

브이용 파력발전시스템의 발전특성

오진석† · 곽준호* · 배수영* · 정성영* · 이지영**

(원고접수일 : 2008년 7월 2일, 원고수정일 : 2008년 9월 3일, 심사완료일 : 2008년 9월 17일)

Generation Characteristic of WEC for Buoy

Jin-Seok Oh† · Jun-Ho Kwak* · Soo-Young Bae* · Sung-Young Jung* · Ji-Young Lee**

Abstract : Marine facilities like buoy, lighthouse are operated with stand alone power supply system. This power system can consist of a stand-alone type power system such as PV(Photovoltaic) system, wave system or hybrid system which is not cooperated with a commercial power system. Generally, PV power system for marine facilities can not supply a sufficient power to buoy, because it is so influenced from weather condition. For solving this problem the hybrid power system with PV and wave is studied on a various area, that is why a hybrid power system is requires to overcome these problems. This paper will describe a generation characteristic of WEC(Wave Energy Converter) for buoy, and an AFS(Anti-Fouling System) influence on WEC.

Key words : WEC(파력 발전 장치), Bouy(브이), Anti-Fouling system(안티 파울링 시스템), Simulation(시뮬레이션), Marine facility(해양구조물)

1. 연구개요

해양에서 운용되는 해양시설물은 대부분 독립적인 전력체계를 갖추어야 한다. 이러한 독립형 전력 체계는 사용전원과 연계성을 갖지 못하므로 부하와 발전량에 따라 많은 제약을 가지고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 두 가지 이상의 발전체계를 연동하는 하이브리드 발전시스템에 대한 연구가 많이 수행되고 있다.

일반적으로 하이브리드 발전시스템은 태양광을 기반으로 풍력 및 파력을 연동하는 하이브리드 발

전체계에 대한 연구가 많은 관심을 모으고 있다. 태양광 발전원인 일사량과 파력 및 풍력의 발전원의 발생빈도는 약간의 상대성을 가지고 있다.

본 연구에서는 태양광 및 파력 하이브리드 전력 공급시스템에서 파력발전의 발전특성에 관한 연구를 체계적으로 수행하고자 한다. 또한 효율 저감을 방지하기 위한 AFS(Anti-Fouling System) 설계에 관한 연구내용을 기술하고자 한다. 파력발전 시스템의 효율저감 원인중에서 가장 심각한 영향을 미치는 것은 Water column 내의 해양생물 부착 정도이다. 파력발전효율을 개선하기 위한 AFS는

† 교신저자(한국해양대학교 선박전자기계공학부, E-mail: ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4283)

* 한국해양대학교 대학원 박사과정

** cardiff university the manufacturing engineering

전력소모를 최소화하고, 발전특성에 적합한 운용알고리즘을 구성하여 AFS용 전력시스템을 구축해야 한다.

파력발전시스템의 동작특성을 고찰하기 위하여 LabVIEW로 시뮬레이션을 수행하고, 수행결과를 기초로 WEC를 설계한다. 그리고 AFS용 전력체계에 대한 연구도 병행하여 제어특성 및 운용특성에 관한 연구내용도 제시하고자 한다.

2. 파력발전시스템의 발전특성

태양광 발전시스템의 효율 저감 원인은 조류의 배설물, 염분, 자연적인 효율저감 등이 주요 요인이다. 그러므로 해양시설물에 PV 판넬을 적절하게 배치하고, 조류가 앉을 수 없도록 보조설비를 갖추면 자연적인 효율감소를 제외하고 해결이 가능하다. 그러나 기상에 따른 발전효율 저감은 특별한 대안이 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 태양광과 파력 기반의 하이브리드 발전시스템에 대하여 연구를 수행하였다. 일반적으로 파력발전시스템은 초기의 발전효율이 해양생물에 의하여 급격히 감소하는 특성을 가지고 있다. 이러한 해양생물을 억제할 수 있는 우수한 성능을 가진 AFS가 필요하다. 해양생물이 부착하면 Water column 단면적이 줄어들고, 이로 인해 파력발전시스템의 발전효율이 감소한다. 해양생물의 부착에 따른 Water column 단면적 감소는 발전효율에 심각한 영향을 미친다. Water column에 출입하는 해수량은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_w = S \cdot Z_0 \cdot \omega \cos \omega t \tag{1}$$

여기서 Z_0 는 브이의 상하진동 변위의 진폭, S 는 단면적, ω 는 각속도이다. 여기서 Water column에 출입하는 최대 해수량 Q_{wm} 은 $S \cdot Z_0 \cdot \omega$ 가 된다. 파력발전시스템의 발전효율은 해상에 설치 후 시간이 경과함에 따라 해양생물 부착으로 인해 급격히 감소한다. Fig. 1에 파력발전시스템 Water column 내부의 해양생물에 의한 단면적 변화를 도시하였다.

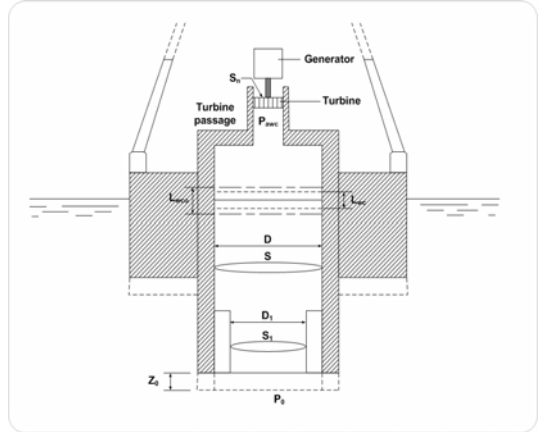


Fig. 1 Schematic diagram of a resonant WEC

해양생물이 부착한 경우의 해수 유입량 Q_{wmL} 은 식(2)와 같이 주어진다.

$$Q_{wmL} = \frac{S_1}{S} \cdot \frac{T}{T_1} \cdot Q_{wm} \tag{2}$$

여기서 S_1 은 해양생물이 부착한 경우의 Water column 단면적, T_1 은 해양생물이 부착한 상태의 브이 상하운동 주기이다. 해양생물이 부착한 상태에서 Water column 내부 수위변화량 L_{wc} 와 해수유입량 Q_{wmL} 은 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{wc} = \frac{2 \cdot Q_{wmL}}{S \cdot \omega_1} = \frac{S_1 \cdot T \cdot Q_{wm}}{\pi \cdot S^2} \tag{3}$$

해양생물이 부착한 경우의 공기유량 Q_{amL} 은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{amL} = \frac{T \cdot S_1 \cdot Q_{wm}}{S \cdot T_1} \tag{4}$$

Fig.2는 AFS가 없는 경우 다양한 해양생물에 의한 출력변화를 도시한 것이다^[1].

Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 AFS가 없는 경우 설치 약 4개월 경과한 시점에 30% 이상 효율이 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과는 실제 해양 상태에 따라 약간의 차이는 있지만 효율 저감 추세는 유사한 결과를 갖는다.

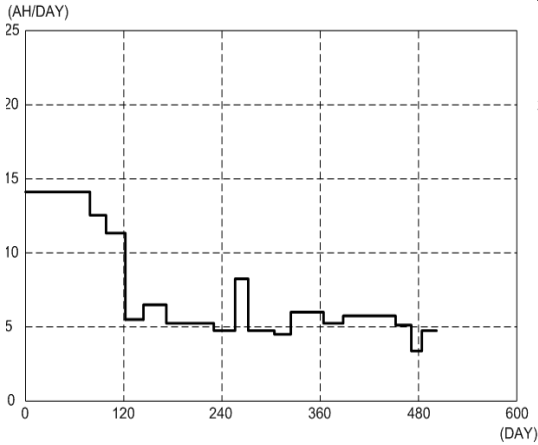


Fig. 2 Output characteristic of WEC without AFS

해양시설물에 적용하기 위한 하이브리드 파력발전시스템의 Water column 내부압력 P_{awc} 는 식(5)과 같다. 여기서 η_n 은 노즐효율, γ 은 터빈 반동도, S_t 은 터어빈 축 단면적, ρ_a 는 공기밀도이다^[1].

$$P_{awc} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot \frac{1}{\eta_n} \cdot \frac{1}{(1-\gamma)} \cdot \frac{1}{(S_t)^2} \cdot \left(\frac{T \cdot S_1 \cdot Q_{wmc}}{S \cdot T_1} \right)^2 \quad (5)$$

본 연구결과를 검증하기 위한 해역인 태종대 근처의 파고 주기 및 파고높이의 출현률은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 파고 높이는 2m 이하가 대부분 출현 하며, 주기는 4초에서 6초 사이가 가장 많다. 일반적으로 브이의 상하운동주기 T 는 식(6)를 이용하여 구할 수 있다. 여기서 W 는 표체중량, m 은 부가질량계수, A 는 흡수부 건수선 단면적, ρ_w 는 해수 비중량, g 는 중력가속도이다^[1].

$$T = 2\pi \sqrt{W(1+m)/A\rho_w g} \quad (6)$$

본 연구에서는 Water column 내부압력 P_{awc} 와 브이의 상하운동주기 T 를 고려하여 최대 출력을 얻을 수 있도록 WEC를 설계하고자 한다. 또한 출력감소를 최대한 억제할 수 있도록 AFS를 WEC에 적합하게 설계한다.

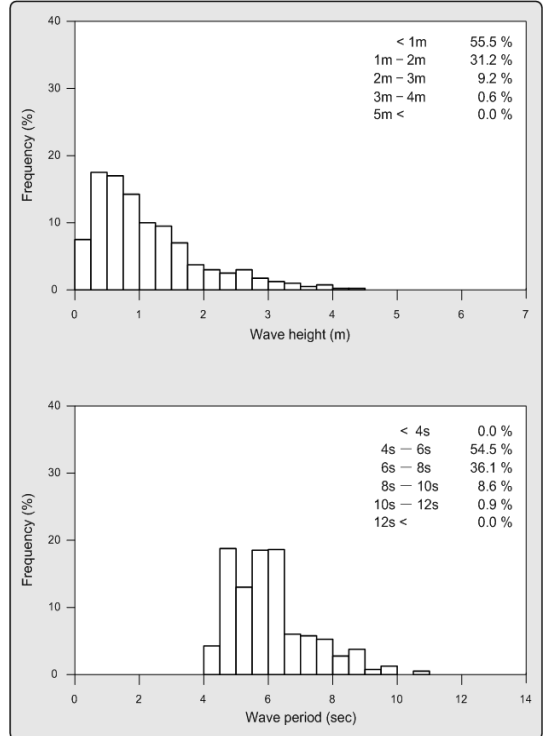


Fig. 3 Appearance rate of wave height and wave period

3. AFS 설계

해상에 설치되는 다양한 시설물에는 일정시간이 경과하면 해양생물이 부착하여 여러가지 영향을 미친다. 이러한 해양생물은 직간접적으로 시설물의 고유특성에 영향을 주므로, 이러한 영향을 최소화하기 위하여 적합한 억제시스템에 대하여 많은 연구를 수행하고 있다.

본 연구 대상인 해양시설물용 파력발전시스템에 부착하는 다양한 해양생물을 제거하기 위해서는 화학적 방식, 전기적 방식 등 몇 가지 방법의 AFS가 연구되고 있다. 본 연구에서는 전기적 방식을 이용하여 파력발전시스템 Water column내부에 부착하는 해양생물을 억제하는 방법을 적용하였다. AFS 제어기는 전기적인 양극에 해양생물의 부착 정도에 따라 양극인 Cu 에 필요한 전류를 인가하면 공급된 전류만큼의 Cu^{2+} 이온이 용출되어 해양생물의 부착을 억제한다. 해양생물의 억제과정은 일정 이상의 해양생물이 부착하면 0.4A씩 전류량을 증가

하고, 해양생물이 일정 수준 이하로 부착하면 전류량을 0.24씩 감소한다. Anode에 흐르는 최소 통전 전류를 0.4A로 설정하여 시스템을 전력공급 특성을 안정화 시킨다.

Fig. 4는 AFS 제어시스템의 계통도를 나타내고 있다. AFS는 파워발전량과 축전지 전압으로 브이 내부에 붙어있는 해양생물의 두께를 감지하여 Anode에 흐르는 전류량을 적절하게 제어한다. 이와 같은 데이터는 TCP/IP 규격의 무선통신을 통하여 Host PC 측에 전달되어진다.

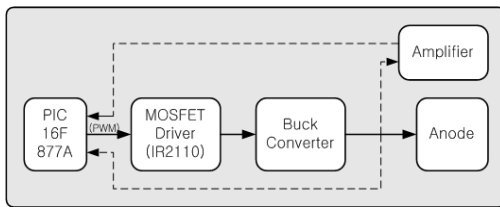


Fig. 4 Power control system for AFS

Fig. 4에 도시한 제어시스템에서 Anode에 공급되는 전력은 AFS용 보조축전지를 전원으로 사용할 수 있도록 구성하며, Anode인 구리봉에 흐르는 전류는 발전 특성에 적합한 최적제어 알고리즘으로 제어한다. Anode인 구리봉 소모량은 유입해수량에 따라 변하므로 유입파고의 주기와 높이 및 water column의 단면적에 영향을 받는다. 더불어 본 연구에서는 전력소모를 최소화 하고, 등명기용 축전지가 만충전 상태일 때 AFS와 보조축전지에 전력을 공급하는 메카니즘을 갖도록 하였다. 전력체계를 최적화하기 위하여 전력관리시스템인 회로절환기법을 해양시설물용 AFS 설계 및 운용알고리즘에 반영하였다.

4. 시뮬레이션 및 실험

발전특성을 고찰하기 위하여 시뮬레이션에 필요한 데이터는 실험역인 부산 태종대의 해양환경 데이터를 활용하였다. 이 구역의 파고의 주기는 4.6sec가 출현빈도가 가장 높게 나타났으며, 파고높이는 2m 이하가 가장 많이 출현하는 것으로 조사되었다. 본 시뮬레이션에서 주기는 5sec로 정

하여 수행하였다.

해양생물이 부착한 경우의 해수유입량과 water column 내부 수위변화는 해수유입량에 따라 선형성을 가지고 있다.

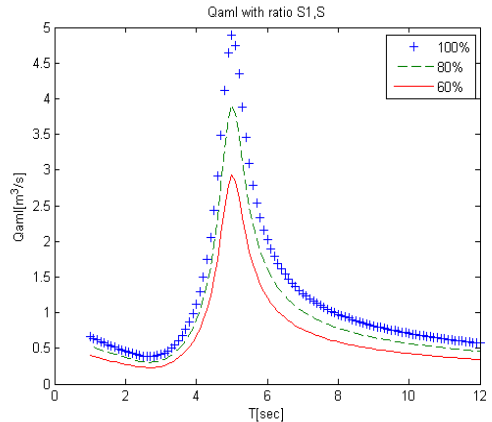


Fig. 5 Relationship between air volume (Q_{amL}) and square ratio ($\frac{S_1}{S}$)

Fig. 5는 주기 5sec를 기준으로 해양생물이 부착한 경우의 공기유량을 나타낸 것이다. 해양생물 부착상태에 따른 단면적변화와 공기유량은 상반된 관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 단면적과 주기의 비에 따른 water column내부의 압력변화를 도시한 것이다. WEC용 터빈 구동용 압력으로 공기유량과 유사한 특성을 가지며, 단면적비의 감소에 따라 압력도 감소함을 알 수 있다.

파력발전용 진동형 브이의 발전량은 터빈 입구의 압력이 높아질수록 발전량도 높아진다. 터빈 입구의 압력은 브이의 water column내부 물의 상하 이동과 비례하며 물의 상하 이동은 표면파의 주기와 브이 고유 진동수가 일치할 때 최대가 된다. 본 연구에서 표면파 주기가 5sec일 때 브이 상하 이동 변위는 최대가 되도록 설계하였다. 이 경우에도 해양생물의 부착에 따라 WEC의 출력이 급속히 감소함을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다. 이를 방지하기 위하여 AFS를 설치하여 해양생물의 부착을 억제하여 단면적비 감소를 최소화하였다.

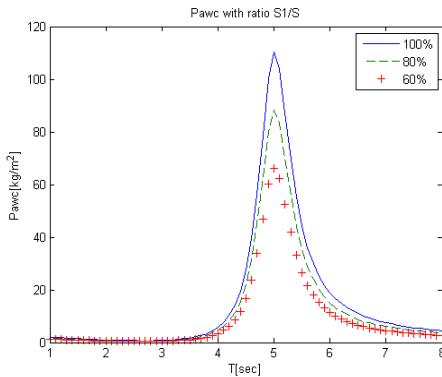


Fig. 6 Relationship between the pressure difference (P_{awc}) in the internal water column and square ratio ($\frac{S_1}{S}$)

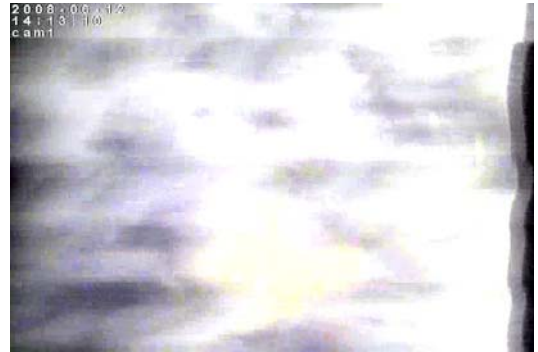


Fig. 8 Photograph of the inside wall of the water column after 1 month

5. 결 론

본 논문은 브이용 파력발전시스템의 발전특성을 water column 내부압력 특성과 연계하여 고찰하고, 발전특성에 가장 많은 영향을 미치는 해양생물의 영향을 연구하였다. 이를 위해 시뮬레이션을 수행하였고, 시뮬레이션 결과 water column 직경 감소가 파력발전 효율을 저감시키는 것을 알 수 있었다. 이 문제를 해결하기 위해 파력발전시스템에 적합한 AFS를 설계하였다.

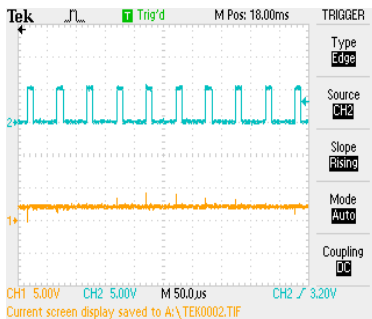
이상의 연구결과 파력발전시스템의 발전특성은 water column의 단면적비에 직접적인 영향을 받고 있으며, 단면적비의 감소는 발전출력 감소에 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 그러므로 파력발전시스템의 발전특성을 유지하기 위해서는 본 연구에서 제안한 AFS를 설치하여 해양생물 부착을 억제하여 단면적비를 일정히 유지하는 것이 필요하다.

후 기

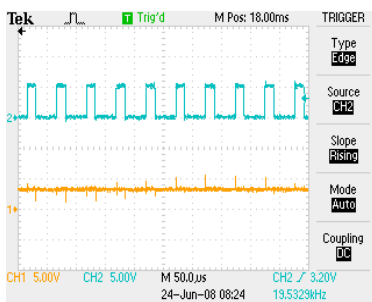
본 연구는 국토해양부 “해양시설물용 Hybrid 전력생산시스템 기술개발”의 지원으로 작성 됨.

참고문헌

[1] Ryokuseisha corporation, "Measuring of output power of wave activated



(a) 0.4A



(b) 0.6A

Fig. 7 Current control process for AFS

Fig. 7은 AFS 동작용 스위칭 전류 제어과정을 나타내고 있으며, 실험결과와 같이 해양생물의 부착 상태에 따라 전류 증감 자동으로 제어가 가능하다.

Fig. 8은 AFS가 동작한(약 1개월) 상태에서의 Water column 내부의 상태를 촬영한 것이다.

- generator fitted on lighted buoy in the field", Technical report, pp. 63-74
- [2] Jin-Seok Oh, Jong-Do Lee, Han-Il Park and Toshimitsu Komatsu, "Design and analysis of wave energy converter for a buoy", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.21, No. 12, 2007
- [3] Lars Johanning, George H. Smith, Julian Wolfram, "Measurements of static and dynamic mooring line damping and their importance for floating WEC devices", Ocean Engineering, 34, pp. 1918-1934, 2007
- [4] Jose Perdigao, Antonio Sarmiento, "Overall-efficiency optimisation in OWC devices", Applied Ocean Research, 25, pp. 157-166, 2003
- [5] T. Setoguchi, S. Santhakumar, M. Tako, T.H. Kim, K. Kaneko, "A modified Wells turbine for wave energy conversion", Renewable Energy, 28, pp. 79-91, 2003
- [6] Gil Su Yoon, Yong Jig Kim, Dong Joon Kim, Sin Young Kang, "Analysis of Wave Load and Mooring System for Ocean Monitoring Facilities", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol.1, No.1, 1998
- [7] Yun-hyung Kim, Jin-Seok Oh, Toshimitsu Komatsu, "Analysis and Design of Wave Energy Conversion Buoy", The first (2008) ISOPE frontier energy resources symposium, Vol.1, pp 331-335

저 자 소 개



오진석(吳珍錫)

1960년 3월생. 한국해양대 졸업.공학박사 영국ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대 전임강사, 조교수, 학과장. 1996년~현재 한국해양대 전임강사, 조교수, 부교수, 교수. 2001년~2002년 영국 CARDIFF대학 교환교수. 2002년~현재 산학연컨소시엄 사업단장. 2002년~2004년 한국마린엔지니어링학회 편집위원. 2002년~현재 한국산학연논문집 편집위원. 2003년~2006 영국 K.O.Tech 연구원, 2005년~2006년 부·울 산학연 협의회 회장



곽준호(郭俊浩)

1980년 7월생. 2003년 한국해양대학교 기관시스템공학부 전기전자제어전공 졸업(공학사), 2005년 동대학원 졸업(공학석사), 현재 동대학원 박사과정, 수중운동체특화연구소 연구원.



배수영(裴修英)

1984년 4월생. 2008년 한국해양대학교 선박전자기계공학부 전기전자 전공(공학사), 현재 동 대학원 석사과정



정성영(鄭星泳)

1985년 4월생. 2008년 한국해양대학교 선박전자기계공학부 제어시스템 전공(공학사), 현재 동 대학원 석사과정



이지영(李智英)

1977년 5월생. 2002년 한국해양대학교 운항시스템공학부 기관과정 졸업. 2002년~2004년 한국해양대학교 대학원 졸업. 2004년~현재 cardiff university the manufacturing engineering 박사과정