

해상태양광 구조물용 부유식 방파제의 파랑저감성능 평가

김 현 성^{1†}·김 병 완²·이 강 수²

¹과학기술연합대학원대학교 선박해양공학전공 박사과정, ²선박해양플랜트연구소 해양플랜트연구본부 책임연구원

Parametric Study on Effect of Floating Breakwater for Offshore Photovoltaic System in Waves

Hyun-Sung Kim^{1†}, Byoung Wan Kim² and Kangsu Lee²

¹Graduate Student, Ship and Ocean Engineering, University of Science and Technology, Daejeon, 34113, Korea ²Principal Researcher, Offshore Platform Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon, 34103, Korea

Abstract

There has been an increasing number of studies on photovoltaic energy generation system in an offshore site with the largest energy generation efficiency, as increasing the researches and developments of renewable energies for use of offshore space and resources to replace existing fossil fuels and resolve environmental challenges. For installation and operation of floating photovoltaic systems in an offshore site with harsher environmental conditions, a stiffness of structural members comprising the total system must be reinforced to inland water spaces as dams, reservoirs etc., which have relatively weak condition. However, there are various limitations for the reinforcement of structural stiffness of the system, including producible size, total mass of the system, economic efficiency, etc. Thus, in this study, a floating breakwater is considered for reducing wave loads on the system and minimizing the reinforcement of the structural members. Wave reduction performances of floating breakwaters are evaluated, considering size and distance to the system. The wave loads on the system are evaluated using the higher-order boundary element method (HOBEM), considering the multi-body effect of buoys. Stresses on structural members are assessed by coupled analyses using the finite element method (FEM), considering the wave loads and hydrodynamic characteristics. As the maximum stresses on each of the cases are reviewed and compared, the effect of floating breakwater for floating photovoltaic system is checked, and it is confirmed that the size of breakwater has a significant effect on structural responses of the system.

Keywords: floating photovoltaic system, floating breakwater, coupled analysis, wave load reduction

1. 서 론

기존 화석연료의 고갈과 환경오염 문제를 해결하기 위해 친환경에너지 발전에 대한 연구 및 개발이 증가하고 있다. 육상발전의 경우, 자연경관 훼손, 지역주민과의 갈등 및 대용량 발전을 위한 공간 부족 등의 제약조건이 존재한다. 따라서 이에 대한 문제를 해결하고 육상에서보다 다양한 에너지원 활용이가능한 해양공간에서의 에너지발전에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 이 중 단위 면적당 발전효율이 가장 높고 발전 잠재력이 큰 해상태양광 발전이 각광받고 있다.

부유식 형태의 해상태양광 발전시스템의 경우, 일반적으로

다수의 모듈로 구성되는 형태를 가지며, 각 모듈은 다수의 부력체와 이를 연결하는 구조재 및 발전과 관련된 상부 구조물로 구성된다. 이에 따라 설계수명 동안의 구조안전성 확보를 위하여 충분한 강도의 구조재를 설계할 필요가 있다. 환경조건이 비교적 약한 댐, 저수지 등의 내수지역과 달리, 강한 환경하중이 작용하는 해상조건에서는 더욱 강한 강도의 구조재가 요구된다. 동일한 재질의 구조재의 강도를 증가시키기 위해서는 크기 및 중량을 증가시켜야 하며, 이에 따라 전체 구조물의 중량 또한 증가하게 된다. 이는 구조재의 제작, 운송 및 설치에서의 비용 증가 등의 경제적 효율성 감소를 발생시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 구조재 강도 증가를 최소화하기 위해 부유

[†]Corresponding author:

Tel: +82-42-866-3939; E-mail: eegys_zz@kriso.re.kr Received January 5 2022; Revised February 25 2022; Accepted March 3 2022

© 2022 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

식 방파제를 설치함으로 해상태양광 구조물에 작용하는 파랑 하중을 감소시키고자 하였다.

부유식 방파제의 경우 고정식 방파제에 비해 수심, 지반 조 건 등의 환경적 영향에 대해 상대적으로 제약이 적은 장점이 있어 이와 관련된 다양한 연구들이 수행되어 왔다. Frederiksen (1971)은 부유식 및 수중 방파제를 통한 소파 성능에 대한 개념적 연구를 수행하였으며, Hales(1981)와 Western Canada Hydraulic Laboratories Ltd.(1981)은 부유식 방파제에 대한 개념, 특성, 형상 등에 대하여 정리하였다. McCartney(1985), Sutko와 Haden(1974) 등은 부유식 방파제의 다양한 형상에 대한 비교 연구를 수행함 으로 각 형상에 대한 소파 특성를 제시하였다. 또한, 다수의 부 유식 방파제를 배치함으로 소파 효율을 개선하고자 하는 연구들 이 수행된 바 있으며(Jeong et al., 2002; Williams and Abul-Azm, 1997), He 등(2012)과 Loukogeorgaki 등(2014)은 부유식 방파 제에 공기실 및 추가 모듈 등을 설치함으로 부유식 방파제의 소파 특성을 개선하고자 하였다. Zhang 등(2020)과 Zhang과 Magee(2021)는 다양한 형태의 부유식 방파제와 부유식 구조 물의 상호작용을 고려한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 다수의 부력체로 구성된 해상태양광 구조물과 부유식 방파제 의 상호작용을 고려한 해석을 수행하고자 하였으며, 부유식 방파제의 크기 및 거리에 따른 영향을 고찰하고자 하였다.

부유식 방파제 및 다수의 부력체에 작용하는 파랑하중을 산 정하기 위해 고차경계요소법(Higher-Order Boundary Element Method, HOBEM)을 적용하였다. 유동해석을 통해 구한 파랑 하중 및 유체동역학적 특성을 적용함으로 구조재의 구조응답 을 평가하였으며, 구조재의 경우 유한요소법(Finite Element Method, FEM)을 적용하여 해석하였다.

본 연구에서는 부유식 방파제의 크기 및 해상태양광 구조물 과의 거리를 달리하여 해석을 수행하였으며, 파랑하중 조건에 서의 구조재에 작용하는 최대 응력을 분석하였다. 각 조건에 따른 파랑저감 정도를 확인 및 비교하였으며, 부유식 구조물 의 크기가 해상태양광 구조물에 작용하는 파랑하중 및 구조재 응력에 주요한 영향을 미침을 확인하였다.

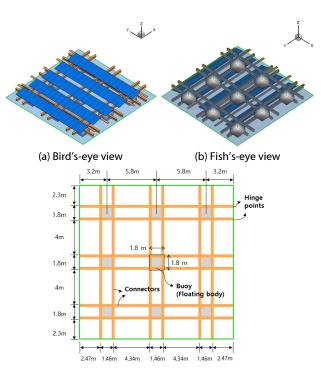
2. 본 론

본론에서는 다수의 부력체(buoy) 및 이를 연결하는 구조재 (connector)로 구성되는 해상태양광 구조물 및 파랑하중 감소 를 위한 부유식 방파제의 수치해석 모델을 제시하였다.

다음으로 파랑하중 산정 및 구조재 작용 응력을 평가하기 위한 수치해석 기법을 소개하며 방파제 크기 및 거리에 따른 파랑하중 및 응력 결과를 차례로 나타내었다.

2.1 수치해석 모델

해상태양광 구조물에 대한 부유식 방파제의 영향을 확인하 기 위한 해석 구조물로 다수의 모듈로 구성된 해상태양광 구조



(c) Arrangement of buoys and connectors in unit module Fig. 1 Configuration of unit module

Table 1 Dimensions and properties of buoy and connector

Item	Property		
Buoy	Material	Aluminum	
	Dimension	$B \times L \times H \times t_1 \times t_2 =$	
		1,800×1,800×1,720×10×20mm	
	Draft	1.005m	
	Mass	593.957kg	
	Center of gravity in	0.634m	
	vertical direction		
	Center of buoyancy in	-0.503m	
	vertical direction		
	Material	Aluminum H-beam	
Connector	Dimension	$L \times B \times H \times t_1 \times t_2 =$	
		18,000×340×380×30×30mm	
	Mass per unit length	81.0kg/m	
	Rotational mass per	2.445kg-m ² /m	
	unit length		
	Elastic modulus	69.60GPa	
	Shear modulus	26.17GPa	
Unit module	Material	Aluminum, solar photovoltaic	
		panel, and so on	
	Dimension	L×B*=18,000×18,000mm	
	Draft	1.005m	
	Mass	30,041kg	

^{*}B: Breadth / L: Length / H: Height / t₁: Web thickness / t₂: Flange thickness

물과 간단한 형태의 부유식 방파제를 설계·제시하였다. 해상 태양광 구조물을 구성하는 각 모듈은 다수의 부력체(buoy)와 구조재(connector)로 구성되며, 모듈의 형상 및 모듈 내 부력체 및 구조재 배치와 물성치를 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

본 연구에서의 해석 구조물로 총 25 모듈로 구성되며 전체 형상은 Fig. 2와 같다. 전체 구조물 내 각 모듈은 힌지(hinge) 연 결부로 연결되며, 이를 통해 모듈 간 모멘트 전달을 최소화하 여 구조재에 작용하는 하중을 감소시키고자 하였다.

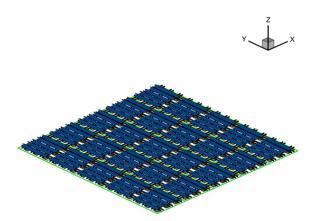
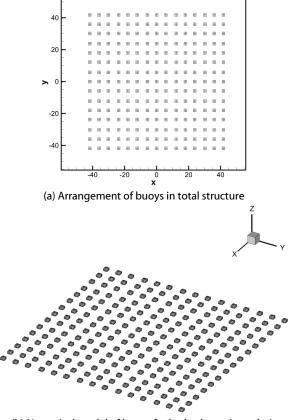


Fig. 2 Total structure for offshore photovoltaic system



(b) Numerical model of buoys for hydrodynamic analysis Fig. 3 Buoys consisting of total structure

2.1.1 해상태양광 유동해석 모델

전체 구조물을 구성하는 부력체의 경우 총 225개로 각 부력 체의 위치 및 배치는 Fig. 3(a)와 같다. 유동해석의 경우 각 부력 체 간의 상호간섭을 모두 고려하여 수행되었으며 고차경계요 소법(HOBEM)을 적용하였다. 해석을 위한 전체 구조물의 유 동해석 수치모델은 Fig. 3(b)와 같다.

2.1.2 해상태양광 구조해석 모델

부력체의 경우 유한요소법(FEM)의 적용을 위하여 단일 절 점으로 모델링되며, 무한 강성의 보(beam) 요소를 통해 부력 체에 작용하는 파랑하중을 구조재로 전달하게 된다. 부력체 (고차경계요소), 구조재 및 무한강성 보 요소(유한요소)를 포 함한 수치 모델은 Fig. 4와 같다. Fig. 4(b)에서 확인할 수 있듯 이, 모듈 간에는 힌지 연결부로 연결됨으로 모듈 간 모멘트 하 중의 전달을 최소화하고자 하였다.

해상태양광 구조물의 경우 각 모듈이 힌지 연결부로 연결되 어 있기 때문에 구조물의 특성을 파악함에 있어, 단일 모듈에 대한 모드 해석을 수행함으로써 구조물의 고유주파수 및 모드 형상을 확인하고자 하였다. 모드해석의 결과를 Fig. 5와 Table 2에 나타내었다. 1차 모드에서는 부력체의 복원 강성에 의한 수직방향 운동만 발생함을 확인할 수 있다. 2,3차 모드의 경우, 종-횡방향 회전운동이 연성된 형태임을 확인할 수 있으며, 4차 모드는 종-횡방향에 대한 비틀림 모드 형상임을 확인할 수 있

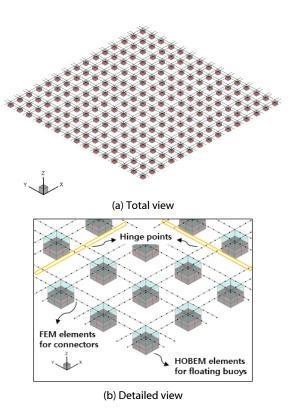


Fig. 4 Numerical model of buoys and connectors

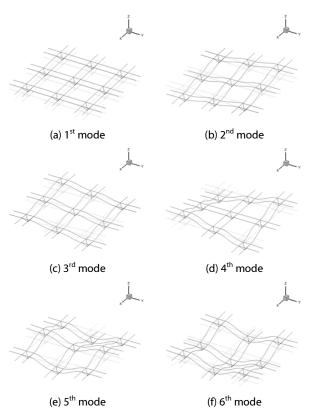


Fig. 5 Results on mode shapes from modal analysis

Table 2 Modal analysis results

		•	
Mode	Frequency(rad/s)	Frequency(Hz)	Period(sec.)
1	2.4275	0.3864	2.5883
2	52.2081	8.3092	0.1203
3	52.2081	8.3092	0.1203
4	74.3839	11.8386	0.0845
5	92.8767	14.7818	0.0677
6	92.8957	14.7848	0.0676

다. 5,6차 모드에서는 구조재의 휨 변형 형상이 나타남을 확인 할 수 있다. 고유주기의 경우 가장 저차인 1차 모드의 경우에도 약 2.6sec.로 설치해역의 모달주기(4.0sec.)와 차이가 발생함으 로 본 연구의 파랑조건에서는 공진에 의한 영향은 거의 없을 것으로 판단된다.

본 연구에서의 해상태양광 구조물 계류시스템의 경우 구조 물의 평면 방향 하중에 저항할 수 있을 정도의 약한 강성의 스 프링 모델로 구현되었다.

2.1.3 부유식 방파제 유동해석 모델

부유식 방파제의 경우 부력체와 마찬가지로 고차경계요소 법(HOBEM)을 적용하여 해석되며 수치모델은 Fig. 6과 같다. 부유식 방파제의 길이와 흘수는 각각 100m와 3m이며, 폭은 매개변수 해석을 위하여 2~16m의 크기로 변화되며 적용되 었다.

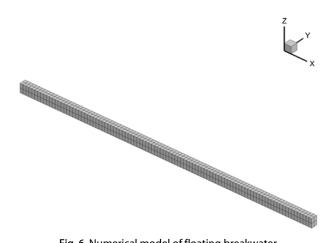


Fig. 6 Numerical model of floating breakwater

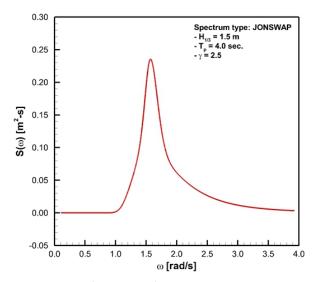


Fig. 7 Irregular wave condition(Hs=1.5m, Tp= 4.0sec.)

2.1.4 환경조건

본 연구에서는 유의파고와 모달주기가 각각 1.5m와 4.0sec. 인 불규칙파 조건이 적용되었으며, 취송거리(fecth)가 제한적 이고 천해역에 적용성이 높은 JONSWAP 스펙트럼이 적용되 었다(Fig. 7). 해상태양광 구조물 설치해역의 수심은 9m가 적 용되었다.

2.2 수치해석 기법

본 연구에서는 부력체와 구조재의 상호작용을 고려하기 위 해 연성해석을 수행하였다.

부유식 방파제를 포함한 해상태양광 구조물에 작용하는 파 랑하중을 산정하기 위해 고차경계요소법(HOBEM)을 적용하 였으며, 이는 기존의 경계요소법에 고차요소를 활용하여 정확 도와 수렴도가 증가된 유동해석 기법으로 다수의 부력체에 대 한 해석에 대해 효율적인 기법이다(Choi et al., 2000; Hong et al., 2005). 유동해석을 통해 파랑하증 및 부가질량, 감쇠 등과 같은 유체동역학적 특성을 구할 수 있으며, 아래 운동 방정식 을 통해 주파수 영역 해석을 수행할 수 있다.

$$\left(-\omega^2 \left[M_B + M_{add}(\omega) \right] - i \omega \left[C_B(\omega) \right] + \left[K_B \right] \right) \left\{ x(\omega) \right\}$$

$$= \left\{ f_{wave}(\omega) \right\}$$
(1)

위 식에서, $[M_B]$ 와 $[M_{add}(\omega)]$ 는 각각 부력체의 질량 및 부 가질량 행렬을 의미하며, $\left[C_{B}(\omega) \right]$ 와 $\left[K_{B} \right]$ 는 유체동역학적 감쇠와 복원 강성 행렬을 나타낸다. $\{f_{wave}(\omega)\}$ 는 파랑하중 벡 터, $\{x(\omega)\}$ 는 부력체 운동 벡터이며, ω 는 파랑주파수를 타나 내다.

시간영역 해석을 수행하기 위해 주파수 영역에서의 파랑하 중을 시간영역으로 변환해 줄 필요가 있으며, 불규칙파의 경 우, 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$\{f_{wave}(t)\} = \sum_{j=1}^{n_w} Re\left\{\sqrt{2S(\omega_j)\Delta\omega} f_{wave}(\omega_j) e^{-i(\omega_j t + \phi_j)}\right\}$$
(2)

식 (2)에서 n_w 는 불규칙파 스펙트럼의 분할 수를 나타내며, $S(\omega_i)$ 는 j 번째 분할의 스펙트럼을 나타낸다. $\Delta \omega$ 와 ϕ_i 는 각각 단위 파랑주파수와 무작위 위상각을 의미하며, $\{f_{wave}(\omega_i)\}$ 는 j 번째 주파수에서의 파랑하중 벡터이다.

유동해석을 통해 구한 유체동역학적 특성치 및 시간영역 파랑하중을 적용하여 구조재에 대한 시간영역 구조해석을 수행할 수 있다. 구조재의 경우 보 요소로 모델링되며 유한요 소법을 통해 정식화된다(Kim et al., 2013). 부력체의 파랑하 중의 경우 무한강성의 보 요소를 통해 구조재로 전달된다. 부 력체와 구조재의 연성효과를 고려한 운동방정식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{split} \left[M + M_{B} + M_{add}(\omega) \right] \left\{ \ddot{u}(t) \right\} + \left[C + C_{B}(\omega) \right] \left\{ \dot{u}(t) \right\} \\ + \left[K + K_{B} \right] \left\{ u(t) \right\} = \left\{ f_{wave}(t) \right\} \end{split} \tag{3}$$

위 식에서, [M], [C], [K]는 각각 구조재의 질량, 감쇠, 강성 행렬을 나타내며, $\{u(t)\}$ 의 경우 시간영역 변위 벡터를 나타 낸다. 수치해석을 수행함에 있어 시간 흐름의 안정성을 위하 여 수정 Newmark 알고리듬이 적용되었다(Chung and Hulbert, 1993).

식(3)에 대한 결과로 각 요소에서의 운동 변위를 구할 수 있 으며, 이를 통해 필요 부분의 단면력을 구할 수 있고 단면 정보 를 더해 구조재에 대한 응력을 계산할 수 있다(Bathe, 1996).

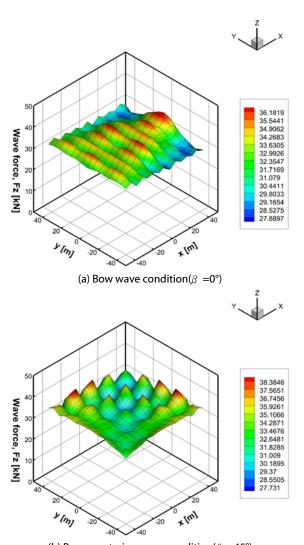
2.3 수치해석 결과 및 고찰

2.3.1 해상태양광 구조물 작용 파랑하중

부유식 방파제가 설치되지 않은 경우 전체 구조물에 작용하 는 파랑하중을 Fig. 8에 나타내었다. 선수파($\beta = 0^{\circ}$)의 경우 파 랑이 진행됨에 따라 구조물의 중앙부에서는 하중이 다소 증가 함을 보이나, 측면부에서 하중이 감소함을 확인할 수 있다. 사 파(β =45°)의 경우 구조물 전체영역에 대하여 하중이 크게 발 생함을 볼 수 있다.

2.3.2 파랑 중 해상태양광 구조물 변형

파랑하증이 작용할 경우 전체구조물의 변형 형상을 Fig. 9 에 나타내었다. 선수파($\beta = 0^{\circ}$) 조건에서는 힌지 연결부가 잘 적용되는 것을 확인할 수 있으나, 사파(β =45°) 조건에서는 힌 지 연결부가 적절히 작용하지 않음을 볼 수 있으며, 이에 따라



(b) Bow-quartering wave condition($\beta = 45^{\circ}$) Fig. 8 Wave loads on buoys of total structure

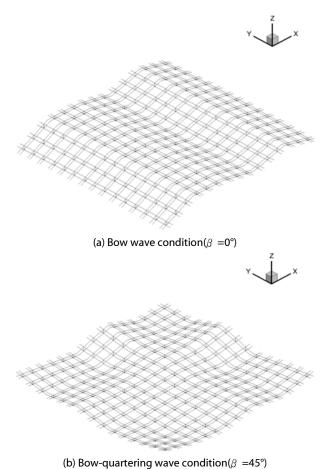


Fig. 9 Deformation configurations of total structure

구조재에 큰 하중이 작용하게 된다.

따라서 사파 조건에서 구조재에 작용하는 하중을 감소시키기 위하여 부유식 방파제를 사파 방향에 수직으로 설치하였으며, 사파 조건에서의 방파제에 의한 파랑하중 및 구조재 작용응력의 변화 정도를 비교하였다.

2.3.3 부유식 방파제 매개변수 해석

본 연구에서는 부유식 방파제를 설치함으로 해상태양광 구조물에 작용하는 파랑하중을 감소시키고자 하였으며, 방파제의 크기(B)와 구조물부터의 거리(D)를 변화시킴으로 파랑하중 및 구조하중 감소에 대한 영향을 확인하고자 하였다.

먼저, 부유식 방파제의 크기가 해상태양광 구조물에 작용하는 파랑하중에 미치는 영향을 확인하기 위해 부유식 방파제와 구조물과의 거리를 100m로 고정하고, 방파제의 폭(B)을 달리하여 이에 대한 영향을 확인하였다. Fig. 10에 부유식 방파제의 폭에 따른 형상과 구조물과의 배치를 나타내었다.

부유식 방파제의 폭 변화에 따른 해상태양광 구조물에 작용하는 파랑하중 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 부유식 방파제가설치되지 않은 경우(Fig. 8(b))와 비교할 때 부유식 방파제가

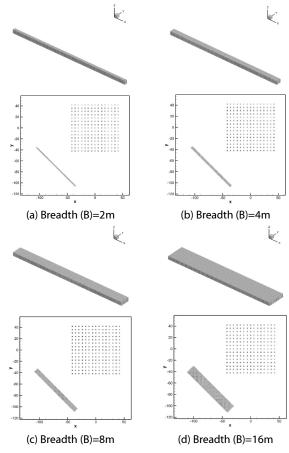


Fig. 10 Breadth condition of floating breakwaters

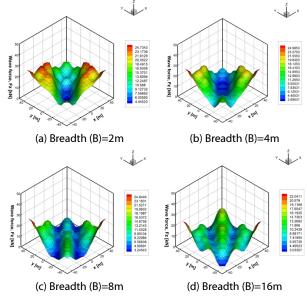


Fig. 11 Wave loads on total structure with floating breakwater depending on breadth condition

설치됨으로 해상태양광 구조물에 작용하는 파랑하중이 감소 함을 확인할 수 있다. 부유식 방파제의 폭이 가장 작은 경우 (B=2m), 해상태양광 구조물의 중앙부에서 하중이 크게 감소 함을 확인할 수 있으며, 부유식 방파제의 폭이 증가할수록 파 랑하중이 감소하는 범위가 증가함을 볼 수 있다.

부유식 방파제를 설치함에 따라 해상태양광 구조물에 작용 하는 파랑하중이 감소하여 구조재에 작용하는 구조하중 또한 감소하게 된다. 부유식 방파제의 폭에 따른 해상태양광 구조 물 내 구조재에 작용하는 최대 굽힘응력을 Fig. 12에 나타내었 다. 파랑하중이 감소하는 정도가 증가함에 따라 구조재에 작 용하는 최대 굽힘응력이 더욱 감소함을 볼 수 있다.

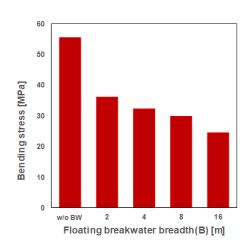


Fig. 12 Bending stress comparison depending on breadth of floating breakwater

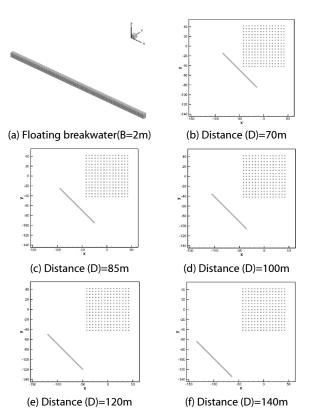


Fig. 13 Distance condition of floating breakwater from floating photovoltaic system

다음으로 구조물의 크기는 동일한 조건에서 해상태양광 구 조물과의 거리(D)를 달리하여 해석을 수행함으로 이에 대한 영향을 검토하고자 하였다. 구조물의 크기는 길이 100m, 폭 2m, 흘수 3m로 동일하게 적용되었으며, 구조물과의 거리에 따 른 배치를 Fig. 13에 나타내었다.

부유식 방파제와 해상태양광 구조물과의 거리에 따른 파랑 하중 분포 결과를 Fig. 14에 나타내었다. 앞선 결과와 마찬가지

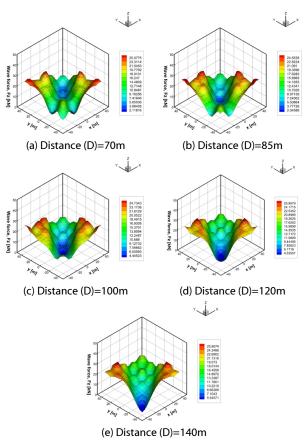


Fig. 14 Wave loads on total structure with floating breakwater depending on distance condition

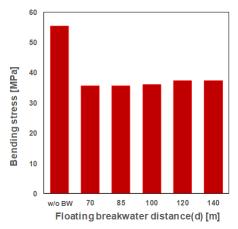


Fig. 15 Bending stress comparison depending on distance between photovoltaic system and floating breakwater

로, 부유식 방파제가 설치됨으로써 해상태양광 구조물에 작용 하는 파랑하중이 감소함을 확인할 수 있다. 하지만, 거리가 달 라짐에 따라 파랑하중 분포 경향은 크게 달라지지 않으며, 하중 크기의 감소 정도에서도 약간의 차이만 있음을 확인할 수 있다.

부유식 방파제의 구조물과의 거리에 따른 파랑하증을 적용 한 구조재의 굽힘응력 결과를 Fig. 15에 나타내었다. 앞선 파랑 하중의 분포 결과에서 크기와 경향이 크게 다르지 않음에 따라 구조재에 작용하는 최대 굽힘응력의 결과 또한 차이가 거의 없 음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 부유식 방파제의 해상태양광 구조물에 대한 파랑하중 저감성능을 평가하고자 하였다. 환경하중이 강한 해 양환경에 설치되는 해상태양광 구조물의 경우 안전성 확보를 위한 구조재의 강도 증가에 제약이 존재하므로 부유식 방파제 를 설치하여 구조물에 작용하는 파랑하중을 감소시켜 구조재 의 구조하중을 감소시키고자 하였다. 부유식 방파제를 설치함 에 있어 방파제의 크기 및 구조물과의 거리를 달리함으로 이에 대한 영향을 확인하였다.

부유식 형태의 해상태양광 구조물은 다수의 부력체와 이를 연결하는 구조재로 구성된다. 본 연구에서는 고차경계요소법 (HOBEM)을 적용하여 부유식 방파제를 포함한 다수의 부력 체의 상호작용을 고려한 유동해석을 수행하였다. 유동해석을 통해 구한 파랑하중을 적용함으로 구조재의 구조응답을 평가 하였으며, 유한요소법(FEM)을 통해 구조응답 해석을 수행하 였다.

해상태양광 구조물에 작용하는 파랑하중 및 구조재의 구조 하중에 대한 부유식 방파제의 크기의 영향을 평가하기 위해 부 유식 방파제의 폭을 달리하여 해석을 수행하였다. 부유식 방 파제의 크기가 증가함에 따라 해상태양광 구조물에 작용하는 파랑하중이 감소하는 정도와 범위가 증가하였으며, 이에 따라 구조재에 작용하는 최대 굽힘 응력 또한 감소함을 확인하였다. 부유식 방파제와 해상태양광 구조물의 거리를 달리하여 해석 을 수행한 결과, 부유식 방파제를 설치함으로 파랑하중이 감 소함을 확인할 수 있으나 거리에 따른 영향은 거의 없음을 확 인하였다. 이를 통해 해상태양광 구조물의 파랑하중 저감에 대해 부유식 방파제의 크기에 의한 영향이 지배적임을 확인하 였고, 설치 지역의 파랑조건 및 구조재의 허용강도 등에 따라 부유식 방파제의 크기 및 저감 정도를 결정할 수 있다.

추후 연구에서는 부유식 방파제와 파랑조건의 관계를 확인 하고자 하며, 부유식 방파제 자체에 대한 구조해석을 통한 안 전성 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 선박해양플랜트연구소의 주요사업 "불확실성을 고려한 유탄성 기반 해양구조물 구조손상도 평가 핵심기술 개 발(Grant No. PES4320)"의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- Bathe, K.J. (1996) Finite Element Procedures, Prentice Hall.
- Choi, Y.R., Hong, S.Y., Choi, H.S. (2000) An Analysis of Second-order Wave Forces on Floating Bodies by Using a Higher-Order Boundary Element Method, Ocean Eng., 28(1), pp.117~138.
- Chung, J., Hulbert, G.M. (1993) A Time Integration Algorithm for Structural Dynamics with Improved Numerical Dissipation: The Generalized- α Method, J. Appl. Mech., 60(2), pp.371~375.
- Federiksen, H.D. (1971) Wave Attenuation by Fluid Filled Bags, J. Waterw., Harb. & Coast. Eng. Div., 97(1), pp.73~90.
- Hales, L.Z. (1981) Floating Breakwaters: State-of-the-Art, Literature Review, US Army-CERC Technical Report, 81-1.
- He, F., Huang, Z., Law, A.W.K. (2012) Hydrodynamic Performance of a Rectangular Floating Breakwater With and Without Pneumatic Chambers: An Experimental Study, Ocean *Eng.*, 51, pp.16~27.
- Hong, S.Y., Kim, J.H., Cho, S.K., Choi, Y.R., Kim, Y.S. (2005) Numerical and Experimental Study on Hydrodynamic Interaction of Side-by-side Moored Multiple Vessels, Ocean Eng., 32(7), pp.783~801.
- Jeong, S.T., Park, W.S., Lee, H.C. (2002) Finite Element Analysis for Multiple Floating Breakwaters, J. Korean Soc, Coast, & Ocean Eng., 14(4), pp.257~264.
- Kim, B.W., Sung, H.G., Kim, J.H., Hong, S.Y. (2013) Comparison of Linear Spring and Nonlinear FEM Methods in Dynamic Coupled Analysis of Floating Structure and Mooring System, J. Fluid& Struct., 42, pp.205~227.
- Loukogeorgaki, E., Yagci, O., Kabdasli, M.S. (2014) 3D Experimental Investigation of the Structural Response and the Effectiveness of a Moored Floating Breakwater with Flexibly Connected Modules, Coast. Eng., 91, pp.164~180.
- McCartney, B.L. (1985) Floating Breakwater Design, J. Waterway, Port, Coast., & Ocean Eng., 111(2), pp.304~318.
- Sutko, A.A., Haden, E.L. (1974) The Effect of Surge, Heave and Pitch on the Performance of a Floating Breakwter, Floating Breakwaters Conference Papers, University of Rhode Island, Marine Technical Report Series, 24, pp.21~39.
- Western Canada Hydraulic Laboratories Ltd. (1981) Development

- of a Manual for the Design of Floating Breakwaters, Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences, p.1629.
- Williams, A.N., Abul-Azm, A.G. (1997) Dual Pontoon Floating Breakwater, *Ocean Eng.*, 24(5), pp.465~478.
- Zhang, C., Magee, A.R. (2021) Effectiveness of Floating Breakwater in Special Configurations for Protecting Nearshore Infrastructures, J. Mar. Sci. & Eng., 9(7), p.785.
- Zhang, H., Zhou, B., Vogel, C., Willden, R., Zang, J., Geng, J. (2020) Hydrodynamic Performance of a Dual-Floater Hybrid System Combining a Floating Breakwater and an Oscillating-Buoy Type Wave Energy Converter, Appl. Energy, 259, p.114212.

요 지

기존 화석 연료의 고갈 및 환경오염의 문제와 대용량 발전을 위하여 해양환경 및 자원을 이용한 친환경에너지 발전에 대한 연구 및 개발이 증가하고 있으며, 이 중 높은 발전 효율을 가진 해상태양광 발전에 대한 연구가 크게 증가하고 있다. 환경하중이 비교적 약한 내수조건과 달리, 환경하중이 강한 해양에서의 태양광 발전을 위해서는 더 강한 강성의 구조재를 사용해야 한다. 하지만, 구조재의 생 산 가능성, 무게를 포함한 구조물 특성 및 경제적 효율성 등의 제약조건이 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 부유식 방파제를 설 치함으로써 태양광구조물에 작용하는 파랑하중을 감소시켜 구조재의 강성 강화를 최소화하고자 하였다. 부유식 방파제의 크기 및 구 조물로부터의 거리를 변화하여 이에 따른 파랑하중 및 구조재 응력의 감소 정도를 확인하였다. 다수 부력체의 상호간섭을 고려한 파 랑하중의 경우, 고차경계요소법(Higher-Order Boundary Element Emthod)을 이용해 산정하였으며, 구조재에 작용하는 응력은 유한요 소법(Finite Element Method)을 통해 평가하였다. 각 조건에서의 최대응력을 분석 및 비교함으로써 해상태양광 발전 시스템에 대한 부 유식 방파제의 영향을 확인하였으며, 부유식 방파제의 크기가 파랑하중 및 구조재 응력 감소에 큰 영향을 미침을 확인하였다.

핵심용어: 해상태양광 구조물, 부유식 방파제, 유체-구조 연성해석, 파랑하중 저감