

PD2) 가막만 소호해역에서 태풍 전후 수질 변동특성

이영식

국립수산과학원 양식환경연구센터

1. 서 론

가막만은 북쪽으로 여수반도, 동쪽으로는 돌산도, 서쪽은 고돌산반도, 남쪽에는 개도 등 몇몇 섬들에 의해 둘러 쌓여 있는 타원형 내만이다. 평균수심은 약 9m인 천해로서 대조차는 약 3m이고, 만내의 해수는 조류에 의해 여수항과 돌산도 사이의 북쪽의 좁은 수로와 남쪽의 크고 작은 여러 수로로 흐른다. 만 내에는 굴, 홍합 등 패류양식장이 산재해 있고 비교적 청정한 내만해역으로 환경보전해역으로 지정되어 있다. 그러나, 가막만 북부의 소호 주변해역은 여천시의 생활하수 등이 유입되고, 빈산소 수층과 적조가 자주 발생하는 등 부영양화에 따른 여러 문제가 발생하고 있는 해역이다. 특히, 여름철에는 악취가 발생하여 심미적으로 사람에게 나쁜 영향을 미치고 있다.

연안해역을 효과적으로 관리하고 이용하기 위해서는 해당 해역의 수질변동 특성에 대해 정확한 진단과 충분한 이해가 필요하다. 그러나, 만 전체의 수질변동특성에 대한 광역조사 연구 또는 계절변동 조사 연구는 많지만(Cho et al., 1998; Moon and Kwon, 1994), 적조, 호우, 태풍 등 이상 해황이 발생한 경우에 대한 해역의 수질변동 특성에 대한 연구는 많지 않고(Cho et al., 2004), 그 변동 특성에 대해서도 잘 알지 못하고 있다.

이 연구에서는 유기물 증가원인과 근본적인 대책 연구의 일환으로 부영양화된 여수시 가막만 북부의 소호 주변해역에서 태풍 발생 전후의 수질변동 특성을 살펴보았다.

2. 재료 및 실험 방법

조사해역은 여수시 가막만 북부의 소호 인근해역을 대상으로 하였다. 조사 시기는 강우량이 많고 태풍이 발생한 2005년 8월 22일부터 9월 15일까지이며, 2~6일 간격으로 현장을 조사하였다. 기상 자료는 조사해역과 가장 가까운 여수지방기상대에서 관측한 자료를 참고하였다(<http://www.kma.go.kr>).

수온, 염분, pH, 용존산소(DO), 클로로필(Chl.)은 다항목 수질측정기(6920, YSI)로 현장에서 0.2, 1, 2, 3, 4, 5, 6m 층에서 측정하였으며, 영양염(NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P, SiO₂-Si)과 화학적 산소요구량(COD)은 0.2, 2, 4, 6m층에서 채수하였다. 영양염은 GF/F 여과지로 여과 후 분석하였으며, 화학적 산소요구량은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 분석하였다.

현장 식물플랑크톤을 이용한 조류성장잠재능력은 표층해수(0.2m)를 망목크기가 100 μ m인 나일론 여과막으로 대기압 하에서 자연 여과하여 동물플랑크톤을 제거하였다. 영양염 첨가계는 영양염을 첨가하지 않은 대조구(control), 질소첨가계(+N), 인첨가계(+P) 및 식물플랑크톤 증식을 확인하기 위한 질소-인 혼합 첨가계(+N+P)를 설정하였다. 질소첨가계는 80

mg $\text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ l}^{-1}$ 원액을 첨가하여 첨가 후의 농도를 20 μM 로, 인첨가제는 27 mg $\text{KH}_2\text{PO}_4 \text{ l}^{-1}$ 원액을 첨가하여 첨가 후의 농도를 2.0 μM 로 하였다. 동물플랑크톤을 제거한 해수 5 ml를 영양염 첨가 후의 시험관에 분주하고 silicon마개로 뚜껑을 하였다. 배양은 15 ml의 시험관을 사용하였다. 온도 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, 광도 $140 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ (12:12 h L:D cycle)에서 정지 배양하였으며, 매일 1회 시험관 교반기를 사용하여 시험관 바닥에 침전한 식물플랑크톤을 교반시켰다. 증식량은 광합성효율 측정기(PHYTO-PAM chl fluorometer)로 모니터링하였다. 모든 조류성장잠재능력은 같은 시료에 대하여 3회 실시하여 그 평균치를 결과로 하였다.

3. 결과 및 고찰

$\text{NH}_4\text{-N}$ 의 변동범위는 0.02~18.22 μM (평균 2.17 μM)였으며, 표층에서는 염분농도가 가장 낮았던 8월 25일에 18.22 μM 로 가장 높게 나타났으며, 8월 29일 이후부터 9월 9일까지는 1 μM 이하로 조사되었으며, 그 이후 약간 증가하였다. 수심별 변동은 8월 22일부터 29일까지 용존산소 포화도가 낮은 4m 이하의 수심에서 2.53 μM 이상으로 중층보다 높게 조사되었으며, 태풍이 통과한 9월 7일경에는 표, 저층의 농도는 거의 비슷하게 1 μM 이하로 조사되었다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 변동범위는 0.12~38.90 μM (평균 4.39 μM)였으며, $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 같이 표층에서는 염분농도가 가장 낮았던 8월 25일에 38.90 μM 로 가장 높게 나타났으며, 9월 1일 이후부터 9월 9일까지는 2.5 μM 이하로 조사되었으며, 그 이후 약간 증가하였다. 수심 별 변동은 8월 22일부터 29일까지는 수심이 증가할수록 그 농도는 낮아졌으며, 9월 1일부터 9월 9일까지는 수심 별 큰 차이는 없었고, 12일에는 저층에서 높게 나타났다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 변동범위는 ND~1.58 μM (평균 0.44 μM)였으며, $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도와 비슷하게 변동하였다. 즉, 표층에서는 8월 25일에 1.28 μM 로 가장 높게 나타났으며, 8월 29일 이후부터 9월 12일까지는 0.3 μM 이하로 조사되었으며, 그 이후 증가하였다. 수심별 변동은 8월 22일부터 29일까지 용존산소 포화도가 낮은 4m 이하에서 0.9 μM 이상으로 중층보다 높게 조사되었으며, 태풍이 발생한 9월 7일경에는 표, 저층의 농도는 거의 비슷하게 0.1 μM 이하로 조사되었으며, 그 이후에는 시간이 경과함에 따라 모든 조사 층에서 증가하였다. $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 의 변동범위는 0.46~52.10 μM (평균 15.30 μM)였으며, 호우 후 8월 25일에 표층에서 52.10 μM 로 아주 높게 조사되었다. 그리고, 9월 7일경 태풍이 발생한 후에도 표층에서 아주 높게 조사되었다. 저층에서는 $\text{PO}_4\text{-P}$ 와 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 마찬가지로 8월 22일부터 8월 29일까지 4m 이하의 수심에서 10.63 μM 이상으로 높게 조사되었다.

클로로필의 변동범위는 4.2~311.0 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 22.5 $\mu\text{g/L}$)였으며, 태풍이 지나간 후의 9월 9일 표층에서 가장 높게 나타났으며, 9월 7일 저층에서 가장 낮게 나타났다. 수층별 범위는 9월 12일을 제외한 기간 동안 표층에서 높았고, 저층으로 갈수록 낮게 나타났다. 9월 9일에 아주 높게 조사된 시기의 원인 생물은 *Scrippsiella trochoidea*였으며 농도는 42,000cells/mL였다. 화학적 산소요구량의 변동범위는 0.79~10.55 mg/L (평균 2.58 $\mu\text{g/L}$)였으며, 태풍이 지나간 직후인 9월 7일에 가장 낮았으며, 클로로필의 농도가 아주 높았던 9월 9일에 가장 높게 나타났다. 수심별 농도는 대부분 저층에서 낮게 나타났다.

질소, 인을 첨가한 조류성장잠재능력의 조사결과는 모두(8월 29일, 9월 1일, 9월 7일, 9월

9일) 질소-인 혼합첨가계에서 증식량이 가장 크게 증가하였다. 우점종은 8월 29일, 9월 1일, 9월 7일에는 규조류였으며, 9월 9일에는 *S. trochoidea*로 조사되었다. 그리고, 시기별 조류성장잠재능력(AGP, 대조구)은 8월 29일, 9월 1일, 9월 7일, 9월 9일에 각각 50, 53, 210, 590 ug/L (Phyto-pam Chl. a)로 태풍발생 후에 아주 높게 조사되어 강한 바람이 식물플랑크톤의 이상증식과 관련이 있는 것으로 나타났다. 또, 호우 후나 태풍 발생과 무관하게 대조구나 인 첨가계보다 질소첨가계에서 그 증식량이 증가하여 인보다는 질소가 상대적으로 부족한 것으로 나타났다. 따라서 식물플랑크톤의 증식을 제어하기 위해서는 질소의 제어가 가장 중요한 것으로 판단할 수 있다.

4. 요약

유기유기물 증가원인의 파악과 근본적인 대책에 대한 연구의 일환으로 부영양화된 연안 해역에 대하여 태풍 발생 전후의 수질변동에 대하여 조사하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 용존산소 포화도는 수온과 염분 약층이 형성된 시기에 저층에서 54% 이하로 관측되었다. 태풍이 지나간 직후에는 표층과 저층에서 거의 비슷한 용존산소 포화도(78~88%)가 조사되었다. 그리고, 태풍이 지나간 3일 후 식물플랑크톤이 대량으로 증식한 표층에서 용존산소 포화도가 234%로 아주 높은 값이 관측되었고, 저층(5m)에서도 90%가 조사되어, 태풍과 식물플랑크톤의 이상 증식이 저층의 용존산소 포화도를 높이는 작용을 한 것으로 보인다.
- 2) 염분이 가장 낮았던 시기에 표층에서 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 의 농도가 각각 18.22, 38.90, 52.10 μM 로 아주 높게 조사되었으며, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 는 용존산소가 낮은 저층에서도 높게 나타났다.
- 3) 클로로필은 최고 311.0 $\mu\text{g/L}$ 가 태풍 후에 관측되었으며, 그 원인 생물은 *Scrippsiella trochoidea* (42,000cells/mL)였다. 조류성장잠재능력은 태풍발생 후에 아주 높게 조사되었으며, 항상 질소가 부족한 것으로 조사되었다.
- 4) 화학적 산소요구량은 최고 10.55 mg/L였으며, 태풍으로 저층 퇴적물로부터 부유되는 유기 오탁 물질이 화학적 산소요구량 증가에 미치는 기여도는 크지 않은 것으로 보이며, 화학적 산소요구량 증가의 대부분이 식물플랑크톤의 증식에 기인한 것($r^2=0.612$, $p<0.0001$)으로 조사되었다.

참 고 문 헌

- 해양수산부, 2002. 해양환경공정시험방법. 해양수산부, 330pp.
- Cho, H.-S., D.-I. Lee, Y.-H. Yoon, M.-O. Lee and D.-M. Kim, 2004. Temporal variation of water quality the western Chinhae Bay in summer. Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering. 7: 13-21
- Cho, K.-J., M.Y. Choi, S. K. Kwak, S. H. Im, D. Y. Kim, J. G. Park and Y. E. Kim, 1998. Eutrophication and seasonal variation of water quality in Masan-Jinhae Bay.

The Sea, Journal of the Korean Society of Oceanography, 3: 193-202

Moon, C. H. and K. Y. Kwon, 1994. Seasonal Variations of Particulate Biogenic Silica in the Nakdong River Estuary. The Journal of the Korean Society of Oceanography, 29: 5-16