

# 다중 패널의 차음성능에 대한 실험적 연구

고강호\* · 국형석\* · 김영호\*\*

## Empirical Research for the Sound Insertion Loss of Panels

Kang-Ho Ko, Hyungseok Kook and Young-Ho Kim

**Key Words :** Insertion Loss(삽입 손실), Double Panel(이중 패널), Articulation Index(명료도 지수), Air-borne Sound Insulation Tester(차음성능 시험기)

### Abstract

This paper discusses an experimental method for measuring the insertion loss (IL) performance of a double panel that are used in vehicles. Instead of two adjacent reverberation chambers which are generally used to measure the transmission loss (TL) of the large sound isolation materials, air-borne sound insulation tester was utilized to determine the IL and articulation index (AI) of standardized deadening materials. In comparison to reverberation chamber method, air-borne sound insulation tester method is more space-saving, more time-saving and more simple to the automotive acoustics. From the empirical results, it is verified that the performance of deadening materials is closely connected with thickness of panels, type of filling material that is filled into a double panel, and area ratio of double panel.

### 1. 서론

자동차에서 발생하는 소음은 엔진 소음이나 타이어 페턴 소음 그리고 흡/배기계 소음 등과 같이 공기를 통하여 직접 차실내에 투과하여 들어오는 소음인 공기전파소음(air-borne noise)과 노면 가진력 또는 엔진 가진력 등과 같은 외부 가진력에 의한 진동으로 발생하는 구조기인소음(structure-borne noise)으로 대별된다. 이 중 구조기인소음은 주로 차체의 구조와 차실 음향공간의 연성에 의하여 발생하는 저주파성 부밍 노이즈가 문제가 된다. 따라서 차음재나 흡음재 등은 구조기인소음의 저감에는 큰 효과가 없으며, 차체의 구조변경이 효과적이다. 반면에 공기전파소음은 대부분 500 Hz 이상의 비교적 높은 주파수 성분으로 이루어져 있기 때문에 사람의 귀에 거슬릴 뿐만 아니라, 차량 실내소음의 음질(sound quality)을 결정하는 중요한 요소가 되는데, 차실내로 유입되는 공기전파소음을 저감시키기 위하여 각종 제진재나 차음재가 효

과적으로 사용되고 있다.

그러나 차량에 사용되는 제진재나 차음재의 중량은 소음저감 효과와 밀접한 연관성이 있지만, 차량의 전체 중량 및 비용의 절감 측면에서는 서로 상충되는 요소가 된다. 따라서 제한된 비용과 중량 내에서 최대의 음향학적 효과를 얻기 위하여 차음성능의 최적화에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 그리고 흡/차음재의 음향특성에 대한 이론적인 연구와 성능을 평가하기 위한 측정 기법에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.<sup>(1)-(3)</sup>

이와 더불어 자동차에 적용되는 넓은 면적을 차지하는 복잡한 형태의 대시 패널(dash panel), 플로어, 도어, 유리창과 같은 차체 부품들의 공기전파소음에 대한 차음효과를 효과적으로 측정하고 규명하는 것 또한 자동차를 개발하는데 있어서 매우 중요한 분야가 되고 있다. 흡음재의 음향 특성을 평가하기 위한 효과적인 다양한 측정 방법이 알려져 있는 것과는 달리 차음재의 차음 특성을 효과적으로 평가하는 방법은 많지 않은 실정이다. 보통 잔향실법이 많이 이용되고 있는데,<sup>(4)-(6)</sup> 인접한 두 개의 잔향실 사이에 시편을 장착하여 차음 성능을 측정하므로 시험 준비에 상당한 노력이 요

\* 국민대학교 자동차공학 전문대학원

\*\* 대우자동차 기술연구소

구되는 어려운 점이 있다. 따라서 자동차의 소음을 개선하는데 있어서 잔향실법과 비교하여 공간적인 측면과 비용적인 측면, 그리고 차량 음향학적인 측면에서 보다 적당한 방법을 찾기 위한 연구들이 진행되고 있다.<sup>(7)-(10)</sup>

따라서 본 연구에서는 차음성능 시험기(airborne sound insulation tester)를 이용하여 일정 크기(0.9 m × 0.9 m)를 갖는 시편의 차음성능을 실험적으로 측정하였다. 이중 대시 패널의 충전재(filling material)로 많이 사용되는 발포 아스팔트(expanded asphalt)의 종류와 두께, 그리고 패널의 두께 및 제진재의 종류에 따른 삽입 손실을 각각 측정하였다. 또한 이중 패널이 적용되는 면적의 비율에 따른 차음성능의 차이도 함께 측정하였다. 그리고 자동차 실내 소음의 음질을 평가하는데 사용되는 AI 를 이용하여 투과된 소음의 음질을 평가함으로써 차음재의 차음성능을 수치화 하였다.

## 2. 차음성능

### 2.1 삽입손실

차음재의 차음 성능은 투과손실(transmission loss, TL), 삽입손실(insertion loss, IL), 그리고 소음감소(noise reduction, NR) 등을 사용하여 나타낼 수 있다. 이 중 투과손실은 Fig. 1 에 나타나 있는 것과 같이 투과음의 세기( $I_t$ )와 입사음의 세기( $I_i$ )의 비로 나타낼 수 있으며, 다음 식으로 표현된다.

$$TL = 10 \log_{10} \left( \frac{I_i}{I_t} \right) \quad (1)$$

투과손실을 측정하고자 하는 시편의 크기가 클 경우, 인접한 두 개의 잔향실 사이에 위치한 개구부에 차음재를 붙여서 두 잔향실 사이의 음압수준 차이를 측정하여 다음식으로 구할 수 있다.

$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \left( \frac{S}{A_2} \right) \quad (2)$$

여기서  $L_1$  과  $L_2$  는 각각 음원이 있는 잔향실(source room)과 음원이 없는 잔향실(receiving room)의 평균 음압 수준,  $S$  는 차음재의 면적,  $A_2$  는 음원이 없는 잔향실의 수음력(sound absorption)을 의미한다. 이 방법은 차음재 자체의 차음 성능을 정확하게 측정할 수 있지만, 시험 장비와 설비, 그리고 차음재의 크기와 장착과정과 같은 측정 준비 측면에서 어려운 점이 있다.

반면에 삽입손실은 차음재의 부착효과를 직접 평가하는 실질적인 방법으로 차음재의 감음 성능을 나타내는데 일반적으로 사용된다. Fig. 1 에 나타나 있는 것과 같이 삽입손실은 음원을 둘러싸고 있는 차음재와 같은 엔클로저(enclosure)가 있을 때의 음압 수준과 엔클로저가 없을 때의 음압 수준의 차이로써, 다음 식으로 표현된다.

$$IL = L'_{p2} - L_{p2} \quad (3)$$

여기서,  $L'_{p2}$  는 차음재가 없을 때의 음압 수준이고,  $L_{p2}$  는 차음재가 있을 때의 음압 수준을 나타낸다.

### 2.2 차음성능 측정기

이러한 삽입손실의 정의에 의하여 차음재의 차음성능을 측정하기 위하여 Fig. 2 와 같은 삽입손실 측정기를 사용하였다. 삽입손실 측정기는 크게 두 부분으로 이루어져 있는데, 아래 부분은 16 개의 라우드 스피크 유닛으로 이루어진 음원에 의하여 소음(white noise)을 발생시키는 부분이고, 윗부분은 투과된 소음의 음압을 측정하는 곳으로써 음의 반사를 막기 위하여 웨지(wedge)가 부착된 무향실이다. 이 두 부분 사이에 일정한 크기의 차음재 시편이 장착되는데, 차음재가 장착되기 전후의 음압 수준을 측정하여 삽입손실을 측정할 수 있다. 이와 같이 삽입손실 측정기는 구조가 간단할 뿐만 아니라, 크기도 비교적 작기 때문에 효과적으로

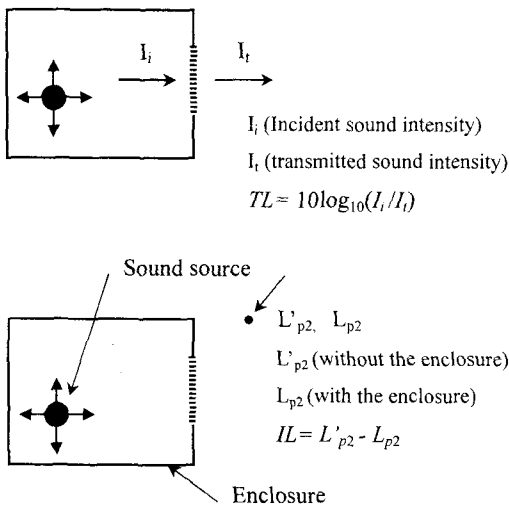


Fig.1 Schematic illustration of the difference between TL and IL.

차음성능을 측정할 수 있는 장점이 있다.

그러나 이 측정기는 수음실(reception chamber) 부분에 부착되어 있는 웨지의 크기에 제한이 있기 때문에 저주파 영역에서는 실험 정확도가 떨어지게 된다. 따라서 본 연구에서는 저주파 영역에서의 정확도를 개선하기 위하여 Fig.3 에 나타나 있는 것과 같이 차음성능 측정기의 수음실 대신 대형(12m×9m×5m) 반무향실(semi-anechoic chamber)을 사용하였다. 이 차량용 반무향실의 차단 주파수(cut-off frequency)는 약 60 Hz 이므로, 삽입손실 측정기에 비하여 저주파수 영역에서의 정확도를 개선할 수 있는 이점이 있다. 이때 소음의 측정 위치는 차음체로부터 1 m 떨어진 지점으로 선정하였고, 측정 위치에 따른 음압의 차이를 보정하기 위하여 4 곳에서 측정한 음압을 평균하여 사용하였다.

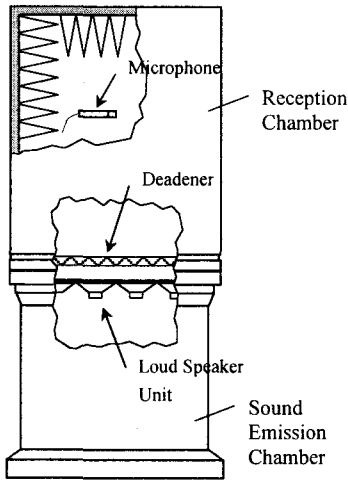


Fig. 2 Diagram of an air-borne sound insulation tester.

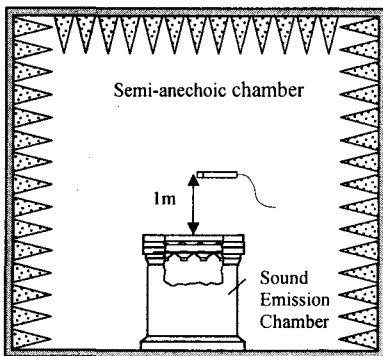


Fig. 3 Diagram of test setup in anechoic chamber.

Table 1. Articulation Index table.

	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300				
75.0																				
74.0					0.15	0.17	0.22													
73.0					0.30	0.35	0.43	0.24												
72.0					0.14	0.45	0.52	0.65	0.48											
71.0					0.18	0.60	0.70	0.87	0.70	0.28										
70.0					0.11	0.43	0.75	0.87	1.08	0.98	0.56									
69.0					0.22	0.57	0.90	1.05	1.30	1.20	0.85	0.38								
68.0					0.06	0.32	0.71	0.95	1.22	1.57	1.45	1.13	0.76							
67.0					0.13	0.49	0.85	1.20	1.49	1.73	1.69	1.41	1.15							
66.0					0.20	0.54	0.99	1.35	1.57	1.95	1.93	1.70	1.53	0.37						
65.0					0.27	0.65	1.14	1.50	1.75	2.12	2.17	1.98	1.92	1.03						
64.0					0.33	0.76	1.28	1.65	1.92	2.38	2.41	2.26	2.20	1.10	0.32					
63.0					0.03	0.40	0.86	1.42	1.80	2.10	2.60	2.65	2.54	2.66	1.47	0.63				
62.0					0.06	0.47	0.97	1.66	1.95	2.27	2.82	2.89	2.83	3.06	1.83	0.95	0.30			
61.0					0.10	0.53	1.06	1.72	2.10	2.45	3.04	3.13	3.11	3.45	2.20	1.27	0.60			
60.0					0.13	0.60	1.19	1.85	2.25	2.62	3.25	3.36	3.39	3.83	2.57	1.58	0.90			
59.0					0.16	0.67	1.30	1.99	2.40	2.80	3.47	3.62	3.66	4.22	2.93	1.89	1.20	0.26		
58.0					0.20	0.73	1.40	2.13	2.55	2.97	3.69	3.86	3.96	4.60	3.30	2.23	1.50	0.52		
57.0					0.23	0.80	1.51	2.27	2.70	3.15	3.90	4.10	4.24	4.97	3.67	2.53	1.80	0.78		
56.0					0.27	0.87	1.62	2.41	2.85	3.32	4.12	4.34	4.52	5.36	4.03	2.86	2.10	1.03		
55.0					0.30	0.93	1.73	2.53	3.00	3.50	4.34	4.58	4.81	5.75	4.40	3.17	2.40	1.29	0.21	
54.0					0.33	1.00	1.84	2.73	3.15	3.67	4.66	4.92	5.09	6.13	4.77	3.49	2.70	1.55	0.42	
53.0					0.37	1.07	1.94	2.84	3.30	3.85	4.77	5.08	5.37	6.51	5.13	3.80	3.00	1.81	0.63	
52.0					0.40	1.13	2.05	2.98	3.45	4.02	4.99	5.30	5.66	6.90	5.50	4.12	3.30	2.07	0.83	
51.0					0.45	1.20	2.16	3.12	3.60	4.20	5.21	5.54	5.94	7.28	5.87	4.43	3.60	2.33	1.04	
50.0					0.47	1.27	2.27	3.26	3.75	4.37	5.43	5.79	6.22	7.66	6.23	4.75	3.90	2.58	1.25	0.08
49.0					0.50	1.33	2.38	3.4	3.90	4.55	5.64	6.02	6.51	8.04	6.60	5.07	4.20	2.84	1.46	0.17
48.0					0.53	1.40	2.49	3.55	4.05	4.72	5.86	6.26	6.79	8.42	6.97	5.36	4.50	3.10	1.67	0.25
47.0					0.57	1.47	2.60	3.69	4.20	4.90	6.08	6.51	7.07	8.81	7.33	5.70	4.80	3.36	1.88	0.33
46.0					0.60	1.53	2.70	3.83	4.35	5.07	6.29	6.75	7.36	9.20	7.70	6.02	5.10	3.62	2.08	0.42
45.0					0.63	1.60	2.81	3.98	4.50	5.25	6.50	7.00	7.64	9.58	8.07	6.33	5.40	3.88	2.29	0.50
44.0					0.67	1.67	2.91	4.11	4.65	5.42	6.70	7.22	7.89	9.96	8.43	6.65	5.70	4.12	2.50	0.58
43.0					0.70	1.73	3.02	4.25	4.80	5.60	6.90	7.44	8.21	10.38	8.80	6.97	6.00	4.39	2.71	0.67
42.0					0.73	1.80	3.14	4.39	4.95	5.75	7.10	7.66	8.50	10.77	9.17	7.29	6.30	4.65	2.92	0.75
41.0					0.77	1.87	3.25	4.53	5.10	5.95	7.35	7.92	8.80	11.1	9.53	7.60	6.60	4.91	3.13	0.83
40.0					0.80	1.93	3.36	4.66	5.25	6.15	7.55	8.14	9.05	11.5	9.90	7.90	6.90	5.17	3.33	0.92
39.0					0.83	2.00	3.47	4.79	5.40	6.35	7.75	8.36	9.30	11.8	10.23	8.20	7.20	5.43	3.54	1.00
38.0					0.87	2.07	3.58	4.92	5.55	6.55	7.95	8.58	9.55	12.2	10.6	8.55	7.50	5.68	3.75	1.08
37.0					0.90	2.14	3.69	5.05	5.70	6.75	8.15	8.80	9.80	12.6	11.0	9.05	8.00	5.94	3.96	1.17
36.0					0.93	2.21	3.80	5.18	5.85	6.95	8.35	9.00	10.0	13.0	11.4	9.50	8.50	6.20	4.17	1.25
35.0					0.97	2.28	3.91	5.31	6.00	7.15	8.55	9.20	10.2	13.4	11.8	10.0	8.00	6.46	4.38	1.33
34.0					1.00	2.35	4.02	5.44	6.15	7.35	8.75	9.40	10.4	13.8	12.2	10.4	8.50	6.73	4.58	1.42
33.0					1.03	2.42	4.13	5.57	6.30	7.55	8.95	9.60	10.6	14.2	12.6	10.9	9.00	6.98	4.79	1.50
32.0					1.07	2.49	4.24	5.70	6.45	7.75	9.15	9.80	10.8	14.6	13.0	11.4	9.50	7.23	5.00	1.58
31.0					1.10	2.56	4.35	5.83	6.60	7.95	9.35	10.0	11.0	15.0	13.4	11.9	10.0	7.49	5.21	1.67
30.0					1.13	2.63	4.46	5.96	6.75	8.15	9.55	10.2	11.2	15.4	13.8	12.4	10.5	7.72	5.43	1.75
29.0					1.17	2.70	4.57	6.09	6.90	8.35	9.75	10.4	11.4	15.8	14.2	12.9	11.0	8.00	5.63	1.83
28.0					1.20	2.77	4.68	6.22	7.05	8.55	9.95	10.6	11.6	16.2	14.6	13.4	11.5	8.23	5.83	1.92
27.0					1.24	2.84	4.79	6.35	7.20	8.75	10.15	10.8	11.8	16.6	15.0	13.9	12.0	8.46	6.04	2.00
26.0					1.27	2.91	4.90	6.48	7.35	8.95	10.35	11.0	12.0	17.0	15.4	14.4	12.5	8.69	6.25	2.08
25.0					1.31	2.98	5.01	6.61	7.50	9.15	10.55	11.2	12.2	17.4	15.8	14.9	13.0	8.92	6.46	2.17
24.0					1.34	3.05	5.12	6.74	7.65	9.35	10.75	11.4	12.4	17.8	16.2	15.4	13.5	9.15	6.67	2.25
23.0					1.38	3.12	5.23	6.87	7.80	9.55	10.95	11.6	12.6	18.2	16.6	15.9	14.0	9.38	6.88	2.33
22.0					1.41	3.19	5.34	7.00	7.95	9.75	11.15	11.8	12.8	18.6	17.0	16.4	14.5	9.61	7.09	2.42
21.0					1.45	3.26	5.45	7.13	8.10	9.95	11.35	12.0	13.0	19.0	17.4	16.9	15.0	9.84	7.30	2.50

### 2.3 Articulation Index (AI)

AI 는 주위의 소음이 사람의 대화 영역에 얼마나 침범하고 있는지를 수치로 정량화한 것이다. 주위 소음의 소음수준(SPL, dBA)을 1/3 옥타브 밴드별로 측정된 후, Table 1 을 이용하여 해당하는 모든 값을 더하면 AI 값이 된다. AI 는 0 에서부터 100 사이의 값을 가지게 되는데, 값이 0 이면 사람의 대화가 주위 소음에 완전히 묻힌 상태를 의미한다. 특히 AI 는 차실 소음의 음질을 평가하는데 많이 사용되며, 주행시에는 보통 50~100 사이의 값을 가지게 된다. Table 1 에 나타나 있는 것과 같이 AI 를 이용하여 평가하는 주파수 영역과 차음체가 효과적으로 작용하는 주파수 영역이 서로 일치하므로, 음질을 고려한 차음체의 차음성능을 효과적으로 정량화 할 수 있다.

### 3. 측정 결과 및 분석

이중 대시 패널의 충전재로 많이 사용되는 발포 아스팔트의 종류와 두께, 그리고 패널의 두께 및 충전재의 종류에 따른 차음성능을 분석하기 위하여 Table 2 에 나타나 있는 것과 같은 17 개의 시편에 대하여 삽입손실을 측정하였다. 또한 약 96 dBA 의 크기를 갖는 백색 잡음(white noise)에 대한 투과음의 AI 값을 시편의 질량을 고려하여 비교하였다.

**Table 2.** Specification of test samples.

No.	Outer Panel	Filling Material	Inner Panel	Deadener
1	0.8t	-	-	-
2	1.0t	-	-	-
3	1.2t	-	-	-
4	1.5t	-	-	-
5 <sup>(1)</sup>	0.8t	-	0.7t	-
6 <sup>(2)</sup>	↑	-	↑	-
7 <sup>(3)</sup>	↑	-	↑	-
8	↑	Isolation Pad 4t	↑	ASP 2t
9	↑	↑	↑	-
10	↑	Expanded ASP 4t	↑	-
11	1.0t	↑	↑	-
12	1.2t	↑	↑	-
13	0.8t	Deadening Sheet 10t	↑	-
14	↑	↑	↑	ASP 2t
15	↑	Expanded ASP 4t	HALF PNL 0.7t	-
16	1.0t	↑	↑	-
17	1.2t	↑	↑	-

주) Spot welding pitch : (1) 50mm, (2) 200mm, (3) 350mm

패널의 두께에 따른 차음성능을 측정하기 위하여 Fig. 4 에 나타나 있는 것과 같이 철판의 두께를 0.8 mm 에서 1.5 mm 까지 변화시켰을 때의 삽입손실과 AI 값을 측정하였다. 전 주파수 대역에서 패널의 두께가 두꺼울수록 차음효과가 크게 나타나고 있으며, AI 값은 약 15 % 정도 향상되었다. 따라서 패널의 차음성능을 증가시키기 위하여 패널의 두께를 증가시키는 것도 매우 효과적인 방법임을 알 수 있다.

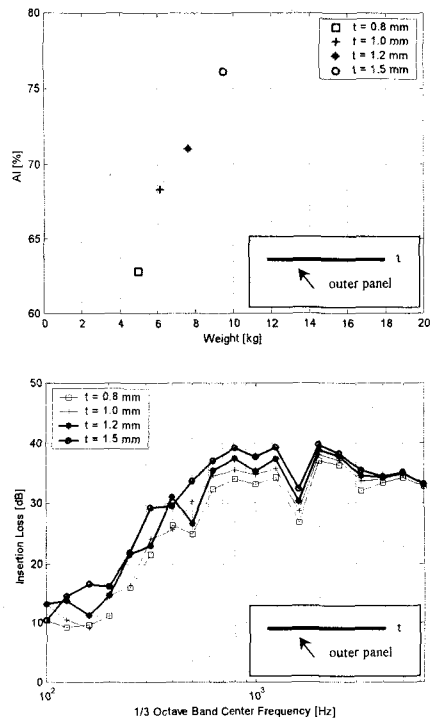
차량의 데시 패널의 차음성능을 높이기 위하여 이중 패널을 적용할 경우에 두 패널을 점 용접 (spot welding) 하게 되는데, 용접점의 거리에 따라 차음성능이 달라지게 된다. Fig. 5 는 용접점의 거리가 각각 50 mm, 200 mm, 300 mm 인 세 가지 시편의 차음특성을 보여주고 있다. 삽입손실은 1/3 옥타브 밴드의 중심 주파수가 1000~3000 Hz 영역에서만 차이를 보이고 있으며, AI 는 약 5 % 미만의 작은 차이를 보이고 있다. 중량이 같은 1.5 mm 두께의 패널과 비교할 때, 두 개의 패널을 용접하여 사용할 경우 차음성능이 떨어짐을 알 수 있다.

Fig. 6 은 이중 패널의 사이에 채워지는 충전재의 종류에 따른 차음성능을 나타내고 있다. 삽입손실을 비교하여 볼 때, 발포 아스팔트는 전 주파수 영역에서 크게 나타나고 있으며, 절연 패드 (isolation pad)는 1000 Hz 이하의 영역에서 좋은 차음효과를 나타내는 반면에 제진 시트 (deadening sheet)는 1000 Hz 이상의 영역에서 좋은 차음효과를 나타내고 있다.

Fig. 7 은 절연 패드와 제진 시트가 채워져 있는 이중 패널에 제진재를 부착하였을 때의 각각의 차음효과의 변화를 나타내고 있다. 충전재로 절연 패드가 사용된 이중 패널에 제진재가 추가된 경우 1000 Hz 이상의 영역에서 차음효과가 개선되었으며, 제진 시트의 경우 500 Hz 이상의 영역에서 차음효과가 개선되었다. 약 2 kg 정도의 중량 증가는 있지만 약 15 % 정도의 AI 값이 증가되었다.

또한 Fig. 8 에서 보는 것과 같이, 발포 아스팔트가 채워져 있는 이중 패널에서 패널의 두께를 증가시킬 경우 약 2000 Hz 이하의 주파수 영역에서 약간의 차음효과는 있으나, 중량 증가를 고려할 때 0.8 mm 두께의 패널이 차음에 효과적임을 알 수 있다.

이중 패널에 있어서 국부적으로 단일 패널이 적용되는 경우에 차음성능은 많이 감소된다. Fig. 9 에서와 같이 이중 패널이 전체의 50 %에만 적용될 경우, 이중 패널의 비율이 100 %인 경우에 비하여 AI 값이 3 % ~ 6 % 정도 감소됨을 볼 수 있으며, 특히 패널의 두께가 얇을수록 감소되는 정도가 크게 나타남을 알 수 있다.



**Fig. 4** Comparison of isolation performances related to thickness of a bare panel.

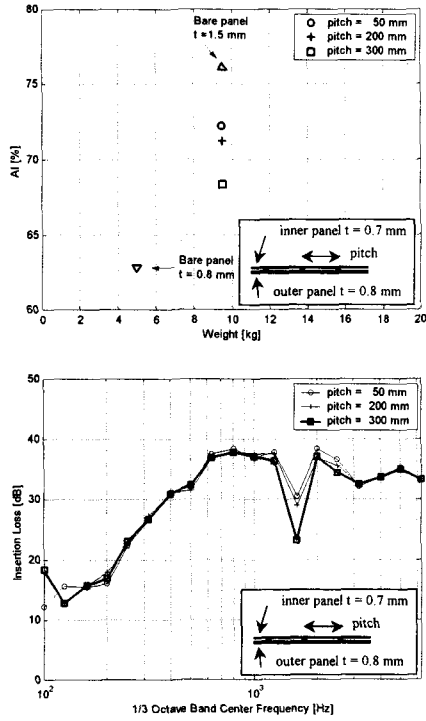


Fig. 5 Comparison of isolation performance related to spot welding pitch.

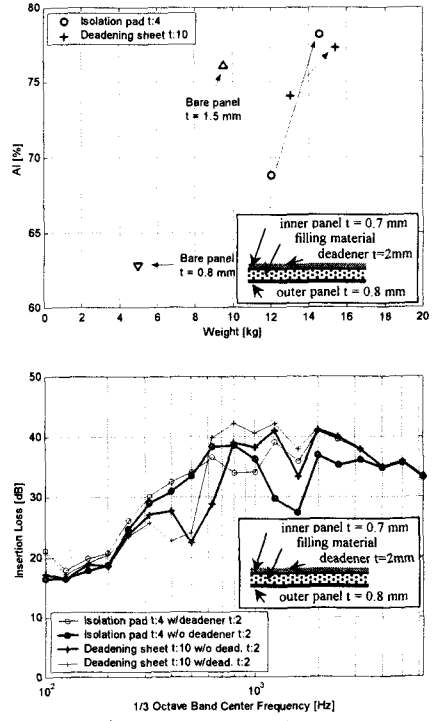


Fig. 7 Effect of a deadener on isolation performance of a double panel with a filling material.

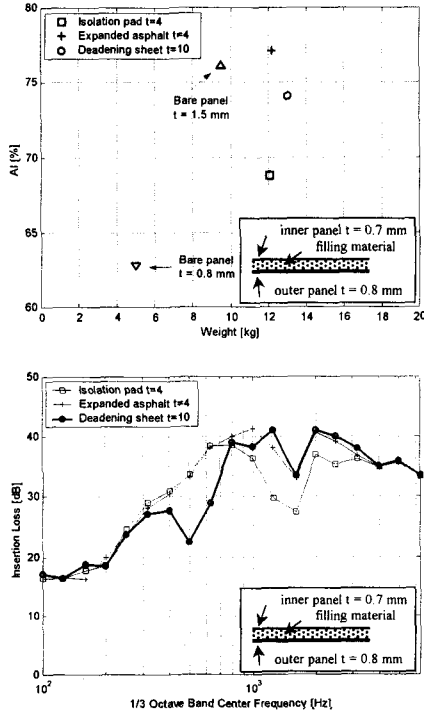


Fig. 6 Comparison of isolation performances related to type of filling materials.

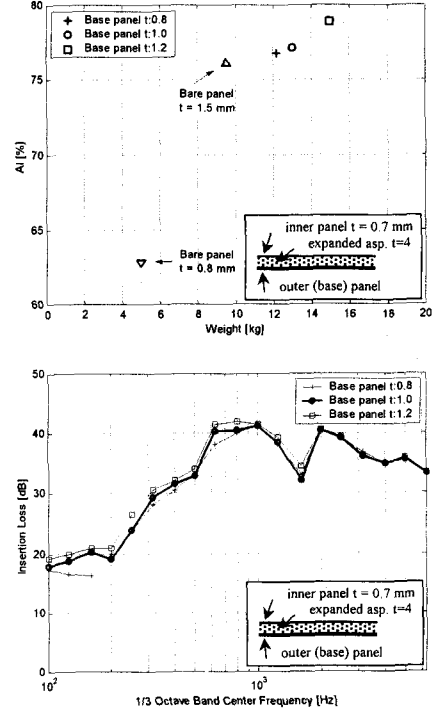


Fig. 8 Comparison of isolation performance related to thickness of an outer panel.

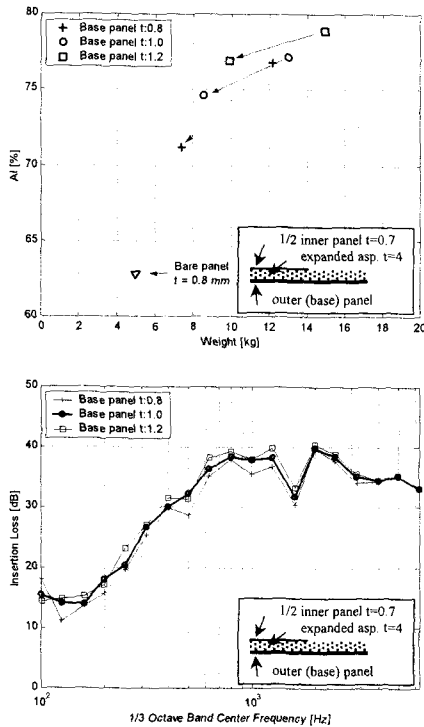


Fig. 9 Effect of a double panel area on isolation performance.

#### 4. 결론

본 연구에서는 제진재를 사용한 여러 가지 차음재의 삽입손실을 측정함으로써 각 차음재의 차음성능을 비교하였다. 또한 소음의 음질을 평가하는데 사용되는 AI가 차음재의 특성을 정량화 하는데 이용될 수 있음을 확인하였다. 잔향실을 이용하여 투과손실을 구하는 방법 대신에 차음성능 시험기를 이용하여 삽입손실을 측정함으로써 차량에 적용되고 있는 차음재의 특성을 효과적으로 구하였다.

페널과 발포 아스팔트, 절연 패드 그리고 제진 시트 등의 조합으로 구성된 차음용 페널들의 특성을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 동일한 두께라도 한 장의 페널이 두 장의 페널을 겹치는 것에 비하여 차음성능이 우수하다.
- 2) 이중 페널의 사이에 채워지는 충진재 가운데 발포 아스팔트의 효과가 가장 크게 나타났다.
- 3) 이중 페널의 표면에 비발포 아스팔트를 부착하는 경우 차음효과가 가장 크게 나타나지만, 전체 중량이 지나치게 증가하는 불리한 점이

있다.

- 4) 이중 페널이 적용되는 비율은 차음효과에 크게 영향을 미치므로, 이중 페널을 사용할 때 가능한 전체 면적에 이중 페널을 적용하여야 한다.

#### 참고문헌

- (1) S. Terashi, M. Asai and J. Naito, 1989, "Damping analysis of body panels for vehicle interior noise reduction", SAE Paper 891135.
- (2) T. M. Kawenski, 1993, "Measurement of airborne noise reduction of production door components on a buck", SAE Paper 931269.
- (3) R. E. Wentzel and P. Saha, "Empirical predicting the sound transmission loss of double-wall sound barrier assemblies", SAE Paper 951268.
- (4) ISO standard 140-3 : 1995, Acoustics - Measurement of sound insulation building and building elements-Part 3 : Laboratory measurement of airborne sound insulation of building elements.
- (5) ASTM E90-96, 1996, "Standard test method for laboratory measurement of airborne sound transmission loss of building partitions and elements", ASTM, Philadelphia, PA 19428.
- (6) SAE J1400, "Laboratory measurement of the airborne sound barrier performance of automotive materials and assemblies".
- (7) J. V. Buskirk, 1993, "Noise problem associated with geometrically stiffened panels", SAE Paper 931265.
- (8) A. Chappuis, 1991, "A method for measuring the sound-insulation effect of large-area flat and molded parts", Unikeller Conference.
- (9) 고강호, 김영호, 국형석, 2001, "다층 인슐레이션의 차음성능에 대한 실험적 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집.
- (10) A. Chappuis, 1993, "Small size devices for accurate acoustical measurements of materials and parts used in automobiles", SAE Paper 931266.
- (11) M. P. Norton, 1989, Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers, Cambridge University Press.