

# 감성공학을 기초한 냉장고의 음질 인덱스 개발에 관한 연구

## A Study on Development of Sound Quality Index of a Refrigerator Based on Human Sensibility Engineering

구진회\* · 이상권† · 김중래\*\* · 이은영\*\*  
Jin-Hoi Gu, Sang-Kwon Lee, Jung-Rea Kim and Eun-Young Lee

(2004년 7월 15일 접수 : 2004년 8월 31일 심사완료)

**Key Words** : Sound Quality(음질), Atifitial Neural Network(신경회로망), Sound Metrics(음질요소), Pattern Analysis(패턴분석)

### ABSTRACT

The international competition in refrigerator markets has continuously required the research for sound quality of a refrigerator to improve the quality of a life. In this paper, A new method for evaluation of the sound quality of a refrigerator is developed based on human sensibility engineering by using ANN(artificial neural network). In this paper, the loudness and the sharpness of the refrigerator's signals was used for the input value in ANN's training process because the loudness and the sharpness has a good correlation between the output of the ANN and the target of the individual evaluation in the training process. Two input factor was used repeatedly in the training process to get more optimum weighting value. And then finally we developed the sound quality index of a refrigerator. The developed sound quality index was confirmed by the 96.5 % of correlation between the output of the ANN and the real evaluation. It will be applied to evaluate the sound quality of a refrigerator in the industry.

### 1. 서론

생활 소음 중 냉장고 소음은 주거생활과 밀접한 연관을 갖고 있어 일상생활에서 특히 야간시간대에 주거생활에 불쾌감을 준다. 냉장고 소음은 크게 압축기, 냉기 순환용 팬 및 압축기 냉각 팬과, 그들에 의하여 유발되는 구조물의 진동에 의한 소음 등으로 구별 되어 지며, 특히 압축기에 의한 소음은 저주파

수대역의 단일 주파수 톤으로 나타나거나 고주파수 대역에서의 소음으로 방향성을 갖고 방사되는 특성을 갖는다.<sup>(1,2)</sup> 이러한 냉장고 소음은 최근 냉장고의 국제 경쟁력이 치열해 짐에 따라서 단지 소음의 크기에 대한 문제에서 벗어나 음질에 대한 문제로 문제의식이 바뀌어 가고 있다. 국내에서도 냉장고의 음질 개선을 위한 노력은 지속되고 있으나 체계적이고 연속적인 연구는 되지 않고 있어서 냉장고의 음질 개선을 위한 기본 단계로써 냉장고 고유의 음질 인덱스 개발의 필요성이 대두되고 있다. 이 연구에서는 냉장고 음질의 주관적 평가에 대한 상관관계를 정립하고 기존의 심리음향에서 다루는 음질에 대한 표현을 냉장고의 음질에 대한 표현으로 보다 구체적으로 정립하여, 음압의 측정(dB)이 소음의 크기 정도를 나타내듯이 음질의 좋고 나쁨을 나타내는 냉장

† 책임저자 : 정희원, 인하대학교 기계공학과  
E-mail : sangkwon@inha.co.kr  
Tel : (032) 860-7305, Fax : (032) 868-1716

\* 정희원, 인하대학교 대학원 기계공학과

\*\* 삼성전자 시스템가전사업부 냉기개발팀

고의 음질 평가 인덱스를 개발 하고자 한다. 이러한 연구는 먼저 다양한 종류의 냉장고의 소음을 측정 한 후에 이것을 청감실험을 통하여 음질에 대한 주관 평가를 진행하고, 심리음향 이론을 이용한 음질 요소를 계산하여 음질요소와 주관 평가 결과 간에 상관관계를 분석하는 과정을 통하여 진행하게 된다. 이후 음질 요소와 청감 실험과의 비선형적인 관계를 신경망회로를 통하여 정립하여 음질 인덱스를 최종적으로 제작하게 된다. 이러한 일련의 과정을 통하여 개발된 냉장고 음질 인덱스는 객관적인 데이터 처리에 의한 주관적인 음질 평가 예측을 가능하게 해준다.

## 2. 잔향효과를 고려한 냉장고 소음 신호 제작

먼저 냉장고 소음의 녹음과정은 6m×10m×4m의 제원을 갖는 무향실에서 Head Acoustics사의 인공헤드(dummy head)를 이용하여 냉장고의 양쪽 측면에서 진행하였다. 녹음 시 냉장고의 작동상태는 10분가량 작동을 시켜 냉장고가 정상상태에 도달하였을 때 60sec길이를 녹음하였다. 각 녹음과정에 사용된 냉장고 소음은 국내, 국외 모두 5개사(익명)의 냉장고로써 다양한 냉장고 소음을 실험에 사용하기 위하여 사전에 좋은 음질을 갖는 냉장고와 나쁜 음질을 갖는 냉장고를 선발하여 녹음 실험에 사용하였다. 자세한 녹음 위치는 Fig. 1과 같다. 일반적으로 산업체에서 냉장고 소음의 측정은 냉장고를 중심으로 전면과 양 측면 1미터 지점에 대하여 녹음을 하지만 이 연구에서는 일반인이 쉽게 냉장고 소음을 청감할 수 있도록 냉장고 양 측면 50cm지점에서 녹음을 하였다. 일반 가정집의 잔향효과가 준 냉장고 신호는 가정집의 충격응답함수와 무향실에서 녹음된 냉장고 신호와 승적을 취하여 구현하였다. 잔향 효과를 주기 위해 사용된 임펄스 신호는 일반적인 32평 아파트 주거환경을 기준으로 하여 실제 사람이 거주하고 있는 일반적인 가정집을 모델로 하여 녹음하였다. 녹음환경은 바닥재는 일반 플라스틱 장판, 벽면은 종이 벽지, 냉장고가 위치한 거실 벽면과 맞은편 벽면에는 어떠한 가구도 배치시키지 않았으며 측면의 창문에는 블라인드가 내려진 상태에서 인공헤드를 이용하여 녹음하였다. 이렇게 하여 녹음된 실제 가정집의 냉장고

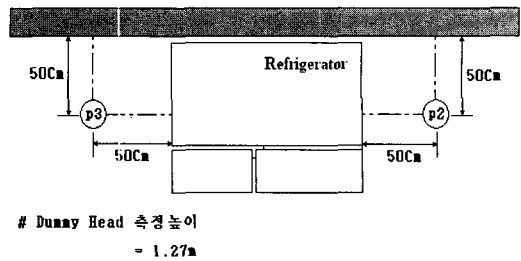


Fig. 1 The position of dummy head for the measurement of refrigerator's noise

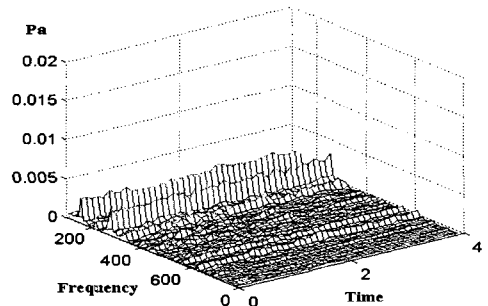


Fig. 2 Waterfall analysis of the refrigerator noise which is recorded at the home

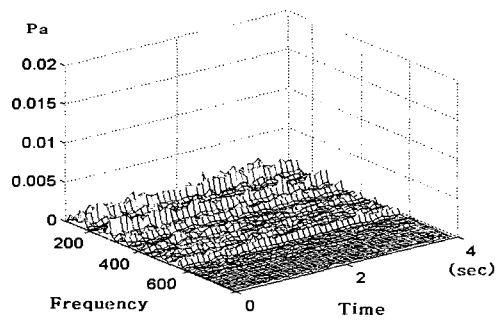


Fig. 3 Waterfall analysis of the refrigerator noise which is generated by the impulse response of the room

Table 1 The comparison of the sound quality metrics between the refrigerator signal which is recorded in the general room and the another refrigerator signal which is generated by convolution

Section	dBA	L	S	R	F
Home-sig	49.9	7.6	1.38	0.56	0.06
Reverbed-sig	49.7	7.4	1.47	0.25	0.08

신호는 Fig. 2와 같다. 한편 가정집에서 녹음된 충격 응답함수와 승적을 통하여 잔향효과를 구현한 냉장고 신호는 Fig. 3와 같다. Table 1은 이렇게 만들어진 냉장고 신호와 실제 냉장고 신호와의 음질 요소 값을 비교하여 보여주고 있다. 이렇게 제작된 60개의 냉장고 신호는 크게 라우드니스가 큰 신호, 샤프니스가 큰 신호, 러프니스가 큰 신호, 변동강도가 큰 신호로 나뉘어 지며, 라우드니스가 1.57~8.34 범위의 값을 샤프니스와 러프니스, 변동강도가 각각 0.72~1.77, 0.034~0.677, 0.015~0.143로 분포하였다.

### 3. 청감실험

#### 3.1 실험방법

실험 인원은 총 28명으로 남자 15명 여자 13명에 대하여 실시하였고 실험 참여자들의 연령 분포는 20~40세이며 평균 연령은 남여 각각 26, 24세이다. 청감실험은 3.5m×3.5m×3.5m의 무향실에서 진행하였으며 실험 전 청력테스트를 실시하여 청력의 이상 유무를 확인한 후 청력에 이상이 없는 사람에 한하여 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 60개의 냉장고 신호는 사전에 라우드니스와 샤프니스, 러프니스, 변동강도정보를 미리 구하여 각 음질인자의 값들이 좋은 신호와 나쁜 신호가 한 곳에 몰리지 않게 배열하였고 실험은 Head acoustics사의 재생시스템(play back system)을 사용하여 헤드폰(headphone)으로 듣고 평가하는 레이팅(rating method)방식을 사용하였다. 평가점수는 4.5~8.5점 방식으로 평가자들은 4.5점부터 8.5점까지 소수점 0.01점 단위까지 평가 가능하며 각 신호들은 1차 평가로 절대평가를 실시하고 2차 평가로써 각 신호들끼리 상대 평가를 실시하여 점

수를 조절 하였다. 4.5점은 매우 나쁜 냉장고 신호의 점수, 6.5점은 보통, 8.5점은 매우 좋은 냉장고 신호의 점수를 나타낸다. 실험자가 원하는 만큼 모든 신호가 반복재생 되도록 하였다. 실험을 종료한 후 개인의 평가결과를 전체 실험참여자의 평균평가 결과와 상관관계를 비교하여 본 결과 대부분 90% 이상의 값이나 대부분의 평가가 같은 양상으로 이루어짐을 알 수 있었고 1명의 결과가 77%가 나와 일반인들과는 다른 패턴으로 평가가 이루어 졌음을 알 수 있었다. 각 개인들의 청감평가 결과의 평균값과의 상관관계는 Table 2와 같다.

#### 3.2 청감평가 결과

Fig. 4는 60개의 냉장고 신호에 대한 28명의 주관적 평가 값인 1620(60\*28=1680)개의 데이터를 나타낸다. Fig. 4에서 횡축은 각 냉장고 소음원의 번호를 나타내고 있고 종축은 주관적 평가 점수를 나타내고 있다. 청감평가 결과가 낮은 값에서 큰 값 순으로 배열하였다. 각 냉장고 신호는 Fig. 4의 횡축을 따라 각 번호 당(1번~60번) 28개의 평가결과를 보이고 있다. 가운데 실선은 60개 냉장고 신호 각각의 평균값을 나타내고 있고 중심선 외부의 점선은 95% 신뢰구간을 나타낸다. 60개 냉장고 신호에 대한 평균 신뢰구간은 0.150이다. 따라서 냉장고 실 평가 전집치의 95% 신뢰도로 추정하는 오차범위는 ±0.150점이다.

Table 2 Correlation of the individual evaluation

Num	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Corr	0.95	0.94	0.92	0.91	0.77	0.95	0.95	0.93	0.96	0.89
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0.96	0.89	0.95	0.96	0.92	0.97	0.94	0.93	0.96	0.88	0.87
22	23	24	25	26	27	28				
0.96	0.90	0.94	0.94	0.89	0.97	0.96				

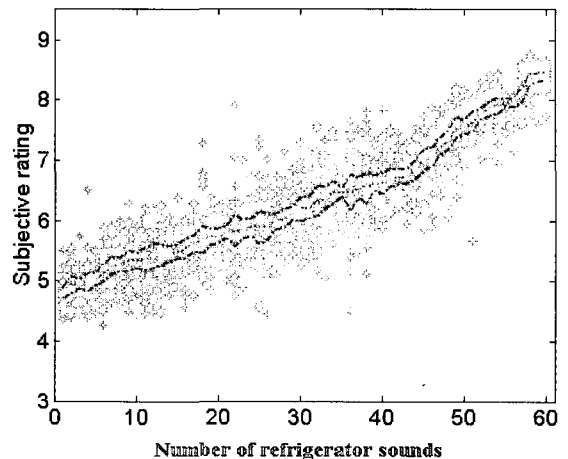


Fig. 4 Subjective evaluation result and 95% confidence interval of the refrigerator signals.

### 3.3 음질 요소와 청감평가와의 상관관계

실험결과 냉장고 각 음질요소와 청감평가 결과와의 적률상관계수<sup>(5)</sup>는 Fig. 5과 같이 라우드니스가 가장 큰 값을 나타내었고 그 다음 요소로 샤프니스, 러프니스, 변동강도, 토널리티<sup>(3)</sup> 순으로 나왔다. 이들 상관계수에서 특히 라우드니스는 -0.939의 높은 값을 보여 냉장고 음질을 결정짓는 주 인자임을 확인하였다. 샤프니스와 러프니스, 변동강도, 토널리티등의 인자는 추후 신경회로망에서 학습결과가 가장 좋게 나오는 경우의 인자들만 신경회로망의 입력인자로서 사용한다. 각 라우드니스, 샤프니스, 러프니스, 변동강도, 토널리티등의 요소와 청감평가 결과와의 적률상관계수는 Fig. 6~Fig. 10에 나타내었다.

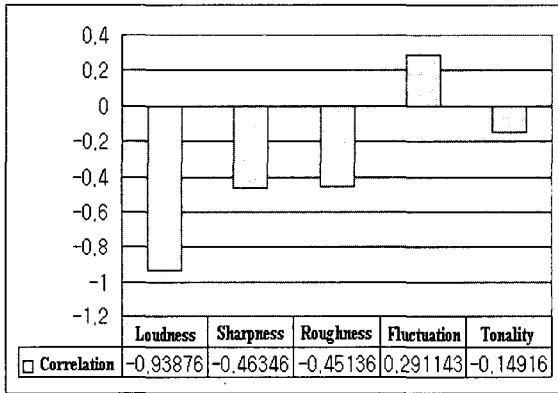


Fig. 5 The correlation coefficient between the sound metrics and the subjective evaluation

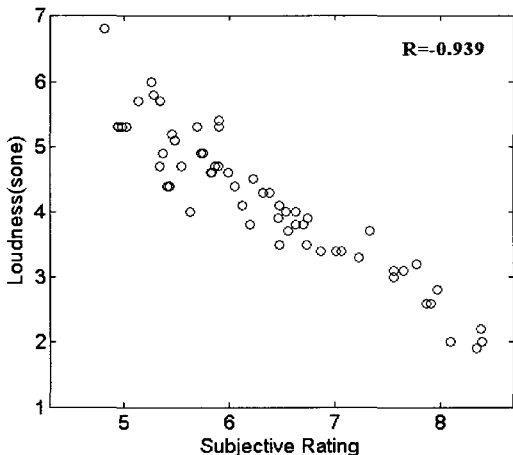


Fig. 6 The correlation between loudness and subjective evaluation

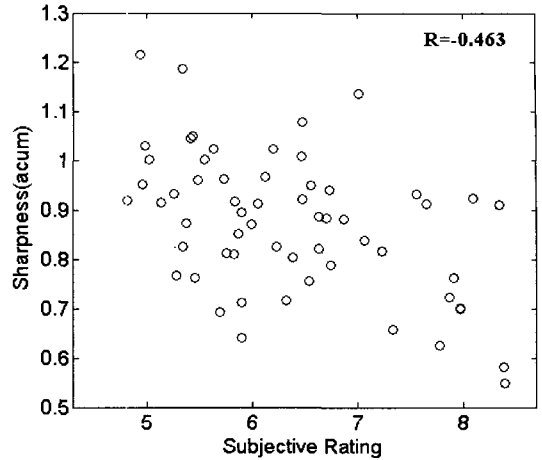


Fig. 7 The correlation between sharpness and subjective evaluation

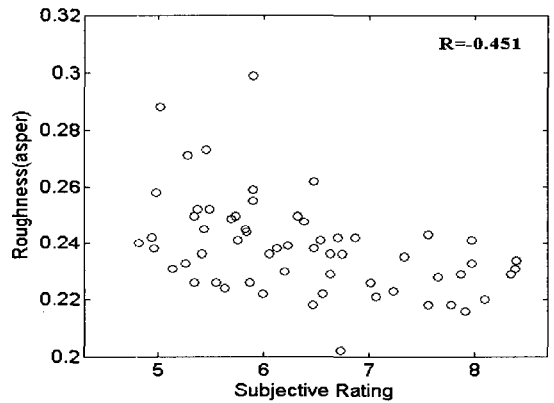


Fig. 8 The correlation between roughness and subjective evaluation

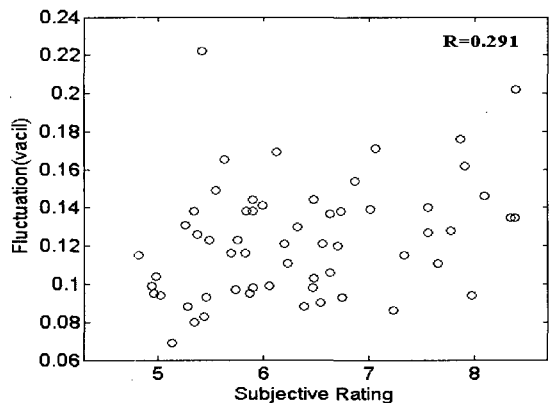


Fig. 9 The correlation between fluctuation strength and subjective evaluation

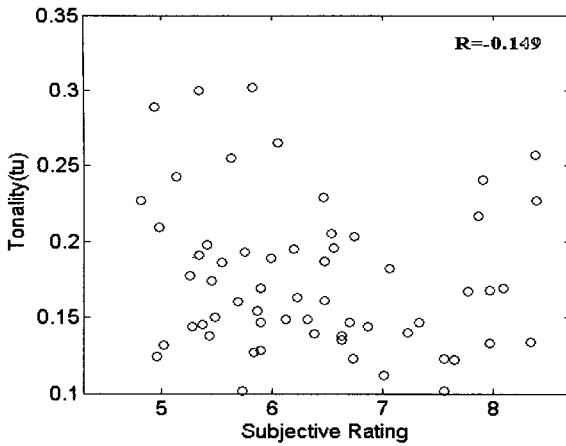


Fig. 10 The correlation between tonality and subjective evaluation

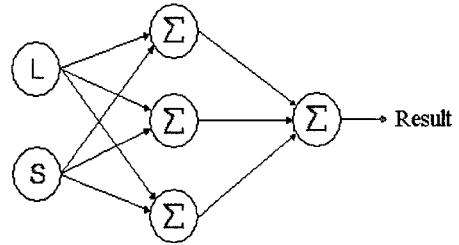
#### 4. 냉장고 음질 인덱스 개발

##### 4.1 신경회로망 설계

일반적인 회귀분석기법으로 최소자승법을 많이 사용하지만 이 연구에서는 입력 값으로 사용된 라우드니스와 샤프니스가 입력 값에 미치는 영향이 비선형 상관관계를 갖기 때문에 인덱스 제작에 신경회로망을 이용하였다. 신경회로망의 은닉 층 노드의 개수와 출력 층 노드의 개수는 시행 착오법(trial & error method)을 이용하여 결정하였다. 이 연구를 통하여 구현한 신경회로망에서 입력 값으로 사용한 신호는 총 60개의 냉장고 신호로써 이들은 잔향효과를 주어 얻어진 신호이다. 이들 60개의 신호 중 4개의 데이터는 냉장고 인덱스 개발이 완료된 이후에 검증데이터로 사용하고, 56개의 데이터는 학습데이터로 사용하였다. Table 3는 시행 착오법을 사용하여 신경회로망을 최적화한 결과이며 각 셀 안의 값들은 청감 실험 결과 값과 신경회로망 결과 값과의 상관계수를 나타낸다. Table 3에서 종축의 L, S, R은 각각 라우드니스, 샤프니스, 러프니스 등을 나타내며 LS는 라우드니스와 샤프니스의 조합을 나타내고, LSR은 라우드니스와 샤프니스, 러프니스의 조합을 나타내고 있다. 그리고 종축의 3, 4, 5 ... 는 은닉층의 노드 개수를 나타내고 있으며 각 3개, 4개, 5개를 의미하고 있다. 흑백으로 칠해져 있는 항이 가장 신경회로망이 학습이 잘된 경우이며, 라우드니스와 샤프니스를 입력값으로 사용하고 은닉층의 노드갯수를 3개로 하는

Table 3 Optimizing neural network

		The number of hidden layer's node				
Input factor	...	3	4	5	6	...
L	...	0.9165	0.9157	0.9326	0.9340	...
LS	...	0.9835	0.9834	0.9782	0.9756	...
LR	...	0.8521	0.8144	0.8661	0.8328	...
LF	...	0.8836	0.8675	0.8904	0.7955	...
LSR	...	0.9571	0.9416	0.9349	0.9489	...
...	...	...	...	...	...	...



(Input Unit) (Hidden Unit) (Output Unit)

Fig. 11 Neural network that is selected by optimizing process of neural network

경우이다. 따라서 이 연구에서는 냉장고의 신경회로망은 입력값을 라우드니스와 샤프니스를 사용하고 은닉 층의 노드갯수 3개, 출력 층의 노드갯수 1개로 하여 설계하였다. Fig. 11는 이 연구에서 사용한 신경회로망을 그림으로 표현한 것이다.<sup>(4)</sup>

##### 4.2 신경회로망 학습과 인덱스 개발

Fig. 12은 신경회로망 출력 값과 청감평가 결과를 비교하여 보여주고 있다. Fig. 12의 (a)는 청감평가 결과 값을 평가 결과가 낮은 신호부터 높은 신호 순으로 나타내고 있고 (b)는 신경회로망 출력 값을 (c)는 청감평가 결과와 신경회로망 출력 값을 비교하여 보여주고 있다. (c)에서 실선은 청감평가 결과를 나타내고 있고 점선은 신경회로망 출력 값을 나타내고 있다. 신경회로망의 학습결과 신경회로망 출력 값과 타겟 값과의 상관관계는 약 98.7%의 높은 상관관계를 보여 이 연구에서 개발된 냉장고 음질 인덱스의 실용화 가능성을 확인 하였다. Fig. 13에서는 두 데이터

(청감평가 결과와 신경회로망 출력 값)간에 상관관계를 보여주고 있으며 앞서 언급한 바와 같이 98.7%의 상관관계를 나타내고 있다. 이렇게 개발된 신경회로망에서 임의의 냉장고 신호를 넣었을 때 이들의 신경망 회로 출력 값은 실제 평가결과와 얼마나 잘 맞는지를 확인하는 과정을 거쳤는데 그 결과는 Fig. 14와 같다. Fig. 14는 6개의 검증데이터를 가지고 청감평가 결과와 신경회로망 출력 값을 비교하여, (a)는 검증데이터에 대한 청감평가가 결과 값이고 (b)는 신경회로망 출력 값이고 (c)는 검증데이터의 청감평가 결과와 신경회로망 출력 값을 비교하여 나타낸 결과이다. (c)에서 실선이 청감평가 결과이고 점선이 신경회로망 출력 값이다. 6개의 검증 데이터를 통한 학습된 신경회로망에 대한 검증은 청감평가 결과와 신경회로망 출력 값이 약 96.5%의 상관관계를 보임으로써 개발된 음질평가 인덱스를 검증하였다. Fig. 15은 6개의 검증데이터에 대하여 청감평가 결과와 신경회로망 출력 값의 상관관계를 보여주고 있다. 약 96.5%를 나타내고 있다. 이렇게 개발된 냉장고 음질평가 인덱스는 Table 4과 같으며 수식적으로는 다음과 같이 표현된다.<sup>(6)</sup>

$$\text{Refrigerator\_index} = f^2(W^2 f^1(W^1 x + b^1) + b^2)$$

이 연구에서는 역전파(backpropagation) 알고리즘을 사용하는 은닉 층(hidden layer)이 1개의 층으로 구성되고 출력 층(output layer)이 1개의 뉴런(neuron)을 갖는 신경회로망을 사용하였으며,  $W$ 는 가중치 행렬이고  $b$ 는 편향벡터,  $x$ 는 입력벡터이다.  $f^1$ ,  $f^2$ 는 전달함수(transfer function)을 나타내며 이 연구에서는 각각 tansig(hyperbolic tangent sigmoid) 함수와 purelin(linear) 함수를 사용하였다. 식 (1)과 (2)는 tansig 함수와 purelin 함수이다.

$$\text{tansig} = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \quad (1)$$

$$\text{purelin} = n \quad (2)$$

개발된 냉장고 음질 인덱스에서 라우드니스와 샤프니스의 신경회로망 출력 값에 미치는 영향은 각각 비선형 반비례 관계이며 이들의 도식적 표현은 Fig. 16와 같다.  $x$ ,  $y$ 축은 각각 라우드니스와 샤프니스를 나타내고  $z$ 축은 신경회로망 출력 값을 나타낸다.

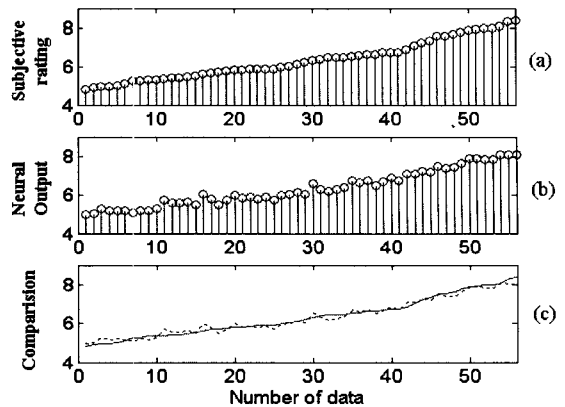


Fig. 12 Comparison between subjective evaluation and neural network output

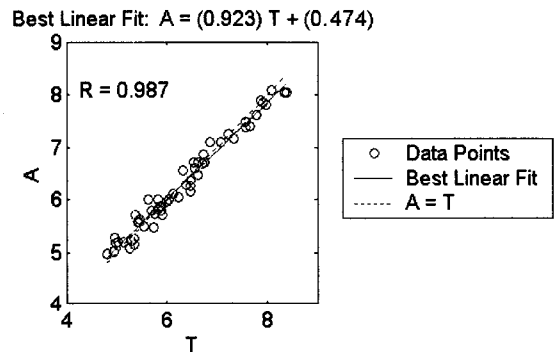


Fig. 13 Correlation between subjective evaluation and neural network output

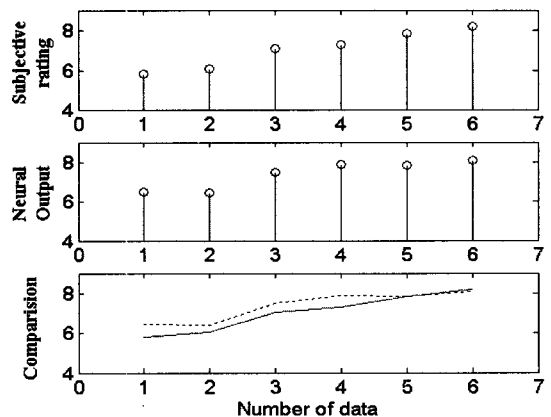


Fig. 14 Comparison between subjective evaluation and neural network output for validation

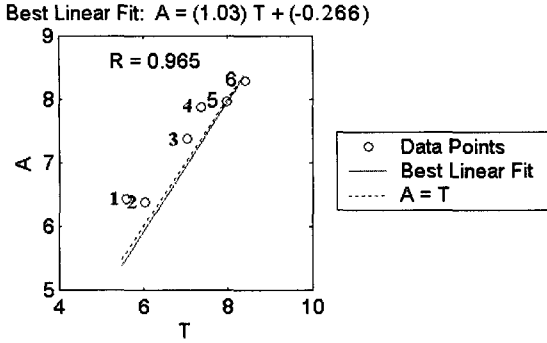


Fig. 15 Correlation between subjective evaluation and neural network output for validation

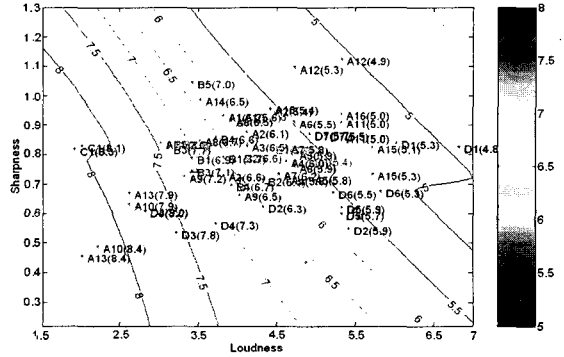


Fig. 17 The contour of a refrigerator's sound quality index

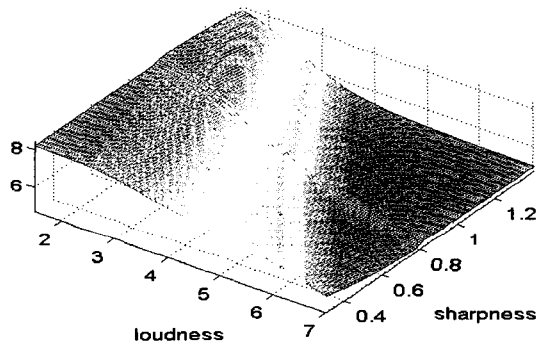


Fig. 16 The mesh of the refrigerator's sound quality index that is developed

Table 4 Weight matrix and bias vector of the sound quality index

Content	Hidden Unit $W^1$	Output Unit $W^2$	Hidden bias $b^1$	Output bias $b^2$
Value	1.4227	6.9889	0.0958	0.7392
	0.7615	0.3851	-1.2040	-0.1360
	1.3543	0.1511	-0.4991	1.3306

### 4.3 각 냉장고 모델에 대한 인덱스 적용

각 냉장고 모델에 대한 음질 비교를 위해 이 연구에서 개발된 냉장고 음질 인덱스를 이용하여 2차원 음질 비교 그래프(Fig. 17)를 구현하였다. 각 냉장고 모델은 크게 A사, B사, C사, D사, E사 총 5개로 구분을 했으며 다양한 냉장고 소리만큼이나 다양한 결과를 나타내었다. Fig. 17에서 횡축은 라우드니스를

증축은 샤프니스를 나타내며 중앙의 등고선은 냉장고 음질 인덱스를 이용하여 구한 냉장고 음질 등고선이다. 각 모델의 괄호안의 값은 실제 청감실험에 의한 평가결과이고 각 모델들의 '\*'포인트는 각 냉장고 소음신호의 음질에 해당하는 위치이다. 전반적으로 라우드니스와 샤프니스가 작을수록 좋은 소리로 인식이 됨을 알 수 있다.

## 5. 결론

이 연구에서는 라우드니스와 샤프니스를 입력 값으로 하고 청감실험 결과값을 목표 값(target)으로 하는 1개의 은닉 층과 1개의 출력 층을 갖는 다층 신경회로망을 이용하여 냉장고 음질 평가 인덱스를 개발하였다. 학습과정을 통해 얻은 최적화된 신경회로망 출력 값은 목표 값과 98.7%의 높은 상관관계를 보여 냉장고 음질 인덱스로의 사용 가능성을 확인하였으며 검증데이터를 통한 검증과정에서도 96.5%의 높은 상관관계를 보임으로써 유용성 검증을 마쳤다. 개발된 냉장고 음질 인덱스를 이용하여 여러 모델의 냉장고 음질을 비교 할 수 있었다.

## 후 기

이 연구는 학술진흥재단의 BK21 및 삼성전자 연구지원비로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) 주재만, 김중래, 이동현, 2001, "냉장고의 이

상소음에 관한 사례연구” 한국소음진동공학회 춘계 학술대회논문집 pp. 380~384.

(2) 유원희, 백충국, 송진환, 1996, “압축기 소음과 냉장고 소음의 관계 규명(압축기 정음화에 의한 냉장고 정음화) 한국소음진동공학회 추계 학술대회 논문집, pp. 32~36.

(3) Zwicker E. and Fastl, H., 1990, “Psychoacoustics, Facts and Models,” Springer-Verlag, Berlin, pp. 220, 242, 256, 263.

(4) Peter C. Laux, 1998, “Using Artificial Neural Networks to Model the Human Annoyance to Sound” Purdue University, pp. 95

(5) Julius S. Bendat and Allan G. Piersol, “Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis”, A Wiley-Interscience Publication pp. 45.

(6) Hagan Demuth Beale, “Neural Network Design”, pp. 2~11.