

논문 2009-46SP-5-10

냉장고 소음의 객관적 평가 모델

(Objective Assessment Model for Refrigerator Noises)

박종근*, 조연**, 이상욱*, 황대선**, 이철희***

(Jong-Geun Park, Youn Cho, Sang-Wook Lee, Dae-Sun Hwang, and Chulhee Lee)

요약

본 논문에서는 냉장고로부터 방사되는 소음에 대한 사용자의 불쾌도를 객관적으로 평가하기 위한 방법을 제안하였다. 이를 위해 8개의 상용 냉장고로부터 방사되는 소음이 무향실과 아파트로부터 녹음되었다. 사용자가 냉장고 소음으로부터 느끼는 주관적 청감을 알아보기 위하여 100명의 평가자로부터 청감 실험을 통하여 각 냉장고 소음의 주관적 평가 데이터가 얻어졌다. 그리고 이로부터 심리 음향 속성을 나타내는 파라미터인 5개의 Sound Quality Metric (SQM) 도출하였다. 마지막으로 주관적 소음 평가 데이터와 5개의 객관적 SQM 값 사이에 높은 상관도를 부여하는 냉장고 소음에 대한 객관적 평가 모델이 제시된다.

Abstract

This paper presents objective methods which predict perceptual noise levels caused by refrigerators. Eight home refrigerators are chosen and their noises are recorded in an anechoic-chamber and a real-life apartment. In order to obtain perceptual noise levels of the refrigerators, subjective quality assessment tests were performed by 100 evaluators. Then, we compute 5 sound quality metrics (SQM) which reflect psychoacoustics characteristics. Finally, objective assessment model for refrigerator noises is developed by linear combination of SQMs.

Keywords: 객관적 음질 평가 모델, 냉장고 소음, PC 법, ACR 법

I. 서론

가전제품, 운송 수단, 기계류 및 설비에서 방사되는 소음은 현대인의 생활과 불가분의 요소로 인식되고 있다. 사회가 발전함에 따라 더욱 증대되는 소음은 일상 생활을 방해하며, 난청과 같은 신체적 피해, 불쾌감으로 인한 심리적 피해 등을 야기하는 주요 원인이라고 할 수 있다. 최근까지 소음의 정도를 표시하는 국내외 규

격은 인간의 소음에 대한 감성 중에서 청각구조에 기인한 주파수 대역에의 등청감도를 반영하기 위한 A-weighting을 거친 dBA를 평가단위로 사용해왔다. 그러나 인간의 귀는 정교하여 소음의 복잡한 특성을 인지할 수 있어 소음의 크기뿐만 아니라 다양한 특성에 의하여 소음에 대한 심리적인 불쾌감이 유발된다. 따라서 음압 레벨과 함께 사용되고 있는 A-weighting은 소음에 대한 인간의 지각 변수 중에서 가장 기초적인 기능만을 고려할 수 있을 뿐이며 다양한 특성의 소음을 배출하는 가전제품의 평가로서는 그 적절성이 부족할 수밖에 없다. 따라서 음질(Sound Quality)로서 소음을 평가하고 이를 개선하기 위한 연구가 국내외에서 진행되고 있으며 제품 개발에 반영되고 있다.

유럽에서의 오랜 기간의 심리음향 (Psychoacoustics)에 대한 연구의 결과로서 소음에 대한 청감을 표현하는 여러 SQM들이 제안되었다. 이들 중에서 가장 기본적인 것이 Loudness로서, 1975년 ISO에서는 S. S. Stevens와

* 학생회원, 연세대학교 전기전자공학과
(Dept. of Electrical and Electronic Engineering,
Yonsei University)

** 정회원, 고등기술연구원 전략연구센터
메카트로닉스팀
(Institute for Advanced Engineering, Center for
Strategic Research, Team for Mechatronics)

*** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과
(Dept. of Electrical and Electronic Engineering,
Yonsei University)

접수일자: 2009년3월11일, 수정완료일: 2009년8월13일

E. Zwicker에 의하여 제안된 계산법을 각각 ISO 532로 제정하였다. 지금까지 ISO 532의 section2가 일반적으로 널리 사용되어 독일의 표준규격인 DIN45631로서 지정되었다. 국내에서는 ISO 532가 도입되어 KSA ISO 532로 제정되어 있다. Loudness는 정상상태의 소음에 대해서만 유효하지만 변동소음에 대한 값을 적절하게 표현할 파라미터가 필요하여, 최근에는 DIN 위원회에서 ISO 532B에 수정을 가하여 시간에 따라 변하는 loudness에 대한 표준화를 추진하고 있다.

여러 소음원 중에서 가전제품으로부터 방사되는 소음은 주거환경에 영향을 미치는 주요 요인이라고 할 수 있다. 높아지는 생활수준에 의하여 가정에서의 쾌적성에 대한 소비자의 욕구는 더욱 커지고 있고, 이는 가전제품의 내수 및 수출에서의 고급화를 촉진시키고 있는 상황이다. 고급화되어 가고 있는 가전제품의 상품성에 영향을 미치는 중요한 성능 중 하나가 바로 가전제품의 소음 수준이다. 이들의 소음특성은 소비자의 심리에 영향을 미치게 되며 나아가 제품에 대한 이미지를 좌우하고 소음이 제품 선택의 중요한 기준이 되어감에 따라 가전제품의 소음 관리는 최근에 중요한 문제로 부각되고 있다^[1~5]. 특히 냉장고는 소비자가 가정에서 수시로 사용하며 근거리에서 위치하기 때문에 항상 이들이 배출하는 소음에 노출되어 있을 수밖에 없다. 이러한 이유로 냉장고 소음에 관련된 연구는 산업체나 연구 기관에서 관심을 가지는 분야이다^[1,7]. 본 논문에서 냉장고 소음을 객관적으로 평가하기 위한 방법이 제안된다. 제안된 냉장고 소음의 객관적 평가 모델에서 소음의 특성을 잘 반영할 수 있는 5개의 SQM을 추출하고 이들을 선형 결합하여 객관적 소음 평가 모델을 개발하고자 한다.

II. 실험 환경

1. 냉장고

본 논문의 실험을 위해 국내외에서 생산된 8개의 상용 냉장고가 사용되었다. 사용된 냉장고는 모두 2개의 문을 가지고 있으며 다양한 크기를 가지고 있다. 표 1은 사용된 냉장고의 기본적인 사양을 보여준다.

2. 소음 녹음 환경

냉장고 소음은 무향실과 실제 생활환경 (45평 아파트)에 설치된 냉장고로부터 각각 녹음이 되었다. 냉장

표 1. 소음 측정을 위해 사용된 냉장고.
Table 1. Description of the 8 refrigerators.

	용량 (L)	형태
Ref. 1	225	상하개폐형
Ref. 2	360	상하개폐형
Ref. 3	470	상하개폐형
Ref. 4	460	상하개폐형
Ref. 5	720	양문형
Ref. 6	684	양문형
Ref. 7	694	양문형
Ref. 8	686	양문형

표 2. 무향실 규격 및 특징.
Table 2. Specifications of the anechoic-chamber.

Size	8.6 m(L) × 7.8 m(W) × 7.1 m(H) (F.L +5.4 m, F.L -1.7 m)
Sound Absorption Wedge	1.0 m(L) × 0.6 m(W) × 0.6 m(H) Glass Wool(32 kg/m ³)
Cut-off Frequency	63 Hz
Background Noise	Air Conditioner Off lower than 15 dB(A) Air Conditioner On lower than 20 dB(A)
Air conditioner	Temperature 22 ± 2 °C Humidity 55 ± 5%

고에 전원을 공급한 후 냉장고의 시스템이 안정을 찾을 수 있도록 가동된 후 2~3시간이 지난 후 소음 녹음을 시작하였다. 냉장고의 내부 온도는 중간 온도로 설정하였고, 내부는 무부하 상태 즉, 아무런 음식물을 넣지 않은 상태에서 녹음이 진행되었다. 녹음은 더미 헤드(dummy head)를 사용하여 진행되었으며 지면에서 더미 헤드 내부의 마이크로폰까지의 높이는 냉장고 높이의 1/2이 되도록 조정하였다.

무향실에서는 냉장고를 무향실 중앙에 위치시키고 냉장고 전면 1m 앞에서 더미헤드를 사용하여 냉장고 소음을 녹음하였다. 그림 1은 무향실에서 소음을 측정하는 모습이며, 표 2는 무향실의 규격 및 특징을 기술한다. 한편 아파트에서 냉장고의 소음 측정을 위해 45평 아파트의 주방에서 2면이 벽에 접하는 위치에 냉장고가 설치되었다(그림 2). 실내 온도는 약 30도 가량이고 습도는 약 70%였다. 더미 헤드는 냉장고 전면 1m 앞에 설치되었다.

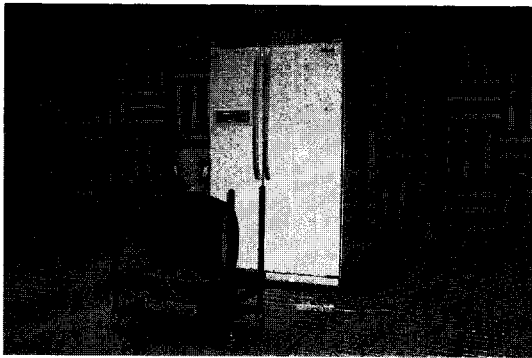


그림 1. 무향실에서 냉장고 소음의 녹음 환경.
Fig. 1. The refrigerator noise recording in the anechoic-chamber.

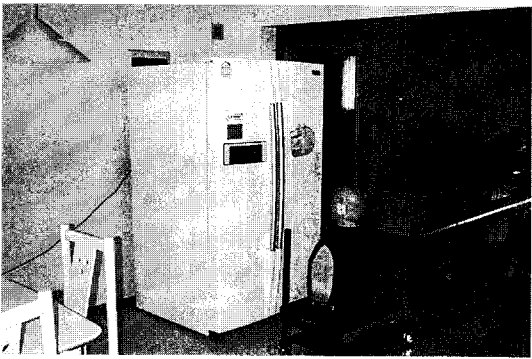


그림 2. 아파트에서 냉장고 소음의 녹음 환경.
Fig. 2. The refrigerator noise recording in the apartment.

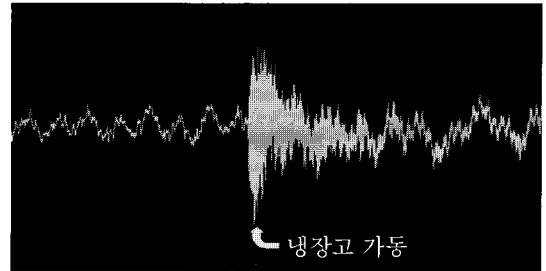
3. 녹음된 소음

냉장고 소음은 그림 3에서 볼 수 있는 것과 같이 압축기의 동작에 따라 3가지 상태 (가동이 시작하는 상태, 안정 상태, 가동을 멈추는 상태) 중에 한 가지로 분류될 수 있다. 냉장고의 주 소음원인 압축기는 냉장고 내부의 온도가 일정 온도를 초과하는 동안에 가동되고, 일정 온도 이하에서는 가동을 중지한다. 본 논문에서는 그림 3(b)와 같은 안정 상태에 있는 소음만을 사용한다. 그림 4는 안정 상태에 있는 소음의 파형과 스펙트럼을 보여준다. 그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 안정 상태에 있는 소음의 스펙트럼은 시간 축 상에서 일정하게 유지됨을 볼 수 있다.

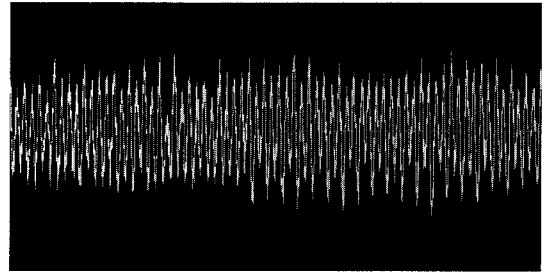
표 3은 다음 수식과 같이 시간 축 상에서 계산된 8개 냉장고에 대해 무향실과 아파트에서 녹음된 소음의 평균 에너지를 보여준다.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x[n]|^2 \tag{1}$$

여기서 $x[n]$ 은 냉장고의 노이즈 신호이다. 또한 그



(a)



(b)



(c)

그림 3. 압축기의 동작에 따른 냉장고 소음의 3가지 상태. (a) 가동을 시작하는 상태; (b) 안정 상태; (c) 가동을 멈추는 상태.

Fig. 3. Three refrigerator noise states depending on compressor operation. (a) Starting; (b) steady state; (c) ending.

림 5는 8개 냉장고 소음의 스펙트럼들을 보여준다. 여기서 부대역의 간격은 Bark 스케일이다. 스펙트럼의 모양은 전체적으로 비슷하지만, 아파트에서 녹음된 소음이 무향실에서 녹음된 소음보다 일반적으로 에너지가 높다. 이는 냉장고의 주 소음원인 압축기와 팬이 후면에 위치하는데 여기서 발생한 소음이 무향실과는 달리 아파트에서는 냉장고 후벽에서 반사되기 때문이다^[6]. 한편 냉장고 5는 대부분의 대역에서 에너지가 높으며 냉장고 8은 다른 냉장고에 비해 에너지가 낮지만 특정 주파수 대역에서 특히 에너지가 높다.

III. 주관적 소음 평가 실험

객관적 평가 모델 개발을 위해서는 이를 검증할 수

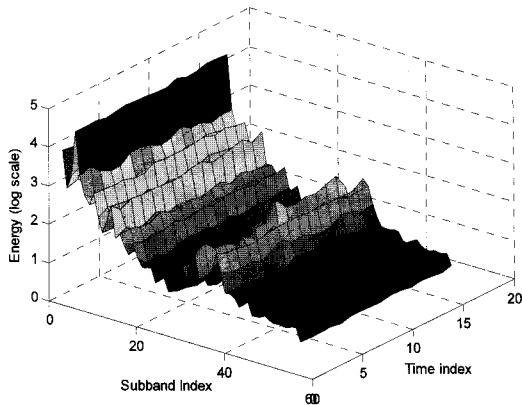
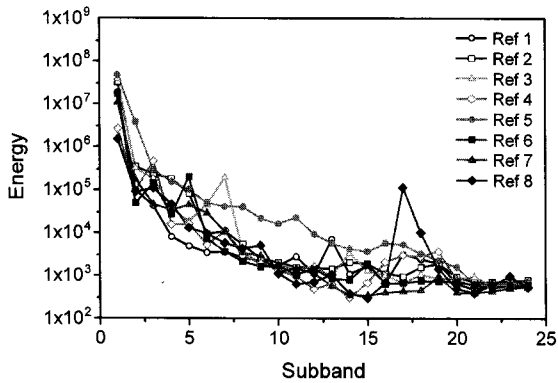
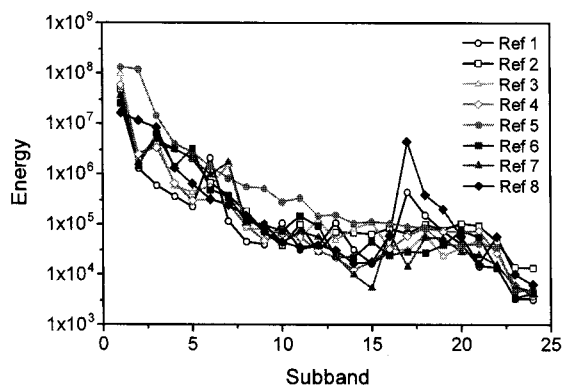


그림 4. 안정 상태에 있는 냉장고 소음의 스펙트럼 예.
Fig. 4. The spectrum example of steady noise of a refrigerator.



(a)



(b)

그림 5. 8개 냉장고 소음의 스펙트럼. (a) 무향실에서 획득된 8개 냉장고 소음의 스펙트럼; (b) 아파트에서 획득된 8개 냉장고 소음의 스펙트럼.
Fig. 5. Spectra of the 8 refrigerator noises. (a) Spectra of the 8 refrigerator noises acquired in the anechoic-chamber; (b) Spectra of the 8 refrigerator noises acquired in the apartment.

표 3. 8개 냉장고의 평균 에너지.
Table 3. Energies of the 8 refrigerators.

	Energy	
	아파트	무향실
Ref. 1	19756.4	7007.303
Ref. 2	26434.68	12751.33
Ref. 3	41405.87	14916.25
Ref. 4	25380.82	1260.806
Ref. 5	107773.2	19786.88
Ref. 6	15158.23	6766.199
Ref. 7	19575.16	4325.96
Ref. 8	17241.61	742.1051

있는 주관적 실험 결과가 필요하다. 냉장고 소음의 주관적 평가 데이터를 얻기 위해, 여러 평가자를 대상으로 소음 평가 실험을 진행하였다. 평가 음원의 에너지가 비교적 작기 때문에 실험은 청력에 문제가 없는 20대 초반에서 30대 초반 사이의 100명의 평가자에 의해 진행이 되었다. 오디오나 비디오의 주관적 품질 평가 방법은 여러 표준안에서 제안되었다^[7-9]. 그 중에서 본 논문의 주관적 평가 실험은 기존 음질 평가에서 주로 사용되어왔던 paired comparison (PC) 방법과 absolute category rating (ACR) 법을 사용하여 수행되었다.

1. PC (Paired comparison) 법

그림 6에서 보는 바와 같이 PC법은 2개의 다른 냉장고 소음을 들려준 후 평가자가 평가하는 방식으로 수행이 되었다. 즉, 첫 번째 소음 (소음 1 또는 2)이 8초간 재생된다. 목음이 2초간 지속된 후 두 번째 소음 (소음 2 또는 1)이 8초간 재생된다. 이를 2회 반복한 후 6초 동안 평가하는 방식으로 진행되었다. 이러한 과정이 모든 소음 쌍에 대해 반복된다. PC 법은 평가 데이터 간의 미묘한 차이를 쉽게 평가할 수 있기 때문에 평가자 간의 편차가 적다는 특징이 있으므로 신뢰도 높은 결과를 얻을 수 있다. 이와 같이 한 쌍의 소음을 들은 후 평가자들은 소음의 선호도를 연속 측정 평가표 (continuous grading scale)에 평가를 한다. 그림 7은 그러한 평가표를 보여준다. 음수는 첫 번째 재생된 소음이 두 번째 재생된 소음보다 선호도가 더 좋다는 (덜 불쾌함) 것을 의미한다. 한편 실험은 무향실과 아파트에서 녹음된 음원에 대해 따로 수행이 되었다. 무향실



그림 6. PC 법에서 소음의 재생 순서.
Fig. 6. Playing order of noises in the PC method.

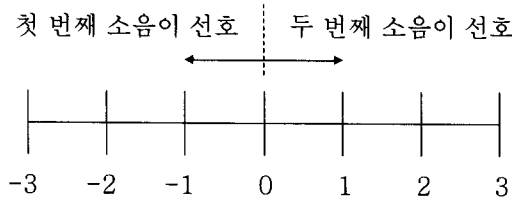


그림 7. PC 법에서 주관적 점수 평가.
Fig. 7. Subjective rating in the PC method.

과 아파트 별로 8개씩의 냉장고 소음이 있기 때문에 총 $2 \times {}_8C_2 = 56$ 쌍의 평가 데이터 쌍이 존재한다. 따라서 한 명의 실험자에 대해 56쌍의 소음 데이터를 들려주고 평가하는 방식으로 실험이 진행되었다. 그리고 소음 데이터의 재생 순서에 의한 잔존 효과가 평가에 영향을 미칠 수 있기 때문에 재생 순서는 각 실험자마다 무작위로 정해졌다. 표 4와 5는 PC법을 사용하여 100명의 평가자에 의해 수행된 주관적 평가 점수를 보여준다. 각 점수에서 행의 위치는 선행 소음원을, 열의 위치는 후행 소음원을 의미한다. 예를 들어 첫 번째 행, 두 번째 열에 있는 -0.08이라는 점수는 냉장고 1의 소음과 냉장고 2의 소음 쌍에 대한 100명의 평가 점수의 평균을 의미한다. 이 경우는 평가 점수가 음수이므로 평가자들이 선행 소음원 (냉장고 1)의 소음이 후행 소음원 (냉장고 2)의 소음보다 상대적으로 덜 불쾌하다고 평가했음을 의미한다. 그리고 마지막 열은 어떤 냉장고 소음에 대해 다른 7개 냉장고 소음들과 평가 점수들을 평균한 것이다. 이 평균 점수가 각 냉장고 소음의 주관적 평가 점수로 사용된다. 표 4와 5에서 냉장고 5와 냉장고 8의 소음이 다른 냉장고의 소음에 비해 상대적으로 더 불쾌한 것으로 평가되었다. 그림 5와 표 3에서 볼 수 있는 바와 같이 냉장고 5의 소음은 다른 냉장고의 소음에 비해 에너지가 크다. 즉, 소음이 더 클수록 불쾌감이 크다는 것을 확인할 수 있다. 반면에 냉장고 8의 소음은 에너지가 비교적 낮음에도 불구하고 선호도가 가장 낮은 것으로 평가되었다. 이는 그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이 냉장고 8의 소음은 특정 주파수 대역에서 다른 냉장고에 비해 에너지가 높다. 즉, 사용자에게 불쾌감을 줄 수 있는 요인으로는 소음의 에너지 이외에도 다른 요인이 존재한다는 것을 보여준다.

2. ACR (Absolute category rating) 법

ACR 법은 한 번에 하나의 냉장고 소음이 제시되고 평가자가 각 소음의 품질을 독립적으로 평가하는 방법이다. 즉 그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 하나의 냉장고 소음을 8초 동안 평가자에게 들려주고 6초 동안 평가하는 방식으로 진행되었다. 평가는 그림 9의 7 등급 척도를 사용하였다. 점수가 높을수록 선호도가 높다 (덜 불쾌하다)는 것을 의미한다. PC 법에서 사용한 소음과 같은 냉장고 소음을 사용하여 100명의 평가자에 대해 실험이 진행되었다. 따라서 각 평가자는 16개의 소음 (무향실 8개, 아파트 8개)을 평가한다. 표 6은 100명의 평가자에 대해 ACR 법을 사용하여 평가한 주관적 점수의 평균을 보여준다. 무향실에서 획득된 소음은 약 3~6점대, 아파트에서 획득된 소음은 1~2점대의 평가 결과를 보여준다. 즉 무향실 소음이 아파트 소음보다 선호도가 높았다. 무향실 소음의 에너지가 아파트 소음의 에너지보다 대체적으로 낮았다는 사실로부터 에

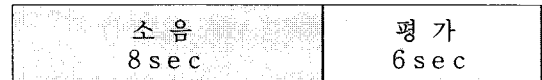


그림 8. ACR 법에서 소음의 재생 순서.
Fig. 8. Playing order of noises in the ACR method.

1	2	3	4	5	6	7
아주 나쁨	나쁨	약간 나쁨	보통	약간 좋음	좋음	아주 좋음

그림 9. ACR 법에서 주관적 점수 평가.
Fig. 9. Subjective rating in the ACR method.

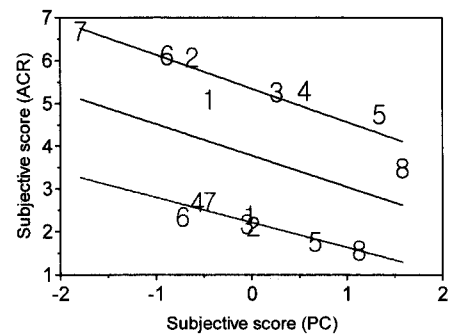


그림 10. PC 법과 ACR 법에 의해 얻어진 주관적 점수 사이의 상관도 (파랑: 무향실, 빨강: 아파트, 검정: 무향실+아파트).
Fig. 10. The scatter plot between the subjective scores acquired by the PC method and the ACR method (Blue: anechoic-chamber, Red: apartment, Black: anechoic-chamber+apartment).

표 4. 아파트에서 획득된 냉장고 소음의 주관적 평가 점수 (PC 법).

Table 4. Subjective scores of the 8 refrigerators noises recorded in the apartment (PC method).

	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 4	Ref. 5	Ref. 6	Ref. 7	Ref. 8	Avg.
Ref. 1	-	-0.08	0.02	0.79	-0.53	0.61	0.12	-1.05	-0.0171
Ref. 2	0.08	-	0.07	0.38	-0.58	0.58	0.55	-0.96	0.0171
Ref. 3	-0.02	-0.07	-	0.44	-0.69	0.82	0.27	-1.11	-0.0514
Ref. 4	-0.79	-0.38	-0.44	-	-1.08	0.29	-0.11	-1.5	-0.5729
Ref. 5	0.53	0.58	0.69	1.08	-	1.25	0.94	-0.43	0.6629
Ref. 6	-0.61	-0.58	-0.82	-0.29	-1.25	-	-0.06	-1.46	-0.7243
Ref. 7	-0.12	-0.55	-0.27	0.11	-0.94	0.06	-	-1.35	-0.4371
Ref. 8	1.05	0.96	1.11	1.5	0.43	1.46	1.35	-	1.1229
Avg.	0.0171	-0.0171	0.0514	0.5729	-0.6629	0.7243	0.4371	-1.1229	

표 5. 무향실에서 획득된 냉장고 소음의 주관적 평가 점수 (PC 법).

Table 5. Subjective scores of the 8 refrigerators noises recorded in the anechoic-chamber (PC method).

	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 4	Ref. 5	Ref. 6	Ref. 7	Ref. 8	Avg.
Ref. 1	-	0.03	-0.71	-0.84	-1.48	0.17	1.3	-1.54	-0.4386
Ref. 2	-0.03	-	-0.87	-0.98	-1.97	0.17	1.23	-1.89	-0.62
Ref. 3	0.71	0.87	-	-0.46	-1.14	1.45	1.98	-1.57	0.263
Ref. 4	0.84	0.98	0.46	-	-0.87	1.45	2.12	-1.13	0.55
Ref. 5	1.48	1.97	1.14	0.87	-	1.89	2.49	-0.44	1.3429
Ref. 6	-0.17	-0.17	-1.45	-1.45	-1.89	-	1.03	-2.09	-0.8843
Ref. 7	-1.3	-1.23	-1.98	-2.12	-2.49	-1.03	-	-2.39	-1.7914
Ref. 8	1.54	1.89	1.57	1.13	0.44	2.09	2.39	-	1.579
Avg.	0.4386	0.62	-0.263	-0.55	-1.3429	0.8843	1.7914	-1.579	

표 6. 냉장고 소음의 주관적 평가 점수 (ACR 법).

Table 6. Subjective scores of the 8 refrigerators noises (ACR method).

	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 4	Ref. 5	Ref. 6	Ref. 7	Ref. 8
무향실	5.1	6.08	5.26	5.3	4.75	6.12	6.69	3.49
아파트	2.38	2.12	2.18	2.69	1.77	2.35	2.7	1.57

너지는 소음의 선호도와 밀접한 상관 관계가 있음을 예상할 수 있다.

3. PC 법과 ACR 법의 비교

그림 10은 PC 법과 ACR 법에 의해 얻어진 주관적 점수 사이의 상관도를 보여준다. 파란색으로 표시된 점은 무향실에서 얻어진 소음의 주관적 평가 결과를 의미하고 빨간색으로 표시된 점은 아파트에서 얻어진 소음의 주관적 평가 결과이다. 그리고 각 번호는 냉장고의 번호이다. 각각의 상관도는 0.9098과 0.9101로 매우 높

은 상관 관계를 보여주었다. 즉 두 가지 주관적 평가의 결과가 일관적이라고 할 수 있기 때문에 무향실과 아파트에서 각각 획득된 소음에 대한 주관적 실험 결과는 신뢰할 만하다고 할 수 있다. 따라서 두 실험 결과는 각 상황 (무향실, 아파트)에서 소비자가 느끼는 소음의 주관적인 평가치를 잘 반영한다고 볼 수 있다. 본 논문의 목적은 이러한 주관적 평가치를 잘 예측할 수 있는 객관적 모델을 개발하는데 있다.

한편 그림 10에서 검은 색 회귀선 (regression line)은 무향실과 아파트에서 얻어진 전체 소음 16개에 대한

PC 법과 ACR 법의 상관 관계를 보여준다. 상관도는 0.371로 그림에서도 볼 수 있다시피 상관 관계가 낮았다. ACR의 경우는 각 소음에 대해 독립적인 평가가 진행되었기 때문에 무향실이나 아파트 소음에 대해 절대적인 평가가 가능하다. 반면에 PC 법은 무향실과 아파트의 소음의 각 집합 내에서 냉장고들 사이의 상대적인 평가만이 수행되므로 무향실과 아파트 소음들 간의 차이를 평가하기 어렵다. ACR 법에 의한 무향실과 아파트의 주관적 점수들은 확연한 차이가 존재하지만 PC 법에 의한 주관적 점수들 사이에서는 그 차이가 거의 없음을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 무향실과 아파트에서 얻어진 전체 소음 16개에 대한 객관적 평가 모델에 대해서는 ACR 법에 의해 얻어진 주관적 평가 점수만을 사용한다.

IV. 냉장고 소음의 모델링

1. 냉장고 소음의 객관적 특징 추출

음질에 대한 주관적 평가를 음향 신호로부터 추출할 수 있는 특징과 연관시키기 위한 심리 음향 분야에서는 수음자가 느끼는 음향에 대한 청감을 객관적 특징으로 모델링하기 위한 연구를 지속해 왔다. 특히 Zwicker는 음질에 영향을 주는 요인으로 Zwicker Loudness (ZL), Sharpness (S), Roughness (R), Fluctuation Strength (FS), Tonality (T) 등을 제안하였다^[10]. 각 냉장고 소음의 객관적인 특성을 얻기 위하여 상용 소프트웨어를 사용하여 위 5개의 SQM 값들을 계산하였다^[11]. 계산된 SQM 값들은 표 7에 제시되어 있다. 본 논문에서는 5개의 SQM 중에 2개의 SQM만을 조합하여 냉장고 소음의 선호도를 예측하는 객관적 모델을 제시한다. 예측된 객관적 평가 점수와 주관적 점수 사이에 더 높은 상관도를 얻기 위해 더 많은 SQM을 조합하는 것이 유리하지만, 이는 평가 모델이 실험 데이터에만 편중될 수 있다는 문제점이 있기 때문에 2개의 SQM만을 조합하기로 한다. f_1 과 f_2 를 두 SQM 값이라고 한다면 객관적 평가 모델은 다음과 같이 두 SQM 값의 선형 가중치 합으로서 얻어질 수 있다.

$$l_{predict} = w_1 f_1 + w_2 f_2 \quad (2)$$

여기서 $l_{predict}$ 은 예측된 객관적 소음 평가 값이고 w_i ($i=1, 2$)는 각 SQM의 가중치 값이다. 우리의 목적은

표 7. 각 냉장고 소음에 대한 5개 SQM의 값.
Table 7. 5 SQM values for each refrigerator noise.

		ZL	S	R	FS	T
무향실	Ref. 1	0.9	1.335	0.227	0.131	0.065
	Ref. 2	1.5	0.772	0.207	0.103	0.105
	Ref. 3	1.6	0.839	0.205	0.088	0.245
	Ref. 4	1.3	1.057	0.218	0.126	0.258
	Ref. 5	2.8	0.799	0.232	0.098	0.08
	Ref. 6	1.3	0.882	0.205	0.154	0.245
	Ref. 7	0.9	0.854	0.214	0.08	0.083
	Ref. 8	1.7	1.302	0.238	0.078	0.177
아파트	Ref. 1	3.5	1.244	0.22	0.112	0.226
	Ref. 2	4.1	1.116	0.238	0.123	0.123
	Ref. 3	4	1.019	0.247	0.112	0.23
	Ref. 4	3.4	1.221	0.231	0.126	0.083
	Ref. 5	5.7	0.817	0.243	0.108	0.121
	Ref. 6	3.8	1.021	0.231	0.124	0.123
	Ref. 7	3.8	0.971	0.24	0.102	0.2
	Ref. 8	4.8	1.206	0.243	0.116	0.119

$l_{predict}$ 와 이에 해당하는 주관적 평가 점수 사이의 상관도를 최대화 하는 것이다. 이를 위해 최적 가중치 값 (w_1, w_2)을 구하는 과정은 다음 절에서 논의될 최적화 방법을 사용한다.

2. 최적화 과정^[12]

먼저 다음과 같은 특징 벡터가 구성된다.

$$F = [f_1, f_2, \dots, f_k]^T \quad (3)$$

여기서 K 는 특징 벡터의 차원이고 가중치 값들도 다음과 같이 가중치 벡터로 표현될 수 있다.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_k]^T. \quad (4)$$

식 3과 4로부터 식 2는 다음과 같이 변형된다.

$$l_{predict} = W^T F. \quad (5)$$

x 를 냉장고 소음의 주관적 평가 점수라고 한다면, x 와 $l_{predict}$ 는 확률 변수라고 할 수 있다. 목적은 최적 가중치 벡터 W 를 선택하여 가능한 한 x 와 $l_{predict}$ 사이의 상관도를 높이는 것이라고 할 수 있다. 참고 문헌 [12]는 주관적 평가 점수와 객관적 모델에 의해 예측된 객관적 점수 사이의 상관도를 최대화 하기 위한 최적

가중치 벡터 W 를 찾는 과정을 제시한다. 가장 큰 고유 값 (eigen value)에 해당하는 $\Sigma_F^{-1}\Sigma_Q$ 의 고유 벡터 (eigen vector)가 가장 큰 상관도를 가진다는 것이 알려져 있다. 여기서 $\Sigma_Q = QQ^T$ 의 관계를 만족하고, $Q = E(xF)$ 이다. 한편 Σ_F 는 F의 공분산 행렬이다.

V. 실험

우리는 5개의 SQM 중 2개씩 선택하여 식 2에 의해 얻어진 객관적 소음 평가 값과 주관적 평가 값 사이의 상관도를 계산하였다. 표 8~11은 각 녹음 환경 (무향실, 아파트)에서 획득된 소음 데이터와 주관적 실험 방법 (PC법, ACR법)에 따른 상관도 값을 보여준다. 모든 상황에서 Zwicker Loudness와 Sharpness를 조합하였을 때 주관적 평가 점수와 가장 높은 상관도를 보여주었다. 즉, Zwicker Loudness와 Sharpness는 냉장고 소음의 선호도를 객관적으로 예측하는데 가장 유력한 SQM들이라고 할 수 있다. 그림 11은 f_1 과 f_2 가 각각 Sharpness와 Zwicker Loudness일 때 객관적 예측 점수 ($l_{predict}$)와 각 녹음 환경과 주관적 실험 방법에

따른 주관적 평가 점수와 산점도 (scatter plot)를 보여준다.

위와 같이 각 환경에 대해 우수한 성능의 객관적 음질 평가 모델을 개발하는 것도 중요하다. 그러나 본 논문에서 사용된 녹음 장소들은 매우 극단적인 음향 환경을 가지는 장소이다. 무향실은 모든 반사음이 흡수가 되는 환경으로서 소비자가 냉장고를 실제로 사용하는 음향 환경과는 거리가 멀다. 반면에 본 논문에서 실제 거주 환경을 대변하기 위해 녹음이 진행된 아파트는 가구가 많지 않아 잔향 시간이 상대적으로 긴 환경이다. 또한 실제 거주 환경은 넓이나 구조, 인테리어의 배치 등에 따라서 음향 환경이 항상 달라지기 때문에 본 논문에서 사용된 아파트는 모든 거주 환경을 대변한다고 하기는 어렵다. 그러나 양 극단이라고 할 수 있는 두 녹음 환경으로부터 얻어진 소음 데이터들을 통합한 경우에 적용되는 객관적 음질 모델은 어떠한 사용 환경에서도 소비자가 느끼는 냉장고 소음을 더 잘 대변할 수 있을 것이다. 이에 우리는 무향실과 아파트에서 녹음된 소음을 통합하여 각 SQM 조합과 ACR 법으로 얻어진 주관적 평가 점수 사이에 상관도를 도출하였다. 3. 3절

표 8. 각 SQM의 조합에 따른 상관도 (무향실, ACR).
Table 8. The correlation according to the combinations of each SQM (anechoic chamber, ACR).

		f_1				
		ZL	S	R	FS	T
f_2	ZL	-	0.949	0.812	0.495	0.486
	S		-	0.805	0.707	0.630
	R			-	0.792	0.901
	FS				-	0.322
	T					-

표 9. 각 SQM의 조합에 따른 상관도 (무향실, PC).
Table 9. The correlation according to the combinations of each SQM (anechoic chamber, PC).

		f_1				
		ZL	S	R	FS	T
f_2	ZL	-	0.926	0.836	0.723	0.764
	S		-	0.682	0.415	0.373
	R			-	0.667	0.831
	FS				-	0.373
	T					-

표 10. 각 SQM의 조합에 따른 상관도 (아파트, ACR).
Table 10. The correlation according to the combinations of each SQM (apartment, ACR).

		f_1				
		ZL	S	R	FS	T
f_2	ZL	-	0.927	0.829	0.859	0.827
	S		-	0.500	0.165	0.275
	R			-	0.493	0.521
	FS				-	0.334
	T					-

표 11. 각 SQM의 조합에 따른 상관도 (아파트, PC).
Table 11. The correlation according to the combinations of each SQM (apartment, PC).

		f_1				
		ZL	S	R	FS	T
f_2	ZL	-	0.950	0.781	0.780	0.790
	S		-	0.506	0.303	0.104
	R			-	0.464	0.447
	FS				-	0.453
	T					-

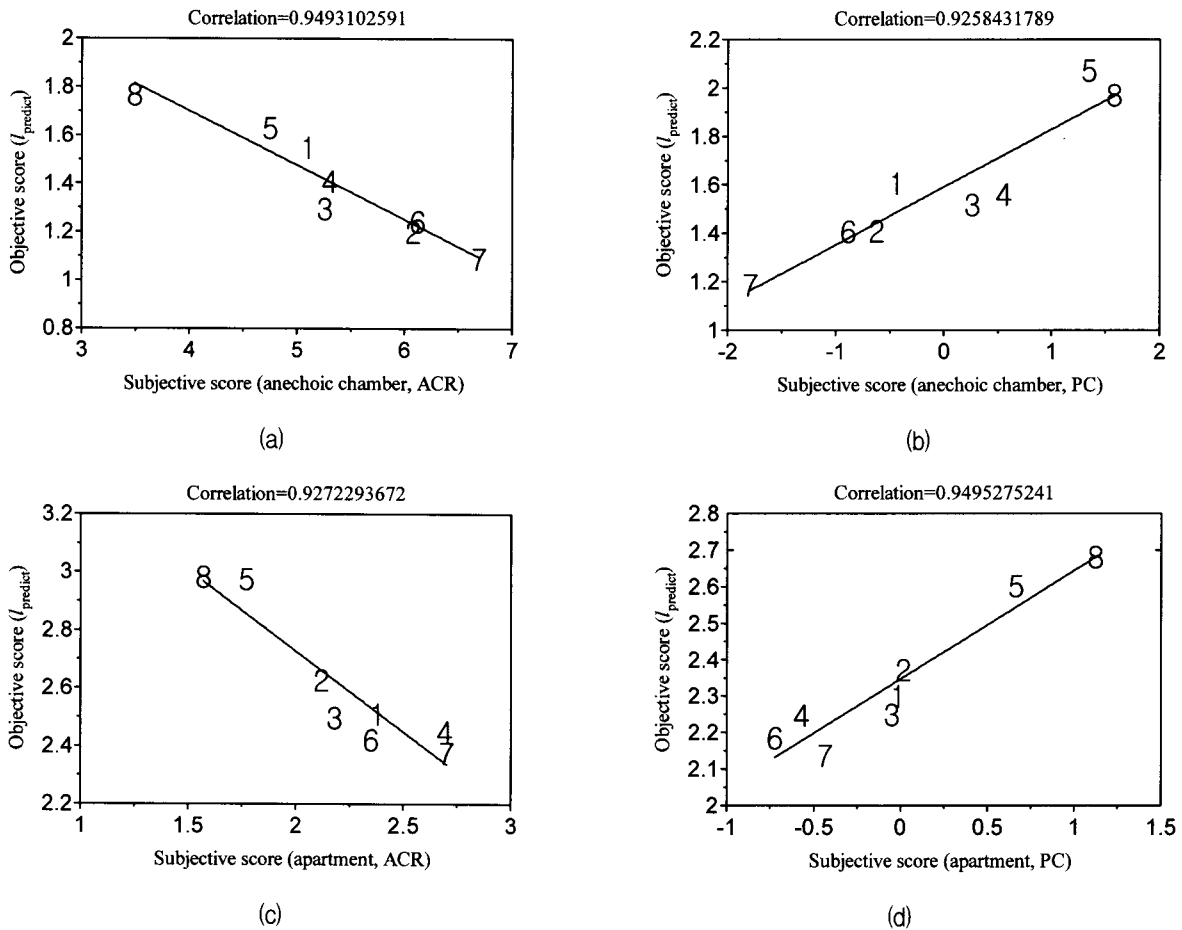


그림 11. 주관적 평가 점수와 Zwicker Loudness와 Sharpness 조합으로 예측된 객관적 점수 사이의 산점도. (a) 무향실, ACR; (b) 무향실, PC; (c) 아파트, ACR; (d) 아파트, PC.

Fig. 11. The scatter plots of the subjective scores and objective scores acquired from the combination of Zwicker Loudness and Sharpness. (a) Anechoic chamber, ACR; (b) Anechoic chamber, PC; (c) Apartment, ACR; (d) Apartment, PC.

표 12. 각 SQM의 조합에 따른 상관도 (무향실+아파트, ACR).

Table 12. The correlation values according to the combinations of each SQM. (anechoic chamber + apartment, ACR)

		f_1				
		ZL	S	R	FS	T
f_2	ZL	-	0.984	0.937	0.912	0.915
	S		-	0.833	0.416	0.416
	R			-	0.837	0.842
	FS				-	0.097
	T					-

에서 언급된 바와 같이 통합된 데이터에서는 ACR 법으로 얻어진 주관적 결과만 의미 있기 때문이다. 표 12는 SQM 조합에 따른 상관도를 보여준다. 이 결과에서

도 Zwicker Loudness와 Sharpness 조합이 주관적 평가 점수와 가장 높은 상관 관계를 보여주었다. 즉, Zwicker Loudness와 Sharpness는 냉장고 소음의 선호도를 객관적으로 예측하는데 가장 유력한 SQM임을 보여주었다. 그림 12는 f_1 과 f_2 가 각각 Zwicker Loudness와 Sharpness일 때 객관적 예측 점수 ($l_{predict}$)와 주관적 평가 점수 (무향실+아파트)와의 산점도 (scatter plot)를 보여준다.

한편 표 13은 각 실험 환경에 따라 f_1 (Sharpness)와 f_2 (Zwicker Loudness)에 대한 식 2의 가중치 값(w_1 , w_2)를 보여준다. 가중치 값들은 무향실, PC법에 대한 실험을 제외하고는 대체로 전반적으로 비슷하다. 이는 제안한 소음 평가 모델이 어떤 환경 하에서도 일관성 있는 객관적 평가치를 도출할 수 있다는 것을 보여준다.

표 13. 각 실험 환경에 따른 f_1 (Sharpness)와 f_2 (Zwicker Loudness)에 대한 가중치 값.

Table 13. The weighting values for f_1 (Sharpness) and f_2 (Zwicker Loudness) according to noise recording environment and subject testing method.

	w_1	w_2
무향실, ACR	0.292319	0.956321
무향실, PC	0.455896	0.890033
아파트, ACR	0.30693	0.951732
아파트, PC	0.256424	0.966564
무향실+아파트, ACR	0.291985	0.956423

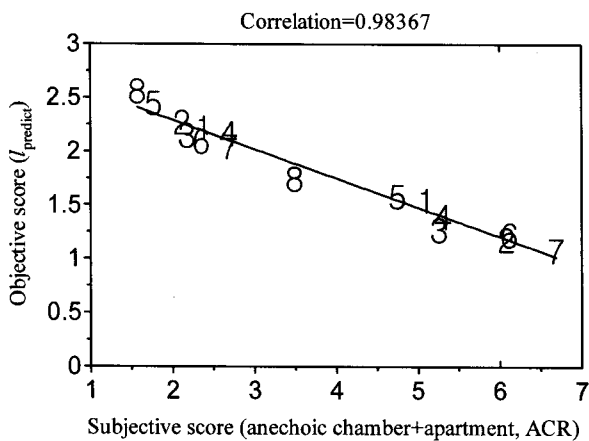


그림 12. 주관적 평가 점수와 Zwicker Loudness와 Sharpness 조합으로 예측된 객관적 점수 사이의 산점도 (무향실 (파랑)+아파트 (빨강), ACR).

Fig. 12. The scatter plots of the subjective scores and objective scores acquired from the combination of Zwicker Loudness and Sharpness (anechoic chamber (blue) + apartment (red), ACR).

VI. 결 론

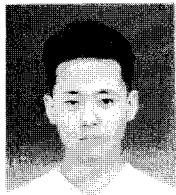
본 논문에서 음향 신호의 특성을 객관적으로 모델링할 수 있는 SQM을 사용하여 냉장고 소음의 선호도를 객관적으로 예측할 수 있는 모델을 제안하였다. 실험에 사용된 냉장고의 종류가 적기 때문에 모델이 실험 데이터에 편중되는 것을 방지하기 위해 두 개의 SQM만을 조합한 선형 모델을 제시하였다. 또한 두 SQM의 선형 결합을 위한 최적의 가중치를 찾기 위해 주관적 평가 점수와 객관적 예측 점수 사이의 상관도가 최대가 되도록 하는 최적화 방법을 사용하였다. 실험 결과 Zwicker

Loudness와 Sharpness의 조합이 냉장고 소음의 주관적 청감을 가장 잘 예측한다는 것을 보여주었다. 한편 제안한 모델의 일반화를 위해 더 많은 냉장고를 사용하여 주관적 소음 평가 실험을 진행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. Takushima, Y. Shinobu, S. Tanaka, M. Eguchi, and K. Matsuki, "Fan noise reduction of household refrigerator," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 28, No. 2, pp. 287-292, March 1992.
- [2] Chun-Yu chen, and Chien-Hsiun Kuan, "Design and calibration of a noise measurement system," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 49, No. 1, pp. 77-82, Feb. 2000.
- [3] Lord, Gatley, and Evensen, "Noise Control For Engineers," Krieger Publishing Company, pp. 36-57 and pp. 103-291, 1981.
- [4] D. A. Bies and C. H. Hansen, "Engineering Noise Control: Theory and Practice," E & FN SPON, 3rd edition, pp. 44-63, 2003.
- [5] Y. C. Jeng, "Discrete-time method for signal and noise measurement," *IEEE Proc. Instrumentation and Measurement Technology Conference, Integrating Intelligent Instrumentation and Control*, pp. 24-26, Waltham, USA, April 1995.
- [6] 전진용, 유진, 장호연, 이충화, 정정호, "주거환경에서 냉장고 소음의 음질 특성," 한국 소음진동 공학회, 16권 8호, 797-805쪽, 2006년 8월.
- [7] H. A. David, "The Method of paired Comparison," CHARLES GRIFFIN, pp. 9-43, 1998.
- [8] Recommendation ITU-R BT.500-11, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures."
- [9] Recommendation ITU-R BT.700, "Subjective Assessment Methods for Image Quality in High-Definition Television."
- [10] E. Zwicker and H. Fastl, "Psychoacoustics: Facts and Models," Springer Verlag, 1999.
- [11] MTS System Co., "MTS Sound Quality Ver. 3.7.5."
- [12] C. Lee and O. Kwon, "Objective measurements of video quality using wavelet transform," *Optical Engineering*, Vol. 42, No. 1, pp. 265-272, Jan. 2003.

저 자 소 개



박 종 근(학생회원)
 2002년 연세대학교 전기전자공학부 학사 졸업.
 2004년 연세대학교 전기전자공학과 석사 졸업.
 2004년~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 영상/음성 신호처리, 패턴 인식>



이 상 옥(학생회원)
 2004년 연세대학교 전기전자공학부 학사 졸업.
 2006년 연세대학교 전기전자공학과 석사 졸업.
 2006년~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 영상/음성 신호처리>



이 철 희(정회원)
 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, 패턴 인식>



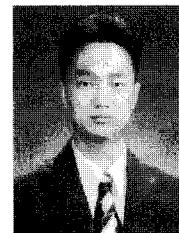
조 연(정회원)
 1981년 고려대학교 기계공학과 학사 졸업.
 1983년 고려대학교 기계공학과 석사 졸업.
 1986년 Wayne State University 기계공학과 석사 졸업.

1993년 8월 Rensselaer Polytechnic Institute 기계항공공학과 박사 졸업

1994년~1995년 대우자동차

1994년~현재 고등기술연구원

<주관심분야 : 컴퓨터, 신호처리>



황 대 선(정회원)
 2001년 금오공과대학교 기계공학과 학사 졸업.
 2003년 부산대학교 기계설계공학과 석사 졸업.
 2003년~현재 고등기술연구원

<주관심분야 : 컴퓨터, 신호처리>