

다물체동역학을 이용한 다자유도 파력발전시스템의 흡수 효율 분석

김민수* · 손정현*† · 김정희** · 성용준**

* 부경대학교 기계설계공학과, ** INGINE

Efficiency Analysis of a Wave Power Generation System by Using Multibody Dynamics

Min Soo Kim*, Jeong Hyun Sohn*†, Jung Hee Kim** and Yong Jun Sung**

* Dept. of Mechanical Design Engineering, Pukyong Nat'l Univ.

** INGINE Inc.

(Received December 2, 2015 ; Received March 7, 2016 ; Accepted April 14, 2016)

Key Words: Wave Power Generation System(파력 발전 시스템), Energy Absorption Efficiency(에너지 흡수 효율), Floating Body(부유체)

초록: 파력발전시스템의 에너지 흡수 효율은 입사파의 파력과 발전기 구동 동력의 비로 정의된다. 흡수 효율은 파력발전시스템의 동적 거동에 의존하기 때문에 파력발전시스템의 에너지 흡수 효율을 예측하기 위해서 파력발전시스템의 동적 해석이 요구된다. 본 논문에서는 에너지 흡수 효율을 예측하기 위하여 파력발전시스템의 동적 해석을 수행하였다. 파력발전시스템의 동적 해석을 위해서 상용 다물체동역학 해석 프로그램인 RecurDyn을 사용하였고, 부유체에 작용하는 파력을 모델링하기 위해서 Morison equation을 적용하였다. 효율분석 결과 파고가 낮고, 주기가 짧을수록 흡수효율이 높아지는 경향을 보인다.

Abstract: The energy absorption efficiency of a wave power generation system is calculated as the ratio of the wave power to the power of the system. Because absorption efficiency depends on the dynamic behavior of the wave power generation system, a dynamic analysis of the wave power generation system is required to estimate the energy absorption efficiency of the system. In this study, a dynamic analysis of the wave power generation system under wave loads is performed to estimate the energy absorption efficiency. RecurDyn is employed to carry out the dynamic analysis of the system, and the Morison equation is used for the wave load model. According to the results, the lower the wave height and the shorter the period, the higher is the absorption efficiency of the system.

1. 서론

최근 신재생 에너지의 수요가 급증함에 따라 다양한 분야의 연구가 이루어지고 있다. 그 중에서 자연 자원인 파력을 이용한 발전에 관심이 높아지고 있다. 파도 에너지는 총 부존량은 전 세계 전력 수요의 2배에 달할 정도로 풍부한 에너지이다. 또한 태양광, 풍력과 비교하여 경제성, 안정성, 예측 가능성의 측면에서 큰 장점이 있어 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 상용화가 진행되고 있다.

대표적인 파력발전 방식에는 파랑의 운동에 의

하여 수면에 떠있는 부유체가 운동하도록 하여 발전을 회전시키는 가동물체형(movable body) 방식, 내부로 유입된 파랑에 의하여 생기는 공기유동으로 터빈을 회전시켜 발전하는 진동수주형(oscillation water column) 방식, 파랑의 운동에너지를 위치에너지로 변환하여 터빈을 회전시키는 데 사용하는 월파형(overtopping) 방식이 있다.

현재 상용화된 파력발전시스템의 에너지 변환 효율은 대부분 10~15%에 머물러있어 파도가 강한 지역에서만 사용되고 있다. 따라서 파력발전 시스템의 효율을 증가시키기 위한 노력이 필요하며 파력발전시스템의 에너지 효율을 예측하기 위해서 메커니즘을 기구동역학적으로 분석할 필요성이 있

† Corresponding Author, jhsohn@pknu.ac.kr

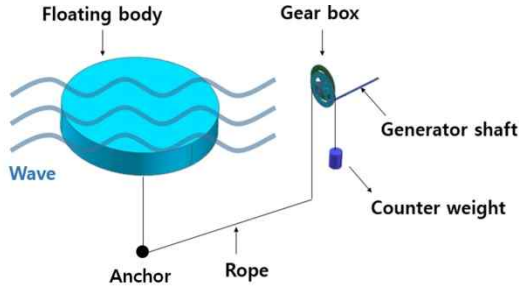


Fig. 1 Wave power generator System

다. Kim 등⁽¹⁾은 파력발전기의 흡수파력을 추정하는 방법에 대한 연구를 수행하였고, Kim 등⁽²⁾은 진동수주형 파력발전기의 흡수파력을 추정하는 연구를 수행하였다. Hong 등⁽³⁾은 착저식 OWC 파력발전장치의 파에너지 흡수효율에 관한 연구를 수행하였으며, Jang 등⁽⁴⁾은 다물체 동역학을 이용하여 가동물체형 파력발전기의 동적 거동을 연구하였다. 대부분의 연구들이 진동수주형의 형태였으며, 가동물체형의 발전기도 본 연구에서 제안하는 구조와는 다른 방식이 연구되었다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 가동물체형 방식 파력발전시스템을 대상으로 한다. 파랑하중에 따른 다자유도 파력발전기의 거동 및 흡수효율을 분석하기 위해서 상용 해석 소프트웨어인 RecurDyn을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 동역학적 모델을 구성하고, 모리슨방정식(Morison equation)을 이용하여 파랑하중을 모델링하였으며, 파도의 주기와 진폭에 따른 발전기의 흡수동력을 비교 분석하였다. 2장에서는 파력발전시스템 모델링 및 파랑하중 모델링을, 3장에서는 동역학 시뮬레이션 결과를, 4장에서는 흡수효율 분석결과를 나타내었으며, 결론을 5장에 나타내었다.

2. 파력발전시스템 모델링

2.1 부유시스템의 동역학 모델링

부유체(floating body)는 로프에 연결되어있고, 로프는 해저면에 설치된 앵커(anchor)를 거쳐 연안에 설치된 발전 시스템에 연결된다. 파도에 의해서 부유체가 이동함에 따라 로프가 당겨지게 되고 로프가 감겨있는 기어를 회전시키면서 발전기 축에 동력이 전달된다. 본 연구에서는 상용 다물체 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn을 이용하여 다자유도 파력발전시스템을 모델링하고 동역학 해석을 수행하였다. 부유체의 운동은 2차원으로 가정하며, 스웨이(sway) 방향 및 부유체의 회전은 고려하지 않는다.

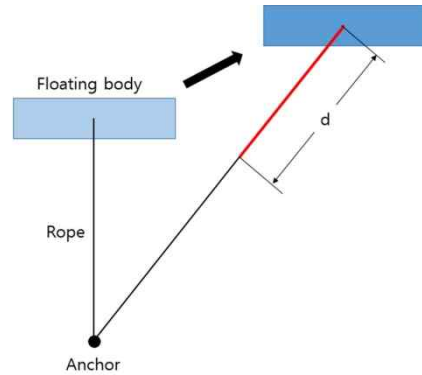


Fig. 2 Displacement of floating body

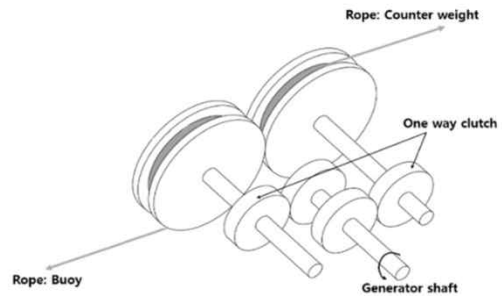


Fig. 3 Gear connection diagram

Fig. 2는 부유체가 이동함에 따라 로프가 당겨지는 모습을 나타내었다. 부유체와 앵커 사이의 거리 변화, 즉 부유체와 앵커 사이의 로프 길이 변화를 부유체의 변위라고 정의한다. 파도에 의해 부유체가 상승 또는 하강할 때 부유체의 변위만큼 로프가 당겨져 기어를 회전시키며, 부유체의 변위와 기어의 회전각 사이의 관계는 다음 식과 같다.

$$d = r\theta \tag{1}$$

d 는 부유체의 변위를 의미하며 d 가 양수일 경우 부유체가 상승하고, 음수일 경우에는 부유체가 하강하는 것을 의미한다. r 은 로프가 감겨있는 기어의 반지름, θ 는 기어의 회전각을 의미한다.

Fig. 3에는 기어 연결도를 나타내었다. 부유체와 로프로 연결된 기어를 부유체측 기어, 균형추(counter weight)와 연결된 기어를 균형추측 기어라고 한다. 균형추측 기어에 로프로 연결된 균형추는 부유체, 부유체측 기어와 마찬가지로 구속식으로 연결되어 있으며, 파도에 의해 부유체가 운동할 때 균형추는 같은 방향으로 움직이도록 설계되었다. 파도가 상승하면 부유체가 상승하면서 발전기 축에 동력을 전달하고, 균형추는 상승하면서 위치에너지가 증가한다. 파도가 하강할 때에는 균형추의 위치에너지에 의해서 발전기 축이 회전한다.

부유체측 기어와 균형추측 기어는 다음과 같은 구속식을 만족한다.

$$W_{buoy} = r \times W_{counter\ weight} \quad (2)$$

W_{buoy} 와 $W_{counter\ weight}$ 는 부유체측 기어와 균형추측 기어의 회전속도를 의미하고, r 은 기어비를 의미한다. 균형추측 기어가 부유체측 기어보다 3.5 배 크기 때문에 기어비는 3.5이다.

안정적인 전력 생산을 위해서 발전기 축은 회전방향 및 속도가 일정하게 유지되어야 하며, 단방향 클러치(one way clutch)는 발전기 축에 동력을 전달하며 부유체의 상승 또는 하강과 관계없이 발전기 축의 회전 방향을 일정하게 만들기 위한 목적으로 사용된다. 단방향 클러치가 발전기 축에 전달하는 토크(T)는 IF함수를 이용하여 모델링하였으며, 다음 식을 만족한다.

$$T = \begin{cases} k_t \theta_{gen/dut\ h} + c_t \dot{\theta}_{gen/dut\ h} & (\dot{\theta}_{gen/dut\ h} \leq 0) \\ 0 & (\dot{\theta}_{gen/dut\ h} > 0) \end{cases} \quad (3)$$

위 식에서 k_t 는 강성 계수(stiffness coefficient), c_t 는 감쇠 계수(damping coefficient)를 의미하며, $\theta_{gen/gear}$ 는 부유체측 또는 균형추측 기어에 대한 발전기 축의 각변위를 의미하며, $\dot{\theta}_{gen/gear}$ 는 상대 회전 속도를 의미한다. 식 (3)에 의해 발전기 축이 기어보다 느리게 회전하면 토크가 발생하여 발전기 축을 회전시키고, 발전기 축의 회전속도가 더 빠를 경우에는 토크가 발생하지 않기 때문에 발전기 축은 관성에 의해 회전한다. 단방향 클러치를 통해서 발전기 축에 동력을 전달함으로써 회전 방향을 일정하게 유지할 수 있다. 부유체가 상승할 때에는 부유체측 기어에 부착되어있는 단방향 클러치가 발전기 축에 동력을 전달하고 균형추측 기어에 부착되어있는 단방향 클러치는 헛돌게 되어 동력을 전달하지 못한다. 부유체가 하강할 때에는 균형추측의 단방향 클러치가 발전기 축으로 동력을 전달하고 부유체측의 단방향 클러치는 동력을 전달하지 못한다. 따라서 발전기 축은 항상 같은 방향으로만 회전한다.

부유체는 직경이 5m이고 높이가 0.8m인 실린더 형상으로 모델링 하였으며, 수면에 수직인 방향을 히브(heave) 방향, 파도의 진행 방향을 서지(surge) 방향으로 정의한다. 부유체의 거동은 서지 및 히브 좌표로 표현가능하며, 발전기 축을 제외한 요소는 구속식 및 기어로 연결되어있으므로 부유체의 거동에 종속적이다. 발전기 축은 단방향 클러

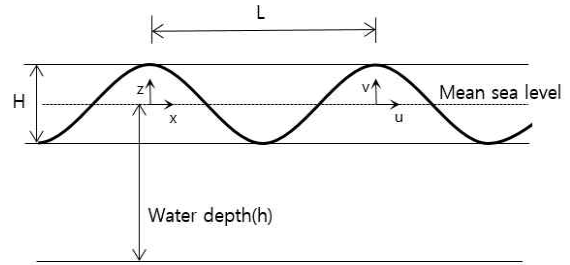


Fig. 4 Definition diagram of wave

치에 의해서 독립적으로 회전한다. 따라서 파력발전시스템의 거동은 부유체의 서지 및 히브 좌표와 발전기 축의 회전, 총 3개의 좌표로 표현이 가능하다.

2.2 파랑하중 모델링

파랑하중은 근해의 조건을 고려하여 모델링하였으며 유체 상에 움직이는 물체의 운동에 적용 가능한 상대 모리슨 방정식(relative morison equation)을 사용하였다.^(5,6) 파랑하중은 부유체의 질량 중심에 작용하는 것으로 가정하였다. 따라서 부유체의 회전은 고려하지 않고 서지 및 히브방향의 병진운동만 고려된다.

Fig. 4는 파랑의 정의를 나타낸다. H는 최대 파고, L은 파장, h는 수심, x는 파도의 진행방향, z는 파도의 자유 수면에 수직인 방향의 좌표를 의미한다. v와 u는 유체 입자의 속도를 의미한다. 파고(ζ)는 x좌표와 시간에 따라 변하므로 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\zeta(x,t) = \frac{H}{2} \cos(kx - wt) \quad (4)$$

k는 파수(wave number)를 의미하고 w는 각진동수(angular frequency), h_{buoy} 는 부유체의 높이를 의미한다. 파장은 주기와 수심에 의해서 계산되는 값으로 아래 식과 같이 계산된다.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (5)$$

실린더 형상을 가진 부유체가 물에 잠긴 부분의 부피(V)는 부유체의 단면적과 물에 잠긴 깊이를 곱하여 구할 수 있으며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V(x, z, t) = A \left\{ \frac{H}{2} \cos(kx - wt) - \left(z - \frac{h_{buoy}}{2} \right) \right\} \quad (6)$$

Table 1 Wave condition

Parameters	Values
Wave height(m)	1.5
Water depth(m)	5
Period(s)	6

A는 부유체의 단면적을 의미한다. 식 (6)을 이용하여 물에 잠긴 부분의 부피에 따른 부력(B)을 계산할 수 있다.

$$B = \rho g V \quad (7)$$

물체가 완전히 물에 잠겼을 때의 부력이 물체의 무게보다 큰 경우에 부력의 크기와 물체의 무게가 같아지는 평형 상태가 존재한다. 부유체는 잠긴 부분의 깊이에 따라서 부력이 변하며 평형 상태를 유지하려는 성질을 가지게 된다.

부유체에 작용하는 파랑 하중은 상대 모리슨 방정식을 적용하여 모델링하며, 상대 모리슨 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$F = \rho C_m V (\dot{v} - \ddot{q}) + \frac{1}{2} \rho C_D A (v - \dot{q}) |v - \dot{q}| \quad (8)$$

ρ 는 유체의 밀도, C_m 은 부가질량 계수, C_D 는 항력 계수, \dot{q} 와 \ddot{q} 은 부유체의 속도와 가속도, v 와 \dot{v} 는 속도 포텐셜과 가속도 포텐셜을 의미한다. 포텐셜 이론은 파랑하중 또는 응답 추정에 널리 쓰이며 유체의 성질을 비점성, 비압축성, 비회전성으로 가정한다. v 와 \dot{v} 는 아래 식으로 표현된다.

$$v = \frac{H w \sinh(z+h)}{2 \sinh(kh)} \sin(kx - wt) \quad (9)$$

$$\dot{v} = -\frac{H w^2 \sinh\{k(z+h)\}}{2 \sinh(kh)} \cos(kx - wt) \quad (10)$$

3. 동역학 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 조건

모든 마찰은 무시하고, 발전기 축의 부하에 따른 전기적인 저항 등은 고려하지 않는다. 파랑하중은 서지방향 하중과 히브방향 하중으로 나누어 나타내며 부유체의 무게 중심에 작용한다. 파고 및 주기는 대한민국 연안과 유사한 조건으로 부여하기 위해서 기상청에서 제공하는 해양기상정보전달시스템⁽⁷⁾을 참고하여 선정하였으며, 해석에 사용한 파랑 조건을 Table 1에 나타내었다.

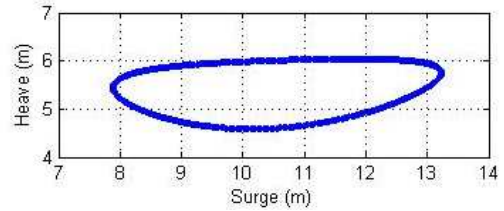


Fig. 5 Trajectory of floating body

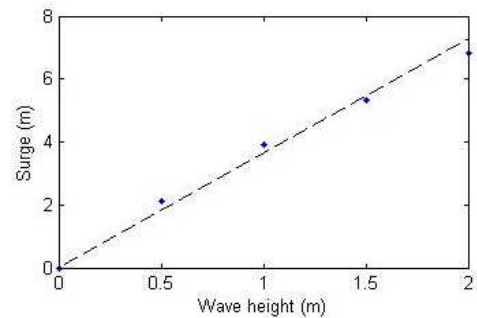


Fig. 6 Amplitude of surge displacement according to the wave height

3.2 시뮬레이션 결과

본 연구에 사용한 파력발전시스템의 거동은 부유체의 거동에 의해 결정되므로 부유체의 거동을 분석하는 것이 중요하다. 수심이 얇고 주파수가 낮은 규칙파에서 부유체는 타원형의 궤적을 그리며, 응답 진폭은 파고에 선형적이다.⁽⁸⁾ Fig. 5는 부유체의 궤적을 나타낸 것으로 히브 방향 최대 변위는 1.45m이고, 서지 방향 최대 변위는 5.34m인 타원형 궤적을 보인다. 파고를 0m, 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m로 증가시키며 해석을 수행하였을 때 부유체의 히브 방향 변위는 파고와 거의 일치하였으며, 파고에 따른 서지 방향 변위는 각각 0m, 2.13m, 3.90m, 5.34m, 6.81m로 선형으로 증가하였다. 파고에 따른 서지 방향 변위를 Fig. 6에 나타내었다.

시스템은 파도로부터 에너지를 흡수하여 구동되며 시스템의 동력은 각 물체가 가지는 동력의 합으로 구해진다. 각 물체의 동력은 물체에 작용하는 힘과 물체의 속도의 곱으로 계산하였다. Table 1의 조건으로 해석을 수행하였을 때 시스템의 평균 동력은 4.95kW로 나타났다. 부유체의 평균 동력은 4.89kW로 전체 동력의 98%를 차지한다. 따라서 시스템의 동력은 부유체의 동력에 지배적인 영향을 받는다.

4. 파력발전기 흡수 효율 분석

4.1 흡수 효율 정의

입사파의 파력에너지는 운동에너지와 위치에너지

지의 합으로 이루어져있다. 해저면에서 수면까지 단위 폭을 가지고 dx 의 길이를 가지는 물기둥을 생각할 때, 미소 질량의 위치에너지(dE_p)는 다음과 같이 주어진다.⁽⁹⁾

$$dE_p = \frac{\rho g}{2} \zeta^2 dx b \quad (11)$$

$$E_p = \frac{\rho g}{2} \int_0^\lambda \zeta^2(x) dx b \quad (12)$$

$$= \frac{\rho g H^2}{8} \int_0^\lambda \cos^2(kx - wt) dx b = \frac{\rho g H^2}{16} L b$$

식 (11)을 적분하여 한 주기에 대한 평균을 구하면 식 (12)와 같다. b 는 파랑의 폭을 의미한다.

$$E_k = \frac{\rho}{2} \int_{-h}^0 \int_0^\lambda (u^2 + v^2) dx dz b = \frac{\rho g H^2}{16} L b \quad (13)$$

$$E_{wave} = E_p + E_k = \frac{\rho g H^2}{8} L b \quad (14)$$

운동에너지(E_k)는 식 (13)으로 나타낼 수 있으며, 시스템의 전체 에너지는 식 (14)와 같이 위치에너지와 운동에너지의 합으로 구해진다.

일정 지역으로 전달되는 입사파의 파력은 단위 시간당 에너지로 나타낼 수 있고, 단위 시간당 파력을 파랑의 변화에 따라 일정 지역의 자유표면(A)에서 얻을 수 있는 입사파의 파력으로 다루기 위해 부유체에 미치는 입사파의 파랑 변화에 따른 선형파의 파력으로 나타내면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.⁽⁹⁾

$$P_{wave} = \frac{\rho g H^2}{8} C_g A / L \quad (15)$$

$$C_g = \frac{gT}{4\pi} \tanh(kh) \left\{ 1 + \frac{kh}{\sinh(kh)} \right\} \quad (16)$$

파도의 단위 시간당 에너지는 식 (15)와 같이 구해진다. 위 식에서 C_g 는 군속도를 말하며 식 (16)과 같다.

파력 발전 시스템의 동력은 동적 해석을 통해 얻은 값을 이용하여 구할 수 있다. 동력(P)은 물체에 작용하는 힘(토크)과 물체의 속도(각속도)의 곱으로 구해지고, 물체에 작용하는 힘은 물체의 질량(관성모멘트)과 가속도(각 가속도)의 곱으로 구해진다. 따라서 병진운동을 하는 물체의 경우 동력은 질량, 가속도, 속도의 곱으로 구하며, 회전운동을 하는 물체는 관성모멘트, 각 가속도, 각속

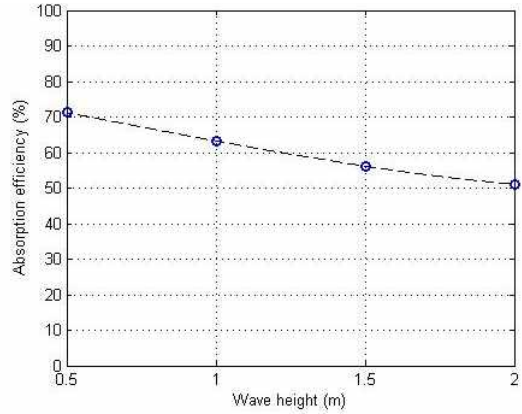


Fig. 7 Efficiency according to the wave height

도의 곱으로 구해진다. 각 물체가 가지는 동력을 모두 합한 뒤 주기에 대하여 평균을 취해 시스템의 동력(P_{system})을 계산하였다.

본 연구에 사용된 가동물체형 방식의 파력발전 시스템은 부유체에 가해진 파랑에너지를 에너지원으로 하여 구동된다. 시스템은 부유체에 가해진 파력에 의해서 운동하므로 파랑에너지의 일부를 흡수했다고 볼 수 있다. 따라서 흡수 효율(η)을 다음과 같이 정의하였다.

$$\eta = \frac{P_{system}}{P_{wave}} \quad (17)$$

4.2 흡수 효율 경향성 분석

파도는 매우 불규칙하여 시뮬레이션과 비교하기 어렵고, 파력발전시스템의 규모가 크기 때문에 시험 장치를 제작하기에도 어려워 실험과 시뮬레이션을 비교하기에는 무리가 있다. 따라서 파력발전 시스템의 효율을 예측하기 위한 기초 연구로 파고 및 주기에 따른 시스템의 흡수 효율 경향성을 분석해보고자 다양한 파랑 조건에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 국내 연안에서 자주 발생하는 파랑을 고려하여 파고는 0.5~2m, 주기는 4~7초인 파랑 조건을 사용하였고,⁽⁷⁾ 수심은 5m로 가정하였다. 기준이 되는 파랑 조건은 파고가 1.5m, 주기가 6초일 때이며, 이 경우 파력발전시스템의 흡수 효율은 56.17%이다.

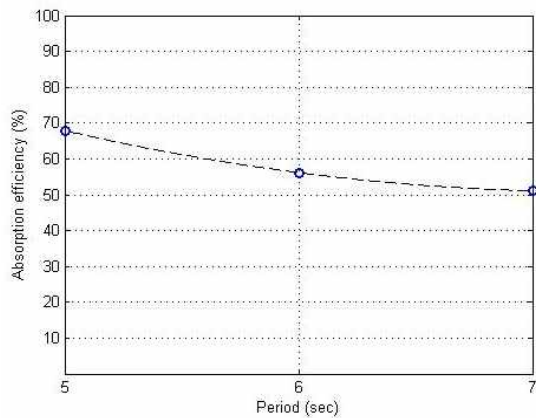
파고에 따른 흡수 효율을 분석하기 위해서 주기를 6초로 고정하고 파고를 0.5m에서 2m까지 0.5m씩 증가시키며 효율은 분석하였다. 파고에 따른 흡수효율은 Fig. 7에 나타내었고, 파랑 조건에 따른 파력, 시스템의 동력 및 효율을 Table 2에 나타내었다. 파고가 0.5m일 때 효율이 가장 높게 나타

Table 2 Power and absorption efficiency according to wave height

No.	$H(m)$	$T(s)$	$P_{wave}(W)$	$P_{system}(W)$	$\eta(\%)$
1	0.5	6	978.4	676.7	71.21
2	1.0		3913.6	2476.5	63.28
3	1.5		8805.7	4946.2	56.17
4	2.0		15655	7997.3	51.08

Table 3 Power and Absorption Efficiency According to Period

No.	$H(m)$	$T(s)$	$P_{wave}(W)$	$P_{system}(W)$	$\eta(\%)$
1	1.5	5	10266	6970.8	67.90
2		6	8805.7	4946.2	56.17
3		7	7668.1	3917.0	51.08

**Fig. 8** Efficiency according to the period

났으며, 파고가 증가할수록 효율이 감소하는 경향을 보이며, 최대 15%의 차이를 보인다. 하지만 파고가 감소하면 파력이 줄어 시스템의 동력은 감소하는 결과를 보인다. 파고가 0.5m일 때 시스템의 동력은 파고가 2m일 때 동력의 약 9% 수준으로 줄어들었다. 즉 파고가 0.5m일 때는 발전기의 성능을 제대로 낼 수 없다.

다음으로 주기의 변화에 따른 흡수효율을 분석하였고, 주기에 따른 흡수효율 그래프를 Fig. 8에 나타내었고, Table 3에는 주기에 따른 해석 결과를 나타내었다.

흡수효율은 주기가 길어질수록 감소하는 경향을 보이며 주기가 짧을수록 흡수효율과 발전기 동력이 증가하기 때문에 유리하다.

5. 결론

본 연구에서는 파력 발전 시스템의 에너지 흡수

효율을 예측하기 위하여 파력 발전 시스템을 동역학적으로 모델링하여 시스템의 동적 거동을 분석하였고, 파고와 주기에 따른 흡수효율을 분석하였다. 주기가 짧을수록, 파고가 낮을수록 흡수효율이 증가하는 것을 확인하였다. 하지만 파고가 낮으면 흡수효율이 증가하더라도 시스템의 동력이 감소하므로 적절한 파고가 있어야 발전이 가능하다. 본 연구는 가동물체형 파력발전기를 해상에 설치할 때 파도 조건에 따른 흡수효율을 계산해봄으로써 파력발전기의 용량을 설계하는 데에 참고자료를 제공할 수 있다.

후 기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2015년도 구매조건부신제품개발사업(No.S2329609)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌 (References)

- (1) Kim, S G. and Park, R S., 1989, "The Basic Study on Wave Energy Conversion System(II): Estimation on Extracted Wave Power if Wave Energy Conversion Device," *Ocean Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 1. 39~44.
- (2) Kim, S G. and Park, M K., 1991, "The Estimation for Extracted Wave Power of an Ocean Wave Energy Conversion Device of the Oscillating Water Column Type," *The Korean Society of marine engineering*, Vol. 15, No. 3, 213~220.
- (3) Hong, D. C. and Hong, K. Y., 2010, "Prediction of Wave Energy Absorption Efficiency and Wave Loads of a Three-Dimensional Bottom-Mounted OWC Wave Power Device," *Marine Environmental Engineering*, Vol. 13, No. 1, 47~52.
- (4) Jang, J. S. and Sohn, J. H., 2011, "Dynamic Analysis of Wave Energy Generation System by Using Multibody Dynamics," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 35, No. 12, 1579~1584.
- (5) Kim, D.G., "Dynamics of Structures," Goomibook, Korea, pp. 671~699.
- (6) Haritos, N., 2007, "Introduction to the Analysis and Design of Offshore Structures- An Overview," *EJSE, Special Issue: Loading on Structures*, University of Melbourne, 7, 55~65.
- (7) Marine Weather Information Delivery System, <http://marine.kma.go.kr/>
- (8) Weller, S. D., Stallard, T. J. and Stansby, P. K., 2013, "Experimental Measurements of the Complex Motion

of a Suspended Axisymmetric Floating Body in Regular and Near-Focused Waves,” *Applied Ocean Research*, Vol. 39, pp. 137~145.

(9) Hwang, S. S., 2015, “Development of Moving Body

Type Wave Power Generator Using the Wave Horizontal Motions,” Doctoral thesis, Graduate School of Chonnam National University, Gwangju.