

# MIMO 시스템 가진력의 실험적 규명

## Experimental Investigation of Excitation Force in Multi-input Multi-output system

김태형\* · 허소정\*\* · 정의봉†

Tae Hyeong Kim, So Jung Heo and Weui Bong Jeong

### 1. 서론

전산해석을 통하여 작동중인 어떠한 구조물에 대하여 방사소음 예측을 하기 위해서는 그 구조물에 작용하는 소음원 혹은 진동원을 정확히 알아야 한다. 이러한 가진력 규명의 기존 연구에서는 단일 입력 시스템 혹은 분포하중 시스템에 대해서만 활발한 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 상관성이 없는 2개의 가진력이 있는 다중 입력 시스템의 가진력을 정확히 규명하고자 한다. 그러하기 위하여 양단지지 되어있는 평판 구조물에 대하여 2개의 가진기를 연결하고 각각 주파수 상관성이 없는 정현파 신호로 가진하여 다중 입력 시스템을 구성한다. 그리고 여러점에서 응답을 계측하여 신호처리 과정을 통하여 신호분리를 실시 한 후 각각의 가진력을 규명해보고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 가진력 규명 이론

어떠한 입력에 대한 응답은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

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

여기서  $X(w)$ 는 가속도 응답벡터,  $H(w)$ 는 입력점과 응답점 사이의 복소 전달함수 행렬,  $F(w)$ 는 규명하고자 하는 가진력 벡터이다. 본 연구에서는 가속도 응답은 실험을 통해 계측하고, 전달함수는 전산해석을 통해 예측하고자 한다.

$$F(w) = H(w)^+X(w) \quad (2)$$

기존 연구에서는 식(1)에서 가진력을 규명하기 위하여 식(2)와 같이 비정방 행렬의 역행렬 계산방법인 Pseudo-inverse 방법을 사용하여 inverse problem을 계산하였다. 하지만 단일 입력 시스템에 대해서는 이러한 과정으로도 정확한 가진력을 규명해주지만, 다중 입력 시스템에는 하나의 과정이 추가적으로 적용되어야 한다.

일반적인 MIMO 시스템의 응답  $X$ 는 Fig.1에서와 같이 입력  $F_1, F_2$  각각에 대한 응답이 더하여진 결과이다. 만약 응답  $X$ 를 각각의 입력에 대한 응답으로 분리해 주지 않고 식(2)를 사용한다면 부적절한 가진력이 규명될 것이다. 따라서 이러한 응답 벡터를  $F_1, F_2$ 에 대한 각각의 입력만의 응답으로 분리해줄 필요가 있다. 이러한 신호 분리 방법은 다음과 같다.

$$X_{x \cdot 1} = X - \frac{S_{1x}}{S_{11}}F_1 \quad (3)$$

여기서  $X_{x \cdot 1}$   $F_2$  만의 응답,  $S_{11}$ 은  $F_1$ 의 power 스펙트럼,  $S_{1y}$ 는  $F_1$ 과  $X$ 사이의 cross 스펙트럼이다.

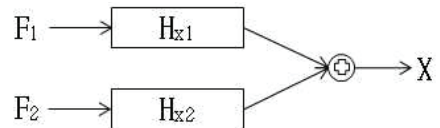


Fig.1 MIMO System

같은 식을 이용하여  $F_2, S_{22}, S_{2y}$ 를 사용한다면  $F_1$ 만의 응답을 구할수 있다. 하지만 본 연구에서는 식(3)에 나오는  $F_1$ 를 알지 못하는 상태이므로, 식(3)를 조금 변경하여 다음과 같이 사용할수 있다.

$$X_{x \cdot 1} = X - \frac{S_{ref,x}}{S_{ref}}X_{ref} \quad (4)$$

여기서  $X_{ref}$ 는  $F_1$ 의 작용점에서의 가속도 신호,  $S_{ref,x}$ 는 응답점과 작용점 사이의 크로스 스펙트럼,

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

$S_{ref}$ 는 작용점의 파워 스펙트럼이다. 이러한 방법으로 신호 분리 한 후, 신호의 정확성을 위해 averaging을 실시한다. 이를 위해 위상기준 스펙트럼의 개념을 사용하여 상대 위상을 계산을 통한 averaging을 실시 한다.

$$E\left(\frac{X_{x \cdot 1, fund}^* \cdot X_{x \cdot 1, re}}{\sqrt{X_{x \cdot 1, fund} \cdot X_{x \cdot 1, fund}^*}}\right) = X_{x \cdot 1, avg} \quad (5)$$

여기서 \*는 conjugate연산을 의미하고,  $X_{x \cdot 1, fund}$ 는 전체 시간신호에서 첫 번째 record length에서의 spectrum,  $X_{x \cdot 1, re}$ 는 이후의 record length에서의 spectrum,  $X_{x \cdot 1, avg}$ 는 averaging된 스펙트럼이다. 이러한 방법으로 averaging 과정을 끝난 데이터를 식(2)에 대입하여 각각의 가진력을 규명 할 수 있고 이를 식으로 나타내면 다음과 같이 나타 낼수 있다.

$$F_1(w) = H(w)^+ X_{x \cdot 2}(w) \quad (6)$$

$$F_2(w) = H(w)^+ X_{x \cdot 1}(w) \quad (7)$$

## 2.2 모달 테스트 및 비교 검증

식 (1)에서  $H(w)$ 를 전산을 통해 구하기 위해서는 해석 모델의 타당성을 검증해야한다. 이를 위해 모달 테스트를 실시하였고 해석모델의 검증은 실험 결과와 해석결과에 대한 MAC(Modal Assurance Criterion)을 계산하여 Fig.2에 나타 내었다. 여기서 MAC 값은 실험과 해석의 모드의 상관성을 정량적으로 나타내어 주는 것으로써 1에 가까울수록 실험과 해석이 잘 맞는 것을 의미한다.

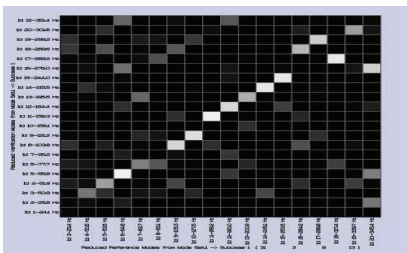


Fig.2 Mac matrix

## 2.3 주파수 응답 획득 실험

식 (1)에서의 응답  $X(w)$ 를 얻기 위하여 평판의 양쪽 끝단을 고정한 후 두 점에 대하여 가진기를 설치하고 각각을 50Hz와 100Hz로 사인과 가진을 실시하였다. 그리고 평판 상의 6점에 대하여 시간 신호를 측정 하였다.

## 2.4 가진력 규명 및 비교

앞서 측정한 6점에 대한 신호를 이용하여 일반적인 inverse problem을 통해 가진력을 규명한 결과와 신호 분리과정을 거친 후 규명된 가진력을 Fig.3과 Fig4에 나타 내었다. Fig.3에서 실선은 100Hz 가진 지점, 점선은 50Hz 가진 지점에서의 규명된 가진력이다. 신호 분리과정이 들어가지 않았기 때문에 실제의 가진력과는 달리 두 주파수 성분을 모두 포함하는 것을 볼수 있다. Fig.4에서 점선은 100Hz 가진 지점, 실선은 50Hz 가진 지점에서의 규명된 가진력이다. Fig.3과 다르게 각각의 가진 지점에 정확한 가진력이 규명되는 것을 확인 할 수 있다.

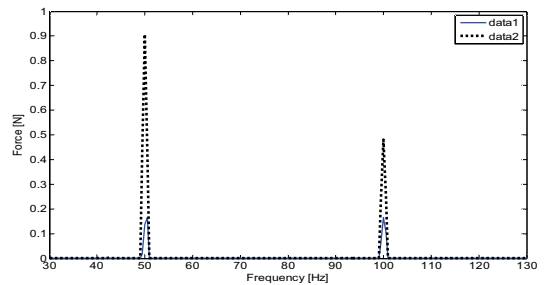


Fig.4 Identified Force using non Conditioned Spectrum

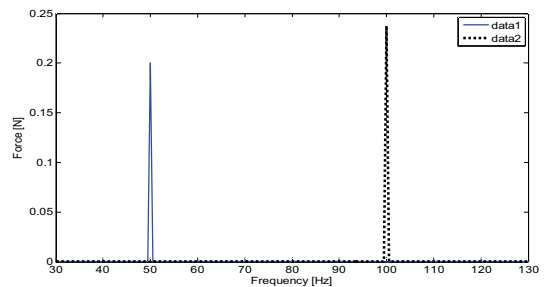


Fig.5 Identified Force using Conditioned Spectrum

## 3. 결 론

본 논문에서는 다중 입력 구조물에 대하여 서로 상관성이 없는 가진력 규명에 대하여 기존 연구 방법과 신호분리 과정을 통한 가진력 규명방법을 비교 해보았다. 두 방법을 통해 가진력을 규명해본 결과 응답에서의 신호를 각각의 기준점으로 신호분리 하여 가진력을 규명 할 경우 정확한 가진력을 규명할 수 있을 것을 확인 하였으며, 이를 통해 더욱 신뢰성 높은 방사 소음 예측도 가능할 것으로 기대된다.