

방사소음 및 투과소음에 대한 승용차량 대시패널의 설계인자 별 영향도 분석

Evaluation of Design Variables to Improve Sound Radiation and Transmission Loss Performances of a Dash Panel Component of an Automotive Vehicle

유 지 우* · 채 기 상* · 박 철 민* · 서 진 관* · 이 기 용**

Ji Woo Yoo, Ki-Sang Chae, Chul-Min Park,

Jin Kwan Suh and Ki Yong Lee

(2011년 9월 20일 접수 ; 2011년 11월 18일 심사완료)

Key Words : Dash Panel(대시 패널), Vibration(진동), Sound Radiation(소음방사), Transmission Loss(전달손실), Sound Package(흡차음재), Structure-borne(구조기인), Air Borne(공기기인), FE-SEA Hybrid Model(FE-SEA 하이브리드 모델)

ABSTRACT

While a dash panel component, close to passengers, plays a very important role to protect heat and noise from a power train, it is also a main path that transfers vibration energy and eventually radiates acoustic noise into the cavity. Therefore, it is important to provide optimal design schemes incorporating sound packages such as a dash isolation pad and a floor 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. A novel FE-SEA hybrid simulation model is used for this study. The system taken into account is a dash panel component of a sedan vehicle, which includes front pillars, front side members, a dash panel and corresponding sound packages. Design variables such as panel thicknesses and sound packages are investigated how they are related to two main NVH indexes, sound radiation power(i.e. structure-borne) and sound transmission loss(i.e. air borne). In the viewpoint of obtaining better NVH performance, it is shown that these two indexes do not always result in same tendencies of improvement, which suggests that they should be dealt with independently and are also dependent on frequency regions.

1. 서 론

* 교신저자; 정회원, 현대자동차 차량해석팀
E-mail : j.w.yoo@hyundai.com
Tel : (031)368-0394, Fax : (031)368-2733

* 현대자동차 차량해석팀

** NVH Korea (주)시험평가팀

이 논문의 일부는 2011년 춘계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

차량의 대시 패널 부위(dash panel component)는 승객과 가장 인접하여, 열, 소음을 차단하는 중요한 기능을 하는 동시에, 에너지가 실내로 전달되는 경로 상에 위치하여, 소음의 일부가 공기기인으로 실내로 전달되고, 엔진룸 부재의 가진에 의한 구조진동을

일으킨다⁽¹⁾. 이러한 특성상, 승용 차량의 NVH(noise, vibration and harshness) 성능개발을 위해, 구조와 흡차음재를 최적화하여 적용하는 것이 중요하나, 구조변경 가능성이나 다양한 흡차음재 레이어(sound package layer) 등 복잡한 설계변수로 인해, 최적의 조합을 찾아내기 위한 시험적 검토가 매우 어려운 실정이다. 이러한 관점에서, 시뮬레이션은 효과적인 대안이 될 수 있으므로 이 논문은 이를 활용하였다.

검토된 성능은 방사소음과 투과소음이며, 이는 각각 구조전달에 의한 성능과 공기전달에 의한 성능을 대표한다, 방사소음에 대해서는 대시 패널의 소음 방사 파워(sound radiation power, dB)를, 투과소음에 대해서는 전달손실(transmission loss, TL, dB)을 평가기준으로 하였다.

저자는 단순구조물에 대해 유사한 연구⁽²⁾를 진행한 바 있는데, 구조물과 흡차음재를 통합하는 모델링 기법을 사용하였으며, 시험결과를 잘 묘사하는 것으로 나타났다. 또한, 흡차음재 뿐만 아니라 구조물과 제진재의 특성도 중요한 역할을 한다는 것을 확인한 바 있다. 이 연구는 그 연장선 상에 있으나, 단순구조물에 의한 원리해석이 아니라, 실차의 구조물을 현실적으로 검토하여, 설계변경에 따라 NVH 특성이 어떻게 변하는지를 검토하는 것이 목적이다.

연구는 크게 3개 부분으로 나누어진다. 우선 흡차음재가 적용되지 않은 순수 구조물(bare structure)을 검토하고, 흡차음재를 포함한 경우의 방사파워를 검토함으로써, 구조가진에 의한 방사파워에 흡차음재가 어떻게 영향을 주는지 검토하였다. 마지막으로, 흡차음재가 포함된 경우의 TL 성능을 검토함으로써, 두 성능을 동시에 비교하고자 하였다.

2. 해석모델 개요

이 연구에 사용된 해석 모델과 특성을 Table 1에 요약하였다. 해석모델은 목적에 따라 FE와 SEA를 연성하는 FE-SEA 하이브리드 모델과 순수 SEA 모델로 구분된다.

에너지가 구조전달 특성을 가지는 경우 가장 중요한 것은 구조물의 모드 특성(그리고 그 모드에 의한 소음방사)이며, 이는 거동을 평균적인 에너지 값으로 예측하는 순수 SEA 모델로는 표현하기 어렵다.

이 경우 구조부분은 FE로 모델링하고 흡차음재 부분과 공기는 SEA 특성으로 모델링하여 연성시킴으로써 그 특성 예측이 가능하다⁽³⁾.

반면, 에너지가 공기기인 특성을 가지는 고주파 해석의 경우(예, TL 해석) 특정 모드의 영향이 상대적으로 중요하지 않게 되어, 순수 SEA 모델로 해석이 가능하다. 이런 각각의 특성에 따라 해석모델을 이원화 하였으며, 모두 상용 프로그램인 ESI사의 VAI를 이용하였다⁽⁴⁾.

2.1 방사성능 해석 개요

구조물의 진동에 의해 소음이 유발될 때, 방사소음 파워, 방사효율(radiation efficiency), 구조물의 진동속도는 다음과 같은 관계로 규정된다⁽⁵⁾.

$$W = \rho c S \sqrt{v^2} \sigma \tag{1}$$

여기서, W 는 방사소음파워 (Watt), ρ (kg/m³)는 공기밀도, c (m/s)는 음속, S (m²)는 방사 면적, v (m/s)는 구조물의 진동속도(시간-공간에 대해 평균한 rms 진동속도), σ 는 방사효율이다.

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

	Energy transfer path	Investigated physical quantity	Frequency (Hz)	Simulation model
Sound radiation	Structure-borne	Radiation power	250~1250	FE-SEA hybrid
Transmission loss	Air borne	TL	400~6300	SEA only

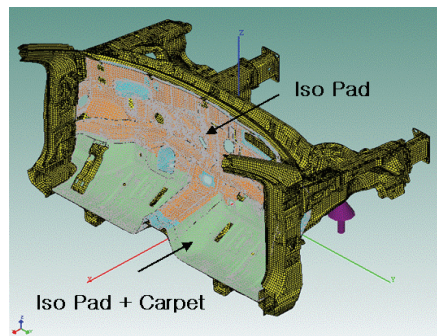


Fig. 1 A simulation model of a dash system to calculate sound radiation power(FE+SEA with sound package characteristics)

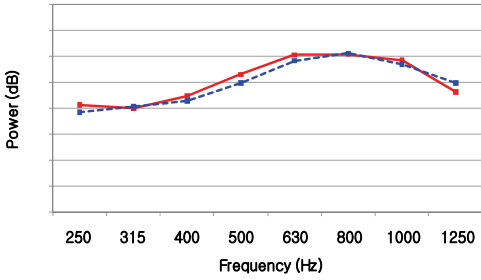


Fig. 2 Radiation powers of the simulation and experiment when sound packages attached (dashed, simulation; solid, test. 10 dB/grid)

방사소음 해석을 위해 사용된 하이브리드 모델은 Fig. 1과 같다. 구조 부위는 FE 모델로 구성되어 모드 특성을 반영하며, 흡차음재는 추출된 물성치 (Biot's parameter)⁽⁶⁾ 및 평균 두께를 반영하는 SEA 모델을 사용하였다. 하중은 엔진룸 부재(front side member)의 대시 패널 근접 부위에 힘(force, 측정값 또는 단위 힘)을 주었다.

해석모델의 상관성 확보는 시뮬레이션의 필요조건이다. 특히, 흡차음재의 특성이 잘 반영되는지 확인이 필요하다. 이를 위해, 우선 단순 사각 시편에 의한 TL을 측정 한 후 상관성을 확보하였으며⁽²⁾, 방사파워를 계산, 측정된 결과와 비교하였다(Fig. 2). 방사파워의 측정은 해석과 동일한 위치에서의 가전에 대하여, 방사면에서의 사운드 인텐시티(sound intensity)를 측정하여 방사면 면적을 곱하면 계산할 수 있다. 주요 관심대역인 250 Hz 이상에서 방사파워가 해석-시험 간 잘 일치하므로 상관성이 확보되었다고 판단된다.

2.2 전달손실 해석 개요

TL은 흡차음재 장착시스템의 특성을 검토하는 주요한 지표이다. 방사파워와 함께 TL에 대해서도 검토하였다. 전달손실은 다음과 같은 수식으로 정의된다.

$$TL = -10\log_{10}^{\tau} = -10\log_{10}^{I_t/I_i} \quad (2)$$

여기서 $\tau = I_t/I_i$ 는 입사 파워에 대한 전달 파워의 비이다⁽⁷⁾. 사용된 TL 모델은 Fig. 3과 같으며, 패널, 공기 등 모든 요소를 SEA 모델로 구성하였고, 방사성능해석에 사용된 흡차음재 특성이 그대로 적용되었다.

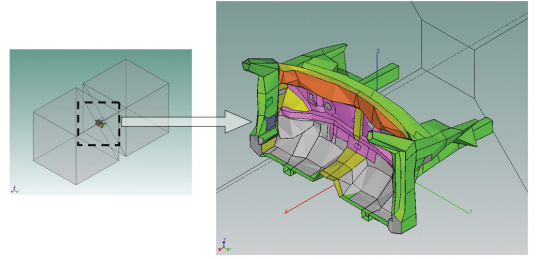


Fig. 3 A simulation model of a dash system to calculate transmission loss(SEA model with sound package characteristics)

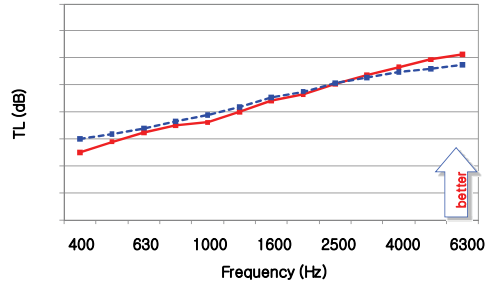


Fig. 4 TLs of the simulation and experiment when sound packages attached(dashed, simulation; solid, test. 10 dB/grid)

이 연구에서는 해석결과의 검증을 위해, 잔향실-무향실 법에 의해 TL을 측정하였으며, 관련된 시험 방법은 ISO 140/3, KS F 2808과 같은 시험표준에 잘 설명되어 있다.

TL의 해석-시험 비교 결과, Fig. 4와 같이 평균 오차 3 dB 미만의 신뢰성을 보임을 확인하였다.

3. 해석 결과

3.1 방사파워 특성

(1) 구조변경에 의한 방사파워

구조변경과 관련된 대표적인 검토안을 Table 2에 요약하였다. 기본모델(baseline model, case B0)은 최초 설계안 기준이며, 구조변경 시 흡차음재는 기본 사양(Table 3 참조) 기준으로 검토하였다. 횡부재(dash cross member)는 차량의 안전 및 강도 향상을 위해, 양쪽 프론트 필라(front pillar)에서 시작하여 대시 패널 전면에 용접되는 부재이며, case D1은 NVH 관점에서 이 부재의 특성을 검토하기 위해 부재를 절삭하여 제거한 경우에 해당한다.

Table 2 Design study cases of structural modifications

Case	Modification details
B1	Dash panel thickness - 0.4t
B2	Dash panel thickness - 0.2t
C3	Cowl panel thickness + 0.2t
C4	Cowl panel thickness + 0.4t
D1	Removal of dash cross member

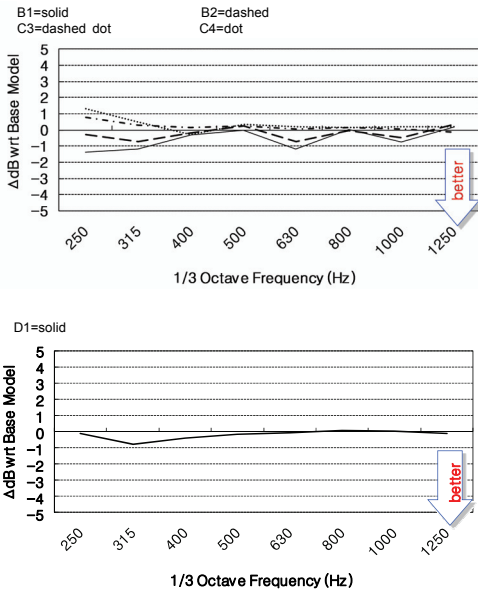


Fig. 5 Radiation power differences in dB according to structural modifications(with respect to the baseline model. Upper figure for cases B and C and lower for case D)

각 변경안에 대해 계산된 방사파워와 기본 모델 B0와의 방사파워 차(ΔdB차)를 1/3 옥타브 밴드 기준으로 관심대역인 250~1250 Hz에서 비교하여 Fig. 5에 나타내었다.

대시 패널 두께가 감소하는 경우 250, 315, 630 Hz에서 방사파워가 줄어들어, 성능이 개선되었다. 반면, 카울 부재(cowl panel)의 경우 두께가 커질 때 250, 315 Hz에서 악화되는 현상을 보인다.

패널 두께가 감소하는데도, 방사파워가 개선되는 현상이 관찰된다. 방사파워는 식 (1)과 같이 방사체의 진동량과 방사효율의 영향을 받는데, 이 경우 방사효율이 적어지는 것이 주된 이유로 추정된다. 카울 부재의 경우, 방사체의 관점에서 볼 때 가장자리에 해당하며, 가장자리의 경우 특히 강성이 높아지면

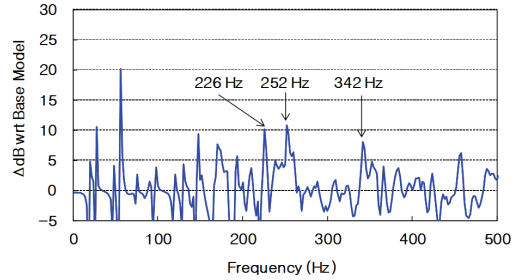


Fig. 6 Radiation power differences in dB between case C4 and the baseline model(when no sound packages attached)

(즉 두께가 높아지면) 방사효율이 올라간다. 이 결과는 이러한 현상으로 이해된다.

횡부재를 삭제할 경우에도 예상과 달리, 315 Hz 대역을 포함해서 대부분의 영역에서 성능이 개선되었다. 강성 부재를 삭제하는 경우, 방사효율이 적어지는 것은 기존 연구에서 이미 검토된 바^(2,8) 있는데, 강성부재 삭제에 의해 진동레벨은 증가할 수 있으나, 방사효율 자체는 감소하게 되어 결과적인 방사파워의 감소를 야기한다는 것이다(이 결과가 저주파 대역 즉 횡부재 진동모드와 직접 연관되는 모드 대역에서의 성능도 동일하게 개선된다는 것을 의미하지는 않는다. 이 연구의 주요 관심 부분은 아니지만, 횡부재의 삭제는 저주파 대역에서 일반적으로 성능악화를 야기할 것이다).

위에서 관찰된 결과들은 특히 구조물의 변경이 일반적인 예측과 다르게 나타날 수 있음을 보여주는 예이다. 구조체의 소음방사는 방사효율과 연관되어, 복잡한 양상을 보이므로, 일반적인 설계가이드를 제시하는 것이 어렵고, 구조물의 형상, 가진원의 형태 등에 따라 달라질 것이다. 이런 경우, 해석 모델을 이용한 설계개념 검토는 매우 효과적인 방법이 될 수 있음을 알 수 있다.

(2) 모드 특성 분석

흡차음재를 적용함으로써, 특정 주파수의 방사파워는 줄어드는 반면, 다른 주파수의 방사파워는 줄어들지 않는 현상이 발견되었다. Fig. 6은 흡차음재가 적용되지 않은 경우, 구조변경(C4)에 의해 방사파워가 변한 양(ΔdB)을 도시한 것이다. 226, 252, 342 Hz에서 구조변경으로 방사파워가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나, 흡차음재를 적용할 경우 226 Hz와 342 Hz의

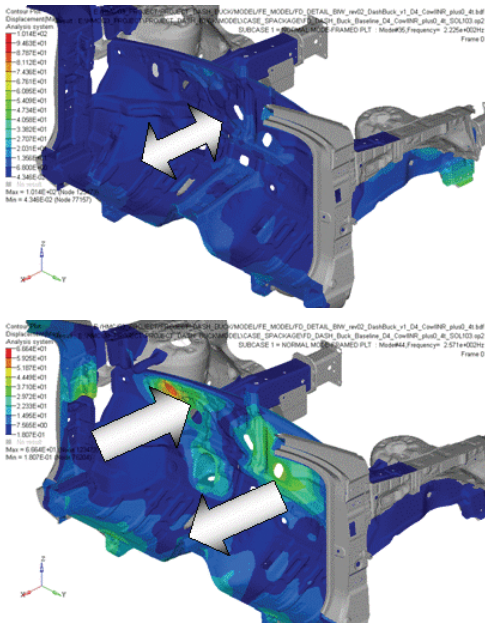


Fig. 7 Mode shapes of natural frequencies of 226 and 252 Hz

Table 3 Layer-up cases of dash isolation pad for design study

Case	Layer-up(panel +)	Note(surface density)
P1	PU+Film+PET a	Baseline model
P2	PU+Film+TPE+PET a	-
P3	PU+Film+PET b	b < a

파워는 그대로 커지지만, 252 Hz 피크는 사라지는 것을 확인하였다.

해당 주파수 대역의 고유 모드를 검토한 결과 Fig. 7과 같이 대시 전체가 하나의 위상으로 움직이는 경우 피크가 남아 있지만, 252 Hz와 같이 위상이 반대가 되는 2개의 가진원을 가지는 경우 방사 파워가 현저히 낮아지는 것을 확인하였다. 즉, 2개의 반대위상 음원에 대해 흡차음재 적용은 결과적으로 방사파워를 크게 낮추는 것을 알 수 있다 (이 결과가 대시와 아주 근접한 부위의 음압, 즉 근접장 음압을 낮춘다는 것을 의미하는 것은 아니다. 근접장의 경우 여전히 거동 즉 진동변위에 의한 음압은 발생한다⁹⁾).

(3) 흡차음재 특성에 의한 방사파워 구조와 플로어 카펫을 기본모델로 고정한 후 대시

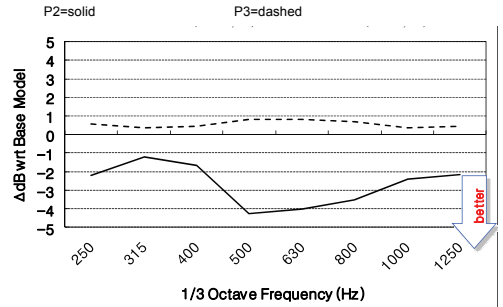


Fig. 8 Radiation power differences in dB according to modifications of dash isolation pad layer-up(with respect to the baseline model)

패드(dash isolation pad)의 레이어가 변하는 경우 (Table 3)에 대해 검토하였다.

중간에 하드 레이어(hard layer)의 일종인 TPE가 들어간 흡차음형(P2)의 방사능능이 유리하고, 면밀도가 낮은 경우(P3) 불리한 것을 확인 할 수 있다 (Fig. 8). 250~1250 Hz 대역에서 유효불리의 특성이 바뀌지 않으나, 소음저감 폭은 주파수 대역에 따라 다른 것을 알 수 있다.

3.2 전달손실 특성

(1) 구조변경에 의한 TL

Table 2의 구조 변경안에 대해, TL 특성을 Fig. 9에 도시하였다. 면밀도의 특성이 그대로 나타나고 있으며, 따라서, 앞의 방사파워(Fig. 5)와는 성능개선의 경향이 반대가 됨을 알 수 있다. 차이가 많이 나는 주파수 대역은 주로 1 kHz 이하의 저주파수 대역임을 알 수 있다.

형부재 삭제의 경우에 대한 TL은 이 논문에서 포함하지 않았다. 이는 TL계산에 사용되는 SEA 모델은 기본적인 목적이 공기기인 특성 변경(즉 흡차음재 특성)을 검토하기 위한 모델로서, 동일한 구조에서 두께(즉, 면밀도)가 바뀌는 경우에는 그 경향을 파악하는 것이 가능하지만, 형부재의 삭제와 같이 구조자체가 바뀌는 것에 대해 그 해석 신뢰성이 확보되었다고 보기 어렵기 때문이다.

(2) 흡차음재 변경에 의한 TL

Table 3에 보인 변경안에 대한 TL 특성은 Fig. 10과 같다. 전반적으로 방사파워와 TL 성능에 기여하는 흡차음재의 유효불리 경향은 유사하다고 할 수 있다.

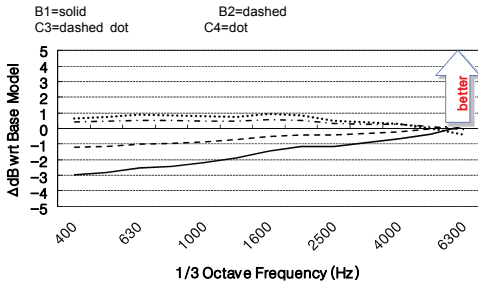


Fig. 9 TL differences in dB according to structural modifications(with respect to the baseline model)

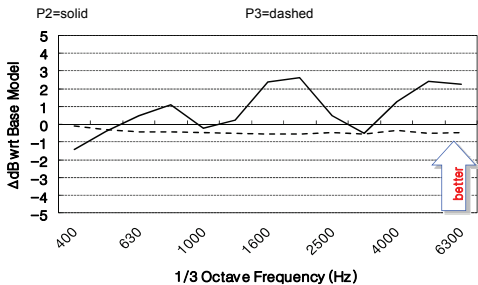


Fig. 10 TL differences in dB according to modifications of dash isolation pad layer-up (with respect to the baseline model)

주파수 대역별로 좀더 상세히 관찰하면, 흡차음형의 경우 800 Hz 이상에서 유리한 반면, 400~600 Hz에서는 불리한데, 이 대역의 방사소음이 유리한 것과는 다른 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 면밀도가 낮아지는 경우, 방사소음과 마찬가지로 TL도 전대역에서 불리해지는 것을 알 수 있다.

구조변경의 결과(Fig. 9)와 비교할 경우, 대체로 1 kHz 이하에서는 구조변경에 의한 차이가 크고, 그 이상에서는 흡차음재 변경에 의해 차이가 커지는 것을 알 수 있다.

흡차음형(P2)의 경우 기본모델(P1) 대비, TL 성능이 낮아지는 특정한 주파수 대역, 즉 1.2, 3 kHz 대역 이 관찰된다. 이는 특히 흡차음형이 중간에 TPE와 같은 하드 레이어가 삽입되어, 흡차음재가 중량-스프링 계(mass-spring system)로 작용, TL 성능이 낮아지는 것이 원인으로 추정된다. 이와 관련된 물리적인 현상은 참고문헌⁽²⁾에서 기술된 바 있으며, P1과 P3의 경우 hard layer가 없으므로, 이러한 현상이 발생하지 않는 것으로 판단된다.

4. 결 론

대시 패널 콤포넌트의 구조기인 방사소음과 공기기인 전달손실 해석을 실시하였다. 구조변경, 흡차음재 변경에 따른 각각의 성능을 검토하였으며, 다음과 같은 특성을 확인할 수 있었다.

(1) FE-SEA 연성 해석기법에 의한 해석모델의 성능예측레벨을 비교함으로써, 모델링 타당성을 확인하였다.

(2) 대시 패널 두께의 축소와 보강용 횡부재 삭제는 1 kHz 이하 대역에서의 방사성능을 개선시킨다. 이것은, 이러한 구조변경에 의해, 이 대역에서 방사효율이 낮아지기 때문으로 추정된다. 한편, 대시 패널 두께의 축소는 전 대역에서 전달손실 성능을 악화시킨다.

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

(4) 성능개선의 관점에서, 방사성능과 전달손실 성능이 본 연구에서 언급된 변수들에 대해서 항상 일치하는 것은 아닌 것으로 판단된다. 이것은, 구조기인 및 공기기인 성능개선 시, 주파수 대역, 구조변경, 흡차음재 변경을 각각 고려할 필요가 있음을 시사한다.

참 고 문 헌

(1) Chae, K. S., Park, C. M. and Yoo, J. W., 2010, Simulation of Mid- and High-frequency Vehicle Interior Noise, Proceedings of the Acoustical Society of Korea Autumn Conference.

(2) 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.

(3) Charpentier, A., Sreedhar, P., Cordioli, J. and Fukui, K., 2008, Modeling Process and Validation of

Hybrid FE-SEA Method to Structure-borne Noise Paths in a Trimmed Automotive Vehicle, SAE Paper 2008-36-0574.

(4) VA One, User's Manual, 2010.

(5) 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.

(6) Biot, M. A., 1956, Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-saturated Porous Solid-

higher Frequency Range, *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 28, No. 2, pp. 179~191.

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

(8) Kamura, T., Utsunomiya, A., Sugihara, T. and Tobita, K., 1997, Improvement of Road Noise by Reduction of Acoustic Radiation from Body Panels, JSAE9741126.

(9) McGraw-Hill, NewYork.