

부유식 진동수주형 파력발전기(BBDB)의 유체 동역학적 성능 실험 연구

김성재* · 권진성* · 김준동* · 구원철* · 신성원** · 김규한***

*울산대학교 조선해양공학부

**관동대학교 에너지플랜트학과

***관동대학교 토목공학과

Experimental Study of Hydrodynamic Performance of Backward Bent Duct Buoy (BBDB) Floating Wave Energy Converter

Sung-Jae Kim*, Jinseong Kwon*, Jun-Dong Kim*, Weoncheol Koo*, Sungwon Shin** and Kyuhan Kim**

*School of Naval Architecture and Ocean engineering, University of Ulsan, Korea

**Department of Energy Plant

***Department of Civil Engineering, Kwandong University, Korea

KEY WORDS: Oscillating water column (OWC) 진동수주 Floating wave energy converter 부유식 파력발전기 Chamber pressure 챔버 공기압, Water surface elevation 수면 변위, Motion RAO 운동응답함수, 2-D Wave tank experiment 2차원 수조 실험

ABSTRACT: An experimental study on the hydrodynamic performance of a backward bent duct buoy (BBDB) was performed in a 2D wave tank. The BBDB is one of the promising oscillating water column (OWC) types of floating wave energy converters. Two different corner-shaped BBDBs (sharp-corner and round-corner) were used to measure the maximum chamber surface elevations and body motions for various incident wave conditions, and their hydrodynamic characteristics were compared. In order to investigate the effect of the pneumatic pressure inside the chamber, the heave and pitch angle interacted with elevations were compared for both open chamber and partially open chamber BBDBs. From the comparison study, the deviation in the chamber surface elevations between the two shapes of BBDBs was found to be significant near the resonance period, which may be explained by viscous energy loss. It was also found that the pneumatic pressure noticeably affected the chamber surface elevation and body motions.

1. 서 론

세계적인 에너지 수요의 급격한 증가와 화석에너지의 고갈 및 환경오염, 그리고 원자력 에너지의 안정성 문제 등으로 인해 환경 친화적이면서, 지속 가능한 에너지원에 대한 관심이 증가하였다. 그중 해양에너지는 청정에너지이면서 동시에 방대한 에너지 양을 보유하고 있는 지속 가능한 차세대 에너지원이다. 해양 에너지 중 파력 에너지는 환경적인 가변성과 에너지 추출의 낮은 효율성 등으로 인해 아직까지 표준화된 파력 발전기의 개발이 실용화 되지 못하고 있지만, 해양에너지 중 가장 막대한 에너지량을 보유하고 있기에 포기할 수 없는 차세대 주요 에너지원으로 인식되고 있으며, 현재 유럽을 중심으로 많은 나라에서 파력 에너지 실용화에 대한 기초 및 응용 연구가 활발하게 진행되고 있다.

파력발전기의 한 형태로서 진동수주형(Oscillating water column: OWC) 발전 방식은 입사파에 의한 공기 챔버 내부의 수면 변동

을 통한 공기유동을, 웰스 터빈(Wells turbine)이나 임펄스 터빈(Impulse turbine)과 같은 특수한 공기 터빈을 구동시켜 발전하는 방식이다. 이러한 발전 방식은 주요 발전 시스템이 수면 밖에 위치하여 입사파에 의한 직접적인 영향을 받지 않아 시스템의 유지 및 보수가 용이하기 때문에 현재 실증화된 모델 개발이 이루어지는 등 실용화 연구가 활발히 진행되어 왔다. 하지만, 이같은 발전 방식은 파 입자 운동에 의한 직접 발전 방식에 비해 에너지 추출 효율이 낮다는 단점을 가지고 있다.

진동수주형 파력 발전기의 한 형태인 백워드 밴트 덕트 부이(Backward bent duct buoy, BBDB)는 Masuda(1987)에 의해 처음 제안된 부유식 파력 발전기로서, 부유식 구조물의 상대운동으로 인해 고정식 발전기에 비해 비교적 넓은 공진 주기를 가지고 있어 효율적으로 파력에너지를 추출할 수 있는 발전기 형태이다. 또한, 구조물의 독특한 형태로 인해 특정 입사파 주기에서 파의 입사방향으로 진행되는 역표류력(Reverse drift force)이 발생하는

Received 15 October 2012, revised 26 November 2012, accepted 11 December 2012

Corresponding author Weoncheol Koo, +82-52-259-2767, wckoo@ulsan.ac.kr

© 2012, The Korean Society of Ocean Engineers

It is noted that this paper is revised edition based on proceedings of KSOE 2012 in Busan.

데(Masuda et al., 1993; McCormick and Sheehan, 1992), 이러한 특성은 실제 부유식 발전기의 설치 및 운용 시에, 계류력을 감소시킬 수 있는 장점이 될 수 있다. 그동안 BBDB형 OWC 파력 발전장치의 운동응답해석을 위해 여러 연구들이 수행되었는데, 그중 Toyato et al.(2009)은 실험과 수치계산을 통하여 구조물에 작용하는 힘과 모멘트를 구하였다. 또한, BBDB의 운동과 표류력 등 유체 동역학적 특성을 파악하기 위해 수치적 모델링(Hong et al., 2004)과 실험적 방법(Kim et al., 2006; Imai et al., 2009; Lee, 2011)등이 이용되었다. 최근에는, 파력 에너지 추출 효율과 밀접한 관련이 있는 챔버내 수면 변위와 압력간의 관계를 파악하기 위해, 고정식 OWC 챔버에 대해 포텐셜 유동 기반의 수치 파동 수조기법을 이용한 비선형 수치 모델링을 수행한 Koo and Kim(2010)의 연구와, 2차원 수조 실험을 통해 OWC의 최적화 형상을 위한 챔버 형상 매개변수의 영향을 파악한 Koo et al.(2012)의 연구가 있다. 또한 Lee et al.(2012)은 3차원 비압축성 점성유체를 기반으로 한 Navier-Stokes 방정식을 적용하여 불규칙과 동장하에서의 고정식 OWC 챔버 내의 불규칙 공기흐름에 대한 수치모델링을 수행하고, 결과를 분석하였다.

본 연구에서는 부유식 파력발전기 BBDB 모델을 2차원 실험 수조에 설치하고 진동수주형 발전기 효율의 중요 인자인 챔버 내 수면 변위와 이와 연동되어 있는 구조물의 수직운동 및 회전운동을 각 입사파 조건에 따라 측정하고 그 결과를 비교하였다. 챔버 내 최대 에너지 추출을 위한 최적 형상과 조건을 확인하기 위해, 챔버의 개방 유무에 따른 챔버 내 수면 변위와 구조물의 운동 성능 변화 등을 각 입사파 조건에 따라 측정하고, 각 조건이 미치는 영향을 분석하였다. 또한, BBDB의 모서리 형상에 따른 입사파 에너지의 손실을 파악하기 위해, 각진 모서리 모델(Sharp corner)과 둥근 모서리(Round corner) BBDB 모델을 사용하여 비교 실험을 수행하였다.

2. 2차원 수조 실험

본 연구는 부유식 진동수주형 파력발전기의 한 형태인 BBDB의 최대 에너지 추출 효율을 위한 최적 형상과 파랑 조건 및 이와 연동된 구조물 거동 영향을 파악하기 위한 유체 동역학적 기초 연구로서, 2차원 단면 수조에서 BBDB의 모서리 형상이 다른 두 개의 실험 모델을 이용하여 각 입사파 조건에 따른, 챔버 내 수면 변위와 거동 변화를 측정하고 상호간의 영향을 분석하였다. 또한, 챔버 노즐의 개방 여부를 통해, 챔버 내 공기압의 영향에 따른 챔버 내 수면 변위의 변화를 비교 분석하였다. 실험을 위해, 길이 40m, 높이 1.4m, 폭 0.7m의 관동대학교 2차원 단면 조파수조를 이용하였으며, 실험의 개요도를 Fig. 1에 나타내었다. 또한, 본 실험에 사용된 BBDB 모델의 구체적인 제원과 실제 형상은 Table 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. Fig. 2(a)에 각진 모서리 BBDB 모델을 나타내었고, 각진 모서리로 인한 물입자의 유체 점성에 의한 보모텍스 영향을 최소화하기 위해 둥근 모서리 형태의 실험 모델을 Fig. 2(b)에 나타내었다. 본 실험에서는 수조 폭(0.7m)을 실험 모델의 폭(0.48m)과 일치시켜 2차원 실험을 수행하기 위해, 수조 폭의 0.2m지점에 수조 길이 방향으로 7m 정도의 차

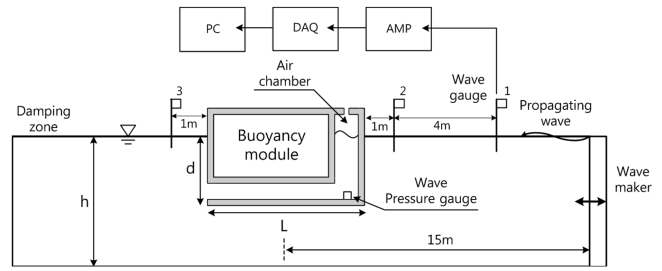
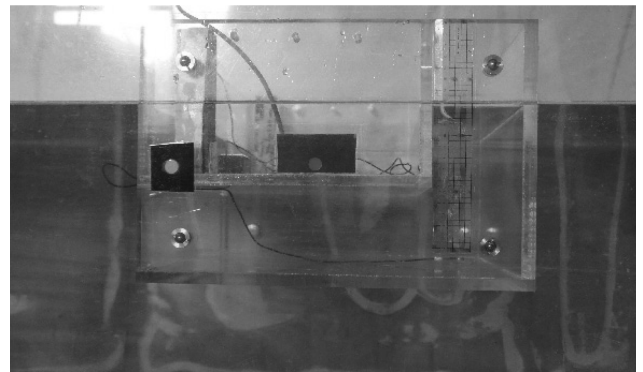


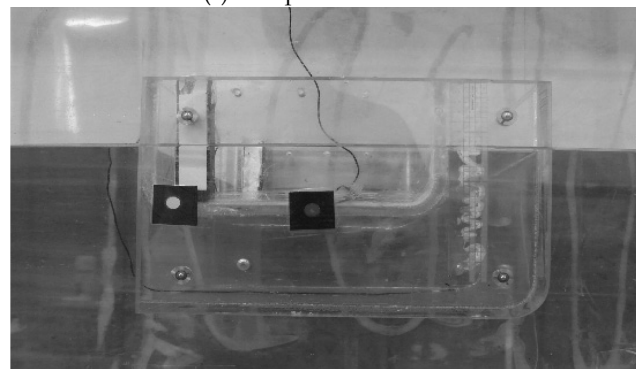
Fig. 1 Overview of experimental setup and model specification

Table 1 Main particulars of the BBDB models

Item	Dimension
Water depth (h)	0.6m
Nozzle diameter (D)	0.03m
Chamber gap (cw)	0.08m
Draft (d)	0.16m
Length (L)	0.35m
Breadth (B)	0.48m
Radius of corner (round corner BBDB)	0.03m
Displacement (Sharp corner BBDB)	0.012m ³
(Round corner BBDB)	0.012m ³
Total mass (Sharp corner BBDB)	12.42kg
(Round corner BBDB)	12.18kg



(a) Sharp corner BBDB



(b) Round corner BBDB

Fig. 2 Comparison of (a) sharp corner BBDB model and (b) round corner BBDB model

수벽(Divider wall)을 설치하였다. 챔버 수면 변위와 구조물의 운동에 대한 챔버 내 공기압의 영향을 파악하기 위해, 공기 챔버가 완전 개방되어 있을 때(Open)와 챔버 노즐($D=3$ cm)만 개방되어 있을 때(Partial)의 실험 측정 결과를 비교하였다.

본 실험에서 사용된 2차원 수조 조파기는 피스톤 형태(Piston-type)이며, 입사파는 주기 0.6~2.0초의 범위에서 1cm 균일 파고의 규칙파를 사용하였다. 생성된 파고는 용량식 파고계에서, 챔버 내의 수면 변위는 파압계를 이용하여 측정하였다. 측정된 신호를 앰프(AMP)를 통해 증폭시켜 DAQ(Data acquisition device)로 보내고 최종적으로 컴퓨터를 통해 데이터를 저장하고 분석하였다. DAQ는 20Hz의 Sampling rate으로 데이터를 저장하였으며, 이 때 파고계 및 파압계에서 측정된 전압(Volt)을 보정 계수(Calibration coefficient)를 통해 실제 파고를 환산하였다.

본 실험에서 BBDB의 운동응답은 선형 CCD 카메라를 이용한 비접촉식 2차원 운동계측장치를 사용하여 3자유도 운동(Surge, Heave, Pitch) 변위를 계측하였다. 운동 계측시스템은 1대의 카메라 및 호스트 컴퓨터로 구성하였고, 피사체의 운동을 색상이식 방식으로 계측하였다. 부유체의 수직운동(Heave)과 회전운동(Pitch)을 계측하기 위해, 기준 좌표계를 실험 모델에 설정하였고, 이를 바탕으로 모델의 무게 중심과 계측된 임의의 두 점과의 상대 거리를 이용하였다.

다양한 입사파 조건에 따른 챔버 내 수면 변위 값을 측정하기 위해 BBDB 내부에 파압계를 설치하였고, 또한 CCD 카메라를 통한 챔버 내부 유동을 계측하여 파압계로 구한 수면 변위와 비교함으로써 보다 정확한 챔버 내 수면 변위를 측정하였다. BBDB 주변의 수면 변화를 측정하기 위해 구조물 전방 1m와 후방 1m에 용량식 파고계를 설치하였다. 1번 파고계를 이용하여, 조건에 맞는 입사파의 생성 여부를 확인하였고, 1번과 2번 파고계에서 얻어진 수면변위의 시계열자료의 차이를 관찰하여 반사파와 재 반사파의 영향이 없는 정상 상태의 수면 변위 값을 측정 결과 분석에 사용하였다.

3. 실험 결과 및 해석

3.1 챔버 개방 유무에 따른 영향

챔버 내 공기압이 챔버 내 수면 변위와 구조물 운동에 미치는 영향을 알아보기 위해, 공기 챔버가 완전 개방되어 있는 경우(Open, 챔버 공기압은 대기압과 동일)와 공기 챔버가 부분적으로 개방된 경우(Partial, 공기압은 수면변위에 따라 변화)를 비교 실험하였다. 챔버가 부분 개방되었을 경우, 챔버 노즐을 통과하는 공기 유동으로 인해 챔버 내 공기압이 대기압과 다르며, 여기서 노즐의 지름(D)은 3cm이다.

Fig. 3에서 챔버 개방 유무에 따른 각진 모서리(Sharp) BBDB의 챔버 내 수면 변위를 비교하였다. 두 번의 공진 현상이 발생하는 것은 BBDB가 부유체 모듈과 Backward Bent 부분으로 두 개의 구조물 결합체로 볼 수 있기 때문으로 판단된다. 챔버 개방 유무에 따른 공기압 변화로 인한 수면 변위의 공진위치($\lambda/L \sim 5$, $\lambda/L \sim 10 \sim 11$)에는 큰 변화가 없는 것을 확인하였다. 따라서 챔버 공기압은 챔버 내 수면 변위의 공진주기의 변화에는 영향을

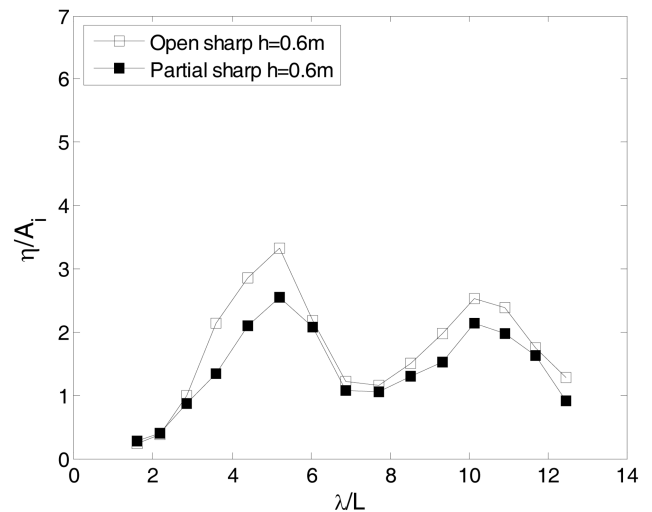


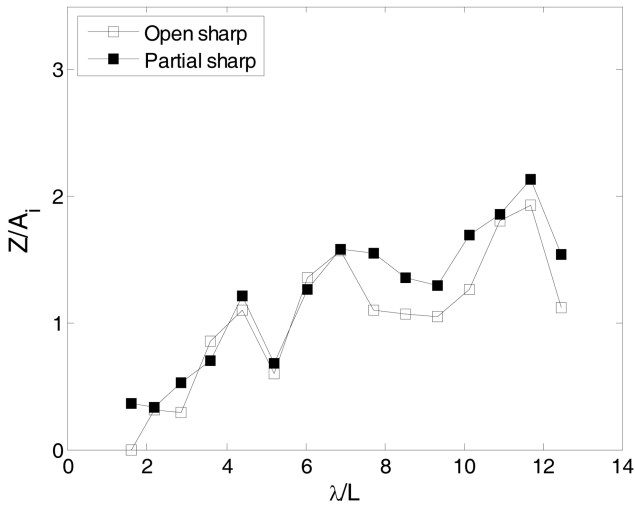
Fig. 3 Comparison of chamber surface elevations for two different chamber open conditions in case of sharp corner BBDB. water depth(h)=0.6m, A_i =amplitude of incident wave, λ =wave length

주지 않음을 알 수 있다. 부분 개방된 챔버의 경우, 수면 변위는 대체로 모든 파 주기에서 작은 값을 가짐을 알 수 있고, 특히 공진 주기에서 그 차이가 최대가 됨을 알 수 있다. 공기압 유무에 따른 챔버 내 수면 변위의 차이는 노즐을 통한 공기 유동으로 인한 파력 에너지의 양을 나타내며, 적절한 형태의 공기 터빈 발전기가 설치된다면 이 차이만큼의 파력 에너지가 추출될 수 있음을 의미한다.

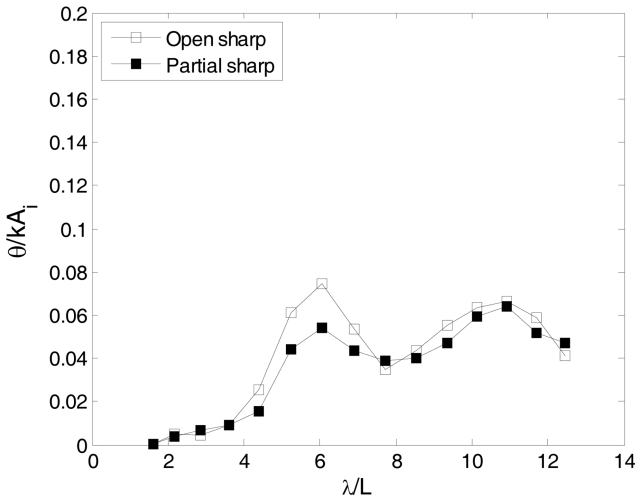
Fig. 4에서는 Fig. 3과 동일한 조건에서 (a)수직운동(Heave) RAO와 (b)회전운동(Pitch) RAO를 비교하였다. 수직 운동의 경우 챔버 내 수면변위의 첫 번째 공진주기($\lambda/L \sim 5$)에서 오히려 감소함을 볼 수 있고, 두 번째 공진주기도 서로 정확히 일치하지는 않는다. 또한, 챔버가 부분 개방되었을 때 모든 파 주기 구간에서 챔버 내 수면 변위가 감소했던 Fig. 3와는 달리, BBDB의 수직운동은 $\lambda/L > 7$ 이상인 장파 영역에서 오히려 더 증가함을 확인할 수 있는데, 이는 장파영역에서 챔버 공기압이 부유체의 수직운동을 유발하는 것으로 판단된다.

회전 운동은 부분 개방 챔버에서, 완전 개방 때보다 감소함을 알 수 있고, 챔버 내 수면 변화와 같이 두 개의 공진 주기가 뚜렷하게 존재함을 알 수 있다. 또한, 첫 번째 회전운동 공진주기($\lambda/L \sim 6$)는 수면 변위의 첫 번째 공진 주기($\lambda/L \sim 5$)와 정확히 일치하지는 않지만 대체로 비슷한 위치에 존재하며, 두 번째 공진주기는 수면변위의 주기와 상당히 일치함을 알 수 있다.

따라서, 챔버 내 수면 변위의 첫 번째 공진($\lambda/L \sim 5$)현상은 같은 주기에서 구조물의 수직운동은 오히려 작아지고, 회전운동의 공진과도 정확히 일치하지는 않기 때문에, 구조물의 운동 변위, 특히 수직운동 증가와 챔버 내 수면 변위의 증가는 직접적인 상관관계가 작은 것을 알 수 있다. 하지만, 수면 변위의 두 번째 공진($\lambda/L \sim 10$)은 구조물의 수직 운동 및 회전 운동 공진과 대략적으로 일치하기 때문에, 구조물의 운동 변위, 특히 회전운동의 증가와 상당히 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있다.



(a) Heave RAO



(b) Pitch RAO

Fig. 4 Comparison of heave and pitch RAOs for two different chamber open conditions. k is incident wave number

3.2 실험 모델 형상에 따른 영향

BBDB 모델 모서리 형상에 따른 입사파 에너지의 손실량을 비교하기 위해 각진 모서리 형태의 BBDB 모델과 둥근 모서리 모델의 챔버 내 수면 변위를 완전 개방된 챔버 조건으로 Fig. 5에서 비교 하였다. 둥근 모서리 BBDB의 경우, 챔버 수면 변위의 공진주기가 $\lambda/L \approx 4$ 와 ~ 8 로, 각진 모서리 BBDB에 비해 공진주기가 약간 짧은 것을 확인할 수 있는데, 이는 둥근 모서리 모델이 각진 모델에 비해 크기와 질량이 약간씩 작기 때문으로 판단된다. 첫 번째 공진주기에서의 챔버 내 수면 변위는 두 모델 모두 비슷한 값을 가지고 있지만, 두 번째 공진의 경우 둥근 모서리 BBDB의 최대 수면 변위가 각진 모서리에 비해 2배 이상 큰 것을 알 수 있다. 이 같은 현상은 상대적으로 파장이 긴 입사파가 챔버 내로 진입할 때 둥근 모서리 BBDB의 운동 변화와 모서리 형상에 따른 유체 점성으로 인한 에너지 손실량이 작음을 의미한다. 이에 대한 좀 더 명확한 근거를 찾기 위해 둥근 모서리 BBDB의 챔버 내 공기압 영향과 이에 연관된 거동 특성을 비교하였다.

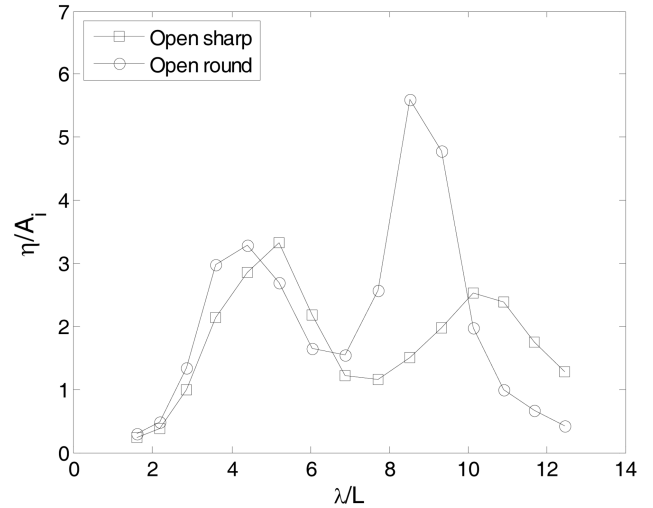


Fig. 5 Comparison of chamber surface elevations for two different corner shape BBDBs

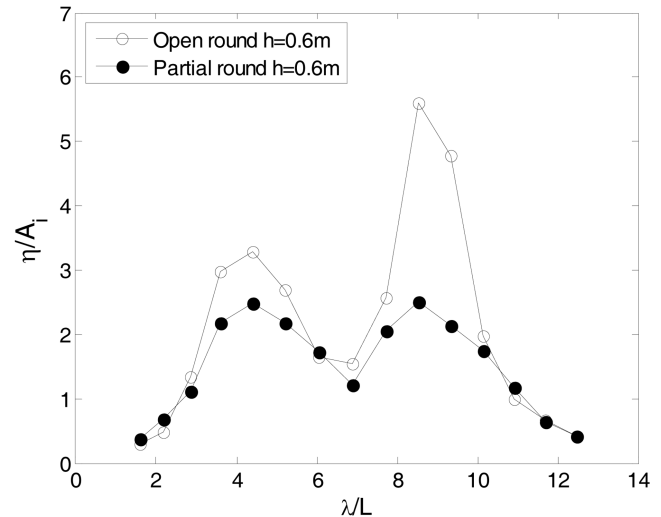


Fig. 6 Comparison of chamber elevations for two different chamber open conditions in case of round corner BBDB

Fig. 6에서 둥근 모서리 BBDB의 공기압의 영향에 따른 수면 변위 감소를 비교하였는데, 각진 모서리의 경우와 마찬가지로 챔버 공기압이 수면 변위 공진주기의 이동에는 영향을 주지 않고, 모든 파 주기에서 수면 변위가 감소함을 확인 하였다. 특히, 두 번째 공진주기에서 챔버 공기압에 의한 수면 변위는 입사파고 대비 3.2배나 감소하여 각진 모서리 경우(입사파고 대비 0.5배 감소)와 비교하여 최대 2.7배 감소하였다. 챔버 공기압은 노즐을 통해 공기 유동을 발생시킴을 의미하며 이는 가용 파력 에너지 추출량을 의미한다. 따라서 둥근 모서리 형태의 BBDB를 통해 보다 많은 파력 에너지를 추출할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 7에서는 둥근 모서리 BBDB의 (a)수직 운동 RAO와 (b)회전운동 RAO를 챔버 개방 유무에 따라 비교하였다. 수직 운동의 경우, Fig. 4(a)의 그래프와 전체적인 경향이 비슷하지만, 각진 모서리에 비해 전체적으로 수직운동이 증가한 것을 알 수

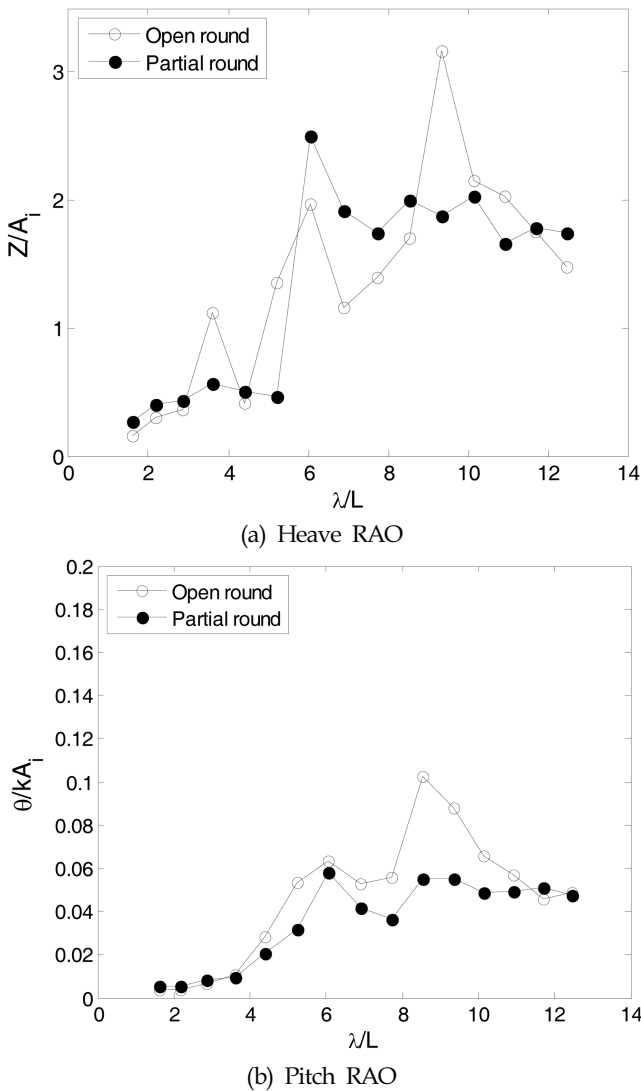


Fig. 7 Comparison of heave and pitch RAOs for two different chamber conditions in case of round corner BBDB

있다. 이는 둥근 모서리 BBDB의 경우 유체 점성에 의한 입사파 에너지의 손실이 적기 때문에, 더 많은 파 에너지의 유입으로 구조물 전체의 운동이 증가된 것으로 판단된다. 하지만, 두 형상 모델 모두, 챔버 개방 유무에 따른 수직 운동의 크기 변화는 파 주기에 따라 변함을 알 수 있고 수면변위의 공진주기와 일치하지 않음을 관찰할 수 있다. 따라서, BBDB의 수직운동 증가와 챔버 내 수면 변위 증가는 상대적으로 연관성이 작음을 알 수 있다.

Fig. 7(b)에서 BBDB 회전 운동은 각진 모델의 경우와 같이 두 번의 공진 현상이 존재함을 확인할 수 있고, 특히, 최대 수면 변위를 나타내는 두 번째 공진주기($\lambda/L \sim 8$)와 회전 운동 공진 주기가 거의 일치함을 알 수 있다. 또한, 공기압에 따라 회전운동이 급격히 감소하는 것도 확인할 수 있다. 이 같은 현상은 Fig. 6에서 관찰된 두 번째 공진주기에서 챔버 내 수면 변위의 급격한 감소가, 둥근 모서리 BBDB의 회전 운동과 밀접한 관계가 있음을 의미한다. 또한, 이러한 영향은 장파영역에서 둥근 모서리 BBDB가 점성에 의한 에너지 손실이 작기 때문에, 보다 많은

입사파 에너지가 유입되어 이에 따른 BBDB의 회전운동이 증가하고, 이로 인한 챔버 내 수면 변위도 함께 증가한 것으로 파악된다. 하지만, 점성에 의해 손실되지 않고 챔버로 전달된 파 에너지가 챔버 공기압을 통해 에너지로 추출되면(즉, 에너지가 챔버 밖으로 유출되면), 챔버 내 수면 변위와 회전 운동변위는 둥근 모서리 모델과 각진 모서리 모델 모두 비슷한 크기를 갖게 된다. 이것은, 둥근 모서리 BBDB 모델에서 추출 가능한 입사파 에너지량은 각진 모서리 모델에서 추출 가능한 에너지량과 두 모델의 형상 차이로 인해 손실된 에너지(점성으로 인한)양을 합친 것을 의미한다. 그러므로, BBDB의 챔버 크기에 따른 최대 가용 파력 에너지량은 일정하지만, 구조물 형상에 따른 에너지 손실량의 차이가 존재하기 때문에 실제 추출 에너지량은 달라질 수 있음을 의미한다.

본 모델의 경우 상대적으로 단파영역(첫번째 공진주기)에서는 BBDB 모서리 형상에 따른 점성에 의한 에너지 손실이 작고 추출 가능한 에너지량이 비슷하나, 장파영역 공진주기에서는 회전운동 변위가 크고 이에 따른 모서리 형상에서 점성 에너지 손실량이 매우 크기 때문에, 에너지 추출 효율을 높이기 위해서는 회전 운동시 점성 에너지 손실을 최소화할 수 있는 모델을 개발 적용하는 것이 필요하다.

5. 결 론

본 연구는 부유식 진동수주형 파력발전기의 한 형태인 BBDB의 최대 에너지 추출 효율을 위한 최적 형상과 최적 파랑 조건 및 운동 특성과의 연관성을 파악하기 위한 유체 동역학적 기초연구로서, 2차원 실험 수조에서 BBDB의 모서리 형상이 다른 두 개의 모델을 이용하여 각 입사파 조건에 따른, 챔버 내 수면 변위와 거동 특성을 파악하고 상호간의 연관성을 분석하였다. 또한, 챔버 노즐의 개방 여부를 통해, 챔버 공기압의 영향에 따른 챔버 내 수면 변위와 구조물의 거동 변화를 비교 분석하였다.

챔버 공기압은 챔버 내 수면 변위의 공진주기 변화에는 영향을 주지 않음을 확인하였고, 수면 변위는 모든 파 주기에서 대체로 감소시키며, 특히 공진 주기에서 큰 감소를 나타내었다. 챔버 공기압으로 인한 수면 변위 감소는 그 감소되는 양만큼의 가용 파력에너지를 나타내는 것이기 때문에, 공진주기에서의 추출 가능 에너지가 많음을 의미한다.

수면 변위와 구조물 회전운동에는 각각 두 개의 공진주기가 존재함을 확인할 수 있었고, 특히, 장파영역의 수면 공진주기와 회전운동 공진 주기가 대체로 일치하는 것을 확인하였다. 이를 통해, BBDB의 회전 운동이 챔버 내 수면 변화와 매우 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다.

BBDB 수직운동의 경우, 입사파장이 증가함에 따라 대체로 증가함을 확인할 수 있었지만, 파 주기에 따른 운동 변화가 심하였고, 챔버 내 수면 변위의 증가와는 직접적인 상관관계를 파악할 수 없었다.

챔버 모서리 형태 변화에 따른 입사파 에너지의 손실량 비교를 통해, BBDB의 챔버 크기에 따른 최대 가용 파력 에너지량은 일정하지만, 구조물 형상에 따른 에너지 손실량이 다르기 때문에 가용 파력 에너지량이 달라질 수 있음을 확인하였다. 첫번째 수

면변위 공진주기(단파영역)에서는 BBDB 모서리 형상에 따른 점성 에너지 손실이 작고, 추출 가능한 에너지량이 형상과 관계 없이 비슷하나, 두 번째 공진 주기(장파 영역)에서는 각진 모서리 BBDB가 둥근 모서리 모델에 비해 점성 에너지 손실이 매우 큰 것을 확인할 수 있었다. 또한, 둥근 모서리 모델에서 추출 가능한 최대 에너지량은 각진 모서리 모델에서 추출 가능한 에너지량과 두 모델 형상의 차이로 인해 손실된 에너지(점성으로 인한)량을 합친 것을 의미한다. 그러므로, BBDB의 에너지 추출 효율을 높이기 위해서는 입사파에 의한 회전운동의 증가와 이로 인한 점성 에너지 손실을 최소화 할 수 있는 형상 개발이 필요하다고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 신진교수연구지원(기초연구사업) (2010-000-3781-D00171)과 국토해양부의 지원으로 수행한 해양 에너지 전문 인력 양성사업 및 지식경제부 지역혁신센터사업(첨단해양공간개발연구센터)의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- 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*, 31, 139-164.
- Imai, Y., Toyota, K., Nagata, S., Setoguchi, T., Oda, J., Matsunaga, N., Manago, Y., Shimozono, T., 2009. Experimental Study on Negative Drift Force acting on a Floating OWC-type Wave Energy Converter "Backward Bent Duct Buoy". *Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, Osaka Japan*, 331-338.
- Kim, J.H., Lew, J.M., Hong, D.H., Hong, S.W., 2006. A Study on Motion and Wave Drift Force of a BBDB Type OWC Wave Energy Device. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 20(2), 22-28.
- Koo, W.C., Kim, M.H., 2010. Nonlinear Time-Domain Simulation of a Land-Based Oscillating Water Column. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 136(5), 276-285.
- Koo, W.C., Kwon, J.S., Kim, J.D., Kim, S.J., Kim, M.W., Choi, M.G., 2012. Experimental Study of Shape Parameter of Land-based OWC Wave Energy Converter. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 26(3), 33-38.
- Lee, K., 2011. Numerical Analysis and Experiment of a Backward Bent Duct Buoy Wave Power Device. Master Thesis, Univ. of Ulsan, Korea.
- Lee, K.H., Park, J.H., Kim, D.S., 2012. Numerical Simulation of Irregular Airflow within Wave Power Converter Using OWC by Action of 3-Dimensional Irregular Waves. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 24(3), 189-202.
- Masuda, Y., 1987. Experiences in Pneumatic Wave Energy Conversion, Utilization of ocean waves ASCE, 1-33.
- Masuda, Y., Xianguang, L., Xiangfan G., 1993. High Performance of cylinder Float Backward Bent Duct Buoy(BBDB) and its use in European Seas. 1993 European Wave Energy Symposium, 323-337.
- McComick, M., Sheehan, W., 1992. Positive drift of Backward-Bent Duct barge. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 118(1), 106-111.
- Toyota, K., Nagata, S., Imai, Y., Setoguchi, T., 2009. Research for evaluating performance of OWC-type Wave Energy Converter Backward Bent Duct Buoy. *Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, Uppsala Sweden*, 901-913.