

# 파랑과 해안구조물과의 상호작용에 관한 연구

김성덕\* · 이호진\*\* · 도현승\*\*\*

\*중앙대학교 토목환경공학과 · \*\*충북대학교 토목공학과 · \*\*\*청주대학교 토목환경공학과

## The Study on the Wave Interaction Due to Offshore Structures

Sung Duk Kim\* · Ho Jin Lee\*\* · Hyon-Seung Dho\*\*\*

\*Department of Civil and Environmental Engineering, Chung-Ang University

\*\*Department of Civil Engineering, Chungbuk National University

\*\*\*Department of Civil and Environmental Engineering, Chungju University

### Abstract

The present study is to investigate the effect of wave-structure interaction such as wave oscillation. The theoretical method is based upon the linear diffraction theory obtained by the boundary element method. The water depth and incident wave period in fluid region are assumed to be constant. To investigate the wave interaction due to offshore structures, the numerical program has been developed and the simulation has been carried out by varying the conditions of distance and width of offshore structures. This study can effectively be utilized for safety assessment to various breakwater systems and layout of offshore breakwater in the ocean and coastal field. It can give information for the safety to construct offshore structure and revetment in coastal region.

**Keywords :** Wave-Structure Interaction, Linear Diffraction Theory, Boundary Element Method, Offshore Structure

### 1. 서론

최근 소득 증대와 여가활용의 시간이 증가하면서 해양 레저에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 기존의 낚은 유희 항만시설물은 환경 친화적인 새로운 형태의 구조물의 재구축, 그리고 어항의 경우 관광·레저의 수요에 부응할 수 있는 다기능어항의 개념에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다[2][3]. 따라서 방파제의 경우도 기존의 직립식이나 사석식, 블록식의 형상에서 탈피하여 새롭고 다양한 방파제의 형상이 출현하고 있다. 이러한 해안 구조물을 호안의 전면 수역에 설치할 경우 호안의 전면 수역이 방파제에 의해 차단되며, 파랑과 구조물과의 상호작용에 의해 호안전면과 방파제 배후의 수역에서 공진현상이 발생한다. 이러한 공진의 증폭률은 입사주기, 방파제와 호안의 거리, 호안의 반사율과 관련하여 복잡하게 나타난다. 즉, 호안과 방파제의 거리 또는 해안 구조물의 길이의 변화에 따른 의

해 수역에서의 방파제의 배치는 호안과 해안 구조물 사이에서의 증폭률을 변화시킨다. 그러므로, 해안 구조물과 호안 사이에서의 안정적인 파고 증폭률을 얻기 위하여 해안 구조물의 적절한 배치가 중요하다.

본 연구에서 다루는 파랑과 해안 구조물과의 상호작용에 관한 이론의 기초는 파랑의 회절이론을 출발점으로 한다. 연안역에서의 파랑의 회절계산은 Penny & Price[4]를 시작으로 Puttnam & Arthur, Blue & Johnson, Carr & Stelzriede에 의해 계속 진행되었다[5],[6],[7]. 위 연구자들의 해석해를 실용화하기 위하여 Wiegel은 다수의 회절도를 표시하였고, 이어서 Pos & Kilner, 瀧川 清는 방파제 개구부의 배후에 있어서의 파고분포를 유한 요소법을 사용하여 완구배방정식에 대하여 수치계산을 하였다 [8],[9]. Spring & Monkmyer는 유체력과 파의 초오름에 기인된 상호작용을 조사하였고[10], 이후 Linton & Evans, Kagemoto & Yue 등이 해안 구조물에서의 상호작용에 관한 3차원 파랑의 회절문제를 연구하였다[11],[12].

† 교신저자 : 이호진, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410 공과대학 토목공학과

M·P:010-8956-5582, E-mail:lhjce@chungbuk.ac.kr

2009년 10월 20일 접수; 2009년 12월 4일 수정본 접수; 2009년 12월 8일 게재확정

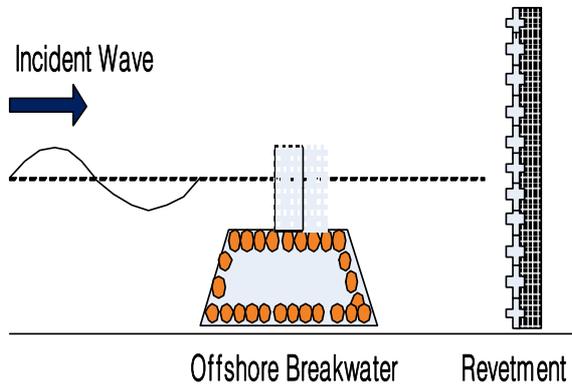
본 연구는 최근 슈퍼태풍 및 폭풍 해일에 의해 발생하는 장주기의 강력한 에너지를 갖는 파가 해안으로 접근할 때에 방파제와 호안 사이에서의 상호작용으로 인해 발생하는 해안 구역에서의 피해 및 해안 도시에서의 피해를 저감시키는 것에 목적이 있다. 즉, 친환경적인 신항만 건설 또는 어항 및 마리나 건설시에 파랑의 차단을 목적으로 배치하는 해안 방파제와 해안 구역에서 상호작용하는 파랑의 공진현상을 조사한 것이다. 호안과 방파제 사이의 거리에 따른 파랑과 구조물의 상호작용으로 발생하는 공진현상의 안정적인 증폭률을 얻기 위한 거리비율을 조사하여 신항만 건설에 유용한 정보를 제공한다.

우선 호안은 직립벽으로 일직선상으로 설정하고, 일정한 거리 만큼 해안 방파제를 설치한다. 호안 전면은 완전반사벽면으로 가정하고 해안 방파제의 폭은 파장의 2배로 설정하고, 파랑은 주기가 10초이며 방파제 및 호안에 직각으로 입사한다. 이 때 해안 방파제와 호안 사이의 거리에 따라서 발생하는 공진현상의 증폭률을 조사하여 방파제 배후 호안 전면의 해안 구역에서의 안전성을 검토한다.

## 2. 이론

### 2.1 지배 방정식

[그림 1]과 같이 호안의 전면에 해안 방파제를 설치하고 외해에서 10초 주기의 파랑이 직각으로 입사하는 것으로 가정한다. 해안 방파제의 경계선을 B1, 호안의 경계선을 R2라 하고, 유체의 성질을 비점성, 비압축성 그리고 유체입자의 운동을 비회전성으로 하는 미소진폭과 운동으로 가정하면 Laplace 방정식을 만족하는 속도 포텐셜이 존재하고 다음과 같이 정의할 수 있다.



[그림 1] 해안 방파제와 호안의 레이아웃

$$\Phi(x, y, z, t) = \phi(x, y, z)e^{-i\sigma t} \tag{1}$$

여기서,  $\sigma$ 는 각주파수 ( $= 2\pi/T$ ,  $T$ 는 주기),  $t$ 는 시간이다. 식 (1)을 연속방정식에 적용하면 다음과 같은 Laplace 방정식이 얻어진다.

$$\nabla^2 \Phi(x, y, z, t) = 0 \tag{2}$$

자유표면 및 저면에서의 경계조건은 식 (3) 및 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}\right)_{z=0} + g \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z}\right)_{z=0} = 0 \tag{3}$$

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial z}\right)_{z=-h} = 0 \tag{4}$$

경계 조건들을 만족하는 속도포텐셜의 일반해는 다음과 같다.

$$\phi(x, y, z, t) = \frac{A_i g}{\sigma} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh(kh)} f(x, y) e^{-i\sigma t} \tag{5}$$

$A_i$ 는 입사파의 진폭,  $k$ 는 파수이며 다음의 분산관계식으로부터 얻어진다.

$$kh \tanh(kh) = \sigma^2 h / g \tag{6}$$

또한,  $f(x, y)$ 는 파동함수로서 입사파, 반사파 및 산란파의 성분으로 구성되며, 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x, y) = f_i(x, y) + f_r(x, y) + f_s(x, y) \tag{7}$$

입사파와 호안에서의 반사파에 의한 함수는 각각 식 (8)과 (9)와 같이 주어진다.

$$f_i(x, y) = -ie^{-ik(x \cos \theta + y \sin \theta)} \tag{8}$$

$$f_r(x, y) = -ie^{-ik(x \cos \theta - y \sin \theta)} \tag{9}$$

따라서 산란파의 파동함수  $f_s(x, y)$ 를 결정하면, 속도 포텐셜의 일반해에 의해  $\phi(x, y, z)$ 가 결정되고 구역 내에서의 파동이 확정된다.

2.2 경계치 문제와 적분방정식

[그림 1]의 Fluid Region에서의 산란파의 파동함수  $f_s(x, y)$  는 Green 정리에 의해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_s(x, y) = -\frac{1}{2} \int_{B_1+B_2} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial n} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) - \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \frac{\partial f_s(\xi, \eta)}{\partial n} \right] d\Gamma \quad (10)$$

여기서,  $\Gamma$ 는 해안 방파제와 호안을 제외한 유체의 전 영역,  $(\xi, \eta)$ 는 경계선 B1, R2상의 좌표점,  $H_o^{(1)}(kr)$  은 제 1종 0차의 Hankel 함수이다.  $r$ 은 전체의 Fluid Region 내에서의 임의의 점인  $(x, y)$ 와 경계상의 점  $(\xi, \eta)$ 과의 거리로서 다음과 같이 주어진다.

$$R = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2} \quad (11)$$

식 (10)에서 호안 지역에서의 적분 방정식은 호안의 양끝을 범위로 한다. 따라서, 호안 경계선 R2상에서는 방파제의 영향을 받는 범위가 한정되므로 이 영향 범위를  $x_2 \leq R_2 \leq x_1$ 으로 가정하면 R2상의  $f_s(\xi, \eta)$ 는 이 범위 외에서는 zero로 취급하기 때문에 호안에서의 경계 적분방정식은 선 요소로 나타낼 수 있다. 식 (10)을 해안 방파제와 호안의 경계로 각각 분리하여 적용하면, 식 (12)로 표현할 수 있다.

$$f_s(x, y) = -\frac{1}{2} \int_{B_1} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial n} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) - \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \frac{\partial f_s(\xi, \eta)}{\partial n} \right] dB_1 - \frac{1}{2} \int_{x_1}^{x_2} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) - \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \frac{\partial f_s(\xi, \eta)}{\partial y} \right] dx \quad (12)$$

임의의 수역점  $(x, y)$ 를 경계상의 임의점  $(\xi', \eta')$ 에 접근시키면 경계상의  $f_s$ 에 관한 식이 다음과 같이 주어진다.

$$f_s(\xi', \eta') = \int_{B_1} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial n} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) - \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \frac{\partial f_s(\xi, \eta)}{\partial n} \right] dB_1 - \int_{x_1}^{x_2} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) - \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \frac{\partial f_s(\xi, \eta)}{\partial y} \right] dx \quad (13)$$

경계선 B1, R2상에 있는 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial f}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial f_s}{\partial n} = - \left( \frac{\partial f_i}{\partial n} + \frac{\partial f_r}{\partial n} \right) \quad \text{on B1} \quad (14)$$

$$\frac{\partial f}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial f_i}{\partial n} + \frac{\partial f_r}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial f_s}{\partial n} = \frac{\partial f_s}{\partial y} = 0 \quad \text{on R2} \quad (15)$$

위의 경계조건을 적용하면 식 (12)와 (13)은 각각 식 (16)과 (17)이 된다.

$$f_s(x, y) = -\frac{1}{2} \int_{B_1} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial n} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) - \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \left( \frac{\partial f_i}{\partial n} + \frac{\partial f_r}{\partial n} \right) \right] dB_1 - \frac{1}{2} \int_{x_1}^{x_2} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \right] dx \quad (16)$$

$$f_s(\xi', \eta') = - \int_{B_1} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial n} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) - \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \left( \frac{\partial f_i}{\partial n} + \frac{\partial f_r}{\partial n} \right) \right] dB_1 - \int_{x_1}^{x_2} \left[ f_s(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) \right] dx \quad (17)$$

식 (16)과 (17)을 해석하는 것에 의해 호안과 해안 방파제 사이에서의 회절과 값이 결정된다. 임의의 점  $(x, y)$ 에서 속도포텐셜은  $f_s(x, y)$ 를 식 (5)에 대입하는 것으로 구할 수 있다. 임의의 점  $(x, y)$ 에서 회절 계수  $K_d$ 는 다음과 같다.

$$K_d = |f_i(x, y) + f_r(x, y) + f_s(x, y)| \quad (18)$$

식 (16)과 (17)에 대한 수치 계산식을 컴퓨터 프로그램으로 개발하고, 식 (18)의 최종값을 출력값으로 산정한다. 따라서, 최종 출력값이 각 계산 조건에 대한 회절 파고비값을 나타낸다.

3. 수치 분석 및 계산 결과

3.1 수치실험 방법

컴퓨터 프로그램으로의 코딩을 위하여 2절의 이론식은 수치해석을 해야만 한다. 이를 위해 해안 방파제와 호안의 경계를 각각 M, N개의 작은 요소로 분할하고 경계상

의 중점 좌표( $\xi_i, \eta_i$ )( $i = 1, 2, \dots, M+N$ )에 의해서 각각의 수치를 대표시키면 식 (19)와 같이 이산화된다.

$$f_s(\xi_i, \eta_i) = - \sum_{j=1}^M [f_s(\xi_j, \eta_j)A_{ij} + A'_{ij}(f'_i + f'_r)] \quad (19)$$

$$- \sum_{j=M+1}^{M+N} [f_s(\xi_j, \eta_j)B_{ij}]$$

$$A_{ij} = - \frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \Delta B_j$$

$$B_{ij} = \int_{\Delta R_j} \frac{\partial}{\partial y} \left( - \frac{i}{2} H_o^{(1)}(kr) \right) dx$$

여기서,  $f'_i, f'_r$ 은 각각 입사파와 산란파의 법선 방향의 도함수이다.

식 (19)와 같이 이산화된 수치해를 바탕으로 컴퓨터 프로그램을 개발하고 다양한 계산 조건들을 입력값으로 설정하며 그에 따른 결과 값들을 본 절에서 상세하게 분석한다.

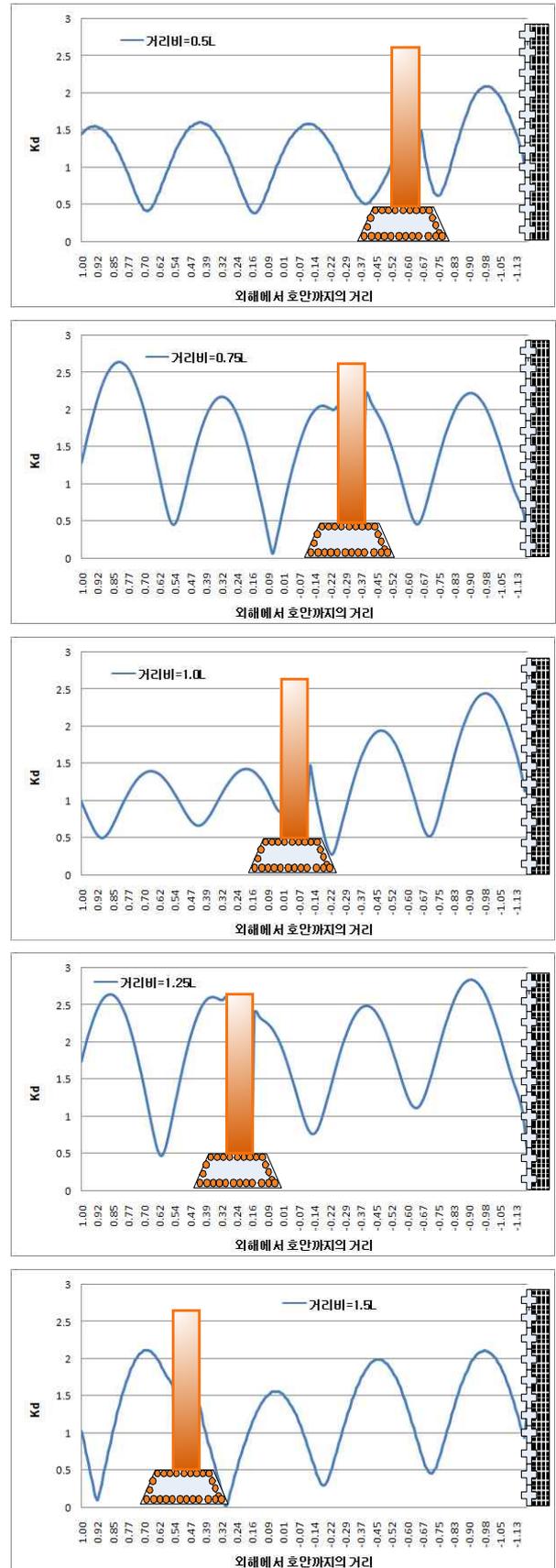
본 연구에서의 컴퓨터 계산 조건은 다음과 같다. 파랑의 입사주기는 10초, 해안 방파제 전면 및 배후의 수심은 10m, 입사파장의 실제 길이는 92.32m, 입사 파랑의 각도는 90°로 산정하였다. 해안 방파제와 호안 사이에서 파랑의 공진현상에 기인된 파고의 증폭률인 회절 파고비는 그래프 및 2차원 등고선도로 나타났다. 해안 방파제의 제원에 대해서는 입사파장(L)에 대해서 무차원화 하였으며, 그 길이는 입사파장의 2배인 2L, 해안 방파제의 폭은 입사파장의 0.1배인 0.1L로 산정하였다.

또한, 호안과 해안 방파제 사이의 거리도 입사파장에 대해서 무차원화 하였으며, 그 거리는 0.5L, 0.75L, 1.0L, 1.25L, 1.5L의 5가지 Case로 설정하여 수치실험을 실시하였다.

### 3.2 수치계산 결과

전술한 이론의 해석 및 3.1절의 수치방법과 수치계산 조건을 가지고 해안 방파제와 호안 사이의 거리 변화에 따른 파고분포도를 조사하였다. 이 때, 해안 방파제와 호안은 일직선 형태로 고안하였다.

[그림 2]는 5가지 Case의 변화된 거리에 대하여, 입사파랑의 시작부분에서부터 호안과 방파제의 중심점(0,0)까지의 파고분포도를 나타낸다. [그림 2]에서 보여진 것처럼 해안 방파제와 호안 사이의 수역에서 공진현상이 발생하였고, 증폭률도 높게 나타났다. 이는 파랑과 구조물과의 상호작용의 영향에 기인한다.



[그림 2] 방파제와 호안의 거리에 따른 파고분포도

구조물 사이 수역에서 회절 파고비가 가장 높게 나타난 거리비는 1.25L인 경우로 회절 파고비 값은 약 2.8로 나타났고, 그 다음으로 1.0L인 지점으로, 회절 파고비 값은 2.5로 조사됐다. 이는 구조물 간의 거리비가 멀어질수록 파고의 증폭률이 높아진다는 것을 의미한다. 반면에 1.5L인 경우는 0.5L인 경우와 비슷한 파고의 증폭률을 나타냈는데, 거리비가 구조물과 파랑의 상호작용의 영향 범위를 벗어났기 때문이다.

신항만 건설 또는 어항 건설을 할 경우, 해역의 보호 및 안전성을 확보하기 위하여 외해에 해안 방파제를 설치할 때 방파제와 호안의 거리비가 1.0L과 1.25L인 곳은 피해야 한다고 판단된다.

[그림 3]은 조사 영역의 전체 수역에서의 파랑장에 대한 2차원 파고분포도 나타낸다.

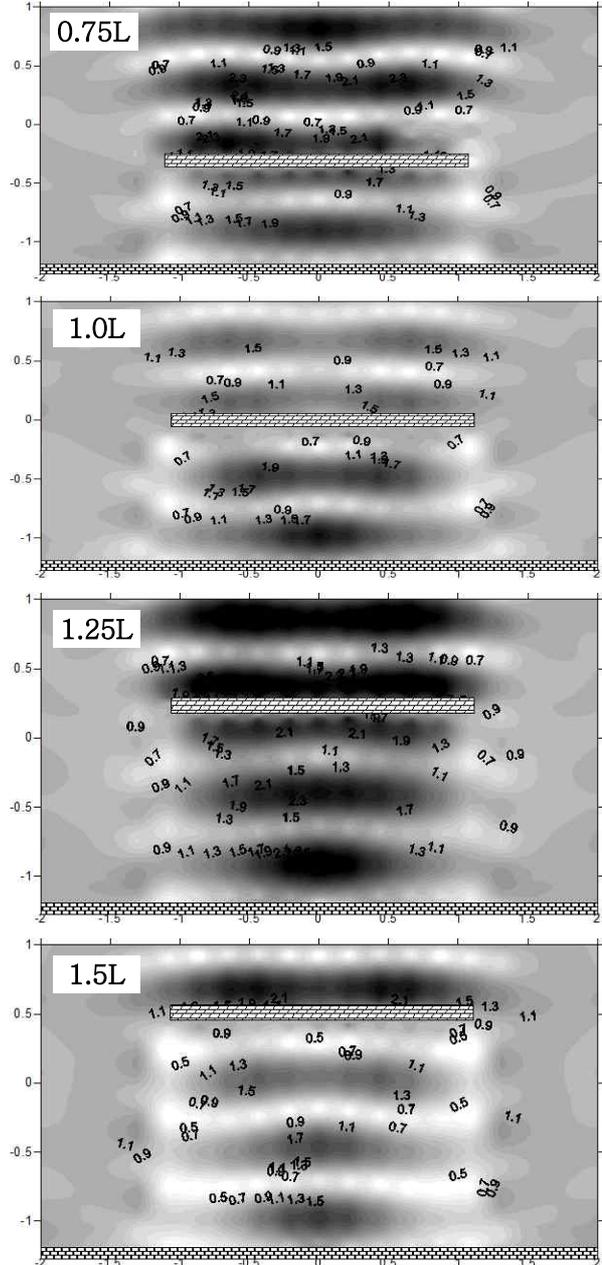
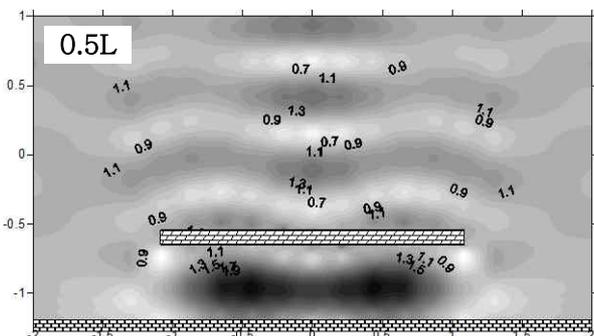
[그림 3]에서 보면, 해안 방파제와 호안 사이의 수역에서 파랑과 구조물과의 상호작용에 의한 공진 현상이 나타났고, 그 형태는 쌍봉형의 Peak 또는 단봉형의 Peak가 나타나고 있음을 알 수 있다.

2차원 파고분포도에서도 중심부의 그래프에서 조사된 것과 같이 거리비가 1.25L인 경우가 파고의 증폭률이 가장 높게 나타났으며, 거리가 가장 가까운 0.5L인 경우 중심부에서는 파고 증폭률이 그다지 높지 않았으나 중심부를 벗어난 -0.5지점과 +0.5지점에서 쌍봉형태의 공진 현상이 나타났다. 이는 구조물간의 거리가 일정 거리비보다 가까운 경우에도 파랑과 구조물의 상호작용이 크게 작용하고 있음을 나타낸다.

한편, 거리비가 0.75L인 경우와 1.25L인 경우 입사파와 반사파의 중첩으로 인해 해안 방파제 전면 부에서의 파고 증폭률이 높게 나타났다.

이러한 결과들을 종합해 볼 때, 해안 방파제와 호안의 거리에 따라서 파랑장의 파고분포가 다른 양상을 나타내고 있고, 이러한 거리비가 파고의 증폭률에 대하여 대단히 중요한 요소가 되고 있음을 알 수 있다.

[표 1]은 본 연구의 수치계산 조건에 따른 파공 증폭률의 결과 및 진행파의 파봉의 형태를 나타낸 것이다.



[그림 3] 방파제와 호안의 거리에 따른 2차원 파고분포도

[표 1] 수치계산 조건에 따른 결과분석

조건 번호	방파제 거리비	주기	최대파 고비	파고형태
Case 1	0.5L	10s	2.10	쌍봉형 Peak
Case 2	0.75L	10s	2.25	단봉형
Case 3	1.0L	10s	2.49	단봉형
Case 4	1.25L	10s	2.80	단봉형 Peak
Case 5	1.5L	10s	2.10	단봉형

## 4. 결론

본 연구는 해안 방파제의 설치에 의해 호안에서 반사되는 파에 의해 발생하는 공진 특성을 이용하여 파고 증폭률을 조사하기 위하여 실시된 것이다. 외해에서 파랑이 입사할 때, 파랑의 차단 목적으로 설치되는 해안 방파제의 배후 수역과 호안 사이 수역에서의 공진 현상으로 발생하는 파고 증폭률은 해안 지역, 해안 구조물, 수역을 향해하는 선박의 안전성에 영향을 미친다.

따라서, 이러한 공진 현상에 의한 파고 증폭률이 낮게 발생하는 파랑과 해안 구조물 사이에서의 상호작용에 대한 검토가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 경계적분방정식과 Green 정리를 이용한 이론식을 바탕으로 경계요소법을 이용한 수치모델을 개발하였다.

호안과 해안 방파제의 거리비의 변화(5가지 Case)에 따른 파고 증폭률을 조사하였으며, 그 결과들을 그래프 및 2차원 형태의 등고선도로 나타냈다. 각각의 Case에 대하여 일관성을 유지하기 위하여 입사조건을 동일하게 하였고, 입사파장(L)에 대하여 무차원화를 하였다. 입사파의 입사각은 10초, 입사파랑은 해안 방파제에 직각인 90°로 설정하였다.

입사파랑의 시작부분에서부터 호안과 방파제의 중심점(0,0)까지의 파고분포도 그래프에서 파랑과 구조물의 상호작용에 의해 공진 현상이 발생했으며, 거리비가 1.25L인 경우에 가장 높은 회절파고비를 나타냈고, 그 값은 약 2.8로 나타났다. 즉, 구조물과 파랑의 상호작용의 영향 범위를 벗어나지 않고, 구조물 간의 거리비가 멀어질수록 파고의 증폭률이 높게 나타났다.

조사 영역의 전체 수역에서의 파랑장에 대한 2차원 파고분포도에서 공진 현상의 형태는 쌍봉형의 Peak 또는 단봉형의 Peak가 나타나고 있음을 알 수 있다. 2차원 파고분포도에서도 거리비가 1.25L인 경우가 파고의 증폭률이 가장 높게 나타났으며, 거리가 가장 가까운 0.5L인 경우 중심부에서는 파고 증폭률이 그다지 높지 않았으나 중심부를 벗어난 -0.5지점과 +0.5지점에서 쌍봉형태의 공진 현상이 나타났다. 이러한 결과들을 종합해 볼 때, 해안 방파제와 호안의 거리에 따라서 파랑장의 파고분포가 다른 양상을 나타내고 있고, 이러한 거리비가 파고의 증폭률에 대하여 대단히 중요한 요소가 되고 있음을 알 수 있다.

기존의 연구는 단순히 입사파랑의 조건 즉, 입사파의 파장, 파고, 주기, 파향 조건을 설정해서 방파제 건설시의 방파제 앞 수역에서의 파고분포에 대한 것이었다[1].

그러나 본 연구는 호안과 방파제 그리고 파랑의 상호작용의 복합적인 수치적 관계를 검토하였고, 이들에 의해 발생하는 공진 현상을 면밀하게 검토하여 방파제

전후 및 해안 지역에서의 안전성을 확보하기 위한 방파제와 호안의 안정적인 거리비를 설정하였다. 이처럼 본 연구는 최근에 많이 건설되고 있는 신항만, 어항, 해양 구조물 건설 등의 해안 공사에서 수행되는 해안 구조물의 설치에 유용한 정보를 제공할 것으로 기대되며, 추후에 Storm Surge, 이상해일 및 쓰나미 등의 장주기파가 해안에 내습할 때에 발생하는 파랑 해안 구조물 사이에서의 상호작용에 대한 검토 및 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 5. 참고 문헌

- [1] 김성덕, "우각부 방파제의 안전성에 영향을 미치는 수리학적 거동", 한국안전학회지, 제23권, 5호, pp. 91-96, 2008.
- [2] 해양수산부, "친수성 항만공간개발 실시계획검토 및 기본구상", pp. 603, 1998.
- [3] 해양수산부, "어항기능 및 이용활성화 계획연구", pp. 629, 2000.
- [4] W.G. Penny and A.T. Price, "Diffraction of sea waves by breakwater", Artificial Harbours, Dire Misc. Weapon, Tech. His. No. 66, pp. 56-78, 1944.
- [5] R.C. Puttnam and R.S. Arthur, "Diffraction of sea waves by breakwaters", Trans. A.G.U., Vol. 29(4), pp. 481-490, 1948.
- [6] F.L. Blue and J.W. Johnson, "Diffraction of sea waves passing through a breakwater gap", Trans. A.G.U., Vol. 30(5), pp. 705-718, 1948.
- [7] T.H. Carr and M.E. Sterzide, "Diffraction of water waves", National Bureau of Standards, pp. 109-125, 1951.
- [8] J.D. Pbs and F.A. Kilner, "Breakwater gap wave diffraction: an experimental and numerical study", J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., ASCE, Vol. 113(1), pp. 1-21, 1987.
- [9] 瀧川 清, "有限要素法による波動解析について", 第20回海講論文集, pp. 89-97, 1978.
- [10] B.H. Spring and P.L. Monkmeyer, "Interaction of plane waves with vertical cylinders.", Proceedings 14th International Coastal Engineering Conference, Copenhagen, Denmark, pp. 1828-1847, 1974.
- [11] C.M. Linton and D.V. Evans, "The interaction waves with arrays of vertical circular cylinders.", J. of Fluid Mechanics Vol. 215, pp. 549-569, 1990.
- [12] H. Kagemoto, and D.K.P. Yue, "Interactions among multiple three-dimensional bodies in water waves: an exact algebraic method." J. of Fluid Mechanics, Vol. 166, pp. 189-209, 1986.

### 저 자 소 개

김 성 덕



중앙대학교 토목공학과에서 학사, 석사, 박사학위를 취득하였고, 한국 해양연구원 연구원 및 중앙대학교 대학원 및 학부의 시간강사를 거쳐 현재는 청주대학교 토목환경공학과 전임강사로 재직 중이고, 중앙대학교 토목환경공학과에서 재직 중 이다. 관심분야로는 하천, 해안 건설

분야의 수리학적 모델링 및 안전성 검토 등이다.

주소: 충청북도 청주시 상당구 내덕동 청주대학교 이공대학 토목환경공학과

도 현 승



청주대학교에서 학사, Univ. of Minnesota의 Civil Eng. Dept.에서 MS와 Ph.D.를 취득하였고, 현재는 청주대학교 토목환경공학과 교수로 재직 중이다.

주소: 충북 청주시 상당구 내덕2동 청주대학교 이공대학 토목환경공학과

이 호 진



충북대학교 토목공학과에서 학사, 석사, 박사학위를 취득하였고, 강원도립대학 겸임교수를 거쳐 현재는 충북대학교 토목공학과 겸임교수로 있음. 관심분야는 수공학에서의 안전성 검토 등.

주소: 충청북도 청주시 흥덕구 성봉로 410 충북대학교 공과대학 토목공학과