

소형 승용차량의 SEA 모델링 및 내부 소음 연구

A SEA Modeling of a compact car and Interior Noise Analysis

김상수*·김관주†·임효석**·김영호***

Sangsu Kim, Kwanju Kim, Hyosuk Lim and Youngho Kim

Key Words : Statistical Energy Analysis(통계적 에너지 해석법), Power Injection Method(파워주입법), Damping Loss Factor(내부손실계수), Coupling Loss Factor(연성손실계수)

ABSTRACT

In this paper Statistical Energy Analysis has been considered to predict middle, high frequency air borne interior noise. PIM method is used for verification. Damping loss factor and coupling loss factor have been derived from the response(SPL) of sub systems when the power is applied. The airborne SEA model of vehicle is modeled through AutoSea2. Insulation material's absorption coefficient and transmission loss are acquired from closed form solution and experiment.

기 호 설 명

η_{ii} : 내부손실계수
 η_{ij} : 연성손실계수
 P_i : 입력파워(W)
 E_i : 세부시스템의 에너지
 L_w : 음향파워
 f : 1/3 옥타브 밴드 중심 주파수(Hz)
 p_i : 음압(Pa)
 r : 음원으로부터 측정점까지의 거리(m)

1. 서 론

자동차의 실내 소음을 전달경로별로 구분해 보면, 크게 구조기인 소음과 공기기인 소음으로 나눌 수 있는데, 중주파수 대역 이상에서의 자동차 실내 소음의 대부분은 공기기인 소음이 지배적이다. 이러한 중주파수 대역 이상에서의 자동차 실내 소음해석은 기존의 전통적인 유한요소법 또는 경계요소법을 적용하기에는 한계가 있다. 통계적 에너지 해석법

은 이러한 기존 유한요소해석법의 한계를 대체하고자 항공, 선박, 차량과 같은 복잡한 구조물의 중, 고주파수 대역에서의 음향·진동 특성을 예측하는데 유용하게 사용된다. 통계적 에너지 해석법은 각 세부시스템 간의 파워의 흐름을 그 기초로 하고 있으며, 실험으로 측정된 파워로부터 물리적 변수들을 구할 수 있다.

2. 본 론

2.1 PIM 기법 및 실험장치 구성 설명

각 세부시스템 간의 손실계수를 구하기 위하여, 파워 주입법(The Power Injection Method)을 사용하였다. 파워 주입법은 하나의 시스템을 각각 하위개념의 세부시스템으로 나눈 후에, 먼저 하나의 세부시스템에만 파워를 주입한 후에 모든 세부시스템의 응답을 측정한다. 측정을 마치면 차례대로 나머지 세부시스템에 대해서도 같은 순서대로 시험을 시행한다. 본 실험에서 파워의 주입은 공기기인 소음에 의하여 무지향성 스피커를 사용하였다. 다음은 세부시스템이 2개일 경우, PIM기법을 사용하기 위한 모델의 개략도의 모습을 Fig. 1에 나타낸 것이며 식(1)은 이에 대한 지배방정식이다.

† 교신저자; 홍익대학교
E-mail : kwanju@hongik.ac.kr
Tel : (02) 320-1113, Fax : (02) 320-1113

* 홍익대학교
** GM대우
*** GM대우

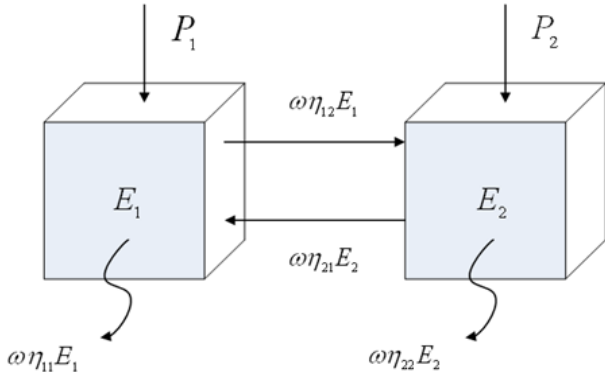


Fig. 1 The two-subsystem SEA model

$$\begin{Bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{Bmatrix} = \omega \begin{bmatrix} \eta_{11} + \eta_{12} & -\eta_{21} \\ -\eta_{12} & \eta_{21} + \eta_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} \\ E_{21} & E_{22} \end{bmatrix} \quad (1)$$

위의 지배방정식을 근거로 하여 실험의 대상이 되는 차량을 3개의 세부시스템으로 나누어 실험을 수행하였다. Fig. 2는 차량의 모델을 나타낸다.

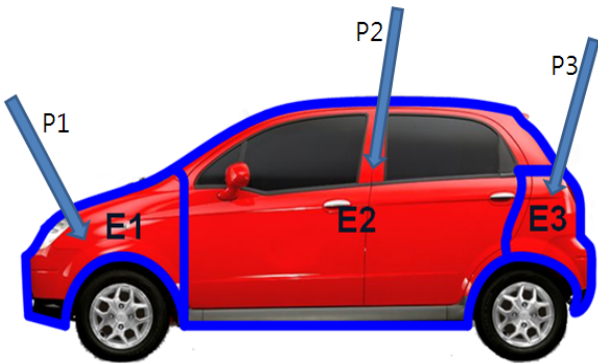


Fig. 2 The schematic figure of the experimental set-up

반무향실에서 차량을 위에서 보는 것처럼 엔진룸(engine-room), 실내공간(cavity), 트렁크(trunk) 3개의 공간으로 나누어 실험하였다. 실험 방법은 우선 무지향성 스피커를 사용하여 각 공간에서 순차적으로 랜덤 노이즈를 방사하였다. 20초간 방사한 후에 각 세부시스템에서 측정된 음압을 평균하였다. 실내공간의 경우 앞좌석과 뒷좌석에서 음압을 측정 후 이를 평균하였다. 후에 전산해석모델과 비교하기 위하여 차량 외부지점에서도 추가로 음압을 측정하였다.

2.2 음향파워 측정

PIM실험을 수행하기에 앞서 세부시스템에 입력되는 무지향성 스피커의 음향파워 측정 시험이 선행되어야 한다. 이를 위해서 시험에 사용되는 무지향성 스피커의 음향파워를 측정하였다. 음향파워를 측정하기 위하여 개략도는 Fig. 3에 나타나 있다. 측정은 한국산업기술시험원(KTL)의 반무향실에서 시행하였으며 ISO3745규격에 따라 지정된 위치에서 10개의 마이크로폰으로 측정 후, 이를 평균하였다. 측정된 음압으로부터 음향파워를 측정하기 위해서는 식(2)을 사용한다.

$$L_w = 10 \log \left(\frac{(p_i^2)_{average}}{p_{ref}^2} \right) + 10 \log 2\pi r^2 \quad (2)$$

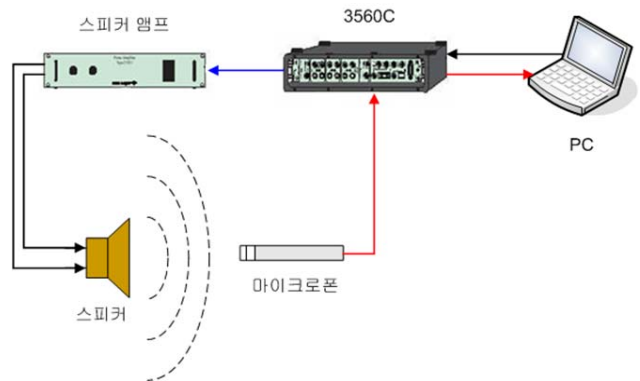


Fig. 3 The schematic figure of the acoustic power measurement

시스템의 손실계수는 입력되는 파워의 크기에 상관없이 일정해야 하므로, 이를 비교하기 위하여 무지향성 스피커의 음향파워도 출력을 달리하여 측정하였다. SET1, SET2로 분류하였으며, SET2가 SET1에 비하여 고효율을 나타낸다.

2.3 PIM실험을 통한 응답 측정

음향파워 측정 실험이 끝난 후에 무지향성 스피커를 각각의 세부시스템에서 차례대로 방사시킨 후, 각 시스템의 응답(SPL)을 측정하였다.

Fig. 4과 Fig. 5는 입력되는 파워의 크기에 따른 SET1, SET2시의 각 세부시스템의 응답(SPL)을 나타낸 그래프다.

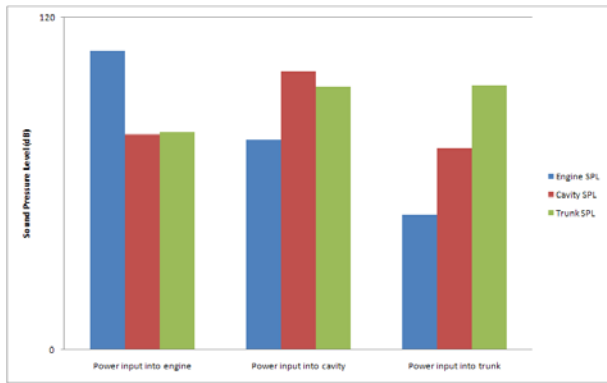


Fig. 4 The response of the subsystems under SET1

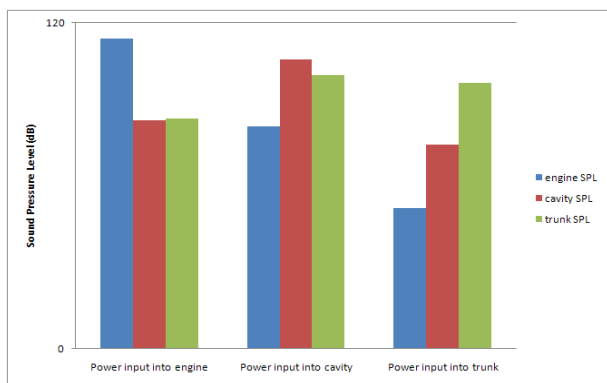


Fig. 5 The response of the subsystems under SET2

2.4 손실계수 계산

음향파워 측정 실험과 PIM 실험을 마친 후에, 이를 토대로 하여 손실계수를 계산하였다. 손실계수를 구하는 방법은 식(3)과 같다. 관심주파수와 입력파워 그리고 응답으로 이루어진 행렬의 역행렬을 구함으로써 내부손실계수와 연성손실계수를 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \eta_{11} + \eta_{12} + \eta_{13} & -\eta_{21} & -\eta_{31} \\ -\eta_{12} & \eta_{21} + \eta_{22} + \eta_{23} & -\eta_{32} \\ -\eta_{13} & -\eta_{23} & \eta_{31} + \eta_{32} + \eta_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{E_{11}}{\omega P_1} & \frac{E_{12}}{\omega P_2} & \frac{E_{13}}{\omega P_3} \\ \frac{E_{21}}{\omega P_1} & \frac{E_{22}}{\omega P_2} & \frac{E_{23}}{\omega P_3} \\ \frac{E_{31}}{\omega P_1} & \frac{E_{32}}{\omega P_2} & \frac{E_{33}}{\omega P_3} \end{bmatrix}^{-1}$$

위의 식으로부터 엔진룸, 실내공간, 트렁크의 내부 손실계수를 구하였다. Fig. 6은 엔진룸에서의 내부 손실계수를 나타내고 Fig. 7은 실내공간에서의 내부 손실계수를, Fig. 8은 트렁크에서의 내부 손실계수를 나타낸다.

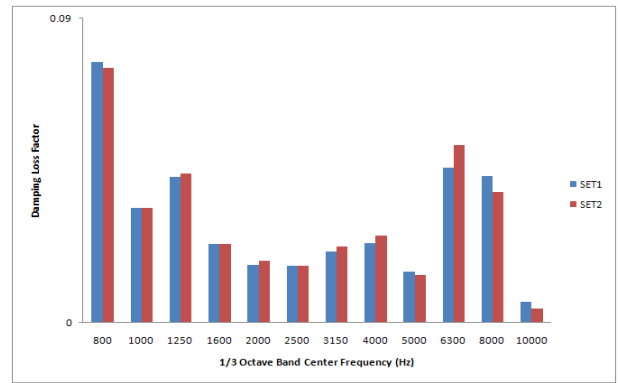


Fig. 6 Damping loss factor values of the engine room

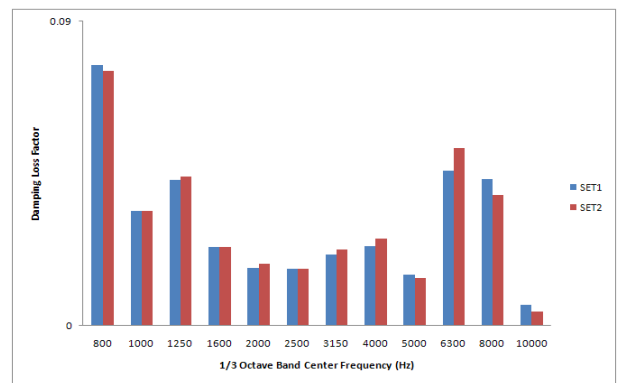


Fig. 7 Damping loss factor values of the cavity

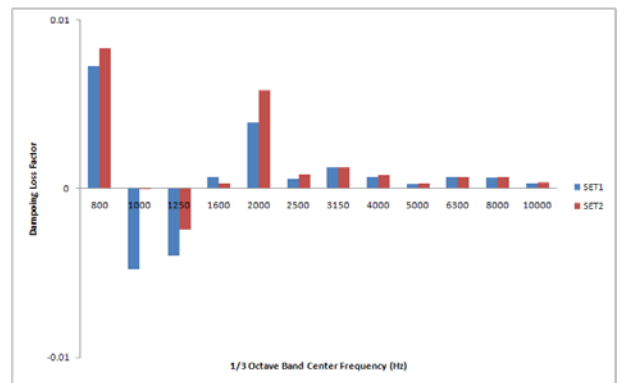


Fig. 8 Damping loss factor values of the trunk

엔진룸이나 실내공간은 기대했던 값을 어느 정도는 얻을 수 있었으나 트렁크는 내부의 체적이 작으므로 일부 주파수 대역에서는 음의 값을 나타낼 수 있다.

다음은 연성손실계수(CLF)를 나타낸 그래프다. Fig. 9는 엔진룸과 실내공간의 연성손실계수를 나타내며 Fig. 10은 엔진룸과 트렁크 Fig.11은 실내

공간과 트렁크의 연성손실계수를 나타낸다.

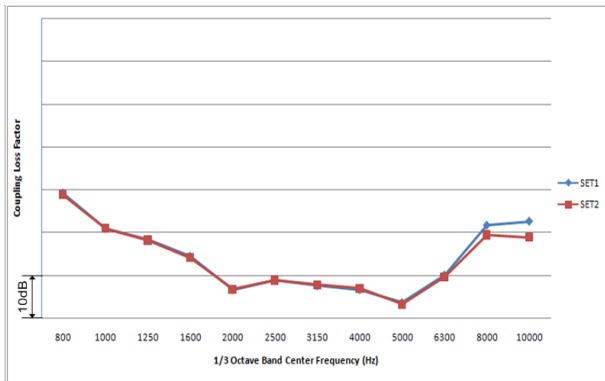


Fig. 9 Coupling loss factor between engine room and cavity

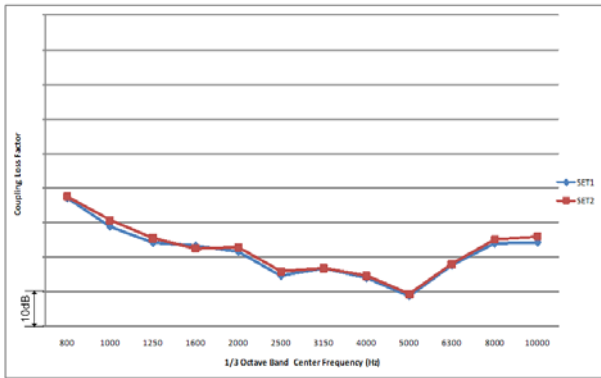


Fig. 10 Coupling loss factor between engine room and trunk

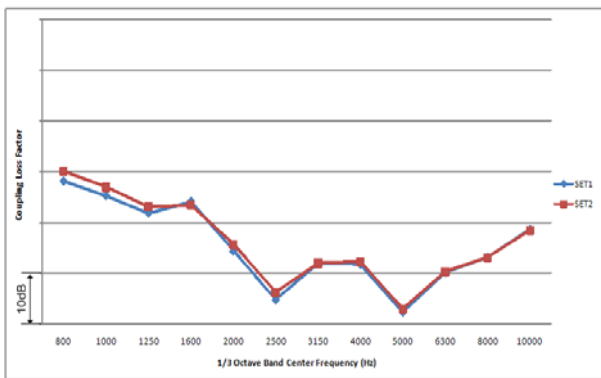


Fig. 11 Coupling loss factor between cavity and trunk

위의 결과그래프로부터 입력되는 파워의 크기에 상관없이 어느 정도 손실계수가 일정함을 알 수 있으며, 각 세부시스템이 비슷한 유형의 손실계수를 갖는다는 것을 파악할 수 있다. 그리고 엔진룸에서 발생한 소음이 실내공간을 거쳐 트렁크에 전달되기

보다는 바닥면을 거쳐 전달되는 것이 주요하다는 것을 알 수 있다.

3. 전산해석

SEA 지배 방정식과 실험을 이용하여 구한 연성손실계수 값을 AutoSEA2의 입력 값으로 대입하여, CLF 값의 검증을 수행하였다. 측정시와 동일한 입력파워를 주었을 때, 각 세부시스템에서의 음압레벨에 대한 해석값과 측정값을 비교하여보았다.

3.1 실험값과 해석값의 비교

SEA 지배 방정식과 실험을 이용하여 구한 내부손실계수와 연성손실계수를 AutoSea2 차량 모델에 입력한 후, 응답을 예측하여 실험값과 비교하였다. 측정시와 동일한 파워를 입력하였을 때, 각 세부시스템의 음압레벨을 실험값과 비교하였다.

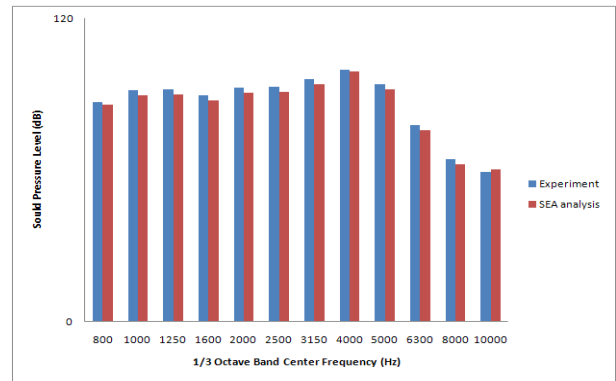


Fig. 12 A comparison of the engine room SPL between experiment and SEA analysis

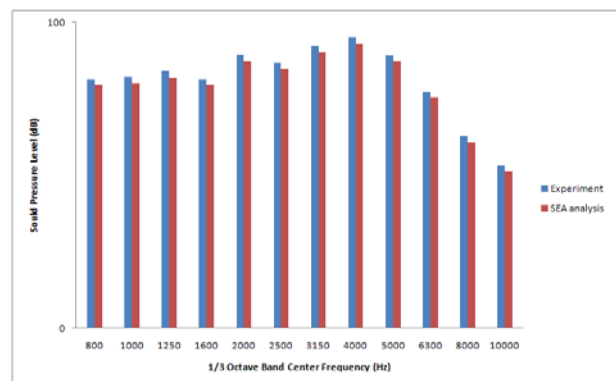


Fig. 13 A comparison of the cavity SPL between experiment and SEA analysis

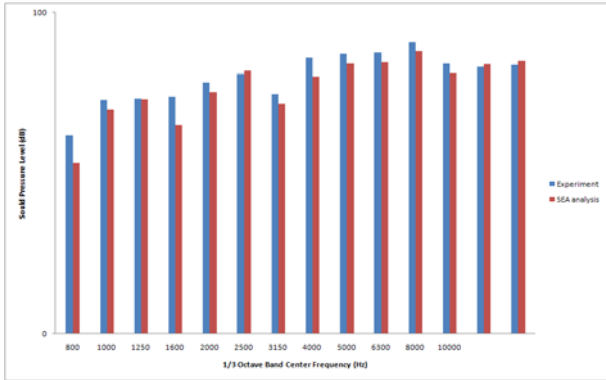


Fig. 14 A comparison of trunk SPL between experiment and SEA analysis

엔진룸이나 실내공간에서는 거의 일치함을 볼 수 있으며, 트렁크에서는 부피의 한계로 인하여 약간의 오차가 발생함을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 차량에 대하여 SEA 지배 방정식과 실험을 통해 구한 연속손실계수와 내부손실계수를 계산하였으며, 이를 전산해석을 통해 비교 검증을 수행하였다. 이를 통하여 음향 공간과 음향 공간에 대한 에너지 거동을 살펴 볼 수 있었다.

첫째, 지배 방정식과 실험을 통해 구한 연속손실계수를 이용하여 전산 해석을 수행하였을 경우, 저주파 대역에서는 차이가 생기나 중, 고주파 대역에서는 실험치와 해석치의 차이가 거의 없었다.

둘째, 실험과 해석을 통하여 차량의 세부시스템들 간의 연속손실계수를 파악함으로써, 주요한 에너지 흐름을 알 수 있었고 이를 통하여 차량 내부의 소음을 줄일 수 있는 메커니즘 구현이 가능하였다.

후 기

본 연구는 GM대우 지원으로 수행되었습니다. 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

(1) R. Lyon, 1975, "Statistical energy analysis of dynamical systems : theory and applications ", The MIT Press, chap. 14

(2) R. H. Lyon, 1986, "Machinery Noise and Diagnostics ," Butterworth Publishers , chap. 4

(3) S. J. Yang and A. J. Ellison, 1985, "Machinery noise measurement", Oxford Science , chap. 3

(4) "AutoSEA2 User's Guide Rev. 3", Vibro-Acoustic Sciences, Inc.