

청소기 소음 측정을 위한 객관적 음질 특성 분석

Analysis of Objective Sound Quality Features for Vacuum Cleaner Noise

이 상 욱*, 조 연**, 박 종 근*, 황 대 선**, 송 치 문**, 이 철 희*
(Sangwook Lee*, Youn Cho**, Jong-Geun Park*, Dae-Sun Hwang**,
Chi-Mun Song**, Chulhee Lee*)

*연세대학교 전기전자 공학과, **고등기술연구원 전략연구센터
(접수일자: 2009년 7월 4일; 수정일자: 2009년 10월 23일; 채택일자: 2010년 4월 27일)

생활수준의 향상으로 실내용 가전제품 개발의 초점은 제품의 성능 뿐 아니라 소음, 디자인과 같은 요소에 맞추어지고 있다. 청소기는 가전제품 중, 큰 소음을 발생시킴으로써 소음 감소를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 따라서 청소기의 체감 소음 측정 방법에 대한 연구는 청소기 소음 제어에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 본 논문에서는 청소기 체감 소음 측정을 위하여 청각 시스템을 기반으로 객관적 음질 특징을 제시한다. 인간의 청각 시스템은 특정 주파수 대역에 민감하게 반응하므로, 청각에 민감한 주파수 대역의 소음 에너지를 줄이는 것이 중요하다. 본 논문에서는 녹음된 소음의 특정 주파수 영역의 평균 에너지를 계산하여 이를 청소기 음질 측정을 위한 새로운 객관적 특징 값으로 제시한다. 제시하는 객관적 특징 값의 성능을 평가하기 위하여, 14개 청소기의 소음을 녹음한 후, 100명을 대상으로 PCM 및 ACR 주관적 평가 법을 실시하여 주관적 점수를 획득하였다. 제시하는 객관적 특징 값은 주관적 점수와 높은 상관관계를 보여준다.

핵심용어: 소음 음질, 청소기 소음, 객관적 음질 메트릭, 주관적 평가법

투고분야: 소음 및 공력음향 분야 (10)

In this paper, we propose an objective quality feature which is based on the human auditory system to measure vacuum cleaner noise. It is observed that some frequency bands are more sensitive to the human auditory system. Therefore, we divided the audible frequency range of vacuum cleaner noise into a number of frequency bands and the average energy of these bands was calculated. Among a number of average energies, an average energy of a frequency band was selected as the proposed feature. In order to test the performance of the proposed feature, fourteen vacuum cleaners were chosen and the noise was recorded in an anechoic-chamber. Then we performed subjective tests to obtain subjective scores of the noise data using the PCM (paired comparison method) and ACR (absolute category rating) subjective methods. The proposed objective quality feature shows high correlation with the subjective scores.

Keywords: Noise quality, Vacuum cleaner noise, Objective quality metric, Subjective quality method

ASK subject classification: Noise and Aeroacoustics (10)

I. 서론

생활수준의 향상으로 가전제품의 기본 성능 뿐 아니라 디자인, 소음과 같은 부가적인 요소에 중요성이 더해지고 있다. 실내생활에서 가전제품의 소음은 사용자에게 스트레스를 유발하고 주의력 방해 등과 같은 불편을 초래한다 [1]. 따라서 에어컨, 냉장고, 청소기 등과 같은 가전

제품 개발에 있어서 소음은 중요하게 고려되어야 하는 요소이며, 소음을 줄이기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 많은 가전제품 중에서도 청소기는 큰 소음을 일으키는 기기로써, 진공 청소기내의 송풍기 모터의 고속회전으로 인한 임펠러의 회전으로 공기를 흡/배출 과정에서 큰 소음이 발생한다. 따라서 진공청소기의 소음 저감을 위하여 송풍기 모터의 소음에 대한 연구가 진행되었다 [2]. 청소기 소음에 영향을 주는 요인을 분석하기 위하여 주관적 실험을 설계 및 시행 후, 주관적 실험의 결과를 바탕으로 청소기 소음에 대한 연구도 진행되었다 [3]. 또한, 청소기 소음과 소음에 따른 가격에 관한 연구가 수행

되었다 [4-5]. 청소기뿐만 아니라 실내에서 소음을 발생시키는 냉장고의 경우, 소음의 큰 비중을 차지하는 송풍기의 소음을 저감하기 위한 연구가 진행되었다 [6]. 이와 같이 가전제품에서 발생하는 소음을 제어하기 위해서는 객관적 소음 측정 기술 개발이 선행되어야 한다. 그러나 단순히 소음의 크기만을 고려하는 기존의 소음 측정 기술로 가전제품의 소음을 평가하는 것은 무리가 있다. 즉, 같은 에너지의 소음이 발생하여도 소음의 특성에 따라 청소기의 사용자가 느끼는 불편감이 크게 다를 수 있다. 따라서 주관적 실험을 바탕으로 실제 소비자들이 느끼는 소음의 정도를 음질해석을 통하여 연구, 분석함으로써 실제 사용자가 체감하는 소음의 정도를 정확하게 예측하는 객관적 음질 측정 방법을 개발 할 수 있다. 예로 신경망 회로를 이용한 냉장고 소음 유질 평가 기법 등 다양한 소음 측정 방법이 제시되었다 [7]. 본 논문에서는 시중에 판매되고 있는 14개의 청소기의 소음을 녹음하고 이를 일반 성인 100명을 대상으로 하여 ACR (Absolute Category Rate) [8] 주관적 평가법과 PCM (Paired Comparison Method)을 사용하여 주관적 데이터를 확보하였다 [9-12]. 이 주관적 데이터를 분석하여 체감소음 측정을 위한 특징을 개발하고 이를 이용하여 객관적 소음 측정 방법을 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2.1절에서는 청소기의 제원에 대해 기술하였고, 2.2 절에서는 주관적 점수를 얻기 위해서 실시한 주관적 평가법을 서술하였다. 본 논문에서 제시하는 객관적 음질 특징에 대해 3절에서 설명한 후, 4절에서 결론을 맺는다.

표 1. 14개 청소기의 제원.
Table 1. Description of the fourteen vacuum cleaners.

Cleaner	흡입력(W)
Vac. 1	400
Vac. 2	550
Vac. 3	480
Vac. 4	530
Vac. 5	440
Vac. 6	550
Vac. 7	410
Vac. 8	510
Vac. 9	400
Vac. 10	530
Vac. 11	460
Vac. 12	520
Vac. 13	550
Vac. 14	320

II. 소음 측정 및 주관적 데이터 획득

2.1. 청소기 제원 및 청소기 소음 녹음

가. 청소기 제원

소음 평가를 위해 국내에서 판매되고 있는 청소기 14개를 선정하였다. 표 1은 각 청소기의 용량을 보여준다. 모든 청소기는 새로 구매하였으며 신상품 상태에서 소음을 측정하였다.

나. 청소기 소음 녹음

흡입부를 나무 바닥에 밀착 시킨 후, 모든 청소기의 운전조건을 최강으로 하여 청소기의 소음을 무향실에서 녹음하였다. 또한, 청소기 사용자가 소음을 듣게 되는 위치에서 소음을 녹음하기 위해 청소기의 흡입부와 청소기의 몸체사이에 녹음 장치인 헤드티미를 설치하였다 (그림 1). 청소기의 몸체와 마이크 및 청소기의 흡입부와 마이크의 거리는 각각 1 m 이다.

2.2. 주관적 소음 음질 측정 평가

가. 주관적 실험

음질 및 화질을 측정하는 방법은 주관적 측정 방법과

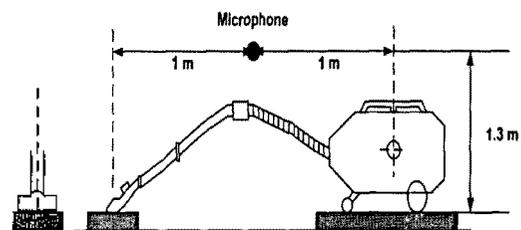
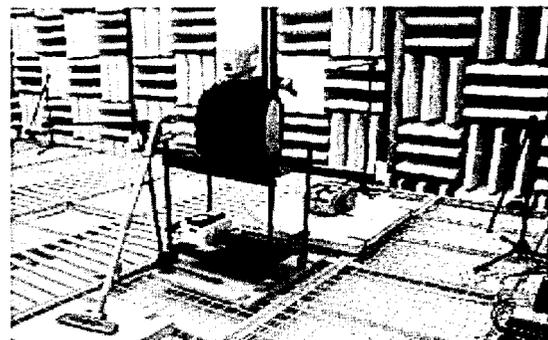


그림 1. 무향실에서 소음 녹음 환경

(a) 무향실과 녹음장치, (b) 소음 측정을 위한 마이크 위치

Fig. 1. Recording environment in the anechoic-chamber.

(a) anechoic-chamber and recoding equipment.

(b) the microphone location for recoding noise.

객관적 방법으로 분류된다. 높은 신뢰도를 갖는 주관적 측정 결과를 얻기 위하여 많은 수의 평가자를 고용하여야 하고, 이로 인해 경제적으로 큰 비용이 소비되고 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 그러나 주관적 평가는 객관적 측정방법 개발 및 검증을 위하여 반드시 수행되어야 한다.

본 논문에서는 총 100명의 20~30대 성인 남녀를 대상으로 청력검사기를 사용하여 청력실험을 실시하였다. 청력실험을 통해 정상 청력이라고 판단되는 실험자들 대상으로 헤드폰을 사용하여 주관적 실험을 진행하였다.

본 실험에서는 PCM과 ACR 주관적 평가 방법을 사용하여 총 14개의 청소기에 대한 주관적 데이터를 얻었다. PCM은 그림 2와 같이 서로 다른 두 청소기 소음을 차례대로 재생한 후, 두 소음의 상대적 선호도를 측정한다. 즉, 소음1이 3초간 재생되고, 2초의 묵음 후, 소음2가 3초간 재생되게 된다. 소음2의 재생 후, 7초의 묵음 동안 평가자는 측정평가표에 그림 2와 같이 펜으로 표시하게 된다. 14개 청소기 소음의 주관적 점수를 얻기 위해서 총 $11C_2 = 91$ 쌍의 데이터에 대한 평가가 이루어졌다. 평가자가 (-)점수를 표시하게 되면 소음1이 소음2보다 점수 값만큼 선호됨을 의미한다. PCM은 8초 동안 두개의 데이터를 평가함으로써 두 데이터의 차이에 따른 선호도를 평가할 수 있고, 평가자들 간의 편차가 작아 신뢰도가 높다는 장점이 있다. 하지만, N개 데이터의 주관적 점수를 얻기 위해서는 $N \times C_2$ 횟수만큼의 데이터 평가가 이루어져야 한다. 따라서 주관적 실험시간이 길고, 실험자의 피로

도가 크다는 단점이 있다. PCM에서 획득한 점수를 다음과 같이 연산하여 각 소음의 최종 점수가 결정 된다 [13].

$$S_{ab} = -S_{ba}$$

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{b=i}^j S_{ab} \tag{1}$$

S_{ab} 는 소음 a가 재생된 후, 소음 b가 재생되었을 때 실험자가 평가한 점수를 의미한다. R_a 는 소음 a의 최종 PCM 점수이며, N은 소음 a이외의 다른 소음의 개수를 의미한다.

ACR 주관적 방법은 모든 청소기의 소음을 무작위로 평가자에게 들려준 후 음질을 7단계 (매우 좋음, 좋음, 약간 좋음, 보통, 약간 나쁨, 나쁨, 매우 나쁨)로 평가하는 방식이다. 즉, 3초간 한 청소기의 소음이 재생되고, 7초 동안의 묵음시간에 평가자들은 평가지에 1점부터 7점까지 청소기의 소음을 평가한다. 7초 동안의 비교적 긴 묵음시간을 설정함으로써 이전 소음의 잔향영향을 제거할 수 있다. ACR 주관적 평가법은 N개의 데이터의 주관적 점수를 얻기 위해서 N번의 실험만을 진행하므로, 실험시간이 짧고 평가자들의 피로도가 작다는 장점이 있지만, 각 데이터에 대해 평가자의 상대적인 기준이 적용되므로 평가자들의 편차가 크다는 단점이 있다. PCM과 ACR 주관적 평가 모두 이전 데이터에 따른 효과를 최소화하기 위해 소음의 재생 순서는 모든 실험마다 무작위로 정하였다.

표 2. 주관적 실험을 위한 장비
Table 2. Equipment for subjective test.

장비	모델
청력검사기	GSI 17 audiometer
헤드폰	Sennheiser HD600

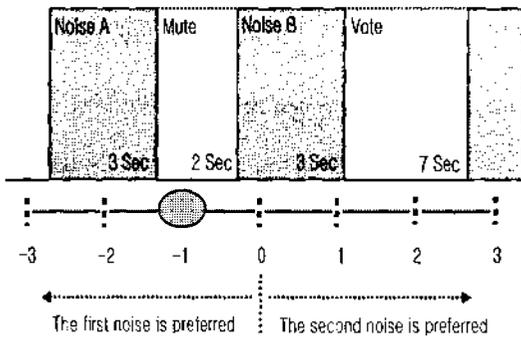


그림 2. PCM
Fig. 2. Subjective test using paired comparison method.

나. PCM 과 ACR주관적 평가방법의 상관도

PCM 과 ACR 주관적 평가법의 상관관계를 알아보기 위해 각 실험에서 획득한 주관적 수치인 MOS (Mean

Noise A	Vote	Noise B	Vote	
3 Sec	7 Sec	3 Sec	7 Sec	
1	2	3	4	5
6	5	4	3	2
1	2	3	4	5
6	5	4	3	2
NOISE 1				

그림 3. ACR 주관적 평가방법
Fig. 3. Subjective test using absolute category rating method.

Opinion Score)의 상호 상관계수 (Pearson Correlation Coefficient)를 산출하였다. 두 변량 A와 B의 상호상관계수는 다음과 같이 계산된다.

$$\rho = \frac{cov(A, B)}{\sigma_A \sigma_B} \quad (2)$$

식 2에서 정의된 $cov(A, B)$ 는 A와 B의 공분산을 의미하며, σ_A 와 σ_B 는 A와 B의 표준편차를 의미한다.

본 실험에서 사용된 두 주관적 평가의 상관계수는 0.97로 매우 높은 상관도를 보였다 (그림 4). 이는 두 방식의 주관적 평가 결과가 매우 유사하다는 것을 의미하며, 실험 환경에 따라 두 주관적 평가 결과는 상호 대체될 수 있을 것으로 판단된다.

III. 청소기 소음평가를 위한 새로운 객관적 소음 음질 평가 특징

PCM과 ACR 주관적 실험을 통해 소음의 크기가 절대적으로 선호도에 영향을 미치는 것이 아님을 관찰되었다. 표 3은 각 주관적 평가를 통해 얻은 14개 청소기의 선호도와 소음의 에너지를 보여준다. 소음의 평균 에너지는 다음과 같이 연산된다.

$$Enz = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |X(k)|^2 \quad (3)$$

$X(k)$ 는 청소기 소음의 이산 푸리에 변환(DFT)이며, N은 총 데이터 개수이다. 표 3에서는 log scale로 에너지

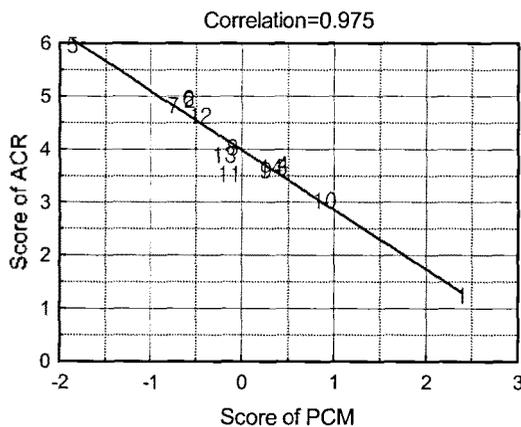


그림 4. 두 개의 주관적 평가법의 상관도
Fig. 4. Scatter plot of two subjective methods.

값을 나타내었다. 표 3에서 나타내는 순위가 낮을수록 청소기의 선호도는 높음을 의미한다. 1번 청소기는 다른 청소기에 비해 에너지가 매우 크므로, 두 주관적 평가에서 선호도가 가장 나쁘게 나타났다. 5번 청소기는 에너지의 크기가 다른 청소기에 비해 매우 작으므로 선호도가 가장 높게 나타났다. PCM과 ACR 주관적 평가에서 얻은 주관적 점수와 소음 에너지의 상관계수는 0.841, 0.836으로 비교적 높다. 하지만 13번 청소기와 14번 청소기의 경우, 13번 청소기의 소음 에너지가 14번 청소기의 소음 에너지보다 크지만 평가자들은 13번 청소기를 더 선호하는 것으로 나타났다.

따라서 시간 축 에너지를 기반으로 하는 객관적 음질 특징과 주파수 전 영역을 고려하는 기존의 객관적 음질 특징은 청소기 소음의 음질 측정을 위한 요소로써 한계가 있다. 표 4는 MTS sound quality module 을 사용하여 소음들의 기존 객관적 음질 특징 값과 PCM, ACR 주관적 실험으로부터 얻은 주관적 점수와와의 상관계수를 나타낸다 [14]. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 특정 주파수 측면에서 청소기 소음에 접근하였다. 인간의 청각은 2.5 khz 에서 4 khz 대역폭에서 가장 예민하며, 이 대역폭에서 음의 선명도나 음상의 정위들이 결정된다 [15]. 따라서 이와 같은 청각체계를 반영하기 위해서 청소기 14대의 소음을 푸리에 변환을 통하여 주파수 영역에서 분석하였다. 그림 5는 14개의 청소기 소음의 주파수 영역에서의 소음 에너지를 나타낸다.

샘플링 레이트 (sampling rate) 44.1 khz 의 소음을 푸

표 3. 14개 청소기의 에너지와 선호도
Table 3. Energy and preferences of the 14 vacuum cleaners.

	Energy (log scale)	Ranking by Energy	Ranking by PCM	Ranking by ACR
Vac. 1	11.45107	14	14	14
Vac. 2	10.32287	4	4	3
Vac. 3	10.66473	8	11	10
Vac. 4	10.74189	12	12	8
Vac. 5	9.96694	1	1	1
Vac. 6	10.34377	5	3	2
Vac. 7	10.26126	3	2	4
Vac. 8	10.2557	2	8	6
Vac. 9	10.52851	6	9	11
Vac. 10	10.89185	13	13	13
Vac. 11	10.64787	7	7	12
Vac. 12	10.67973	9	5	5
Vac. 13	10.72726	11	6	7
Vac. 14	10.70433	10	10	9

표 4. 주관적 품질 평가법과 12개의 객관적 품질 평가법의 상관관계 계수

Table 4. Pearson Correlation Coefficient between the 12 objective quality methods and subjective quality methods.

Methods	PCM	ACR
A-weighted SPL	0.623	0.599
Intelligibility	0.650	0.650
Prof Speech Interference	0.549	0.573
Speech Interference	0.664	0.634
Frame Kurtosis	0.072	0.016
Zwicker Loudness (Sones)	0.629	0.617
Sharpness	0.138	0.033
Transient Loudness (Sones)	0.592	0.591
Transient Sharpness	0.121	0.018
Roughness	0.160	0.231
Fluctuation Strength	0.547	0.571
Tonality	0.011	0.019

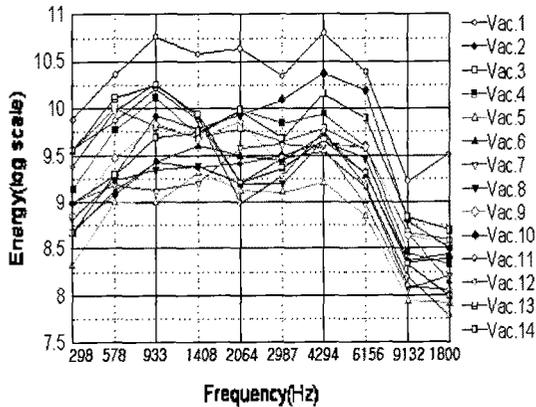


그림 5. 14개 청소기의 주파수 영역에서의 소음 에너지
Fig. 5. Noise energy in frequency domain.

리에 변환 후, 바크 스케일 (bark Scale)을 기반으로 총 10개의 부대역 (sub-band)으로 나타내었다. 각 부대역에 대한 정보는 표 5에 나타난다. 10개의 부대역은 청각 체계를 반영한 24개의 임계대역과 유사한 관계를 가진다. 표 6은 10개의 부대역과 24개의 임계대역의 관계를 나타낸다. 참고로 표 4의 수치는 10개의 부대역을 고려하지 않은 결과이다.

총 10개의 밴드 중, 인간의 청각에 가장 민감한 7번째 밴드 에너지의 평균값을 식 (4)와 같이 산출하여 객관적 음질 특징으로 정의하고 주관적 실험값과 상관관계를 조사하였다.

$$B_7 = \frac{1}{b-a+1} \sum_{n_w=a}^b |X(n_w)|^2 \quad (4)$$

표 5. 10개 부대역의 주파수와 주관적 점수와 각 부대역의 상관계수
Table 5. Frequency of 10 sub-bands and Pearson correlation coefficients between each sub-bands and each MOS.

	Frequency	PCM	ACR
Band 1	0 Hz ~ 298 Hz	0.635	0.700
Band 2	298 Hz ~ 578 Hz	0.565	0.634
Band 3	578 Hz ~ 933 Hz	0.743	0.787
Band 4	933 Hz ~ 1408 Hz	0.877	0.885
Band 5	1408 Hz ~ 2064 Hz	0.825	0.745
Band 6	2064 Hz ~ 2676 Hz	0.841	0.772
Band 7	2676 Hz ~ 4294 Hz	0.921	0.857
Band 8	4294 Hz ~ 6156 Hz	0.897	0.838
Band 9	6156 Hz ~ 9132 Hz	0.855	0.771
Band 10	9132 Hz ~	0.841	0.780

표 6. 10개 부대역과 24개의 임계대역과의 관계 주파수와 주관적 점수와 각 부대역의 상관계수

Table 6. The relation of 10 sub-bands and 24 critical bands.

24 임계대역	주파수 (Hz)	10 부대역	24 임계대역	주파수 (Hz)	10 부대역
1	20	1	13	1720	5
2	100		14	2000	
3	200		15	2320	6
4	300		16	2700	
5	400	2	17	3150	7
6	510		18	3700	
7	630		19	4400	
8	770	3	20	5300	8
9	920		21	6400	
10	1080	4	22	7700	9
11	1270		23	9500	
12	1480		24	12000	10
				15500	

$X(k)$ 는 청소기 소음의 이산 푸리에 변환 (DFT)이며, B_7 은 특정 주파수 성분의 평균에너지로 이해될 수 있다. a 는 2672hz, b 는 4294hz 에 해당하는 지표 값이다. 그림 6은 주관적 실험값인 MOS 값과 제안하는 객관적 음질 특징과의 상호상관관계를 나타낸다. 제안하는 음질 특징 값은 PCM과 0.92의 높은 상관관계에 있으며, ACR 주관적 평가와도 0.858의 높은 상관관계에 있음을 그림 6에서 확인할 수 있다.

그림 7은 13번 청소기와 14번 청소기 소음의 2.5 khz ~ 5 khz 주파수 대역에서 에너지 크기를 나타낸다. 표 3에서 제시한 바와 같이 청소기 13번은 청소기 14번 보다 전체 소음이 크지만, 인간 청각에 예민한 특정 부대역에

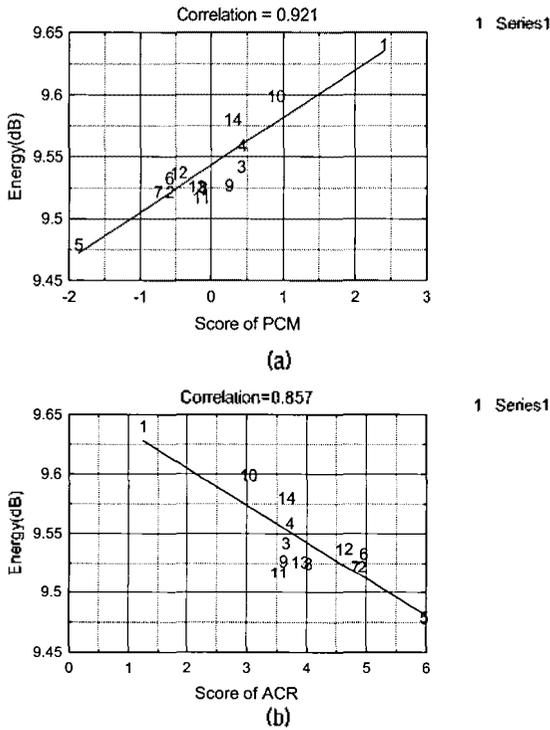


그림 6. 객관적 점수와 주관적 점수와의 상관도
 (a) PCM과 객관적 점수의 상관도
 (b) ACR 주관적 점수와 객관적 점수의 상관도
 Fig. 6. Scatter plot between subjective and objective score.
 (a) scatter plot between score of the PC method and objective score
 (b) scatter plot between score of the ACR method and objective score

서는 14번의 청소기의 소음 에너지가 더 크기 때문에, 13번 청소기의 선호도가 높다.

IV. 결 론

본 논문에서는 청소기의 소음을 평가하기 위한 객관적 음질 특징을 제안하였다. 총 100명의 평가자를 대상으로 주관적 실험을 진행하여 사용자의 체감소음 데이터를 분석한 결과, 체감소음은 특정 주파수 대역의 에너지에 크게 영향을 받았다. 따라서 특정 주파수 대역의 평균 에너지를 청소기 소음을 측정하기 위한 음질 특징으로 제안하였다. 본 연구에서 제시한 음질 특징은 신뢰성 높은 다른 객관적 음질 특징들과 선형 결합 되어 음질 평가 메트릭으로 개발될 수 있으며, 청소기 뿐 아니라 가전제품의 소음을 제어하여 소비자의 만족도 향상에 기여할 것으로 전망된다.

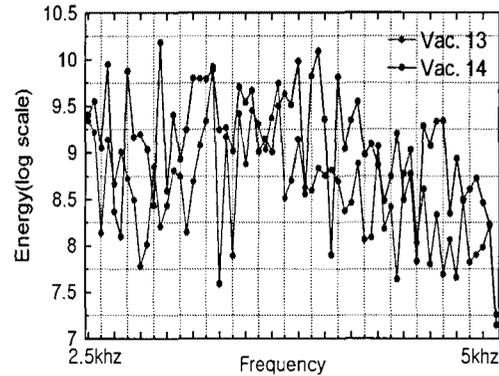


그림 7. 13번째 청소기와 14번째 청소기의 특정 밴드 에너지
 Fig. 7. Specific band energy of Vac. 13 and Vac. 14.

참고 문헌

1. J. Joo, Y. Kim, J. Lee and S. Oho, "Evaluation of the Sound Quality from Home Appliances," in *Proc. KSNVE conference*, pp. 622-627, 2003.
2. 김재열, 곽이구, 양동조, 김우진, "실험적 방법과 이론적 방법의 비교를 통한 진공청소기용 Fan Motor의 진동소음 해석," *한국정밀공학회 춘계학술대회*, 1권 1호, 187-187쪽, 2004.
3. J. G. Ih, D. H. Lim, S. H. Shin and Y. Park, "Experimental design and assessment of product sound quality: application to a vacuum cleaner," *Noise Control Eng. Journal*, vol. 51, no. 4, pp. 244-252, 2003.
4. M. Takada, H. Yamano, and S. Iwamiya, "Economic Valuation of the Sound Quality of Machinery Noise," *Journal of Environment and Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 203-214, 2007.
5. M. Takada, S. Arase, T. Keiichiro and S. Iwamiya, "Economic valuation of the sound quality of noise emitted from vacuum cleaner and hair dryers by conjoint analysis," *Noise Control Eng. Journal*, vol. 57, no. 3, pp. 263-278, 2009.
6. A. Takushima, Y. Shinobu, S. Tanaka, M. Eguchi, K. Matsuki, "Fan noise reduction of household refrigerator," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 28, no. 2, pp. 287-292, 1992.
7. S. Kim, E. Lee, J. Kim, J. Kim, D. H. Lee, H. H. Oh, "Development of Sound Quality Evaluation technique for a refrigerator under Household Usage Environment", in *Proc. KSNVE conference*, pp.427-430, 2005.
8. ITU-T recommendation P.910, *Subjective video quality assessment methods for multimedia applications*, 1996.
9. H. A. David, "The method of paired comparison," *Lubrecht & Cramer*, 1998.
10. ITU-R Recommendation ITU-R BS.1284, *General methods for the subjective assessment of sound quality*, 2002.
11. ITU-R Recommendation ITU-R BS.1116, *Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems*, 1997.
12. ITU-R Recommendation ITU-R BT.500, *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*, 2003.

13. V. Koehl and M. Paquier, "Loudspeaker sound quality: comparison of assessment procedures", *Proc. the acoustics 2008 paris*, pp,2073-2078, 2008.
14. MTS System Co., "MTS Sound Quality Ver.3,7,5."
15. B. Moore, *An Introduction to the Psychology of Hearing*, 3rd ed., Academic Press, 1989.

저자 약력

•이 상 욱 (Sangwook Lee)



2004년 연세대학교 전기전자 공학부 학사 졸업.
2006년 연세대학교 전기전자 공학부 석사 졸업.
2006년~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사 과정.
※ 주관심분야: 신호처리, 패턴 인식, 화질평가

•조 연 (Youn Cho)



1981년 고려대학교 기계공학과 학사 졸업.
1983년 고려대학교 기계공학과 석사 졸업.
1986년 Wayne State University 기계공학과 석사 졸업.
1993년 Rensselaer Polytechnic Institute 기계항공 공학과 박사 졸업.
1994년~1995년 대우자동차.
1995년~현재 고등기술연구원.
※ 주관심분야: 컴퓨터, 신호처리

•박 중 근 (Jong-Geun Park)



2002년 연세대학교 전기전자 공학부 학사 졸업.
2004년 연세대학교 전기전자 공학부 석사 졸업.
2010년 연세대학교 전기전자공학과 박사 졸업.
2010년~현재 삼성전자 연구원
※ 주관심분야: 신호처리, 패턴 인식

•황 대 선 (Dae-Sun Hwang)



2001년 금오공과대학교 기계공학과 학사 졸업.
2003년 부산대학교 기계설계 공학과 석사 졸업.
2003년~현재 고등기술연구원
※ 주관심분야: 컴퓨터, 신호처리

•송 치 문 (Chi-Mun Song)



1996년 세명대학교 물리학과 졸업.
1998년 성균관대학교 물리학과 졸업.
2008년 아주대학교 기계공학과 졸업.
2002년~현재 고등기술연구원
※ 주관심분야: 진동, 초음파

•이 철 희 (Chulhee Lee)



1984년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
1986년 서울대학교 전자공학과 석사 졸업.
1992년 Purdue University 전기전자공학과 박사 졸업.
1993년~1996년 National Institutes of Health 연구원.
1996년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
※ 주관심분야: 신호처리, 화질 평가, 패턴인식