

# 선박 국부구조 3축 방향 가진 실험장치 개발

## The development of the 3 axes exciter for the local structure

이찬희† · 김희원\*

Chan-Hui Lee, Heu-Won Kim

**Key Words** : Hull vibration characteristic(선체 진동 특성), 3 axes exciter(3축 방향 가진기), Unbalance(불평형력)

### ABSTRACT

The modal test has been carried out using the exciter machine to investigate the vibration characteristics of the hull and super structure of the ship. The conventional exciter acts only one(1) direction and the exciter should be reinstalled for different direction test, which consumes additional expense. The 3 axes exciter has been designed of which force acts three directions without reinstallation for efficient modal test of the ship. It consists of rotatable base frame structure and the clutch mechanism for the unbalances to excite three directions. And the 3 axes exciter for the local structure has been made in advance and its performance test was carried out in the laboratory.

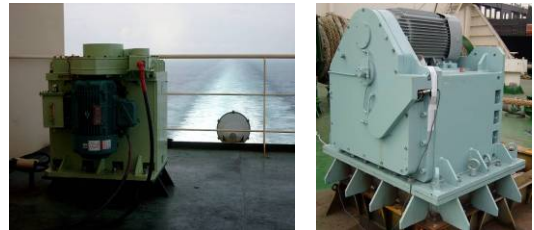
The developed 3 axes exciter shows the ability of three-directions excitation with simple operation and modal test for the various local structure of the ship will be performed.

## 1. 서 론

조선분야에 있어 가진기(Exciter)는 선박의 선미 부나 거주구에 설치되어 선체 및 상부구조물의 진동 특성을 파악하는 데 활용되어 왔다. 기존 선박용 가진기의 경우 Figure 1에 나타낸 것과 같이 수직형 가진기와 수평형 가진기가 별도로 적용되어 왔으며, 가진기 설치 후 다른 방향을 가진 하기 위해서는 용접된 하부시트를 선체로부터 분리하여 재설치 해야 하는 문제가 있었다. 그러나 현재까지 설치방법의 개선이나 새로운 형태의 가진기 개발 사례가 보고된 바는 없다.

본 연구에서는 설치방법의 변경 없이 한 번의 설치로 3축 방향으로 가진 할 수 있는 가진기를 개발하였다. 본 가진기는 360° 회전 가능한 하부 프레임 구조를 적용하고 가진력을 발생시키는 불평형 질량 사이의 각도를 조절함으로써 3축 방향에 대한 가진 기능을 구현하였다. 선체 가진을 위한 대형 가진기의 개발에 앞서 선박 국부구조물을 대상으로 한 소형 3축 방향 가진기를 우선 제작하였으며, 제

작된 가진기에 대한 발생 가진력의 크기 검증 및 3축 방향에 대한 가진력 방향 변경 실험 등을 성공적으로 수행하였다.



**Figure 1** Conventional exciter for hull structure : horizontal type(left), vertical type(right)

## 2. 3축 방향 가진기 설계

### 2.1 가진력의 크기

본 연구를 통해 개발된 소형 3축 방향 가진기는 선박의 radar mast, lashing bridge 등의 국부 구조물을 충분히 가진 할 수 있는 성능을 갖추는 것을 목표로 하였다. 필요한 가진력의 크기를 산정하기 위해 실제 선박에서 수행한 충격시험 결과를 활용하였으며, Figure 2와 Figure 3에 충격시험 결과로부터 획득한 단위 가진력에 대한 구조물의 진동 응답수준(mobility)를 정리하였다.

† 교신저자; 정희원, 현대중공업 기술개발본부

E-mail : [chlee@hhi.co.kr](mailto:chlee@hhi.co.kr)

\* 현대중공업 기술개발본부 선박해양연구소

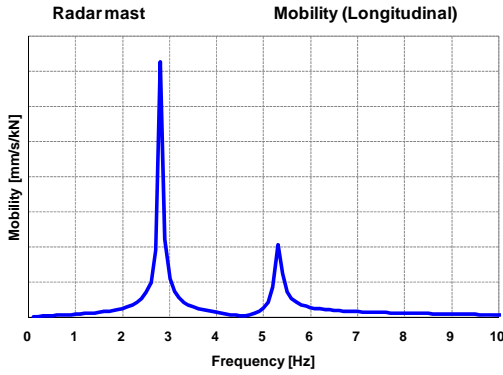


Figure 2 Mobility of radar mast (Longitudinal)

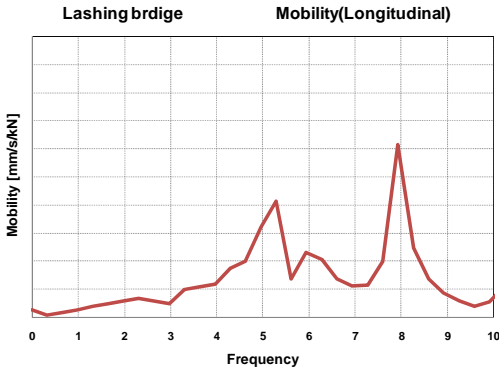


Figure 3 Mobility of lashing bridge (Longitudinal)

상기 두 국부 구조물의 단위 가진력에 대한 동특성을 고려하여 효과적인 국부 구조물 가진을 위한 가진력의 크기를 선정하였다. 소형 3축방향 가진기를 통해 가진 되는 국부 구조물의 목표 진동 수준은 20mm/sec, peak로 설정하였으며, 이 기준을 적용할 radar mast 구조는 3Hz 에서 약 60 N 그리고 lashing bridge 구조의 경우 8Hz 에서 약 330N 의 가진력을 확보해야 한다는 결론을 얻었다.

## 2.2 가진력 작용방향의 변경

3축방향 가진기의 가진력 발생 메커니즘은 Figure 4 와 같이 불평형 질량에 의해 유발되는 불평형력의 보강과 상쇄 원리를 적용하였다. 두 평행한 회전축에 동일한 회전수로 서로 반대방향으로 회전하는 불평형 질량체를 구성하면, 두 불평형 질량이 만나는 방향에서 불평형력은 최대가 되고, 불평형 질량이 서로 반대 방향에서 만날 경우에는 불평형력이 상쇄되어 최소가 된다.

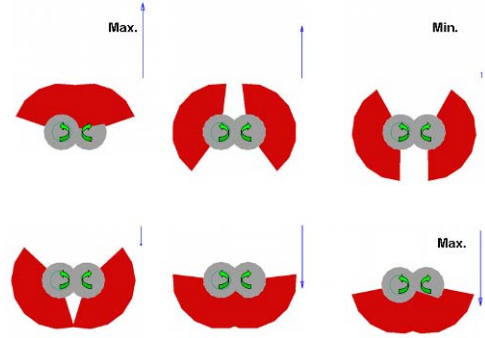


Figure 4 Direction control of unbalance force (2D)

회전축에서 발생하는 가진력의 크기는 Figure 5 와 같이 부채꼴 형상을 갖는 불평형 질량의 원심력을 고려하여 계산할 수 있다. 부채꼴 외륜의 반경을  $R_{out}$ , 내륜의 반경을  $R_{in}$  그리고 부채꼴의 두께를  $h$  라고 하면, 불평형 질량에 의해 발생하는 가진력( $F$ )는 축의 회전속도(rpm)에 대하여 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 여기서  $r$ 은 축 중심에서 축의 반경을 제외한 부채꼴 질량체의 무게중심까지의 거리이다.

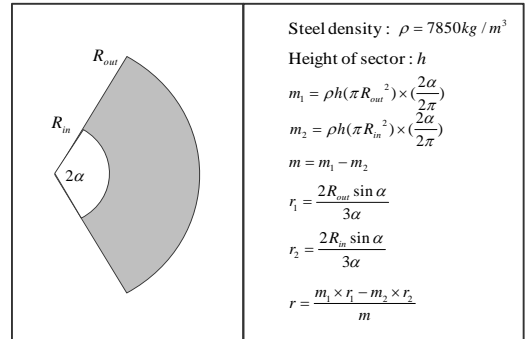


Figure 5 Calculation of unbalance mass

$$F = mr\omega^2 = 4\pi^2 mr (\text{rpm} / 60)^2 \quad (1)$$

본 연구에서 개발한 3축방향 가진기의 핵심은 한 번 설치 후 3축방향으로 가진 할 수 있는 기능을 확보 하는 것이다. Figure 6(a)에 3축방향 가진기의 개념도를 나타내었다. Figure 6(b), (c)와 같이 두 불평형 질량 사이의 각도를 조정함으로써, 상하 방향(z axis)과 전후 방향(x axis)의 가진 성능을 구현하도록 하였다. 여기에 Figure 6(d)와 같이 하부 베이스 프레임을 회전이 가능 하도록 구성하여 횡 방향(y axis)에 대한 가진 성능을 확보하였다.

## 2.3 제어기의 설계

가진기 제어의 기본 흐름은 Figure 7 에 나타낸 바와 같이 주 전원의 공급, 제어용 S/W 로딩, 가진 기능의 세팅, 인버터 전원 공급 및 가진기 작동의 순서로 동작되며, 주요 가진 기능은 다음과 같다.

- 모드 1: 설정한 회전속도 구간에서 지정한 속도 간격으로 가진기를 구동하는 기능
- 모드 2: 설정한 시간 내에서 지정한 회전속도 구간을 sweep 하여 가진하는 기능
- 모드 3: 지정한 회전속도로 지속적으로 가진하는 기능

가진기 실험의 안전을 고려하여 모드 1 과 모드 2 의 경우 설정한 최대 회전속도를 경과하면 자동으로 정지하도록 설정하였다.

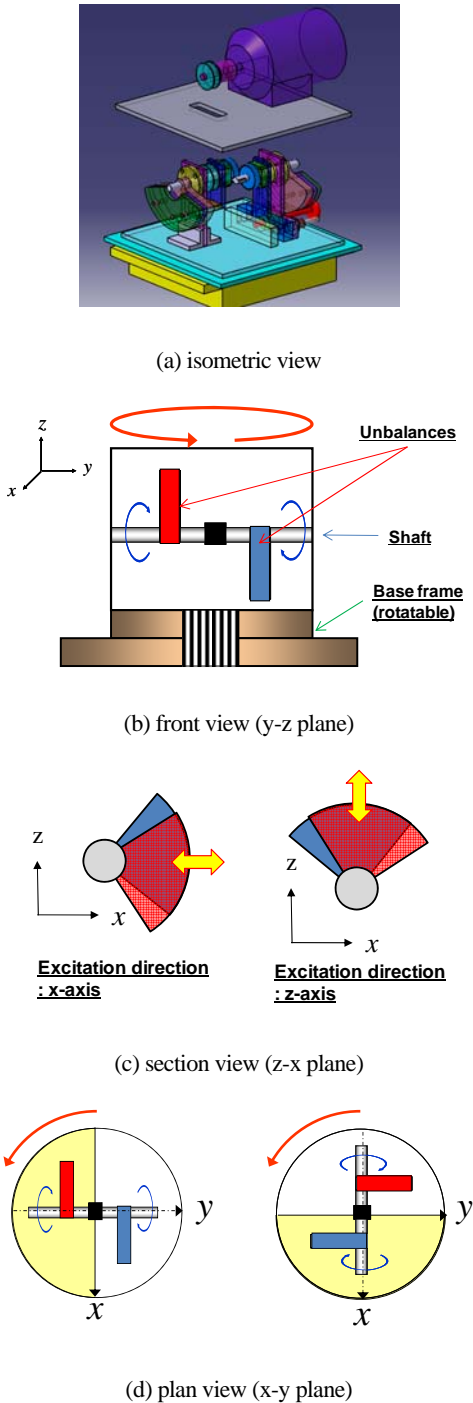


Figure 6 Direction control of excitation force

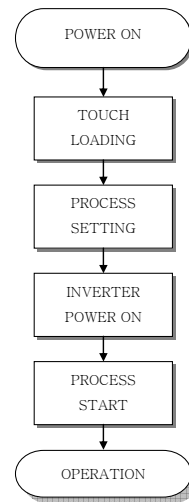


Figure 7 Flow chart for operation

## 3. 가진기 성능실험

### 3.1 발생 가진력의 크기 및 방향 조정

3축 방향 가진기의 성능을 검증하기 위해 제작된 소형 3축방향 가진기에 대한 성능 실험을 수행하였으며, 이를 통해 발생 가진력의 크기와 가진력 방향 조절 성능을 확인하였다. 제작된 소형 3축 방향 가진기의 형상은 Figure 8 과 같다.



Figure 8 3 axes exciter and controller

3 축 방향 가진기의 불평형 질량의 크기를 4kg, 6kg, 8kg 으로 증가시키면서 회전속도에 따른 가진력의 크기를 계속하였다. Figure 9 에 나타낸 결과와 같이 회전속도 600 rpm 기준으로 4kg, 6kg, 8kg 의 불평형 질량에 대한 가진력의 크기는 500N, 750N, 1000N 으로 계속되었으며, 이 값은 초기 설계단계에서 산정한 가진력 크기와 일치한다. 이를 통해 개발된 가진기를 이용하여 radar mast 나 lashing bridge 등 주파수 별 다른 크기의 가진력을 필요로 하는 국부 구조물들을 효과적으로 가진 할 수 있음을 확인하였다.

또한 불평형 질량 4kg 인 조건에서 가진력의 방향을 x, y, z 방향으로 변경하고 회전속도에 따른 가진력의 크기를 계속하였다. Figure 10 에 나타낸 결과와 같이 3 방향으로 동일한 크기의 가진력 500N 이 효과적으로 구현되는 것을 확인하였다. 이를 통해 본 연구에서 개발하고자 하는 가진기의 핵심기능인 한 번 설치 후 3 축 방향으로 가진 하는 기능을 성공적으로 확보하였음을 확인하였으며, 이 결과는 두 방향 이상의 구조물 가진 시험에 대해 기존 단축 방향 가진기 대비 소요되는 작업시간을 획기적으로 단축시킬 수 있음을 의미한다.

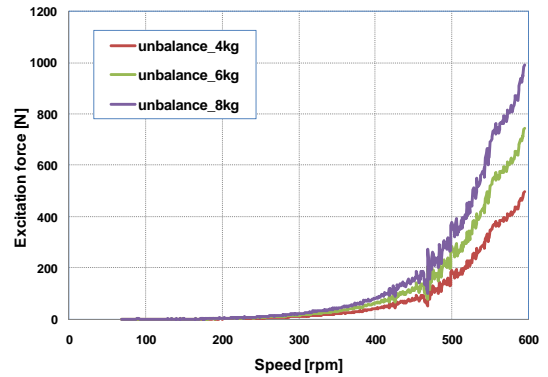


Figure 9 Change of excitation force magnitude

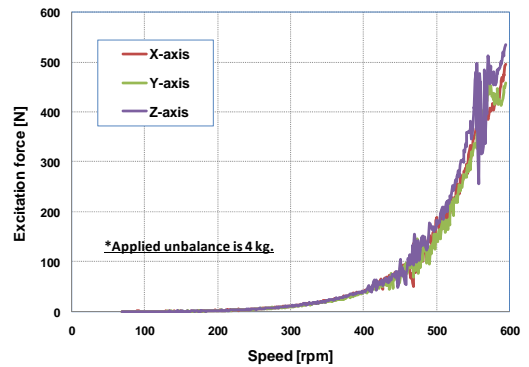


Figure 10 Change of excitation direction

### 3.2 국부 구조물에 대한 가진 성능 검증

개발된 소형 3축방향 가진기를 이용하여 실제 국부 구조물을 대상으로 가진 실험을 수행하였다. 실험 대상 국부 구조물은 Figure 11 과 같이 Hoffer conner 구조를 사용하였으며, 3 축 방향 가진기를 Hoffer conner 구조 상단에 설치하였다. 불평형 질량의 크기는 4kg 을 적용하여 회전속도를 변경하며, 전후 방향(x-axis)과 횡 방향(y-axis) 두 방향에 대하여 가진 실험을 수행하였다. 시험결과를 Figure 12 에 나타내었으며, 전후 방향 고유진동수는 11.3 Hz, 횡 방향 고유진동수는 19.5 Hz 에 존재하는 것을 확인하였다. 본 실험을 통해 실제 국부구조물에 대한 3 축 방향 가진기의 성능을 검증하였으며, 3 축 방향 가진기를 적용함으로써 한 번의 설치로 구조물의 전후 방향과 횡 방향 고유진동 특성과 단위 가진력에 대한 응답특성을 보다 신속하고 정확하게 파악할 수 있음을 확인하였다.

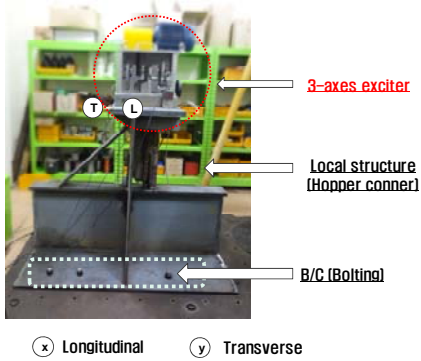
## 참 고 문 헌

(1) Ewins, D. J., 1984, Modal Testing, Research Studies Press.

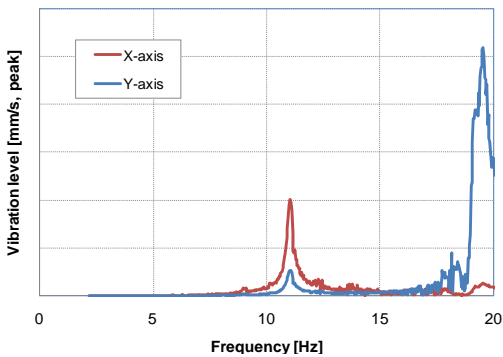
(2) Woo, S. H., Kim, H. B., Moon, S. M., Kim, Y. K. and Im, J. M., 2004, Configuration and Design of the Large Multi-Electromagnetic Shaking System, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 618~622.

(3) Ahn, S. K., Moon, Y. J. and Oh, J. K., 2007, Comparison of Performance of the Exciter and Impact Hammer Test for Dynamic Characteristics Analysis of Floor Slabs, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 117~120.

(4) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.



**Figure 11** Local steel structure for excitation test



**Figure 12** Excitation result for the local structure

## 4. 결 론

기존 선박용 가진기의 경우 수직형 가진기와 수평형 가진기가 별도로 적용되어 왔으며, 가진기 설치 후 다른 방향을 가진 하기 위해서는 용접된 하부시트를 선체로부터 분리하여 재설치 해야 하는 문제가 있었다. 그러나 현재까지 설치방법의 개선이나 새로운 형태의 가진기 개발 사례가 보고된 바는 없었다.

본 연구를 통해 가진기를 재설치 할 필요 없이 한번 설치 후 3축방향으로 가진이 가능한 3축 방향 가진기를 개발하였다. 개발된 3축방향 가진기의 성능을 실험적으로 검증하였으며, 실험결과로부터 기존 단축 방향 가진기를 이용한 가진 시험 대비 작업시간을 획기적으로 단축시킬 수 있으며, 현재 별도로 구매하여 적용 중인 선체 수직형, 수평형 가진기를 단일 가진기로 대체할 수 있을 것으로 판단된다.