

3. 해설기사

[1] 파력에너지 변환시스템 발전 추세

Development Tendency of Wave Energy Conversion System



오진석

Jin-Seok Oh

- 한국해양대학교, 교수
- E-mail : ojs@hhu.ac.kr

1. 개요

해양에너지는 해양에 존재하는 에너지원으로 에너지 밀도가 높은 것과 에너지 밀도가 낮은 것이 상존하는 환경특성을 가지고 있다는 점이 고려되어야 한다. 바다라는 환경은 에너지원의 활용에 있어서 한계와 장점을 갖춘 것으로 활용성 측면에서 세밀한 연구가 병행될 필요가 있는 분야이다.

해양에너지 이용은 해역의 이용특성과 자연조건, 이용가능 에너지에 따른 개발조건, 해양환경 및 경제성 등이 고려되어야 한다. 최근에는 연안국의 해양이용밀도증대, 생태환경보전노력, 해양성재해저감 등의 상황과 연계한 해양에너지 기술개발 및 해양기술응용분야 확대를 위한 다양한 연구가 체계적으로 진행되고 있다.

해양에너지 분야는 해양에너지 이용, 개발, 관리에 필요한 기술개발과 해양에너지원을 활용한 응용시스템개발을 통한 관광자원화, 더불어 미래지향적 무폐기, 무재해 에너지원을 통한 교육적 효과를 확보하기 위한 정책개발도 병행하고 있다.

해양에너지원을 활용한 에너지 발전시스템은 막대한 비용이 소모되는 분야이다. 최근의 해양에너지 발전모델은 단순한 발전시스템 개발보다는 해양구조물이 복합기능을 수행할 수 있는 모델, 관광자원화가 가능한 모델, 해안매립지 및 해안친수 공간에 적용할 수 있는 모델, 교육자원화가 가능한 해양에너지 응용시스템 모델을 함께 연구 개발하고 있는 추세이다.

2. 파력 발전 원리

세계의 해안선을 강타하는 파도의 전체동력은 약 2-3백만 MW 정도이며, 입지조건이 좋은 장소의 파도에너지 밀도는 해안선의 mile당 평균 65MW에 이른다. 그러나 파력은 모든 지역에서 이용 가능한 것은 아니다.

해양에너지의 일부분인 바다의 파도로부터 동력을 얻는 파력장치는 표면파도로부터 또는 표면 아래의 압력 요동으로부터 에너지를 직접 추출한다. 파력은 해안에서 떨어진 곳(offshore)과 연안(onshore) 시스템을 통하여 전기로 변환 가능하다.

다. 이러한 장치로는 플로트(float) 시스템, OWC(Oscillating Water Column), Tapchan (Tapered Channel) 등이 있다. 그림 1은 파력에너지 분포도이다.

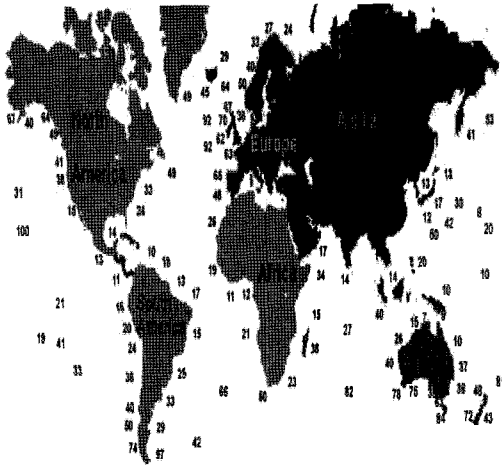


그림 1 파력에너지 분포도

파력발전시스템은 해상 및 연안 지역에서 발전할 수 있는 시스템이 다르다. 파력발전이 경제성을 갖춘 곳은 미국의 알래스카, 영국의 스코틀랜드 등이 있지만, 발전시스템 효율 등을 개선하고, 최적지를 체계적으로 조사하여 후보지를 선정하면

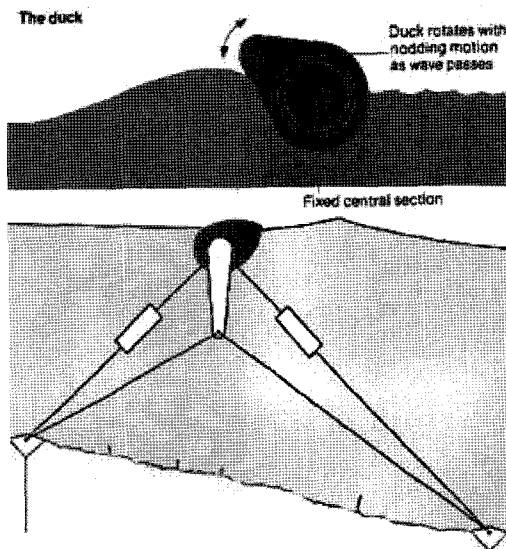


그림 2 Salter Duck 형 파력에너지 변환장치

경제성을 확보할 수 있다. 일반적으로 offshore 시스템은 수심이 40m 이상인 해상에 적합한 시스템이다. 그림 2는 스코틀랜드 물리학자가 고안한 Salter Duck을 도시한 것으로 플로트 파력에너지 변환장치의 일종이다.

Duck 자체는 해변이나 해저에 고정된 장치가 아니고, 발전을 구동하기 위하여 플로트의 흔들림 운동에 의존한다. 고정된 장치에서 물이나 공기가 터빈 블레이드를 급격히 통과하는 동안 터빈은 고정된다. 바다에 떠 있는 플로트 장치는 파도에 의한 움직임에 따른 상대운동으로 동력을 생산한다. 즉 플로트 부분의 조화운동으로 전기를 생산한다. 그림 3은 Danmark의 플로트 펌프 사진이고, 그림 4는 Sweden의 호스펌프 사진이다.

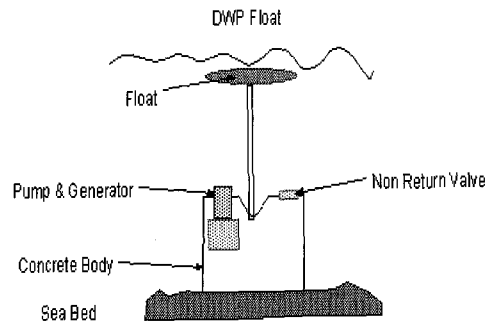


그림 3 Danmark의 플로트 펌프

Danmark의 플로트 펌프는 대형펌프가 해저에 설치되고 피스톤이 탄성로프로 플로트에 연결된다. 파도의 높이에 따라 피스톤이 움직이고 이에 따라 발전된다.

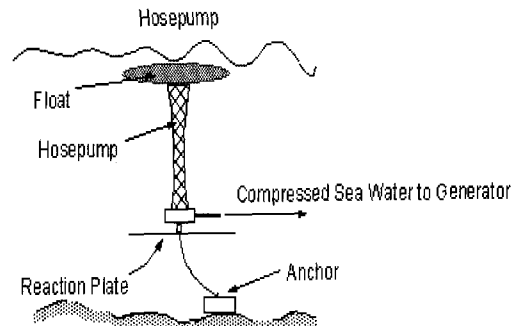


그림 4 Sweden의 호스펌프

그림 4는 플로트와 해저에 닿으로 느슨하게 연결된 대형 댐프디스크인 반 작용판(reaction disk)사이에서 장착된 호스펌프를 사용한다. 파도의 상승에 따라 호스내의 물이 가압되고, 반대로 작동하면 바닷물이 호스펌프내로 들어오는 작용을 반복한다.

Offshore 파도에너지 흡수방법으로 일본해양 기술센터(Japan Marine Technology Center)는 3대의 공기터빈 발전기를 운반하는 prototype 파력선(Wave Power Vessel)을 개발하고 있다.

또한 onshore 시스템은 연안 파력시스템은 부 서지는 파도에서 에너지를 추출하기 위하여 해안 선을 따라 건설된다. 이러한 연안 시스템으로는 대표적으로 OWC(Oscillating Water Column), 경사수로시스템인 Tapchan(Tapered Channel System) 등이 있다.

먼저 OWC는 수면 아래에 위치한 원통모양의 콘크리트 또는 강철 구조물로 구성되며, 수면아래 바다에 입구를 만든다. 파도가 구조물 내부로 유입되고 빠짐에 따라 구조물 내부의 공기는 가압 및 감압을 반복한다. 이러한 공기는 공기터빈을 구동시켜 전기를 발생한다. 지금 다양한 OWC 장치가 개발되고 있고 일부는 방파제 겸용으로 설치되어 운용되고 있다. 그림 5는 OWC 작동원리를 도시한 것이다.

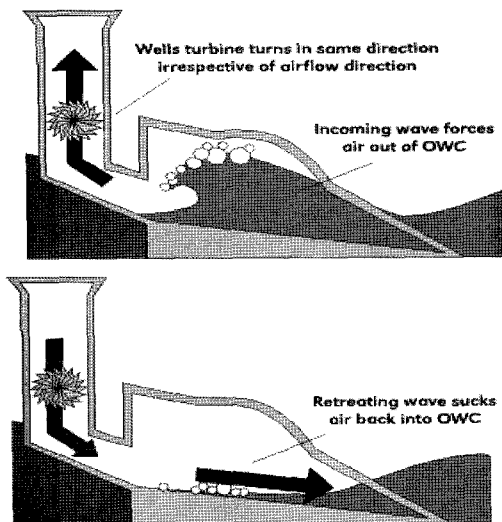


그림 5 OWC 작동원리

이러한 파력 발전시스템은 발전 및 관광 등의 목적에도 부합될 뿐 아니라, 경제성을 고려한 연구에도 적합한 시스템으로 생각한다.

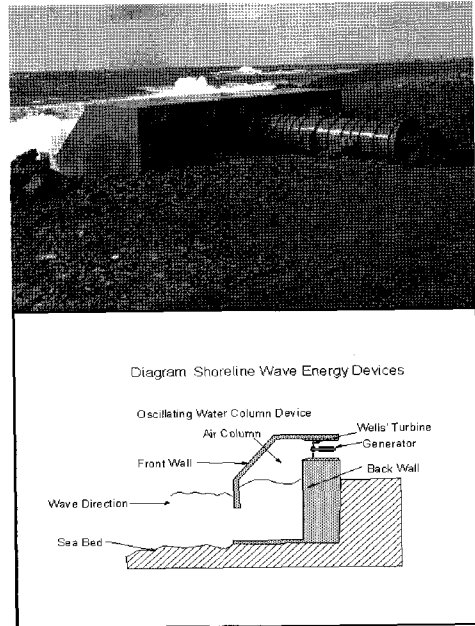


그림 6 Limpet의 사진

그림 6은 스코틀랜드 Islay에 2000년 11월 세워져 최초로 세워진 파력발전소인 Limpet의 사진이다. 이것은 Wavegen사와 Queen's 대학이 공동으로 개발한 것으로 500kW를 생산한다. 이러한 파력 발전모델은 방파제 기능을 겸할 수 있는 것으로 경제성을 갖출 수 있으며, 더불어 관광 및 교육 목적으로도 활용이 가능하다.

연안 파력장치의 하나인 Tapchan은 표준 수력 동력생산 방식을 적용한 것으로 해안에 위치한 유로구조와 집중된 파도의 세기에 의존한다. 그림 7은 Tapchan 파력에너지 개념도를 도시한 것이다.

이 시스템은 경사수로와 유수지(reservoir)로 구성된다. 해안에 집중된 파도는 경사수로와 좁은 통로를 거쳐 해수면 위의 설치된 유수지에 바닷물을 공급한다. 좁은 수로는 유수지의 수위를 증가시키고, 물의 역류를 방지한다. 유수지의 물은 터빈에 공급되어 발전을 한다. 이 시스템은 파도의 운동에너지를 위치에너지로 바꾸어 발전을 하는

것으로, 유지비용이 적고 신뢰도가 높은 시스템이다. 그림 8은 Pendolor 파력발전시스템이 있다.

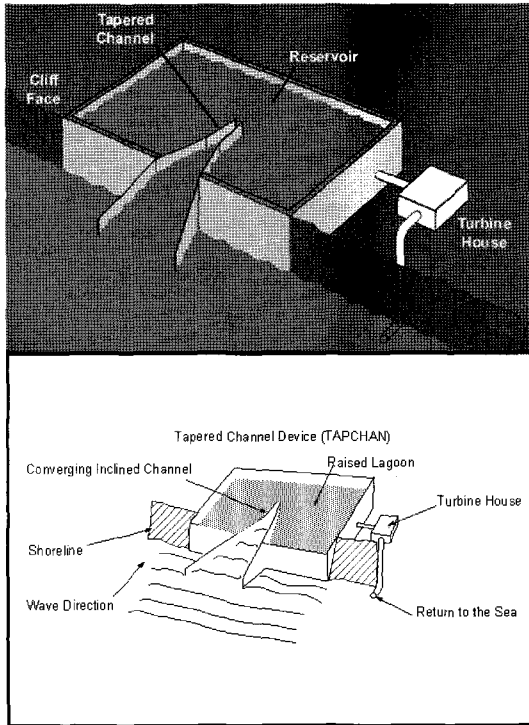


그림 7 Tapchan 개념도

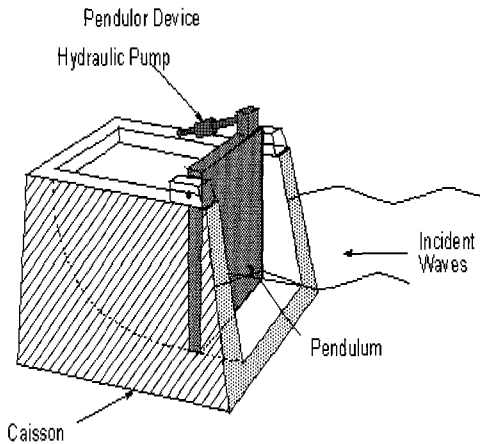


그림 8 Pendolor 발전시스템

이 시스템은 Pendulum의 전후 운동에 따라 발전기 및 수력펌프에 동력을 공급한다. 이 동력

으로 발전을 하게 된다. 양식장으로 소형 발전기를 만들어 설치하면 경제성이 있을 것으로 생각한다.

3. 국내외개발 현황

우리나라 연안의 파력에너지는 약 500만kW 정도로 추산되며, 최근에 일부 연구가 진행되고 있다. 파력발전은 해양구조물과 복합적으로 시설되어 이용될 경우에는 기존의 육상발전보다도 여러 측면에서 유리한 점이 있고, 연안매립지 조성시 필수적으로 요구되는 방파제 역할을 수행할 수 있는 파력발전시스템 연구개발 분야도 수행되고 있다.

파력에너지를 이용한 발전 기술 연구는 파력 자원이 풍부한 일본, 영국, 노르웨이 등에서 활발하게 추진되고 있다. 파력 발전은 심한 출력 변동과 대규모 발전 플랜트를 해상에 계류시키는데 기술적인 어려움이 있었지만, 현재 상용 발전이 가능한 일부 시스템이 개발되고 있다.

일본은 Kaimei에 240kW급의 해안 고정식 파력 발전 장치를 설치하여 시험 가동하고 있으며, 해양 과학 기술 센터 주관으로 540kW급의 부유식 파력 발전소 건설을 진행하고 있다. 영국도 벨파스트의 Queen's 대학에 75kW급 파력 발전 장치를 설치하여 가동 중이고, 덴마크는 34kW급 발전소에 대한 실증 실험을 진행하고 있으며 노르웨이도 500kW급 발전소를 건설하고 있다.

다양한 Offshore 파력 에너지 변환장치는 떠있는 플랫폼(floating platform)을 이용해 상하 및 앞뒤로 움직임(bobbing and pitching)에 따라 발생하는 동적 에너지를 붙잡는다. 이 잠재적 에너지 생산은 중요한 의미를 갖는다. 미국 노스웨스트 해안은 평균적으로 1미터의 파고당 약 25kW의 에너지를 내포하고 있다. 약 50% 효율의 발전 장치를 고려한다면 50미터 폭의 장치는 약 625kW의 전력을 생산할 수 있게 된다.

E2I와 EPRI 프로젝트에서는 파력 발전장치 제작업체들이 제공한 정보를 이용해 12가지의 상세 파력 에너지 변환기술의 평가에 관한 보고서를 발간했다. 이 보고서는 이제 초기단계에 있는 파

력 에너지 변환기술에 대해 가장 포괄적으로 최신의 기술을 요약하여 담고 있는 보고서 중의 하나이다. 네 개 주의 파력에너지 부지 및 장치에 관한 평가 보고서는 E2I의 웹사이트(<http://www.e2i.org>)에 공개되어 있다.

파력 발전시스템은 다른 시스템에 비하여 발전 원리와 건설이 간단하며 수명이 긴 점과 해양공간에 다각적인 이용 및 활용이 가능하다는 것이다. 단점으로는 발전량의 정확한 예측이 불가능 하고, 장·단기적으로 일정치 않은 파도에 의해 발전량 변동이 심한 것이다. 표1은 국가별 파력발전시스템 개발 내용을 정리한 것이다. 파력 발전시스템을 개발 및 제조할 수 있는 업체는 국내외적으로 매우 적다.

표 1 국가별 파력 장치 비교

	일본	영국	노르웨이	한국
PROJECT	Mighty whale	Belfast OWC	Tapchan	주진A호
원리	진동수주형	진동수주형	진동수주형	진동수주형
출력	540kW	4.8MW	350kW	60kW
특징	-파랑에너지 이용	-해저식 진동수주형	-저수지수면해면낙 차이용(3~8m)	-높이 2m 파도에서 가장 효율적인 전기생산
	-장치배후해역의 정온화	-공기실 : J형상	-나팔관모양수로	-최고 9m의 파도에도 견딜 수 있도록 제작
	-해역이용을 고도화 위한 다목적 파력 발전장치	-공기주기가 다른 2개의 공기실을 Unit화한 방식		

4. 발전방향

현재 우리나라는 영국, 일본 등이 개발한 파력 발전시스템을 활용한 실용화 분야에 대한 연구들 중심으로 수행하고 있다. 특히 파력발전시스템의 구조물 및 터빈 분야에 관련된 분야에 대하여 영국 등 선진국의 개발사례 및 연구결과를 활용하여 국내 해역에 설치하는 연구를 수행하고 있다. 최

근 영국 및 일본 등에서는 양질의 전력을 확보하기 위한 계통연계형 전력시스템 안정화가 새로운 연구 분야로 관심이 집중하고 있다. 이러한 관점은 중전의 연구 분야인 발전설비 및 발전구조물 분야의 연구는 어느 정도 수준을 확보한 상태로 인식되고 있다. 파력발전설비의 효율을 극대화하기 위해서는 발전설비에 적합한 발전시스템 제어 및 관리시스템 개발이 병행되어야 한다. 더불어 발전시스템의 출력특성을 안정화할 수 있는 하이브리드 발전시스템을 개발하여 발전전력을 효과적으로 상용전력체계와 연계할 수 있도록 해야만 차세대 선진국 주도의 해양에너지 시장에 동참할 수 있을 것으로 생각한다. 그림 9는 하이브리드 발전시스템 구성체계를 도시한 것이다.

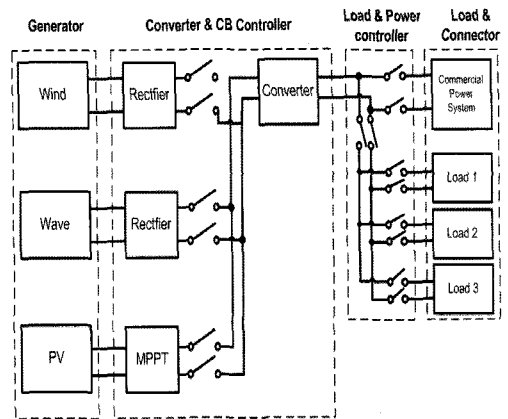


그림 9 하이브리드 발전시스템 구성

또한 파력발전시스템을 비롯한 해양에너지를 이용한 발전시스템은 경제성 및 환경성을 확보하기 위해서는 관광, 교육 등의 복합기능을 갖도록 개발하는 것이 중요하다.

또한 고부가가치 분야인 소용량 독립형 파력발전시스템 분야에 대한 연구도 체계적으로 수행할 필요가 있다. 미국이 주도하고 있는 해양환경관측, 항로표지, 해양구조물, 해난해예방시스템 등의 해양장비에 활용되는 전력체계로 태양광+파력, 태양광+파력+풍력, 태양광+파력+조류, 등의 다양한 발전시스템과 전력체계가 개발되고 있다. 이러한 발전시스템은 안정적인 전력공급이 가장

중요한 요소이며, 고효율 발전시스템, 최적의 절환 시스템, 무선원격제어관리시스템 등의 다양한 기술이 병행하여 발전해야만 가능한 분야이다. 그림 10은 파력 파력발전시스템 계통을 도시한 것이다.

주도하고 있는 새로운 개념의 발전시스템 메카니즘 개발에도 적극적으로 참여할 필요가 있다.

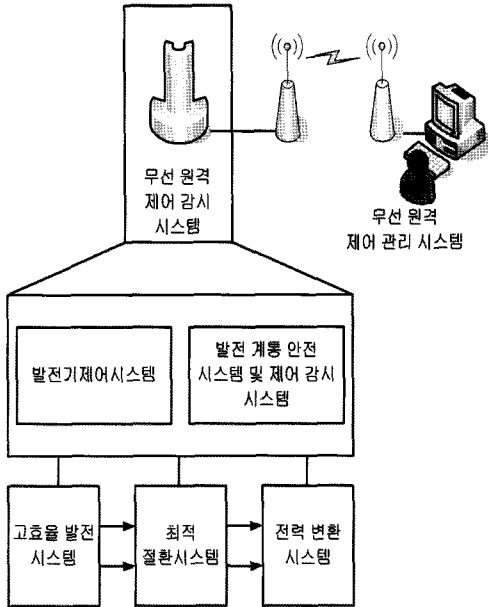


그림 12 파력발전시스템 계통도

5. 결 론

해양에너지를 얻는 다양한 메카니즘 중에서 환경 및 효율 측면에서 가장 유리한 발전시스템이 파력발전시스템이다. 미국 영국 등의 선진국을 중심으로 교육, 레저 및 관광 등의 복합기능을 갖추고, 발전전력의 안정성을 고려한 해양에너지 발전시스템에 대한 연구가 체계적으로 수행되고 있다.

이를 위해서는 기존의 파력발전시스템의 활용성 및 응용성을 배가할 필요가 있다. 또한 선진국의 연구방향도 기존의 발전설비 및 발전구조물에서 안정된 전력을 얻기 위한 파력발전시스템 제어장치, 전력망 안정화 기술 분야 등에 연구를 집중하고 있다. 그러므로 발전설비 연구보다 고부가가치를 창출할 수 있는 IT를 활용한 발전기제어시스템, 전력변환시스템, 무선원격감시시스템 및 발전계통안정화시스템 등에 관련된 핵심기술을 확보하는 것이 대단히 중요하다. 더불어 영국, 일본 등이