

선체 임피던스를 고려한 선박용 디젤엔진의 방사소음 해석

Radiated Noise Analysis of Marine Diesel Engine Considering Impedence of Hull

장 성 길* · 홍 진 숙† · 정 의 봉** · 박 정 근***

Seong-gil Jang, Chin-suk Hong, Weui-bong Jeong and Jeong-geun Park

1. 서 론

엔진을 지지하고 있는 마운트를 통해 전달되는 선체(hull)의 동특성은 엔진의 동적거동에 영향을 미친다. 따라서 보다 정확한 예측을 위해 이를 고려할 필요가 있지만, 선체 형상의 크기는 해석시간 및 컴퓨터의 성능에 제한이 있다. 따라서 엔진만의 유한요소 진동해석결과와 마운트 지지점에서의 선체 임피던스만을 고려하여 엔진의 진동 및 방사소음을 예측할 수 있는 방법의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 전달함수합성법(FRF-based substructuring method)을 사용하여 선체의 동특성을 고려한 엔진의 동적거동을 해석하고자 한다.

2. 전달함수합성법

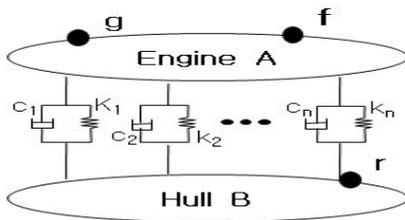


Fig.1 A substructuring system

Fig.1 과 같이 엔진(분계A)의 n개의 점에서 강성 k_i 와 감쇠 c_i 를 갖는 마운트가 선체(분계B)와 연결되어 있다고 가정한다. f는 가진점이고, g 및 r은 엔진 및 선체의 응답점이다. 결합하기 전 엔진에서 가진점 f에 대한 결합점 i의 응답을 $X_i^A/F_f = G_{if}^A$, 결합점 i 가진에 대한 결합점 j의 응답을 $X_j^A/R_i = G_{ji}^A$ 라 한다. 그리고 결합하기 전의 선체에서 결합점 i 가진에 대한 결합점 j의 응답을 $X_j^B/R_i = G_{ji}^B$ 라

한다. 결합점 i에서의 반력을 R_i 라 하면, 결합한 후 엔진의 결합점에서의 응답은

$$\begin{Bmatrix} X_1^A \\ X_2^A \\ \vdots \\ X_n^A \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}^A & & & \\ G_{21}^A & G_{22}^A & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ G_{n1}^A & G_{n2}^A & \dots & G_{nn}^A \end{bmatrix} \text{Sym.} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} G_{1f}^A \\ G_{2f}^A \\ \vdots \\ G_{nf}^A \end{Bmatrix} F_f \quad (1)$$

이며, 선체의 결합점에서의 응답은

$$\begin{Bmatrix} X_1^B \\ X_2^B \\ \vdots \\ X_n^B \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} G_{11}^B & & & \\ G_{21}^B & G_{22}^B & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ G_{n1}^B & G_{n2}^B & \dots & G_{nn}^B \end{bmatrix} \text{Sym.} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} \quad (2)$$

이다. 한편, 결합점에서의 반력은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} 1 & & & \\ k_1 + j\alpha_1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & 1 & \\ 0 & & & kn + j\alpha_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_1^B \\ X_2^B \\ \vdots \\ X_n^B \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} X_1^A \\ X_2^A \\ \vdots \\ X_n^A \end{Bmatrix} \quad (3)$$

식(1)과 식(2)를 식(3)에 대입하여 연립방정식을 풀면 반력 {R}이 구해진다. 반력을 구하는 과정은 전달함수가 주파수의 함수이므로 주파수의 수만큼 반복된다. 결합후의 응답점 g 및 r에서의 응답도 다음과 같이 구해진다.

$$X_g^A = \begin{bmatrix} G_{g1}^A & G_{g2}^A & \dots & G_{gn}^A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} G_{gf}^A \end{bmatrix} F_f \quad (4)$$

$$X_r^B = \begin{bmatrix} G_{r1}^B & G_{r2}^B & \dots & G_{rn}^B \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{Bmatrix} \quad (5)$$

3. 전달함수합성법을 이용한 엔진의 동특성 해석

3.1 해석 모델 및 주요사항

해석모델은 선체를 고려하지 않은 경우, 선체를 포함한

† 교신저자; 정회원, 울산과학기술대
E-mail : cshong@uc.ac.kr
Tel : (052) 279-3134, Fax : (052) 279-3137
* 부산대학교 기계공학부
** 정회원, 부산대학교 기계공학부
*** 정회원, (주)STX 엔진

경우, 선체의 임피던스를 고려한 경우로 모두 3가지이다. 선체를 고려하지 않은 유한요소모델은 Fig.2에서 선체를 제외한 부분으로 엔진, common bed를 근사하여 구성되어 있으며, common bed 하단의 네 지점은 마운트로 연결되어 있고, 마운트 하단은 고정지지 되어 있다. 하중은 세 모델 모두 엔진의 임의의 한 점에 수직방향으로 200N의 힘을 가하였다. 선체를 포함한 모델은 Fig.2와 같다. 계산의 편의를 위하여 선체는 네 면이 모두 단순지지 되어 있는 평판으로 가정하였다. 마지막으로 선체의 임피던스를 고려한 경우는 Fig.2에서 보이는 마운트를 중심으로 엔진부분과 선체로 분리하여 사용된다. 전달함수는 수직방향만 고려하여 계산하므로, 따라서 주파수마다 실제 하중에는 4개, 임의의 하중에는 16개의 값을 가진다.

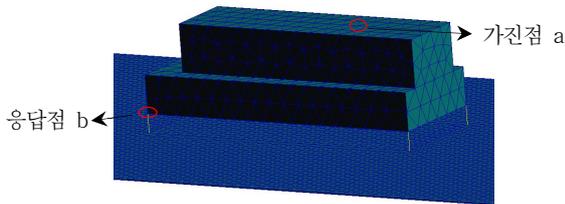


Fig.2 finite element model considering the hull

3.2 해석 절차

선체의 임피던스를 고려한 모델의 해석 절차는 다음과 같다.

- (1) 주파수 응답 해석을 통한 엔진부분과 선체부분 각각의 전달함수 계산
- (2) 식(1)~(3)을 이용한 마운트 연결점의 전달력 계산
- (3) 식(4)~(5)를 이용한 응답점의 주파수응답 계산

본 연구에서 선체부분의 전달함수를 유한요소법으로 구하여 식(1)~(3)에서 활용하였으나 실제문제에서 선체부분의 전달함수를 측정하여 구할 수 있다.

3.3 해석 결과

엔진과 선체를 모두 고려한 유한요소해석 결과와 마운트 지지점에서의 선체 임피던스만을 고려하여 전달함수합성한 결과의 비교를 Fig.3과 Fig.4에 나타내었다. Fig.3은 a점 가진에 대한 b점의 변위응답 스펙트럼을 나타낸다. 그리고 Fig.4는 a점 가진에 대한 엔진의 음향파워 스펙트럼을 나타낸다. 두 결과가 잘 일치하는 것을 알 수 있으며 전달함수 합성법의 타당성을 확인할 수 있다.

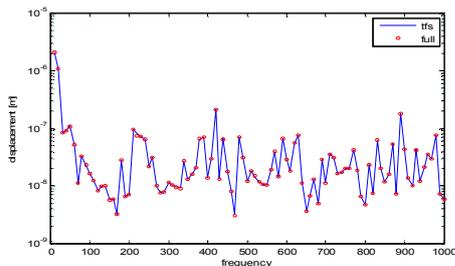


Fig.3 Frequency response at point a

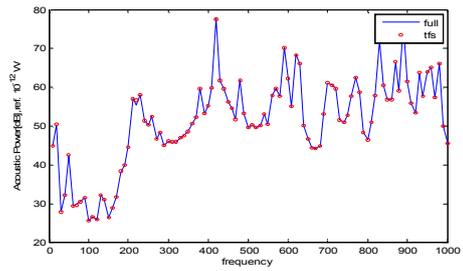


Fig.4 Acoustic power spectrum

다음으로 선체의 임피던스를 고려하지 않았을 때와 고려했을 때의 주파수응답 및 음향파워 비교는 Fig5, Fig.6과 같다. 선체의 임피던스 적용 유무에 따라서 결과가 다른 것을 확인할 수 있다.

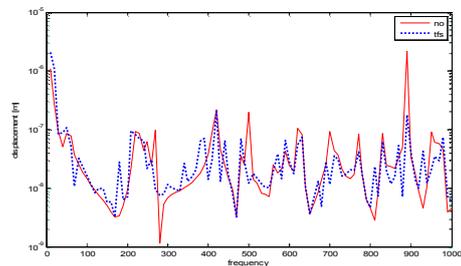


Fig.5 Frequency response at point a

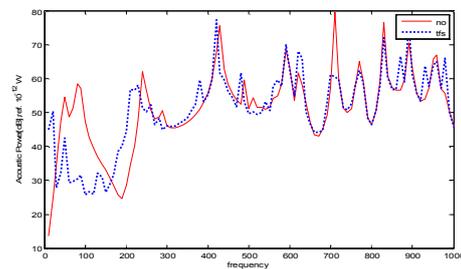


Fig.6 Acoustic power spectrum

4. 결 론

전달함수합성법에 기초하여 선체의 임피던스를 고려한 엔진 진동 및 소음을 예측할 수 있는 방안을 확립하였다. 그리고 선체를 강체로 가정한 경우와 선체의 임피던스를 고려한 경우 엔진 진동 및 방사소음 결과가 차이를 날 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 STX엔진(주) 위탁과제사업으로 수행된 연구결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.