한국마린엔지니어링학회지 제36권 제6호, pp. 780~787, 2012. 9(ISSN 2234-8352 Online) / (ISSN 2234-7925 Print)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.6.780

광대역 파력발전기의 진동시스템과 부양 체에 대한 연구

이홍찬[1] · 예경수[2] · 황성일[3] · 한기봉†

(원고접수일 : 2012년 5월 8일, 원고수정일 : 2012년 7월 6일, 심사완료일 : 2012년 8월 13일)

Study on the Buoy and Vibration System in Broadband Ocean Wave Power Generator

Hongchan Lee[1] · Kyungsoo Yea[2] · Sungil Hwang[3] · Kibong Han†

요 약 : 일반적으로 파력진동발전기는 부양 체, 진동시스템, 선형발전시스템으로 구성된다. 기존의 파력진동발전기는 진동시스템과 파도에너지가 갖는 주파수를 일치시켜 공진현상을 이용하여 에너지효율을 극대화하였다. 그러나 파도에너지가 갖는 주파수는 시시각각 변하기 때문에 공진을 이용하여 파도에너지를 효율적으로 얻는 것은 어렵다. 본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기위해 파력 발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템에 대하여 연구하였다. 먼저 파도에너지가 갖는 중심주파수에서 공진이 발생되도록 바다에 떠있는 부양 체를 설계하였고, 진동시스템과도 공진이 발생되도록 진동시스템을 설계하였다. 그 결과 일정 주파수대역에서 파력진동발전기를 구성하는 부양 체와 영구자석사이의 상대속도는 증가한 반면 부양 체와 바닷물사이의 상대변위는 작아짐을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 기존 방법에 비해 부양 체와 바닷물사이의 상대변위가 작기 때문에 극한 바다 주변 환경으로부터 부양 체의 안정성을 확보할 수 있고, 시시각각 변하는 주파수를 갖는 파도에너지로부터도 더 많은 운동에너지를 얻을 수 있는 장점을 가진다.

주제어 : 광대역, 파력진동발전기, 부양 체, 진동시스템, 공진현상

Abstract: In general, the ocean wave vibration power generator consists of buoy, vibration system and linear generation system. It maximized energy efficiency by using resonance phenomenon that turned to the natural frequency of vibration system and frequency of ocean wave energy. But it is difficult to obtain efficiently energy from ocean wave because the frequency of ocean wave changes from moment to moment. In this paper, we study the buoy and vibration system of ocean wave power generator to solve these problem. Firstly, we designed the buoy that gives rise to resonance between ocean wave and buoy. Secondly, we designed vibration system that is occurred to resonance between buoy and vibration system. And then the relative velocity between the buoy and magnetic of ocean wave vibration generator increases and the relative displacement between buoy and ocean wave decreases at the same time. As a result, the method which is proposed in this paper has merits not only securing its stability from harsh ocean wave environment but also obtaining more kinetic energy from ever-changing ocean wave.

Key words: Broadband, Ocean wave vibration power generator, Buoy, Vibration system, Resonance phenomenon.

1. 서 론

최근 화석연료와 기타 에너지 고갈로 가격상승 및 환경오염에 대한 문제가 심각하게 대두되면서 해양 에너지에 대한 관심이 크게 부각되고 있다.

† 교신저자(중원 대학교 메카트로닉스학과, E-mail:kbhan@jwu.ac.kr, Tel: 043-830-8628)
1 중원 대학교 에너지공학부, E-mail: leehc@jwu.ac.kr, Tel: 043-830-8623
2 중원 대학교 에너지공학부, E-mail: yea-eg@hanmail.net, Tel: 043-830-8628
3 수원과학 대학교 자동차공학과, E-mail: sihwang@ssc.ac.kr, Tel: 031-350-2251

해양에너지로부터 전기에너지를 얻는 데에는 다양한 방법이 있는데 바닷물의 상하운동인 파력을 이용하여 전기를 얻는 연구가 활발히 진행되고 있다[1-2]. 파력을 이용한 발전 방법에는 진동수주형 발전, 월파/월류 형 발전, 가동물체 형 발전이 있다. 이중에 가동물체 형 발전방식이 다른 발전방식에 비해 에너지변환효율이 높다. 그러나 바다표면에 설치해야하기 때문에 넓은 바다표면을 차지해야하는 단점을 가지고 있다. 최근에는 이러한 단점을 해결하기위해서 부양 체를 바닷물 표면에 띄우고 바다 밑 바닥에 설치된 선형 발전기를 연결시켰다[3]. 이 방식은 바다표면적은 많이 줄일 수 있으나 발전효율에 있어서 크게 개선되지는 않았다. 효율을 높이기 위한 방식으로는 파력진동 발전방식이 있다. 이는 파도 에너지가 갖고 있는 주파수와 파력진동발전기를 구성하고 있는 진동시스템의 고유진동수와 일치시킴으로써 공진을 이용하는 방식이다[4-5]. 이 방식은 일정 주파수역에서 에너지 이용효율은 높으나 시시각각 변하는 파도에너지가 갖는 주파수와 일치시키는 것은 매우 어렵다. 이런 문제점을 보완하기위해서 부양 체와 2자유도진동발전시스템을 일체로 구성한 2자유도 파력진동발전 시스템을 제안하였다[6]. 공진에 의해 각각의 질량과 권선사이의 상대속도가 증폭되고, 또한 질량과 질량사이의 연성으로 인한 영구자석과 권선사이의 상대속도에 영향을 준다는 사실을 이용하여 발전효율을 증가시켰다. 그러나 이 방법은 구조가 복잡하고, 파도 에너지가 갖는 주파수가 2개의 시스템 공진주파수사이에 있다면 발전효율을 극대화할 수 없다. 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기위하여 파력 발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템에 대하여 제안하였다. 먼저 바다에 떠있는 부양 체를 파도에너지가 갖는 중심주파수와 공진이 발생되도록 부양 체를 설계하였고, 또한 진동시스템과도 공진이 발생되도록 진동시스템을 설계하였다. 그 결과 일정 주파수대역에서 진동시스템을 구성하는 진자의 상하운동속도는 증가한 반면에 부양 체의 상하운동변위는 작아짐을 보였다.

따라서 본 논문에서 제안한 파력 발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템은 극한 바다 주변 환경으로부터 부양 체의 안정성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 시시각각변하는 주파수를 갖는 파도에너지로부터도 전기에너지를 얻는데 큰 장점을 가진다.

2. 광대역 파력 발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템

2.1 광대역 파력진동발전기의 구조

Figure 1은 광대역 파력발전기의 구성을 나타낸다. 파력발전시스템은 내부 진동발전기를 보호하면서 파력발전시스템을 부양시키는 하우징인 부양 체와 부양 체 내부에 진동발전기로 구성되어있다. 여기서 진동발전기는 1자유도 진동시스템과 진동시스템을 구성하는 진자인 영구자석과 영구자석주변에 권선이 감겨있다. 부양 체는 바닷물의 상하운동을 진동시스템에 전달하고, 상하운동을 전달받은 진동시스템을 구성하는 영구자석은 주변에 감겨있는 권선과 상대운동을 일으킴으로써 권선내의 자기장의 변화에 의해 발전을 하게 된다.

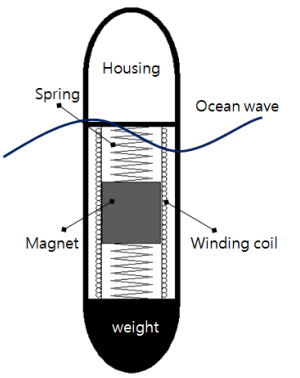

Figure 1: The schematic of ocean wave vibration generator.

2.2 부양 체의 수학적 모델

Figure 2는 부양 체의 자유물체 도를 나타낸다. 여기서 $x_{w(t)}$, $x_b(t)$, x_{bo}는 각각 파도의 변위, 부양 체의 상하 움직인 변위, 부양 체의 부력과 부양 체의 무게가 평형을 이룰 때 부양 체가 바닷물에 잠긴 길이를 나타내고, A, M, g는 각각 부양 체의 단면적, 부양 체의 질량, 중력가속도를 나타낸다.

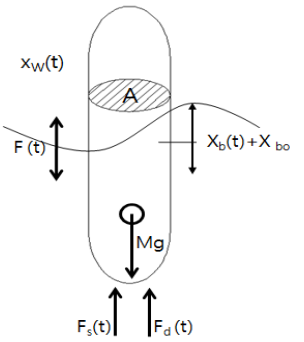

Figure 2: The free body diagram of buoy.

Figure 2에서 부양 체를 수식으로 나타내며 다음과 같다.

$$\sum F(t) = M\ddot{x}_b(t) = Mg - F_b(t) - F_d(t)$$
$$= Mg - \gamma A((x_b(t) + x_{bo}) - x_w(t)) - \nu(\dot{x}_b(t) - \dot{x}_w(t))$$
$$\Leftrightarrow \quad M\ddot{x}_b(t) + \nu(\dot{x}_b(t) - \dot{x}_w(t)) + \gamma A(x_b(t) - x_w(t)) = 0 \tag{1}$$

식 (1)에서 γ, ν는 각각 바닷물의 비중, 바닷물과 부양 체의 표면사이에 작용하는 점성에 의한 감쇠계수이고, 부양 체의 무게 Mg 는 $\gamma A x_{bo}$와 같다. 여기서 바닷물과 부양 체의 상대변위인 $z_b(t)$을 $x_b(t) - x_w(t)$로 놓으면 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

$$M\ddot{z}_b(t) + \nu\dot{z}_b(t) + \gamma A z_b(t) = -M\ddot{x}_w(t) \tag{2}$$

식 (2)에서 부양 체와 바닷물로 구성된 시스템의 고유진동수은

$$w_b = \sqrt{\frac{\gamma A}{M}} \tag{3}$$

이다. 식 (3)에서 파도에너지가 갖는 주파수와 시스템고유진동수 w_b가 일치할 때, 부양 체와 바닷물 사이에 공진이 발생한다.

2.3 광대역 파력진동발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템의 등가모델

Figure 3은 광대역 파력진동발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템의 등가모델을 나타낸다. 여기서 진동시스템은 스프링과 질량체인 영구자석으로 구성되는데, 영구자석과 부양 체에 고정된 권선 사이의 상대운동의 크기에 비례하여 전기에너지가 발생된다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$M\ddot{x}_b(t) + \nu(\dot{x}_b(t) - \dot{x}_w(t)) + \gamma A(x_b(t) - x_w(t)) + C_g(\dot{x}_b(t) - \dot{x}_g(t)) + K_g(x_b(t) - x_g(t)) = 0$$
$$m\ddot{x}_g(t) + C_g(\dot{x}_g(t) - \dot{x}_b(t)) + K_g(x_g(t) - x_b(t)) = 0 \tag{4}$$

식 (4)에서 m, C_g, K_g는 각각 영구자석이 질량, 스프링상수, 감쇠계수이고, $x_g(t)$는 영구자석의 변위를 나타낸다.
여기서 $x_b(t) - x_w(t)$, $x_g(t) - x_b(t)$ 을 각각 $z_b(t)$, $z_g(t)$로 놓으면 식 (4)은 다음과 같이 표현 된다.

$$M\ddot{z}_b(t) + \nu\dot{z}_b + \gamma A z_b(t) - C_g\dot{z}_g(t) - K_g z_g(t) = -M\ddot{x}(t)$$
$$m\ddot{z}_b(t) + m\ddot{z}_g(t) + C_g\dot{z}_g(t) + K_g z_g(t) = -m\ddot{x}_w(t) \tag{5}$$

식 (5)에서 $z_b(t)$는 파도와 부양 체사이의 상대변위이고, $z_g(t)$는 부양 체와 영구자석사이의 상대변위를 나타낸다.

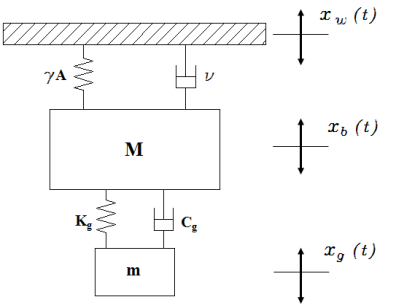

Figure 3: Simplified equivalent model of vibration system and buoy.

본 연구에서는 먼저 파도에너지가 갖는 주파수와 부양 체와 바닷물로 구성된 시스템의 고유진동수 w_b을 일치시킨 다음, 진동시스템의 고유진동수

를 w_b에 일치시켰다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$w_b = w_n = \sqrt{\frac{K_g}{m}} \tag{6}$$

식 (6)에서 w_n은 진동시스템의 고유진동수이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 시시각각 변하는 파력에너지로부터 광대역 파력진동발전기의 효율을 향상시키는 방법을 제안하였다. 이는 파도에너지가 갖는 주파수와 부양 체와 바닷물로 구성된 시스템의 고유진동수를 같게 한 다음 이를 파력진동발전시스템을 구성하는 진동시스템의 고유진동수와 일치시킨다. 즉 동 흡진기(dynamic vibration absorber)원리를 이용하여 일정 광대역에서 작동하는 진동시스템을 제안함으로써 파도에너지의 주파수가 시시각각 변하더라도 효율적인 발전을 가능하게 하는데 있다. 이를 검증하기위해서 파도에너지가 갖는 주파수대역을 2.5rad/sec ~ 3.8rad/sec라고 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다[7]. 먼저 광대역 파력진동발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템의 동특성을 알아보기 위해 부양 체와 바닷물로 구성된 시스템 고유진동수 w_b와 파력발전시스템을 구성하는 진동시스템의 고유진동수 w_n을 각각 3.14rad/sec로 동일하게 하였다. 이때 파력진동발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템의 매개변수는 **Table 1**과 같다.

Table1: The system parameters of buoy and vibration system.

M	$500kg$	m	$50kg$
ν	157.1 N-s/m	C_g	5.1 N-m/s
γA	4934.8 N/m	K_g	197.4 N/m

Figure 4는 m, w_b, w_n을 각각 50kg, 3.14 rad/sec, 3.14 rad/sec로 고정시킨 상태에서 부양 체의 질량 M을 증가시킬 때 부양 체와 영구자석 사이의 상대속도에 대한 주파수응답특성을 나타낸다. 여기서 부양 체의 질량이 증가할수록 상대속도는 커지는 반면 운전 주파수 대역은 감소함을 보여준다. 따라서 시시각각 변하는 파력에너지가 갖는 주파수특성에 따라 파력진동발전기를 구성하는 부양 체와 영구자석의 질량비를 적절하게 선정함으로써 파도로부터 운동에너지를 효율적으로 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

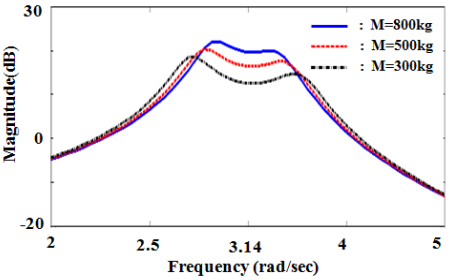

Figure 4: Frequency response of magnetic relative velocity according to buoy mass.

Figure 5는 주파수역에서 파도의 상하운동가속도에 대한 파력진동발전기를 구성하는 부양 체와 영구자석사이의 상대속도를 나타낸다. 여기서 주파수 대역 2.88rad/sec ~ 3.80rad/sec 사이에서는 부양 체와 영구자석사이의 상대속도가 증폭됨을 알 수 있고 3.14 rad/ sec부근에서는 상대속도가 감소하고 있지만 기존 1자유도를 갖는 파력진동발전기에 비해 큼을 알 수 있다. 반면 1자유도를 갖는 기존 파력진동발전기의 진동시스템은 공진주파수인 3.14rad/sec에서는 공진이 발생하지만 공진주파수를 벗어날 때는 상대속도가 급격히 감소함을 알 수 있다.

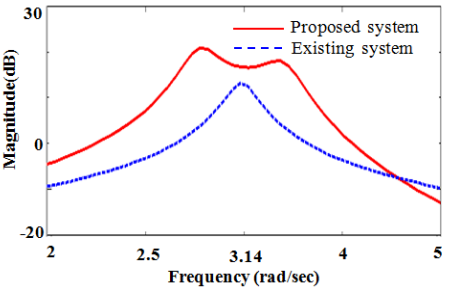

Figure 5: Frequency response of magnetic relative velocity to ocean wave.

Figure 6은 부양 체 내부에 영구자석이 있을 때와 없을 때 바닷물과 부양 체사이의 상대변위를 나타낸다. 공진주파수 3.14rad/sec 부근에서는 영구자석이 없을 때는 공진이 발생하여 상대변위가 증폭되지만 영구자석이 있을 때는 오히려 상대 변위가 감소함을 알 수 있다. **Figure 5**와 **Figure 6**에서와 같이 제안한 방법은 부양 체의 상대변위는 감속하는 반면 부양 체와 영구자석사이의 상대속도는 주파수대역(2.8rad/sec~3.8rad/ sec)에서 증폭됨을 알 수 있다. 이는 제안한 광대역 파력 발전기는 기존 1자유도를 갖는 파력 발전기에 비해 주변 환경으로부터 안전할 뿐만 아니라 시시각각 변하는 주파수를 가진 파도에너지로부터 진동에너지를 얻는데 큰 장점을 가질 것으로 사료된다.

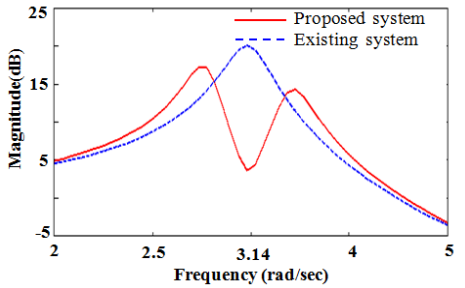

Figure 6: Frequency response of buoy relative displacement to ocean wave.

Figure 7은 부양 체(권선)와 영구자석사이에 상대속도가 증가하면 역기전력에 의해 등가감쇠 비가 (0.02~0.08) 증가할 때 권선과 영구자석사이의 상대속도에 대한 주파수 응답을 나타낸다. 3.14rad/sec 공진주파수 부근에서는 제안한 광대역 파력발전기의 진동시스템은 감쇠비가 증가하더라도 기존 1자유도를 갖는 파력진동발전기의 진동시스템보다 상대속도는 덜 민감함을 알 수 있다. 또한 공진주파수를 벗어났을 때 제안한 방법은 공진을 일으키는 반면에 기존 1자유도를 갖는 진동시스템은 급격히 상대속도가 감소함을 알 수 있다. 따라서 진동발전기는 영구자석과 권선사이 상대속도에 의해 발생하는 역기전력으로 인해 상대속도에 영향을 줌으로써 발전용량에 한계가 있는데 비해 제안한 광대역 진동시스템은 역기전력으로부터 상대속도가 훨씬 영향을 적게 받음으로써 발전효율을 향상시키는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

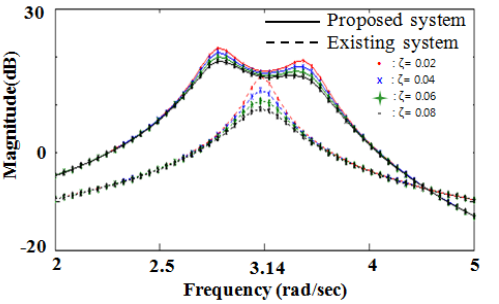

Figure 7: Frequency response magnetic relative velocity according to damping ratio.

다음은 광대역 파력발전시스템을 구성하는 부양체와 영구자석사이의 상대속도 특성을 알아보기 위해 파도의 파형을 다음과 같이 가정하여 시간역에서 시뮬레이션을 수행하였다.

$$x_w(t) = 0.1\sin 3.80t + 0.2\sin 3.14t + 0.2\sin 2.88t \qquad (7)$$

Figure 8은 식 (7)을 이용하여 파형을 만들었다. 여기서 주파수 3.14rad/sec를 중심으로 3.80rad/sec와 2.88rad/sec 주파수가 섞여 있다.

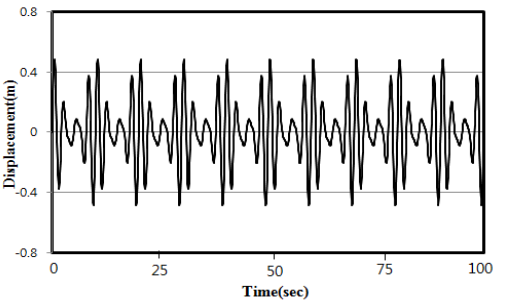

Figure 8: The shape of ocean wave.

Figure 9는 식 (7)과 같이 2.88rad/sec, 3.14rad/sec, 3.80rad/sec 주파수로 구성된 파도(식(7))에 대한 부양 체와 영구자석사이의 상대속도를 나타낸다. 여기서 기존 1자유도 진동시스템의 상대속도는 V_{p-p}는 19m/sec인데 비해 제안한 광대역 진동시스템은 V_{p-p}는 34m/sec이다.

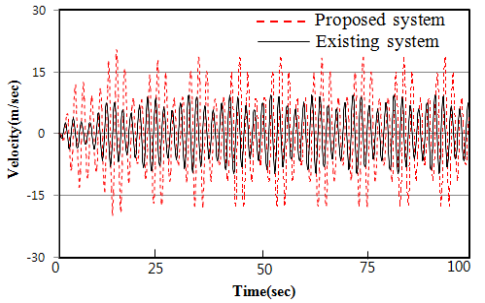

Figure 9: The relative velocity of magnetic to buoy.

Figure 10은 식 (7)과 같이 2.88rad/sec, 3.14rad/sec, 3.80rad/sec 주파수로 구성된 파도에 대한 부양 체의 상대변위를 나타낸다. 여기서 기존 1자유도 진동시스템의 상대변위는 $z_{b(p-p)}$ 는 5.2m 인데 비해 광대역 진동발전기의 부양 체의 변위는 2.4m임을 알 수 있다.

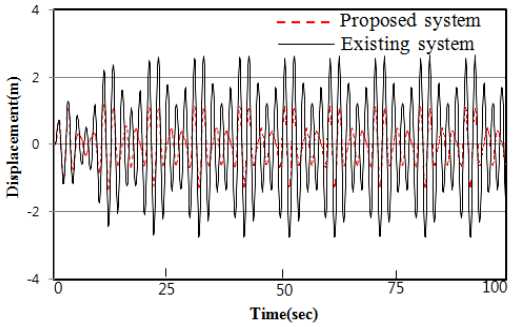

Figure 10: The relative displacement of buoy to ocean wave.

Figure 11은 파도가 가지는 각각의 주파수에 대하여 파도와 부양 체사이의 상대변위를 나타낸다. **Figure 11(a)**은 파도가 단일 주파수 $w_b(t)=0.2\sin 2.88t$을 가질 때 부양 체와 영구 자석사이의 상대속도를 나타낸다. 여기서 기존 1자유도 진동시스템의 상대속도 V_{p-p}가 1.4m/sec인데 비해 제안한 광대역 진동시스템의 상대속도 V_{p-p}은 4.4m/sec임을 알 수 있다. 이는 **Figure 5**에서 보는 봐와 같이 기존 1자유도 진동시스템은 공진주파수를 벗어나면 상대속도가 급격히 감속하는 반면에 광대역 진동시스템은 속도가 증폭됨을 보여준다.

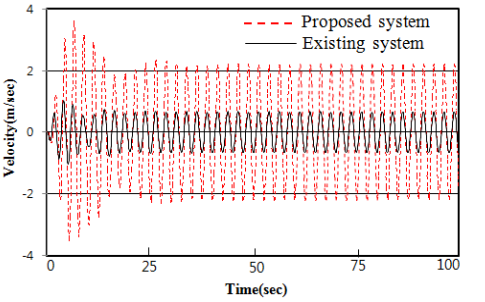

Figure 11(a): The relative velocity of magnetic to buoy($w_b(t)=0.2\sin 2.88t$).

Figure 11(b)은 파도가 단일주파수 $w_b(t)=0.2\sin 3.14t$ 을 가질 때 부양 체와 영구 자석사이의 상대속도를 나타낸다. 여기서 기존 1자유도 진동시스템의 상대속도 V_{p-p}가 16m/sec인데 비해 제안한 광대역 진동시스템의 상대속도 V_{p-p}은 26m/sec임을 알 수 있다. 이는 **Figure 5**에서 보는 봐와 같이 기존 1자유도 진동시스템과 제안한 광대역 진동시스템 모두는 공진주파수부근에서는 공진현상에 의해 상대속도가 증폭되고 있지만, 제안한 광대역 진동시스템은 부양 체에서 전달되는 에너지에 의해 기존 1자유도 진동시스템보다 상대속도가 더 큼을 알 수 있다.

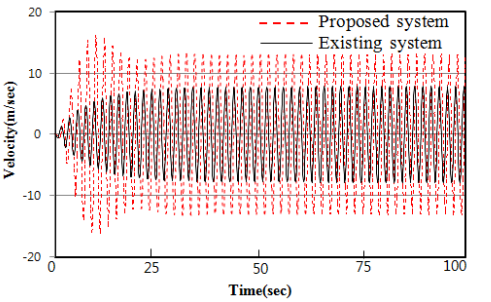

Figure 11(b): The relative velocity of magnetic to buoy($w_b(t)=0.2\sin 3.14t$).

Figure 11(c)은 파도가 단일 주파수 $w_b(t)=0.1\sin 3.80t$ 을 가질 때 부양 체와 영구 자석사이의 상대속도를 나타낸다. 여기서 기존 1자유도 진동시스템의 상대속도 V_{p-p}가 2.4m/sec인데 비해 제안한 광대역 진동시스템의 상대속도 V_{p-p}

은 7.2m/sec임을 알 수 있다. 이는 **Figure 5**에서 보는 봐와 같이 기존 1자유도 진동시스템은 공진주파수를 벗어나면 상대속도가 급격히 감속하는 반면에 광대역 진동시스템은 상대속도는 증폭됨을 보여준다.

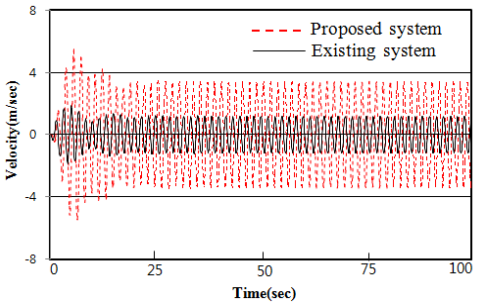

Figure 11(c): The relative velocity of magnetic to buoy($w_b(t) = 0.1\sin 3.80t$).

이상에서와 같이 여러 가지 주파수를 가지는 파도에 대해서 기존 파력진동발전기를 구성하는 1자유도 진동시스템은 공진대역(3.14rad/sec)에서만 부양 체와 영구자석사이의 상대속도가 증폭되지만, 공진대역을 벗어난 주파수역(2.88rad/sec, 3.80rad/sec)에서는 상대속도가 급격히 감소하는 반면 제안한 광대역파력진동발전기를 구성하는 진동시스템은 일정 주파수 대역(2.88~3.80rad/sec)에서는 상대속도가 증폭과 동시에 바닷물과 부양 체사이의 상대변위는 기존 1자유도 진동시스템에 비해 현저히 감소됨을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 시시각각 변하는 주파수를 갖는 파도에너지로부터 파력 발전기의 효율을 향상시키기 위해 파력진동발전기를 구성하는 부양 체와 진동시스템에 대하여 제안하였고, 제안한 방법을 검증하기위하여 이를 기존 공진을 이용한 파력발전 시스템의 1자유도를 갖는 진동 시스템과 비교, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 부양 체의 질량과 영구자석의 질량사이에서 부양 체의 질량이 커지면 사용 주파수 폭은 좁아지는 반면 부양 체와 영구자석사이의 상대속도는 증폭되고, 부양 체의 질량이 작아지면 사용주파수 폭은 넓어지는 반면 상대속도는 작아짐을 알 수 있다. 즉 파도가 갖는 주파수 특성에 따라 부양 체의 질량과 영구자석의 질량의 비를 적절하게 선정함으로써 시시각각 변하는 파도로부터 상하진동에너지 얻는데 최적화 할 수 있다.

2) 기존 파력진동발전기를 구성하는 1자유도 진동시스템은 공진주파수역에서만 부양 체와 영구자석사이의 상대속도가 증폭되지만, 공진주파수를 벗어나면 상대속도가 급격히 감소하는 반면 제안한 방법은 선정된 주파수대역에서는 상대속도가 증폭됨과 동시에 부양 체와 바닷물 사이의 상대변위는 감소함을 알 수 있다.

3) 기존 방법에 비해 제안한 광대역 파력진동발전기를 구성하는 진동시스템은 감쇠 비(역기전력) 증가에도 불구하고 영구자석과 부양체사이의 상대속도에 미치는 영향이 미소하므로 파력진동발전기의 발전용량을 키울 수 있는 장점을 가진다.

따라서 본 논문에서 제안한 방법은 향후 시시각각 변하는 주파수를 가진 파도에너지를 이용한 광대역파력진동발전기를 연구하는데 크게 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Keyyong Hong, Seung-Ho Shin and Do-Chun Hong, “Wave energy absorption efficiency of pneumatic chamber of OWC wave energy converter,” Journal of the Korean Society for Marine Emvironmental Engineering, vol.10, no.3, pp. 173-180, 2007.

[2] Seung-Ho Shin and Keyyong Hong, “The state-of-the-art and dey performance indicators for commercial use of the wave energy utilization technologies,” The Korean Society of Civil Engineering, vol. 10, no. 5, pp. 55-62, 2011.

[3] Rafael Waters, "Energy from ocean waves full scale experimental verification of wave energy converter," Digital Comprehensive Summaries of Uppaala Dissertations from the Faculty of

Science and Technology 580, 2008.

[4] C. R. Saha, T. O'Donnell, N. Wang et al., "Electromagnetic generator micro generator," As Sensor & Transducers Journal, vol. 103, no. 4, April, pp. 109-121, 2009.

[5] Ki-Bong Han and Hyoung-Woo Lee, “The research of the hybrid power generation using ocean wave,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 35, no.6, pp. 861-866, 2011.

[6] Ki-Bong Han and Hyoung-Woo Lee, "The research of vibration power generation with two degree of freedom using ocean wave,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol.35, no. 8, pp. 1028 - 1034, 2011.

[7] Myung Ho Hong and Ki Young Kim, “H/V spectral-ratio analysis of microtremors in Jeju Island,” vol. 13, no. 2, pp. 144-152, 2010.