

# 위상 기준 스펙트럼을 이용한 가진력의 실험적 규명

## Experimental Investigation of Excitation Force using Phase Reference Spectrum

김태형\* · 정병규\* · 정의봉†

Tae Hyeong Kim, Byung Kyoo Jung and Weui Bong Jeong

### 1. 서론

임의의 구조물에 대하여 방사소음 해석하기 위해서는 표면상의 정확한 가속도 혹은 변위 데이터가 필요하다. 이러한 입력 값을 유한요소 해석방법으로 얻기 위해서는 정확한 가진력을 규명하여야 한다. 하지만 정확한 가진력 규명을 위해서는 여러 점의 응답을 얻어야 하나 여러 실험 환경 및 응답점간의 위상차의 문제로 인하여 일반적인 방법으로는 여러 점의 응답을 획득하기 어렵다. 본 연구에서는 기준점의 위상을 0으로 두고 다른 응답점간의 상대 위상을 구하는 위상 기준 스펙트럼 방법을 이용한다면 보다 많은 응답점 계측이 가능하고 이로 인해 보다 신뢰성 있는 가진력을 규명하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 가진력 규명 이론

선형 진동계에서 어떠한 입력에 대한 응답은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$X(w) = [H(w)]F(w) \quad (1)$$

여기서  $X(w)$ 는 실험으로 구한 가속도 응답벡터,  $H(w)$ 는 전산모델에서 구한 입력점과 응답점 사이의 복소 전달함수 행렬,  $F(w)$ 는 규명하고자 하는 가진력 벡터이다.

기존 방법에서는 실험을 통해  $X(w)$ 를 계측하고, 노이즈를 제거하기 위해 averaging을 실시하기 위해 power 스펙트럼으로 나타내고, 역행렬 계산을 위한 Pseudo-inverse 방법을 사용하여 이를 식(1)에 적용

하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{ff} = H^+ S_{xx} (H^*)^+ \quad (2)$$

단

$$mag(S_{ff}) = \begin{bmatrix} F_1^2 F_1 F_2 \cdots F_1 F_n \\ \cdot F_2^2 \cdots F_2 F_n \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \cdot \cdot \cdot F_n^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$phase(S_{ff}) = \begin{bmatrix} 0 & \psi_1 - \psi_2 & \cdots & \psi_1 - \psi_n \\ \psi_2 - \psi_1 & 0 & \cdots & \psi_2 - \psi_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_n - \psi_1 & \psi_n - \psi_2 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(2)에서 구해진  $S_{ff}$ 으로부터  $F_i, \psi_i (i=1 \sim n)$ 을 구할 수 있다. 하지만 기존 연구에서는 입력점을 동시에 측정해야 하는 어려움이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 가속도 응답  $X(w)$ 를 계측할 때 일반적인 스펙트럼을 이용하는 것이 아닌 기준점의 위상을 0으로 두고 계측하고자 하는 응답점과의 상대 위상을 유도할 수 있는 위상 기준 스펙트럼을 이용하여 가진력을 규명할 수 있다. 이때 위상 기준 스펙트럼을 구하는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E \left( \frac{A_{ref}^* B}{\sqrt{A_{ref} \cdot A_{ref}^*}} \right) = B_{avg} \quad (5)$$

여기서 \*는 conjugate 연산을 의미하고,  $B$ 는 구하고자 하는 응답점의 스펙트럼,  $A_{ref}$ 는 기준점의 스펙트럼,  $B_{avg}$ 는 ensemble averaging된 응답점의 스펙트럼이다. 여기서 가진력을 규명하는 식은 식(5)을 식(1)에 대입하여 나타낼 수 있다.

$$B_{avg}(w) = H(w)F(w) \quad (6)$$

$$F(w) = H(w)^+ B_{avg}(w) \quad (7)$$

여기서 알 수 있듯이 위상 기준 스펙트럼을 이용할 경우, 앞서의 방법과는 다르게 위상을 따로 계산

† 교신저자; 부산대학교 기계공학부  
E-mail : wbjeong@pusan.ac.kr  
Tel : (051)510-2337, Fax : (051)517-3805  
\* 부산대학교 대학원 기계공학부

할 필요가 없기 때문에 실험 장비의 부족, 계측기 channel 수의 부족 등의 제약을 받지 않는다.

## 2.2 Modal test

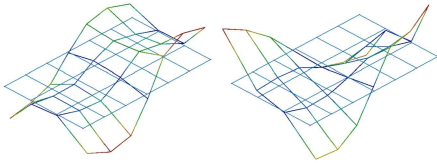


Fig.1 Mode shape of plate

식 (1)에서  $H(w)$ 를 구하기 위해서는 해석 모델의 정확한 mode를 구할 필요가 있으므로 modal test를 이용하여 정확한 해석 모델을 구축하였다. 실험은 평판의 총 28점에 해머를 이용하여 가진 하였으며 양쪽 끝단을 고정 하였다. 계측 및 후처리에는 LMS사의 Test.Lab을 사용하였고, 최종 결과로 Fig.1와 같은 모드 형상을 얻을 수 있었다.

## 2.3 실험 · 해석 검증

유한요소해석은 MSC.Nastran을 이용하였으며, 실험과 해석의 검증을 위해 2.2절에서 얻은 modal test결과를 이용하여 MAC (Modal Assurance Criterion) 을 식(8)으로 계산하였다.

$$MAC(\omega_i, \omega_j) = \frac{|\{\psi_i^{test}\}\{\psi_j^{FE}\}|^2}{(\{\psi_i^{test}\}\{\psi_i^{test}\}^*)(\{\psi_j^{FE}\}\{\psi_j^{FE}\}^*)} \quad (8)$$

여기서  $\omega_i$  와  $\omega_j$  는 modal test와 유한요소해석을 통하여 얻은 고유진동수이고,  $\psi_i^{test}$   $\psi_j^{FE}$ 는 고유진동수에서 실험과 해석의 고유벡터이다. Figure.2에서 가로축은 실험의 고유진동수 세로축은 유한요소해석의 고유진동수이며 해열의 대각 성분이 0.7이상이 나타날 경우 실험과 유한요소 해석의 모드는 상관성이 있다는 것으로 간주할 수 있다.

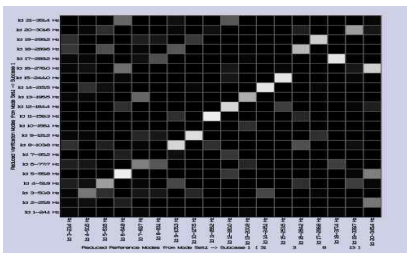


Fig.2 Mac matrix

## 2.4 주파수 응답 획득 실험

식 (1)에서의 응답  $X(w)$ 를 얻기 위하여 평판의 양쪽 끝단을 고정한 후 한 점에 가진기를 설치하고 평판과 가진기 사이에 힘 센서를 부착 하였다. 가진은 500Hz의 사인과 가진을 실시하였고, 기존 방법을 위한 6점과 위상 기준 스펙트럼을 위한 기준점 포함 6점의 시간신호를 계측 하였다.

## 2.5 주파수 응답 획득 실험

2.4절에서 계측한 데이터를 이용하여 FFT와 위상 기준 스펙트럼을 각각 계산하였다. 계산된 두 가지 종류의  $X(w)$ 를 이용하여 가진력을 계산하여 Fig3에 나타 내었다. 여기서 data1은 힘 센서의 데이터, data2는 위상 기준 스펙트럼을 이용하여 구한 가진력, data3은 일반 스펙트럼을 이용하여 구한 가진력이다. 여기에서 볼 수 있듯이 위상 기준 스펙트럼을 이용하는 방법과 일반 스펙트럼을 이용하여 구한 가진력을 비교 하였을 때 두 방법 모두 실제 가진력에 비슷한 경향을 보이는 것을 볼 수 있다. 하지만 위상 기준 스펙트럼을 이용한 경우에 좀 더 정확한 가진력이 규명 된 것을 확인할 수 있었다.

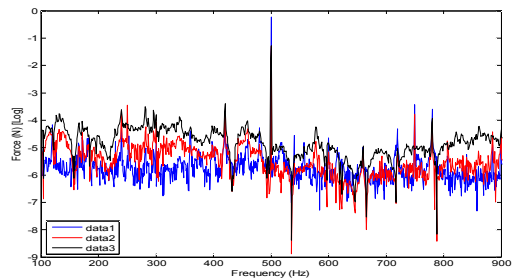


Fig.3 Comparison of excitation force depending on spectral methods

## 3. 결 론

본 논문에서는 구조물의 가진력 규명에 대해서 기존 방법과 위상기준 스펙트럼을 사용하는 방법에 대하여 비교 해보았다. 두 방법을 통해 가진력을 규명해본 결과 위상 기준 스펙트럼을 이용하여 가진력을 규명 할 경우 보다 더 정확하게 가진력을 규명할 수 있을 것을 확인 하였으며, 이를 통해 더욱 신뢰성 높은 방사 소음 예측도 가능할 것으로 기대된다.