

## 유탄성 거동 DB화를 통한 초대형 부유식 해상구조물의 설계기술

## New Design Method for Very Large Floating Structures by Using A Database of Hydroelastic Response

김진균\* · 이승정\*\* · 이승오\*\*\* · 지광습\*\*\*\*

Kim Jin Gyun · Lee Seung Jung · Lee Seung Oh · Zi, Goangseup

## 1. 서 론

초대형 부유식 해상구조물(Very Large Floating Structures, VLFS)은 일반적으로 길이 1km 이상, 무게  $10^6$ ton 이상의 대단위 구조물을 말하며 부유식 항만, 방파제, 공항, 해상저유시설 등에 광범위하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 초대형 부유식 해상구조물 설계의 핵심은 주요 외력 요소인 파랑에 의해 야기되는 구조물의 거동을 해석하는 것으로 일반적으로 유탄성 해석 기법(Hydroelastic Analysis)을 이용하고 있다.

현재 부유식 해상구조물의 사용성이 꾸준히 증가하고 있으나 초대형으로 분류될 수 있는 부유식 구조물에 대한 실적용은 미미하며, 유탄성 해석 기법의 경우 역시 동일하다. 또한 유탄성 해석 기법을 적용하여 구조물의 거동을 해석할 경우 요소망의 증가와 구조강성의 증가에 따라 해석에 소요되는 시간 및 재원이 기하급수적으로 증가한다. 본 연구에서는 기본 부유식 구조물의 유탄성 거동 해석 DB를 이용한 설계차트를 제시하였다. 설계차트는 무차원화한 변수로 작성되었으며 초대형 부유식 해상구조물의 주요 거동인 길이방향 모멘트와 6자유도에 대해 정리하였다.

## 2. 해석대상구조물

## 2.1 해석대상 구조물 개요

그림 1은 해석대상 구조물의 개요이다. 대상 구조물은 길이 100m, 폭 10m, 깊이 2m로 구축하였으며 길이를 파랑대비 무차원화하였다. 본 해석에서는 기본적인 설계차트의 제시를 위해 내부 격벽이 없고 단일 모듈로 구성된 사각 바지형 구조물에 대한 해석을 수행하였다. 그림 2는 해석대상 구조물의 기준단면이며, 해석대상 구조물의 재원 및 물성치는 표 1에 제시하였다. 이때 상판의 무게가 하판의 무게에 비해 3배 무거우며 이는 예상되는 상재하중을 고려하여 자중을 산정한 값이다(Riggs 등, 2007).

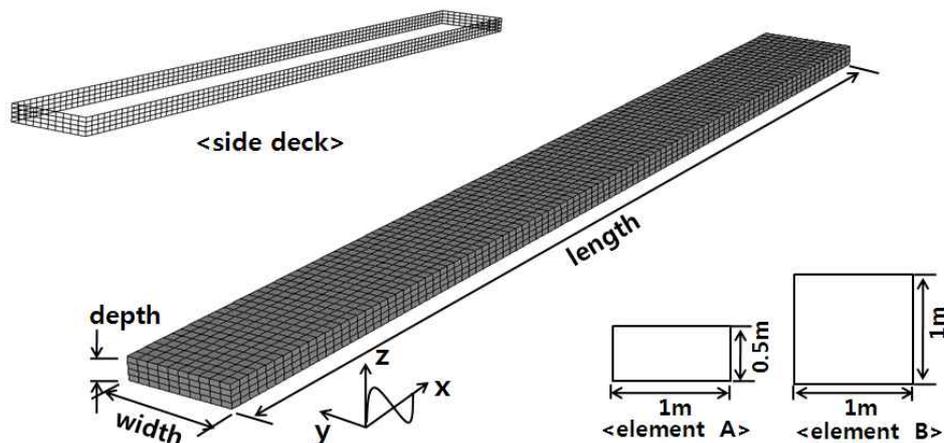


그림 1. 해석대상 구조물 개요

\* 학생회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정 · E-mail : simpleis@korea.ac.kr - 발표자

\*\* 학생회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 석박사통합과정 · E-mail : fincher7vn@korea.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 홍익대학교 건설도시공학부 조교수 · 공학박사 · E-mail : seungoh.lee@hongik.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 부교수 · 공학박사 · E-mail : g-zi@korea.ac.kr

표 1. 해석대상 구조물 자원 및 물성치

구 분	값	구 분	값
철점수	2882개	판두께	0.05m
요소수	2880개	굽힘두께	0.25m
상판중량	15375kg/m <sup>3</sup>	홀수	1m
하판중량	5125kg/m <sup>3</sup>	요소 크기	측부 1m×0.5m 상하부 1m×1m
포아송비	0.18		

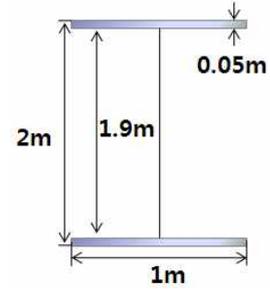


그림 3. 기준단면

측벽은 요소 A로, 상하판은 요소 B로 요소망을 구축하였다. 일반적으로 유탄성 해석결과는 응답진폭함수(Response Amplitude Operators, RAOs)로 표현된다. 구조강성의 무차원 변수는 식 (1)을 사용하였다(Lee 와 Newman, 2000).

$$S_s = EI/\rho gL^5 \tag{1}$$

여기서  $E$ 는 탄성계수,  $I$ 는 단면이차모멘트,  $\rho$ 는 단위중량,  $g$ 는 중력가속도,  $L$ 은 구조물의 길이를 말한다.

2.2 유의단면 선정

초대형 부유식 해상구조물의 설계를 위해서는 먼저 해석 대상구조물의 유의단면을 선정해 발생가능한 구조물의 거동을 해석해야 한다. 구조물에 입사하는 파랑 입사각에 따른 heave의 변화를 그림 3, 그림 4에 나타내었다.

구조물의 길이대비 파랑의 길이가 긴 파랑이 입사할 경우 heave가 커지며, 구조물 중앙부에서 가장 큰 굽힘이, 구조물 선수부와 선미부에서 가장 큰 heave가 발생하는 것을 확인하였다. 폭방향과 길이방향의 비가 크게 차이가 나는 해석대상 구조물의 특성상 길이방향 모멘트가 주요한 단면력일 것으로 판단된다. 따라서 가장 큰 굽힘이 발생하는 구조물의 중앙부를 유의단면으로 선정할 수 있다.

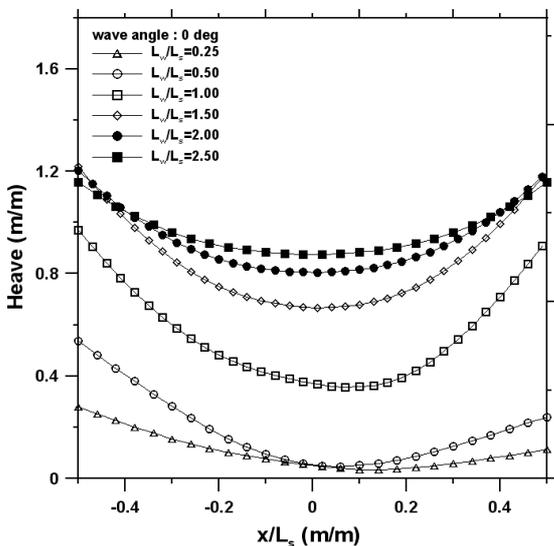


그림 3. 파랑에 의한 응답 (입사각 0°)

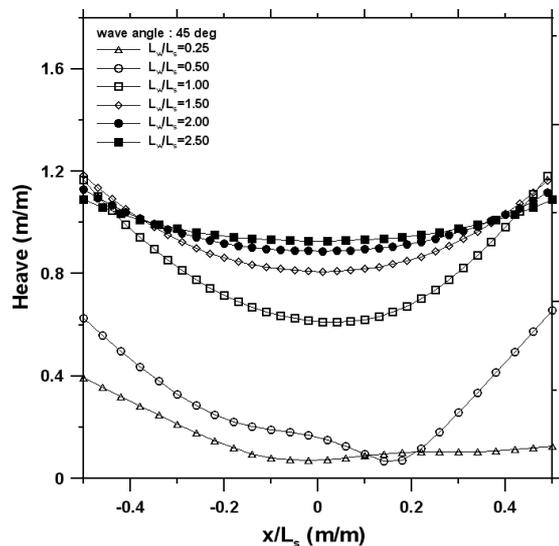


그림 4. 파랑에 의한 응답 (입사각 45°)

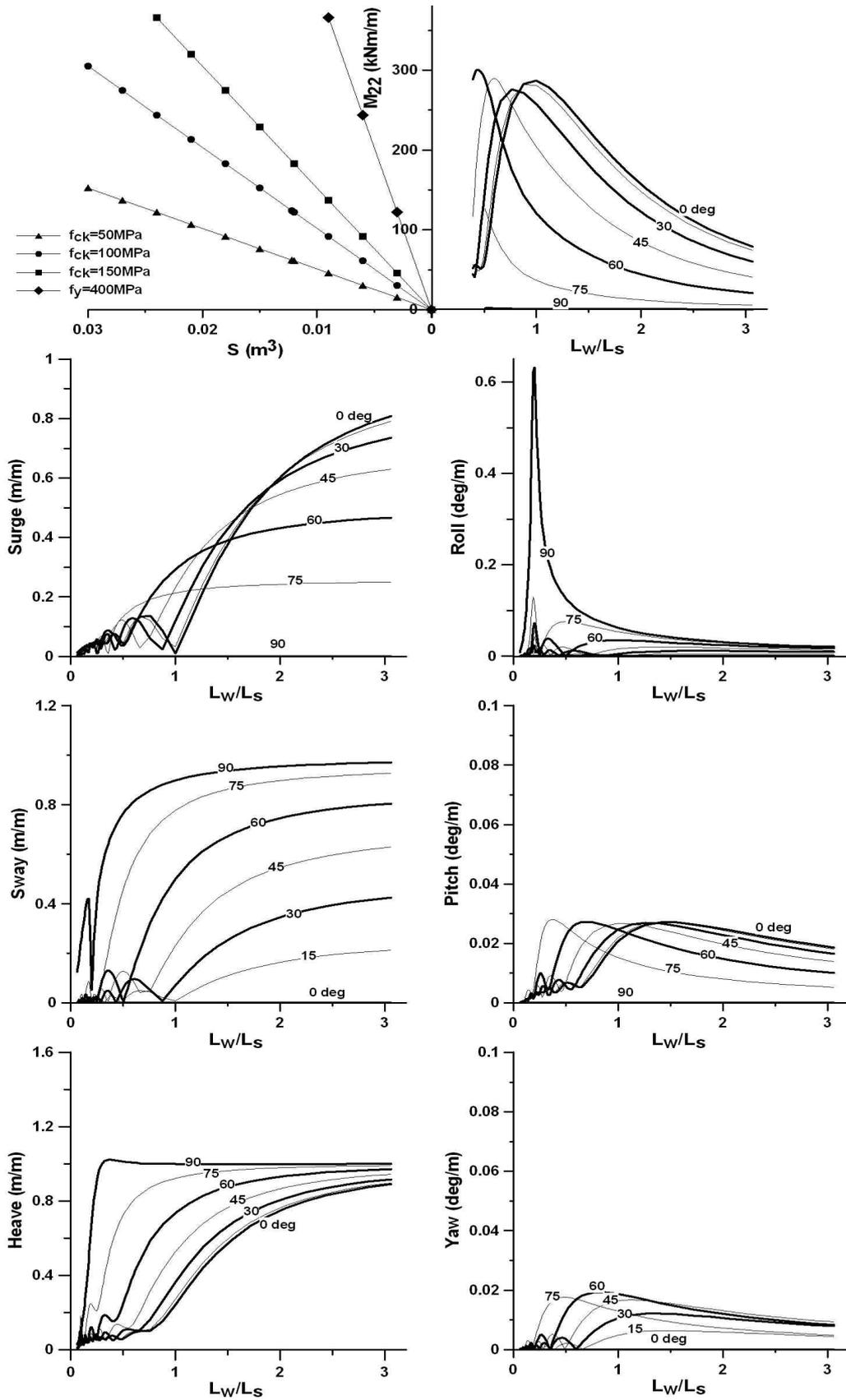


그림 5. 파랑 입사각에 따른 구조물 중앙부 설계차트

### 3. 기본 설계차트

그림 5는 유탄성 해석을 수행한 해석 결과를 DB화하여 작성한 기본 설계차트이다. 파랑의 입사각은 0°에서 90°까지 변화시켰으며, 구조강성계수는 1.64로 고정하였다. 그림 5의 일사분면은 모멘트-단위파랑 선도 ( $M_{22} - L_w/L_s$ )를 나타낸 것으로 입사파랑에 의해 발생 가능한 모멘트를 나타내고, 이사분면은 모멘트-단면계수 선도( $M_{22} - S$ )로 모멘트를 단위진폭에 대한 값으로 변화시켜 주기 위해 100년 빈도 태풍에 의한 유의진폭인 5.9m(유의파고 11.8m)로 나누어 표기하였다. 선도 하부는 부유구조물의 동적거동을 나타내는 6자유도-단위파랑 선도( $6DOF - L_w/L_s$ )를 의미한다.

유탄성 해석결과 파랑에 의해 발생 가능한 최대 모멘트는 약 300kNm/m이며 입사각도가 증가할수록 단주기에서 최대값이 발생한다. 입사각도가 90°인 경우 굽힘모멘트의 응답진폭이 매우 작다. 이는 파랑이 구조물의 길이방향에 수직으로 입사할 경우로 파랑이 구조물의 굽힘에 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 보인다.

6자유도의 응답 또한 파랑입사각의 변화에 크게 영향을 받는다. surge와 sway의 경우 각각 축방향에 수평으로 입사하는 입사각 0°와 90°에서 최대값을 갖는다. heave의 경우는 입사각이 0°에서 90°로 증가할수록 단주기 파랑에서 최대 응답에 수렴한다. roll의 경우 파랑이 구조물의 길이 방향에 수직인 90°로 입사할 경우 0.6deg/m 이상의 응답이 발생할 수 있다. pitch와 yaw는 roll에 비해 상대변위가 작으나 구조물의 형상과 크기에 따라 선수, 선미부에 유의수준의 변위를 발생시킬 수 있다.

해석결과는 구조물 중앙부를 유의단면으로 고려하여 설계 시 중앙부의 응답을 고려해야 함을 보여주며, 파랑의 입사각과 구조물의 유동제어의 경우 방파제, 계류장치 등을 통해 적절하게 통제되어야 함을 보여준다. 항만설계 기준에 따른 구조물 설계 시 본 설계차트를 이용하여 설계유의파고에 따른 구조물의 최대모멘트, 단면계수, 재료물성 및 6자유도에 대한 변위 등을 산정할 수 있다. 모든 변수는 파랑대비 무차원화하였기 때문에 다양한 설계조건에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 초대형 부유식 해상구조물의 설계 시 각 케이스 별로 유탄성 해석을 수행하기 위해서는 상당한 시간과 재원이 요구되기 때문에 유탄성 해석의 DB화를 통한 설계차트를 구성하여 기본설계에 이용할 수 있다. 본 설계차트를 이용하여 최대 발생가능 모멘트, 단면계수, 재료물성, 6자유도 변위 등을 예측할 수 있다.
2. 해석 대상구조물의 해석 결과 구조물 중앙부에서 가장 큰 굽힘이 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 초대형 부유식 해상구조물의 설계 시 구조물 중앙부를 유의단면으로 볼 수 있다. 단 구조물 내부의 격벽 위치와 형상특성에 따라 유의단면의 위치는 변할 수 있으며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 연구는 2008년도 삼성중공업 초대형 콘크리트 부유구조물의 설계/시공기술에 관한 연구 사업으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 삼성중공업에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Ando, S., Ohakawa, Y. and Ueno, I. (1983), Feasibility Study of a Floating Airport, Report of Ship Research Institute, Japan, Supplement No.4
2. ISSC (2006), Report of Special Committee VI.2 "Very Large Floating Structures," Proceeding 16th International Ship and Offshore Structure Congress, Vol. 2 pp. 391-442.
3. Lee, C. -H., Newman, J. N. (2000), An Assessment of Hydroelasticity for Very Large Hinged Vessels, Journal of Fluids and Structures (2000) 14, pp. 957-970
4. Riggs, H. R., Niimi, K. M., Huang, L. L. (2007), Two Benchmark Problems for Three- Dimensional, Linear Hydroelasticity, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 129 pp.149-157
5. Suzuki, h and Yoshida, K (1996), Design flow and strategy for safety of very large floating structure, VLFS'96, pp. 21-27