

모듈형 부유구조물의 유닛 크기 및 커넥터 강도에 따른 고유모드 고찰[#]

Investigation of Natural Modes of Moduled Floating Structure Considering Unit Size and Connector Stiffness

김 병 완* · 홍 사 영* · 경 조 현*

Byoung Wan Kim, Sa Young Hong and Jo Hyun Kyoung

(2007년 12월 4일 접수 ; 2008년 2월 11일 심사완료)

Key Words : Moduled Floating Structures(모듈형 부유구조물), Natural Mode(고유모드), Unit Size(유닛 크기), Connector Stiffness(커넥터 강도)

ABSTRACT

This paper investigates the natural modes of moduled floating structure with module unit connector. As an example structure, a floating parking place(120 m × 60 m) is considered. In the evaluation of natural modes, numerical equations are formulated by FEM(finite element method) and the natural modes are solved by the subspace iteration method. By comparing results for various sizes of module unit, the effect of unit size is investigated. By comparing results for various stiffness of module unit connector, the effect of stiffness of unit connector is also examined.

1. 서 론

대체 해양구조물인 부유식 해상구조물은 계류장치와 함께 바다에 떠있는 구조물로서 시공 및 환경 측면에서 다소 유리하다. 일본에서는 부유식 공항을 설계하여 실증시험을 수행한 바 있으며 미국에서는 부유식 이동 군사기지를 설계한 바 있다. 국내에서는 부유식 마리나리조트, 부유식 컨테이너터미널, 부유식 항만 등의 개념이 제안되어 성능해석과 시설계를 수행한 바 있다. 또한 비교적 소규모 부유구조물의 형태로서 모듈형 부유구조물을 제안하여 그 적용

성을 고찰한 바 있다⁽¹⁾. 모듈형 부유구조물은 분리가능한 조립식 모듈로 결합하여 제작하므로 재활용과 규격화가 가능하며 제작과 공급이 용이한 장점을 기대할 수 있다. Fig. 1의 개념도에서 알 수 있듯이 모듈형 부유구조물은 조립식 모듈유닛과 그 유닛을 서로 연결하는 커넥터로 구성된다. 따라서, 모듈유닛의 크기와 유닛 커넥터의 강도가 모듈형 부유구조물의 거동특성을 좌우하는 주요 변수가 된다.

이 연구의 목표는 유닛의 크기 및 커넥터의 강도가 모듈형 부유구조물의 동적특성에 미치는 영향을 고찰하는데 있다. 예시 구조물로서 길이 120 m, 폭 60 m의 해상주차장을 대상으로 해석을 수행하였으며 유닛의 크기 및 커넥터의 강도를 변화시키면서 고유진동수와 모드형상의 변동양상을 고찰하였다.

† 교신저자 : 정희원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
E-mail : kimbw@moeri.re.kr

Tel : (042)868-7524, Fax : (042)868-7519

* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

이 논문은 2007 추계 소음진동 학술대회에서 우수논문으로 추천되었음.

2. 예시구조물 제원

해석 대상이 된 예시구조물은 한국해양연구원이 연

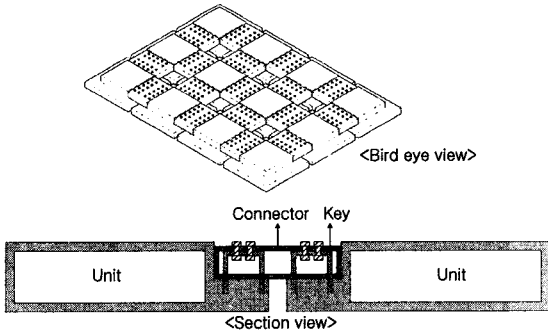


Fig. 1 Sketch of moduled floating structure

Table 1 Particulars of example structure

Usage		Floating parking zone (276 cars)
Main particulars	Length×Breadth (m×m)	120×60
	Area (m ²)	7200
	Unit size (m×m)	10×10
	No. of units	72
	Draft (m)	2
Static load	Dead weight (ton)	11299
	Live load (ton)	1800(600 cars×3 ton/car)
	Total (ton)	13099
Module unit	Type	RC box
	Stiffness (I/B) (m ³)	0.04
	Depth (m)	3
	Thickness (cm)	18.5
Unit connector	Layout of reinforcing steel bar	D25 : 13 ea/m
	Type	Steel box
	Depth (m)	2
	Thickness (cm)	1.5
	Bending spring constant(N-m)	4.0585×10 ¹⁰

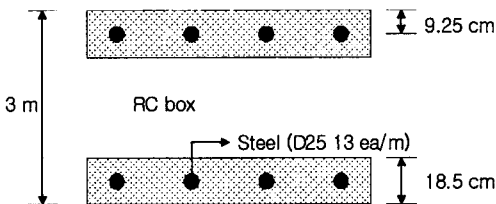


Fig. 2 Sketch of unit section of example structure

구한 바 있는 길이가 120m이고 폭이 60m인 부유식 해상주차장으로서⁽¹⁾ 10m×10m의 철근콘크리트 박스 모듈유닛이 높이가 2m이고 두께가 1.5cm인 강

박스 커넥터로 연결된 형태를 취하고 있다. 예시구조물의 제원을 Table 1과 Fig. 2에 정리하였다.

3. 유닛 크기에 따른 고유모드 고찰

예시 구조물의 고유모드는 식 (1)과 같은 고유치문제로부터 산출하였다.

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

식 (1)에서 $[K]$ 는 강성행렬, $[M]$ 은 질량행렬, $\{u\}$ 는 모드형상 벡터, ω 는 고유진동수이다. 이 연구에서 고려된 구조물은 길이와 폭에 비해 두께가 얇은 구조물로서 평판해석이 가능하며 강성행렬과 질량행렬의 정식화는 Mindlin 평판요소를 도입한 유한요소법⁽²⁾을 이용하였다. 방정식의 해, 즉 고유진동수와 모드형상 벡터는 비교적 널리 사용되고 있는 고유치해법인 부분공간반복법^(3,4)으로부터 계산하였다. 한편, 커넥터는 스프링요소를 사용하여 그 강성을 반영하였다.

주어진 예시구조물의 경우 유닛의 크기는 본래 10m×10m이지만 유닛의 크기가 모듈형 구조물의 고유모드에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 Table 2에 제시된 바와 같이 해석조건을 일체형 구조물인 경우, 유닛의 크기가 30m×30m인 경우, 유닛의 크기가 10m×10m인 경우 등으로 구분하고 해석 결과를 서로 비교하였다.

고유모드 해석 결과가 Fig. 3 및 4에 제시되어 있다. Fig. 3은 예시구조물의 고유진동수를 나타내고 Fig. 4는 예시구조물의 모드형상으로서 1~13번 모드의 형상을 제시하고 있다.

예시구조물의 제 1, 2, 3 모드는 평판의 3자유도에 해당하는 강체모드로서 고유진동수는 모두 0이다. 모듈유닛의 크기가 작을수록 고유진동수 값이 다소 작음을 알 수 있는데 그것은 모듈이 작을수록 접합부가 많아져 커넥터의 영향이 커지기 때문이다.

반면, 모드형상의 경우 모듈유닛의 크기에 따라

Table 2 Analysis cases for unit size

Cases	Unit size (m×m)	Structure
1	120×60	One body
2	30×30	Moduled
3	10×10	

크게 변하지 않으며 일체형 구조물과 거의 동일함을 알 수 있는데 그것은 예시구조물에 적용된 커넥터의

스프링 강도가 충분히 커서 모듈 간의 연속성이 확보된 것을 의미한다.

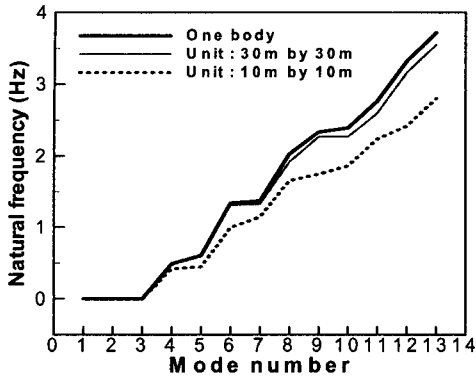


Fig. 3 Natural frequencies of example structure for unit size

4. 커넥터 강도에 따른 고유모드 고찰

이 연구의 해석 대상이 된 예시구조물의 경우 커넥터의 본래 휨스프링강도(k)는 Table 1에 제시된 바와 같이 4.0585×10^{10} N-m이나 커넥터의 강도가 모듈형 부유 구조물의 고유모드 변화에 미치는 영향을 고찰하기 커넥터의 휨강도를 $10^7 \sim 10^{10}$ N-m로 변화시키면서 고유모드의 변화를 고찰하고 일체형 구조물의 고유모드와 비교하였다. 유닛의 크기는 본래의 조건대로 10m×10m로 하였다. 커넥터의 휨강도와 구조물의 형태에 따른 해석조건은 Table 3과 같다.

Mode number	Moduled structure		One body structure
	Unit : 10m x 10m	Unit : 30m x 30m	
1~3	Rigid body mode	Rigid body mode	Rigid body mode
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Fig. 4 Mode shapes of example structure for unit size

해석 결과가 Fig. 5 및 6에 제시되어 있다. Fig. 5는 커넥터 강도에 따른 고유진동수를 나타내고 Fig. 6은 모드형상을 나타낸다.

모듈형 구조물의 경우 커넥터의 강도가 작을수록 커넥터에서 모듈 간의 연속성이 다소 상실되어 전체 강도가 작으므로 고유진동수가 작고 커넥터의 강도가

클수록 모듈 간의 연속성이 확보되어 고유진동수가 증가하면서 일체형 구조물의 고유진동수에 근접

Table 3 Analysis cases for connector stiffness

Cases	Bending stiffness of connector (N-m)	Structure
1	-	One body
2	10^7	Moduled
3	10^8	
4	10^9	
5	10^{10}	

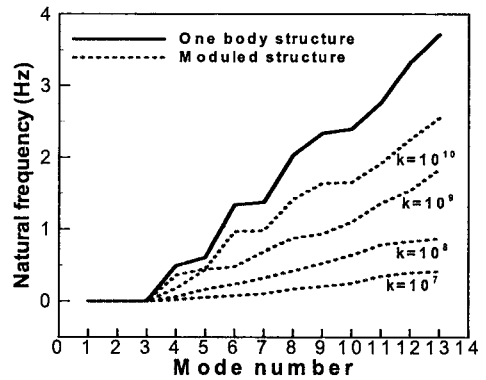


Fig. 5 Natural frequencies of example structure for connector stiffness

Mode number	Moduled structure				One body structure
	$k=10^7$ (N-m)	$k=10^8$ (N-m)	$k=10^9$ (N-m)	$k=10^{10}$ (N-m)	
1~3	Rigid body mode	Rigid body mode	Rigid body mode	Rigid body mode	Rigid body mode
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					

Fig. 6 Mode shapes of example structure for connector stiffness

한다. 모드형상 또한 커넥터의 강도가 클수록 모듈 간의 연속성이 확보되므로 일체형 구조물의 거동과 비슷해지며 특히 커넥터의 휨강도가 10^{10} N-m일 경우 모드형상이 일체형 구조물의 모드형상과 거의 동일하다. 한편, 커넥터의 휨강도가 가장 작은 경우 ($k=10^7$ N-m) 저차의 13개 모드 중 대부분이 휨모드이고 비틀림모드는 오직 한 개 존재함을 알 수 있다. 커넥터의 휨강도가 10^8 N-m인 경우엔 휨모드가 8개, 비틀림모드가 2개 존재한다. 커넥터의 휨강도가 10^9 N-m인 경우엔 휨모드가 7개, 비틀림모드가 3개 존재한다. 커넥터의 휨강도가 가장 큰 경우 즉 $k=10^{10}$ N-m인 경우엔 휨모드가 6개, 비틀림모드가 4개 존재하며 그 양상은 일체형 구조물과 동일하다. 즉, 커넥터의 강도가 작을수록 비틀림모드 보다는 휨모드가 지배적임을 알 수 있다. 반면 커넥터의 강도가 클수록 비틀림모드와 휨모드가 골고루 분포하며 특히 $k=10^{10}$ N-m일 경우 제 1 휨모드, 제 1 비틀림모드, 제 2 비틀림모드, 제 2 휨모드 등의 순서로 모드가 배열되어 비틀림 거동이 상당히 지배적임을 알 수 있다.

5. 결 론

이 연구에서는 유닛의 크기와 커넥터의 강도에 따른 모듈형 부유구조물의 고유모드 변동 양상을 고찰하였다. 길이가 120 m이고 폭이 60 m인 부유식 해상주차장을 대상으로 해석을 수행하였으며 해석 결과로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 커넥터의 강도가 충분히 클 경우 모듈유닛의 크기가 작을수록 고유진동수는 다소 작지만 모듈 간의 연속성이 확보되므로 모드형상은 유닛의 크기에 따라 크게 변하지 않는다.

(2) 커넥터의 강도가 클수록 모듈 간의 연속성이 확보되므로 고유진동수가 증가하며 고유진동수와 모

드형상이 일체형 구조물과 유사해진다.

(3) 커넥터의 강도가 작을수록 비틀림모드 보다는 휨모드가 지배적인 반면 커넥터의 강도가 클수록 비틀림 거동의 영향이 커지면서 비틀림모드와 휨모드가 골고루 분포한다.

후 기

이 논문은 해양수산부가 지원하는 해양수산 연구개발과제인 ‘초대형 부유식 해상구조물 기술개발’ 사업의 일부로 수행되었음을 밝혀 둔다.

참 고 문 헌

- (1) Kim, B. W., Hong, S. Y. and Kyoung, J. H., 2006, "Investigation on Applicability of Modularized Floating Structure", Proceedings of Autumn Conference of the Korean Society of Ocean Engineers, pp. 237~240.
- (2) 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, Vol. 63, pp. 183~207.
- (3) Bathe, K. J. and Ramaswamy, S., 1980, "An Accelerated Subspace Iteration Method", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 23, pp. 313~331.
- (4) Kim, B. W., Kyoung, J. H., Hong, S. Y., Cho, S. K. and Lee, I. W., 2005, "Investigation of Efficiency of Starting Vectors for Calculating Natural Modes", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 1, pp. 112~117.