

# 진동수주형 파력발전기의 에너지 흡수효율 해석

경조현\* · 홍사영\* · 홍도천\*\*  
\*한국해양연구원 해양시스템안전연구소  
\*\*충남대학교 첨단수송체연구소

## Numerical Analysis on Wave Energy Absorption of OWC-type Wave Power Generation

JO-HYUN KYOUNG\*, SA-YOUNG HONG\* AND DO-CHUN HONG\*\*

\*Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon, Korea

\*\*Center for Advanced Transportation Vehicles, Chungnam National University, Daejeon, Korea

**KEY WORDS:** Localized finite element method 국소유한요소법, Wave power generation 파력발전, Oscillating water column 진동수주, Energy absorption 에너지흡수

**ABSTRACT:** A numerical analysis is made to investigate the wave absorption efficiency of a OWC-type wave power generator. Energy absorption by an OWC(Oscillating Water Column) air-chamber is computed in regular waves, taking account of the oscillating surface-pressure, due to pressure drop, across the duct of the air chamber. The problem is formulated in the scope of potential theory and solved by the Localized Finite Element Method(LFEM), based on the classical variational principle. The efficiency of energy absorption is investigated by changing wave conditions, sea-bottom slope and pressure drop coefficient.

### 1. 서 론

진동 수주형(Oscillating water column) 공기 챔버는 일반적인 박스형태의 방파제에 비해 비교적 능동적인 방파조건을 만들 수 있기 때문에 최근 들어 이를 이용한 소파제 개발에 많은 관심이 집중되고 있다.(홍도천, 2002; Hong et al., 2004; 최학선 등, 2004) 또한 진동수주형 방파제는 방파효과 외에도 내부 공기압을 이용한 발전이 가능하기 때문에 방파제뿐만 아니라 해안에 설치하는 경우에 파력발전(김진하 등, 2006)을 할 수 있는 부가적 이득을 얻을 수 있는 특징이 있다. 이러한 진동수주형 공기 챔버의 파력흡수에 대한 연구는 이미 Ogilvie(1969), Falcão and Sarmiento(1980), Evans(1982), Falnes and McIver(1985)등에 의해 기본적인 이론이 정립되어있다.

본 연구에서는 해안에 설치된 고정식 진동수주형 공기챔버 방파제에 대하여 최적의 에너지흡수 효율을 내기위해 필요한 여러 가지 설계인자를 변화시켜가며 공기챔버 방파제에 의한 파랑에너지 흡수 효율을 고찰하여보았다. 최적 효율을 내기 위해 필요한 기본적인 설계인자로서, 공기챔버 내의 해저지반형상, 공기 챔버 덕트 크기와 챔버 내 압력감쇠계수를 변화시켜가며 파랑에너지 흡수효율을 수치적으로 계산하였다.

수치계산은 2차원 공간상에서 수행되었으며, 수치기법으로는 국소유한요소법을 사용하였다. 국소유한요소법은 Bai(1977)에 의해 제안된 방법으로 선형 자유표면 조건하에서의 자유표면유동 현상을 엄밀히 해석할 수 있는 수치기법이다. 본 논문에서는 방사 경계조건 처리를 위하여 계산영역을 내부영역과 외부영역으로 나누고 외부영역을 이미 알려진 고유함수를 이용하는 방법을 사용하여 내부영역과 정합하는 방법(경조현 등, 2004)을 사용하였다. 한편, 공기챔버 내에서의 압력감쇠에 따른 자유표면 유동 처리 기법은 Hong et al.(2004)에서 제안한 방법을 사용하였다.

### 2. 수학적 정식화

#### 2.1 지배방정식 및 경계조건

좌표계는 직각좌표계를 사용하였으며, 수직방향  $y$  축은 중력의 방향과 반대방향이다. 수평방향  $x$  축은 교란되지 않은 정수면과 일치한다. 유체는 비점성, 비압축성이며 운동은 비회전적이라고 가정한다. 따라서 유체 내에서의 속도는 속도포텐셜 함수의 구배로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\Phi(x, y, t) = Re[\phi(x, y)e^{-i\omega t}] \quad (1)$$

$$\vec{u}(x, y) = \nabla \phi(x, y) \quad (2)$$

교신저자 경조현: 대전광역시 유성구 장동 171

042-868-7522 johyun@moeri.re.kr

자유표면과의 파고는 파장에 비하여 매우 작다고 가정함으로써 자유표면 경계조건을 선형화시켜 정수면( $y=0$ )에 적용하였다. 복소 속도포텐셜 함수  $\Phi$ 는 라플라스(Laplace) 방정식을 만족하며, 물체 경계면에서의 경계조건과 무한 원방에서의 방사조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla^2 \phi(x, y) = 0 \quad \text{in } \Omega_1 \text{ and } \Omega_2 \quad (3)$$

$$\phi_y - \nu \phi = 0, \quad \nu = \frac{\omega^2}{g} \quad \text{on } S_{F_1} \text{ and } S_{F_2} \quad (4)$$

$$\phi_n = 0 \quad \text{on } S_B \quad (5)$$

$$\phi_x \pm i\nu \phi = 0 \text{ as } x \rightarrow \mp \infty \quad \text{on } S_R \quad (6)$$

여기에서  $\Omega_1, \Omega_2$ 는 해석영역을 의미하며,  $S_{F_1}, S_{F_2}$ 는 각각의 해석영역에서의 자유표면 경계면,  $S_B$ 는 진동수주형 파력발전기의 경계면 및 해저 경계면을 의미한다. 그리고  $S_R$ 은 무한 원방에서의 방사 경계면을 의미한다.

## 2.2 변분법의 응용

고전적인 범함수법을 이용하여 자유표면과 문제를 해석한 선형연구들에서는 계산영역이 커지는 비효율적인 면이 있었다. Bai & Yeung(1974)와 Bai(1977)는 선형 연구의 문제점인 계산영역의 비대화를 줄이기 위한 방법으로 국소 유한요소법을 고안하였다. 본 논문에서는 계산영역을 내부영역과 외부영역으로 나누어 외부영역은 이미 알고 있는 기지해를 이용하여 내부영역의 경계면에서 정합시키는 국소 유한요소법을 사용하였다.

Fig. 1에서는 본 연구에서 해석하고자 하는 계산영역을 보여 준다. 진동수주형 파력발전기구는 해안벽에 고정되어있으며, 진동수주 안에서는 경사면을 가지는 해저지형이 있다고 가정하였다. 입사파는  $-x$ 축에서  $+x$  축 방향으로 진행한다고 가정하였다. 수치해석을 위해서 가상적인 정합경계면인  $J$ 를 설정하고, 유체영역을 내부영역  $\Omega_1$ 과 외부영역  $\Omega_2$ 로 나누었다. 또한 각각의

영역에서 자유표면 경계면을 각각  $S_{F_1}, S_{F_2}$ 로 표시하였다. 또한 각각 해석영역에서의 속도포텐셜 함수를 각각  $\phi_1$ 과  $\phi_2$ 로 표시하였다. 두 영역에서의 지배방정식과 경계조건은 다음과 같이 표시할 수 있다.

우선 내부영역  $\Omega_1$ 에서는 속도포텐셜 함수  $\phi_1$ 이 다음의 식을 만족한다.

$$\nabla^2 \phi_1 = 0 \quad \text{in } \Omega_1 \quad (7)$$

$$\phi_{1y} - \nu \phi_1 = \begin{cases} 0, & \text{outside chamber} \\ \gamma U_d, & \text{inside chamber} \end{cases} \quad \text{on } S_{F_1} \quad (8)$$

$$\phi_{1n} = 0 \quad \text{on } S_B \quad (9)$$

여기에서  $\gamma = i \frac{\delta \omega}{\rho g}$ 이다.  $\rho$ 는 물의 밀도이며,  $g$ 는 중력가속도이다.  $\omega$ 는 입사파의 주파수이다. 공기 챔버 내의 덕트에 설치된 터빈을 통과하면서 발생하는 압력감쇠는 유속( $U_d$ )에 비례한다고 가정하였다.

한편 외부영역  $\Omega_2$ 에서의 경계조건과 지배방정식은 다음과 같다.

$$\nabla^2 \phi_2 = 0 \quad \text{in } \Omega_2 \quad (10)$$

$$\phi_{2y} - \nu \phi_2 = 0 \quad \text{on } S_{F_2} \quad (11a)$$

$$\phi_{1n} = 0 \quad \text{on } S_B \quad (11b)$$

$$\phi_{2x} + i\nu \phi_2 = 0 \text{ as } x \rightarrow -\infty \quad \text{on } S_R \quad (12)$$

또한 정합경계면  $J$ 에서는 속도포텐셜 함수와 그의 법선방향도함수는 다음과 같은 연속조건을 만족해야한다.

$$\phi_1 = \phi_2 \quad \text{on } J \quad (13)$$

$$\phi_{1n} + \phi_{2n} = 0 \quad \text{on } J \quad (14)$$

외부 영역의 해인  $\phi_2$ 는 지배방정식인 라플라스방정식과 자유표면조건, 그리고 물체경계조건을 만족하는 기지의 해로써 나타낼 수 있다고 가정한다. 위에서 주어진 지배방정식과 경계조건을 만족하는 범함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_1\{\phi_1, \phi_2\} = \iint_{\Omega_1} \frac{1}{2} |\nabla \phi_1|^2 dx dy - \frac{\nu}{2} \int_{S_{F_1}} \phi_1^2 dS - \int_J \left( \phi_1 - \frac{1}{2} \phi_2 \right) \phi_{2n} dS \quad (15)$$

또는

$$F_2\{\phi_1, \phi_2\} = \iint_{\Omega_1} \frac{1}{2} |\nabla \phi_1|^2 dx dy - \frac{\nu}{2} \int_{S_{F_1}} \phi_1^2 dS - \int_J \left[ (\phi_2 - \phi_1) \phi_{1n} + \frac{1}{2} \phi_2 \phi_{2n} \right] dS \quad (16)$$

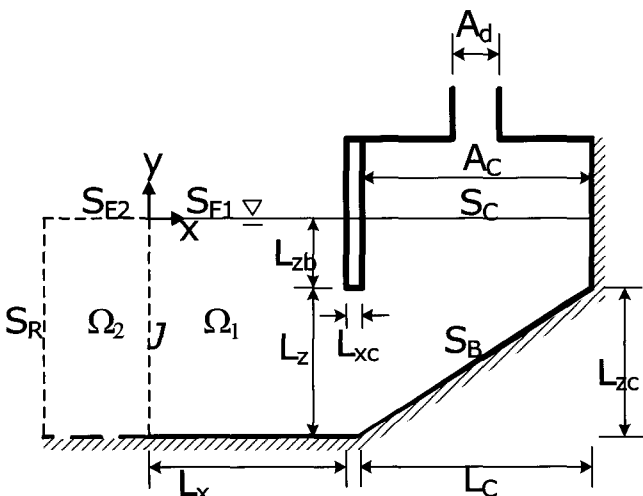


Fig. 1 Definition of computation domain

경계치 문제인 식 (7)~(14)의 해를 구하는 것은 식 (15) 또는 식 (16)에 주어지는 범함수의 정류치를 구하는 것과 동일하다. 범함수의 정류치는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta F_1\{\phi_1, \phi_2\} = 0 \quad (17)$$

혹은

$$\delta F_2\{\phi_1, \phi_2\} = 0 \quad (18)$$

주어진 정류치는 선형 자유표면 조건하에서의 자유표면 유동현상을 엄밀히 해석할 수 있는 국소 유한요소법을 이용하여 해석하였다.

### 2.3 국소유한요소법의 적용

유체영역을 국소 유한요소법을 이용하여 해석하기 위해 내부영역을 유한 개의 유한요소로 분할하였다. 내부해석영역인  $\Omega_1$ 에서 각 절점에서의 시험함수를  $N_i(x, y)$ 라 하면 속도포텐셜 함수  $\phi_1$ 은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\phi_1 = \sum_{i=1}^{n_1} \psi_{1i} N_i \quad (19)$$

여기서  $n_1$ 는  $\Omega_1$ 에서의 총 절점의 개수를 의미하며  $\psi_{1i}$ 는 각각의 절점에서 시험함수  $N_i(x, y)$ 의 계수이다. 따라서 유한요소를 이용하여 속도포텐셜 함수  $\phi_1$ 을 표시하면 다음과 같다.

$$\phi_1 = \sum_{e=1}^{E_1} \sum_{i=1}^{N_e} \psi_{1i}^e N_i^e(x, y) \quad (20)$$

여기에서  $E_1$ 과  $N_e$ 는 해석영역  $\Omega_1$ 에서의 총 요소수와 한 요소 내에서의 절점의 개수를 나타내며,  $\psi_{1i}^e$ 와  $N_i^e$ 는 요소  $e$ 내에서 절점  $i$ 에 해당하는 계수와 시험함수를 각각 나타낸다. 본 논문에서는 요소 내에서 4개의 절점을 갖는 선형요소를 사용하였다.

한편 외부영역  $\Omega_2$ 에서는 이미 잘 알려진 고유함수를 이용하여 해를 표시하였다. 외부영역  $\Omega_2$ 에서 식 (10), (11)과 (12)를 만족하는 고유함수 집합은 다음과 같다.

$$\left\{ e^{-im_0 x} \frac{\cosh m_0(y+h)}{\cosh m_0 h}, e^{m_j x} \cos m_j(y+h) \right\} \quad (21)$$

여기서  $h$ 는 수심이며,  $m_0$ 와  $m_j$ 는 다음의 관계식을 만족하는 값이다. 여기서  $M$ 은 사용된 총 고유함수 개수이다.

$$m_0 \tanh m_0 h = \frac{\omega^2}{g} \quad (22)$$

$$m_j \tan m_j h = -\frac{\omega^2}{g}, \quad j = 1, \dots, M-1 \quad (23)$$

외부영역  $\Omega_2$ 에서 식 (21), (22)와 (23)에 의해 얻어진 고유함수 집합을 기저함수  $\Psi_i$ 로 나타내면 외부영역  $\Omega_2$ 에서의 속도포텐셜 함수  $\phi_2$ 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\phi_2 = \sum_{i=1}^{n_2} \phi_{2i} \Psi_i \quad (24)$$

$\phi_{2i}$ 는 외부영역  $\Omega_2$ 에서  $i$ 번째 기저함수인  $\Psi_i$ 의 계수이며  $n_2$ 는  $\Omega_2$ 에서의 기저 함수의 개수를 의미한다. 식 (20)과 식 (24)에서 주어진 유한 시험공간에서의 시험해들을 변분방정식인 식 (17) 혹은 식 (18)에 대입하면 다음의 선형 대수방정식을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (25)$$

$$A_{11} = \iint (N_x^T N_x + N_y^T N_y) dx dy - \nu \int_{S_F} N^T N dx \quad (26)$$

$$A_{12} = A_{21} = - \int_J N^T \frac{\partial \Psi}{\partial x} dy \quad (27)$$

$$A_{22} = \frac{1}{2} \int_J \left( \Psi^T \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \frac{\partial \Psi^T}{\partial x} \Psi \right) dy \quad (28)$$

$$f_1 = - \int_J N^T \frac{\partial \phi_0}{\partial x} dy \quad (29)$$

여기서  $N = \{N_i\}$ ,  $N_x = \left\{ \frac{\partial N_i}{\partial x} \right\}$ ,  $N_y = \left\{ \frac{\partial N_i}{\partial y} \right\}$ ,

$\Psi = \{\Psi_i\}$ ,  $\frac{\partial \Psi}{\partial x} = \left\{ \frac{\partial \Psi_i}{\partial x} \right\}$ 이며,  $\phi_0$ 는 유한 수심에서의 입사파 포텐셜이다. 국소 유한요소법에 대한 자세한 기술은 다른 많은 문헌(길현권 등, 1985; 배광준 등, 1987)에서 찾아 볼 수 있으므로 여기서는 생략한다.

### 2.4 챔버 내 유동장 해석

단면적이  $A_C$ 인 공기챔버에서 단면적이  $A_d$ 인 공기덕트를 통과하는 유동의 평균속도  $U_d$ 와 챔버 내부의 공기압력  $P_c$ 의 관계를 아래와 같이 압력감쇠계수  $\delta$ 를 도입하여 선형적으로 가정하였다(Hong et al., 2004). 이러한 가정은 유체가 선박의 프로펠러를 통과할 때 발생하는 압력 감쇠원리와 동일하다. 이때에  $\delta$ 는 터빈에 의해 발생하는 압력 감쇠계수로 정의한다.

$$0 - P_c = -\delta U_d \quad (30a)$$

$$\phi_y - \nu \phi = \gamma U_d \quad \text{on } S_C \quad (30b)$$

$$U_d = \frac{1}{A_d} \iint_{S_C} \frac{\partial \phi}{\partial y} dS \quad (31)$$

여기에서  $\gamma$ 는 무차원 압력강하 파라미터로서  $\gamma = i \frac{\delta \omega}{\rho g}$  이다. 식 (31)을 식 (30b)에 대입하면 챔버 내에서의 자유표면 조건은 다음과 같이 정리된다.

$$\phi_y - \nu \phi = \gamma \frac{Q}{A_d} \quad (32)$$

여기서  $Q = \iint_{S_c} \phi_y dS$  이다. 챔버 내에서의 공기 유량은 식 (32)을 적분하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{1}{1 - \gamma \frac{A_c}{A_d}} \iint_{S_c} \nu \phi dS \quad (33)$$

식 (33)을 식 (32)에 대입하고 이를 변분식에 대입하여 정리하면 식 (26)은 챔버 내에서 압력감쇠를 고려한 자유표면식으로써 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$A_{11} = \iint (N_x^T N_x + N_y^T N_y) dx dy - \left( 1 + \gamma \frac{A_c}{A_d - \gamma A_c} \right) \iint_{S_c} \nu N^T N dS \quad \text{on } S_c \quad (34)$$

한편 진동수주형 파력발전기의 에너지 흡수율( $E_A$ )은 반사된 에너지( $E_R$ )를 입사된 에너지( $E_I$ )와의 비를 구함으로써 계산하였다.

$$E_A = 1 - \frac{E_R}{E_I} \quad (35)$$

### 3. 진동수주형 공기 챔버의 파랑에너지 흡수율

해안에 설치되어있는 고정식 진동수주형 공기챔버 방파제에 의한 파랑 에너지 흡수율을 살펴보기 위해 Table 1에서와 같은 조건하에서 수치실험을 수행하였다.  $A_d$ 는 단위 폭 당 공기챔버 덕트의 면적이며,  $A_c$ 는 단위 폭 당 챔버 내의 면적이다.  $L_c$ 는 챔버의 직경을 의미하며,  $L_x$ 는 챔버 외벽에서 정합경계면까지의 거리를 의미한다. 챔버 내부에서는 해저면이 선형적으로 높아져서  $L_{zc}$ 까지 해저면이 상승한다.  $L_{xc}$ 는 챔버 외벽의 두께를 의미한다.  $L_{zb}$ 는 챔버 외벽이 정수면 아래로 잠긴 깊이를 의미하며,  $L_z$ 는 챔버 외벽에서 해저면까지의 거리를 의미한다.

Fig. 2에서는 개발된 수치해의 검증을 위해 경계요소법을 적용한 방법인 Hong et al.(2004)의 해석기법을 이용하여 파랑에너지 흡수율을 비교하였다. 계산조건은 Table 2에 정리하였다.

Table 1 Characteristic dimensions for OWC Air-chamber

$A_d$	0.5 m <sup>2</sup> /m	$L_c$	5 m
$A_c$	5 m <sup>2</sup> /m	$L_x$	25 m
$L_{zc}$	0 ~ $L_z$ m	$L_{zb}$	3 m
$L_{xc}$	2 m	$L_z$	7 m

Table 2 Characteristic dimensions for numerical comparison with boundary element method

$A_d$	0.5 m <sup>2</sup> /m	$L_c$	5 m
$A_c$	5 m <sup>2</sup> /m	$L_x$	25 m
$L_{zc}$	0 m	$L_{zb}$	3 m
$L_{xc}$	2 m	$L_z$	7 m

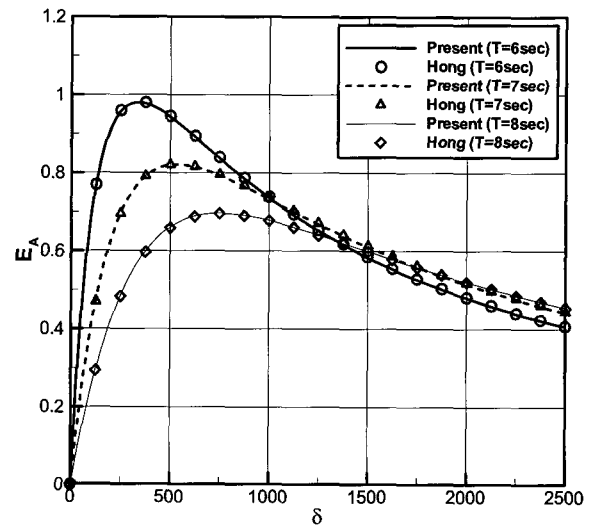


Fig. 2 Numerical comparison of energy absorption with boundary element method by Hong et al.(2004)

입사파의 주기로는 6 초, 7 초 그리고 8초인 경우에 대하여 서로의 계산 결과를 비교하였다. Fig. 2에서 서로 잘 일치하는 결과를 얻었다.

진동수주형 파력발전기의 에너지 흡수율을 살펴보기 위해 여러 가지 파라미터를 변화시킬 수 있다. 본 수치 실험에서는 공기챔버의 단면적  $A_c$ 를 고정하였다. 공기챔버의 덕트 단면적  $A_d$ 를 0.5m로 고정한 상태에서 공기챔버 폭  $L_c$ 에 대한 입사파의 파장 변화와 압력감쇠계수  $\delta$  변화에 따른 공기챔버 방파제의 에너지 흡수율을 Fig. 3에 도시하였다. 주어진 문제에서는 입사파의 파장이 공기챔버 폭의 10배에 해당될 때에 가장 에너지가 많이 흡수되는 것으로 나타났으며, 이때의 압력감쇠계수는 약 400정도이다. 공기챔버 방파제의 에너지흡수율은 덕트를 통과하는 유량과 관계가 있다. 유량은 챔버 내의 자유수면이 최저 공진주기로 진동할 때에 가장 최대가 된다.

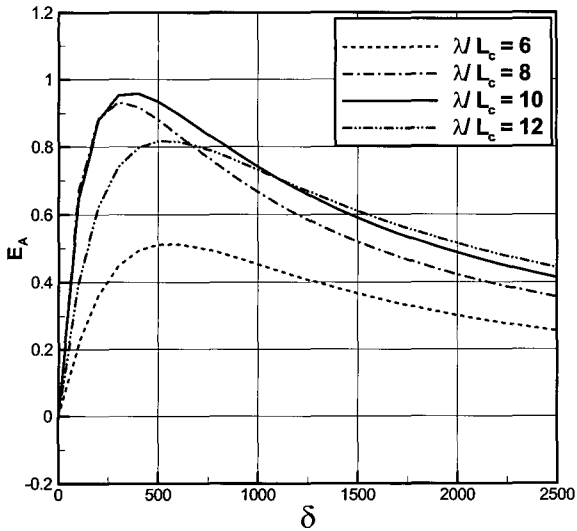


Fig. 3 Energy absorption for various wave length and pressure drop coefficient

그러므로 공기챔버 방파제는 장파영역에서 좋은 효율을 갖게 됨을 알 수 있다. 동일한 압력감쇠계수에 대하여 에너지 흡수율은 일정한 장파영역에서 거의 같은 값을 보임을 확인할 수 있다. 공기챔버가 설치될 해변에서는 연중 최빈도를 가지는 입사파에 대하여 공기챔버의 크기를 결정해야 함을 알 수 있다.

Fig. 4에서는 공기챔버 폭  $L_c$ 에 대한 입사파의 파장을 10으로 고정하고 압력감쇠계수  $\delta$ 를 400으로 고정한 상태에서 공기 덕트의 크기  $A_d$ 를 바꿔가며 에너지 흡수율을 계산하였다. 공기덕트의 크기  $A_d$ 는 0.5m일 때에 가장 큰 에너지 흡수율을 나타냈으며, 덕트의 크기  $A_d$ 가 증가할수록 에너지 흡수율이 감소하였다. 주어진 압력감쇠계수는 설치된 터빈의 특성에 해당된다. 따라서 주어진 압력감쇠계수에 대하여 에너지 흡수율이 최대가 되는 덕트의 크기는 공기챔버의 크기에 대하여 최적의 값이 있음을 알 수 있다. 이러한 특성은 식 (30a)로 주어지는 가정이 성립하는 영역이 있으며, 이러한 영역에서는 본 연구에서 적용된 선형이론이 실험결과와 일치함을 보인 선행연구(최학선 등, 2004)가 있다.

Fig. 5에서는 공기덕트  $A_d$ 의 크기를 0.5m, 공기챔버 폭  $L_c$ 에 대한 입사파의 파장을 10, 압력감쇠계수  $\delta$ 의 크기를 400으로 고정한 상태에서 해저면의 경사  $L_{zc}$ 를 변화해가며 에너지 흡수율을 계산하였다. 이때에는 해저면의 경사  $L_{zc}$ 가 커질수록 파랑 에너지 흡수율이 다소 증가하였다. 본 연구에서 적용한 해저면 형상은 매우 단순한 형태로서 파랑 에너지 흡수율 증가에는 큰 영향을 미치지 못하였다. 그러나 해저면의 형상에 따라 입사파의 에너지를 한 곳에 집중시킬 수 있으므로 적절한 해저면의 형상을 고려한다면 공기챔버의 파랑 에너지 흡수율을 증가시킬 수 있을 것으로 보인다.

이상에서 압력감쇠계수  $\delta$ 의 변화에 따른 파랑 에너지 흡수율 비교에서와 같이  $\delta=400$ 일 때 챔버 폭의 10배에 해당하는 비교적 장파영역에서 파랑 에너지 흡수율이 좋음을 알 수 있다.

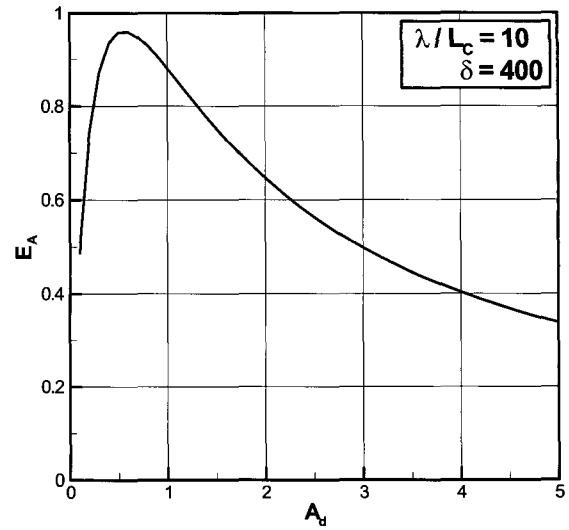


Fig. 4 Energy absorption for various duct area at fixed wave length and pressure drop coefficient

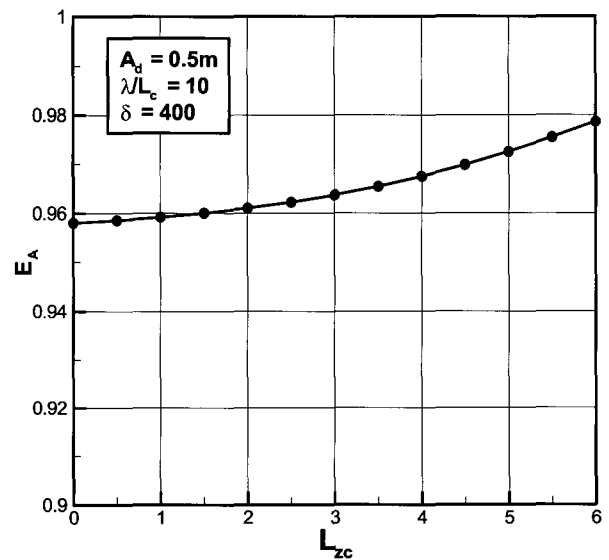


Fig. 5 Energy absorption for various sea-bottom slope at fixed wave length and pressure drop coefficient

공기덕트의 크기조절을 통한 파랑 에너지 흡수율 변화에서는 최적의 덕트 크기가 있음을 알 수 있다. 또한 공기챔버 바닥면에 경사를 주는 것은 파랑 에너지 흡수율의 증가를 가져옴을 수치적으로 확인하였다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 진동수주형 공기챔버 방파제의 에너지 흡수율을 국소유한요소법을 이용하여 해석하였다. 공기 챔버 내의 압력감쇠에 의한 자유표면 유동을 고려하여 수치 해석을 수행하였다. 주어진 형상에 대한 수치 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압력감쇠계수의 변화에 따른 입사파 대비 파랑 에너지 흡수율 비교에서 진동수주형 공기챔버 방파제는  $\delta=400$  일 때 챔버 폭의 10배에 해당하는 비교적 장파에서 좋은 파랑 에너지 흡수율을 보였다.

(2) 고정된 압력감쇠계수를 가진 진동수주형 공기챔버 방파제는 공기챔버 덕트 크기가 챔버 길이의 1/10인 경우에서 최고 파랑에너지 흡수율이 나타났다.

(3) 공기챔버 내에서의 해저면 지형은 경사가 가파를수록 파랑 에너지 흡수율이 증가했다.

본 연구에서 개발된 수치기법은 임의의 해석 공간에서 자유표면파를 엄밀하게 해석할 수 있고, 공기챔버형 방파제의 파랑에너지 흡수효율을 엄밀히 계산할 수 있으므로 기본설계 시에 유용하게 사용될 수 있다.

## 후 기

본 연구는 해양수산부에서 지원하는 "초대형 부유식 해상구조물 기술개발"과제와 "파력발전 실용화 기술개발"과제의 일부로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

경조현, 김장환, 배광준 (2004). "퇴적 침전구에서 발생하는 내면 파 유동에 의한 유체력해석", 한국해양환경공학회지, 제7권, 제4호, pp 192-198.

길현권, 배광준 (1985). "2차원 자유표면파 문제에서의 국소유한 요소법의 응용", 대한조선학회지, 제22권, 제3호, pp 9-18.

김진하, 류재문, 홍도천, 홍석원 (2006). "BBDB형 진동수주 파력발전장치의 운동 및 파랑표류력 연구", 한국해양공학회지, 제 20권, 제2호, pp 22-28.

배광준, 김세은 (1987). "3차원 자유표면파 문제에서의 국소유한 요소법의 응용", 대한조선학회지, 제24권, 제3호, pp 1-8.

최학신, 홍석원, 김진하, 류재문 (2004). "OWC형 파력발전 공기 챔버의 공기감쇠력 실험연구", 한국해양공학회지, 제18권, 제4호, pp 8-14.

홍도천 (2002). "부유식 OWC 챔버의 파중 운동해석", 한국해양 공학회지, 제 16권, 제3호, pp 19-27.

Bai, K.J. (1977). "A localized finite-element method for steady three-dimensional free-surface flow problems", 2nd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, pp 1-10.

Bai, K.J., and R. Yeung. (1974). "Numerical solutions to free surface flow problems", Proc. 10th Symp. Naval Hydrodyn., Office Naval Res., Cambridge, Mass., pp 609-647.

Evans, D.V. (1976). "A theory for wave-power absorption by oscillating bodies", J. Fluid Mech., Vol 77, pp 1-25.

Falnes, J., McIver, P. (1985). "Surface wave interactions with systems of oscillating bodies and pressure distributions", Applied Ocean Research, Vol 7, No 4, pp 225-234.

Falcão, A.F.de O., Sarmento, A.J.N.A. (1980). "Wave generation by a periodic surface pressure and its application in wave-energy extraction", 15th Int. Cong. Theo. Appl. Mech., Toronto.

Hong, D.C., Hong, S.Y., Hong, S.W. (2004). "Numerical study of the motions and drift force of a floating OWC device", Ocean Engineering, Vol 31, pp 139-164.

Ogilvie, T.F. (1969). "Oscillating pressure fields on a free surface", Univ. Michigan, College of Eng. Report No 030.

2006년 3월 17일 원고 접수

2006년 7월 12일 최종 수정본 채택