

One-way Coupled Response Analysis between Floating Wind-Wave Hybrid Platform and Wave Energy Converters

Hyebin Lee*, Yoon Hyeok Bae** and Il-Hyoung Cho**

*Multidisciplinary Graduate School Program for Wind Energy, Jeju National University, Jeju, Korea

**Department of Ocean System Engineering, Jeju National University, Jeju, Korea

부유식 풍력-파력발전 플랫폼과 탑재된 파력발전기와의 단방향 연성 운동 해석

이혜빈* · 배운혁** · 조일형**

*제주대학교 풍력특성화협동과정

**제주대학교 해양시스템공학과

KEY WORDS: Wave energy converter 파력발전장치, Wind turbine 풍력터빈, Floating platform 부유식플랫폼, Coupled analysis 연성해석

ABSTRACT: In this study, a six degree-of-freedom motion analysis of a wind-wave hybrid platform equipped with numerous wave energy converters (WECs) was carried out. To examine the effect of the WECs on the platform, an analysis of one-way coupling was carried out, which only considered the power take-off (PTO) damping of the static WECs on the platform. The equation of motion of a floating platform with mooring lines in the time domain was established, and the responses of the one-way coupled platform were then compared with the case of a platform without any coupling effects from the WECs. The hydrodynamic coefficients and wave exciting forces were obtained from the 3D diffraction/radiation pre-processor code WAMIT based on the boundary element method. Then, an analysis of the dynamic responses of the floating platform with or without the WEC effect in the time domain was carried out. All of the dynamics of a floating platform with multiple wind turbines were obtained by coupling FAST and CHARM3D in the time domain, which was further extended to include additional coupled dynamics for multiple turbines. The analysis showed that the PTO damping effect on platform motions was negligible, but coupled effects between multiple WECs and the platform may differentiate the heave, roll, and pitch platform motions from the one without any effects induced by WECs.

1. 서 론

풍력에너지는 신재생 에너지의 중요성이 대두되는 가운데 가장 유망하고 촉망받는 에너지 중 하나이다. 풍력 에너지를 통해 전기 에너지를 생산하는 풍력 발전기는 그동안 육상 설치를 중심으로 활발한 연구가 진행이 되었다. 육상 풍력 발전기는 설치나 이송이 비교적 쉽지만, 바람의 질이 해양에 비해 좋지 않아 상대적으로 에너지 효율이 낮고, 자연 경관 훼손이나 발전기에서 발생하는 소음이 주변 마을에 미치는 영향 등의 문제가 발생하기 때문에 최근에는 해안이나 외해에 설치하는 해상 풍력 발전기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Shin and Kim, 2011).

이와 함께 풍력 발전기가 해상에 설치되면서 해상에서 얻을 수 있는 다른 해양 에너지를 함께 이용하여 발전하는 복합 발전의 개념이 제안되고 있다. 파 에너지를 이용한 파력발전장치 (Wave energy converter, WEC)나 조류를 이용한 발전장치를 해상 풍력 발전기의 하부구조물에 설치하여 함께 발전하게 되면 단위 면적 당 에너지 발생 효율이 증가하고, 이는 곧 생산 단가에 직접적인 영향을 미치게 되므로 경제성이 향상된다 (Lakkoju, 1996). 특히 플랫폼에 WEC를 부착하면 파력 에너지를 추출함으로써 플랫폼 운동이 저감되어 플랫폼의 안정성 향상에 기여하게 된다. 이를 통해 더욱 안정적으로 풍력 발전이 가능하게 되어 시스템이 전체적으로 안정되게 된다.

Borg et al.(2013)은 가상의 WEC 한 개를 부유식 해상 풍력

Received 2 December 2015, revised 14 March 2016, accepted 22 April 2016

Corresponding author Yoon Hyeok Bae: +82-64-754-3485, yh.bae@jejunu.ac.kr

© 2016, The Korean Society of Ocean Engineers

It is noted that this paper is revised edition based on proceeding of KAOST 2015 in Jeju.

터빈에 부착하여 터빈의 운동을 저감시키는 WEC의 최적의 감쇠계수 및 복원력 계수를 찾아내었다. 수학적 모델을 정립하기 위하여 터빈의 형상을 이용하여 주파수 영역에서 운동 응답을 해석한 결과로부터 파기진력, 동유체력과 복원력 계수를 구하고, 이를 이용하여 시간 영역에서 해석을 진행하였다. Liao et al.(2013)은 부유식 해상 풍력 발전 플랫폼의 두 기둥에 각각 WEC를 설치하여 에너지를 추출함과 동시에 플랫폼 운동을 저감시키는 장치로 사용하는 연구를 하였다. 이 연구에서는 2차원으로 모델을 단순화 시키고 선형 시스템으로 가정하여 시스템의 연성에 대한 수학적 모델을 정립하였다. 다수의 WEC를 부착한 플랫폼에 대한 연구 역시 진행되었는데, Taghipour and Moan(2008)은 반잠수식 플랫폼에 21개의 WEC를 부착하여 주파수 영역에서 다물체 동역학 및 동수력학 상호작용에 대해 연구를 하였다. 특히 이 연구에서는 WEC에 의한 PTO(Power take-off) 메커니즘에 의한 효과가 WEC의 운동뿐만 아니라 플랫폼의 운동에도 큰 영향을 미침을 보였다.

본 논문에서는 선박해양플랜트연구소(KRISO)에서 제안한 부유식 해상 풍력-파력 복합발전 플랫폼의 운동을 해석하고, 특히 다수의 WEC와 플랫폼 간의 연성 효과로 인한 플랫폼 운동의 변화에 대해 알아보았다. 부유식 복합발전 플랫폼은 다수의 풍력발전기가 설치된 하부 구조물에 에너지 발생 효율을 높이기 위하여 다수의 WEC를 탑재시킨 플랫폼으로써 정확한 운동 해석을 위해서는 풍력발전기, 파력발전기, 하부구조물, 계류시스템 등 플랫폼을 구성하고 있는 모든 시스템 간의 연성 효과를 고려하여야 한다. 앞서 Lee et al.(2016)은 초기 연구로써 본 플랫폼에서 풍력발전기의 운동은 고려하지 않고, 단순히 등가의 풍하중만을 작용시켜 다수의 WEC에 의한 플랫폼 운동 변화에 대해 연구하였다. 본 논문에서는 초기 연구를 바탕으로 플랫폼에 설치된 다수 풍력발전기의 동역학까지 함께 포함하여 다수 WEC와 플랫폼 간 연성 효과가 플랫폼의 운동에 미치는 영향을 알아보았다. 이 때, 플랫폼-계류 시스템의 연성도 함께 고려하여 해석하였다.

2. 플랫폼의 운동 성능 해석 방법

2.1 부유식 풍력-파력 복합발전 플랫폼

본 연구의 대상인 부유식 복합발전 플랫폼은 Fig. 1과 같이

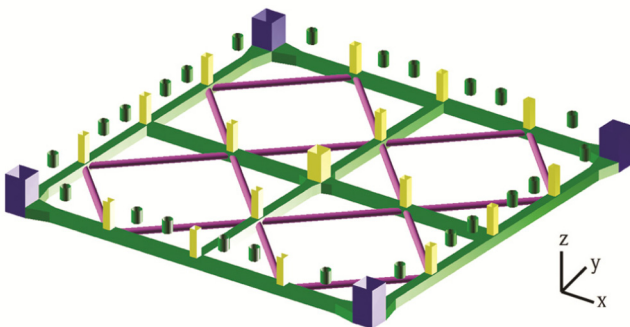


Fig. 1 Platform CAD geometry

Table 1 Specifications of hybrid platform

Item	Value
Overall platform displacement [kg]	26,848,000
Column span [m]	150
Draft [m]	15
WEC system load [kg]	1,777,000
Mooring load [kg]	353,000
Center of gravity above keel [m]	13.67
Roll radius of gyration about CM [m]	58.59
Pitch radius of gyration about CM [m]	58.65
Yaw radius of gyration about CM [m]	78.44

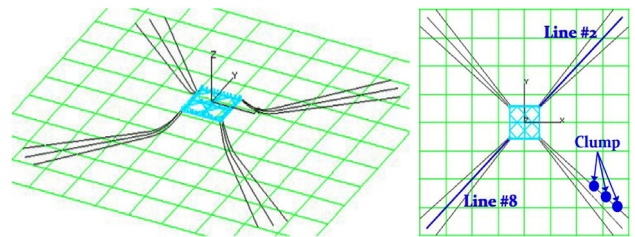


Fig. 2 Mooring line arrangements

Table 2 Specifications of mooring system

Item	Value
Number of mooring lines [ea]	12
Length [m]	600
Depth to anchors below MWL [m]	80
Depth to fairleads below MWL [m]	13
Mooring line dry mass density [kg/m]	322.6
Mooring line wet mass density [kg/m]	280.6
Mooring line extensional stiffness [MN]	1,300
Chain mooring drag coefficient	2.4
Number of clumps per each line [ea]	3
Clump starting point from fairlead [m]	400
Each clump's mass in air [kg]	19,000

세장체로 구성된 반잠수식 하부구조물의 4개의 주기둥 위에 각 1기의 풍력발전기, 그리고 플랫폼의 4면마다 각 6기의 WEC가 설치되어 있는 시스템이며, Fig. 2와 같이 12개의 현수선으로 계류되었다. 계류선은 체인으로 구성되어 있으며, 각 계류선마다 플랫폼의 위치 복원성 향상을 위한 3개의 클럼프(Clump)가 50m 간격으로 체결되어있다. 설치 해역의 수심은 80m이며, 플랫폼 및 계류시스템의 제원 및 특성은 각각 Table 1과 Table 2와 같다.

2.2 플랫폼 운동 해석 케이스 선정

본 연구에서는 다수의 WEC가 플랫폼의 운동에 미치는 영향

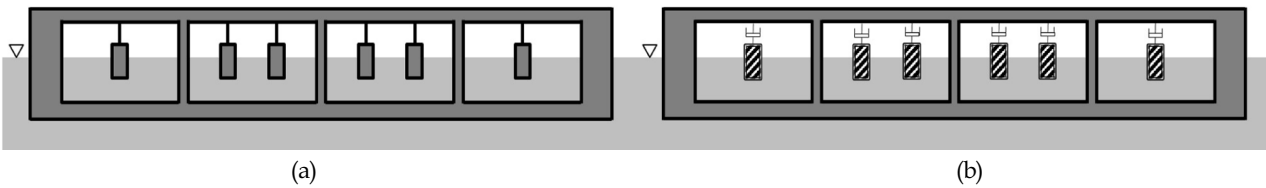


Fig. 3 Simulation case configurations (left: single body, right: multi-body)

을 보고자 크게 두 가지의 경우에 대한 해석을 진행하였다. 극한 환경 조건에서는 WEC가 플랫폼에 완전히 고정되어 작동을 멈추게 되는데, 이 경우에 대해 다수의 WEC와 플랫폼을 단일체(Single body)로 가정하여 해석을 진행하였다(Fig. 3(a)). 일반 환경 조건 하에서는 다수의 WEC가 플랫폼에 부착되어 있는 축을 따라 플랫폼의 운동과는 독립적인 상하 운동을 하게 된다. 이 경우에 대해서 WEC와 플랫폼을 다물체(Multi-body)로 가정하여 해석을 진행하였다(Fig. 3(b)). 다물체로 가정을 할 경우, WEC와 플랫폼 간의 상대운동으로 인해 전기에너지가 생산되기 때문에 PTO 매커니즘이 작용하게 된다. 따라서 Fig. 3(b)와 같이 WEC와 플랫폼 사이에 PTO 감쇠력만큼의 댐퍼(Damper)가 연결된 것과 같이 표현할 수 있다. 다물체로 해석을 진행할 경우, 플랫폼과 WEC의 상대 운동이 허용되기 때문에 운동 방향에 따라 다수의 WEC가 플랫폼에 고정되어 단일체로 운동하는 경우와 비교하였을 때 질량, 동유체력, 복원력, 파기진력 등의 변화를 고려하여야 한다. WEC-플랫폼 간 연성효과를 모두 고려하기 위해서는 WEC가 플랫폼의 운동에 미치는 영향과 플랫폼이 WEC의 운동에 미치는 영향을 모두 고려해야 하지만, 본 논문에서는 플랫폼이 WEC의 운동에 미치는 영향은 배제하고 WEC가 플랫폼의 운동에 미치는 영향만을 고려하는 단방향 연성 해석을 진행하였다. 단방향 연성 해석을 위하여 WEC의 상하운동은 플랫폼의 운동과 상관없이 구속하여 WEC가 수면에서 평형상태를 유지하도록 설정하였다. 이와 같이 WEC가 일방적으로 플랫폼의 운동에 미치는 영향만을 고려하여 해석을 수

행한 단방향 연성기법은 플랫폼과 WEC의 양방향 상호작용을 고려하지 못하는 단점이 있으나, 단일체로 가정하여 해석하는 경우보다 WEC의 PTO 감쇠력이 플랫폼의 운동에 미치는 영향을 제한적으로 해석에 포함시킬 수 있게 된다.

3. 플랫폼의 운동 성능 해석 결과

3.1 플랫폼 운동 응답 해석 결과

플랫폼과 다수의 WEC의 잠긴 부분에 대한 파기진력과 동유체력 계수는 포텐셜 이론을 근거로 한 3차원 회절/방사 프로그램인 WAMIT(Wave analysis at MIT)을 이용하여 계산하였다. 플랫폼의 전후동요(Surge), 좌우동요(Sway), 선수동요(Yaw)의 경우, 플랫폼과 다수 WEC를 다물체로 가정하여도 WEC가 플랫폼에 단단히 고정된 것과 같이 함께 운동하므로 단일체로 가정하는 경우와 다물체로 가정하는 경우 사이에 부가질량, 방사감쇠 계수들의 값이 동일하다. 또한 WEC와 플랫폼 간의 상대 운동이 발생하지 않기 때문에 PTO 감쇠력이 포함되지 않는다. 그러나 상하동요(Heave), 횡동요(Roll), 종동요(Pitch)의 경우 플랫폼의 운동은 WEC와 분리되어 발생할 수 있으므로 부가질량 및 방사감쇠 계수들이 단일체로 해석할 경우와 다물체로 해석할 경우 차이가 발생한다. 특히 다수 WEC와 플랫폼의 상대 운동으로 인해 발생하는 PTO 감쇠력 또한 운동방정식의 추가적인 외력으로 고려되어야 한다(Lee et al., 2015).

Fig. 4 ~ Fig. 5는 WAMIT에서 계산된 플랫폼의 상하동요 및

Table 3 Platform damping

Item	Viscous damping	PTO damping	PTO/Viscous ratio
Heave [kg/s]	6,951,352	290,160	4.17 %
Pitch [kg·m ² /s]	14,089,072,479	999,948,032	7.09 %

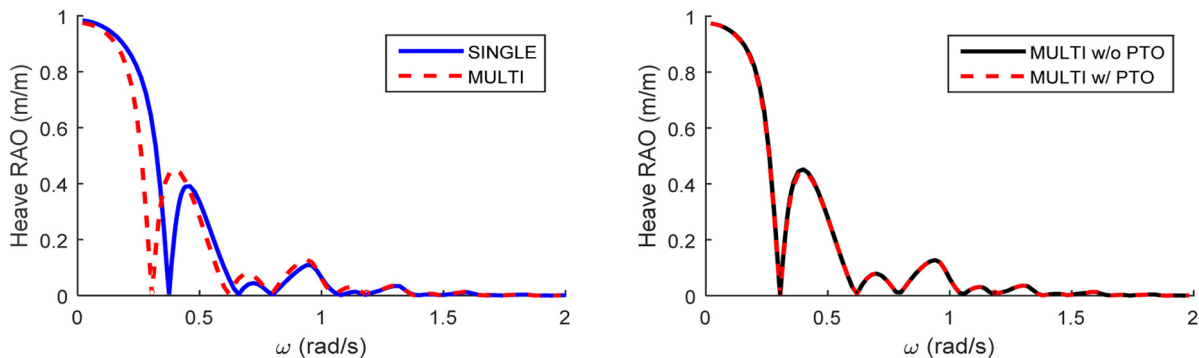


Fig. 4 Platform heave RAOs (left : multi-body effect, right : PTO damping effect)

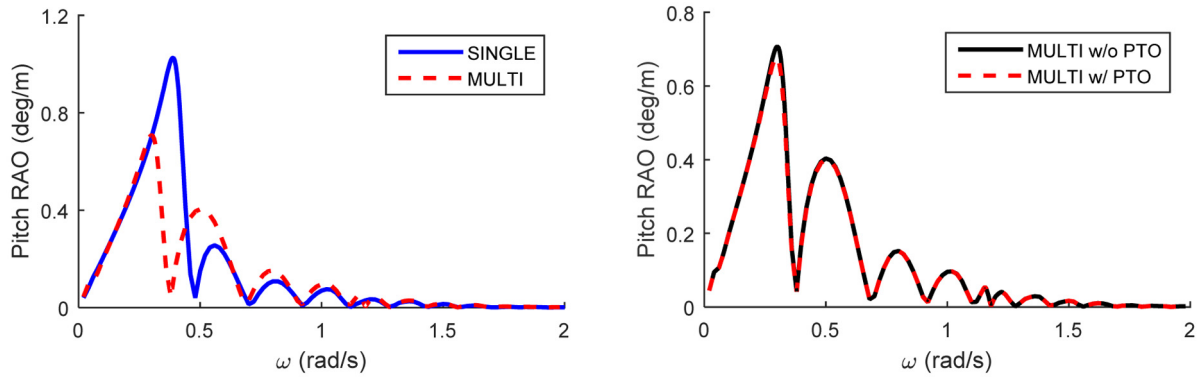


Fig. 5 Platform pitch RAOs (left : multi-body effect, right : PTO damping effect)

중동요의 RAO(Response amplitude operator)이다. 본래 점성감쇠는 비선형항이므로 RAO 계산 시 고려하기 어렵지만, PTO 감쇠와의 상대적인 영향을 보고자 선박해양플랜트연구소(KRISO)가 수행한 플랫폼의 자유감쇠실험으로부터 도출되는 무차원 감쇠 계수를 이용하여 점성 감쇠력을 선형화 한 후 WAMIT 해석에 적용시켰다. 계산 결과, 플랫폼과 WEC의 연성효과를 고려하였을 때(다물체 해석)의 상쇄주파수(Cancellation frequency)가 단일체 해석의 경우에 비해 약 0.1rad/s 감소한 결과를 보였는데, 이는 주로 정적 복원력(Hydrostatic restoring coefficient) 차이에서 기인한 것이다. 단일체 해석과 다물체 해석 사이에 질량 및 부가질량의 차이는 10% 이하이나 상하동요의 정적 복원력을 결정하는 수선면적의 경우 단일체 해석에서는 약 770m², 다물체 해석의 경우 약 469m²로 상쇄주파수 이동을 야기하는 주된 요소로 파악된다. 중동요의 경우도 동일한 이유로 중복원력 차이에 따라 상쇄주파수의 이동이 발생한 것으로 사료된다. 한편 PTO 감쇠를 고려했을 때와 고려하지 않았을 때 상하동요 및 중동요 RAO의 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보아 PTO 감쇠가 플랫폼의 운동에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 이는 Table 3에서와 같이 플랫폼의 점성감쇠가 지배적으로 작용하여 PTO 감쇠에 의한 효과는 상대적으로 적게 나타나기 때문이다.

부유식 다수 풍력발전기의 공력-유체력-탄성력-제어-부유체-계류선의 복합적인 요소를 고려한 시간영역 운동응답을 구하기 위하여 FAST-CHARM3D를 활용하였다(Tahar and Kim, 2003;

Bae and Kim, 2014). 계류에 의한 복원력이 고려된 부유식 플랫폼의 시간영역 운동 방정식은 다음과 같다(Cummins, 1962).

$$[M + A(\infty)]\ddot{\xi}(t) = f_e(t) - \int_{-\infty}^t g_r(t-\tau)\dot{\xi}(\tau)d\tau - \rho g C\xi(t) + f_m(t) + f_{turbines}(t) = f_{PTO} \quad (1)$$

M 은 질량 및 질량 관성 모멘트, A 는 부가 질량, f_e 는 파기진력, $g_r(t)$ 과 $g_r(\tau)$ 는 메모리 함수, C 는 복원력 계수, f_m 은 계류 복원력, $f_{turbines}$ 는 다수풍력발전기로부터 발생하는 힘, f_{PTO} 는 다물체 모델의 경우 발생하는 PTO 감쇠력을 나타낸다. ξ , $\dot{\xi}$, $\ddot{\xi}$ 는 각각 플랫폼의 운동 변위, 속도, 가속도를 나타낸다. 외부 환경조건으로는 파도, 바람, 조류를 고려하였으며, Fig. 1에서 플랫폼을 기준으로 x 축을 따라 입사하도록 설정하였다. 불규칙파의 생성은 JONSWAP (Joint North Sea Wave Project) 스펙트럼을 사용하였으며, 제주도 서쪽 수심 80m 해역을 대상으로한 설계 환경 조건 중 재현주기 1년의 해상환경으로써 유의파고(Significant wave height)는 5.93 m, 피크주기(Peak period)는 10.81초, 첨두 상승계수(Peak shape parameter)는 2.2를 적용하였다. 바람은 공간상에 x , y , z 방향의 속도 성분을 모두 가지는 전 풍황장(Full field) 데이터를 IEC (International Electrotechnical Commission) 스펙트럼에 맞추어 생성하여 적용하였다. 허브 높이에서의 평균 풍속은 13m/s를 적용하였다. 조류의 경우, 해당 해역의 재현주기 1년의 해상환경에

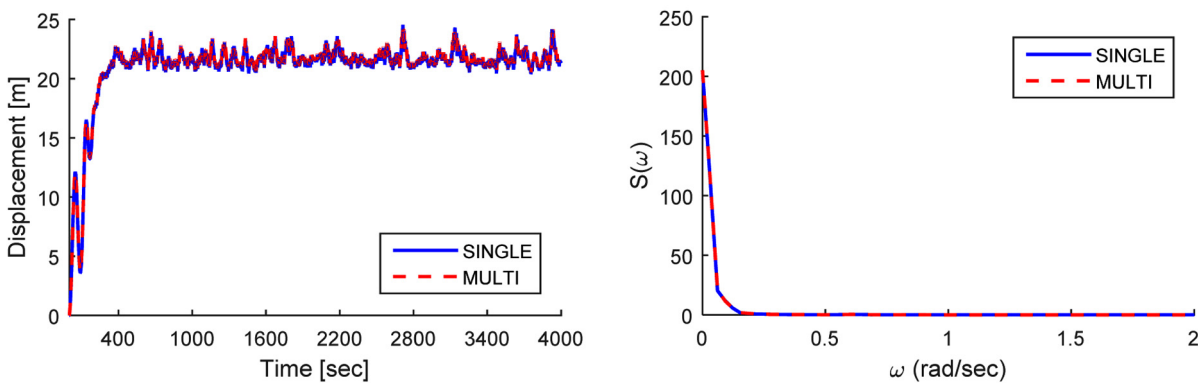


Fig. 6 Platform surge motion (left) and spectra (right)

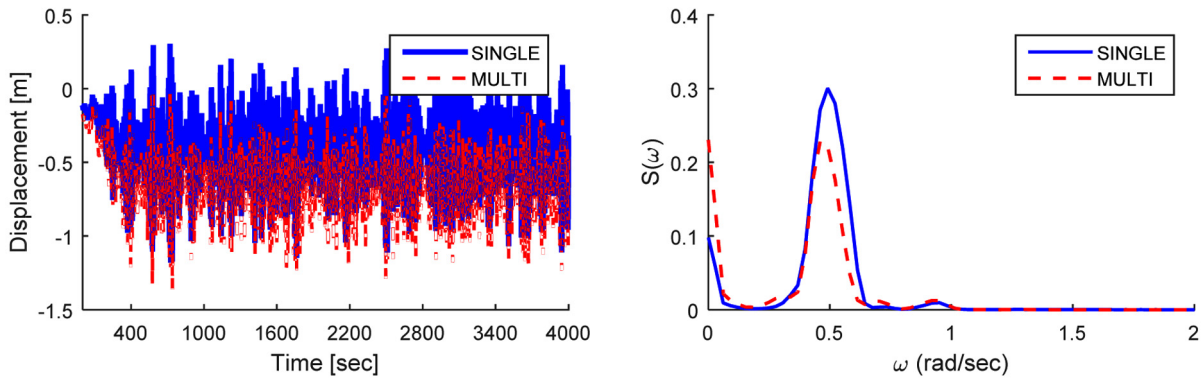


Fig. 7 Platform heave motion (left) and spectra (right)

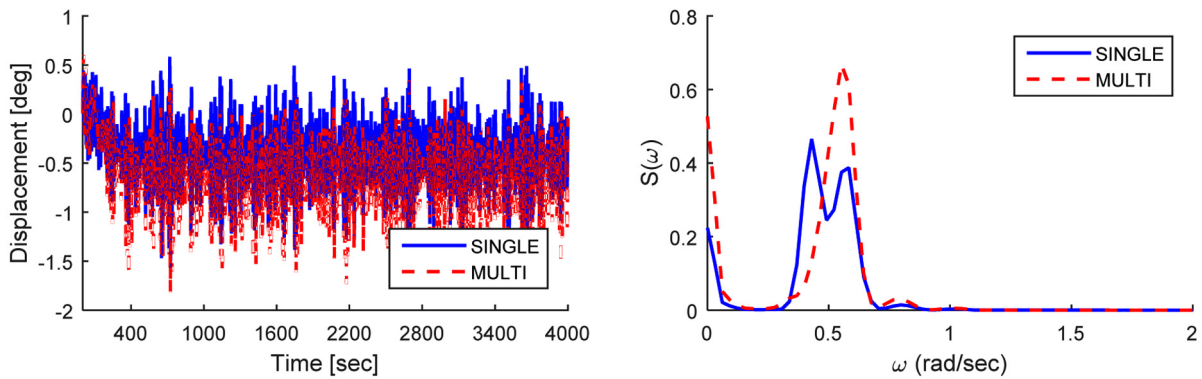


Fig. 8 Platform pitch motion (left) and spectra (right)

맞추어 표면에서의 속도가 1.75m/s이고, 수심에 따라 1/7 멱법칙 (1/7th power law)을 이용하여 수면 하부의 조류 속도를 적용하였다. 시간 영역의 해석은 초기 과도 응답을 감소시키기 위하여 400초 까지 점진적으로 외력을 증가시켰으며 이후 3,600초(1시간) 동안 해석을 수행하였다.

Fig. 6은 플랫폼의 전후동요 운동 결과이며, 단일체 해석 결과와 다물체 해석 결과 간의 차이가 미미함을 알 수 있다. 반면에 플랫폼의 상하동요 및 종동요 운동은 Fig. 7 ~ Fig. 8과 같이 단일체로 해석한 경우와 다물체로 해석한 경우, 결과에 차이가 발생하게 된다. 이는 주파수 영역에서 해석 결과에서 확인한 바와 같이 PTO 감쇠에 의한 차이보다 플랫폼의 운용 환경에 따른 단일체 모델과 다물체 모델의 차이에서 기인한 것으로 해석할 수 있다. Table 4는 플랫폼의 운동에 대한 통계값을 보여준다. 통계 수치는 400초부터 4,000초까지의 결과를 이용하였다. 상하동요의 경우, 다물체 해석을 한 결과 표준편차가 단일체 해석

을 한 결과의 표준편차에서 약 13% 가량 감소함을 알 수 있다. Fig. 7 ~ Fig. 8에서 상하동요 및 종동요의 평균값의 변화는 단일체와 다물체 해석 시 동일한 초기장력을 가진 계류선을 적용하였기 때문에 차이가 발생하는 것으로 사료된다. 다물체 해석의 경우 WEC의 배수량 감소분만큼 계류선 최상부의 초기 장력도 적절히 감소시켜 해석을 수행하게 되면 평균값의 차이는 거의 발생하지 않을 것으로 보이나, 계류선의 조건을 동일하게 하기 위하여 그 특성은 변화시키지 않았다. Fig. 8의 종동요 응답의 경우 단일체 모델에서 0.4rad/s 부근에서 나타나는 공진현상이 다물체 모델에서는 나타나지 않는데, 이는 다물체 모델의 고유주파수가 Fig. 5에서와 같이 0.3rad/s 근방으로 파랑에너지가 거의 없는 영역에 위치해 있기 때문이다.

3.2 플랫폼 계류 시스템의 장력 해석 결과

플랫폼의 12개의 계류선 중 Fig. 2에 표시된 것과 같이 2개의

Table 4 Platform motion statistics

Mode	Single body				Multi-body			
	Maximum	Minimum	Mean	STD	Maximum	Minimum	Mean	STD
Surge [m]	24.5500	20.4200	21.7276	0.6164	24.5900	20.5200	21.8117	0.6082
Heave [m]	0.3038	-1.1800	-0.4307	0.2348	-0.0234	-1.3630	-0.6674	0.2044
Pitch [deg]	0.5827	-1.5610	-0.4371	0.3113	0.4014	-1.8120	-0.6707	0.3305

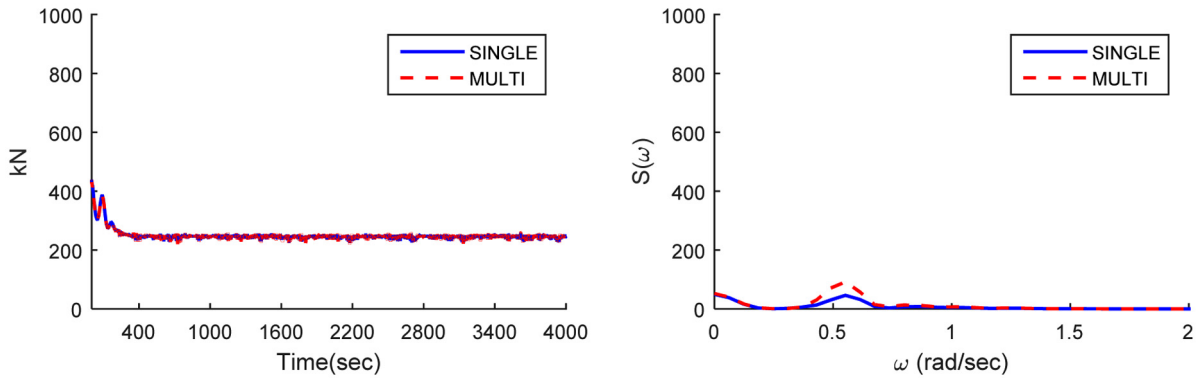


Fig. 9 Top-tension time histories (left) and spectra (right) of Line #2

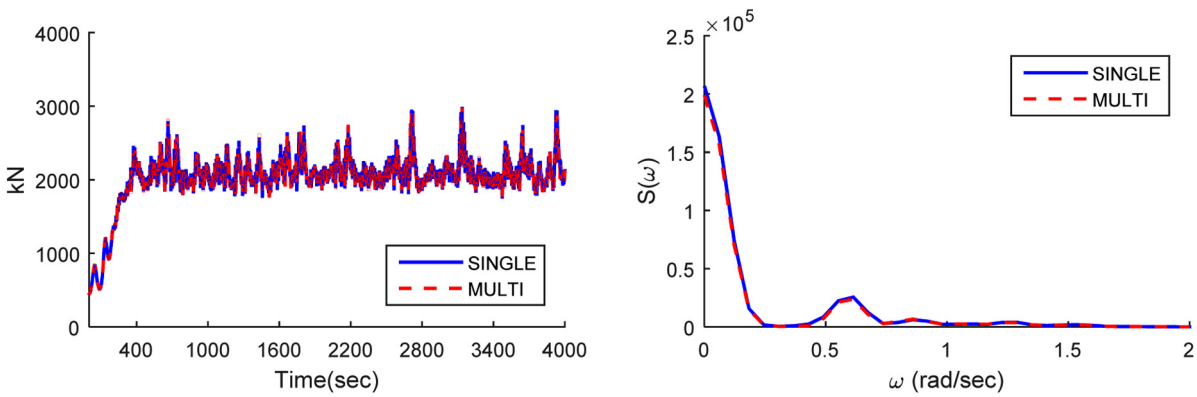


Fig. 10 Top-tension time histories (left) and spectra (right) of Line #8

Table 5 Mooring line top tension statistics

Line	Single body				Multi-body			
	Maximum	Minimum	Mean	STD	Maximum	Minimum	Mean	STD
#2	257.87	223.69	244.77	4.07	260.29	218.86	244.78	5.17
#8	2988.70	1744.20	2111.00	170.49	3033.30	1744.60	2100.80	166.51

계류선을 선정하여 각 계류선 최 상부에 작용하는 장력을 확인 하였다. 외부 환경 조건(파도, 바람, 조류)에 대해 플랫폼의 계류선은 x축에 대칭으로 위치해 있기 때문에 입사파를 기준으로 플랫폼의 뒤편인 풍하측(Lee side)에 위치한 2번 계류선과 플랫폼에서 입사파가 처음 도달하는 면인 풍상측(Weather side)에 위치한 8번 계류선을 선정하였다. Fig. 9 ~ Fig. 10은 각각 2번 계류선과 8번 계류선의 장력과 스펙트럼을 나타낸다. Table 5는 각 계류선에 미치는 장력의 통계값이다. 각 계류선마다의 평균 값은 WEC와 플랫폼을 단일체로 해석한 경우와 다물체로 해석한 경우에 대해 큰 차이를 보이지 않았다.

다물체 해석에서 2번 계류선에 걸리는 장력의 표준 편차는 단일체 해석에서의 표준 편차보다 27% 증가한 것으로 나타났다. 다물체의 경우 종동요 고유 주파수가 단일체에 비해 상대적으로 낮으며 Fig. 8과 같이 파랑에너지 영역에서 단일체 모델보다 운동이 더 크게 나타나므로 이에 따라 계류선의 운동이 더

증가하기 때문이다. 풍상측에 위치한 계류선인 8번 계류선의 경우, 풍하측에 위치한 계류선에 미치는 장력과는 달리 플랫폼의 전후동요 운동으로부터 큰 영향을 받을 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 다수의 풍력발전기와 파력발전장치(WEC)가 탑재된 부유식 플랫폼의 운동을 해석하였다. 이 때 WEC와 플랫폼 간의 연성효과를 알아보기 위하여 WEC가 플랫폼에 단단히 고정되어 있는 단일체로 가정한 경우와 플랫폼이 WEC와는 독립적인 운동을 하는 다물체로 가정한 두 가지 경우에 대하여 운동 해석을 진행하여 차이점을 알아보았다. 단방향 연성 효과, 즉 다수의 WEC가 플랫폼의 운동에 미치는 영향만을 보고자 WEC는 플랫폼의 운동과는 독립적으로 항상 수면에 위치한 것으로 가정하였다. 이로 인해 플랫폼과 다수의 WEC 간의 상대운

동이 발생하면서 전기 에너지가 추출된다.

다수의 WEC가 플랫폼에 단단히 고정된 부유체에 대한 경우와 다수 WEC와 플랫폼을 독립적으로 고려한 경우에 대해 동유체력 계수 및 파 기진력을 얻기 위하여 주파수 영역 해석 프로그램인 WAMIT을 이용하였다. 주파수 영역에서의 플랫폼의 상하동요 및 종동요 RAO 확인 결과, 다수 WEC와 플랫폼 간의 상대운동으로 인해 발생하는 PTO 감쇠력은 플랫폼의 운동에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

또한 환경 하중과 다수 풍력발전기의 공력-유체력-탄성력-제어-부유체-계류선의 복합적인 요소를 고려한 시간영역 해석은 확장된 FAST-CHARM3D 코드를 이용하였다. 해석 결과, 전후동요, 좌우동요, 선수동요 운동의 경우에는 단일체에 대한 해석이나 다물체에 대한 해석에서 플랫폼의 운동에 차이가 없었으나, 상하동요, 횡동요, 종동요 운동의 경우 차이가 발생하였다. 이는 PTO 감쇠력에 의해 야기된 차이가 아니라 플랫폼과 WEC가 독립적으로 상하 운동하는 정상 작동 상태, 또는 극한 환경 조건에서 WEC의 파손을 방지하기 위해 WEC를 플랫폼에 고정시켜둔 상태와 같이 플랫폼의 운동 특성 변화에 따른 차이에서 발생한 것이라 할 수 있다. 이에 따르면 부유체가 다수의 독립적인 운동을 허용하는 내부 부유체 요소를 포함할 경우에 내부 요소의 운동 여부에 따라 전체 부유체의 운동 응답 특성이 변화하게 되므로 설계 단계에서 다양한 해석 시나리오에 따른 운동 특성 분석이 필요함을 알 수 있다. 본 연구에서는 다수의 WEC가 플랫폼에 미치는 일방적인 영향만을 고려하여 해석을 진행하였으나 추후 WEC와 플랫폼의 양방향 상호작용을 고려한 다자유도 운동 시스템에 대한 해석을 진행하면 더욱 정확한 운동 해석이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 해양청정에너지개발사업 “10MW급 부유식 파력-해상풍력 연계형 발전시스템 개발” 및 제주특별자치도와 한국남부발전(주)의 지원을 받아 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Bae, Y.H., Kim, M.H., 2014. Coupled Dynamic Analysis of Multiple Wind Turbines on a Large Single Floater. *Ocean Engineering*, 92, 175-187.
- Borg, M., Collu, M., Brennan, F.P., 2013. Use of a Wave Energy Converter as a Motion Suppression Device for Floating Wind Turbines. *Energy Procedia*, 35, 223-233.
- Cummins, W.E., 1962. The Impulse Response Function and Ship Motions. *Schiffstechnik*, 9, 101-109.
- Lakkoju, V.N.M.R., 1996. Combined Power Generation with Wind and Ocean Waves. *World Renewable Energy Congress*, Denver, 9(1), 870-874.
- Lee, H., Bae, Y.H., Cho, I.H., Kim, K.H., Hong, K., 2015. One-way Coupled Dynamic Analysis of Floating Platform with Wave Energy Converters. *Proceedings of 25th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Kona, USA, 1, 881-887.
- Lee, H., Bae, Y.H., Cho, I.H., 2016. One-way Coupled Dynamic Analysis of Floating Platform with Wave Energy Converters. *Journal of Ocean and Wind Energy*, 3(1), 53-60.
- Liao, K., Hu, C., Sueyoshi, M., 2013. Development of WEC as a Floating Platform Motion Suppression System. *International Research Exchange Meeting of Ship and Ocean Engineering*, Osaka, Japan.
- Shin, H.-K., Kim, K.-M., 2011. Motion Analysis of 5-MW Floating Offshore Wind Turbine. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 25(5), 64-68.
- Taghipour, R., Moan, T., 2008. Efficient Frequency-Domain Analysis of Dynamic Response of the Multi-Body Wave Energy Converter in Multi-Directional Waves. *Proceedings of 18th International Offshore and Polar Engineering Conference*, Vancouver, Canada, 1, 357-365.
- Tahar, A., Kim, M.H., 2003. Hull/mooring/riser Coupled Dynamic Analysis and Sensitivity Study of a Tanker-based FPSO. *Applied Ocean Research*, 25(6), 367-382.