

사무소 건물의 공조설비소음 특성

The Characteristics of HVAC Noise in
Office Buildings

도 영 주*, 김 동 규**, 김 흥 식***

(Young Ju Do, Dong Gyu Kim, Heung Sik Kim)

요 약

공조설비소음의 특성을 파악하기 위하여 서울의 도심에 위치한 고층 사무소 건물을 대상으로 송풍기의 파워레벨과 취급구분 통한 실내소음레벨을 측정하였다. 또한 공조설비소음이 분해시되는 건물에 흡음챔버와 사이드브랜치를 설치하여 소음기의 감음성능을 평가하였다.

연구의 결과, 실내소음레벨은 송풍기 발생소음의 영향으로 500Hz 이하의 저주파수 대역에서 ISO의 허용 기준치인 NR40을 초과하였으며 흡음챔버는 넓은 대역의 주파수, 사이드브랜치는 특정공명주파수에서 감음효과가 크게 나타났다.

ABSTRACT

This study aims to provide the basic data useful in assessing indoor-noise and designing sound devices in office buildings of HVAC system. The measurements of HVAC noise were carried out in office room and mechanical room. The performance of absorptive chamber and side branch was also estimated in the office buildings which have HVAC noise problems.

The results of experiments show that the NR value of indoor HVAC noise is rather higher than that of ISO recommendations at the frequencies below 500Hz. In addition, the results indicate that the absorptive chamber attenuates noise over broad band frequencies and the side branch reduces noise at the special resonant frequency.

1. 서 론

공조설비가 이용되고 있는 대형사무소 건물에서는 최근들어 이중창, 밀폐창등의 설치에 의하여 건물내부소음은 어느 정도 차단시킬 수 있게 되었으

나 공조덕트 계통 등에서 발생하는 소음은 음향환경을 악화시켜 새실자에게 업무능률의 저하와 정신집중의 방해 등 문제를 초래하는 일이 발생하고 있다.

공조설비계통의 소음으로는 송풍기에서 발생하는 소음, 덕트 각 부분에서 기류에 의해 발생하는 소음 등이 있으며 이러한 소음에 대한 합리적인 대책을 수립하기 위해서는 사무실 내에 영향을 미치는 소음발생부위 및 발생소음특성의 정확한 분석과 소

* 한양대학교 대학원 건축공학과

** 조선대학교 유추공학과 교수

*** 대한주택공사 주택연구소 선임연구원

내적 실정에 따른 감음량에 대한 평가가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 서울의 도심에 위치한 고층 사부 조건물을 대상으로 공조설비 소음의 특성을 파악하기 위하여 송풍기의 파워레벨과 취출구를 통한 실내소음레벨을 측정하였다. 또한 공조설비소음이 문개시되는 선실에 흡음챔버와 공명형 소음기의 일종인 사이드브랜치(side branch)를 설치한 후 이론적 및 실측값에 의한 감음량을 비교·분석하여 소음기의 감음성능을 평가하였다.

II. 이론적 배경

1. 음향파워레벨 측정원리

음원으로부터 단위시간에 방사되는 음에너지를 음원의 음향파워라 하며, 음향파워레벨(sound power level: PWL)은 음원에서 방사되는 음향파워를 대수치로 표시한 것으로 식(1)과 같이 정의된다.

$$PWL = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

여기서, W : 음원의 음향파워[Watt]

W_0 : 기준음향파워 [10^{-12} Watt]

음향파워레벨 측정방법에는 종래의 음압법과 최근 연구되고 있는 음향인텐시티법이 있다. 음압법은 직접법, 근접법 및 치환법으로 구분되며 음장조건에 따라 측정방법이 달라진다. 본 연구에서는 일반음장에서의 직접법을 이용하여 송풍기의 파워레벨을 구하였다. 이 경우 음향파워레벨은 측정면상의 평균음압레벨(\bar{L}_p)을 측정한 후 식(2)에 의해 구한다.

$$PWL = \bar{L}_p - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4\pi\bar{r}^2} + \frac{4}{R_E} \right) \text{ [dB]} \quad (2)$$

여기서,

\bar{r} : 음원중심에서 측정점까지의 평균거리[m]

R_E : 주파수 대역별 실정수 [m^2]

$$\left(R_E = \frac{A_E}{1-\bar{\alpha}} \right)$$

$\bar{\alpha}$: 주파수 대역별 실의 평균흡음율

A_E : 주파수 대역별 실의 흡음력 (m^2)

$$\left(A_E = \frac{55.3}{C} \cdot \frac{V}{T} \right)$$

C : 공기중의 음속[m/s]

V : 실의 체적 [m^3]

T : 주파수 대역별 실의 잔향시간[sec]

2. 소음기의 감음성능

소음기의 종류는 흡음형, 팽창형, 공명형으로 대별되며 본 연구에서 활용한 소음기의 감음성능 이론은 다음과 같다.

(1) 흡음챔버

팽창형 소음기의 원통에 흡음재를 부착하여 공동 내부의 평면파를 간섭효과와 흡음효과에 의해 감음시키는 형으로서 그림 1과 같은 흡음챔버의 투과손실(TL)은 식(3)으로부터 구한다.

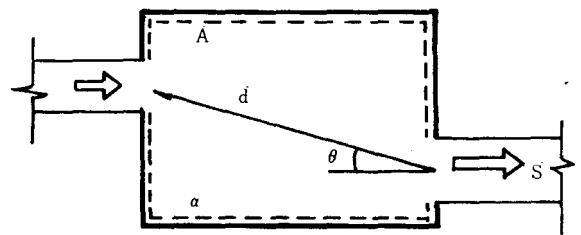


그림 1 흡음챔버의 구조.

$$TL = 10 \log_{10} \frac{1}{S \left(\frac{\cos \theta}{2\pi d^2} + \frac{1-\alpha}{A} \right)} \quad (3)$$

여기서,

S : 출구면적 [m^2]

d : 입구와 출구간 거리[m]

α : 내장재 흡음율

A : 챔버내 흡음력

θ : 입구중심과 출구중심이 이루는 각

(2) 사이드 브랜치의 감음성능

사이드 브랜치는 공명형 소음기의 일종으로서 덕트의 단면적과 브랜치의 단면적이 같을 경우 사이드 브랜치의 공명주파수(f_r)는 식(4)와 같다.

$$f_r = \frac{(2n-1) \cdot C}{4 \cdot (\ell + 0.82a)} \text{ [Hz]} \quad (4)$$

여기서, n : 층수

c : 공기중의 음속 [m/s]

θ : 브랜치의 길이 [m]

a : 브랜치의 반지름 [m]

그림 2와 같은 사이드 브랜치의 누파손량(TL)은 식(5)로부터 구한다.

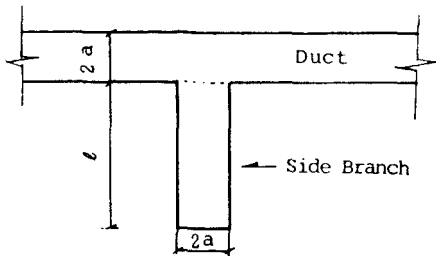


그림 2 사이드브랜치의 구조

$$TL = 10 \log_{10} \left[1 + \frac{1}{4} \tan^2 k(\theta + 0.82a) \right] \text{ [dB]} \quad (5)$$

여기서, $k = \frac{2\pi f}{c}$

f : 주파수 [Hz]

c : 음속 [m/s]

Ⅲ. 측정개요 및 방법

1. 측정대상건물

공조설비소음의 실태측정은 서울시내 도심에 위치한 15층이상, 연면적15,000㎡ 이상의 단일덕트공조방식을 이용하고 있는 4개의 사무소 건물을 대상으로 실시하였다. 표 1은 대상건물의 개요이며 표 2는 각 건물에 사용되고 있는 공조기의 세원을 나타낸다.

표 1 측정대상 건물의 개요

구분 건물명	층수	연면적[㎡]	덕트형식	취출구형식	공조실위치
K 빌딩	23층	95,069	단일덕트 (AHU+FCU)	트모커	각 층
H 빌딩	29층	80,321	단일덕트 (AHU)	라인더류저	각 층
Y 빌딩	17층	22,291	단일덕트 (AHU+FCU)	유니버설	6.7, 17층
S 빌딩	20층	17,062	단일덕트 (AHU+FCU)	라인더류저	지하 4층, 10, 20층

표 2 공조기의 세원

구분 건물명	용량 [AHU]	회전속 [rpm]	일동전용량 [kw]	소음기 종류
K 빌딩	36,000	120	21.3	원심식
H 빌딩	38,000	90	14.92	원심식
Y 빌딩	56,000	136	18.16	원심식
S 빌딩	22,760	20	40.0	원심식

2. 측정대상 소음기

소음기의 감음성능 측정대상건물인 K 빌딩의 공조실내부와 주변의 덕트계통은 그림 3과 같으며 그림에서의 흡음철편은 기존에 설치되어 있는 것이고 사이드 브랜치는 공조소음을 감소시키기 위하여 신설한 것이다. 표 3은 측정대상 소음기의 개요를 나타낸다.

표 3 측정대상 소음기의 개요

구분	크기(L×W×H, mm)	구성 재료
흡음 철편	3,020×720×12	Gal. steel 0.8t + G. W (24K) 50mm
사이드브랜치	1,200×500×400 1,000×500×400	Gal. steel 0.6t.

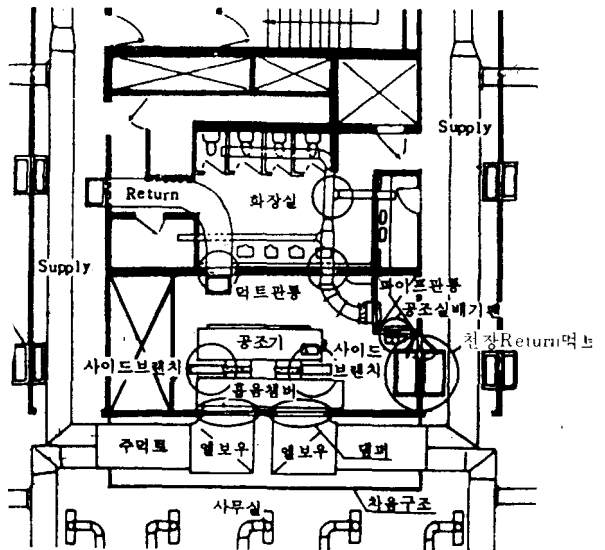


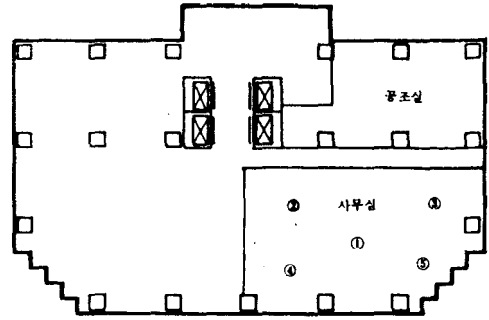
그림 3 K 건물의 공조실과 주변덕트배치형태

3. 측정방법

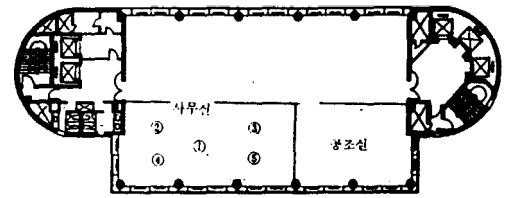
송풍기의 파워레벨은 각 대상건물의 공조실에 설치된 송풍기에 대하여 일반음장에서와 직접법을 이용하여 천정에서 측정하였으며 공조운전정지시에 잔향시간 측정도 실시하였다. 또한 공조실의 배기팬소음은 동일배기팬에 대하여 그림 4와 같이 중력식 댐퍼의 열림각도를 45°와 90°로 변경하여 각각 측정하였다.

실내소음레벨 측정은 공조소음만의 영향을 평가하기 위하여 팬도일유니트는 가동하지 않고 재실자가 없는 상태에서 주위 암소음이 적은 야간에 하였다. 그림 5는 각 건물의 실내소음레벨 측정점을 나타낸 것으로서 사무실 내의 5점을 선정하여 측정 한 후 평균기를 산출하여 실내소음레벨로 하였다.

공조용 덕트 송풍기의 간음량 측정은 흡음철판과 흡음엘보우가 설치된 덕트에 대하여 사이드 브랜치 설치 전후에 그림 3의 덕트(흡음엘보우) 부근과 사무실내에서 실시하였다.



(c) Y 빌딩



(d) S 빌딩

그림 5 실내소음레벨의 측정점.

IV. 측정결과 및 고찰

1. 송풍기, 배기팬의 소음특성

(1) 송풍기의 파워레벨

그림 6은 공조설비의 주요소음원인 송풍기의 음향 방사특성을 파악하기 위해 측정한 각 건물의 송풍기 파워레벨을 나타낸 것이다. 송풍기의 파워레벨은 공칭마력, 송풍량, 정압효율 등에 따라 좌우되며 주파수별로 파워레벨 70~117dB의 범위에 걸쳐 매우 높게 나타나고 있다. 특히, 저주파수 대역으로 갈수록 높은 방사특성이 발생하고 있어서 원심식 송풍기의 일반적 소음특성이 현저함을 알 수 있다.

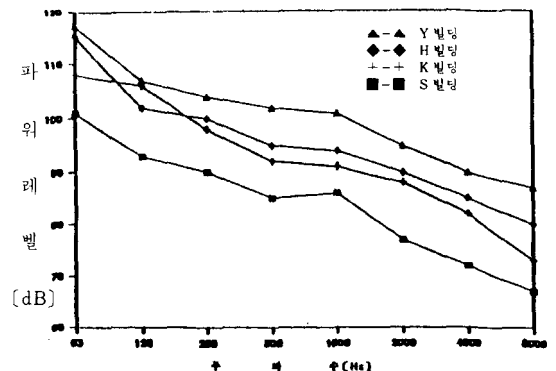
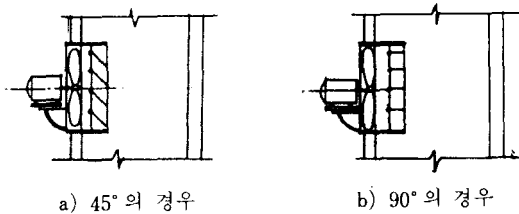


그림 6 송풍기의 파워레벨.



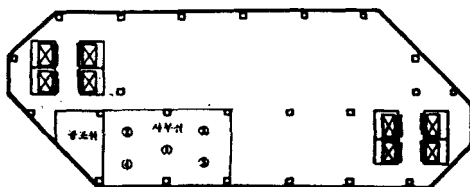
a) 45°의 경우

b) 90°의 경우

그림 4 배기팬의 댐퍼 열림각도 변경상태.



(a) K 빌딩



(b) H 빌딩

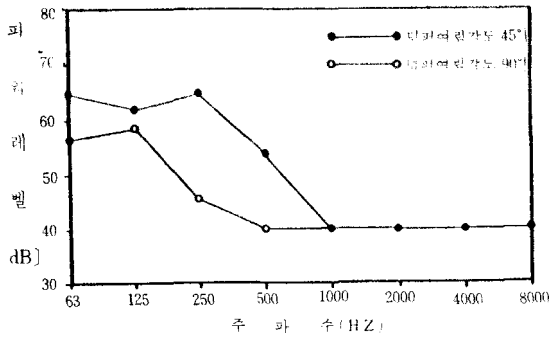


그림 7 배기팬의 댐퍼조정에 따른 발생소음레벨.

(2) 배기팬 댐퍼의 열림각도 영향

그림 7은 공조실 배기팬의 댐퍼 열림 각도 변경에 따른 발생소음레벨을 나타낸 것으로서 열림각도를 45°에서 90°로 변화시킴에 따라 500Hz이하의 저음역에서 주파수별로 3~19dB의 소음저감이 되고 있음을 알 수 있다.

2. 공조기 운전시의 실내소음레벨

(1) 실내 허용기준치와의 비교

그림 8은 공조운전시 각 건물의 실내소음레벨을 ISO기준치와 비교한 것이다. 각 건물의 실내소음레벨은 대체로 송풍기의 파워레벨과 비슷한 형태를 보이고 있으며 500Hz이하의 주파수대역에서 ISO의 실내허용기준치인 NR 40(대형사무실의 경우)을 대부분 초과하고 있어 저주파수 대역에서 공조설비 소음의 문제를 일으킬 우려가 있는 것으로 판단된다.

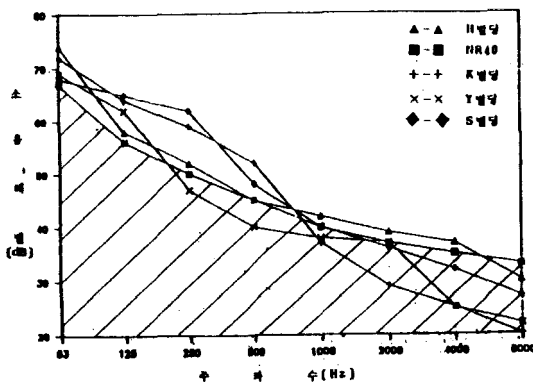


그림 8 각 건물의 공조운전시 실내소음레벨.

(2) 공조실 기기 운전조건에 따른 영향

공조실내의 기기별 운전조건의 변화에 따른 인접

사무실내 소음레벨은 그림 9의 같다. 송풍기와 리턴팬, 배기팬을 운전 중인 경우 예민. 송풍기만 운전 중인 경우와 배기팬을 운전 중의 경우 3~5dB 정도의 큰 차이는 보이지 않았다. 그러나 송풍기를 제외한 리턴팬과 배기팬을 운전한 경우에는 송풍기만 운전한 경우에 비해 2500Hz에서 최대 22dB, 전주파수대역에서 10dB이상 낮은 값을 나타내고 있어서 공조설비 선택의 우선순위는 송풍기임이 확인되었다.

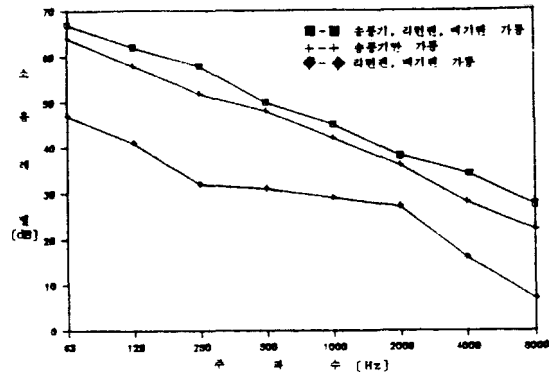


그림 9 공조실기기운전별 실내소음레벨.

(3) 취출구 위치변화에 따른 영향

그림 10은 S 건물의 주덕트 분기부로부터 6m, 12m, 18m 떨어진 취출구 부근에서 측정된 실내소음레벨을 나타낸 것이다. 주덕트와 취출구사이의 거리가 멀어질수록 소음레벨은 다소 감소되고 있으며, 1000Hz에서 최대 5dB 정도의 차이가 발생하고 있다. 이는 덕트의 거리증가에 따른 자연 감쇄량으로서 취출구 거리에 따른 실내소음레벨의 차이는 큰 차이를 것으로 판단된다.

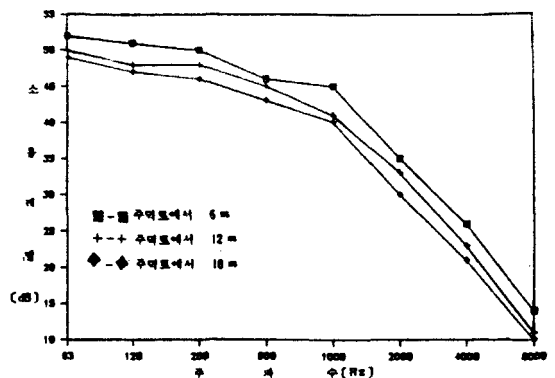


그림 10 취출구 위치별 실내소음레벨.

3. 소음기의 감음성능

(1) 흡음챔버의 감음효과

그림 11은 K건물에 설치되어 있는 공조실내 송풍기의 파워레벨과 흡음챔버 직후 출구쪽의 음향파워레벨을 나타내며 빗금친 부분은 흡음챔버설치에 따른 송풍기 파워레벨의 감음량을 표시한 것이다. 최저 63Hz에서 3dB, 최대 8000Hz에서 12dB의 감음량을 나타내며 전주파수 대역에서 비교적 고른 감음효과를 보이고 있다. 그림에서 이론치와 실측치가 다소의 차이를 보이고 있는 것은 현장조건과 이론적인 가정조건과의 차이 때문으로 판단된다.

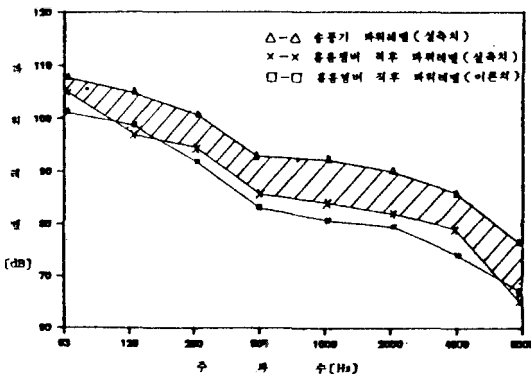
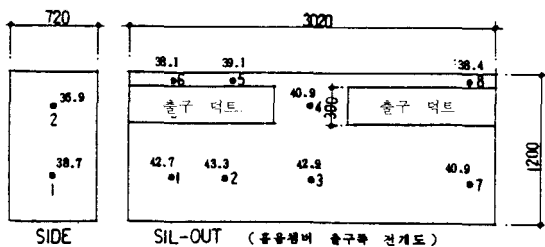
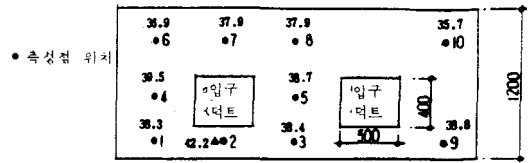


그림 11 흡음챔버 전후의 음향파워레벨.

그림 12는 흡음챔버 내부에서의 기류에 의한 소음 발생상태를 검토하기 위하여 챔버내의 각 측정점에서 실측한 상대음압레벨을 나타낸 것이다. 챔버입구쪽의 경우 측정점 2에서, 챔버출구쪽의 경우 측정점 1, 2, 3, 4, 7에서 다른 부위에 비해 높게 나타나며 주파수 분석결과, 이들 측정점에서는 5KHz ~ 15KHz의 주파수에서 큰 음이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 송풍기 토출구에서 나



a) 흡음챔버 출구쪽 전개도



SIL-IN (흡음챔버 입구쪽 전개도)

b) 흡음챔버 입구쪽 전개도

그림 12 흡음챔버내의 부위별 상대음압레벨.

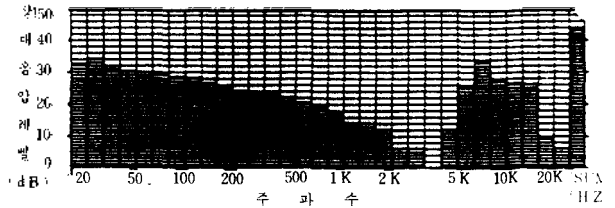


그림 13 흡음챔버출구(측정점 3)에서의 주파수별 상대음압레벨.

온 강한 기류가 출구쪽 흡음챔버 벽에 직접 충돌하여 발생한 것으로 판단된다. 공조소음에서 5KHz 이상의 음은 큰 문제가 되지 않으나 급후, 챔버 내부의 흡음처리 및 구조체 계획시 현재의 챔버내부 동일 흡음처리나 동일 구조체 설계방식보다는 챔버 출구쪽의 보강이 이루어 진다면 더욱 효과적인 감음이 예상된다.

(2) 사이드 브랜치의 감음효과

사이드 브랜치의 감음성능을 평가하기 위하여 K 건물의 송풍기와 흡음챔버의 연결부위에 73Hz에서 공명주파수를 갖는 사이드 브랜치를 설치하였다. 그림 14는 사이드 브랜치 설치전후의 사무실내 소음레벨을 나타낸 것이다. 현장조건과 이론가정의 상이함으로 인하여 이론계산 결과와 다소 차이는 있으나 대체로 공명주파수에 가까운 100Hz를 중심으로

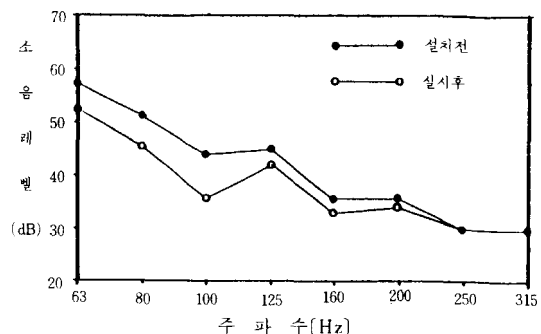


그림 14 사이드 브랜치 설치전후의 소음레벨.

감음효과가 나타나고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

사무소 건물의 공조설비소음 특성과악과 공조용 소음기(silencer)의 감음성능 평가를 위하여 이론고찰과 현장측정을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1)단일덕트 각종 공조방식을 채택하고 있는 대형 사무소 건물의 실내 공조설비소음레벨은 500Hz 이하의 저주파수 대역에서 ISO의 허용기준치인 NR 40을 대부분 초과하였으며 공조설비설계 단계에서의 적절한 방지대책의 고려가 요구된다.

(2)공조설비계통의 주요음원은 송풍기로서 저주파수대역으로 갈수록 높은 방사특성을 나타내며 배기팬의 발생소음은 댐퍼의 열림각도 변화에 따라 500 Hz 이하의 저음역에서 큰 차이가 발생한다. 이것은 저주파의 제어가 어려운 점을 감안하면 인접사무실에 많은 영향을 미치고 있음을 의미한다.

(3)주덕트와 취출구사이의 거리변화에 의한 소음저감량은 그 거리가 2~3배 증가함에 따라 주파수별로 5 dB이내의 차이를 보이지만 그 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

(4)흡음챔버는 넓은 대역에서 비교적 고른 감음효과를 기대할 수 있으며 챔버내 동일흡음처리, 동일구조체처리보다는 출구쪽의 구조체와 내부 흡음력을 보장할 경우 그 효과가 클 것으로 판단된다.

(5)사이드 브랜치의 감음효과는 실측결과, 대체로 이론 공명주파수에 가까운 100Hz를 중심으로 큰 감음효과를 나타냈으며, 부족한 감음량을 보완하기 위해서는 흡음챔버, 흡음 엘보우의 설치나 각기 다른 공명주파수를 갖는 사이드브랜치 추가설치가 필요하다.

앞으로 각 공조시스템별 소음에 대한 비교평가와 각종 소음기의 감음특성에 대한 지속적인 연구가 계속되어야 할 것이다.

1. 김석홍, 손장열, 김홍식 : 음향인텐시티법에 의한 공조설비 소음장치의 감음성능 평가에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제 6 호 p. p235~242, 1987. 4.
2. 김석홍, 손장열, 김홍식 : 흡음형 공조덕트 소음기의 감음성능 평가방법에 관한 연구, 대한건축 학회 학술발표논문집, 제 7 권 제 1 호, p. p 311~ 316, 1987. 4
3. L.-H. Young and M.J. Crocker: Acoustical Analysis, Testing, and Design of Flow-reversing Muffler Chambers, J. Acoust. Soc. Am., Vol 60, No5, pp.1111-1118, November, 1976.
4. R.D. Davis, G.M. Stokes, D. Moor and G.L. Stevens: Theoretical and Experimental Investigation of Mufflers with Comments on Engine Exhaust Muffler Design, NASA TN1192, 1954.
5. C.-H. Young and M.J. Crocker: Prediction of Transmission Loss in Mufflers by the Finite Element Method, J. Acoust. Soc. Am., Vol 57, pp. 144-148, 1975.
6. V. Ingard, A. Oppenheim and M. Hirschorn: Noise Generation in Ducts, ASHRAE TRANSACTIONS, Vol.74, Part1, 1968 PV3.1.
7. M.A. Lgbal, T.K. Willson and R.J. Thomas: The Control of Noise in Ventilation Systems, E&F N. Spon Ltd., London, pp.11~25, 1977.
8. Cyril M. Harris: Hand book of Noise Control, McGraw Hill Book Company, New York, 1979.
9. ASTM E477: Standard Method of Testing Duct Line Materials and Prefabricated Silencers for Acoustical and Airflow performance, ASTM, pp.998-1006, 1980.
10. ISO 1996/1-1982(E), Acoustics-Description and Measurement of Environmental Noise-, Part1, International Organization for Standardization, 1982.

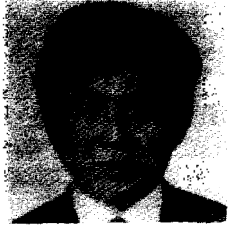
▲도 영 주

1964년 1월 25일생

• 1986년 2월 선양대학교 건축공학과 졸업

• 1989년 2월 한양대학교 대학원 건축공학과졸업

▲김 동 규 (정회원)



1947년 6월 3일생
 1974년 2월 조선대학교 기계공학과 졸업
 1973년 11월 - 1977년 2월 삼양타이어(주) 근무
 1977년 2월 - 1983년 3월 조선대학교 병설 공업전문대학 조교수
 1984년 5월 - 1986년 4월 미국 미시간대학 해외 단기연수
 1983년 3월 - 현재 조선대학교 우주공학과 조교수

▲김 홍 식 (정회원)



1958년 11월 29일생 12
 1981년 2월 한양대학교 건축공학과 졸업 (공학사)
 1983년 2월 한양대학교 대학원 건축공학과 졸업 (공학석사)
 1986년 8월 한양대학교 대학원 건축공학과 졸업 (공학박사)
 1987년 3월 ~ 현재 한양대학교, 서울시립대학교 강사
 1988년 10월 ~ 현재 대한주택공사 주택연구소 선임연구원