

해 외 학 술 정 보

Renewable and Sustainable Energy Reviews



이 창 훈
세종대학교 건설환경공학과 교수
clee@sejong.ac.kr

1. 머리말

이번 호에 소개할 논문집은 해안항만 분야 연구자들이 자주 게재하지는 않지만 최근에 점차 게재량을 늘리고 있는 논문집으로 ‘Renewable and Sustainable Energy Reviews’이다. 이 논문집은 1997년도에 처음으로 연 4회(issue) 발행 이후 2002년도에 6회로 늘어났고, 2007년도부터 지금까지 9회로, 갈수록 발행 횟수가 증가하고 있다.

이 논문집은 에너지 재생에 대한 연구, 적용, 정책 등에 대한 소식을 알리는 것을 목적으로 한다. 구체적인 주제는 재생 가능한 자원(생체에너지, 지구에너지, 수소에너지, 물에너지, 해양에너지, 태양에너지, 바람에너지 등), 적용 및 사용(건물, 산업체, 전기, 교통 등), 정책(경제적인 면, 정치적인 면, 에너지 계획 등), 환경 영향 및 지속가능성, 지역적인 또는 국가적인 수준 등이다. 최근에 전 세계적으로 재생 가능한 에너지를 찾고자 하는 작업에 열안을 올리고 있으며 우리나라의 해안항만분야에서도 해양

에너지, 해양에서의 바람에너지에 대한 연구와 정책이 활발히 진행되고 있다.

2. 논문 내용

해양에너지에 대한 논문을 읽던 중 독자들에게 소개하면 도움이 될 것 같은 논문을 찾게 되었다(Falcao, 2010). 이 논문은 해양에너지 개발의 역사, 파랑에너지 자원, 에너지 변환에 발생하는 동수역학, 에너지 변환장치의 제어, 여러 가지 에너지 변환 기술(진동수주 발전장치, 진동체 발전장치, 월파에 의한 발전장치 등), 발전시설 및 장비, 계류 등 해양에너지 개발의 거의 모든 분야에 대하여 정리하였고, 각 기술의 장단점이 해양공학자의 전문기술자의 시각에서 잘 정리된 논문이다. 본 고에서는 발전시설 및 장비, 계류를 제외한 모든 부분을 요약하여 소개하겠다. 좀 더 상세한 내용은 Falcao의 논문을 참고하기 바란다.

2.1 논문의 소개

일본의 Yoshio Masuda가 1940년대부터 해양에너지를 개발하는 연구를 최초로 시도하였다. 그는 부유식 진동수주(Floating Oscillating Water Column) 파력발전장치를 개발하였고, 1965년도에 상업화를 시도하였다. 이후 1976년도에 더 큰 크기의 'Kamei' 라는 이름의 파력장치를 실 해역에 실험 수행하였다. 하지만 그는 이론이 정립되지 않은 상태에서 실험을 수행하여 상업화에 성공하지 못하였다.

1973년 중동의 기름과동으로 파력발전에 대한 수요가 커져서 연구가 본격적으로 수행되고 주로 유럽을 중심으로 정부 차원의 적극적인 지원이 이루어졌으며, 많은 국제학술대회가 개최되었다. 1985년도에 노르웨이에서는 해안선에 원형 크기의 파력발전장치(용량: 350kW와 500kW)가 설치되었다. 이후 1990년대까지 유럽의 여러 나라에서 원형 크기의 발전장치를 설치하였다. 이 중에 특기할 것으로 스코틀랜드의 Islay섬에 설치된 75kW 용량의 진동수주 발전장치가 있다. 이것과 거의 같은 시기에 아시아에서도 진동수주 발전장치가 설치되었다. 즉, 일본에서 60kW 용량의 발전장치를 방파제에 설치하였고, 인도에서 125kW 용량의 발전장치를 해저면에 고정시켜 설치하였다. 1991년 유럽연합은 재생 가능한 에너지에 대한 연구개발에 파랑 에너지를 포함하여 이후 약 30개의 연구과제를 수행하였다. 2001년도에 국제에너지기구(IEA)가 해양 에너지에 대한 연구, 개발, 실증을 국제적으로 협조하고 정보를 교환하자는 취지에서 해양에너지시스템(IEA-OES)을 구축하였다. 최근에는 북아메리카의 미국과 캐나다에서도 해양에너지에 대한 연구와 정부의 지원이 이루어지고 있다.

파력발전에는 회절, 방사 등 이론적으로 복잡한 동수역학적인 현상이 발생한다. 따라서, 1970년대 후반부터 파랑에너지에 대한 논문 가운데 동수역학에 대한 논문이 대부분을 차지한다. 파력발전에 있

어서 또 다른 어려움은 동력을 뽑아내는 방법이 쉽지 않다는 것이다. 즉, 파랑으로부터 흡수되는 에너지양이 시시각각 변하여 일정하지 않다는 문제가 있다. 또한 악천후 시에도 발전 장치가 안전해야한다는 문제가 있다.

2.2 파랑에너지 자원

파력발전이 풍력발전과 비교하여 불리한 점은 파랑 에너지의 예측이 불가능하다는 것이다. 즉, 시간에 따라 변하고, 매 파랑 성분마다 다르고, 계절적으로도 변한다는 것이다. 파랑 에너지 자원을 정량적으로 예측하는 작업은 파력발전을 계획하는데 있어 첫 번째로 이루어져야 할 것이다. 이는 바람 자료로부터 파랑 에너지를 추정하는 수치모형을 쓴다. 파랑에너지가 높은 곳은 20kW/m ~ 70kW/m 정도 동력이 나올 수 있는 곳으로서 주로 위도가 중간이거나 높은 곳에 분포하고 있다. 지구의 남반구가 북반구에 비해서 파랑에너지의 계절적인 변화가 작다. 따라서, 남아메리카, 아프리카, 오스트레일리아가 파랑에너지를 개발하기에 적합하다.

2.3 에너지 변환에 발생하는 동수역학

초기 연구에서 부유체에서 파랑에너지를 받아들이는 작업은 선박해양공학의 도움으로 가능하였다. 여기에 새로 추구하고자 할 연구는, 파랑 에너지를 전기 에너지로 변환하는 방법과 에너지를 최대화하는 방법이다.

파랑에너지를 전기에너지로 변환하는 방법에 대한 연구로는, 선형의 규칙파로부터 부유체의 일차원 변위가 발생하는 경우에 처음으로 이론이 개발되었다(Budal and Falnes, 1975). 파랑의 진폭이 작고, 부유체의 변위가 작다고 가정하면 이론식이 선형식이 되고 주파수 영역에서 해석이 가능하다.

수중에 잠긴 부체의 표면에 작용하는 힘은 입사파에 의한 외력과 부체에 의한 방사력, 정수압력으로

나눌 수 있다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$(m + A) \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + \rho g S x = f_d + f_{PTO} \quad (1)$$

위 식에서 f_d 는 외력이고, f_{PTO} 는 파랑에너지를 전기에너지로 변환하면서 발생하는 힘이고, A 는 부가 질량(Added Mass)이고, $B(\omega)$ 는 감쇠계수이고, S 는 부체의 단면적이고, $f_{PTO} = -C dx/dt - Kx$ 로 가정한다. 여기서, C 는 감쇠계수이고, K 는 스프링상수이다. 규칙파의 경우 $\{x, f_d\} = \text{Re}(\{X, F_d\}e^{i\omega t})$ 로 표현할 수 있어서 식 (1)로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$X = \frac{F_d}{-\omega^2(m + A) + i\omega(B + C) + \rho g S + K} \quad (2)$$

파랑에너지로부터 유도되는 동력이 최대값이 되는 공진 조건을 찾아보면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있었다.

$$\omega = \sqrt{\frac{\rho g S + K}{m + A(\omega)}}, \quad C = B(\omega) \quad (3, 4)$$

식 (3)은 공진조건식이다. 이 조건에서 진동하는 물질의 질량이 $m + 4$ 이고, 스프링상수가 $\rho g S + K$ 이고, 에너지감쇠가 없는 경우의 각주파수를 구할 수 있다. 식 (4)는 에너지변환장치의 감쇠계수가 방사 시 발생하는 감쇠계수와 같다는 조건이다.

실제 파랑은 불규칙적이고 변환장치도 비선형이어서 시간영역에서 다음과 같은 운동방정식으로 해석해야 한다.

$$[m + A(\infty)] \frac{d^2x(t)}{dt^2} + \rho g S x(t) + \int_{-\infty}^t L(t-\tau) \frac{d^2x(\tau)}{d\tau^2} d\tau = f_d + f_{PTO} \quad (5)$$

위 식에서

$$L(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{B(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega \quad (6)$$

시간영역에서의 계산은 불규칙파랑에 적합하지만 주파수영역에서의 계산에 비해서 계산시간이 많이 걸리는 한계가 있다.

수치모형실험은 파력장치를 설계할 때 첫 번째 단

계로 실시된다. 그런데, 수치모형실험은 실제 발생하는 에너지손실 즉, 난류에 의한 에너지손실과 파랑의 진폭이 큰 경우에 예측을 정확히 할 수 없다는 문제점이 있다. 따라서, 설계의 최종단계에 축소모형을 사용하여 수치모형실험을 하게 된다.

2.4 에너지 변환장치의 제어

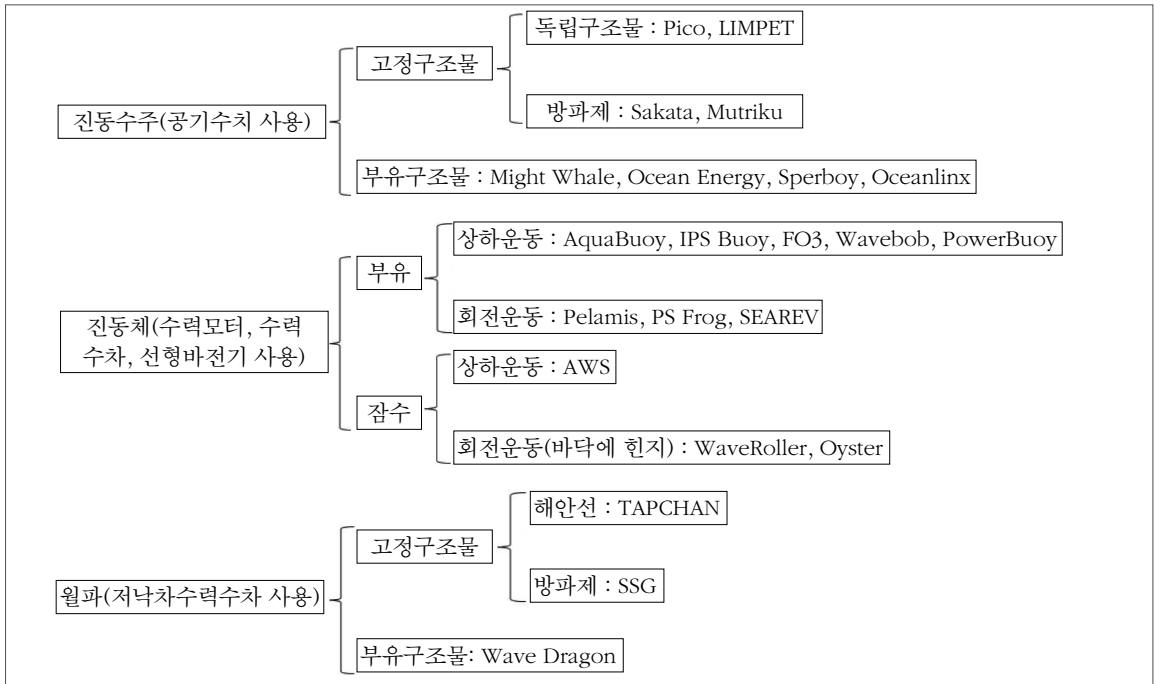
파랑에너지를 사용할 경우 몇 단계의 에너지변환이 발생하고 각 단계에서 변환효율이 발생하고 제약 조건이 뒤따른다. 따라서, 모든 단계에 에너지 변환장치를 제어할 필요가 있다.

진동체와 진동주수 발전장치의 초기 연구에서 발전효율을 최대하기 위하여 진동체의 주파수가 입사파의 주파수와 똑같아야 한다는 공진조건을 제안하였다. 그런데, 공진조건을 만족시키기 위하여 진동체의 크기가 10m이상으로 아주 크지 않으면 진동체의 주파수가 입사파의 주파수보다 아주 크다는 문제점이 있다. 또한 실제 파랑은 주파수가 항상 변한다는 것이다.

규칙파가 전파하고 1차원 변위가 있는 경우 공진을 유도하려면 진동체가 외력과 같은 위상으로 움직여야 한다는 것이다. 이것을 위상제어(Phase Control)라고 한다. 실제 진동체의 주파수가 입사파의 주파수보다 높기 때문에 이를 낮추기 위하여 스프링상수 K 를 음수로 하는 방법이 있다. 이것을 반응위상제어(Reactive Phase Control)라고 한다. 이것은 물리적으로 불가능할 뿐만 아니라 에너지의 흐름방향이 역전되어 에너지손실이 크게 발생하는 문제점이 있다. 또 다른 위상제어 방법으로 에너지 변환을 필요시 차단하는 방법이다. 하지만 효과적으로 통제하기 위하여 불규칙파의 미리 예측해야 하는 어려움이 있고, 계산시간이 상당히 오래 걸리는 문제점이 있다.

2.5 여러 가지 에너지 변환 기술

파력발전장치는 풍력발전에 비해 다양한 기술이



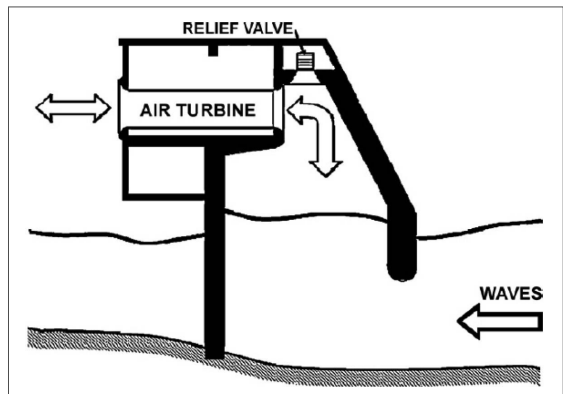
〈그림 1〉 다양한 파력발전장치의 분류도

개발되었다. 왜냐하면 파랑에너지를 흡수하는 방법, 수심, 위치(해안선, 연안, 심해 등)에 따라 달라지기 때문이다. 지금까지 개발된 기술을 작동원리에 따라 분류하면 〈그림 1〉과 같다.

2.6 진동수주 (OWC) 발전장치

2.6.1 고정식 진동수주 발전장치

제 1세대 에너지 변환장치는 해안선이나 연안에 바닥에 고정되어 있다. 해안선에 설치된 발전장치는 설치 및 유지관리가 쉽다. 파랑에너지가 작을 수 있는데, 이는 굴절, 회절 등으로 에너지를 높일 수도 있다. 전형적인 제1세대 에너지 변환장치는 진동수주이다. 또 다른 제 1세대 에너지 변환장치는 월파형 장치로 TAPCHAN(Tapered Channel Wave Power Device)이다. 이 장치는 노르웨이 해안에 1985년도에 설치되어 여러 해 동안 운영되었다.



〈그림 2〉 Pico 발전장치(고정식 진동수주)

진동수주 발전장치는 수중에 잠긴 콘크리트나 철골 구조물과 그 안에 공기로 구성되어 있다. 해수면의 진동에 따라 공기가 수차를 지나가면서 전기가 생산된다(〈그림 2〉 참조). 1970년대 중반에 개발된 축방향의 흐름이 발생하는 ‘Wells’ 라는 수차는 교류를 직류로 바꾸는 밸브가 필요치 않아 진동수주

발전장치에 많이 사용된다.

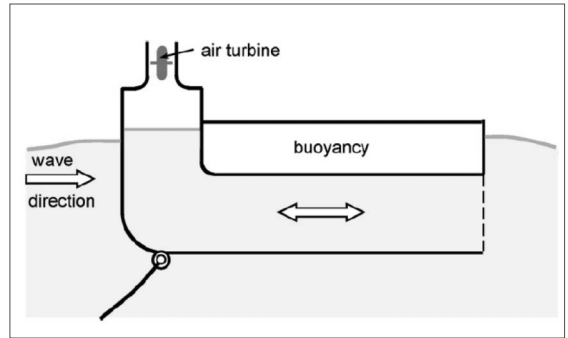
원형 크기의 진동수주 발전장치는 노르웨이 (Toftes-tallen, 1985년도), 일본(Sakata, 1990년도), 인도(Vizhinjam, 1990년도), 포르투갈(Pico, 1999년도), 영국(LIMPET, 2000년도) 등 여러 나라에서 설치되었다. 대부분의 진동수주 발전장치는 바닥에 고정되어 있고, Wells 수차를 사용하고 있고, 콘크리트 구조물로 구성되어 있다. 공기와 달은 수면적은 80-250m²이고, 발전용량은 60-500kW이다.

1980년대 초기 이후 이론과 실험으로 파랑에너지를 받아들이는 부분에 물이 집중되게 만들면 더 많은 에너지가 발전된다는 것을 알게 되어 이 방법을 쓰고 있다. 오스트레일리아에 있는 Energetech 회사는 발전장치의 입구부에 포물선형의 집수시설을 사용하였다.

진동수주 발전장치에서 가장 경제적으로 부담이 큰 부분은 구조물의 건설비이다. 이 비용을 줄이기 위하여 방파제에 붙여서 사용하는 방법을 시도하고 있다. 첫 번째 시도로, 일본에서 1990년도에 Sakata 항에서 방파제를 발전 겸용으로 건설하였다. 이후에 포르투갈, 스페인 등지에서도 건설되었다.

2.6.2 부유식 진동수주 발전장치

처음으로 시도된 진동수주 발전장치는 부유식으로, 1960년대에 Masuda가 개발하였다. 그는 개발 초기에 부체의 수주를 수면 바로 아래에 두어 발전을 시도하였으나 발전 효율이 좋지 않았다. 이후 수주가 파랑의 입사방향과 반대쪽으로 꺾인 부체(BBDB, Backward Bent Duct Buoy)를 개발하였다 (<그림 3> 참조). 이 장치의 장점은 흘수가 깊지 않 으면서도 수주의 길이를 충분히 길게하여 공진이 발생할 수 있다는 것이다. 이 발전장치에 대한 연구는 일본, 중국, 한국, 아일랜드 등에서 계속 수행되어 왔고, 항해부표의 동력원으로 일본과 중국에서 사용되고 있다. 또 다른 부유식 진동수주 발전장치로, 일



<그림 3> BBDB 발전장치(부유식 진동수주)

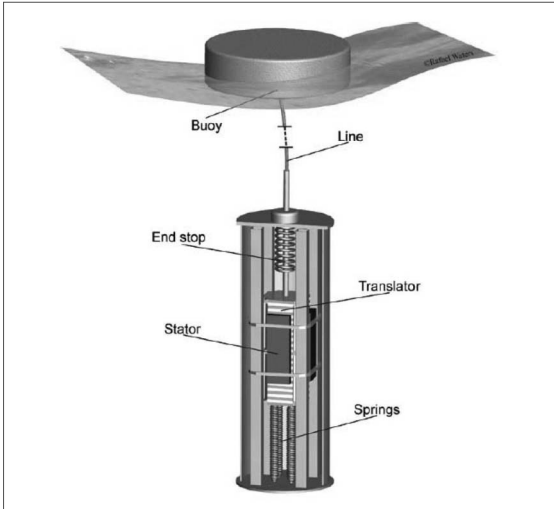
본 해양과학기술센터에서 개발한 Mighty Whale이 있다. 이 장치는 1998년도에 실험역에 원형 크기로 설치되었고, 총 발전용량이 110kW이다. 대부분의 진동체는 바닥에 느슨하게 계류되어 있어서 에너지 흡수를 향상시키는데 유리하다.

2.7 진동체 발전장치

수심 40m이상 심해에 설치되는 발전장치(제 3세대 발전장치라고 함)는 기본적으로 부유식 진동체이다. 이 발전장치는 연안에 설치된 발전장치(제 1세대 발전장치라고 함)에 비해 계류, 유지관리를 위한 접근성, 해저에 매설되는 전기선이 길어야 하는 등 많은 문제점이 있다. 따라서, 최근여야 원형 크기로 실증하는 수준에 있다.

2.7.1 단일 구조물로 된 상하진동 부유체

가장 단순한 진동체는 상하진동만을 허용하는 부유체이다. 초기에 시도된 발전장치는 G-1T라는 장치로, 직사각형 단면의 부유체로서 수직방향의 운동만을 허용하였으며, 1980년도에 일본 동경만에서 실험이 수행되었다. 또 다른 초기 발전장치는 Norwegian 부유체로서 구형의 부유체이다. 바닥에 유니버설 조인트로 연결되어 있고, 상하운동이 허용된다. 이 부유체는 에너지 변환장치를 일시 차단하여 위상을 조절할 수 있고, 1983년도에 실험이 수행

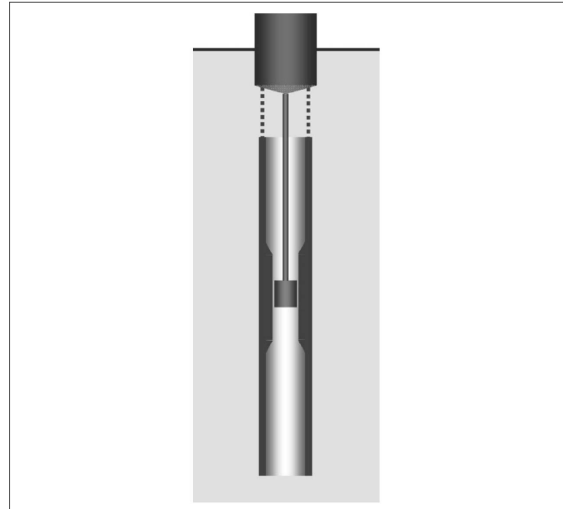


〈그림 4〉 선형의 발전을 사용하는 부유체 (단일 구조물로 된 부유체)

되었다. 또 다른 발전장치는, 부유체가 케이블 선으로 단단하게 묶인 채로 연결되어 있다. 이 장치는 1990년대에 덴마크에서 실험을 수행하였다. 그리고 다른 발전장치는, 부유체가 계류선에 꼭 묶인 채로 연결된 장치로서 스웨덴에서 개발하였다(〈그림 4〉 참조). 바닥에 설치된 발전기는 선형의 운동에너지를 이용한다. 선형의 운동이 허용된 부품에 부착된 스프링은 파랑의 반주기동안 에너지를 축적하였다가 수위가 아래에 있을 때 복원력으로 작동한다.

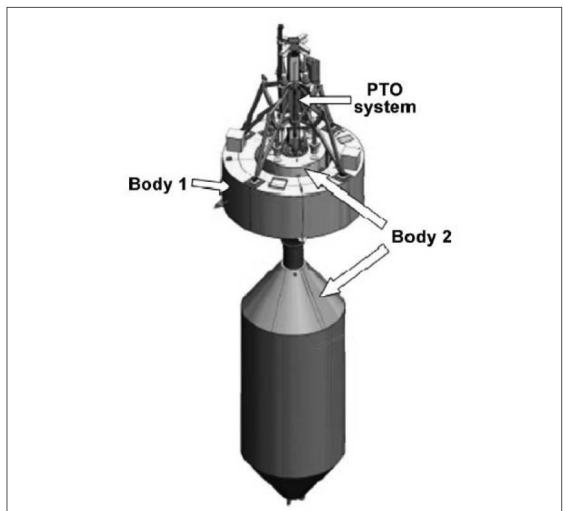
2.7.2 두개의 구조물로 된 상하진동 부유체

단일구조물로 된 부유체는 바닥과 부유체 사이의 진동으로 발전을 유도하는 것인데, 바닥과 수면 사이에 떨어진 거리가 멀기 때문에 발전하는데 어려움이 있다. 그 대신 다수의 구조물에서는 두 구조물 사이의 상대적인 운동으로 발전을 유도한다. 두 개의 구조물 사이의 수동역학에 대해서 Falnes(1999)가 이론적으로 상세히 분석하였다. 두 개의 구조물로 에너지 변환을 유도하려면 특별한 제어 문제가 발생한다.



〈그림 5〉 IPS(두개의 구조물로 된 부유체)의 개념도

가장 흥미로운 두 개의 구조물로 된 부유체는, 스웨덴에서 개발된 IPS부유체이다(〈그림 5〉 참조). 이 부유체는 부유체가 수직관(가속도 관이라고도 함)과 연결되어 있고 양쪽 끝이 트여 있다. 이 관에는 피스톤이 부유체와 상대적인 운동을 할 때 발생하는 에너지를 전기로 변환한다. 이 장치는 지금까지도 지속적으로 개발되고 있다.

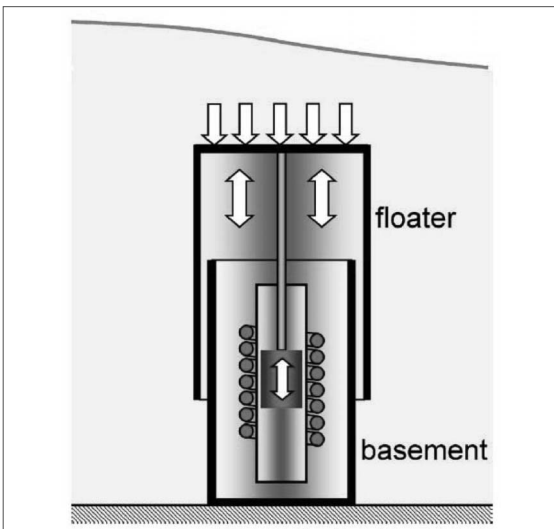


〈그림 6〉 Wavebob(두개의 구조물로 된 부유체)

또 다른 두 개의 구조물로 구성된 부유체로, 아일랜드에서 개발한 Wavebob가 있다(〈그림 6〉 참조). 이 부유체는 똑같은 축에 부착된 2개의 축대칭형 구조물이다. 두 구조물이 상대적으로 다르게 회전운동을 할 때 발생하는 에너지를 고압오일을 사용하여 전기로 변환한다. 내부 구조물은 고정되어 있고, 입사파의 평균 주파수에 맞출 수 있게 조정이 가능하다.

2.7.3 수중에 잠긴 상하 진동체

수중에 잠긴 진동체로, AWS(Archimedes Wave Swing)는 네덜란드에서 개발하였다(〈그림 7〉 참조). 이 진동체는 윗부분에 상하로 진동하는 부유체가 있고 아랫부분은 바닥에 고정되어 있다. 부유체는 수면에 올라갈 때 아래로 내려가고, 수면이 내려갈 때 위로 올라간다. 이 움직임은 선형의 발전기의 저항을 받고 내부 공기가 압력을 받으면서 스프링 역할을 한다. 이 장치는 이론, 실험을 거친 다음 2MW 용량의 원형 크기로 2004년도에 성공적으로 설치되었다. 이 장치는 선형의 발전기를 사용한 최초의 파력발전장치이다.

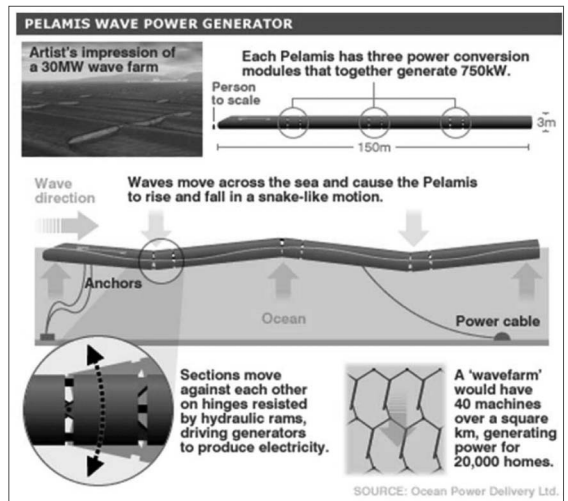


〈그림 7〉 AWS(수중에 잠긴 진동체)의 작동 원리

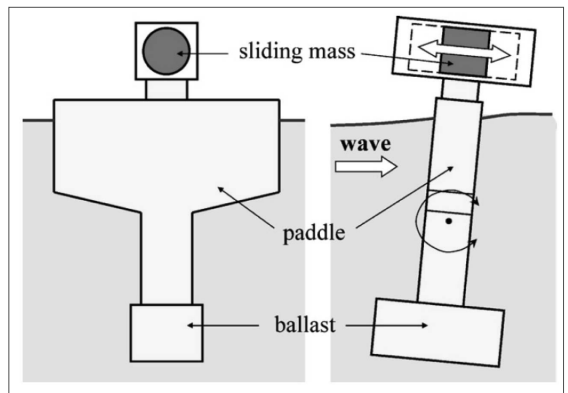
2.7.4 회전 진동체

영국에서 개발한 회전 진동체 발전장치로, Pelamis가 있다. 이 장치는 뱀처럼 움직이고, 4개의 원통이 힌지로 연결되어 있고, 파랑의 입사방향과 나란하게 배치되어 있다(〈그림 8〉 참조). 힌지가 움직이면서 수력모터로 고압의 오일을 펌프질하여 전기를 발생시킨다. 2004년도에 스코틀랜드에서 원형 크기(길이: 120m, 직경: 3.5m, 용량: 750kW)로 시험운영 하였다.

또 다른 회전 진동체 발전장치로, 영국에서 개발



〈그림 8〉 Pelamis(회전 진동체) 발전 원리



〈그림 9〉 PS Frog Mk5(회전 진동체)의 발전 원리

한 Frog가 있다. PS Frog Mk5는 넓은 부유판이 있고, 그 아래에 무거운 발라스트가 있다(〈그림 9〉 참조). 파랑이 부딪치면 부유판이 움직이고, 발라스트는 구조물 전체를 지탱하면서 부유판과 반대방향으로 움직인다. 수면 위에 있는 물질이 앞뒤로 움직이면서 전기가 발생하게 한다.

2.8 월파 발전장치

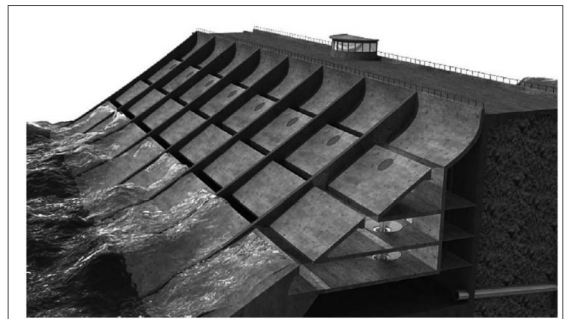
또 다른 파력발전장치로서 파랑을 월파시켜 저수지에 물을 가두어 바깥과의 수위차를 이용하여 발전시키는 장치가 있다. 월파하는 파랑은 비선형이 아주 크다.

TAPCHAN (Tapered Channel Wave Power Device)은 1985년도에 노르웨이에서 개발하였고 발전용량이 350kW이다(〈그림 10〉 참조). 이 발전장치는 집수시설, 에너지 변환장치, 저수지, 저낙차 수차로 구성되어 있다. 집수시설은 나팔모양으로 되어 있어서 다량의 물을 모아 저수지 너머로 보내어 수위차가 3m까지 되게 하였다. 저수지를 두면 낙차가 시간에 따라 변하지 않고 안정적으로 유지되는 장점이 있다. 저수지의 표면적이 충분히 넓어야 낙차의 시간적인 변화가 작아진다. TAPCHAN의 경우 저수지의 표면적이 8500m²이다. 부식에 강한 저낙차용

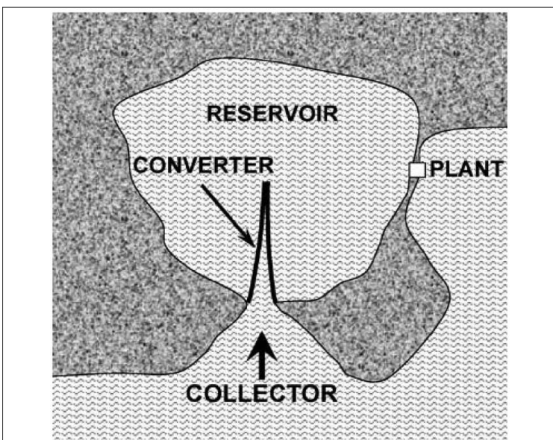
의 Kaplan 유형의 수차를 사용하였다.

또 다른 월파 발전장치로, 덴마크에서 개발한 Wave Dragon이 있다. 이 발전장치는 심해에서 느슨하게 계류된 부유체로서 입사파가 두 개의 반사판 사이로 모이게 하여 경사면 위로 월파하고 저수지로 넘어가게 하였다. 저낙차용의 수력수차를 사용하였다. 2003년도에 원형 크기로 시험운영 하였다.

또 다른 월파 발전장치로 유럽프로젝트로 공동으로 개발한 SSG(Seawave Slot-Cone Generator)가 있다(〈그림 11〉 참조). 이 발전장치는 케이슨 방파제의 외해면에 경사면을 두어 처오름과 월파를 유도하여 뒤에 각 경사면 뒤로 저수지를 두어 각 저수지에 낙차를 이용하여 발전을 시키는 장치이다.



〈그림 11〉 SSG (월파 발전장치)



〈그림 10〉 TAPCHAN(월파 발전장치)

3. 맺음말

Falcao는 파력발전의 역사, 개발된 기술, 특히 작동원리에 따라 진동수주, 진동체, 월파로 구분하여 그 장단점을 상세히 기술하였다. 파력 발전은 다른 대체에너지 발전장치(예를 들어, 태양력, 풍력, 조력)에 비해 효율성이 떨어진다는 것이 가장 큰 약점으로 판단되었다. 또한 시시각각 변하는 에너지원을 안정적으로 확보하기에 어려움이 있다는 것도 큰 약점이다. 이를 보완할 방법으로, 한 목적이 아닌 다목적으로 활용한다면 다른 발전장치에 비해 경쟁력이 있다고 본다. 예를 들어, SSG와 같이 방파제에 겸용

으로 쓴다면 공사비와 유지보수비가 절감될 것이다.

국내에서는 한국해양과학기술원(구 한국해양연구원)에서 1993년부터 약 20년 가까이 다양한 형식(부유식 진동수주, 고정식 진동수주(그림 11) 참조), 직선 월파(그림 12) 참조), 나선 월파 등)의 발전장치를 개발하였다. 또한 최근에 한국전력연구원에서 진동체 발전장치의 실증연구를 진행하고 있다. 또한 한국해양대학교에서 태양광, 풍력, 파력을 복합적으로 이용하는 부유식 발전장치를 개발하고 있다. 2011년도에는 500kW 용량의 진동수주 발전장치를 제주도에 설치하고 있는 상황이다. 현재까지

국내에서 개발된 파력발전장치는 선진국에 비해서 효율성과 안전성 면에서 더 발전할 여지가 있다고 사료된다. 향후 해안항만 기술자들이 더 많은 관심을 갖고 파력발전시설을 개발할 필요가 있겠다.

참고문헌

Budal, K., Falnes, J. (1975). A resonant point absorber of ocean-wave power. *Nature* 257, 478-479.

Falcao, A.F. de O. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 899-918.

Falnes, J. (1999). Wave-energy conversion through relative motion between two single-mode oscillating bodies. *J Offshore Mech Artic Eng* 121, 32-38.



〈그림 12〉 진동수주 발전장치 (한국해양과학기술원)



〈그림 13〉 월파 발전장치 (한국해양과학기술원)