

유동이 있는 경우의 소음기 성능 측정기술에 관한 연구

임병덕*, 정안섭*, 은희준*, 김수연**, 김양한**, 곡윤근**
한국표준연구소*, 한국과학기술대학**

A Study on the Performance Measurement of Mufflers with Mean Flow Inside

1. 서론

자동차의 배기소음을 줄이기 위해 사용되는 소음기의 성능은 배기계스 유동의 영향을 받는다. 그림에도 불구하고 유동의 영향을 고려한 실험결과에 대해서는 발표된 논문이 거의 없는 실정이다. 유동이 있는 경우에 소음기의 성능측정을 위해서 유동발생 장치와 음원이 있어야 한다. 또한 난류 소음의 증가에 따른 신호대 잡음비의 감소를 보완할 수 있는 측정 및 분석방법이 필요하다. 본 연구에서는 이와 같은 사항에 대해 단계적으로 검토하여 측정기술을 개발하였으며, 이 방법을 적용하여 소음기의 성능을 평가한 결과 좀더의 이론과 잘 일치함을 볼 수 있었다.

2. 실험방법

가. 유동과 음파의 발생

대개의 소형 승용차에서 배기관내의 기스속도는 최대 약 50 m/s 정도이므로 유동발생을 위해 사용되는 송풍기는 이보다 큰 풍속을 낼 수 있어야 하며 소음기 계통을 통한 배압의 증가는 약 0.2 기압정도이므로 이보다 큰 풍압을 줄 수 있는 송풍기를 선정하였다. 송풍기는 기계잡음을 발생시키므로 난류소음과 기계잡음을 줄이기 위해서 흡음방식의 소음기를 제작하여 부착하였다. 유동과 음파를 관내에 동시에 인입시키기는 방식은 여러가지가 있으나 본 연구에서는 4가지 방식을 검토한 결과 유동을 관과 경사지게 가하고 음원을 관에 직접

시키는 방법을 채택하였다. 이 방식의 장점은 난류 소음도는 유동직결 방식에서의 난류소음과 거의 비슷하며, 음원의 특성을 좋게할 수 있다는데 있다. 그림 1은 유동 직결시의 난류소음이며, 그림 2는 경사진 유동인입시의 난류소음으로서 두 식에서의 난류 잡음은 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 음원의 연결방식은 직결, 직각, 대칭직각(2개)등으로 시험한 결과 직결방식을 사용할 때 주파수 특성이 가장 좋았다. 이 그림들이 보이듯이 유동이 있는 경우 난류소음은 최대 127 dB 정도이며, 백색잡음을 이용하여 음원의 power level을 140 dB 까지 증가시켜도 소음기 출구측에서의 신호대 잡음비는 현저하게 나빠진다.

따라서 제한된 source출력을 사용하면서 이러한 문제를 극복하기 위해 협대역 신호를 써서 일정대역 내에서의 noise level 보다 signal level 을 높이는 방법이 있다. 이때 협대역 신호의 중심 주파수를 서서히 증가시키면서 각 대역별로 주파수 응답을 측정함으로써 소음기의 전달손실(Transmission Loss)을 측정할 수 있다.

나. 분석

앞서 언급한 바와 같이 신호보다 잡음이 현저하게 커지는 것을 방지하기 위해 협대역 신호를 사용하였는데 본 연구에서는 sine sweep 방법을 채택하였다. 소음기의 입구와 출구 사이에는 음파가 도달되는데 시간지연이 개재한다. 이러한 시간지연을 고려하지

않고 주파수 응답이나 coherence 를 측정하면 오차가 발생된다. 따라서 sine sweep 방법을 사용할 때 sweep rate와 단일주파수에서의 dwell time이 매우 중요하다. 신속한 측정을 위해 sweep rate와 단일 주파수에서의 dwell time이 매우 중요하다. 신속한 측정을 위해 sweep rate를 높이면 분석의 분해능이 떨어지며 dwell time이 작아지면 시간지연의 영향을 크게 받는다.

본 연구에서는 단위 분해능(8 Hz)을 sweep 하는데 2.1 s가 소요되었으며(sweep rate = 3.56 Hz/s) dwell time은 200 ms로서 이는 실험에 쓰이는 소음기 입·출구관의 지연시간(1.5 ms) 보다 훨씬 긴 시간이므로 coherence, 주파수 응답등에 거의 영향을 미치지 않는다. 난류잡음의 특성에 대해서는 전달함수, coherence등을 검토한 결과 입·출구에서의 잡음들은 서로 uncorrelated되어 있으며, 거의 완벽한 백색잡음의 형태를 갖고 있었다. 이는 송풍기 출구측에 흡음형 소음기를 부착함으로써 가능하였다. 표 1은 본 실험에 사용된 sweep sine test 의 측정상태를 나타낸 것이다.

이상 언급한 내용을 바탕으로 실험장치의 개념도는 그림 3과 같다.

3. 결과 및 논의

실험에 사용된 소음기는 simple expansion chamber로서 직경, 길이, 입·출구관의 위치등을 변화시켜가면서 실험하였으며, 실제 소음기에 대해서도 실험을 수행하였다. 여기서는 이중 직경 150 mm 길이 450 mm 이며, ϕ 38 mm 직경의 입·출구관이 양면의 중앙에 위치한 경우의 실험결과에 대해서만 언급하기로 한다.

그림 4-6은 유동이 없는 경우 입·출구관의 유속이 20 m/s 인 경우 및 50 m/s 인 경우 각각에 대한 전달손실을 나타낸 것이다. 유동이 없는 경우는 백색잡음을 사용하여 실험하였다. 이들 3개의 그림은 그 형태가 거의 같으며, 전달손실의 크기도 차이가 없다. 그러나 곡선의 dip이 나타나는 주파수를 비교해보면 반경 방향으로 고차

mode가 나타나기 전까지의 평면파 영역에서는 유동에 의해 $1/(1-M^2)$ 배 (M 은 Mach number) 만큼 주파수 scale이 감소한 효과를 보이며 고차 mode가 나타나는 주파수 이상에서는

$$\omega' = \omega(1 - (1-M^2)(\lambda m/ka)^2)^{1/2} / (1-M^2)$$

의 관계를 갖고 dip의 위치가 변화됨을 알 수 있었다. (여기서 λ_m 은 $J_m'(x)$ 의 m 번째 근이며, $k = \omega/c$, a 는 반경이다) 이는 종래에 발표된 계산결과와 잘 일치하는 것이다. 유속이 50 m/s 인 경우 Mach number는 약 0.15이며, 이때의 주파수 변동은 최대 2% 정도로서 실험상 무시될 만한 양이라고 할 수 있다.

4. 결론

유동이 있는 경우에 대한 소음기 성능측정을 위해서는 난류소음의 특성을 고려한 협대역 신호의 사용이 바람직하다. 실험결과 50 m/s 정도의 유속이 의한 전달손실의 변화는 무시할 만 하였다. 따라서 유동이 있는 경우에 대한 소음기 성능측정은 반드시 수행되어야 하는 것은 아니다. 유동의 영향은 음향학적인 관점에서 보다 소음기에 의한 압력손실을 측정하기 위해서 고려되어야 할 것이다. (본 연구는 과학기술처의 특정연구과제로서 수행된 연구의 일부결과임)

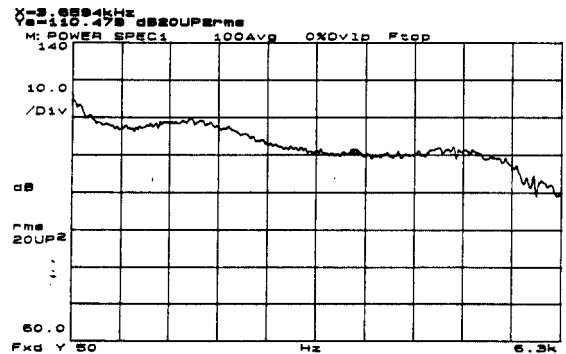


그림 1. 난류잡음(유동속도 = 50m/s, 직관유동공급)

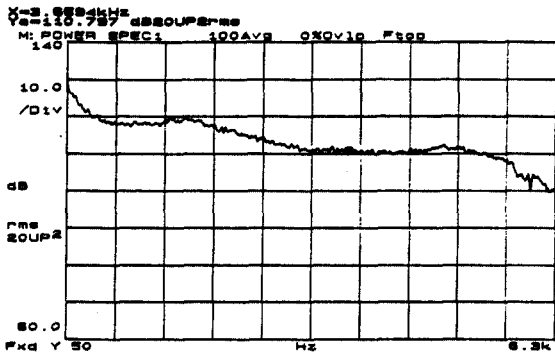


그림 2. 난류잡음(유동속도 = 50m/s, 굴곡유동공군)

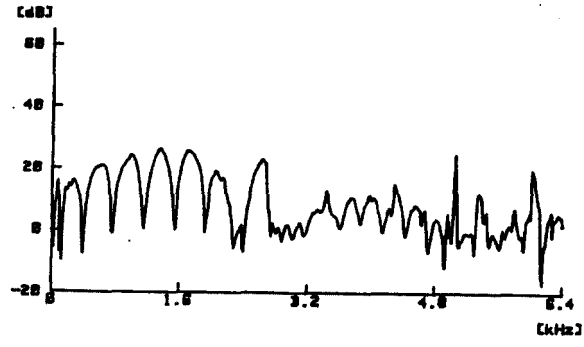


그림 4. Model Case, D=150mm, L=450mm, Center-Center

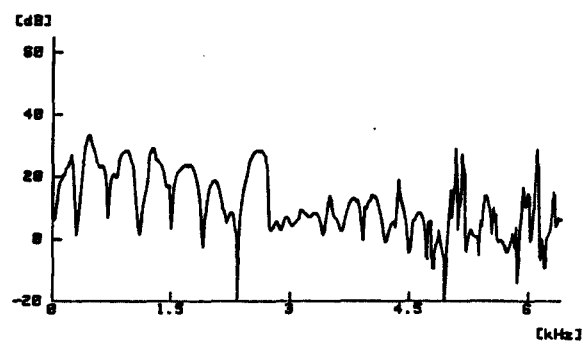


그림 5. Model Case, D=150mm, L=450mm, Center-Center
Flow Velocity = 20m/s

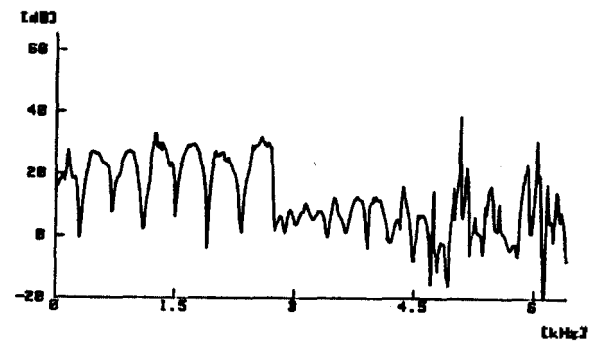


그림 6. Model Case, D=150mm, L=450mm, Center-Center
Flow Velocity = 50m/s

8.1.4. Sine Sweep Measuring State

Swept Sine			
AVERAGE:	INTGR TIME	AVGS	
	200ms	20	
FREQ:	START	SPAN	6.3kHz
	100 Hz	RESLTN	15.7 Hz
	STOP	6.4 kHz	
SWEEP:	TYPE	DIR	EST TIME EST RATE
	Linear	UD	29.5 Min 3.56 Hz/S
AU GAIN:	REF CHAN	REF LEVEL	
	2	8.75 Vpk	
INPUT:	RANGE	ENG UNITS	COUPLING
CH 1	AutoRng↑	13.4mV/EU	AC (Flt)
CH 2	AutoRng↑	118mV/EU	AC (Flt)
SOURCE:	TYPE	LEVEL	OFFSET
	Off	<90mVpk	0.0 Vpk

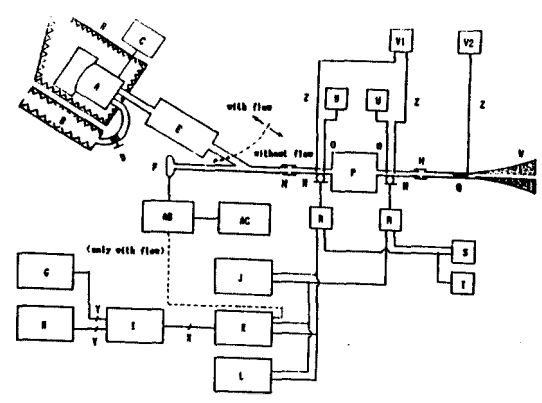


그림 3. Measurement Setup.