

모듈형 부유구조물의 커넥터 강도에 따른 고유모드 고찰

Investigation of natural modes of moduled floating structure considering connector stiffness

김병완[†] · 홍사영* · 경조현*

Byoung Wan Kim, Sa Young Hong and Jo Hyun Kyoung

Key Words : moduled floating structures(모듈형 부유구조물), natural mode(고유모드), 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(120m×60m) 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 stiffness of module unit connector, the effect of stiffness of unit connector is examined.

1. 서론

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 적용성을 고찰한 바 있다⁽¹⁾. 모듈형 부유구조물은 분리가 가능한 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 동적특성을 좌우하는 주요 변수가 된다. 김병완 등⁽²⁾은 모듈유닛 크기의 변화에 따른 고유모드의 변동양상을 고찰함으로써 모듈유닛의 크기가 모듈형 부유구조물의 동적특성에 미치는 영향을 연구한 바 있다.

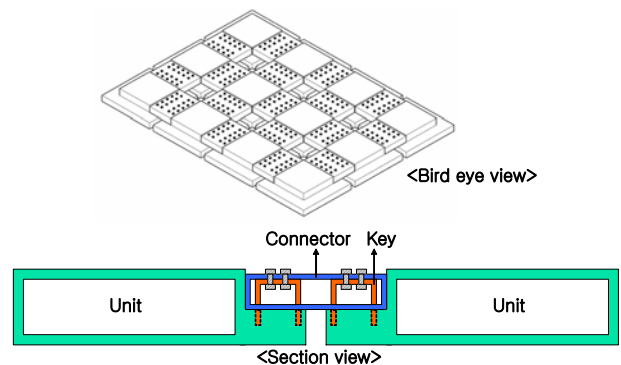


Fig. 1 Sketch of moduled floating structure

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

2. 예시구조물 제원

해석 대상이 된 예시구조물은 길이가 120m이고 폭이 60m인 부유식 해상주차장으로서 10m×10m의 철근콘크리트 박스 모듈유닛을 강박스 커넥터로 연결하여 제작한 것으로 가정하였다. 구조물과 모듈유닛 단면의 제원을 Table 1과 Fig. 2에 정리하였다.

[†] 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
E-mail : kimbw@moeri.re.kr
Tel : (042) 868-7524, Fax : (042) 868-7519

* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

Table 1 Particulars of example structure

| 용도 | | 해상주차장 (주차능력 276대) |
|-------|------------------------------|---------------------|
| 규모 | 길이×폭 (m×m) | 120×60 |
| | 면적 (m ²) | 7200 |
| | 유닛 크기 (m×m) | 10×10 |
| | 유닛 개수 | 72 |
| | 홀수 (m) | 2 |
| 정하중 | 자중 (ton) | 11299 |
| | 적재하중 (ton) | 1800 (3ton 차량 600대) |
| | 계 (ton) | 13099 |
| 설계 단면 | 최적강도 (I/B) (m ³) | 0.04 |
| | RC박스 높이 (m) | 3 |
| | RC박스 두께 (cm) | 18.5 |
| | 철근배치 | D25 : 13 ea/m |

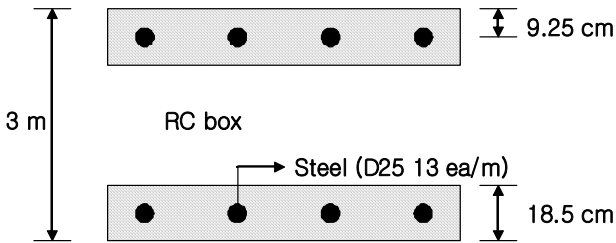


Fig. 2 Sketch of RC box section of example structure

3. 예시구조물의 고유모드 고찰

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

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

식 (1)에서 $[K]$ 는 강성행렬, $[M]$ 은 질량행렬, $\{u\}$ 는 모드형상 벡터, ω 는 고유진동수이다. 본 연구에서 고려된 구조물은 길이와 폭에 비해 두께가 얇은 구조물로서 평판해석이 가능하며 강성행렬과 질량행렬의 정식화는 Mindlin 평판요소를 도입한 유한요소법⁽³⁾을 이용하였다. 방정식의 해, 즉 고유진동수와 모드형상 벡터는 비교적 널리 사용되고 있는 고유치해법인 부분공간반복법⁽⁴⁾으로부터 계산하였다. 한편, 커넥터는 스프링요소를 사용하여 그 강성을 반영하였으며 커넥터의 휨강도(k)를 $10^7 \sim 10^{10}$ N-m로 변화시키면서 고유모드의 변화를 고찰하고 일체형 구조물의 고유모드와 비교하였다. 커넥터의 휨강도와 구조물의 형태에 따른 해석조건은 Table 2와 같다.

고유모드 해석 결과가 Fig 3 및 4에 제시되어 있다. Fig. 3은 예시구조물의 고유진동수를 나타내고 Fig 4는 예시구조물의 모드형상으로서 1~13번 모드의 형상을 제시하고 있다. 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 근접한다. 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 5개, 비틀림모드가 4개 존재하며 그 양상은 일체형 구조물과 동일하다. 즉, 커넥터의 강도가 작을수록 비틀림모드보다는 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.

Table 2 Analysis cases

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

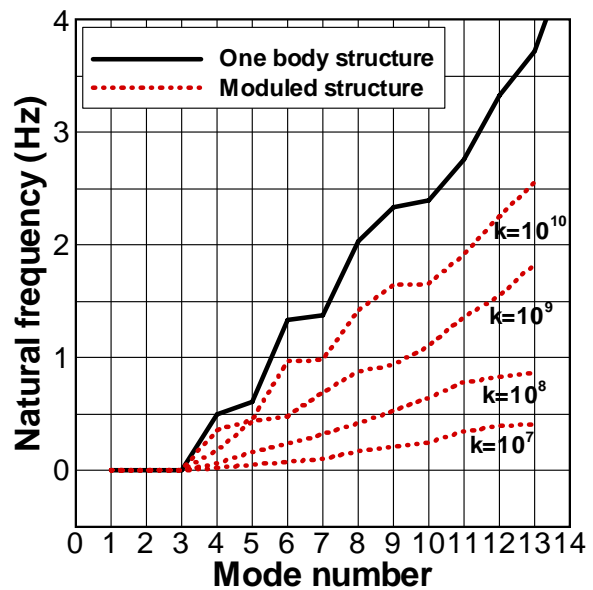


Fig. 3 Natural frequencies of example structure

| 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. 4 Mode shape of example structure

4. 결 론

본 연구에서는 유닛 커넥터의 강도에 따른 모듈형 부유 구조물의 고유모드 변동 양상을 고찰하였다. 길이가 120m 이고 폭이 60m인 부유식 해상주차장을 대상으로 해석을 수행하였으며 해석 결과로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 커넥터의 강도가 클수록 모듈 간의 연속성이 확보되므로 고유진동수가 증가하며 고유진동수와 모드형상이 일체형 구조물과 유사해진다.
- (2) 커넥터의 강도가 작을수록 비틀림모드보다는 휨모드가 지배적인 반면 커넥터의 강도가 클수록 비틀림 거동의 영향이 커지면서 비틀림모드와 휨모드가 골고루 분포한다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) 김병완, 홍사영, 경조현, 2006, “모듈형 부유구조물의 적용성 연구,” 한국해양공학회 2006년도 추계학술대회논문집, pp.237~240.
- (2) 김병완, 홍사영, 경조현, 조석규, 2007, “모듈형 부유구조물의 고유모드 고찰,” 한국소음진동공학회 2007년도 춘계학술대회논문집, KSNVE07S-35-02.
- (3) 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.
- (4) Bathe, K.J. and Ramaswamy, S., 1980, “An Accelerated Subspace Iteration Method,” Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.23, pp.313~331.