

연근해 파력발전 시스템의 출력 특성 분석

한 상헌, 윤 영두, 성 용준*, 최 윤희*
명지대학교, 인진*

Analysis of Output Power Characteristics for Inshore Wave Power Generation System

Sang Heon Han, Young Doo Yoon, Yongjun Sung*, Yoon hoi Choi*
Myongji University, ENGINE*

ABSTRACT

본 논문에서는 연근해 파력발전 시스템을 제안한다. 바다에는 부력체와 동력전달부만을 설치하고, 나머지 시스템은 육상에 설치하여, 기존의 원해 파력발전 시스템에 비해 초기 투자 비용이 저감된다. 연근해 파력발전 시스템의 축소 모형을 제작하였으며, 이를 통해, 연근해 파력발전 시스템의 출력 특성을 분석하였다. 제안된 시스템의 출력 특성이 풍력발전 시스템의 특성과 비슷하게 나타남을 확인할 수 있으며, 실현 가능성이 충분하다고 판단할 수 있다.

1. 서 론

오늘날 미래 에너지원으로 고갈될 염려가 없는 신재생에너지가 각광받고 있다. 신재생에너지 중 파력에는 단위면적당 풍력의 15배, 태양광의 50배나 많은 에너지가 들어있으며^[1], 밤과 낮에 상관없이 항상 존재하고 사용가능하며, 고갈의 염려가 없는 우수한 에너지원으로 100년 전부터 다양한 연구가 진행되었다.

기존의 파력발전은 심해에 설치되고 파도의 상하 운동에서만 에너지를 회수하였다. 기존 기술은 파도가 풍부하고 파력발전이 용이한 수심 20~40m 이상의 먼 바다입지를 전제로 하는 경우가 많다. 먼 바다입지를 전제로 하는 경우, 파력발전을 기술적으로 실현하는 데에는 용이함이 있으나, 모든 설비가 해양에 있어야 하고, 해저 송전 케이블을 설치해야 하므로, 초기 투자 비용이 높고 설비의 관리와 유지보수 비용 역시 높다.

기존의 파력발전 방식은 대부분 파도의 상하운동에서 에너지를 회수하는 1 자유도 방식이며, 이는 파도의 크기가 크고 상하 운동 성분이 충분하게 만들어지는 깊은 수심의 바다에 적합한 방식이다. 파도가 연안으로 올수록 수심이 얕아 지면서 상하 운동 성분은 줄어들고 수평 운동 성분이 많아지게 되므로, 연안에서 파력발전을 하기 위해서는 수평 운동에서도 에너지를 회수 할 필요가 있다.

본 논문에서 소개하는 기술은 발전 설비와 주요 설비들이 육상에 설치되고, 해양에 설치해야 하는 부분은 가까운 바다에 설치되는 부력체(Buoy)와 동력 전달부로 최소화함으로써, 해양 구조물에 대한 설치비용이 적고, 해저 송전 케이블 설치가 필요 없어, 초기 투자 비용이 기존 기술 대비 1/2 수준으로 매우 적다. 또한 파도의 상하운동과 수평운동 모두를 이용하는 6 자유도 에너지 회수 방식을 택하여, 연안의 파도에서도 변환 효



그림 1 연근해 파력발전 시스템 (파도 상승 시)

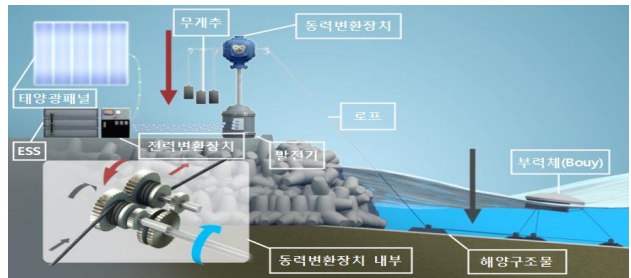


그림 2 연근해 파력발전 시스템 (파도 하강 시)

율이 높은 장점이 있다. 그러나 해저 부유물에 의해 해양 구조물이 손실되어지는 경우가 있어서 이에 대한 유지보수가 필요하며, 조수 간만의 차가 큰 지역에는 설치가 불가능한 단점이 있다.

2. 연근해 파력발전 시스템

2.1 파력발전 시스템 구성

그림 1과 그림 2는 파도의 변화에 따른 연근해 파력발전 시스템의 동작을 나타낸다. 파도 에너지는 부력체의 원 운동을 통하여 흡수된다. 부력체를 통해 흡수한 파도의 에너지는 로프를 통해 육상으로 전달된다. 로프의 왕복 운동은 동력변환장치에서 발전기를 돌릴 수 있는 회전 운동으로 변환된다. 부력체의 움직임에 따라 동력변환장치에서 변환된 토크는 발전기를 회전시키고, 파도의 에너지는 전기에너지로 변환된다. 전력변환 장치는 발전된 전력을 전력계통에 공급한다.

2.2 동력 변환 장치

파도의 에너지는 부력체에 체결된 로프를 통하여 에너지를 육상으로 전달한다. 상승과 하강을 반복하는 파도의 주기적 운동으로부터 기인한 로프의 왕복운동은 동력변환장치를 통해 양방향의 회전운동으로 변환된다. 동력변환 장치는 2개의 로프

드럼(Rope drum)과 출력축 사이에 원웨이 클러치 베어링(One way clutch bearing)으로 구성하였다. 두 개의 로프 드럼 중 하나에는 부력체와 연결되며, 나머지 하나에는 무게 추와 연결된다.

그림 1은 파도 상승 시의 동력변환장치 동작을 나타낸다. 파도가 상승할 때 부력 체 측 로프 드럼에 의하여 출력축에 회전 동력(빨간 화살표)을 만든다. 그와 동시에, 파도 에너지의 일부를 이용하여, 무게 추를 들어올린다. 그림 2는 파도 하강 시의 동작을 나타낸다. 상승한 무게 추의 위치 에너지를 이용하여, 무게 추 측 로프 드럼에 의해 출력축이 회전 동력(빨간색 화살표)을 만든다. 이 두 가지의 동작을 통해 발전기에 적합한 단방향의 회전 동력을 얻을 수 있다.

2.3 파도 에너지(Wave power)^[2]

연근해 파력발전 시스템의 단위 길이(1m) 당 파도 에너지(Power)는 식 (1)로 계산 할 수 있다.

$$P_{wave} = \frac{\rho g H^2 C_g}{8} [kW/m] \quad (1)$$

여기서, ρ 는 물의 밀도 [kg/m^3], g 는 중력가속도 [m/s^2], C_g 는 파도의 속도 [m/s], H 는 파고 [m]를 나타낸다. 따라서, 부력 체의 입력 에너지(Power)는 부력 체의 길이를 곱하여, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{buoy} = \frac{\rho g H^2 C_g b}{8} [kW] \quad (2)$$

여기서, b 는 부력 체의 너비 [m]를 나타낸다. 따라서, 파도의 속도와 파고를 통해, 파도의 입력 파워를 계산할 수 있다. 파도의 속도가 2.60m/s이고, 파고가 1m인 경우, 5m의 부력 체를 이용하면, 부력 체의 입력 파워는 약 16kW이다. 따라서, 부력 체를 여러 개 설치하여, 충분한 파도 에너지를 받을 수 있다.

2.4 축소 모형 파력발전 시스템

그림 3은 축소 모형으로 제작된 연근해 파력발전 시스템의 구성도이다. 파도를 만들어주는 조파기, 파도 에너지를 받는 부력 체, 운동에너지를 전달하는 로프, 파도의 반사파를 흡수하는 소파기, 운동에너지를 축 동력으로 변환하는 동력변환장치, 발전기, 무게추로 구성하였다. 이 모형을 통해, 파력발전 시스템의 출력 특성을 분석하였다.

2.4.1 파력발전 출력 특성 분석

출력 특성 분석을 위한 실험 조건은 다음과 같다.

수위 : 720 [mm]

조파기의 속도 : 38, 40, 42 [rpm]

부하기 : 전자부하 (동작모드: CC모드 / 0.1 ~ 0.7A)

축소 모형 시험에서, 발전된 전력을 전자 부하를 통해 소모하였다. 전자 부하를 이용하여 소모 전력을 조절해가면서 발전기의 회전 속도와 발전 전력을 측정하였다. 발전된 전력은 오실로스코프를 이용하여 발전기의 출력 전압과 출력 전류를 측정 후 계산하였다.

그림 4는 조파수조에 구현된 축소 모형 파력발전 시스템의 출력 특성을 나타낸다. 가로축은 발전기의 회전 속도를 나타내며, 세로축은 발전 전력을 나타낸다. 약 1000 [rpm] 이하의 속도에서는 출력 특성을 측정하지 못하였다. 이는 부하로 사용한 전자부하가 저속에서의 운전 조건에 해당하는 부하를 소모하지 못하였기 때문이다. 하지만, 최대 출력이 나타나는 운전 점은



그림 3 축소모형 연근해 파력발전 시스템

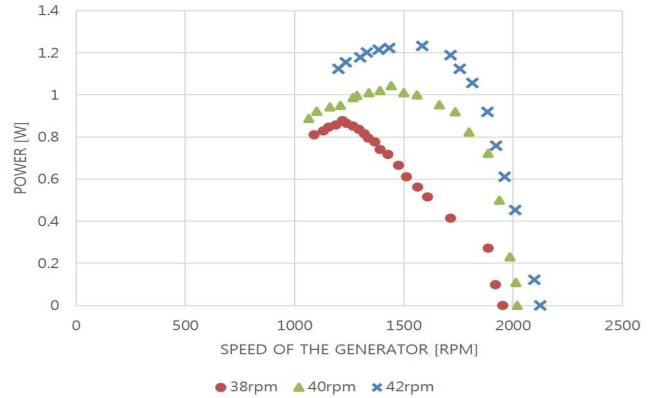


그림 4 축소모형 연근해 파력발전 시스템의 출력 특성

잘 측정 되었으며, 측정 결과를 통해 대략적인 파력발전 시스템의 출력 특성을 파악 할 수 있다.

풍력발전 시스템의 출력 특성 곡선^[3]과 제안된 파력발전 시스템의 출력 특성 곡선을 비교하여 볼 때 두 곡선의 경향이 비슷함을 확인할 수 있다. 추후, 최대 출력 추종(Maximum power point tracking) 제어를 통해, 최대 출력 운전점을 따라 파력발전 시스템을 운전할 수 있을 것이라 판단할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 새로운 연근해 파력 발전 시스템을 제안하였다. 새로운 토폴로지의 동력변환장치를 개발하였으며, 앞으로 개발 되어질 연근해 파력발전 기술에 대한 새로운 방향을 제시하였다. 또한 축소 모형 연근해 파력발전 시스템에서 파력발전 출력 특성 분석함으로써 풍력발전의 특성곡선과 경향이 비슷함을 확인하였다.

연근해 파력발전 시스템은 조수간만의 차가 적고 파도가 강한 점에서 저비용으로 고효율의 에너지를 발전할 수 있기 때문에 세계적으로 많은 활용을 예상할 수 있다.

이 논문은 산업기술혁신사업의 “도서(섬) 지역 전력 공급을 위한 분산발전용 50kW급 파력발전 시스템 시제품 개발 및 상용화” 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Michael E. McCormick, Ocean Wave Energy Conversion, Dover Publication. pp. 1 3.
- [2] Michael E. McCormick, Ocean Engineering Mechanics with Applications, Cambridge Univ. Press, pp. 44 72.
- [3] 정해광, 이교범, 풍력발전 시스템의 전력전자기술 설계 및 제어, 한티미디어, pp. 14 19.