

3차원 수치모형을 이용한 시화호의 흐름해석

Flow Analysis in Sihwa Lake Using a Three Dimensional Numerical Model

이길성*, 오성택**

1. 서론

경기도 안산시, 시흥시, 화성군 일원에 위치한 시화호는 1994년 12.7 km에 달하는 방조제 끝막이 공사의 완료로 55.6 km²의 인공호로 조성되었다. 그러나 용지확보의 측면에서 개발된 시화호는 방조제 공사의 완료로 외해와 단절되면서 수체가 정체되고, 인근 지역의 개발로 오염물질의 유입이 증가하여 수질이 급속히 악화되었다(수자원공사, 1996).

이렇게 악화된 수질의 개선을 위해서는 오염물질의 유입을 차단하고, 호수의 자정능력을 향상시키는 방안을 강구하여야 한다. 그러나 이러한 방법은 많은 비용과 시간을 필요로 하는 장기적인 해결방안으로 단기간에 수질의 개선효과를 기대할 수는 없다. 단기간에 호수 내의 수질을 향상시키는 방법은 시화호에 건설되어 있는 시화 및 탄도 배수갑문을 이용하여 해수를 유입시키는 방법이다. 이러한 방법은 배수갑문을 통하여 해수를 유입시킨 후 일정 기간 혼합한 후 다시 외해로 방류하는 것이다.

해수를 유입하여 호수 내의 수질을 개선하려면 방류량과 유입량, 방류시기, 방류방법 등을 검토하여야 한다. 호수 내 수질개선의 관점에서 보면 많은 양을 방류 및 유입하는 것이 유리하지만 외해 생태계에 미치는 영향을 고려하면 그 반대의 경우가 된다. 따라서 방류량에 따른 제반사항의 결정은 방류에 따른 외해의 영향, 호수 내 수질개선 효과 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

본 연구의 목적은 외해로부터 해수의 유입과 외해로의 방류시 시화호 내의 흐름을 3차원 수치모형인 PCFLOW3D를 사용하여 해석하는 것으로 이는 해수의 유입에 의한 호소수질의 개선을 예측하는데 기초자료가 된다.

2. 수치모형

PCFLOW3D는 해안·해양, 호수 등에 주로 적용되어온 3차원 수치모형으로서 온도와 염도를 고려하는 모형이다. 흐름모형의 지배방정식은 연속방정식(식 (1))과 운동량방정식(식 (2) ~ (4)), 온도(식 (5))와 염도(식 (6))에 관한 이송·확산방정식 그리고 상태방정식(식 (7))으로 구성되어 있으며 다음과 같다(Rajar, 1995).

* 서울대학교 공과대학 토목공학과

** 서울대학교 대학원 토목공학과

$$\frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + w_t - w_b = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} + \frac{\partial(huw)}{\partial z} &= fvh - \frac{h}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(h N_H \frac{\partial u}{\partial x}) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y}(h N_H \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(h N_V \frac{\partial u}{\partial z}) + \frac{1}{\rho} \tau_{ux} - \frac{1}{\rho} \tau_{bx} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} + \frac{\partial(hvw)}{\partial z} &= -fuh - \frac{h}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(h N_H \frac{\partial v}{\partial x}) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y}(h N_H \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(h N_V \frac{\partial v}{\partial z}) + \frac{1}{\rho} \tau_{vy} - \frac{1}{\rho} \tau_{by} \end{aligned} \quad (3)$$

$$p = p_a + g \int_z^{z_s} \rho dz \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hT)}{\partial t} + \frac{\partial(huT)}{\partial x} + \frac{\partial(hvT)}{\partial y} + \frac{\partial(hwT)}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x}(h D_H \frac{\partial T}{\partial x}) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y}(h D_H \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(h D_V \frac{\partial T}{\partial z}) + \left(\frac{\partial(hR)}{\rho C_p \partial z} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hs)}{\partial t} + \frac{\partial(hus)}{\partial x} + \frac{\partial(hvs)}{\partial y} + \frac{\partial(hws)}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x}(h D_H \frac{\partial T}{\partial x}) \\ &+ \frac{\partial}{\partial y}(h D_H \frac{\partial s}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(h D_V \frac{\partial s}{\partial z}) + \left(\frac{d(hs)}{dt} \right)_{surface} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\rho = \rho(T, s) \quad (7)$$

여기서 u, v, w 는 각각 x, y, z 방향의 유속, h 는 수심, p 는 압력, p_a 는 대기압, T 는 온도, s 는 염도, N_H, N_V 는 각각 수평 및 연직 운동량 확산계수, D_H, D_V 는 각각 수평 및 연직 확산계수, f 는 Coriolis 상수, g 는 중력가속도, ρ 는 유체의 밀도를 나타낸다.

PCFLOW3D에서 사용하는 수치해석 방법은 Patankar와 Spalding(1970)의 유한체적법을 사용하고 있으며 격자는 엇갈린 격자(staggered grid) 체계를, 차분기법은 Peclet 수에 따라 중앙차분과 상류차분을 함께 사용한다. 난류 모형은 수평 운동량 확산계수는 상수로 가정하고, 연직 운동량 확산계수에 대하여는 Koutitas와 O'Connor(1980)가 제시한 1-방정식 모형을 사용한다.

3. 적용

1997년 3월 11일 수자원공사에서 시행한 시화호 시험방류시 시화호의 흐름을 해석하였다. 시화 배수갑문을 통하여 2시간 50분 동안 5,000,000 m³를 방류하였다. 수치모형의 격자간격은 $\Delta x = \Delta y = 250$ m로 하였으며, 연직방향으로는 10개의 층으로 나누어 계산하였다. 시간간격은 $\Delta t = 60$ s로 두었다. 수심자료는 50 m 간격으로 작성되어진 지형도를 250 m 간격으로 입력하여 사용하였으며(그림 1), 초기 수위는 EL. - 0.79 m로 두었다. 그림 2는 수치모형의 격자도를 도시하였으며 AA'와 BB'는 각각 그림 4와 그림 5의 단면을 표시한 것이다.

그림 3은 방류시 시화호의 표층 유속을 도시한 것이며, 그림 4와 그림 5는 각각 그림 2에 표시한 단면에서 계산한 유속을 도시한 것이다. 그림 3에서 보듯이 배수갑문 근처에서는 방류의 영향으로 비교적 빠른 유속을 보이나, 갑문 근처를 제외한 대부분의 지역에서는 유속이 매우 작음을 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 과제

시화 배수갑문을 통하여 5,000,000 m³의 물을 외해로 방류하였던 경우에 대해 수치모형을 이용하여 모의하였다. 모의 결과 배수갑문 근처를 제외하고는 대부분 유속이 거의 없다. 따라서 방류의 영향이 호내에 미치는 영향은 작은 것으로 생각된다. 그러나 이 경우는 이송·확산모형을 이용한 수질의 해석이 이루어지지않아 방류의 영향 범위를 정확히 산정할 수 없다. 따라서 향후 과제로서는 수질의 변화를 통한 영향범위의 산정이 반드시 필요하다고 하겠다.

5. 참고문헌

한국수자원공사, 1996. 시화호 수질개선 종합관리대책 기본계획 보고서 초안.

Koutitas, C. and O'Connor, B., 1980. Modelling Three-Dimensional Wind-Induced Flows, *J. of the Hydraulic Eng.* ASCE, HY11.

Patankar, S. V. and Spalding, D. B., 1970. *Heat and Mass Transfer in Boundary Layers*, 2nd ed., Intertext, London.

Rajar, R., 1995. *PCFLOW3D : Provisional Manual*.

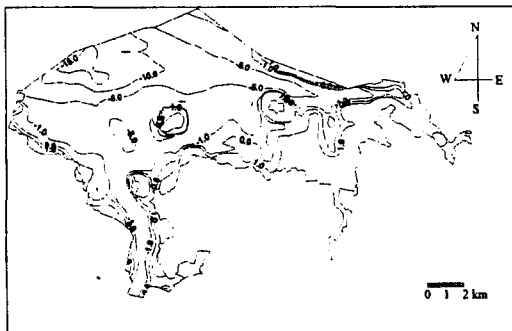


그림 1 시화호 지형도 (단위 EL. m)

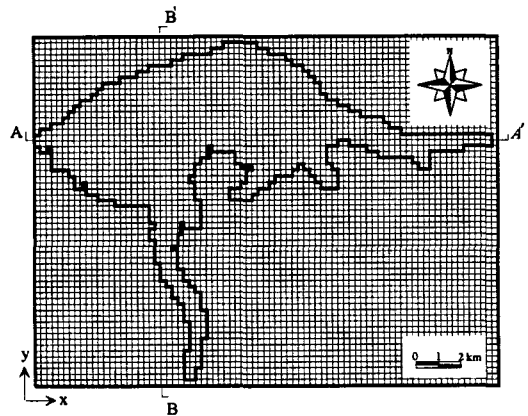


그림 2 수치계산 격자도

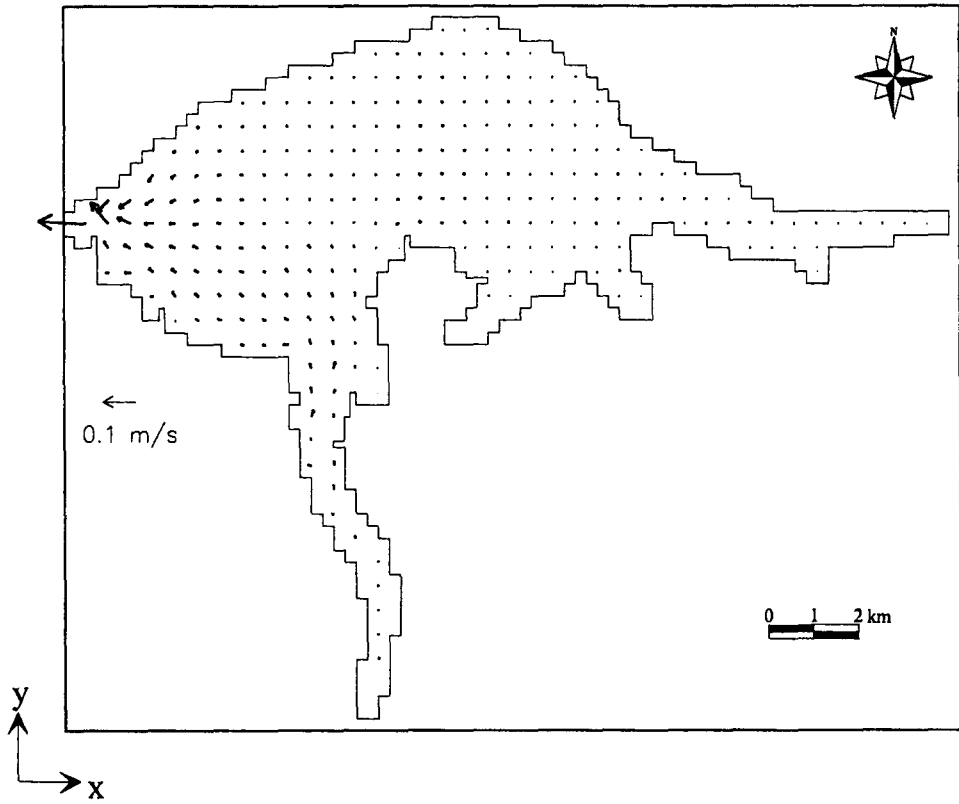


그림 13 표층의 유속분포도

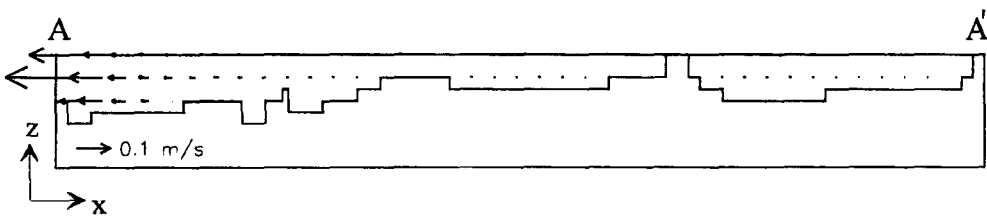


그림 14 유속분포도(단면 AA')

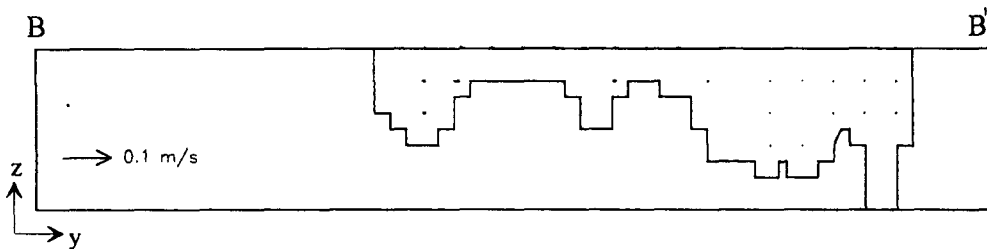


그림 15 유속분포도(단면 BB')