

# 메타-아라미드 섬유를 이용한 자동차용 고내열 흡음재 개발

## Development of High Temperature Resistant Sound Absorbing Materials Using Meta-aramid Fiber

김근영\*·서원진\*·정기연\*·서종범\*·조인구\*  
Keun-Young Kim, Won-Jin Seo, Ki-Youn Jung, Jong-Beom Seo and In-Goo Cho

(Received August 5, 2013 ; Revised September 5, 2013 ; Accepted September 5, 2013)

**Key Words** : Sound Absorbing Materials(흡음재), Nonwoven Fabric(부직포), Aramid Fiber(아라미드섬유), High Temperature Resistant Fiber(고내열 섬유)

### ABSTRACT

Recently, the importance of GDI and diesel engine noise reduction is required, so newly designed components very close to noise sources are added in order to maximize the sound absorbing performances. In this study, the high temperature resistant part made with meta-Aramid nonwoven, which was applicable for high temperature applications of about 200 °C or more, such as engines and exhaust systems, was developed. And three-dimensional shaped component was successfully fabricated, and it was observed high temperature resistance of 260 °C, lightweight properties and the noise was decreased by 1.0 dB with 70 g of product.

### Nomenclature

de : 데니어(denier)

### 1. 서 론

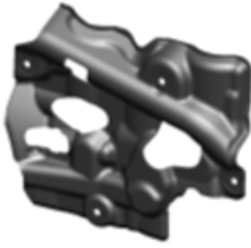
자동차에서 발생하는 소음은 엔진에서 발생하는 소음을 비롯하여 변속기 소음, 타이어, 브레이크 소음, 그리고 각종 부대장치에서 발생하는 소음 등이 있다. 그 중에서 엔진룸에서 발생하는 소음은 차량 전체에서 발생하는 소음의 60% 이상을 차지하며 이를 줄이기 위하여 다양한 흡차음 부품이 적용되고 있다. 그리고 최근 고출력 엔진기술의 발전으로

GDI(gasoline direct injection) 엔진 및 디젤 엔진이 장착되는 차량의 확대는 연비의 효율성이라는 강점이 있지만 고출력에 의한 엔진자체 소음이 증가되는 단점이 있다. 이는 차량을 제 2의 주거공간으로 인식하고 있는 소비자들에게 외면을 받을 수 있다는 문제점이 지적되고 있으므로, 이에 대응하기 위해 새로운 소재 및 공법 등의 개발을 통해 경량화 및 고성능화 등을 추진하고 있는 실정이다<sup>(1)</sup>.

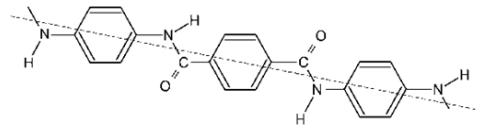
국내외 부품 업체의 경우, 지금까지 차량의 정속성 문제점을 해결하기 위해 흡차음재의 사용량을 늘리는 방법을 주로 사용하였다. 그러나 이는 중량 및 원가의 상승이라는 단점이 수반되므로 연비가 중요시되는 자동차 트렌드에 역행되는 모순 및 중량 상승 효과 대비 차량의 소음을 개선하는데 많은 한계를

† Corresponding Author ; Member, Hyundai Motor Company R&D Division  
E-mail : kky816@hyundai.com  
Tel : +82-31-368-9467, Fax : +82-31-368-7444  
\* Hyundai Motor Company R&D Division

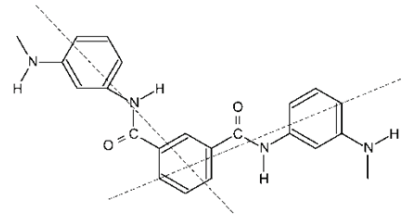
‡ Recommended by Editor Don Chool Lee  
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering



**Fig. 1** The acoustic shield for engine cylinder block



**Fig. 2** Para-aramid structure



**Fig. 3** Meta-aramid structure

보여왔다. 이에 최근에는 저밀도 폴리우레탄 폼을 이용하여 중량은 획기적으로 줄이고 흡음 성능을 향상 시킨 부품이 개발되는 등, 다층 구조를 이용하여 흡음 성능을 극대화 하여 적용시키는 등의 연구가 진행 되고 있지만 끊임없이 더 높은 성능이 요구되고 있다.

따라서 이 연구에서는 엔진 및 배기계에서 발생되는 소음을 일차적으로 제어하기 위하여 소음원 최근접부에 적합한 재질 및 공법을 도입하여 고온의 환경에서 기존 흡음재의 내열 한계를 뛰어 넘는 새로운 부품을 제조하였고, 최소한의 중량으로 우수한 흡음 성능을 검증한 동시에 양산에 필요한 성형성, 작업성 및 내구성능을 확보하였다. 부품은 엔진 실린더 블록커버 흡음재를 Fig. 1과 같이 제작하여 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 고내열 흡음재의 제작

#### (1) 고내열 부직포 펠트 재질 선정

엔진 소음을 저감을 위해 사용되는 흡차음재는 폴리우레탄 폼 또는 각종 섬유 부직포 및 펠트의 통기성 재질의 흡음재와 EVA, TPE 재질에 의해 소음이 차단되는 차음재로 구성되며, 사용 목적에 따라 단일층, 다층, 또는 복합층으로 구성되어 있다. PET 부직포, 글래스울, 레진펠트, 폴리우레탄 슬라브 폼과 같은 재질을 이용한 흡음재 단일 구조는 고주파수 영역 차단에 효과적이고 저중량에 유리하지만 저주파수 흡음을 향상을 위해서는 두께 증가가 필요한 특징을 가지며, 흡음재와 차음층으로 구성된 복합 구조는 엔진 소음 중 저주파수 대역 차단에 효과적이나 차음재 중량이 과다한 단점이 있다.

실린더 블록 커버는 엔진에서 발생하는 소음을

일차적으로 차단하여 소음의 실내 유입을 제어하기 위해 자동차 업계에서 기존에 적용되지 않았던 신규 컨셉으로 개발되어 적용이 검토되는 부품이다. 즉, 엔진룸 부품 중에서도 엔진과 가장 근접한 부위에 적용되기 때문에 260 °C의 고온 환경에서도 형상을 유지할 수 있어야 하며, 불연 특성을 만족해야 한다. 이를 만족하는 소재를 선정하기 위해 LOI(한계산소지수, limiting oxygen index)가 25 % 이상이면서 260 °C에서 장기 내구성을 확보하기 위해 분자구조에 방향족 복소환기를 포함하고 있는 섬유 소재 및 260 °C에서 분해가 발생하지 않는 열경화성 바인더를 검토하였다.

이와 같은 장기 내구성을 만족할 수 있는 섬유 소재로는 일차적으로 aramid(aromatic-polyamide), PBI(polybenzimidazole), PBO(polybenzoxazole), PI(polyimide) 등의 슈퍼섬유를 검토하였으며, 수급이 용이하고 원가적으로 유리한 aramid 섬유를 선택하였다. Aramid의 경우 p-aramid(Fig. 2)와 m-aramid(Fig. 3)의 두 종류가 있으며 내열성은 p-aramid 가 유리하지만, 200 °C 이상에서 수분에 의해 2년 이상의 장기간 사용이 불가능한 단점이 있어 최종적으로 m-aramid를 선택하였다. 또한 염색 방식에 있어서는 방사 후 염색 기술을 이용하여 제조된 후염사와, 원사 제조부터 수지와 안료를 배합하여 방사된 원착사 사양 두 가지로 제작하였으며 두 사양의 내구성을 비교하였다.

부품 제작을 위하여 최종 선택된 m-aramid를 결합

시커 형상을 유지할 수 있는 열경화성 고내열 바인더를 도입하였다. 에폭시 수지 3종을 컴파운딩한 후 유기용매에 분산시키는 방법으로 내열성을 확보하였으며, 바인더 수지에 의한 난연성을 확보하기 위해 난연제를 유기용매에 함께 분산시키는 방법으로 내열성과 난연성을 모두 만족시킬 수 있는 바인더를 도입하였다

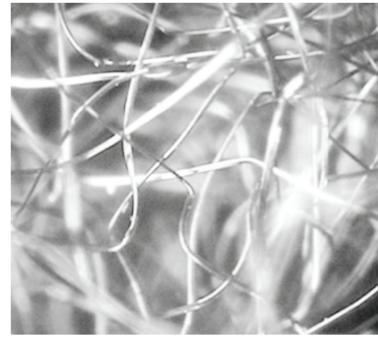
(2) 실린더 블록커버 제작

펠트 제작을 위하여 1.5 de m-aramid섬유를 30 g/m<sup>2</sup>의 웹을 형성하고, 형성된 웹을 수평래퍼를 이용하여 콘베이어벨트 위에 10겹을 오버랩핑하여 서로 적층시켜 적층웹을 형성한 후 적층웹의 표면에 대해 수직방향으로 니들핀칭하여 300 g/m<sup>2</sup>의 아라미드 부직포를 6 mm의 두께로 제조하였다.

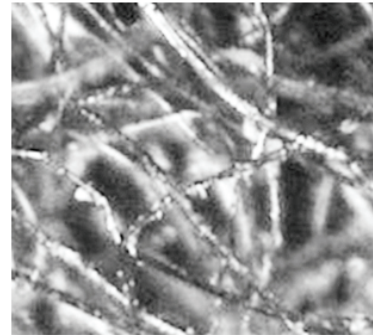
비스페놀 A 디글리시딜 에테르(bisphenol A diglycidyl ether), 폴리옥시프로필렌 디글리시딜 에테르(polyoxypropylene diglycidyl ether), 포스파젠 디글리시딜 에테르(phosphazene diglycidyl ether)의 에폭시 수지 3종을 컴파운딩하여 준비하고, 컴파운딩된 에폭시 수지 10 중량%의 시아노구아니딘(cyanoguanidine) 경화제, 비스디메틸우레아 화합물(bis-dimethylurea compounds) 촉매, 에폭시 수지 15 중량%의 멜라민시아누레이트(melaminocyanurate) 난연제를 혼합하여 열경화성 바인더를 제조한 후 디메틸카보네이트(DMC) 유기용매에 분산시켜 에폭시 수지 용액을 제조하였다.

제조된 에폭시 수지 용액에아라미드 부직포를 함침시킨 후 롤러로 압착하여 아라미드 부직포에 에폭시 수지 용액 1,000 g/m<sup>2</sup>을 함침한 후 150 °C로 유지된 건조오븐을 통과하여 450 g/m<sup>2</sup>의 실린더 블록커버용 부직포를 제조하였다. 이후 제조된 실린더 블록 커버용 부직포 2매를 준비한 후 일면에 코팅처리를 진행하여 에폭시 수지를 도포하고, 에폭시 수지가 도포된 면이 서로 맞닿도록 적층한 후 표면온도가 200 °C로 유지되는 금형에 적층된 부직포를 안착시킨 후 150 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 압착하여 실린더 블록 커버 시제품을 제조하였다.

Fig. 4는 제조된 시제품의 부직포 내부를 전자현미경을 이용하여 300배 확대한 사진으로, 부직포를 형성하고 있는 원사에 바인더가 고르게 분포되어 있는 것을 확인하였다.



(a) The pure aramid nonwoven



(b) The aramid nonwoven with epoxy binder

Fig. 4 Nonwoven internal image(300 times)

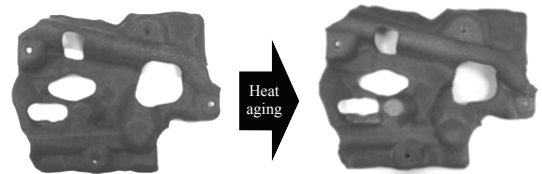


Fig. 5 The product image after heat aging test

2.2 고내열 흡음재의 성능 검증

(1) 내열 내구 성능

고온에서의 내구 성능을 평가하기 위하여 장기 내열 노화성을 260 °C에서 200시간 조건에서 평가하였으며 단기 내열성은 310 °C에서 30분간 평가하였다. 온도 조건은 실제 적용하고자 하는 사용부에서 요구되는 최대 온도를 기준으로 설정하였다. 시험편은 후염사로 제조된 성형품과 원착사로 제조된 성형품 두 사양으로 내열 챔버를 이용하여 노화 평가를 진행한 결과 탄화, 부직포층의 박리, 표면 부풀음 및 벗겨짐 현상 등이 없이 양호함을 Fig. 5와 같이 확인하였다.



Fig. 6 Flammability test

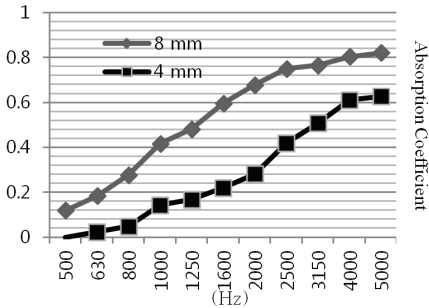


Fig. 7 The result of sound absorption test

(2) 불연성 검증

제조된 성형품으로 수직 연소성 시험을 실시한 결과 불연 특성을 Fig. 6과 같이 확인하였다.

(3) 흡음성 평가 결과

자동차용 흡음재의 흡음률을 측정하는 방법에는 수직 입사음에 대한 흡음률을 측정하는 관내법과 난방향 입사음에 대한 흡음률을 측정하는 간이 잔향실법 두 가지로 일반화 되어 있으나<sup>(2)</sup>, 측정 환경면에서 보았을 때, 간이잔향실법의 확산장장이 실제 흡음재가 적용되는 환경과 일치하기 때문에 자동차용 흡음재 개발을 위해서는 주로 간이 잔향실법이 사용된다.

시험편은 부품과 동일한 밀도의 바인더가 함유된 아라미드 부직포를 이용하여 가로 1.2 m, 세로 1.0 m의 크기에 두께는 4 mm와 8 mm로 제조하였다. 평가 결과는 Fig. 7과 같으며 중고주파에서 우수한 흡음 성능을 나타냄을 알 수 있다.

2.3 차량 NVH 성능 검증

(1) 차량 실내 소음 발생 기구

차량 실내 소음 발생 기구는 고체음과 공기음으로 나누어진다. 고체음이란 기진원으로부터의 진동

이 구조물을 매질로 하여 전파되어 판부에 방사되어 들리는 음으로 로드노이즈가 대표적이라 할 수 있으며, 노면의 미세한 요철을 기진원으로 하는 진동이 타이어-서스펜션-고무 마운트-차체 골격 등의 전달계를 전파하여 차량 실내를 구성하는 판넬에서 방사되는 음이라 할 수 있다.

공기음으로는 엔진 투과음이 대표적이라 할 수 있으며, 이것은 엔진 내의 폭발, 흡배기계의 공명, 기류 등을 음원으로 해서 발생한 음파가 엔진과 차실을 분리하는 대쉬 판넬을 투과해서 차량 실내로 유입되는 음이라 할 수 있다. 또한 전술한 로드노이즈나 투과음이 차량 실내에서 방사되어 들리는 음과 고속주행 시에 발생하는 바람소리 등도 공기음으로 분류된다.

이와 같이 차량의 실내 소음은 고체음과 공기음이 복합적으로 발생하는데, 30~500 Hz에서는 고체음의 기여가 크고, 500~8000 Hz에서는 공기음의 기여가 큰 경향이 있다<sup>(3)</sup>.

(2) AI

기본적으로 AI(대화 명료도 지수, articulation index)는 닫힌 공간 내에서 각 주파수(1/3 octave band)의 소음 레벨에 따른 AI 값을 등급화하여 전 주파수 대역의 소음 등급을 합산한 값으로 암소음이 대화 시 영향을 주는 정도를 분석하는 기법이다. 즉, 대화 시 등장하는 대표적인 음원 스펙트럼을 가정하고 배경 암소음이 음원 스펙트럼보다 얼마나 차이가 있는냐에 의해 누적된 값을 환산하여 %값으로 표시한다. 즉, 0%의 경우 대화가 불가능할 정도로 차량이 시끄럽다는 것을 의미하며, 100%의 경우 대화가 모두 전달될 정도로 차량이 정숙하다는 것을 의미한다.

이러한 AI를 이용한 음질평가 방법은 동 규격이 1969년 미국 ANSI S 3.5 규격으로 제정된 이후, 자동차 실내 소음을 평가하는 방법으로 지속적으로 사용되고 있으며, 차량 실내에서 측정된 소음은 배경 암소음의 스펙트럼으로 처리하여 차량 탑승자 상호간의 대화에 대한 명료도 평가가 가능하게 된다<sup>(4)</sup>.

(3) Partial Overall SPL

물체가 진동하면 이 진동이 공기의 미소 변화를 발생시키고, 이 변화가 고막을 진동시켜 소리로서

**Table 1** Sample list of small sedan evaluation

Sample ID	Description	Note
Case 1	Without acoustic shield	Existing product
Case 2	With acoustic shield in Fig. 1	Prototype

**Table 2** Assessment of driving noise

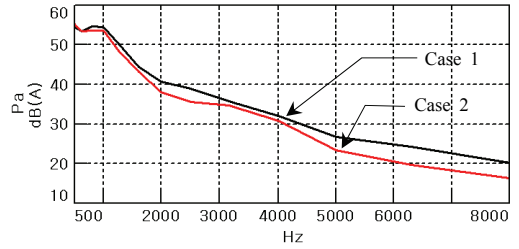
Sample ID	AI(%)	
	Front seat	Rear seat
Case 1	80	76
Case 2	82	79.8
Improvement	+2.0	+3.8

듣게 되는 것이다. 즉, 소리는 대기압의 압력 변화이며, 이 변동을 음압이라 하며 소리의 물리적인 크기를 dB 단위를 사용하여 SPL(음압 레벨, sound pressure level)로 나타낸다. 자동차의 경우 실내 소음의 주요 주파수를 200~10,000 Hz 범위로 축소시켜 합성된 p.OA SPL(partial overall sound pressure level) 값이 주로 사용되며, 통상적으로 차량용 흡차음재가 영향을 미치는 주파수인 315~6,300 Hz 사이에서 측정된 1/3 옥타브 음압이 합성된다.

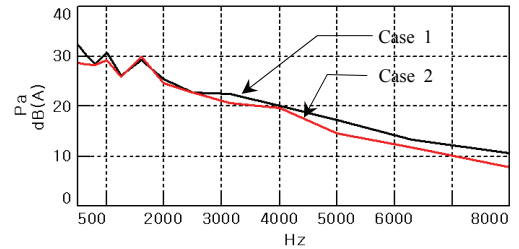
**2.4 차량 NVH 평가 결과**

이 연구에서 진행한 차량 NVH 성능 평가는 승용 디젤(배기량 1.6L, A/T) 차량을 이용하여 무향실에서 진행하였으며, 자동차 완성차 업체에서 주로 NVH 성능을 평가하는 기준인 3단 기어 급가속(3rd WOT, wide open throttle) 조건과 N단 idle 조건에서 평가를 수행하였다. 실내 소음의 측정 위치는 전석의 경우 운전자의 오른쪽 귀 위치에서 측정하였으며, 후석의 경우 뒷자석의 중간 위치에서 측정하였다.

시험 차량을 대상으로 실린더 블록커버를 적용하여 3회 반복 시험을 실시하여 얻은 평가 결과를 Tables 1, 2 및 Figs. 8, 9에 나타내었다. 주행 평가 결과 1 kHz 이상의 주파수 영역에서 1.0 dB, AI 2% 이상의 개선 효과를 보였으며, idle 정차 시 전석 소음도 전 주파수 영역에서 개선 효과를 보였다. 이는 단일 부품으로 성능 향상이 되었음을 증명할 수 있는 수치이다.



**Fig. 8** The result of driving noise(avg. acoustic spectrum)



**Fig. 9** The result of idle noise(avg. acoustic spectrum)

한편, 이 부품을 아라미드 부직포를 사용하지 않고 제조하려면 열 차단을 위한 금속재질과 흡음 성능 부여를 위한 글래스울 재질로 구성할 수 있는데, 이 경우는 중량이 1.1 kg인 반면, 이 연구에서 제조된 아라미드 부직포 개발품의 중량은 그보다 1 kg이 적은 70 g에 불과하여 초경량화 달성의 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

**3. 결 론**

디젤 엔진 및 가솔린 직분사(GDI) 엔진과 같이 소음 저감이 요구되고 또한 엔진 및 배기계 근접부의 고내열 내구성 필요로 하는 부품에 적용하기 위하여 기존의 흡음재의 내열 성능을 월등히 뛰어넘는 동시에 초경량 구조의 부직포 펠트를 제조하였다. m-aramid 섬유를 이용하여 부직포를 직조하여 3차원 형상 구현을 위한 열경화성 에폭시 바인더를 합침하여 원단을 준비 한 후, 260 °C에서 200시간의 내열 성능과 중고주파에서의 흡음 성능이 우수한 부품을 제작하였다. 이렇게 제조된 흡음재는 내열성과 불연 특성을 만족하며 소음 저감에 효과가 있음을 차량 평가 결과로 확인 하였다. 이를 통하여 70 g의

저중량으로 엔진에서 발생하는 소음을 일차적으로 제어하여 차량의 정숙성 개선이 가능하다는 결론을 얻을 수 있었다.

### 참 고 문 헌

(1) Barry, W., Bob, B., Mike, D., Anita, C., Pranab, S. and Rod, H., 2003, Automotive Noise and Vibration Control Practices in the New Millennium, SAE2003-01-1589.

(2) Kang, D. J., Lee, J. W., Gu, J. H. and Park, H. K., 2007, Comparison of Absorption Coefficient According to Test Methods, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 5, pp. 373~378.

(3) Park, N. C., Kim, Y. C. and Park, C. R., 1997, The Effect of Additives on Sound Absorption

Coefficient of Polyurethane Foam, J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 8, No. 2, pp. 197~203.

(4) Lee, C. K. and Kim, J. T., 1997, Effect on Vehicle Interior Sound Quality Due to Surface Treatment, Proceedings of the KSAE Annual Spring Conference, pp. 271~274.



**Keun-Young Kim** is a research engineer at Polymeric Materials Research Team, Hyundai-Motor R&D Center. He received his the degree of master from Hanyang University. His research interests include noise absorbing materials and high performance plastics for automotive applications.