

TL 튜브를 이용한 소음기의 음향 전달 손실 계측법

Acoustic Transmission Loss Measurement of the Exhaust System with TL Tube

류운선* 김윤석**·이성홍**

Yunseon RYU, Yoon-Seok KIM and Seong-Hong LEE

Key Words: Transmission Loss Coefficient, Exhaust System

ABSTRACT

The transmission loss coefficient is very important acoustic property in parallel with absorption and acoustic impedance categorizing the acoustical materials, which can control the acoustical problems. At the same time, the transmission loss coefficient is a key parameter to choose the optimum material for the analysis of acoustical characteristics of material using SEA(Statistical Energy Analysis). In this paper, the acoustic transmission loss measurement system using 4-microphone TL tube is applied to the exhaust system, which is one of the most important acoustic control parameters in a car, based on the idea calculating the full transfer matrix. The theoretical background and measurement system are introduced, and finally the measurement results are verified.

1. 서론

소음 제어의 가장 기본적인 실험으로서, 흡차음 특성을 파악하는 것은 대단히 의미 있는 일이라 할 수 있다. 흡차음 계수는 수치 해석의 기본 데이터로서 뿐만 아니라, 효율적인 소음 제어의 기초 자료로서 그 활용도 또한 크다고 말할 수 있다. 특히, 자동차의 경우에는 흡차음 계수 보다 전달 및 투과 손실 계수를 파악하는 것이 더욱 중요하며, 모든 설계의 기초 자료로서 활용되고 있는 실정이다.

전달 및 투과 손실 계수를 측정하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있지만, 지금까지는 잔향실을 이용하는 것이 가장 일반적으로 널리 이용되고 있다. 그러나, 잔향실을 이용하는 방법에는 여러 가지 이점도 있는 반면, 실제 실험상으로는 불리한 점도 많다. 즉, 실험을 위해서 반드시 잔향실과 그에 준하는 시설이 필요하고, 실험 재료가 잔향실의 한 면을 완전히 차단 할 수 있을 정도로 커야 하며, 또 실험 재료를 고정 시키는 방법에 따라서도 많은 오차를 발생시키기도 한다. 더구나, 실험을 수행하는 시간도 많이 걸리므로, 실험 결과를 수월하게 얻기가 힘들다는 단점을 가지고 있다.

자동차 소음기의 전달 손실에 대하여, 본

* **Bruel & Kjaer Denmark**

E-mail : ysryu@bksv.com

** **Bruel & Kjaer Korea**

E-mail : yskim@bksv.com

Tel : (+82) 2 3473 0605

논문에서는 보다 효과적이고 간편한 실험 방법의 하나로서 임피던스 튜브를 이용한 전달 및 투과 손실 계수를 구하는 방법에 대해서 제안 하고자 한다. 이 방법은 네개의 마이크로폰을 이용하여, 동시에 소음기의 입력부와 출력부, 양단에서의 소음 전달함수 매트릭스를 측정하여 직접 비교하는 방법으로서, 비교적 실험 수준이 간단하고 안정된 실험환경에서 실험을 할 수 있는 장점이 있는 반면, 소음기와 같이 특이한 구조물에 대한 전달 및 투과 손실 계수를 구하는데 용이하게 적용할 수 있다고 하겠다.

2. 이론적 배경

그림 1 과 같이, 진행파와 반사파를 각각, $A_1(\omega), B_1(\omega)$ 라 하면, 소음기를 통과한 이후의 진행파와 반사파를 각각 $A_2(\omega), B_2(\omega)$ 라 할 수 있다. 이들 사이의 관계는 다음의 식 1 로 표현된다.

$$\begin{Bmatrix} A_1(\omega) \\ B_1(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha(\omega) & \beta(\omega) \\ \gamma(\omega) & \delta(\omega) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_2(\omega) \\ B_2(\omega) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

여기서, 소음기의 투과, 전달 손실 계수는 다음의 식 2 와 같이 무차원화하여 표시할 수 있다.

$$TL(\omega) = 20 \log |\alpha(\omega)| \quad (2)$$

위 식에서 그 해를 구하기 위하여, 튜브 끝단에서의 경계조건을 변화하여 다시 표현하면, 식 3, 4 와 같이 표현될 수 있다. 식 3 은 튜브 끝단이 자유단의 형태인 경계 조건이며, 식 3 은 끝단을 흡음 처리한 경계 조건을 표현하고 있다. 이 두 식을 이용하여 그 해를 구하면 다음과 같이 표현될 수 있다. (식 5)

$$\begin{Bmatrix} A_{1O}(\omega) \\ B_{1O}(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha(\omega) & \beta(\omega) \\ \gamma(\omega) & \delta(\omega) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_{2O}(\omega) \\ B_{2O}(\omega) \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{Bmatrix} A_{1C}(\omega) \\ B_{1C}(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha(\omega) & \beta(\omega) \\ \gamma(\omega) & \delta(\omega) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_{2C}(\omega) \\ B_{2C}(\omega) \end{Bmatrix} \quad (4)$$

$$\alpha(\omega) = \frac{A_{1O}(\omega)B_{2C}(\omega) - A_{1C}(\omega)B_{2O}(\omega)}{A_{2O}(\omega)B_{2C}(\omega) - A_{2C}(\omega)B_{2O}(\omega)} \quad (5)$$

여기서, 각 측정점에서의 소음 레벨은 다음과 같이 각각 표현된다. 이를 이용하여 진행파와 반사파의 형태로 분리하여 표현하면, 다음과 같다. (식 6)

$$P_1(\omega) = A_1(\omega)e^{jk(\delta X_1 + \delta X_2)} + B_1e^{-jk(\delta X_1 + \delta X_2)}$$

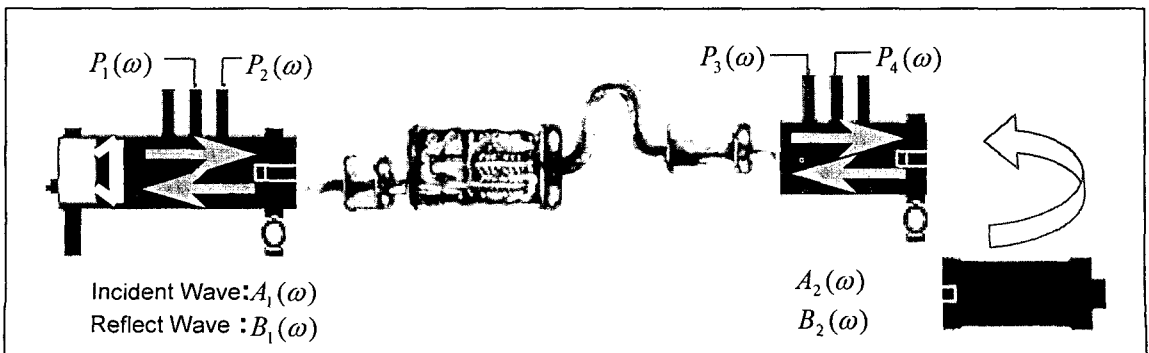


Fig. 1 Systemic Sketch of Incident & Reflecting Waves

$$P_2(\omega) = A_1(\omega)e^{jk\delta X_2} + B_1e^{-jk\delta X_2}$$

$$P_3(\omega) = A_2(\omega)e^{-jk\delta X_3} + B_2e^{jk\delta X_3}$$

$$P_4(\omega) = A_2(\omega)e^{-jk(\delta X_3 + \delta X_4)} + B_2e^{jk(\delta X_3 + \delta X_4)}$$

이때, 투과, 전달 손실 계수를 구하기 위한 $A_1(\omega), B_1(\omega)$, $A_2(\omega), B_2(\omega)$ 는 다음과 같이 표현된다.(식 7)

$$A_1(\omega) = \frac{-j P_1(\omega) - P_2(\omega)e^{-jk\delta X_1}}{2 \sin(k\delta X_1)} e^{-jk\delta X_2}$$

$$B_1(\omega) = \frac{j P_1(\omega) - P_2(\omega)e^{jk\delta X_1}}{2 \sin(k\delta X_1)} e^{jk\delta X_2}$$

$$A_2(\omega) = \frac{j P_4(\omega) - P_3(\omega)e^{jk\delta X_4}}{2 \sin(k\delta X_4)} e^{jk\delta X_3}$$

$$B_2(\omega) = \frac{-j P_4(\omega) - P_3(\omega)e^{-jk\delta X_4}}{2 \sin(k\delta X_4)} e^{-jk\delta X_3}$$

또한, 진행파와 반사파는 각각의 측정점에서의 전달함수의 형태로 표현될 수 있는데, 이를 정리하면 다음과 같다.(식 8)

$$A_1(\omega)P_1^*(\omega) = \frac{-j \overline{H_{11}(\omega)} - \overline{H_{12}(\omega)}e^{-jk\delta X_1}}{2 \sin(k\delta X_1)} e^{-jk\delta X_2}$$

$$B_1(\omega)P_1^*(\omega) = \frac{j \overline{H_{11}(\omega)} - \overline{H_{12}(\omega)}e^{jk\delta X_1}}{2 \sin(k\delta X_1)} e^{jk\delta X_2}$$

$$A_2(\omega)P_1^*(\omega) = \frac{j \overline{H_{14}(\omega)} - \overline{H_{13}(\omega)}e^{jk\delta X_4}}{2 \sin(k\delta X_4)} e^{-jk\delta X_3}$$

$$B_2(\omega)P_1^*(\omega) = \frac{-j \overline{H_{14}(\omega)} - \overline{H_{13}(\omega)}e^{-jk\delta X_4}}{2 \sin(k\delta X_4)} e^{-jk\delta X_3}$$

실제, 네개의 측정점에서 구한 각각의 전달함수를 이용하여 최종적으로 식 2 의 투과/전달 손실 계수를 구할 수 있다. (식 9)

$$\alpha(\omega) = \frac{\{A_{10}(\omega)P_{10}^*(\omega)\}\{B_{2c}(\omega)P_{1c}^*(\omega)\} - \{A_{1c}(\omega)P_{10}^*(\omega)\}\{B_{20}(\omega)P_{1c}^*(\omega)\}}{\{A_{20}(\omega)P_{10}^*(\omega)\}\{B_{2c}(\omega)P_{1c}^*(\omega)\} - \{A_{2c}(\omega)P_{10}^*(\omega)\}\{B_{20}(\omega)P_{1c}^*(\omega)\}}$$

3. 실험

3.1 실험 장치

자동차의 소음기를 장착할 수 있는 홀드를 가진 TL 튜브를 새롭게 제작하여, 소음기들 사이로 양측 각각 두 점의 측정점으로 전달

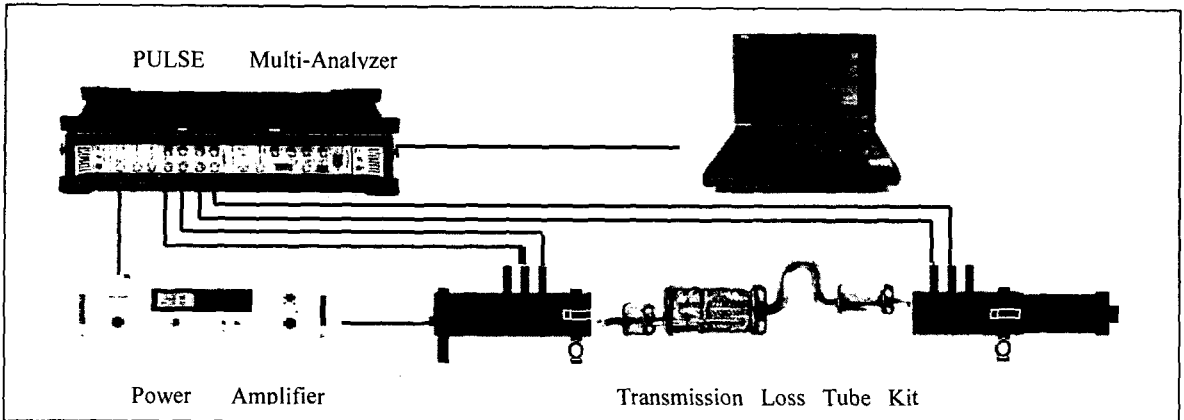


Fig. 2 System Configuration of Transmission Loss Measurement System

함수를 구할 수 있는 시스템을 그림 2 와 같이 구성하였다. 이때, 분석 장치로서는 Bruel & Kjaer 의 PULSE Multi-Analyzer 를 이용하였고, 기본적으로 CPB(Constant Percentage Bandwidth) 해석으로 투과,전달 손실 계수를 계산하였다.

3.2 실험 방법

우선 네 개의 마이크로폰의 위상차를 보정하기 위하여, 양 방향의 전달함수를 구하여 보정하였다. 그 다음, 튜브 끝 단이 흡음재로 막혀 있는 경우와 자유단인 경우에 대한 측정으로 각각의 경계 조건에 해당하는 전달 함수를 계측하였다. 최종적으로 측정된 전달함수를 이용하여 소음기의 투과, 전달 손실 계수가 계산된다.

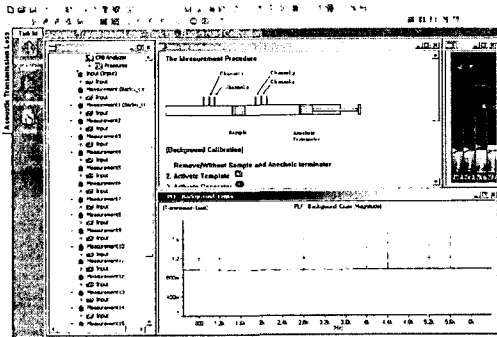


Fig. 3 TL Measurement Software User Interface

3.3 실험 결과

그림 4 는 측정된 결과로, 그림 3 은 소음기의 투과손실을 측정하기 위한 전용 소프트웨어를 보여주고 있으며, 결과의 검증을 위한 참고 자료로 제시하고 있다. 그림 4 는 소음기가 장착되어 있는 경우에 대한 결과를 보여 주고 있다. 위의 경우는 유효 주파수 범위가 500 - 6400Hz 이며, 저주파의 경우에는 실험상의 오차가 생길 수 있음을 보여주고 있다.

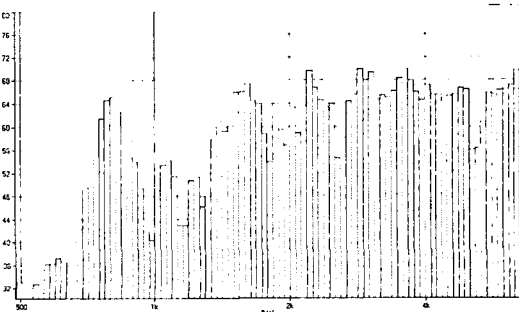


Fig. 4 Transmission Loss of Exhaust System

4. 결론

본 방법은 소음기 양단의 소음 전달 특성을 직접 측정하여 비교하는 방법으로서, 경계조건의 영향을 최소화 한다는 특징을 가지고 있다. 측정 수순과 소음기를 장착하는 방법 등에 따른 오차를 최소화 할수록, 측정의 정도는 높아 질 것으로 생각된다.

네개의 마이크로폰을 이용하여 동시에 소음 전달 함수를 구하기 때문에, 위상에 대한 오차를 줄일 수 있다. 또 이 방법은 검, 교정의 절차가 명확하고 간단하다.

자동차 소음기의 전달,투과 손실 계수를 구하는 방법으로 TL 튜브를 이용하면, 여러 가지 장점을 취할 수 있다. 특히, 자동차 소음기와 같이 특이한 구조물 등에서는 손쉽게 적용될 수 있으리라 기대된다.

향후, 오차의 한계에 대해서 좀 더 심도있는 검토가 필요하다.

참고 문헌

- (1) ISO 10534-2 (1998), "Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method", International Standardization Organization
- (2) ASTM E 1050-98 (1998), "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System", American Society for Testing and Materials
- (3) Hassall, J.R., Zaveri, K. (1988), *Acoustic Noise Measurements*, Bruel & Kjaer, Denmark.
- (4) Bryan H. Song, J. Stuart Bolton, A Transfer-Matrix Approach for Estimating the Characteristic Impedance and Wave Numbers of Limp and Rigid Porous Material, *Journal of Acoustic Society America*, 2000, March.