

가동물체형 AFPM 파력 발전기용 시뮬레이터 구현 및 실험

조현길, 안현성, 김영철*, 차한주
충남대학교, 한국기계연구원*

Implementation and Experiment of Simulator for Floating Type AFPM Wave Power Generator

Hyeungil Jo, Hyunsung An, Young Cheol Kim*, Hanju Cha
Chungnam National University, Korea Institute of Machinery & Materials*

ABSTRACT

본 논문에서는 가동물체형 AFPM 파력 발전기용 시뮬레이터 구현 및 실험을 수행하였다. 파력 발전기는 파도의 에너지를 이용하여 부이의 움직임에 따라 발전하는 방식이다. 기존의 소형 파력 발전 시스템의 경우 단순히 전파 정류하여 축전지에 충전하는 방식을 사용한다. 그러나 전파 정류기를 사용하는 경우 파도에 속도에 따른 최적의 발전량을 제어하지 못해 발전 효율이 떨어지는 단점이 있지만, 인버터를 사용하는 경우 속도에 따른 발전량을 순시 적으로 제어할 수 있어 발전 효율을 높일 수 있다. AFPM 파력 발전기의 제어를 위하여 전류제어기와 센서리스 알고리즘을 구성하였으며 구현된 제어기는 파력 발전 시뮬레이터 실험을 통하여 회전자 위치 추정 및 속도에 따른 제어 성능을 확인하였다.

1. 서 론

파력발전은 지구 표면의 대략 70[%] 정도를 차지하는 해양을 에너지 자원으로 이용한다. 우리나라 연안역에서도 개발 가능한 파력 에너지가 존재하고 있으며, 전문가들은 에너지 부존량을 대략 6,500[MW]로 전망했다. 특히 파력발전 시스템은 소규모로 개발할 수 있어 부이, 방파제로 활용할 수 있다. 현재 소형 파력발전에 관한 연구는 미국, 일본, 영국, 노르웨이 등에서 활발히 연구되고 있으며 현재 약 50여 종의 파력발전 장치가 고안되어 있다. 현재까지 소형 파력 발전기에는 발전기에서 생성된 전력을 정류 회로를 통해 DC로 변환하여 축전지에 저장하는 형식을 사용하고 있다. 그러나 정류기는 파도의 속도 및 높이에 따라 최적의 전력을 생성할 수 없으며 동기 발전기 전류에 고조파가 발생하여 발전기의 손실이 증가하는 단점이 있다. 따라서 발전기의 속도에 따라 최적의 전력을 제어할 수 있는 전력변환 장치의 연구가 요구되고 있다. 본 논문에서는 가동물체형 AFPM 파력 발전기의 제어 이전 회전자 위치를 추정하는 PLL 기법과 센서리스 제어 알고리즘을 구현하여 실험을 통해 임의의 속도에 관계없이 초기 회전자의 위치 추정과 센서리스 제어의 성능을 확인하였다.

2. 가동물체형 파력발전 시스템

가동물체형 파력발전은 설치형태에 따라 부유식(floating type), 고정식(fixed type) 으로 분류된다. 그림 1은 본 연구의

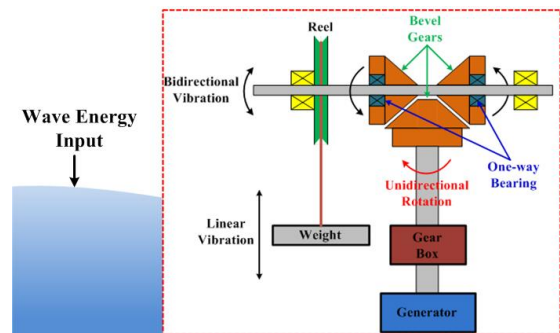


그림 1 가동물체형 상하운동 방식 파력발전 시스템 구조
Fig. 1 Floating type wave power generator system structure

모델인 부유식 중에서 상하운동형 방식의 파력발전 시스템 구조다.^[1] 본 시스템의 내부 구조는 크게 요요 진동시스템, 모션 정류 시스템, 동력 전달 시스템, 발전 시스템으로 구성되어 있다. 발전 원리는 파도의 에너지를 이용하여 무게추가 상하 운동을 한 후 이때 발생하는 운동에너지를 베벨기어, 원웨이 베어링, 기어를 통하여 운동에너지를 발전기에 전달하고 발전기는 전달받은 운동에너지를 이용하여 전기 에너지를 생산하는 방식이다.

3. 파력발전용 센서리스 제어

본 연구에서 사용한 AFPM(Axial Flux Permanent Magnet) 발전기는 일반적인 영구자석 동기기와 달리 자속 방향과 축이 평행한 방향이다. 파력발전용 AFPM 발전기의 구조상 엔코더를 사용할 수 없어 센서리스 제어가 필요하다. 또한, 발전기 제어 특성상 센서리스 제어 이전 회전자의 위치를 추정하는 별도의 알고리즘이 필요하다. 그림 2는 센서리스 제어 이전 회전자 위치 추정 PLL 블록도다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 각 상 역기전압을 입력받아 동기 좌표계로 변환 후 d축 전압을 이용하여 회전자의 위치를 추정한다. 파력 발전의 센서리스 제어 기법은 PI 상태 필터를 이용한 역기전압 추정기와 PLL 기반의 회전자 속도 및 위치 추정기법을 사용했다. 식 1, 2는 역기전압 추정기를 통한 1차 저역통과 필터 형태의 추정 결과이며 식 3은 회전자 속도 및 추정기의 전달함수 형태다. 식 1, 2에서 e_{ds,qs_est}^e , $e_{ds,qs}^e$, ω_{BEMF_bu} , θ_{elec_est} , θ_{elec} 은 각각 d, q축 상에서 역기전압 추정치, 실제 값, 역기전압 추정치의 대역폭, 추정 위치, 실제 위치를 나타낸다.

$$e_{ds,qs_est}^e = \frac{\omega_{BEMF_bu}}{s + \omega_{BEMF_bu}} e_{ds,qs}^e \quad (1)$$

$$\frac{\theta_{elec_est}}{\theta_{elec}} = \frac{k_{p_est_PLL}s + k_{i_est_PLL}}{s^2 + k_{p_est_PLL}s + k_{i_est_PLL}} \quad (2)$$

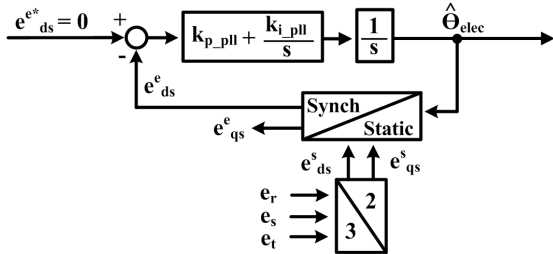


그림 2 파력발전용 회전자 위치 추정 PLL 블록도
Fig. 2 Rotor position estimator for wave power generator using PLL method

4. 파력발전 시뮬레이터 구현 및 실험

그림 3은 파력발전 시뮬레이터 구성도이며, 그림 4는 실제 구성된 시뮬레이터 모습이다. 그림 3에서는 파도의 에너지로부터 발전기에 에너지를 전달하는 기어박스까지 WET(Wave Energy Turbine)으로 표현했으며 발전기 및 3상 인버터, 센서리스 제어를 위한 센싱 회로 및 제어 보드, 발전기 제어의 성능을 알아보기 위한 전자부하로 구성되었다. 그림 4에서 실제 시뮬레이터에서는 유도기(기어드 방식)를 이용하여 구현했으며 파력 발전임을 고려하여 별도의 인버터를 통해 유도기를 임의의 속도로 제어했다. 실험은 초기위치 추정 PLL과 센서리스 제어의 연속성 실험과 d축 전류는 0[A], q축 전류는 2[A]로 설정하여 센서리스 제어의 성능을 확인하였다. 표 1은 AFPM 파력 발전기의 사양이다.

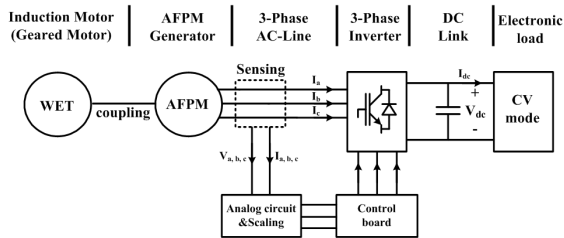


그림 3. 파력발전 시뮬레이터 구성도
Fig. 3 Wave power generating system simulator block diagram

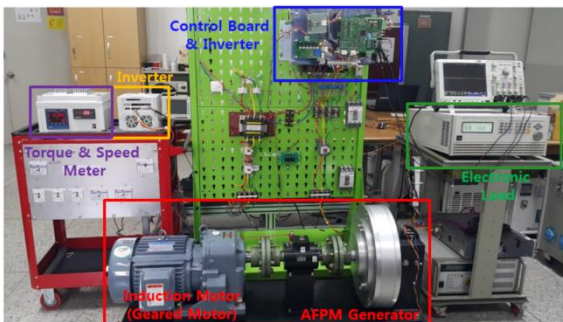


그림 4. 파력 발전 시뮬레이터
Fig. 4 Wave power generating simulator

표 1 AFPM 파력발전기 제정수

Table 1 AFPM wave power generator parameters

정격출력	1[kW]	정격속도	150[rpm]
정격 전압	230[V]	정격 전류	2.8[A]
정격 토크	120[N·m]	극수	24
고장자 저항	2.2[Ω]	d, q축 인덕턴스	2.9[mH]

그림 5를 통하여 속도영역에 상관없이 임의의 구간에서 센서리스 제어(PMW_{on})와 초기 위치추정 PLL(PMW_{off})에서 회전자의 위치는 과도상태 없이 전환되는 것을 알 수 있다. 그림 6을 통하여 임의의 속도에서 d축 전류와 q축 전류는 지령 값과 일치하게 제어되며 그에 따라 상전류의 최대, 최소크기는 ±2[A]를 유지하며 상전류와 회전자의 위치 추정 주기가 일치하는 것을 확인하였다.

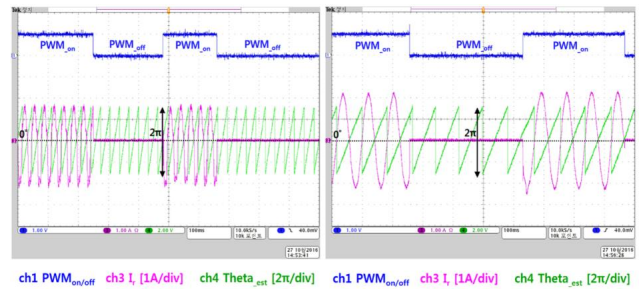


그림 5. 초기위치 PLL 및 센서리스 제어 전환 (a) 정격속도 영역 (b) 저속영역

Fig. 5 Initial rotor position PLL method and sensorless control switching (a) On rated Speed (b) On low speed

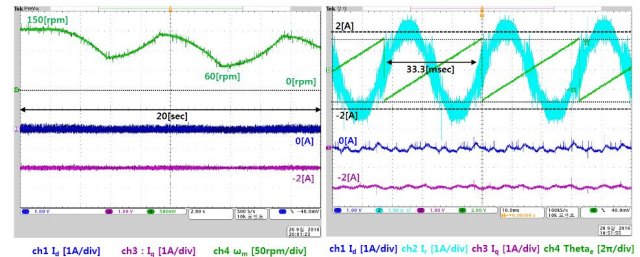


그림 6 센서리스 제어 결과 (a) 임의의 속도에서의 d, q축 전류 (b) 상전류 및 회전자 위치 추정

Fig. 6 Sensorless control (a) d, q current in random speed (b) phase current and estimated rotor position

4. 결론

본 논문에서는 가동물체형 AFPM 파력발전 시스템을 구현 및 실험하였다. 센서리스 제어 전 위치 추정 PLL과 역기전압 추정 기반의 센서리스 제어 알고리즘을 구현하여, 실험을 통해 모드 변경 시 과도 상태 없는 정상적인 전환과 임의의 속도에서 일정하게 ±2[A] 크기의 상전압을 출력하여 센서리스 제어의 성능을 확인하였다.

참고 문헌

[1] 심규호, 박지수, 장선준, “요요 진동시스템을 이용한 가동물체형 파력 발전시스템의 기계 전기 통합해석 모델링 및 성능 해석”, 대한기계학회 논문집, Vol. 39, No. 1, pp.79-87, 2015.