Polymer(Korea) Vol. 25, No. 3, pp 427-434 (2001)

폴리에스터 부직포를 이용한 자동차용 흡음재의 흡음특성에 관한 연구

변홍식† · 이태관*

계명대학교 공업화학과, *계명대학교 환경과학과

(2000년 12월 11일 접수)

A Study on the Characteristic of Sound Absorption of the Polyester Non-Woven Fabrics Used for the Automobile Sound Absorption Material

H. S. Byun† and T. G. Lee*

Department of Industrial Chemistry, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

**Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea*

†*e-mail : hsbyun@kmu.ac.kr*

(Received December 11, 2000)

요 약: 폴리에스터를 이용하여 새로운 자동차용 흡음재를 개발하였다. 흡음의 효과를 최대화시키기 위하여 PET 섬유의 크기를 3과 15 denier로 달리하여 3개의 층으로 제작하였으며, 이때 각층의 중량을 조절하여 밀도를 변화시켰다 (895~1790 g/cm^2). 또한 PET흡음재의 상업성을 알아보기 위하여 시판하고 있는 glass wool로 제조된 흡음재와 비교 분석하였다. 새로운 PET흡음재는 시판되고 있는 glass wool 흡음재보다 저주파와 고주파대역 모두에서 더 우수한 흡음성능을 보여주었다. 또한 PET흡음재의 밀도와 두께가 흡음성능에 중요한 영향이 있으며, 최적화된 PET흡음재는 시판되고 있는 흡음재와 비교하여 NRC (noise reduction coefficient)가 약 22-39% 향상되었다. 따라서 PET는 성능은 물론이고 환경과 재활용면에서 glass wool을 충분히 대체할 수 있으리라 생각한다.

ABSTRACT: The sound absorption materials with polyester (PET) were prepared for automobile. They consist of 3 layers with different size of PET fiber (3 and 15 deniers) in order to optimize the characteristic of sound absorption, and with various densities (895~1790 g/cm^2) by controlling the weight of PET of each layer. They were also compared with the commercial sound absorption materials made of glass wool. It was shown that the new PET had better absorption capability in both high and low frequency regions than that of the commercial material. It was revealed also that the density and the thickness of PET played an important role to determine the capability of sound absorption. The NRC (noise reduction coefficient) was increased by 22-39% with optimized PET sound absorption material. It should be noted that the PET can substitute the glass wool, a commercial sound absorption material, in view of environment and as well as recycle capability of sound absorption.

Keywords: *polyester, sound absorption, multilayer structure, recycle.*

서 론

소음으로 인한 환경오염은 최근 많은 주목을 받고 있다. 특히 자동차, 또는 비행기 산업에서는 소음저감을 위하여 다각적인 노력을 기울이고 있으며, 흡음이나 차음에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1-3]

일반적으로 소음제어에는 (1) 소음원의 제어, (2) 소음의 전달부분 제어, (3) 소음보호장비 사용이 있

다. 소음원의 제어 경우에는 소음을 발생시키는 원인을 제어하는 방법이다. 예를 들면 회전하는 물체의 평형을 잡는다든가, 소음원의 진동부분을 따로 격리하는 방법 등이다. 소음보호장비의 사용은 작업자의 귀를 귀마개를 이용하여 막거나, 또는 소음을 발생하는 곳을 완전 격리하는 방법 등이다. 이러한 방법들은 산업체에서는 활용 가능하지만, 자동차나 비행기와 같이 움직이는 물체에서 발생하는 소음의 제어에는 상당한 제약이 있다. 따라서 두 번째 방법인 소음의 전달부분에 소음을 제어할 수 있는 흡음재, 또는 차음재, 건축의 경우 빌딩의 구조, 산업체의 경우 방음벽 등을 이용한 소음제어연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 흡음재의 경우 소음제어에 탁월한 효과가 입증되어 여러 가지 재료를 활용한 연구가 발표되고 있으며, 자동차의 소음제어에 널리 활용되고 있다.[4-6]

자동차의 소음발생 원인으로는 엔진, 흡배기, 냉각용날개, 경음기, 주행소음이 있으며, 자동차의 실내에서 들을 수 있는 차내음은 고체음과 공기음이 있다. 고체음은 기진원에서의 진동이 구조물을 매질로 하여 전파되어 판부에서 방사되어 들리는 음이다. 대표적인 고체음의 예로서 로드 노이즈(road noise)가 있으며, 이것은 노면의 미세한 요철을 기진원으로 하는 진동이 타이어-서스펜션-고무마운트-차체의 골격 등의 전달계를 통하여 차실을 구성하는 패널에서 방사되는 음이다. 공기음의 예로서 가속시에 들을 수 있는 엔진투과음이 있다. 이것은 엔진내의 폭발, 흡배기계의 공명, 기류 등을 음원으로 한 것이며, 또다른 공기음으로 로드 노이즈나 투과음이 차실내에서 방사되어 들리는 음과 고속주행시에 발생하는 바람소리 등이 있다. 이러한 고체음과 공기음은 각각 30-500 Hz, 500-8 kHz에서 기여도가 있다.[7] 따라서 소음저감을 위한 흡음재료는 저주파와 고주파에서 상당한 흡·차음효과가 있어야 하나, 현재 널리 사용되고 있는 흡음재료는 고주파에서만 효과를 보이고 있다. 자동차흡음재로 널리 사용되고 있는 흡음재료로 glass wool과 폴리우레탄폼, 발포알루미늄, asphalt pad 등이 있다. Glass wool과 asphalt pad는 각각 흡음과 방진용으로 활용되고 있으나, glass wool은 인체에 해로우며 재활용이 되지 않는 단점이 있으며, asphalt pad는 중량이 무거워 차량의 경량화에 상반되는 역할을 하고 있다. 또한 폴리우레탄폼의 경우 제조단가가 비싸며, 내수성이 약한 단점이 있으며, 발포알루미늄의 경우에는 가격과 내구성에서 문제점이 노출되었다.[8] 최근에는 고분자 복합체를 이용하여 흡음의 효과를 향상하거나,[9,10] 흡음재의 구조를 변경하여 다층형태의 흡음재(elastic 및 poroelastic과 airspace의 혼합)로써 흡음효과를 극대화하는 연구가 발표되었다.[11]

본 연구에서는 인체에 유해하지 않으면서 재활용이 가능하고, 가벼운 소재인 PET 부직포를 이용하여 흡음재를 제조하였다. 제조된 흡음재에 대하여 주파수별 흡음특성을 분석하였으며, 현재 시판하고 있는 흡음재와 비교하여 상업적 이용가능성을 조사하였다. 또한 흡음재를 제작할 때 3개의 층(layer)으로 제작하고, 이때 각 층에서 PET 섬유의 크기와 밀도를 변화시켜 흡음성능의 최대화를 시도하였다.

실 험

PET 부직포의 조성. 실험은 기초 실험의 결과를

Table 1. The Compositions of Multilayer of PET

sample code	layer	compostions (wt%)	density (g/cm^2)	thickness (mm)
A	1, 3	LM[a] 35 15D[b] 35 3D 30	1790	25
	2	LDPE[c] 40 3D 60		
B	1, 3	LM 35 15D 40 3D 25	895	25
	2	LDPE 40 3D 60		
C	1, 3	LM 30 3D 50 15D 20	895	50
	2	LDPE 40 15D 60		
D series	1, 3	LM 25 15D 25 3D 50	1425(D-1)	35(D-1)
	2	LDPE 50 3D 50	1026(D-2)	25(D-2)

[a] Low melting fiber. [b] Denier. [c] Low density polyethylene.

Table 2. The Specifications of Commercial Sound Absorption Material

use	sample code	layer material	density (g/cm^2)
pad hood	GL1	Felt G/W[a] Felt	921
	GL2	Felt G/W Felt	1389
	GL3	Felt G/W AL.EMB.[b]	879

[a] Glass wool. [b] Embossed aluminium.

참조로[12] 4그룹으로 나뉘어 실행하였다. 각각의 그룹별 특징과 조성은 Table 1과 같다. Table 2는 현재 시판되고 있는 흡음재 (glass wool)의 조성이다. 시판되는 흡음재의 경우 조성의 대부분이 glass wool이며, 그 외의 조성은 자세하게 나와있지 않았다.

Table 3에서의 sample code 중 AA, BA, CC, AB, AC, BC, D-1-D-2, D-2D-2, D-1D-1 등과 같이 두 개가 같이 붙어 있는 경우에는 각각의 조성에 두 개의 sample이 같이 있는 경우를 의미한다. 따라서 두께는 두 배로 늘어나게 되며, 밀도 (단위면적당 무게)가 변하게 된다. D series에서 D-1과 D-2의 차이는 총 중량의 차이이다. D-1 (120×190 mm)은 3.25 kg, D-2 (120×190 mm)는 2.34 kg으로 밀도에 변화를 주었다. 또한 PET흡음재의 구조를 3개의 층 (layer)으로 만들어 각 층의 PET섬유의 크기를 3 denier (D)와 15D로 조절하여 섬유의 크기에 따른 흡음의 특성변화를 분석하였다.

PET 부직포의 제조. PET 흡음재 (부직포)의 제작은 열압착법을 이용하여 제작하였으며 제작순서는 다음과 같다. 정확한 무게를 측정한 polyester staple fiber를 low melting fiber (LM)과 같이 혼합기에 넣어 혼합시킨 후 carding기로 carding하여 layer를 제작한다. 이때 layer의 크기가 일정하도록 조절하여야 하며, 3개의 층이 서로 잘 밀착하도록 주의한다. 이와 같이 혼합된 3개의 층은 온도 180-210 ℃의 스팀 압착롤러를 통과하게 되어 최종 제품이 생산된다. Figure 1은 PET흡음재의 제작에 관한 개략도이다.

흡음 측정. 흡음은 관내법을 이용하여 측정하였다.

Table 3. Sound Absorption Coefficient at the various Frequencies and NRC of PET and Commercial Sound Aborption Materials

sample code \ frequency (Hz)	250	500	1000	2000	NRC
A	0.099	0.184	0.371	0.68	0.3335
B	0.081	0.174	0.369	0.68	0.3260
AA	0.188	0.38	0.724	0.941	0.5585
BB	0.207	0.482	0.828	0.99	0.6268
CC	0.207	0.465	0.824	0.995	0.6228
AB	0.171	0.377	0.732	0.946	0.5565
BA	0.208	0.45	0.819	0.973	0.6125
BC	0.201	0.463	0.805	0.994	0.6158
CB	0.216	0.488	0.853	0.992	0.6373
D-1	0.088	0.184	0.372	0.712	0.339
D-2	0.064	0.121	0.269	0.436	0.2225
D-2D-2	0.115	0.259	0.541	0.914	0.4573
D-1D-1	0.199	0.454	0.821	0.994	0.6170
D-1D-2	0.148	0.354	0.693	0.985	0.5450
D-2D-1	0.154	0.351	0.699	0.978	0.5455
GL1	0.049	0.128	0.258	0.558	0.2433
GL2	0.057	0.173	0.458	0.854	0.3855
GL3	0.059	0193	0.617	0.968	0.4593

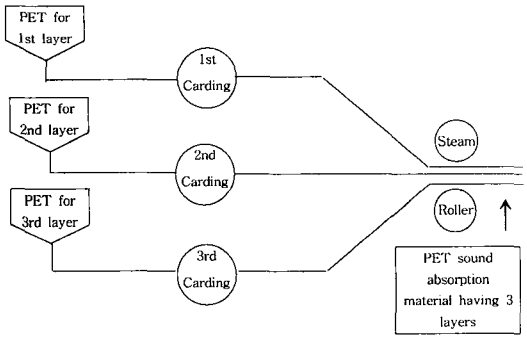

Figure 1. Schematic diagram of the manufacturing of PET sound absorption material having 3 layers.

관내법은 B&K사에서 제조한 Tube type 4206을 이용하였으며, 신호분석은 multichannel signal analyser인 Type 3550을 이용하였다. Figure 2는 관내법 장치의 간단한 도해이다. 시편은 저주파용 (400-800 Hz)과 고주파용 (1-2.5 KHz)으로 구분되며 지름의 크기가 각각 3, 10 cm이다. 측정은 저주파, 고주파, 각각 5번씩 하였으며 평균으로 최종 결

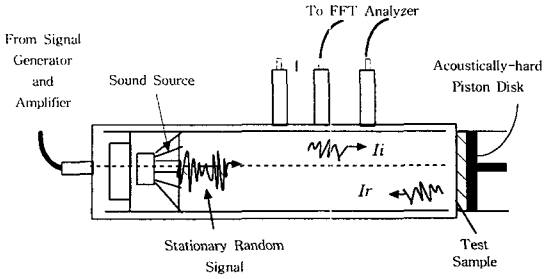

Figure 2. The schematic diagram of the sound absorption measurement tube with microphone.

과를 나타내었다. PET흡음재의 상업적 활용도 비교를 위하여 현재 자동차의 pad hood에 활용되고 있는 제품의 흡음효과를 측정하여 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

층의 변화에 따른 PET의 흡음성능 변화. 3개의 층으로 이루어진 PET흡음재는 각 층의 섬유크기에 변화를 주어서 층변화에 따른 흡음율을 측정하였으며 현재 시판중인 흡음재 (GL1)와의 비교로써 상업적인 가능성을 알아보았다 (Figure 3). 여기서 GL1은 상업적으로 널리 활용되고 있는 흡음재로서 대부분이 glass wool의 구조를 갖고 있다.

Figure 3(b)와 Figure 3(c)의 비교에서 다층구조의 1층과 3층의 섬유크기를 변화시킨 결과 큰 차이가 없음을 알 수 있었으나 (Figure 3(b)), 두께를 2배로 하였을 때 (Figure 3(c))는 섬유의 크기가 큰 것이 더 많을 경우 (BB sample)에 흡음율이 약간 증가되는 것을 알 수 있다. 그러나 CC sample의 경우에는 섬유의 크기가 작은 것이 더 많이 함유되었음에도 불구하고, BB sample과 거의 동일한 흡음율을 보여주고 있다. 따라서 흡음율의 증가는 섬유의 크기에 의한 것이라기 보다, 흡음재의 두께상승에 의한 효과라고 생각된다. 이것은 Figure 3(a)에서 확인될 수 있다. 즉 두께를 두배로 증가시킬 경우 흡음율은 약 2배 증가하는 것을 보여주고 있다. 본 연구에서 제조된 PET흡음재는 두께와 상관없이 모두 상업적인 흡음재 (GL1)와 비교하여 고주파는 물론이고 저주파에서도 더 우수한 흡음율을 보여주고 있다. 따라서 개발된 PET흡음재는 상업적으로 충분히 활용 가

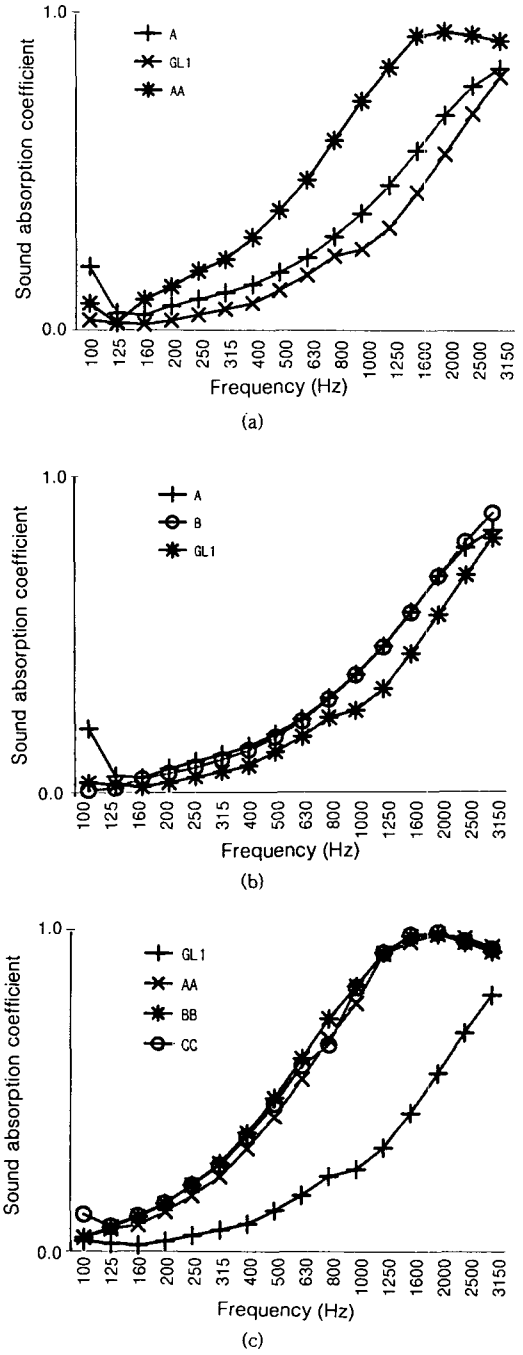

Figure 3. The characteristics of sound absorption of PET with various compositions of the layer and comparison with the commercial sound absorption material (GL1).

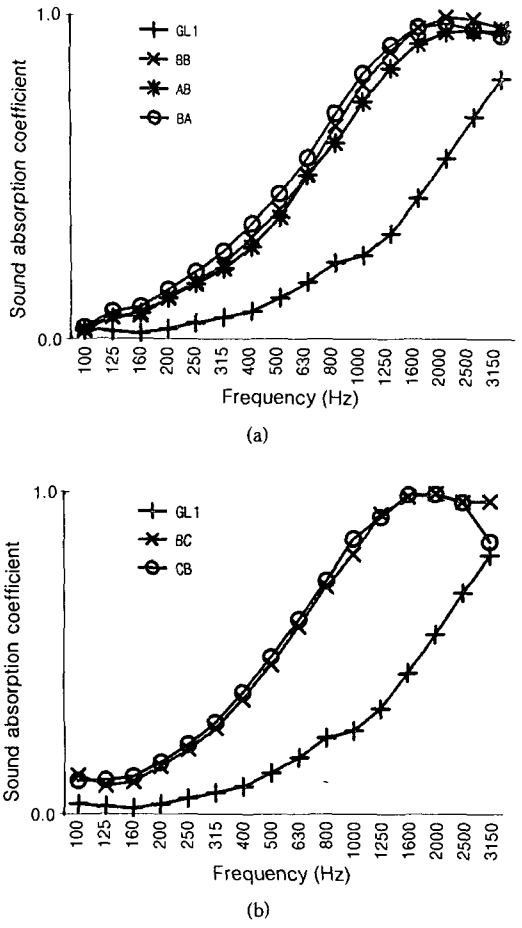

Figure 4. The characteristics of sound absorption of PET with varying the order of layer.

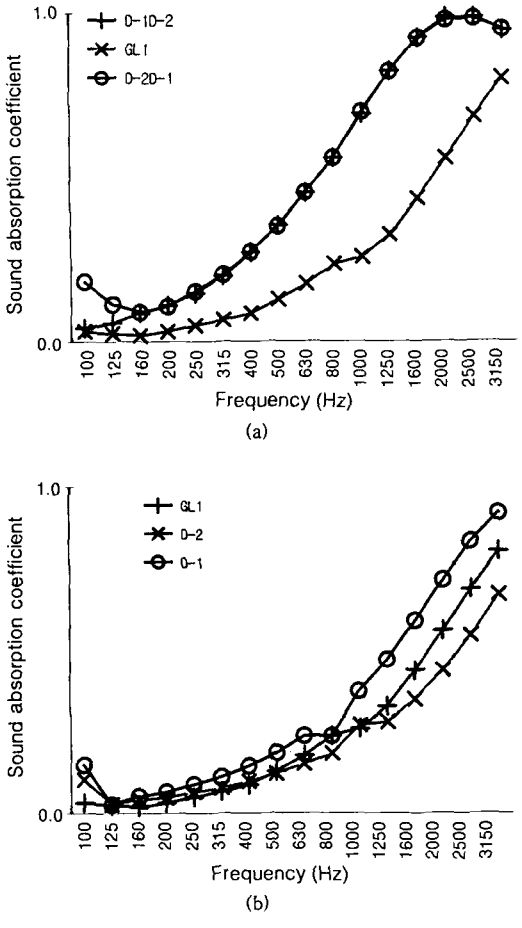

Figure 5. The characteristics of sound absorption of PET with various densities and comparison with the commercial sound absorption material (GL1).

능하리라 생각된다.

Figure 4는 PET흡음재의 흡음을 측정에서 소리가 입사되는 부분의 조성을 변화시켰을 때 흡음율의 변화를 보여준다. Figure 4(a)에서 층의 순서를 서로 바꾸었을 때 흡음율의 상승을 볼 수 있다. 즉 15D의 함량이 더 많은(B sample) 층이 소리를 우선적으로 흡수할 때 더 많은 흡음효과를 보여주고 있다. 이것은 다층구조의 변화와 일치하는 결과를 보여준다. 그러나 그 상승효과는 두께의 상승효과와 비교하여 그리 크지 않음을 알 수 있다. 두께가 두꺼운 C sample이 소리를 직접 흡수할 경우(CB sample) BC와 비교하여 미미하지만 약간의 흡음율 상승을 볼

수 있다.

밀도의 변화에 따른 PET의 흡음성능 변화. Figure 5와 Figure 6은 밀도의 변화에 따른 PET흡음재의 흡음율 변화와 현재 시판중인 흡음재의 상호 비교 자료이다. 제조된 PET 흡음재의 경우 GL1과 비교하여 아주 우수한 성능을 보여주고 있다. 특히 저주파와 고주파에서 모두 향상된 성능을 보여주고 있으며, 밀도는 흡음성능의 중요한 결정인자인 것을 알 수 있다. Figure 5(b)와 Figure 5(c)의 비교에서 밀도가 높은 D-1 (1.425 kg/cm^2)이 밀도가 낮은 D-2 (1.026 kg/cm^2)보다 흡음성능이 우수한 것을 알 수 있다. 이것은 매질에 음파가 입사될 때 발생하는 진동에너지가 밀도가 높을 경우 더 작으며, 따라서 음에너지가 열에너지로 변환되어 소멸되는 효과가 더 높아지기 때문이라 생각된다.[13] 또한 밀도가 높은 경우 음의 투과손실도 상대적으로 적다고 할 수 있다. 즉 흡음의 효과가 더욱 잘 나타난다고 할 수 있다. 이러한 밀도의 흡음 상승효과는 흡음재의 두께조절로써 그 효과를 더 높일 수 있다. Figure 5(c)에서 이러한 밀도와 두께에 의한 흡음 상승효과가 잘 나타나 있다. 밀도와 두께의 조절로써 거의 모든 주파수에서 약 80% 이상의 흡음상승이 있음을 알 수 있다. Figure 5(a)의 경우에는 전체적으로 동일한 밀도와 두께에서 음의 입사 부분의 밀도에 변화를 주었다. 그 결과 음의 입사부분의 변화에는 흡음성능이 변화하지 않았으며, 따라서 밀도와 두께가 흡음성능에 직접적인 영향이 있음을 알 수 있었다. Figure 5(a)의 경우 거의 동일한 흡음성능을 보여준다. 또한 흡음성능은 밀도뿐만 아니라 흡음재의 재료구성에도 많은 영향이 있음을 Figure 6에서 알 수 있다. 즉 밀도가 가장 낮은 제품인 GL3의 흡음성능이 가장 우수하게 나타났다. GL3의 경우 낮은 밀도에도 불구하고 높은 흡음성능은 알루미늄의 차음효과 때문이라고 할 수 있다. 따라서 흡음성능을 향상시키기 위해서는 최적화된 밀도와 재료를 가지고 어느 정도의 두께를 유지하여야 한다는 것을 알 수 있다.

시판되고 있는 자동차 pad hood용 흡음재 (GL1, GL2, GL3) 모두 특징적으로 저주파 (160-800 Hz)에서는 흡음성능이 아주 약하고 고주파 (1-2.5 kHz)에서 흡음성능이 우수한 것을 Figure 6에서 볼 수 있다. 이러한 단점은 PET흡음재에서 보강되는 것을

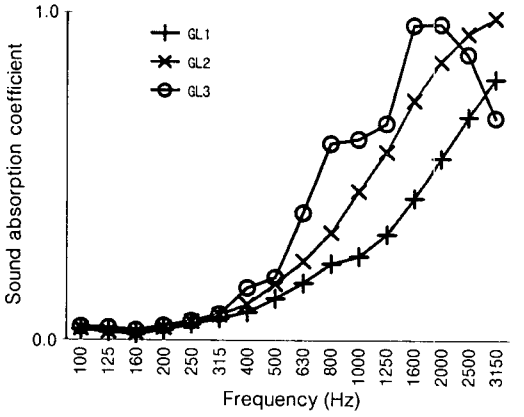

Figure 6. The characteristics of the commercial sound absorption materials.

알 수 있다. PET흡음재 (AA, AB, BA, D-1D 등 등)와 GL3과의 비교에서 PET흡음재는 GL3보다 저주파에서 약 2.5배 높은 흡음성능을 보여주고 있으며, 고주파에서의 흡음성능은 거의 동일한 것을 보여주고 있다. 그러나 단일 PET sample인 A (Figure 3(a)), B (Figure 3(a)), D-1 (Figure. 5(b)), D-2 (Figure 5(b))의 경우 GL3 (Figure 6)보다 흡음성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 즉 저주파는 약간 우수하거나 거의 비슷한 성능을 보여주나, 고주파에서 상당히 저하된 흡음성능을 보여주고 있다. 이것은 PET 흡음재의 밀도를 증가시켜 해결할 수 있었다. Figure 3(a)에서 A sample의 밀도를 증가시킨 결과 모든 주파수에서 약 2배이상 향상된 흡음성능을 얻을 수 있었다. 따라서 저주파대역에서의 흡음성능은 흡음재의 구성재료에 따라 영향이 있으며, 고주파대역에서의 흡음성능은 흡음재의 밀도와 두께에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있다.

NRC (Noise Reduction Coefficient)와 주요 주파수에서 흡음성능 비교. Table 3과 Figure 7은 PET와 시판되는 흡음재들의 주요 주파수 (250, 500, 1000, 2000 Hz) 및 NRC의 비교이다. NRC는 1/3 옥타브 대역으로 측정한 250, 500, 1000, 2000 Hz의 주파수대역의 흡음율을 산술평균한 값이다. 주요 주파수 및 NRC의 비교에서도 전체 주파수대역에서의 비교와 유사한 결과를 보여주고 있다. 본 연구에서 제작된 PET흡음재 모두 시제품 GL1보다 증가된 NRC를 보여주며, 특히 두께를 강화시킨 제품들은

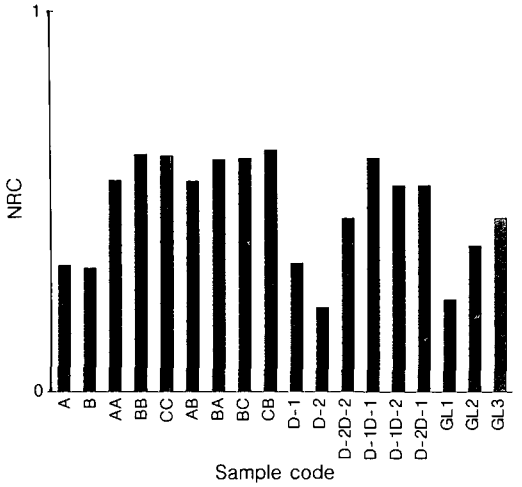

Figure 7. Comparison of NRC of the PET and that of the commercial sound absorption materials.

(AA, BB, AB 등) 알루미늄이 부착된 GL3보다 NRC가 약 22-39%까지 증가된 것을 알 수 있다. 이와 같이 본 연구에서 제작된 PET 흡음재는 전체 주파수에서 뿐만 아니라, NRC 비교에서도 현재 시판중인 흡음재와 비교하여 더 우수한 결과를 보여주었다. 또한 전체 층에서의 밀도와 음의 입사면에서의 밀도, 그리고 흡음재의 두께가 흡음율에 주는 영향은 NRC에서도 전체주파수에서의 경향과 일치하고 있으며, 특히 저주파대역(250 Hz)에서는 PET흡음재의 높은 흡음특성을 알 수 있었다. GL1과 비교하여 약 2-5배 정도 흡음율이 높은 것을 보여준다. 이것은 저주파대역에서의 음이 glass wool보다 더 많은 공기층이 있는 PET흡음재에서 아주 효과적으로 흡음되기 때문이라 생각된다.

결 론

흡음재로서 널리 활용되고 있는 glass wool은 재활용이 어려운 환경적인 문제와 취급하기에 불편한 점들이 노출되어 여러 가지 대체 흡음재가 개발 연구되고 있다. 특히 고분자 재료의 활용이 두드러지며, 이에 본 연구에서는 폴리에스터를 이용하여 환경친화성 흡음재를 개발하고자 하였다. 본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) PET 흡음재는 시판되는 흡음재와 비교하여 고주파와 저주파영역 모두에서 성능이 더 우수하였으며, NRC의 비교에서도 우수한 결과를 보여주었다. 특히 두께를 높인 PET흡음재의 경우 알루미늄이 부착된 상업적인 흡음재보다 더 높은 NRC (22-39% 향상)를 나타내었다.

(2) 흡음재료의 밀도 선정은 최적화를 이루어야 하며, 본 연구에서는 다층구조에서 흡음 성능이 우수한 것을 알 수 있었다.

(3) 다층구조에서 흡음재는 두께가 두꺼울수록 흡음효과는 증가하였으며, 층내의 PET 섬유의 크기가 클수록 유리하였다. 그러나 섬유의 크기에 의한 흡음효과보다는 흡음재의 두께가 흡음성능에 더 영향이 있었으며, 저주파대역에서의 흡음성능은 흡음재의 구성재료에 따라 변한다는 것을 알 수 있었다.

(4) 소리음을 직접 흡수하는 부분에서의 흡음재 구성이 흡음재의 총 흡음성능에 많은 영향이 있다는 것을 알 수 있었으며, 이때 층내의 PET섬유의 크기가 크면(15D) 흡음율이 약 20% 향상되었다.

감사의 글: 본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터의 지원으로 이루어졌으며, (주)삼우기업의 참여와 동진제면의 부직포제작에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. A. Noureddine and R. Panneton, *Noise Control Eng. J.*, **44**(5), 235 (1996).
2. W. E. Zorumski, "Aircraft Flyover Noise Prediction", Pro.Noise Con.-77, Hampton, Va, October, 1977.
3. Y. S. Lee, I. D. Kim, and J. G. Lee, *J. of Korea Soc. of Automotive Engineers*, **14**(4), 68 (1992).
4. D. Anderton, E. C. Grover, N. Lalor, and T. Priedd, "Origins of Reciprocating Engine Noise-It's Chatacteristics Prediction and Control", ASME 70-WA/DGP-3, 1970.
5. T. Kitahara, I. Terada, and T. Waranabe, *Int. J. of Veh. Des.*, **5**, 490 (1984).
6. R. W. Guy, *Noise Control Eng. J.*, **33**, 117 (1989).
7. C. R. Fuller and A. H. von Flotow, *IEEE Control Sys. Mag.*, **15**(6), 9 (1995).
8. I. C. Finegan and R. F. Gibson, *Composite Structures,*

44, 89 (1999).
9. R. Moulder, "Sound-Absoptive Material", in "Handbook of Acoustical Measurement and Noise Control", ed. by C. M. Harris, ch. 30, McGraw-Hill, N. Y., 1991.
10. R. F. Gibson, "Principles of Composite Material Mechanics", McGraw-Hill, N.Y., 1994.
11. S. J. Hwang and R. F. Gibson, *J. of Composite Mat.*, **26**, 2585 (1992).
12. H. S. Byun, "Developmeut of Sound Absorption Materials and Deadeners Reducing the Vehicle Noise" SMBA Technology Innovation and Developrnent Business Report (2000).
13. P. C. Wang and R. J. Fridrich, *J. of Composite Mat.*, **30** 1629 (1996).