

# 다공관 소음기의 투과손실에 관한 실험적 연구

김찬목\* • 사종성\*\* • 방극호\*\*\*

## An Experimental Study on the Transmission Loss of Perforated Tube Mufflers

Chan-Mook Kim , Jong-Sung Sa, and Keuk-Ho Bahng

**Key Words :** Perforated Tube(다공관), Transmission Loss(투과손실), Porosity(공극율), Four-Pole Parameters(4 단자정수), Two-Microphone Method(2 마이크론 측정방법).

### ABSTRACT

This paper is the experimental study to estimate the influence of various design parameters on the performance of mufflers with perforated tubes and through-flow partitions. Muffler types considered in the present work include through-flow chamber, through-flow chamber with partition, and cross-flow chamber. The influences of the design parameters on the performance of the mufflers can be outlined as follows. In the case of the through-flow type mufflers, increasing the tube thickness and the hole diameter of the perforated tubes does not change the maximum value of the transmission loss but decrease the cutoff frequency. In the case of the through-flow with partitions type mufflers, it is shown that combining a few short chambers and long chambers can modify the frequency locations of the resonance frequencies to optimize the performance of the mufflers. For the case of the cross-flow type mufflers, it is shown that the transmission loss of the mufflers is mainly affected by the lower porosity when the porosities are different in both sides of the plug. Overall, it is shown that performance of the through-flow type with partition type mufflers is excellent in the lower frequency region, where the cross-flow type mufflers have better performance in the higher frequency region.

### 1. 서 론

교통량의 급증으로 차량소음이 환경문제화 됨에 따라 차량소음에 관한 규제와 기준이 강화되고 있으며 이에 때문에 차량에서의 저소음화는 중요한 연구대상이 되고 있다. 소음환경기준이 낮아진 도로변 지역의 기준치가 65~75dB 로 제한됨으로써 이에 대응하는 차량의 저소음화의 필요성이 요구되고 있다. 그러므로 소음기의 소음 성능을 보다 정확하게 예측하고 우수한 소음성능을 갖는 소음기를 설계하기 위해서 소음감소효과에 관한 연구가 있어왔다.<sup>(1-9)</sup>

본 연구는 다공형 소음기 연구에서 다공관의 설계변수에 대한 특성을 알아보기 위하여 직관(straight pipe)에 공극을 뚫고, 다공관의 단면적에 대한 전체 공극면적의

비로 정의한 공극률, 공극직경, 다공관 두께, 공동의 직경변화, 공동의 길이 등을 실험인자로 하여 연구를 진행하였으며, 아울러 다공형 소음기에 격판 위치를 짧은 챔버(S.C:Short Chamber) 와 긴챔버(L.C:Long Chamber) 가 조합된 형태로 격판을 위치시켰으로써 긴챔버와 긴챔버가 조합된 형태로 격판을 위치시켰을 경우와의 소음성능을 비교하였고 짧은 챔버 형태를 유지하며 격판 수를 증가시켰을 때의 다공형 소음기에 대한 투과 손실에 대한 성능을 살펴보았다.

또한 다공관 중간에 마개(plug)를 갖는 플러그형 소음기에 대해서 마개의 위치는 다공관 중앙에 위치시키고 좌측과 우측의 공극률이 같을 경우의 공극률 변화에 따른 영향과 마개를 중심으로 좌측과 우측의 공극률을 다르게 하였을 경우에 대한 소음기의 성능에 대해서 실험하였다.

소음기의 성능을 평가하기 위한 실험적인 방법은 2 마이크론 측정방법(two-microphone method)<sup>(10, 11)</sup>을 이용하여 소음기의 투과손실을 구하였다.

\* 국민대학교 자동차공학 전문대학원  
\*\* 서일대학 자동차공학과  
\*\*\* 대림대학 건축설비과

## 2. 이론적 배경

엔진의 배기계를 물리적으로 모델링하면 Fig.1 에서와 같이 엔진(engine), 배기관(exhaust pipe), 소음기(muffler), 그리고 미관(tail pipe)으로 모델링 할 수 있으며, 본 연구에서 관심을 가지고 있는 소음기는 요소 2 에서 n-1 까지를 포함하고 음원은 요소 n+1, 배기관은 요소 n, 미관은 요소 1, 요소 0 은 방사단을 나타낸다. 소음기의 음향계를 전기계의 등가회로로 표현하면 Fig. 2 로 표현할 수 있다.

배기계 각 위치에서 음압 P 와 음의 입자속도(particle velocity)에 대한 질량속도 V 의 관계를 Fig. 2 와 같이 1 차원 필터(filter)블록 다이어그램으로 표시하고 해석하는 것이 편리하다. 그림에서 n 개 요소를 갖는 필터는 소음기(요소 2 에서 n-1)와 미관(요소 1) 및 배기관(요소 n)을 포함한다. 음향 임피던스 Z 는 음압 P 와 질량속도 V 의 비인  $Z=P/V$  를 뜻하며, 그림에서  $Z_o$  는 관 끝에서 방사 임피던스(radiation impedance),  $Z_{n+1}$  은 음원의 내부 임피던스(internal impedance)를 나타낸다.

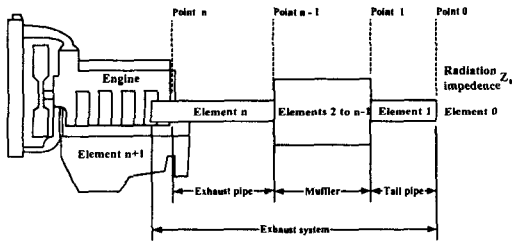


Fig. 1 Typical engine exhaust system

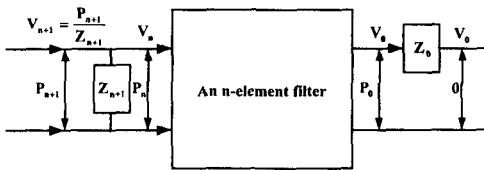


Fig. 2 A block diagram of a one-dimension filter

소음기 요소의 특성은 그 요소의 전달행렬(transfer matrix)로 표현할 수 있으며 Fig.1 에서와 같이 n 개의 요소로 구성되어 있는 배기계에서 요소 n 과 요소 1 를 연결하는 전달행렬 [T]는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} P_n \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ V_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

소음기의 투과손실 (Transmission Loss : TL)은 소음기 요소로 입사하는 음의 파워레벨  $L_{wi}$  와 투과음의 파워레벨  $L_{wt}$  의 차로써 다음 식과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} TL &= L_{wi} - L_{wt} \\ &= 10 \log \left| \frac{\text{Incident Power}}{\text{Transmitted Power}} \right| = 10 \log \left| \frac{W_i}{W_t} \right| \end{aligned} \quad (2)$$

따라서, 전달행렬을 이용한 소음기 요소에 대한 투과손실은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$TL = 20 \log \left[ \left( \frac{Y_1}{Y_n} \right)^2 \left| T_{11} + T_{12} / Y_1 + Y_n T_{21} + (Y_n / Y_1) T_{22} \right| \right] \quad (3)$$

식 (3)에서 투과손실은 소음기의 전달행렬 요소 [T] 와 관의 특성임피던스 Y 만의 함수임을 알 수 있다. 즉, 특성임피던스 Y 는 음속과 관의 단면적의 비( $Y = c/S$ ) 로써 소음기 입구측과 출구측의 관지름이 같다면 결과적으로 투과손실은 소음기의 전달행렬 요소만의 함수가 됨을 알 수 있다.

## 3. 실험

### 3.1 실험용소음기

가동코일형 드라이버 유닛의 음원을 이용한 실험에 사용된 다공관 소음기의 개략도와 기준치수는 Fig. 3 에 도시한 바와 같다. 그림에서와 같이 다공관 소음기는 공동의 안지름 120mm, 공동길이 200mm 이다. 다공관은 안지름  $d=20\text{mm}$  로써 다공관의 둘레에는 구멍을 공동의 양쪽 끝에서  $L_a=L_b=10\text{mm}$  인 곳부터 일정한 간격이 되도록 뚫었다.

입구측의 배기관과 출구측의 미관은 안지름 20mm 에 길이는 각각  $L_c=1150\text{mm}$  와  $L_t=2140\text{mm}$  이다. 또한 공동의 재질은 아크릴이며 소음기 배기관과 미관은 스테인레스 강이고 다공관의 재질은 동관을 사용하였다. 즉, 구멍지름이 2mm, 3mm, 5mm, 7mm 일 때는 다공관의 두께와 공극률을 각각 1.65mm 와 3%로 하였다. 다공관 두께가 0.81mm, 1.65mm, 3.5mm 일 때는 구멍지름과 공극률은 각각 3mm 와 3%로 하였다. 공극률(porosity)이 1%, 2%, 3%, 5%, 10%일 때는 다공관 두께와 구멍지름은 각각 1.65mm 와 3mm 로 제작하였다.

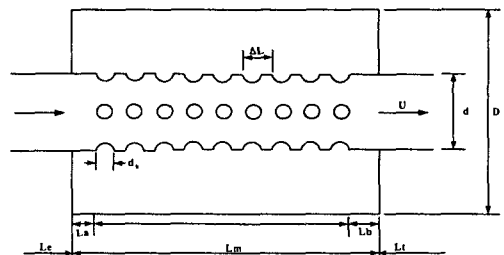


Fig. 3 Reference muffler and its dimensions

### 3.2 실험장치 및 실험방법

두께의 음향 탐촉자를 이용하여 소음기의 투과손실을 측정하기 위한 실험장치의 개략도는 Fig. 4에 나타나 있다. 마이크로폰 사이의 간격은 15mm, 반사단과 1번 마이크로폰과의 거리는 25mm로 하였다. 한편 측정 시 기여도함수를 좋게 하여 오차를 줄일 수 있도록 1,500mm 관내에 흡음재를 썬기형으로 충전한 후 무반사단으로 사용하였으며 반사파의 영향을 최소화 하기 위하여 나팔형 혼도 제작하여 사용하였다. 가진 음원으로는 랜덤소음발생기(HP3566A)를 통해 백색 잡음신호(white noise)를 발생시키고, 이를 증폭기(B&K2706)를 이용하여 스피커를 통해 소음을 발생시켰다. 음향탐촉자 장착방법은 관벽 밀착상태를 유지시켜 신호수집을 하였다. 마이크로폰은 ICP Type(1/4")을 사용하여 4개 지점에서 각각의 파워스펙트럼을 구하였다. 데이터의 수집에 있어서 오차를 줄이기 위하여 스펙트럼 평균횟수는 100회를 수행하였다. 투과손실의 측정은 단순 팽창형의 경우와 관통형, 격판이 있는 관통형, 플러그형에 대해서 수행하였다.

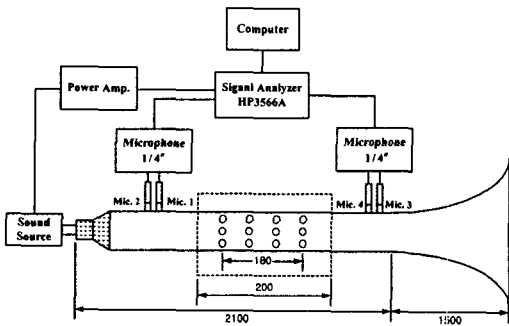


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental apparatus for measuring transmission loss

### 3.4 실험결과 및 고찰

#### 3.4.1 관통형(through-flow chamber)

Fig. 5는 단순팽창형 소음기의 투과손실의 계산값과 실측값을 비교한 것으로 그림(a)는 공동지름 120mm, 길이 200mm인 결과이다. 그림에서 전반적인 경향은 측정값과 계산결과가 잘 일치한다고 할 수 있으나 3,500Hz에서부터 차이는 소음기의 공동내에서 고차 모드(higher order mode)가 여기되기 때문으로 소음기의 입구와 출구의 단면이 동일선상에 있으므로 원형대칭 모드(radial mode)가 여기된 것이다.<sup>(12, 13, 14)</sup> 실험에 의해 구해진 투과손실 곡선은 이론적으로 구한 4개의 산의 수와 일치한다. 그림(b)는 기준소음기인 다공관 소음기의 투과손실의 계산값과 실측값을 비교한 것으로 차단주파수 영역이하에서 측정결과와 계산결과가 잘 일치하나 차단주파수 영역이상에서 계산값과 실측값이 큰 차이를 갖는 것을 알 수 있다. 그 이유는 첫째는 차단주파수 대역에서 다공관 구멍을 통과하는 음의 입자속도가 크게 되어 비선형적인 거동을 하기 때문이며 또 다른 하나는

고차모드(high order mode)의 여기로 소음성능은 현저하게 저하하기 때문이다.

특히 엔진 소음의 주된 파워가 2,000Hz 미만에 모여 있기 때문에 2,000Hz 이하의 성능이 소음기 성능을 지배하게 되므로 다공형 소음기가 단순팽창형에 비하여 현저하게 높은 성능을 보이게 됨을 그림에서 알 수 있다.

Fig. 6은 공극률(porosity) 변화에 따른 투과손실의 실험결과를 비교 도시한 것으로 공극률은 1%, 1.5%, 2%, 3%, 5% 및 10%이다. 그림에서 알 수 있듯이 공극률이 증가함에 따라 차단주파수가 고주파 영역으로 이동함을 보여준다. 이것은 공극률 증가에 따라 다공관의 임피던스 값이 감소되기 때문에 차단주파수는 점차 높은 주파수 영역으로 이동하게 되고 공극률이 증가함에 따라 소음성능을 나타내는 주파수 범위가 증가하는 것을 나타내지만 공명주파수에는 못미치는 것을 볼 수 있다. 이것은 고차모드의 여기로 인한 소음성능의 저하로 판단된다. 자동차용 공명기는 대개 50Hz에서 4,000Hz 사이의 주파수 범위내에서 헬름홀츠의 음향필터로서 쓰이고 있다. 천공된 관과 그 배후 공간으로 이루어지는 구조에 있어서 공극률이 작아질수록 소음기의 성능은 다공관에 구멍이 집중되어 있어 특정주파수 대역의 소음을 감소시키는 헬름홀츠 공명기(Helmholtz resonator)와 그 효과가 비슷하지만, 공극률이 점차 커질수록 다공관 소음기는 단순팽창형 소음기 성능과 유사하게 됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 다공관 두께(tube thickness)변화에 따른 투과손실의 실험결과를 비교 도시한 것으로 두께는 0.81mm, 1.65mm, 3.5mm이다. 다공관 두께에 따른 투과손실의 변화는 거의 없으며 단지 공진영역에서만 다소의 차이가 나타남을 알 수 있고, 다공관 두께가 두꺼워질수록 양호한 투과손실을 나타내는 주파수 범위가 좁아질 뿐 아니라 동시에 진폭도 작아짐을 알 수 있다. 이것은 다공관 치수변화에 따른 임피던스의 변화로 인하여 고차모드의 여기 특성이 바뀌기 때문이다.

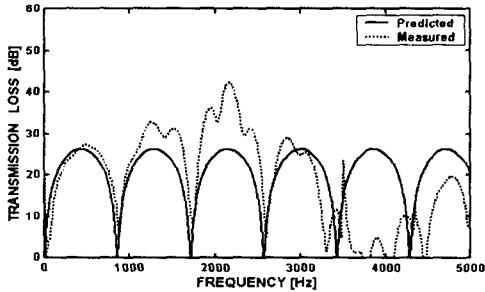
Fig. 8은 다공관의 구멍지름(hole diameter)의 크기에 따른 투과손실의 실험결과를 비교 도시한 것으로 공극률은 3%로 일정한 경우이다. 구멍지름에 따른 투과손실의 변화는 공진영역에서만 나타나고 구멍지름이 작은 경우는 차단주파수가 높은 주파수 영역으로 이동하고 구멍지름이 커짐에 따라 소음성능의 한계를 구분 짓는 차단주파수의 영역이 점차 저주파수 영역으로 이동할 수 있다. 또한 다공관 소음기에서의 고차모드는 공동지름이외에도 다공관의 치수변화에 따라 여기되는 주파수 범위가 다르게 되는 것을 실험결과에서 확인할 수 있으며 이것은 다공관 치수변화에 따른 임피던스 변화 때문이며 임피던스의 변화는 공동 내에서 여기되는 고차모드에 영향을 주게 된다.

Fig. 9는 공동지름(cavity diameter)의 크기에 따른 투과손실의 실험결과를 비교 도시한 것으로 공극률은  $\sigma = 3\%$ 로 일정한 경우이다. 다공관 소음기에 대한 실험 결과에서도 단순팽창형 소음기와 같이 면적확장비(m)의 증가에 따라 투과손실이 증가하는 것을 알 수 있다. 그

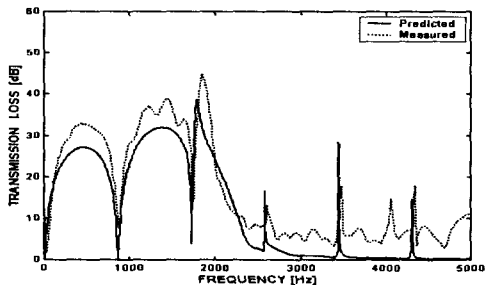
러나, 축방향의 첫번째 모드 까지만 단순팽창형 소음기의 투과손실 크기 만큼 증가하며 그 이상의 주파수로 갈수록 투과손실의 크기는 크게 증가하여 최고치를 이룬 후 급격히 감소함을 알 수 있다. 이것은 다공관 소음기가 단순팽창형 소음기의 성능과 특정주파수 대역에 효과적인 헬름홀츠형(Helmholtz type resonator) 또는 가지관형 공명기(side-branch resonator)의 성능이 조합된 특성이 나타나기 때문이다. 따라서 확장관과 입·출력관의 면적확장비(m)는 평면파 만이 전파하는 저주파 영역에서 투과손실의 평균적인 레벨을 결정함을 알 수 있다.

Fig. 10 은 공동길이(cavity length)의 크기에 따른 투과손실의 실험결과를 비교 도시한 것으로 공극률은  $\sigma = 3\%$ 이다. 투과손실의 진폭은 공동길이에 따라 달라짐을 알 수 있고 공동길이가 1/4 파장의 홀수배에서 최대투과손실을 갖게 되고 공동길이가 1/2 파장의 정수배에서 최저투과손실을 얻게 됨을 알 수 있다.

즉 공동길이가 길어짐에 따라 소음기의 주기적인 골과 골의 간격이나 산과 산의 간격이 좁아지는 것을 나타내는데 이것은 계산값과 부합되는 결과라 할 수 있다. 특히 낮은 저주파수 영역에서 골과 산이 분명하게 나타나지만 점차 높은 주파수 영역으로 갈수록 임피던스의 영향으로 골과 골 또는 산과 산의 위치는 분간하기가 어렵게 될 뿐만 아니라 투과손실의 실험결과 의 크기도 증가하게 된다.



(a) Simple expansion type muffler



(b) Perforated tube type muffler

Fig. 5 Comparison between the calculated and measured transmission loss of two-muffler types ( $\sigma = 3\%$ ,  $d_h = 3\text{mm}$ ,  $t = 1.65\text{mm}$ ,  $D = 120\text{mm}$ ,  $L = 200\text{mm}$ )

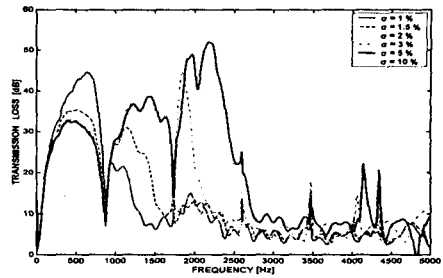


Fig. 6 Comparison of the measured transmission loss for a perforated tube muffler with increase in porosity as parameter

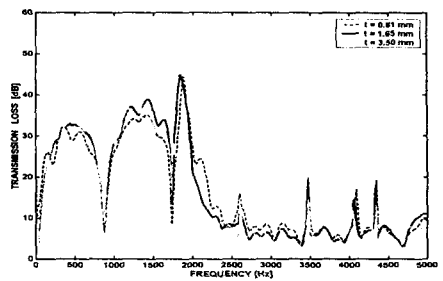


Fig. 7 Comparison of the measured transmission loss for a perforated tube muffler with increase in the tube thickness as parameter

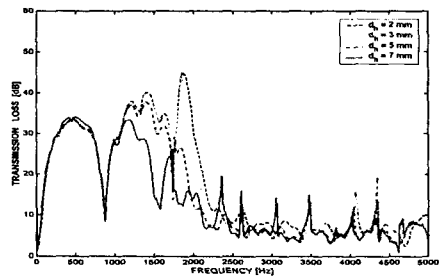


Fig. 8 Comparison of the measured transmission loss for a perforated tube muffler with increase in the perforation hole diameter as parameter

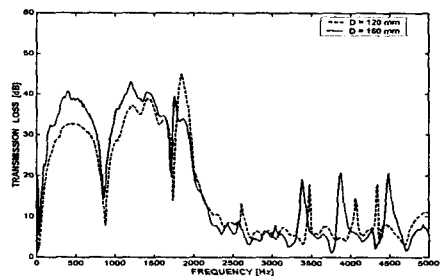


Fig. 9 Comparison of the measured transmission loss for a perforated tube muffler with increase in the cavity diameter as parameter

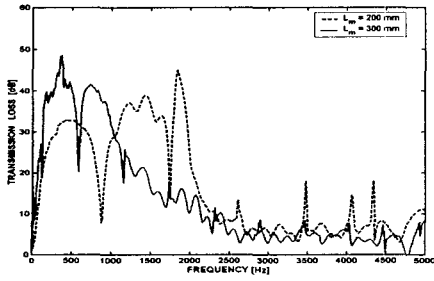


Fig. 10 Comparison of the measured transmission loss for a perforated tube muffler with increase in the cavity length as parameter

### 3.4.2 격판이 있는 관통형(through-flow chamber with partition)

격판이 있는 단순팽창형의 경우 팽창관의 길이의 비와 지름의 비에 따라 팽창관이 때로는 일반적인 손실특성을 갖는 단순팽창관으로 때로는 공명기(resonator)와 같은 역할을 수행하게 된다는 사실이 알려져 있다.<sup>(15, 16)</sup> 이러한 현상은 측지 공명기(side branch resonator)와 동일한 원리로 공동부의 길이가 대략 공동부 직경의 0.41보다 작아지게 되면 측지공명기의 특성을 갖게 되어, 한쪽이 막혀있고 한쪽은 열려 있는 관에서의 공명(resonance)에 의해 관의 길이가 파장( $\lambda$ )의 1/4이 되는 음파의 성분이 상쇄(cancel)된다.

실험의 종류는 우선 격판의 위치를 대칭(1/2 지점)과 비대칭(1/4 지점)에 위치했을 경우에 대한 소음성능을 비교해 보았고, 또한 1 개의 격판을 중심으로 긴챔버(L.C:Long Chamber)와 긴챔버(L.C)의 조합, 1 개의 격판을 중심으로 짧은챔버(S.C:Short Chamber)와 긴챔버(L.C)가 조합된 상태의 음향특성을 살펴보았다.

또한 2 개의 격판을 중심으로 2 개의 짧은챔버(S.C)와 긴챔버(L.C)가 조합(S.C+S.C+L.C)된 경우와 1 개의 짧은챔버(S.C)와 2 개의 긴챔버(L.C)가 조합(S.C+L.C+L.C)된 상태로 격판 위치를 유지시켰을 경우에 대해 실험하여 Fig. 11 과 같이 투과손실의 실험결과를 비교 도시한 것이다.

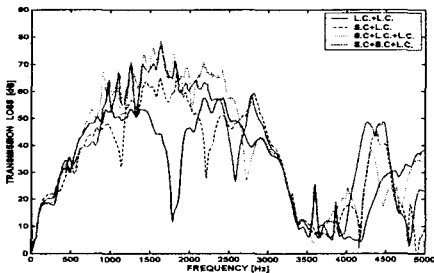


Fig. 11 Comparison on characteristics of resonator for the measured transmission loss of a through-flow chamber with unequal partitions ( $d_n = 3\text{mm}$ ,  $\sigma = 10\%$ )

Fig.11 에서 격판이 L/4 지점에 비대칭적으로 위치하는 경우와, 대칭인 경우인 L/2 지점에 위치할 경우의 음향성능은 특정한 주파수를 고려하지 않는다면 전체적으로 격판의 위치가 중앙보다는 비대칭적인 위치에 놓이는 것이 바람직함을 알 수 있고, 격판이 L/4 지점과 3L/4 지점에 있는 경우의 음향성능은 거의 동일한 형태로 나타나 상반성의 원리(reciprocity theorem)를 잘 만족함을 확인할 수 있었다. 또한 고차모드가 발생하기 시작하는 차단주파수 3,500Hz 이후부터 음향성능이 급격히 감소함을 알 수 있다. 또한 평면파 영역의 끝부분에 해당하는 영역, 즉 입구측에 전달된 음압이 출구에 그대로 전달되는 부분을 격벽의 수와 위치로 조절할 수 있음을 알 수 있다. 그러므로 저주파 영역에 대한 설계 관점은 소음기의 헬름홀쯔 공명기 특성을 이용하는 것이다.

Fig. 12 는 짧은챔버의 다중연결시의 실험결과로 격판의 위치를 긴챔버(L.C)와 긴챔버(L.C)가 조합된 형태로 결합하는 경우에 투과손실이 낮아지는 주파수 영역을, 격판 위치를 조절하여 확장실이 공명관(resonator)으로 작동( $L/D < 0.41$ )되게 짧은챔버를 설치 함으로써

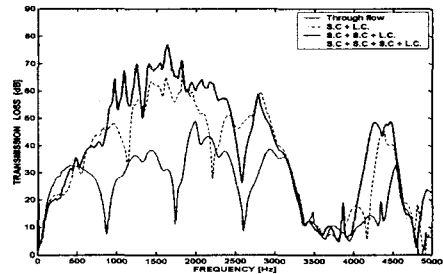


Fig. 12 Comparison of the measured transmission loss for various muffler types with  $\sigma = 10\%$  open area

투과손실이 낮아지는 주파수 영역을 확장시킬 수 있음(2 개 격판의 경우 : 500~2,500Hz, 3 개 격판의 경우 : 500~3,500Hz)을 알 수 있고, 매우 넓은 주파수 범위(500~3,200Hz)에서 투과손실의 향상을 기할 수 있음을 알 수 있다. 넓은 주파수 영역에서 높은 투과손실을 나타내는 효과는 소음기 개발에 응용될 수 있는 바람직한 현상이다. 따라서 이 조건을 이용하여 공명피크의 특성을 설계목적에 맞추어서 소음기를 조절할 수 있고, 또 짧은챔버(S.C)의 다중연결로 소음기의 음향성능을 최대화할 수 있음을 확인할 수 있다.

또 평면파 영역에서는 격판 및 전체소음기의 형상에 의한 투과손실이 증첩되어 나타난다고 할 수 있으므로 설계관점에서 1 차로는 소음기 전체 형상에 의한 주파수별 특성을 이용하여 줄이고자 하는 소음특성의 가장 큰 관심주파수의 소음을 줄이고, 2 차로는 격판의 위치를 조절하여 그 다음 크기의 소음을 줄이는 순차적인 방법의 설계가 바람직함을 알 수 있다. 그러나 소음기 내의 요소수가 증가하게 되면 저주파수에서 투과손실이 작아지는 부분이 생길 수 있으므로, 이 대역에 엔진의 폭발주파수가 존재하는 경우에는 주의할 하여야 한다.

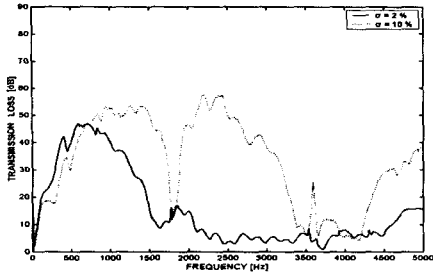


Fig. 13 Comparison of the measured transmission loss for a through flow chamber with partition at  $L/2$

Fig. 13 은 격판을  $L/2$  지점에 위치시키고 공극률이 2%와 10%인 경우에 대한 실험 결과를 도시한 것으로, 공극률이 낮은 2% 경우는 공극율이 큰 경우보다 공극 부위의 공극 임피던스(hole impedance)에 의해 그 음향특성이 결정되므로, 격판의 위치변동에 따른 투과손실의 효과가 극히 작았으나 공극률이 10%로 증가 함으로써 격판 부착에 따른 효과를 알 수 있다.

### 3.4.3 플러그형(cross-flow chamber)

플러그형의 경우는 관내의 진행파와 유체의 흐름이 마개(plug)에 의해 관벽의 구멍을 통과하며 그 진행 방향이 축 방향에서 반경방향으로 변한다. 이 때 마개에서의 압력강하, 구멍 부위에서의 유체손실, 마개의 위치에 따른 축 방향 고차 모드 발생의 억제 등에 의해 소음감쇠가 일어난다.<sup>(17)</sup>

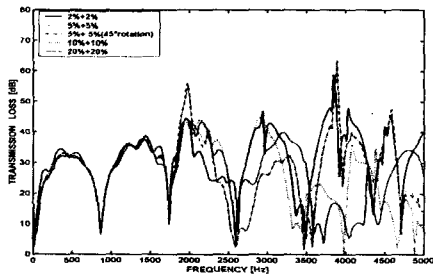


Fig. 14 Comparison of the measured transmission loss for uniform porosity plug muffler with a centered plug

Fig. 14 는 플러그형의 경우로 소음기 총길이의  $L/2$  지점에 마개(plug)를 위치시키고 각 위치에서 마개(plug)의 좌측과 우측의 공극률을 각각 2%, 5%, 10%, 20%로 같게 하였을 경우의 실험 결과를 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 공극률이 10%미만에서는 마개(plug)의 영향이 있지만 그 이상의 공극률에서는 마개의 영향이 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 15 는 마개(plug)를 중심으로 좌측과 우측의 공극률을 서로 다르게 하였을 경우에 대한 플러그형 소음

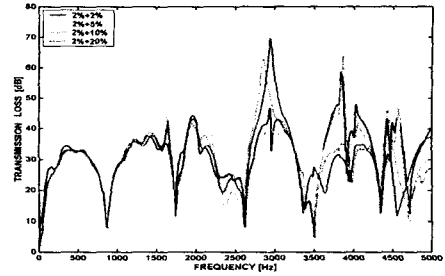


Fig. 15 Comparison of the measured transmission loss for a different porosity plug muffler with the same lengths before and after plug

기의 투과손실의 실험 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 마개(plug)를 중심으로 좌측과 우측에 공극률을 다르게 하였을 경우의 실험결과에서 투과손실 값에는 큰 변화가 없음을 알 수 있고, 마개를 중심으로 공극률이 같은 경우인 Fig. 14 와 비교해 보면 투과손실의 크기가 증가되어 나타나는 것 외에는 전체적인 경향은 유사하다.

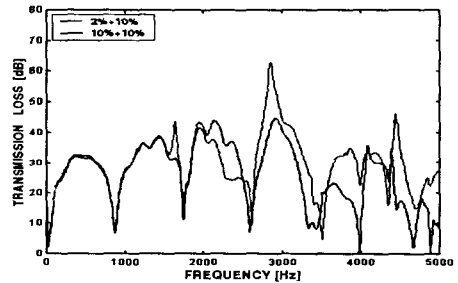


Fig. 16 Comparison of the measured transmission loss for uniform porosity and different porosity plug muffler with a centered plug

Fig. 16 은 마개(plug)를 중심으로 공극률이 같은 경우인 10%+10%와 공극률이 다른 경우인 2%+10%에 대한 투과손실의 실험결과를 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 다공관을 중심으로 좌측과 우측의 공극율을 서로 다르게 하였을 경우(2%+10%)의 소음성능 결과는 공극율이 작은 쪽(2%)의 결과를 따르게 되어 고주파수 영역에서 투과손실이 향상됨을 알 수 있다.

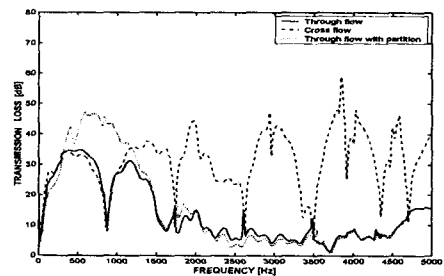


Fig. 17 Comparison of the measured transmission loss for various muffler types with  $d_h = 5\text{mm}$  and  $\sigma = 2\%$  open area

Fig. 17 은 공극지름  $d_h = 5\text{mm}$ , 공극률  $\sigma = 2\%$  로 일정하게 유지한 상태에서 격판이 없는 관통형과 다공관 중앙에 격판(partition)이 있는 관통형, 다공관 중앙에 마개(plug)가 있는 플러그형의 투과손실을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 격판이 있는 관통형은 격판이 없는 관통형과 비교해 900Hz 영역에서 골이 생겨 소음성능이 저하되는 것을 중앙에 격판을 설치함으로써 투과손실이 현저히 향상되는 것을 알 수 있으며, 플러그형은 1,000Hz 까지는 격판이 없는 관통형과 거의 같은 투과손실을 갖으나 고차모드가 생기는 고주파영역에서도 좋은 소음성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

이상과 같이 다공관 소음기의 성능에 관하여 실험하고 3 종류의 다공관 소음기에서 투과손실에 관한 결론을 다음과 같이 얻을 수 있었다.

##### (A) 관통형 다공관 소음기

1) 다공관 소음기의 투과손실은 단순팽창형 소음기보다 훨씬 크게 된다. 또한 다공관 소음기에서는 공극률( $\sigma$ )이 커짐에 따라 차단주파수( $f_c$ )도 높아 진다.

2) 투과손실의 최대값은 면적확장비(m)에 비례하고 투과손실의 최대값을 나타내는 주파수는 공동부 길이( $L_m$ )에 반비례 한다.

3) 공극율이 일정할 때 투과손실의 최대값은 다공관의 두께(t)나 다공관 구멍의 직경( $d_h$ )이 증가하더라도 거의 변함이 없고 차단주파수는( $f_c$ )는 낮아진다.

##### (B) 격판이 있는 관통형 다공관 소음기

1) 격판의 위치선정으로 수개의 짧은 챔버( $L/D < 0.41$ )와 긴 챔버( $L/D > 0.53$ )를 조합하여 투과손실의 최대값이나 관심주파수 영역을 조절할 수 있다.

2) 공극률( $\sigma = 10\%$ )과 공극구멍( $d_h = 3\text{mm}$ )을 일정하게 하고 짧은 챔버의 개수를 증가함에 따라 골의 수는 감소하며 투과손실의 값은 크게 되고 그 주파수 영역도 넓어진다.

3) 격판을 공동(cavity)의 중앙에 설치하였을 때 골의 주파수는 설치전의 주파수의 2 배가 되는 곳에 나타나고 투과손실의 최대치는 공극률이 증가함에 따라 첫번째 골의 주파수 이후에서 훨씬 크게 나타나며 주파수 영역도 넓어진다.

##### (C) 플러그형 다공관 소음기

1) 공극률이 동일할 때 투과손실은 저주파영역에서는 격판이 있는 소음기가 성능이 우수하고 고주파 영역으로 갈수록 플러그형의 소음기가 우수함을 알 수 있다.

2) 마개(plug)를 다공관의 중앙에 설치하고 양쪽의 공극률을 같게 하였을 때의 투과손실은 공극률이 작을 경우에는 고주파 영역까지 높게 나타나고 공극률이 커질수록 (10%) 단순 팽창형의 소음기 특성을 갖게 된다.

3) 다공관 중앙에 설치한 마개(plug)를 중심으로 양쪽

의 공극률을 다르게 하였을 때의 투과손실의 진폭은 공극률의 작은 값의 영향을 받아 고 주파수영역에서 높게 나타난다.

#### 참고문헌

- (1) Y.H. Kim, J.W. Choi, and B.D. Lim, 1990, "Acoustic characteristic of an expansion chamber with constant mass flow and steady temperature gradient (Theory and Numerical Simulation)", Transactions of the ASME, Vol.112, pp.460-467
- (2) J.W. Sullivan, 1979, "A method for modeling perforated tube muffler components. I. Theory", J. Acoust. Soc. Am., Vol.66(3), pp.772-778
- (3) P.T. Thawani and K. Jayaraman, 1983, "Modeling and application of straight-through resonators", J. Acoust. Soc. Am., Vol.73(4), pp.1387-1389
- (4) J.W. Sullivan, 1979, "A method for modeling perforated tube muffler components. II. Applications", J. Acoust. Soc. Am., Vol.66(3), pp.779-788
- (5) K.N. Rao and M.L. Munjal, 1986, "Experimental evaluation of impedance of perforated with grazing flow", J. Sound and Vib., Vol.108(2), pp.283-295
- (6) M.G. Prasad and M.J. Crocker, 1983, "Studies of acoustical performance of a multi-cylinder engine exhaust muffler system", J.Sound and Vib., Vol.90(4), pp.491-508
- (7) K. Jayaraman and K. Yam, 1981, "Decoupling Approach to Modeling Perforated Tube Muffler Components", Journal of the Acoustical Society of America 69, pp.390-396
- (8) Y. P. Kwon and D. H. Lee, 1992, "A Study on the Performance of the Perforated Tube Exhaust Muffler ", Journal of Korea Society of Automotive Engineers, Vol.14(6), pp.48-59
- (9) Kim, Y. H. et al., 1991, "Design Methodology of Composite Reactive Silencer Based on Acoustic Analysis ", J. of KSNVE, Vol.1(1), pp.29-38
- (10) A.F. Seybert, 1988, "Two-sensor methods for the measurement of sound intensity and acoustic properties in ducts," J. Acoust. Soc. Am., Vol.83(6), pp. 2233-2239
- (11) Y. H. Kim and S. W. Kang, 1992, "Transmission Loss Measurement of Silencer with Two Microphones and Its Error Analysis ", J. of KSNVE, Vol.2(3), pp.181-192
- (12) J.G. Ih and B.H. Lee, 1985, "Analysis of higher-order mode effects in the circular expansion chamber with mean flow", J. Acoust. Soc. Am., Vol.77(4), pp. 1377-1388
- (13) L.J. Eriksson, 1980, "Higher order mode effects in circular ducts and expansion chambers", J. Acoust. Soc. Am., Vol.68(2), pp. 545-550
- (14) L.J. Eriksson, 1982, "Effect of inlet/outlet locations on higher order modes in silencers", J. Acoust. Soc. Am., Vol.72(4), pp. 1208-1211
- (15) 白木万博, 昭和 62 年, 騒音防止設計とSIMULATION, 應用技術出版
- (16) 福田基一, 昭和 48 年, 騒音対策と騒音設計, 共立出版株式会社
- (17) J.G. Ih, 1995, "Acoustic Analysis and Design of Exhaust Mufflers : III. Linear Modeling and Design Tips", J. of KSAE, Vol.17(1), pp.20-30