SEA 기법을 이용한 저중량 대시판넬 흡,차음재 성능에 대한 연구

Acoustic Study of light weight insulation system on Dash using SEA technique

임효석† ·박광서*·김영호* 김인동*

Hyosuk Lim, Kwangseo Park, Youngho Kim and Indong Kim

Key Words : Statistical Energy Analysis (SEA , 통계적 에너지 해석) Loss Factor (손실 계수), Damping Loss Factor (댐핑 손실 계수) Coupling Loss Factor (연성 손실 계수) Transmission Loss (투과 손실)

.

ABSTRACT

In this paper Statistical Energy Analysis has been considered to predict high frequency air borne interior noise. Dash panel Insulation is major part to reduce engine excitation noise. Transmission loss and absorption coefficient are considered to predict dash insulation performance. Transmission lose is derived from coupling loss factor and absorption coefficient is derived from internal damping loss factor. Material Biot properties were used to calculate each loss factors. Insulation geometry thickness distribution was hard to measure, so FeGate software was used to calculate thickness map from CAD drawing. Each predicted transmission losses between conventional insulation and light weight insulation were compared with SEA. Transmission loss measurement was performed to validate each prediction result, and it showed good correlation between prediction and measurement. Finally interior noise prediction was performed and result showed light weight insulation system can reduce 40% weight to keep similar performance with conventional insulation system, even though light weigh insulation system has lower sound transmission loss and higher absorption coefficient than conventional system.

1. 서 론

컴퓨터의 급격한 발달로 차량의 진동 및 소음의 해석은 관심 주파수 대역에 따라 다양한 기법을 이용하여 구조물에 기인한 소음(Structure Borne Noise)과 공기에 기인한 소음(Airborne Borne Noise) 및 진동 해석을 수행할 수 있게 되었다. 구조물의 정상 모드(normal mode)해석 및 아이들(Idle) 해석 등 100 Hz 이하의 주파수 대역에서의 소음 및 진동 문제는 유한 요소법(Finite Element Method)과 경계 요소법(Boundary Element Method)을 이용하면 해석 수행이 가능하다. 이때 구조물의 고유 진동수 예측은 구조물을 가능한 작은 요소로 나눔으로 보다 정확한 예측이 가능하지만 요소의 개수가 늘어날수록 계산하는 시간이 길어지게 된다. 한편 100 Hz 이상에서는 고유진동수를 구할 때 고유 진동 모드의 수가 많아 계산하는 데 시간이 너무 많이 걸리고 결과가 나오더라도 고주파로 갈수록 오차가 커지게 되어 결과를 신뢰하지 못한다(1).

이에 대한 대안으로는 시험을 통하여 구조물의 전달 함수를 측정한 결과와 해석을 통한 구조물의 정상 모드(Normal Mode) 결과를 적절히 함께 사용하여 결과의 신뢰도를 높이는 전달함수 기반 구조 합성법(Frequency Response Function Based Sub - structuring, FBS) 과 모드 기반 구조 합성법(Modal Based Sub - structuring, MBS) 등의 하이브리드 방법(Hybrid method)등을 사용한다. 이러한 하이브리드 방법을 사용하면 100 Hz ~ 250 Hz 대역의 진동 및 소음 해석을 수행할 수 있다. 250 Hz 이상의 고주파 영역에서는 유한 요소법 이나 경계 요소법 및 하이브리드 방법을 더 이상 사용할 수 없게 된다. 이를 해결하기 위해서 통계적 에너지 방법(SEA)를 사용할 수 있는데 250 Hz 이상의 공기에 기인한 소음(Air Borne Noise)에 통계적 에너지 방법을 사용하면 적은 수의 자유도가 필요하기 때문에 빠른 해석이 가능하고 최적화를 위한 재모델링에 유리하다. 또한 에너지 흐름을 추적할 수 있기 때문에 기여도 분석을 통한 전달 경로를 찾을 수 있다(1).

† 정회원; GM Daewoo Auto and technology
E-mail : hyosuk.lim@gmdat.com
Tel : (032) 520-0415, Fax : (032) 520-4623

* 정회원, GM Daewoo Auto and technology

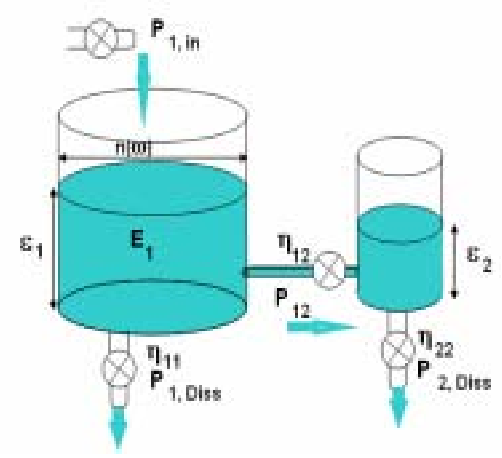
한편 차량의 연비 및 소음 진동의 향상을 목적으로 흡,차음재의 경량화 연구가 활발히 진행되고 있다. 대시 판넬에 적용된 흡,차음재는 엔진 작동 시 소음을 차단 및 흡수하여 실내에 유입되는 엔진 투과음을 저감하는 중요한 역할을 한다. 또한 대시 판넬에 적용되는 흡,차음재의 경량화는 차량의 경량화로 인한 연비 절감 뿐만 아니라 대시 판넬의 고유진동수를 상승시키므로 대시 판넬의 고유진동수 근방의 주파수 대역에서 발생하는 부밍 노이즈(Booming Noise)를 줄이는 효과를 내기도 한다. 본 논문은 차량의 대시 판넬(Dash Panel)에 저중량 흡,차음재를 적용하여 SEA 해석을 수행하고, 기존에 적용하던 흡,차음재의 음향 투과 손실 및 흡음 계수를 비교하였다. 또한 실차 조건에서 두 종류의 대시 판넬 흡,차음재를 각각 적용하여 실내소음을 예측하고 비교를 하였다.

2. SEA 기본 방정식

SEA 는 연성된 두 시스템의 파워 평형 방정식(Power Balance Equation)을 이용한다. 즉 Fig.1 와 같이 유입된 파워는 소산되는 파워와 인접한 다른 시스템으로 전달되는 파워의 합으로 표현될 수 있다. 이때 전달되는 파워 P_{12} 는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$P_{1,in} = P_{1,Diss} + P_{12}$$
$$P_{12} = \omega\eta_{12} \cdot n_1(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = \omega(\eta_{12} \cdot E_1 - \eta_{21} \cdot E_2) \quad (1)$$
$$P_{1,Diss} = \omega\eta_1 \cdot E_1$$

Fig. 1 Energy Flow Diagram



파워 평형 방정식을 통해 각 시스템의 평균 에너지를 얻을 수 있다. 이를 얻기 위한 가장 중요한 변수인 손실 계수(Loss Factor)는 내부 댐핑 감쇠 계수(Damping Loss Factor)와 연성 손실 계수(Coupling Loss Factor)가 있다. 내부 댐핑 감쇠 계수는 파워 반감 대역법(Half Power Bandwidth Method)과 감쇠 비율 방법(Decay Rate Method) 및 파워 평형법(Power Balance Method)를 통해 실험적으로 구할 수 있다. 그 중 흡,차음재의 내부 댐핑 감쇠 계수 η_i 는 주로 감쇠 비율 방법을 이용하게 되는데 이는 식 (2)와 같다.

$$\eta_i = \frac{2.2}{f \cdot T_{60}} \quad (2)$$

이때 차량 실내의 공간은 다양한 구조물로 구성되어 있기 때문에 각각의 구조물에 적용된 흡음재를 고려한 잔향 시간(Reverberation Time, T_{60}) 측정을 통해 흡음 계수(Absorption Coefficient, α)를 얻을 수 있게 되는데 이는 식 (3)을 통해 계산된다.

$$\alpha = \frac{55.3 \cdot V}{c\sum S \cdot T_{60}} \quad (3)$$

한편 400 Hz 이상의 고주파에서 연성 손실 계수 η_{ij} 는 질량에 의한 영향이 지배적이므로 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\eta_{12} = \frac{cA}{8\pi f V_1 \tau_{12}} = \frac{cA}{8\pi f V_1} 10^{(STL/10)} \quad (4)$$

3. SEA 해석

차량의 대시 판넬의 흡,차음 성능 특성을 파악하기 위한 방법으로는 기존에는 흡,차음재의 종류 및 두께를 변경하고 주행 시험 결과를 통해 최적의 상태를 파악했다. 하지만 시간과 인력 소모가 많아 이를 SEA 해석으로 대체하려는 노력이 대두되고 있다. 한편 SEA 해석을 위해서는 적용된 흡,차음재의 두께 정보 및 재료 정보가 필요하다. 대시 판넬에 사용된 흡음재의 경우 판넬의 형상을 따라 성형되어 있기 때문에 다양한 두께 분포를

갖는다. 이를 측정하기 위해서는 일정한 간격을 두고 두께를 측정하게 되는데 이 때 측정한 두께는 주변의 두께를 대표하게 되므로 이로 인한 오차를 피할 수 없다. 이러한 오차를 최소화하기 위해서 흡,차음재의 설계 도면을 이용하면 두께 분포를 얻을 수 있는데, FEM Pre/Post 상용 프로그램인 Fegate 를 사용하여 손쉽게 계산할 수 있다. Fig.2 와 Fig.3 은 FeGate 의 Absorption Material 기능을 사용하여 얻은 두께에 따른 정보를 나타낸다.

Fig.2 Thickness map of Dash Insulation

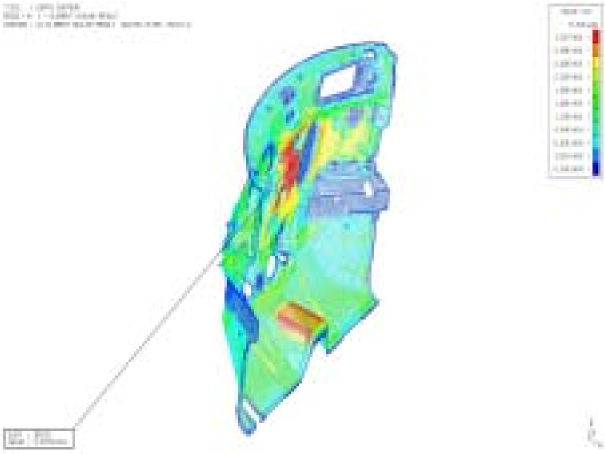
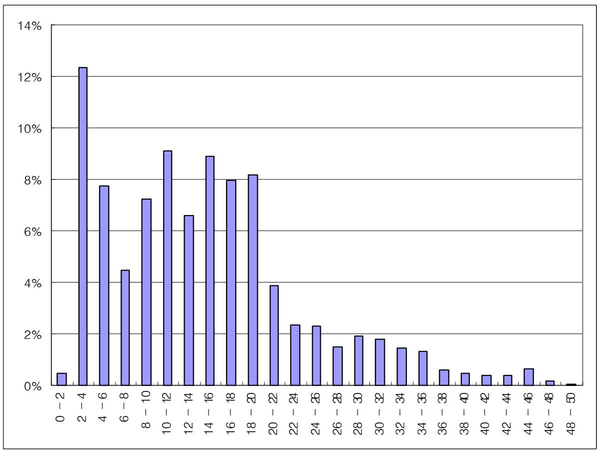


Fig 3 Thickness distribution of Insulation



한편 얻어진 두께에 대한 흡,차음재 재료의 흡음 및 차음 성능을 고려하기 위해서는 각각의 손실계수를 구해야 하는데 이를 위해서는 흡음 계수와 음향 투과 손실이 필요하다. 본 논문에서는 흡음 계수와 음향 투과 손실을 구하기 위해 흡,차음재의 재료의 성질에 해당하는 Biot poperty 를 사용하였다. 흡,차음재의 두께 정보와 두께 정보를 AutoSEA 프로그램을 이용하여 해석하였다

AutoSEA 프로그램을 이용하여 Fig.4 와 같이 가상의 두개의 방을 만들었고 두 방 사이에 대시 판낼과 흡,차음재를 적용하여 소음 저감(Noise Reduction)을 구하였다. 소음 저감(NR)은 주변 환경에 따라 값이 바뀌기 때문에 이를 투과손실로 변환해 주어야 한다. TL = NR 이 되도록 하기 위해서 식 (6)에서 log 내부의 값이 1 이 되도록 α_{rec} 값을 설정하였다.

$$TL = NR + 10\log\left(\frac{A_{panel}}{A_{sur}\alpha_{rec}}\right) \tag{6}$$

Fig.4 Twin room SEA model

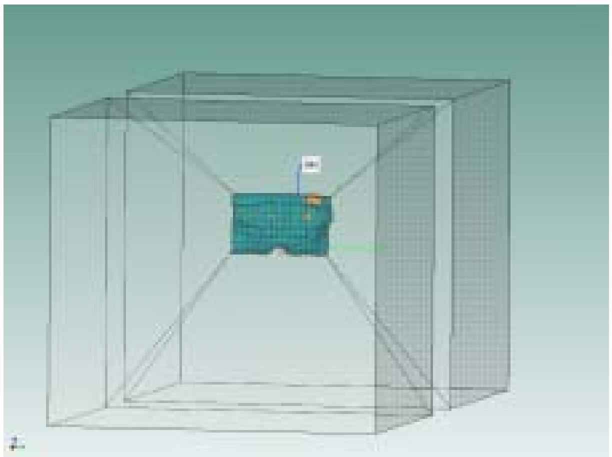


Fig.5 와 Fig.6 은 SEA 모델을 통해 해석한 기존 사용하고 있는 흡,차음재 구조와 저중량 흡,차음재의 흡음 계수와 투과 손실을 나타낸다.

Fig.5 Predicted Transmission Loss Difference

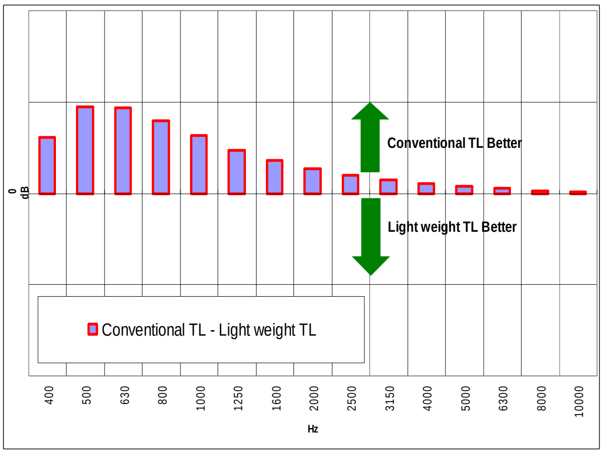
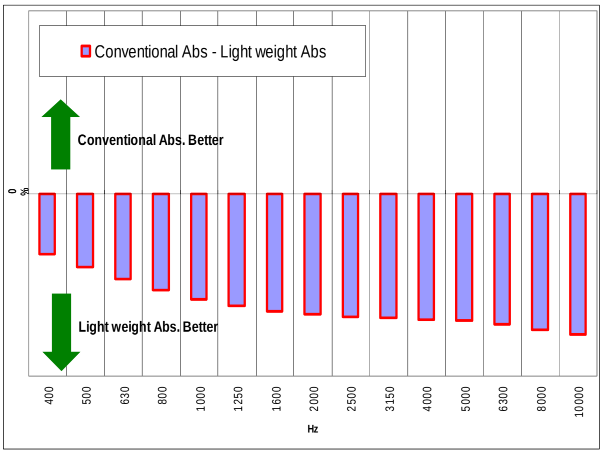


Fig.6 Predicted Absorption Coefficient Difference



저중량 흡,차음재의 경우 기존 흡,차음재 대비 투과 손실에서는 열세이나 흡음 계수의 경우 우세한 경향을 보임을 확인할 수 있다.

4. Validation Test

SEA 기법을 이용하여 해석한 투과손실의 값의 타당성을 시험을 통해 확인하기 위해 Fig.7 과 같이 잔향실 - 무향실 구조의 방 사이에 대시 판넬을 설치하고 투과손실을 측정하였다. 이때 수음실에서는 총 9 곳의 음압을 일정한 간격으로 측정하여 평균하였고 모든 틈과 구멍은 차음재로 .처리하였다. SEA 해석과 Test 를 통해서 얻은 투과손실의 경향은 Fig.8 과 같다. 1kHz 이하에서는 다소 차이가 나타나지만 전반적으로 SEA 기법을 통해 해석한 투과손실의 값이 신뢰할 수준임을 확인 할 수 있었다. .

Fig.7 Buck test setup

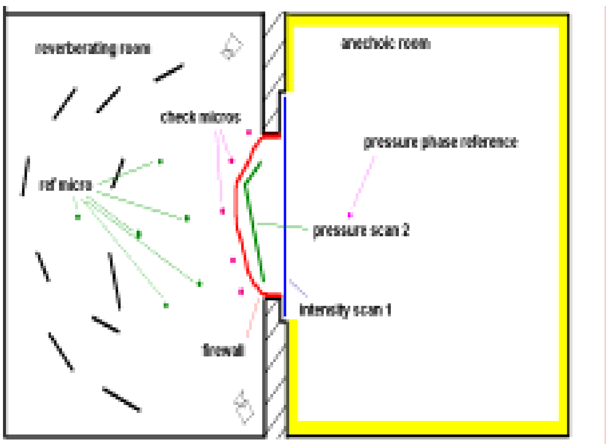
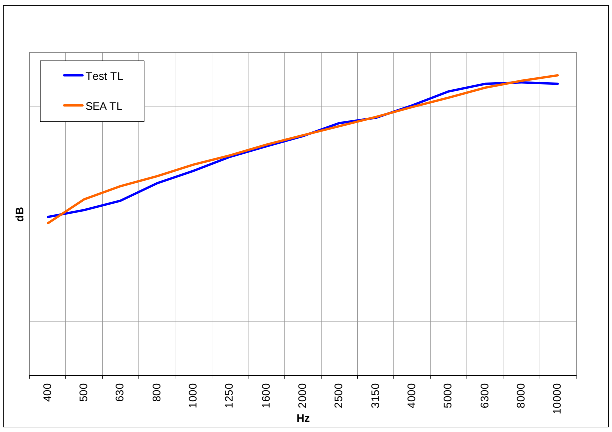


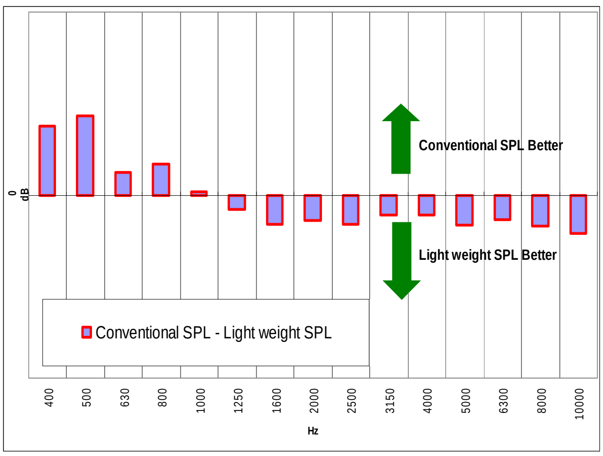
Fig.8 Transmission Loss of test and SEA prediction



5. 흡,차음재 성능 평가

흡, 차음재의 투과손실과 흡음률의 값은 손실계수에 영향을 미치므로 이 값들의 변화 차량의 실내 소음에 영향을 미치게 된다. 이상에서 살펴본 두 종류의 흡,차음재의 투과손실과 흡음률의 경향이 서로 상이하게 나타나기 때문에 각각의 변수값으로는 실내소음에 미치는 영향을 직접적으로 판단하는 데에는 어려움이 있다. 그러므로 두 변수의 영향을 고려하여 실내소음에 미치는 영향을 비교 하기 위해서 SEA 를 이용하여 차량의 실내 소음을 예측하였다. 차량의 SEA 모델에서 대시 판넬을 제외한 모든 부분들의 투과손실과 흡음률은 동일하게 유지하고 대시 판넬에 적용된 흡,차음재의 투과손실과 흡음률 값을 변경하여 엔진 방사에 의한 실내소음을 예측하였다 두 종류의 흡, 차음재를 이용한 실내소음의 경향 차이 결과는 Fig. 9 와 같다.

Fig.9 Vehicle Interior Sound Pressure Level



주파수 범위에 따라 1kHz 이하의 주파수 영역에서는 기존 흡,차음재의 실내소음이 저중량 흡차음재 대비 우세하고 1kHz 이상의 주파수 영역에서는 열세함을 확인할 수 있다.

6. 결 론

대시 판넬에 적용되는 흡,차음재의 성능을 평가하기 위해 SEA 해석 및 실험을 통해 검증한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 흡,차음재의 두께를 측정시 FEM 상용 프로그램인 Fegate 를 사용하여 편리하고 정확한 두께을 계산할 수 있었다.

2) 기존의 흡,차음재와 저중량 흡,차음재의 음향 투과 손실과 흡음 계수를 SEA 를 통해 얻을 수 있었고 비교 결과 음향 투과손실의 경우 기존 흡,차음재가 저중량 흡,차음재 대비 우세하지만 흡음계수의 경우 열세한 경향을 보인다.

3) SEA 를 통하여 해석한 투과손실 값의 타당성을 확인하기 위해 시험결과와 비교하였고 전반적으로 SEA 기법을 통해 해석한 투과손실의 값이 신뢰할 수준임을 확인 할 수 있었다. .

4) SEA 를 이용하여 차량의 실내 소음을 예측한 결과 주파수 영역에 따른 차이가 있으나 전반적으로 40% 정도의 중량감소가 가능한 저중량 흡,차음재를 사용한 실내소음 예측결과가 기존 흡,차음재를 사용한 경우의 실내소음 예측 결과와 유사수준임을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1) 박철희 외,“소음 진동 편람”, 한국소음진동공학회, 1995

2) Lyon. R. H. and Dejong. Richard G., ”Statistical Energy Analysis of Dynamic System: Theory and Application” MIT Press, 1995

3) “AutoSEA2Foam” Vibro-Acoustic Sciences. Inc.

4) 정환익,김관주,박진규,김상헌, “유한요소법에 의한 흡음재 음향특성 연구 및 검증”.한국소음진동공학회 2003 추계학술대회 논문집, pp 874-878,2003

5) 김태환,채장범,임진수,고병식,안지훈,”SEA 를 이용한 승용차 소음/진동 특성 해석”,한국소음진동공학회 1998 춘계학술대회 논문집,pp75-80,1998.