

천장형 시스템 에어컨의 음향 특성

Acoustical Characteristics of System Air Conditioners Installed in the Ceiling

김수연† · 유진* · 전진용**

Kim Su Yeon, You Jin, Jeon Jin Yong

Key Words : Air Conditioning Noise, Ceiling System, Intensity, Autocorrelation Function, Power Density Spectrum

ABSTRACT

In this study acoustical characteristics of system air conditioner in different ceiling systems was investigated in anechoic and real conditions. Same Types of air conditioners were installed in two different rooms. The results showed that motor's tonal component was emphasized at near part of air blast blower in the exposed type while fan's harmonic component is emphasized rather in the enclosed type. This confirms the result of acoustical intensity mapping which showed that intensity level of 125Hz octave band increased in the exposed type while there was no noticeable difference at the frequency band in the enclosed type.

1. 서론

시스템 에어컨은 한 대의 실외기에 다수의 실내기를 냉매배관으로 연결하는 냉난방 시스템이다. 일반 가정용 에어컨이 건물 완성 후 설치하는 냉방방식이라면 시스템 에어컨은 건물 설계 시 반영되는 공조시스템이다. 이는 천장형 벽걸이형, 코너형 등이 있으며 실내 공간에 따라 여러 종류의 실내기를 조합해서 설치할 수도 있어 인테리어 비중이 커지는 최근 건물에 다수 설치되고 있는 추세이다.

본 연구에서는 음향 인텐시티 측정을 통해 천장에 설치된 시스템 에어컨 소음의 주파수별 특성을 살펴보고, 실제 소음원과 무향실 음원을 ACF 분석[1]을 통하여 서로 다른 환경에 설치된 동일한 에어컨 소음의 차이를 규명하고자 하였다.

2. 측정 개요

동일한 기기도 서로 다른 실내 환경에 놓이면 음향 특성이 상이하다는 사실은 일반적으로 잘 알려져 있다. 본 연구에서는 최근 일반 사무실과 중고등학교 교실 등에 설치되

는 천장형 시스템 에어컨을 대상으로 설치 환경에 따른 소음특성 차이를 조사하였다. 설치 환경은 에어컨 전체가 콘크리트 면에 노출된 경우와 판넬만 천장 밖을 향하고 본체는 천장 내부에 매입된 경우의 두 개 교실에서 소음방사특성을 비교하였다.

2.1 소음 특성

일반적으로 에어컨 소음은 그림 2.1과 같이 모터에 의해 발생하는 전원주파수의 2배, 즉 120Hz와 그 이상의 고조파(harmonics)에 해당하는 tonal 성분과 송풍소음을 구성하는 Fan의 회전예에 의한 고조파들로 구성된다. 천장 설치 용도의 A사 시스템 에어컨은 95cm x 95cm 정방형의 4HP 용량이며 현재 우리나라 중고등학교 교실에 공급되는 천장형 시스템 에어컨이다. 이 타입의 에어컨은 무향실에서 120Hz tonal 성분의 peak가 뚜렷이 나타난다. 또한 강풍과 약풍 각각 팬의 속도에 따라 84Hz, 71Hz에서 peak가 존재하며 그의 배수에 따르는 고조파 성분이 나타나기도 한다.

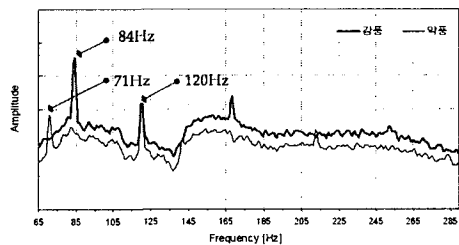


Fig. 2.1 풍량 모드에 따른 소음 스펙트럼

† 한양대학교 건축공학과 대학원
E-mail : monetsy@hotmail.com
Tel : (02) 2220-1735 Fax : (02) 2291-1733

* 한양대학교 건축공학과 대학원
** 한양대학교 건축공학과 부교수

2.2 천장 설치 구조

에어컨이 설치된 두 가지 다른 환경에 대하여 음향적 특성을 분석하기 위해 서울에 위치한 B 중학교의 교실을 대상으로 실험을 진행하였다. 실험 대상으로 선정된 교실은 한 제조사의 동일한 마력수 4-way 시스템 에어컨이 설치되어 있다. 그림 2.2와 같이 시스템 에어컨이 콘크리트 면 위에 완전히 노출된 경우가 있으며 또한 다른 교실은 그림 2.3과 같이 천장 텍스 안에 매입되어 있는 형태를 보였다.

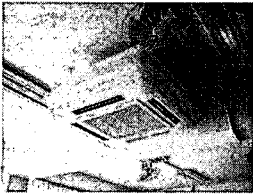


Fig. 2.2 천장 노출형

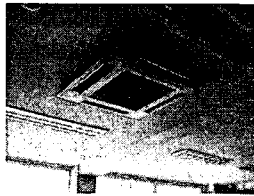


Fig. 2.3 천장 매입형

3. 음향 인텐시티

각 설치 조건에서 에어컨의 소음 방사특성을 조사하기 위해 음향 인텐시티를 측정하였다. 음향 인텐시티는 단위 면적당 방사되는 음향 에너지를 나타내는 척도로서 소음의 방사 특성을 조사하고 소음원인을 구체적으로 파악하는데 활용되며 정의는 식(1)과 같다[5].

$$I = \overline{p(t) \cdot v(t)} [W/m^2] \quad \dots \dots (1)$$

$p = \text{instantaneous pressure}$
 $v = \text{instantaneous particle velocity}$

음향 인텐시티는 공간 내부 음장에 관계없이 측정할 수 있으며 크기와 방향을 측정한다. 그림 3.1에 천장으로부터 바닥방향으로 방사되는 음향 인텐시티를 도식도에 따라 조사하여 소음 분포 특성을 주파수 대역별로 나타내었다.

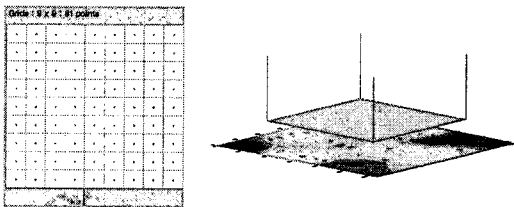


Fig. 3.1 인텐시티 측정 도식도

그림 3.1과 같이 95cm x 95cm 에어컨에 대해 16cm 격자 간격으로 81개의 측정 지점에서 음향 인텐시티 값을 샘플링 하였다. 1)무향실 2)천장 노출형 3)천장 매입형에 대해 각각의 환경에서 측정된 결과는 그림 3.2와 같다.

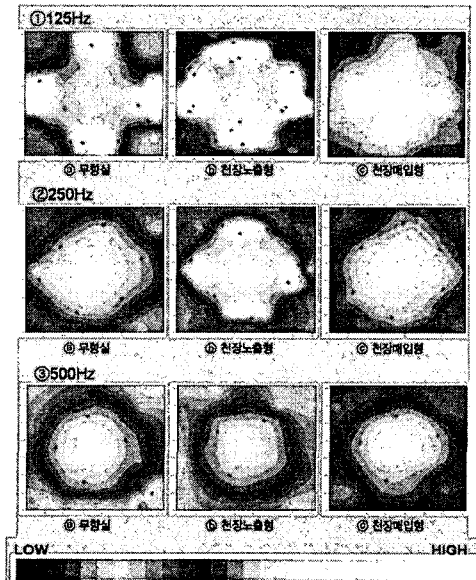


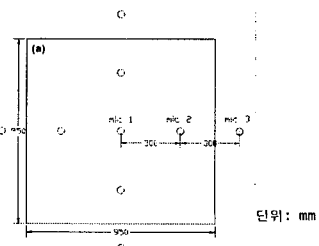
Fig. 3.2 천장 설치 구조에 따른 옥타브 인텐시티 변화(125Hz-500Hz)

그림 3.2에서와 같이 무향실에서의 음향 인텐시티는 125Hz 저주파 대역이 바람의 토출구 부근에서 강하게 나타나고 중고주파로 갈수록 인텐시티가 에어컨 중앙부를 중심으로 높은 인텐시티 분포 특성이 나타났다. 에어컨이 노출되었을 때는 저주파 대역 성분이 토출구에서 더욱 강조되고 무향실에서는 뚜렷하게 나타나지 않았던 250Hz 인텐시티가 증가하였다. 반면 에어컨이 천장에 매입되었을 때 토출구 부근의 125Hz 대역 특성은 약화되었으며 250Hz 대역에서는 무향실과 유사한 경향의 분포 특성이 나타났다.

4. 소음원 분석 및 비교

4.1 대표 음원의 선정

먼저 에어컨 소음을 대표할 수 있는 지점을 사람이 소리를 듣는 위치에서 고려되도록 그림 4.1의 (a)와 같이 무향실에서 중앙점(mic 1)과 이로부터 토출구 수직 방향 4-way에 대해 30, 60cm 떨어진 지점(mic 2, mic 3)에서 대표 음원을 수집하였다. 마이크로폰의 수직 높이는 에어컨 판넬로부터 50cm 아래로 하였다.



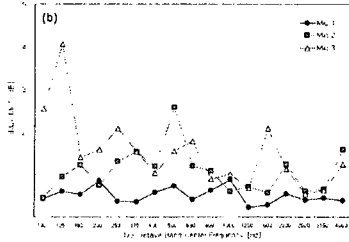


Fig 4.1 대표 음원 수집 지점 선정 Process (a) 4-way 레벨 편차 측정 실험 도식도 (b) 마이크 위치별 편차 [Max-Min]

그림 4.1의 (b)와 같이 mic 1 위치에서 4회 수집한 음원과 mic 2, mic 3 위치 각 4개소 음원에 대해 위치별 편차 [최대값(Max)-최소값(Min)]을 주파수 대역별로 비교하였다. mic 1 위치에서의 편차는 1dB 이내로 나타난 반면 mic 2, mic 3 위치에서는 편차가 상대적으로 크게 나타났으며 특히 mic 3 위치에서는 125Hz 대역에서 토출구 네 방향에 대해 4dB의 편차가 나타났다. 따라서 서로 다른 실환경에서 음원을 수집하여 비교하기 위해서 편차가 적은 중앙점을 선정하였으며 마이크폰의 높이는 실환경에서의 청감 위치를 고려하여 에어컨 판넬로부터 1.5m로 계획하고 실환경 측정을 실시하였다. 일반적인 교실 천장의 높이는 2.7-3.0m 사이이다[6].

4.2 스펙트럼 분석

Autocorrelation Function(이하 ACF)은 식(2)의 Power density spectrum(이하 PDS)에 대해 inverse fourier transform을 취한 값으로 ACF는 식(3)과 같다[1]. ACF 분석 모델은 그림 4.2와 같다.

$$P_d(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_p(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \dots (2)$$

$$\Phi_p(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \dots (3)$$

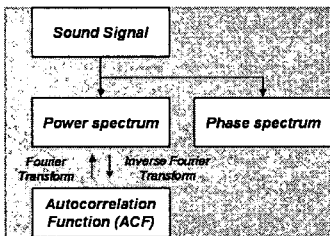


Fig. 4.2 Autocorrelation Function 분석 모델

일반적으로 주파수 분석에 활용되는 PDS에 비해 ACF를 통하여 소음원의 물리적인 구조를 보다 쉽게 살펴볼 수 있다. ACF는 소음원의 주요 주파수 성분과 관련된 정보를 fluctuation을 통해 보여준다. ACF 그래프에서 지연 시간(delay time) 0 이후에 peak가 나타나는 지점(시간, ms)의 역수($f=1/t$)는 해당 소음원이 가지고 있는 기본 주파수(fundamental frequency)나 음의 높이(pitch)를 의미하며, 성분이 1에 가까울수록 특정 주파수 성분이 강하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 무향실, 천장 노출형, 천장 매입형의 각 대표 수집 음원에 대해 PDS와 ACF 분석을 각각 실시하였으며 에어컨의 강풍과 약풍 소음을 비교해 보았다.

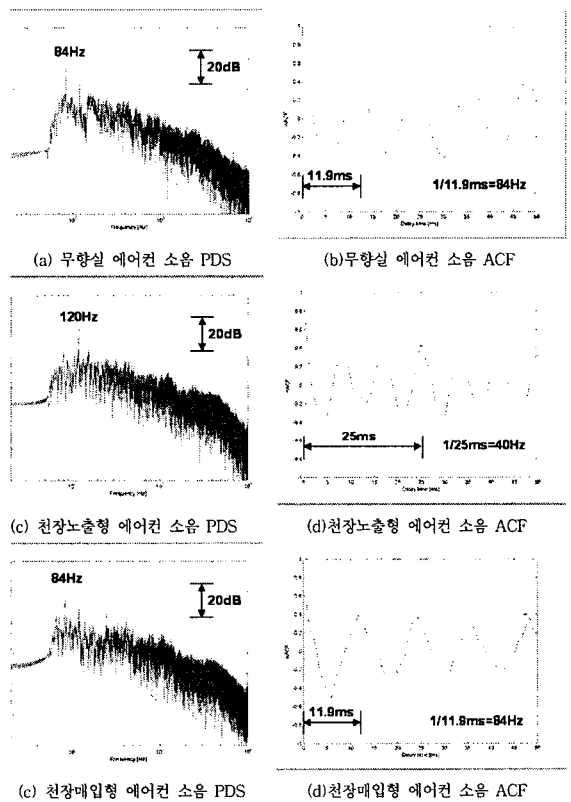


Fig. 4.3 에어컨 강풍 소음의 PDS와 ACF

에어컨 강풍 소음에 대해 그림 4.3과 같이 PDS와 ACF가 나타났다. 강풍 소음은 무향실 음원에 대해 84Hz의 fundamental 성분이 강한 반면 천장에 노출 설치되었을 때는 120Hz의 tonal 성분이 강조되어 나타났다. 무향실 ACF에서는 그림 4.3의 (b)와 같이 소음의 주요 성분이 84Hz로 나타난 반면 천장 노출형 ACF에서는 40Hz가 검출되었는데 이는 120Hz의 missing fundamental이라 할 수 있다[1]. 즉, 천장에 노출되어 설치된 에어컨은 motor의 tonal성분이 드

러나는 것으로 사료된다. 한편 천장에 매입된 에어컨에 대해서는 무향실과 유사하게 나타났는데 ACF를 살펴보면 무향실과 천장 매입형 모두 동일한 지연 시간에서 peak값이 나타나지만 파형은 약간 변조되어 나타나고 있는 것이 발견되었다.

나타났다. 또한 강풍의 천장 매입형 ACF와 약풍의 천장 매입형 ACF는 기본 주파수 값의 차이를 제외하고는 매우 유사한 경향을 나타낸다. 즉, 천장 매입형에 대해서는 강풍과 약풍 소음 모두 120Hz의 tonal 성분은 감소하고 팬 소음의 특성이 강조되었다.

5. 결론 및 향후 방향

천장 구조가 다른 상황에서 설치된 시스템 에어컨의 특성은 각각 다르게 나타났다. 음향 인텐시티 분포를 통해 노출형일 때 125Hz 주파수 대역이 강조된 반면, 매입형일 때는 뚜렷한 특정 주파수 대역성분의 레벨 증가가 나타나지 않았다. 음원 분석 결과 인텐시티 분포 특성과 유사하게 나타났는데 노출형에서는 에어컨 내부 모터에 의한 120Hz tonal 성분이 주변의 콘크리트 벽면 증가되었다. 매입형에서는 천장 흡음 텍스의 영향으로 감소되고 팬소음이 상대적으로 증가하였다.

본 연구 결과를 통해 시스템 에어컨의 서로 다른 설치 환경이 소음 특성을 변화시키는 현상을 물리적으로 검증해볼 수 있었다. 추후 이와 같은 물리적인 특성의 차이가 청감적인 차이를 불러일으키는지에 관해 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) J.J. Sendra, Computational Acoustics in Architecture, WIT PRESS, 1999, pp. 63-69
- (2) William M. Hartmann, Signals, Sound, and Sensation, AIP PRESS, 1997
- (3) M.P. Norton, Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers, Cambridge University Press, 1994
- (4) Leo L. Beranek, Noise and vibration control Engineering, Principles and applications, A Wiley - interscience publication, 1992
- (5) F.J. Fahy, Sound Intensity, second edition, E&FN SPON, 1995
- (6) 신원식, 한규영, 초,중등학교 교실의 적정 천장 높이의 건축계획에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제 23 권 제2호 pp.167-170, 2003.10

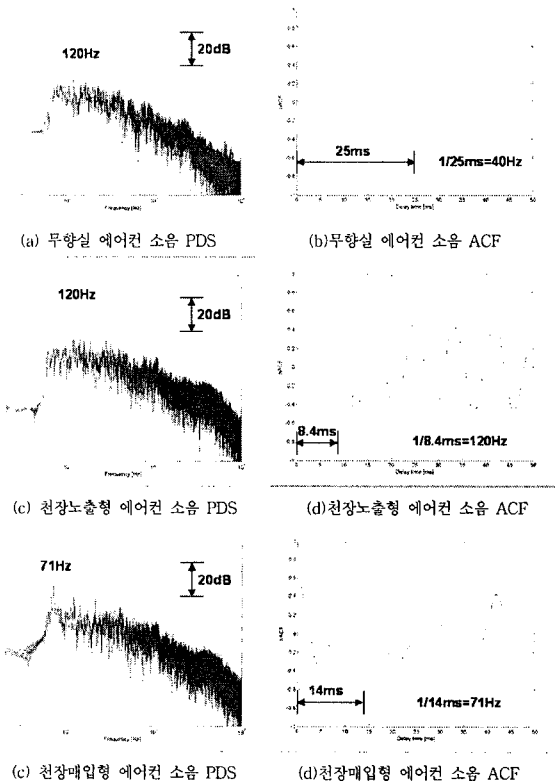


Fig. 4.4 에어컨 약풍 소음의 PDS와 ACF

에어컨 소음 약풍에 대해서도 그림 4.4와 같은 결과가 나타났다. 약풍 소음은 무향실에서 120Hz 성분이 PDS에서 가장 강하게 나타났으나 ACF에서는 뚜렷한 파형이 나타나지 않아 정도가 강하지 않음을 알 수 있다. 그러나 천장 노출형에 대해서는 120Hz 성분이 무향실에서보다 나타나 PDS에서의 peak레벨도 증가하고 ACF의 peak값도 1에 가까워 짐을 볼 수 있다. 그러나 천장매입형에 대해서는 강풍과 마찬가지로 PDS와 ACF에서 기본주파수인 71Hz가 가장 크게