

## 해수압 진동을 이용한 파력발전 장치 개발

송승관\*, 최윤호\*\*, 박진배\*  
연세대학교\*, 경기대학교\*\*

### Wave Energy Converter using Under-water Pressure Oscillation

Seung Kwan Song\*, Yoon Ho Choi\*\* Jin Bae Park\*  
Yonsei University\*, Kyonggi University\*\*

**Abstract** - 본 논문에선 해수압 진동을 이용한 파력발전 장치에 대해 소개한다. 본 파력발전장치는 5~10m의 수심에 설치되며 파고의 변화에 따른 수압의 진동을 이용해 전기를 생산한다. 수압의 진동은 파력발전 장치 내의 피스톤을 진동시키고 이 피스톤에 연결된 선형발전기(linear permanent magnet generator)를 진동시켜 전기를 생산한다.

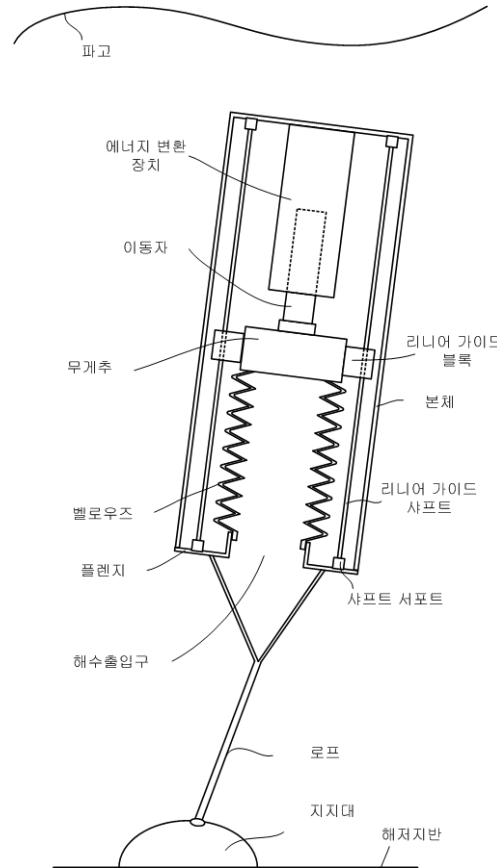
#### 1. 서 론

최근 친환경적인 에너지 개발에 관심이 높아지면서 풍력, 지열, 태양 광과 같은 자연 에너지를 이용한 난방 및 전력 생산에 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 중 파력에너지는 에너지 밀도가 높기 때문에 신재생 에너지 활용으로써 가치는 높지만 에너지의 불규칙성 및 구조체의 내구성 확보의 어려움과 같은 문제점이 있기에 개발에 많은 어려움이 있다.

최근 세계적으로 파력발전 개발에 대한 투자가 확대됨에 따라 관련기술에 대한 연구가 빠르게 진행되고 있으며 이에 힘입어 발전 단가도 획기적으로 낮아지고 있어 파력발전의 대규모 상업화가 보다 가시화되고 있는 중이다. 일본에서는 길이 80m, 폭 12m의 부유식 파랑발전 방식 '카이메이'를 개발했으며[1], 스코틀랜드는 길이 140m, 직경 3.5m 크기의 원통형 부유체를 이용해 1,000가구가 사용할 수 있는 전기를 만들어낼 수 있는 '벨라미스'형 파력발전기를 개발하였다[2]. 호주의 신재생 에너지 기업인 Carnegie Corporation는 기존 파력 발전의 시스템의 한계를 극복한 새로운 시스템인 '케토(CETO)'를 개발 중이다[3]. 케토는 수면이 아닌 수심 15~45m의 해저에 설치돼 강력한 태풍에도 견딜 수 있다.

이와 같이 파력에너지 개발이 이루어지고 있는 가운데, 에너지 비즈니스 분석기관인 더글러스 웨스트우드(Douglas-Westwood)의 최근 파력·조력에너지 시장전망 보고서는 해양에너지 시장의 지속적 성장을 위해서는 발전단가 하락, 민간 투자 유치, 수요·공급 조절, 지속적 기술개발 및 상용화 연구를 진행할 수 있는 안정적인 시장구조를 만들어야 할 것이라고 지적했다. 이 기관에 따르면 전 세계적으로 향후 2013년까지 파력과 조력·조류에너지 발전 시설이 시설용량 기준 86MW 추가 건설될 전망이다. 100여개의 기술이 실증화 및 실용화 테스트 단계를 거칠 것으로 전망되며 그 중 절반정도의 기술은 상업용 규모까지 발전할 것으로 나타났다. 특히 영국은 추가 발전시설 86MW 중 60%인 51MW 규모의 발전시설을 설치할 계획으로, 당분간 영국은 가장 큰 해양에너지 시장을 차지할 것으로 전망됐다. 영국은 저탄소 산업 전략을 발표하면서 2050년까지 탄소배출량의 80% 이상을 감축하겠다고 밝혔다. 이를 위해 영국은 해안 연안의 풍력발전 R&D 1억2천만 파운드, 조력발전 6천만 파운드를 투자할 계획이다. 이는 유럽의 해양에너지정책과 관련된 것으로, 해양에너지는 현재 전 세계 발전량 1만8000TWh의 5배 이상인 연간 9만3000TWh의 잠재력을 갖고 있다. 더글러스 웨스트우드에 따르면 영국은 원천적으로 파력과 조력발전이 최적화된 해안 조건을 갖추고 있으며, 시장구조와 예산지원 시스템이 비교적 잘 구축돼 다른 나라에 비해 투자유치가 용이하다. 또 해양에너지 발전을 위한 원천기술과 기술자를 많이 확보하고 있어 시장에서 주도자 역할을 할 것으로 예상된다. 미국은 11MW 시설 추가 계획을 가지고 있어 두 번째로 큰 시장을 형성할 것이며, 포르투갈과 캐나다는 각각 9MW, 6MW 규모의 시설 추가계획을 가지고 시장을 넓혀갈 것으로 보인다[4].

파력발전기 개발에 주도적인 국가를 분석해보면 미국, 캐나다, 호주, 영국, 포르투갈, 일본 등이 있다. 이 나라들은 모두 편서풍대를 직접적으로 받기 때문에 모두 평균 파고가 2m 이상인 지역이기에 파력발전이 굉장히 유리한 해역이 위치한다. 그러나 한국은 3면이 바다인 국가임에도 불구하고 중국에 의해 편서풍의 영향을 받는 해역이 없기 때문에 평균 파고가 1m 내외로 파력발전이 상대적으로 취약한 위치에 있다고 볼 수 있다.



〈그림 1〉 해수압 진동 파력발전기 개략도

따라서 낮은 파고에서도 에너지 변환 효율이 높은 부유식 파력발전기의 개발이 필요하다고 볼 수 있으나 하절기 집중되는 태풍의 영향에 의해 파손 및 유실이 우려되기 때문에 부유식 파력발전기의 개발 및 설치도 쉽지 않은 상황이다.

본 논문에서 한국 해역에 적합한 파력발전기에 대해 제안하려 한다. 이 파력발전기는 잠수식으로 파도에 의한 해수압 진동을 전기에너지로 변환하는 장치이다. 본 장치는 잠수식이기 때문에 풍랑 및 해일에 의한 파손에 강인하다. 또한 잠수식으로 인한 진폭 확보의 어려움을 역학적 구조 설계로 극복하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 해수압 진동 변환 파력발전 장치 구조

###### 2.1.1 본체

본체는 수중 압력을 견딜 수 있는 재질인 스테인리스 금속이나 강화 플라스틱으로 제작하며 해수가 본체 내부로 유입되지 않도록 벨로우즈를 이용하여 방수 처리한다. 벨로우즈 하단은 뿔려있는 형태로 해수가 유입가능하며 상단부는 밀봉된 상태로 무게추가 올려져 있다. 무게추는 본체 내부 압력과 해수에 의한 외부 압력이 균형을 이룰 수 있는 무게

로 이루어져 있다. 파도의 주기에 의해 변하는 압력에 따라 벨로우즈는 수축, 팽창한다. 그에 따라 리니어 블록은 리니어 가이드 샤프트를 따라 상하로 움직이며 리니어 블록에 연결되어 있는 이동자도 상하운동을 한다.

### 2.1.2 지지대

수중에 떠있는 본체는 해저지반에 고정되어 있는 지지대와 로프를 통해 연결되어 있다. 로프는 본체의 부력을 충분히 견딜 수 있도록 철심 와이어나 나일론의 소재로 만들어진다.

### 2.1.3 에너지 변환장치

에너지 변환장치는 이동자의 상하 운동을 발전에 사용할 수 있는 에너지의 형태로 변환한다. 에너지 변환장치는 다음과 같은 예로 기술될 수 있다.

- 1) 유압시스템(hydraulic system)에 의한 발전장치  
에너지 변환장치를 실린더로 이동자를 피스톤으로 설정하고 피스톤의 상하운동을 유체의 운동에너지로 변환한 유압시스템을 구성할 수 있다. 이 경우 유체의 운동에너지로 발전기를 회전시켜 전력을 생산할 수 있다.
- 2) 에너지 변환장치를 선형발전기(linear generator)의 고정자로 설정하면, 이동자의 상하운동에 의해 전력을 생산할 수 있다.

## 2.2 파력발전 장치 동작 설명

제안한 파력발전 장치는 다음의 과정을 통해 동작하게 된다.

- 1) 파도가 잔잔한 상태에서 대기압과 본체 설치 깊이에 해당하는 수압의 합이 벨로우즈 상판의 아랫면에 작용하며, 본체 내부 기압과 무게추에 의한 압력이 벨로우즈 상판의 윗면에 작용하게 된다. 벨로우즈 상판 위,아랫면에 작용한 압력이 상쇄가 되도록 내부 기압 및 무게추의 질량을 선정한다. 이 때 벨로우즈의 위치가 이동자의 진동 운동 평형점이 된다.
- 2) 파고가 높아짐에 따라 본체 외부 수압이 증가하여 해수 출입구를 통해 해수가 유입되면서 벨로우즈 내부의 수압이 증가하게 된다. 증가된 수압에 의해 벨로우즈가 팽창하면서 상단에 연결된 무게추도 올라가게 된다. 무게추가 상승하면서 무게추 상단에 연결된 이동자는 에너지 변환 장치 내부에서 상승 운동하게 된다.
- 3) 파고가 낮아짐에 따라 본체 외부 수압이 감소하고 벨로우즈 내부의 수압이 감소하게 됨에 따라 벨로우즈가 하강하게 된다. 그에 따라 벨로우즈 상단에 연결된 무게추가 하강하게 되며 무게추에 연결된 이동자는 에너지 변환 장치 내부에서 하강 운동한다.
- 4) 파고의 상승 및 하강이 반복됨에 따라 2)번과 3)의 과정을 반복하게 되며 이때 이동자는 에너지 변환 장치 내부에서 상하반복 운동을 하게 된다.
- 5) 본체는 천해 혹은 근해에 설치 가능하며 로프를 통해 지지대에 연결된다. 지지대는 해저지반에 고정되어 있다.
- 6) 리니어 가이드 샤프트는 샤프트 서포트를 통해 본체의 위아래부분과 고정되어 있다. 리니어 가이드 블록은 무게추와 연결되어 있으며 리니어 가이드 샤프트를 따라 움직이기 때문에 벨로우즈는 본체 내에서 수직 운동만을 할 수 있다.
- 7) 이동자는 영구 자석으로 구성되어 있으며 코일로 감겨있는 에너지 변환 장치 내부를 상하 운동할 때마다 전기를 발생시킨다.

## 2.3 해수압 진동을 이용한 파력발전 장치의 장점

### 2.3.1 수중에 발전 장치 설치

수면 위에 설치된 발전 장치의 경우 풍랑, 해일 등에 의한 해상 재해에 의해 장치가 파손되거나 장치 유실과 같은 문제가 발생할 우려가 높다. 실제 1976년 동해상에서 실험된 주진 1호의 경우 태풍에 의해 유실된 사례가 보고되었다. 본 파력발전기는 수중에 고정된 형태로 구조물이 해상 표면에 직접적으로 노출되지 않기 때문에 풍랑, 태풍, 해일 등과 같은 해상 재해에 강인하다는 장점을 지닌다.

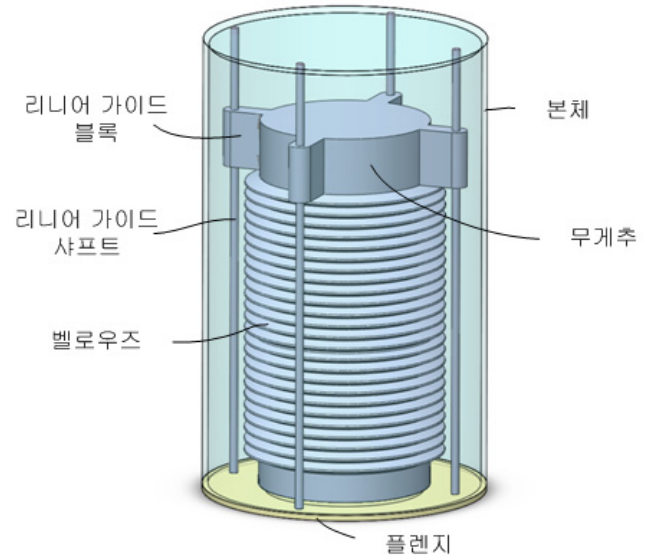
### 2.3.2 이동자 진폭의 크기 극대화

우리나라 동해안 기준 평균 파고는 1.2~1.5m/s로 파력 발전에 대한 실증 연구가 진행된 유럽 지역의 2.5m/s 보다 낮은 편이다. 파도의 상하운동을 기반으로 하여 발전이 이루어지기 때문에, 파고의 크기는 발전량에 지대한 영향을 미치게 된다. 따라서 파고가 상대적으로 작은 우리나라 해역에는 수중 파력발전기의 실용성이 낮다.

본체의 아랫면에 해수 출입구를 위치시킴으로 무게추를 사용이 가능한 구조를 갖는다. 이 무게추는 대기압 및 평균 수압을 상쇄시키기 역할을 하며, 내부의 압력을 상대적으로 낮게 유지를 하면서 파고의 변화 대비 높은 내부 부피 변화율을 유도하며 파고 진폭 대비 선형발전기의 이동자의 진폭 변화를 증대시킬 수 있어 우리나라와 같이 파고가 작은 지역에서도 설치가 가능하다.

### 2.3.3 유지, 보수의 용이

제안한 파력발전기의 내부 구조는 벨로우즈, 플랜지, 본체와의 결합으로 구성되어져 있으며, 선형 운동을 보완하기 위한 리니어가이드가 포함되어 있다. 이는 기존 파력발전기에 비해 발전 장치 내부는 단순한 형태를



〈그림 2〉 본체 개략도

지니고 있으며, 벨로우즈를 사용해 해수의 유입을 완벽하게 차단하기 때문에 내부 구조물을 보호할 수 있어 유지 보수에 상대적 용이성을 가져다준다.

### 2.3.4 설치 단계 절감

제안한 파력발전기는 본체에 가해지는 수압의 방향이 수직상방이기 때문에 본체가 부유할 수 있다. 따라서 본체를 로프 등을 이용해 고정한다면 되기 때문에 설치비용을 줄일 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서 제안한 파력발전 장치는 수중에 설치하기 때문에 풍랑 및 해일과 같은 자연 재해에 강인하며, 벨로우즈를 사용하여 내부를 완벽 방수하기 때문에 내부 압력을 조절할 수 있으며, 유지 보수가 용이하다. 또한 무게추에 의한 대기압 및 수압을 상쇄시켜 이동자의 진폭을 극대화시키기 때문에 파고가 낮은 우리나라 해역에 설치가 가능하며 또한 본체가 수직상방의 수압을 발전에 사용하기 때문에 본체가 부유(浮遊)성 갖게 되어 설치가 용이한 장점을 갖는다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20103020070070)

## [참 고 문 헌]

- [1] 김정환, 김유택, 이영호, "해양에너지를 이용한 파력발전 시스템", 유체기계저널, 제10권, 제1호, pp. 65-76, 2007.
- [2] 경조현, 홍사영, 홍도천, "진동수주형 파력발전기의 에너지 흡수효율 해석", 한국해양공학회지, 제20권, 제4호, pp. 64-69, 2006.
- [3] Valerio, D., Beirao, P., "Optimization of wave energy extraction with the Archimedes Wave Swing", Ocean Engineering in press, 2007.
- [4] 에너지관리공단, "신·재생 에너지 R&D전략 2030", 2008.