

# 영구자석 전동기를 이용한 파력 모델 시뮬레이터 개발

현병조, 박준성, 김진홍, 최준혁  
전자부품연구원

## Development of Wave Model Simulator Using PMSM

Byongjo Hyon, Joon Sung Park, Jin Hong Kim, Jun Hyuk Choi  
Korea Electronics Technology Institute

### ABSTRACT

최근 에너지 문제가 많은 이슈로 떠오르면서 자연으로부터 에너지를 얻는 신재생 에너지에 대한 관심이 높아지면서 많은 연구가 이루어지고 있다. 그중에서도 파력 발전은 파도의 에너지를 이용해 부이의 움직임을 파력 PCS(Power Conditioning System)가 제어하여 발전을 이루는 방식이다. 파도의 움직임에 따라 부이의 운동이 선형발전기를 통해 에너지를 얻을 수 있다. 하지만 파도의 모델은 규칙적인 정현파가 아니고 주기나 속도의 움직임이 일정하지 않다는 특성을 가지고 있다. 이러한 파도의 움직임을 잘 묘사하는 것이 파력 발전 제어 전략 수립에 있어서 매우 중요하다. 본 논문에서는 이러한 파도의 움직임을 묘사하기 위한 시뮬레이터를 구현하였다. 선형발전기 대신 원형의 영구자석 전동기를 이용해 파도의 움직임을 구현하였다. 시뮬레이션 및 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 환경에 대한 이슈와 화석에너지에 대한 문제로 인해 신재생에너지의 활용에 대한 관심이 높아지고 있다. 화석에너지의 대체에너지를 얻어내기 위해 다양한 신재생 에너지 발전 방식에 대해 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 해양에너지를 이용한 신재생 발전방식에 대한 관심이 높은 가운데 많은 연구가 이루어지고 있다. 파도에너지는 에너지 밀도가 매우 높은 에너지원으로 국토면적이 좁고 바다와 인접한 한국의 지형 특성으로 볼 때 매우 유용한 자원이 될 것으로 보인다.

파력 발전은 파도의 위치 에너지와 운동에너지를 이용하는 발전 방식으로 효율적인 에너지 추출을 위해서는 파도의 움직임을 잘 모델링하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 파도의 움직임을 묘사하기 위한 파력 모델 시뮬레이터를 구현하였다. 선형발전기 대신 원형의 영구자석전동기를 이용해 파도의 움직임을 구현하였다. 시뮬레이션 및 실험을 통해 시뮬레이터를 검증하였다.

### 2. 시스템 구성 및 제어기 설계

#### 2.1 파력발전 시스템 모델링

그림 1은 파력 발전 시스템의 구성도이다. 파력 발전 시스템은 식 (1)과 같이 모델링이 가능하다.<sup>[1][2]</sup> 이 모델을 이용하여 파력 발전 제어를 위해 정리하면 식 (2) (4)와 같이 얻을 수

있다. q축 전류를 이용해서 파력 발전기의 추력을 제어할 수 있다. 그림 2는 10kW급 파력 발전 전력 변환 장치 제어 블록도를 나타낸다.

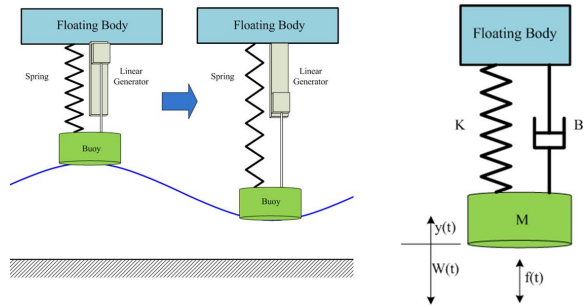


그림 1. 파력 발전 시스템의 구성도 및 모델링

$$f(t) = AgW(t) - y(t) = (M + m) \frac{d^2y(t)}{dt^2} + (c + b) \frac{dy(t)}{dt} + ky(t) \quad (1)$$

$$P = \frac{3}{2} (v_d i_d + v_q i_q) = \frac{3}{2} \omega \psi_{pm} i_q \quad (2)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{dy(t)}{dt} = \frac{\pi}{\tau} V \quad (3)$$

$$F = \frac{P}{V} = \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} \psi_{pm} i_q \quad (4)$$

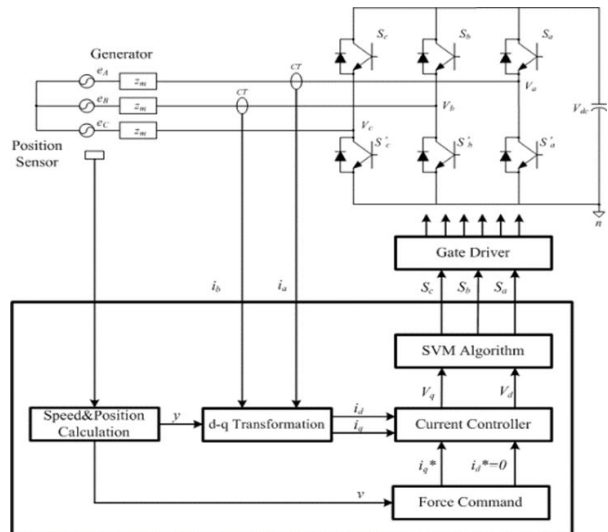


그림 2. 파력 발전 전력변환장치 제어 블록도

#### 2.2 파력 모델 시뮬레이터 개발

파력 발전 시스템의 제어전략 수립을 위해서 앞에서 유도한 식(1) (4)를 이용해 시뮬레이터를 구현하면 그림3과 같다.

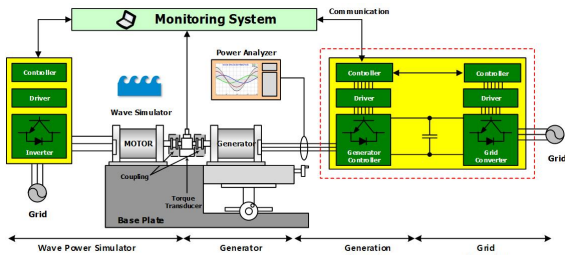


그림 3. 파력 발전용 10kW급 파력 모델 시뮬레이터 구성도

실제 파력 발전 시스템의 선형발전기에 대응하는 원형타입의 영구자석전동기를 이용한 축소모델을 통해 구현하였으며 파도 모델에 따른 파도의 움직임을 모사하기 위한 부하축 모터는 유도 전동기를 통해 구현하였다. 부하모터로 파도의 움직임을 속도제어를 통해 구현하여 발전기축 전동기를 q축 전류를 통해 제어하면서 그에따른 파도의 움직임을 다시 부하축 모터를 통해 제어하는 방식으로 구현하였다.

실제 파력 발전 시스템의 선형발전기에 대응하는 원형발전기는 시뮬레이션을 통해 100kW급 선형발전기의 속도, 역기전력을 고려하여 구현하고자 하는 시뮬레이터의 제어량을 결정하였다. 최대 3.7m/s의 선형발전기 최대 속도를 원형 발전기의 2500rpm에 대응하도록 하였고, 발전량은 전류를 통해 토크를 제어하여 10kW를 추출하도록 제어하였다. 발전기의 제어를 통해 damping값이 달라지고 이는 파도의 움직임에 변화를 가져 오게 된다. 파력 모델의 불규칙적인 움직임을 부하축 인버터로 지령치를 전송하여 구현하였다. 이러한 불규칙적인 파력 모델을 모사하기 위해서 전송하는 속도 지령치는 현재의 발전기 속도, 토크, damping을 바탕으로 파력 발전 시스템의 운동방정식 (1) (4)를 통해 다음 속도 지령치를 mapping하여 통신을 통해 부하축 인버터로 전송한다.

### 3. 시뮬레이션

표1은 10kW급 파력 모델 시뮬레이터의 발전기 사양을 나타낸다. 그림 4는 구현한 10kW급 파력 시뮬레이터 시스템이다. 테스트베드에 유도 전동기, 영구자석 전동기를 장착하였고 드라이브를 위해서 부하축 인버터 및 발전기 제어를 위한 10kW급 PCS를 연결하였다. 모니터링 시스템을 통해 발전기 및 PCS의 상황을 모니터링하고 제어하는 UI도 구현하였다.

표 1. 10kW급 파력 모델 시뮬레이터 발전기 사양

파라미터	단위	내용
극수		10
정격속도	RPM	4500
역기전력 상수	V/RPM	62.8
정격토크	Nm	43
최대속도	RPM	8000
최대 토크	Nm	125

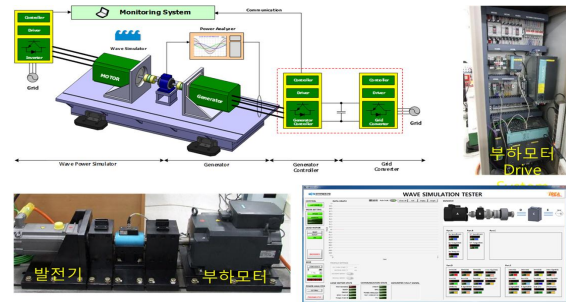


그림 4. 파력 모델 시뮬레이터 시스템 및 실험 셋업

구현한 시뮬레이터의 실험 과정 및 실제 파력 발전용 선형발전기의 시뮬레이션 비교과정은 그림 5와 같다. 왼쪽 과정은 파력 모델 운동방정식을 통해 시뮬레이션한 불규칙파의 속도 프로파일을 인가하여 시뮬레이터가 불규칙파를 잘 구현하는지 나타내었다. 오른쪽 그림은 파력 발전용 선형발전기의 선간전압 시뮬레이션 결과와 구현한 시뮬레이터의 실험 값을 비교한 것으로 시뮬레이션 값에 대응하는 실험값을 확인 하였다.

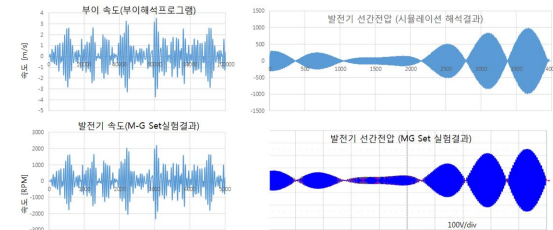


그림 5. 시뮬레이션 및 파력 모델 시뮬레이터 실험 결과

### 4. 결론

본 논문에서는 파력 발전 시스템의 제어 전략수립을 위해 파력 모델 시뮬레이터를 구현하였고 실험 및 실험을 통해 파도의 움직임을 모사하였다. 실제 파력 시스템의 100kW급 선형발전기에 대응하도록 10kW급 축소모델의 원형 영구자석 전동기를 이용해 시뮬레이터를 구현하였으며 시뮬레이션을 통한 속도, 역기전력 값과 시뮬레이터의 실험값과 비교하여 시뮬레이터의 파력 모델을 검증하였다.

이 논문은 해양수산부의 해양청정 에너지개발사업 "10MW급 부유식 파력 해상풍력 연계형 발전 통합제어기술 개발"의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

[1] Feng Wu ; Xiao Ping Zhang ; Ping Ju ; Sterling, M J H , "Modeling and Control of AWS Based Wave Energy Conversion System Integrated Into Power Grid", Power Systems, IEEE Transactions on Vol 23, Iss 3, pp 1196 1204 , 2008

[2] Polinder, H ; Slootweg, J G ; Compter, J C ; Hoeijmakers, M J , "Modelling a linear PM motor including magnetic saturation", Power Electronics, Machines and Drives, 2002 International Conference on (Conf Publ No 487),pp 632 637, 2002