

폭 변화에 따른 다열 불투과성 수중방파제를 통과하는 다방향 불규칙파랑 해석

Analysis of Multi-directional Random Waves Propagating over Multi
Arrayed Submerged Breakwaters as Varying Crown Widths

강규영*, 정재상**, 정태화***, 조용식****
Gyu Young Kang, Jae Sang Jung, Tae Hwa Jung, Yong Sik Cho

Abstract

In this study, transmission and reflection of multi-directional random waves propagating over multi-arrayed submerged breakwaters are investigated using eigenfunction expansion method. The numerical analysis on the wave energy reflection of submerged breakwaters with various crown widths is carried out. Strong wave reflection is occurred at the Bragg reflection condition of the peak frequency. When relative heights and crown widths of breakwaters are equal to 0.6 and 0.4h, respectively, more than 25% of wave energy is reflected to off shore.

Key words: Multi-Directional Random Waves, Submerged Breakwaters, Eigenfunction Expansion Method, Bragg Reflection

1. 서 론

심해에서 친해를 거쳐 해안지역으로 입사하는 파랑은 다양한 지형 및 해안구조물을 통과하면서 해안선의 변화 및 침식 문제를 야기 시킨다. 일반적으로 해안선의 변형문제를 막기 위해서 해안선에 직각방향으로 돌체를 건설하거나, 의해 축에 해안선과 평행하게 축조된 방파제인 이안제를 건설한다. 그러나 기존의 구조물들은 해안경관을 해칠 뿐만 아니라 연안 오염 문제도 야기 시킬 수 있기 때문에 이러한 문제점들을 보완하기 위한 대안으로 수중방파제의 건설이 제시되고 있다.

본 연구에서는 다열 불투과성 수중방파제 열 간 간격을 입사파 파장의 1/2로 고정한 후 Bragg 반사를 인위적으로 발생시키고, 수중방파제의 폭의 변화에 따른 파랑에너지 반사를 모의하였다.

2. 고유함수 전개법

본 연구에서는 Cho와 Lee(2000)가 사용한 고유함수전개법을 이용하여 불투과성 수중방파제에 의한 파랑의 반사율을 산정하였다. 식 (1)은 진행파와 소멸파의 속도포텐셜이며, 식 (2)는 반사파와 소멸파의 속도포텐셜을 나타낸다.

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

** 정회원 · 현대산업개발 토목설계팀 · E-mail : fingon@hyundai-dvp.com

*** 한양대학교 산업과학연구소 박사후과정 · E-mail : togye176@paran.com

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

$$\Phi_m^+ = \left\{ A_m^+ e^{-i k_m x} \cosh k_m (h_m + z) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{m,n}^+ e^{-i \lambda_{m,n} x} \cos K_{m,n} (h_m + z) \right\} e^{-i k_x - \omega t} \quad (1)$$

$$\Phi_m^- = \left\{ A_m^- e^{-i k_m x} \cosh k_m (h_m + z) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{m,n}^- e^{+i \lambda_{m,n} x} \cos K_{m,n} (h_m + z) \right\} e^{-i k_x - \omega t} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 아래 첨자 $m=1, 2, 3\dots$ 은 서로 다른 수심을 갖는 각각의 영역, $n=1, 2, 3\dots$ 은 소멸파의 수, A_m^+ , A_m^- 및 $B_{m,n}^+$, $B_{m,n}^-$ 는 미지 복소진폭함수, k_m 과 $K_{m,n}$ 는 진행파와 소멸파의 파수를 의미한다. 반사율은 다음과 같이 정의된다.

$$R = \frac{|A_1^-|}{|A_1^+|} \quad (3)$$

3. 입사파랑의 스펙트럼

여러 방향의 성분파가 겹쳐져 있는 다방향 불규칙파랑의 생성을 위해 다음과 같은 스펙트럼식이 사용된다(Goda, 2000).

$$S(f, \Theta) = S(f) \cdot G(f, \Theta) \quad (4)$$

여기서, $G(f, \Theta)$ 는 방향함수로 다음과 같이 정의된다(Mitsuyasu et. al., 1975).

$$G(f, \Theta) = G_0 \cos^2 \left(\frac{\Theta}{2} \right) \quad (5)$$

$S(f)$ 는 주파수 스펙트럼으로써 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 사용하고 다음식과 같이 표현된다.

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp \{-1.03(T_{1/3} f)^{-4}\} \quad (6)$$

식 (6)에서, $H_{1/3}$ 은 유의파고, $T_{1/3}$ 은 유의주기, f 는 입사파의 진동수를 의미한다.

4. 수치결과

그림 1과 같은 사각형 형상의 수중방파제에 대해 반사율을 계산하였다. 수심 H 는 0.8 m로 고정하고, 수중방파제의 높이 h 는 상대수심 h/H 에 따라 0.2에서 0.6까지 0.1간격으로 증가시켰다. 사각형의 폭(w)은 각각의 상대수심에 따라 0.2h에서 0.8h까지로 0.2h간격으로 설정하였다. 수중방파제 중심사이의 간격(L)은 2.4 m로 고정하였다.

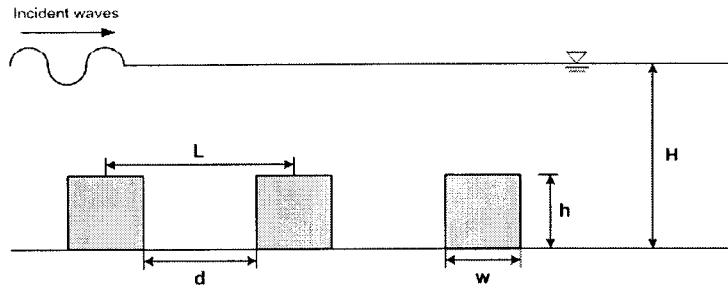


그림 1. 사각형 수중방파제의 단면

그림 2는 $m=3$, $kh=1$ 그리고 $S_{\max}=75$ 인 조건에서 식 (7)을 이용하여 에너지 반사율을 계산한 것이다.

$$E_r = \frac{\sum_{i=0}^{i_{\max}} A_{1i}^{-2}}{\sum_{i=0}^{i_{\max}} A_{1i}^{+2}} \quad (7)$$

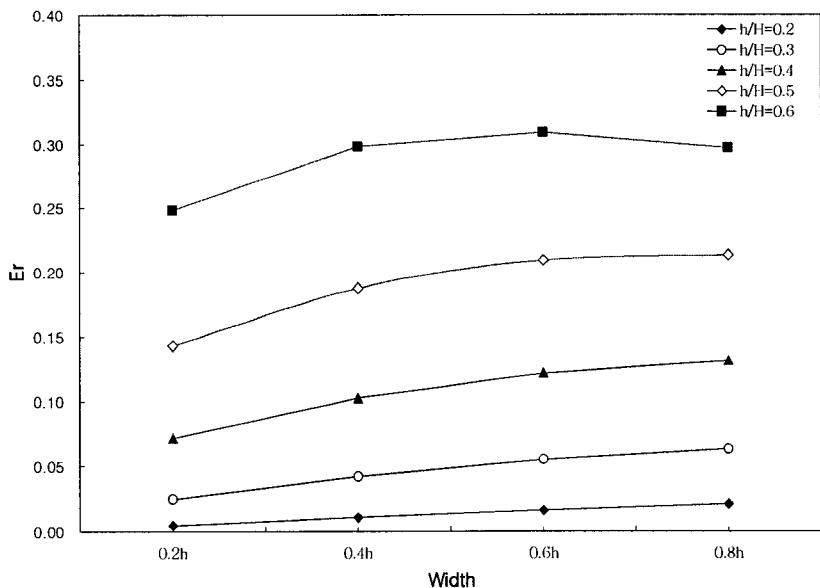


그림 2. 방파제 폭과 상대높이에 따른 에너지 반사율
($S_{\max}=75$, $kh=1$, $m=3$)

5. 결 론

다열 수중방파제의 폭의 변화에 따른 다방향 불규칙파의 반사특성을 검토하였다. $kh=1$ 인 경우 수중방파제의 폭이 $0.6h$, 상대높이가 0.6 일 때 에너지 반사율이 가장 크게 나타났으며, 같은 조건에서 폭이 $0.7h$ 인 경우에는 에너지반사율이 다소 감소하였다. 또한, 수중방파제의 상대높이가 증가함에 따라 파랑에너지에 대한 반사도 증가함을 확인 하였다.

감사의 글

본 논문은 해양수산부의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이종인, 조용식, 이정규(1999). 경사지형에서의 Bragg 반사, 한국수자원학회논문집, 제32권, 제4호, pp. 447-455.
2. 정재상, 조대희, 황종길, 조용식(2004). 사각형형상 불투과성 수중방파제를 통과하는 불규칙파의 반사, 한국수자원학회논문집, 제37권, 제9호, pp. 729-736.
3. 정재상, 강규영, 조용식(2007). 다열 불투과성 수중방파제를 통과하는 다방향 불규칙파랑의 해석, 한국해안 해양공학회지, 제19권 제1호, pp. 29-37.
4. Bailard, J.A., DeVries, J.W. and Kirby, J.T.(1992). Consideration in using Bragg reflection for storm erosion protection, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., 118. pp. 62-74.
5. Cho, Y.-S. and Lee, C.,(2000). Resonant reflection of waves over sinusoidally varying topographies, Journal of Coastal Research. 16(3), pp. 870-876.
6. Cho, Y.-S. and Jung, J.-S.(2006). Bragg resonant reflection of carrier waves composing wave groups, Ocean Eng., 33(1). pp. 82-92.
7. Goda, Y.(2000). Random Seas and Design of Maritime Structures, World Scientific, Singapore.