

인공지능망을 이용한 냉장고 정상 가동 운전 상태의 음질 인덱스 개발

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

구진회* · 이상권** · 김종래*** · 이은영***

Jin-Hoi Gu, Sang-Kwon Lee, Jung-Rea Kim, Eun-Young Lee

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). Finally it is applied to evaluate the sound quality of refrigerator on the production line.

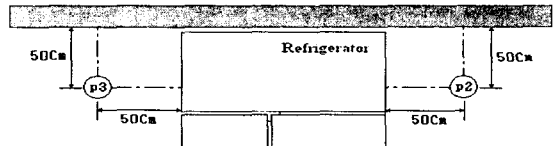
1. 서 론

생활 소음중 냉장고 소음은 주거 생활과 밀접한 연관을 갖고 있어 일상 생활에서 특히 야간시간대에 주거 생활에 불쾌감을 준다. 이러한 냉장고 소음은 압축기, 냉기 순환용 팬 및 압축기 냉각 철편, 그들에 의하여 유발되는 구조물의 진동에 의한 소음 등으로 구별 되어 지며, 특히 압축기에 의한 소음은 저주파수대역의 단일 주파수 톤으로 나타나거나 고주파수 대역에서의 소음으로 방향성을 갖고 방사되는 특성을 갖는다.(1, 2) 따라서 본 연구에서는 냉장고 소음의 녹음과정은 무향실에서 압축기가 존재하는 방향과 그 반대 방향 두 곳에서 이루어 졌다. 한편 사람이 가정에서 실제로 듣는 냉장소 소음은 가정집에서의 잔향효과를 갖고 나타나기 때문에 무향실에서 녹음된 냉장고 신호에 가정집의 잔향효과를 주는 작업이 추가되었다. 가정집의 잔향효과는 일반 공간도 32평 가정집에서 충격응답함수를 구한 후, 이를 무향실에서 녹음된 냉장고 신호와 승적(Convolution)을 취하여 구현하였다.

2. 잔향효과를 고려한 냉장고 신호 제작

먼저 냉장고 소음의 녹음과정은 서론에서 언급되어진 바와 같이 냉장고의 양쪽면에서 이루어졌다. 자세한 위치는 Fig

1. 과 같다. 일반 가정집의 잔향효과가 추가된 냉장고 신호는 가정집의 충격응답함수와 무향실에서 녹음된 냉장고 신호와 승적을 취하여 구현하였다. 이렇게 하여 구현된 최종적인 냉장고 신호는 Fig 2. 와 같다. 한편 실제 가정집에서 녹음된 냉장고 신호는 Fig 3. 와 같으며 인공적으로 잔향효과를 주어 구현한 Fig 2. 신호와 청음결과도 유사하다.



Dummy Head 측정 높이
- 1.27m

Fig. 1. The setting point of dummy head for noise measurement.

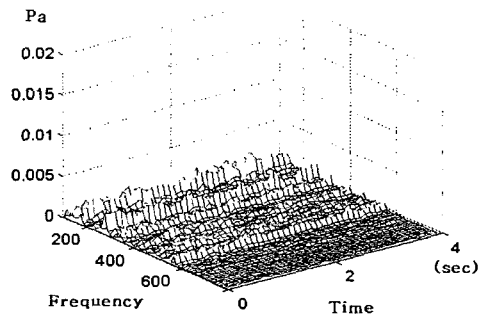


Fig. 2. Waterfall of refrigerator noise which is recovered by the impulse response of the room.

* 인하대학교 기계공학과 대학원
E-mail : workwork@empal.com
Tel : (032)875-8397, Fax : (000) 000-0000

** 책임저자, 인하대학교 기계공학과

*** 삼성전자 시스템가전사업부 냉기개발팀

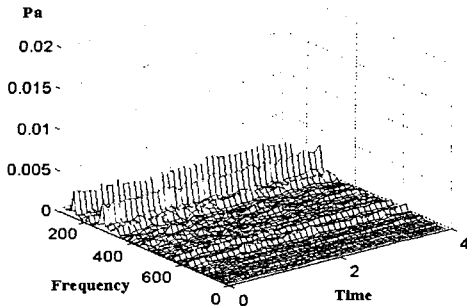


Fig. 3. Waterfall of refrigerator noise which is recorded at the home.

3. 임상실험

3.1 실험방법

실험 인원은 총 28명으로 남자 15명 여자 13명에 대하여 실시하였으며, 실험 전 청력테스트를 실시하여 청력의 이상 유무를 확인한 후 청력에 이상이 없는 사람에 한하여 실험을 실시 하였다. 실험에 사용된 60개의 냉장고 신호는 좋은 신호들이 한곳에 모이지 않도록 배열하였고 실험은 Head acoustics사의 재생시스템(play back system)을 사용하여 헤드폰(headphone)으로 듣고 평가하는 레이팅(rating) 방식을 사용하였다. 점수는 4.5~8.5점 방식을 이용하였다. 점수가 높을수록 냉장고 음질은 좋게 평가되는 방식이다. 실험자가 원하는 만큼 모든 신호가 반복재생 되도록 하였다. 실험을 종료한 후 개인의 평가결과를 전체 실험참여자의 평균평가 결과와 상관계수값을 비교하여 90%이하의 값을 갖는 사람의 실험결과에 대해서는 실험에 소극적으로 참여한 것으로 간주하고 실험결과로 사용하지 않았다. 본 연구에서는 1명(익명)의 데이터를 제외시켰다. 제외된 데이터는 표 1.에서 5 번 데이터이다.

Table 1. Correlation individual rating and subjectives.

번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
상관 계수	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
22	23	24	25	26	27	28				
	0.96	0.90	0.94	0.94	0.89	0.97	0.96			

3.2 청음평가 결과

Fig. 4. 는 60개의 냉장고 신호에 대한 27명의 주관적 평가 값인 1620개의 데이터를 나타낸다. 청음평가 결과가 낮은 값에서 큰 값 순으로 배열하였다. 각 냉장고 신호는 27개의

평가결과를 보이고 있다. Fig 5. 은 60개 냉장고 신호의 평가 결과의 평균값과 95%신뢰구간을 나타낸다. 60개 냉장고 신호에 대한 평균 신뢰구간은 0.150이다.

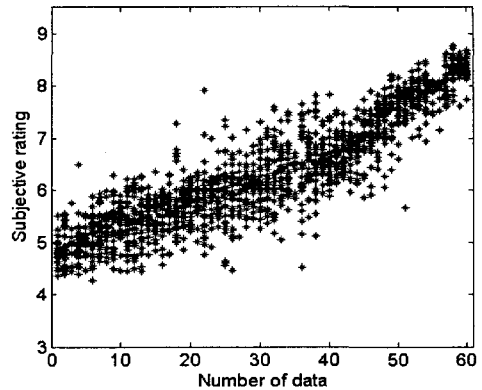


Fig. 4. Subjective evaluation result and mean for 60 refrigerator signals.

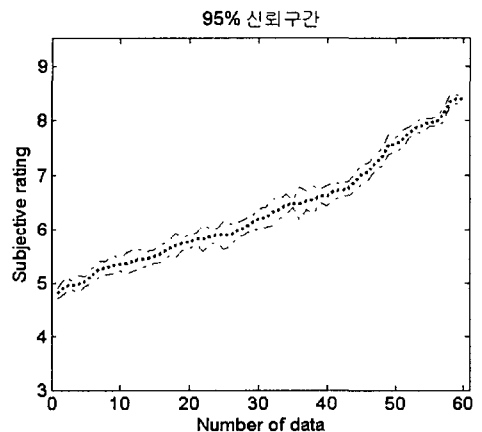


Fig. 5. Mean and 95% confidence interval for subjective rating evaluated by 27 persons.

3.3 음질 요소와 청음평가와의 상관관계

실험결과 냉장고 각 음질요소와 청음평가 결과와의 상관관계는 Fig 6. 과 같이 라우드니스가 가장 큰 값을 나타내었고 그 다음 요소로 샤프니스, 러프니스, 변동강도, 토널리티 (3) 순으로 나왔다. 이들 상관관계에서 특히 라우드니스는 93.9%의 상관관계를 보여 냉장고 음질을 결정짓는 주 인자임을 확인하였다. 샤프니스와 러프니스, 변동강도, 토널리티 등의 인자는 추후 신경회로망에서 학습결과가 가장 좋게 나오는 경우의 인자들만 신경회로망의 입력인자로서 사용한다. 각 라우드니스, 샤프니스, 러프니스, 변동강도, 토널리티등의 요소와 청음평가 결과와의 상관관계는 Fig 7. ~ Fig 11.에 나타내었다.

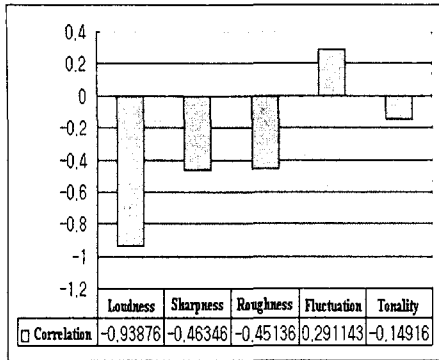


Fig. 6. The correlation between the sound metrics and the subjective rating.

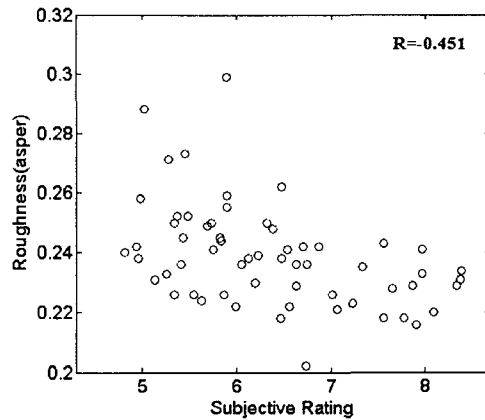


Fig. 9. The correlation between roughness and subjective rating.

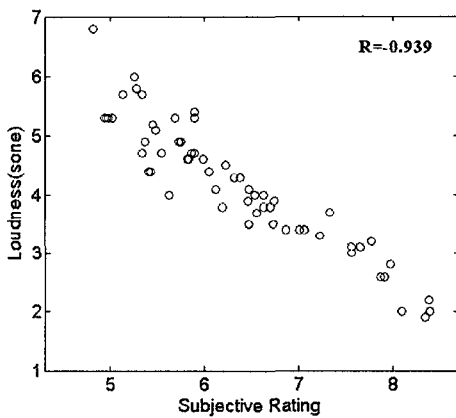


Fig. 7. The correlation between loudness and subjective rating.

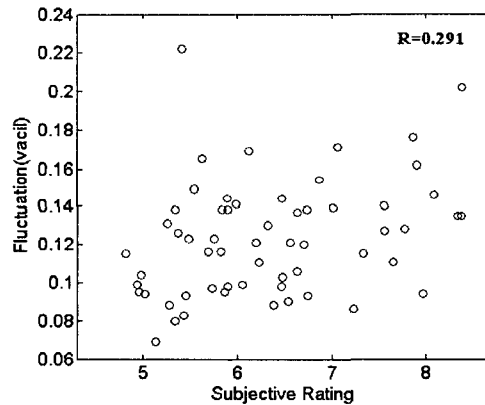


Fig. 10. The correlation between fluctuation strength and subjective rating.

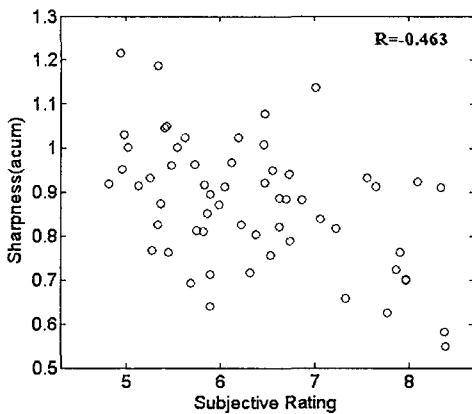


Fig. 8. The correlation between sharpness and subjective rating.

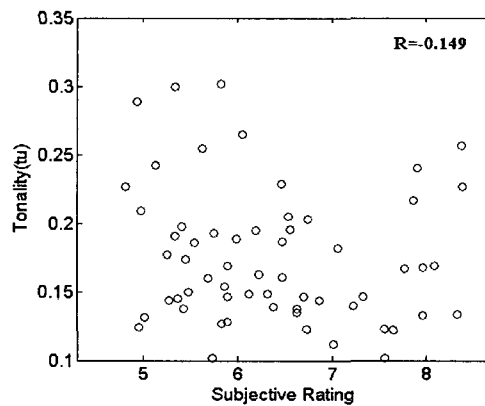


Fig. 11. The correlation between tonality and subjective rating.

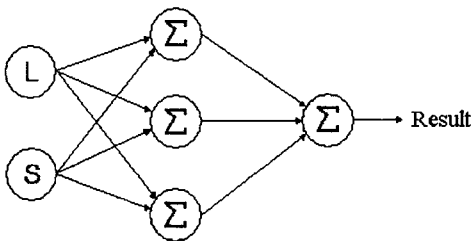
4. 냉장고 음질 인덱스 개발

4.1 신경회로망 설계

신경회로망의 은닉층 노드의 개수와 출력층 노드의 개수는 시행착오법(trial & error method)을 이용하여 결정하였다. 본 연구를 통하여 구현한 신경회로망에서 입력값으로 사용한 신호는 총 60개의 냉장고 신호로써 이들은 잔향효과를 주어 얻어진 신호이다. 이들 60개의 신호중 4개의 데이터는 냉장고 인덱스 개발이 완료된 이후에 검증데이터로 사용하고, 56개의 데이터는 학습데이터로 사용을 하였다. 표 2. 은 시행착오법을 사용하여 신경회로망을 최적화한 결과이다. 표 2.에서 흑백으로 칠해져 있는 항이 가장 신경회로망이 학습이 잘된 경우이다. 표 2.에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구에서 구한 냉장고의 신경회로망은 입력값을 라우드니스와 샤프니스를 사용하고 입력층의 노드갯수 2개, 은닉층의 노드갯수 3개, 출력층의 노드갯수 1개로 하여 설계하였다. Fig 12. 는 본 연구에서 사용한 신경회로망이다.

Table 2. Optimizing neural network for refrigerator's sound quality index.

		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	...
...



입력층 (Input Unit) 은닉층 (Hidden Unit) 출력층 (Output Unit)

Fig. 12. Neural network design.

4.2 신경회로망 학습과 인덱스 개발

Fig 13. 은 신경회로망 출력값과 청음평가 결과를 비교하여 보여주고 있다. Fig 13. 의 (a)는 청음평가 결과값을 평가 결과가 낮은 신호부터 높은 신호순으로 나타내고 있고 (b)는 신경회로망 출력값을 (c)는 청음평가 결과와 신경회로망 출력값을 비교하여 보여주고 있다. (c)에서 실선은 청음

평가 결과를 나타내고 있고 점선은 신경회로망 출력값을 나타내고 있다. 신경회로망의 학습결과 신경회로망 출력값과 타겟값과의 상관관계는 약 98.7%의 높은 상관관계를 보여 본 연구에서 개발된 냉장고 음질 인덱스의 활용화 가능성을 확인 하였다. Fig 14. 에서는 두 데이터(청음평가 결과와 신경회로망 출력값)간에 상관관계를 보여주고 있으며 앞서 언급한 바와 같이 98.7%의 상관관계를 나타내고 있다. 이렇게 개발된 신경회로망에서 임의의 냉장고 신호를 넣었을 때 이들의 신경망회로 출력값은 실제 평가결과와 얼마나 잘 맞는지를 확인하는 과정을 거쳤는데 그 결과는 Fig 15. 와 같다. Fig 15. 는 4개의 검증데이터를 가지고 청음평가 결과와 신경회로망 출력값을 비교하여, (a)는 검증데이터에 대한 청음평가 결과값이고 (b)는 신경회로망 출력값이고 (c)는 검증데이터의 청음평가 결과와 신경회로망 출력값을 비교하여 나타난 결과이다. (c)에서 실선이 청음평가 결과이고 점선이 신경회로망 출력값이다. 4개의 검증 데이터를 통한 학습된 신경회로망에 대한 검증은 청음평가 결과와 신경회로망 출력값이 약 96.7%의 상관관계를 보임으로써 개발된 음질평가 인덱스를 검증하였다. Fig 16. 은 4개의 검증데이터에 대하여 청음평가 결과와 신경회로망 출력값의 상관관계를 보여주고 있다. 약 96.7%를 나타내고 있다. 이렇게 개발된 냉장고 음질평가 인덱스는 표 3.과 같으며 수식적으로는 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 W는 가중치 행렬이고 b는 편향벡터, x는 입력벡터이다.

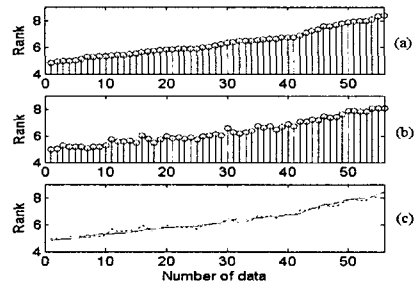


Fig. 13. Comparison between subjective evaluation and neural network output.

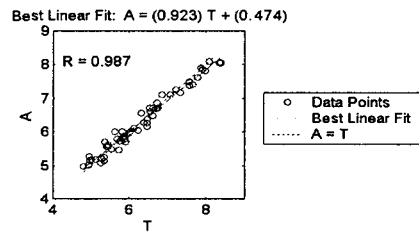


Fig. 14. Correlation between subjective evaluation and neural network output.

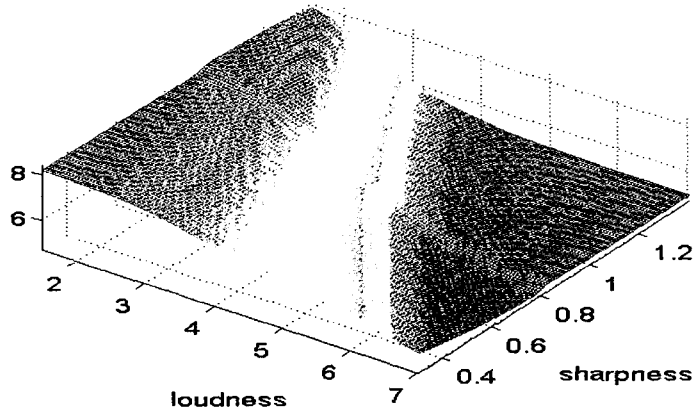


Fig. 18. The mesh of a refrigerator's sound quality index.

5. 결론

본 연구에서는 라우드니스와 샤프니스를 입력값으로 하고 청음실험 평균값을 목표값(target)으로 하는 1개의 은닉층을 갖는 다층 신경회로망을 이용하여 냉장고 음질 인덱스를 개발하였다. 학습과정을 통해 얻은 최적화된 신경회로망 출력값은 목표값과 98.7%의 높은 상관관계를 보여 냉장고 음질 인덱스로의 사용 가능성을 확인하였으며 검증데이터를 통한 검증과정에서도 96.7%의 높은 상관관계를 보임으로써 유용성 검증을 마쳤다. 개발된 냉장고 음질 인덱스를 이용하여 여러 모델의 냉장고 음질비교를 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 학술진흥재단의 BK21 및 삼성전자 연구지원비로 수행되었습니다. 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 주재만, 김중래, 이동현 “냉장고의 이상소음에 관한 사례연구” 한국소음진동공학회 2001년도 춘계학술대회논문집 pp.380~384.
- (2) 유원희, 백충국, 송진환 “압축기 소음과 냉장고 소음의 관계 규명(압축기 정음화에 의한 냉장고 정음화)” 한국소음진동공학회 1996년도 추계학술대회논문집. pp.32~36
- (3) Zwicker E. and H Fastl, “Psychoacoustics, Facts and Models.” Springer-Verlag, Berlin, 1990
- (4) Peter C. Laux “Using artificial neural networks to model the human annoyance to sound” Purdue University. May 1998.
- (5) Julius S. Bendat, Allan G Piersol “Engineering applications of correlation and spectral analysis” A Wiley-Interscience Publication pp.45 pp.134
- (6) Hagan Demuth Beale “Neural Network Design”