

단일 부유식방파제의 소파성능에 대한 연구

A Study on Performance of a Floating Breakwater

윤재선*, 신경식**, 조용식***

Jae Seon Yoon, Gyeong Sik Shin, Yong-Sik Cho

요 지

본 연구에서는 단일 부유식방파제의 소파성능을 알아보기 위해 CADMAS-SURF를 이용한 수치모형실험을 실시하였다. 부유식방파제는 단일 직사각형으로 구성하여 동일 형상의 수중방파제가 배치된 경우와 부유식방파제와 수중방파제가 동시에 배치된 경우의 소파성능을 비교하였다. 소파성능을 평가하는 지표로써 투과계수 및 반사계수를 산정하여 이를 파형경사에 대하여 검토하였다.

핵심용어 : 부유식방파제, 투과계수, 반사계수, CADMAS-SURF

1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있기 때문에 예로부터 해상교역이 활발하게 이루어졌다. 최근에는 동북아 물류 허브항 개발을 위한 항만 확장 및 배후단지 건설이 진행되고 있다. 하지만 국토는 한정되어 있고 교역물량과 선박은 점차 대형화 되어가고 있다. 이러한 배경에서 기존에 건설된 항만을 확장하기 위해서 해상공간의 적절한 활용이 대안으로 대두되고 있다. 따라서, 육지 근처에 건설되던 방파제 및 항만시설들을 해상공간에 배치하는 계획이 등장하고 있는 실정이다. 실제로 중국에서는 육지로부터 32km의 교량을 건설하고 외해에 양산항을 건설함으로써 상당한 경제적 이득을 취하고 있다. 이처럼 육지근처가 아닌 해상공간에 항만을 확장하거나 배후단지를 조성하는 경우에는 우리나라 대부분의 항만시설에 배치되어 있는 중력식방파제보다는 심해역에서 높은 소파성능을 발휘하는 부유식방파제의 적절한 배치가 요구된다. 이뿐만 아니라 부유식방파제는 수심에 제한을 거의 받지 않기 때문에 기존 중력식방파제에 비해 경제적이고 해수순환 및 환경적인 측면에서도 긍정적인 평가를 받고 있다.

국내에서는 2007년 마산 원전항에 최초로 부유식방파제가 배치되었으며 부유식방파제 및 구조물의 도입이 적극적으로 고려되고 있다. 또한, 양우석(2001), 조일형(2002)이 계류된 사각형 부유식방파제의 성능에 대해서 유한요소법과 고유함수전개법을 이용한 수치적인 해석을 수행하였으며, 박재현(2000)이 실험적 연구를 진행한 바 있으나 본 연구에서는 2000년 일본 연안개발기술센터에서 개발한 CADMAS-SURF를 이용하여 고정된 단일 부유식방파제의 효율적인 배치 및 소파성능의 향상을 위해 기존의 여러 연구자들에 의하여 연구되었던 단일 부유식방파제의 특성에 대해 고찰하고 소파성능을 투과계수와 반사계수를 통하여 비교하였다. 더불어 부유식방파제와 수중방파제를 동시에 배치할 경우 기대할 수 있는 소파성능 및 배치 등에 관하여 검토하였다.

* 정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 박사과정 · E-mail : yjs77@hanyang.ac.kr
** 정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : shinguy84@hanyang.ac.kr
*** 정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 교수(교신저자) · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

2. 지배방정식 및 경계조건

본 연구에서 이용한 수치모형인 CADMAS-SURF는 비압축성 점성유체에서의 복잡한 자유수면 변위의 표현이 가능한 VOF(Volume of Fluid)법을 적용하여 Navier-Stokes 방정식을 보다 정확하게 해석할 수 있는 파랑해석모형이다. 상기 모형의 지배방정식은 해저사면 및 투과성 소파구조물 등과 같은 복잡한 형상을 취급할 수 있도록 2차원 비압축성 점성유체를 대상으로 하는 연속방정식 식 (1) 및 Navier-Stokes 방정식을 porous모형에 근거하여 확장한 운동방정식인 식 (2)~(3)을 적용하였다(수치과동수로연구회, 2003).

$$\frac{\partial \gamma_x u}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w}{\partial z} = S_\rho \quad (1)$$

$$\lambda_v \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x uu}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_z wu}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} - D_x u + S_u - R_x \quad (2)$$

$$\lambda_v \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x uw}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_z ww}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} - D_z w + S_w - R_z - \gamma_v g \quad (3)$$

여기서, t 는 시간, x, z 는 수평 및 연직좌표, u, w 는 유속의 수평 및 연직성분, ρ 는 밀도, p 는 압력, v_e 는 분자동점성계수와 와동점성계수의 합, g 는 중력가속도, γ_v 는 공극률, γ_x, γ_z 는 수평 및 연직방향의 면적투과율, S_ρ, S_u, S_w 는 조파소스를 위한 소스항, $\lambda_v, \lambda_x, \lambda_z$ 는 구조물로부터 받는 관성력의 효과이며 D_x, D_z 는 에너지감쇠대를 위한 계수, R_x, R_z 는 다공질체로부터의 저항력을 나타낸다.

자유표면 해석모형으로는 복잡한 표면형상의 해석이 가능한 VOF법 Hirt et al., (1981)을 적용하였고 porous모형에 기초하는 VOF함수 F 의 이류방정식은 식 (4)와 같다.

$$\gamma_v \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u F}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w F}{\partial z} = S_F \quad (4)$$

여기서, S_F 는 내부조파를 위한 소스항이다. 또한, 구조물의 반사파를 안정하게 형성할 때까지는 장시간의 해석이 필요하기 때문에 인위적으로 설정하는 해석영역의 양단에 미치는 영향을 최소화하기 위해서 무반사모형이 필요하다. CADMAS-SURF에는 무반사모형으로 Sommerfeld의 방사경계조건과 에너지감쇠대를 적용하였다. 에너지감쇠대는 파의 에너지를 서서히 감쇠시키는 것으로 추가의 계산영역이 필요하지만, 여러 파형에 대해 적용이 가능하고 안정된 결과를 쉽게 얻을 수 있다.

3. 수치모형실험

수치모형실험은 부유식방파제 배치에 따른 소파성능을 분석하기 위하여 직사각형의 비교적 단순한 형태의 부유식방파제와 수중방파제를 단일로 배치하였을 경우와 동시에 배치하였을 경우를 고려하여 표 1과 같이 총 4가지 안에 대해서 수치모형실험을 수행하였다.

표 1. 수치모형실험 실험 안

구 분	구조물 배치
Case 1	수중방파제
Case 2	부유식방파제
Case 3	전면: 부유식방파제 후면: 수중방파제
Case 4	전면: 수중방파제 후면: 부유식방파제

수치모형실험에 적용된 파랑조건은 주기와 파고의 변화에 따른 투과계수 및 반사계수 산정을 위해 표 2와 같이 구성하였다.

표 2. 수치모형실험 파랑조건

구 분	파 고(m)	주 기(sec)	파형경사
Case 1	1	4, 6, 8, 10	0.001 ~ 0.006
Case 2	2	4, 6, 8, 10	0.002 ~ 0.010
Case 3	3	4, 6, 8, 10	0.003 ~ 0.020
Case 4	4	4, 6, 8, 10	0.004 ~ 0.030

표 2에 나타낸 총 16개의 파랑조건에 의한 파고 데이터 계산을 위해서 구조물 전면에 세 개의 계산영역을 설정하고 후면에는 한 개의 계산영역을 설정하였다. 각 영역에서 계산된 파고 데이터는 3점법을 적용하여 반사계수를 산정하였고, Zero-up Crossing법을 적용하여 산정된 입사파고(H_i)와 투과파고(H_t)를 식 (5)와 같이 계산하여 투과계수를 산정하였다.

$$K_T = \frac{H_t}{H_i} \quad (5)$$

그림 1은 수치모형실험에 적용된 구조물의 배치 및 형상을 나타낸 그림이다. 구조물의 형상은 단순 직사각형으로 구성하였고, Case 3, 4에서는 부유식방파제를 전면과 후면에 엇갈리게 배치하여 부유식방파제의 배치에 따른 특성을 알아보았다.

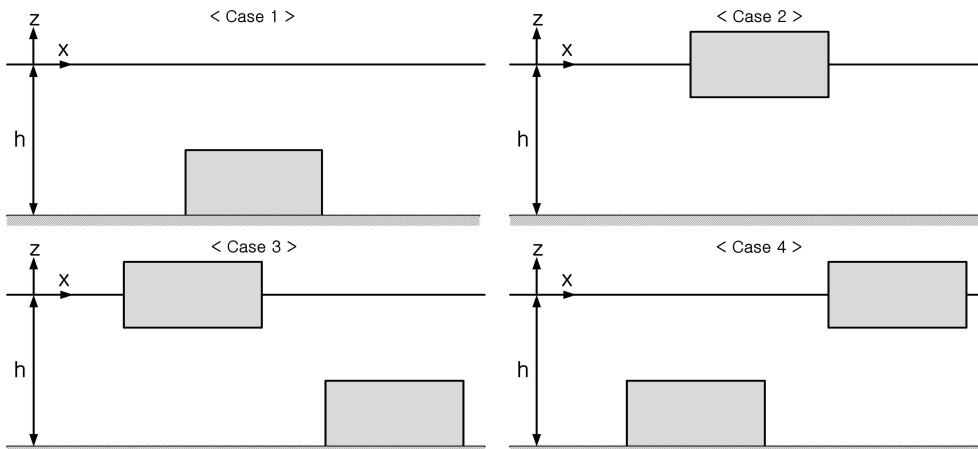


그림 1. 구조물 배치 및 형상

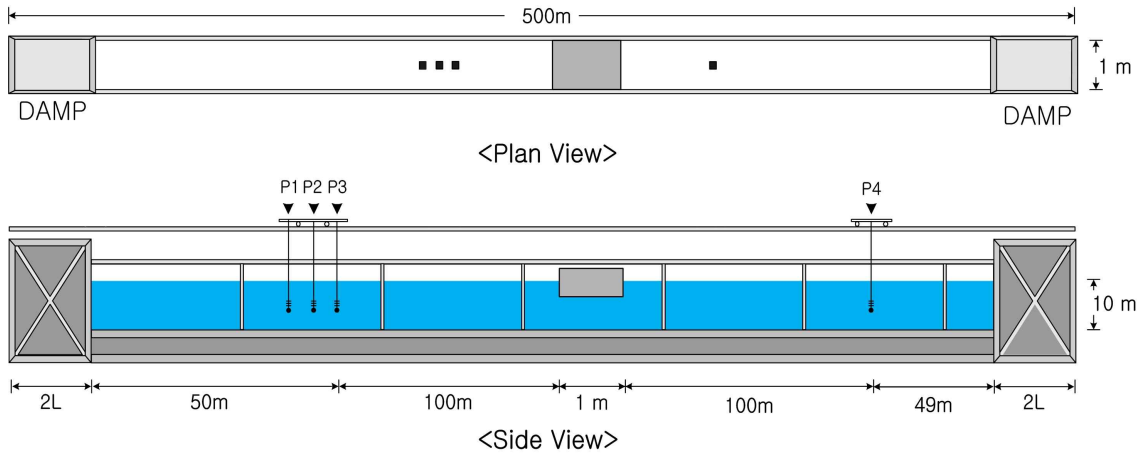


그림 2. 수치모형실험 수조제원

4. 결과 및 고찰

수치모형실험 결과로 파고와 주기의 변화에 따라 산정된 투과계수 및 반사계수를 파형경사에 대하여 그림 3, 4에 나타내었다.

단일 부유식방파제의 투과계수는 파고가 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 주기가 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다. 투과계수를 동일한 조건의 수중방파제와 비교해 본 결과 대략 20% 정도 낮게 산정되었다. 또한 부유식방파제와 수중방파제를 동시에 배치할 경우 투과계수에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 주기에 변화에 따라 큰 폭으로 변화함을 알 수 있었다.

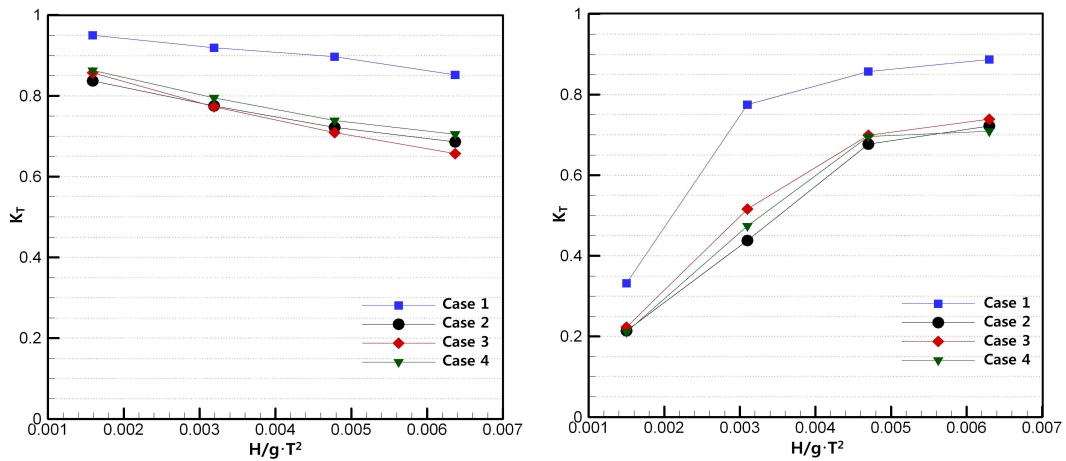


그림 3. 파고변화에 따른 투과계수(왼쪽) 주기변화에 따른 투과계수(오른쪽)

단일 부유식방파제의 반사계수는 투과계수와는 반대로 파고가 증가할수록 증가하고 주기가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 동일 조건의 수중방파제의 반사계수와 비교한 결과 평균적으로 약 10%정도의 차이로 단일 부유식방파제의 경우가 높게 산정되었다. 전반적으로 구조물을 단일로 배치하는 경우보다는 동시에 배치하는 경우가 반사계수가 높게 나타났으며, 전면에 부유식방파제를 배치하는 경우가 후면에 배치하는 경우보다 반사계수가 높은 것으로 나타났다. 또한 투과계수 결과와 마찬가지로 반사계수도 주기의 변화에 따라 급변하는 양상을 나타내었다.

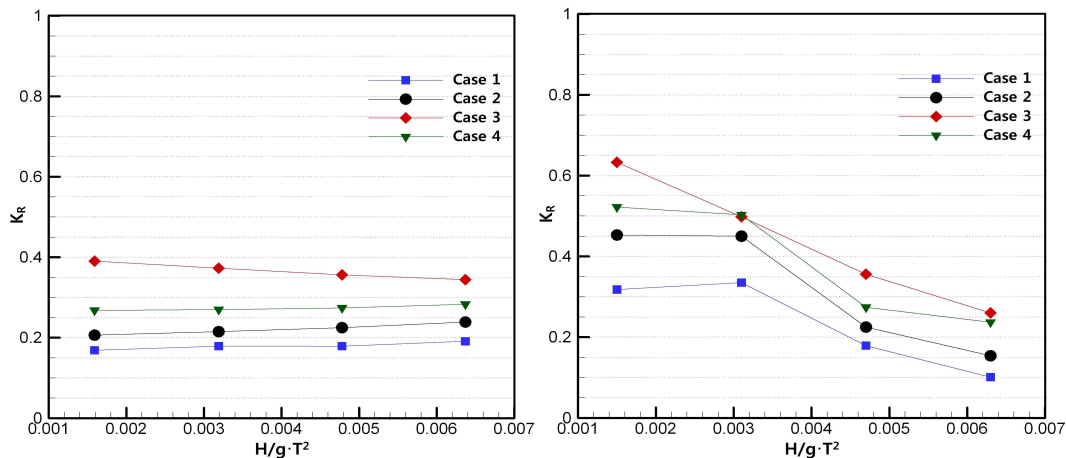


그림 4. 파고변화에 따른 반사계수(왼쪽) 주기변화에 따른 반사계수(오른쪽)

5. 결 론

본 연구에서는 CADMAS-SURF를 이용해 단일 부유식방파제의 소파성능에 대한 수치모형실험을 수행하였다. 단일 부유식방파제의 투과계수 및 반사계수는 동일한 형상의 수중방파제보다 수행된 파랑조건에서 큰 소파성능을 나타냈다. 특히, 주기가 짧은 단파에 경우에 소파성능이 높았으며 부유식방파제와 수중방파제를 동시에 배치할 경우가 높은 소파성능을 나타냈다. 또한, 부유식방파제를 전면에 배치한 경우가 후면에 배치한 경우보다 좀 더 효율적인 배치라고 사료된다.

투과계수와 반사계수는 파고의 변화에 의해서는 완만한 변화를 나타냈으나 주기의 변화에 의해서는 급격한 변화를 보였다. 단일 부유식방파제를 배치할 경우 기대 할 수 있는 소파성능은 동일한 형상의 수중방파제보다 평균적으로 투과계수는 20%, 반사계수는 10%정도로 높은 효과를 나타냈고 부유식방파제의 홀수와 길이를 조절하게 된다면 더 높은 소파성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 첨단항만건설기술개발사업(과제명: 항만권역 태풍 및 지진해일 재해대응체계 구축)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 박재현, 안용호, 김도영 (2000). 상자형 부유식 방파제의 소파성능 개선을 위한 실험적 연구, 한국해양환경공학회논문집, 제3권, 제2호, pp. 41-48.
2. 양우석, 조원철, 박우선 (2001). 부유식 방파제의 파랑 차단 성능 제어, 한국해양·해양공학회논문집, 제13권, 제3호, pp. 230-236.
3. 조일형 (2002). 계류된 사각형 부유식 방파제의 파랑제어성능, 한국해양환경공학회논문집, 제5권, 제3호, pp. 35-44.
4. 수치파동수로연구회 (2003). CADMAS-SURF 사용자 매뉴얼.
5. Hirt, C. W. and Nichols, B. D. (1981) Volume of Fluid(VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries, J. Comput. Phys., Vol. 39, pp. 201-225.