

불투과성 수중방파제를 통과하는 불규칙파의 반사

Reflection of Irregular Waves through Submerged Non-porous Breakwaters

민현성*, 박승현**, 이승오***, 조용식****
Hyun Seong Min, Seung-Hyun Park, Seung Oh Lee, Yong-Sik Cho

요 지

본 연구에서는 사석경사계의 전면부에 불투과성 수중방파제를 설치하여, 불규칙파의 반사에 대한 수치모의와 수리모형실험을 수행하였다. 수치해석 모형에는 Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) 방정식을 지배방정식으로 사용하였고, 난류해석을 위하여 $k-\epsilon$ 방정식을 사용하였다. 자유수면변위의 정확한 예측을 위하여 VOF 기법을 적용하였다. 수리모형실험은 한양대학교 수리실험실의 조파수로에서 수행되었다. 본 연구에서는 입사파랑으로 불규칙파를 조파하였으며, Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 목표스펙트럼으로 하여 재현하였다. 반사율의 산정에서 입사파와 반사파를 분리하기 위하여 수치모형실험에서는 3점법을 사용하였고, 수리모형실험에서는 2점법을 사용하였다. 수치모의를 통하여 예측된 반사율과 수리모형실험에서 관측한 결과는 서로 잘 일치하였다.

핵심용어 : 불규칙파, RANS 방정식, 반사율, 수중방파제, VOF 기법

1. 서 론

방파제는 연안시설물 중 가장 중요한 시설물 중의 하나이다. 우리나라 방파제의 약 70%는 경사식 방파제로 이루어져 있다. 최근, 태풍의 발생빈도가 높아지면서 방파제에 입사하는 파랑의 주기 및 파고가 커지는 실정이며, 이에 따른 월파로 발생하는 피해도 증가하고 있는 추세이다. 아울러, 우리나라의 심해파 제원이 상향조정되면서 기존 구조물의 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 경사식 방파제의 전면부에 수중방파제를 설치하여, 파랑의 반사에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구에 적용된 수치모형은 지배방정식으로 Reynolds 방정식을 사용하였고, $k-\epsilon$ 모델을 사용하였으며, VOF (Volume of Fluid) 기법을 사용하였다. 또한, 수리모형실험을 병행하여 수행하였으며, 수치모의결과와 비교 및 검증하였다.

2. 지배방정식

유체의 흐름이 비압축성이라고 가정하면 평균 흐름은 연속방정식 식(1)과 Reynolds 방정식 식(2)에 의해 지배받는다(Lin과 Liu, 1998).

* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: near@hanyang.ac.kr

** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: pshaq@hanyang.ac.kr

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 박사 후 과정 · E-mail: seungoh.lee@gmail.com

**** 교신저자 · 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · E-mail: ysc59@hanyang.ac.kr

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle P \rangle}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle \tau_{ij} \rangle}{\partial x_j} - \frac{\partial \langle u'_i u'_j \rangle}{\partial x_j} \quad (2)$$

$\langle u_i \rangle$ 는 평균유속이고 u'_i 는 난류유속이며, $\langle P \rangle$ 는 평균압력이고, P' 는 난류압력이다. ρ 는 유체의 밀도이고, g_i 는 중력가속도의 방향 성분을 의미하며, $\langle \tau_{ij} \rangle$ 는 평균흐름의 점성응력에 대한 텐서이며, 뉴턴 유체(Newtonian fluid)에서는 문자 점성을 나타내는 μ 와 평균 흐름의 변형률 텐서 $\langle \sigma_{ij} \rangle$ 를 이용하여 $2\mu \langle \sigma_{ij} \rangle$ 로 나타낸다. 여기서, $\langle \sigma_{ij} \rangle$ 를 식 (3)과 같이 표현할 수 있다(Liu와 Lin, 1997).

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

본 수치모형에서는 격자영역의 왼쪽과 오른쪽에 개방경계조건을 사용하여, 조파된 파랑의 재반사를 억제하였다. 난류 운동의 해석을 위한 k 와 ϵ 에 대한 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식으로부터 유도되며, 그 결과로 식(4)가 유도된다.(Lin과 Liu, 1998).

$$k = \frac{1}{2} \langle u'_i u'_j \rangle, \quad \epsilon = \nu \left\langle \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \right)^2 \right\rangle \quad (4)$$

여기서, ν 는 동점성계수를 의미한다.

3. 실험조건

수치모형과 수리모형에서 사용된 수심은 0.50m이고, 파고는 0.05m를 사용하였다. 주기는 1.8sec부터 3.0sec까지 0.20sec의 간격으로 실험하였다. 수치모형실험에 사용된 불규칙파는 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼(Goda, 2000)을 목표 스펙트럼으로 설정하여 재현하였다. 그림 1은 주기 2.2sec에서의 목표 스펙트럼과 입사파의 스펙트럼을 비교한 그림으로 재현된 불규칙파의 스펙트럼은 목표 스펙트럼과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

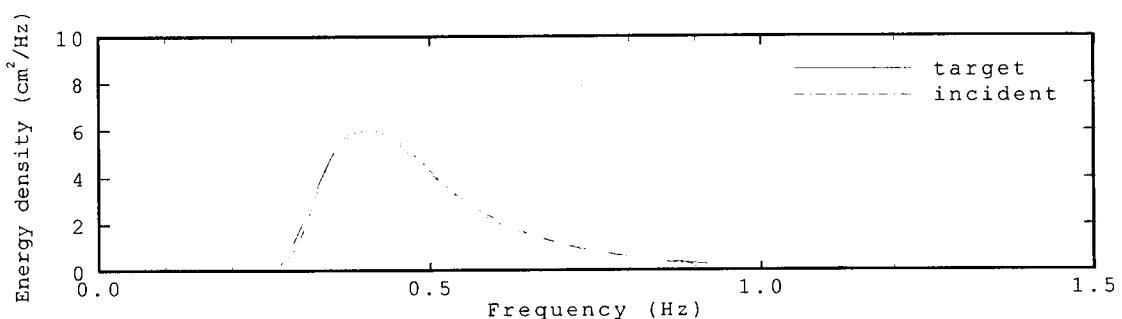


그림 1. 불규칙파의 스펙트럼 재현

본 연구에 사용된 실험단면은 1:1.5의 경사를 가진 사석경사식 방파제의 전면부에 사각형형상 불투과성 수중방파제를 설치하여 실험하였다. 그림 2에 도시한 것과 같이 수중방파제의 저면폭 (W_s)과 높이(h_s)는 0.25m로 고정하여 실험하였다. 수중방파제의 배열은 1열로 하였고, 수중방파제와 사석경사식 방파제와의 거리(d_1) 및 수중방파제 간의 거리(d_2)는 각각 0.25m에서 1.00m까지 0.25m의 간격으로 변화시켜 실험하였다. 사석경사식 방파제의 전면경사는 1:1.5이다. 또한, 수리모형실험을 수행한 결과를 수치모의의 결과와 비교 및 검증하였다.

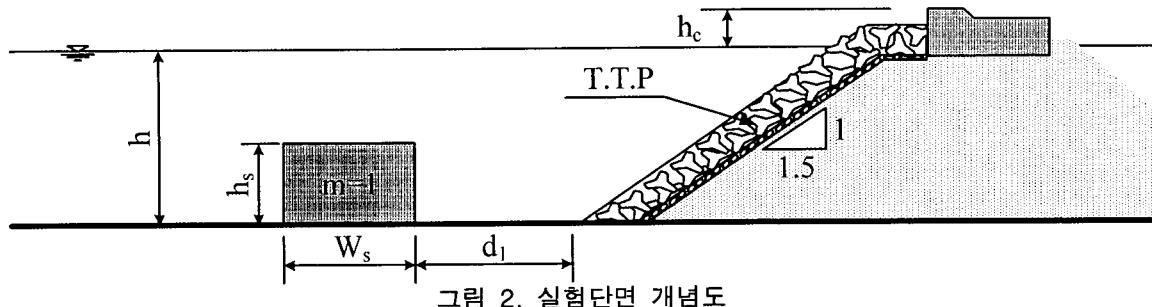


그림 2. 실험단면 개념도

4. 결과 및 결론

본 연구에서는 기존 사석경사식 방파제의 안정성을 높이기 위하여, 사석경사식 방파제의 전면부에 수중방파제를 설치하여 반사율을 산정하였다. 그림 3은 수중방파제가 1열로 배열된 경우, 수치모형실험과 수리모형실험의 반사율 산정결과를 비교하여 도시한 그림이다. 수치모형실험의 결과가 수리모형실험에 비하여 약간 작게 나타났으나, 비교적 잘 일치하는 경향을 나타낸다. 수중방파제가 1열인 경우 사석경사식 방파제와의 최적거리는 주기 1.8sec에서 2.2sec까지는 0.50m로 나타났으며, 2.4sec에서 3.0sec까지는 0.75m로 산정되었다.

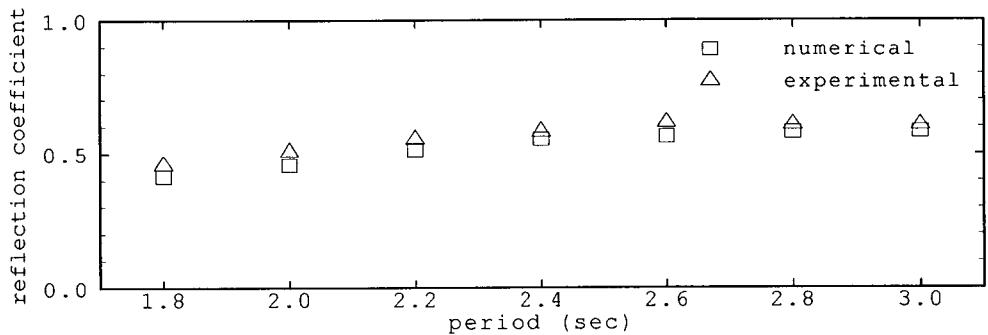


그림 3. 최적거리에서의 반사율 비교 ($m=1$)

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 지원에 의해서 수행되었습니다. (KRF 2006-311-D00887)

참고문헌

1. Goda, Y.(2000). Random seas and design of maritime structures, 2nd edition, World Scientific, Singapore.
2. K. G. Shirlal, S. Rao, and V. G. Manu(2006). Stability of breakwater defenced by a seaward submerged reef. Ocean Engineering, Vol 33, pp. 829-846.

3. Lin, P. and Liu, P.L.-F.(1998). A numerical study of breaking waves in the surf zone. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 359, pp. 239-264.
4. Liu, P.L.-F., and Lin, P., (1997). "A numerical model for breaking wave: the volume of fluid method." Research Rep. CACR-97-02. Center for Applied Coastal Research Ocean Engineering. Lab., Univ. of Delaware, Newark, Delaware 19716.