

## 해양환경-P3 시화호 해역 환경용량 산정

김형철\*, 최우정, 이원찬, 구준호, 이필용  
국립수산과학원 환경관리과

### 1. 서론

시화호는 우리나라 서해안 중부에 위치한 작은 만으로 수도권 인구의 분산 및 공업용지 확보에 기여하고 농지와 담수호를 조성하여 2000년대의 안정적 식량 공급을 위해 1994년에 방조제를 축조하였다. 그러나 방조제 완공 후 해양환경과의 단절로 해수 유출입이 제한되었고, 특히 안산시를 중심으로 한 도시인구의 급격한 증가와 공업단지 형성, 농촌지역의 가축사육 증가로 유역으로부터 유입되는 오염물질이 담수호 내에 축적되어 수질 악화가 가속화되었다.

시화호의 수질이 극히 악화됨에 따라 담수호의 기본 기능을 포기하고 1997년부터 정기적으로 오염된 담수를 방류하고 외해수를 유입시키기 시작하였으며, 1998년에는 배수갑문을 상시 개방하였다. 그 결과 배수관문을 통해 제한적인 해수 혼합이 일어나고 관문 부근의 환경은 개선된 것으로 나타나고 있으나, 아직까지 방조제 건설 이전의 수질을 회복하지 못하고 있는 실정이다(해양연구소, 1998; 해양수산개발원 등, 2000).

지금까지 시화호의 수질관리를 위해 많은 연구가 수행된 바 있으나 대부분 담수호로 가정하고 수립되었으며, 수문을 개방하여 이미 해수화된 시화호는 담수호와 다른 수질 변동 특성을 보일 것으로 사료된다. 시화호의 수질관리를 위해 무엇보다 중요한 것은 해수의 유입에 따른 물질순환과 수질변화 정도를 이해하는 것이나 이것은 해수유동, 육상기원 오염부하량, 영양염류, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤 등의 복잡한 생태계 내 물질순환 과정으로 이어진다. 따라서, 본 연구의 목적은 생태계모형(中田等, 1985; 藏本 및 中田, 1991)을 이용하여 시화호의 물질순환과정을 모델화하고, 현 상태의 수질을 재현하여 육상기원 오염부하 및 퇴적물로부터의 용출 부하량이 수질에 미치는 영향의 정도를 예측하고 대상 해역의 환경용량을 산정하고자 한다.

### 2. 적용모델

생태-유체역학 모델(eco-hydrodynamic model)은 해수유동을 시뮬레이션하기 위한 3차원 해수유동모델(COSMOS)과 비보존성(영양염류 등) 물질의 수평 및 수직분포를 예측하고 해양생태계에 미치는 영향을 평가할 수 있는 생태계모형(EUTRP2)로 구성되어 있다(日本通商産業省: NIRE, 1991). 즉, 해수유동 모델에 의해 계산된 조석류 또는 잔차류 성분은 생태계 모델의 기본적인 유동자료로 이용되며, 생태계 모델에서는 현장관측자료 및 문헌자료로부터 대상해역의 수질을 재현하고, 여러 가지 환경개선 방안에 대해 예측 가능하다.

### 3. 계산조건

본 연구의 모델 영역은 외해 경계를 시화호 방조제 수문으로 하고 남북 및 동서 방향으로 동일하게 정방 격자로 이루어진 13,776개 ( $82 \times 56 \times 3$ )의 격자망으로 구성하였으며, 각 격자와 격자 사이의 간격은 330 m로 하였다. 연직방향의 수층은 동해역의 밀도 및 수온성층을 고려하여 표층 (Level 1: 해면~수심 3 m), 중층 (Level 2: 수심 3 m~수심 6 m), 저층 (Level 3: 수심 6 m~해저)으로 구분하였다. 모델에서 설정된 개방영역 (open boundary)은 방조제 수문에서 1개 격자 (330 m)로 하였는데, 방조제 수문의 길이가 108 m 이므로 실제 길이의 약 3배에 해당한다.

생태계모델에 이용된 해수유동 자료는 잔차류 성분을 이용하였고, 초기치 및 경계치는 각종 문헌자료 (한국수자원공사, 1998; 해양연구소, 1998) 및 환경부의 연도별 관측자료를 이용하여 입력하였으며, 총 계산시간은 100 조석주기로 하였다. 입력된 오염부하량은 유역 내의 신길천, 화정천, 안산천, 반월천, 동화천, 삼화천, 구룡천 및 공단토구 등으로부터 만 내로 유입되는 유입 부하량을 기준으로 하였다. 퇴적물로부터 인 및 암모니아 질소의 용출속도는 각각  $34 \sim 1,945 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$  및  $41 \sim 223 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$  (한국수자원공사, 1998)로 값의 범위가 매우 넓었으나, 모델 입력 값은 각각  $50 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$  및  $250 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 하였다.

### 4. 결과 및 고찰

생태계 모델을 이용하여 시화호의 수질을 재현하였는데, 화학적산소요구량, 클로로필  $\alpha$ , 인산인 및 용존무기질소로 표현하였다. 환경부의 연도별 화학적산소요구량 관측자료 중 1999년에 시화호 내의 3개 정점 즉, 입구부, 중앙부 및 내측에서 관측한 표층 자료와 모델에 의해 계산된 표층의 결과를 비교한 결과 상관성 ( $R^2 = 0.98$ )은 양호하였으나 관측치에 비해 계산치가 다소 높게 나타났으며, 상대오차는 2.7~9.2%이었다.

모델에 의해 재현된 표층의 화학적산소요구량의 분포 특징은 하천이 밀집한 호의 내측 수역에서 8~9 mg/L의 높게 나타났으며, 호의 중앙부에서 5.5 mg/L로 나타나 유입 오염물질의 영향이 중앙수역까지 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 방조제의 수문이 위치한 호의 남서쪽 수역은 외해로부터 유입되는 해수의 영향으로 5 mg/L내외의 가장 낮은 농도분포를 나타내었다. 중층은 호 구석부분의 경우 표층과 같이 8~9 mg/L의 농도분포를 보였고, 호의 중앙부와 방조제 수문에 이르는 수역은 5 mg/L 이하로 표층에 비해 다소 낮은 농도분포를 나타내었다.

시화호의 수질에 영향을 미치는 인자로 육상오염부하, 퇴적물에 의한 2차오염, 그리고 해수유동을 들 수 있으며, 주요 오염부하의 삭감에 따른 시화호 내 수질변동을 예측하였다. 하천을 통하여 유입하는 유기물 오염 부하량과 인, 질소 등의 영양염류 부하량을 각각 0, 40, 70 및 95%로 저감한다고 가정하였을 경우 (case 1)와 시화호의 퇴적물을 인위적으로 개선하여 퇴적물로부터 인과 질소의 용출량을 각각 0, 40, 50 및 60%로 줄인다고 가정하였을 경우 (case 2)와 육상으로부터 유입하는 유기물 및 영양염류 부하와 퇴적물에 의한 영양염류 용출부하를 동시에 삭감하였을 경우 (case 3)로 구분하여 시화호 수

질에 미치는 영향의 정도를 예측하였다.

Case 1의 경우, 95% 삭감시에도 대부분의 수역에서 3 mg/L 전후의 농도분포를 나타내어 시화호의 화학적산소요구량 개선 목표를 해역Ⅱ등급 기준 (2 mg/L)에도 못미쳐 육상으로부터 유입되는 오염 부하량의 삭감만으로는 한계가 있는 것으로 예측되었다. Case 2의 경우, 50% 삭감시 배수갑문과 호 중앙부에서 화학적산소요구량은 각각 2.72 mg/L 및 2.75 mg/L로 개선효과가 있었지만, 호 구석부에서는 3.71 mg/L의 높은 농도분포를 나타내었다. Case 3의 경우, 호 구석부에서 2 mg/L 이상으로 비교적 높은 농도분포를 나타내었지만 대부분의 수역에서 1.5~2.0 mg/L의 양호한 수질로 개선되었다. 중층의 경우도 호 구석부에서는 2 mg/L내외의 농도를 나타내었으나 대부분의 수역은 1.5 mg/L 내외로 예측되었다. 이상의 경우에서, 육상기원 오염 부하량을 삭감하여 시화호 수질을 해역 Ⅱ등급으로 개선시키기는 어려울 것으로 판단되었지만, 해역 Ⅲ등급을 달성하기 위한 시화호의 육상기원 오염 부하량 (COD), 즉 환경용량은 5 ton/d로 산정되었다.

#### 참 고 문 헌

- 한국수자원공사, 1998. 시화호 수질관리대책 수립 연구.
- 한국해양수산개발원·인하대학교 등, 2000. 제1차 시화호 지역포럼 자료집.
- 한국해양연구소, 1998. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(2차연도). BSPE 97610-00-1035-4.
- 日本通商産業省 (NIRE). 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
- 藏本武明·中田喜三郎, 1991. 東京灣における流動と底層DO濃度シミュレーション. 沿岸海洋研究ノート, 28(2), 140~151.
- 中田喜三郎·石川公敏·松川康夫, 1985. 内灣の流動場の數値實驗. 沿岸海洋研究 ノート, 22(2), 96~108.