

다수의 파력 발전용 부이 장치에 의한 파랑변형 모의

이정열* , 이주용**, 김인호***

Jung Lyul Lee, Joo Yong Lee, In Ho Kim

요 지

본 연구에서는 소규모 연안 도시의 미래 에너지 공급원으로서 실용성을 검토하고 있는 연안 에너지 팜(energy farm)에 의한 파랑의 변형을 모의한다. 에너지 팜에 사용되는 부이는 파랑의 산란은 물론 파랑 에너지를 흡수하는 장치로서 해안선에 도달하는 파랑 에너지 저감에 영향을 미친다. 적용하는 파랑 모형은 해안 구조물에 의한 파랑 에너지 흡수와 산란을 동시에 구현하는 WADEM-PB(Wave Deformation Model-Permeable Barrier)이다.

핵심용어 : 파랑 에너지, 에너지 흡수, 산란 파, 에너지 팜

1. 서 론

해양은 점차 직면하게 될 에너지 자원의 부족에 대비하여 지구상의 마지막 보고로서 그 가치가 점차 높아지고 있으며, 특히 해양에너지 자원개발은 점차 심화되고 있는 전 지구적인 환경오염 문제에 효과적으로 대응할 수 있는 전 지구적인 환경오염 문제에 효과적으로 대응할 수 있는 방안의 하나로서 그 중요성이 크게 부각되고 있다. 해양에는 이용 가능한 다양한 형태의 에너지가 부존하며, 해양에너지 자원은 일단 개발이 되면 태양계가 존속하는 한 이용이 가능하고 오염문제가 없는 무공해 청정에너지이다.

해양에 존재하는 파랑, 조류, 수온 등 다양한 에너지원 중에서 파랑은 모든 해역에 폭넓게 분포하므로 가용 에너지원이 풍부하고, 에너지를 회수하기 위한 장치를 설치할 수 있는 해역 또한 광범위하여 반도의 지형적 특성을 지닌 우리나라의 연안해역에서도 대규모로 활용이 가능한 에너지자원이다.

2. 파력 발전 연구

2.1 파력 발전의 개요

파력 발전은 파도에너지를 이용하는 발전이다. 파력발전은 크게 바다에 장치를 띄우는 방식인 부유식과 연안에 시설을 설치하는 방식인 고정식이 있다. 세계의 바다에서 얻을 수 있는 총 파도 에너지 모두가 전력으로 유효하게 이용되는 것은 아니다. 최근까지 여러 가지 아이디어가 제안되

* 정회원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : jllee@skku.edu

** 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : reddr5205@naver.com

*** 정회원 · 강원대학교 건설방재공학과 교수 · E-mail : kimih@kangwon.ac.kr

있는데, 현재 가장 실용화되어 있는 것은 공기 터빈을 쓰는 방식이다. 파도에 의한 해면의 승강운동을 피스톤으로 공기의 흐름으로 만들어 밀폐된 공간에서 운동하는 공기를 이용하여 터빈을 회전시켜 발전기를 구동한다. 파력발전의 장점으로는 다른 재생 에너지에 비해 상대적으로 지속적인 발전을 할 수 있다는 것이고 다른 청정에너지와 같이 친환경적이고 해양생태계를 크게 위협하지 않는다는 점이다. 비록 파력발전이 연안지역에 제한되어 있지만 그 잠재량은 매우 크다. 그리고 국내에서는 제주도와 동해 일부 지역 등 파고가 높은 지역이 제한적이라 국내의 파력발전 기술은 매우 저조하며 아직 큰 규모의 발전장치가 설치되지 않았다. 연구에 따르면 평균적으로 15kW/m 이상인 곳에서의 파력발전은 경제적이라는 보고가 있다(최영도와 이영호, 2007).

2.2 파력 발전의 분류

파력발전 시스템은 파 → 1차변환 → 2차변환 → 발전 → 송전 → 이용의 순서에 의해 파랑의 위치에너지와 운동에너지를 전기에너지로 변환하여 이용하는 시스템이다. 파랑이용 시스템의 1차 변환은 기본적으로 다섯 종류로 분류할 수 있으며, 그림 1에 그 예를 나타내고 있다. 또한 1차 변환장치를 파랑에 의한 장치의 운동으로서 파랑에너지를 흡수하는 방법과 파랑의 변형을 이용하는 방법으로 대별할 수 있다. 전자에는 파랑이 가동물체(movable body)나 진동수주(oscillating water column)에 작용하게 하고 가동물체나 진동수주에 유압장치나 공기터빈 등의 2차변환 장치를 부착하는 ① 가동물체형과 ② 진동수주형이 있으며, 해중에서 파랑의 수압변동을 흡수하여 공기나 물의 흐름으로 변환한 후 2차변환장치를 운전하는 ③ 수압면형(pressure type)이 있다. 후자에는 수심이 얇은 해역에서 파랑의 비선형 영향에 의한 해수의 수평류, 또는 제방으로부터의 월파를 이용하여 수차를 운전하는 ④ 월파형과 방파제 전면 등에서 볼 수 있는 소파공(wave dissipator works)에 의한 평균수위의 상승인 wave set-up에 의한 해수의 흐름을 이용하는 방식인 ⑤ Set-up형이 있다. 후자의 경우 2차변환장치를 사용하지 않고 직접 해수를 이용할 수도 있는 특징이 있다.

1차변환장치에서 역학적 에너지로 변환된 파랑에너지를 이용하기 쉬운 에너지 형태로 변환시키기 위하여 2차변환장치가 필요하며, 2차변환장치는 공기터빈(air turbine)이나 수류터빈(water flow turbine)이 사용되는 것이 일반적이다. 표 1은 수류식 파력발전의 원리 및 특징을 나타내고 있으며, 파랑에너지 변환효율은 일반적으로 진동수주형 파력발전 방식이 월파형 파력발전에 비해 유리한 것으로 알려져 있다.

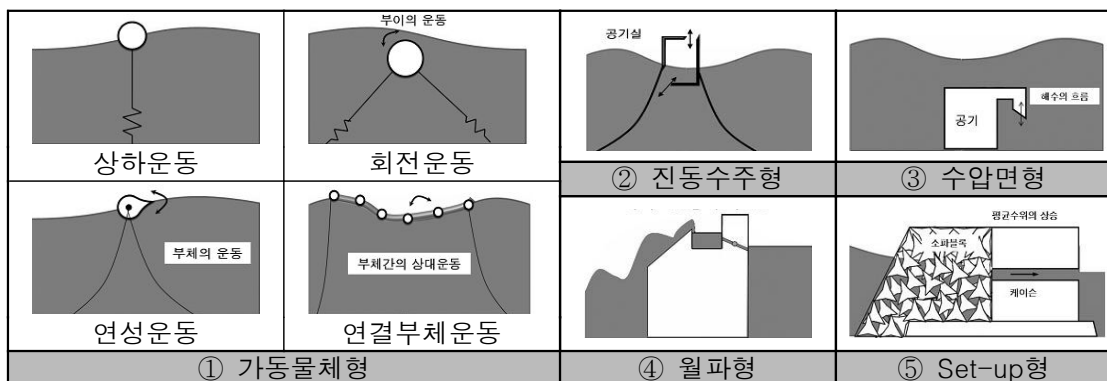


그림 1. 파력 발전의 분류

표 1. 수류식 파력발전의 원리 및 특징

분 류		원리 및 특징
가동물체형 (부유식)		·부유식으로서 계류방식과 부유체의 운동, 에너지의 흡수방법에 따라 다름 ·향후 본격적인 외해용으로 적합 ·현재는 대수심, 대형화에 따른 기술적인 문제해결이 필요
진동수주형 (고정식 케이슨 이용)	공기식	·OWC(Oscillating Water Column, 진동수주)를 이용한 공기압축 및 공기터빈 이용 ·대표적인 파력발전 기술
	수류식	·진동수주에 직접 터빈을 설치하여 수류의 운동에너지와 압력에너지를 동시에 이용

2.3 국내의 파력발전 사례

파력에너지의 이용기술 개발은 100년 이상의 역사가 있고, 특히, 1970년대 오일쇼크 이후 세계적으로 자연에너지 이용의 기운이 높아지는 가운데 파력 자원이 풍부한 미국, 일본, 영국, 노르웨이, 호주, 네덜란드, 포르투갈 등에서 활발하게 추진되고 있다.

특히, 영국의 Ocean Power Delivery사는 모듈당 750kW급의 전력을 생산할 수 있는 Pelamis Wave Energy Converter를 개발하여 상업화단계에 있다. 포르투갈 북부해안에 발전단지를 조성, 최초로 상업화를 추진하고 있으며, 이 단지는 1만 5,000가구 이상이 사용하기에 충분한 전력을 생산할 계획으로 매년 6만 톤 이상의 이산화탄소 배출저감효과가 있을 것으로 추정하고 있다(그림 2). 미국의 Aqua-Energy Group의 경우 오레곤 주 연안에 발전단지를 조성, 초기 프로젝트에서부터 심해에너지 자원 법률(DOER)을 제안하여 제도적 지원을 통한 빠른 상용화로 세계시장을 선점해나가고 있다. 또한 영국의 Scottish Power사는 자사가 선점하고 있는 파력발전 분야의 기술개발을 위하여 영국 정부에 다양한 재정지원을 요구하고 있고, 22.5MW급의 단지 건설을 계획하고 있다. 현재 실용화 전단계의 국외 파력발전 기술은 네덜란드, 호주, 포르투갈 주관의 AWS Ocean사 Archimedes Wave Swing모델로 실해역 시험운용중이고, 영국의 Ocean Power Delivery사의 Pelamis는 실해역 시험이 완료되어 단지화 계획을 추진중이다. 미국의 GE사의 자본으로 운영되는 Aqua Energy Group은 Aqua buoy 모델로 실해역 시험을 완료한 실정이고, 이외에 일본 JAMSTEC, 호주 Energetech, 덴마크 SPOK ApS사가 실용화 전단계의 기술을 보유하고 있다.

우리나라의 경우, 한국해양연구원에서 1993년부터 부유식 파력발전장치를 연구하여 2001년 7월에 60kW급 부유식 진동수주형 파력발전장치 주전 A호의 실해역 시험에 착수하였으나 폭풍에 의하여 시제품이 유실된 상태이다(그림 3). 또한, 착저식 진동수주형 파력발전시스템에 대해서도 한국해양연구원에서는 1단계 연구를 통하여 BBDB(Backward Bent Duct Buoy)형 소형 부유식 파력발전장치를 개발한 바가 있으며, 파력발전과 해상풍력 발전의 복합이용 시스템 개발을 최종 목표로 설정하고 있다.



그림 2. Pelamis 파력발전장치(영국)



그림 3. 주전A호 파력발전장치(한국)

3. 부이식 에너지 팜의 수치 모의

3.1 부이식 에너지 팜

부이식 파력 발전 장치는 풍력 발전과 같이 하나로부터 얻을 수 있는 파력이 작은 관계로 여러 개를 동시에 설치하여 에너지를 다량 흡수하는 장치가 바람직하다. 그림 4는 Liverpool(UK)에서 고려되는 에너지 팜의 개략도이다. 본 연구에서는 임의로 강원도 동해안의 사천 해안에 그림 5와 같은 에너지 팜에 대하여 수치모의를 하였다. 전체 33개의 부이가 사용되며 부이의 수직 구조는 풍력 발전도 동시에 할 수 있는 형태로 그림 6과 같다.



그림 4. 에너지 Farm 계획 사례(UK)

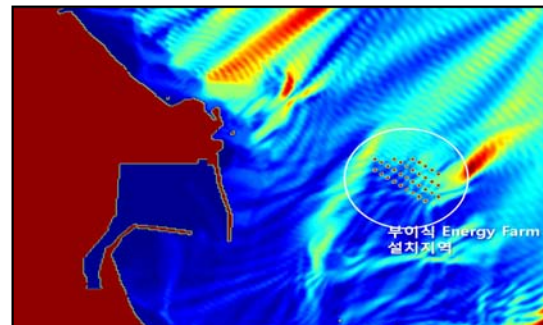


그림 5. 수치모의 적용해안 : 강원도 사천

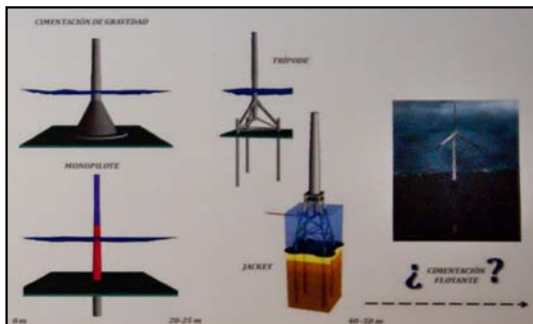


그림 6a. 부이식 파력 장치 구조



그림 6b. 부이식 파력 장치 설치 전경

3.2 수치 모의

파랑 입력 조건은 에너지 공급이 가장 필요한 겨울철 평균 파향과 평균파고로 수행하였다(파고 3m, 주기 9sec, 파향 NE). 파랑의 변형을 해안 구조물에 의한 파랑 에너지 흡수와 산란을 동시에 구현하는 WADEM-PB을 이용하여 모의하였다(이정렬과 송무석, 2005). 에너지 팜의 설치 전과 후의 모의된 수치 모형의 파고 변화 및 위상 변화는 그림 7과 8에 각각 도시되었다. 해안을 따라 에너지 팜이 존재하지 않은 경우와 존재하는 경우를 서로 비교하면 평균적으로 33%의 파고 저감 효과를 보이고 있으며 해안선 침식 저감에도 효과를 보이리라고 사료되다.

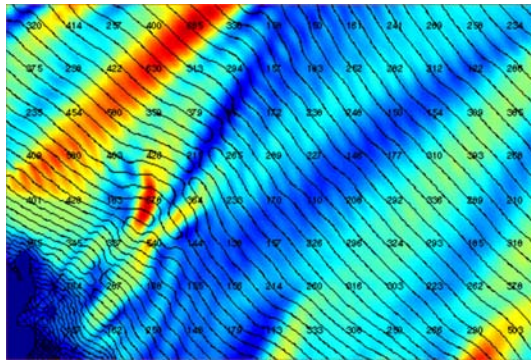


그림 7a. 에너지 팜 설치 전 파고 분포

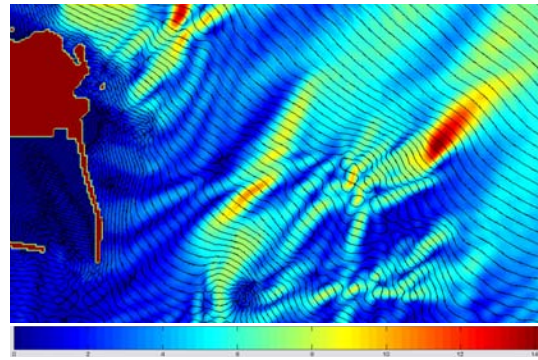


그림 7b. 에너지 팜 설치 전 파봉선 변화

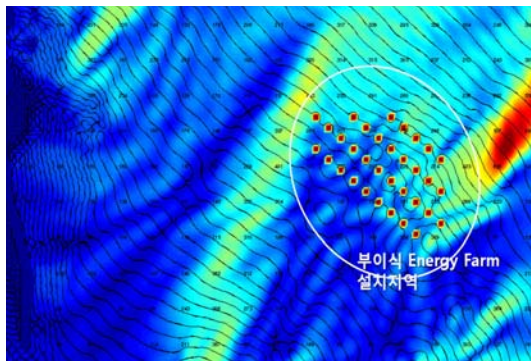


그림 8a. 에너지 팜 설치 후 파고 분포

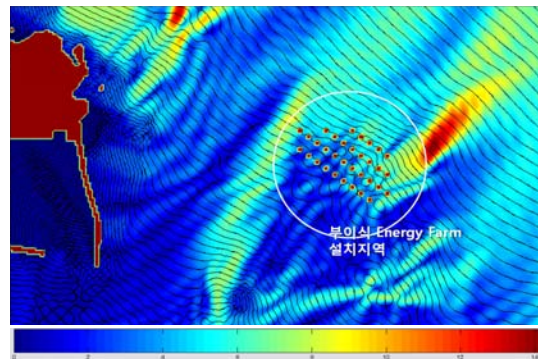


그림 8b. 에너지 팜 설치 후 파봉선 변화

4. 결 론

본 연구에서는 소규모 연안 도시의 미래 에너지 공급원으로서 실용성을 검토하고 있는 연안 에너지 팜(Energy Farm)에 의한 파랑의 변형을 해안 구조물에 의한 파랑 에너지 흡수와 산란을 동시에 구현하는 WADEM-PB를 이용하여 모의하였다. 강원도 동해 사천 해안에 33개의 부이식 파력 장치를 설치한 경우 해안의 새로운 풍광 및 해안선에 도달하는 파고의 33%를 평균적으로 저감시킴으로 인하여 해안선 보호 장치로서의 부수적인 역할도 기대된다.

참 고 문 헌

1. 이정렬, 송무석(2005). 부방파제를 이용한 원전항의 정온효과 수치해석, 한국해양환경공학회지, Vol. 8, No. 1, pp. 23-30.
2. 최영도, 이영호(2007). 파력발전의 개요 및 연구개발 현황, 한국태양에너지학회지, 제6권, 제1호, pp. 17-24.
3. M. Dolores Esteban et al(2009). Integral Management Applied to offshore Wind Farms, Journal of Coastal Research, SI56. Vol. 2, pp. 1204-1208.
4. Seascape Energy LTD(2002). Burbo offshore Wind Farm. Vol.1 : Non Technical Summary. Non-Technical Report.