 가을에는 정점 8의 표·저층, 정점 21, 22의 표층, 정점 27, 29, 30의 저층에서 해역별 수질기준 II등급에 해당하였다. 그러나 각 시기의 수층별 평균 농도는 I 등급인 0.3mg/L 이하를 만족하였다.

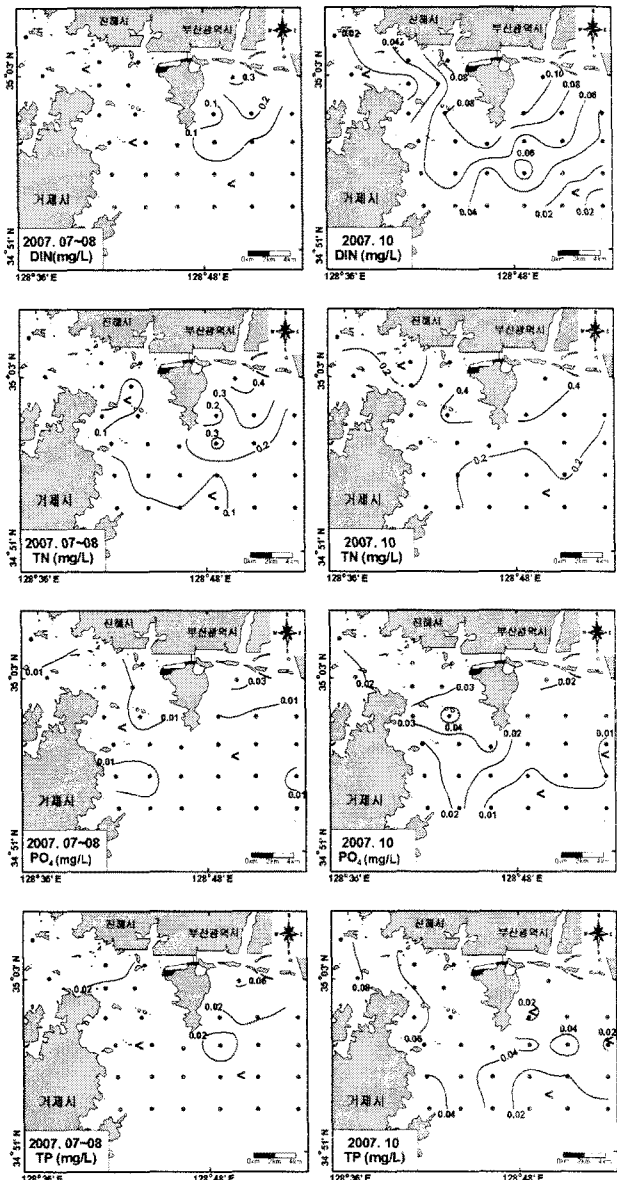


Fig. 4. Spatial distribution of nutrients in surface seawater.

인산염은 여름에 표층 0.001~0.039mg/L(평균 0.009mg/L), 저층 0.012~0.045mg/L(평균 0.029mg/L), 가을에 표층 0.006~0.046mg/L(평균 0.019mg/L), 저층 0.012~0.081mg/L(평균 0.033mg/L)의 범위였다. 표층의 수평 분포는 여름에는 낙동강 하구의 정점 22에서 0.039mg/L로 가장 높고 진해만 내측, 신히 주변과 가덕도 서부 해역의 일부 정점이 0.01mg/L 이상으로 다른 정점들보다 높게 나타났다. 가을에는 거제도와 가덕도 사이 해역의 정점 8에서 0.046mg/L로 가장 높았으며, 이곳을 중심으로 진해만 내측과 외해 방향으로 가면서 낮아져서 외해에서는 0.01mg/L 이하를 나타내었다.

총인 농도는 여름에 표층 0.005~0.069mg/L(평균 0.017mg/L), 저층 0.016~0.071mg/L(평균 0.038mg/L), 가을에 표층 0.011~0.083mg/L(평균 0.039mg/L), 저층 0.02

1~0.110mg/L(평균 0.059mg/L)의 범위였으며 표층보다 저층에서 높은 평균을 보였다. 여름에 표층의 경우 낙동강 하구 정점에서 높고 남쪽 해역으로 갈수록 낮아졌으며, 가을에는 진해만 내측에서 0.08mg/L로 높고 외해로 가면서 감소하였다(Fig. 4). 수층간의 농도를 비교하면 여름에는 낙동강 하구 정점에서 표층이 저층보다 높을 뿐 그 외의 정점은 저층이 높았고 가을에는 진해만 내측, 거제도 동쪽 연안의 많은 정점에서 표층이 저층보다 높았다. 가을보다 여름에 표층보다 저층에서 높은 농도를 나타내는 특징이 더욱 뚜렷하게 나타났다. 한국해양연구원(2002)의 가덕도와 신항 주변 정점에서 표층 0.024~0.049mg/L, 저층 0.003~0.057mg/L의 범위였다.

위로 표층의 경우 여름보다 가을에 2배 이상 높은 평균 농도를 보였다. 표층의 수평분포는 여름엔 낙동강 하구에서 다른 정점보다 매우 높고 신항과 가덕도 주변 일부 정점에서 0.2mg/L 이상이었고, 진해만 내측 및 외해역의 많은 정점들이 0.1mg/L이하의 낮은 농도를 보였다. 가을에는 가덕도 서쪽에 위치한 정점들에서 높았고 진해만 서쪽 및 외해로 가면서 점점 낮아지는 분포를 보였다(Fig. 4).

본 조사해역 저층수의 인산염-인 농도는 pH 및 용존산소와 밀접하게 관련되어 있었다. 즉 저층에서 침강된 입자성 입자 및 퇴적물내 유기물의 분해에 따라 DO가 소모되고, pH가 하강하며, 이와 함께 인산염-인의 농도가 상승하였음을 지시한다(Fig. 5). 한편 규산염-규소는 일반적으로 지각물질의 풍화에 의하여 담수에서 높은 농도를 나타내는 수질 항목이다. 그러나 본 조사해역에서 규산염-규소는 표, 저층 모두 pH나 DO, 인산염-인에 대하여 양호한 상관관계를 나타내었는데 인산염-인과 같이 저층수 자료만 분리하였을 경우 더욱 높은 상관성을 보였다. 즉 규산염-규소 농도는 저층 환경의 산소 고갈 정도에 따라 크게 영향을 받는 것으로 보인다(Fig. 5). 용존산소와 규산염-규소와의 상관관계는 조사 해역과 인접한 고현만에 대한 조사에서도 관찰되었다(한국해양연구원, 2005). 한편 인산염-인과 규산염-규소가 용존 산소가 비슷한 조건에서 담수 유입이 많은 하계보다 적은 가을에 높게 나타났다. 이것은 폭풍에 의한 저층 퇴적물의 교란에 의한 공급이 크게 작용할 가능성(임 등, 2007; 한국해양연구원, 2007)을 고려할 수 있다.

Chl-a는 여름에 표층 0.44~5.83 μ g/L(평균 3.12 μ g/L), 저층 0.11~5.87 μ g/L(평균 2.42 μ g/L)의 범위였으며, 가을에는 표층 0.32~10.70 μ g/L(평균 2.89 μ g/L), 저층 0.21~10.30 μ g/L(평균 1.59 μ g/L)의 범위로 분포하였다. 각 수층의 평균 농도는 표층이 저층보다 높았으며, 여름이 가을보다 높았다. 표층의 수평 분포는 여름과 가을 모두 진해만에서 높고 외해로 갈수록 감소하여 외해에서는 2 μ g/L보다 낮게 나타났다. 각 시기의 표층수 중의 Chl-a와 부유물질간의 상관관계수(R)는 여름에 0.689, 가을에 0.682로 양호한 관계를 나타내어 부유물질 농도에 상당히 기여하는 것으로 보였다. 하지만 신항에 인접한 정점 4는 부유물질 농도에 비하여 낮은 Chl-a 농도를 나타내었으며, 특히 정점 4는 가을에 부유물질 농도가 높지만 Chl-a는 매우 낮은 값을 나타내는 특이성을 보였다.

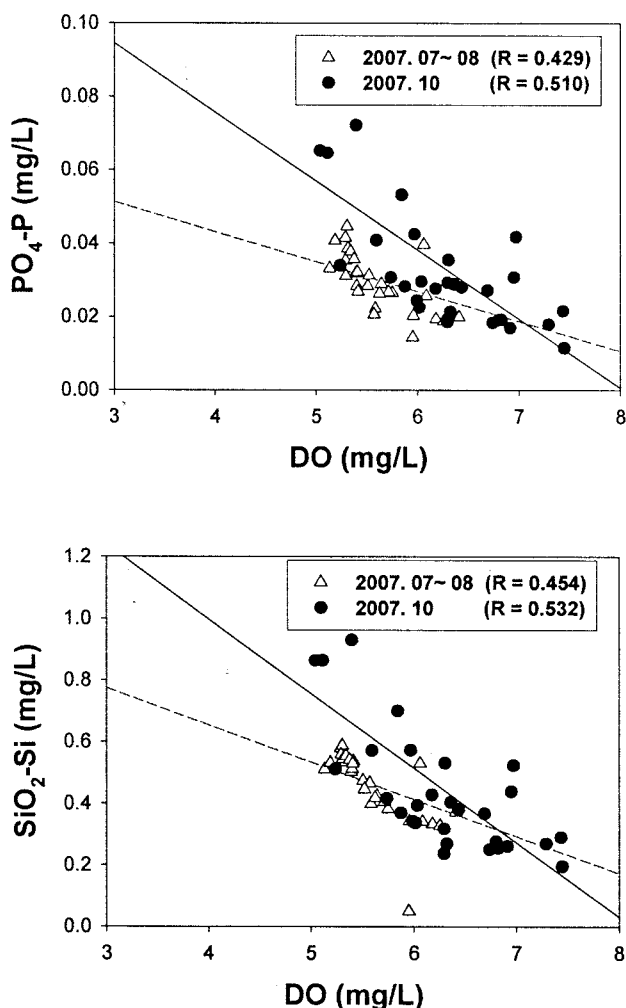


Fig. 5. Plot of DO vs. phosphate, DO vs. silicate in bottom seawater of the study area.

본 조사 해역의 규산염-규소는 여름에 표층에서 0.029~0.893mg/L(평균 0.119mg/L), 저층 0.050~0.588mg/L(평균 0.449mg/L), 가을에는 표층 0.102~0.577mg/L(평균 0.271mg/L), 저층 0.196~1.009mg/L(평균 0.453mg/L)의 범

4. 요약

진해만과 가덕도 주변 해역에서 2007년 하계와 추계 각 1회씩 표·저층수의 수질을 조사하였다. 수온은 표층이 저층보다 높았는데 여름이 가을보다 수층간 차이가 컸다. 염분은 낙동강 하구를 비롯하여 가덕도 남쪽에서도 낙동강 물의 유입 영향으

로 저염분을 나타내었다. 부유물질은 표층수의 경우 진해만 및 연안에서 높고 외해에서 낮았으며, 과거의 조사 농도 범위에 속하였다. POC는 계절별로 분포 차이가 있지만 유기물 유입원에 대한 근접성과 기초 생산에 영향을 받는 것으로 나타났다. COD는 표층에서 오염원의 영향이 많은 진해만에서 높고 외해로 가면서 낮아졌다. 여름에 진해만의 일부 정점은 해역별 수질 기준 III등급의 악화된 수질을 보였다. DO는 저층이 표층보다 낮았는데 특히 진해만 내와 외해의 깊은 수심 정점에서 차이가 크고, 하계에 성층에 의하여 수층간에 큰 차이를 나타내었다. 인산염-인과 규산염-규소는 저층수에서 용존산소가 낮아짐에 따라 높은 농도를 나타내는 경향이 강하게 나타났으며, 여름보다 가을의 높은 농도는 저층 퇴적물 교란의 가능성이 있다. 암모니아-질소도 내만의 저산소층에서 높은 농도를 보였다. 표층수의 용존 무기질소는 부산신히랑과 가덕도 주변에서 높고 진해만 서쪽 및 외해로 갈수록 낮아졌다. 총질소와 총인도 외해역으로 갈수록 낮은 농도를 보였으며, 표층보다 저층에서 높은 경향이었는데 그 현상은 여름에 더욱 뚜렷하였다. 총질소 평균 농도로는 해역별 수질기준 I 등급이지만, 정점별로는 I ~ III등급까지 변화가 컸는데 진해만 내의 저층 또는 외해의 깊은 수심인 정점에서 수질이 좋지 않았다. 향후 수질 개선과 관리 측면에서 저층 환경의 변화에 대한 정밀한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 "PM54891"과 한국해양연구원의 "PI 51502" 사업 결과의 일부이며, 연구비의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 김경태, 홍기훈, 이수형, 이동수, 김석현, 김은수 (1994), 진해만 표층수 중의 중금속 농도 분포 (1987-88), 해양연구, 제16권, 제1호, pp. 19-27.

[2] 김학균(1989). 마산만의 편모조 적조의 발생과 환경특성, 국립수산진흥원 연구보고, 제 43권, pp. 1-40.

[3] 박주석, 김종두(1967), 진해만의 적조현상에 관한 연구, 수산진흥원 연구보고, 제43권, pp. 63-79.

[4] 부경대 해양과학공동연구소. 2005. 부산신히랑 비상항로 준설(암초제거) 공사에 따른 어업피해영향조사보고서.

[5] 엄기혁(2007). 이매패 생물정화기작을 이용한 마산만의 수질 개선방안, 부경대학교 공학박사학위논문, pp. 148.

[6] 임동일, 노경찬, 장풍국, 강선미, 정희수, 정래홍, 이원찬(2007), 한국 서해 경기만 연안역에서 수질

환경의 시-공간적 변화 특성과 조절 요인, Ocean and Polar Res., 제29권, pp. 135-153

[7] 임현식(1993), 진해만의 저서동물에 대한 생태학적 연구, 부산수산대학교 이학박사학위논문, pp. 320.

[8] 장선덕, 이문옥, 김종화, 박광순, 김복기, 임기봉 (1984), 진해만 동부해역의 해수유동, 수산진흥원 연구보고, 제32권, pp. 7-23.

[9] 최민규, 문효방, 김상수, 박종수(2005), 퇴적물 내 coprostanol을 이용한 진해만의 도시하수오염 평가, 한국수산학회지, 제 38권, 제 2호, pp. 118-128.

[10] 한국해양연구원(2002), 녹산하수처리장 방류관거 공사에 따른 어업피해조사 용역, BSPI323-00-1501-3.

[11] 한국해양연구원(2005), 삼성중공업 거제조선소에 의한 어업피해 감정서, BSPG38000-1753-3.

[12] 한국해양연구원(2007), 연안해역 건강도 평가 기술 개발을 위한 예비연구, BSPE97904-1909-3.

[13] 해양수산부(2005). 해양환경공정시험방법. 400pp.

[14] Grasshoff, K., M. Ehrhardt and K. Kremling(1983). Methods of Seawater Analysis. Verlag chemie, Weinheim, G.D.R. 419pp.

[15] Hong, G.H., K.T. Kim, S.J. Pae, S.H. Kim and S.H. Lee(1991), Annual cycles of nutrients and dissolved oxygen in a nutrient rich temperate coastal bay, Jinhae Bay, J. Oceanol. Soc. Korea, Vol. 15, No. 3, pp. 204-222.

[16] Strickland, J.D.H. and T.R.P. Parsons(1972). A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin, 167pp.