

PD6) 광양만의 유기물 증가 환경에서 주요오염원과 오염원의 영향권

이영식*, 강창근¹, 최용규, 이상용
국립수산과학원, ¹부산대학교 생물학과

1. 서 론

연안해역의 물 환경을 보전하고 현명하게 지속적으로 이용하기 위해서는 그 해역의 특성에 대하여 정확히 진단해야 한다. 산림이나 논경지를 경유한 담수의 영향이 많지 않은 진해만, 산업시설이 적은 득량만과는 달리 광양만은 주변 환경이 매우 복잡하다. 따라서, 광양만의 물 환경은 복잡한 주변 환경의 영향으로 같은 만이라도 위치 별 수질환경특성이나 그 원인이 약간씩 다르게 나타날 수 있다.

이 연구에서는 광양만의 유기물 증가에 따른 효과적인 대책수립을 위한 연구의 일환으로 유기물 증가에 미치는 환경인자를 중심으로 그 수평분포 특성과 그 원인에 대하여 연구하고, 아울러 주요오염원의 영향권에 대하여 검토하는 것을 목적으로 하였다.

2. 재료 및 실험방법

이 연구는 광양만에서 하천과 산업 시설의 오염원이 유입되는 정점과 만 내부의 정점 33 곳을 선정하였으며, 수질조사는 2005년 9월 29일 간조시(11:55~14:44)에 조사하였다. 수온과 염분은 다항목수질측정기(YSI, 600XL)로 현장에서 측정하였다. 영양염과 화학적 산소요구량은 표층해수(0.3m)를 채수하여 Parsons et al.(1984)에 따라 측정하였다. 엽록소 *a*(Chl. *a*)는 여과한 후 90% acetone으로 색소를 추출하여 spectrophotometer로 측정하였다.

표층 퇴적물 시료는 2005년 10월 19일에 각 조사정점에서 그랩을 이용하여 채취하였으며, 표층 퇴적물(0.3cm)을 분석에 사용하였다. 채집된 시료는 원심분리 후 공극수를 추출하였으며, 상등액은 0.2 μ m여과지로 여과하여 영양염과 AGP(조류성장잠재능력)을 측정하였다. 공극수의 영양염은 Parsons et al.(1984)에 따라 측정하였으며, AGP실험은 대량 배양한 *Prorocentrum minimum*을 이용하여 측정하였다. 표층 퇴적물의 COD는 Parsons et al.(1984)에 의거 측정하였으며, 표층 퇴적물의 탄소안정동위원소비는 CNS 원소분석기와 연결된 안정동위원소 질량분석기를 이용하여 분석하였다. 조사된 요인들을 이용하여 각 정점간에 대해 상관분석과 WPGMA 방법으로 유집하여 군집분석을 하였다. 공극수를 이용한 조류성장잠재능력은 다중회귀분석을 통해 요인을 규명하였다. 통계적인 분석들은 SPSS 프로그램(10.1, SPSS, Inc.)을 이용 하였으며, 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 하였다.

3. 결 과

해수

최고 수온은 여수 화력발전소 등의 산업체와 가까운 정점에서 관측되었다. 염분은 섬진강 하구주변의 정점에서 가장 낮게 조사되었으며, 섬진강하구주변, 섬진강의 지류가 유입되는 광양제철소 서쪽, 동천이 유입되는 정점 주변에서 비교적 낮게 조사되었다. Chl. a는 묘도 서남쪽의 정점에서 가장 높게 조사되었으며, 다음으로 묘도 북서쪽에서 높게 나타났다. 화학적 산소요구량은 Chl. a의 수평분포와 비슷하게 조사되었다. NO_3^- -N는 섬진강 하구와 묘도 서쪽의 동천이 유입되는 곳 주변에서 높게 조사되었다. NH_4^+ -N는 남해화학 주변과 묘도 서쪽의 동천이 유입되는 곳에서 아주 높게 조사되었다. PO_4 -P는 남해화학 주변에서 아주 높게 조사되었다. SiO_2 -Si는 NO_3^- -N와 비슷하게 섬진강 하구와 묘도 서쪽의 동천이 유입되는 곳 주변에서 높게 조사되었다.

조사 정점에서 표층수의 염분은 NO_3^- -N과 SiO_2 -Si농도와 역상관 관계를 보였다. Chl. a는 NO_3^- -N과 SiO_2 -Si 농도와 역상관 관계를 보였으나, COD 농도와 정상관 관계를 보였다. 수질환경 요인들의 변이에 기초한 군집분석 결과 33개 정점은 크게 4개의 군집으로 대별되었다.

퇴적물

NO_3^- -N는 묘도 북쪽의 정점에서 높게 조사되었다. NH_4^+ -N는 해수의 NH_4^+ -N농도와 비슷하게 남해화학 주변과 묘도 서쪽의 동천이 유입되는 곳에서 아주 높게 조사되었다. PO_4 -P는 해수 PO_4 -P와 같이 남해화학 주변에서 아주 높게 조사되었다. SiO_2 -Si는 묘도 북쪽과 남해화학 주변에서 높게 조사되었다. COD의 변동범위는 9.26~19.63 mg/L (평균 15.54 mg/L)로 조사되었다. AGP는 동천 하구, 남해화학 주변에서 높게 나타났으며, 여수산단주변의 정점에서는 거의 증식하지 않았다. 탄소안정동위원소비값은 섬진강 하구, 광양제철소 서쪽, 동천하구에서 비교적 낮게 조사되었다. 퇴적물의 공극수를 이용한 AGP는 SiO_2 -Si, NO_2^- -N, PO_4 -P 농도와 정상관 관계를 보였다. NH_4^+ -N의 농도는 PO_4 -P 농도와 정상관 관계를 보였다. 조사 정점에서 해수와 공극수 농도는 NH_4^+ -N과 PO_4 -P는 정상관 관계를 보였으나, SiO_2 -Si는 역상관 관계를 보였다. 퇴적물의 환경인자들의 변이에 근거한 군집분석 결과 3개의 군집으로 대별되었다.

4. 고 찰

환경인자의 수평 변동 특성과 그 원인

섬진강하구해역은 주변해역보다 염분농도가 낮고 NO_3^- -N과 SiO_2 -Si의 농도가 높았으며, 광양시 생활하수처리장이 상류에 있는 동천 하구 해역 주변에서는 염분농도가 낮고, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, SiO_2 -Si의 농도가 높았으며, 여수산업단지 주변해역은 수온이 높고, NH_4^+ -N과 PO_4 -P의 농도가 뚜렷하게 높게 조사되었다. 이번 조사에서 광양만 전체에 대한 인자별 변동을 보면, 염분이 낮을수록 NO_3^- -N와 SiO_2 -Si농도는 증가하는 것으로 조사되었으며, NO_3^- -N과 SiO_2 -Si와는 서로 같은 거동을 보였다. 그리고, 일반적으로 생활하수에서

는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도가 높게 나타난다. 이상의 결과로부터, 섬진강 하구 주변해역에서 염분농도가 낮고 $\text{NO}_2\text{-N}$ 과 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 의 농도가 높은 것은 섬진강 담수의 영향이 큰 것으로 보인다. 그러나, 섬진강하구주변해역에서 높은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도가 관측되었다. 따라서, 단지 섬진강 담수의 영향 외 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도가 높은 동광양시의 생활하수나 주변 산업시설로부터 유입되는 산업폐수의 영향도 있는 것으로 보인다. 그리고, 동천 하구에서 염분농도가 낮고, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 의 농도가 높게 나타났으며, 그 이유는 섬진강 크기의 약 1/10인 동천의 담수 외 광양시의 생활하수 등의 영향으로 보인다. 이번 조사에서 여수산업단지 주변해역에서 높은 수온과 높은 농도의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 조사되었다. 일반적으로 발전소 주변해역에서는 냉각용 온배수의 유출이 보고되고 있으며, 여수산업단지에는 여수 화력발전소 등 산업시설이 있어, 이들 산업체에서 사용한 냉각용 온배수의 영향으로 다른 조사정점보다 상대적으로 높은 수온이 관측된 것으로 보인다. 그리고, 이미 알려진 것처럼 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도가 높게 조사된 여수산업단지 주변 해역에는 상당한 규모의 석고야적장이 있으며, 또 비료제조용으로 인광석을 사용하고 있다. 따라서, 여수산업단지 주변 해역에서 높은 농도의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 석고야적장이나 비료제조과정에서 유출된 배수의 영향으로 보인다.

표층퇴적물의 경우 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 광양제철소 남쪽해역에서 높게 조사되었다. 그 원인으로 광양제철소 또는 동광양시에서 유입된 생활하수 등의 영향으로 생각해볼 수 있으나 현재로서는 정확히 판단하기는 어렵다. 또, AGP 치는 다중 회귀분석결과 공극수의 규산염 농도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 이번 조사에서 사용한 식물플랑크톤은 *Prorocentrum minimum*로 증식에 규산염은 필요하지 않다. 따라서, 증식에 필요한 $\text{PO}_4\text{-P}$ 와 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 간에 서로 유사한 변동특성으로 인해 AGP 치와 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 간에 서로 관련성이 있는 것처럼 나타난 것으로 보인다. 이번 공극수에서는 용존 무기인과 서로 관련성이 많은 것으로 조사되어 질소는 풍부하고 인이 제한인자로 작용함에 따라 AGP 치와 인과 서로 유사한 변동특성이 나타난 것으로 해석된다.¹³C의 경우 섬진강 하구, 광양제철소 서쪽, 동천 하구에서 비교적 낮게 나타났다. 일반적으로 해양 식물플랑크톤과 육상고등식물의 그 값은 각각 -20‰, -28~-25‰인 점을 감안하면(Kang et al., 2003; Chung et al., 1999) 섬진강 하구나 동천하구에서는 육상고등식물의 유기체설물의 유입에 따른 영향으로 보이며, 하구 지역은 담수 유입에 의한 육지기원 탄소원의 영향이 더 큰 것으로 판단된다. $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 농도는 여수 산업단지의 남쪽 해역주변에서 높게 조사되었다. 그리고 이들 인자는 서로 유사한 농도 거동을 보여 서로 그 기원이 같은 것으로 보인다. 여수 산업단지의 영향으로 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 농도가 같이 높게 조사된 것으로 보인다.

이상의 수질과 퇴적물의 조사 결과로부터 광양만에서 유기물변동에 영향을 미치는 환경인자에 대한 주요 오염원은 크게 섬진강과 동천 등의 담수, 광양시 생활하수, 여수산업단지로 크게 나누어볼 수 있다.

주요오염원의 영향권

해수와 퇴적물의 환경인자에 대한 수평분포 특성과 해수의 흐름 등을 고려하여 주요 오염원의 영향권을 구분해보면 다음과 같이 정리할 수 있다. 섬진강 담수의 영향을 많이 받는 해역(I)은 남북으로는 하동 갈사에서 여수해만 입구까지와 동서로는 광양제철소 끝부분에서

남해도 서쪽 부분까지로 보인다. 광양시와 동천의 영향이 큰 해역(II)은 주로 묘도 내해로 보이며 일부는 묘도의 남·북수로까지 영향을 미칠 것으로 보인다. 여수 산업단지의 영향을 많이 받는 해역(III)은 여수산업단지 인근 해역을 중심으로 서쪽으로는 묘도 서쪽 끝에서 동쪽으로는 여수해만의 입구 정도로 보인다. 그리고, 오염원의 영향권 별 수질환경인자의 특성으로는 섬진강 담수의 영향을 많이 받는 해역(I)은 낮은 염분, 높은 농도의 NO_3^- -N과 SiO_2 -Si, 담수와 생활하수의 영향이 큰 해역(II)은 낮은 염분, 높은 농도의 NO_3^- -N, NH_4^- -N, SiO_2 -Si, 여수 산업단지의 영향을 많이 받는 해역(III)은 표층해수의 경우 높은 수온, 높은 농도의 NH_4^- -N과 PO_4^- -P, 퇴적물의 경우 높은 농도의 NH_4^- -N, PO_4^- -P, SiO_2 -Si로 특징 지을 수 있을 것으로 보인다. 물론 이러한 구분은 조류의 세기, 강우의 형태 등에 따라 크게 달라지기 때문에 그 영향권을 정확히 구분하기는 어렵다. 그러나, 연안해역의 특성을 고려하고, 효과적인 수질관리 대책을 세우기 위해서는 필요한 과정이라고 생각한다.

5. 요약

유기물 증가에 미치는 환경인자를 중심으로 그 수평분포 특성, 원인, 주요오염원의 영향권에 대하여 검토하기 위해 표층 해수와 표층 퇴적물을 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 유기물변동에 영향을 미치는 인자에 대한 주요 오염원은 크게 섬진강과 동천 등의 담수, 광양시 생활하수, 여수산업단지로 크게 나누어볼 수 있었다. 해수와 퇴적물의 환경인자에 대한 수평분포 특성과 해수의 흐름 등을 고려하여 이들 주요 오염원의 영향권을 구분한 결과, (I) 섬진강 담수의 영향을 많이 받는 해역, (II) 광양시와 동천의 영향이 큰 해역, (III) 여수 산업단지의 영향을 많이 받는 해역으로 나누어졌다. 그리고, 오염원의 영향권 별 수질환경인자의 특성으로는 섬진강 담수의 영향을 많이 받는 해역은 낮은 염분, 높은 농도의 NO_3^- -N과 SiO_2 -Si, 담수와 생활하수의 영향이 큰 해역은 낮은 염분, 높은 농도의 NO_3^- -N, NH_4^- -N, SiO_2 -Si, 여수 산업단지의 영향을 많이 받는 해역은 표층해수의 경우 높은 수온, 높은 농도의 NH_4^- -N과 PO_4^- -P, 퇴적물의 경우 높은 농도의 NH_4^- -N, PO_4^- -P, SiO_2 -Si로 특징지을 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- Chung, C. S., Kim, S. H., Kang, D. J., Park, Y. C., Yoon, C. O. and Hong, G. H., 1999, A Study on the Evolution of Eutrophication in Masan Bay by Analyses of Pigment Derivatives from a Sediment Column. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 4, 101-106.
- Kang, C. K., Kim, J. B., Lee, K. S., Kim, J. B., LEE, P. Y and Hong, J. S, 2003, Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses, *Marine Ecology Progress Series*, 259, 79-92.
- Parsons T. R., Maita Y. and Lalli C. M., 1984, *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*, Pergamon Press, New York.