

천장형 에어컨 소음의 허용 음압레벨 도출

Allowable sound pressure levels of ceiling mounted air-conditioning sounds

유 진[†] · 정충일* · 전진용**

Jin You, Choong Il Jeong, Jin Yong Jeon

Key Words : 허용음압레벨 (Allowable sound pressure level), 천장형 에어컨 (Ceiling mounted air-conditioning unit), 에어컨 소음 (Air-conditioning sound), 음질 (Sound quality)

ABSTRACT

Noises from ceiling mounted air-conditioning units were recorded in various actual situations such as offices, classrooms and libraries. Eight specimens of air-conditioners from major domestic and foreign manufacturers' were investigated in this study. A head and torso simulator was located 1.5 m beneath the air-conditioner panel for the measurements and sound pressure levels of the recording sounds were varied from 28 to 55 dBA with 3 dB steps for subjective evaluations. A total of 88 stimuli was randomly presented to subjects using a headphone system in semi-anechoic chamber. Two-categorized (noisiness and amenity) nine-point scale was used as evaluation method. The third scale ('point 3') among the nine-point scale was set as the threshold of allowable level of the air-conditioning sounds in consideration of the real situations. The results indicate that the allowable sound pressure level is around 34 dBA for both noisiness and amenity categories.

1. 서 론

계절에 관계없이 건물 내부의 에어컨디셔닝이 필수되어가고 있다. 특히 천장형 에어컨 시스템은 스탠드형에 비해 상대적으로 공간 효율과 냉방 성능이 좋기 때문에 소·중규모 사무실, 교실, 도서실 등 다양한 실내 공간에서 사용되고 있다. 그러나 에어컨의 사용은 실내 환경에 쾌적함이라는 이점 외에 소음이라는 문제점을 수반하며, 과도한 소음레벨에 의한 불만족 호소 사례가 최근 다수 보고되고 있다. 이에 따라 에어컨 소음의 저감과 음질 개선에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

특히 에어컨 소음의 효율적 저감을 위해 소음에 대한 사용자의 주관적 반응을 고찰하는 연구가 큰 비중을 차지하고 있으며, Zwicker parameter⁽¹⁾ 등의 음질요소와 주관적 반응의 상관도 조사연구가 활발하다. 에어컨 시

스템의 적용이 사무소 환경을 중심으로 시작되었기 때문에 사무환경에서 발생하는 공조 소음에 대한 주관적인 반응 조사 연구가 진행되었다. 소음을 표현하는 여러 요소 중에서 90% 백분율 레벨(L_{A90})과 라우드니스⁽¹⁾가 주관적인 annoyance를 가장 잘 설명하는 것으로 알려져 있으며⁽²⁾, 사무환경뿐만 아니라 공동주택 등의 주거환경에서도 실내 에어컨 소음에 대한 loudness 및 annoyance를 설명하는 데에 라우드니스가 가장 적합한 요소인 것으로 나타났다⁽³⁾. 따라서 에어컨 소음을 평가함에 있어서 소음의 크기 또는 라우드니스가 주요 영향요소임을 알 수 있으나 에어컨의 실제 사용환경에서 어느 수준까지 소음레벨이 저감되어야 하는 지에 대한 연구는 미미한 실정이다. 냉장고 소음 등 타 기기소음의 경우 실제 사용환경에서 허용가능 음압레벨 (allowable sound pressure level)에 대한 연구⁽⁴⁾가 진행된 바 있어서 소음 저감 목표량의 설정이 용이하나 에어컨의 경우 소음 저감 목표량뿐만 아니라 음질 개선 기준을 판단하기 어려운 상황이다.

이에 본 연구에서는 에어컨의 대표적인 실제 사용환경으로 사료되는 사무실, 강의실, 도서실 및 컴퓨터실 등 다양

† 한양대학교 건축환경공학과, 박사과정
E-mail : jinyou.willow@gmail.com
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2220-4794

* 한양대학교 건축환경공학과, 석사과정

** 한양대학교 건축대학 교수

한 조건에서 천장형 에어컨 소음을 녹음한 후 실험실 조건에서 주관적 평가를 진행하여 허용가능 음압레벨을 도출하였다.

2. 음향 특성분석

2.1 에어컨 소음 측정

S대학의 도서실, H대학의 강의실, 도서실 및 컴퓨터실과 S사 사무실 등 8개 공간에 설치된 7kW와 10kW 용량 각 4개씩의 에어컨 시료를 연구에 활용하였다. 8개의 에어컨 시료 중 4개는 국내 제조사의 제품이며, 3개는 일본 그리고 1개는 미국 제조사의 에어컨이다. 모든 에어컨은 설치된 지 2년 이내였다.

소음의 측정은 Head and Torso Simulator (HATS, B&K Type 4100)를 사용하였으며, 그림 1과 같이 에어컨 흡기패널로부터 하방 1.5m에 HATS의 귀가 위치하도록 하였다. HATS의 귀는 측정환경에 따라 바닥면으로부터 약 1.2~1.5m 높이에 위치되었다. 에어컨 풍속의 fast와 slow모드 각각에 대하여 20분 이상 녹음을 진행하였으며, 본 연구에서는 fast 모드 음원 중 stationary한 특성을 보이는 부분을 4초씩 샘플링하여 분석을 진행하였다.



Fig. 1 Recording position of air-conditioning sound

2.2 에어컨 소음 분석

에어컨 소음의 측정이 진행된 각 공간의 건축음향 특성은 표 1과 같다. 표 1에서 실 1-4는 7kW 용량, 실 5-8은 10kW 용량의 에어컨이 설치된 공간을 나타내며, 홀수는 국내 제품, 짝수는 국외 제품을 나타낸다. 표 1에서 RT는 잔향시간, EDT는 초기감쇠시간을 나타내며, C80는 공간에서 소리의 평료도를 나타낸다. RT와 EDT는 500Hz와 1kHz 대역의 평균값이며, C80은 500Hz,

1kHz 및 2kHz 대역의 평균값을 나타낸다.

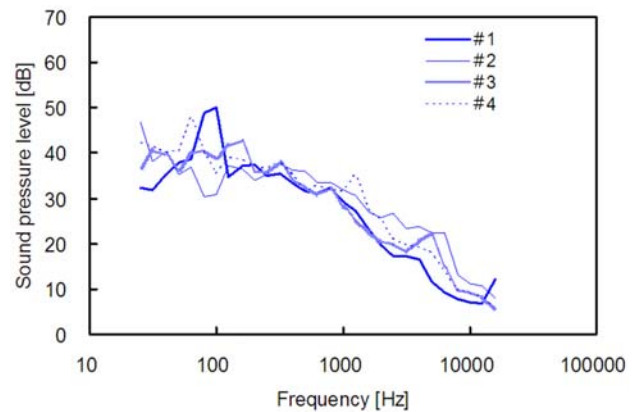
Table 1 Acoustical characteristics of measurement rooms

Room	RT [s]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]
1	0.7	0.8	6.1
2	1.6	1.3	3.2
3	0.4	0.4	11.9
4	0.6	0.6	7.4
5	1.5	1.4	1.0
6	0.6	0.6	6.4
7	0.5	0.5	9.4
8	1.6	1.3	3.2

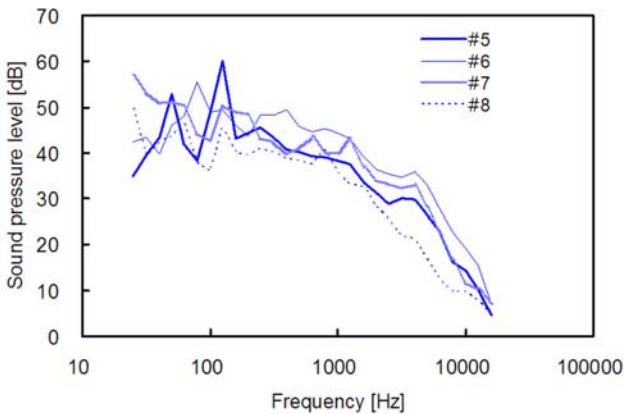
각 에어컨 음원의 음질요소 및 음압레벨 분석결과는 표 2와 같으며, 그림 2는 음압레벨의 주파수 대역별 특성을 나타낸다. 표 1과 같이 실제 사용환경에서 에어컨 소음 수준은 약 40~53dBA의 분포를 보이고 있으며, 에어컨 용량이 7kW에서 10kW로 증가함에 따라 약 7dB 이상의 평균 음압레벨 차이를 나타내고 있다.

Table 2 Sound quality and sound pressure level of air-conditioning sounds

Sound	Loudness [sone]	Sharpness [acum]	Roughness [asper]	Fluctuation strength [vacil]	SPL [dBA]
#1	3.62	1.09	1.46	0.90	41.7
#2	3.30	1.15	1.63	0.85	39.8
#3	3.73	1.30	1.48	1.11	41.6
#4	3.19	0.85	1.04	0.61	40.0
#5	4.73	1.02	1.53	0.97	45.5
#6	7.01	1.16	1.50	1.04	49.0
#7	9.28	1.33	1.52	1.15	53.2
#8	7.36	1.26	1.61	1.28	50.2



(a) 7kW



(b) 10kW

Fig. 2 Sound pressure level spectrum of air-conditioning sounds

3. 주관적 평가

3.1 실험 설계

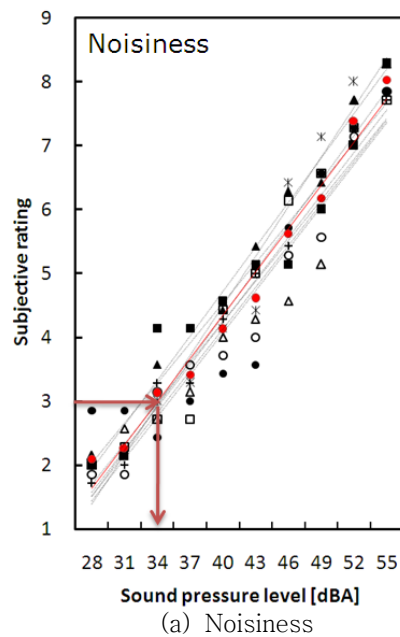
2장에서 언급한 8개의 에어컨 소음원에 대해 모두 동일하게 28-55dBA의 값을 갖도록 3dB 간격으로 음압레벨을 조정하였다. 따라서 각 에어컨 종류별로 11개의 음원이 제작되었으며, 총 88개의 실험음원이 완성되었다. 청감실험은 4초의 길이를 갖는 각 88개의 실험음원을 기기소음 청감평가 경험이 있는 8명의 피실험자에게 헤드폰을 통해 무작위로 제시하는 방식으로 진행되었으며, 피실험자는 표 3과 같은 2-Category & 9-point scale 법(4)의 평가지를 사용하여 각 실험음원을 평가하였다. 표 3과 같이 ‘소음의 크기’와 ‘쾌적성’의 두 항목에 대해 각 9점 척도로 평가하는 방식이다. 실험 전에 1-9점 중 3점 수준을 허용가능수준으로 설정하고 음압레벨별 소음원을 충분히 들려주어 실험에 적응할 수 있도록 하였다.

Table 3 2-Category & 9-point scale

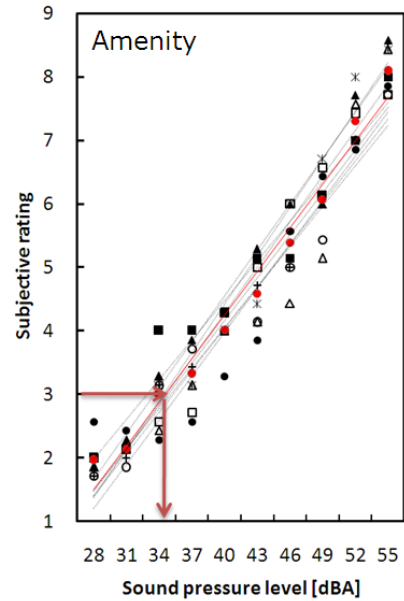
Annoyance group	Subjective magnitude	Noisiness	Amenity
Not annoying	1	Nothing perceivable	Excellent
	2	Hardly perceivable	Very fine
	3	Far-off noise	Good
Annoying	4	Slightly heard	Controllable
	5	Heard	Endurable
	6	Clearly heard	Yielding
Very annoying	7	Noisy	Unbearable
	8	Very noisy	Intolerable
	9	Extremely noisy	Let's move out

3.2 실험 결과

‘소음의 크기’와 ‘쾌적성’항목으로 구분한 주관적 허용 음압레벨 실험결과는 그림 3과 같다. ‘소음의 크기’항목의 경우 허용가능수준인 3수준으로 평가된 실험음원들의 평균값이 약 34dBA로 나타났고, ‘쾌적성’항목의 경우 약 35dBA로 나타났다. 따라서 천장형 에어컨 소음에 대한 주관적 허용가능레벨은 약 34-35dBA로 판단할 수 있으며, 실제 에어컨 소음수준이 40-53dBA인 것을 고려할 때 약 6-18dB의 소음저감이 반드시 필요할 것으로 사료된다.



(a) Noisiness



(b) Amenity

Fig. 3 Subjective allowable level of air-conditioning sounds

또한 그림 3의 결과와 같이 동일한 음압레벨을 갖는 서로 다른 에어컨 시료의 소음원에 대해 주관적 평가 (Subjective magnitude)가 최대 2 point까지 차이가 나는 것으로 나타났다. 이것은 에어컨 제조사와 종류의 차이에 따른 음질 차이가 주요원인으로 판단되며, 보다 세밀한 음질분석 및 고찰을 통해 원인 규명이 이루어져야 한다.

4. 결론 및 향후 진행방향

현대사회의 실내공간에서 필수적인 공조기기가 되고 있는 에어컨, 특히 천장형 에어컨 유닛의 소음레벨을 측정하고, 에어컨 소음에 대한 허용소음레벨을 조사하였다. 국내·외 주요 제조사의 제품 8개를 활용하여 실제 사용환경에서 소음수준을 조사하고 주관적 평가를 진행한 결과 약 34-35dBA의 주관적 허용음압레벨이 도출되었고, 약 6-18dB의 소음레벨 저감이 이루어져야 허용수준에 도달할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 에어컨 사용자의 만족도 개선을 위해서 현재 생산되는 에어컨의 소음수준이 낮아져야 하며, 본 연구에서 그 구체적인 저감량을 결과물로서 제시하였다. 향후 주관적 평가에 참여한 피실험자 수의 추가 확보를 통해 결과의 신뢰도를 높이고자 한다.

본 연구에서 천장형 에어컨 소음의 허용가능 음압레벨과 평가 개선을 위한 소음 저감량을 제시하고 있으나, 단순한 소음레벨 저감만으로는 효율적인 제품 품질 개선이 어렵기 때문에 반드시 음질 개선에 대한 고찰이 이루어져야 한다. 따라서 본 연구 결과를 활용하여 향후 에어컨 소음의 최소 음질 개선량이 도출되어야 한다.

참 고 문 헌

- (1) Zwicker E. and Fastl H., 1999, *Psychoacoustics : Facts and Models*, Springer.
- (2) Ayr U., Cirillo E. and Martellotta F., 2001, "An experimental study on noise indices in air-conditioned offices," *Applied Acoustics* 62, pp. 633-643.
- (3) Tang S. K. and Wong M. Y., 2004, "On noise indices for domestic air conditioners", *Journal of Sound and Vibration* 274(1), pp. 1-12.
- (4) Jeon J. Y., You J. and Chang H. Y., 2007, "Sound radiation and sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments", *Applied Acoustics* 68, pp. 1118-1134.
- (5) Susini P., McAdams S., Winsberg S., Perry I., Vieillard S. and Rodet X., 2004, "Characterizing the sound

quality of air-conditioning noise", *Applied Acoustics* 65, pp. 763-790.

(6) Lee J., Lee J. and Joo J., 2005, "Propose tonal noise evaluation method for air-conditioner based on customer's sensory evaluation", *Proceedings of Korea Society for Noise and Vibration Engineering* 2005, pp.154-157

(7) Bradley J. S., 1978, "Disturbance caused by residential air conditioner noise", *J. Acoust. Soc. Am.* 93, pp. 1978-1985.

(8) Ko N. W. M., Ho W. F. and Un W. K., 1978, "Responses to air-conditioning system noise", *Journal of Sound and Vibration* 57, pp. 595-602.

(9) Lyon R. H., 2004, "Product sound quality-From design to perception", *Proceedings of inter-noise 2004*.

(10) Kyncl L. and Jiricek O., 2001, "Psychoacoustic product sound quality evaluation", *Proceedings of the ICA, Rome*, pp. 90.

(11) Vorlander M., 2005, "Engineering acoustics meets annoyance evaluation", *Proceedings of inter-noise 2005*.