

에어컨 소음의 Sound Quality 평가

Evaluation of Sound Quality of Air-conditioning Noise

전진용* · 유진* · 김수연*

Jin Yong Jeon, Jin You and Su Yeon Kim

(2006년 3월 21일 접수 ; 2006년 4월 28일 심사완료)

Key Words : Sound Quality(음질), Air-conditioning Noise(에어컨 소음), Refreshing Sensation(청량감)

ABSTRACT

Noise from air-conditioner system installed in the ceiling of a classroom was evaluated to investigate the sound quality of air-conditioning noise. Harmonics of air-conditioning noise were removed and the sound pressure levels of the frequency bands from 250 ~ 630 Hz were changed to control sound quality. Evaluation for refreshing sensation was conducted using a paired comparison method and the results showed that noise without harmonics were preferred to noise with harmonics. The noises which have larger level increases to the unchanged noise at 250 ~ 630 Hz were evaluated better in both of the noises with and without harmonics. Results of multiple regression analysis on psychoacoustic parameters and subjective preferences showed sharpness as a major affecting factor in describing the refreshing aspect of air-conditioning sound.

1. 서 론

최근 쾌적한 주거, 교육 및 사무환경에 대한 관심이 높아지면서 에어컨 보급이 확산되었고 이제 에어컨이 실내공간에서 필수적인 기기가 되어가고 있다. 에어컨디셔닝 시스템은 여름 등 더운 계절에 서늘한 실내 온도를 유지하기 위한 수단으로서 뿐만 아니라 공조 덕트를 이용한 환기방식을 사용하는 대부분의 고층 사무소 건물이나 정온한 실내 환경이 요구되는 건물 등에서 공조 시스템과 연계하여 필수적인 실내 환경 유지 수단으로 사용되고 있다.

그러나 에어컨의 사용은 실내 환경에 쾌적함이라는 이점 외에 소음이라는 문제점을 가져왔다. 사무소 건물의 중역 회의실이나 중, 고등학교 교실환경 및 주거환경의 침실 등에 설치된 에어컨에서 발생하

는 소음 때문에 불만족을 호소하는 사례가 보고되고 있으며, 에어컨 소음 저감을 위한 연구 역시 생산자와 관련 연구소를 중심으로 진행되고 있다.

Ayr⁽¹⁾ 등은 에어컨디셔닝 시스템이 적용된 사무실 환경에서 발생하는 공조 소음에 대한 주관적인 반응을 조사하였는데, 소음을 표현하는 여러 요소 중에서 90% 백분율 레벨(L_{A90})과 라우드니스(Zwicker's loudness⁽²⁾)가 주관적인 annoyance를 가장 잘 설명한다는 결과를 발표하였다. Tang과 Wong⁽³⁾은 공동주택 실내에 설치된 에어컨 소음에 대한 loudness, annoyance 및 preference 등의 주관적인 반응을 조사하였는데, loudness 및 annoyance를 설명하는데에 라우드니스가 가장 적합한 요소임을 밝혀내었고, 주관적 preference의 경우에도 라우드니스 및 L_{A90}이 적합한 요소임을 밝혀내었다.

Tang의 연구에서 사용된 에어컨 소음의 경우 Ayr의 연구에서 사용된 에어컨 소음에 비해 음질 요소들의 레벨이 고르게 분포하는 음원을 사용한 점 등이 개선되었으나, Ayr와 Tang 모두 주관적

* 책임저자; 정희원, 한양대학교 전속대학
E-mail : jyjeon@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793
* 정희원, 한양대학교

preference를 평가함에 있어서 주관적 loudness 평가에 사용한 어휘들(very loud 등)과 차이를 갖는다고 보기 어려운 어휘들(less loud 등)을 사용한 한계점이 나타난다.

에어컨 소음의 주관적인 preference를 평가하기 위해서는 Susini⁽⁴⁾ 등의 연구와 같이 쌍대비교법(paired comparison method)를 사용하는 것이 더 효과적일 것으로 사료된다. Susini의 연구결과 역시 라우드니스가 주관적 preference를 잘 설명하는 음질 요소라고 설명하는데, 에어컨의 실제 사용환경이 아닌 무향실에서 반사판을 설치하고 측정된 음원을 사용한 한계점을 갖는다.

소음에 대한 청감적인 불만족도를 나타내는 annoyance 및 preference 반응에 대해 기존 연구 결과들은 대부분 소음의 라우드니스가 가장 큰 영향 요소라고 설명하고 있다. 그러나 기존 연구들에서 평가한 주관적 preference는 선호도라는 긍정적인 느낌이 아닌 덜 거슬리는 느낌에 대한 평가로서 소음의 부정적인 반응을 조사하는 annoyance 평가와 큰 차이점을 갖는다고 보기 어렵다.

따라서 비록 소음이라 할지라도 그 소음에 대한 preference를 조사하기 위해서는 보다 긍정적인 느낌을 갖도록 만드는 요인을 찾는 데에 집중해야 하고, 부정적 느낌에 대한 주관적 반응을 가장 잘 설명하는 음질 요소인 라우드니스 이외의 음질 요소에 대한 조사가 요구된다.

이 연구에서는 에어컨의 실제 사용 환경 중 교실에서 측정된 에어컨 소음에 대해 하모닉 성분을 제거하고, 특정 주파수 대역의 음압레벨을 증감하는 등

에어컨 소음의 음질을 변화시켰다. 각 음질 변화 에어컨 소음의 라우드니스를 동일하게 제어한 후, 보다 선호하는 소음을 선택하도록 하는 소음의 긍정적 느낌에 대한 청감실험을 진행하였다. 이를 통해 청감적으로 보다 긍정적인 느낌을 주는 소음으로 평가된 소음들의 여러 음질 요소들을 분석하고, 통계분석을 진행하여 소음에 대한 긍정적 반응을 설명하는 음질 요소를 조사하였다.

2. 설문 조사

에어컨에서 발생하는 소음에 대한 불만족도를 조사하기 위해 서울 성동구에 위치한 A 중학교 학생과 교사 264명을 대상으로 교실 환경에서 발생하는 에어컨 소음에 대한 설문조사를 실시하였다. 조사항목은 풍량의 선택과 조정, 소음의 시끄러움과 거슬림 및 소음으로 인한 수업 방해도 등으로 구성되었으며, A 중학교 교실은 가로 7.6 m, 세로 8.6 m 및 높이 3.0 m의 한국 표준 교실 설계 기준에 가까운 규모로서 천장 중앙에 에어컨이 설치되어 있는 구조이다.

설문조사 결과, Fig. 1과 같이 교실환경에서 에어컨 소음이 시끄럽거나 거슬리지 않는다는 응답이 65% 이상을 차지하였으며, 약 14%의 응답자만이 시끄럽거나 거슬린다고 응답하였다.

또한 전체 응답자의 75%가 에어컨 소음에 의한 수업 집중 방해 및 상호간 의사 전달 방해를 느끼지 못하는 것으로 나타났다. 설문 응답자들은 에어컨 소음을 통해 더위로부터 오는 불쾌감의 해소를 느낀다고 답하는 등 에어컨 소음에 대해 긍정적인 감각을 느끼는 것으로 응답한 사례가 많았다.

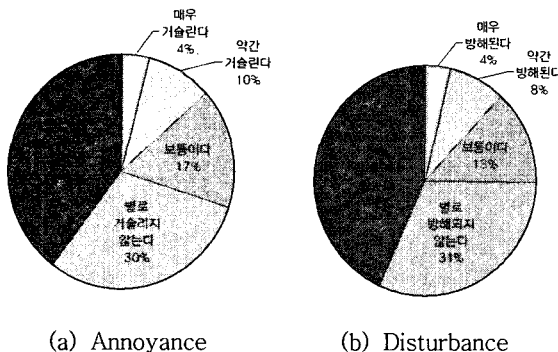


Fig. 1 Survey results of air-conditioning noise in classroom environment

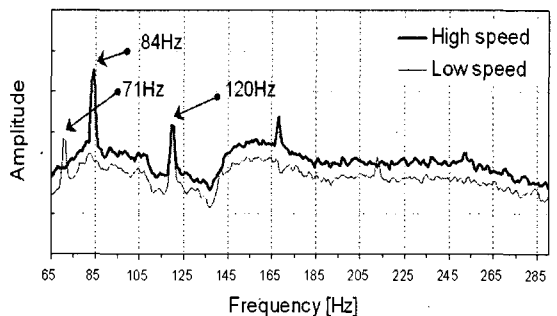


Fig. 2 Sound spectrum of air-conditioning noise

3. 에어컨 소음

3.1 에어컨 소음의 음향특성

일반적으로 에어컨 소음은 모터에 의해 발생하는 전원주파수의 하모닉 성분 및 팬의 BPF (blade passing frequency)에 해당하는 토널 성분과 팬의 회전에 의한 광대역 성분의 송풍 소음 등으로 구성된다. 에어컨 종류에 따라 토널 성분의 기본 주파수 이외의 하모닉 성분이 나타나지 않는 경우도 있고 하모닉 성분이 뚜렷이 나타나는 경우도 있기 때문에 에어컨 소음의 스펙트럼을 한 종류로 한정하여 설명하기는 어렵다.⁽⁵⁾

Fig. 2는 A 중학교 교실 천장에 설치된 에어컨과 동일한 출력을 갖는 천장형 에어컨의 소음을 무향실에서 측정하여 그 스펙트럼 분포를 나타낸 것이다. 팬의 회전 속도가 다른 경우에도 전원 주파수의 2배인 120 Hz 성분이 동일하게 나타나고, 강풍의 경우 84 Hz, 약풍의 경우 71 Hz에서 피크가 나타나며 그 배수에 따르는 하모닉 성분이 나타난다.

3.2 교실환경에서 에어컨 소음의 음향특성

한국 표준 교실 설계 기준에 따르면 교실의 일반 모듈은 가로 9.0 m, 세로 7.5 m의 장방형 평면인데 설문조사를 진행한 A 중학교 교실 평면이 일반 모듈을 만족하기 때문에 Fig. 3과 같이 A 중학교 교실의 천장형 에어컨을 대상으로 실험을 진행하였다.

무향실에서 에어컨 패널의 네 방향 토출구 위치와 패널 중앙부 각각 0.2~1.5 m까지 0.1 m 간격으로 음압레벨을 측정된 결과, 중앙부의 레벨 편차가 가장 작게 나타났다. 따라서 실제 사용 환경(교실)에서 사용자의 청감 위치 - 학생이 결상에 앉아 있을 때의 귀 높이 - 를 고려하여 에어컨 패널의 중앙 부분으로부터 1.5 m 아래 방향으로 떨어진 지점에서 녹음한 에어컨 소음을 실험에 사용하였다. 무향실의 동일한 지점에서 동일한 출력 및 동일 브랜드의 천장형 에어컨 소음을 녹음하여 교실에서 측정된 에어컨 소음과 비교 분석하였다.

무향실과 교실환경에서 측정된 천장형 에어컨 소음의 FFT (fast Fourier transform) 분석 결과는 Fig. 4와 같다. 강풍일 때 무향실에서 녹음한 에어컨 소음의 음압레벨에 비해 교실환경에서의 음압레

벨이 약 3 dB 높게 나타났으며, 약풍의 경우에도 교실환경에서 4 dB 증가하였다. 주파수 대역별 음압레벨의 경우 250 Hz 이하의 저주파 대역보다 1 kHz 이상의 고주파 대역에서 무향실 대비 교실환경의 음압레벨이 더 증가하는 것으로 나타났다.

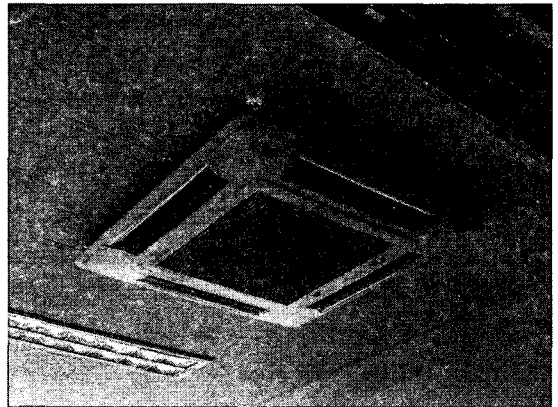
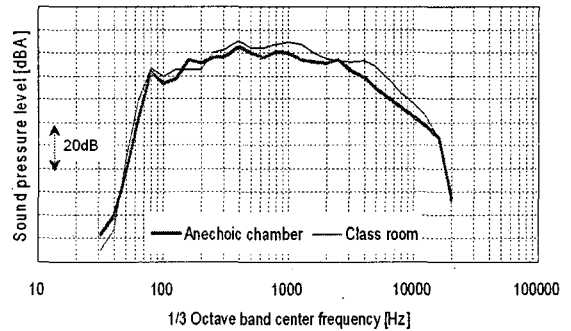
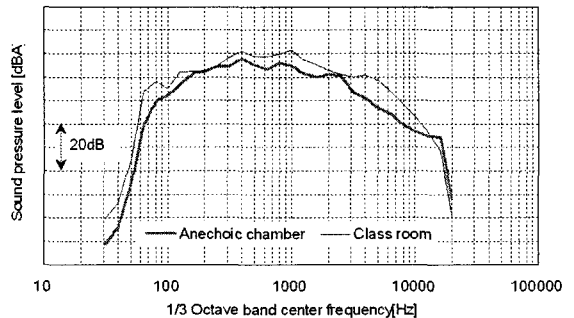


Fig. 3 Air-conditioner installed in the ceiling of a class room



(a) High speed mode



(b) Low speed mode

Fig. 4 Comparison of SPL of air-conditioning noise in anechoic chamber and class room

4. 에어컨 소음의 음질 변화

교사와 학생들을 대상으로 진행된 교실환경에서의 에어컨 소음에 대한 설문조사 결과, 에어컨 소음에 의한 수업 방해가 거의 없는 것으로 나타났고 오히려 에어컨 소음을 통해 쾌적함을 느끼는 사례가 다수 나타났다. 이에 에어컨 소음의 음질을 변조하여 청감적으로 긍정반응을 나타내는 소음의 물리적 구조를 조사하였다.

이 실험에서는 에어컨 소음의 특정 토널 성분이 청감에 영향을 미치는 지 알아보기 위해 하모닉 성분을 제거하였으며, 특정 주파수 대역의 레벨을 증감하여 음색을 변조하였다.

4.1 하모닉 성분의 제거

에어컨 소음의 하모닉 성분을 제거하기 위해 식 (1) 및 Fig. 5와 같이 평균토널에너지 (average tone to noise power ; ATNP)를 정의하였다.

$$\text{Average tone to noise power} = 10 \log \left(\frac{\text{avg}[W_i, i]}{\text{avg}[W_n, i]} \right)$$

$i = i$ -th harmonic

(1)

식 (1)은 ISO 7779⁽⁶⁾의 Annex D “Identification of prominent discrete tones”의 개념을 활용한 것으로 ATNP의 에너지량 만큼 소음의 하모닉 성분을 제거하는 데 사용하였다. Fig. 5에서 W_i 는 하모닉의 피크가 나타나는 대역의 에너지 평균이며, W_n 은 피크의 중심주파수로부터 5Hz 떨어진 대역의 에너지 평균이다.

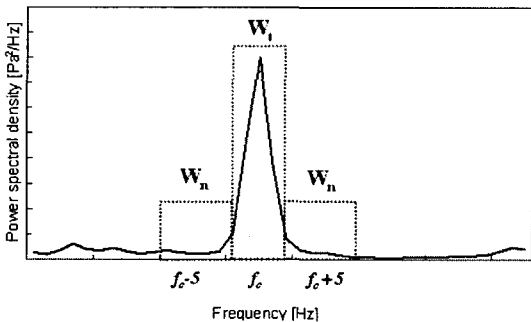


Fig. 5 Concept of average tone to noise power

ISO 7779에 W_n 의 주파수 대역폭을 5Hz로 규정하고 있는 것은 아니나 하모닉 성분을 주변의 노이즈 부분과 평탄한 특성으로 만드는 과정에서 5Hz가 적절하다고 판단하였다.

72Hz를 중심주파수로 갖는 에어컨 약풍 소음의 ATNP를 계산하면 Table 1과 같고, 에어컨 소음의 하모닉 성분을 제거 과정이 Fig. 6에 나타나있다. Fig. 6과 같이 parametric filter를 사용하여 에어컨 약풍 소음의 하모닉 성분에서 Table 1에 나타난 각 하모닉의 해당 ATNP만큼의 에너지를 빼는 방법으로 하모닉 성분을 제거하였다.

하모닉의 제거를 위해 상용 프로그램인 Adobe Audition 1.5의 parametric equalizer를 사용하였는데, 필터를 적용하고자 하는 주파수 대역의 개수와 각 대역의 변화레벨을 사용자가 직접 정의할 수 있어 편리하며 조절하고자 하는 주파수 대역 이외의 주파수 대역에 대한 영향을 최소화할 수 있는 필터 중 하나로 알려져 있다. 각 filter의 대역폭은 0.5Hz로 설정하였으며, 교실환경에서 녹음한 에어컨 소음을 사용하였다.

4.2 특정 대역의 음압레벨 변화

Stark⁽⁷⁾는 Table 2와 같이 소리에 있어서 250 ~ 630Hz 대역의 에너지 량에 따라 소리의 느낌이 달라진다고 언급하였다. 이 연구에서는 에어컨 소음의 긍정적인 느낌을 평가하기 위해 소리의 시원함을 구성하는 요소가 풍성함, 가벼움 및 윤택함 등에 있

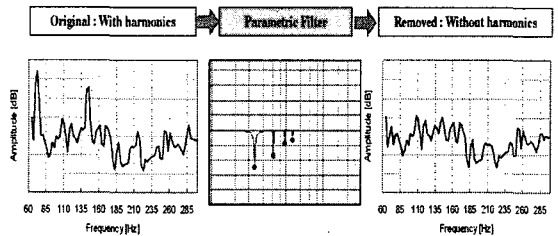


Fig. 6 Process of removal of harmonics in air-conditioning noise

Table 1 ATNPs of air-conditioning noise

Harmonic	Fundamental [71Hz]	1st [142Hz]	2nd [213Hz]	3rd [284Hz]
ATNP [dB]	17.6	10.8	6.8	5.7

다고 가정하고 에어컨 소음의 250 ~ 630 Hz 대역 레벨을 증감하였다.

Fig. 7과 같이 교실환경에서 녹음한 약풍 상태의 에어컨 소음의 음압레벨을 250 ~ 630 Hz 대역에 한하여 -6, -3, +3 및 +6 dB 만큼 변화시켰다. 하모닉을 제거한 에어컨 소음에 대해서도 동일한 주파수 대역에서 동일하게 음압레벨을 변화시켰으며, 새로 생성한 소음 모두 라우드니스가 동일한 값을 갖도록 조정하였다.

4.3 음질 변화 소음의 음질요소 분석

음질을 변화시킨 에어컨 소음의 샤프니스 (Zwicker's sharpness⁽²⁾), 러프니스 (roughness⁽²⁾) 및 변동강도 (fluctuation strength⁽²⁾) 등을 분석하였다.

음질변화 소음의 음질요소 분석 결과, Fig. 8과 같이 하모닉이 있는 소음과 없는 소음 모두 250 ~ 630 Hz 대역의 음압레벨이 증가할수록 샤프니스가 감소

하였다. 러프니스의 경우 샤프니스와 반대로 250 ~ 630 Hz 대역의 음압레벨이 증가할수록 값이 증가하는 것으로 나타났다. 변동강도의 경우 대역 음압레벨 증가에 따라 값이 감소하는 것으로 나타났으며, 하모닉 성분을 제거한 소음의 값이 제거하지 않은 소음의 값보다 작게 나타났다.

5. 에어컨 소음의 주관적 평가

5.1 실험 과정

4에서 음질변화 및 분석을 진행했던 10개의 에어컨 소음에 대하여 주관적인 선호도 평가를 실시하였다. 25명의 피실험자를 대상으로 45쌍의 소음 쌍을 만들어 쌍대비교법으로 좀 더 시원하고 쾌적하게 느껴지는 소리를 선택하도록 하였다. 청감실험 전용 부스에서 헤드폰을 사용하여 소음을 제시하였으며, 교실 천장에 설치된 에어컨이 약풍으로 작동할 때 에어컨 패널 중앙점으로부터 아래로 1.5m 떨어진 지점의 라우드니스와 동일한 값으로 소음을 제시하였다.

5.2 실험 결과

에어컨 소음에 대한 주관적인 선호도 평가 결과는 Fig. 9 및 Fig. 10과 같다. Fig. 9의 결과와 같이 10개의 에어컨 소음 중 하모닉 성분이 없는 소음원 5개의 선호도 값(scale value)이 하모닉 성분이 존재하는 소음원 5개의 선호도 값보다 전체적으로 크게 나타난 것을 알 수 있다($p < 0.01$).

따라서 하모닉 성분이 없는 소음에 대해 청감적으로 더 시원하고 쾌적하다고 느끼는 것으로 판단할 수 있으며, 상대적으로 저주파 대역에서 기본 주파수를 갖는 하모닉 성분이 에어컨 소음의 음질을 저평가 되도록 만드는 것으로 사료된다.

250 ~ 630 Hz 대역의 음압레벨 변화에 따른 선호도 평가 결과를 도출하기 위해 하모닉 성분이 있는 소음과 없는 소음으로 제시 소음을 구분하여 선호도 값을 재분석 하였다.

Fig. 10과 같이 하모닉 성분이 있는 소음과 없는 소음 모두에 대하여 250 ~ 630 Hz 대역의 음압레벨이 증가할수록 대체로 그 소음에 대해 선호하는 경향이 나타났다. 다만 하모닉 성분이 있는 소음 중 250 ~ 630Hz 대역의 음압레벨을 6 dB 감소시킨 소

Table 2 Hearing sensation according to energy level of specific frequency band of a sound

Frequency	Sensations of sound
400 Hz	Too large amount of energy between 250 and 630 Hz can cause a sound to cloudy, boxy and opaque
630 Hz	Too small amount of energy between 250 and 630 Hz can cause a sound to empty and lack of fullness, breadth and solidness

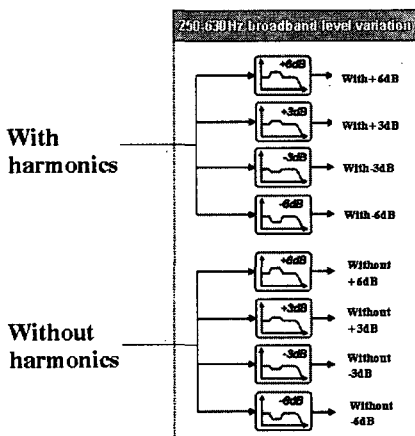
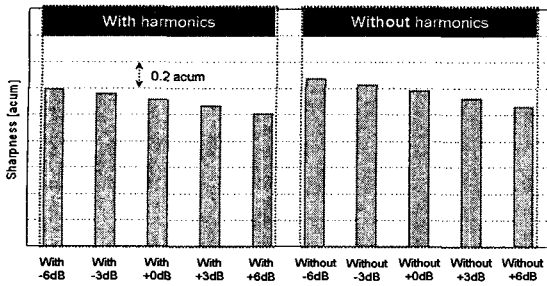
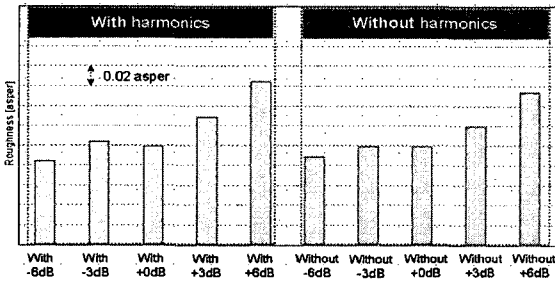


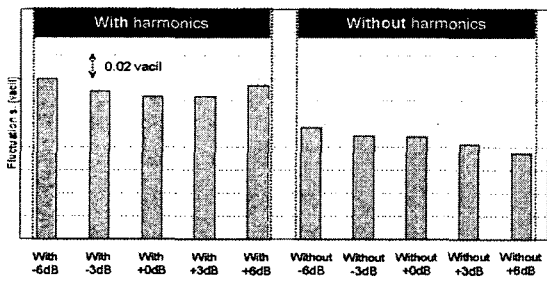
Fig. 7 Broadband level variations of air-conditioning noise of class room



(a) Sharpness of noise which sound quality was changed



(b) Roughness of noise which sound quality was changed



(c) Fluctuation s. of noise which sound quality was changed

Fig. 8 Sound quality parameters of air-conditioning noise which sound quality was changed

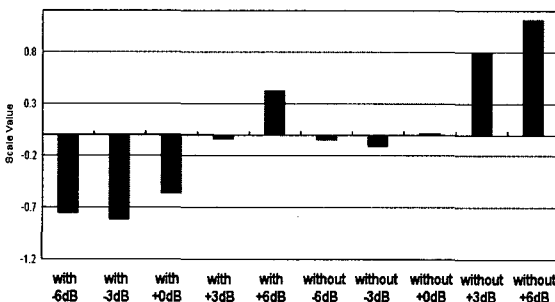
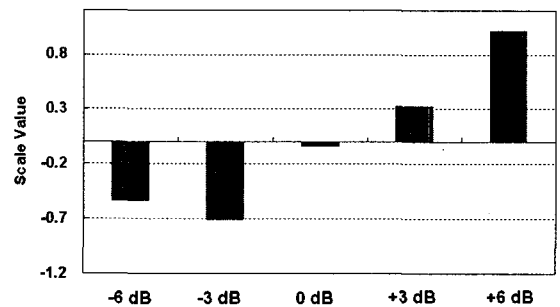


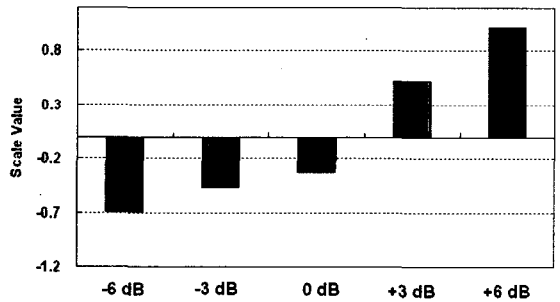
Fig. 9 Preference test result of air-conditioning noise

음에 대한 선호도가 3 dB 감소시킨 소음에 대한 선호도보다 높게 나타났다.

음질을 변화시킨 에어컨 소음의 음질요소와 주관적 평가 결과의 상관관계를 분석하여 Table 3에 나타내었다. 주관적 선호도 평가 결과를 소음의 하모닉 성분 유무에 따라 나누어 도출하였을 경우와 나누지 않고 도출한 경우 모두에 대해 음질요소와의 상관분석을 진행하였다. Table 3과 같이 하모닉 성분 유무에 따라 주관적 평가 결과를 나누었을 때 사



(a) Air-conditioning noises with harmonics



(b) Air-conditioning noises without harmonics

Fig. 10 Preference test result of air-conditioning noise grouped according to presence of harmonics

Table 3 Correlation coefficients between subjective preference and psychoacoustical parameters of air-conditioning noise (** p<0.01)

Subjective preference	Psychoacoustical parameters		
	Sharpness	Roughness	Fluctuation s.
Noises with harmonics	-0.96**	0.91**	-0.10
Noises without harmonics	-0.98**	0.96**	-0.97**
All noises	-0.45	0.72**	-0.69**

프니스 및 러프니스와의 상관도가 높게 나타났으며, 선호도 결과를 나누지 않은 경우 선호도 결과를 나누어 상관분석을 실시한 경우보다 상관도가 낮게 나타났다.

에어컨 소음의 주관적 평가 결과를 가장 잘 설명할 수 있는 음질 요소를 조사하기 위해 회귀분석을 실시하였다. 샤프니스 등의 음질요소 외에 주파수 중심(spectral centroid)과 250~630Hz 대역의 음압레벨 변화량(SPL)의 두 요소를 추가하여 분석하였고, 주관적 평가 결과 또한 하모닉 성분의 유무에 따라 구분한 경우와 구분하지 않은 경우 모두에 대해 분석을 진행하였다.

회귀분석 결과, 하모닉이 존재하는 소음에 대해 샤프니스(-22.6)와 주파수 중심(21.65)의 표준화 회귀계수가 유의하게 나타났다($p < 0.05$). 하모닉이 존재하지 않는 소음의 경우 샤프니스(-8.5)만이 유의한 회귀계수를 갖는 것으로 나타났다. 또한 하모닉이 존재하는 소음과 존재하지 않는 소음 모두에 대해 회귀분석을 실시하였을 경우에는 샤프니스(17.24)와 주파수 중심(-6.7) 및 250~630 Hz 대역의 음압레벨 변화량(-3.2)의 세 요소가 유의한 회귀계수를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구의 고려 대상 음질 요소 중 샤프니스가 에어컨 소음에 대한 긍정적인 반응에 주요한 영향을 미치는 요소로 사료된다.

하모닉이 존재하는 소음에 대한 회귀분석 모형과 하모닉이 존재하지 않는 소음에 대한 모형 및 하모닉 유무의 모든 소음에 대한 회귀분석 모형의 R^2 값은 각각 0.99, 0.98 및 0.98로서 각 회귀분석 모형이 높은 설명력을 갖는 것으로 나타났다.

6. 결 론

실내의 천장에 설치하는 시스템 에어컨의 소음 분석 결과, 무향실에서의 음압레벨에 비해 교실환경에서의 음압레벨이 3~4 dB 증가하는 것으로 나타났으며, 교실환경에 설치한 에어컨 소음의 경우 하모닉 성분이 강조되는 것으로 나타났다.

교실환경에서 에어컨 소음에 의한 거슬림 및 수업 방해도에 대한 설문조사 결과 응답자의 65% 이상이 거슬림을 느끼지 않는다고 답하였다. 오히려 에어컨 소음에서 쾌적감을 느낀다는 긍정적인 청감반

응이 나타나는 것으로 조사되었다.

따라서 에어컨 소음을 긍정적으로 느끼도록 하는 음질 요소를 도출하기 위해 교실환경에서 녹음한 에어컨 소음의 음질을 변화시켰다. 하모닉 성분의 제거 및 특정 주파수 대역의 음압레벨 증감을 통해 음질변화 소음을 생성하여 분석한 결과, 하모닉 성분이 있는 소음과 없는 소음 모두 250~630 Hz 대역의 음압레벨이 증가할수록 샤프니스가 감소하였다.

또한 음질변화 소음에 대한 긍정적 반응을 묻는 주관적 평가 결과, 하모닉 성분이 제거된 소음을 하모닉 성분이 존재하는 소음보다 시원하고 쾌적하게 느끼는 것으로 나타났으며, 250~630 Hz 대역의 음압레벨이 증가할수록 그 소음에 대한 선호도가 증가하였다.

음질변화 소음의 주관적 평가 결과를 가장 잘 설명할 수 있는 음질 요소를 도출하기 위해 샤프니스, 러프니스, 변동강도 및 주파수 중심 등의 음질요소와 청감실험 결과의 회귀분석을 실시하였고, 이 중 샤프니스가 에어컨 소음의 선호도 평가 결과를 잘 설명하는 것으로 나타났다. 따라서 에어컨 소음의 샤프니스 제어를 통해 소음에 대한 긍정적인 청감반응을 이끌어 낼 수 있을 것으로 사료된다.

긍정적인 청감반응을 유도하는 에어컨 소음의 음질 특성을 고찰한 이 연구의 결과를 통해 보다 쾌적한 느낌의 소음을 방출하는 에어컨의 생산 및 관리가 가능할 것이다. 또한 이 연구의 제품 음질 개선 과정은 에어컨 소음뿐만 아니라 여타의 가전제품 음질 개선에도 적용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Ayr U., Cirillo E. and Martellotta F., 2001, "An Experimental Study on Noise Indices in Air-conditioned Offices," *Applied Acoustics* 62, pp. 633~643.
- (2) Zwicker E. and Fastl H., 1999, *Psychoacoustics : Facts and Models*, Springer.
- (3) Tang S. K. and Wong M. Y., 2004, "On Noise Indices for Domestic Air Conditioners", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 274, No. 1, pp. 1~12.
- (4) 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.
- (5) Lee J., Lee J. and Joo J., 2005, "Propose tonal Noise Evaluation Method for Air-conditioner Based on Customer's Sensory Evaluation," *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, pp.154~157.
- (6) ISO 7779: 2003, "Acoustics-measurement of Airborne Noise Emitted by Information Technology and Telecommunication Equipment."
- (7) Stark S. H., 2000, *Live Sound Reinforcement*, Mixbooks.
- (8) Bradley J. S., 1978, "Disturbance Caused by Residential Air Conditioner Noise," *J. of Acoust. Soc. Am.* 93, pp. 1978~1985.
- (9) Ko N. W. M., Ho W. F. and Un W. K., 1978, "Responses to Air-conditioning System Noise," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 57, pp. 595~602.
- (10) Lyon R. H., 2004, "Product Sound Quality-from Design to Perception", *Proceedings of Inter-noise 2004*.
- (11) Kyncl L. and Jiricek O., 2001, "Psychoacoustic Product Sound Quality Evaluation," *Proceedings of the ICA, Rome*, p. 90.
- (12) Vorlander M., 2005, "Engineering Acoustics Meets Annoyance Evaluation," *Proceedings of Inter-noise 2005*.