

실환경에서의 냉장고 음질 평가 기법 개발

Development of Sound Quality Evaluation Technique for a Refrigerator under Household Usage Environment

김상수† · 이은영* · 김중래* · 김종엽* · 이동현* · 오종학*

Kim Sang-soo, Lee Eun-young, Kim Jung-rae, Kim Jong-yeob, Lee Dong-hyun, Oh Jong-hak

Key Words : Sound Quality(음질), Subjective Evaluation(주관 평가), Objective Evaluation(객관 평가), Sound Quality Index(음질인덱스), ANN(Artificial Neural Network : 인공신경회로망)

ABSTRACT

The quality of various noises generated in the refrigerator is one of the important factors in deciding quality of the product. The main focus of sound control design has been shifted from reduction of sound level to improvement of sound quality for customer's preference. Up to date the purpose of noise control is the minimization of noise level. However despite of gradual decrease of noise level, occasionally the perceptual quality of noise has not been improved.

In this paper, the relation between subjective and objective evaluation of sound quality has established and sound quality index is developed using ANN for evaluation of refrigerator's noise of both the starting noise and the stable running noise of compressor. To verify the usefulness of the index, the results in this paper have been compared with those surveyed by Consumer Union in USA.

1. 서론

생활의 질적 수준 향상과 더불어 생활 가전제품의 저소음화에 대한 인식이 보편화되어 있다. 특히 냉장고는 24 시간 가동을 하므로 주거 생활과 밀접한 연관을 갖고 있으며, 냉장고 소음은 일상 주거 생활에서 불쾌감을 주는 큰 요인 중의 하나이다. 따라서 소음은 냉장고 상품의 질을 결정짓는 중요한 요소로 작용하고 있으며 마케팅에 적극 활용하고 있는 추세이다. 또한, 소음제어의 목표가 단순한 소음 레벨 저감이 아닌 음질의 최적화 방향으로 되고 있으며 이는 디자인, 성능 등과 더불어 제품에 대한 기업경쟁력으로 작용하고 있다.

냉장고 소음은 압축기, 냉기 순환용 팬 등에 기인하여 발생되며, 특히 압축기에 의한 소음은 저주파수 대역의 단일 주파수 톤으로 나타나거나 고주파 대역에서의 소음으로 방향성을 갖고 방사되는 특성을 갖는다. 또한 냉장고 소음은 크게 압축기 기동 직후의 과도 상태의 소음(이하 기동음)과 기동 안정 상태의 운전소음(이하 안정음)으로 구분할 수 있으며, 소음 레벨 및 음색, 소비자가 느끼는 불쾌감 등에서 서로 차이가 있으므로 냉장고 저소음화 및 음질 최적화 설계 시 안정음 뿐만 아

니라 기동음에 대한 특성들을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 실환경을 고려한 냉장고 기동음과 안정음에 대한 음질의 주관적, 객관적인 평가의 상관관계를 정립하고, 냉장고 음질을 객관화 할 수 있는 음질 인덱스를 개발하였으며, 기동음과 안정음에 가중치를 부여하여 냉장고의 전체 음질 수준을 대변할 수 있는 통합 음질인덱스를 제안하였다. 음질 인덱스 개발을 통해 냉장고 음질 수준 및 소비자 만족도의 예측이 가능해졌으며, 시장에서의 소비자 설문조사 등 별도의 주관적 평가가 불필요해짐에 따라 이에 소요되는 시간과 비용 절감 등의 효과도 기대할 수 있게 되었다.

2. 냉장고 음질 평가

2.1 냉장고 소리 녹음 및 신호 제작

냉장고의 소리는 Fig. 2.1 과 같이 격벽이 설치된 반무향실에서 냉장고의 주 소음원인 압축기와 고내 팬 등의 소음 특성을 고려하여 그림과 같이 냉장고 양 측면(P2, P3)에서 Head and Torso 장비를 이용하여 녹음하였다. 이때 녹음한 냉장고의 수는 다양한 냉장고 음질과 충분한 데이터 확보 등을 감안, 당사 모델을 포함하여 국내외 냉장고 30 대 이상을 선별하여 실시하였다.

무향실에서 녹음한 냉장고 소음은 실 환경에서의 소음과 차이가 있으므로 본 연구에서는 신호처

† 삼성전자㈜ 생활가전총괄

E-mail : sskim002@samsung.com

Tel : (062)950-6836, Fax : (062)950-6846

• 삼성전자㈜ 생활가전총괄

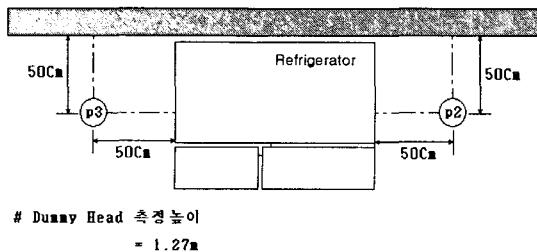


Fig. 2.1 Recording location of Torso

리 과정을 통하여 실제 소음과 유사하게 신호를 제작하였다. 무향실에서 녹음한 냉장고 신호에는 무향실 암소음이 존재하므로 먼저 스펙트럼감산법을 이용해 암소음을 제거 후, 실 가정집에서의 잔향효과를 고려하기 위해 대표 평형중의 하나인 32 평형 아파트 실내의 임펄스응답함수를 구한 후 이를 무향실에서 녹음한 냉장고 신호와 승적(Convolution)을 취하여 실제 사용 환경에서 와 유사한 소음 신호를 구현하였다.

2.2 음질 요소 계산

음질을 결정하는 주요 요소로서 라우드니스(Loudness), 샤프니스(Sharpness), 러프니스(Roughness), 변동강도(Fluctuation Strength) 등이 정의되어 있다. 라우드니스는 음의 크기에 대한 주관적 지각량, 샤프니스는 음의 날카로움에 대한 주관적 지각량, 러프니스는 음의 거칠기에 대한 주관적 지각량, 변동강도는 음의 변화를 느끼는 속성에 대한 주관적 지각량을 의미한다.

본 연구에서 음질 요소계산은 MTS Sound Quality Module을 사용하였다.

2.3 음질 선호도 평가

실 사용조건을 고려해 제작된 냉장고 기동음과 안정음 신호들에 대해 음질 선호도를 평가하였다. 주관평가의 인원은 28 명(남자 15 명, 여자 13 명, 20 ~ 40 세)이며, 실험 참여자들은 평가 신호를 재청취할 수 있도록 하였고, 평가 방식은 Rating 방식으로 4~9 점 척도로 평가하도록 하였다. 이 때, 평가자의 일관성 있는 비교평가를 위하여 Reference 신호 3 개를 제공하여 비교 평가 할 수 있도록 하였다.

Fig. 2.2 는 안정음에 대한 주관평가 결과의 일 예이다. Fig. 2.2(a)는 30 개 냉장고 신호에 대한 각 평가원의 평가 점수의 분포와 중심 값을 보여

주고 있고, Fig. 2.2(b)는 평가 결과에 대한 95% 신뢰구간에서의 결과를 보여 주고 있다. 그림에서 굵은 점선은 평가 결과의 평균값을, 가는 점선은 95% 신뢰구간을 의미한다.

Fig. 2.3 은 기동음에 대한 주관평가 결과의 일 예이다. Fig. 2.3(a)는 42 개 냉장고 신호에 대한 각 평가원의 평가 점수의 분포와 중심 값을 보여 주고 있고, Fig. 2.3(b)는 평가 결과에 대한 95% 신뢰구간에서의 결과를 보여 주고 있다.

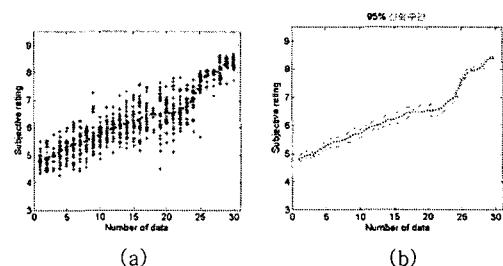


Fig 2.2 Example of subjective evaluation results for the stable running noise

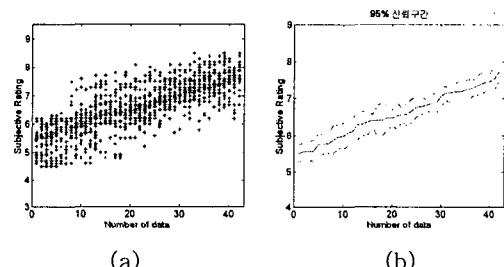


Fig 2.3 Example of subjective evaluation results for the starting noise

2.4 상관도 분석

냉장고 기동음과 안정음에 대한 신호에 대해 계산된 각 음질 요소 값과 음질 선호도 평가 결과와의 상관 관계를 구하여 각 음질 요소 값이 음질의 선호도에 미치는 영향을 구하였다.

Fig. 2.4 는 안정음에 대한 각 음질요소의 상관관계를 보여 주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 라우드니스가 가장 강한 상관 관계를 가지며, 다음으로 샤프니스, 러프니스, 변동강도 순으로 냉장고의 음질에 영향을 미침을 알 수 있다.

또한, 기동음에 대한 상관관계를 구하여 본 결과, 안정음의 결과와 마찬가지로 라우드니스가 가장 강한 상관관계를 가지며, 그 외의 음질 요소가 약한 상관 관계를 가짐을 알 수 있었다.

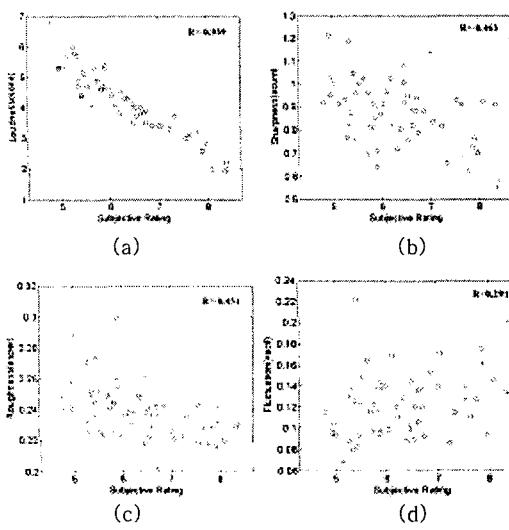


Fig. 2.4 Sound metrics for the stable running noise
 (a) loudness (b) sharpness (c) roughness
 (d) fluctuation strength

3. 음질 인덱스 개발

3.1 신경회로망을 이용한 음질인덱스 개발

기동음과 안정음에 대한 음질 인덱스 개발을 위해 본 연구에서는 인공신경망 알고리즘을 이용하였다. 신경망회로 이론은 생물학적 인간의 두뇌 작용을 신경세포들간의 연결관계로 학습과 재생이라는 작업으로 수행된다. 여기서 학습되는 과정은 목표 신호가 출력되도록 입력 신호에 가중치를 반복하여 곱해주어 출력신호와 입력 신호에 대한 오차를 최소화하는 작업을 한다. Fig. 3.1은 신경회로망 학습과정의 개념도이다. 그림에서 x 는 기동음 또는 안정음에 대한 음질 요소 계산 값이며, t 는 음질선호도 평가 결과, y 는 개발하고자 하는 음질 인덱스, e 는 error 값($=t-y$)을 의미한다. 이때, 입력 및 출력 값의 형태와 신경회로망 내의 은닉층 구조 등에 따라 신경회로망이 양호한 학습 결과를 보이는지를 결정하게 되므로 입력층, 출력층, 은닉층에 대한 노드 갯수 뿐만 아니라 신경회로망 형태(Type)에 대한 최적의 알고리즘을 구해야 된다. 본 연구에서는 입력층, 은닉층, 출력층에 대한 조합을 구성하여 시행착오법을 이용, 가장 좋은 학습결과를 보이는 조합을 구하였으며, 식(3.1)은 일반적인 신경회로망의 출력값 y 에 대한 수식의 일 예이다.

$$y = f^3(Wf^2(Wf^1(\mathbf{W}\mathbf{x} + \mathbf{b}^1) + b^2) + b^3) \quad (3.1)$$

여기서 $y (=y_1, y_2, y_3, \dots)$ 는 출력 벡터이며, W 는 가중치에 대한 변수행렬, $\mathbf{x} (=x_1, x_2, x_3, \dots)$ 은 입력벡터이다. 수식에서 학습을 통해서 최적 가중치가 정해지면 출력은 목표값 t 에 근접하게 된다.

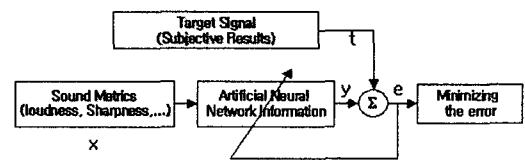


Fig. 3.1 Learning Process of Neural Network

인공 신경망 학습결과, 안정음에 대해서는 음질 선호도 평가결과(t)와 약 99%의 상관관계를 가지는 음질 인덱스 수식을 구하였으며, 기동음에 대해서는 약 95%의 상관관계를 가지는 수식을 구할 수가 있었다. Fig. 3.2는 안정음과 기동음의 신경회로망 학습결과와 목표값에 대한 상관관계를 보여주고 있다.

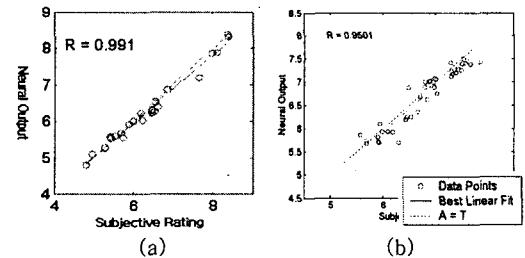


Fig. 3.2 Comparison of subjective results with neural network output
 (a) stable running noise (b) starting noise

3.2 음질인덱스 가중치

안정음과 기동음에 대해 개발된 음질 인덱스를 각각 사용할 경우 냉장고 전체 음질 수준에 대한 평가가 난해할 뿐만 아니라 이해 당사자간의 혼동이 우려되므로 본 연구에서는 가중치를 고려하여 통합 음질 인덱스를 개발하였다. 각 인덱스에 대한 가중치를 구하기 위해 사내 임직원을 대상으로 불특정 다수에게 E-mail 설문조사를 실시하여 기동음과 안정음에 대해 불쾌감의 느끼는 정도를 가중치를 두어 두개의 합이 100이 되도록 하여 설문에 응답토록 하였다. Fig. 3.3은 설문조사 응답자 총 85 명에 대한 결과를 정규분포로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 기동음의 가중치

는 100 점 중 평균 46.4 를 차지해 안정음 대비 점유시간이 매우 짧음에도 불구하고 중요도가 높음을 알 수 있다.

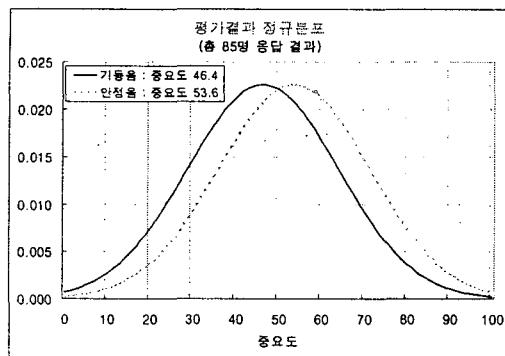


Fig. 3.3 Analyzed results for preference survey

또한, 기동음과 안정음의 음질 선호도에 대한 GAP 분석을 실시하여 평가시점, 평가자, 평가 시 이용된 Reference 음 등의 차이에 따른 영향을 고려하였다.

본 연구에서는 상기 설문 결과와 GAP 분석을 통해 최종적으로 식(3.2)와 같은 통합음질인덱스를 제안하였다.

$$\text{음질인덱스} = 0.4 \times \text{기동음 인덱스} + 0.6 \times \text{안정음 인덱스} \quad (3.2)$$

4. 음질 인덱스 적용

본 연구에서 개발한 음질 인덱스의 신뢰성 검증을 위해 당사 및 선진사 냉장고 6 대를 대상으로 미국 Consumer Report 지 소음 평가 결과와 음향파워레벨(SWL) 측정 결과, 그리고 본 연구에서 개발한 음질 인덱스 계산 결과를 비교하였다.

Table 4.1 The results according to various noise evaluation methods.

Model	음향파워(dBA)	음질 인덱스(4~9)	Consumer Report
SBS	A	43.7	Excellent
	B	42.5	Very Good
	C	42.5	Excellent
BMF	D	43.0	Good
	E	43.4	Very Good
	F	49.1	Good

Table 4.1 은 비교 결과를 보여주고 있다. 표에서 소음 레벨 값의 경우는 Consumer Report 결과와 불 일치하는 반면, 상대적으로 음질 인덱스 값은 Consumer Report 결과와 거의 동일한 평가 결과를 보여줌을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 실 환경을 고려한 냉장고 기동음과 안정음에 대한 음질의 주관적, 객관적인 평가에 대한 상관관계를 정립하고, 신경회로망 원리를 이용하여 95%이상의 높은 상관관계를 가지는 음질 인덱스를 개발하였다. 또한, 설문조사를 통해 기동음과 안정음에 대한 중요도를 파악하고 가중치를 부여하여 냉장고의 전체 음질 수준을 대변할 수 있도록 통합 음질인덱스를 제안하였다.

제안된 음질 인덱스를 검증 결과, 기존의 소음 레벨 보다 음질 인덱스 값이 Consumer Report 결과와 매우 일치함을 알 수 있었다.

따라서, 음질 인덱스 개발을 통해 냉장고 음질 수준 및 소비자 만족도의 예측이 가능해졌다.

후 기

냉장고 음질 인덱스 개발을 위해 2년간 연구에 동참하여 수고하신 인하대학교 이상권 교수님과 대학원생 여러분께 진심으로 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 유원희, 백충국, 송진환, “압축기 소음과 냉장고 소음의 관계 규명(압축기 정음화에 의한 냉장고 정음화)”, 한국소음진동 공학회 1996년도 추계 학술대회논문집, pp.32~36, pp.40~43.
- (2) Zwicker E. and H. Fastl, "Psychoacoustics, Facts and Models," Springer-Verlag, Berlin, 1990.
- (3) C. M. Bishop, "Neural Networks for Pattern Recognition.", Oxford University Press, 1995.