

간이 차음시험장치(APAMAT II)와 잔향실 차음성능의 비교

°강 현주*, 김 봉기*, 김 현실*, 이 경민†

Comparison of Sound Insulation Performance between a Simplified Test Apparatus(APAMAT II) and the Reverberation Chamber

Hyun-Ju Kang, Bong-kee Kim, Hyun-Sil Kim, Gyung-Min Lee,

ABSTRACT

Comparisons of measuring apparatus for sound insulation are made between a reverberation chamber and a simplified test apparatus(APAMAT II) that is used to measure sound insulation performance of inner panels for automobiles. Also, theoretical prediction by using sandwich model are made in order to compare it with experiments and to consequently provide a design tool. Comparative results show that steel ball excitation in APAMAT II has a serious problem with sound insulation performance at the low frequency region, while speaker excitation gives a good agreements with theoretical prediction.

1. 서 론

자동차용 내장재의 차음 성능을 시험하기 위한 간이 시험장치로서 APAMAT II가 많이 사용되고 있다. 원래 이 장치는 자동차 내장재 분야에서 유명한 스위스의 Rieter사에서 자신의 제품성능을 간이로 시험하기 위한 장치로 만들어 진 것이다. 하지만 이 장치의 성능에 대한 이론적 평가는 물론 실험적 평가 역시 매우 불충분한 상태이며 더욱이 이 장치로 측정된 내장재의 차음 성능과 실차의 차음성능과의 연관성에 관한 충분한 검토가 이루어졌다고 보기는 어려운 실정이다.

이러한 배경과 더불어 자동차용 내장재는 특유의 유한한 크기 때문에 내장재에 대한 이론적 접근이 어려운 상태이다. 따라서 국내 자동차용 내장재의 개발은 거의 대부분 경험적 방법에 의해서 수행되고 있다.

그러므로 자동차 내장재의 차음 설계에 관한

공학적인 접근(engineering approach)이 어려운 실정이다. 합리적인 차음설계를 위한 첫 단계는 실험 평가의 정확성이 유지되어야 한다. 이를 위해서 APPAMAT II의 음향학적 특성이 규명되어야 함은 당연하다. 본 연구에서는 APPAMAT II의 음향학적 특성 규명을 위해서 대상시편으로 자동차의 엔진 실과 차실 사이에 설치되는 대쉬보드를 정하고, 하나의 참값으로서 잔향실 실험과 이론 해석을 수행한 후, APPAMAT II의 결과와 상호비교를 통하여 APPAMAT II의 음향학적 특성조사가 수행되었다.

2. APPAMAT II를 통한 차음실험

2.1 APPAMAT II의 실험 방법

Fig. 1에 나타난 것처럼 APPAMAT II를 이용한 시험방법은 roller의 회전으로 인하여 튕겨진 쇠구슬이 base plate(0.8 mm 두께의 강판)를 기진시키고 이로부터 발생한 음압을 측정하는 구조이다. 시편에 대한 차음 평가는 먼저 base plate 만 설치시의 음압과 base plate 상부에 시편을 설치한 경우의 음압

* 정회원, 한국기계연구원 음향연구그룹

† 대한솔루션(특별회원), 중앙연구소

차이로부터 삽입손실을 산정한다. 삽입손실과 차음 손실과의 관계식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$IL = TL(layers) - TL(steel0.8t) \quad (1)$$

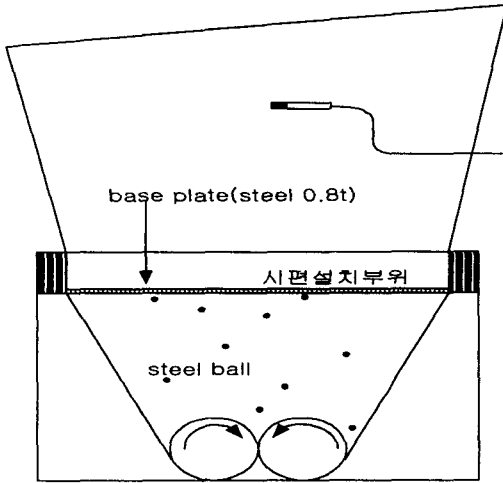


Fig. 1 Schematic illustration of APAMAT II.

APPAMAT II의 시험방법에서 예상할 수 있는 문제점으로는 우선 가진 방법상의 문제이다. 쇠구슬에 의한 임팩트 가진은 기계적 가진으로 분류할 수 있다. 한편 판의 방사 효율은 기계적 가진과 음향가진(speaker 가진) 사이에 차이가 있음은 널리 알려진 사실이다. 이러한 방사효율의 차이는 차음 성능 역시 가진방법에 따라 상당한 차이를 유발할 수 있다. 한 예로서 Fig. 2는 참고문헌[1]에서 인용한 것으로서 10 mm 강판을 대상으로 기계적 가진과 음향가진시 방사효율의 차이를 나타내고 있다. 그림에서 보면 특히 저주파수 영역에서 기계적 가진에 의한 음향방사효율이 음향 가진 보다 상당히 저하하고 있음을 알 수 있다. 차음성능 평가 관점에서 보면 음향가진 방법에 비해서 기계적 가진 방법은 저주파수 대역에서 상당한 차이가 예상된다.

본 연구에 사용된 시편은 자동차용 dashboard로 사용되는 시편으로서 단면 형상 및 물성치가 Fig.

3 및 Table 1에 수록되어 있다.

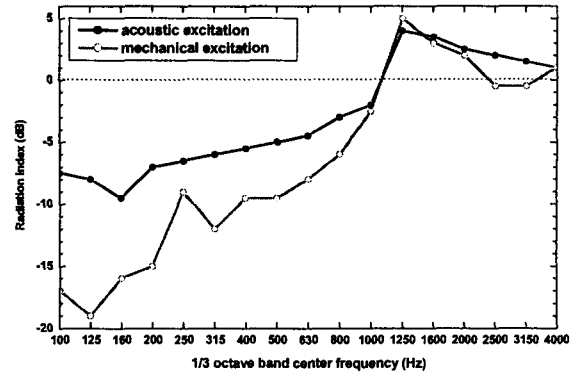


Fig. 2 Variation of radiation index with excitation methods; specimen = 10 mm steel [1].

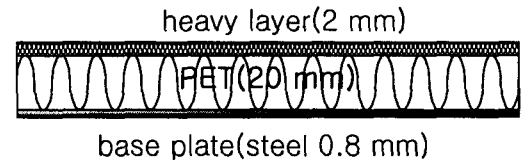


Fig. 3 Cross sectional view of the specimen.

Table 1 Material properties of specimen.

layer	t(mm)	E(N/m ²)	density(kg/m ³)	Possion ratio	loss factor
steel	0.8	2.1e11	7,800	0.3	0.01
PET	20	7.e4	60	0.3	0.1
Heavy layer	2	*1.e8	1,900	0.4	0.4

*: 추정치

2.2 잔향실 실험 및 이론 예측

APAMAT II의 시험 성능에 대한 비교 평가용 자료로서 Fig. 3에 보인 시편을 대상으로 잔향실에서 차음실험을 수행하였다. 사용된 시편은 APAMAT II에 사용된 시편과 면적과 물성치가 동일하다.

잔향실 실험치의 정당성 평가 및 자동차 내장재의 차음설계를 위한 해석 방법의 모색을 위해서 이론 예측의 수행되었다.

이론예측에 사용된 해석 모델은 샌드위치 모델

[2,3]을 사용하였으며 샌드위치 모델에 대한 자세한 내용은 참고문헌 [2,3]에 수록되어 있다. Table 1은 계산을 위한 입력 데이터로 사용되었다. Fig. 4는 잔향실 측정치와 이론치를 비교하고 있다. 비교 결과 고주파수 영역을 제외하고는 두 값은 좋은 일치를 보이고 있는 것으로부터 본 예측에 사용된 해석 모델이 타당함을 알 수 있다. 그림에서 200 Hz 밴드에서 나타나는 dip은 샌드위치판에서 흔히 볼 수 있는 독특한 현상으로서 mass-spring-mass 공진 주파수이다. 이 공진주파수에 대한 근사식은 다음과 같다.

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(E_c/d)(m_1 + m_2)}{m_1 m_2 + \frac{m_c}{3}(m_1 + m_2) + \frac{m_c^2}{12}}} \quad (2)$$

여기서 m_1, m_2, m_c 는 각각 강판 및 heavy layer 및 PET의 면밀도를 나타내며, E_c, d 는 PET의 탄성계수 및 두께를 의미한다.

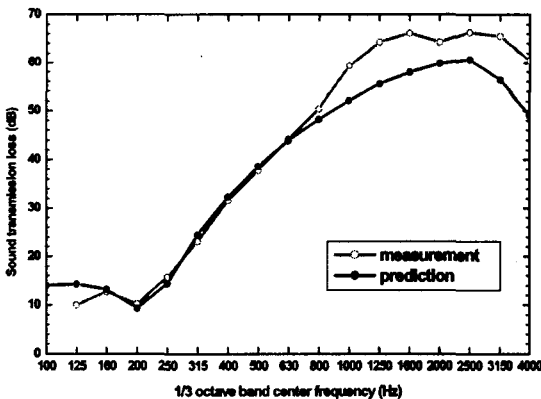


Fig. 4 Comparison of sound transmission loss between the measured in reverberation chamber and predicted.

한편 Fig. 4의 비교에서 고주파수에서의 차이는 해석시의 각 layer 사이의 경계조건(완전접촉)과 실제시편의 경계조건(단순접촉) 사이의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

2.3 APAMAT II 실험

APAMAT II의 실험에서는 가진 방법의 영향을 보기 위하여 Fig. 1에 보인 쇠구슬 가진 뿐만 아니라 roller 직상부에 스피커를 설치한 음향가진 실험도 병행하였다. 실험은 각 가진방법별로 base plate만 설치한 상태로 실험 후 PET와 heavy layer를 base plate 상부에 설치하여 각각의 음압레벨 측정으로부터 삼입손실을 산정하였다.

Fig. 5는 각 가진 방법별로 base plate와 전체 시편을 설치한 각각의 경우에 측정된 음압레벨을 비교하고 있다. 그림에서 "speaker: bare"는 스피커 가진으로서 base plate만 설치한 경우를 나타내며, "ball: layers"는 쇠구슬 가진 및 전체 시편을 설치한 경우를 의미한다.

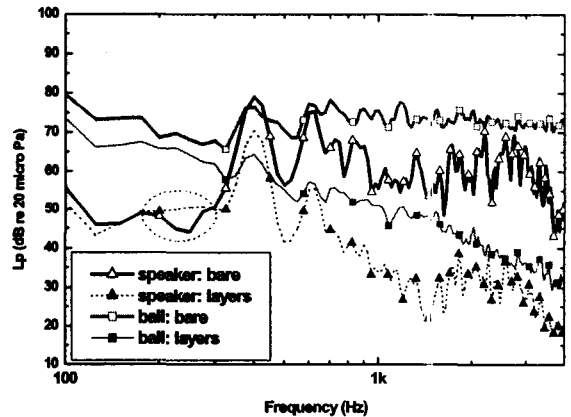


Fig. 5 Variation of sound pressure level with excitation methods.

쇠구슬로 가진시 bare의 음압레벨이 layers 경우보다 전주파수 대역에서 뚜렷하게 높게 나타나고 있다. 스피커로 가진시 300 Hz 이상의 중고 주파수 대역에서만 쇠구슬 가진에서 처럼 bare와 layers의 음압레벨은 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 스피커로 가진한 경우 400, 600 Hz를 비롯한 다수의 주파수에서 뚜렷한 peak 들을 볼 수 있다. 반면에 쇠구슬 가진인 경우 400 Hz를 제외하고는 뚜렷한 peak가 없다. 추정되는 이유로서 쇠구슬로

가진하는 경우 쇠구슬과 판이 접촉하는 면적과 접촉시간의 한계 때문에 400 Hz 미만의 저주파수 대역은 효과적인 가진이 이루어지지 않는 것으로 생각된다. 한편 두 방법 모두 400 Hz에서 나타는 peak는 판의 고유모두와 관련이 있을 것으로 예상된다.

그림에 나타난 현상 중 가장 주목할 만한 것은 스피커 가진시 약 230 Hz에서 base plate 보다 시편 설치 후의 음압이 더 높게 나타나는 현상이다 (그림에서 점선 타원으로 표시된 영역). 이것의 의미는 단판("bare") 보다도 이중판("layers")의 차음 성능이 감소하는 것을 말한다. 즉 이중판과 관련된 어떤 공진현상이 발생됨을 시사하고 있다. 이러한 공진현상은 Fig. 4의 잔향실 실험 및 이론예측에서도 확인된 것이다. 그러므로 Fig. 4와 Fig. 5의 상호 비교로부터 APAMAT II의 음향가진시 약 230 Hz에서 보인 현상은 mass-spring-mass 공진현상이라고 결론을 내릴 수 있다.

Fig. 6은 APAMAT II의 음향 및 쇠구슬 가진으로부터 구한 삽입손실 계측치와 예측치를 비교하고 있다. 여기서 삽입손실로 표현된 이론 예측치는 0.8 mm 강판 및 전체시편에 대한 차음성능을 이론적 예측으로부터 구한 후 (1)식을 이용하여 삽입손실을 산정한 것이다. 그림의 계측치들만을 서로 비교해 보면 약 350 Hz 이상에서는 두 값이 일치하는 경향을 보이지만 350 Hz 이하의 저주파수 대역에서는 상당한 차이를 보이고 있다. 한편 예측치는 음향가진 계측치와 약 1.5 KHz 까지는 비교적 좋은 일치를 보이고 있다.

이상의 비교분석으로부터 APAMAT II에서 쇠구슬로 가진하는 경우 저주파수 대역의 차음 성능은 상당히 왜곡될 가능성이 있음을 상기할 필요가 있다.

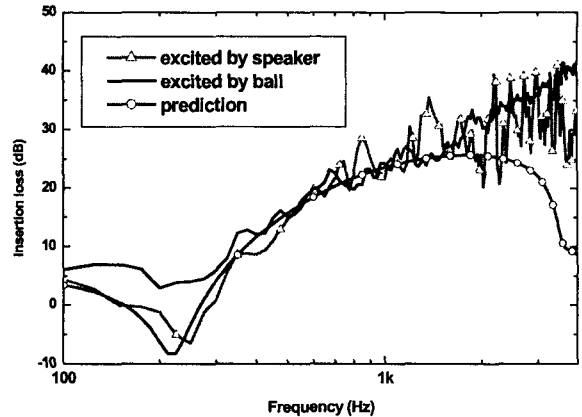


Fig. 6 Comparison between measurement and prediction.

4. 결 언

자동차용 내장재의 차음 평가수단으로서 APAMAT II 시험 성능을 비교 실험과 이론 예측을 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) APAMAT II에서 통상의 방법인 쇠구슬 가진 방법으로 평가된 차음성능은 상당히 왜곡되어 있음을 발견하였다.
- 2) APAMAT II에서도 스피커 가진인 경우 잔향실 실험치는 물론 이론예측치와도 좋은 일치를 보이고 있다. 이로부터 해석수단으로서 샌드위치 모델은 자동차용 내장재 차음설계에 유용한 수단이 될 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업 중 엔지니어링 핵심공통기반기술사업으로 지원되어 수행하였습니다.

참 고 문 헌

- [1] F. Fahy, *Sound and Structural Vibration* (Academic Press, London, 1985), Chap. 2.
- [2] 강현주, 이정권, 김현실, 김재승, 김상렬, 1998, "내화성 격벽의 차음손실", 한국소음진동공학회 '99 춘계학술대회 논문집, pp.634~ 642.
- [3] C. L. Dym and D. C. Lang, "Transmission loss of damped asymmetric sandwich panels with orthotropic cores," *JSV* **88**, 299-319 (1983).