

# Reverberation 음장내 다수 소음원의 음파관을 이용한 소음 측정 방법

이 성 태\*

## The Noise Measurement Method of the Multi-Sound Source in Reverberation field with Wave-Guide

Sung-Tae Lee

### ABSTRACT

A noise measurement method of the multi-sound sources in a reverberation field with wave-guide is developed by experimental method. In the reverberation field, it is very hard to measure sound level or noise spectra of a certain sound source, when many sound sources generate noise simultaneously with a small space between them. Flexible wave-guide( tube ) was used to measure noise level in a reverberation field. One end of the tube is attached to a sound source and the other end is closed with an unechoic terminal. Detailed method of the measurement and the source of error was considered as well.

### 1. 서 론

전체 소음을 줄이기 위해서는 높은 음압의 소음을 줄이는 것이 효과적이기 때문에 여러개의 소음원이 동시에 소음을 방사하는 경우 각 소음원으로부터 방사되는 소음을 정확히 측정하는 것은 소음 통제에 있어서 매우 중요하다. 여러개의 소음원이 동시에 소음을 방출하고 주변에 반사 물체가 많은 경우, 어느 한 소음원으로부터 방출되는 소음의 크기와 형태를 측정한다는 것은 쉬운일이 아니다. 각 소음원에서 방사된 소음들을 반사시켜 경로를 변화시키며, Masking효과와 간섭을 일으키기 때문이다. 여러 소음원들이 자유 음장에서 충분히 떨어져 있는 경우에는 다른 소음원에서 발생한 소음이 측정하고자 하는 소음원에 반사되어 마치 측정

소음원의 소음인 것처럼 보이는 점을 무시한다면, 인텐시티메타를 이용하여 측정이 가능하다<sup>(1)</sup>. 인텐시티메타를 사용한 측정에 있어서도 반사 음장( Reverberation field )에 있어서는 정확한 측정이 어려워지며 자동차의 엔진룸과 같이 많은 소음원들이 좁은 공간에 밀집되어 설치되어 있고 반사 음장인 경우에는 측정이 상당히 어려울 뿐만 아니라 해석도 결론을 내리기 힘든 경우가 많다.

이와 같은 문제점을 해결하고 좁은 공간에 많은 소음원들이 밀집되어 있을 때 특정 소음원의 음향 방출 정보를 획득하기 위해 청진기와 같은 원리를 이용한 음파관을 사용하여 측정하는 방법을 연구하였다. 이 방법은 마치 광섬유가 손실없이 빛을 전달하는 것과 같이 이상적인 경우 음파관 안에서 소리가 손실없이 전달되는 것을 이용하여 측정하는 것이다. 이와 같은 방법은 오래전부터 사용되어

\* 정회원, 육군사관학교 물리과

왔으며 이론적인 사항에 있어서도 이미 대부분의 음향학 서적에<sup>(2),(3)</sup> " duct ", " pipe ", " sound-guide " 또는 "wave-guide" 등으로 설명되었다.

이 연구에 있어서는 이러한 원리를 응용하여 차량의 엔진룸과 같이 좁고 밀집된 공간에서 다수 소음원이 소음을 방사할 때 음파관을 이용하여 특정 소음원을 구분하여 측정하는 것이 가능한가를 실험으로 확인하고, 이와 같은 실험에 있어 오차를 최소로 하기 위한 고려사항들은 어떻게 처리되어야 하는가를 제시 하였다.

이 연구에서 제시된 방법은 자동차의 엔진룸에서의 각 부분품의 소음 방사 현상 분석 뿐만이 아니라 많은 기계들이 동시에 가동되는 발전소와 공장 등 음향 측정기기의 측정 여건이 열악한 환경에서 효과적으로 활용 가능하다고 판단된다.

## 2. 이론적 배경

Structure의 진동이 주변의 공기를 진동시켜 소음을 방출할 때 방출되는 소음의 양과 물체의 진동 정도와의 관계는 아래와 같다<sup>(2)</sup>. 진동체의 표면이 진동수  $\omega$ , 표면의 위치에 따른 위상  $\phi$ , 속도 크기  $U$ 로 진동할 때 위상  $\phi$ 를 갖는 위치에서 임의의 시간  $t$ 에 진동하는 속도는

$$\vec{u}(t, \phi) = \vec{U} e^{j(\omega t + \phi)} \quad (1)$$

가 되며, 이와 같은 속도로 진동하는 물체가 주변의 공기를 단위 시간당 진동시키는 부피는 표면적이  $S$  일때, 소음원의 세기  $Q$  ( Source Strength ) 로 나타내는데

$$Qe^{j\omega t} = \int_s \vec{u} \cdot \hat{n} ds \quad (2)$$

이다. 소음원의 세기를 갖는 진동체가 만일 Simple Source (  $ka \ll 1$  ) 인 경우 소음원에서 방출하는 소음의 세기  $\Pi$  ( Sound power )는

$$\Pi = \frac{\pi}{2} \rho_0 c \left( \frac{Q}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

가 된다. 여기서 소음원의 음향 Power 는 Intensity 나 Pressure로도 쉽게 전환이 가능하다.

일반적인 소음원의 표면에서 방출되는 에너지가 위와 같을 때, 음파관 안에서의 소음원의 세기는 진동체가 표면속도  $u$ 로 진동할 때  $dA = \pi b^2$  인 면적을 갖는 파이프 안으로 입사되는 음의 세기이므로 소음원의 세기  $Q'$ 은

$$Q' e^{j\omega t} = \int_{dA} \vec{u} \cdot \vec{n} ds \quad (4)$$

이다. 이때 만일 소음 방출이 모든 표면에서 균일하다면,  $Q' e^{j\omega t} = u * \pi * b^2$  의 소음이 파이프 안으로 입력 되고 전체 소음원의 세기  $Q = Q' * S / dA$  이다. 만일 Simple Source가 아니면, 측정위치를 계속 옮겨서 진동체 표면적을 모두 측정하여 측정치들을 모두 더해 주어  $Q$ 를 결정해야 이상적이나 진동체의 형태나 진동축을 고려해서 필요한 부분에서만 측정해서 사용할 수 있다. 이때 음파관이 연속적으로 벽을 형성하여 음파관 안으로 입력된 소리를 끝까지 전달하기 때문에 입사된 소음의 방향성을 고려할 필요는 없다.

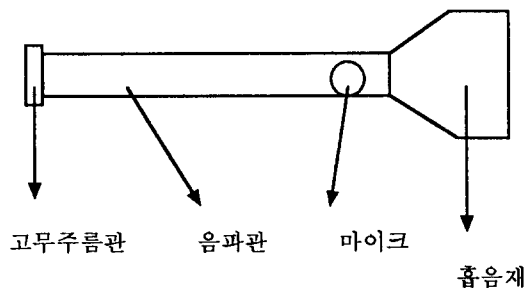


Fig. 1 음파관의 구조

Fig. 1과 같은 wave-guide 내에서의 소리의 전파는 평면 종파로서 오른쪽 음파관 끝에서 음의 흡수가 완벽하여 반사가 전혀 없다고 하면 무한하게 긴 관으로 간주되고, 동시에 관벽이 강체로 되어 있어 소리 에너지가 손실이 없다고 본다면 음

파동 방정식이 그대로 적용되며, 오른쪽으로 이동하는 진행파는

$$P(x, t) = Ae^{j(\omega t - kx)} \quad (6)$$

로 간단히 설명된다.

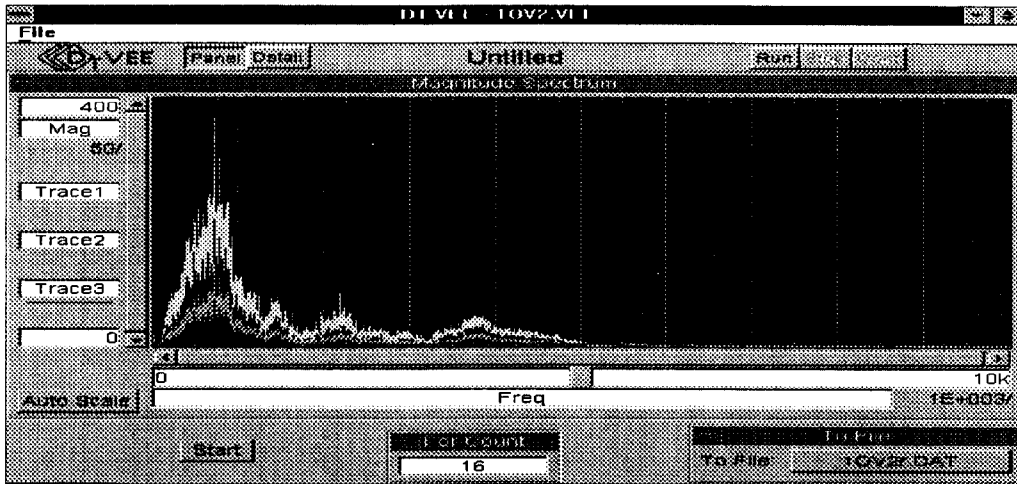
### 3. 실험

#### 3.1. 계기의 성능 평가 및 보정

다른 Maker에서 제작한 2개의 소음계에서 출력되는 신호는 증폭도가 틀릴 뿐 아니라 정밀성에 있어서도 더 정밀한 것과 덜 정밀한 것이 있다. 그러나 이상적으로는 이들 2 소음계는 동일한 주파수 특성과 Weighting 특성, 증폭도등을 구비해야 한다. 그래야만 이들을 동일 소리에 동일하게 반응하는 센서로 보고 각종 측정시 비교 가능하게 된다. 예를 들어 어느 방음관의 투과정도를 측정할 때에 방음관 앞과 뒤에 2개의 소음계를 설치하고 신호를 포착한다고 했을 경우 동일한 신호에 대해 다른 신호를 포착을 했다면 이러한 차이를 방음관

의 음향 차단효과로 설명이 가능하기 때문이다. 또한 음향이 방사될때 거리에 따른 감소등을 측정시에도 동일음을 발생시킨후 음원으로부터 거리가 다른 2곳에 동일하게 반응하는 소음계로 신호를 포착한다면 거리에 따른 소리의 감소를 얻을 수가 있다. 그러나 현실적으로는 2개의 다른 종류의 소음계는 조금 다른 반응 특성을 갖고 있을 뿐 아니라 동일한 회사에서 생산한 동일한 종류의 소음계라 하더라도 주파수 특성이 완벽하게 일치하지 않고 있어 매 제품마다 각각의 검교정 검사표를 첨부하고 있다. 따라서 2개의 소음계의 반응을 Computer에서 보상하여 동일한 형태를 갖는 2개의 소음계를 획득하였다.

사용 장비로는 B&K 2230 Sound Level Meter, ACO 6046 Sound Level Meter, B&K 4224 Sound Source, DT21EZ A/D Board와 분석 프로그램으로 DT-VEE이 내장된 486 Computer를 사용하였다. 측정 장소의 배경소음은 45dB 이었다.( 컴퓨터가 가까워서 작동되고 있는 상태 ) 실험대위에 음원을 설치하고 음원 정면 45cm에 소음계 2개의 마이크가 마주보게 위치시키되 마이크 간의 간격을 1.5cm 떨어지게 하여 Sound Source B&K



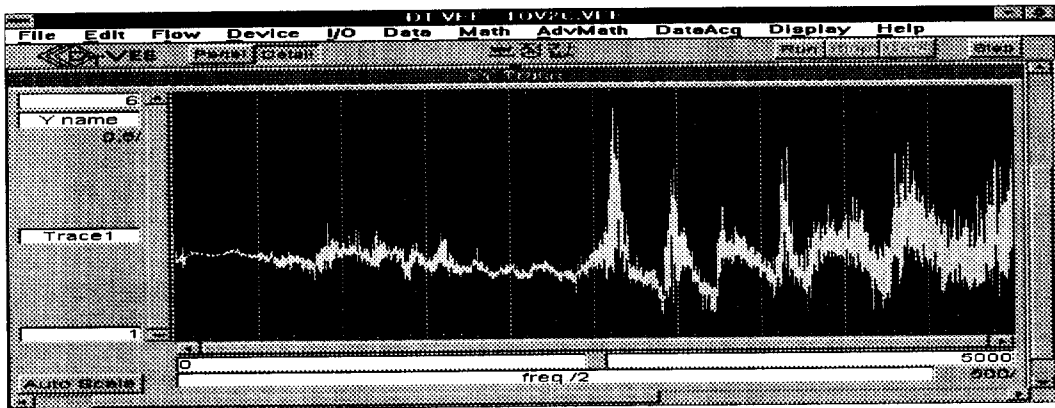
**Fig. 2** B&K 2230과 ACO 6064의 동일음에 대한 주파수별 Spectrum. 16개의 Spectrum을 포착하여 각 주파수에 대한 진폭에 의한 평균치를 나타내고 있는데 큰 진폭을 나타내고 있는 것이 B&K 소음계이고 작은 진폭을 나타내는 것이 ACO 소음계이다. 3번째 그래프는 주파수별로 표시한 두 소음계의 음압의 비이다.

4224에서 발생하는 Broad-Band Noise인 Spectrum 1의 소리를 96dB의 크기로 발생시키면서 신호를 포착한다. 포착된 신호를 FFT하여 각 주파수별 진폭의 평균을 구하는데 16번의 Spectrum을 포착하여 평균을 내어 각 주파수 별 Channel 1 / Channel 2 를 저장한다. 저장된 데이터는 B&K 2230을 기준으로 ACO 6064를 보상하려는 것으로 나중에 보상 프로그램에서 ACO에 곱하여 준다. 보상을 위한 Spectrum은 한번만 구하면 되나 나중에 동시에 측정을 행하고자 하는 경우에는 보상치가 항상 ACO의 신호에 곱해진다. 이렇게 함으로써 2개의 소음계는 동일한 반응을 보이는 센서가 된다. 이 실험의 보상을 위한 동일 소음 Spectrum에 대한 각 주파수별 스펙트럼을 16번 평균한 결과는 Fig. 2와 같다.

위와 같이 포착된 2 Channel의 신호를 갖고 보상치를 결정하게 되는데 보상치는 Channel 1의 진폭을 Channel 2의 진폭으로 나눈 값이다. 수평축은 1 KHz 간격으로 10 KHz 까지를 진폭은 0에서 한칸에 50씩 400 까지의 크기를 나타내고 있다. Channel 3에 표시된 그래프는 두 소음계의 음압의 비를 표시하고 있는데 측정된 음압의 진폭에 비해 비율의 값이 작기 때문에 잘 나타나 있지 않다. 따라서 2 소음계가 출력한 진폭의 비를 계산한 결과를 확대하여 스펙트럼으로 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다.

보정값은 최대 6 미만이며 약 1과 2사이에 있고 주파수별로 다른 값을 갖고 있다. 여기서 소음원의 Spectrum이 주로 5KHz 이하의 대역에 큰 음압을 방출하기 때문에 5KHz 이하의 범위에서는 보정값이 1.5 정도로 일정함을 보여주고 있으며 그 이상의 대역에 있어서는 음압의 크기가 작아 그 비율 크기의 변화가 심함을 보여주고 있다. 측정된 2개의 소음계는 표시기에 나타나는 음압을 동시에 읽을 때  $\pm 1$  dB의 오차를 갖는 것으로 보아 정밀도에 있어서는 약간의 차이는 있으나 소음 측정용으로 사용할 때 문제가 없다고 판단 하였다. 또한 보정을 했을 경우 B&K 소음계와 ACO 소음계는 거의 동일한 신호를 출력하였고 그 크기는 96dB의 소음에 대해 주파수별 크기의 비교에 있어 B&K 소음계의 출력과 두 소음계의 출력의 차와의 비를 신호와 Noise의 비율을 계산한 결과 약 -40 dB의 정밀도를 얻을 수 있었다. 또한 5KHz 이상의 주파수 대역에 있어서는 보정값을 구하는 경우에 신호의 출력이 작아 두 소음계를 위한 보정값이 크고 변화가 심하였음에도 10KHz까지 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

결론적으로 그림에서 보는 바와 같이 소음에 대해서 -40dB에 해당하는 S/N비를 갖는데 이것은 1% 에도 못미치는 Noise 값으로 실상황에서 사용하는 데 큰 문제가 없는 오차의 범위라고 판단 하였다.



**Fig. 3** 동일 소음 Spectrum에 대한 B&K 2230 소음계의 출력에 대한 ACO 6064 소음계의 출력의 비. 16개의 Spectrum을 포착한 후 FFT하여 주파수 별로 평균한 결과임.

Computer에서 B&K 2230의 출력 전압을 dB 값으로 전환하여 사용하기 위하여 실험을 실시한 결과 아래와 같은 관계를 확인하였다. DT-VEE에서 A/D 변환을 하여 숫자를 입력할 때에 전압값을 그대로 읽는다. 일단 입력된 신호를 주파수 분석을 하기 위해서는 DT-VEE의 FFT를 사용하게 되는데 이때에 sampling을 하는 point의 숫자에 따라서 FFT를 수행한 후의 진폭의 크기는 아래와 같이 정해진다.

$$\text{신호의 크기} = \text{FFT에의해 결정된 Amplitude} * 2 / \text{No. of points}$$

Full scale은 계측기의 최대 표시치인 120 dB를 의미한다는 것을 알았고 이와 같은 경우 120으로 FSD를 정할때 output volt가 Y mvolt 인 경우 데시벨 값은  $20 * \text{Log}(\frac{Y * 10^6}{1414})$  가 된다. 여기서 만일 FSD 값을 줄여서 정한 경우에는 출력 전압이 증폭이 되는데 이것은 Log-Scale에 비례하여 증가한다. 따라서 FSD를 120으로 하지 않고 임의의 FSD로 정한 경우 데시벨 값은 아래와 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} \text{임의의 FSD 선택시 출력 전압(mV)} &= 1414 * 10^{(\frac{120 - \text{FSD}}{20})} \text{ 가 된다. 기준 출력 전압이 커지므로} \\ &1414 \text{ mV 대신 } 1414 * 10^{(\frac{120 - \text{FSD}}{20})} \text{ 를 사용하면 된다. 따라서 임의의 FSD 에서 데시벨 값은} \\ &20 * \text{Log}(\frac{10^6 * Y}{1414 * 10^{(\frac{120 - \text{FSD}}{20})}}) \text{ 로 결정된다.} \end{aligned}$$

결과적으로 DT-VEE의 A/D 변환으로 부터 FFT를 거쳐 dB 값을 얻는 방법을 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\text{dB} = 20 * \text{Log}(\frac{10^6 * F * 2}{N * 1.414 * 10^{(\frac{120 - \text{FSD}}{20})}}) \text{ 이때}$$

F는 FFT를 하여 주파수별로 얻은 진폭 값이며, N은 FFT를 할때의 No. of Sampling Point 이다. 이와 같은 과정을 거쳐 주파수 대역의 스펙트럼을 dB 값으로 표시하게 된다.

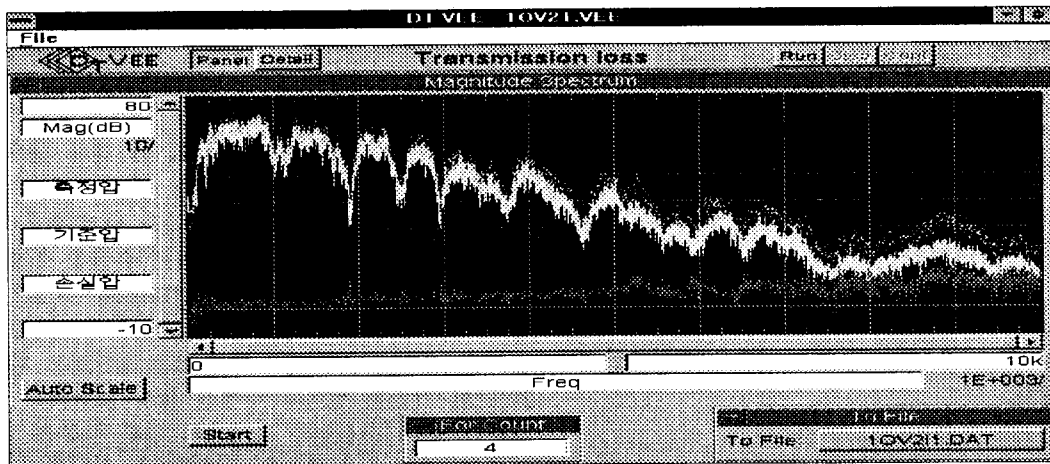
### 3.2. 오차에 대한 예측

이와 같은 측정 방법을 사용할 경우 발생할 수 있는 오차를 고려하였다. 고려한 오차는 음파관으로 입사할 때의 입사 손실, 음파관의 거리에 따른 손실, 그리고 음파관이 굽어진 경우 구부러짐에 의한 소리 에너지의 손실 이었다. 내경이 16mm의 음파관이 둘러싼 소음원의 표면에서 방사되는 음을 포착하고자 하는 경우, 넓은 진동체에서 방사되는 음을 작은 단면적을 갖는 입구로 넣는 과정에서는 주파수와 음압에 따라 다르게 입력손실을 갖게 될 것이라고 판단하기 쉬우나 동일한 면적의 진동체 표면에서 방사되는 소리만을 포착한 후 면적을 고려한 음향 파워를 계산하기 때문에 입력 손실을 고려할 필요가 없어진다. 또한 한정된 표면에서 음향을 방사하는 경우에는 저주파의 출력이 고주파 출력에 비해 상대적으로 적어져서 고주파 출력의 한계와 음색이 변화하는 문제가 될 수 있다고 생각 할 수 있으나, 표면에서 방사되는 소리가 종파인 관계로 이와 같은 측정 방법이 한정된 넓이의 표면에서 방사되는 음압을 측정 과정에서 축소하거나 주파수 특성을 변화시키지는 않는다. 동일한 면적의 소음원 표면에서 방사된 종파인 소음은 음파관 안으로 손실없이 입력되고 넓은 면적은 음향 방사 파워위로 면적을 고려하여 계산되고, 다른 표면에서 방사되는 소음은 음파관을 옮겨서 측정하면 되기 때문이다.

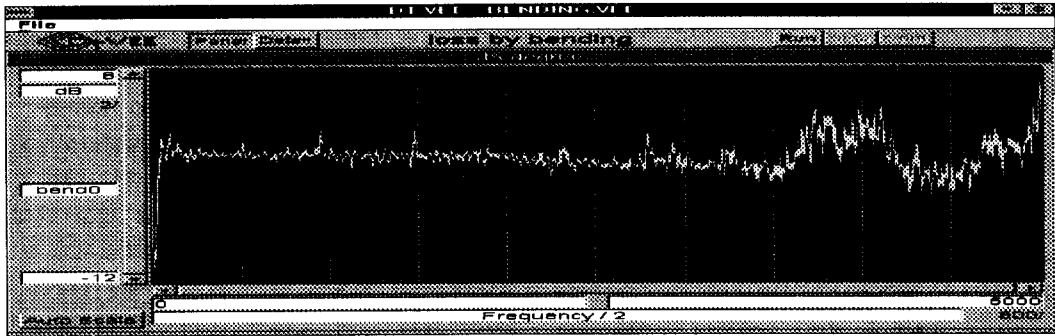
다음은 음파관을 소리가 전파될 때 전파 길이와 음파관의 휘는 각도에 따라서 각 주파수 별로 얼마 만큼의 손실을 갖는가 하는 것을 알기 위해 실험을 수행하였다. 먼저 길이에 따른 손실을 측정하였는데, 이것은 긴 음파관( 18 미터 )을 직선으로 설치한 후에 소리가 입력되는 쪽에서 2미터 정도 떨어진 곳에 구멍을 뚫고 소음계를 설치하고 다시 2미터의 거리를 떨어져 구멍을 뚫고 소음계를 설치한다. 이때 소음원과 음파관의 입력 부분은 차음이 된 방안에 설치하고 음파관만을 차단벽의 구멍을 통해 직선으로 밖으로 나오게 설치하였다. 이와 같이 소음원을 측정하고자하는 공간과 차단벽을 한 이유는 소음원에서 방출하는 큰 소리가 음파관을 통해서만 전달이 되도록 하기 위함이었다. 이때 만일 차단벽을 투과하여 소리가 전파된다 하더라도 다시 음파관 벽을 투과하여 소음계에 입력되어

하므로 큰 음압 손실을 갖게 되어 음파관 입구를 통해 입력된 음압에 비해 현저히 작음으로 측정치에 영향이 거의 없다. 소음계는 음파관과 수직으로 놓았으며 입력 방식은 Random으로 하였다. 이러한 상태에서 4번의 Spectrum을 포착하여 평균한 결과가 Fig. 4에 나타나 있는데 그림에서 보는 바와 같이 2 미터의 거리에 따른 음파관의 전파 손실은 저주파 영역에서 약 2.5 dB 정도가 되며 주파수가 증가함에 따라 점차 증가하여 고주파 영역에서는 약 5 dB 정도가 됨을 알 수 있다. 이것은 비닐관을 사용하였기 때문이고 금속을 사용한 경우는 거의 무시가 가능하다<sup>(4)</sup>. 고주파 영역으로 갈수록 손실이 큰 이유는 소리의 공기와 관벽에 의한 흡수의 차이에서 오는 것으로 판단되며 이와 같은 손실은 음파관의 벽에 의한 소리 에너지의 흡수에 의한 것으로 판단되었다. 이와 같은 거리에 의한 손실은 2미터 길이를 갖고 측정하는 음파관의 경우 항상 동일하기 때문에 측정된 Spectrum에 보상을 하여 음파관에 입력된 신호를 정확히 획득할 수 있다. 따라서 앞으로 음파관 2미터를 갖고 측정을 할 때에는 Computer에서 자동으로 거리에 따른 손실을 보상하게 된다. 다음은 각도에 의한

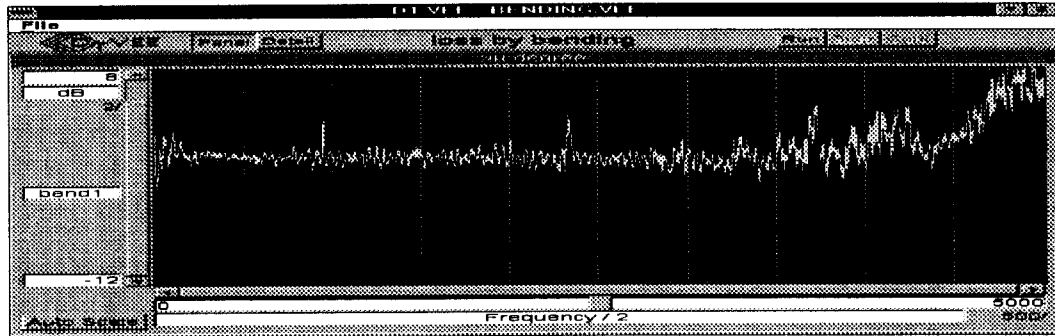
손실을 측정하기 위한 실험인데, 이것은 측정시에 음파관의 자유로운 구부러짐을 이용하여 주변으로부터 입력되는 소음을 차단하고 측정을 원하는 소음원에서만 신호를 포착하기 위해서 측정을 원하는 소음원의 표면에 음파관의 입구를 밀착시키기 위해서 음파관의 중간 부분을 임의의 각도로 구부려야 할 필요가 있기 때문이다. 음파관을 이용한 측정에 있어서 항상 동일한 상태로 유지되지 않는 부분이다. 거리는 2미터이고 각도가 달라질 때 얼마만큼의 음압 손실을 갖게 되고 직선인 거리에 의한 손실을 보상한 경우 각도에 의한 영향만이 남게 되는데 이 영향은 얼마나 되는가 하는 것을 측정 하였다. 음파관을 완만하게 구부러 45도, 90도, 180도로 구부렸을 때의 손실을 측정하였다. 이와 같은 결과는 각각 Fig. 5, 6, 7에 나타나 있다. 이들은 거리에 따른 손실을 보상한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 각도에 따른 손실은 7KHz 이하에서는 작아서 1 dB 이하인 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 바탕으로 음파관을 이용한 소음의 측정 방법은 약 2 dB의 오차를 갖고 측정이 가능하다고 판단 하였다.



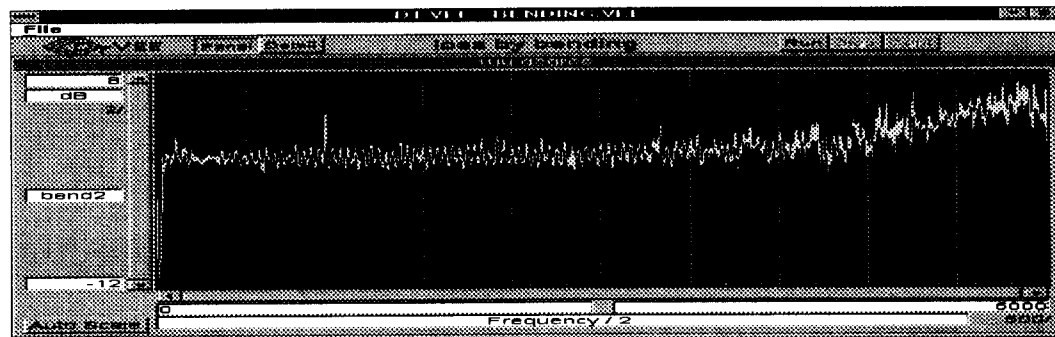
**Fig. 4** 음파관의 거리에 따른 손실 Spectrum. 긴 음파관을 직선으로 설치하고 중간에 2미터 간격 떨어진 2곳에서 소음계로 음압을 측정하여 비교한 결과임. .....는 음파관의 소리가 입력되는 쪽의 한 지점으로 기준점이 되고 —— 는 기준점에서 뒤로 2미터 떨어진 곳에서 측정한 결과며 그 차이가 -----로 표시되었다.



**Fig. 5** 음파관 2m를 45도로 굽게 하고 각도에 따른 손실만을 측정 한 결과. 길이에 대한 손실은 보상한 결과임.



**Fig. 6** 음파관 2m를 90도로 굽게 하고 각도에 따른 손실만을 측정 한 결과. 길이에 대한 손실은 보상한 결과임.



**Fig. 7** 음파관 2m를 180도로 굽게 하고 각도에 따른 손실만을 측정 한 결과. 길이에 대한 손실은 보상한 결과임.

### 3.3. 음파관의 특성 실험 및 보정

음파관의 Transmission Loss는 음파관 안쪽에 위치한 소음계와 음파관 밖에 위치한 소음계가 주파수 대역에서 얼마만큼의 음압차를 유지하는가를 검사함으로써 얻어진다. 이러한 Data를 획득하기 위해서 B&K 4224 Sound Source 450mm 앞에 소음계를 설치하되 ACO 6046 을 음파관 밖에 B&K 2230을 음파관 안에 설치하였다. 이때 두개의 소음계는 동일한 위치에서 마주보게 놓되 높이만 다르게 설치하였다. 이때 사용한 음파관은 분무용 비닐 호스로서 16mm의 내경을 갖고 두께는 5mm 였으며, 내압에 견디는 정도가 100Kg/cm<sup>2</sup> 이었다. 고압력용 호스이면서 3점으로 형성된 비닐 호스이기 때문에 상당히 큰 Transmission Loss를 갖을 것으로 판단하여 선택하였고 또한 동시에 구부러 질때에 내경이 크게 변화하지 않는 것을 선택하였다. 이와 같은 호스 속으로 B&K 2230 소음계를 80mm 집어 넣은 상태에서 13mm의 외경을 갖는 소음계와 16mm의 내경을 갖는 호스 사이에는 고무찰흙으로 메우고 그위를 다시 고무찰흙으로 덮어서 호스의 입구를 통하여서는 소리가 들어가지 않도록 하였다. 호스의 전체길이는 20 미터였으며 실험은 반대편 입구를 두꺼운 스폰지로 막은 상태에서 실험을 실시 하였다. 실험시 4번의 spectrum을 포착하여 평균값으로 자료를 선택하였으며 그 결과는 Fig. 8과 같다.

그림에서 보는 바와 같이 소음원의 소음은 wide band noise로서 DC 에서 10 kHz 까지 광대역에 걸쳐 소리를 발생하고 있으며 저주파에서 높고 고주파에서 상대적으로 낮은 음향 Power를 갖고 있다. 고주파 영역이 상대적으로는 낮은 음향을 방출하나 최소 30~40 dB의 크기를 갖고 있어 음향 신호로는 문제가 없다고 판단하였다. 이러한 소음이 비닐 음파관의 벽을 통과하며 3KHz 이상의 고주파수 대역에 있어서는 대부분 차단이 되어 0 dB 주변에 분포 되어 있음을 보여주고 있고 가장 투과 손실이 작은 저주파의 30 Hz이하에서만 10 dB 정도의 투과 손실이 있고 30 Hz 이상에서는 최소 30dB이상의 투과 손실을 보여주고 있다. 여기서 30 Hz 이하의 주파수 대역은 대부분의 인간의 귀에는 민감하게 감지가 되지 않는 주파수 대역이며 주로 인체의 진동으로 감지하는 영역이기 때문에 소음 통제에 있어서는 그리 문제가 되지 않는다. 5KHz이상의 주파수 대역에 있어서는 소음원의 소리가 작아서 투과손실이 30 dB 정도로 나타났다고 판단이 되며 그이상의 Power를 방출하는 소음원에 대해서는 이대역에 있어서 더높은 투과 손실을 갖을 것으로 판단이 된다. 3KHz 부근에서 보여주는 50dB 정도의 투과 손실을 고려할때에 그보다 더 높은 고주파 영역에 있어서는 더 높은 투과 손실이 예상이 되고 있다. 이와 같은 경우에 실차에서 소음을 측정시 주변에서 발생하는 소음이 측정하고자하는 소음원에서 발생하는 소음에 비해 30dB

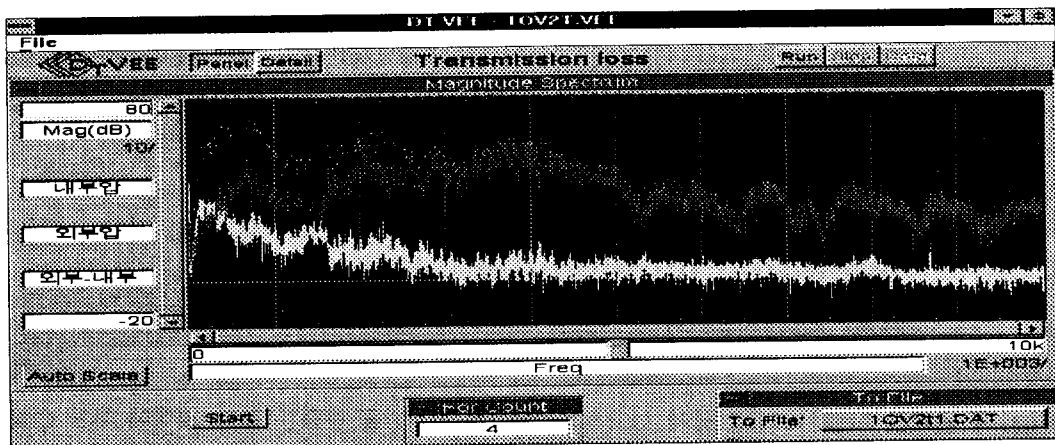


Fig. 8 분무용 얽화 비닐 호스의 소음에 대한 Transmission Loss Spectrum.



이상이 되면 30Hz이하에서만 문제가 되고 그 이상의 주파수에서는 감지하는데 문제가 없다. 따라서 소음원과 주변소음의 차이가 30dB 이내인 경우에는 모든 측정하고자 하는 소음원의 소음을 포착할 수가 있다.

이와 같은 것을 고려 할때에 실차에서 각 부품들의 소음을 측정시 최대의 음향 Power를 방출하는 소음원과 그 소음원과 비교하여 30dB이내의 소음을 방출하는 부분들은 소음계로 감지가 가능하며, 이들을 감지하여 통계를한다면 엔진룸의 소음을 줄일 수 있고, 소음 통제가 되기 때문에 이와 같은 측정 장치는 사용이 가능하다고 판단 하였다. 현재 방출하는 소음의 수준에서 최소 30dB 정도가 조용해 진다면 자동차 소음은 현재의 요구 수준을 충족할 수 있을 뿐 아니라 가장 소음 방출이 큰 부품부터 소음 통제를 하여 음압을 줄이면 다음 큰 소음원이 통제대상이 되고 이것을 계속한다면 소음을 계속 줄일 수 있기 때문이다.

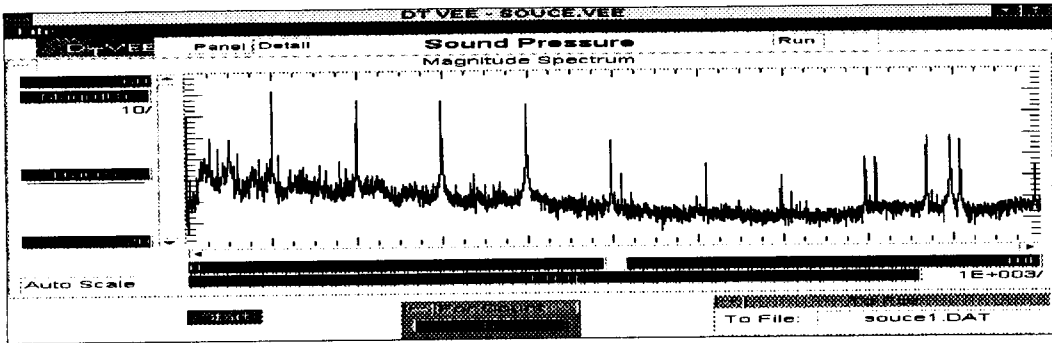
### 3.4. 음파관을 이용한 소음원 측정

소음원이 반사 음장 주변의 높은 소음에 휩싸여 있는 경우 음파관을 이용한 방법으로 소음원의 소음을 감지해 낼 수 있는 가를 확인하기 위해 다음과 같은 실험을 하였다. 신호음을 방출하는 스피커를 밀폐된 용기 안에 넣고( 스피커의 진동판이 약하고 질량이 적어 음파관을 진동판 표면에 직접 밀착할 수 없기 때문에 ) 주변 소음이 상대적으로 아주 작은 상태에서 신호음을 발생시키며 용기밖 물체 바로 위 5 Cm 위에서 음압계로 신호음을 포착한다. 신호음을 포착한 결과가 Fig. 9에 나타나 있다.

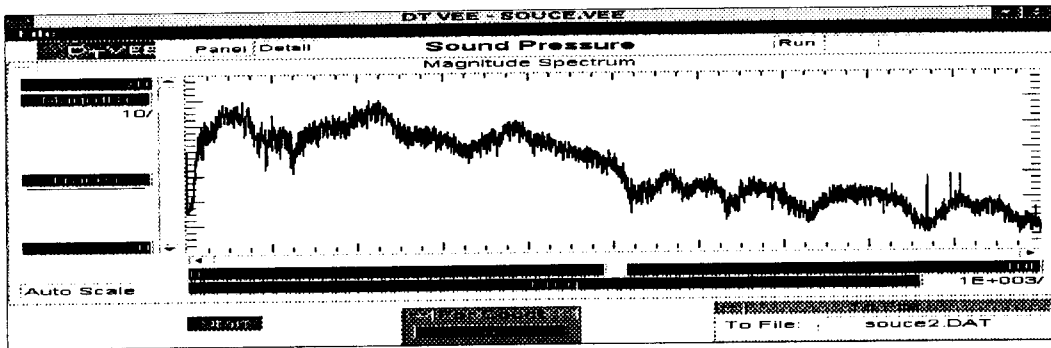
Fig. 9에서 보는 바와 같이 신호음은 1 KHz에서 주요소음이며 기본 진동수로 가장 큰 음압을 방출하며, 배 진동수에도 신호가 방출되고 있음을 알 수가 있다. 이때 신호음은 신호 발생장치에서 발생한 신호를 Power Amp. 로 입력하여 신호를 증폭한 후 스피커로 보내어 음향 신호를 방출한 것이다. Fig. 10은 위의 음향 신호가 방출되는 상태에서 B&K 4224의 Sound Source에서 Spectrum 1의 Broad- Band Noise를 발생시켜 신호음이 주변소

음에 의해 Masking이 되도록 만들고 동일한 위치에서 동일한 소음계로 신호를 포착한 상태이다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 주변 소음은 넓은 주파수 대역에 걸쳐 신호를 갖고 있으며 최고 60 dB 정도의 음압을 방출하고 있다. 물론 1KHz에서 신호가 주변 소음보다 약간 커서 스펙트럼에서 식별이 가능하나, 신호음이 어떤 상태인지를 모르는 상태에서는 구분이 어렵다. 대부분의 공장소음이나 자동차 엔진룸의 경우, 이와 같이 2개 이상의 소음이 섞여 서로 구분이 어렵고 어떤 소음이 어느 소음원에서 방출되었는 가를 결정하기가 어려워 진다.

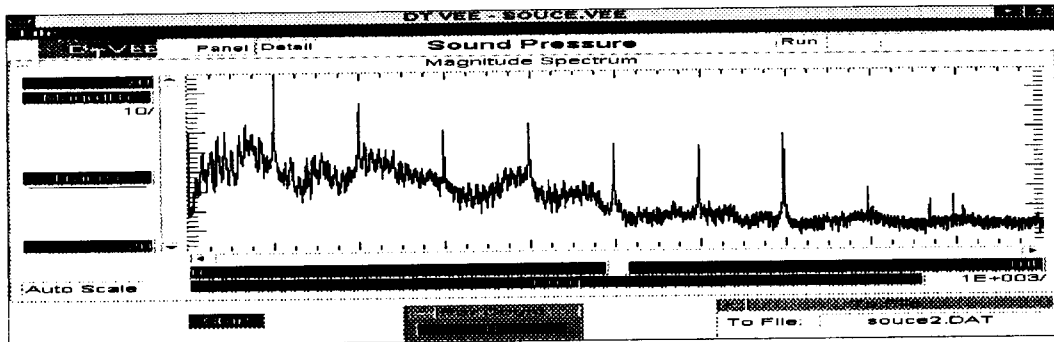
이와 같은 상황에서 음파관과 소음계를 사용하여 다시 신호음과 주변소음을 구분할 수 있는가를 알기 위하여 위와 동일한 조건에서 소음계를 음파관 안에 넣고 음파관의 다른 쪽 끝을 밀폐된 용기의 표면에 밀착시켜 주변소음은 차단시킨 상태에서 신호음을 포착한 것이 Fig. 11에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 주변소음은 음파관의 벽을 통하여 포착되므로 신호가 40 dB정도로 음압이 줄었고 반대로 신호음은 70dB로 증가된 것을 볼 수가 있다. 이와 같이 되어 신호와 주변소음이 구분이 되어 음파관을 밀착시킨 용기 표면에서 1KHz의 신호음이 방출되고 주변에서 광대역 소음이 방출되고 있음을 알 수 있게 된다. 여기서 신호음이 증가한 이유는 진동체의 표면인 밀폐용기 위 5 Cm에서 측정을 한 것과 용기 표면에 밀착시켜 신호를 포착한 것과의 차이에 의한 것이다. Fig. 11과 동일한 상태에서 음파관을 용기 표면에 밀착시킬 때 강한 힘으로 밀착시켜 진동체의 진동을 방해하는 상태에서 신호를 포착하면 신호음과 주변소음이 구분이 성공적으로 되는 것은 동일하나 주 신호음인 1KHz가 배 주파수 신호인 2KHz 보다 작게 포착된 것을 알 수 있었다. 따라서 진동체의 표면에 음파관을 밀착시키되 너무 강하게 밀착시키지 말고 주변에서 발생하는 소음이 음파관과 진동체의 표면 사이로 입력되지 않을 정도로만 밀착시켜야 함을 알 수가 있다. 이와 같은 실험에 의하여 어떤 주변소음 상태에서도 원하는 진동체의 표면을 통하여 방사하는 소음원의 신호를 포착할 수 있음을 알게 되었다.



**Fig. 9** 원통형 밀폐 용기 안에 스피커를 넣고 1KHz로 음향을 방출시키며 음압계로 측정하여 FFT 분석한 결과 ( 주변에 Computer 가동중 )



**Fig. 10** 1KHz의 신호음이 용기에서 방출되며 동시에 B&K 4224소음원에서 광대역 소음이 방출하여 신호음이 Masking되어 있는 상태에서 소음계로 신호를 포착하여 FFT 분석한 결과.



**Fig. 11** 1KHz의 신호음과 광대역의 주변소음이 동시에 방출되는 상황하에서 PVC 음파관을 신호음을 방출하는 용기 표면에 약한 힘으로 밀착시키고 음파관 다른 쪽에 소음계를 설치하여 신호를 포착하여 FFT 분석한 결과.

## 4. 결론

본 논문에서는 측정이 어려운 반사음장에서 많은 소음원들이 동시에 소음을 방사 할 때에 특정 소음원에서의 소음 방사를 측정할 수 있는 음파관을 이용한 측정 방법을 개발 하였으며 실험에 의하여 확인한 결과 분무용 염화 비닐호스의 경우 음파관 벽의 투과 손실에 해당하는 30dB 만큼 큰 주변 소음이 존재하는 곳에서도 소음원의 소음을 측정하여 분석하는 것이 가능하다는 것을 확인하였다. 또한 측정시 발생할 수 있는 거리손실, 구부러짐손실 오차를 고려하여 실험하여 본 결과 2dB 이하의 오차를 갖고 측정이 가능하다고 결정하였다. 그러나 이와 같은 오차도 음파관의 직경과 길이 등에 따라 더욱 정밀도를 높일 수 있고, 음파관 벽의 투과 손실이 더욱 크고 잘 굽어지는 것을 선택하면 주변 소음이 더 큰 곳에서도 소음 측정이 가능하다.

## 후기

이 논문은 1995년도 과학 재단 특정연구 연구비로 지원되어 연구 되었음.

## 참고 문헌

- (1) Gunnar Rasmussen " Measurements of Intensity ", Intensity measurement pp 94-101 B&K.
- (2) L. E. Kinsler et al " Fundamentals of Acoustics " , 3rd Edition John Wiley & Sons, 1982.
- (3) Peter Lord " Wood Practical Guide to Noise Control " , 4th impression 1986.
- (4) 강성우, 김양한 " 두 개의 음향 탐촉자를 이용한 소음기의 투과 손실 측정과 오차 해석 " 한국소음 진동공학회 논문집 Vol. 2 No. 3, PP 181-192, 1992.