

## AZ31 마그네슘합금의 자동차 Hood Panel 적용에 따른 주파수 응답 및 소음 특성의 변화

이 충 도<sup>\*1)</sup> · 여 동 훈<sup>2)</sup>

인하공업전문대학 금속재료과<sup>1)</sup> · 지엠대우오토엔테크놀로지 금속재료시험팀<sup>2)</sup>

### Noise Characteristics and Frequency Response Function on Implementation of AZ31 Magnesium Alloy to Automobile Hood Panel

Choongdo Lee<sup>\*1)</sup> · Donghoon Yeo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Metallurgical and Materials Engineering, Inha Technical College, Incheon 402-752, Korea

<sup>2)</sup>Metallurgical Material Lab. Team, PG & Labs Division, Technical Center, GM Daewoo Auto & Technology (GMDAT),  
199-1 Cheongcheon-dong, Bupyeong-gu, Incheon 403-714, Korea

(Received 4 June 2010 / Accepted 23 August 2010)

**Abstract** : In present study, it aims to compare the noise and vibration characteristics between magnesium alloy and steel hood panel. The AZ31 magnesium hood panel was fabricated through warm forming process, and the noise and vibration characteristics between both hood panels was compared through the measurement of engine radiation noise and transmission loss, as well as FRF on modal analysis. The sound insulation performance of magnesium alloy was wholly superior to that of steel hood panel, even though the transmission loss of magnesium alloy is lower than that of steel due to mass effect primarily. The FRF characteristics on modal analysis indicates that the resonance frequency of magnesium hood panel is remarkably increased to higher value than that of steel hood panel. The radiation and interior noise of magnesium panel even without acoustic hood insulation were remarkably lower than those of steel hood panel with acoustic insulation, in particular, at a range below 4,000 rpm.

**Key words** : Magnesium alloy(마그네슘합금), Hood panel(후드패널), Frequency response function(주파수 응답 함수), Engine radiation noise(엔진 방사소음), Interior noise(실내소음)

### 1. 서 론

자동차 산업에서의 경량화 방안은 크게 경량소재로의 재질대체 및 박육화, 고장력화 등을 통하여 이루어지고 있다. 그 중 마그네슘합금 및 알루미늄 합금과 같은 경량 금속재료로의 재질 대체는 경량화 효과가 클 뿐만 아니라 재활용성 및 양산성 등의 실용적 관점에서 고분자 재료에 비하여 상당한 강점을 가진 경량화 방안이라 할 수 있다. 특히 잘 알려진 바와 같이 마그네슘합금은 상용 구조용 금속

재료 중 최소의 밀도와 함께 우수한 비강도 및 진동 특성을 가지며,<sup>1)</sup> 이에 자동차용 엔진 및 새시부품 뿐만 아니라 최근 들어 외판용 소재로서의 적용이 광범위하게 이루어지고 있는 경량화 핵심소재이다.

자동차 외판용 소재로서의 마그네슘합금은 주로 가공용 형태(Wrought type)의 판재 형태를 이용하여 성형성 향상을 위한 온간 성형법(Warm forming process)을 통하여 제조되고 있으며,<sup>2,3)</sup> 야금학적 측면에서 마그네슘합금의 단점으로 대두되는 성형성을 개선하기 위해서 성형공정의 개선<sup>4)</sup>이나 고온 변형특성<sup>5-8)</sup> 등에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

\*Corresponding author, E-mail: cdlee@inhac.ac.kr

최근 들어 경량소재의 적용을 통한 자동차 부품의 동적 성능에 대한 연구가 일부 진행된 바 있으나,<sup>9)</sup> 차량 전체의 동적성능에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 온간 성형법을 통하여 제작된 마그네슘합금 후드패널을 대상으로 대표적인 자동차 동적성능 중의 하나인 진동소음 특성을 기존의 스틸 후드패널과 비교 평가함으로써 마그네슘합금으로의 재질대체에 따른 경량화 방안의 잠재성을 확인하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 후드패널 제작

본 연구에서 제작된 마그네슘합금 후드패널은 AZ31합금으로 외판 및 내판의 두께를 각각 1.5mm로 하여 기존의 스틸 후드패널과 동일한 형상으로 제작하였다. 온간 성형과정에서의 금형온도는 약 250°C이었으며, 가열시간은 10 분으로 하였다. 외판 및 내판의 성형성 확보를 위해서 2단 가압방식을 적용하였으며, 후드패널의 가장자리는 레이저 트리밍(Laser trimming) 후에 헤밍(Hemming)처리 하였다. 또한 힌지(Hinge) 및 스트라이커(Striker) 등의 조립은 리벳팅에 의한 체결 방식을 적용하였다.<sup>10)</sup>

마그네슘합금 후드패널의 진동 특성 및 실차 소음특성의 비교 평가를 위하여 상용 후드패널로 널리 적용되고 있는 초심가공용급(Extra deep drawing quality: EDDQ / SPCEN)의 소재로 제작된 후드패널(0.7mm)을 사용하였다.

마그네슘합금으로의 재질변경을 통하여 기존의 스틸 후드패널에 대하여 약 46%의 경량화효율을 얻을 수 있었으며, 마그네슘합금 후드패널에 대한 외판 강성 및 굽힘과 비틀림(Bending & torsion)시험 등의 정적시험(Static test)결과가 스틸 후드패널에 비하여 우수한 성능을 가진다는 연구결과가 보고된 바 있다.<sup>10)</sup>

Table 1에 기존의 스틸 후드패널을 마그네슘합금 후드패널로 변경함에 따른 정적시험 및 중량 절감효과를 요약하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 제작한 마그네슘합금 후드패널의 외판 사진이며, 각각 외판부(a)와 내부 보강

Table 1 Weight reduction and static stiffness between magnesium and steel hood panels

Items	Panel	Steel panel	Magnesium panel
Density (g/cm <sup>3</sup> )		7.87	1.78
Torsional Stiffness (Nm/deg)		210	320
Weight of hood panel without hood insulation (kg)		9.8	5.3
Weight reduction per hood panel (wo/ hood insulation) (%)		46	
Weight fraction of steel hood panel to GVW* (%)		0.71 (w/ hood insulation)	
Weight reduction by magnesium alloy to GVW (%)		0.36	

\* GVW : Gross vehicle weight

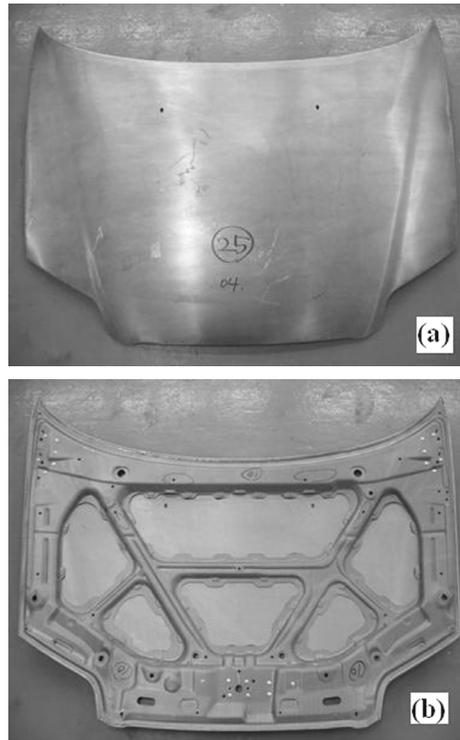


Fig. 1 Typical views for outer panel-side(a) and inner-reinforcements(b) of magnesium hood panel

재를 적용한 내판부(b)에 대한 후드패널의 형상을 나타낸다.

### 2.2 후드패널용 합금의 투과손실측정

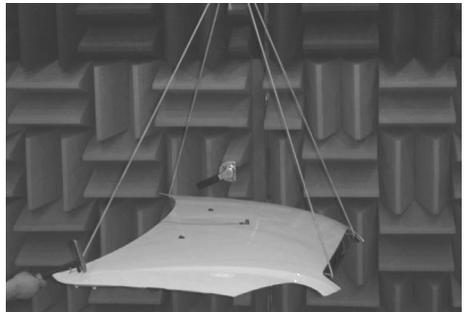
투과손실 측정은 APAMAT을 사용하였으며,<sup>11)</sup>

가진원(Excitation source)으로는 음원 가진(Sound excitation)을 이용하였다. 음원(Sound source)과 패널, 패널과 소음측정 위치까지의 간격은 각각 600mm와 450mm이었으며, 패널의 투과면적은 840×840mm로 하였다. 투과손실 측정을 위한 마그네슘합금 및 스틸 패널의 두께는 후드패널 제작에 사용한 두께와 동일한 1.5와 0.7mm로 하였다.

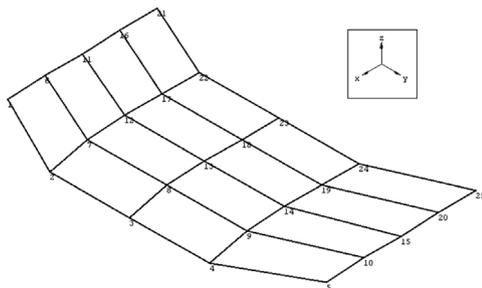
### 2.3 후드패널의 모달특성 평가

제작된 마그네슘합금 및 스틸 후드패널의 진동특성을 평가하기 위하여 모달시험(Modal test)을 진행하였다. 패널의 진동 측정위치는 총 25위치로 하였으며, 탄성체(Rubber string)를 이용하여 경계조건을 자유모드(Free-free mode)로 조성하였다. Fig. 2에 모달시험에 대한 사진(a)과 후드패널의 진동 측정부위의 위치(b)를 개략적으로 나타내었다.

후드패널의 가진 및 진동 진폭은 B&K사의 임팩트 해머(B&K 8202)와 가속도계(B&K 4326)를 사용하여 측정하였다. 후드패널의 주파수 응답함수



(a)



(b)

Fig. 2 Typical view of modal test with hood panel (a) and schematic diagram of measuring points for analyzing model characteristics of hood panels (b)

(Frequency response function, FRF) 및 모달특성 평가를 위한 데이터 수집과 분석은 LMS사의 통합분석 모듈인 LMS test. lab-version 9를 사용하였다.

### 2.4 엔진 방사소음 및 실내소음 측정

후드패널의 재질변경에 따른 차량의 소음특성을 평가하기 위하여 엔진 방사소음 및 실내소음의 변화를 실차 실험을 통하여 측정하였다.

측정 장소는 무향실이었으며, 타이어의 노면 마찰 소음으로 인한 영향을 배제하기 위해 엔진 런업(Run-up)과 아이들(Idle) 조건에서 엔진 방사소음 및 실내소음을 측정하였다. 엔진 런업 시험에서의 엔진 회전수(크랭크축의 분당 회전수, rpm) 범위는 아이들 조건으로부터 6,000rpm까지로 선정하였다.

Fig. 3에 엔진 방사소음의 측정위치를 개략적으로 나타내었다. 방사소음 측정위치는 후드패널 중앙으로부터 수직거리가 50cm인 지점(Top-side; Fig. 3의 A)과 지면으로부터 150cm, 후드패널의 중앙으로부터 100cm에 위치한 부분(Front-side; Fig. 3의 B)으로 하였다. 또한 각 후드패널의 장착조건에 따른 가장자리에서의 유출소음(Leakage noise)에 따른 영향을 배제하기 위해 후드패널의 가장자리를 폴리우레탄 폼으로 밀봉 처리하였다.

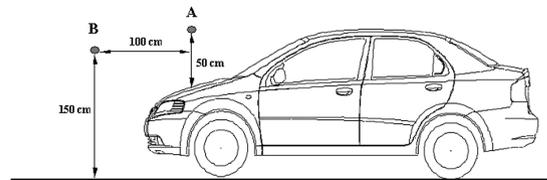


Fig. 3 Sketch of measuring positions for radiation noise on hood panel; top-side(a) and front-side(b) of hood panel

후드패널의 재질변경에 따른 실내소음 변화는 조수석 탑승자의 좌측 귀에 해당하는 위치에서 측정하였다. 엔진 런업 조건에서의 소음측정은 가속모드를 WOT(Wide-open throttle)조건으로 진행하였으며, 소음측정 조건은 두 패널 간의 비교 이외에도 일반적으로 후드 이면에 장착되는 흡차음재(Acoustic insulation)의 적용 유무에 대해서도 비교 평가를 진행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 마그네슘합금 및 Steel패널의 투과손실

Fig. 4는 마그네슘합금과 스틸 패널의 투과손실 특성을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 전 주파수 영역에서 마그네슘합금의 투과손실이 스틸에 비하여 약 6dB(A)정도 낮은 값을 나타내었다. 이는 두 패널의 중량 차이에 의한 효과(Mass effect)로서 중량 차이에 의한 것으로 투과손실의 관계식에 의해 예측되는 값과 동일하다.

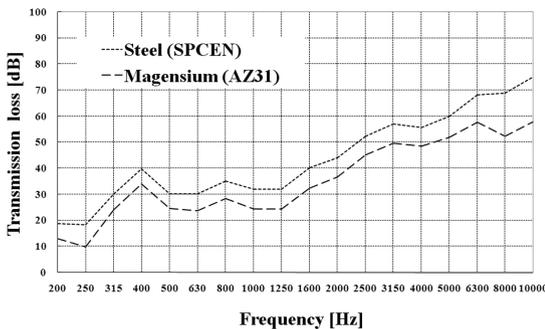


Fig. 4 Comparison of sound transmission loss of magnesium and steel panels

다만, 6,300Hz이상의 주파수 영역에서 두 패널의 투과손실은 현저한 차이를 보이는데, 패널의 구성 및 음원조건 등에 대한 관점에서 차후의 면밀한 검토가 요구된다.

#### 3.2 후드패널의 주파수 응답특성 및 모달특성

Fig. 5에 마그네슘합금과 스틸 후드패널의 모달 시험 결과인 주파수응답 곡선을 비교하여 나타내었다. 마그네슘합금의 거시모드에 대한 주파수응답 곡선은 스틸 패널과 비교하여 유사한 형태를 보이지만, 1차 및 2차 공진주파수 모두 약 15Hz이상 현저히 증가하였다.

Table 2에 공진주파수의 측정값과 중량 감소를 고려한 계산값과 비교하여 나타내었다. 본 연구에서 후드패널의 정확한 강성은 파악할 수 없었으나, 동일한 강성을 가진다는 조건 하에 공진주파수에 대한 일반관계식( $\omega = \sqrt{k/m}$ )을 이용하여 고려할 경우, 재질변경에 따른 거시모드 상 공진주파수의 증가는 중량 감소가 주된 영향을 미침을 알 수 있다.

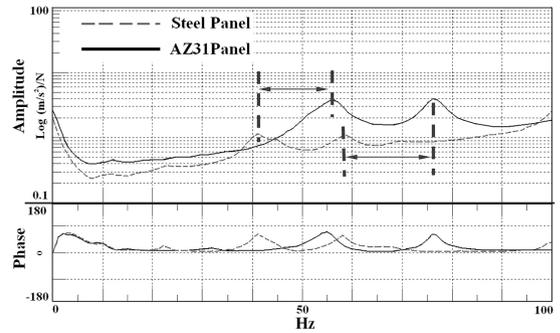


Fig. 5 Comparison of FRF-curves of magnesium and steel hood panels

Table 2 Resonance frequency of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> peaks on global mode shape of magnesium and steel hood panels

Panel	Mode & Frequency	Frequency (Hz)	
		1 <sup>st</sup> bending	2 <sup>nd</sup> bending
Magnesium (AZ31)		56.2 (55.8)*	76.2 (79.5)*
Steel (EDDQ)		41.1	58.5

\* Values are taken from  $\omega = \sqrt{k/m}$  with same stiffness value

Fig. 6은 Table 2에 보인 두 후드패널의 1차 공진 주파수에서의 거시모드 상의 굴절형태를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 두 합금은 동일한 형태의 굽힘 모드를 나타내며, Table 2의 2차 공진점에서의 굴절형태 역시 유사한 형태의 굽힘 모드로 변형됨을 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 이와 같이 마그네슘합금 후드패널의 진동특성 상의 거시적인 변형모드는 스틸 후드패널과 동일한 반면에 공진주파수 대역은 현저하게 증가함을 알 수 있다.

Fig. 7은 후드패널의 내관용 보강재가 없는 부분 (Fig. 2(b)의 지점 13)의 주파수응답 곡선을 나타낸 것이다. 스틸 후드패널에 비하여 마그네슘합금 후드패널의 공진주파수가 전반적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

또한 공진주파수 대역을 포함한 전체 주파수 범위에서 마그네슘합금 후드패널의 진동진폭 수준은 스틸 후드패널의 진폭보다 낮은 값을 가지는 경향을 보인다. 이는 Fig. 5에서 보인 거시모드의 주파수 응답곡선과 유사한 양상으로 후드패널의 중량감소와 함께 국부적인 강성 증가에 의한 것으로 판단된다.

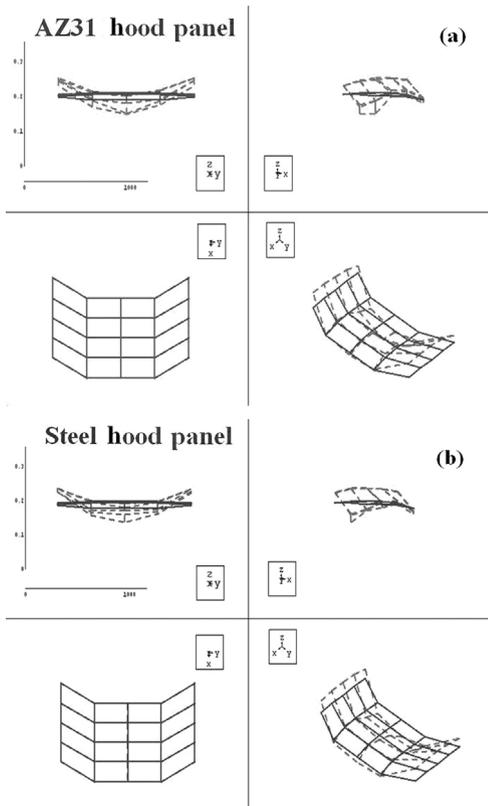


Fig. 6 Global mode shape at 1st resonance frequency of magnesium (a) and steel hood panels (b)

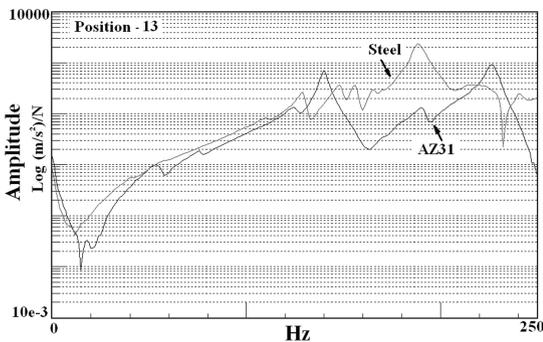


Fig. 7 FRF-curves for local area of magnesium and steel hood panels

### 3.3 엔진 방사소음 특성

Fig. 8은 후드패널용 흡차음재가 없는 각 후드패널에 대하여 엔진 런업 조건에서 후드패널의 중앙 부분에서 측정된 방사소음을 비교하여 나타낸 것이다. 그림 (a)에서 보는 바와 같이 약 4,000rpm 이하의

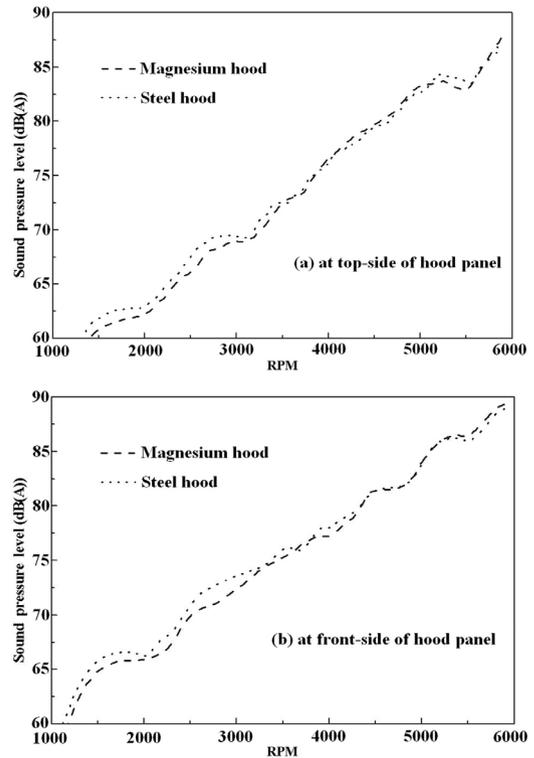


Fig. 8 Comparison of engine radiation noise between magnesium and steel hood panel without acoustic hood insulation

엔진 회전수 영역에서는 최대 1dB(A)이상의 음압 레벨 차이를 가지며 마그네슘합금 후드패널의 차음 특성이 우수한 것을 알 수 있다. 또한 4,000rpm 이상의 영역에서도 비교적 유사한 음압 레벨을 가지는 것으로 나타났다.

Fig. 8(a)에 나타낸 후드패널의 전방에서 측정된 방사소음의 경우에도 후드패널의 중앙과 마찬가지로 마그네슘합금 후드패널의 소음 레벨이 스틸 후드패널의 소음레벨보다 전반적으로 낮은 양상을 나타내었다. Table 3은 아이들 조건(Idle condition)에서 측정된 방사소음을 500 ~ 10,000Hz 영역에서의 소음 레벨로 나타낸 것이다. 보는 바와 같이 두 후드패널 간의 소음레벨 차이는 거의 없었으며, 이러한 소음 레벨은 500Hz 이하의 주파수 영역을 포함할 경우에도 유사한 경향을 나타내었다.

Fig. 5에 보인 바와 같이 거시적인 변형모드 관점에서 마그네슘합금 후드패널이 높은 진폭을 가짐에

Table 3 Radiation noise level of magnesium and steel hood panels at idle condition

Panel \ Position	Hood top	Hood front
Magnesium (AZ31)	54.4	59.4
Steel (SPCEN)	54.3	59.4

\* Frequency range : 500 ~ 10,000Hz  
 \*\* Full-load condition / No acoustic hood insulation

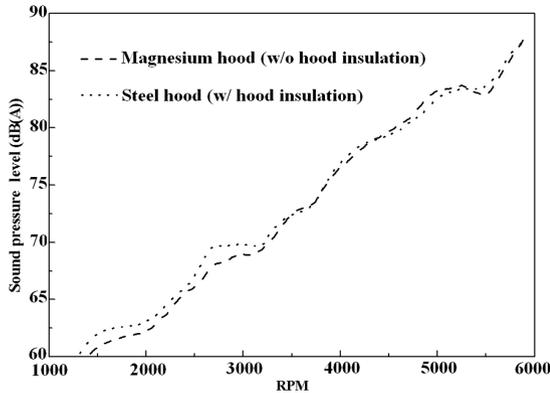


Fig. 9 Comparison of radiation noise measure at top-side of magnesium hood panel without acoustic insulation and steel hood panel with acoustic insulation

도 불구하고, Fig. 8에서 약 3,500rpm이하의 엔진 회전수 영역에서 스틸 후드패널이 마그네슘합금 후드패널에 비하여 상대적으로 높은 실내소음을 보이는데, 이는 Fig. 7에 보인 바와 같이 스틸 후드패널의 국부적인 변형 진폭이 마그네슘합금 후드패널에 비하여 크고, 이로 인하여 엔진 방사소음에 대한 차폐능이 상대적으로 낮기 때문으로 판단된다.

Fig. 9는 후드패널용 흡차음재를 장착한 스틸 후드패널과 흡차음재를 장착하지 않은 마그네슘합금 후드패널의 방사소음 곡선을 비교한 것으로, 후드패널의 중앙부분(Top-side ; Fig. 3의 A)에서 측정된 방사소음 곡선이다. 그림에서 보인 바와 같이 마그네슘합금 후드패널의 경우 흡차음재가 없음에도 불구하고 약 4,000rpm이하의 엔진 회전수 영역에서는 스틸 후드패널의 방사소음 레벨보다 낮음을 알 수 있다.

반면에 4,500 ~ 5,200rpm 영역에서는 흡차음재를 장착한 스틸 후드패널이 흡차음재를 장착하지 않은 마그네슘합금 후드패널의 방사소음보다 미소한 비

교 우위를 가지는 것으로 나타났다.

이와 같이 기존의 스틸 후드패널에서 마그네슘합금 후드패널로의 재질변경을 고려함에 있어 패널 자체의 경량화 효과 이외에도 외관특성 만을 고려한 후드패널용 흡차음재의 사양 간소화에 통한 비용 및 중량 절감 등의 추가적인 이점을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.4 실내소음 특성

Fig. 10은 후드패널용 흡차음재를 장착하지 않은 마그네슘합금 후드패널과 흡차음재를 장착한 스틸 후드패널의 실내소음 (a)과 대화 명료도 지수 (Articulation index) (b)를 비교하여 나타낸 것이다.

자동차 공학에서의 대화 명료도 지수는 차량 실내공간에서 명확한 대화 전달음에 대한 암소음 (Background noise)의 영향을 표현하는 지수로서 간단히 탑승자 상호간의 대화에서 언어 인식의 명료도라고도 표현할 수 있다. 참고로 본 연구에서는 표준 대화 명료도 지수를 사용하였으므로, 100%의 의미는 암소음의 영향을 배제하고 대화 언어의 인식이 완벽한 수준을 뜻한다.

마그네슘합금 후드패널은 흡차음재를 장착하지 않았음에도 불구하고 2,500 ~ 3,000rpm대역을 제외한 엔진 회전수 영역에서 스틸 후드패널에 비교하여 약 1dB(A)정도의 실내소음 개선 효과를 얻을 수 있었다. 특히 Fig. 10(b)에 보인 마그네슘합금 후드패널의 대화 명료도 지수는 3,000rpm이상의 엔진 회전수 영역에서 기존의 스틸 후드패널에 비하여 평균 2%정도 우수한 대화 명료도 지수를 나타낸다.

Fig. 8에 나타낸 엔진 방사소음과 마찬가지로 Fig. 10에 보인 실내소음 특성에서도 엔진 소음의 가진에 의한 두 후드패널 간의 진동특성 차이는 엔진 방사소음 뿐만 아니라 실내소음까지 상당한 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 즉 투과손실 관점에서는 스틸 패널에 비하여 마그네슘합금 패널이 낮은 투과손실을 보이지만, 후드패널로의 적용에 따라 마그네슘합금 고유의 비강도 특성과 중량 저감에 따른 진동 특성의 변화 등을 통하여 엔진 방사소음 및 실내소음 측면에서의 현저한 개선 효과를 얻을 수 있었다.

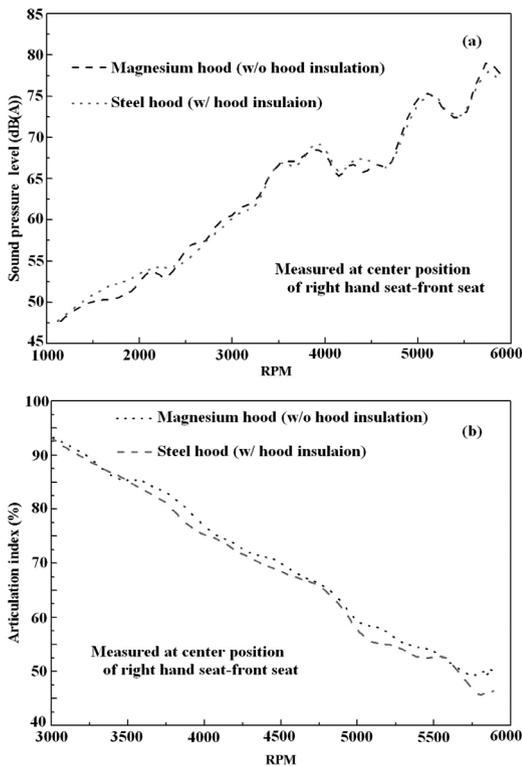


Fig. 10 Comparison of interior noise (a) and articulation index (b) between AZ31 magnesium hood panel without hood insulation and steel hood panel with acoustic hood insulation

자동차 산업에서 기존의 스틸 후드패널에서 마그네슘합금 후드패널로의 재질변경에 대한 현실적인 제약으로는 재질변경을 통한 여타의 경량화 추진 방안과 유사한 형태의 한계성을 가진다. 대표적으로 성형공정 상의 양산성과 원소재 가격에 따른 원가부담을 들 수 있으며, 특히 제조원가의 상승은 경량소재의 적용을 일부 중대형 차량으로 국한시키는 요인으로 작용하여 왔다. 이는 유해 배기가스 저감 및 연비 개선이라는 차량 경량화의 궁극적인 목표를 달성하기 위해 경량화를 통한 부품 및 차량 전체의 성능 변화나 효율 검증에 대한 체계적인 연구 활동이 배제된 상태로 단순히 중량 절감의 측면만을 고려함으로써 일부 부품에 대한 경량소재 적용을 통한 상업적 측면에서의 상징적 의미를 부여하여 왔기 때문이다.

재질변경을 통한 경량화 추진에 대한 향후의 접

근방향은 중량 절감을 통한 자동차 동력성능 및 연비특성의 변화 이외에도 부품 및 자동차 전체의 다양한 성능 변화에 대한 체계적인 연구가 요구된다. 즉, 자동차용 부품 및 소재의 재질변경에 대하여 본 연구에서 수행한 진동소음 성능 이외에도 조안 및 안전 성능 등의 자동차 성능에 대한 다양한 검토를 통하여 재질변경에 따른 자동차 성능 상의 추가적인 장점 및 개선 효과가 검증된다면 경량소재로의 재질변경은 다양한 차종으로의 적용범위 확대 이외에도 중소형 차종까지 광범위한 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

AZ31 마그네슘합금 패널의 투과손실은 스틸 패널에 비하여 질량효과에 해당하는 만큼 낮은 수준을 가지지만, 동일한 형상을 가지는 자동차용 후드패널로의 제작을 통하여 거시적인 변형모드 상의 공진주파수가 기존의 스틸 후드패널 대비 약 15Hz 이상 증가하였고, 국부적인 진동진폭 또한 현저하게 개선되었다. 이러한 진동특성의 변화는 차량의 엔진 방사소음 및 실내소음 특성에 현저한 영향을 미치며, 특히 4,000rpm 이하의 엔진 회전수 영역에서 후드패널용 흡차음재를 장착하지 않은 마그네슘합금 후드패널의 엔진 방사소음은 흡차음재를 장착한 스틸 후드패널보다 약 1dB(A)에 해당하는 엔진 방사소음의 개선 효과를 얻었다. 또한, 자동차 실내소음 측면에서 마그네슘합금 후드패널의 대화명료도 지수는 3,000rpm 이상의 엔진 회전수 영역에서 스틸 후드패널에 비하여 약 2%정도의 개선 효과를 얻을 수 있었다. 이와 같이 마그네슘합금 적용에 따른 자동차 중량절감 효과 이외의 진동소음 성능의 개선효과는 자동차 업계에서 중장기적으로 추진하는 연비개선 및 진동소음 성능 개선에 대한 개발 및 희생비용 관점에서 경량소재 적용에 따른 양산 원가부담을 상충시킬 수 있는 중요한 인자로서 고려되어야 할 것으로 판단된다.

#### References

- 1) E. F. Emley, Principles of Magnesium Technology, Pergamon Press, New York, pp.584-603,

- 1966.
- 2) B. H. Lee, K. S. Shin and J. S. Lee, "Effects of Processing Variables on the High Temperature Formability of AZ31 Mg Alloy," *J. Kor. Inst. Met. & Mater.*, Vol.42, No.9, pp.719-724, 2004.
  - 3) H. W. Shin, H. C. You, D. H. Yeo, K. Y. Shin, Y. S. Koh, S. W. Choi and S. W. Lee, "Design and Analysis of Vehicle Hood using Magnesium Alloy Sheets," *Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Fall Conf.*, pp.220-226, 2005.
  - 4) J. K. Hwang and D. M. Jang, "FE Analysis on the Press Forging of AZ31 Magnesium Alloy," *Transactions of KSAE*, Vol.14, No.1, pp.86-91, 2006.
  - 5) H. O. An, D. M. Kang, Y. Koo and S. B. Sim, "A Study on the Creep Deformation Characteristic of AZ31 Mg Alloy at High Temperature," *Transactions of KSAE*, Vol.13, No.3, pp.186-192, 2005.
  - 6) D. M. Kang, Y. Koo and S. B. Sim, "A Study on the Creep Deformation Behavior of Mg-Zn-Mn-(Ca) Alloys," *Transactions of KSAE*, Vol.14, No.5, pp.73-78, 2006.
  - 7) S. H. Kim and H. K. Kim, "Multiaxial Stress Creep Rupture Mechanism of AZ31 Magnesium Alloy," *Int. J. Automotive Technology*, Vol.10, No.3, pp.365-372, 2009.
  - 8) H. W. Shin, Y. J. Chung and S. G. Kang, "A Study on Die Casting Process of the Automobile Oil Pan using the Heat Resistant Magnesium Alloy," *Transactions of KSAE*, Vol.17, No.3, pp.45-53, 2009.
  - 9) H. W. Shin and Y. J. Chung, "Dynamic Stiffness and Frequency Response Analysis for Development of Magnesium Oil Pans," *Transactions of KSAE*, Vol.17, No.2, pp.141-149, 2009.
  - 10) D. H. Yeo, Y. H. Jung, Y. S. Lee, S. W. Choi and M. Y. Lee, "Development of Vehicle Hood Using Magnesium Alloy," *Proceedings of the KSPE Spring Conference*, pp.1824-1829, 2006.
  - 11) H. C. Yeh, P. C. Hsiu, C. S. Shih, P. H. Tsai and J. W. S. Liu, "APAMAT: A Prescription Algebra for Medication Authoring Tool," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 8-11, Oct., pp.4284-4291, 2006.