한국소음진동공학회 2011년 춘계학술대회논문집, pp.520~531

방사소음 및 투과소음에 대한 승용차량 대시패널의 설계인자별 영향도분석

Evaluation of design variables to improve noise radiation and insulation performances of a dash panel component of an automotive vehicle

유지우† · 채기상* · 박철민* · 서진관* · 이기용**

Ji Woo Yoo, Ki-Sang Chae, Chul-Min Park, Jin Kwan Suh and Ki Yong Lee

Key Words : dash panel(대시 패널), vibration(진동), radiation efficiency(방사효율), transmission loss(전달손실), sound package(흡차음재), structure-borne(구조기인), air borne(공기기인)

ABSTRACT

A dash panel component, close to passengers, plays a very important role to protect heat and noise from a power train. Meanwhile, it is also a main path that transfers vibration energy and eventually radiates acoustic noise into the cavity. Therefore, it seems important to provide an optimal design scheme incorporating sound packages such as dash isolation pad and carpet, as well as structures. The present study is the extension of the previous investigation how design variables affect sound radiation, which was carried out using the simple plate and framed system. The system taken into account in this paper is a dash panel component of a sedan, which includes A pillar, front side member, dash panel and the corresponding sound packages. Design variables such as panel thickness and sound package layers are investigated how they are related for the better radiation performance (i.e. structure-borne) and sound transmission loss (i.e. air borne).

1. 서 론

차량 Dash panel 부위는 승객과 가장 인접하여, 열, 소음을 차단하는 중요한 기능을 하는 동시에, 에너지가 실내로 전달되는 경로상에 위치하여, 소음의 일부가 공기기인으로 실내로 전달되고, 엔진룸 부재의 가진에 의한 구조가진을 일으킨다. 이러한 특성상, NVH (noise, vibration and harshness) 성능개발을 위해, 구조와 흡차음재를 최적화하여 적용하는 것이 중요하나, 구조변경 가능성이나 다양한 흡차음재 레이어 등 다양한 설계변수로 인해, 최적의 조합을 찾아내기 위한 시험적 검토가 매우 어려운 실정이다.

이러한 관점에서, 시뮬레이션은 효과적인 대안이 될 수 있으며, 본 논문은 Dash panel component의 주요 설계변수의 변경에 따른 NVH 성능 영향도를 시뮬레이션에 기반하여 검토하고자 하였다. 검토된 성능은 소음방사성능 (구조가진에 의한 Dash panel의 방사소음, Sound radiation)과 전달손실 (공기가진에 의한 에너지 전달손실 성능, Transmission loss)이다.

당사에서는 단순구조물에 대해 유사한 연구[1] 를 진행한 바 있는데, 구조물과 흡차음재를 통합하는 모델링 기법을 사용하였으며, 시험결과를 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 이 연구는 그 연장선 상에 있으나, 단순구조물에 의한 원리해석이 아니라, 실차의 구조물을 현실적으로 검토하여, 설계에 도움이 되는 방안을 검토하였다. 소음방사성능인 방사파워가 기본적으로 다루어지며, 필요시 방사효율도 언급

† 교신저자; 정회원, 현대자동차 차량해석팀
E-mail : j.w.yoo@hyundai.com
Tel : 02-3464-7676, Fax : 031-368-2733
* 현대자동차 차량해석팀
** NVH Korea ㈜ 시험평가팀

되었다.

본 연구는 크게 3개의 해석적 연구로 나누어진다. 우선 흡차음재 (Dash isolation pad, Floor carpet)가 적용되지 않은 Bare 구조에서, 구조가진에 의한 방사파워를 검토하였다. 그리고, 흡차음재를 포함한 경우의 방사파워를 검토함으로써, 흡차음재가 어떻게 구조가진에 의한 방사파워에 영향을 주는지 검토하였다. 마지막으로, 흡차음재가 포함된 경우의 전달손실 성능을 검토함으로써, 방사성능과 전달손실을 동시에 비교하고자 하였다.

2. 해석모델 개요

2.1 대상구조물

본 연구는 다양한 설계조건을 검토하기 위하여 시뮬레이션 위주로 진행되었다. 이를 위해 대상 시스템은 대시 구조물에 흡차음재가 장착된 Fig. 1과 같은 범위의 모델이 선정되었다.

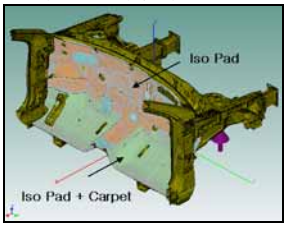

Fig. 1 A simulation model of a dash system to calculate sound radiation power (FE+SEA with sound package characteristics)

해석모델의 상관성 확보는 시뮬레이션 진행의 필요조건이라고 할 수 있다. 특히 흡차음재의 장착조건 반영이 필요한데, 이를 위해 1차적으로 시편에 의한 전달손실을 측정 한 후 상관성을 확보하였으며, 이때 구해진 물성치를 반영하여 Fig. 1에서 보인 대시 시스템 모델의 방사파워를 계산, 측정한 결과와 비교하였다 (Fig. 2).

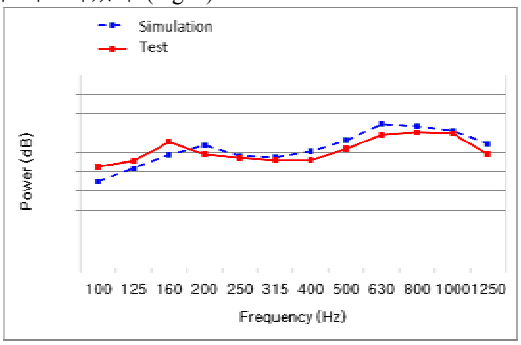

Fig. 2 Radiation powers of the simulation and experiment when sound packages attached

결과는 특히 주요 관심대역인 250 Hz 이상 대역에서 방사파워가 시험-해석간 잘 일치하는 것을 보여주며, 해석모델의 기본적인 상관성이 확보되었다고 판단된다.

해석특성에 맞는 모델이 Table 1에 요약된 바와 같이 각각 구성되었으며, 상세 설명은 다음 절에 나타내었다.

Table 1 Modeling characteristics of a dash system to predict NVH performances

구분	에너지 전달특성	검토 성능	주파수대역 (Hz)	해석 모델 특성
방사 성능	구조전달	방사 파워	250~1250	FE+SEA
전달 손실	공기전달	전달 손실	250~6300	SEA

2.2 방사성능 해석개요

구조물의 진동에 의해 소음이 유발될 때, 방사 소음의 파워 (Radiation power), 방사효율 (Radiation efficiency), 구조물의 진동속도는 다음과 같은 관계로 규정된다[2].

$$W = \rho c S \left\langle \overline{v^2} \right\rangle \sigma \qquad (1)$$

여기서, W는 방사소음파워 (Watt), ρ 는 공기밀도, c 는 음속, S는 방사체의 면적, v는 구조물의 진동속도, σ 는 방사효율이다. 이 식에서 알 수 있듯이 방사파워는 방사효율이 크거나, 진동량제곱에 비례하는 것을 알 수 있다.

방사소음 (즉, 방사파워) 예측을 위한 해석모델은 Fig. 1과 같으며, Dash iso pad와 Carpet의 평균두께를 부위별로 계산한 후, 각 레이어 특성을 반영하여, 진동해석모델에 적용하였다. 가진은 Front side member의 엔진 마운트 위치에 단위힘을 주었다. 상용 프로그램인 VA1으로 방사소음파워 (Eq. (1)의W)를 바로 구할 수 있다.

흡차음재의 각 레이어 구성(layer-up)은 다음 Table 2와 같다.

Table 2 A baseline layer-up of sound packages

Dash Iso Pad	Panel + PU Foam + Film + PET
Floor Carpet	Panel + PE + LATEX + N/P

2.3 전달손실 해석모델

전달손실 성능은 흡차음재 장착시스템의 특성을 검토하는 주요한 지표이다. 잔향실 가진에 의한 전

형적인 전달손실 모델을 Fig. 3과 같이 SEA모델로 구성하였으며, 흡차음 특성이 반영되어 있다.

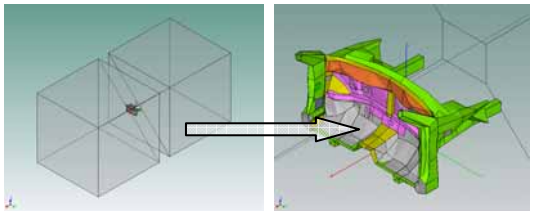

Fig. 3 A simulation model of a dash system to calculate transmission loss (SEA with sound package characteristics)

전달손실은 다음과 같은 수식으로 정의된다.

$$TL = -10\log_{10}^{\tau} \qquad (2)$$

여기서 τ 는 입사 에너지에 대한 전달 에너지의 비로부터 구해진다[3].

3. 해석 결과

3.1 구조변경에 의한 방사파워 (흡차음재 부착 전)

구조변경은 설계가 가능하다고 판단되는 수준으로 고려하였다. 주로 두께의 변경, Dash panel 보강 횡부재 변경, 복곡처리가 되어 있는 부위의 곡률변경 등이다. 그 내용은 아래 Table 3 과 같다.

Table 3 Design study cases of structural modifications

Case 별		모델설명
A	A1	횡부재 삭제
B	B1	Dash Panel 두께 – 0.4t
	B2	Dash Panel 두께 – 0.2t
	B3	Dash Panel 두께 + 0.2t
	B4	Dash Panel 두께 + 0.4t
C	C1	횡부재 두께 – 0.2t
	C2	횡부재 두께 + 0.2t
	C3	횡부재 두께 + 0.4t
D	D2	Cowl Inner Lower 두께 -0.2t
	D3	Cowl Inner Lower 두께 +0.2t
	D4	Cowl Inner Lower 두께 +0.4t
E	E1	횡부재 높이 20 mm 상향
F	F1	Dash Panel RH Upper 곡률증가 (d=20 mm → 40 mm)

방사파워 해석결과는 Fig. 4와 같다. 200 Hz 이하 대역에서는 차이가 커지는데, 이는 구조 변경에 따른 고유진동수의 천이가 크게 나타나기 때문이다. 250 Hz 이상대역에서 1/3 Octave 주파수 평균값의 차이가 크지 않으나, 각 변경안 별로 기본 모델 (Baseline model, B0)과 차이가 많이 나는 안을 선별하여, 기본 모델과의 차이값 (dB차이)으로 Fig. 5에 나타내었다.

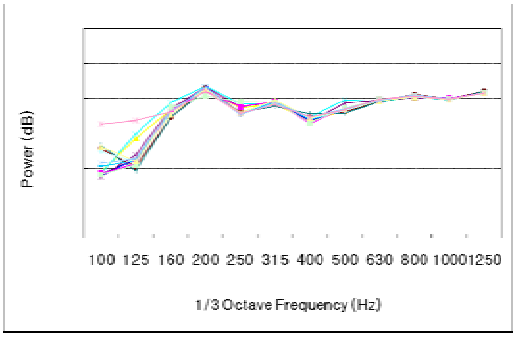

Fig. 4 Radiation power (dB) of dash systems according to structural modifications

Dash panel의 두께 감소, Cowl inner lower panel의 두께 증가시 250, 400, 500 Hz에서 방사파워의 증가, 횡부재의 삭제시 250 Hz에서 파워증가 및 315, 500 Hz에서 파워의 감소를 확인할 수 있다 (최대 2-4 dB). Cowl inner lower의 두께 감소(D2)와 Dash panel 두께 증가 (B4)는 일부 성능개선이 있었으나, 최대 성능개선이 1 dB이상을 넘지 못하였다. 250 Hz 이상에서 곡률변경이나, 횡부재 변경안의 영향은 크지 않았다.

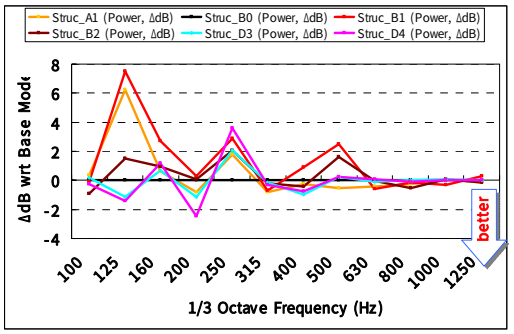

Fig. 5 Radiation power differences in dB according to structural modifications (with respect to the baseline model. No sound packages attached)

3.2 흡차음재 부착후 방사파워

(1) 구조변경에 의한 방사파워

앞 절에서 검토된 구조변경의 영향이 큰 항목에 대하여, 방사파워를 비교한 결과가 Fig. 6이다. 흡차음재 적용 이전의 결과와 비교시 (250 Hz이상), 방사파워의 경향이 다르게 나타난다. 즉, Dash panel 두께가

감소하는 경우 250, 315, 630 Hz에서 방사파워가 줄어들어, 성능이 개선된다는 것이다. 개선량이 적으나 횡부재를 삭제하는 경우에도 315 Hz에서 같은 경향을 보인다 (100 Hz 이하로 갈 경우 성능악화). Cowl inner lower의 경우 앞 절과 유사하게 250, 315 Hz에서 악화되는 현상을 보인다.

패널 두께가 감소하는데도, 방사파워가 개선되는 현상이 관찰된다. 방사파워는 방사체의 진동량과 방사효율의 영향을 받는데 (2.2절 참조), 이 경우 방사효율이 적어지는 것이 주된 이유로 추정된다. 멤버를 삭제하는 경우 방사효율이 적어지는 것은 기존 연구에서 이미 검토된 바 있으며[1,4], 보강재 삭제에 의한 방사면적 축소도 영향을 준 것으로 추정된다.

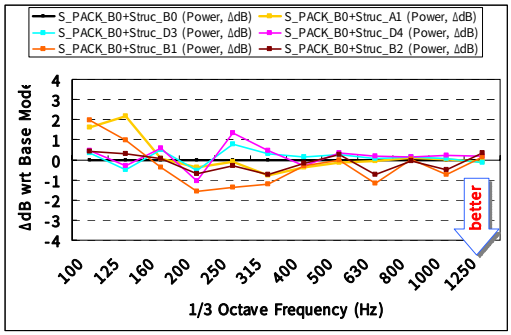

Fig. 6 Radiation power differences in dB according to structural modifications (with respect to the baseline model. Sound packages attached)

(2) 흡차음재 적용시 방사파워에 영향을 주는 모드 분석

흡차음재를 적용함으로써, 어떤 주파수의 방사파워는 줄어드는 반면, 다른 주파수의 방사파워는 줄어들지 않는 현상이 발견되었다. 아래 Fig. 7은 흡차음재가 적용되지 않은 경우, 구조변경 (D4)에 의해 방사파워가 변한 양 (ΔdB)을 도시한 것이다. 226, 252, 342 Hz (Narrow band)에서 구조변경으로 방사파워가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나, 흡차음재를 적용할 경우 226 Hz와 342 Hz 의 파워는 그대로 커지지만, 252 Hz 피크는 사라지는 것을 확인하였다.

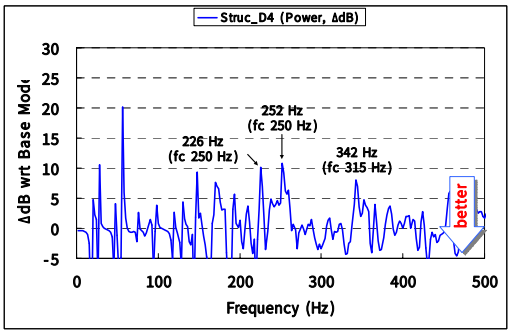

Fig. 7 Radiation power differences in dB between case D4 and the baseline model (no sound packages attached)

각각의 모드를 검토한 결과 Fig. 8과 같이 대시 전체가 움직이는 경우 (즉 Monopole)인 경우 피크가 남아있지만, 252 Hz와 같이 위상이 반대가 되는 경우 (Dipole) 방사파워가 현저히 낮아지는 것을 확인하였다.

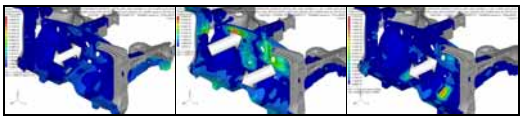

Fig. 8 Mode shapes of natural frequencies of 226, 252 and 342 Hz

(3) 흡차음재 특성에 의한 방사파워

구조를 기본모델로 고정한 후 Dash iso pad의 레이어가 변하는 경우에 대해 검토하였다. 각 레이어는 차량에 주로 쓰이는 안을 위주로 검토하였으며, Table 4와 같다

Table 4 Layer-up cases of dash isolation pad for design study

구분	레이어 구성 (Panel +)		비고 (면밀도)
Dash Iso Pad	P1	PU+Film+PET a	기본모델
	P2	PU+Film+TPE+PET a	-
	P3	PU+Film+TPE+PET b	b < a

중간에 TPE 가 들어간 흡차음형(P2)의 방사성능이 유리하고, 면밀도가 낮은 경우(P3) 불리한 것을 확인할 수 있다 (Fig.9). 250-1250 Hz 대역에서 유불리의 특성이 바뀌지 않으며, 600-800 Hz 대역이 가장 효과적인 것을 알 수 있다.

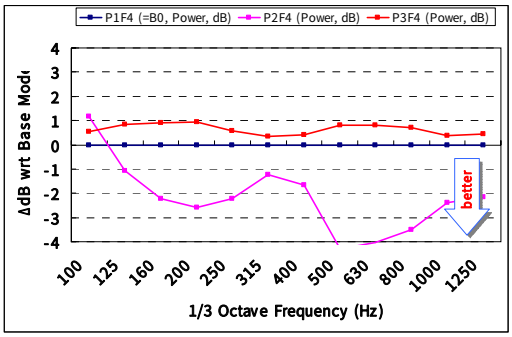

Fig. 9 Radiation power differences in dB according to modifications of dash isolation pad layer-up (with respect to the baseline model)

3.3 흡차음재 부착후 전달손실

(1) 구조변경에 의한 전달손실

방사특성 검토시에 차이가 많이 났던 3.1절의 구조변경안 위주로 검토된, 전달손실 특성을 Fig. 10에 도시하였다. 면밀도의 특성이 그대로 나타나고 있음을 알 수 있다. 횡부재의 삭제 (A1) 역시 에너지 전달면에서 불리하므로, 성능이 악화되는 것을 확인할 수 있다. 차이가 많이 나는 주파수 대역은 주로 1000 Hz 이하의 저주파수 대역이다.

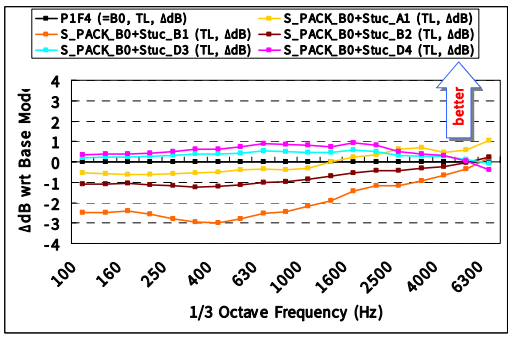

Fig. 10 TL differences in dB according to structural modifications (with respect to the baseline model. Sound packages attached)

(2) 흡차음재 특성에 의한 전달손실

Dash iso pad 레이어 변경(Table 4)에 따른 전달손실 특성은 Fig. 11과 같다. 하드레이어가 들어있는 경우 800 Hz 이상에서 유리하다. 반면, 250-600 Hz에서는 불리한데, 이 대역의 방사소음이 유리한 것과는 다른 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 면밀도가 낮아지는 경우 전달손실은 전대역에서 불리해지는 것을 알 수 있다 (방사소음에서도 불리).

구조변경의 결과 (Fig. 10)과 비교할 경우, 대체로 1 kHz이하에서는 구조변경에 의한 차이가 크고, 그 이상에서는 Iso pad 변경에 의해 차이가 커지는 것을 알 수 있다.

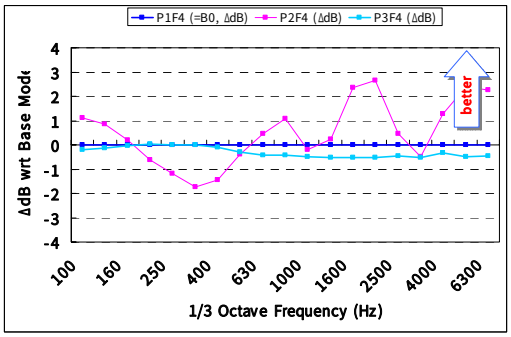

Fig. 11 TL differences in dB according to modifications of dash isolation pad layer-up (with respect to the baseline model)

4. 결 론

대시 시스템의 구조기인 방사성능, 공기기인 전달손실 해석을 실시하였다. 250 Hz 이상 대역에서 구조변경, 흡차음재 변경에 따른 각각의 성능을 검토하였으며, 다음과 같은 특징을 알 수 있었다.

(1) 전달손실특성은 1 kHz 이하에서는 구조변경의 영향이 크고, 그 이상에서는 흡차음재 변경의 영향이 크다.

(2) 대시 패널 두께의 축소는 전대역에서 전달손실 성능을 악화시키는 반면, 250, 315, 630 Hz 대역에서 방사성능을 개선시킨다. 이것은, 흡차음재를 장착한 경우, 두께 축소에 의해 방사효율이 이 대역에서 낮아지기 때문으로 추정된다.

(3) 흡차음재를 적용함으로써, 대시 시스템 모드의 방사성능 기여도가, 모드에 따라 달라지는 것을 확인하였다. 하나의 가진원(Monopole)을 가지는 경우에 비해, 모드가 2 개의 가진원을 역위상으로 가지는 경우(Dipole) 방사성능이 개선되는 것을 확인하였다.

(4) 성능개선의 관점에서, 방사성능과 전달손실 성능이 일치하는 것은 아니며, 이것은, 구조기인 및 공기기인 특성을 모두 고려할 필요가 있음을 시사한다.

참고문헌

(1) Lim, C., Yoo, J. W., Park, C. M. and Jo, J. H., 2010, Study on acoustical radiation from simplified systems of a dash Structure for NVH Performance, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering , Vol. 20, No.10, pp.931~939.

(2) Xie, G., Thompson, D. J. and Jones, C. J. C., 2005, The radiation efficiency of baffled plates and strips, Journal of Sound and Vibration, Vol. 280, pp. 181~209.

(3) Bies, D. A. and Hansen, C. H., 1996, *Engineering Noise Control*, E& FN Spon, London.

(4) Kamura, T., Utsunomiya, A., Sugihara, T. and Tobita, K., 1997, Improvement of road noise by reduction of acoustic radiation from body panels, JSAE 9741126.