

공조용 소음기의 성능시험 평가 및 분석(ISO 7235)

°김두훈°

Evaluation and analysis of the acoustic performance of ducted silencers based on ISO 7235

Doo-Hoon Kim

ABSTRACT

본 논문에서는 공조용 소음기에 대한 삽입손실 및 압력손실과 같은 음향성능 평가를 위해 필요한 제반 사항을 ISO 7235에 근거하여 소개하였다. 이를 위해 시험설비의 종류 및 구비조건, 측정방법, 측정시 유의 사항 등을 기술하였고, 이로서 공조용 소음기의 보다 정확한 음향성능평가가 이루어 지도록 검토 하였다.

Key Words : 공조용 소음기(ducted silencers), 삽입손실(insertion loss), 유동소음(flow noise), 전압손실 계수 (total pressure loss coefficient), 무반사단(anechoic termination), 반사계수(reflection coefficient)

1. 서 론

팬 등의 공조설비에서 소음을 저감시키기 위해 사용되는 공조용 소음기의 설계를 위해서는 소음기의 삽입손실 뿐만 아니라 유동소음, 압력손실 등과 같은 다양한 자료가 필요하다. 따라서, 이의 확보를 위해서는 잔향실, 팬, 덕트, 소음레벨 측정 및 압력 측정 장치 등 다양한 시험시설이 필요하며, 이의 올바른 평가를 위한 측정방법 및 절차가 확립되어 있어야 한다.

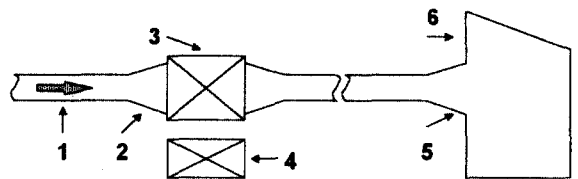
본 논문에서는 공조용 소음기의 음향성능평가를 위한 시험시설의 종류 및 구비조건, 측정방법, 측정시 유의 사항 및 시험결과의 기록 사항 등을 ISO 7235¹⁾에 근거하여 기술하고자 한다.

이때, ISO 7235로 측정 가능한 시험 범위는 1)유동의 유·무에 따른 소음기의 삽입손실, 2)소음기에 의해 발생하는 유동소음의 음향파위레벨, 3)소음기의 전압손실 등이며, 자동차에서 사용하는 반사형 소음기(reactive silencers)는 본 규격을 적용하지 못한다.

2. 본 론

2.1 용어의 정의

- 1) Test duct : 시험용 소음기의 전·후단에 설치하는 단면적이 일정하고 단단한 구조로 된 직관
- 2) Transition : 단면적이 서로 다른 관을 연결시키는 확대·축소관
- 3) Test silencer : 시험용 소음기
- 4) Substitution duct : Test silencer와 동일한 길이 및 동일한 단면을 갖는 빈 관
- 5) Transmission element : 음향반사가 일어나지 않도록 test duct와 잔향실을 연결하는 관
- 6) Reverberation room : 확산음장을 형성하기 위한 음향 실험실



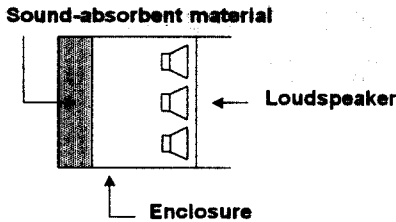
[Fig.1] Configuration of test facility

* 유니슨산업(주) 유니슨기술연구소

2.2 시험 설비

1) 유동이 없는 경우

- ① 음원장치 : 잠음신호발생기, 증폭기, 스피커로 구성되며, 유동이 없는 경우 [Fig.2]와 같다.



[Fig.2] Schematic presentation of a sound source

- ② 소음레벨 측정장치 : 마이크로폰, 1/3옥타브밴드 필터, 사운드레벨미터 등으로 구성된다.
- ③ Test duct : 원형 또는 사각형의 직관이어야 하며, 가능한 한 시험용 소음기의 입·출구 단면적과 동일해야 한다. 이것이 어려울 경우 소음기의 입·출구 단면적에 대해 0.7~2배 이내가 되도록 유지한다. 또한 test duct의 길이는 측정하고자 하는 최저주파수의 반파장 이상, 또는 덕트 최대 단면 길이의 4배 이상으로 한다.
- ④ Transition : 시험용 소음기와 연결되는 transition은 최대 밀폐각(maximum enclosed angle)이 15° 이내가 되도록 하며, 최저 길이(l_{min})는 다음의 식으로 결정한다.

$$l_{min} = \frac{\text{larger area}}{\text{small area}} - 1 \quad (1)$$

- ⑤ 무반사단 : 덕트 내부에서 소음측정이 이루어지는 경우 test duct의 수음측에는 정재파를 없애기 위해 무반사단을 설치해야 하며, 그 반사계수(γ_a)는 [Table 1]에 제시하는 값을 만족해야 한다.

[Table 1] Maximum reflection coefficients(γ_a) for an anechoic termination

Centre frequency of the frequency band [Hz]	γ_a
50	0.40
63	0.35
80	0.30
100	0.25
>125	0.15

- ⑥ Transmission element : 소음측정이 잔향실에서 이루어지는 경우 transmission element는 test duct와 잔향실을 연결시켜 잔향실 내부로 음향에너지를 전달하는 역할을 하며, [Table 2]에 제시하는 값을 만족해야 한다.

[Table 2] Maximum reflection coefficients(γ_a) for a transmission element

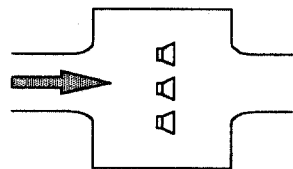
Centre frequency of the frequency band [Hz]	γ_a
50	0.8
63	0.7
80	0.6
100	0.5
125	0.3
>160	0.2

- ⑦ Reverberation room : 잔향실의 성능평가는 ISO 3741⁽⁴⁾에 근거하여 적어도 125Hz의 1/3옥타브밴드 중심주파수까지 측정한다. 이때, transmission element의 끝단은 단단한 판넬로 막고, 또다른 개구부는 개방한 상태에서 소음기의 성능 시험을 수행하는 방법과 동일하게 잔향실의 성능평가를 수행한다.

2) 유동이 있는 경우

유동이 있는 경우 소음기의 음향성능을 평가하기 위한 설비로는 유동이 없는 경우 필요한 장치 이외에 다음과 같은 장치가 추가로 요구된다.

- ① 음원장치 : 유동이 없는 경우의 장비 구성과 동일하지만 설치 방법은 [Fig.3]과 같다.



[Fig.3] Schematic presentation of a sound source with airflow

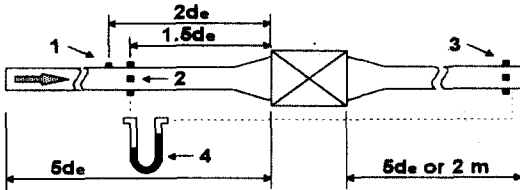
- ② 팬 및 팬 소음기 : 팬에서 발생되는 소음을 줄이기 위해 팬과 test duct 사이에 소음기를 설치하며, 이 소음기는 측정위치에서 음원에 의해 생성되는 소음레벨보다 적어도 10dB 이상의 감음성능이 유지되도록 한다.

③ 유량조정장치 및 유량측정장치

④ 압력손실 측정장치 : 시험용 소음기의 압력손실을 측정하기 위한 장치도는 [Fig.4]와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 압력손실을 측정하기 위한 소음기에 대한 상류 및 하류 덕트의 길이는 덕트 상당직경(d_e : equivalent diameter)에 대해 각각 5배 이상의 거리를 유지하도록 한다.

$$d_e = \sqrt{4S/\pi} \quad (2)$$

where, S : 덕트 단면적



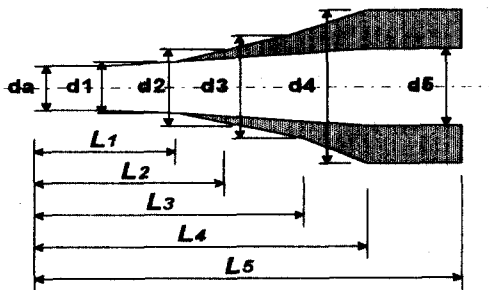
[Fig.4] Test arrangement of pressure loss

(1 Temperature measuring point, 2 Upstream measurement of static pressure, 3 Downstream measurement of static pressure, 4 Manometer)

⑤ 무반사단 : 다음의 그림은 무반사단의 제작을 위한 예로서 흡음효과를 높이기 위해 개구율 60% 정도의 타공판과 24~48kg/m³의 흡음재를 사용하며, 각각의 치수는 [Table 3]에 따라 제작한다.

[Table 3] Specification of an anechoic termination

Duct internal diameter, d_a			
d_1	1.15 d_a	L_1	1.44 d_a
d_2	1.64 d_a	L_2	2.89 d_a
d_3	2.25 d_a	L_3	3.89 d_a
d_4	3.44 d_a	L_4	5.11 d_a
d_5	1.67 d_a	L_5	6.44 d_a



[Fig.5] Example of an anechoic termination

2.3 시험 절차

공조용 소음기의 삽입손실 및 유동소음을 측정하기 위한 음원신호는 1/3옥타브밴드 중심주파수의 잡음신호로 하며, 각각의 중심주파수로 측정을 수행한다. 또한, 유동소음 및 압력손실을 측정하기 위해 덕트 내 유속을 변화시키도록 한다.

1) 삽입손실의 측정

삽입손실(D)은 다음의 식과 같이 정의되며, 음압레벨은 시험용 소음기 설치 전·후와 관계없이 잔향실이나 덕트 내의 동일지점에서 측정을 수행한다.

$$D = \overline{L}_{p2} - \overline{L}_{p1} \quad (3)$$

$$\overline{L}_p = 10 \text{Log} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_{pi}} \right) \quad [\text{dB}]$$

where, \overline{L}_{p1} : 시험용 소음기 설치시 평균음압레벨

\overline{L}_{p2} : 시험용 소음기를 제거하고 substitution duct 설치시 평균음압레벨
 n : 측정점 수

① 덕트내에서의 평균음압레벨 측정방법

삽입손실을 측정하기 위한 측정점은 최소 3점 이상으로 하며, 양 끝점의 길이는 측정하고자 하는 최저주파수의 1/4파장 이상이 되도록 한다. 이때, 측정된 최대·최소 음압레벨 차이가 [Table 4]를 초과한다면 3점 사이에 2개의 측정점을 추가한 총 5개의 측정점을 동일간격으로 선정하여 평균음압레벨을 측정한다.

[Table 4] Maximum level differences for three microphone positions in the test duct

Centre frequency of the frequency band [Hz]	Maximum level difference [dB]
50	10
63	10
80	8
100	8
125	7
>160	6

② 잔향실내에서의 평균음압레벨 측정방법

ISO 3741에 근거하여 잔향실 내부에서의 평균음압레벨을 측정한다.

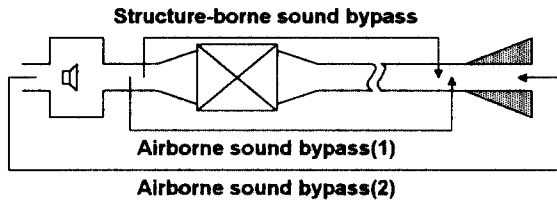
2) 반사계수의 측정

무반사단 및 transmission element의 반사계수는 각각의 1/3옥타브밴드 중심주파수에 해당하는 순음을 덕트 내부로 발생시킨 후, 이로 인하여 생성되는 정재파의 최대·최소 음압레벨 차(ΔL)를 측정하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\gamma_a = \frac{10^{\frac{\Delta L/20}{1}} - 1}{10^{\frac{\Delta L/20}{1}} + 1} \quad \text{[dB]} \quad (4)$$

3) Limiting insertion loss의 측정

[Fig.6]과 같이 덕트를 타고 전파되는 구조기인 소음이나 덕트 벽면을 통과하여 발생하는 투과소음과 같은 플랭킹 소음(flanking transmission noise)은 단성재로 각각의 연결부위에 체결하고, 덕트 두께를 두껍게 하여 제거할 수 있다.



[Fig.6] Flanking transmission in the test arrangement

플랭킹 소음의 차단 정도를 나타내는 limiting insertion loss는 측정하고자 하는 모든 주파수에 대해 시험용 소음기의 삽입손실보다 최소한 10dB 이상이어야 하며, 그렇지 못한 경우 [Table 5]와 같은 값을 보정해 주어야 한다.

[Table 5] Corrections for insufficient limiting insertion loss

Difference between limiting insertion loss and measured insertion loss of the silencer	Correction to be added to the measured insertion loss of the test silencer
4 or 5	2
6 to 9	1
more than 10	0

이러한 limiting insertion loss는 시험용 소음기가 설치되는 곳에 덕트 벽면과 기밀을 유지하는 동시에 콘크리트 블록과 같이 투과손실 값이 큰 막음판을 test duct 내부에 설치한 후 소음기의 삽입손실 측정 방법과 동일하게 측정함으로써 얻을 수 있다.

4) 유동소음의 측정

소음기의 유동소음에 의한 음향파워레벨(L_{WF})은 다음의 식과 같이 잔향실 내부에서의 평균음압레벨 및 잔향시간 등을 측정하여 계산할 수 있으며, 시험용 소음기를 설치한 경우와 substitution duct를 설치한 경우에 대한 음압레벨의 차이가 4~10dB 인 경우 [Table 6]과 같은 보정값을 계산된 음향파워레벨에 감해 준다. 단, 잔향실이 없는 경우에는 ISO 5136⁽³⁾에 따라 평균음압레벨을 측정한다.

$$L_{WF} = \bar{L}_p - 10 \text{Log} \tau - 10 \text{Log} t + 10 \text{Log} V + 10 \text{Log} \left(1 + \frac{A\lambda}{8V}\right) - 10 \text{Log} \frac{P_a}{P_{ao}} - 14 \quad (5)$$

\bar{L}_p : 평균음압레벨 [dB]

τ : Transmission element의 투과계수 (τ)

$$(\tau = 1 - \gamma_a^2)$$

t : 소음기를 설치한 상태에서의 잔향실에 대한 잔향시간 [s]

V : 잔향실의 용적 [m^3]

λ : 1/3옥타브밴드 중심주파수에 대한 파장

A : 잔향실 전체 표면적 [m^2]

P_a : 대기압 [Pa]

P_{ao} : 10^5 [Pa]

[Table 6] Corrections for background noise

Difference in SPL measured with the test silencer installed and measured with the substitution duct installed	Correction (to be subtracted from the levels measured with the test silencer installed)
4 or 5	2
6 to 9	1
more than 10	0

5) 유량의 측정

소음기 내부로 유입되는 체적유량(q_V : volume flow rate)은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$q_V = q_m / \rho_1 \quad (6)$$

where, q_m : 질량유량 [kg/s]

ρ_1 : 시험용 소음기의 상류측 공기밀도 [kg/m^3]

이때, 질량유량(mass flow rate)은 시험용 소음기의 상류측으로부터 유입되는 속도 또는 체적유량 및 밀도를 아는 경우 계산할 수 있다.⁽⁴⁾

6) 평균전압손실계수(ζ)의 계산

시험용 소음기의 압력손실계수는 [Fig.4]와 같이 각각 시험용 소음기 및 substitution duct를 교체하여 설치한 후 마노미터를 이용하여 측정할 수 있다.

이를 측정하기 위해서는 test duct의 상류측으로는 덕트 상당직경의 최소한 5배 이상, 하류측으로는 덕트 상당직경의 최소한 5배 이상 또는 2m 중 큰 값에 해당하는 거리를 확보해야 한다. 또한 시험용 소음기의 상류측에서 속도 및 정압을 측정하기 위한 구멍은 덕트 상당직경의 1.5배 거리에 설치하도록 하며, 이때 정압측정은 소음기의 하류측에 대한 상대적 측정이 이루어져야 한다. 그리고, 온도를 측정하기 위한 구멍은 시험용 소음기로부터 덕트 상당직경의 2배 위치에 설치하도록 하며, 시험을 수행하는 동안 온도변화가 3K 이상이 되지 않도록 한다.

① 그래프를 이용한 평균전압손실계수의 결정

그래프를 이용하여 전압손실계수를 결정하기 위해서는 체적유량(q_v)에 대한 정압의 측정값을 로그 그래프로 작성한 후 데이터의 편차가 $\pm 5\%$ 를 만족하는 직선을 그린 후 유량이 중간 정도 되는 값으로부터 정압을 읽고, 선정된 유량으로부터 동압을 계산하여 얻을 수 있다. 아래의 식에서 $p_{sl(I)}$ 은 시험용 소음기를 장착한 후 하류측 압력에 대해 측정된 정압을, $p_{sl(II)}$ 는 substitution duct를 설치한 후 하류측 압력에 대해 측정된 정압을, $p_{sl(a)}$ 는 대기압에 대해 측정된 정압을 의미한다.

$$\Delta p_m = \Delta p_{sm} = p_{sl(I)n} - p_{sl(II)n} \quad (7)$$

$$p_{dn} = \frac{1}{2} \rho_{1n} \left(\frac{q_{1n}}{S_1} \right)^2, \quad \rho_{1n} = \frac{p_{sl(a)n} + p_a}{R(\theta_{1n} + 273)}$$

$$\zeta = \Delta p_m / p_{dn}, \quad R = 287 \text{ N} \cdot \text{m} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

S_1 : 상류측 덕트의 단면적 [m^2]

② 계산에 의한 평균전압손실계수의 결정

$$\zeta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{p_{sl(I)i}}{p_{di}} - \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \frac{p_{sl(II)k}}{p_{dk}} \quad (8)$$

$$p_{di} = \frac{1}{2} \rho_{li} \left(\frac{q_{1i}}{S_1} \right)^2, \quad p_{dk} = \frac{1}{2} \rho_{1k} \left(\frac{q_{1k}}{S_1} \right)^2$$

$$\rho_{li} = \frac{p_{sl(a)i} + p_a}{R(\theta_{1i} + 273)}, \quad \rho_{1k} = \frac{p_{sl(a)k} + p_a}{R(\theta_{1k} + 273)}$$

N, M : 시험용 소음기와 substitution duct를 설치한 후의 각각에 대한 측정 회수

2.4 시험 결과의 정리

공조용 소음기의 음향성능을 측정하는 경우 다음과 같은 사항을 기록하도록 한다.

1) 시험용 소음기에 대한 기술

- ① 소음기의 종류 및 적용처
- ② 소음기의 입·출구 단면적 및 길이
- ③ 유동 방향
- ④ 소음기 내부 구조에서의 최소 유로통과면적
- ⑤ 스프리트의 길이 및 두께, 재질
- ⑥ 흡음재의 길이 및 두께, 재질

2) 시험장치 및 시험방법에 대한 기술

- ① 덕트 내 또는 잔향실 내의 측정법인지의 여부
- ② 잔향실 내에서 측정하는 경우
 - Test duct의 길이 및 단면적
 - Transition의 길이 및 단면적
 - 잔향실 용적 및 시험용 소음기를 설치한 후의 잔향시간
 - Transmission element의 투과계수
- ③ 덕트 내에서 측정하는 경우
 - Test duct의 길이 및 단면적
 - Transition의 길이 및 단면적
 - 무반사단의 반사계수
 - Windscreen의 형태
- ④ 측정점의 위치 또는 경로

3) 음향성능 결과에 대한 기술

- ① 50~10,000Hz(또는 100~8,000Hz)의 1/3옥타브밴드 중심주파수에 대한 삽입손실
- ② 시험설비의 주파수별 limiting insertion loss
- ③ 시험용 소음기를 설치하지 않은 상태에서 유량의 변화에 따른 유동소음의 음향과위레벨
- ④ 시험용 소음기를 설치한 후 유량의 변화에 따른 유동소음의 음향과위레벨
- ⑤ 유동소음 및 평균음압레벨에 대한 암소음레벨의 평가
- ⑥ 압력손실계수

4) 기타 기록 사항

- ① 시험 날짜 및 시간
- ② 온도 및 습도
- ③ 기타 필요한 사항

3. 결 론

이상으로 공조용 소음기의 음향성능 평가를 위한 시험시설의 종류 및 구비조건, 시험방법, 시험결과 의 기록사항 등을 ISO 7235의 규격에 근거하여 검토해 보았다. 따라서, 이상의 기술 내용을 근거로 시험시설을 갖추고 검증된 절차에 따라 공조용 소 음기의 음향성능 평가를 수행한다면 보다 정확한 평가가 이루어 질 것으로 판단되며, 상호 검증된 데 이터의 공유가 가능하리라 판단된다.

4. 참고문헌

- 1) ISO 7235:1991(E), "Acoustics-Measurement procedures for ducted silencers-Insertion loss, flow noise and total pressure loss"
- 2) ISO 3741:1998, "Acoustics-Determination of sound power levels of noise sources-Precision methods for broad-band sources in reverberation rooms"
- 3) ISO 5136:1990, "Acoustics-Determination of sound power radiated into a duct by fans-In duct method"
- 4) ISO 5221:1984, "Air distribution and air diffusion-Rules to methods of measuring air flow rate in an air handling duct"
- 5) IEC 225:1996, 'Octave, half-octave and third-octave band filters intended for the analysis of sounds and vibrations'
- 6) ASTM E 477, "Standard test method for measuring acoustical and airflow performance of duct liner materials and prefabricated silencers"