

## 승용차 대시부의 구조 방사 효율 저감 방법 제안

### A Suggestion of Method to reduce the Radiation Efficiency of Dash Panel of a Passenger Car

김 영 기\*(서울대학교) 강 연 준\*(서울대학교)  
안 옥 균\*\*(기아자동차) 기 지 현\*\*(기아자동차) 최 윤 봉\*\*(기아자동차)

Young Ki Kim, Yeon June Kang, Ok Kyun Ahn, Ji Hyeon Ki, Yoon Bong Choi

Key Words : dash panel, structure-borne noise, radiation efficiency, finite element analysis, boundary element analysis

#### ABSTRACT

A study to determine the structure-borne noise radiated by a dash panel of a real car is performed by using the finite element method (FEM) and the boundary element method (BEM). The radiation efficiency is used to estimate the structure-borne noise radiated by a dash panel. The curved surfaces of a dash panel change the radiation efficiency. Experimental results of radiation efficiency of a simple rectangular plate and a dash panel show good agreements with the simulation results.

#### 1. 서론

자동차의 소음은 크게 2 가지 종류로 고체 전달음과 공기 전달음으로 구분되어진다. 고체 전달음은 차량을 구성하고 있는 각종 구조물의 공진에 의해 발생하는 소음이며, 공기 전달음은 차량을 구성하고 있는 구조물의 공진에 의하지 않고 각종 소음원으로부터 직접 차로 유입되는 소음을 말한다.

대시 패널은 엔진으로부터 차실 내부로의 소음을 차단하는 역할을 하고 있으며, 이때의 소음은 크게 두 가지 요인에 기인한다. 첫 번째는 엔진부의 소음이 대시 패널을 통하여 차실 내부로 전달되는 것으로 투과 손실을 통하여 차음 성능을 평

가한다. 두 번째는 엔진의 진동이 직접 대시 패널을 가진하여 방사되는 것으로, 이차적인 소음원으로 볼 수 있으며 구조 물의 진동 해석을 통한 방사 효율을 통하여 평가한다.

본 연구에서는 유한 요소법과 경계 요소법을 기반으로 한 시뮬레이션을 통하여 대시 패널의 구조 방사 효율을 줄일 수 있는 방안을 제안 한다.

#### 2. 방사 효율의 정의

방사 효율은 평판이 방사하는 파워에 대한 같은 면적의 배플된 피스톤이 방사하는 파워의 비로, 구조물의 방사를 평가하는 파라미터이다.

배플된 피스톤의 음압과 인텐시티 및 파워는 다음과 같다.

$$|p(r)| = \frac{\rho_0 c k a^2 v_n}{r} \frac{J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \quad (2.1)$$

\* 서울대학교  
E-mail : sugizo@acustica.snu.ac.kr  
Tel : (02) 880-1692, Fax : (02) 888-5950

\*\* 기아 자동차

$$I = \frac{|p(r)|^2}{2\rho_0 c} = \frac{\rho_0 c a^2 v_n^2 J_1^2(ka \sin \theta)}{2r^2 \sin^2 \theta} \quad (2.2)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \rho_0 c \pi a^2 v_n^2 \quad (2.3)$$

여기서, 공간과 시간에 대한 속도의 제곱의 평균을 새로 정의하여 배열된 피스톤의 음압을 나타낼 수 있다.

$$\langle v_n^2 \rangle = \frac{1}{S} \int_S \left[ \frac{1}{T} \int_0^T |v_n(x, y, t)|^2 dt \right] dS \quad (2.4)$$

$$\bar{P} = \rho_0 c \pi a^2 \langle v_n^2 \rangle = \rho_0 c S \langle v_n^2 \rangle \quad (2.5)$$

또한, 식 (2.5)로부터 방사효율 측정에 대하여 논의할 수 있다.

$$\sigma = \frac{\bar{P}}{\rho_0 c S \langle v_n^2 \rangle} \quad (2.6)$$

이를 log 배율로 나타내면,

$$10 \log \sigma \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P}{P_0} + 10 \log \frac{P_0}{\rho_0 c S_0 v_0^2} - 10 \log \frac{S}{S_0} - 10 \log \frac{\langle v^2 \rangle}{\langle v_0^2 \rangle} \quad (2.7)$$

과 같다. 여기서  $S_0 = 1m^2$ ,  $v_0 = 5 \times 10^{-8} m/s$ ,  $P_0 = 10^{-12} W$  로 식 (2.6)은 상운의 경우 적용되며 우측의 두번째 항은 매우 작으므로 무시할 수 있게 된다. 따라서 실험에서 측정해야 하는 주요 값은 파워 수준과 속도 수준이 된다.

### 3. 대시 패널의 모델링 및 해석

#### 3.1 대시 패널의 모델링

대시 패널을 실제 모델의 수치를 이용하여 아래의 Fig.1 과 같이 모델링 하였다. 모델링에 사용된 S/W 는 CATIA V5 이다. 대시 패널의 재질은 철로 하였으며, 대시 패널의 해석에 사용된 일반적인 철의 물성치는 Table 1 과 같다.

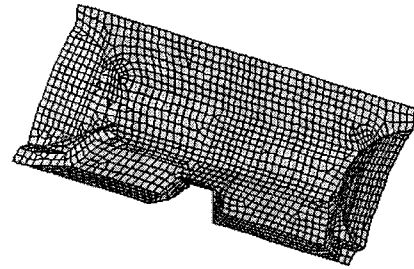


Fig. 1 Modeling of Dash Panel of a Real Car

Properties	Value
Thickness	1.5 mm
Density	7700 kg/m <sup>3</sup>
Poisson's Ratio	0.28
Young's Modulus	19.5e10 Pa

Table 1 Material Properties of Steel

#### 3.2 대시 패널의 방사 효율 해석

방사 효율은 식(2.6)의 대시 패널의 표면 속도와 대시 패널로부터 방사되는 음향 파워를 이용하여 계산하였다. 대시 패널의 속도는 경계 요소 해석에서 조건으로 주어지며, 패널로부터 방사되는 음향 파워는 다음과 같이 계산한다.

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \int_S p \cdot v \cdot dS \quad (3.1)$$

CATIA 에서 구현된 모델을 FEM 해석을 위한 격자를 짜고 모드를 구하는데 사용된 S/W 는 ANSYS 5.5 이며, 완전 구속 경계조건으로 하여 대시 패널의 고유 모드를 구하였다. 또한 용접 등에 의하여 두께가 변화되는 부분도 고려하였다. 그리고 FEM 모델 및 고유 모드를 음향 해석 S/W 인 SYSNOISE 에 입력하여 구조 방사 파워를 구하였다. 해석 범위는 10Hz 부터 500 Hz 까지 10Hz 간격이며, 그 결과는 Fig. 2 와 같다.

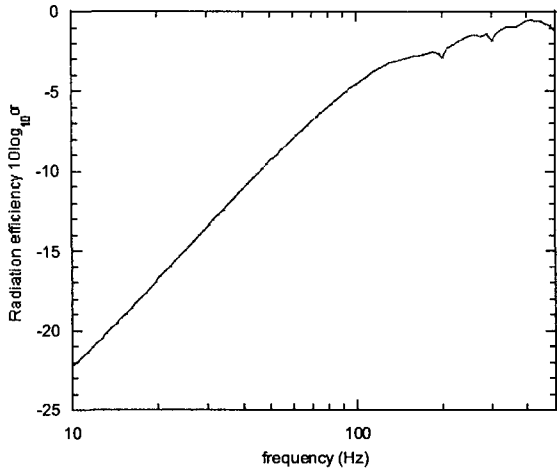


Fig. 2 Radiation efficiency of Dash panel

### 3.3 복구배에 의한 효과

실제 대시 패널 모델의 특정 부분에 복구배를 주어 방사 효율의 변화를 살펴보았다. 대시 패널의 모드 형상을 근거로 하여 주요 모드가 생기는 부분에 복구배를 주었으며, Fig. 3 과 같다.

해석 범위는 100 Hz 부터 500 Hz 까지 10Hz의 간격으로 수행하였으며, 방사 효율은 Fig. 4 와 같다. 모델 (d)의 경우 240Hz 에서 400Hz 까지 2 dB 에서 3 dB 정도 감소된 것을 Fig. 5를 통해 알 수 있다.

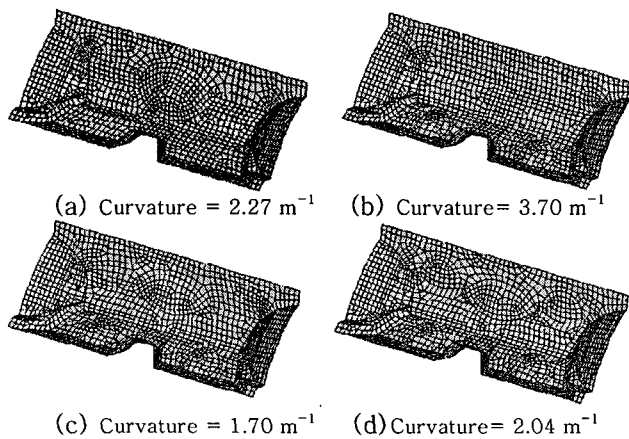


Fig. 3 Modeling with Curved Surfaces of Dash Panel

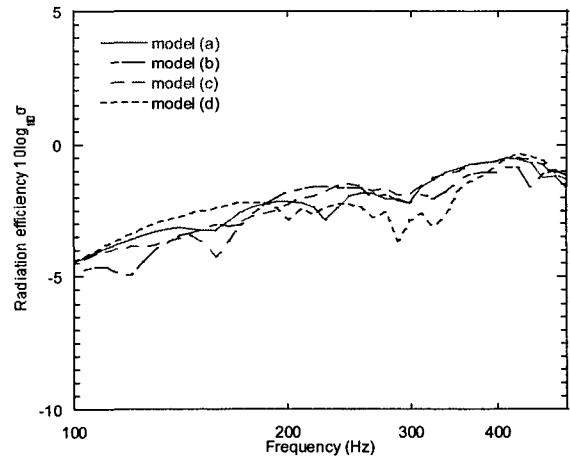


Fig. 4 Radiation efficiency of Dash Panels with Curved Surfaces : from 100 Hz to 500 Hz

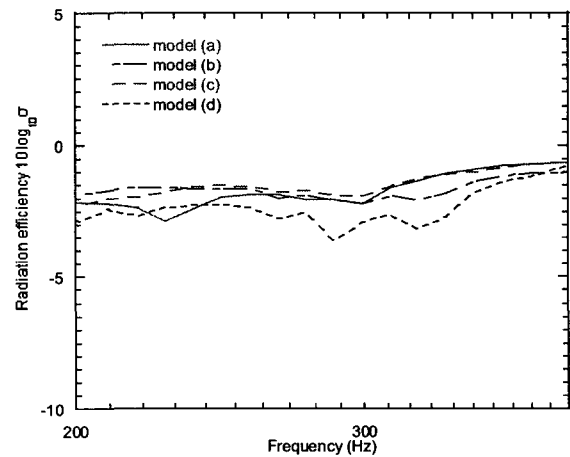


Fig. 5 Radiation efficiency of Dash Panels with Curved Surfaces : from 200 Hz to 400 Hz

## 4. 실험 및 비교

### 4.1 실험 장치 구성

B&K 사의 Type 4810 소형 가진기를 이용하여 패널을 가진한 후, 패널에서 방사되는 인텐시티와 구조물의 표면 속도를 측정하여 방사 효율을 계산하였다.

방사 인텐시티의 측정에는 B&K 사의 Type 4197 인텐시티 프루브 마이크로폰이 사용되었으며, Type 2133을 이용하여 인텐시티를 계산하였

다. 측정 평균 시간은 4 초이며, 측정 방식은 선형으로 하였다.

무향실 내부에 Fig. 6 과 같은 반구 모양의 격자를 설치하였다. 격자는  $\theta$  방향으로  $30^\circ$  간격,  $\phi$  방향으로  $22.5^\circ$  간격으로 모두 48 지점으로 나뉘었으며, 각 격자의 중심에서 수직 방향으로 인텐시티를 측정한 후 격자의 면적을 곱함으로써 방사 파워를 구하였다.

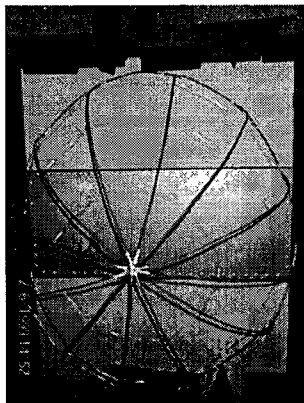


Fig. 6 Hemi-spherical Grid and Baffled Simple Rectangular Plate in an Anechoic Room

속도 측정에는 PolyTec 사의 Laser Scanning Vibrometer 가 사용되었으며, 표면의 속도 스캔을 위한 reference 신호는 가진기의 신호를 이용하였다.  $14 \times 25$  의 밀도로 측정 지점을 나누었으며, 한 지점 당 측정 횟수는 3 번으로 하였으며, 소형 가진기를 이용하여 1/3 옥타브로 125 Hz 부터 500 Hz 까지 가진하였다.

#### 4.2 사각 평판의 방사 효율 측정

FEM-BEM 시뮬레이션을 통해서 얻은 방사 효율 값을 실험값을 비교하기 위하여 먼저 단순한 모델링 사각 평판에 대하여 알아 보았다. Fig.7 과 같이 완전 구속된 사각 평판을 배플시킨 후 방사 효율을 측정하였다. 이때, 소형 가진기의 가진 수준은 3 Vpk 로 하였다. Fig.8 에서 볼 수 있듯이 시뮬레이션을 통하여 얻은 방사 효율 값과 직접 실험을

통해 얻은 방사 효율 값이 비슷하다는 것을 알 수 있다.

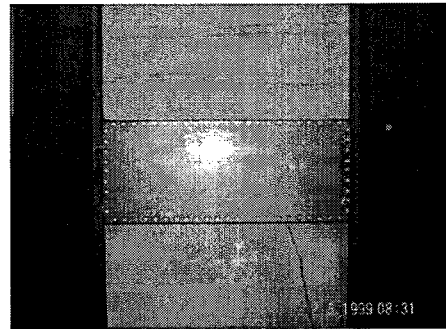


Fig. 7 Baffled Simple Rectangular plate with Fully Clamped boundary condition

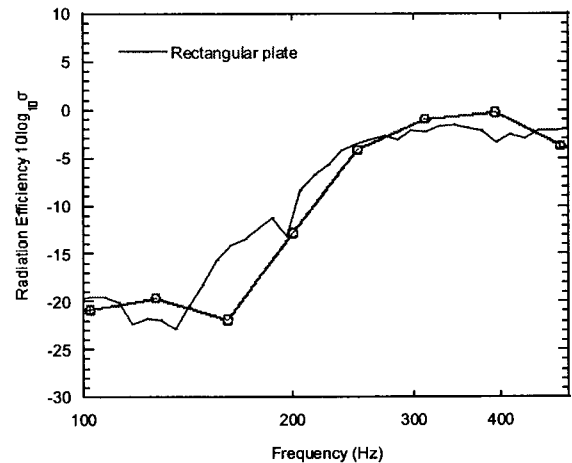


Fig. 8 Comparison between the Numerical Simulation and Experimental Result : Simple rectangular panel

#### 4.3 대시 패널의 방사 효율 측정

Fig.2 의 대시 패널 모델의 방사 효율을 검증하기 위하여 Fig.9 와 같이 대시 패널을 배플시킨 후 소형 가진기로 가진하여 이때 방사되는 인텐시티와 속도를 측정하여 방사 효율을 구하였다. 소형 가진기의 가진 수준은 5 Vpk 로 하였다. 그 결과 Fig.10 과 같은 방사 효율을 얻을 수 있었다. 단순 평판에서와 같이 시뮬레이션을 통해 얻은 결과와 실험 결과가 비슷함을 알 수 있었다.

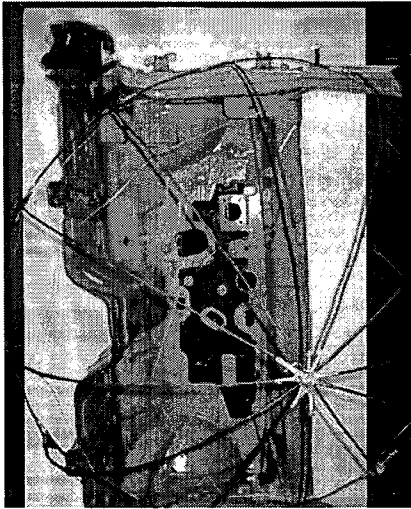


Fig. 9 Hemi-spherical Grid and Baffled Dash Panel in an Anechoic Room

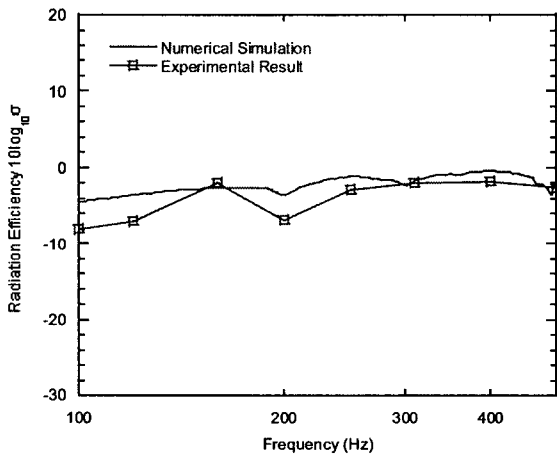


Fig. 10 Comparison between the Numerical Simulation and Experimental Result : Dash panel

의 값이 거의 일치함을 통하여 실제로 적용하여 그 효과를 볼 수 있음을 또한 확인하였다.

### 참고문헌

- (1) Cremer, L., Heckl, M., and Ungar, E. E., 1973, "Structure-borne Sound". Springer-Verlag, Berlin and New York.
- (2) F.J. Fahy, 1987, Sound and Structural Vibration : Radiation Transmission and Response. New York : Academic Press, Inc.
- (3) Ver, I. L., and Holmer, C. I., 1971, "Noise and Vibration Control" (L. L. Beranek, ed.), McGraw-Hill, New York.
- (4) Wallace, C. E., 1972, *J. Acoust. Soc. Am* 51(3), Part 2, 946-952

## 5. 결론

대시 패널의 구조 방사 소음을 줄이기 위하여 주 파라미터를 방사 효율로 정하고 이를 감소 시키기 위하여 복구배의 효과를 조사하였다. 시뮬레이션을 통해 알아본 결과, 대시 패널의 모드 형상과 관련하여 복구배를 줌으로써 패널 전체가 아닌 일정한 주파수 영역에서 방사 효율을 줄일 수 있음을 확인하였다. 시뮬레이션을 통해 얻은 대시 패널의 방사 효율과 실험을 통해 얻은 방사 효율