

공동주택의 실내 생활소음 저감을 위한 소음기 개발

이 규 형* · 권 병 하* · 이 장 현* · 오 진 우

(주) 엔. 에스. 브이 기술연구소

Development of a Silencer to Reduce an Interior Dailylife Noise of Apartment House

Kyu-Hyung Lee, Jang-Hyun Lee, Byoung-Ha Kwon, Jin-Woo Oh

Institute 715-7, Gojan-Dong, Namdong-Gu, Incheon, Korea, 425-807

ABSTRACT: Development of a silencer to Reduce Noise of Cross Talking in Apartment & Stores and air conditioning to fan Composite silencer application a specific of resonant type and expansion type, design possibility at reduction frequency. This silencer test result develop reduce 20dB of specification frquency. Pressure loss 2mmAq. This silencer is special of brief structure and possibility disjoint and joint, simple installation and maintenance.

Key words: silencer (소음기), Noise reduction(소음저감), Transmission loss(투과손실), Sound level(소음도), Resonant Type(공명형), Expansion type(팽창형), White Noise(백색잡음), Pressure loss(압력손실)

기 호 설 명

TL : 투과 손실계수(Transmission Loss, dB)

m : 팽창비(= S_1/S_2)

S_p : 내관 구멍의 단면적

l_p : 구멍의 길이+1.6a(a는 구멍의 반경)

k : 파수(= $2\pi f/c$, Wave No.)

c : 음속 (340 m/s)

f : 주파수 (Hz)

f_r : 고유진동수 (Hz)

L : 팽창관 길이

1. 서 론

최근 생활수준의 향상으로 쾌적하고 정숙한 생활환경에 대한 요구가 높아지고 있다. 특히 주상복합형 주거공간이 증가하며 주거공간의 대형화가 진행되고 있다. 이런 대형 주상복합형 주거공간은 독립적 실내기가 천정 공조 덕트를 통하여 각 실에 공기조화가 이루어진다. 이 덕트를 통하여 실내기의 팬 소음이나 각 실에서의 대화음이 전달되어 소음으로 인한 문제를 야기 시키거나 가족 간 프라이버시를 유지하는데 문제가 발생한다. 때문에 공조 덕트와 같이 소음이 전달될 수 있는 곳에 간단히 설치하여 생활 소음 전달을 차단할 수 있는 소음기 개발의 필요성이 증가되었고, 소음기는 회화 영역에서 소음 차단 성능이 확실하고, 설치 및 유지보수가 용이하고, 습기에 의한 부식이 없으며, 먼지, 위생 등을 고려하여 청소가 간단한 제품이 절실하게 요구되고 있다.

현재 주상복합형 주거공간의 공조 덕트에 사용되는 소음기로는 흡음형 원형 소음기가 사용되고 있다. 흡음재의 특성상 특정 주파수가 아닌 전대역에서 저감이 이루어져 회화 영역에서 원하는 저감량을 얻기 위해 소음기의 규격이 커지는 경

† Corresponding author

Tel.: +82-32-816-7992; fax: +82-32-816-7993

E-mail address: kgbss2@paran.com

향이 있어 많은 설치 공간을 요구하며, 적용을 못하는 경우도 있다. 그리고 흡음재 소재는 위생상의 문제를 야기 시키며 주거공간의 특성상 설치 후 장기간 사용에 따른 흡음재 오염에 따른 특성의 변화로 흡음력 저하되어 초기 성능에 미치지 못하게 된다.

본 논문은 주상복합형 주거공간의 공조 덕트를 통하여 전달되는 생활소음 및 팬 소음의 특성을 분석하여 특정 주파수에서 저감 성능이 뛰어난 개발품으로서, 구조가 간단하며 규격이 작고 분해조립이 가능하고 설치 및 유지보수가 용이한 제품이다. 또한 청소가 용이하고 습기 및 부식에 강하며, 다른 환기장치에도 적용이 가능한 장점이 있다.

2. 저감대상 소음

2.1 회화 주파수영역

일반적으로 사람의 대화가 이루어지는 주파수 영역은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 200~5,000 Hz 대역에서 주로 발생하며 이중에서도 500~2,000 Hz대역이 가장 빈번하게 발생한다. 이 주파수 대역은 또한 사람이 가장 민감하게 느껴지는 대역으로 쾌적하고 정숙한 생활에 문제가 되고 있다. 가족 간 프라이버시를 유지하기 위한 이 주파수 대역의 소음 저감이 요구된다.

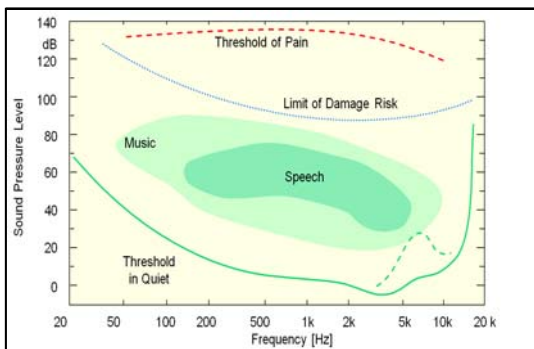


Fig. 1 주파수별 가청 영역

2.2 실내기 팬에 의한 소음

실내기 팬에 의한 소음은 Fig. 2에 보는 바와 같이 넓은 주파수대역에서 발생하며 그중 탁월 주파수 성분 대역은 500~4,000 Hz대역에서 발생

한다. 실내기 팬 소음은 회화 소음 대역과 유사하며 발생 시 유량이 발생하기 때문에 소음기 정압손실에 대한 측정도 이루어져야 하고 원활한 공기 조화를 위하여 소음기의 정압손실이 최소가 될 수 있게 설계하여야 한다.

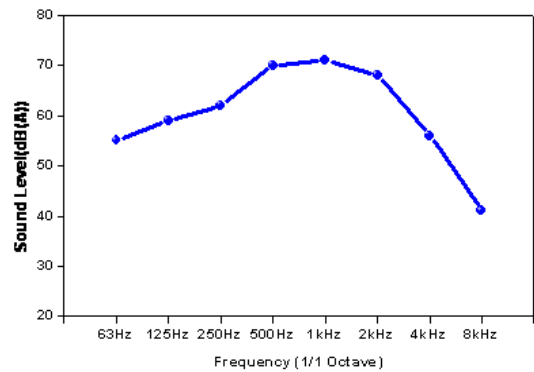


Fig. 2 팬 소음의 주파수 특성

본 논문의 소음기는 1 kHz대역을 중심으로 500~2,000 Hz 대역을 그 저감 대상으로 한다.

3. 소음기 개발

3.1 기본설계 개요

앞에서 언급한 것과 같이 주상복합형 공조 덕트를 통하여 전달되는 소음은 주로 500~2,000 Hz 대역의 생활 소음과 팬 소음임을 알 수 있다. 이 500~2,000 Hz대역을 효과적으로 저감할 수 있는 소음기를 개발하기 위하여 여러 가지 타입의 소음기의 특성 및 감음성능을 비교한 후 복합적 설계가 가능한 형태의 소음기를 선정하였다. 소음기의 소음저감 목표는 특정 주파수 대역에서 20 dB 이상이며 압력손실은 2 mmAq 이하가 되도록 설정하였다.

소음기는 공명형소음기(Resonator Type Silencer), 팽창형 소음기(Expansion type Silencer) 등 2 종류의 형상에 대해 검토하였으며, 주파수에 따른 소음저감특성과 설치 및 유지보수가 용이하고 필요에 따라 습기와 먼지를 제거하기 쉬운 형태의 소음기를 선정하였다.

3.2 소음기 특성

개발 소음기의 특성은 Fig. 3처럼 공명형 2개와 팽창형 1개의 복합적 구성으로 이루어져 있다. 공명형 소음기는 이론식에 의한 공명주파수를 산정하여 설계하고 그 공명형 사이에 있는 팽창형 소음기는 독립적으로 존재하여 복합적 소음기 형태의 특성을 가지도록 설계하고 이론적 해석을 통하여 성능을 예측하였다.

(1) 공명형 (Res. type) 소음기

공명형 소음기는 관의 홀의 크기와 개수로 공명주파수가 결정되어진다. 일반적으로 알려진 공명형 소음기의 투과손실을 예측할 수 있는 식(1)을 이용하여 원하는 주파수대역의 공명주파수를 발생시키도록 설계하였다. 예상 저감량은 식(2)에 의해 산출 되었다.

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{n \cdot S_p / l_p}{V}} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

$$TL = 10 \log \left| 1 + \frac{\left\{ \frac{\sqrt{n \cdot V \cdot S_p / l_p}}{2 \cdot S_0} \right\}^2}{\frac{f}{f_r} - \frac{f_r}{f}} \right| \text{ dB} \quad (2)$$

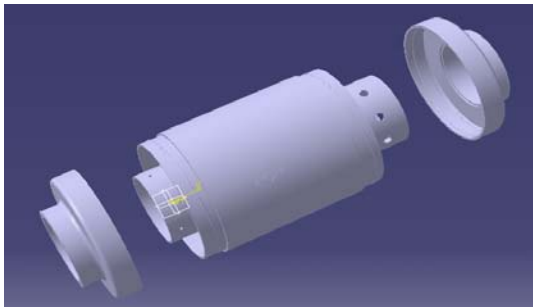


Fig. 3 Configuration of silencer

(2) 팽창형 (Exp. type) 소음기

소음기의 소음저감성능을 증가시키기 위해 두개의 공명형 사이에 팽창형을 삽입하는 형태를 적용하였고, 팽창형 소음기의 이론적 투과손실(TL)의 예측값은 아래의 식(3)와 같으며, 이론해석 결과 팽창형 소음기의 특성은 공명형 소음기와는 달리 넓은 주파수 대역에 걸쳐 저감성능이 나타난다.

$$TL(\text{dB}) = 10 \log \left[1 + \frac{1}{4} \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 kL \right] \quad (3)$$

(3) 소음기 실험

Table 1. 공명형 소음기 실험결과

Case	설계치	결과 (1/3 Octave)	감음 성능
1	1436Hz	1.6kHz	15dB
2	620Hz	800~1kHz	15~20dB
3	403Hz	400Hz	8dB
4	570Hz	630Hz	12~18dB
5	1065Hz	1.25k~2kHz	12~25dB
6	1488Hz	1.25kHz~2.5kHz	10~28dB

공명형 소음기 특성을 알아보기 위한 실험결과 Table 1.에서와 같이 이론에 의한 예상 공명주파수와 1/3 Octave band의 측정결과와 비교적 일치하는 것을 볼 수 있다. 감음 성능이 좋고 저감 주파수 대역이 목표와 일치하는 Case를 선정 하도록 한다.

3.3 소음기 설계

소음기 설계는 내부를 세분화 하여 공명주파수가 다른 두 개의 공명형 소음기와 공명형 소음기 사이에 팽창형 소음기가 존재하는 복합적인 형태이다. 공명형 소음기는 Case별 실험결과를 기초로 가장 이상적인 조합으로 선정하였고 설계된 소음기의 성능을 예측하기 위하여 상용프로그램을 사용하여 검토 하였다.

3.4 개발 소음기의 시뮬레이션

(1) 음장해석

설계된 공명형과 팽창형의 복합적 소음기를 음장해석 프로그램을 이용하여 Fig. 4, Fig5 와 같이 주파수별 저감량을 예측하였다. 해석결과 최초 목표로 선정한 500 ~2,000 Hz대역이 공명현상에 의한 저감이 이루어지는 것을 Fig. 6의 그래프를 통하여 확인이 가능하다.

해석의 조건은 소음기 내부의 공기에 대해 FEM방식을 이용하여 입구에서의 초기 속도에 대한 출구에서의 압력 변화에 대한 투과손실(TL)을 산출하였다.

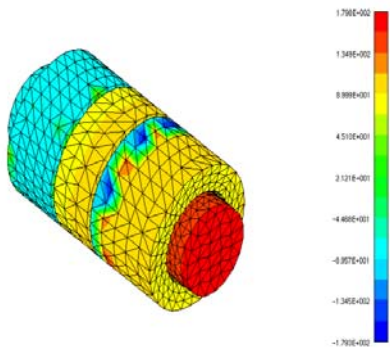


Fig. 4 700Hz에서 음장해석

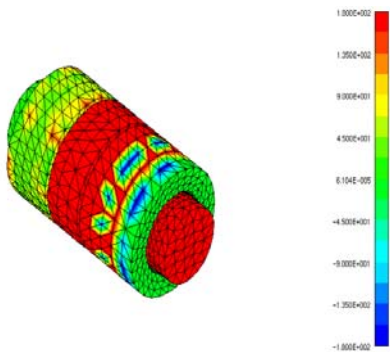


Fig. 5 1100Hz에서 음장해석

(2) 해석 결과

Fig. 6의 그래프를 통하여 개발소음기의 저감 주파수대역을 예측 할 수 있다. 해석결과는 5Hz 단위로 700 Hz, 900 Hz와 1100 Hz 그리고 2,000 Hz대역에서 저감량이 크게 발생 할 것으로 판단 된다. 이론적 예상 공명주파수와 비교적 일치하고 있으며, 이론적 예상보다 저감대역이 넓게 분포되어 있다.

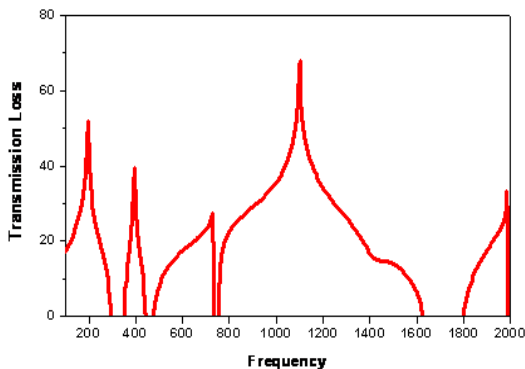


Fig. 6 시뮬레이션 해석결과

3.5 소음기 시제품 제작 및 성능평가

(1) 소음기 시제품 제작

개발 소음기의 설계도면을 이용하여 시제품을 제작하였다. 시제품의 재료는 가공이 쉽고 형상 유지가 용이한 재료를 선택하였다. 시제품은 발생 소음이 소음기 통과 시 유실을 방지하기 위하여 허용오차를 최소한으로 하여 정밀 가공으로 제작 하였다. 시제품은 소음 저감 성능뿐 아니라 소음기의 조립 및 설치를 고려하여 개발 목표인 분해조립이 가능하고 설치 및 유지보수가 용이한 제품인지 평가 하도록 하였다.



Fig. 7 Mock-up silence

(2) 소음기 성능평가

시제품의 성능시험은 ISO 7235 음향-덕트 소음기의 시험절차에 따라 별도의 시험기를 Fig. 7과 같은 형태로 제작하였고 시험에 사용된 장비는 Table 2.와 같다. 시험장비는 무향실에 별도로 설치하여 다른 소음의 영향을 최소한으로 감소시켰다.

소음은 스피커에 의하여 발생시키고, 소음기 설치 전후의 소음레벨을 측정하여 비교하였다. 음원발생 챔버에 Fan을 설치하여 통과 유속에 따른 압력손실을 측정하였다.

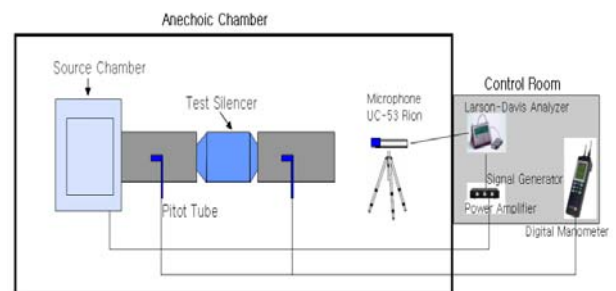


Fig. 8 Schematic diagram of test equipments

Table 2. Specification of test equipments

No.	Test Equipment	Model No.	Maker
1	Signal Analyzer	Pulse	Brüel & Kjær
2	Signal Generator		Larson-Davis
3	Microphone	Type 4189	Brüel & Kjær
4	Pre-amplifier	900B	Larson-Davis
5	Calibrator	CA 250	Larson-Davis
6	Manometer	testo 445	Testo GmbH
7	Speaker	TSP-1	Teakwang
8	Amplifier	Honor	Teakwang

(3) 시제품 성능시험 결과분석

실제 발생하는 소음을 재현하는데 어려움이 있어 시제품 성능시험 시에는 스피커에서 발생하는 소음은 백색잡음(White Noise)으로 소음레벨이 77.9 dB(A)이다. 소음기 설치 전·후의 소음을 비교하여 소음기 설치에 의한 삽입손실(IL)을 비교하였다.

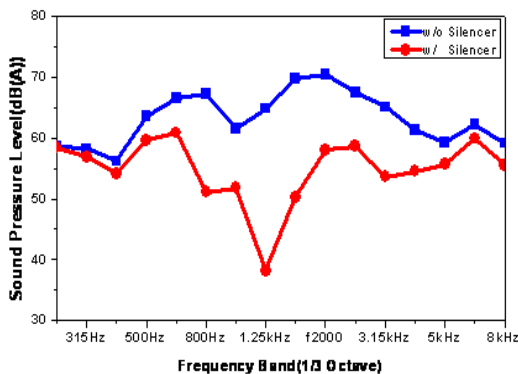


Fig.9 Noise reduction data of mock up silencer

시제품의 소음저감능력 Fig. 9과 같이 800~2,000 Hz까지는 감음량 10 dB 이상이고, 1.25k Hz에서 25.2 dB의 가장 큰 감음량을 나타내고 있다. 측정결과 프로그램을 통한 시뮬레이션 해석결과의 저감량과는 차이를 나타내고 있지만 저감주파수 대역은 해석결과를 통하여 예측한 결과와 비교적 일치하고 있는 것으로 판단된다. 또한 내부 팽창형 소음기의 영향으로 400~ 4,000 Hz까지 넓은 영역에 걸쳐 저감량이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

성능시험 결과 특정주파수 대역인 800~2,000 Hz까지는 최초 목표인 10 dB이상의 저감량을 나타내고 있으며 그 중 1.25 kHz와 1.6 kHz는 20

dB이상의 높은 저감량을 나타내고 있다. 하지만 저주파 대역인 500~630 Hz대역에서는 저감량이 크지는 않았다. 특히 800 Hz에서의 큰 저감량은 시뮬레이션 해석결과와 상당히 일치하는 것으로 판단된다.

개발소음기 내부 일부 공간에 항균성을 가진 흡음재를 이를 부착한 결과 1 dB정도의 저감효과를 볼 수 있지만, 저감대역은 특정 주파수가 아닌 전 대역에 걸쳐 효과를 나타내고 있다.

또한 형상 가공이 가능한 금속 흡음재의 경우 일반 흡음재와는 다른 특성을 나타내며 앞으로 활용 가능 방안에 대한 연구가 필요한 부분이다.

3.6 소음기 양산제품 성능평가

개발 소음기의 금형을 제작하여 양산품을 생산하였다. 양산품 소음기의 재료는 P.E를 사용하였다. Fig. 9는 금형을 통해 사출된 소음기 모습을 나타내고 있다.



Fig. 10 Mass-Produce

양산품의 성능평가는 Mock-up 소음기의 성능평가와 동일한 방법으로 진행하였으며, 성능평가 결과 Fig. 11과 같은 결과를 산출하였다. 양산품과 Mock-up소음기의 성능은 유사하게 측정되었으며, 재료변화에 따른 저감주파수 대역 변화는 발생하지 않았다. 주파수별 저감량 차이는 실험적 오차범위(±1dB)로 판단된다.

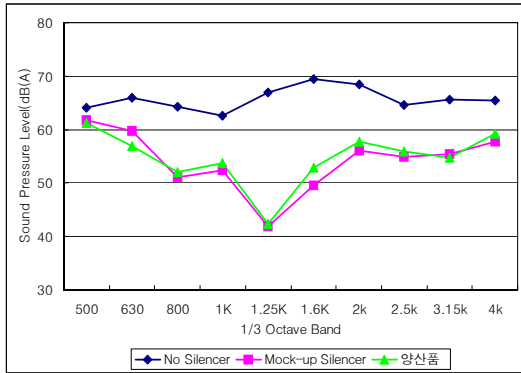


Fig.11 Noise reduction data of mass-produce silencer

4. 결론

주상복합형 주거공간의 실내 공기조화를 위한 공조덕트의 소음누화를 방지하기 위하여 설치가 간단하고 규격이 작은 소음기를 개발하였다. 추가 연구과제가 남아 있지만 제품의 성능 평가를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 주상복합형 공조 덕트에 사용 가능한 특정 주파수 대역의 소음저감 성능이 뛰어난 소음기를 개발하였다.

둘째, 제품 성능평가 결과 800~2,000 Hz까지 저감량은 10 dB이상이고, 특히 공명 현상이 일어나는 주파수 대역인 1.25 k~1.6 kHz대역에서는 20 dB이상의 저감을 나타냈다.

셋째, 소음기 설치에 의한 압력손실이 3.1 m/s 풍속에서 1.2 mmAq 이하로 손실이 거의 없음을 확인하였다.

넷째, 금형제작에 의해 양산품 생산이 가능하며, 저감성능이 만족스러운 결과를 얻었다.

따라서 개발품은 소음 차단 성능이 우수한 제품으로, 구조가 간단하고 분해조립이 가능하며 설치 및 유지보수가 용이한 제품이다. 또한 추가 연구 과제로 항균성 및 금속 흡음재를 적용한 고주파 영역 저감 소음기 개발이 요구된다. 개발 소음기는 적용 현장에 따른 저감 주파수 대역을 선정하여 원하는 성능의 소음기 개발이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. “소음진동편람”, 한국소음진동공학회
2. 일본음향재료협회, 1996, “소음진동 대책 핸드북”
3. 이규성의, 1999, “소음진동공학”, 형설출판사
4. 오진우, 이종석, 이장현, 이성춘, 2006, “공동주택 층간소음 저감을 위한 환기장치용 소음기 개발”, 춘계 학술대회 논문집 한국소음진동공학회,
5. M.L. munjal, "Acoustics of Ducts and Mufflers"
6. 2004년 중소기업 지원사업 최종 보고서 “다층건물 층간소음 차단용 소음환기장치 개발”