

# 소음원 분석을 통한 드럼세탁기 방사소음해석

## Analysis of Radiated Noise of Drum Washing Machine using Noise Source Identification

김지만\* · 김태형\* · 허소정\*\* · 정의봉†

Ji-Man Kim, Tae-Hyung Kim, Se-Jin Ahn and Weui-Bong Jeong

### 1. 서 론

최근 각종 가전기기제품에서 발생하는 소음으로 인한 소비자의 불만이 증가되고 있다. 가전기기제품 중 드럼세탁기(drum-type washing machine) 소음은 주거지역에서의 주요 민원의 대상이 되고 있다. 드럼세탁기는 탈수 행정 시 오랜 시간동안 가장 큰 소음을 유발한다. 이에 따라 드럼세탁기 탈수 행정시의 소음 저감에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 드럼세탁기의 소음은 구조 가진력에 의한 구조기인 소음(structure borne noise)과 드럼 내의 유체유동에 의한 유체기인 소음(air borne noise)으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 드럼 내부 집중집량이 있는 상태에서의 탈수 행정 시 구조기인 소음과 유체기인 소음을 저감하기 위한 연구를 수행하였다. 집중질량은 세탁물을 대체하기 위한 조건이다.

드럼세탁기 소음원(noise source)인 구조 가진력과 음향소스(acoustic source)를 규명하였다. 이를 검증하기 위하여 실험과 전산해석의 방사소음 결과를 비교하였다.

### 2. 소음원 규명

드럼세탁기의 정확한 소음원을 규명하기 위해서는 실물과 유사한 유한요소 모델이 필요하다. 소음원 규명하기 위해 사용될 드럼세탁기 유한요소 모델은 Fig.1과 같다.

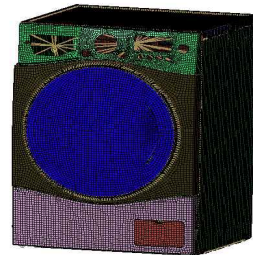


Fig.1 Drum-type washing machine

선형진동계에서 복소수 구조 가진력에 대한 주파수 응답은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서,

$X(w)$  : 실험으로 구한 가속도 스펙트럼 벡터

$H(w)$  : 유한요소 모델의 복소 전달함수 행렬

$F(w)$  : 규명하고자 하는 구조 가진력 벡터

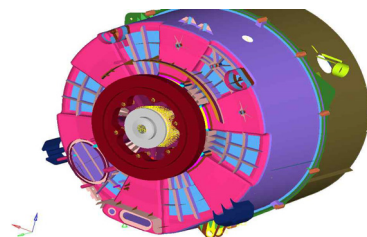


Fig.2 Structural excitation force of driving part

기존 연구에서 구동부에서의 구조 가진력은 모터(motor)가 회전할 때 스테이터(stator)를 고정하는 6

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

곳의 나사에서 힘이 발생하는 것으로 가정하여 연구를 수행하였다. 실제로는 모터가 위치한 면이 전체적으로 힘을 받게 되므로 본 연구에서는 Fig.2와 같이 분포하중의 형태로 가정하여 연구를 수행하였다. 식(1)은 구조 가진력을 규명하기 위한 과정이다. 실험으로 측정한 가속도 응답 57점  $\{X(w)\}$ 와 유한요소 모델의 구조전달함수(structure transfer function)  $[H(w)]$ 를 이용하여 구조 가진력  $\{F(w)\}$ 를 규명하였다. 57점의 가속도 응답을 측정하기 위하여 위상 기준 스펙트럼(phase reference spectrum)을 이용하였다. 측정이 채널수 부족 등으로 여러 채널을 동시 측정이 불가능한 경우, 가속도 스펙트럼 벡터  $\{X(w)\}$ 중 1점을 기준위상으로 두고 다른 가속도 스펙트럼은 상대 위상으로 측정할 수 있다. 위상 기준 스펙트럼을 구하는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\{X_{avg}(w)\} = E \left( \frac{\{X_{ref}(w)\}^* \{X(w)\}}{\sqrt{\{X_{ref}(w)\} \{X_{ref}(w)\}}} \right) \quad (2)$$

식(1)을 위상 기준 스펙트럼을 이용해 나타내면 식(3)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\{X_{avg}(w)\} = [H(w)]F(w) \quad (3)$$

식(4)는 주파수별 음향소스 크기  $\{Q(w)\}$  규명을 위한 과정이다. 드럼세탁기 전방 1m 위치에서의 실험으로 측정한 음압의 크기인  $\{P_{exp}(w)\}$ 과 구조가진력을 이용하여 전산해석으로 구한 음압의 크기인  $\{P_{struc}\}$ 의 오차로 유체기인 음압 크기  $\{P_{air}(w)\}$ 를 구할 수 있다. LMS.VIRTUAL.LAB의 SYSNOISE를 이용하여 음향전달함수  $\{ATF(w)\}$ 를 구하였다.

$$\begin{aligned} \{P_{air}(w)\} &= \{P_{exp}(w)\} - \{P_{struc}(w)\} \\ &= \{ATF(w)\} \times Q(w) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

- $P_{air}(w)$  : 유체기인 음압 크기
- $P_{exp}(w)$  : 실험으로 구한 음압의 크기
- $P_{struc}(w)$  : 구조 가진력으로 구한 음압의 크기
- $ATF(w)$  : 음향전달함수
- $Q(w)$  : 주파수별 음향소스 크기

유체기인 음압 크기  $\{P_{air}(w)\}$ 와 음향전달함수  $\{ATF(w)\}$ 를 이용하여 음향소스를 규명하였다. 결론적으로 드럼세탁기의 소음원인 구조가진력 및 음향소스를 규명하였다.

### 3. 방사소음해석 결과

규명된 소음원을 이용해 세탁기 전방 1m의 위치에서 방사소음을 예측하였으며, 실험과 비교 검증하였다. 방사소음은 드럼세탁기 탈수 행정 시 소음 발생 범위인 500Hz까지 실시하였다.

Figure 3으로부터 실험의 Overall SPL값은 58.1 dB(A), 구조 가진력만을 소음원으로 가정하여 해석한 경우는 55.6 dB(A), 구조 가진력과 음향소스를 소음원으로 가정하여 해석한 경우는 58.5 dB(A)임을 확인하였다. 구조 가진력만을 이용하여 방사소음 해석한 결과에 음향소스를 추가함으로써, 실험과의 오차가 2.5 dB(A)에서 0.4 dB(A)로 줄어들어 실제와 유사한 방사소음예측이 가능하였다.

결과적으로 정확한 방사소음은 구조 가진력 외에 음향소스를 고려해야 예측할 수 있음을 확인하였다.

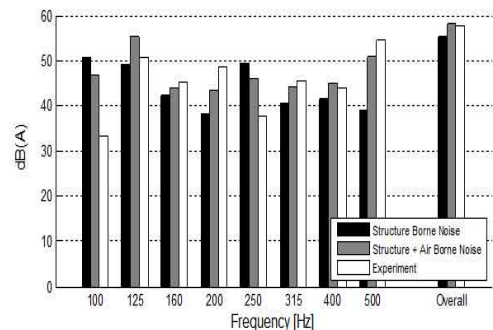


Fig.3 Comparison of SPL (1/3 octave band)

### 4. 결론

- 1) 드럼세탁기의 소음원인 구조가진력 및 음향소스를 규명하였다.
- 2) 유체기인 소음을 고려하여 실제와 유사한 드럼세탁기 방사소음을 예측할 수 있었다.