

흡음/차음재 변경에 의한 차실 내부소음 개선

김재권, 이정권

한국과학기술원 기계공학과 소음 및 진동제어 연구센터(NoViC)

Refinement of Vehicle Cabin Noise by Changing Interior Trims

Jae-kwon Kim, Jeong-Guon Ih

NoViC, Dept. of Mech. Eng., KAIST

요약문

차량의 주요 소음원 부터 실내 탑승자의 귀의 위치까지 도달되는 소음의 전달에 대한 전체적인 경로 및 주파수특성에 대한 해석은 차량의 구조-음향적인 특성이 복잡하므로 매우 어렵다. 그러나, 중-고주파수에 대한 대책에 있어서는 흡차음재가 유용함은 이미 알려진 사실이다. 차실 벽면에 사용된 흡/차음재는 소음레벨에 부분적인 기여를 함은 물론이고 음질에도 영향을 미친다. 소음 레벨에 있어서는 수백 Hz 이하의 저주파수 성분이 주요하며, 음질에는 중-고주파수 대역의 소음특성이 큰 영향을 미친다[1]. 본 논문에서는, 실험적으로 측정된 소음원의 특성을 수치해석 모델에 이용하여 소음레벨 저감과 음질개선을 위한 흡/차음재의 개선방향을 모색하였다.

1. 서론

차실 내부소음 저감의 한 방법으로 흡차음재가 많이 이용되고 있다. 그러나, 비효율적으로 지나친 흡차음재의 적용은 중량 및 원가의 증가를 초래하므로, 차실 내부공간을 형성하는 각 차체판넬 부위의 기여도 분석을 통하여 흡차음재 장착 여부를 결정하게 된다[2,3]. 그 중 한 방법으로 쓰이는 음원 개폐기법 (Partial Exposure 또는 Window Method)은 차량의 실제 운전시 각 판넬을 개폐시키면서 측정하기 때문에 실험시간이 많이 걸린다는 단점이 있으나 가장 간단하면서도 확실한 측정방법이다. 하지만 음원 개폐시 사용되는 차음재

의 특성 때문에, 저주파수 영역에서의 적용은 한계가 있다[4]. 본 연구에서는 첫째, 차실 경계면에 가상소음원의 분포를 가정하고, 실험적으로 각 소음원의 크기를 측정한다. 둘째로 흡차음재의 존재가 고려된 가상 소음원과 수음점사이의 전달함수를 수치적으로 계산한다. 저주파수 영역에서는 기존의 음향경계요소법을 사용하며, 고주파수 대역에서는 위상을 무시한 간이경계요소법에 의해 계산하고, 흡/차음재는 전파상수에 의해 특성이 표현되는 유한한 두께의 다공질 재료로 고려한다[5]. 셋째로 시간 주파수 영역에서 측정된 가상소음원의 크기와 주파수 영역에서 계산한 전달함수를 연계하여, 수음점에서의 음압을 계산한다. 1/2 축소 차실모형에 대해서 경계면에 임의로 설치된 소음원에 본 방법을 적용하여 보았으며, 여러가지 두께의 흡음/차음재에 대한 측정결과 흡음/차음재의 최적화에 대한 가능성을 확인할 수 있었다.

2. 본론

2.1. 가상소음원

먼저 단일 소음원으로 가정할 수 있는 영역을 구획으로 하여 차실내부 모든 경계면을 구분한다. 이는 기존의 창문방법 (window method)의 구획구분을 사용한다고 생각해도 무방하다. 모든 구획을 차음시키고 한 구획만 개방한 조건에서 수음점에서의 음압 p 를 측정하고, 경계면의 소음원과 수음점의 전달함수를 계산하면 소음원의 크기를 계

산할 수 있다. 이때 창문방법과 구분되는 점은 음압의 크기만 측정되는 것이 아닌 가진력과 전달함수를 측정하는 것이므로 위상을 동시에 측정해야 하는 것이다. 먼저 모든 관심대상이 되는 구획을 차음시켜 수음점에서의 배경음압 p_b 를 측정한다. 이때 측정된 값은 흡음/차음재가 부착될 수 없는, 또는 변경이 불가능 하거나, 고려대상이 아닌 영역에서 방사된 음압만이 측정된다. 두번째로 소음원의 크기를 측정하고자 하는 구획을 개방시켜 측정된 음압은,

$$p'_i = p_i + p_b = (TF)_i F_i + p_b, \quad (1)$$

로 배경음압 p_b 와 개방된 구획에서의 소음방사에 기인한 p_i 가 측정된다. 수치 해석으로부터 계산된 전달함수 TF_i 로부터 각 구획의 가진력 F_i 를 계산하고 배경 음압 p_b 가 측정되면 각 구획의 흡음/차음재를 변화시키면서 전달함수 $(TF)_i$ 를 계산하여,

$$p(\mathbf{r}) = \sum p_i + p_b = \sum (TF)_i F_i + p_b, \quad (2)$$

와 같이 수음점에서의 음압을 예측할 수 있다. 본 논문에서는 1/2 축소 차실모형을 이용하였으며 그림 1과 같이 3개의 경계요소에 대해서만 스피커로 외부에서 가진하고 3개의 경계요소만을 소음원으로 고려하였다. 소음원 신호는 실차 정속주행시 차체판넬에서 측정된 가속도 신호를 이용하였다. 음원 개폐기법을 적용하여 측정된 각 소음원의 음압레벨, 1/3 옥타브 레벨이 그림 2,3과 같다. 3개의 소음원에 의해 방사된 음압을 합하여, 모든 구획 개방시 측정된 음압과 비교하여 시험의 정확도를 확인하였다. 그림 4와같이 1250 Hz 이상의 주파수 범위에서는 위상을 고려하지 않아도 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

2.2. 음장 수치해석

저주파수 영역에서는 기존의 음향경계요소법을 사용하며, 고주파수 대역에서는 저주파수대역의 해석에 사용된 경계면 모델을 원용하는데, 위상을 무시한 간이경계요소법을 사용하여 경계면의 가

진력과 수음점 음압사이의 전달함수를 계산한다. 기존의 경계요소법은 다음과 같은 Kirchhoff-Helmholtz 적분식으로부터 수음점의 음압 $p(\mathbf{r})$ 을

$$c(\mathbf{r})p(\mathbf{r}) = \int_{S_0} \left[\frac{\partial G}{\partial n} p(\mathbf{r}_0) - G \frac{\partial p(\mathbf{r}_0)}{\partial n} \right] dS \quad (3)$$

로 표현한다. 여기서 G 는 그린함수를 나타내며, $\frac{\partial}{\partial n}$ 은 음장 내부로의 법선 방향 미분을 나타내고, \mathbf{r}_0 는 표면위의 한 점을 의미한다. 이때, 음장을 형성하는 경계면의 특성에 따라 입체각 $c(\mathbf{r})$ 은 4π , 2π , 0 등의 값을 갖는다. 식(3)을 행렬형태로 표시하면 다음과 같다:

$$c_j p_j = [D_{jk}] \{p_k\} + [M_{jk}] \{a_k\}, \quad (4)$$

위상을 무시한 간이 경계요소법은 식 (3)을 사용하여 음압 차승값으로써 유도하며, 위상에 대한 항을 무시한 후 서로 떨어진 경계면상의 음압과 입자속도들간의 상관관계가 작다는 가정에 따라

$$c^2(\mathbf{r}) p_j^2 = \sum_k^N p_k^* p_k A_{jk} + \sum_k^N v_k^* v_k B_{jk} + \sum_k^N 2 \operatorname{Re} [p_k^* v_k C_{jk}] \quad (5)$$

와 같이 경계면의 음압, 입자속도의 함수로 계산할 수 있다. 예로서, 요소 38번의 진동속도와 수음점 음압사이의 전달함수는 그림 5와 같다.

2.3. 흡/차음재 변경

요소 38번에 부착된 PU 폼의 두께를 변화시켜 보았다. 본 연구에서 사용된 폼의 전파상수는 그림 6과 같이 측정되었고, 측정영역 외부에서는 외삽하여 모의실험에 사용하였다. 폼의 두께변화에 따른 수음점 음압변화는 그림 7과 같다. PU 폼의 물성치의 변화없이 두께만의 변경으로는 소음레벨의 큰 변화를 관찰하기 힘들어, 630 Hz 이상 영역에서만 약 3-4 dB의 소음저감을 확인할 수

있었다.

3. 결론

PU 폼의 두께만으로는 저주파수 대역의 효과적인 소음레벨 저감을 기대하는 것은 불가능 하였다. 단 자실 소음의 음색을 고려할 때, 500 Hz 이상의 영역은 폼의 두께의 변화에 따라 대체적으로 소음저감량이 증가하는 경향을 보이지만, 그림 8 과 같은 전파상수를 갖는 PU 폼의 경우 그림 9 와 같이 두께가 증가하면 전달손실이 오히려 감소하는 경향을 보일 수 있음을 확인하였다. 따라서, 폼의 두께와 전파상수값을 적절히 변화시키면 500 Hz 이상 영역의 음압레벨을 원하는 대로 효과적으로 변경할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] L. L. Beranek, Noise and Vibration Control, Institute of Noise Control Engineering, 1988.
- [2] 이정권, 김인동, 이영섭, "차실내 소음 개선을 위한 차음재 및 체진재의 효과적 적용," 자동차공학회지, 제 14권 4호, pp 68-78, 1992.
- [3] 이정권, 민형선, 백홍진, "백터 해석법에 의한 차실 소음의 저감," 한국소음진동공학회지, 제 1권 1호, pp 141-147, 1991.
- [4] 김재권, 이정권, 성명호, 정승균, "음원 개폐기법을 이용한 각 차체 판넬의 차실내부 음질 기여도 고찰," 한국음향학과 학술발표회 논문집, 제 16권 제 2(s)호, pp 157-162, 1997.
- [5] 이화수, 이정권, "다공질형 재료의 음향전파상수와 특성임피던스의 결정," 한국음향학과 학술발표회 논문집, 제 16권 제 2(s)호, pp 235-240, 1997.

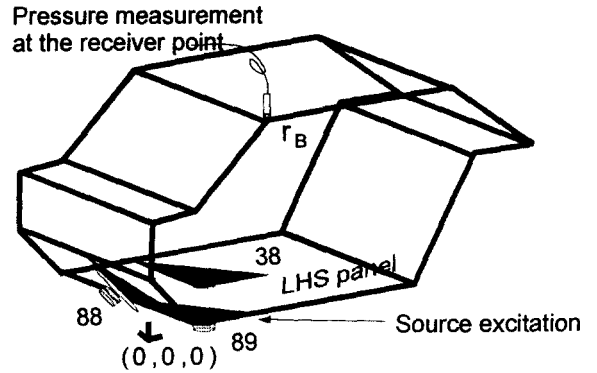


그림 1. 1/2 축소차실 내부모형.

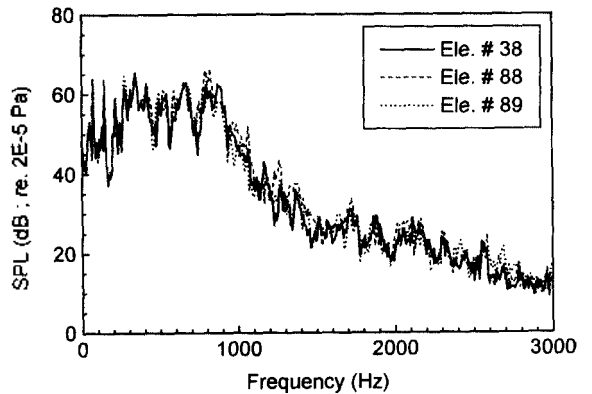


그림 2. 각 소음원의 음압레벨.

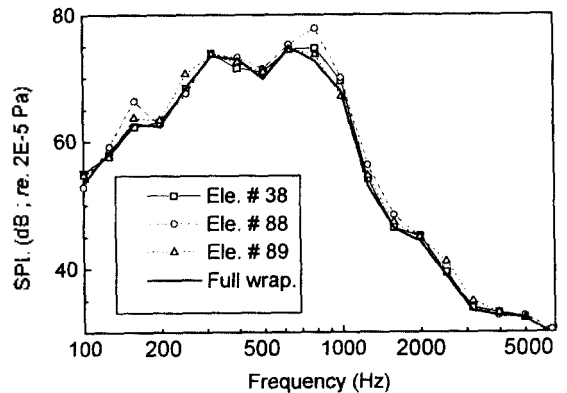


그림 3. 각 소음원의 1/3옥타브 레벨.

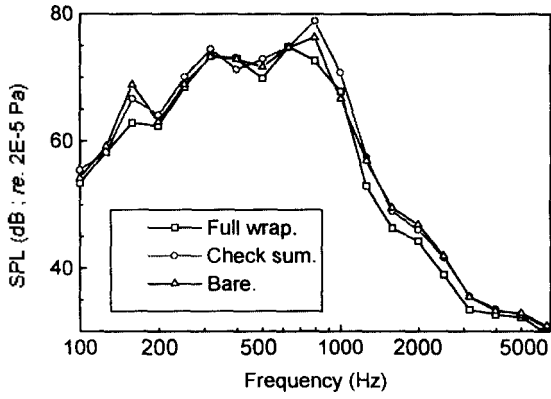


그림 4. 측정방법의 검증.

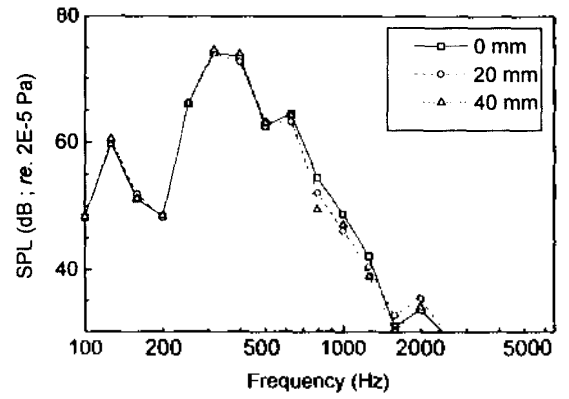


그림 7. PU폼의 두께 변화에 따른 수음점 음압.

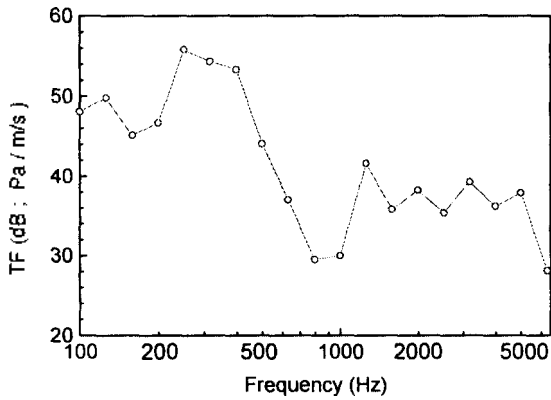


그림 5. 요소38의 진동속도와 수음점 음압 사이의 전달함수의 크기.

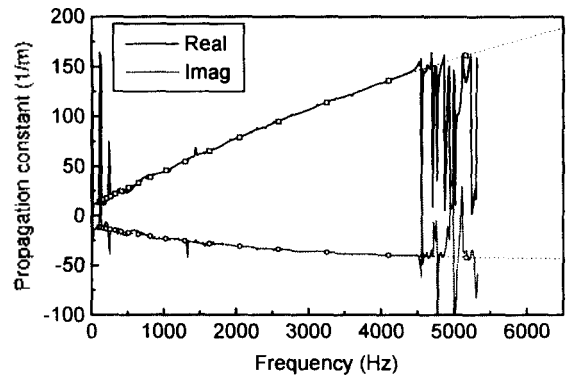


그림 8. 특정 PU폼의 전파상수.

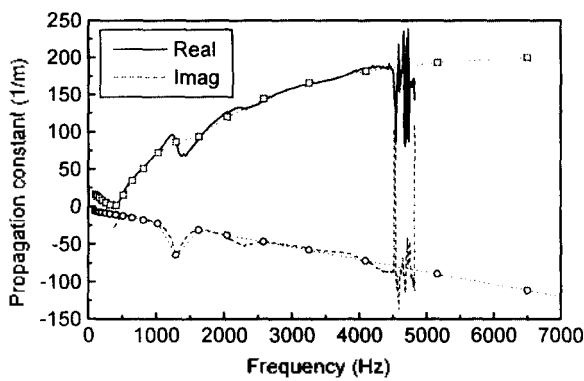


그림 6. 실험에 사용된 PU폼의 전파상수.

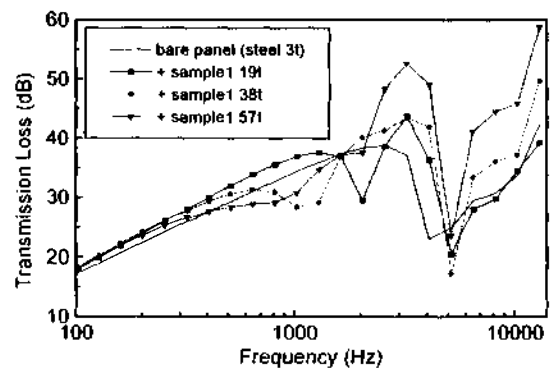


그림 9. 특정 PU폼의 전달손실.