

# 원통형 복합구조물의 고주파수 대역 진동전달함수 예측을 위한 SEA 기법의 활용

## Application of SEA to Predict a Transfer Function on a Cylindrical Complex Structure Vibrating at High Frequencies

김진태\* · 길현권† · 김종도\*\* · 이준수\*\* · 김동진\*\* · 홍석윤\*\* ·  
송지훈\*\*\* · 황아롬\*\*\*\* · 정우진\*\*\*\*\* · 정현기\*\*\*\*\* · 강명환\*\*\*\*\*

J-T. Kim, H-G. Kil, J-D. Kim, J-S. Lee, D-J. Kim, S-Y. Hong,  
J-H. Song, A-R. Hwang, W-J. Jung, H-G. Jung, M-H. Kang

### 1. 서 론

원통형 복합 구조물의 경우 무인잠수정, 수중함 그리고 어뢰들의 기본 구조를 이룬다. 이러한 구조물의 경우 진동에너지가 가진원에서 구조물을 따라 전달되며 구조 재료 자체의 감쇠뿐 아니라 소음방사에 의한 감쇠가 동시에 이루어진다(1,2). 또한 이러한 소음 방사로 인하여 구조물 주변에 자체소음을 형성하게 된다. 이러한 자체소음 발생 특성을 이해하기 위하여서는 우선적으로 해당 구조물의 진동 전달 특성을 해석 및 실험적으로 분석할 필요가 있다. 또한 원통형구조물이 수중에 위치할 경우 구조물의 특성상 고주파수 대역(10kHz 이상)까지 고려하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 고주파수대역에서 원통형 복합구조물의 진동전달함수를 예측하기 위하여 통계적 에너지 해석법인 SEA(Statistical Energy Analysis)기법(3)을 활용하였다. 본 논문에서는 일차적인 해석 연구로 공기 중 진동을 고려하였으며, 진동전달함수에 대한 해석 결과를 이전 논문(4)에서 발표된 실험결과와 비교 분석하였다.

### 2. 진동전달함수 SEA 해석

#### 2.1 SEA 개념

SEA 기법에서는 해당 시스템을 진동 형태에 따라 여러 세부시스템으로 나누고, 에너지 평형 조건을 적용하여 상호 연계된 세부시스템 각각의 진동 에너지를 예측하게 된다. 예로써 두 개의 세부시스템으로 나누어져 있는 시스템의 경우 에너지 평형관계식은 다음과 같다.

$$\Pi_{1,in} = \Pi_{1,diss} + \Pi_{12} = 2\omega(\eta_1 + \eta_{12})E_1 - \omega \eta_{21}E_2 \quad (1)$$

$$\Pi_{2,in} = \Pi_{2,diss} + \Pi_{21} = -\omega \eta_{12}E_1 + \omega(\eta_2 + \eta_{21})E_2 \quad (2)$$

여기서  $\Pi_{j,in}$ ,  $\Pi_{j,diss}$ ,  $E_j$ ,  $\eta_j$  ( $j=1,2$ )는  $j$  세부시스템의 에너지 관련 변수로써 유입되는 입력 파워, 손실되는 파워, 진동에너지 그리고 손실 계수를 나타낸다.  $\Pi_{ij}$ ,  $\eta_{ij}$ 는 세부시스템  $i$ 로부터  $j$ 로 전달되는 파워와 연성손실계수에 해당한다. 이 경우 연성손실계수  $\eta_{ij}$ 는 해당 세부시스템을 반무한구조를 가정하고 파동전달법에 의하여 예측된 값을 사용하며, 손실계수는 각 세부시스템의 재료 특성에 따라 알려진 값 혹은 측정값을 사용한다.  $j$  세부시스템에 대한 입력파워 값은 추정된 가진력  $F$ 과 가진지점의 모빌리티 공액복소수  $M^*$ 에 대한 실수( $Re$ ) 값으로 식 (3)과 같이 고려하며, 모빌리티는 해당 세부시스템을 무한구조물로 가정하여 문헌에 알려진 값을 적용하게 된다.

$$\Pi_{j,in} = \frac{1}{2} |F|^2 Re\{M^*\} \quad (3)$$

† 교신저자; 수원대학교 기계공학과

E-mail : hgkil@suwon.ac.kr

Tel : (031) 220-2298

\* 수원대학교 기계공학과 대학원

\*\* 서울대학교 조선해양공학과

\*\*\* 전남대학교 해양기술학부

\*\*\*\* 거제대학교 조선과 \*\*\*\*\* 국방과학연구소

## 2.2 SEA 모델링

해석모델은 길이 2.7m, 반경 0.18m, 두께 6mm인 알루미늄 원통형 복합 구조물로서, Fig.1과 같이 7개의 섹션으로 조립되어 있으며, 각 섹션은 수밀 보장을 위하여 고무링을 삽입하여 연결되어 있다. 또한 내부에는 내부 구조물로서 원통형 보강재와 콘형태의 구조물 그리고 가진기를 설치하기 위하여 장착된 가진기 지그구조물을 포함하고 있다. 이러한 해석모델의 구조 형태를 고려하여 SEA 해석을 위하여 25개의 세부시스템으로 나누고, 식(1), (2)와 같은 형태의 에너지 평형 방정식을 만들어 적용하였다. 가진형태는 반경방향을 고려하였으며, 10kHz 주파수 이상 대역에 적용하였다. SEA 해석 결과인 진동 응답으로서의 반경 방향 진동 가속도를 구한 후 다음 식과 같은 진동전달함수, TF를 결정하였다.

$$TR_j = 10 \log_{10} \frac{a_j^2}{a_{ref}^2} \quad (4)$$

여기서  $a_{ref}$ ,  $a_j$ 는 각각 가진지점 세부시스템의 가속도와  $j$  세부시스템의 가속도를 나타내며, 가속도는 공간 및 시간 평균값을 고려한다.

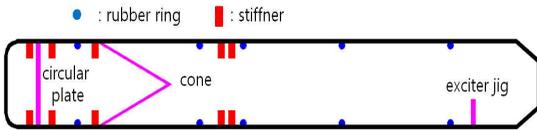


Fig.1 원통형 복합구조물

## 2.3 손실계수 측정 진동 실험

각 섹션의 손실계수를 측정하기 위해서는 파워 평형조건인 한 주기에 대한 입력파워는 내부손실계수에 의한 손실에너지와 같다는 파워평형조건을 적용할 수 있다. 즉 내부손실계수  $\eta$ 는 입력파워  $\Pi$ 와 진동에너지의 공간 및 시간 평균값  $E$ 을 이용하여  $\eta = \Pi / (\omega E)$ 로 표현된다. 본 연구에서는 각 섹션에 대하여 입력파워와 진동에너지를 측정함으로써 손실계수를 측정하여, SEA해석에 입력 데이터로 활용하였다.

## 3. 해석 결과 분석

Fig.2는 10kHz 이상 주파수 범위에서 진동 전달

함수에 대한 해석결과와 실험결과<sup>(4)</sup>를 비교하여 보여준다. 해석 및 실험결과로부터 진동 전달함수 값이 모든 주파수 범위에 대하여 실험모델의 가진원 부근으로부터 실험모델의 끝단으로 갈수록 감소함을 알 수 있다. SEA 해석결과가 실험결과와 유사한 경향을 보여 주고 있으며, 가진원으로부터 끝단으로 감소되는 진동 전달함수 감소 값이 전 주파수 범위에 대해서 약 60dB 정도임을 알 수 있다.

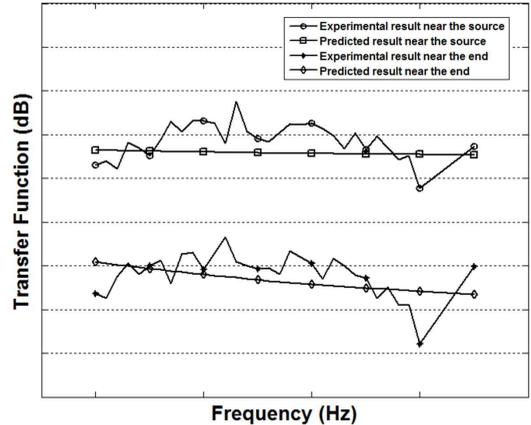


Fig.2 전달함수 예측결과와 실험결과와의 비교

## 4. 결론

본 논문에서는 10kHz 이상의 고주파수대역에서 원통형 복합구조물의 진동전달함수를 예측하기 위하여 통계적 에너지 해석법인 SEA 기법을 적용하였다. 일차적인 해석 연구로 공기 중 진동을 고려하였으며, 진동전달함수에 대한 해석 결과를 이전 논문에서 발표된 실험결과와 비교 분석하였다.

## 참고 문헌

1. M.C. Junger, "Shipboard Noise: Sources, Transmission, and Control," Noise Control Eng. J., Vol. 34(1), pp. 3-8, 1990.
2. F. Fahy, "Sound and Structural Vibration," Academic Press, 1985.
3. R.H. Lyon, Statistical Analysis of Dynamic Systems: Theory and Applications, MIT Press, 1975.
4. 김진태, 김현권 외 9인, "원통형 수중 물수체에 대한 고주파수 대역 진동 전달함수의 실험적 분석," 소음진동공학회 춘계학술대회, 2011.