

# 유한요소법을 이용한 선박 장비 받침대의 동강성 평가에 관한 연구

## Numerical dynamic stiffness assessment of ship equipment foundation with FEM

김윤환\* · 김국현\*\* · 최태목\*\*\* · 조대승†

Yun-Hwan Kim, Kookhyun Kim, Tae-Muk Choi, and Dae-Seung Cho

### 1. 서 론

최근 들어 선박이 대형화·고속화됨에 따라 추진용 또는 발전용으로 탑재되는 엔진의 출력과 속도(회전수)는 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 고속력·고속 엔진은 선박의 과도한 소음과 진동을 유발하는 주요 원인이 되고 있다. 엔진에 의해 발생하는 진동에너지는 장비받침대, 배관, 선체구조 등 다양한 경로를 통해 선박 내외부로 전달되며, 선박 내부 진동과 소음, 수중 방사소음 등의 형태로 나타난다. 이와 같이 선박의 내외부로 전달되는 진동에너지는 탄성마운트, 음향차폐상자, 진동감쇠재 등 다양한 절연방법들이 적용하여 감소될 수 있다. 특히 엔진과 장비받침대 사이에 적용하는 탄성마운트는 가장 효과적인 절연 기법으로 평가되고 있다.

한편, 탄성마운트가 고유의 절연성능을 갖기 위해서는 장비 받침대를 포함한 선체하부구조가 충분한 동강성(dynamic stiffness)을 확보하도록 설계되어야 한다. 일반적으로 장비 받침대 동강성은 선체구조 완성단계에서 실물에 대한 충격시험(impact test)을 통해 평가되고 있다. 충격 시험에 의한 장비 받침대 동강성 평가는 정확한 결과를 제공하지만 보강이 필요한 경우 구조 변경이 용이하지 않다는 단점이 있다. 따라서 설계단계에서부터 효과적으로 활용할 수 있는 장비 받침대 동강성 평가방법에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 유한요소법(FEM)을 이용한 장비 받침대의 동강성 평가 방법과 절차를 기술하고 실적선에 대한 수치해석을 수행하여 실제 마운트가 장착되는 장비받침대 국부구조에 따른 동강성 특성을 평가한다. 또한, 해당 장비받침대에 대한 해석치를 계측치와 비교하여 본 연구결과의 실선 적용성을 검토한다.

### 2. 장비받침대 동강성 평가

† 교신저자; 정회원, 부산대학교  
E-mail : daecho@pusan.ac.kr  
Tel : (051) 510-2482, Fax : (051) 512-8836

\* 부산대학교 조선해양공학과  
\*\* 동명대학교 조선공학과  
\*\*\* (주)크리에이텍

### 2.1 임피던스(impedance)

장비받침대의 동강성은 마운트 위치에서의 임피던스로 평가할 수 있다. 임피던스는 단위 속도로 가진되는 구조물에 발생하는 힘(unit force)의 크기를 나타낸다. 구조물의 임피던스는 식(1)과 같이 정의되며, 주로 임피던스에 상용로그를 취한 식 (2)와 같은 임피던스 레벨로 환산하여 사용된다.

$$Z(\omega) = F(\omega)/V(\omega) \quad (1)$$

$$L_z(\omega) = 20 \log_{10} \{ Z(\omega)/Z_0 \} \quad (2)$$

여기서,  $Z(\omega)$ ,  $F(\omega)$ ,  $V(\omega)$ ,  $L_z(\omega)$ 는 각주파수  $\omega$ 에 따른 임피던스(Ns/m), 힘(N), 속도(m/s), 임피던스 레벨(dB re. 1 Ns/m)을 각각 나타내며,  $Z_0$ 는 참고 임피던스(reference impedance, 1 Ns/m)를 의미한다.

### 2.2 동강성 평가 방법 및 절차

받침대 동강성 평가는 범용 유한요소해석 S/W인 MSC/NASTRAN을 이용하여 모델생성, 강제진동해석을 통한 주파수응답해석, 임피던스 산정 등의 절차에 따라 수행한다. 주파수응답은 해당 마운트 위치에 대해 별도로 구하되 마운트가 받침대와 점이 아닌 면으로 접하는 효과를 반영하기 위하여 해당 마운트와 접하는 면적에 대해 중심점에 수직방향의 단위 힘을 가하고 임의의 4개 지점에서의 응답속도를 평균하여 구한다. 또한, 주파수응답은 식 (1)에 따라 임피던스로 환산하고 관심 주파수밴드(1/1 옥타브 또는 1/3 옥타브)에 대해 평균한 후 식 (2)에 따라 임피던스 레벨로 환산한다.

### 3. 수치해석 및 고찰

수치해석은 임의의 실적선을 대상으로 하였으며, 수치해석모델은 실적선 도면을 참고하여 엔진 받침대 부분에 한하여 Fig.1에 보인 바와 같이 모델링하였다. 이때 해석 모델의 절점(node)수와 요소(element)수는 각각 48,268개, 49,760개이며, 각 요소의 크기는 약 30×30mm이다. 강제진동 해석 위치는 탑재되는 12개의 엔진 마운트 위치에 대해 선정하고 Fig.1에 표시된 순서대로 번호를 부여하였다. 마운트 번호 1, 6, 7, 12 하부구조는 두께 13mm의 평판으

로 강하게 지지되어 있는 반면, 그 외 마운트위치의 하부 구조는 두께 10mm의 브라켓 형태의 보강재로 상대적으로 약하게 지지되어 있다.

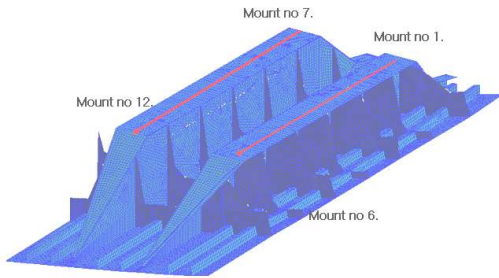


Fig.1 Numerical model and mount numbering for the objective foundation

강제진동해석은 모두 12개의 마운트 취부 위치에 대해 주파수는 20Hz ~ 3kHz 구간에서 수행하였으며, 감쇠(damping)는 고려하지 않았다.

Fig.2는 마운트 위치별 임피던스 해석결과를 1/3 옥타브 밴드 평균값으로 나타낸 것이다. 해석결과는 전반적으로 주파수와 마운트 위치에 따라 다른 특성을 나타내고 있으며, 특히, 마운트 하부구조에 따라 임피던스가 확연하게 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 마운트 번호 2~5, 8~11에 대해서는 약 320Hz 부근에서 임피던스 레벨이 매우 낮게 나타난다. 이는 하부구조가 상대적으로 약하게 지지되어 있어 받침대 상면의 속도 응답이 크기 때문인 것으로 분석되었다. 반면, 평판구조로 강하게 지지되어 있는 마운트 번호 1, 6, 7, 12에 대해서는 주파수가 커질수록 임피던스 레벨이 점차 작아지는 전형적인 특성을 나타내고 있으며, 마운트 번호 2~5, 8~11에 비해 전반적으로 높은 임피던스 레벨을 나타낸다. 따라서 탄성마운트가 고유의 절연성능을 유지할 수 있기에 충분한 동강성을 갖는 안정된 장비 받침대를 설계하기 위해서는 마운트 부착위치에서의 국부구조에 대한 세밀한 검토와 적절한 보강 대책수립이 필요할 것으로 사료된다.

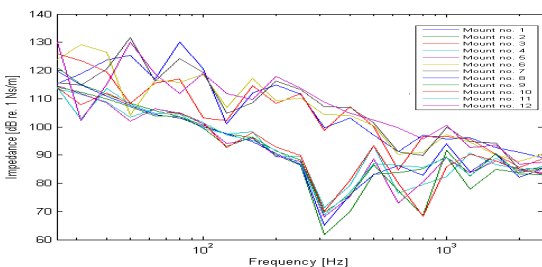


Fig.2 Calculated impedances for each mount location

한편, 본 연구결과와 실선 적용 가능성을 검토하기 위해 수치해석결과(녹색선)를 대상선 받침대에 대한 계측치(점선)와 비교하였다(Fig.3). 일반적으로 받침대 동강성이 마운트별 측정결과에 대한 평균값으로 평가됨을 감안하여 결

과비교는 모든 마운트 위치에 대한 평균값으로 표시하였다.

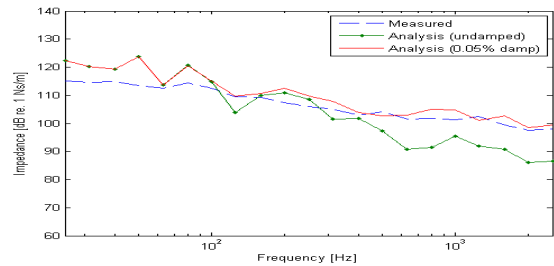


Fig.3 Comparison of numerical and experimental results for averaged impedance

100Hz 미만에서의 수치해석결과는 계측치보다 크게 나타난 반면, 그 이상 주파수 영역에서는 일부 주파수 대역을 제외하고 계측치보다 작게 나타나고 있다. 이는 수치해석결과가 저주파수 대역에서 지배적으로 나타나는 Hull Mode에 의한 영향과 고주파수 대역에서의 감쇠특성을 충분히 반영하지 못하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 받침대 모델링 영역을 전선으로 확대하고 적절한 감쇠계수를 반영할 경우 보다 정확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig.3에는 0.05%의 감쇠비(damping ratio)를 반영한 경우에 대한 수치해석결과(붉은색선)를 함께 도시되어 있으며, 감쇠비를 반영하지 않은 결과(녹색선)에 비해 고주파수 대역에서 계측치에 보다 근접함을 확인할 수 있다. 따라서 적절한 감쇠비 도출을 위한 추가 연구가 필요할 것이다.

#### 4. 결 론

유한요소법을 이용한 선박 장비 받침대 동강성 평가 방법과 절차를 기술하였으며, 실적선에 대한 수치해석을 통해 주파수 및 마운트 지지구조 특성에 따른 영향을 고찰하였다. 또한, 수치해석결과와 계측치 비교를 통해 본 연구방법에 대한 실선 적용 가능성을 확인하였다.

수치해석결과로부터 마운트 위치에서의 지지구조에 따라 임피던스 특성이 큰 차이를 보임을 확인하였다. 따라서 받침대 설계 시 국부구조에 대한 세밀한 검토와 그에 따른 적절한 보강대책 수립이 필요하며, 유한요소해석에 있어서 Hull Mode를 충분히 고려한 모델링이 필요하며, 적절한 감쇠계수 선정을 통해 정도 높은 받침대 동강성 평가수행이 가능함을 알 수 있었다. 따라서 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 첨단조선공학 연구센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.