

조홍연, 채장원

한국해양연구소 연안·항만공학연구센터

1. 서론

진해·마산만 해역의 수질오염문제는 1970년대부터 부각되어 현재 많은 연구가 지속적으로 수행되어 수질환경에 대한 자료가 타 해역에 비하여 매우 많은 편이다. 그러나, 축적된 수질자료는 연구사업의 목적에 따라 측정지점, 빈도(측정시기), 항목 등이 서로 다른 경우가 많으며, 장기적인 수질변동 양상을 체계적으로 파악하기 위한 연구도 타 해역과 마찬가지로 매우 미진하였다. 장기간의 해역의 수질변동 분석은 유역의 오염물질 발생 조건의 변화 및 이에 대한 해역의 반응이 서서히 진행되기 때문에 수질환경관리에 있어서 매우 중요한 요소이다. 따라서, 본 논문에서는 진해만의 장기간에 걸친 관측자료를 수집하여 COD 및 영양염류 항목의 장기적인 농도변화 추이 및 계절적인 특성을 분석하였다.

2. 장기간 수질자료의 현황 및 문제점

진해·마산만의 수질환경에 대한 관측 및 연구(한국해양개발연구소, 한국해양연구소, 경남대학교 등)는 대부분 오염이 심한 하계에 2~3회 정도의 비정기적 측정 또는 표층측정으로 제한되어 있는 경우가 많다. 또한, 오염이 심한 마산만 해역에 관측이 집중되어 마산만의 수질자료가 진해만에 비하여 매우 많다. 그러나, 이러한 기존 자료에 대한 분석 및 검토, 장기간의 진해·마산만 오염진행양상 파악 등에 대한 연구는 수행되지 않았다. 그 이유는 첫째로 측정빈도 및 지점의 차이에 따라 수질농도의 변화 폭이 심하고, 지속적인 관측에서 중요한 사안에 해당하는 일관성(지점 및 측정빈도)이 결여되어 있기 때문에 장기간 수질자료를 이용한 통계적인 분석을 체계적으로 수행하는 것은 거의 불가능하다. 둘째로, 관측된 수질항목의 분석능력 및 연구기관의 수질자료 QC(quality control) 수준도 차이를 보일 수 있으나, 실질적으로 이에 대한 파악이 어렵다. 다만, 수질변화 양상에 대한 분석만이 가능할 뿐이다.

3. 분석방법 (영역분할 및 추이분석항목)

수질농도는 관측지점 및 시기에 따라 큰 차이가 있다. 특히, 관측지점이 다른 경우에는 직접적인 수질의 비교 및 시간에 따른 수질변동 파악에 제한이 따르기 때문에, 관측지점이 일관성이 없는 경우에는 지점별 분석보다는 영역별 비교·분석이 타당하다. 영역별 평균과정에서도 측정지점의 차이에 의한 영향이 포함되기 때문에 가능한 측정지점을 많이 포함하도록 영역을 확대하여 제시된 값이 대표성을 가질 수 있도록 하였다. 따라서, 본 연구에서는 대상 연구해역을 가용한 수질자료, 오염부하특성, 해역의 흐름 및 측정지점의 수를 고려하여 4개 영역으로 분할하였다(그림. 1). 수질자료가 진해만에 비하여 풍부한 마산만 및 진해만 북부해역(해양방류 지역)은 소모도를 경계로 하여 2개의 영역으

나, 1995년 이후의 재증가 및 COD 항목의 변동성(variability)이 크기 때문에 수질의 증가·감소경향을 보다 장기적인 관점에서 명확하게 파악하기 위해서는 대표지점을 선정하여 지속적인 관측을 통한 신뢰성있는 자료분석을 수행하여야 한다.

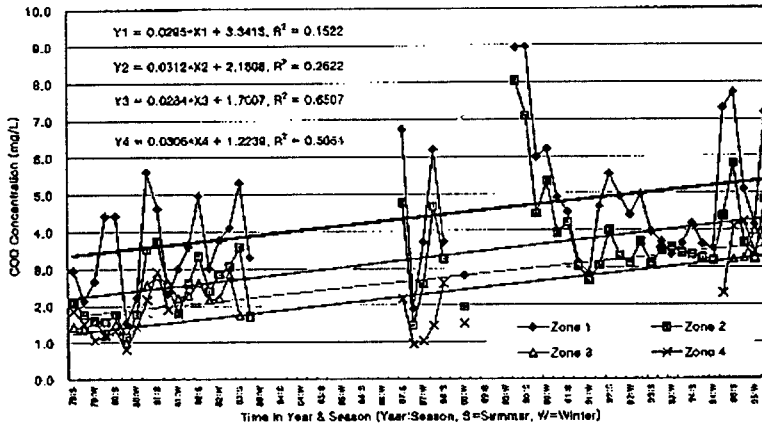


그림 2 COD 항목의 장기적인 수질변동 추이(1979~1995)

4.2 영양염류

총질소 농도는 III, IV 영역의 경우 1980년대 초반까지 III 등급 수준(0.2 mg/l 이하)을 유지하였으나, 1980년대 중반부터는 III 등급 수준을 상회하고 있다(그림 3). 특히, II 영역은 지속적인 농도증가(0.1 --> 0.8 mg/l)가 뚜렷하다. I 영역도 지속적인 증가추세를 보이고 있으며 1990년 이후 농도 증가폭이 둔화되고 있으나, 절대적인 농도는 높은 상태이다. 1980년대의 I 영역과 II 영역의 총질소 농도의 차이가 1990년대 이후 다소 작아지는 경향을 보이고 있다. 총인의 농도는 I, II 영역이 대등한 오염도를 보이고 있으며, 농도변화가 계절에 따라 매우 크게 나타나고 있다. III, IV 영역은 III 등급(0.03 mg/l 이하) 및 등급의 수준의 수질을 유지하고 있다(그림 4). 총인은 장기적으로 감소하는 추세를 보이고 있으나, 계절적인 변동 폭이 0.1 mg/l로 매우 크기 때문에 분석기간동안의 장기적인 변화량은 무시할 만한 정도로 사료된다. 총질소 및 총인의 오염도는 영역별로도 차이가 있으나, 절대적인 오염도가 심각한 상태인 것으로 파악된다. 한편, I 영역은 준설 및 하수처리장 건설·운영에 의한 효과가 예상되지만, 총인 및 총질소의 관점에서 보면 명확한 수질개선 경향은 보이지 않는다. 등급 I 해역의 수질은 수산생물의 서식, 양식 및 산란에 적합하여야 한다는 기준과 등급 III 해역은 공업용 냉각수 선박의 정박 등에 이용되는 수질에 해당한다는 점을 감안하면, 진해·마산만 전체 해역의 수질오염이 매우 심각한 상태에 있음을 알 수 있다.

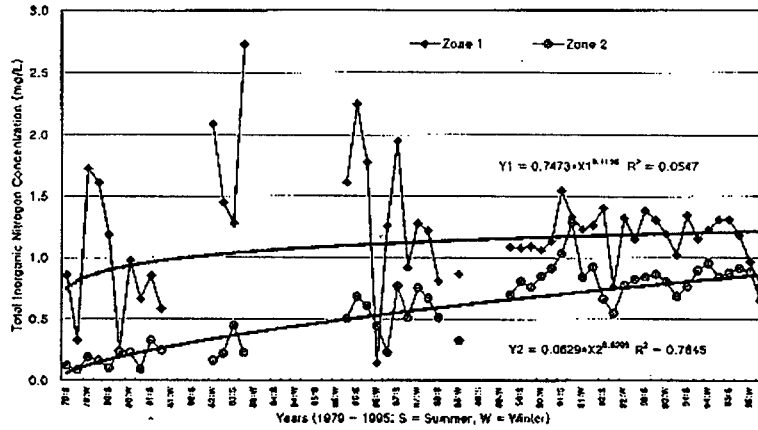


그림 3 TN 항목의 장기적인 수질변동 추이(1979~1995)

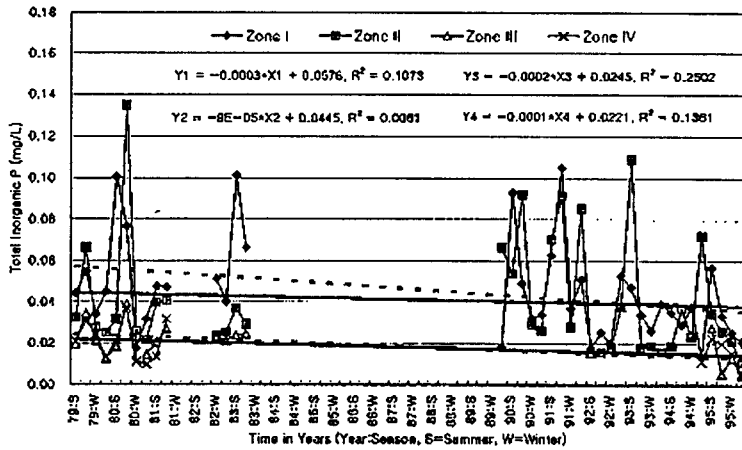


그림 4 TP 항목의 장기적인 수질변동 추이(1979~1995)

5. 결론 및 제언

진해만의 장기간 수질변동 추이를 분석한 결과, COD 항목은 전 영역에서 지속적으로 증가하는 추세이나, 준설기간의 자료만을 분석한 결과 I, II 영역에서는 1990년 5~7 mg/l 범위에서 1994년 3~4 mg/l 범위로 뚜렷하게 감소한다. 반면, II 영역에서는 총질소 농도가 0.1 mg/l에서 0.8 mg/l로 증가하나, 총인의 농도는 계절적인 편차가 0.1 mg/l 정도로 매우 크기 때문에 증가·감소 경향을 파악하기가 곤란한 실정이다. 해역의 오염도는 마산만 → 방류해역 → 양식장 → 진해만 영역 순으로 명확하게 구분되고 있으나, COD 및 영양염류 항목에서는 전체 해역이 절대적으로 심한 오염상태, 즉 III 등급 및 등급외 해역 수준의 수질에 해당한다. 또한, 1986~88년 I 영역의 총인, 총질소의 농도가 각각 2.0 mg/l, 0.5~1.0 mg/l 정도로 가장 높게 나타났으며, 1990년 이후 각각 1.2 mg/l, 0.06 mg/l 이하로 다소 낮아지는데, 이는 마산만 수질개선사업의 영향으로 판단된다. 그러나, 진해만 영역(III, IV)의 수질은 수질개선사업에 관계없이 악화되고 있으며, 해양방류해역(II)도 마산·창원유역에서 발생·처리한 하수(질소 및 인 항목 未處理)의 해양방류에 의한 영향으로 해역의 부영양화가 진행되고 있다.

비교적 장기간의 수질자료가 축적되어 있는 진해·마산만의 경우, 관측지점 및 관측빈도 등의 불일치 등으로 인하여 통계적인 방법에 의한 장기간의 수질변화 추이분석에 상당한 어려움이 있다. 따라서, 장기 수질변화(오염도) 추이분석을 위해서는 대표 지점에 대하여 지속적이고 일관적인 수질측정이 수행되어야 하며, 해역에서의 수질농도와 더불어 육지에서의 오염부하량 및 오염된 퇴적물에서의 내부오염부하량 등에 대한 보조측정이 병행 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 이찬원, 1991. 진해만 일원 오염실태 조사보고서, 경남대학교, 환경처
- 박정희, 1987. 마산만의 영양염류 동태에 관한 연구, 한양대학교.
- 위성욱, 1994. 대규모 하·폐수종말처리장의 해양방류에 따른 마산만의 환경변화, 경남대학교.
- 해양개발연구소(해양연구소), 1980~1983. 진해만의 적조 및 오염모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구, 한국과학기술연구소.
- 해양연구소, 1987. 진해만의 질소화합물 순환에 대한 연구, 한국과학기술원
- 한국해양연구소, 1991. 연안오염의 진행과정 및 변화예측연구, 과학기술처.
- 한국해양연구소, 1995~1996. 연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구, 과학기술처.