

하이브리드 부유구조체 구조성능 효율화 최적조합 연구

Reserch on an Optimum System of a Hybrid Floating Structure

곽연민* 지광습** 정연주*** 이승정****
Kwak, Yeon Min · Zi, Goangseup · Jeong Youn Ju · Lee, Seung Jung

1. 서 론

세계적인 경제규모의 확대에 의한 교역 증가와 사회문화적 글로벌 시대로의 진입은 국제적으로 급격한 교류의 확대를 이끌고 있으며, 이에 따라 전국 항만의 컨테이너 물동량이 급증하는 추세에 있다. 항만 건설을 위한 매립 가능 연안은 현재 포화상태에 이르렀으며, 최근 환경의식 고조에 따라 그나마의 적지 확보에도 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 초대형 해양구조물 이용 시, 수심 및 해저지형에 관계없이 해역을 이용할 수 있으며, 부유식의 경우 시설물의 이동이 가능하여 효율적인 접안시설, 차세대 해상물류기지로서의 활용이 기대되고 있다. 현재 일본과 미국을 중심으로 해양항만, 공항 등 해상공간 활용 목적으로 활발한 연구 및 개발이 이루어지고 있으며, 국내의 경우 연안역 개발을 위한 초대형 해양구조물로서 부유식 구조물, 특히 폰툰식 해양구조물의 구조성능 및 실용화에 대한 개념적 연구수행이 한국해양연구원(1999~2007), 삼성중공업(2007~2008), 한국건설기술연구원(2010~2011) 등에서 수행된 바 있다.

본 연구에서는 그림 1과 같이 기존의 폰툰형과 반잠수식 구조형식이 적절하게 조합된 형상기반 하이브리드 부유구조체에 대하여 부력 및 파랑에 의한 단면력 발생을 최소화하고, 시공 중 부력에 의한 프리플렉스 도입 효과를 최대화 하기 위해 폰툰형과 반잠수식의 최적 조합에 기반하는 하이브리드 부유구조체 구조시스템을 도출하였다.

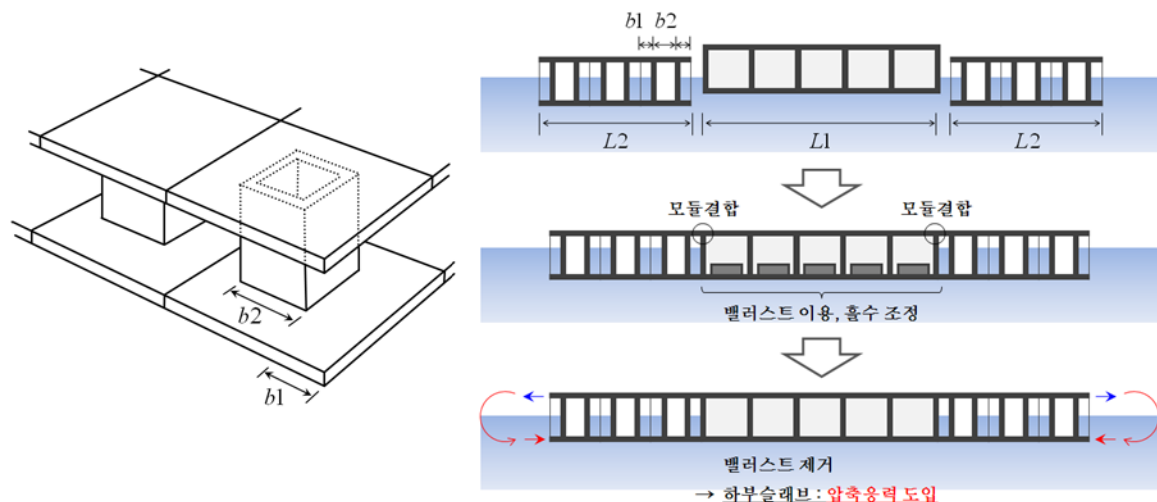


그림 1 하이브리드 부유구조체 시스템

* 학생회원 · 고려대학교 건축·사회환경공학과 · 석사과정 · E-mail: kwakym@korea.ac.kr - 발표자

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

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 구조교량연구실 연구위원 · 공학박사 · E-mail: yjeong@kict.re.kr

**** 학생회원 · 고려대학교 건축·사회환경공학과 · 박사과정 · E-mail: fincher7vn@korea.ac.kr

2. 등가정적해석

유탄성 해석 프로그램 사용 시 정수역학 거동과 유탄성 거동을 고려한 변위 및 단면력을 산출 할 수 있으나, 많은 격벽으로 구획된 초대형 부유구조체의 경우 요소망을 구성하는 절점의 수와 그 자유도가 지나치게 많아져 해석 시간이 기하급수적으로 늘어나 해석 수행자체가 불가능 한 경우가 발생하게 된다. 또한 요소의 크기를 증가시켜 해석을 수행하는 경우 해석시간은 단축될 수 있지만 설계를 위한 부재 단위의 최대 변위와 단면력을 고려하기에는 그 결과의 오차율 역시 증가하여 무의미한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 제시된 초대형 부유구조체 설계를 위해 유탄성 해석 프로그램을 이용하는 것은 적절하지 않다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 실 거동에 근사하는 부유구조체 거동을 산출하기 위해 작용하는 파압을 외력으로 산정, 전체구조 해석과 국부구조해석 2단계 해석을 통한 구조해석을 수행하였다. 부유구조체의 전체구조거동에 대한 해석은 등가판모델을 이용한 등가정적 해석으로 유탄성해석을 대신하였으며, 직접하중에 의한 국부구조 해석은 격벽 간 슬래브 시스템을 중심으로 수행하여 해석시간을 단축시키고, 실제 거동에 근사하는 결과 값을 도출 할 수 있도록 하였다.

부유체 작용하중 중 외벽에 작용하는 파압과 정수압을 제외한 구조체 전 단면에 작용하는 하중, 즉 상·하부 슬래브에 작용하는 상재하중과 자중, 정수압과 양압력, 파압은 그림 2와 같이 전체 구조에 대한 전체구조계 모멘트를 발생시키고, 발생한 모멘트에 의해 상·하부 슬래브에는 축력이 발생하게 된다. 계산된 축력을 다시 슬래브 단면의 면적으로 나누어 슬래브에 작용하는 응력을 산출할 수 있다. 여기서 전체구조계 모멘트는 등가 판두께를 적용한 판 모델 해석을 통해 산출해 낼 수 있으며, 이 때 부유구조체에 작용하는 부력은 등가스프링으로 치환하여 해석한다.



그림 2. 부유구조체 전체구조계 모멘트 발생에 의한 상·하부슬래브 응력 유발

$$N = \frac{M}{h} \Rightarrow \sigma = \frac{N}{A}$$

또한 그림 3과 같이 격벽으로 구획된 하나의 단위 셀에 직접 작용하는 하중에 대한 구조응답은 상부슬래브와 하부슬래브, 외벽 각 셀 모델에 대한 구조해석을 통해 얻을 수 있으며, 각 구조부의 최종 거동은 전체 구조와 국부구조거동 해석 결과를 조합하여 산출하였다.

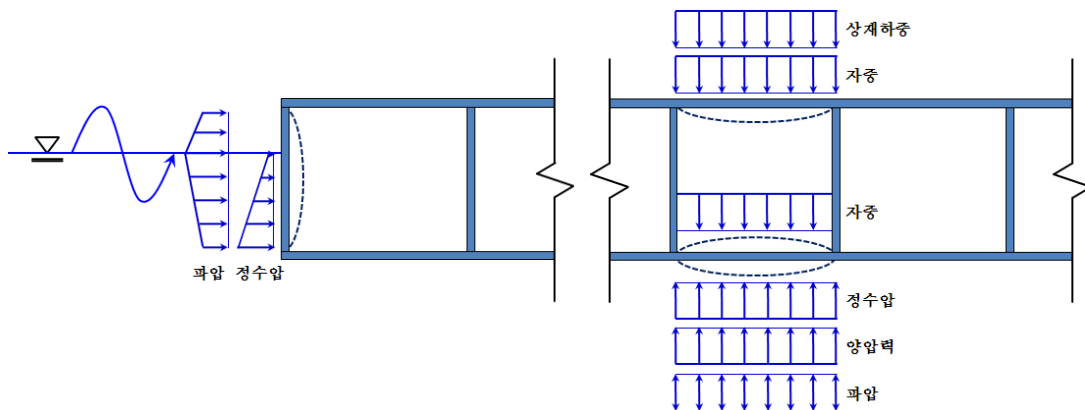


그림 3. 부유구조체 국부구조 작용하중

3. 매개변수 연구

하이브리드 부유구조체 시스템의 최적 구조제원을 도출하기 위해 하이브리드 모듈 도입 범위(L2)를 10m 부터 100m까지 10m씩, 모듈의 중공의 크기(b2)를 1m부터 9m까지 1m씩 증감하여 구조성능 효율화를 위한 매개변수 연구를 수행하였다. 상부슬래브와 하부슬래브, 외벽에 대하여 국부구조와 전체구조거동에 대한 구조응답을 산출하여 조합한 결과는 각각 그림 3, 4, 5와 같다.

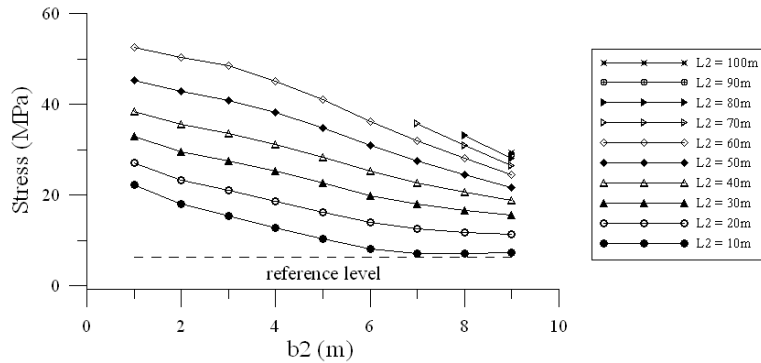


그림 3. 상부슬래브 구조해석 결과

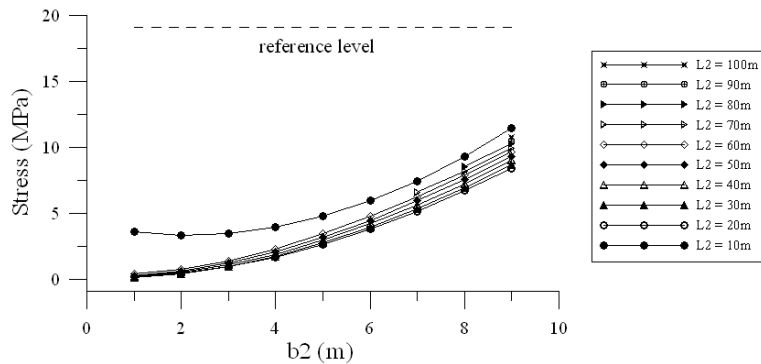


그림 4. 하부슬래브 구조해석 결과

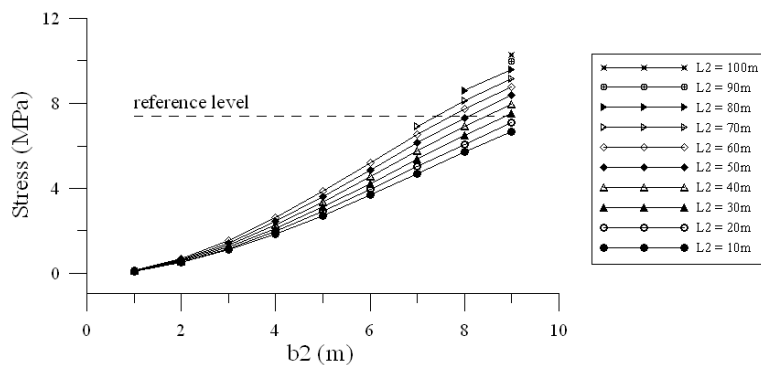


그림 5. 외벽 구조해석 결과

상부슬래브의 경우 하이브리드 모듈 도입 시 전반적으로 기본 부유구조체보다 발생 인장응력 증가하는 것으로 나타났다. 전반적으로 L2길이(하이브리드 모듈 범위)가 증가함에 따라 발생 인장응력이 증가하였는데, 이는 전체구조거동에서 하이브리드 모듈을 많이 적용할수록 상부슬래브에 인장응력을 유발시키는 글로벌 부 모멘트가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, b2길이(모듈의 중공 크기) 감소함에 따라 발생 인장응력이 증가하는 경향을 나타냈는데, 이는 국부구조거동에서 중공부분이 감소할수록 중공지점부(최대 인장응력 발생

지점)가 부담하는 상재하중과 자중의 크기가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 하부슬래브의 경우 하이브리드 모듈 도입 시, 전반적으로 기본 부유구조체보다 발생 인장응력이 크게 감소하였으며, 이는 전체구조거동에서 프리플렉스 도입에 따른 글로벌 부모멘트의 발생과 이에 따른 하부슬래브의 인장응력 상쇄 효과, 국부 구조거동에서 중공부분의 크기 감소함에 따라 실 거동하는 하부슬래브면의 감소에 의한 효과에 기인한 것으로 판단된다. 외벽은 전체구조거동에 영향을 받지 않기 때문에 하부슬래브 국부구조 거동과 동일한 패턴을 갖으며 중공부분의 크기 감소에 따른 외벽면의 크기 감소로 b_2 길이 감소에 따라 발생인장응력이 감소하는 것으로 나타났다.

각 구조부의 발생 인장응력을 조합한 결과는 그림 6과 같다. 하이브리드 모듈 미적용 모델보다 우수한 구조성능 갖는 부유구조체 모델은 L_2 범위 10m에서 b_2 길이 2~9m, L_2 범위 20m에서 b_2 길이 4~9m를 갖는 모델인 것으로 나타났으며, 이 중 최적 구조성능을 갖는 모델은 L_2 범위 10m, b_2 길이 6m인 것으로 나타났다.

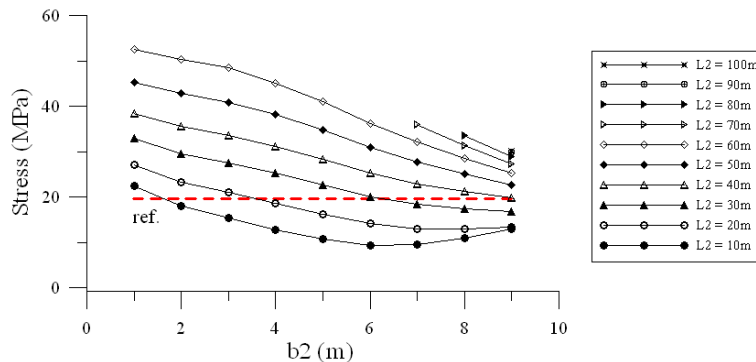


그림 6. 각 구조부 해석결과 조합

4. 결 론

본 연구에서는 폰툰형과 반잠수식 구조형식이 적절히 조합된 형상기반 하이브리드 부유구조체의 최적 시스템을 도출하기 위해 매개변수 연구를 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상부슬래브의 경우 하이브리드 모듈 도입 시 전반적으로 기본 부유구조체보다 발생 인장응력이 증가하는 것으로 나타났으며, L_2 길이(하이브리드 모듈 범위) 증가에 따라, b_2 길이(모듈의 중공 크기) 감소에 따라 발생 인장응력이 증가하는 것으로 나타났다.
2. 하부슬래브의 경우 프리플렉스 도입에 따라 하이브리드 모듈 도입 시, 전반적으로 기본 부유구조체보다 발생 인장응력 크게 감소하는 것으로 나타났다.
3. 각 구조부의 발생 인장응력을 조합한 결과 하이브리드 모듈 미적용 모델보다 우수한 구조성능 갖는 부유구조체 모델은 L_2 범위 10m에서 b_2 길이 2~9m, L_2 범위 20m에서 b_2 길이 4~9m를 갖는 모델인 것으로 나타났으며, 이 중 최적 구조성능을 갖는 모델은 L_2 범위 10m, b_2 길이 6m인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2011년 한국건설기술연구원의 지원사업으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 한국건설기술연구원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원 (2010), 콘크리트 부유구조체의 구조성능 고효율화를 통한 슬립화 방안 및 요동 저감형 형상 연구
2. 삼성중공업 (2008), 초대형 부유구조체의 유탄성 해석기술 개발.
3. 지광습, 이승오, 김진균, 이필승, 이승정 (2008), 초대형 부유식 해상구조물의 유탄성 거동 분석, 2008년도 정기 학술대회 논문집, 대한토목학회