

잠제가 해수유동에 미치는 영향 검토

○김효섭¹⁾ 정병순²⁾ 윤석준³⁾ 오병철⁴⁾

1. 서론

항내외의 해수 순환의 주요 기인력으로는 조위차, 파랑 잉여응력의 경사를 들 수 있다. 항내 해수순환을 원활히 하기 위하여, 또는 해수순환기능을 유지하면서 파랑의 침입을 억제하기 위하여 항 입구에 잠제를 설치하는 방안을 생각할 수 있다. 잠제가 조석 순환체계에는 유통단면을 축소하므로 불리하게 작용할 것으로 예상되나, 파랑류에 의한 순환체계에는 단면축소에 의한 불리함을 유발하는데 반하여 잉여응력의 집중화로 인한 유리한 요소가 있을 수 있다. 본 논문에서는 잠제가 파랑류 순환에 미치는 영향을 수치모형실험을 통하여 검토하였다.

2. 수치모형 적용 이론

2.1. 반사 포함 파랑변형 모형(KU-IWPH-01)

Booij(1981)는 Berkhoff(1972)의 타원형 완경사 방정식을 변형하여 시간에 관한 항이 포함된 방정식을 제시하였다.

$$\nabla(cc_g \nabla \eta) + (k^2 cc_g - \omega^2)\eta - \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = 0 \quad (2.1)$$

여기서, η 는 수면변위, ω 는 각속도, t 는 시간이며, 위 식에서 정상 상태, 삼각함수 해를 가정하면

$$\nabla(cc_g \nabla \eta) - \frac{c_g}{c} \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = 0 \quad (2.2)$$

이 된다. Copeland(1985)는 식(2.2)를 다음과 같이 두개의 미분 방정식으로 분리하였다.

1 국민대학교 건설시스템공학부 부교수(E-mail: hkim@kookmin.ac.kr)

2 국민대학교 건설시스템공학부 박사과정(E-mail: bsjung@kordi.re.kr)

3 국민대학교 건설시스템공학부 석사과정(E-mail: 77sniper@orgio.net)

4 한국해양연구원 연안항만공학본부 책임연구원(E-mail: bcoh@kordi.re.kr)

$$\nabla Q + \frac{c_g}{c} \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + cc_g \nabla \eta = 0 \quad (2.4)$$

여기서, Q 는 매개 변수 선유량으로서 물의 입자 속도를 연직방향으로 적분한 것이다.

본 연구에서는 식 (2.3), (2.4)를 기본방정식으로 시간전진과 공간중앙 양해법으로 IWPH 모형을 수립하였다.

2.2 파랑류 모형(KU-WIFLOW-01)

Longuet-Higgins (1970)는 쇄파대 전·후에서 발생하는 강한 파랑류의 기인력을 잉여응력으로 설명하였으며, 잉여응력을 포함하는 수심평균 2차원 평면 부정류 장파방정식을 수치모형의 기본방정식으로 취하였다. Sonu (1975)는 현장 관측 및 실험을 통하여 파랑류 파랑진행 방향의 분포가 일반적으로 부드러운 곡선 형태임을 나타내었으며, 이 부드러운 형태는 와동점성(eddy viscosity)의 개념이 포함된 수치모형의 개발을 촉진하였다. Basco (1982)는 파랑류에서 난류의 와동점성 개념의 적용에 대하여 난류가 수심, 파랑 입자의 연직운동, 파고, 파랑 전단응력, 해저면과의 상호작용, 파와 해안선 등의 여러 변수와 관계가 있으므로 와동점성 계수만으로 표현하는 것이 적절하지 않다고 하였다. Nielsen (1977)은 파도가 일어나는 해역에서 발생하는 혼합은 진정한 와동점성에 의한 분산이 아니라고 한 바 있다.

파랑류를 지배하는 물리적 성질은 해수의 질량 보존과 운동량 보존이며, 파랑류를 계산하는 수치모형의 기본방정식인 연속 방정식은 해수면 계산에 쓰인다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HU) + \frac{\partial}{\partial y}(HV) = 0 \quad (2.5)$$

여기서, η 는 파랑주기평균(wave-period average) 수면높이, t 는 시간, x, y 는 각각 평면 직각 좌표축, H 는 평균 수심, U, V 는 각각 x, y 방향의 수심평균 속도이다. 두 번째로 수심평균된 파랑주기평균 운동방정식의 기본적인 형태는 다음과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{R_x}{\rho d} - \frac{T_x}{\rho d} = 0 \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{R_y}{\rho d} - \frac{T_y}{\rho d} = 0 \quad (2.7)$$

$$R_x = \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}, \quad R_y = \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (2.8)$$

여기서, g 는 중력가속도, ρ 는 밀도, S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} 는 Longuet-Higgins의 잉여응력이며,

T_x, T_y 는 각각 x, y 방향으로의 전단응력으로 해지면 마찰력항 ($F_{b,x}, F_{b,y}$)과 수평 확산항(lateral mixing term) ($F_{l,x}, F_{l,y}$) 으로 나눈다.

$$T_x = F_{b,x} + F_{l,x}, \quad T_y = F_{b,y} + F_{l,y} \quad (2.9)$$

다음 식은 위의 운동방정식에서 수평 확산항을 소거하여 간단하게 한 식이다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{R_{x,f}}{\rho d} - \frac{F_{b,x}}{\rho d} = 0 \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{R_{y,f}}{\rho d} - \frac{F_{b,y}}{\rho d} = 0 \quad (2.11)$$

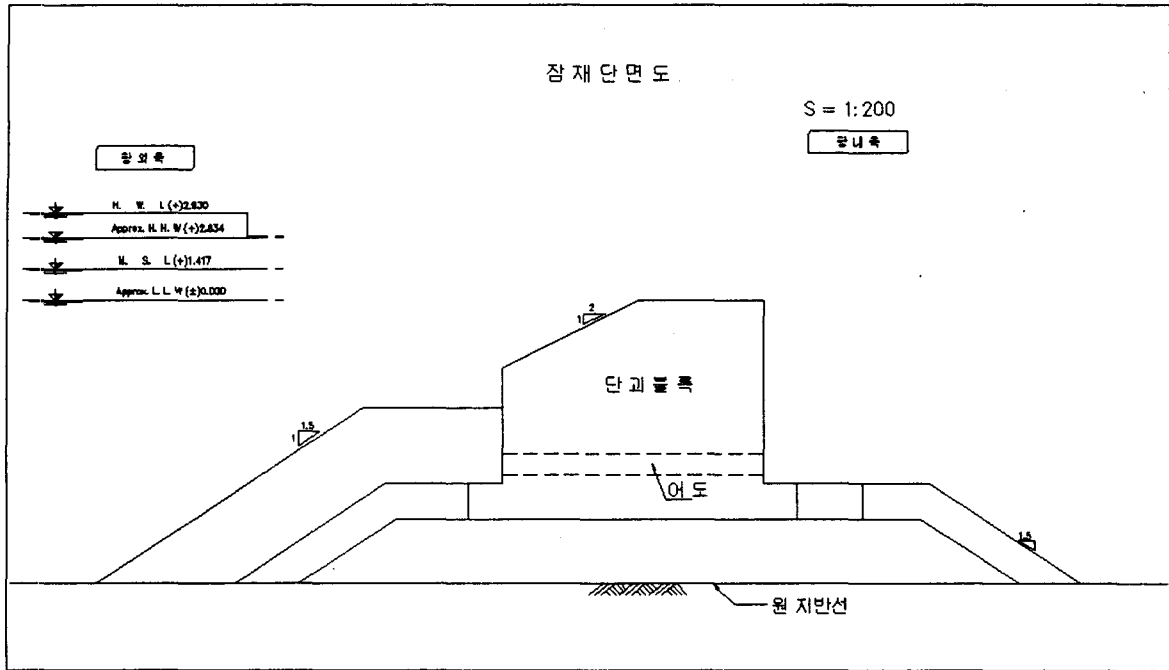
여기서, $R_{x,f}, R_{y,f}$ 는 각각 x, y 축으로 평활화된 구동력(smoothed driving force) 항이다.

본 실험에서는 기본 방정식 (2.5), (2.10), (2.11)을 양해 차분식으로 표현하여 작성한 수치모형 KU-WIFLOW-01(Kim, 1993)을 적용하여 파랑류를 산정하였다. 실험시 초기조건은 임의로 지정할 수 있으며, 잠잠한 상태(calm condition)를 지정하였다. 수치모형의 시간이 경과하면서 해수위와 유속이 평행상태에 도달하게 되면, 이를 최종해로 취하였고, 경계면은 육지경계면과 개방경계면으로 나누어 각각의 조건에 적절한 경계조건을 지정해 주었다.

3. 적용조건 및 결과

3.1 적용조건

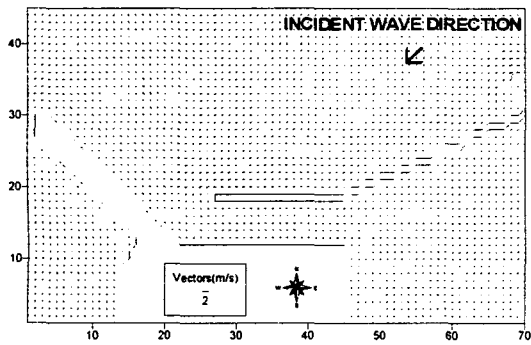
우리나라의 특정 해역을 잠재 영향 검토 대상해역으로 선정하여 수치모형실험을 수행하였다. 수치모형 실험을 위하여 대상해역을 적절한 크기의 격자망으로 구성하고 수심 및 필요한 기본 정보를 입력하였으며, 또한 현재 상태에서 현장 관측을 통하여 취득한 자료를 이용하여 수치모형을 검증하였다. 적용 대상은 방파제 부근의 유통로 지역을 선정하였으며 적용 파랑은 삭망평균 만조 위 시의 NE파, 4.7m, 9.0sec 와 NW파, 6.0m, 12.0sec의 두 경우를 사용하였다. 적용한 잠재의 단면도는 <그림 3.1>과 같다.



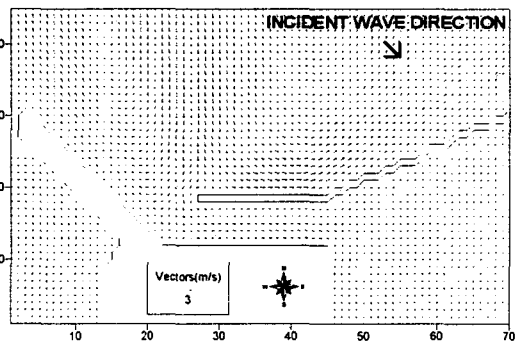
<그림 3.1> 잠재 단면도

3.2 적용결과

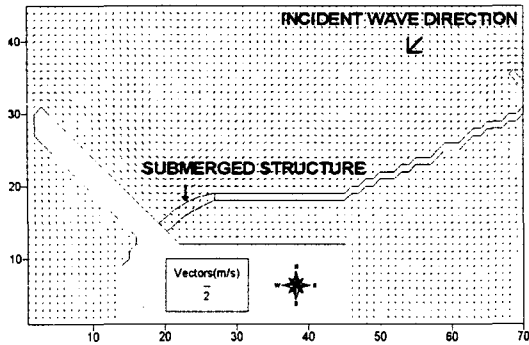
수치모형실험으로 계산된 파랑류 결과는 다음과 같다.



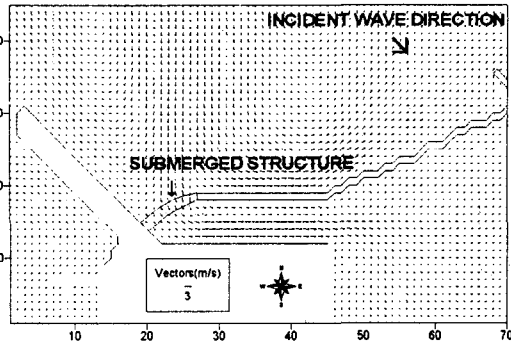
<그림 3.2> 잠제가 없는 경우의 파랑류도
(삭망평균만조위, NE, 4.7m,
9.0sec)



<그림 3.3> 잠제가 없는 경우의 파랑류도
(삭망평균만조위, NW,
6.0m, 12.0sec)



<그림 3.4> 잠제 설치 시의 파랑류도(삭망평균만조위, NE, 4.7m, 9.0sec)



<그림 3.5> 잠제 설치 시의 파랑류도(삭망평균만조위, NW, 6.0m, 12.0sec)

NE파에서 잠제가 설치된 경우와 없는 경우를 비교해 보면 잠제의 유무에 큰 영향은 없는 것으로 나타났다. 그러나 NW파의 경우, 방파제 인근의 유통로 부근에서는, 잠제가 없는 경우는 약 평균 0.5m/sec 정도의 흐름을 보이지만, 잠제가 설치된 경우는 약 1.8m/sec의 흐름이 나타난다. 거의 3배 정도의 차이가 발생하며, 이러한 현상은 유통로 부근과 항내의 해수의 순환에 큰 영향을 발생시킨다.

실험 결과 잠제를 설치한 경우 해수의 유입 유속이 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 항내의 해수 순환이 보다 원활해 진다고 볼 수 있다.

NW 계통의 파랑내습시 잠제에 큰 파고가 수직에 가까운 각도로 도달하며, 잠제에서 쇄파가 발생한다. 이로 인하여 잠제 상부로 속도가 큰 파랑류가 발생한다. 반면 NE 계통의 파랑 내습시 잠제에 도달한 파랑은 굴절로 인하여 파고가 줄어든 상태이며, 잠제에 접근하는 각도가 수직에서 많이 벗어나 있다. 이로 인하여 잠제 전 사면에서의 쇄파가 미약하게 발생하며, 이로 인하여 파랑류가 약하게 발생한다.

4. 결 론

본 실험에서 잠제를 설치한 경우, 파향에 따라 유통로와 항내의 해수 순환이 원활하여 질수도 있음을 보았다. 잠제의 단면, 잠제의 평면배치 형태, 인근해역의 수심, 주변 구조물의 배치 형태에 따라 잠제가 파랑류 순환에 미치는 영향이 달라질 것이다. 따라서 대상해역에 따라 잠제의 영향이 달라질 것으로 예상할 수 있으며, 수치모형실험이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Longuet-Higgins, M.S., 1970, Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, 1. JGR, Vol. 75, No. 33, pp 6778~6789
- Kim., 1993, Three-dimensional sediment transport model, Ph.D. Thesis, The University of Liverpool, U.K.
- 김효섭, 장창환, 정병순, 이철승. 2001, 2차원 수평 수치모형을 이용한 해안 지형변화 예측, 대한토목학회 정기 학술 발표회
- Berkhoff, J.C.W. 1972. Computation of combined refraction-diffraction. ICCE, ASCE, pp. 471-490
- Berkhoff, J.C.W., Booy, N. and Radder, A.C. 1982. Verification of numerical wave propagation models for simple harmonic linear water waves. Coastal Engineering, Vol. 6, pp. 255-279.
- Booij, N. 1981. Gravity waves on water with non-uniform depth and current. Rep. 81-1, Dept. Civil Engrg, Delft Univ. of Tech.
- Copeland, G.J.M., 1985, A practical alternative to the "mild-slope" wave equation, Coastal Engineering, Vol. 9.