

김동명<sup>\*</sup>, 박정길, 이석모, 김광수<sup>1</sup>

부경대학교 환경공학과, 목포해양대 해상운송시스템학부

## 1. 서론

황해는 한반도와 중국대륙에 의해 둘러싸이고 남쪽으로는 동중국해와 연결된 반폐쇄적인 만 형태를 갖춘 연해로 최근 주변국가의 급속한 경제성장과 함께 임해공업단지의 건설 등으로 인하여 막대한 양의 생활하수와 산업폐수가 황해로 유입되고 있고 매년 증가되고 있는 해상사고로 인하여 황해의 수질오염이 심각한 문제로 대두되고 있다. 황해로 유입되는 오염물질의 양이 증가하면서 수역의 부영양화가 급격히 진행되고 있으며, 한반도 서해안과 중국 동해안은 부영양화 현상이 심화되어 하계에 적조의 발생이 빈번하고 저층의 용존산소가 저하되어 빈산소수괴가 형성되는 등 수질악화로 인하여 각종 수산자원에 악영향을 주고 있다.(이, 1993; UNEP, 1992; 柳, 1994; 中國國家環境保護總局, 1998).

일반적으로 적조현상은 적절한 기상조건, 수온, 염분, 영양염의 조건에 따라 식물플랑크톤이 짧은 시간에 폭발적으로 증식하는 것으로 그 발생기작은 명확하지 않으나 대개 부영양화된 해역에서 빈번하게 발생하며, 이런 현상들을 근원적으로 제어할 수 있는 가장 근본적인 대책은 해역이 부영양화 되는 것을 방지하는 것이고 이미 부영양화 되어 있는 경우에는 이를 중영양이나 빈영양해역으로 만드는 저감 기술을 수립할 필요가 있다. 또한 황해에서의 오염현상은 초국경적(transboundary)인 현상을 띠고 있어 인접국 각각으로부터의 오염물 유입 및 거동에 관한 정량적인 파악이 필요하다(이, 1993).

부영양화를 제어하고 저감하는 기술을 개발하기 위해서는 부영양화를 유발하는 물질의 유입 및 이동에 대한 정밀한 조사가 있어야 하며, 영양염과 식물플랑크톤과의 관계에 관한 생태계의 제인자에 대한 연구를 통하여 이를 제어할 수 있는 대책방안을 밝혀야 한다. 이러한 생태계에 대한 총괄적인 접근을 위해서는 해역 내에서 식물플랑크톤의 광합성을 규정하는 질소 및 인의 순환을 포함한 생태학적 관련인자의 관계를 포함한 생태계 모델의 이용이 필수 불가결하다(Jørgensen, 1994; 日本水産資源保護協會, 1989).

따라서 본 연구에서는 부영양화 현상과 이로 인한 환경악화 현상과 관련된 중요과정을 정량적으로 파악하기 위해서 생태계모형을 이용하여 황해의 부영양화 현상을 파악하고 부영양화 현상의 저감에 영향을 미치는 인자를 평가하고 대책을 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

황해의 수질특성을 조사하기 위하여 1996년 7월과 8월 및 1997년 6월에 현장조사를 실시하였다. 3차원 유동모델(COSMOS)을 이용하여 황해의 해수유동을 재현하였으며(日本通商産業省, 1991), 기존의 생태계모형(EUTRP2)을 각기 다른 특성을 가지는 수괴가 공존하는 대상해역에 적합하도록 수정·보완한 후 부영양화 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저, 수질현황을 재현한 후 지역별·수심별 영양염 제한인자의 분포형태와 물리과정량을

저, 수질현황을 재현한 후 지역별·수심별 영양염 제한인자의 분포형태와 물리과정량을 산정하여 대상해역의 특성을 파악하고, 시나리오 분석을 통하여 식물 플랑크톤의 생산에 미치는 영향을 정량적으로 조사하여 부영양화 현상의 저감에 영향을 미치는 인자를 평가하였다.

### 3. 결론

부영양화 모델링을 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 생태계모델을 이용한 황해의 수질 시뮬레이션에서 나타난 chlorophyll a와 DIN, DIP의 계산치와 27개 정점의 실측치를 비교한 결과, chlorophyll a의 상대오차는 21.7%, 용존무기질소는 27.2%, 용존무기인은 25.7%로 나타났다. 상관계수  $r$ 은 chlorophyll a의 경우는 0.970, 용존무기질소의 경우는 0.916, 용존무기인의 경우는 0.918로 나타났으며, 결정계수  $r^2$ 는 chlorophyll a의 경우는 0.941, 용존무기질소의 경우는 0.839, 용존무기인의 경우는 0.842로 각 수질항목은 양호하게 재현된 것으로 나타났다.

2) Chlorophyll a의 물리과정량 분포는 주로 한반도 연안지역과 발해만 연안의 일부지역, 양자강 하천수의 영향을 받는 양자강 하구해역 및 산둥반도 인근해역에서 양의 값을 나타내어 chlorophyll a의 물리적인 축적현상이 주로 이들 지역에서 일어나는 것으로 나타났다.

3) 대상해역의 표층의 경우 대부분의 지역에서는 용존무기인이 제한인자로 나타나, 식물플랑크톤이 용존무기질소보다 용존무기인에 의해서 상대적으로 더 제한 받는 것으로 나타났다.

4) 황해로 유입하는 주요 하천의 부하량을 단계적으로 증감시켜 생태계모델을 시뮬레이션 한 결과 chlorophyll a와 부영양화 지수(Eutrophication Index)의 변화를 파악하였다. 하천에서 유입되는 오염부하 모두를 일률적으로 저감시켜 시뮬레이션 한 결과 총부하의 90%감소시킨 경우 부영양화 지수는 양자강 외해역에서 1.0이상의 지역이 나타났으며, 이외의 지역에서는 1.0이상의 지수값을 나타내는 지역이 소멸되었다. 영양염부하만을 90% 줄인 경우는 경기만 인근해역에서는 1.0이상을 나타내는 지역이 소멸되었으며, 양자강 인근해역에서는 부영양화 지수는 다소 감소하였으나 그 크기의 변화는 나타나지 않았다.

5) 총부하를 5배 증가시킨 경우는 양자강 인근해역에서 부영양화 지수가 급격히 높아지는 형태를 나타내었고 그 지역적인 크기도 외해쪽으로 확장되는 형태를 나타내었으며, 한반도 연안역과 발해만의 내측에서도 부영양화 지수가 급격히 높아지는 현상이 나타났다. 영양염부하를 제외한 부하만을 5배 증가시킨 경우는 양자강 인근해역에서 부영양화 지수가 급격히 높아지는 형태를 나타내었고 그 이외의 지역에서는 총부하를 5배 증가시킨 경우보다 증가폭이 둔화되는 형태를 나타내었다.

따라서 이상의 결과로 볼때, 유기물형태로 유입되어 해역에서 분해되어 공급되는 영양염과 내부부하와 관련해서 공급되어지는 영양염으로 인하여 하천을 통한 영양염부하의 감소효과가 크게 나타나지 않아 영양염 부하만을 제어하는 경우보다 총부하를 제어하는 것이 부영양화 현상을 저감하는데 효과적인 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- 이광우(1993): 황해의 환경보전을 위한 국제협력연구의 현황과 전망. J. Oceanol .Soc. Kor. 28(4), 332~338.
- 柳哲雄(1994): 黄海·東シナ海の物質輸送. 沿岸海洋研究ノート. 31(2), 239~256.
- 日本水産資源保護協會(1989): 漁場環境容量 對策事業 報告書. 制1分冊
- 日本通商産業省(1991): 兵名湖·磐田地域 産業公害 總合事前調査. 資源環境技術研究所.
- 中國國家環境保護總局(1998): 1997年度 中國環境狀況公報.
- Jørgensen, S. E.(1994): Fundamentals of Ecological Modelling. 2nd ed., Elsevier
- UNEP(1994): Environmental Data Report 1993-1994. 408p.