

경사식 방파제의 전면에 설치된 수중방파제의 영향에 관한 연구

Influence of Submerged Breakwater in front of Rubble Mound Breakwater

민현성* · 조용식**

Min, Hyun-Seong · Cho, Yong-Sik

Abstract

The reflection coefficients and the run-up heights affected by submerged structures are studied by using the numerical and the laboratory experimental methods. The three-point method is chosen to calculate the reflection coefficients in both the experimental and the numerical methods. The results of numerical simulations are shown a good agreement with laboratory measurements. The reflection coefficients increase and the run-up heights decrease when the rubble mound breakwater is defended by low-crested structures.

key words : Submerged breakwater, Reflection coefficient, Run-up height

1. 서 론

우리나라에 설치된 방파제 중 사석경사식 방파제는 약 70%를 차지하고 있다. 기존 심해파 재원이 상향 조정되었으며, 기상이변에 따른 태풍의 발생빈도 또한 잦아졌다. 따라서, 기존 사석경사식 방파제의 기능성의 확보가 시급한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 사석경사식 방파제의 전면에 수중 방파제를 설치하고, 영향성에 대하여 분석하였다. 본 연구에서는 난류흐름의 평균운동을 표현하기 위하여 Reynolds 방정식과 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였으며, 복잡한 자유수면 형상을 표현하기 위하여 VOF (Volume of Fluid) 기법을 사용하였다. 또한, 실제현상과 가깝게 재현하기 위하여 스펙트럼을 이용한 불규칙파를 조파하였다.

2. 지배방정식

사석경사식 방파제의 전면에서의 흐름은 매우 강한 난류흐름을 갖는다. 이러한 난류 흐름에서 속도는 평균 속도 $\langle u_i \rangle$ 와 난류 속도 u_i' 로 구별할 수 있고, 압력은 평균 압력 $\langle P \rangle$ 와 난류 압력 P' 로 구분된다.

$$u_i = \langle u_i \rangle + u_i', \quad P = \langle P \rangle + P' \quad (1)$$

유체의 흐름이 비압축성이라고 가정하면 평균 흐름은 식 (2)와 식(3)과 같은 Reynolds 방정식에 의해 지배받는다(Lin과 Liu, 1998).

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

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

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

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle P \rangle}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle \tau_{ij} \rangle}{\partial x_j} - \frac{\partial \langle u_i' u_j' \rangle}{\partial x_j} \quad (3)$$

식 (3)에서 ρ 는 유체의 밀도를 나타내며, g_i 는 중력가속도의 방향 성분을 의미한다. 또한, $\langle \tau_{ij} \rangle$ 는 평균 흐름의 점성 응력에 대한 텐서(tensor)이며, 뉴턴 유체(Newtonian fluid)에서는 분자 점성을 나타내는 μ 와 평균 흐름의 변형률 텐서 $\langle \sigma_{ij} \rangle$ 를 이용하여 $2\mu \langle \sigma_{ij} \rangle$ 로 나타낸다. 여기서, $\langle \sigma_{ij} \rangle$ 는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다(Liu와 Lin, 1997).

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

조파된 파랑의 재반사로 인한 오차를 없애기 위하여 본 모형에서는 격자영역의 왼쪽과 오른쪽에 개방경계조건을 사용하였다. 난류 운동을 고려하기 위한 k 와 ϵ 에 대한 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식으로 부터 유도되며, 그 결과로 식(5)가 유도된다.(Lin과 Liu, 1998).

$$k = \frac{1}{2} \langle u_i' u_i' \rangle, \quad \epsilon = \nu \left\langle \left(\frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right)^2 \right\rangle \quad (5)$$

식 (5)에서, ν 는 동점성계수(molecular kinematic viscosity)를 의미한다.

3. 실험조건과 불규칙파 스펙트럼

본 연구에서 수행된 구조물은 그림 1과 같다. 본 연구에서 사용된 수심(h)은 0.5 m 이고, 불규칙파의 유의파고 및 유의주기는 0.05 m와 1.8 ~ 3.0 sec ($\Delta T_s = 0.2$ sec)이다. 실험에 사용된 사석경사식 방파제 모형의 전면경사는 1:1.5(V:H)이며, 구조물은 테트라포드, 피복석, 사석 및 콘크리트블록으로 구성되어 있으며, 테트라포드는 2층으로 피복되었다. 볼투과성 사각형형상 수중방파제의 저면폭(w_s)과 높이(h_s)는 0.25 m이며, 수중방파제의 배열은 1열과 2열을 대상으로 수행하였다. 사석경사식 방파제와 수중방파제 사이의 거리(d_1)와 수중방파제간의 거리(d_2)는 각각 0.25 m에서 1.00 m까지 0.25 m 간격으로 변화시켜 실험하였다. 수치모형실험에 사용된 불규칙파의 목표 스펙트럼은 Bretschneider-Mistuyasu 스펙트럼(Goda, 2000)을 사용하였다. 그림 2는 주기 2.6sec에서의 목표 스펙트럼과 입사파의 스펙트럼을 비교한 그림으로 재현된 불규칙파의 스펙트럼은 목표 스펙트럼과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

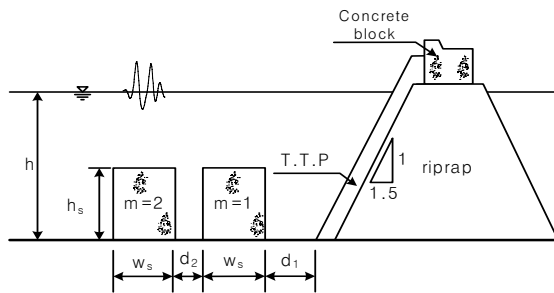


그림 1. 실험 개념도

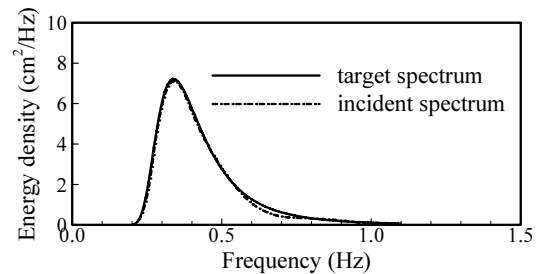
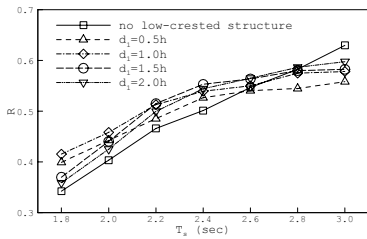


그림 2. 스펙트럼 비교 ($T_s = 2.6$ sec)

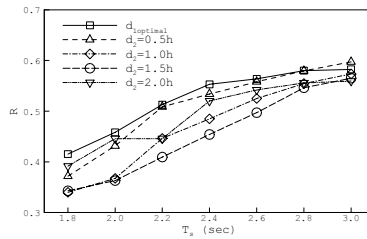
4. 실험결과

그림 3은 수치모의에서 d_1 과 d_2 를 변화시켰을 때 반사율의 변화를 종합적으로 도시한 그림이다. 그림 3(a)는 수중방파제가 1열로 설치된 경우, d_1 의 변화함에 따라 반사율의 변동을 도시한 그림이다. 반사율의 변화에 따라 수중방파제와 사석경사식 방파제 사이의 최적거리를 산정하였다. 유의주기가 2.2sec보다 짧은 경우 최적거리($d_{1optimal}$)은 1.0h로 산정되었으며, 2.2sec보다 긴 유의주기를 갖는 파랑에서는 1.5h로 산정되었다. 그러나, 주기가 3.0sec인 경우 수중방파제를 설치한 경우보다 설치하지 않은 경우의 반사율이 더 크게 산정되었다.

그림 3(b)는 수중방파제를 2열로 설치한 경우의 반사율과 1열에서 최적거리에 설치된 경우의 반사율을 비교한 그림이며, 1열로 설치된 경우보다 전반적으로 작게 산정되었다. 그림 4를 보면 비교적 장주기파랑에 대하여 수중방파제가 2열로 설치된 경우의 상대처오름높이가 작게 측정되었음을 알 수 있다. 이는 2열의 수중방파제를 통과하는 파랑의 에너지가 1열의 경우보다 많이 소산되어 처오름높이가 작게 측정된 것으로 판단된다. 따라서, 수중방파제를 2열로 설치해야 한다면, $d_2 = 1.0h$ 에 두 번째 수중방파제를 설치하는 것이 사석경사식 방파제의 기능성을 확보하는데 효과적이라고 판단된다.



(a) $m=1$



(b) $m=2$

그림 3. 수치모의에서 d_1 과 d_2 의 변화에 따른 반사율 비교

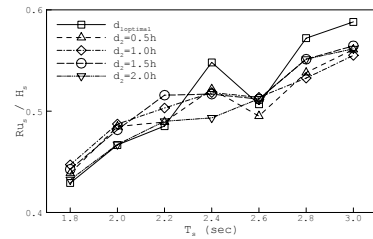


그림 4. 수리실험에서 d_2 의 변화에 따른 처오름높이 비교

5. 결론

본 연구에서는 사석경사식 방파제의 기능성을 확보하기 위하여, 전면에 수중방파제를 설치하여 영향성에 관한 연구를 수행하였다. 사석경사식 방파제의 전면에 수중방파제를 설치한 경우, 반사율은 증가하는 경향을 나타내었고, 전면에서의 처오름높이는 감소하는 경향을 나타냈다. 수중방파제가 1열로 배열된 경우, 유의주기가 2.2sec 이하에서 최적거리는 1.0h로 산정되었고, 유의주기가 2.2sec를 초과한 경우에는 1.5h로 산정되었다. 반면, 수중방파제가 2열로 배열된 경우의 반사율이 1열로 배열된 경우보다 작게 산정되었다. 이는 2열의 경우에 비선형성이 보다 강하게 나타나기 때문에 반사율이 작게 산정되었다고 판단된다. 그러나 사석경사식 방파제 전면 처오름높이는 2열로 배열된 대부분의 경우에서 1열로 배열된 경우보다 작게 산정되었다. 파랑이 2열의 수중방파제를 통과할 때, 1열의 경우보다 더 많은 에너지가 소산되기 때문이라고 판단된다. 수중방파제가 2열로 설치 할 경우, 수중방파제 간의 최적거리는 1.0h로 산정되었다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(지진해일 방재대책 수립) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박우선, 오영민, 전인식 (1992). “최소자승기법에 의한 입·반사파의 분리기법.” 한국해양해양공학회논문집, 제4권, 제3호, pp. 139-145.
2. 황종길, 이승협, 조용식(2004) 사각형형상 불투과성 수증방파제에 의한 불규칙파의 변형. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제11호 , pp.949-958.
3. Goda, Y., (2000). Random seas and design of maritime structures, 2nd edition, World Scientific, Singapore.
4. 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.
5. 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.