

# 모듈형 및 일체형 부유구조물의 고유모드 비교

## Natural modes of moduled and one-bodied floating structures

김 병 완\* · 홍 사 영\* · 경 조 현\* · 조 석 규\*

Kim, Byoung Wan · Hong, Sa Young · Kyoung, Jo Hyun · Cho, Seok Kyu

---

### ABSTRACT

This paper investigates and compares the natural modes and static responses of moduled and one-bodied floating structures. Equations for calculating natural modes and static responses are formulated by finite element method and the natural modes are solved by subspace iteration method. A floating parking place whose length is 120 m and width 60 m is considered as an example structure.

**Keywords:** moduled floating structure, one body floating structure, natural modes, static responses

---

### 1. 서 론

부유식 해상구조물은 구조물 하부의 해수순환을 방해하지 않고 해저에 부착되는 지지구조물이 요구되지 않는 등 환경 및 시공 측면에서 다양한 장점이 있어서 대체 해양구조물로서 최근 널리 연구되고 있다. 그러한 부유구조물의 실제 시공 수단으로서 대규모 유닛을 제작한 후 해상에서 용접 등의 방법으로 접합하는 일체형 제작 방식을 고려할 수 있다. 그러나 그러한 일체형 구조물은 대규모 유닛의 제작이 현실적으로 어렵고 시공이 난이하며 사후 재활용이 까다로운 문제점을 내포한다. 그러한 일체형 구조물의 단점을 해결하는 방안으로서 모듈형 부유구조물이 제안되어 적용성을 고찰한 바 있다(김병완 등, 2006). 모듈형 부유구조물은 소규모 모듈유닛을 미리 제작한 후 커넥터로 결합하여 시공할 수 있다. 그림 1은 모듈형 부유구조물 및 커넥터에 대한 개념도를 나타낸다. 모듈형 구조물의 경우 모듈유닛의 규격화가 가능하고 커넥터를 본체와 분리할 수 있으므로 제작 및 공급의 용이성, 시공의 편리성, 분리 및 재활용 가능성 등의 장점을 기대할 수 있다. 본 연구의 목적은 그러한 모듈형 부유구조물의 고유진동수와 정적응답을 해석하여 동특성과 정적 거동을 고찰하고 일체형 부유구조물과의 비교를 통해 모듈형 구조물의 장단점을 파악하는데 있다. 예시 구조물로서 길이가 120m이고 폭이 60m인 부유식 해상주차장을 대상으로 고유진동수, 모드형상, 정적처짐, 정적응력 등을 계산하였으며 구조물이 일체로 구성된 경우와 모듈로 구성된 경우를 구분하여 해석함으로써 두 경우에 대한 결과를 비교하였다.

---

\* 한국해양연구원 선임연구원 Email: kimbw@moeri.re.kr  
\* 한국해양연구원 책임연구원 Email: sayhong@moeri.re.kr  
\* 한국해양연구원 선임연구원 Email: johyun@moeri.re.kr  
\* 한국해양연구원 연구원 Email: skcho@moeri.re.kr

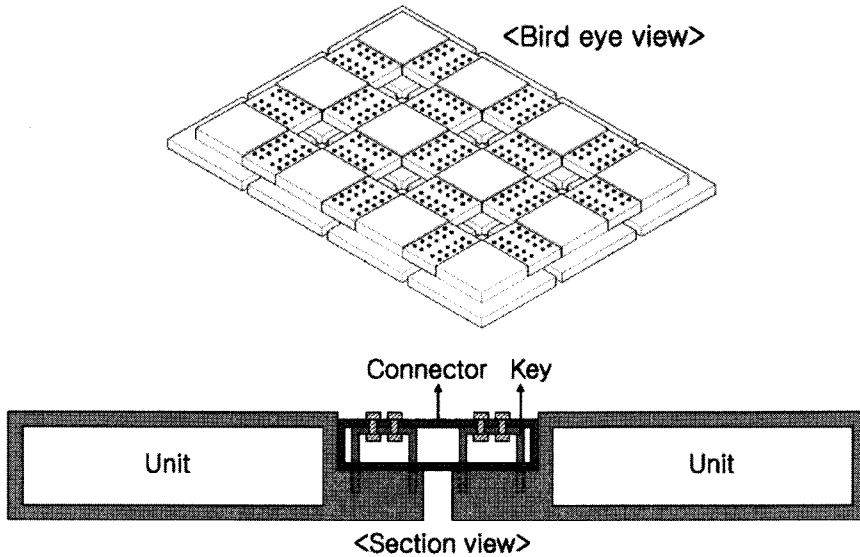


그림 1 모듈형 부유구조물의 개념도

## 2. 수치해석 기법

구조물의 고유모드는 식 (1)과 같은 고유치문제를 계산함으로써 산출할 수 있다.

$$[K]\{u\} = \omega^2[M]\{u\} \quad (1)$$

식 (1)에서  $[K]$ 는 강성행렬,  $[M]$ 은 질량행렬,  $\{u\}$ 는 모드형상 벡터,  $\omega$ 는 고유진동수이다. 본 연구의 대상이 되는 부유체는 두께에 비해 길이와 폭이 큰 구조물로서 평판해석이 가능하며 방정식의 정식화는 Mindlin 평판요소를 도입한 유한요소법(Donea and Lamain, 1987)을 이용하였다. 식 (1)의 해, 즉 고유진동수와 모드형상 벡터를 구하는 고유치 해법에는 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 비교적 널리 사용되고 있는 부분공간반복법(Bathe and Ramaswamy, 1980)을 이용하였다.

부유구조물의 정적처짐과 정적응력은 구조물의 자중, 상재하중 등으로 발생하며 이때 유체에 의한 부력은 탄성스프링 역할을 한다. 부유구조물의 정적응답은 식 (2)의 평형방정식으로부터 산출할 수 있다.

$$([K] + [K]_b)\{w\} = \{f\} \quad (2)$$

식 (2)에서  $[K]_b$ 는 부력스프링에 따른 강성행렬,  $\{w\}$ 는 변위 벡터,  $\{f\}$ 는 정하중에 따른 하중벡터이다. 고유모드 해석의 경우와 마찬가지로 방정식의 정식화는 유한요소법을 적용하였으며 방정식의 풀이는 널리 알려진 LDL<sup>T</sup> 분해 방법을 이용하였다.

### 3. 예시구조물 해석

본 연구의 해석 대상인 예시구조물은 길이가 120m이고 폭이 60m인 부유식 해상주차장으로서 철근콘크리트 박스 모듈(10m×10m) 72개를 강박스 커넥터로 연결하여 제작한 것으로 가정하였다. 구조물에 작용하는 정하중으로서 구조물의 자중과 주차된 차량의 무게를 고려하였다. 식 (1) 및 (2)로부터 고유모드 및 정적응답을 산출하였으며 구조물이 일체형으로 구성된 경우에 대해서도 해석을 수행함으로써 모듈형 구조물과 일체형 구조물의 거동을 비교하였다. 표 1에 예시구조물의 제원, 하중조건 등을 정리하였다.

표 1 예시구조물 제원

용도	해상주차장 (주차능력: 276대)		비고
본체 제원	구조형식	철근콘크리트 박스	
	길이×폭 (m×m)	120×60	2,178 평
	높이 (m)	3	
	두께 (m)	0.185	
	철근배치 (ea/m)	26	D25
	단위폭 휨강도 (I/B) (m <sup>3</sup> )	0.04	
커넥터 제원	구조형식	강박스	
	높이 (m)	2	
	두께 (m)	0.015	
	단위폭 스프링강도 (N-m/m)	4.0585×10 <sup>9</sup>	
정하중 조건	자중 (ton)	11,299	하부구조+커넥터
	활하중 (ton)	1,800	3ton 기준 600대
	계 (ton)	13,099	흘수: 2m

수치해석 결과가 그림 2~4 및 표 2에 제시되어있다. 그림 2는 예시구조물의 고유진동수를 나타낸다. 제 1, 2, 3 모드는 평판의 3자유도 강체모드로서 고유진동수는 모두 0임을 알 수 있다. 제 4 모드는 휨 변형과 관계된 모드이고 제 5 모드는 비틀림 변형과 관련된 모드이다. 그림 3은 예시구조물의 고유모드 중 휨모드(제 4 모드) 및 비틀림모드(제 5 모드)에 해당하는 형상을 제시하고 있다. 그림 2로부터 일체형 구조물에 비해 모듈형 구조물의 고유진동수가 다소 작음을 알 수 있는데 그것은 커넥터의 영향 때문이다. 반면, 모드형상의 경우 모듈형 구조물의 모드형상이 일체형 구조물의 모드형상과 크게 다르지 않음을 알 수 있는데 그것은 예시구조물에 적용된 커넥터의 스프링 강도가 충분히 커서 모듈 간의 연속성이 확보되었기 때문이다.

그림 4는 예시구조물의 정적 처짐을 도시한 것으로서 모듈형 구조물과 일체형 구조물의 처짐을 비교하고 있다. 두 경우 모두 평균적인 처짐은 흘수 값인 2m로서 동일하나 모듈형 구조물의 경우 커넥터가 있는 접합부에서 하중의 전달이 다소 차단되는 효과가 발생하여 일체형 구조물에 비해 처짐곡선의 곡률이 작음을 알 수 있다. 표 2는 정적 처짐에 따라 발생하는 응력을 제시하고 있다. 표에서 'Concrete'는 콘크리트 박스 연단부의 압축응력을 의미하며 'Compressive steel'과 'Tensile steel'은 압축 및 인장 철근부의 응력을 나타낸다. 'Connector'는 커넥터 연단의 응력을 의미한다. 모듈형 구조물의 경우 일체형 구조물보다 곡률이 작으므로 응력 또한 작음을 알 수 있다. 즉, 정적 안전성에 있어서 모듈형 구조물이 일체형 구조물보다 유리함을 의미한다. 한편, 모듈형 구조물의 경우 커넥터가 필요하므로 커넥터의 시공방법, 시공비용, 안전성 확보 등 일체형 구조물에서는 존재하지 않는 기술적인 문제가 발생하며 그에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 보인다.

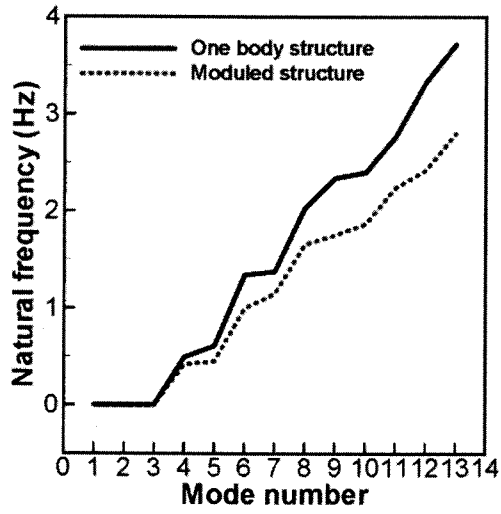
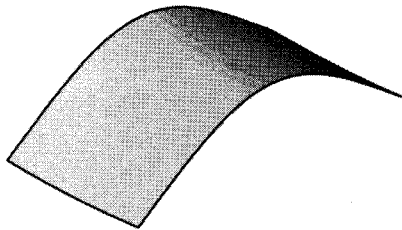
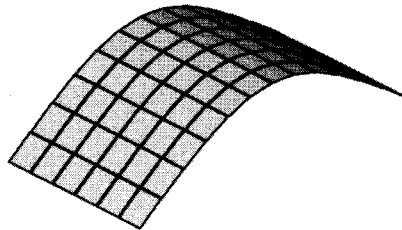


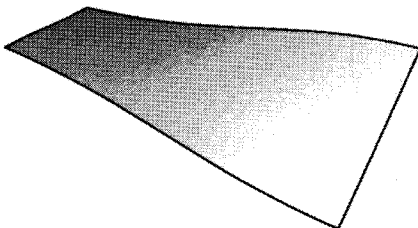
그림 2 예시구조물의 고유진동수



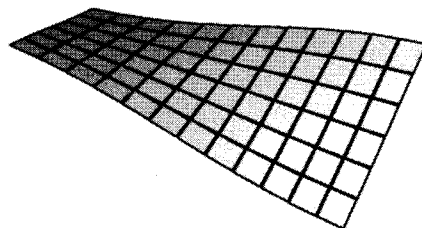
Bending mode (one body structure)



Bending mode (moduled structure)



Torsion mode (one body structure)



Torsion mode (moduled structure)

그림 3 예시구조물의 고유모드 형상

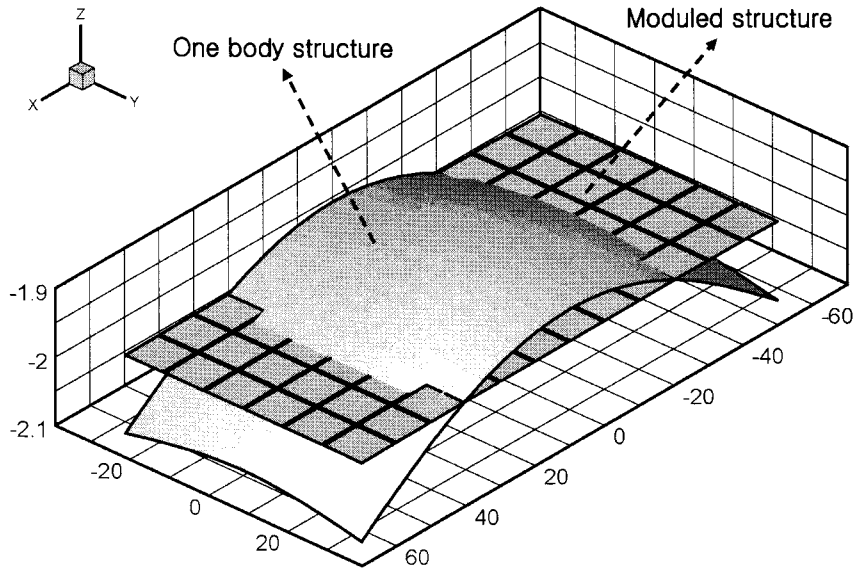


그림 4 예시구조물의 정적처짐 형상

표 2 예시구조물의 정적응력

Structure type	Concrete	Compressive steel	Tensile steel	Connector
One body	1.819 MPa	12.225 MPa	58.531 MPa	-
Moduled	0.089 MPa	0.600 MPa	2.874 MPa	0.228 MPa

#### 4. 결론

본 연구에서는 모듈형 부유구조물의 고유모드와 정적응답을 고찰하고 일체형 부유구조물의 거동과 비교하였다. 길이가 120m이고 폭이 60m인 부유식 해상주차장을 대상으로 해석을 수행하였으며 해석 결과로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 모듈형 부유구조물의 경우 고유진동수가 일체형 부유구조물에 비해 다소 작지만 커넥터의 스프링 강도로 인해 모듈 간의 연속성이 확보되므로 모드형상은 일체형 구조물과 크게 다르지 않다.
- (2) 모듈형 부유구조물의 경우 정적 처짐곡선의 곡률이 일체형 부유구조물에 비해 작으므로 구조물 본체에 발생하는 응력 또한 일체형 구조물보다 작다.

#### 감사의 글

본 연구는 해양수산부가 지원하는 해양수산 연구개발과제인 ‘초대형 부유식 해상구조물 기술개발’ 사업의 일부로 수행된 것으로 연구를 지원한 해양수산부에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 김병완, 홍사영, 경조현, (2006) 모듈형 부유구조물의 적용성 연구, 한국해양공학회 2006년도 추계학술대회논문집, pp.237~240.
- Bathe, K.J. and Ramaswamy, S. (1980) An Accelerated Subspace Iteration Method, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 23, pp.313~331.
- Donea, J. and Lamain, L.G. (1987) A Modified Representation of Transverse Shear in  $C^0$  Quadrilateral Plate Elements, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 63, pp.183~207.