

파도를 이용한 2자유도 파력진동발전시스템에 대한 연구

한기봉¹ · 이형우[†]

(원고접수일 : 2011년 9월 14일, 원고수정일 : 2011년 10월 19일, 심사완료일 : 2011년 11월 4일)

The Research of Vibration Power Generation with Two Degree of Freedom Using Ocean Wave

Ki-Bong Han¹ · Hyoung-Woo Lee[†]

요 약 : 본 논문에서는 파도의 상하운동에너지의 이용효율을 높이기 위해서 부양체와 2 D.O.F.(자유도) 진동발전시스템을 일체로 구성한 파력진동발전시스템을 제안한다. 파도가 갖는 상하운동 주파수 중 속도에너지가 큰 주요 주파수 w_1 , w_2 을 선정하고, 2 D.O.F. 파력진동발전시스템의 고유진동수와 선정된 주파수들을 일치시킨다. 그러면 공진효과에 의해 각각의 질량과 권선사이의 상대속도가 파도의 상하운동 속도보다 커진다. 또한 2 D.O.F. 진동시스템의 연성효과로 인한 1 D.O.F. 파력진동발전시스템보다 더 많은 전기에너지를 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 2 D.O.F. 파력 발전시스템은 파도가 갖는 에너지를 더 많이 이용할 뿐만 아니라 더 많은 전기에너지를 얻을 수 있는 장점을 가짐을 알 수 있었다.
주제어 : 2 자유도 파력진동발전시스템, 부양체, 연성효과, 공진현상, 고유진동수

Abstract: This paper have been studied that ocean wave power vibration generation system with two D.O.F.(degree of freedom) consists of buoy and vibration generation system with two D.O.F. for using efficiency of ocean wave energy. It selected main frequencies w_1 , w_2 in frequency with ocean wave and it fitted them to the natural frequencies of vibration system with two D.O.F. in the vibrational power generation system. Then each the relative velocity of between the winding coil and the permanent magnet is faster than the velocity of ocean wave up and down motion by resonance phenomenon. Also the ocean wave power generation with two D.O.F. obtained the more electric energy then the ocean wave power generation with one D.O.F. by coupling effect for two D.O.F. vibration system. Therefore ocean wave power vibration generation system with two degree of freedom that is proposed in this paper has merits which not only using more energy in the ocean wave but also obtaining more electronic energy.

Key words: Ocean wave power vibration generation system with two D.O.F., Buoy, Coupling effect, Resonance phenomenon, Natural frequency

1. 서 론

최근 석유, 석탄 등 화석연료와 기타에너지의 고갈로 가격상승 및 환경오염에 대한 문제가 심각하게 대두되면서 신재생에너지 이용에 대한 관심이 크게 부각되고 있다. 특히 우리나라의 경우에는 3면이 바다로 둘러싸여 있어서 해양에너지 이용에

대한 잠재력이 크다. 해양에너지는 크게 조류에너지와 파도 에너지로 구분된다. 조류에너지는 지구의 자전, 태양과 달의 인력에 의한 바닷물의 밀물과 썰물 즉 조수간만의 차에 의해 발생하게 된다. 파도 에너지는 일반적으로 태양에너지에 의해 발생된다. 태양에너지는 각 지역 간에 공기밀도차를 유

[†] 교신저자(부산대학교 기계기반융합부품소재인재양성센터, E-mail:leehwoo@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2598)

¹ 중원대학교 에너지자원공학부

발시키고, 공기밀도 차는 바람을 일으켜 파도를 발생시킨다. 그 이외에 파도는 저기압이 바닷물 표면을 통과할 때 기압차에 의해 발생되고, 해저지진에 의해서도 발생된다. 이런 파도 에너지를 이용한 파력발전에는 진동수주형, 월파/월류형, 가동물체형 등이 있다[1-3]. 진동수주형, 월파/월류형은 파도 에너지를 간접적으로 이용하는 방식인데 비해, 가동물체형은 파도의 상하운동속도를 1:1 직접적으로 이용함으로써 다른 파력발전방식에 비해 발전효율이 높고, 또한 설치가 용이하다는 장점을 가진다. 그러나 바다표면에 설치해야하기 때문에 넓은 바다의 표면적을 차지하는 단점을 가진다. 이런 단점을 보완하기 위하여 선형 발전기와 부양체를 결합하여 발전하는 방식을 제안하였다[4]. 이 방식은 선형발전기를 바다 밑바닥에 고정시키고, 바다표면에 떠 있는 부양체와 연결시켜 파도의 상하운동을 직접적으로 선형발전기에 전달시켜 발전하는 방식으로 파도의 상하운동 에너지를 1:1비율로 활용하기 때문에 발전효율을 높이는 데에는 한계를 가진다. 최근에는 이를 극복하기위해 발전효율을 향상시키는 1 자유도 진동발전시스템에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있다[5-6]. 이때 외부에서 들어오는 파도 에너지가 갖고 있는 주파수와 진동발전시스템의 고유진동수가 일치할 때 발전효율은 극대화된다. 그러나 외부에서 들어오는 파도 에너지의 형태는 여러 가지 주파수를 포함하고 있기 때문에 1자유도 파력진동발전시스템으로는 여러 가지 주파수를 포함한 파도 에너지를 충분히 이용하기가 어렵다.

본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 부양체와 2 D.O.F.(자유도)진동발전시스템을 일체로 구성한 2 D.O.F.파력진동발전시스템에 대하여 제안한다. 이 방법은 파도가 갖는 상하운동 주파수 중에 속도에너지가 큰 주요 주파수 w_1, w_2 을 선정하고, 선정된 주파수와 2 D.O.F.파력진동발전시스템의 고유진동수를 일치시킴으로써 공진에 의해 각각의 질량과 권선사이의 상대속도가 증폭되고, 또한 질량과 질량사이의 연성으로 인한 영구자석과 권선사이의 상대속도에 영향을 준다는 사실을 이용하여 발전효율을 증가시키는 방법에 관한 것이다.

2. 파력 발전기의 수학적 모델

Figure 1은 2 D.O.F.파력진동발전시스템의 구성을 나타낸다. 파력진동발전시스템은 부양체와 부양체 하부에 진동발전기가 결합되어 바다 표면에 떠 있다.

진동발전기 내부에는 2 D.O.F.를 갖는 진동시스템이 있고, 진동시스템을 구성하는 각각의 질량(영구자석)체 주변에 권선이 감겨있다.

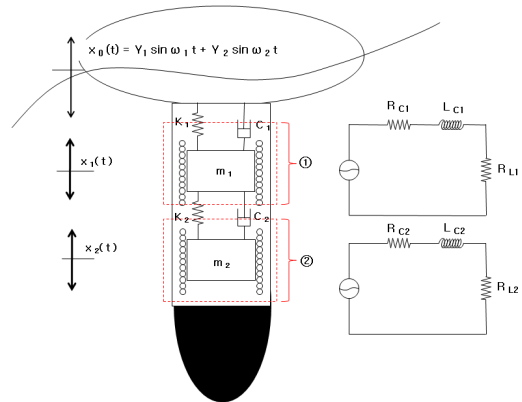


Figure 1: Wave vibration power generation with two degree of freedom.

여기서 x_1, x_2 는 각각 영구자석 ①, 영구자석 ②의 절대변위이고, x_0 는 파도의 파형을 나타내는데, 이때 파도의 파형은 다양한 주파수로 복잡한 형태로 구성되어 있다. 본 논문에서는 복잡한 형태를 가지는 파도의 비선형성을 가지는 파형을 단순화하기 위해 파도를 구성하는 주파수 중에 가장 많은 속도 에너지를 내포하고 있는 주파수 2개를 선택하여 다음과 같이 식을 가정하였다[7].

$$x_0(t) = Y_1 \sin \omega_1 t + Y_2 \sin \omega_2 t \tag{1}$$

식 (1)에서 Y_1, Y_2, w_1, w_2 는 파도의 파형 $x_0(t)$ 을 구성하는 각각의 진폭과 주파수를 나타낸다.

Newton 법칙과 Faraday 법칙을 적용하여 2 D.O.F.진동발전기의 진동방정식과 회로방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$M_1 \ddot{z}_1 + C_1 \dot{z}_1 + K_1 z_1 + C_2 (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + K_2 (z_1 - z_2) + N_1 B_1 l_1 \dot{i}_1 = -M_1 \ddot{x}_0 \tag{2}$$

$$N_1 B_1 l_1 \dot{z}_1 - R_{c1} \dot{i}_1 - L_{c1} \frac{di_1}{dt} = V_{L1} \quad (3)$$

$$M_2 \ddot{z}_2 + C_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + K_2 (z_2 - z_1) + N_2 B_2 l_2 \dot{i}_2 = -M_2 \ddot{x}_0 \quad (4)$$

$$N_2 B_2 l_2 \dot{z}_2 - R_{c2} \dot{i}_2 - L_{c2} \frac{di_2}{dt} = V_{L2} \quad (5)$$

식 (2), (3), (4), (5)에서 $M_1, M_2, C_1, C_2, K_1, K_2$ 는 각각 ①, ②진동시스템을 구성요소인 질량, 감쇠, 스프링상수를 나타내고, $N_1, N_2, l_1, l_2, R_{c1}, R_{c2}, L_{c1}, L_{c2}, B_1, B_2$ 는 각각의 발전기를 구성하는 권선 수, 권선저항, 권선 인덕턴스, 권선 원주길이, 자속의 세기를 나타낸다. 또한 $z_1, z_2, i_1, i_2, V_{L1}, V_{L2}$ 는 각각 영구자석(①,②)과 권선(①,②)사이의 상대변위($z_1 = x_1 - y_0, z_2 = x_2 - y_0$), 권선①, ②에 흐르는 전류, 부하저항에 걸리는 전압을 나타내는데, 여기서 각각 권선 ①, ②에 걸리는 전압 V_{L1}, V_{L2} 은 다음과 같이 표현할 수 있다[7].

$$V_{L1}(t) = R_{L1} \int i_1(t) dt \Leftrightarrow i_1(t) = \frac{1}{R_{L1}} \frac{dV_{L1}(t)}{dt} \quad (6)$$

$$V_{L2}(t) = R_{L2} \int i_2(t) dt \Leftrightarrow i_2(t) = \frac{1}{R_{L2}} \frac{dV_{L2}(t)}{dt} \quad (7)$$

여기서 R_{L1}, R_{L2} 는 각각 부하저항을 나타내고, 식 (6), (7)을 식 (2), (3), (4), (5)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$M_1 \ddot{z}_1 + C_1 \dot{z}_1 + K_1 z_1 + C_2 (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + K_2 (z_1 - z_2) + \frac{N_1 B_1 l_1}{R_{L1}} \dot{V}_{L1} = -M_1 \ddot{x}_0 \quad (8)$$

$$N_1 B_1 l_1 \dot{z}_1 - \frac{R_{c1}}{R_{L1}} \dot{V}_{L1} - \frac{L_{c1}}{R_{L1}} \ddot{V}_{L1} = V_{L1} \quad (9)$$

$$M_2 \ddot{z}_2 + C_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + K_2 (z_2 - z_1) + \frac{N_2 B_2 l_2}{R_{L2}} \dot{V}_{L2} = -M_2 \ddot{x}_0 \quad (10)$$

$$N_2 B_2 l_2 \dot{z}_2 - \frac{R_{c2}}{R_{L2}} \dot{V}_{L2} - \frac{L_{c2}}{R_{L2}} \ddot{V}_{L2} = V_{L2} \quad (11)$$

여기서 무부하일 때, 기전력은 V_{o1}, V_{o2} 은 다음과 같다.

$$V_{o1} = N_1 B_1 l_1 \dot{z}_1 \quad (12)$$

$$V_{o2} = N_2 B_2 l_2 \dot{z}_2 \quad (13)$$

3. 결과 및 고찰

일반적으로 진동발전시스템은 진동시스템과 선형 발전시스템으로 구성되는데, 발전효율을 높이기 위해서는 진동시스템의 질량과 권선사이의 상대속도를 크게 하는 방법과 발전시스템의 내부구조를 최적화하는 방법이 있다. 본 연구에서는 2 D.O.F. 파력진동발전시스템의 고유진동수와 파도가 갖는 주요에너지를 갖는 주파수를 동조시킴과 동시에 2 D.O.F.진동발전의 질량과 질량사이의 연성으로 인하여 각각의 질량속도에 영향을 준다는 사실을 이용하여 발전효율을 향상시키는데 있다. 이를 검증하기 위해서 파도가 갖는 여러 가지 주파수 중에 3.14 rad/sec와 9.42 rad/sec를 대표적인 주파수가 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다[7]. 먼저 2 D.O.F. 파력진동발전기의 진동특성을 알아보기 위해 고유진동수 3.14 rad/sec와 9.42 rad/sec로 구성된 1 D.O.F. 파력진동발전시스템과 비교하였다. Table 1은 2 D.O.F. 파력 진동발전기에 사용한 진동시스템의 매개변수를 나타낸다.

Table 1: The system parameters of vibration system with two degree of freedom.

M_1	20 kg
M_2	20 kg
C_1	17.5 N-s/m
C_2	10.1 N-s/m
K_1	1,530 N/m
K_2	227 N/m

여기서 진동시스템의 매개변수결정은 먼저 발전기용량을 결정하는 영구자석의 질량을 동일하게 선택한 다음 파도의 파형에 내포된 주파수와 같은 고유진동수를 갖도록 스프링상수를 선정하였다.

Figure 2는 주파수역에서 파도의 상하운동가속도에 대한 파력발전시스템을 구성하는 진동시스템의 권선과 영구 자석사이의 상대속도를 나타낸다. 여기서 실선과 일점쇄선은 각각 부하저항이 없을 때 2 D.O.F. 진동발전시스템에서 ①번 영구자석과 권선사이의 상대속도에 대한 주파수특성과 고유진동수가 9.42rad/sec인 1 D.O.F.를 가지는 진동발전시스템에서 영구자석과 권선사이의 상대속도에 대한 주파수 특성을 나타낸다. 2 D.O.F.진동발전시스템은 고유진동수 근처인 3.14 rad/sec와 9.42 rad/sec 부근에서 극대 값을 가지는 반면 1 D.O.F.진동시스템은 9.42rad/sec부근에서만 극대 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 4.08rad/sec ~9.42rad/sec 주파수부근에서는 2 D.O.F.진동발전시스템보다 1 D.O.F.진동발전시스템이 상대속도가 큼을 알 수 있다.

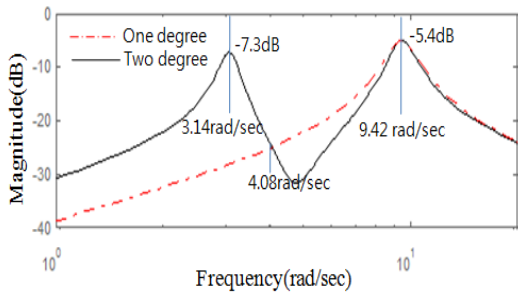


Figure 2: Frequency of response function (9.42rad/sec).

Figure 3은 주파수역에서 파도의 상하운동가속도에 대한 2 D.O.F.파력발전시스템을 구성하는 ②영구자석과 권선사이 그리고 고유진동수가 3.14rad/sec를 가지는 1 D.O.F.파력진동발전시스템의 권선과 영구 자석사이의 상대속도를 나타낸다.

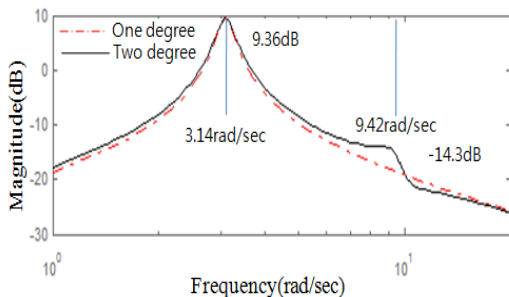


Figure 3: Frequency of response function (3.14rad/sec).

여기서 실선과 일점쇄선은 각각 부하저항이 없을 때 2 D.O.F.진동발전시스템에서 ②번 영구자석과 권선사이의 상대속도에 대한 주파수특성과 고유진동수가 3.14rad/sec인 1 D.O.F.를 가지는 진동발전시스템에서 영구자석과 권선사이의 상대속도에 대한 주파수 특성을 나타낸다. 2 D.O.F.파력진동발전시스템은 3.14 rad/sec과 9.42rad/sec 주파수 근처에서 극대 값을 가지는 반면에 1 D.O.F.파력진동발전시스템은 3.14 rad/sec 주파수 근처에서 극대 값을 가진다. 또한 2 D.O.F.파력진동발전기가 0~9.42rad/sec주파수에서는 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 이상에서와 같이 Figure 2, Figure 3과 같은 특성은 2 D.O.F.파력진동발전시스템은 질량들 사이에서 연성되어 나타나기 때문에 보다 넓은 주파수 범위의 진동에너지를 충분히 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

다음은 2 D.O.F.파력진동발전기의 발전특성을 알아보기 위해 식 (1)에서 나타난 파도의 파형을 다음과 같이 가정하여 시간 역에서 시뮬레이션을 수행하였다.

$$x_0(t) = 0.5 \sin 3.14t + 0.1 \sin 5.65t + 0.2 \sin 9.42t \quad (6)$$

식(1)과 식 (6)에서 Y_1, Y_2, w_1, w_2 는 각각 0.5m, 0.2m, 3.14rad/sec, 9.42rad/sec로 선정하였고, w_1, w_2 주파수 사이에 진폭과 주파수가 각각 0.1m과 5.65 rad/sec 갖는 파형을 첨가하여 Figure 4와 같은 파형을 만들었다[7].

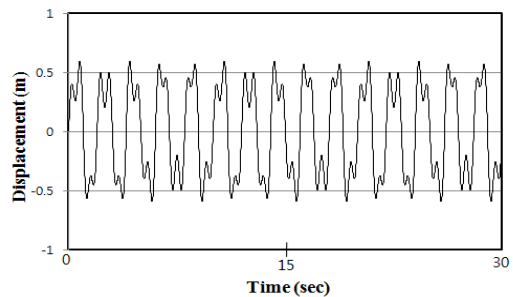


Figure 4: The shape of ocean wave.

Table 2는 발전시스템의 매개변수를 나타낸다. 여기서 발전시스템의 특성을 알아보기 위해서 모든 시스템의 매개변수는 동일하게 하였다.

Table 2: System parameters of hybrid power wave generator.

L_1	18 H	L_2	18 H
R_1	86 Ω	R_2	86 Ω
R_{L1}	150 Ω	R_{L2}	150 Ω
N_1	1,000 회	N_2	1,000 회
B_1	1.2T	B_2	1.2T
l_1	0.87m	l_2	0.87m

Figure 5는 무 부하 상태에서 파력발전시스템의 단자에 걸리는 전압을 나타낸다. 여기서 실선과 일점쇄선은 각각 2 D.O.F.파력진동발전기의 ①번 발전시스템과 고유진동수가 9.42 rad/sec인 1 D.O.F.파력진동발전시스템의 양 단자에 걸린 전압들이다. ①번 파력진동발전시스템의 전압은 약 $136 V_{p-p}$ 이고, 1 D.O.F.파력진동발전기의 평균 전압은 약 $128 V_{p-p}$ 이다. ①번 파력진동발전시스템이 1 D.O.F.파력진동발전시스템보다 큰 전압을 발생시키는 것은 Figure 3에서 알 수 있듯이 저차 고유진동수의 영향이다. 또한 중간 중간에 1 D.O.F.파력진동발전시스템이 ①번 파력진동발전시스템보다 더 큰 전압을 발생시키는 것은 Figure 2에서 보여주는 것과 같이 4.08rad/sec~9.42rad/sec 사이의 주파수부근에서는 2 D.O.F.진동발전시스템보다 1 D.O.F.진동발전시스템이 권선과 영구자석사이의 상대속도가 더 크기 때문에 파도를 구성하는 주파수 중에 시스템의 고유진동수 w_1 , w_2 사이에 존재하는 5.65 rad/sec 주파수가진 파도 에너지의 영향임을 알 수 있다.

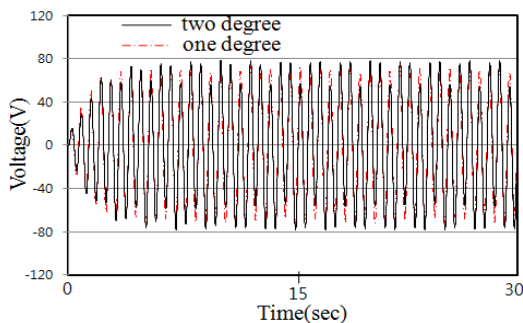
**Figure 5:** The voltage of open circuit without load resistance(9.42rad/sec).

Figure 6은 무 부하 상태에서 파력진동발전시스템의 단자에 걸리는 전압을 나타낸다. 실선과 일점쇄선은 각각 2 D.O.F.를 갖는 파력발전기의 ②번 파력진동발전시스템과 고유진동수가 3.14 rad/sec인 1 D.O.F.파력진동발전기의 전압을 나타낸다. ②번 파력진동발전기의 전압은 약 $206 V_{p-p}$ 이고, 1 D.O.F.파력진동발전기의 전압은 약 $188 V_{p-p}$ 이다. 여기서 ②번 파력진동발전시스템은 Figure 3에서 보여주는 것과 같이 1 D.O.F.파력진동발전시스템보다 전 주파수 범위에서 권선과 영구자석사이의 상대속도가 크므로 전압이 크게 발생됨을 알 수 있다.

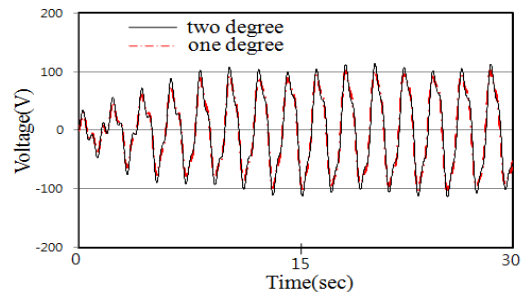
**Figure 6:** The voltage of open circuit without load resistance(3.14rad/sec).

Figure 7은 부하저항이 있을 때 파력진동발전시스템에 연결된 부하저항(150 Ω)에 걸리는 전압을 나타낸다. 실선은 2 D.O.F.파력진동발전시스템인 ①번 파력진동발전기에 연결된 부하저항에 걸리는 전압을 나타내는데, 부하저항에 걸리는 전압은 약 $10.5 V_{p-p}$ 이다. 일점쇄선은 고유진동수가 9.42 rad/sec인 1 D.O.F.파력발전시스템에 연결된 부하저항에 걸리는 전압을 나타낸다. 이때 부하저항에 걸리는 전압은 약 $7.4 V_{p-p}$ 이다. ①번 파력진동발전기와 1 D.O.F.파력진동발전기의 부하저항이 있을 때 부하저항에 걸리는 전압과 무 부하일 때 발전시스템 단자에 걸리는 전압 사이에 전압의 비는 각각 약 8%와 6%이다. ①번 파력진동발전시스템이 1 D.O.F.파력진동발전시스템 보다 약 2% 큰 이유는 진동발전시스템에 부하저항을 연결하면 권선에 전류가 흐르게 되고, 전류는 역기전력이 발생시켜 진동발전시스템 내에 있는 진동자의 운동을 방해하는데 이때 ①번 파력진동발전시스템은 ②번 파력진동발전

시스템을 구성하는 질량이 가지는 운동에너지의 영향으로 1 D.O.F.파력진동발전시스템보다 작기 때문이다.

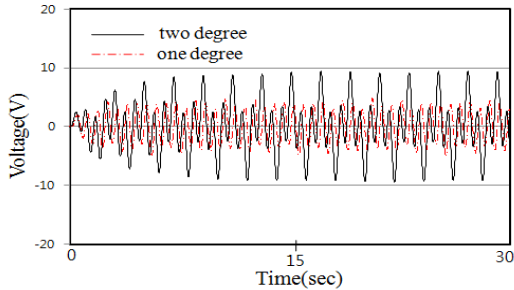


Figure 7: The voltage of close circuit with load resistance(9.42rad/sec).

Figure 8은 부하저항이 있을 때 파력진동발전시스템에 연결된 부하저항(150Ω)에 걸리는 전압을 나타낸다. 실선은 2 D.O.F.파력진동발전시스템에서 ②번 발전시스템에 연결된 부하저항에 걸리는 전압을 나타내고, 이때 부하저항에 걸리는 전압은 약 $56 V_{p-p}$ 이다. 일점쇄선은 시스템 고유진동수가 3.14 rad/sec인 1 D.O.F.파력발전시스템에 연결된 부하저항에 걸리는 전압을 나타낸다. 이때 부하저항에 걸리는 전압은 약 $34 V_{p-p}$ 이다. 여기서 ②번 파력진동발전시스템과 1 D.O.F.파력진동발전시스템의 부하저항이 있을 때 부하저항에 걸리는 전압과 무 부하일 때 발전시스템단자에 걸리는 전압 사이에 전압의 비는 각각 약 27%와 18%이다. 이때 ②번 발전시스템이 1 D.O.F.파력발전시스템에 연결된 부하저항에 걸리는 전압보다 큰 이유는 ①번 발전시스템을 구성하는 질량의 영향인 것으로 사료된다.

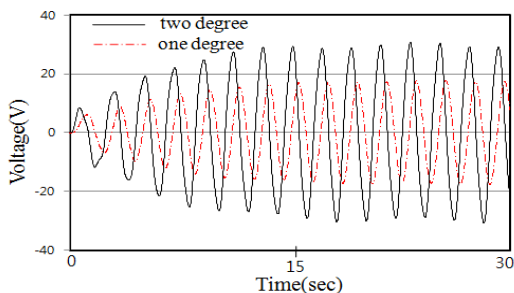


Figure 8: The voltage of close circuit with load resistance(3.14rad/sec).

이상에서와 같이 파도를 이용한 파력진동발전시스템은 파도가 내포한 주파수(w_1, w_2)에 맞는 고유진동수 w_1 과 w_2 를 갖는 각각의 1 D.O.F.파력진동발전시스템 2개를 이용하는 것보다 고유진동수 w_1, w_2 를 갖는 2 D.O.F.파력진동발전기를 사용하는 것이 발전효율을 높이는 데 기여할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 파도의 상하운동에너지의 이용효율을 높이기 위하여 2 D.O.F.파력진동발전시스템을 제안하였다. 또한 2 D.O.F.파력진동발전시스템과 1 D.O.F. 파력진동발전시스템의 진동특성과 발전특성을 살펴본 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 모든 주파수 구간에서 외부 가속도에 대한 2 D.O.F.진동시스템의 ①,②영구자석과 권선사이의 상대속도는 각각의 1 D.O.F. 2개의 진동시스템의 영구자석과 권선사이의 상대속도보다 크를 알 수 있다. 이는 2 D.O.F.진동시스템을 구성하는 질량들 사이의 연성작용에 의한 영향이다.

(2) 2 D.O.F.진동시스템에서 ①,②영구자석과 권선사이의 상대속도는 각각의 1 D.O.F. 2개의 진동시스템의 영구자석과 권선사이의 상대속도보다 크므로 무 부하저항일 때는 2 D.O.F.파력진동발전시스템의 단자에 걸리는 전압은 1 D.O.F.파력진동발전시스템의 단자에 걸리는 전압보다 크다.

(3) 부하저항이 있을 때는 2 D.O.F.진동시스템을 구성하는 질량들 사이의 연성작용에 의해 역기전력은 1 D.O.F.파력진동발전시스템보다 2 D.O.F.파력발전시스템에 상대적으로 영향을 적게 미치므로 2 D.O.F.파력발전시스템의 부하저항에 걸리는 전압이 크를 알 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안한 2 D.O.F.파력진동발전시스템은 향후 파력발전시스템의 발전효율을 높이는 데 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 신승호, 홍기용, “파력발전기술동향과 상용화의 길,” 대한토목학회, 제10권, 제5호, pp. 55-62, 2011.
- [2] 홍기용, 신승호, 홍도천, “진동수주형 파력발전장치 공기실의 파력에너지흡수율,” 한국해양환

- 경공학회지, 제10권, 제3호, pp. 173-180, 2007.
- [3] 김성근, 박명규, “진동수주형 파력발전기의 흡수파력 추정에 관한 연구,” 한국박용기관학회지, 제15권, 제3호, pp. 31-38, 1991.
- [4] Rafael Waters, “Energy from ocean waves full scale experimental verification of wave energy converter,” Digital Comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the faculty of science and technology 580, 2008.
- [5] Shuo Cheng, Naigang Wang and David P Arnold, “Modeling of magnetic vibrational energy harvesters using equivalent circuit representations,” Journal of micro mechanics and microengineering, vol. 17, pp. 2328-2335, 2007.
- [6] Bin Yang, Chengkuo Lee, Wenfeng Xiang, Jin Xie, etc., “Electromagnetic energy harvesting from vibrations of multiple frequencies”, Journal of micromechanics and microengineering, vol. 19, pp. 35001-35008, 2009.
- [7] Nibras Awaja, dinesh Sood and Thurai Vinay, “Design and Analyses of Electromagnetic Microgenerator,” Sensors & Transducers Journal, vol. 103, Issue 4, pp. 109-121, 2009.

저 자 소 개



한기봉(韓奇奉)

1962년생, 1986년 부산대학교 기계설계공학과(공학사), 1997년 부산대학교 기계설계공학과(공학박사), 1994년-2000년 (주)대우전자(선임연구원), 2000년-2006년 (주)메카텍(대표이사), 현재 중원대학교 에너지자원공학부교수



이형우(李炯佑)

1966년생, 1991년 부산대학교생산기계공학과졸업, 1999년 부산대학교 대학원생산기계공학과 졸업(공학박사), 2007년~현재 부산대학교 기계공학부 기계기반융합부품소재인재양성센터 교수