

수문조작과 관련한 해수순환 Tidal Circulation due to Gate Operation

김효섭¹, 정병순², 윤석준³
 Hyo Seob Kim¹, Byung Soon Jung² and Suck Jun Yun³

1. 서 론

해수유통로가 존재하는 구조물의 경우 유출입구 인근에서 발생하는 해수의 흐름은 다양한 형태를 나타낸다. 이러한 영향은 유통로가 연결되는 해안과 호내의 해수 흐름에도 영향을 미친다.

해수의 흐름에 대한 연구는 국내외의 여러 학자들에 의하여 연구되고 있으며, 대표적인 연구는 Stelling (1984), Stelling et al. (1994), Boussinesq (1872), Flather et al. (1975) 등의 연구가 있다.

유통로 인근의 흐름의 경우 유통로 인근에 퇴적물질의 유동을 발생시키며 퇴적물에 의한 유통로 폐쇄 및 유통로 입구 부근의 저면 쇄갈 현상 등을 발생시킨다. 이러한 현상은 구조물의 내구도 및 구조물 인근의 지형을 변화시키므로 구조물의 유지보수 및 건설에 중요한 문제로 부각된다. 특히 호내로 과도한 흐름이 발생하는 경우 호내의 해수안정도를 해치는 악영향을 발생시키기도 한다.

본 논문에서는 이러한 유통로 인근의 해수유동을 시화호 인근 지역에 대하여 살펴보고 문제점 및 해결방안을 모색하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기본방정식

본 수심적분 2차원 (x, y 방향) 해수유동 수치모형의 기본방정식은 3차원 연속방정식과 운동방정식에서 유도된다. 질량보존법칙에서 유도되는 3차원 비압축성 유체의 연속방정식과 난류유체의 운

동량보존 방정식인 3차원 Reynolds 방정식중 수평방향 유속에 관하여 수심적분하면 다음의 세 식이 된다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial(HU)}{\partial x} + \frac{\partial(HV)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - 2\omega(\sin \phi) V \\ + \frac{fU\sqrt{U^2 + V^2}}{8H} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} \\ - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial U}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_x \frac{\partial U}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + 2\omega(\sin \phi) U \\ + \frac{fV\sqrt{U^2 + V^2}}{8H} + g \frac{\partial \xi}{\partial y} \\ - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_y \frac{\partial V}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial V}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 t 는 시간, x, y 는 Cartesian 좌표계의 한 수평축과 x 축과 직교되는 다른 한 축, ξ 는 평균 해면을 기준으로 한 해수위 상승높이, U, V 는 x, y 방향의 연직평균수평유속, D_x, D_y 는 x, y 방향의 확산/분산 계수, H 는 총 수심 ($h + \xi$), h 는 평균수심, g 는 중력가속도, $f = (8\tau_b) / (\rho U^2)$ 는 Darcy-Weisbach의 마찰손실 계수, τ_b 는 해저면에서의 전단응력, ρ 는 해수밀도, ω 는 지구자전 각속도, ϕ 는 계산점의 위도이다.

1 국민대학교 건설시스템공학부 교수
 2 국민대학교 건설시스템공학부 박사과정
 3 국민대학교 건설시스템공학부 석사

2.2 난류마감

난류마감을 위해 난류용력이 평균속도변화율에 비례한다고 가정하는 Boussinesq(1872)의 와점성계수 개념을 도입하였으며, 난류 와동점성계수의 추정을 위하여 혼합거리 개념을 적용한 0 방정식 모형을 적용하였다. 혼합거리개념은 와동점성계수 (ν_t)가 평균유속 (V)과 Length Scale (L)에 비례한다는 가정하에 유도되었다.

$$\nu_t \propto V \cdot L \quad (4)$$

$$V = l_m \cdot \left| \frac{\partial U}{\partial H} \right| \quad (5)$$

$$\nu_t = (l_m)^2 \cdot \left| \frac{\partial U}{\partial H} \right| \quad (6)$$

여기서, l_m 은 혼합거리 ($=\alpha L$), L 은 거리 비율을 나타낸다. 식 (6)이 Prandtl의 혼합거리가정으로 와동점성계수를 부분적인 평균유속변화율의 함수로서 구성하였으며, 유일한 미지수로는 혼합거리를 포함시켰다.

2.3 경계조건

개방경계조건은 외해 또는 하천과의 경계면에서 수위 또는 유속을 지정해 줄 수 있으며, 방사방식 경계조건을 부여할 수 있다. 본 수치모형에서는 Delft-3D 프로그램을 이용하여 우리나라 해역과 동중국해를 포함하는 구간을 설정하여 실험한 결과를 이용하여 개방경계조건으로 적용하여 실험을 하였다. 육지경계조건은 연안에 수직인 방향으로의 유량은 영(0)으로 지정하며, 이 때 연안에 평행한 방향의 유속에는 제약을 두지 않았다. 조위의 상승·하강에 따라 드러나기도 하고 해수로 덮이기도 하는 조간대 해역의 처리는 Flather and Heaps(1975)에 의해 개발된 처리기법을 사용하였다.

3. 수치모형 실험

3.1 모형 수립

대상해역은 조력발전소 건설이 예상되는 시화호를 중심으로 발전소 가동에 따른 조석변화가 거의 없을 것으로 판단되는 해역까지로 선정하였다. 수심은 국립해양조사원 발행 최신 해도, 연안해역 기본도 및 시화호 내에서 수행된 수심측량 자료 등을 이용하였으며, 실험 시에는 평균해수면으로

변환하여 실험을 수행하였다(Fig. 1 참조).

격자망은 동서(126°19' 02" E - 126°53' 09" E)로 약 39km, 남북(37°06' 28" N - 37°53' 58" N)으로는 영종도 부근 해역에서 아산만 입구 부근 해역까지의 약 36km에 대하여 구성하였으며, 격자 1개소당의 크기는 120m × 120m로 정하였다.

외해 개방경계조건은 모형의 개방경계의 각 격자소에서 시간에 따른 해수위의 변화를 입력하는 조건으로 경계조건으로 입력되는 시간별 해수위는 M_2 와 S_2 분조의 합으로 표현되는 평균 대조기의 조위를 사용하였다.

$$Z(t) = Z_0 + H \cos(\omega t - g) \quad (7)$$

여기서 $Z(t)$ 는 임의 시간의 해수위, Z_0 는 평균 해면, H 는 M_2, S_2 분조 진폭의 합, ω 는 M_2 분조 각 속도, g 는 M_2 분조 지각(遲角)(표준시 기준)이다. 이 때 지각의 기준은 달이 동경 135°자오선을 통과하는 시각으로 하였다.

본 수치모형의 유한차분 방정식은 양해법의 하나로서 C-F-L의 안정조건식을 만족시키기 위하여 약 1 초로 계산시간 간격을 정하였다.

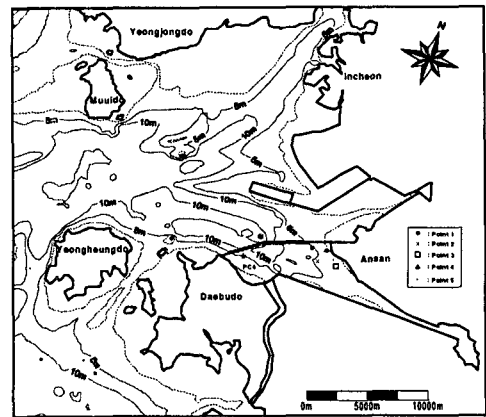


Fig. 1 수치모형 수심도(D.L. 기준)

3.2 모형 검증

모형의 검증을 위하여 대조시에 관측한 부표추적 결과와 PC4 정점에 대한 현장관측 결과를 비교하였다.

해수순환을 목적으로 하는 배수갑문 운영을 적용하여 실험한 결과 증 태음 8시의 경우를 Fig. 2에, 시화호 내의 부표추적 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3을 보면 배수갑문 개방에 의한 외해 유량이 시화호 내로 유입되면서 시화호 중심부로

유속이 빠르게 이동하다가 시간이 경과하면서 반시계 방향으로 회전하는 형태로 부표관측 결과가 나타났는데, Fig. 2의 실험결과를 보면 관측자료와 동일하게 배수갑문을 통해 들어오는 유량에 의하여 주위에 와류가 발생하므로 본 수치모형이 해수의 흐름을 잘 재현하는 것으로 판단된다.

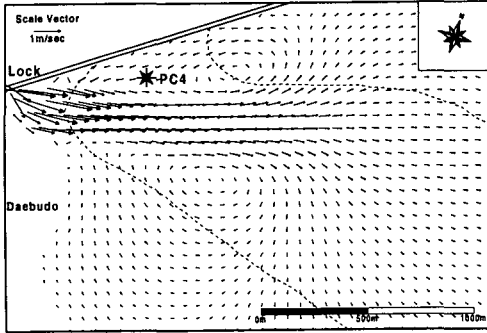


Fig. 2 수치모형 실험결과(태음 8시)

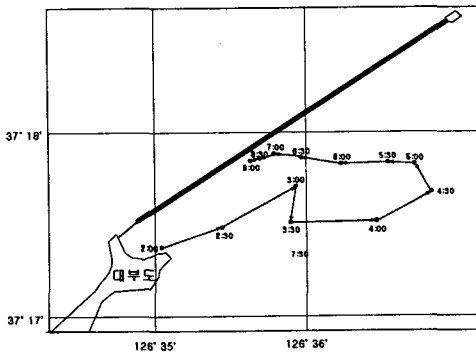


Fig. 3 부표추적결과

수치모형 실험결과중 배수갑문 개문 후의 해수 유동 결과인 Fig. 2와 폐문 전의 결과인 Fig. 4의 유속벡터도에서 PC4 정점 부근의 흐름변화를 보면 배수갑문으로 향하고 있는 것을 볼 수 있다. 시화호 내의 해수가 배수갑문을 통하여 외해로 나갈 때는 PC4 정점에서 보면 당연히 배수갑문으로 유속이 발생해야 하고 외해에서 시화호 내로 들어오는 경우에는 유속이 호 내로 일어나야 한다. 외해에서 호 내로 들어오는 수치모형 결과인 Fig. 2를 보면 PC4 정점 부근에서 와류가 발생하여 이로 인해 흐름의 방향이 배수갑문쪽으로 향하는 것으로 나타났다.

Fig. 5와 Fig. 6은 현장관측에 의한 유속-유향 측정치와 수치모형결과의 유속-유향 값을 비교한 것으로 수치모형 실험에서는 태음 7시부터 12시까지의 결과를 나타낸 것이며, 이 조석 주기에 해당

하는 관측시간에 대한 측정값을 비교하였다. Fig. 5의 유속 크기 및 시계열에 따른 유속의 형태를 보면 현장관측과 수치모형결과가 거의 동일하게 나타났으며, Fig. 6은 현장관측과 수치모형결과의 흐름의 방향을 비교한 것으로서 관측치를 보면 배수갑문으로 흐름이 나타났으며 이때의 유향은 약 180° ~ 270°사이로 관측되었고, 수치모형 결과 역시 동일한 유향이 발생한 것으로 나타났다.

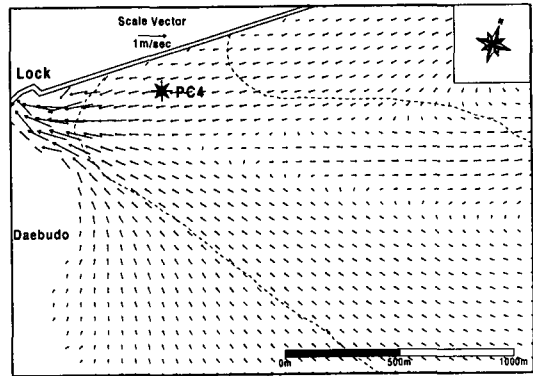


Fig. 4 수치모형 실험결과(태음 11시)

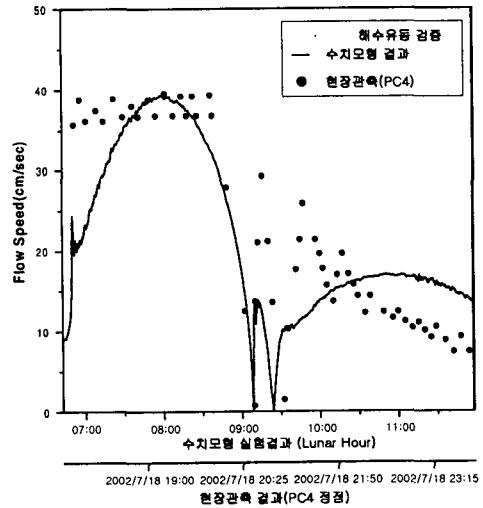


Fig. 5 실험결과와 현장관측의 유속 비교도

3.3 실험

시화호 조력발전 건설사업 타당성 조사 및 기본계획 보고서를 참조하여 대조기에 대하여 실험하였다. 실험에 적용한 수차발전기는 21천 kW급 별브형 수차발전기(직경 7.4m)로 특성곡선에 따른 유량(Q), 수두차(H) 특성을 적용하였다.

창조시 발전조건과 초기 발전시작 수두차는 3.0m

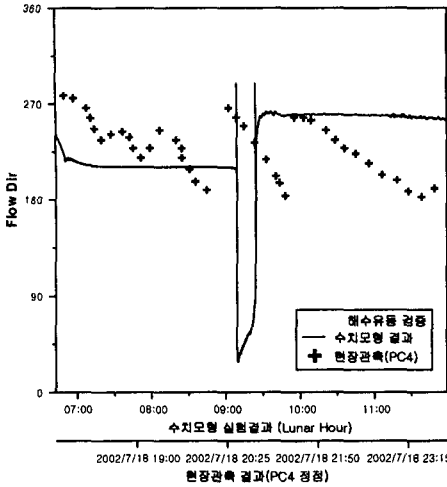


Fig. 6 실험결과와 현장관측의 유향 비교도

를 적용하였고, 발전 후 제시된 수두차 이하에서 발전 종료 조건을 적용하였다. 시화호 내의 수위는 계획수위인 E.L.(-)1.0m를 상회하지 않도록 하였으며, 낙조 시에는 수문과 수차를 동시에 가동하여 방류하도록 하였다. 시화호 내로 출입하는 유량은 발전시 시화호 내로 유입되는 유량과 배수시 호내에서 유출되는 유량으로 나누어지며, 배수시 유량은 수문을 통과하는 유량과 수차를 통과하는 유량의 합으로 나타내었다.

대조기에 대하여 대표적으로 태음 4시의 결과를 Fig. 7에 나타내었다

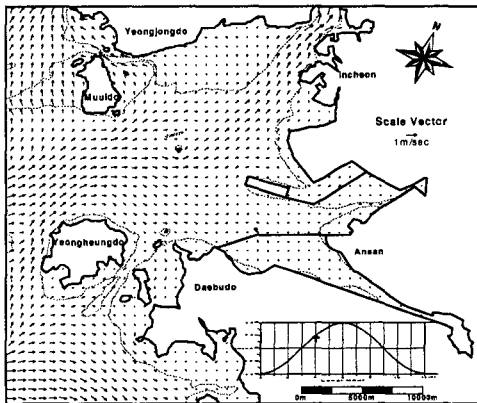


Fig. 7 수치모형 조류벡터도(태음4시, 대조기)

시화호를 중심으로 주변해역에 대하여 자세히 나타낸 Fig. 8과 Fig. 9를 보면 시화호 내로 유출입 해수의 흐름이 발전 및 방류에 따라 나타나는 것을 볼 수 있다.

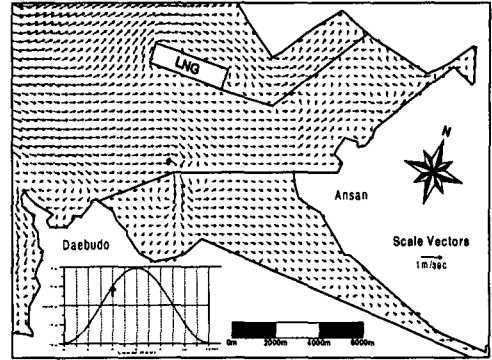


Fig. 8 수치모형 조류 벡터도 (태음4시, 시화 주변 확대)

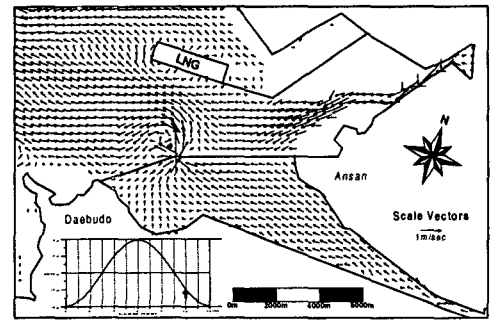


Fig.9 수치모형 조류 벡터도 (태음10시, 시화 주변 확대)

평균유속, x, y 방향 유속을 조석 1주기에 대하여 1 초 간격으로 결과를 구하였으며, 시화호 내의 유속 변화를 파악하기 위하여 Fig. 1에서와 같이 5개 지점을 선정하여 비교하였다. 각 지점에 대한 결과를 Fig. 10~14에 나타내었다.

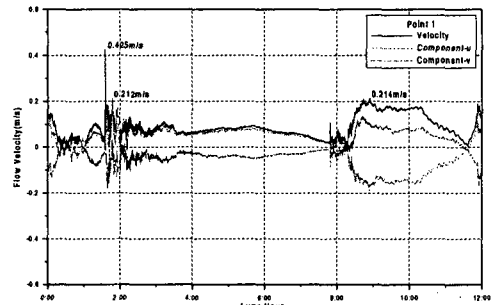


Fig. 10 Point 1에서의 유속변화도(대조기)

PC4 지점에 대한 결과를 보면 정은한 시화호 내에 창조발전에 따른 급작스런 해수의 유입으로 충격파가 발생하고, 이 충격파가 PC4 지점에 수차 가동 시작

후 약 14.5분 후에 PC4 지점에 도달하는 것으로 나타났다. 충격파에 의하여 급격한 유속의 증가가 있으나 시간이 지나면서 유속이 감소하는 것으로 나타났으며, 낙조시 방류에 의하여 시화호 내의 해수유동 형태가 변하면서 유속이 증가하는 것으로 판단된다.

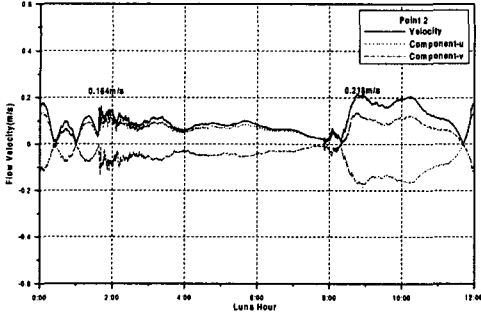


Fig. 11 Point 2에서의 유속변화도(대조기)

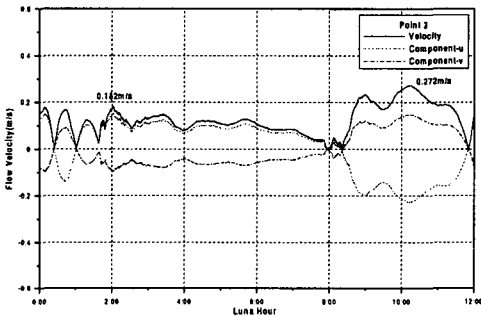


Fig. 12 Point 3에서의 유속변화도(대조기)

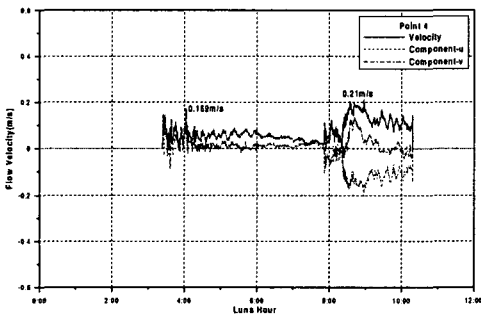


Fig. 13 Point 4에서의 유속변화도(대조기)

4. 결 론

발전에 따른 해수유량 및 흐름이 변하는 경우 호내에서는 급격한 흐름 변화가 발생하며, 이에 의한 유속

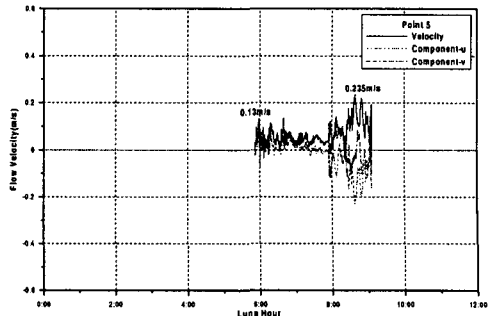


Fig. 14 Point 5에서의 유속변화도(대조기)

및 유량 등이 변하면서 주변 환경에 영향을 미칠 수 있을 것이라 판단된다. 이에 따른 대비책은 발전소의 운용에 있어서 적절한 운영방법을 수립하는 것이 매우 중요하다고 판단되며, 이보다 더 적절한 대비책을 마련하기 위하여 수리모형실험을 수행하는 것이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- Boussinesq, J. (1872). Theorie des ondes et de remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontale, en communiquant an liquis contenue dans le canal des vitesses sensiblement pareilles de la surface au fond. J. Math. Pures Appliquess, Ser. 2. 17, 55-108.
- Flather, R.A. and Heaps, N.S. (1975). Tidal computations for Morecamble Bay. Geophys. J.R. Astro. Soc. 42.
- Stelling, G.S. (1984). On the construction of computational methods for shallow water flow problems. Rijkswaterstaat communications, No. 35, The Hague, Rijkswaterstaat, 1984.
- Stelling, G.S. and VAN KESTER, J.A.TH.M. (1994). On the approximation of horizontal gradients in sigma coordinates for bathymetry with steep bottom slopes, Int. J. Num. Meth. Fluids, Vol 18, 915-955