

## 전달손실계수 측정 시스템에 대하여

### On the Transmission Loss Measurement System

류 윤 선\*·김 윤 석\*\*·CALLEC, Philippe\*\*\*

**Yunseon RYU, Yoon-Seok KIM and Philippe CALLEC**

**Key Words : Transmission Loss Coefficient, SEA(Statistics Energy Analysis) Method**

#### 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 transmission loss coefficient measurement system using 4-microphone impedance tube is proposed, based on the idea calculating the full transfer matrix of the acoustical sample to test. The theoretical background and measurement system are introduced, and finally the measurement results are verified.

#### 1. 서론

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

전달/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 잇점도 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.

본 논문에서는, 보다 효과적이고 간편한 실험 방법의 하나로서 임피던스 튜브를 이용한

---

\* **Bruel & Kjaer Denmark**

E-mail : YSRYU@BKSV.COM

Tel : (+45) 7741 2387, Fax : (+45) 7741 2014

\*\* **Bruel & Kjaer Korea**

\*\*\* **PHC Solutions France**

전달/투과 손실 계수를 구하는 방법에 대해서 제안 하고자 한다. 이 방법은 내개의 마이크로폰을 이용하여, 동시에 재료 양단에서의 음향인텐시티를 측정하여, 직접 비교하는 방법으로서, 비교적 실험 수준이 간단하고 작은 재료로서도 전달/투과 손실 계수를 용이하게 구할 수 있는 장점이 있다고 말 할 수 있다.

## 2. 이론적 배경

그림 1 과 같이, 진행파와 반사파를 각각,  $A_1(\omega), B_1(\omega)$  라 하면, 시험 재료를 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, 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 끝

단에서의 경계조건을 변화하여 다시 표현하면, 식 3, 4 와 같이 표현될 수 있다. 식 3 은 튜브 끝 단이 자유단의 형태인 경계 조건이며, 식 3 은 끝 단을 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)

$$P_1(\omega) = A_1(\omega)e^{jk(\Delta X_1 + \Delta X_2)} + B_1(\omega)e^{-jk(\Delta X_1 + \Delta X_2)}$$

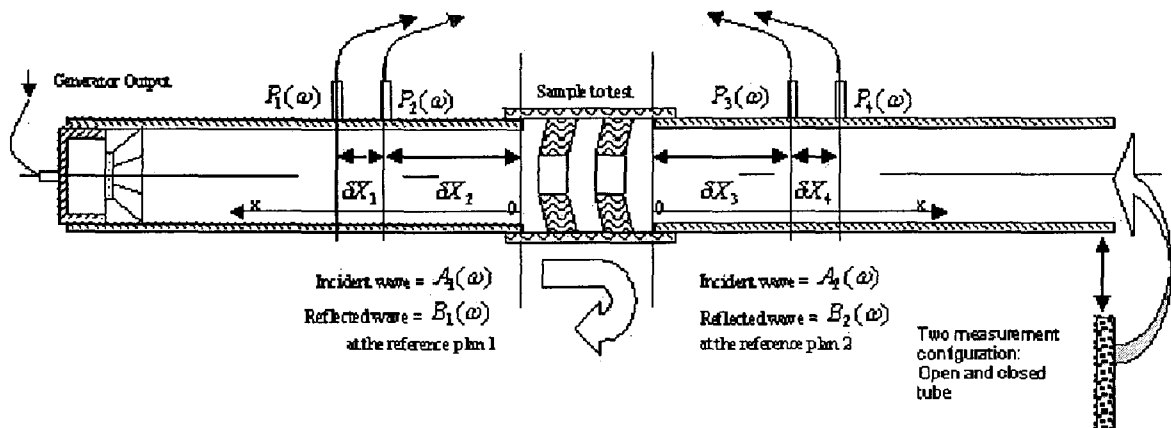


Fig. 1 Systemic Sketch of Incident & Reflecting Waves

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

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

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

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

### 3. 실험

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

#### 3.1 실험 장치

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

샘플 홀드를 가진 임피던스 튜브를 새롭게 제작하여, 샘플을 사이로 각각 두 점의 측정점으로 전달 함수를 구할 수 있는 시스템을 그림 2와 같이 구성하였다. 이때, 분석 장치로서는 Bruel & Kjaer의 PULSE를 이용하였고, 기본적으로 FFT 해석으로 투과/전달 손실 계수를 계산하였다.

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

#### 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 샘플의 추과/전달 손실 계수가 계산된다.

### 3.3 실험 결과

그림 4, 5는 측정된 결과로, 그림 3은 샘플이 없는 경우로, 결과의 검증을 위한 참고 자료로 제시하고 있으며, 그림 4는 샘플이 있는 경우에 대한 결과를 보여 주고 있다. 위의 경우는 유효 주파수 범위가 50 - 1600Hz이며, 저주파의 경우에는 실험상의 오차가 생길 수 있음을 보여주고 있다.

## 4. 결 론

임피던스 튜브를 이용한 전달/투과 손실 계수를 구하는 방법으로 임피던스 튜브를 이용하면, 여러 가지 장점을 취할 수 있다.

측정에 의해 구해진 결과는 임피던스 튜브의 길이와 직경에 따라서 그 유효 주파수 범위가 결정된다.

네개의 마이크로폰을 이용하여 동시에 인텐시티를 구하는 것이 결과의 정도를 높일 수 있는 방법이다. 또 이 방법은 검, 교정의 절차가 명확하고 간단하다.

향후, 오차의 한계에 대해서 좀 더 심도있는 검토가 필요하다.

## 참고문헌

(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.

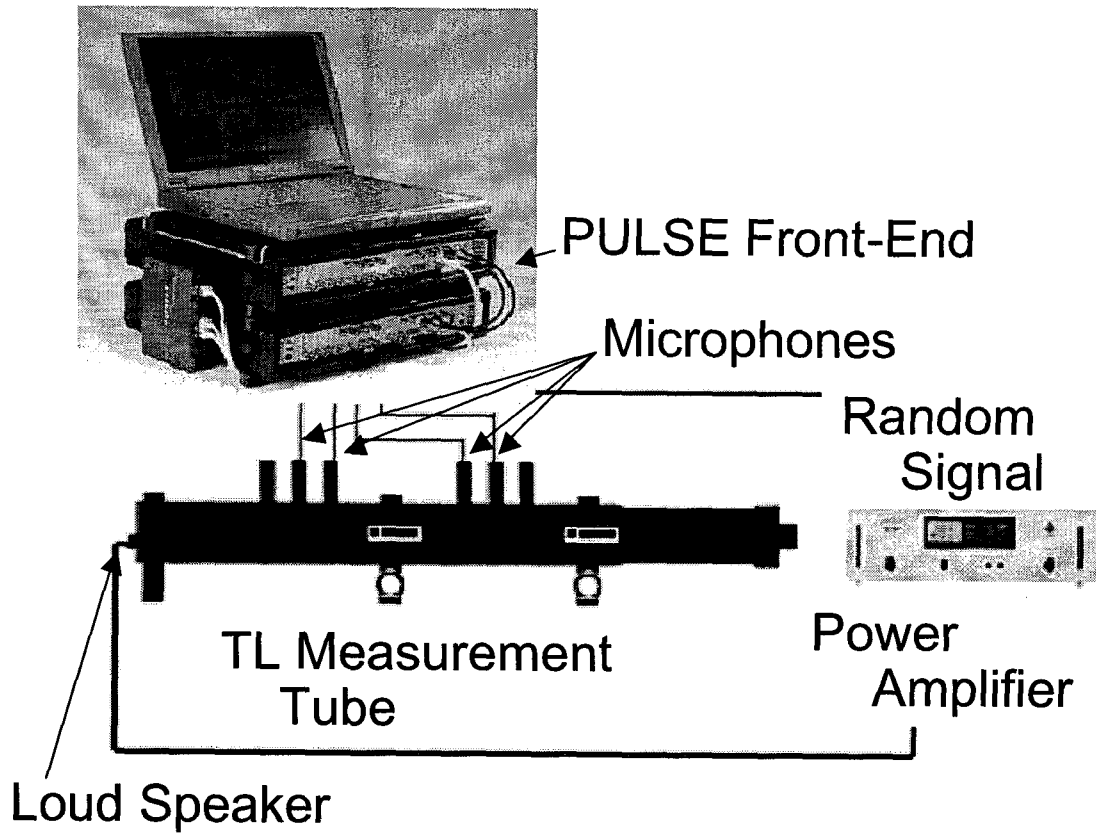


Fig. 2 System Configuration of Transmission Loss Measurement System

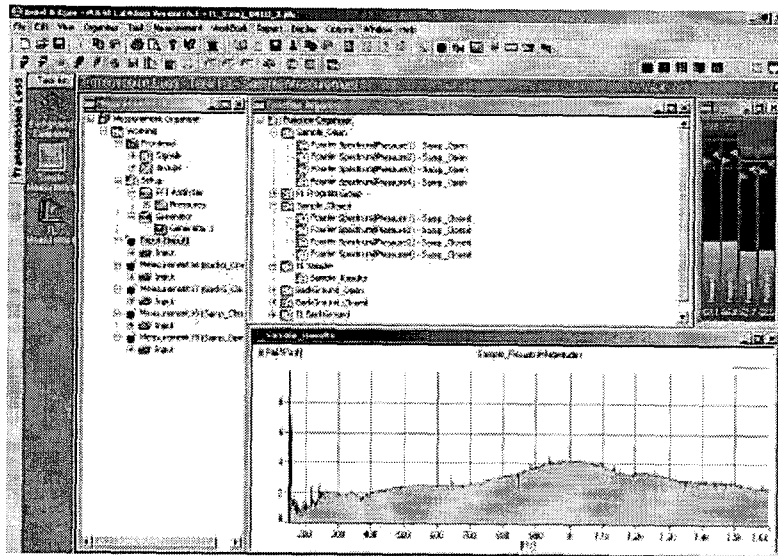


Fig. 3 Transmission Loss Measurement Software

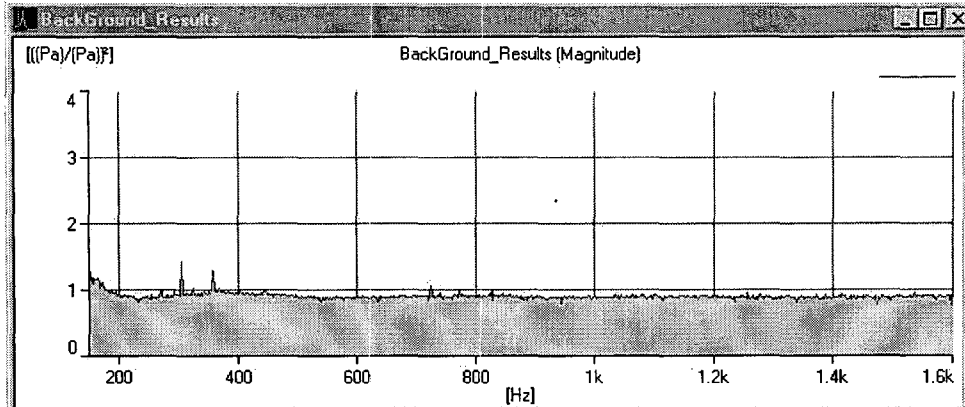


Fig. 4 Transmission Loss Coefficient (Without Sample)

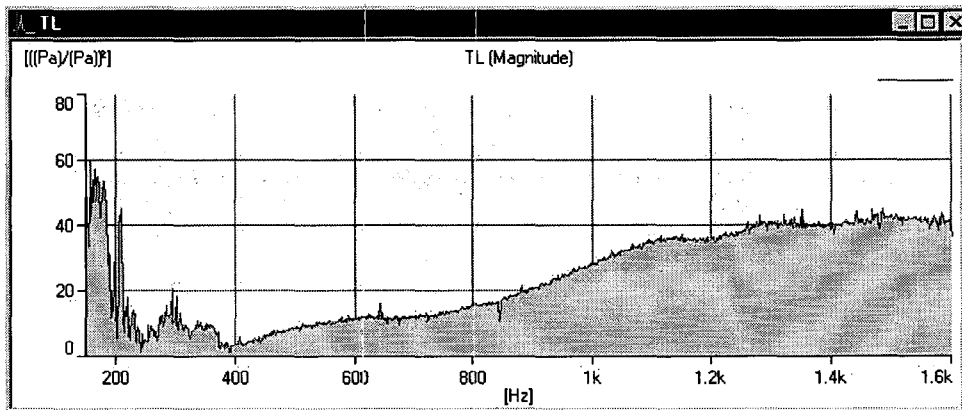


Fig. 5 Transmission Loss Coefficient