

파랑의 수평운동을 이용한 파력발전장치 개발 Development of Wave Power Generator using Horizontal Motions of the Wave

황성수¹ · 박일흠¹ · 이동수² · 양경욱^{1*}

S. S. Hwang, I. H. Park, D. S. Lee and K. U. Yang

Received: 18 Mar. 2015, Revised: 29 Apr. 2015, Accepted: 14 May. 2015

Key Words : Wave Power Generator(파력발전장치), Wave(파랑), Horizontal Motions(수평 운동), Buoyancy tank(부유체), Bondgraph(본드선도), Simulation(시뮬레이션)

Abstract: In this study, we suggested the wave power generator using horizontal motions of the wave for use in the coastal sea. The length of the horizontal movement of the wave in the vicinity of the sea surface is larger than the length of the vertical reciprocating movement of the wave, hence the proposed device has a wave power transmission plate. In addition, because the motion of the wave is maximum to the sea surface, by arranging the buoyancy tanks at the top of the wave power transmission plate, it is always capable of vertical movement in accordance with the sea surface. To confirm the usefulness of the proposed wave power generator, we constructed a mathematical model of the wave power generator and carried out simulation using bondgraph. Furthermore, the efficiency was verified by measuring the degree of electrical energy production through a preliminary experiment.

1. 서 론

에너지 수요의 급격한 증가와 화석 에너지의 고갈 및 환경오염, 그리고 원자력 에너지의 안정성 문제 등으로 인하여 환경 친화적이면서 지속 생산 가능한 신재생 에너지에 대한 관심이 날로 증가하고 있다. 그 중 조류 및 파력으로 대표되는 해양 에너지는 청정 에너지이면서 동시에 방대한 에너지량을 보유하고 있으며, 지속가능한 차세대 에너지원으로 주목받고 있다^{1,2)}.

해양 에너지 중에서도 파력 발전은 파랑을 이용

하는 것으로써 모든 해역에 폭넓게 분포함으로 부존량이 가장 많으며 국내외적으로 활발히 연구되고 있는 분야이다. 특히, 파랑의 위치 에너지와 운동 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 연구는 다양하게 제안되고 있으며 일부 연구 결과를 토대로 실용화를 보이고 있다³⁾. 현재 파력발전기술은 진동 수수형, 수류형, 월파형, 진자형, 부유형 등이 있으나^{1~3)}, 파랑 에너지 밀도가 상대적으로 큰 심해를 대상으로 하기 때문에 내구성, 관리비용 및 육지와와의 전기선로 연결문제 등이 대두될 수 있다.

이 연구에서는 천해, 연해에서도 사용 가능하도록 파랑의 수평운동을 이용한 파력발전장치를 제안한다. 이 장치는 해수면 부근에서 파랑의 수평운동의 행정길이가 파랑의 상하왕복운동의 행정길이보다 크다는 점에 착안하여 파동전달판을 설치하였으며, 특히, 파랑운동은 해수면에서 최대이므로 부력 탱크를 파동전달판 상단에 배치함으로써 해수면 변위에 대응하여 항상 해수면에 따라 상하 이동이 가능하도록 설계하였다. 따라서, 제안한 파력발전장치는 좌우운동하는 파랑의 최대 회전반경을 항상 반영시킬 수 있기 때문에 파랑운동에 원활히 반응하고, 해

* Corresponding author: yangku@jnu.ac.kr

1 School of Marine Technology, Yeosu Campus, Chonnam National University, 550-749, Korea

2 SEA TECH R&D Co.,LTD. 319 Unitechvill #1141-2, Baekseok-dong, Ilsandong-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 410-722, Korea

Copyright © 2015, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수면 변위에도 능동적으로 대응할 수 있다.

제안한 파력발전장치의 유용성을 확인하기 위해 이 연구에서는 모형 파력발전장치를 제작하였으며, 본드선도⁴⁾를 이용하여 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 실제 기초실험을 통하여 전기 에너지의 생산 정도를 계측하여 장치의 효율성도 검증하였다.

2. 제안한 파력발전장치의 구성 및 원리

이 연구에서 제안한 장치는 파랑의 수평운동을 지속적인 한방향 회전운동으로 유도하여 전기를 발생시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. Fig. 1에 나타난 것과 같이, 제안한 파력발전장치는 파랑의 수평운동이 가장 큰 해수면에 항상 접할 수 있게 도와주는 부력탱크, 직접 파랑에서 발생하는 파력을 받는 파동전달판, 원운동 중심축과 발전기 지지대, 연속적으로 한방향 회전운동이 가능하도록 설계한 피니언 기어와 래크 기어, 회전운동을 전기 에너지로 변환하는 발전 장치 및 파력발전장치를 해저면에 고정하기 위한 외형부로 구성되어 있다.

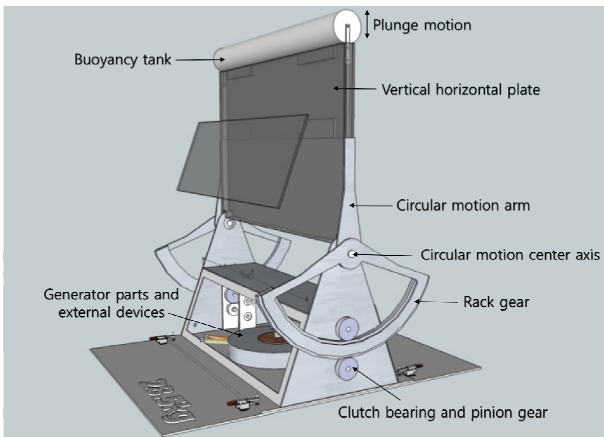


Fig. 1 Configuration of wave power generator

이 파력발전장치의 파랑운동 전달은 크게 세가지 장치에 의해 이루어져 있다.

첫째, 파랑의 수평운동 에너지는 중심축을 축으로 하여 좌우 이동하는 파동전달부(vertical horizontal plate)인 고정 파동전달판과 부유체가 상단에 구비되어 있는 가변 파동전달판으로 전달되어진다. 특히, 가변 파동전달판은 해수면 위치 변화에 적절히 대응하여 상하운동이 이루어지는 가변형 파동전달부로서, 항상 해수면에서 강한 모멘트를 발생하는 파랑의 수평운동 에너지를 전달받게 하여 파랑의

파동운동을 최대한 원운동에너지로 변환할 수 있도록 하였다.

둘째, 중심축(circular motion center axis)의 상부에서 회전되는 파동전달부의 운동과 연동되어진 중심축의 하부에서는 좌우 이동하는 일정길이의 작동아암 선단부(circular motion arm)가 있다. 이 부재는 길이의 장단에 따라 수평이동 범위를 변화시킬 수 있으며, 만약 파랑이 작은 장소에서도 이 부재의 길이를 조정함에 따라 안정적으로 발전량을 얻을 수 있다. 한편, 전달되는 좌우 수평운동은 래크 기어부(rack gear)에 교합되어 회전운동으로 변환된다.

셋째, 파동전달부의 좌우 이동시 동력전달부에 연동되어 발생되어지는 회전동력은 양측 동력전달 기어 사이에 있는 중간기어로 교합되어 전달된다. 이때, 발전부의 구동축은 연속적으로 회전하기 때문에 파동전달부의 좌우 이동위치에 관계없이 파동전달부의 운동 에너지를 전달받게 된다. 따라서, 회전하는 발전부 구동축은 거의 일정한 회전속도로 연속 회전하여 발전기를 운전할 수 있게 되어 발전효율을 증대시킬 수 있다.

3. 모형 파력발전장치의 모델링

제안한 파력발전장치의 유효성을 검증하기 위하여 모형 파력발전장치를 제작하였다.

인공 파랑을 만들기 위하여, Fig. 2와 같이 전기서보모터(HF-KP23, Amp. MR-J3-20A)가 결합된 이송장치(LM guide actuator, KR45H, 삼익THK)를 파력발전장치 옆에 설치하였으며, 전기서보모터의 회전에 의해 이송장치 내 볼나사(ball screw)가 이동되고 여기에 부착된 이동봉을 통하여 파동전달판으로 모의 파력이 전달된다.

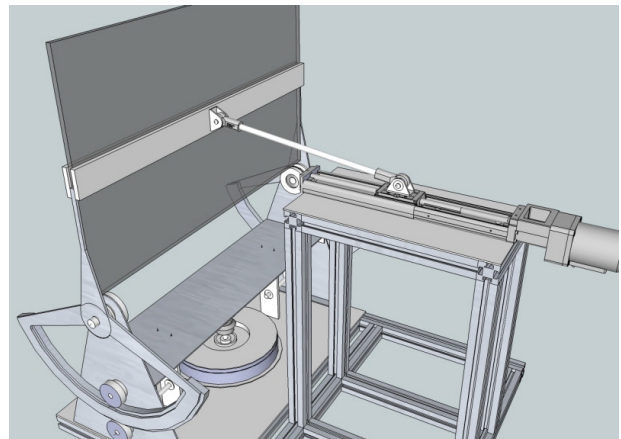


Fig. 2 Schematic diagram of model wave power generator using artificial wave generator

3.1 모형 파력발전장치의 본드선도

모형 파력발전장치는 크게 Fig. 2와 같이 인공 파랑을 발생시키는 전기서보모터 구동장치, 파랑에서 발생하는 파력을 발전기에 전달하는 기계기어장치 및 파랑에서 얻어지는 파력을 전기로 바꾸어 주는 전기발전장치로 구성되어져 있다.

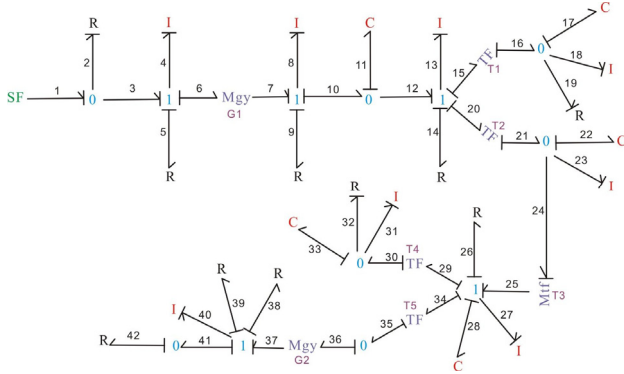


Fig. 3 Bond graph of wave power generator using artificial wave generator

전기서보모터 구동장치는 모터, 모터를 구동시키는 앰프 및 모터에서 얻어지는 회전력을 병진력으로 바꾸어주는 볼나사형 이동 장치로 이루어져 있다. 기계기어장치는 실제 파랑에서 일어날 수 있는 위치 및 파장의 변화에 관계없이 항상 일정한 회전 방향으로 파랑의 동력을 얻을 수 있도록 고안되었으며, 장치의 효율성을 도모하기 위하여 기어 증속비를 쉽게 조절할 수 있도록 설계되어져 있다. 전기 발전장치는 파랑에서 얻어지는 동력으로 전기 에너지를 얻을 수 있도록 교류 또는 직류 발전기를 설치하였으며, 외부 부하 크기에 관계없이 안정된 전기 에너지를 얻을 수 있는지를 검사하기 위하여 발전기 외부에 가변 외부 저항기를 설치하였다.

동력의 흐름으로 보면 모형 파력발전장치는 인공 파랑을 구현하는 전기서보모터의 동력을 기계기어장치를 통하여 안정되게 전달하고 여기서 얻어진 파랑의 동력을 전기 동력으로 바꾸어 주는 발전기로 보내는 에너지 전환 장치이다. 즉, 파랑의 유체 에너지를 전기 에너지로 구현하고 이 에너지는 기계 에너지로 변환되며 결국, 전기 에너지로 다시 변환시키는 것이다.

Fig. 3은 모형 파력발전장치에 대한 본드 선도를 나타낸 것으로, Fig. 2의 모의 파력발전장치에서 고려한 변수와 동력의 흐름 과정을 접점과 노드(nod)를 통하여 나타내었다. 노드 1~23은 전기모터 구동

장치, 노드 24~33은 기계기어장치를 표현한 것이고 노드 34~42는 전기발전장치를 나타낸 것이다. TF와 GY는 각 시스템이 변환되는 곳에 사용되는 요소로써, 시스템의 작력 변수인 전압, 토크, 힘의 변화와 흐름 변수인 전류, 각속도, 속도 변화를 시스템의 인과 관계로 표현하기 위하여 사용한다. C와 I는 각 요소에서 작력과 흐름 요소를 계산할 때 사용하는 변수이다.

노드 3~5의 1접점에서는 전기서보모터에 걸리는 전류와 저항 값을 나타낸 부분이며, 노드 6과 7은 모터의 회전자를 통하여 전기 에너지가 기계 에너지인 회전력을 표현한 것이다. G1의 값은 고정자 R_8 에 의하여 시간에 따라 변화하게 되며, 이 값의 변화 값에 의하여 기계 에너지가 변화하게 된다. 노드 8~13은 모터 축에서 발생하는 기계 에너지인 토크와 각속도를 표현한 것이며, 변수 I_8 는 모터 사양을 참조하였다. 노드 13, 14는 볼나사를 나타낸 것으로 I_{13} 인 회전 관성 모멘트는 실측을 통하여 구하였다. 회전축의 기계 에너지는 이동체 및 이동봉으로 전달되므로 노드 15~19와 노드 20~23로 나타내었다. 이 때, 이동체와 이동봉에 전달되는 동력은 모터에 연결된 회전축의 회전력이 병진력으로 바뀌므로 TF 변환기를 통하여 계산하였으며, T1, T2는 회전축의 반지름이다. 이것을 이용하여 회전축의 토크와 각속도를 힘과 속도로 변환하여 파동 전달판에 동력을 전달하게 된다. 파동전달판에 전달되는 힘과 속도는 전달판의 역할에 의하여 기어에 회전력으로 변환되기 때문에 변환기 TF를 통하여 회전력으로 변환하게 된다. 여기에 사용되는 변수 T3는 파력판의 회전 각도에 의하여 계산되며, 노드 25~28에 의하여 얻을 수 있다. 기어에 의하여 얻어진 회전력은 노드 29~33에 의하여 계산되며, 발전기는 노드 34~42를 통하여 전기 에너지를 계산할 수가 있다. 변환계수 T4, T5는 기어 증속비의 변화를 나타낸 것으로 발전기의 회전력을 증가시키기 위하여 기어단을 증속시켰다. 또한, 변환 계수 G2는 기어에서 얻어진 회전력을 전기 에너지인 전압과 전류를 구하기 위하여 사용하였다. 한편, 각 노드에 사용된 R은 전기서보모터에 사용된 저항, 기계 장치의 마찰력 및 발전기의 저항을 표시한 것이다. 따라서, Fig. 3과 같이 모형 파력발전장치를 TF와 GY 변환기를 기준으로 전기장치, 기계장치의 병진운동과 회전운동, 발전기의 전기 장치로 세가지 시스템으로 분리하여 나타내었다.

3.2 본드선도 모델링

이 모의 파력발전장치는 전기장치로 파랑의 동력을 모의하며, 이 동력은 기계장치를 통하여 발전기로 전달된다. 우선, 전기서보모터로 인가되는 전압에 의하여 발생하는 회전력과 전류, 저항과의 관계는 아래의 식으로 표현할 수 있으며,

$$V_1(t) = R_5 i_m(t) + I_4 \frac{di_m(t)}{dt} + G1 \omega(t) \quad (1)$$

여기서, V_1 은 입력 전압, R_5 는 전기자 저항, i_m 은 전기자 전류, I_4 은 코일의 리액턴스, $G1$ 은 변환 계수, ω 은 모터의 각속도이다.

전기서보모터의 각 요소 방정식은 아래와 같다.

$$f_2 = \frac{1}{R_2} e_2 \quad (2)$$

$$f_4 = \frac{1}{I_4} \int e_4 dt \quad (3)$$

$$e_5 = \frac{1}{R_5} f_4 \quad (4)$$

$$e_6 = G1 \cdot f_7 \quad (5)$$

$$f_8 = \frac{1}{I_8} \int e_8 dt \quad (6)$$

$$e_9 = \frac{1}{R_9} f_9 \quad (7)$$

$$e_{11} = \frac{1}{C_{11}} \int f_{11} dt, C_{11} = \frac{1}{m_{11} g r_{11}} \quad (8)$$

$$f_{13} = \frac{1}{I_{13}} \int e_{13} dt, I_{13} = \frac{1}{2} m_{13} r_{13}^2 \quad (9)$$

여기서, 식 (2)의 f_2 , R_2 는 모터의 인가전류 및 저항, e_2 는 모터에 가해지는 전압, 식 (3)의 f_4 는 모터의 소비전류, I_4 는 모터 회전자의 유도전류, e_4 는 모터에 가해지는 전압, 식 (4)의 e_5 는 모터의 발생 전압, R_5 는 모터 회전자의 저항, 식 (5)에서 e_6 , f_7 은 모터의 인가전압과 각속도, 식 (6)의 f_8 , I_8 은 모터의 각속도 및 관성모멘트, e_8 은 모터의 토크, 식 (7)의 e_9 , R_9 는 모터의 토크와 마찰계수, f_9 은 모터의 각속도, 식 (8)의 e_{11} , C_{11} 은 모터 축의 토크 및 관성모멘트, f_{11} , m_{11} 은 모터 축의 각속도와 질량,

r_{11} 은 모터 축의 반지름, 식 (9)의 f_{13} , I_{13} 은 이송장치 회전축의 각속도 및 관성모멘트, m_{13} , r_{13} 은 회전축의 질량과 반지름이다.

식 (4)를 이용하여 모터에서 발생하는 전류를 구할 수 있으며, 전기 모터에 인가되는 전압에 의하여 발생하는 회전수는 식 (6)을 통하여 구할 수 있다. 다만, 전기 에너지가 회전 에너지로 전환될 때의 계수 $G1$ 은 식(2)에서 얻어진 전류의 변화와의 곱에 따라서 결정된다. 식 (8)의 (9)의 계수는 대상의 관성 모멘트와 실제 대상물을 계측하여 구하였다.

전기서보모터에서 얻어진 회전 에너지가 기계적 병진 에너지로 변환하는 관계는 회전축의 반지름의 의하여 결정되며 병진 운동에서 얻어지는 동력은 아래와 같이 표현할 수 있다. 식 (10), (11)은 이동체, 식 (12), (13)은 이동봉에 해당한다.

$$e_{17} = \frac{1}{C_{17}} \int f_{17} dt, C_{17} = E \cdot \frac{A_{17}}{l_{17}} \quad (10)$$

$$f_{18} = \frac{1}{I_{18}} \int e_{18} dt, I_{18} = m_{18} \quad (11)$$

$$e_{22} = \frac{1}{C_{22}} \int f_{22} dt, C_{22} = E \cdot \frac{A_{22}}{l_{22}} \quad (12)$$

$$f_{23} = \frac{1}{I_{23}} \int e_{23} dt, I_{23} = m_{23} \quad (13)$$

여기서, 식 (10)의 e_{17} , C_{17} 은 이송장치내 이동체의 힘 및 강성계수, E 는 철의 탄성계수, A_{17} , l_{17} 은 이동체의 단면적과 길이, 식 (11)의 f_{18} , I_{18} 은 이동체의 속도와 질량, e_{18} , m_{18} 은 이동체의 힘 및 질량, 식 (12)의 e_{22} , C_{22} 는 이동봉의 힘 및 강성계수, f_{22} 는 이동봉의 속도, E 는 이동봉의 탄성계수, A_{22} , l_{22} 는 이동봉의 단면적과 길이, 식 (13)의 f_{23} , I_{23} 은 이동봉의 속도와 질량, e_{23} , m_{23} 은 이동봉의 힘, 질량을 나타낸다.

파동전달판에서는 이동체의 병진운동이 회전운동으로 변화하기 때문에 TF 변환기를 사용하여 표현하였다. 이 때, 사용되는 $T3$ 는 아래의 식을 이용하여 구하였다.

$$T3 = \frac{r_{25}(r_{25} \cos \theta + \sqrt{l^2 - r_{25}^2 \sin^2 \theta}) \sin \theta}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \theta}} \quad (14)$$

여기서, $T3$ 은 TF 변환계수, r_{25} 는 파력전달판의 중심에서 고정 장치까지의 길이, l 은 이동봉의 길이이며, 각도는 파력전달판의 회전 각도이다.

식 (14)를 이용하여 파동전달판에 전달되는 동력에 대하여 각 요소 방정식으로 표시하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$e_{26} = \frac{1}{R_{26}}f_{26}, R_{26} = mg \cos\theta \quad (15)$$

$$f_{27} = \frac{1}{I_{27}} \int e_{27} dt, I_{27} = \frac{1}{12}m_{27}(a_{27}^2 + b_{27}^2) \quad (16)$$

$$e_{28} = \frac{1}{C_{28}} \int f_{28} dt, C_{28} = \frac{1}{m_{28}gr_{28}} \quad (17)$$

여기서, 식 (15)의 e_{26} , R_{26} 은 파동전달판의 토크와 마찰계수, m 은 질량, 식 (16)의 f_{27} 은 파동전달판의 각속도, I_{27} 은 질량, e_{27} 은 힘, m_{27} 은 이동체의 질량, a_{27} , b_{27} 은 전달판의 세로길이와 가로길이, 식 (17)의 e_{28} , C_{28} 은 전달판의 토크 및 관성모멘트, f_{28} , m_{28} 은 속도, 질량, r_{28} 은 전달판의 세로길이의 절반을 나타낸다.

파동전달판에 전달된 동력은 기계기어장치를 통하여 증속되므로, 변환기 $T4$, $T5$ 을 이용하여 표현하였다. 기계 기어를 통하여 나오는 동력은 식 (18), (19)로 나타내었으며, 방정식에 들어가는 계수는 대상을 실측하여 구하였다.

$$f_{31} = \frac{1}{I_{31}} \int e_{31} dt, I_{31} = \frac{1}{2}m_{31}r_{31}^2 \quad (18)$$

$$e_{33} = \frac{1}{C_{33}} \int f_{33} dt, C_{33} = \frac{1}{m_{33}gr_{33}} \quad (19)$$

여기서, 식 (18)의 f_{31} , e_{31} 은 기어의 각속도와 토크, m_{31} , r_{31} 은 질량 및 반지름, 식 (19)의 e_{33} , C_{33} 는 기어의 토크와 관성모멘트, f_{33} , m_{33} , r_{33} 은 기어의 각속도, 질량 및 반지름을 나타낸다.

발전기에서 발생하는 동력은 아래의 식을 이용하여 구하였다.

$$f_{40} = \frac{1}{I_{40}} \int e_{40} dt \quad (20)$$

$$e_{42} = \frac{1}{R_{42}}f_{42} \quad (21)$$

여기서, 식 (20)의 f_{40} , I_{40} 은 발전기의 전류 및 회 전자의 유도전류, e_{40} 은 전압, 식 (21)의 e_{42} 는 부하 전압, R_{42} , f_{42} 는 외부 저항값 및 전류를 나타낸다.

위 식들은 본드 선도를 통하여 각 접점에서 연결되는 변수의 특성을 파악하고, 접점의 상호 작용은 노드를 통해 표현함으로써 용이하게 모형 파력발전 장치에서 발생하는 동력의 특성을 구할 수 있다.

본드선도에 사용된 주요 변수 값들을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Parameters used in Bondgraph

Parameter	Value	Unit
C_{11}	21.1593	rad/Nm
C_{17}	9.962×10^6	N/m ²
C_{22}	1.419×10^5	N/m ²
C_{28}	0.028866	rad/Nm
C_{33}	8.5034	rad/Nm
I_4	0.175	H
I_8	0.000024	Nm s ²
I_{13}	0.000181	Nm s ²
I_{18}	1.2	kg
I_{23}	0.94	kg
I_{27}	0.533844	kgm ²
I_{31}	0.000036	kgm ²
I_{40}	0.003196	H
R_2	5.495	Ω
R_5	0.875	Ω
R_9	0.066	Nsm
R_{14}	0.008	Nsm
R_{19}	1.0×10^{-5}	Ns/m
R_{32}	0.03	Nsm
R_{38}	8.91436	Ω
R_{39}	55.9822	Ω
R_{42}	920	Ω

4. 시뮬레이션 및 실험

제한한 파력발전장치의 안정성 및 설계의 정량성을 확보하기 위하여 본드선도를 통한 모델식을 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 실험은 발전효율을 측정하기 위하여, 인공 파랑 모의장치인 전기서보장치에 연결된 앰프에 인가되는 전압을 조정하여 위치와 속도를 제어하였으며, 전기서보모터에 인가되는 전력량과 발전기에서 발생하는 전력량을 동시에 측정하였다. 기어는 1~9단으로 기어비를

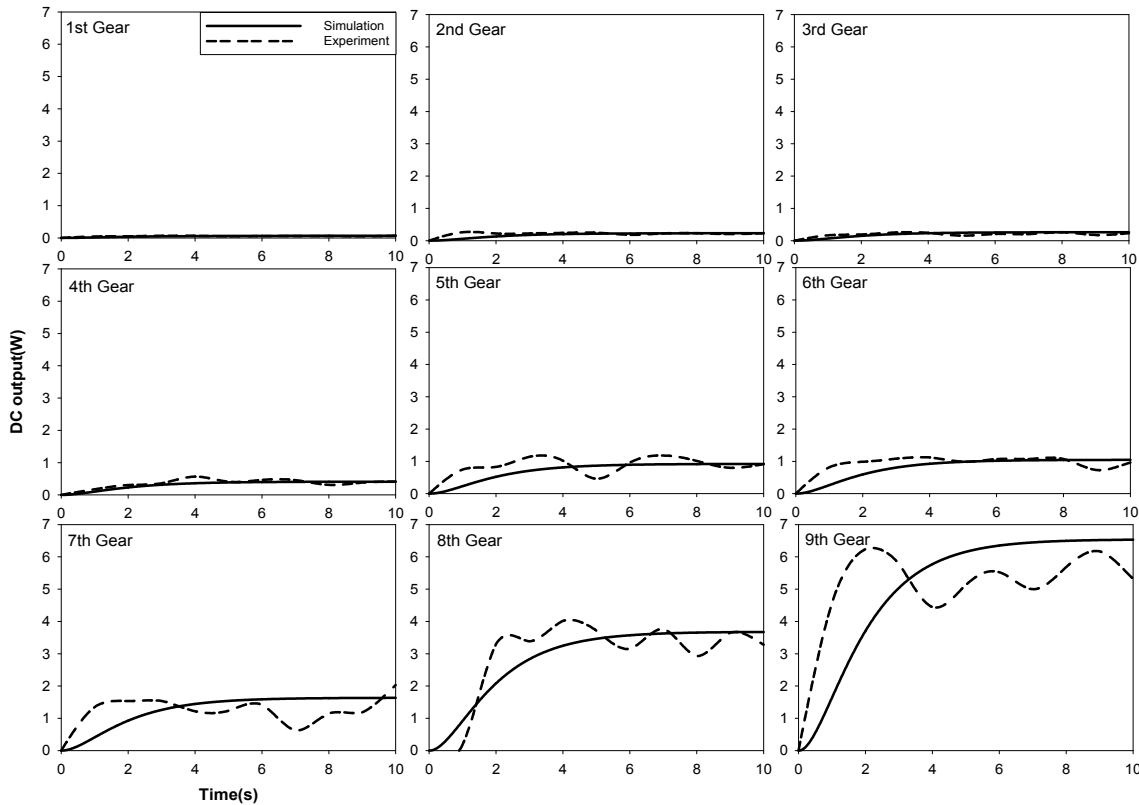


Fig. 4 Simulation and experimental results of electricity power at the gear ratio 1st-9th, distance 30cm, cycle 0.25Hz

선정하였고, 실험은 60s동안 연속 계측하였다.

Fig. 4는 직류 발전기에서 발생하는 전력량을 시뮬레이션과 실험 결과로 비교한 것으로, 기어비는 1~9단, 이송장치 왕복 이동거리는 30cm, 주기는 0.25Hz이다. 모델링과 시뮬레이션 프로그램의 완성도를 확인하기 위한 목적으로 실험 시간은 장치의 과도 상태와 정상 상태를 고려하여, 처음 시작하여 10s 동안 계측한 값을 사용하였다. 실험값과 비교하여 모든 기어비에서 시뮬레이션의 직류 발전량은 과도·정상 상태에서 안정적으로 출력을 나타냈으나 실험값은 기어 5~9단에서 불안정한 출력을 나타내었다. 이 현상은 속도가 증가할수록 발전기 가동시 과동전달판이 좌에서 우로 또는 우에서 좌로 동작시 순간적으로 충격현상이 발생되고 이에 따라 기어 장치부의 전달 효율이 떨어져 속도가 일정하지 않아 출력이 불안정하게 계측되었다고 사료된다. 그러나 시뮬레이션 결과값의 평균직류발전량은 기어 1단에서 0.05W, 2단 0.18W, 3단 0.20W, 4단 0.32W, 5단 0.72W, 6단 0.82W, 7단 1.28W, 8단 2.88W, 9단 5.13W이며, 기계모형실험에서의 평균직류발전량은 기어 1단에서 0.05W, 2단 0.20W, 3단

0.18W, 4단 0.34W, 5단 0.82W, 6단 0.89W, 7단 1.20W, 8단 2.85W, 9단 4.89W로서 거의 비슷한 발전량을 나타내어서, 본드선도를 이용한 모델링 및 시뮬레이션 프로그램의 유용성을 확인할 수 있다. Fig. 5는 모형 파력발전장치를 대상으로 기어비 1~9단으로 변경하면서 전기서보모터에 인가된 전력과 발전기에서 생산된 전력을 나타낸 것으로, 각 단에서 이송장치 왕복 이동거리는 10~40 cm, 주기는 0.1~1.25Hz로 변화시키면서 20번의 실험을 반복하였다. 현재까지 개발된 대부분 파력발전장치의 경우 파랑에너지에 대한 평균 에너지 흡수효율은 12% 이하로 나타내고 있어서⁵⁾, 이 연구에서는 실내 모의 장치임을 감안하여 목표 발전효율을 14%로 결정하였다. 그림에서 사선으로 표시된 선이 목표 발전효율을 나타낸다. 입·출력 전력에 대한 발전효율은 기어비 1단에서 13.0%, 2단 14.1%, 3단 14.1%, 4단 14.5%, 5단 16.4%, 6단 16.8%, 7단 15.8%, 8단 16.6% 및 9단 13.4%로 나타나 어느 정도 안정된 발전효율을 얻을 수 있었다. 기어비가 1~8단으로 높을수록 발전효율이 증가하였지만 9단에서는 다소 떨어지는 경향을 보이는데, 아마도 장치 제작상 내구

성이 기계장치 속도가 높을수록 기계적 마찰, 축심 이탈 및 기어장치의 백래시(backlash) 등이 상승되어 기계적 부하가 커지기 때문이라 판단된다. 각 단에서 속도가 상승하면 발전 효율이 올라가는 경향으로 볼 때, 발전기 제작시 최적의 발전 회전수 범위와 파력전달관의 이동 속도를 고려하여 기어비 설정을 결정해야 할 것으로 생각된다.

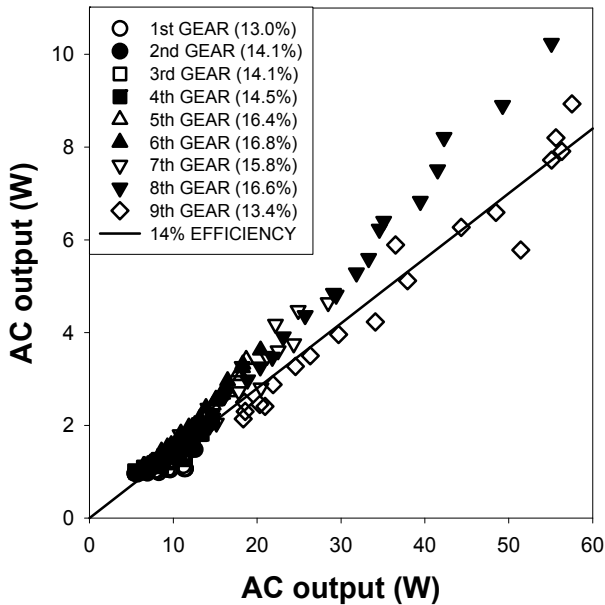


Fig. 5 Average AC generator efficiency of 1st to 9th gear ratio in model experiments

5. 결 론

이 연구에서는 해수면 부근에서 파랑의 수평운동 행정거리가 상하 왕복운동 행정거리보다 긴점을 이용하여 수평운동으로 전기를 발생시킬 수 있는 새로운 구조의 파력발전장치를 제안하였다. 제안한 파력발전장치의 실효성을 검증하기 위하여 기계-전기 시스템으로 구성된 모형 파력발전장치를 제작하고, 기본 파랑의 주기와 비슷한 모의 수평운동을 통하여 안정된 발전용 전기를 생산할 수 있음을 확인하였다. 실험을 통하여 제안한 장치는 발전 효율이 최

소 14%를 구현해 낼 수 있었다. 또한, 이 장치의 동력 변환에 대한 흐름을 이해하고 설계 한도를 파악하기 위하여 모델링 및 시뮬레이션도 수행하였다.

추후, 제안한 파력발전장치의 실제 적용 가능성을 확보하기 위하여 실제 조파수조에서 이 장치를 실험하고 안정된 발전시스템을 구현하려고 한다.

후 기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0143534)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- 1) S. H. Sin, K. Y. Hong, Challenge to the marine renewable energy wave power generation, Marine Science and Technology, Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion, Vol.6, 2013.
- 2) H. T. Do, M. T. Nguyen, C. B. Phan, S. Y. Lee, H. G. Park and K. K. Ahn, "Development of a Multi-Absorbing Wave Energy Converter using Pressure Coupling Principle," J. of the Korean Society for Fluid Power and Construction Equipments, Vol.11, No.4, pp.31-40, 2014
- 3) Y. D. Kim, K. Y. Hong, S. H. Sin, H. G. Yoo, S. H. Kim and J. Y. Park. Trends in Development of Practical Application of Wave Energy power in Local and Foreign, Ship Marine Technology, Vol.51, pp.73-80, 2011.
- 4) D. Karnopp and R. C. Rosenberg, System Dynamic; A Unified Approach, Wiley & Sons, New York, 1975.
- 5) S. W. Hong, Present and future of wave power generation, Journal of Electrical World, Vol.333, pp.18-28, 2004.