

# 파랑의 특성을 반영한 파력발전용 전력변환장치 제어 특성 분석

노 찬<sup>1,2\*</sup>, 김경환<sup>1</sup>, 곽상신<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>선박해양플랜트연구소, <sup>2</sup>중앙대학교

## Performance Analysis of PCS for Wave Energy Converter Reflecting Characteristics of Wave Energy

Roh Chan<sup>1,2\*</sup>, Kyong-Hwan Kim<sup>1</sup>, Sang-Shin Kwak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, <sup>2</sup> Chung-ang University

### ABSTRACT

신재생에너지 중에서 풍력발전은 많은 연구가 진행되면서 상용화가 진행되었다. 하지만 파력발전은 세계적으로도 연구가 부족하고, 다양한 파력발전장치의 형태가 존재하면서 최적화에 대한 고민과 함께 아직 상용화에 접근하지 못하고 있다. 또한 풍력발전보다 더 많은 에너지 변환 단계가 존재하고, 파랑의 특성에 따른 입력 에너지가 급격하게 변화하기 때문에 파력발전용 PCS는 제어가 복잡하다. 본 논문에서는 파력발전장치의 각 단계의 실측 데이터를 기반으로 파랑의 특성을 반영한 에너지원의 모델링을 진행하고 이를 기반으로 파력발전용 PCS 제어 특성 분석을 진행한다. 파력발전용 PCS는 백투백 컨버터(back to back converter)로 구성하고, PI 제어기 기반의 SVPWM을 사용한다. 결론적으로 본 연구를 기반으로 파력발전용 PCS 제어기 구성을 통한 향후 연구방향을 도출할 수 있을 것이다.

(Space Vector PWM, SVPWM)을 제안했고, 이는 기계적 제어 방법보다 빠른 응답과 높은 효율을 나타내었다. 하지만 대부분에 연구가 실제 운영을 반영한 제어 기법 연구보다는 실험 스케일에서의 제어 기법 연구였다. 이는 실험역 시험에서 발생할 수 있는 문제점과 파랑 에너지의 특성을 정확히 반영하기 어렵다.

본 논문에서는 실험역 시험중인 파력발전장치의 각 단계의 실측 데이터를 기반으로 파랑의 특성을 반영한 에너지원의 모델링을 진행하고, 이를 기반으로 파력발전용 전력변환장치 제어 특성 분석을 진행한다. 파력발전용 전력변환장치는 백투백 컨버터(back to back converter)로 구성하고, PI 제어기 기반의 SVPWM을 사용한다. 결론적으로 본 연구를 기반으로 파력발전용 전력변환장치 제어를 위한 연구방향을 도출할 수 있을 것이다.

### 1. 서론

화석 에너지의 고갈과 환경 문제에 따른 재생에너지를 활용한 발전 장치에 대한 관심이 높아지고 있다. 많은 재생에너지 시스템이 화석 에너지의 대체 에너지로 고려되고 있지만, 지형 특성상 국토는 좁고 바다에 인접한 부분이 많기 때문에 해양 에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 해양에너지는 에너지 밀도가 높기 때문에 해양에너지는 한국의 지리적 특성상 유용한 자원이 될 것이다.

해양에너지를 이용한 발전장치 중 파도를 이용한 파력발전 장치는 다양한 종류가 존재한다. 그 중에서 진동수주(Oscillating Water Column, OWC)형 파력발전장치는 직접적으로 기계장치가 해수에 접촉하지 않기 때문에 상대적으로 내구성이 뛰어나다. 특히 OWC는 방파제 역할로서 가장 좋은 평판을 얻고 있어서 최근에 몇몇 회사가 바다에서 OWC 개발을 시도하고 있다.

파력발전의 제어는 다양하게 연구되었으며, 크게 기계적 제어와 전기적 제어로 연구를 진행하였다.<sup>[1]</sup> 기계적 제어 방법은 위상제어, 래칭제어, 최적 제어 등 다양한 방법들이 연구되었고, 전기적 제어는 Proportional Integral(PI) 제어, 전력 제어 등이 연구 되었다. 하지만 전기적 제어 방법보다 파랑 에너지의 공진 조건을 이용한 기계적 제어 연구가 주를 이루었고, 이는 전력변환장치의 제어기 구현에 어려움을 제공하였다. 논문<sup>[2]</sup>에서는 전력변환장치 모델링을 통한 단순한 백터제어기법

### 2. 파력발전장치의 구성과 특성

#### 2.1 OWC의 구성과 원리

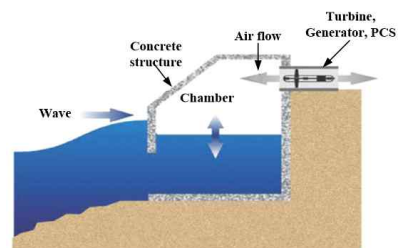


그림 1 OWC 파력발전장치의 구성도  
 Fig. 1 Construction diagram of OWC wave power generator

OWC 파력발전장치의 구성도는 그림 1에 나타난다. OWC의 발전 원리는 파랑 에너지를 공기 에너지로 변환하는 1차 에너지 변환장치와 공기 에너지를 기계 에너지로 변환하는 2차 에너지 변환장치와 기계 에너지를 전기 에너지로 변환하는 3차 에너지 변환장치로 구성된다. 파랑 에너지에 따라서 진동수주실 안에서 수위가 변화하게 되고, 수위 변화에 따라서 터빈으로 공기의 흐름이 발생하게 된다. 이에 따라 터빈이 회전하게 되고, 터빈 회전에 따라서 발전기가 전력을 생산하게 된다. 하지만 풍력이나 다른 재생에너지와 다르게 파랑 에너지는 불규칙적이고, 변동성이 큰 에너지원이 된다. 터빈의 관성이나 기계적

인 제어 시스템이 존재하긴 하지만 계통에 연계해서 발전을 하기 위해서는 전력변환장치의 역할과 제어가 매우 중요한 요소가 된다.

## 2.2 파랑 에너지의 특성

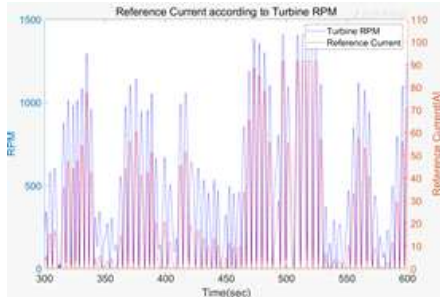


그림 2 파랑 조건(Hs=1.75, Te=8.75)에 따른 발전기 RPM과 최대 전력 제어를 위한 기준 전류

Fig. 2 Generator RPM and current reference for MPPT control according to condition of wave energy(Hs=1.75, Te=8.75)

그림 2는 실제 해역에서 발생하는 파랑 조건에 따른 발전기 RPM과 기준 전류 값을 나타내고 있다. OWC 파력발전장치 제어를 위해서 발전기의 RPM을 측정해서 최대전력제어(MPPT)를 위한 기준 전류 값을 계산한다. 그림 2에 나타난 것처럼 발전기의 RPM이 급격하게 변화하는 파랑 에너지의 특성상 기준 전류 값은 그것에 따라서 급격하게 변화하게 된다. 위 그림에 나타난 조건처럼 주기가 8초인 파랑 조건에서는 입력 에너지가 4초(반주기)에 한번씩 에너지가 변화하는 특성이 나타난다.

## 3. 시뮬레이션 결과

### 3.1 파랑 에너지 모델링 결과

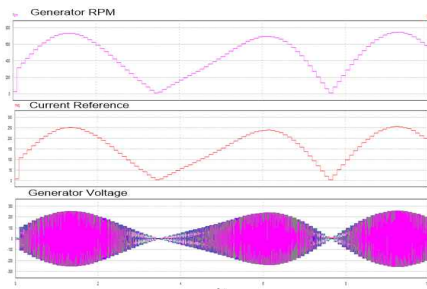


그림 3 파랑 조건에 따른 발전기 출력 특성 시뮬레이터 결과  
Fig. 3 Simulation result of generator output according to the condition of wave energy

그림 3은 OWC 파력발전용 전력변환장치의 특성을 확인하기 위해서 그림 2에 나타난 입력 데이터를 기반으로 발전기의 출력 특성을 단순화한 모델이다. 발전기의 역기전력은 역기전력 상수( $k_e$ )와 발전기 RPM( $\omega_{rpm}$ )을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$E_{max} = k_e * \omega_{rpm} \quad (1)$$

최대출력제어(MPPT)를 위한 기준전류 값은 발전기의 입력 파워( $P_{mech}$ )와 식(1)을 이용해서 다음과 같이 계산하였다.

$$I_{max} = \sqrt{2} \left( \frac{P_{mech}}{3 * E_{max} / \sqrt{2}} \right) \quad (2)$$

## 3.2 파력발전용 전력변환장치 성능 분석

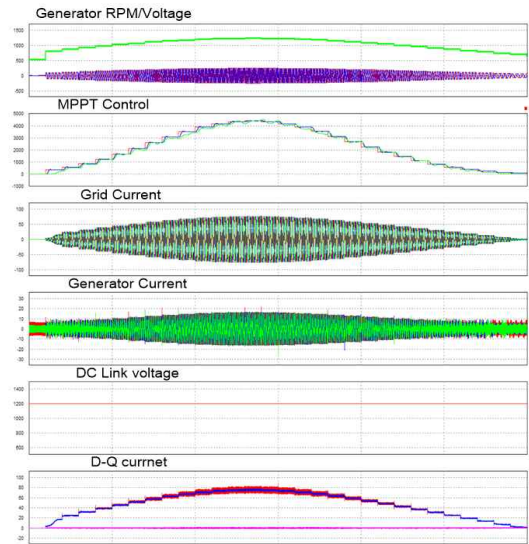


그림 4 파력발전용 전력변환장치의 출력성능 특성 결과  
Fig. 4 Simulation result of power converter output for wave energy converter

그림 4는 파력발전용 전력변환장치의 출력성능을 나타낸다. 입력 에너지는 그림 3에 나타난 단순화된 발전기 모델을 사용했다. 시뮬레이션은 PI제어기 기반의 SVPWM을 사용하였다. 본 시뮬레이션을 통해 MPPT 제어가 가능한 파력발전용 전력변환장치를 구현했고, 입력/출력 전류 제어가 가능한 것을 확인할 수 있다. 본 시뮬레이션을 통해서 향후 파력발전용 연구 방향으로 발전기 RPM의 급격한 변화에 따른 입출력 전류에 영향 분석 및 극복 방안과 실해역 시험에서 발생하는 현상들을 분석할 수 있을 것이다.

## 4. 결론

본 논문은 파력발전용 전력변환장치의 성능 분석을 진행하였다. 기존의 연구들과는 다르게 실해역 시험에서 얻은 입력 데이터를 기반으로 발전기의 단순화 모델을 구축하였고, 이를 기반으로 전력변환장치의 출력 성능을 분석하였다. 본 시뮬레이션을 이용해서 향후 연구 방향 도출과 실해역에서 발생하는 현상들을 분석할 것이다.

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “파력발전 통합 성능 및 구조안정성 해석기반 구축을 위한 WECAN 개발”에 의해 수행되었습니다(PES3240).

## 참고 문헌

- [1] Falcao, A.F.O., “Hydrodynamics of the IPS buoy wave energy converter including the effect of non-uniform acceleration tube cross section”, *Renew Energy*, 41, 105-114, 2012.
- [2] Park, J.S., Hyon, B.J., Yun, J.B., Lee, J., Choi, J.Y., Choi, J.S., Hong, K.Y., “Vector control for wave power generation system using permanent magnet linear synchronous generator”, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*. 19(2), 120-128, 2016.