

진동수주형 파력발전장치 공기실의 파력에너지 흡수효율

홍기용^{1*} · 신승호¹ · 홍도천²

¹한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양개발시스템연구본부
²충남대학교 첨단수송체연구소

Wave Energy Absorption Efficiency of Pneumatic Chamber of OWC Wave Energy Converter

Keyyong Hong^{1*}, Seung-Ho Shin¹ and Do-Chun Hong²

¹Department of Ocean Engineering, Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI,
104 Sinseong-Ro, Yuseong-Gu, Daejeon 305-343, Korea

²Center for Advanced Transportation Vehicles, Chungnam National University
220 Gung-Dong, YUseong-Gu, Daejeon 305-764, Korea

요 약

파력에너지 변환을 위해 설계된 착저식 진동수주형 공기실 내의 파진폭 변화를 우리나라 연안의 특징적인 파랑 조건을 적용하여 조사하였다. 진동수주형 공기실의 형상인자가 파력에너지 변환에 미치는 영향을 파력에너지의 흡수 효율 관점에서 분석하였다. 실험적 및 수치적 접근법을 함께 사용하여 그 결과들을 상호 비교하였으며, 주어진 파랑 분포 하에서 파력에너지 흡수가 최대가 되는 형상인자들의 최적화를 목적으로 연구가 수행되었다. 실험은 공기실의 이차적원 형상을 가정하여 이차원 조파수조에서 실시되었으며, 수치적 해석은 공기실 내에서는 변동하는 공기압을 고려할 수 있도록 Rankine Green 함수를 적용하고 공기실 밖에서는 Kelvin Green 함수를 적용하는 합성 적분방정식에 기초하여 수행되었다. 공기실 상부의 덕트 직경, 공기실 폭, 공기실 전면벽 및 후면벽의 깊이는 흡수되는 파력 에너지의 크기와 정점 주기를 민감하게 변화시키는 주요한 형상인자들임을 확인하였다.

Abstract – Oscillating wave amplitude in a bottom-mounted OWC chamber designed for wave energy converter is investigated by applying characteristic wave conditions in Korean coastal water. The effects of shape parameters of OWC chamber in a view of wave energy absorbing capability are analyzed. Both experimental and numerical approaches are adopted and their results are compared to optimize the shape parameters which can result in a maximum power production under given wave distribution. The experiment was carried out in a wave flume under 2-D assumption of OWC chamber. The numerical scheme employed a hybrid Green integral equation which adopts the Rankine Green function inside chamber to take account of fluctuating air pressure, while it uses the Kelvin Green function in outer domain. Air duct diameter, chamber width, and submerged depths of front skirt and back wall of chamber changes the magnitude and peak frequency of wave absorption significantly.

Keywords: Wave Energy Converter(파력발전장치), Oscillating Water Column(진동수주), Pneumatic Chamber(공기실), Energy Absorption Efficiency(에너지 흡수효율), Wave Resonance(파랑공진)

1. 서 론

진동수주(Oscillating Water Column, 이하 OWC)형 파력발전은 최근의 파력발전장치 개발에서 가장 활발한 연구가 이루어지고 있는 방식이다. 파력에너지 변환효율은 파력발전장치의 성공적인 개

발을 좌우하는 중요한 요소로, 진동수주형의 경우 1차에너지 변환 장치인 공기실의 효율과 2차에너지 변환장치인 공기터빈의 효율로 구분된다. 공기실은 파력에너지를 공기실에 연결된 덕트 내 공기의 왕복운동으로 변환하며, 공기유동을 최대화하기 위해 외해로부터 공기실로 입사된 파랑의 공진을 이용한다. 공기실 내 파랑의 거동은 공기실의 형상과 덕트 및 공기터빈에 의한 에너지 감쇠에

*Corresponding author: kyhong@moeri.re.kr

따라 달라지므로, 최적의 효율을 얻기 위해서는 입사파 조건에 따른 공기실의 최적형상 설계가 이루어져야 한다.

공기실 최적설계의 주요 목적은 일정한 분포를 갖는 파랑장에서 총량적인 관점에서 최대의 파랑에너지를 추출하는 것이다. 그러므로 최적의 공기실은 공진점에서의 파진폭이 클 뿐만 아니라 효율적인 파랑대역이 넓어야 한다. 공기실 압력에 의한 자유표면 교란을 자유표면 변동압력면(*free surface oscillating pressure patch*)으로 다룬 기본 이론은 Evans[1982]와 Sarmiento & Falcão[1985]에 의해 정립된 바 있으며, Hong *et al.*[2004]은 이를 부유식으로 확장하였다. Sarmiento[1993]와 Holmes *et al.*[1995]은 모형시험을 통해 진동수주형 파력발전 공기실의 성능을 검증하였으며, Folley & Whittaker[2001]는 진동수주형 파력발전 실증플랜트인 LIMPET의 축소모형에 대한 실험을 수행하고, LIMPET 플랜트에서 측정된 결과와 비교(Folley & Whittaker[2002])하여 차이를 고찰하였다. 진동수주의 파력에너지 흡수효율에 관한 최근의 연구들 중에서 비선형 이론을 도입한 Clements[1996], 진동수주의 해수면 거동을 이상유동으로 접근한 Mingham *et al.*[2004], 스펙트럼 분포를 갖는 불규칙 해상상태에서 공기실의 총에너지 흡수량이 최대가 되는 공기실의 최적형상을 결정하는 통계적 접근법을 제시한 Falcão[2003]와 Weber & Thomas[2003]의 연구가 주목된다.

본 연구는 고정식 진동수주형 파력발전장치 공기실의 파력에너지 흡수성능 최적화를 위해, 파력에너지 흡수효율을 지배하는 형상인자들의 영향을 체계적으로 분석하고자 수행되었다. 이를 위해 공기실 전면벽의 깊이와 두께, 공기실 폭, 공기덕트의 직경, 바닥면의 기울기 등의 영향을 공기실 내 파진폭 및 흡수파력의 관점에서 고찰하였으며, 이차원 수조를 이용한 실험적 방법과 경계요소법에 기초한 수치적 방법을 병행하여 적용하였다.

2. Hybrid 적분방정식에 의한 수치해법

이차원 착저식 진동수주형 공기실의 내부유동을 Green 적분방정식을 이용하여 정식화하며, 유한수심 조건에서 직교좌표계(x, y)를 사용한다(Fig. 1). 여기서 D 와 F 는 각각 계산영역과 자유수면을 나타내며, 아랫첨자 i 와 e 는 각각 공기실 내부와 외부 영역을

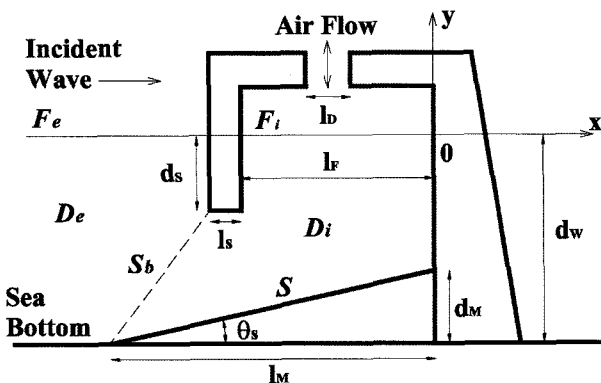


Fig. 1. Conceptual drawing of OWC chamber.

나타낸다. 또한 S 와 S_b 는 각각 물체의 접수면과 공기실 내외부의 정합면을 의미한다.

고정식 착저형 OWC 파력흡수 구조물에 의한 산란파 속도포텐셜 ψ 와 입사파 속도포텐셜 Ψ_0 의 합을 전체 속도포텐셜 Ψ 라 하면,

$$\Psi = \Psi_0 + \psi \tag{1}$$

속도포텐셜 Ψ 는 지배방정식인 라플라스 방정식을 만족한다.

$$\nabla^2 \Psi = 0 \tag{2}$$

착저형 구조물의 접수면 S 에서의 불투과성 조건으로부터 다음과 같은 Ψ 에 대한 접수면 경계조건을 얻는다.

$$\frac{\partial \Psi}{\partial n} = -\frac{\partial \Psi_0}{\partial n} \text{ on } S \tag{3}$$

한편 이차원 단면적 l_f 인 공기실 내부 자유표면 F_i 상부의 기체는 이차원 단면적 l_b 인 덕트를 통해 외부와 연결되어 있다. 덕트 통과 기류의 평균 상대속도 U_D 와 공기실 내부 공기압력 p_c 의 관계는 공기터빈에서 발생하는 압력강하 파라미터 γ 를 도입하여 다음과 같이 선형적으로 가정할 수 있다.

$$\text{Re}[p_c e^{-i\omega t}] = \gamma \times \text{Re}[U_D e^{-i\omega t}] \tag{4}$$

$$U_D = \frac{1}{l_b} \int_{F_i} \frac{\partial \Psi(M)}{\partial y} dl \tag{5}$$

따라서 ψ 의 자유표면 경계조건은 공기실 밖과 안에서 다음과 같다.

$$-k_0 \psi + \frac{\partial \psi}{\partial z} = \begin{cases} 0 & \text{on } F_e \\ \alpha U_D & \text{on } F_i \end{cases} \tag{6}$$

여기서 $\alpha = i\gamma\omega/\rho g$ 는 무차원 압력강하 파라미터이다.

가상경계면 S_b 를 도입하여 유체영역을 S_b 좌측의 외부 무한영역 D_e 와 우측의 내부영역 D_i 로 나누고, 외부영역에는 Kelvin형 Green 함수 G , 내부영역에는 Rankine형 Green 함수 G_0 를 사용하여 각각 Green 정리를 적용하면 다음과 같은 2개의 Green 적분방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \frac{\Psi}{2} - \int_{S_b \cup S_e} \psi \frac{\partial G_0}{\partial n} dl - \frac{1}{k_0} \int_{F_i} \frac{\partial \psi}{\partial n} \frac{\partial G_0}{\partial n} dl + \int_{F_e \cup S_b} \frac{\partial \psi}{\partial n} G_0 dl \\ = - \int_{S_b} \frac{\partial \psi}{\partial n} G_0 dl - \frac{1}{k_0} \alpha U_D \chi \text{ on } S_i \cup S_b \cup F_i \end{aligned} \tag{7}$$

$$\frac{\Psi}{2} + \int_{S_b \cup S_e} \psi \frac{\partial G}{\partial n} dl - \int_{S_b} G dl = \int_{S_b} \frac{\partial \psi}{\partial n} G dl \text{ on } S_e \cup S_b \tag{8}$$

여기서

$$\chi = \int_{F_i} \frac{\partial G_0}{\partial n} dl \tag{9}$$

에서의 정합조건은

$$\psi(M') = \psi(M), \quad M \text{ on } S_b \quad (10) \quad \text{공기실 내부의 해수면 변동은 다음으로 주어진다.}$$

$$\frac{\partial \psi(M')}{\partial n} = \frac{\partial \psi(M)}{\partial n}, \quad M \text{ on } S_b \quad (11) \quad \zeta(M) = \frac{i\omega}{g}\psi(M) + i\frac{\alpha}{D}U_D, \quad M \in F_i \quad (14)$$

여기서 뺄셈자 +, -는 각각 S_b 의 안과 밖을 나타낸다. 적분방정식 (7)과 (8)에 경계조건 (3)과 (6)을 대입하고 정합조건 (10)과 (11)을 적용하여 풀면 산란파 속도포텐셜 ψ 를 얻을 수 있다.

상기 연립 적분방정식들의 이산화 해법 및 압력강하 파라미터 γ 를 적분방정식 우측에 보내어 파라미터 값의 변화에 따른 계산을 쉽게 할 수 있게 한 계산방법 등은 Hong et al.[2004]에 자세히 주어진다.

선형파 이론에 의하면 무한 원방으로부터 들어오는 입사파에 의한 단위 폭당 파력의 시간평균 P_0 는 다음과 같다.

$$P_0 = \frac{\alpha_0^2}{2} \rho g C_g \quad (15)$$

여기서 C_g 는 파의 군속도를 나타낸다.

$$C_g = \frac{\omega}{m_0} \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2m_0 d_w}{\sinh 2m_0 d_w} \right) \quad (16)$$

3. 파력에너지 흡수 효율

공기실의 단위폭당 흡수된 시간평균 파력 P_m 은 직접적분 방법 (Near-field method)에 의해 다음처럼 구해질 수 있다.

OWC 공기실이 해역을 완전 차단하고 있으므로 구조물 내부에 입사파 에너지 흡수장치가 없으면 에너지는 전량 반사되며 이 때 OWC 공기실에 의한 산란파 에너지는 입사파 에너지와 같다. 한편 입사파 에너지 흡수장치로서 공기실 상부에 위치한 덕트 내부에 공기터빈이 설치되면 공기실 공기압이 변하여 내부 자유수면에 영향을 주며 이를 고려한 산란파 에너지는 입사파 에너지에서 공기터빈이 흡수한 파 에너지를 뺀 것이 된다. 따라서 공기터빈이 흡수한 파 에너지를 이론적으로 추정하려면 OWC 파력흡수 장치에 의한 산란파 포텐셜을 공기실 내부 공기압이 고려된 자유수면 경계조건을 사용하여 해석하여야 한다.

$$P_m = l_D \gamma \frac{1}{T} \int_0^{t+T} \text{Re}[U_D e^{-i\omega t}] \text{Re}[U_D e^{-i\omega t}] dt = \frac{1}{2} l_D \gamma |U_D|^2 \quad (17)$$

한편 P_m 은 입사파의 시간평균 파력 P_0 와 구조물에 의한 반사파의 시간평균 파력 P_r 간의 차이와 동일하므로 무한원방의 파력에너지 조사에 의해서도 구해질 수 있으며, 이를 무한원방 방법(Far-field method)으로 구분하여 말한다.

선형 이론에 기초한 입사파의 속도포텐셜은 다음과 같다.

$$P_r = \frac{\alpha_0^2}{2} \rho g C_g (1 - |R|^2) \quad (18)$$

$$\Psi_0 = \frac{\alpha_0 \omega \cosh m_0 (y + d_w)}{m_0 \sinh m_0 d_w} e^{im_0 x} \quad (12)$$

$$R = \frac{-k_0^2 d_w^2}{m_0^2 d_w^2 - k_0^2 d_w^2 + k_0 d_w} H(\pi) \quad (19)$$

$$m_0 \tanh m_0 d_w = k_0, \quad k_0 = \frac{\omega^2}{g} \quad (13)$$

$$H(\beta) = - \int_{S_1 \cup S_2} \left(\frac{\partial \psi}{\partial n} - \psi \frac{\partial}{\partial n} \right) \times \frac{\cosh m_0 (y + d_w)}{\sinh m_0 d_w} e^{-im_0 x \cos \beta} dl \quad (20)$$

여기서 d_w 는 수심, m_0 는 파수, α_0 는 입사파 진폭, ω 는 원진동수이다.

여기서 R 은 반사계수이고, H 는 Kochine 함수이다.

Table 1. Experiment Conditions

case	d_s (m)	l_s (m)	l_f (m)	l_D (m)	θ_s (deg.)	α_0 (m)
1	2.5	1.0	1.5	1.5(open)	26.0	0.5
2	2.5	1.0	1.5	1.0	26.0	0.5
3	2.5	1.0	1.5	0.5	26.0	0.5
4	2.5	1.0	1.5	1.5(open)	26.0	0.375
5	2.5	1.0	1.5	1.0	26.0	0.375
6	2.5	1.0	3.0	3.0(open)	26.0	0.5
7	1.5	1.0	1.5	1.5(open)	26.0	0.5
8	1.5	1.0	1.5	1.0	26.0	0.5
9	2.5	2.0	1.5	1.5(open)	26.0	0.5
10	2.5	2.0	1.5	1.0	26.0	0.5
11	2.5	1.0	1.5	1.5(open)	36.8	0.5
12	2.5	1.0	1.5	1.0	36.8	0.5
13	3.5	1.0	6.0	6.0(open)	26.0	0.5
14	3.5	1.0	6.0	1.0(open)	26.0	0.5
15	3.5	1.0	6.0	1.5	26.0	0.5

4. 공기실의 에너지 흡수효율 모형실험

공기실의 형상계수에 따른 에너지 흡수효율 특성을 실험적으로 고찰하였다. 실험은 길이 25 m, 폭 0.6 m, 깊이 0.8 m인 이차원 수조에서 수행되었다. 수조시험에 사용된 공기실 모형은 1/23의 축적비를 가지며, 조파기로부터 수조 길이 방향으로 20 m 지점에 설치하였고, 모형시험 시 수조의 적용 수심은 0.5 m이다.

공기실 내부 중앙에서의 해수면 변화를 와이어형 용량식 파고계를 사용하여 계측하였으며, 조파기 전면 5 m와 10 m 두 지점에서 입사파의 파고를 또한 계측하였다.

OWC 공기실의 파력에너지 흡수효율에 대한 형상인자들의 영향을 규명하기 위한 모형시험 조건들이 Table 1에 주어진다. 공기실 전면벽의 깊이(d_s) 및 두께(l_s), 공기실 폭(l_f), 공기실 바닥면의 기울기(θ_s), 공기실 덕트의 작경(l_b) 등의 영향을 고찰하였으며, 파진폭(a_0)을 변화시켜 파랑의 비선형 정도에 따른 변화를 살펴보았다.

5. 수치해석 및 모형시험의 결과 고찰

실험에서 계측된 공기실 내의 파진폭들과 OWC 장치에 의한 파랑에너지 흡수율을 Green 적분방정식에 기초하여 시뮬레이션에 의해 얻어진 결과들과 비교하고, 파주기에 따른 변화와 형상인자들의 효과들을 분석하였다. 실험에서 압력강하 계수의 측정이 어렵기 때문에, 수치 시뮬레이션을 압력강하 계수를 달리하여 반복하여 수행하고 결과를 모형시험 결과와 비교하였다.

덕트의 크기를 달리함으로써 압력강하 계수의 영향을 고찰한 결과들이 Fig. 2에 보여진다. 공진 주기들은 덕트의 크기에 거의 무관하나, 덕트 크기가 작아짐에 따라 정점 값이 작아짐을 볼 수 있다. 이는 공기실 내 압력이 증가하여 자유수면의 움직임을 구속하기 때문이다. 큰 d_s 를 갖는 경우 1이 상대적으로 작은 경우 7보다 공기실 내 해수면 운동 진폭이 커짐을 알 수 있으며, 효과적인 공진을 발생시키기 위해서는 d_s 의 최적화가 필요함을 보여준다. d_s 의 값이 너무 작은 경우에는 공기실 내로 입사된 파력 에너지가

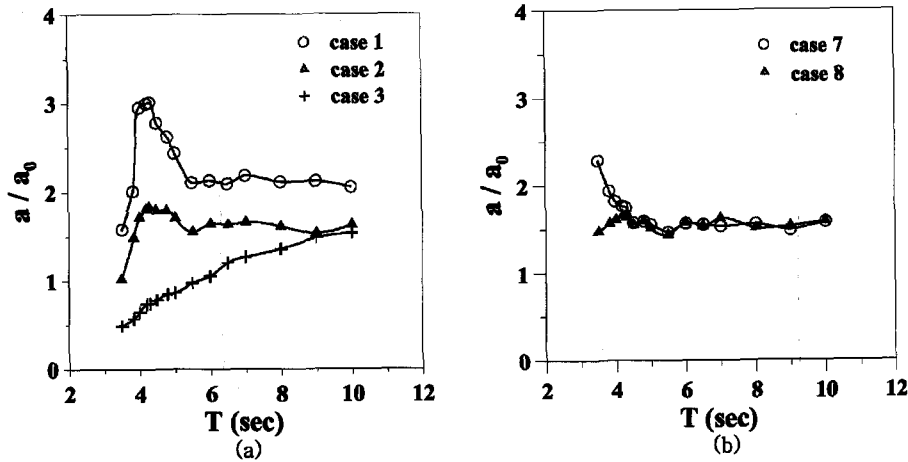


Fig. 2. Effects of air-duct dimension on relative wave amplitude distribution.

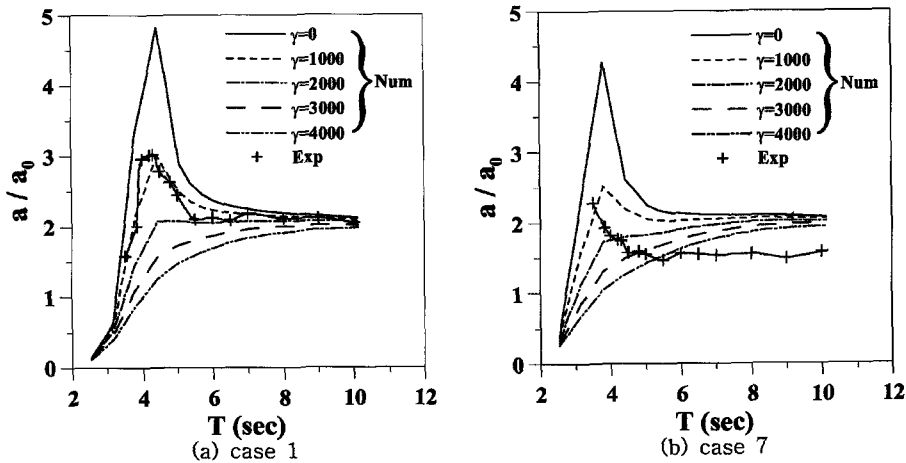


Fig. 3. Relative wave amplitudes computed with equivalent linear damping.

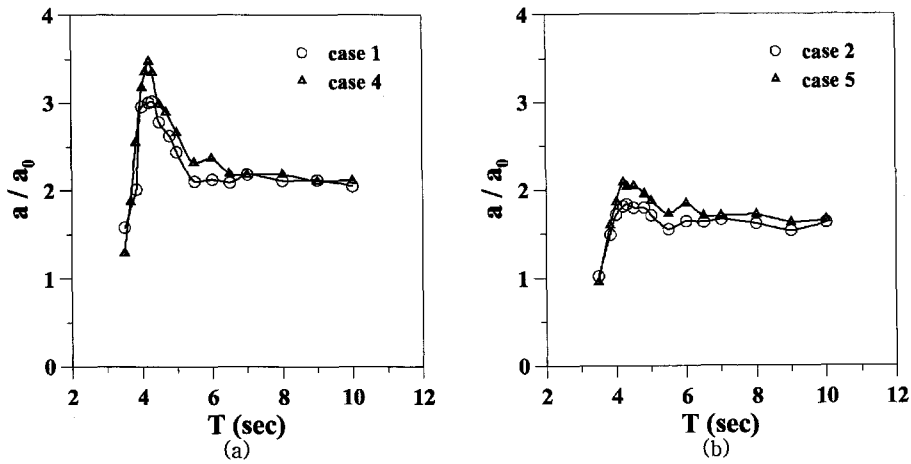


Fig. 4. Effects of nonlinearity of incident waves on relative wave amplitude distribution.

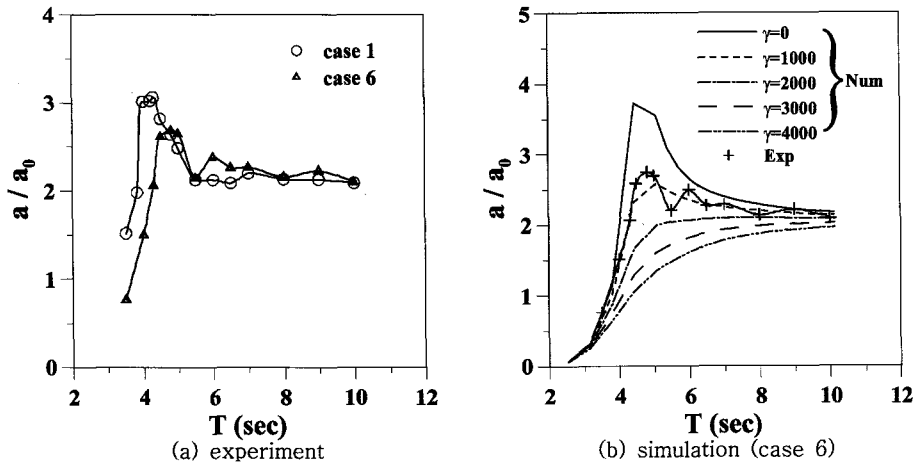


Fig. 5. Relative wave amplitude distribution corresponding to v_0 width and its comparison with numerical simulations.

공기실 내에 가두어지지 못하고 대부분이 외해로 반사되며, 반대로 너무 큰 경우에는 공기실 내로 입사 자체가 어렵게 된다.

수치계산에 의해 얻어진 공기실 내 상대 파진폭들과 실험결과를 비교하였다(Fig. 3). 수치계산에서는 동일한 형상의 모델에 대해서는 압력강하 계수를 상수로 취급한다. 그러나, 실제로는 압력강하 계수는 입사파의 주기에 따라 변화하므로 실험값과 수치계산 값은 서로 차이를 보여준다. 그럼에도 불구하고, 일반적으로 수치해석 결과에서도 OWC형상인자들의 효과가 유사하게 나타남을 알 수 있다.

동일한 모형에 대해 서로 다른 파고를 갖는 입사파를 적용한 결과들이 Fig. 4에 도시되었다. 큰 입사파의 경우에 공기실 내 파고 값이 다소 감소하며, 비선형성의 증가에 따른 에너지 소산의 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

공기실 폭의 영향이 Fig. 5에 보여진다. 공기실 폭이 넓어지면, 공진주기가 길어지면서 단주기 영역에서의 공기실 내 상대 파고가 현저히 작아진다. 이러한 효과는 Fig. 3(a)와 Fig. 5(b)에 보이는 수치해석 결과들을 통해서도 확인된다.

공기실 전면벽의 두께와 바닥면의 기울기의 영향이 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 보여진다. 양 형상인자들은 공진주기에는 영향을 주고 있지 못하나, 두꺼운 전면벽과 가파른 바닥은 덕트의 크기가 클 때는 입사파의 반사율을 증가시킨다. 그러나 이러한 경향은 덕트의 크기가 작을 때는 나타나지 않으며, 이는 파력 에너지 흡수 효율에 대한 압력강하 계수의 지배적인 영향을 함축한다.

제주 차귀도 해역을 대상으로 고려되고 있는 진동수주형 파력발전 실증플랜트의 초기설계 형상에 대해 덕트 크기에 따른 상대 파진폭의 실험 및 수치계산 결과가 Fig. 8에 도시되었다. 공기실은 폭 6 m, 전면벽의 깊이 3.5 m이다. 공기실 폭이 커짐에 따라 공진주기가 약 6 sec로 길어짐을 볼 수 있다. 정점 값이 작은 반면에 유효주기의 폭이 상대적으로 넓다. 또한 공진주기 부근을 제외하고는 덕트 크기에 따른 차이가 크지 않으며, 이는 공기실의 크기가 커지면 자유수면 유동에 미치는 압력강하 파라미터의 영향이 감소함을 의미한다. Fig. 9에는 차귀도 실증플랜트의 초기형상에 대해 파랑 반사계수와 공기실 단위길이당 시간평균 파력의 수치계산 결과가 보여진다.

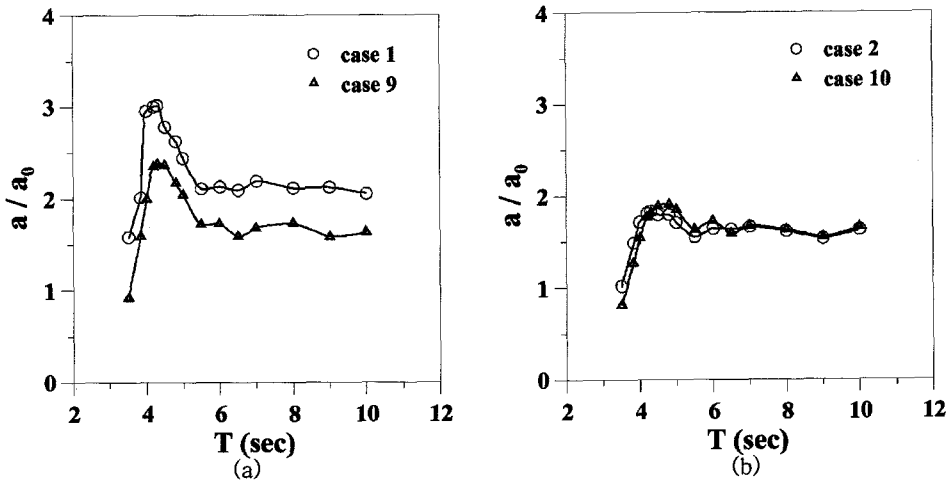


Fig. 6. Effects of chamber skirt thickness on relative wave amplitude distribution.

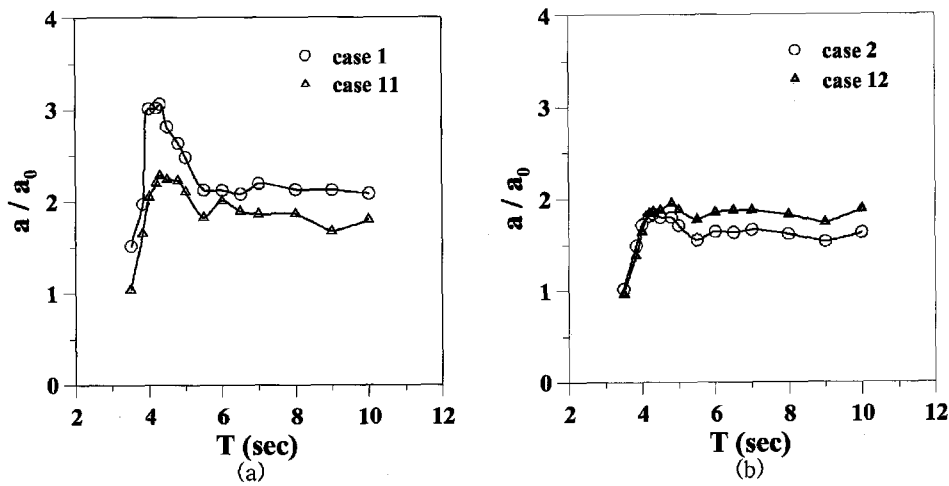


Fig. 7. Effects of bottom mount slope on relative wave amplitude distribution.

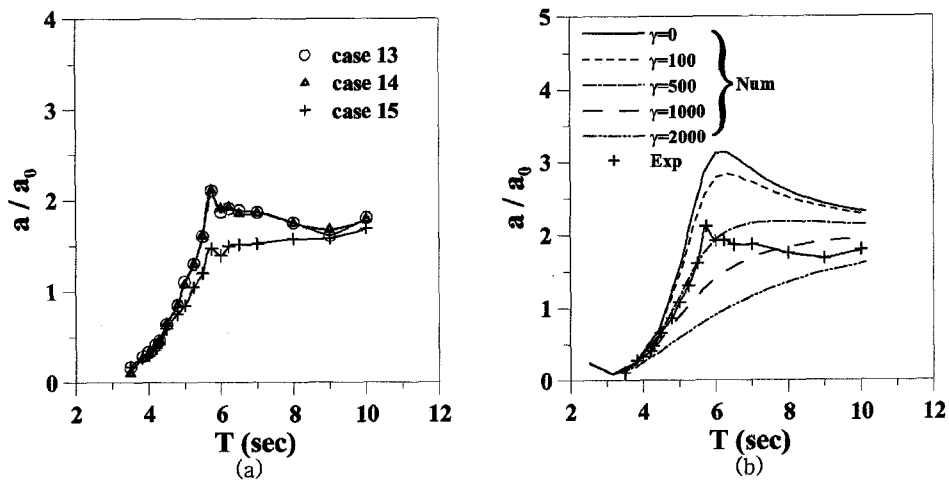


Fig. 8. Relative wave amplitude distribution corresponding to variation of air-duct dimension and its comparison with numerical simulations for preliminary design of Chagwi-Do OWC pilot plant.

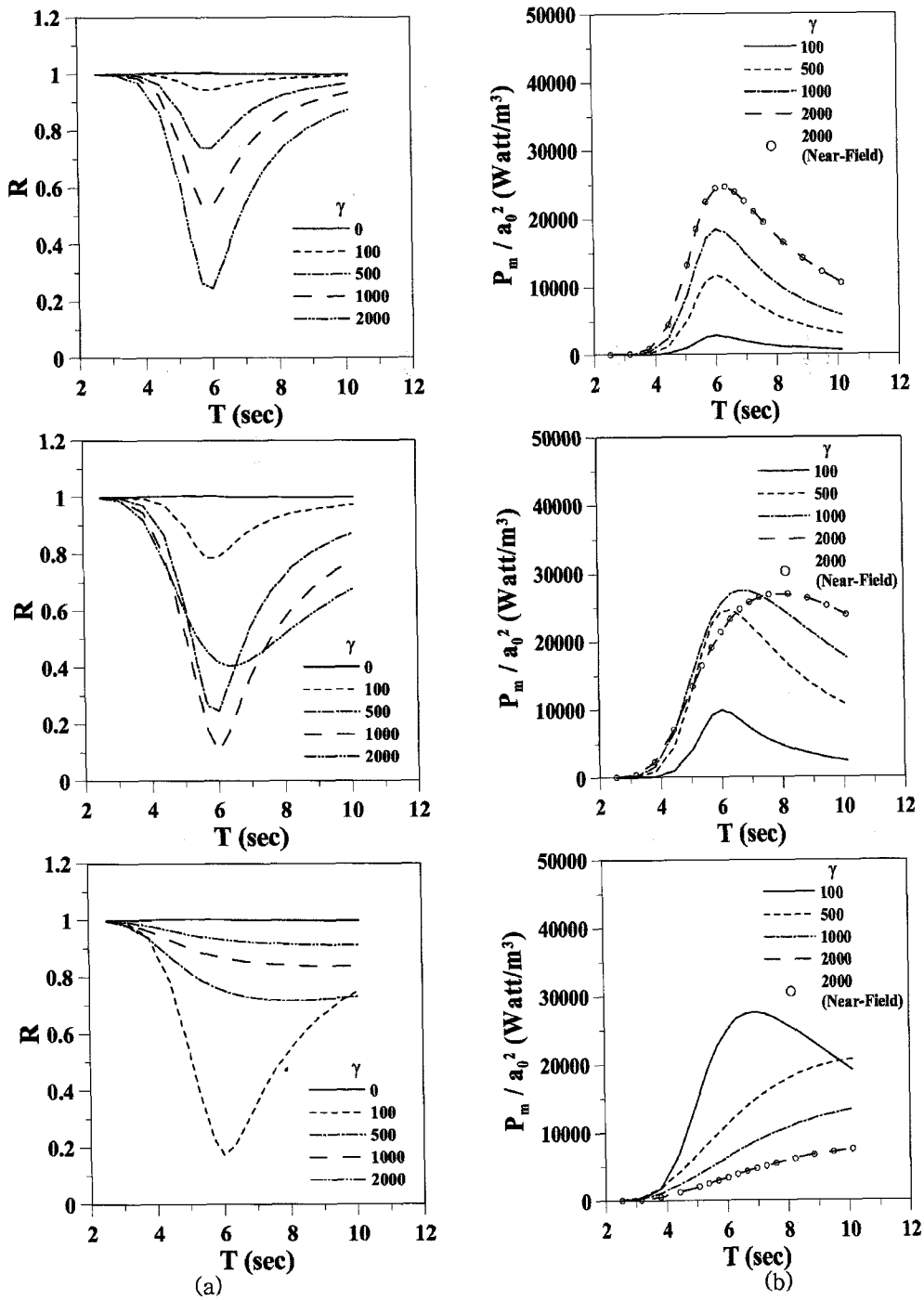


Fig. 9. Reflection coefficients and absorbed powers per unit length of OWC chamber based on numerical calculation with assumed.

6. 결 론

이차원 진동수주형 파력발전 공기실의 파력에너지 흡수효율에 대한 실험적, 수치적 연구를 수행하였다. 이를 통해 OWC 공기실의 주요 형상인자들인 공기실 전면벽의 깊이 및 두께, 공기실 폭, 바닥면 기울기가 파력에너지 흡수효율에 미치는 영향을 고찰하였다. 또한 공기실 압력강하계수 및 파랑의 비선형성 정도에 따른

변화를 살펴보았다. 이로부터 다음의 결론을 도출하였다.

- 1) 공기실 덕트의 크기가 작을수록 상대파고의 정점 값은 감소하는 경향을 보이지만, 공진주기는 변화하지 않는다.
- 2) 한주기당 공기의 유동량이 공기실 용적에 비해 작은 경우에는 공기실 덕트 크기에 따른 상대파고 크기의 변화가 작다. 큰 공기실의 용적에 기인하여 자유수면 거동이 압력강하에 따른 영향을 적게 받기 때문이다.

3) 효과적인 공진을 유발하기 위해서는 공기실 내로 유입된 입사파의 기동과 입사파의 입사량 및 반사량의 조절에 적합하도록 공기실 전면벽의 깊이가 최적화되어야 한다.

4) 공기실 폭이 넓어지면, 공진주기가 장주기 쪽으로 이동하며, 특히 단주기 영역에서는 현저한 상대과고의 감소를 유발한다.

공기실의 파력흡수 성능곡선은 공진주기에서의 정점 값의 크기와 유효주기 대역의 폭에 의해 효율성이 좌우되며, 이들 곡선은 공기실의 형상인자들의 차이에 따라 민감하게 변화한다. 그러므로 공기실에 의한 총 흡수파력을 최대화하기 위해서는 대상해역의 통계적 파랑조건에 따른 공기실 형상인자들의 최적화가 필요하다.

후 기

본 연구는 해양수산부 해양수산연구개발사업으로 수행된 “파력 에너지 실용화 기술 개발”, 산업자원부 신재생에너지기술개발사업으로 수행된 “나선압초형 월류파력발전 기술 개발”, 기본연구사업으로 수행된 “기상재난과의 의한 해양구조물의 안전성 평가기술 개발” 과제의 연구성과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Clement, A., 1996, “Dynamic Non-linear Response of OWC Wave Energy Devices”, Proc. 6th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., 91-96.
- [2] Evans, D.V., 1982, “Wave-Power Absorption by Systems of Oscillating Surface Pressure Distributions”, J. Fluid Mech., Vol.114, 481-499.
- [3] Falcão, A.F.deO., 2003, “Maximum Energy Production and Maximum Profit as Alternative Criteria for Wave Power Equipment Optimization”, Proc. Fifth European Wave Energy Conf., 149-156.
- [4] Folley, M. and Whittaker, T.J.T., 2001, “Initial LIMPET Trials Examining the Effect of Bathymetry”, Internal Report, Queens University, Belfast, United Kingdom.
- [5] Folley, M. and Whittaker, T.J.T., 2002, “Identification of Non-linear Flow Characteristics of the LIMPET Shoreline OWC”, Proc. 12th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., 541-546.
- [6] Holmes, B., Hurley, J., Lewis, T., Brito-Melo, A., Sarmiento, A.J.N.A. and Falcão, A.F.deO., 1995, “1:25 Scale Testing of the Azores Pilot Plant”, Proc. European Wave Energy Symp., 148-155.
- [7] Hong, D.C., Hong, S.Y. and Hong, S.W., 2004, “Numerical Study of the Motions and Drift Force of a Floating OWC Device”, Ocean Engineering, Vol.30, 139-164.
- [8] Mingham, C.G., Qian, L., Causon, D.M. and Ingram, D.M., 2003, “A Two-Fluid Numerical Model of the LIMPET OWC”, Proc. Fifth European Wave Energy Conf., 119-125.
- [9] Sarmiento, A.J.N.A., 1993, “Model-Test Optimization of an OWC Wave Power Plant”, Int. J. Offshore and Polar Eng., Vol.3, No.1, 66-72.
- [10] Sarmiento, A.J.N.A. and Falcão, A.F.deO., 1985, “Wave Generation by an Oscillating Surface-Pressure and Its Application in Wave-Energy Extraction”, J. Fluid Mech., Vol.150, 467-485.
- [11] Weber, J.W. and Thomas, G.P., 2003, “Some Aspects of the Design Optimization of an OWC with regard to Multiple Sea States and Combined Object Functions”, Proc. Fifth European Wave Energy Conf., 141-148.

2007년 6월 8일 원고접수

2007년 7월 25일 수정본 채택