

가변진동수주장치의 흘수변화에 따른 운동특성연구 (단일 부유체)

A study on Motion Characteristics of VLCO by Draft (Simple floating body)

이승철* · 배성용***†

Seung-Chul Lee*, Sung-Yong Bae***†

(접수일 : 2014년 4월 4일, 수정일 : 2014년 9월 11일, 채택확정 : 2014년 9월 11일)

Abstract: The structure of the variable liquid column oscillator(VLCO) is analogous to that of the tuned liquide column damper used to suppress oscillatory motion in large structures like tall buildings and cargo ships. VLCO is the technology to absorb high potential energy made by process of accelerated motions to occur the effect of an air spring by installation of inner air chamber. So, the application of VLCO can obtain to improve efficiency of energy than wave energy converters made in Pelamis Company. In this research, the experiments were carried out for the motion characteristics of simple floating body by varying the amount of internal fluid. The experimental results were compared with the calculated results.

Key Words : Variable liquid column oscillator, Activating object type, Motion response, Internal fluids

1. 서 론

바다는 지구 표면의 70%이상을 차지하고 있으며, 무한한 에너지 자원이 존재하고 있다. 해양에서 얻을 수 있는 에너지원으로는 해수면의 높이차를 이용하는 조석에너지, 바람을 이용하는 풍력에너지, 일정한 해수의 유동을 이용하는 해류에너지, 파도가 가지는 운동 및 위치에너지를 이용하는 파랑에너지 등이 있다. 이중 파랑은 모든 해역에 폭넓게 분포하므로 가용에너지원이 풍부하고, 에너지를 회수하기 위한 장치를 설치할 수 있는 해역 또한 광범위하므로 대규모로 활용이 가능한

에너지 자원이다. 파랑에너지를 이용한 발전시스템에서 파랑에너지를 다른 역학적 에너지로 변환시키기 위한 일차변환장치의 개발이 파랑에너지 이용에 있어서 가장 중요한 분야이기 때문에 파랑에너지 개발은 일차변환장치 개발의 역사와 함께 한다. 현재 주로 적용되고 있는 일차변환장치를 에너지 변환 방법에 대하여 분류하면 크게 세 가지정도로 분류할 수 있다. 파랑에너지 변환 방식 중 가장 에너지 효율이 높은 파랑의 에너지를 직접 흡수하여 발전에 이용하는 가동물체형, 장치 내에 들어온 수주의 왕복운동을 이용하는 진동수주형, 그리고, 밀려오는 파를 수집관에 모아서 유

***† 배성용(교신저자) : 부경대학교 조선해양시스템공학

과E-mail : sybae@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6616

*이승철 : 부경대학교 조선해양시스템공학과

***† Sung-Yong Bae(corresponding author) : Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering, Pukyong National University.

E-mail : sybae@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6616

* Seung-Chul Lee : Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering, Pukyong National University.

로에 흐름을 만들어, 그 흐름을 이용하는 수류형 및 에너지를 직접 압력과 유량의 형태로 받는 수압면형 등이 있다 여러 가지 파력발전 방식 중에서 가장 효율이 높은 발전방식인 가동물체형 파력발전시스템에 관한 연구는 현재 유럽국가 및 일본 등의 나라를 중심으로 활발히 진행되고 있다¹⁾. 가동물체형 파력발전시스템 중에서 상용화된 대표적인 시스템은 영국의 Pelamis 사가 개발한 시스템이다. 이 시스템은 가장 보편화된 가동물체형 발전시스템이며, 설치장소의 제약이 없는 장점과 유지 보수 비용이 타 장치에 비해 저렴하다는 장점으로 인해 가동물체형 방식 중 가장 뛰어난 성능을 발휘하는 것으로 조사되었다²⁾. Pelamis사의 발전방식이 가장 보편화되어 있지만 이 방식의 효율은 10% 초반 정도에 불과한 실정이다. 따라서 이 방식의 장점을 살리면서 효율을 높이는 새로운 발전방식의 개발이 필요하다. 가동물체형 파력발전시스템의 효율을 향상 시킬 수 있는 새로운 발전 방식으로 가동수주진동장치(VLCO, Variable Liquid Column Oscillator)를 적용한 발전 시스템³⁻⁴⁾이 있다.

VLCO는 내부에 공기실을 설치하여 공기스프링 효과를 발생시켜 물체의 흔들림을 가속화시킴으로서 이에 따른 높은 위치에너지를 흡수하는 기술이다. 따라서, VLCO를 적용할 경우 기존의 Pelamis사의 파력발전기의 에너지효율에 비해 향상된 효율의 에너지를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.⁵⁻⁶⁾

본 연구에서는 단순 부체모델에 대해 내부유체의 높이를 변화시킴에 따른 운동특성에 대해 실험결과와 계산결과를 비교·검토하였다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 수조에서 운동응답을 측정하기 위한 모션캡처시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

실험에서 사용한 파는 Table 1과 같이 파주기는 0.08초에서 1.6초까지 0.05초 간격으로, 파고 2cm와 4cm를 갖도록 하였다.

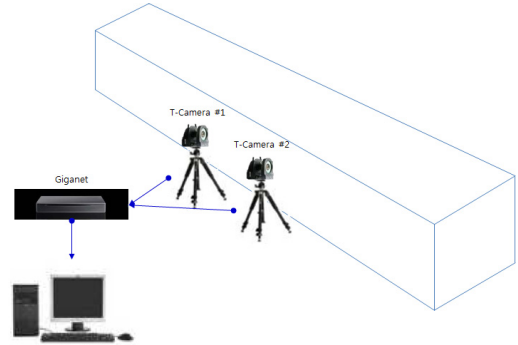


Fig. 1 Motion capture system

Table 1 Wave conditions

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| Period | 0.80~1.60 sec (interval 0.05 sec.) |
| Wave height | 2, 4 cm |

실험은 모델에 적외선 카메라가 인식하도록 mark를 설치한다. mark는 파상측과 파하측, 그리고, 중앙부에 설치를 하였다. 모델에 설치된 mark들을 두 대의 카메라가 인식하도록 카메라의 위치를 잡고, 소프트웨어를 통해 카메라에서 인식된 mark를 확인하고, 해상도를 조절해서 모델이 거동시에도 mark들을 잘 인식하도록 한다. 카메라의 위치를 잡고 나면, 캘리브레이터를 사용해서, 소프트웨어 상에서 mark들을 캘리브레이션을 한다. 캘리브레이션이 제대로 완료되었으면, 원점을 지정하여서, 원점과 mark 사이의 거리를 소프트웨어 상에서 인식시킨다. Fig. 2와 같이 소프트웨어 상에서 인식된 mark들을 x방향과 y 방향을 갖도록 프레임으로 연결하여서, 하나의 세그먼트를 만들면 모든 실험 준비가 완료된다. Fig. 2에서 보듯이 만들어진 세그먼트는 전체좌표계에 대한 모델에 고정된 모델 고정좌표계를 갖게 된다.

조파기를 통해 생성된 파에 의해 모델이 운동을 하게되면, 모든 mark들의 운동이 카메라를 통해서, 소프트웨어로 인식이 된다. 이 때 mark들은 x, y, z축방향의 변위만 측정이 된다. 따라서, 회전 운동에 대한 값은 중앙부의 mark의 수직변위와 파상측의 mark의 수직변위를 통해 종동요(pitch) 응답을 소프트웨어 상에서 계산되어 출력이 된다.

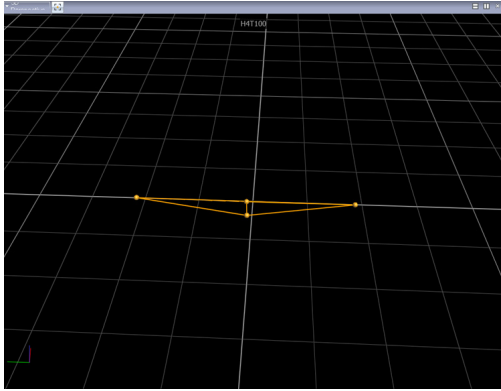


Fig. 2 Frame of model on the software

mark들은 카메라가 인식할 수 있도록 모델의 상부에 파상측과 파하측에 각각 하나씩 설치하였고, 중앙부에는 정중앙에 하나, 중앙에서 왼쪽에 하나로 하여 두 개를 설치하였다.

운동의 캡처는 파가 모델을 통과하고 어느 정도 정상상태가 되었다고 판단이 되었을 때, 30초 정도로 하였다.

2.2 실험모델 및 실험조건

Table 2는 실험에 사용한 모델에 대한 제반사항을 나타내고 있다. Fig. 3은 모델 제작에 사용한 삼면도를 보이고 있다. 모델은 두께 1cm의 아크릴 판으로 제작을 하였으며, 파상측과 파하측에 밸브를 설치하여 내부유체의 유동을 제어가능하도록 하였다.

Table 2 Model specifications

| | |
|--------------|-----|
| Length (cm) | 100 |
| Breadth (cm) | 20 |
| Depth (cm) | 20 |

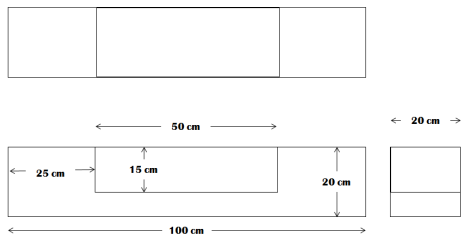


Fig. 3 Drawing of simple floating body

실험은 Fig. 4와 같은 단수부체모델에 대해 밸브를 잠근 상태에서 내부유체의 양을 변화시켜가면서 실험을 행하였다. 내부유체의 양에 따른 사항은 Table. 3에서 4가지 경우에 대한 내부유체의 양(h_{in})과 그에 따른 흡수를 보이고 있다.

Table 3 The condition of experiment cases

| Case | draft (cm) | hin(cm) |
|------|------------|---------|
| 1 | 10.8 | 8.9 |
| 2 | 11.5 | 10.1 |
| 3 | 12.0 | 11.4 |
| 4 | 12.5 | 12.2 |

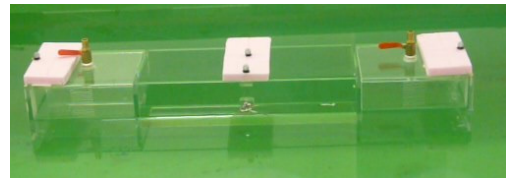


Fig. 4 Experiment models

3. 이론 해석

3.1 기본가정 및 좌표계장치

기본가정으로서 유체는 이상유체이고 유체의 운동은 비회전인 것으로 한다. 또, 부체의 운동과 입사파의 유체운동은 미소진폭의 주기운동을 하는 것으로 하고, 각각의 정상상태를 논하기로 한다. 또한 자유표면은 모든 방향으로 무한히 펼쳐져 있는 것으로 하고, 수심이 유한인 경우에는 수심을 일정으로 한다.

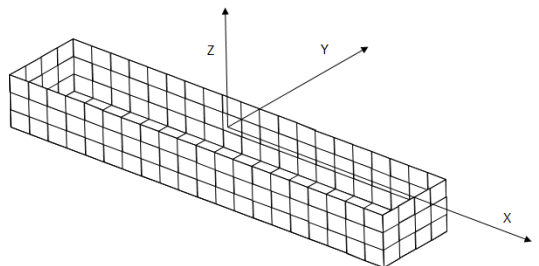


Fig. 5 Coordinate System

부체는 자유표면에서 조우주파수 ω 로 운동하며, 좌표계로서는 Fig. 5에 보는 바와 같이 우수계의 기준좌표계 xyz 를 취하고, xy 평면은 평균수면에 두고, z 축은 연직상방으로 향하고 있는 것으로 한다.

3.2 운동응답

부체의 운동이 입사파의 주파수와 미소진폭의 주기운동을 하는 것으로 가정하고 있으므로, 어떤 임의의 운동기준점의 좌표(x_m, y_m, z_m) 주위의 선형운동방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$\sum_{k=1}^6 [-\omega^2 (M_{jk} + \mu_{jk}) - i\omega\nu_{jk} + K_{jk}] \eta_k e^{-i\omega t} = F_j^W, \quad (j = 1 \sim 6) \quad (1)$$

여기서, M_{jk} 는 선체의 관성력 계수, μ_{jk} 는 부가질량, ν_{jk} 는 감쇠계수, K_{jk} 는 정수압에 의한 복원력 계수이다.⁷⁻⁸⁾

4. 결과 및 고찰

Fig. 6, 7은 case 1에 대한 실험결과 및 계산결과를 보이고 있다. 흑점은 파고 2cm, 백점은 파고 4cm에 대한 실험결과를 나타내고 있고, 실선은 파진폭으로 무차원화한 계산결과를 나타내고 있다.

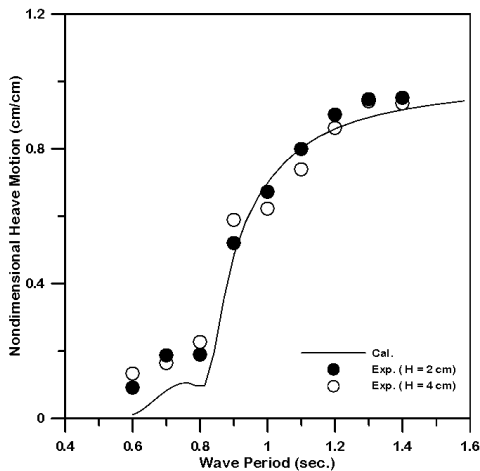


Fig. 6 Heave motion of case 1

Fig. 6은 상하동요(heave)를 나타내고 있다. 계산결과와 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있다. Fig. 7은 종동요(pitch)를 나타내고 있다. 종동요의 경우에는 피크값이 실험값보다 계산값이 높게 나타나고 있다. 특히, 파고 2cm에 대한 결과가 4cm에 대한 결과보다 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

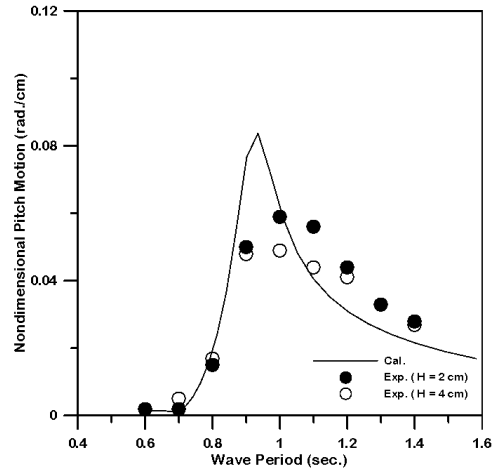


Fig. 7 Pitch motion of case 1

Fig. 8, 9는 case 2에 대한 실험결과 및 계산결과를 보이고 있다. Fig. 8은 상하동요를 나타내고 있다. 계산결과와 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있다. Fig. 9는 종동요를 나타내고 있다. case 1의 경우와 같이 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

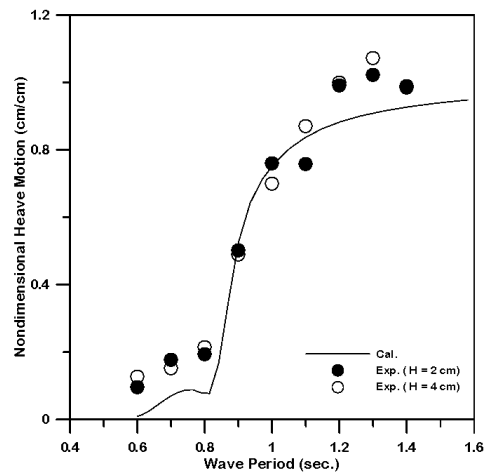


Fig. 8 Heave motion of case 2

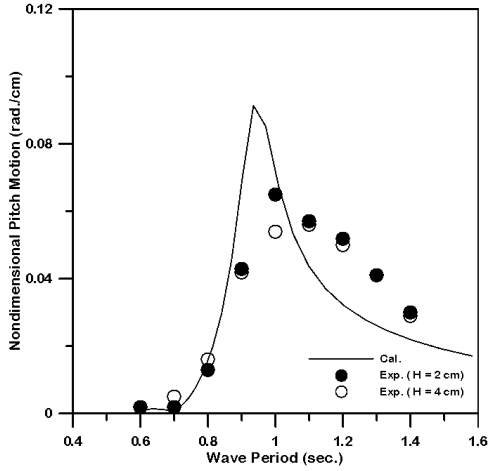


Fig. 9 Pitch motion of case 2

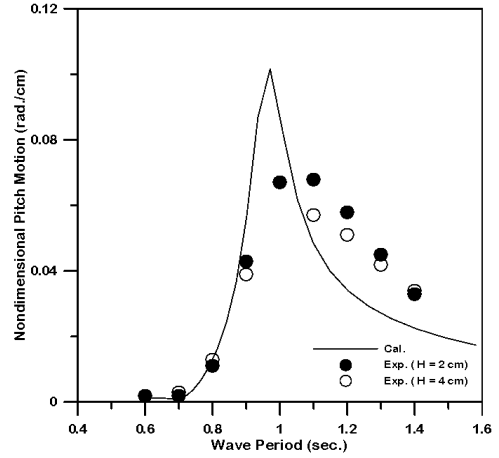


Fig. 11 Pitch motion of case 3

Fig. 10, 11은 case 3에 대한 실험결과 및 계산 결과를 보이고 있다. Fig. 10은 상하동요를 나타내고 있다. 계산결과와 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있다. Fig. 11은 중동요를 나타내고 있다. case 1의 경우와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

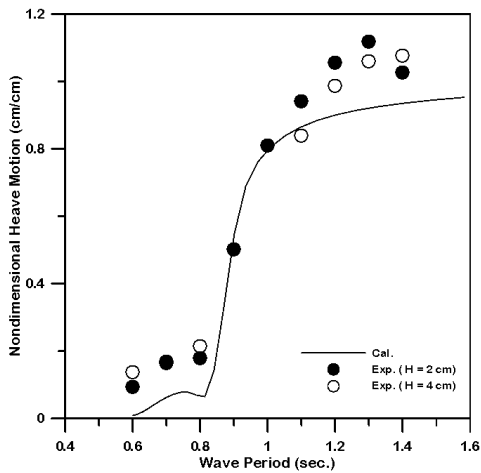


Fig. 10 Heave motion of case 3

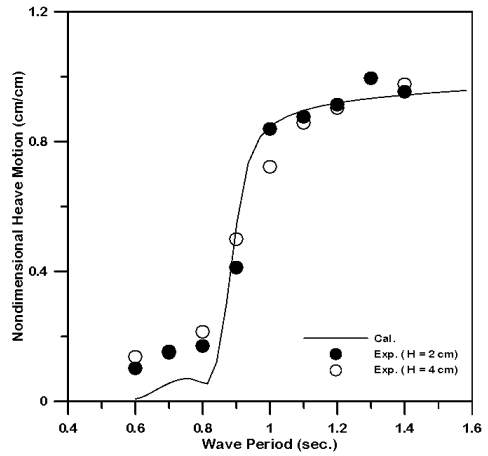


Fig. 12 Heave motion of case 4

Fig. 12, 13은 case 4에 대한 실험결과 및 계산 결과를 보이고 있다. Fig. 12는 상하동요를 나타내고 있다. Fig. 13은 중동요를 나타내고 있다. 전체적으로 case 1의 경우와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

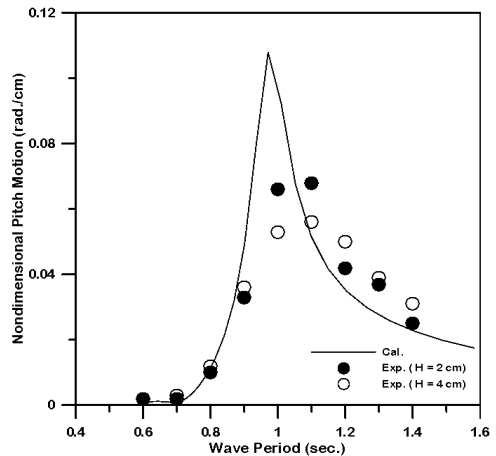


Fig. 13 Pitch motion of case 4

5. 결 론

본 연구에서는 진동수주형 파력발전 시스템에 대해 내부유체의 영향을 평가하기 위해, 내부유체의 양을 다르게 하여 실험을 행하였다. 또한, 내부유체를 유동이 없는 것으로 가정하여 계산을 수행하였다. 계산결과와 실험결과를 비교하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 상하동요의 경우에는 내부유체의 양을 변화시키더라도 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

(2) 중동요의 경우에는 파주기 1sec.에서 피크값을 보이고 있는데, 내부유체의 양이 많아질수록 피크값이 변화하긴 하지만, 그 값의 변화가 약 3 deg./cm에서 약 4 deg/cm 정도로 1°(H=4cm의 경우에는 2°)정도로 큰 변화를 보이지 않음을 알 수 있다.

(3) 진동수주형 파력발전 시스템은 중동요를 피크치 부분에서 극대화시킴에 의해 높은 에너지 효율을 가지도록 설계된다. 따라서, 차기 과제로서 파랑 중 진동수주형 파력발전 시스템의 내부유체 유동을 고려한 수치계산모델 개발이 무엇보다 시급하다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

Reference

1. J. S. Oh, 2007, "Development Tendency of Wave Energy Conversion System", Journal of the Korean Society for Marine Engineering, Vo. 1.31, No. 8, pp. 893-898
2. R.P.M. Parker, G. P. Harrison and J. P. Chick, 2007, "Energy and Carbon Audit of an Offshore Wave Energy Converter", Proc. IMechE, Vol.221, part A:J. Power and Energy, pp. 1119-1130.
3. D. S. Yang, B. H. Cho, 2009, "Studies on

Variable Liquid-Column Oscillator for High Efficiency Floating Wave Energy Conversion System". Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 23, No. 5, pp. 15-24.

4. Pelamis Wave Power, Pelamis Brochure, 2009, <http://www.pelamiswave.com>
5. S. C. Lee and J. S. Goo, 2013, "An experimental study on motions of a VLCO for wave power generation(1. Simple floating body)", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 103-107
6. S. C. Lee, and J. S. Goo, 2013, "Experimental study on motions of VLCO for wave power generation(2. Multiple floating bodies)" Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 27, No. 6, pp. 27-31.
7. S. C. Lee, D. H. Doh and J. S. Goo, "Analysis of Wave Loads of Ships with Advancing Speed in Regular Waves", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 53-58.
8. S. C. Lee and J. S. Goo, 2014, "Motion analysis of a VLCO for wave power generation", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 36-41.