

기류를 수반하는 다공형 소음기의 성능에 관한 연구

A Study on the Performance of a Perforated Tube Muffler with Air Flow

○ 이 동 훈** 이 달 훈** 권 영 필*
Dong-Hoon Lee Dal-Hoon Lee Young-Pil Kwon

I. 서 론

오늘날 교통망의 급증으로 차량소음이 문제됨에 따라 차량소음 규제가 강화되어 가고 있다. 차량소음의 다양한 원인중 배기음은 주된 소음원의 하나이므로 차량소음의 총체적인 규제와는 별도로 배기소음만을 규제하고 있다. 그러나 아직 소음기의 설계는 시행착오적인 방법에 주로 의존하고 있으며 엔진 출력손실을 최소화 하면서 요구되는 소음특성을 만족할 수 있는 최적 소음기의 개발을 위해서는 체계적인 연구가 필요하다. 소음기의 종류는 크게 반사형과 흡음형으로 나눌 수 있으며 [1] 실제 엔진용으로 널리 쓰이는 것은 관에 많은 구멍을 뚫어 만든 다공형 요소를 갖는 소음기이다. 다공형 소음기는 소리를 반사하는 특성 뿐만 아니라 관의 구멍에서 소리에너지가 소산되는 흡음특성이 있으며 단순 평창형에 비하여 유동저항이 현저히 낮은 장점이 있다.

이러한 다공형 소음기에 대해서 Sullivan[2,3]은 관을 여러개의 요소로 분할한 뒤 각 요소의 전달행렬을 구하여 총체적인 전달행렬을 구하는 방법을 이용한 수치해석 알고리즘을 발표하였으며, 이를 토대로 하여 권과 최등[4,5]은 여러형태의 다공형 소음기의 성능을 예측할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하여 실험과 비교한 바 있으나 통과유속은 매우 낮은 경우에 한 하였다. Rao와 Munjal[6]은 접선유동을 고려하여 마하수가 0.2이하일 때에 적용가능한 임피던스 모델을 발표하였으나 실제 소음기에 적용한 연구가 미흡하였다.

* 숭실대학교 기계공학과

** 숭실대학교 대학원

따라서 본 연구는 높은 유속에서 다공형 소음기의 성능 시험을 통하여 유속의 영향을 검토하고 임피던스 모델에 관하여 평가하기 위한 것이다. 유속이 높은 경우에는 유동에 의한 자체 소음(self noise)이 크기 때문에 실험에 많은 어려움이 따르게 되므로 지금까지 최대 통과유속의 마하수가 0.2를 넘지 못하였다. 그러나 본 연구에서는 실험 장치에 세밀한 주의를 기울여 마하수 0.3까지 실험하였으며, 실험결과를 이미 발표된 임피던스 모델[6]을 이용한 이론 예측과 비교 검토하였다.

II. 관 편 이 론

다공형 소음기의 성능을 구하기 위해서는 구멍(orifice)에서의 임피던스를 알아야 하며 그림 1과 같은 다공형 소음기에서 내관과 외관사이의 다공관벽에 관한 비음향임피던스(specific acoustic impedance)는 레지스텐스(resistance) θ 와 리액턴스(reactance) X 및 유공률(porosity) σ 를 사용하여 다음식으로 표현할 수 있다. [3]

$$\zeta = (\theta + jX) / \sigma \quad (1)$$

식에서 레지스텐스는 구멍주위의 유속에 영향을 받으며 유속은 관을 통과하는 접선유동(grazing flow)성분과 구멍을 통과하는 간통유동(through flow)성분으로 나눌 수 있다. 실제의 소음기에서는 이 두방향의 유동성분이 동시에 존재하나 유동장의 예측만도 매우 난해한 문제이기 때문에 이에 대한 임피던스 모델은 지금까지 연구된 바가 없다.

본 연구에서는 Rao와 Munjal[6]이 제시한 음의 입자속도가 낮은 선형범위에서 접선유동만을 고려한 다음과 같은 임피던스 모델을 이용하였다.

$$\theta = [7.337 \times 10^{-3} (1.0 + 72.23 M)] \quad (2)$$

$$X = [2.2245 \times 10^{-5} f (1.0 + 51.0 t) (1.0 + 204.0 d)] \quad (3)$$

여기서, t 는 관의 두께(m), d 는 구멍의 지름(m), M 는 다공관을 통과하는 기류의 접선유동마하수(grazing flow mach number)를 나타내며 f 는 주파수이다. 위의 식은 마하수 $0.05 \leq M \leq 0.2$, 유공률 $0.03 \leq \sigma \leq 0.1$, 두께 $1 \leq t \leq 3\text{mm}$, 구멍지름 $1.75 \leq d \leq 7\text{mm}$ 인 범위에서 임피던스관을 이용하여 실측한 결과이다.

이상과 같은 임피던스 모델을 권[4]에서와 같은 수치적 기법에 적용하여 소음기의 투과손실(transmission loss)을 계산하고 이를 실험결과와 비교할 수 있도록 하였다.

III. 실험

실험장치는 그림 2와 같다. 소음기의 내경은 71mm이고 소음기 내부의 다공관의 내경은 20mm, 외경은 22mm, 길이는 200mm와 300mm의 두경우이다. 다공관 구멍은 지름 3mm로 관의 둘레에 일정한 간격으로 뚫었으며 유공률(porosity)은 2.1%, 3.3% 및 4.0%의 경우에 대하여 마하수가 0.05, 0.1, 0.2 및 0.3에 대하여 실험을 하였다.

음원은 신호 발생기에서 나온 신호를 증폭시킨 후 관에 연결된 가동로일형 스피커로 광대역음(wide band noise, 100 - 10KHz)을 발생시켰다.

기류는 15마력의 왕복형 압축기를 이용하여 용량이 1.5m³인 저장용기에 7kg/cm²까지 압축한 후 공급하며 소음기 상류에서 발생하는 기류소음을 감쇠하기 위하여 흡음형과 다공형을 조합한 소음

기(attenuator)를 상류에 설치하였다. 유속은 외경 1.5mm의 피토관을 소음기전 400mm의 위치에 설치하고 해상도가 2m/s인 마이크로마노미터(micromanometer)에 연결하여 측정하였다.

음압은 체적이 4.75m³인 간이 잔향실에서 측정하였다. 잔향실내에서 음압의 측정위치는 저주파역에서는 2dB에서 3dB, 고주파역에서는 1dB에서 2dB의 편차를 나타내는 위치에서 행하였다. 음압은 노우즈 콘(nose con)을 부착한 1/2인치 콘덴서 마이크로폰과 증폭기 및 음 레벨미터(sound level meter)를 거쳐서 FFT에 의하여 신호를 분석하였다. 신호의 분석은 해상도(resolution)를 25Hz로 놓고 100Hz부터 3000Hz까지 분석하였다.

IV. 결과 및 고찰

그림 3은 소음기 통과유속의 마하수가 0.05, 0.1, 0.2, 0.3으로 주어질 때 음원과 기류음 그리고 기류음만을 각각 측정하여 스펙트럼(spectrum) 상에서 비교 도시한 것이다. 그림 3(b)에서는 2425Hz에서 강한 기류음이 발생함을 볼 수 있는데 이것은 소음기의 공동(cavity)과 구멍을 통한 본류의 상호관계에 의하여 휘슬(whistle)음이 발생되는 것으로 생각된다. 또한 기류의 속도가 높을수록 기류음이 증가하여 S/N(signal to noise)비가 낮아짐을 알 수 있으나 본 실험장치로 마하수 0.3까지는 실험이 가능함을 알 수 있다.

그림 4는 소음기 통과유속의 마하수를 0.05, 0.1, 0.2, 0.3으로 변화할 때 투과손실에 대한 이론 예측치와 실험결과를 비교 도시한 것이다. 실험결과는 이론 예측치에 비하여 낮은 투과손실을 나타내고 있는데, 이것은 임피던스 모델에서 접선속도만을 고려하였기 때문이며 실제로는 접선속도외에도 구멍을 통과하는 관통속도로 인하여 임피던스가 증가하는 것에 그 원인이 있다고 생각된다.

그림 5와 그림 6은 유공률(porosity)을 2.1%, 3.3%, 4.0%로 변화할 때 소음기의 성능을 이론과

실험으로 비교 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 속경주파수 영역에서는 유공율에 따른 삽입손실(insertion loss)의 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

V. 결 론

이상과 같이 다공형 소음기의 성능에 관하여 실험하고 이론 계산값과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 본 실험장치를 통하여 마하수 0.3의 높은 유속까지 소음기의 투과손실 실험이 가능하였다.
- 2) 유속이 높을수록 투과손실이 감소하고 전체적으로 주파수 특성이 평탄하게 되며 이러한 경향은 이론과 실험이 부합된다.
- 3) 전체적으로 실속 투과손실이 이론치 보다 최고 5dB 이상 낮게 되는것은 이론모델에서 고려한 점선속도뿐만 아니라 구멍을 통한 관통속도 역시 다공관의 임피던스에 영향을 주고 있다고 생각된다.
- 4) 보다 정확한 이론예측을 위해서는 유동장의 예측과 함께 점선속도와 관통속도가 병존하는 경우에 대한 임피던스 모델의 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. Lewis H. Bell, "Industrial noise control", MARCEL DEKKER, 1982.

2. J.W. Sullivan, "A method for modeling perforated tube muffler components. I. Theory", J. Acous. Soc. Am. 66, pp.772-778, 1979.

3. J.W. Sullivan, "A method for modeling perforated tube muffler components. II. Application", J. Acous. Soc. Am. 66, pp.779-788, 1979.

4. 권 영필, 현 길학, 이 동훈, 서 기원, "다공형 소음기의 성능에 관한 연구", 한국자동차공학회 논문집, 제12권, 제5호, pp.85-96, 1990.

5. 최 승우, 민 경권, 이 동훈, 권 영필, "적판이 있는 다공형 소음기의 성능에 관한 연구", 한국소음진동공학회, 추계학술대회 초록집, pp.41-46, 1990.

6. K. N. Rao and M. L. Munjal, "Experimental evaluation of impedance of perforates with grazing flow", J. Sou. and Vib. 108(2), pp.283-295, 1986.

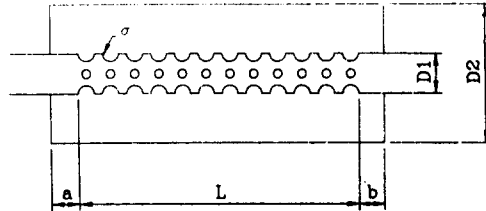


Fig. 1 Through-flow perforated tube muffler

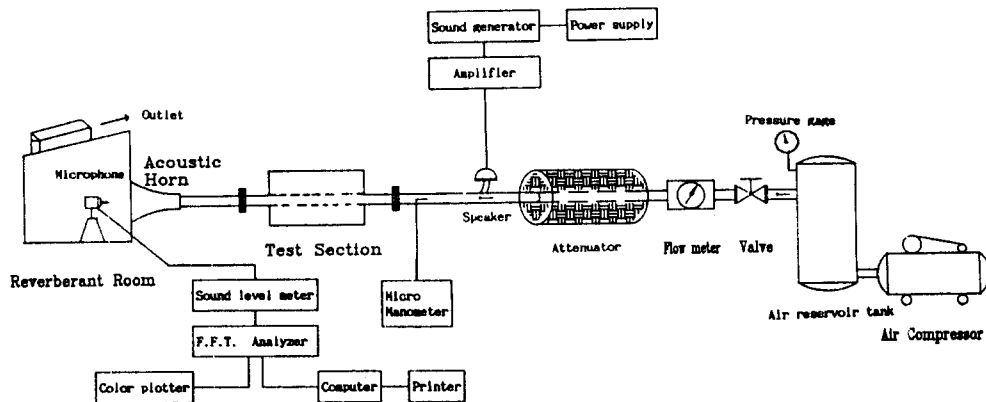


Fig. 2 Experimental apparatus

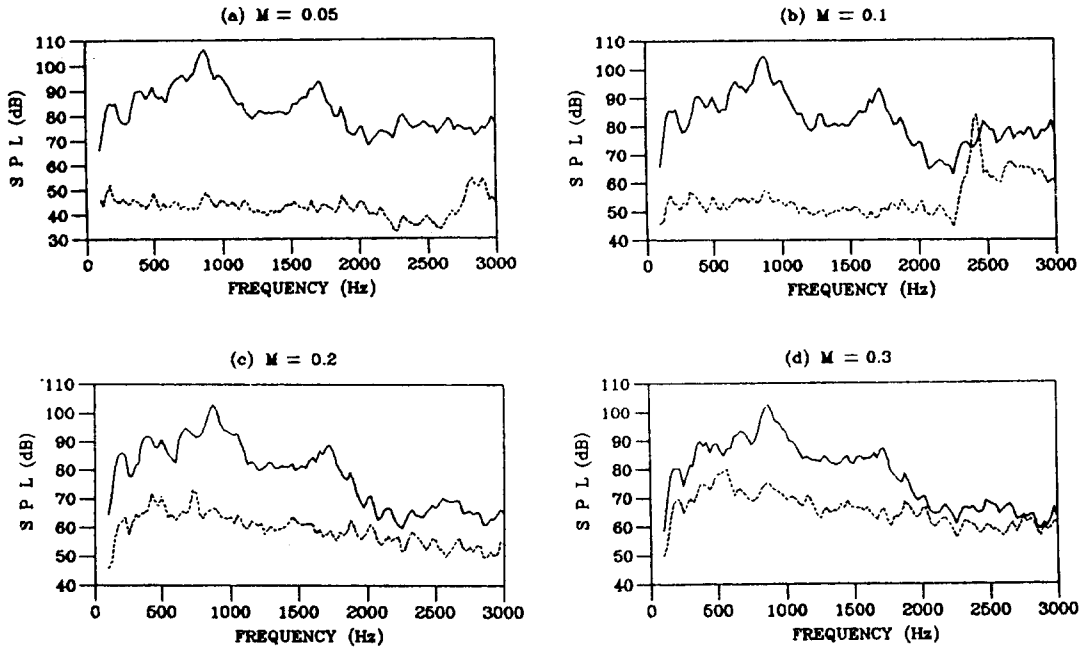


Fig. 3 Comparison between signal(—) and self noise(- -) of a through-flow perforated muffler with air flow for $\sigma=2.1\%$ and $L=200\text{mm}$

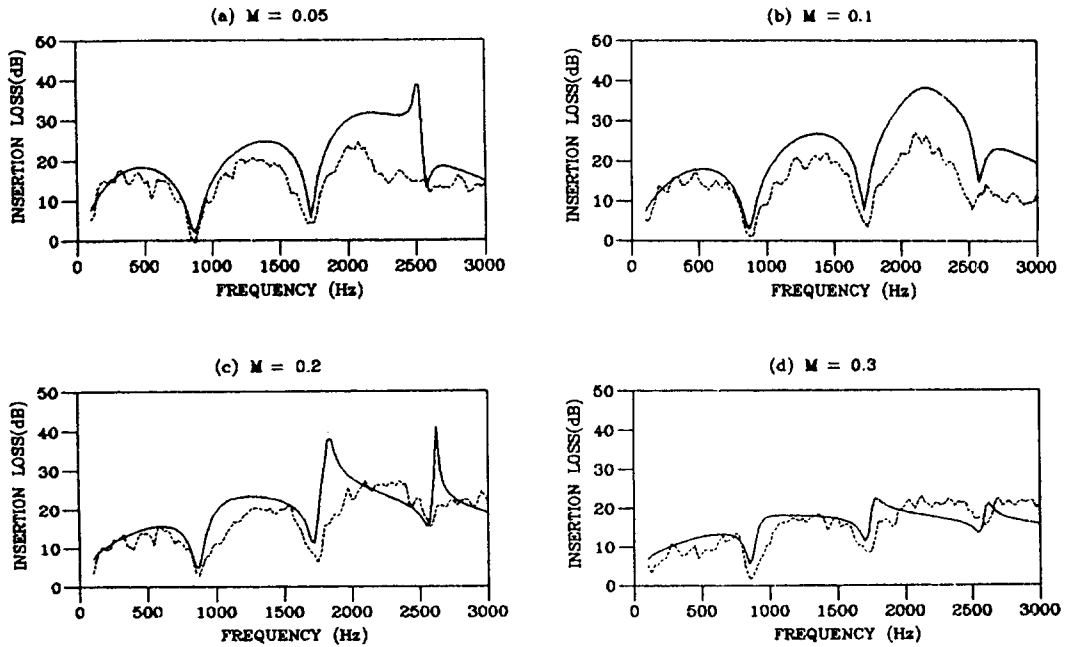


Fig. 4 Comparison between the predicted(—) and measured(- -) insertion loss of a through-flow perforated muffler with air flow for $\sigma=2.1\%$ and $L=200\text{mm}$

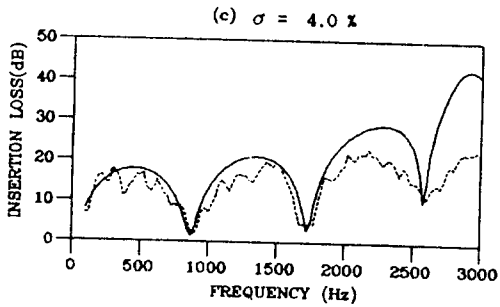
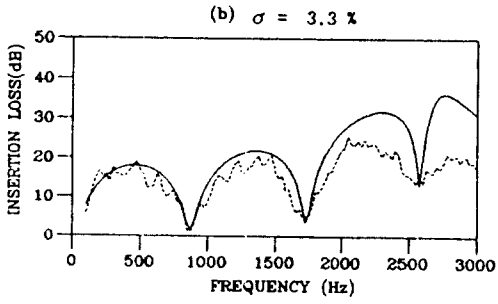
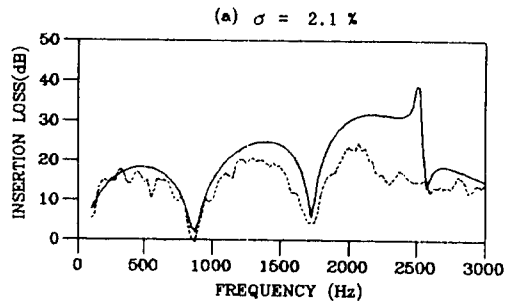


Fig. 5 Comparison between the predicted (—) and measured (---) insertion loss of a through-flow perforated muffler for $M=0.05$ and $L=200\text{mm}$

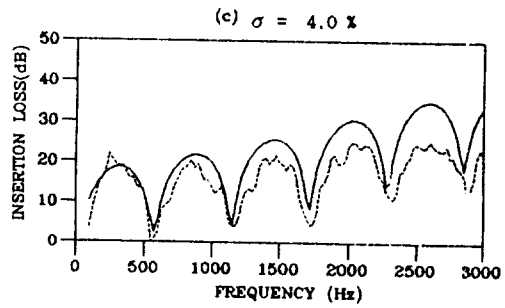
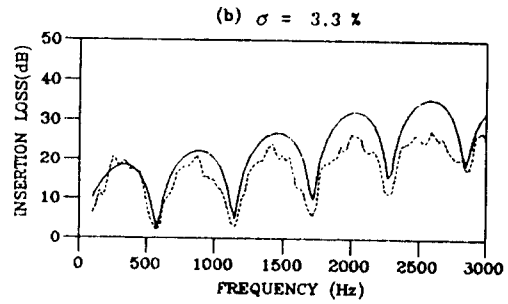
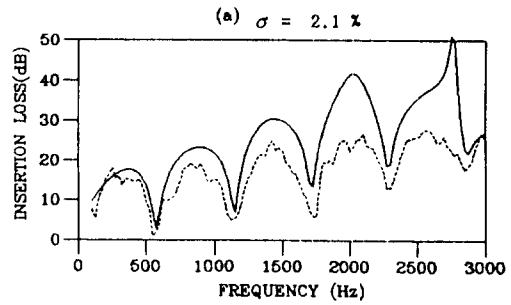


Fig. 6 Comparison between the predicted (—) and measured (---) insertion loss of a through-flow perforated muffler for $M=0.2$ and $L=300\text{mm}$