

인공지능망을 이용한 진공청소기 음질 인덱스 개발 Development of Index for Sound Quality Evaluation of Vacuum Cleaner

구진회*·이상권**·전완호***·김창준***
Jin-Hoi Gu, Sang-kwon Lee, Wan-Ho Jeon and Chang-Jun Kim

Key Words : Vacuum Cleaner Sound Quality(진공청소기 음질), Human Sensibility(인간 감성), Pattern Analysis(패턴분석), Sound Metric(음질 요소)

ABSTRACT

In our life, we have used many digital appliances. They helped us to improve the quality of life but sometimes gave us unsatisfactory result because they produce specific noise. Especially a vacuum cleaner produces a great deal of noise that is very annoying. So we need to study what sound metrics affect human sensibility. In this paper, we will study sound quality index for vacuum cleaner. The subjective evaluation of vacuum cleaner sound can be indicated to objective parameters by sound metrics of psychoacoustics. The artificial neural network can estimate the nonlinear characteristics of relation between subjective evaluation and sound metrics. We applied the artificial neural network to the development of sound quality index for vacuum sound.

1. 서론

가전제품 중에서 가장 시끄러운 소음을 발생시키는 진공청소기의 음향에 대한 연구는 소음의 강도를 저감하는 측면과 음질의 향상이라는 측면에서 고려되어 왔다. (1) 소음의 저감이란 소비자의 최소 요구 수준까지를 고려하는 것이다. 이것은 주로 음압의 높낮이에 대한 평가이다. 이러한 수준은 국내외적으로 우수한 청소기 사업부에서는 이미 달성한 단계에 있거나 아니면 방법이 정립된 단계에 있다. 하지만 인간이 듣는 소리의 좋고 나쁨은 단지 음압에 의해 표현 되는 것이 아니라 기 존 심리음향에서 다루는 음질요소(3)에 의해 표현이 된다. 따라서 감성공학용 기초로 하여 진공 청소기의 음질에 대한 표현을 보다 구체적으로 정립하고자 한다. 본 연구의 최종 목적은 음압의 측정이 소음의 정도를 나타내듯이 음질의 정도를 나타내는 청소기의 음질 인덱스를 개발하는 것이다. 이를 위해 먼저 다양한 청소기 소음의 녹음과정과 제작과정을 거쳤다. 일반 가정집에서의 청소기 소음 발생은 가정집 방의 잔향효과를 가지고 발생하기 때문에 청소기 소음의 녹음은 무향실이 아닌 일반 사무실에서 이루어졌다. 한편 다양한 청소기 소음의 제작을 위하여 청소기 소음의 특정 주파수에서 발생하는 10kHz 주변의 톤소음(tonal

noise)과 각 주파수밴드의 스펙트럼의 크기에 변화를 주어 청소기 소음의 음색에 변화를 주었다. 이는 10kHz 주변의 톤소음이 청소기 음질에 주는 영향과 각 구간별(저주파수, 중간주파수, 고주파수) 스펙트럼 크기변화가 청소기 음질에 주는 영향을 고려하기 위한 것이다.

2. 청소기 소음신호 제작

2.1 청소기 소음 녹음

먼저 진공 청소기 소음 신호 제작을 위하여 3 대 분량의 청소기 신호를 연구실에서 녹음하는 과정을 진행하였는데 청소기 신호녹음은 HEAD Acoustics 사의 Dummy Head(Artificial Head)를 이용하여 녹음하였다. Dummy Head 를 이용하여 청소기 운전소음을 녹음한 위치는 Fig 1. 과 같다.

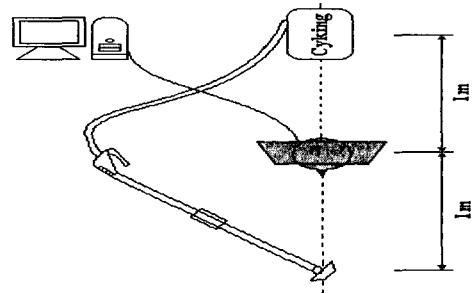


Fig. 1 Set-up of artificial dummy head for the noise measurement

일반 가정집에서 사용되는 청소기는 어느 정도의 잔향효과를 가지고 소음이 발생하기 때문에 청소기 신호는 무향실이 아닌 연구실에서 녹음하였다.

* 인하대학교 기계공학과 대학원

E-mail : energetic@hanmail.net
Tel : (032) 860-8842, Fax : (032) 868-1716

** 책임저자, 인하대학교 기계공학과 교수

*** LG 구로 전자 연구소

청소기 신호에 대한 녹음은 인공헤드를 이용하여 2 채널로 녹음하였으며 측정 높이는 1.5m 로 이는 인간의 청음과 유사하게 하기 위해서 이다. 그리고 3 개의 청소기 신호 중 노즐의 공력 소음이 전체 청소기 신호의 음질에 미치는 영향을 보기 위하여 각 청소기별로 노즐의 종류를 달리하여 녹음하였다.(2) 노즐(Nozzle)의 종류는 A 타입, B 타입, C 타입 3 가지이며, 이는 시중에 나와 있는 청소기의 노즐이다. 따라서 녹음된 청소기 신호는 총 9 가지 ($3 \times 3 = 9$)가 된다.

2.2 청소기 소음신호 제작

(1) 순음 (Tonal noise)의 크기 조절

먼저 녹음된 진공청소기 소음 신호는 칼만 필터를 이용하여 10kHz 주변의 순음의 크기를 조절하였다. 청소기 소음의 스펙트럼 중 10kHz 주변의 성분은 Fig 2. 과 같이 나타난다. 약 10kHz 주변의 순음 성분이 전구간의 시간에 걸쳐서 존재하는데 이는 고주파영역에서 찹하는 소리를 발생시키는 주범이며 제어되어야 할 대상이다. 이를 CADA-X 프로그램을 이용하여 제거한 신호는 Fig 3. 과 같다. 그리고 CADA-X 의 칼만 (Kalman) 적응필터를 이용하여 추출한 순음 (Tonal noise)은 평균 순음 크기(60dB)를 중심으로 $\pm 3\text{dB}$ 의 크기로 변화를 주어 54dB, 57dB, 60dB, 63dB, 66dB 총 5 가지로 변화 시켰다. 추출된 순음을 66dB 로 변화한 신호가 Fig 4. 이다. 이렇게 변화를 준 순음은 다시 순음을 제거한 신호에 더하여 최종적인 진공 청소기 신호를 만들었다. 이렇게 만들어진 신호는 Fig 5. 이다.

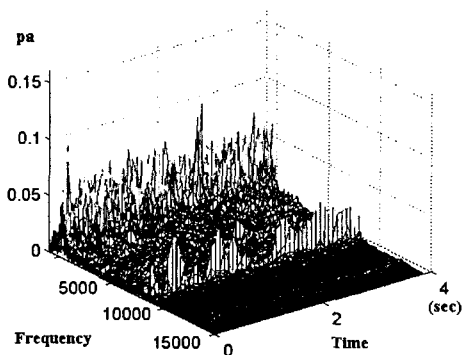


Fig. 2 Waterfall analysis for noise radiated from a vacuum cleaner.

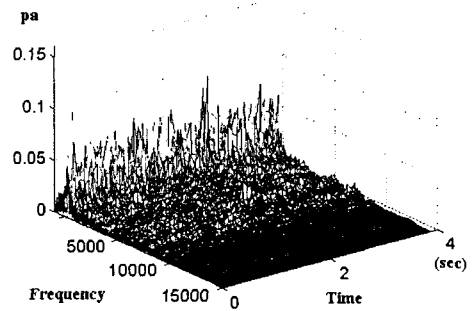


Fig. 3 Waterfall analysis for the background noise radiated from a vacuum cleaner without tonal component.

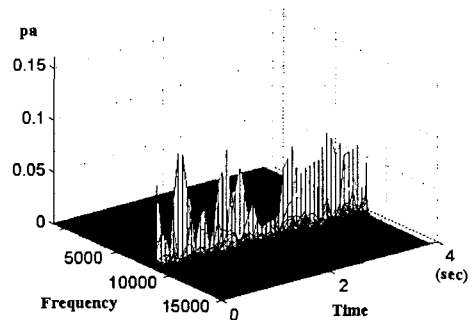


Fig. 4 Waterfall analysis for the tonal-component-noise radiated from a vacuum cleaner. Its amplitude is modified up to 66dB .

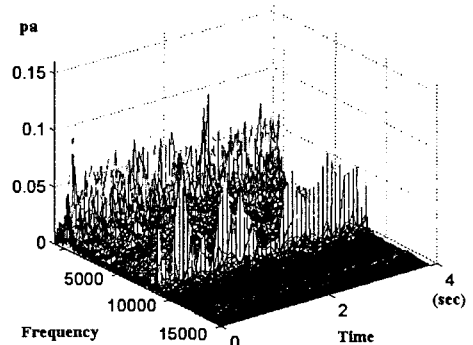


Fig. 5 Waterfall analysis for the synthesized noise made by adding the tonal component noise to the background noise.

(2)대역별 스펙트럼 크기 조절

두 번째로 주파수 대역별 스펙트럼 크기에 변화를 주어 청소기 신호를 제작하였다. 청소기 신호의 스펙트럼에 변화를 준 구간은 770Hz~1720Hz,

2320Hz~5300Hz, 5300Hz~15500Hz로 이는 바크 단위로 7~12Bark, 14~19Bark, 19~24Bark에 해당한다. 이와 같이 바크 단위로 스펙트럼 변화를 준 것은 인간의 청음과정은 바크축으로 이루어지기 때문이다. 즉 내이의 코르티기관(Organ of Corti)에서 소리의 자극을 받아들이는 헤어셀(hair cell)은 바크축으로 배열되어 있고 인간이 느끼는 소리의 주관적 지표인 음질요소(라우드니스, 샤프니스, 러프니스, 변동강도)가 바크축으로 적분하여 계산이 이루어지기 때문에 바크 단위로 스펙트럼 변화 구간을 정하였다. 본 실험에서는 5바크 단위로 스펙트럼변화를 주었다. 청소기 신호의 각 구간은 $\pm 2\text{dB}$ 의 크기로 스펙트럼 크기를 조절하였다. Fig 6. 은 7 ~ 12Bark 구간의 스펙트럼을 2dB 감소시킨 신호이고 Fig7.은 2dB 증가시킨 신호이다.

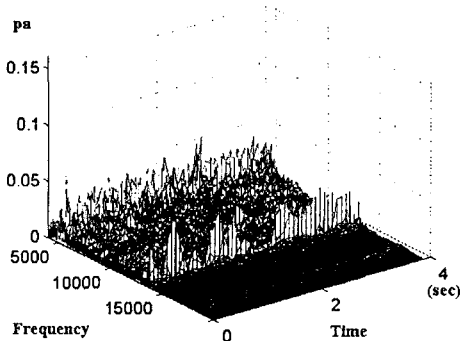


Fig. 6 Waterfall analysis for a noise signal of which is attenuated by 2dB in the frequency range between 770Hz and 1720Hz.

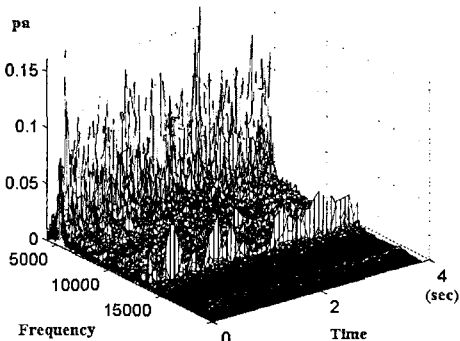


Fig. 7 Waterfall analysis for a noise signal of which is increased up to 2dB in the frequency range between 770Hz and 1720Hz.

3. 청음 평가 실험

3.1 실험방법

임상실험은 남자 11 명 여자 10 명으로 구성하여 실시하였으며, 실험 전 청력테스트를 실시하여 청력의 이상유무를 확인한 후 청력에 이상이 없는 사람에 한하여 실험을 실시 하였다. 실험진행은 ‘10 분청력테스트-> 5 분휴식-> 30 분실험진행-> 10 분휴식-> 30 분실험진행-> 10 분휴식->30 분실험진행-> 종료’의 순으로 진행하였으며 실험 참여자들은 평가 신호를 자신이 원하는 데로 채청취할 수 있도록 하였고 평가 방식은 레이팅(Rating)방식을 사용하여 4.5 점에서 8.5 점까지 평가하도록 하였다. 아래의 표 1. 은 각 점수에 따른 소비자 평가를 나타낸다.

Table 1 Reference point for the subjective evaluation of the noise of a vacuum cleaner.

평가 점수	소비자 평가
4.5	매우 불만족
5.5	불쾌함
6.5	보통
7.5	양호
8.5	매우 양호

임상실험에 사용한 장비는 진공 청소기 소리를 평가자들이 실제 진공 청소기 소리와 가장 유사하게 들을 수 있도록 HEAD Acoustics 사의 재생 시스템(Playback System)을 사용하였다. 실험을 종료한 후 개인의 평가결과를 전체 실험참여자의 평균평가 결과와 상관관계값을 비교하여 특별히 낮은 값을 갖는 사람의 실험결과에 대해서는 실험에 소극적으로 참여한 것으로 간주하고 실험결과로 사용하지 않았다. 본 실험에서는 대부분 참여자의 실험결과와 청음평가 결과와의 상관관계가 80%이상 나왔으며 1 명(익명)의 결과가 55%로 낮은 상관관계가 나와 실험결과에서 제외 시켰다.

3.2 청음 실험 결과

토onso음의 크기를 조절한 신호 54 개 (6×9=54)와 바크 구간별 스펙트럼의 크기를 조절한 신호 54 개의 신호 총 108 개의 신호를 이용하여 청음평가 실험을 진행했다. 실험에 사용한 108 개의 신호는 각각 20 번씩 평가를 받았으며 이들의 평균값은 신경망 회로의 목표값(target)으로 사용한다. Fig 8. 은 108 개의 신호를 각각 20 번씩 평가를 한 결과이며 중앙의 실선은 이들의 평균값이다. Fig 9. 은 108 개 청소기 신호의 평

가 결과의 평균값과 95%신뢰구간을 나타낸다. 108 개 청소기 신호에 대한 평균 신뢰구간은 0.254 이다.

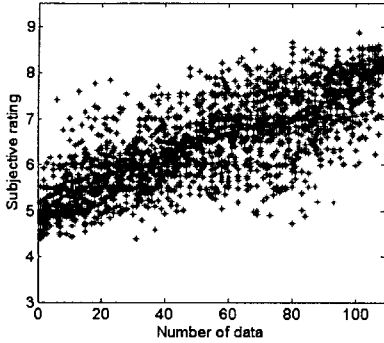


Fig. 8 The result of subjective evaluation and mean for 108 vacuum cleaner noise.

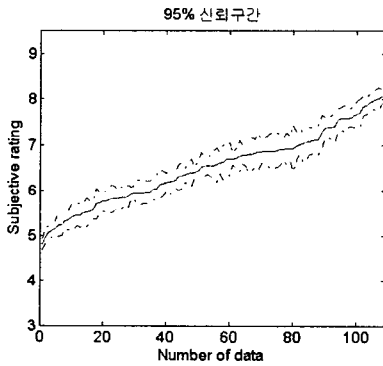


Fig. 9. Mean and 95% confidence for subjective rating of all cyking signal evaluated by 20 persons

3.2 음질 요소와 청음평가 결과와의 상관관계

각 음질 요소와 청음평가와의 상관관계는 라우드니스가 76.5%, 샤프니스가 47.6%, 러프니스가 16.6%, 변동강도가 5.2%로 라우드니스가 가장 큰 상관관계(5)를 보였다. Fig 10. 은 각 음질 요소와 청음평가 결과와의 상관관계를 비교한 그림이다. 그 외의 요소로써 샤프니스, 러프니스, 변동강도 순 이였으며, 라우드니스 외의 요소들은 신경회로망의 입력값으로 사용하여 학습률이 가장 높은 요소를 선택하여 사용한다. 개별적인 음질요소와 청음평가 결과와 상관관계는 Fig 11. ~ Fig 14. 에 나타내었다.

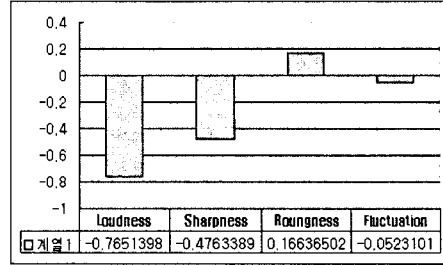


Fig. 10. The correlation between the sound metrics and subjective rating.

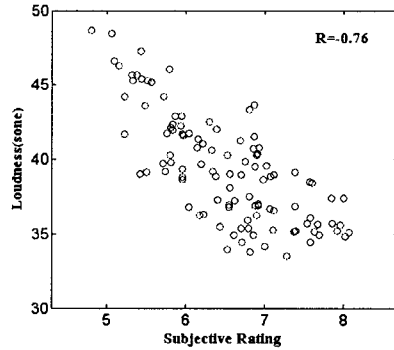


Fig. 11. The correlation between loudness and subjective rating.

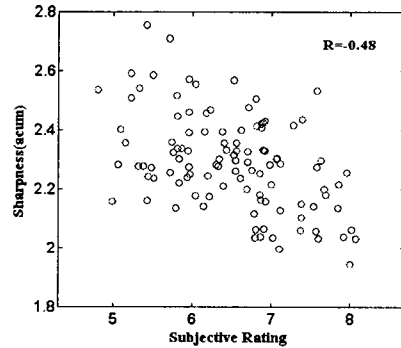


Fig. 12. The correlation between sharpness and subjective rating.

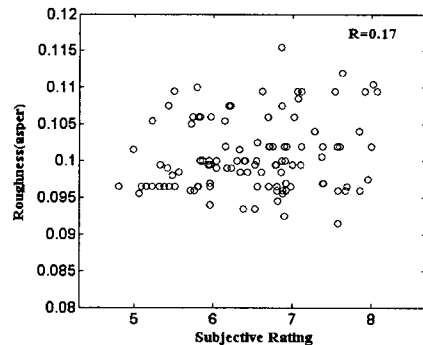


Fig. 13. The correlation between roughness and subjective rating.

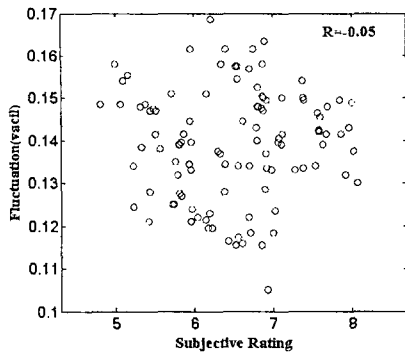


Fig. 14. The correlation between fluctuation strength and subjective rating.

4. 신경회로망을 이용한 인덱스 개발

진공 청소기 음질 인덱스는 Fig 8. 에서 보여 준 목표값(청음심험결과)에 대한 학습과정을 통하여 얻었다.(8) 이들의 최적 가중치값은 아래의 Table. 2 에 나타내었다.

Table 2. Weight matrix and bias vector for sound quality index of vacuum cleaner.

Content	Hidden Unit Weight W^1	Output Unit Weight W^2	Hidden Unit bias b^1	Output Unit bias b^2
Value	0.77 -0.78 -1.26	-1.598	-1.234	0.892
	3.22 -1.69 1.37	-0.385	-2.714	
	1.03 -0.94 -1.13	1.716	-1.613	
	-2.21 -0.38 2.07	1.981	-2.598	
	3.87 0.22 -2.88	1.794	3.084	
	0.49 0.55 -0.06	-1.539	-0.045	
	1.57 0.46 3.44	-0.685	3.385	
	-0.62 -1.06 -0.07	-0.122	4.217	

입력값으로는 라우드니스와 샤프니스, 러프니스를 사용하였다. Table. 1 에서 W^1 는 은닉층의 가중치값, W^2 는 출력층의 가중치값이다. 본 연구에서 사용한 신경망회로는 Fig 15.에 나와있는 바와 같이 세 개의 입력값을 사용하였고, 은닉층은 1 개, 은닉층 노드의 개수는 8 개, 출력층 노드의 개수는 1 개를 사용하였다. 이때 청소기 소음의 음질 인덱스는 수식적으로 다음과 같이 표시된다.

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

신경망회로의 은닉층 노드의 개수와 출력층 노드의 개수는 'trial and error' 방식을 사용하여 결정하였다. 본 연구를 통하여 구현한 108 개의 진공 청소기 신호 중 99 개의 데이터는

학습데이터로 사용을 하고 나머지 9 개의 데이터는 청소기 인덱스 개발이 완료된 이후에 검증데이터로 사용 하였다. Fig 16. 은 학습된 신경회로망 출력값과 청음평가 결과를 비교하여 보여주고 있다. Fig 16. 의 (a)는 청음평가 결과값을 평가 결과가 낮은 신호부터 높은 신호순으로 나타낸 것이고 (b)는 신경회로망 출력값을 (c)는 청음평가 결과와 신경회로망 출력값을 비교한 것이다. (c)에서 실선은 청음평가 결과이고 점선은 신경회로망 출력값이다. 이들의 청음평가 결과와 신경회로망 출력값은 학습과정 이후에 약 93.5%의 높은 상관관계를 나타내어 개발된 청소기 음질평가 인덱스의 활용화 가능성을 확인하였다. Fig 17. 은 학습과정 이후의 청음평가 결과와 신경회로망 출력값과의 상관관계이며 앞서 언급한 바와 같이 93.5%의 상관관계를 보이고 있다. 개발된 청소기 음질평가 인덱스는 9 개의 검증 데이터를 이용하여 유용성 여부를 확인하였다. 9 개의 검증 데이터는 108 개의 청소기 신호 중 신경회로망의 학습과정에 사용되지 않은 데이터로써 이를 이용하여 개발된 신경회로망에 입력값으로 사용하였을 때 출력값과 청음평가 결과와의 상관관계는 95.9%의 상관관계를 보였다. 이로써 개발된 청소기 음질평가 인덱스를 검증하였다. Fig 18. (a)는 검증데이터의 청음평가 결과값이고 (b)는 검증데이터의 신경회로망 출력값이고 (c)는 (a)와 (b)를 비교한 것이다. (c)에서 실선이 청음평가 결과값이고 점선이 신경회로망 출력값이다. Fig 19. 는 검증데이터를 사용하였을 때 청음평가 결과와 신경회로망 출력값을 나타내며 95.9%의 상관관계를 보이고 있다.

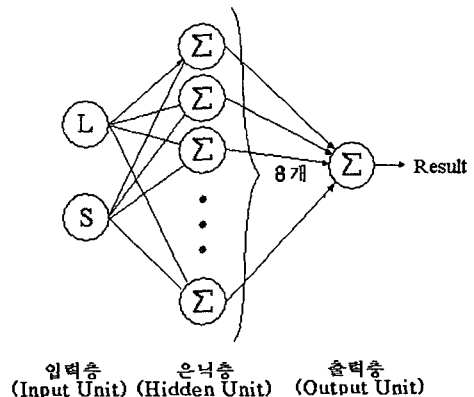


Fig. 15. Architecture of a multi-layer neural network with back propagation.

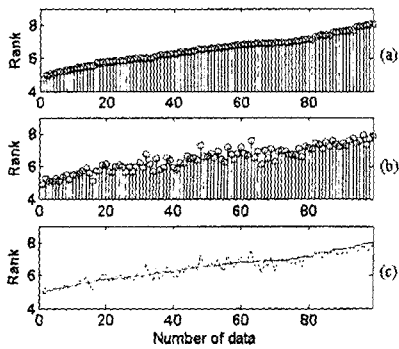


Fig. 16. Comparison between subjective evaluation and neural network output.

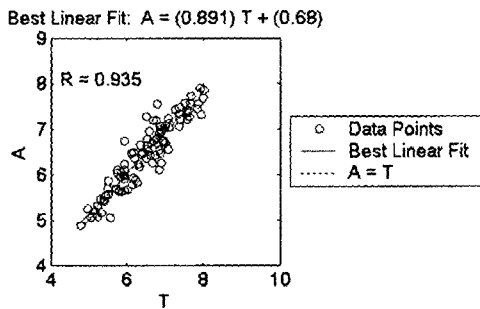


Fig. 17. Correlation between subjective evaluation and neural network output.

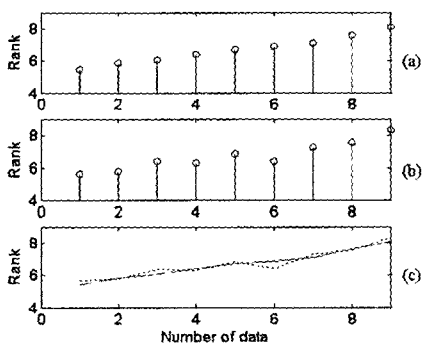


Fig. 18. Comparison between subjective evaluation and neural network output for validation data.

5. 결론

본 연구에서는 라우드니스와 샤프니스, 러프니스를 입력값으로 하고 청음실험 평균값을 목표값(target)으로 하는 다층 신경회로망을 이용하여 진

공 청소기 음질평가 인덱스를 제작하였다. 학습과정을 통해 얻은 최적화된 신경회로망 출력값은 인공신호 및 검증을 위한 진공 청소기의 청음평가 결과와 90%이상의 높은 상관관계를 보임으로써 진공청소기 음질평가 인덱스로의 사용 가능 확인과 유용성 검증을 마쳤다.

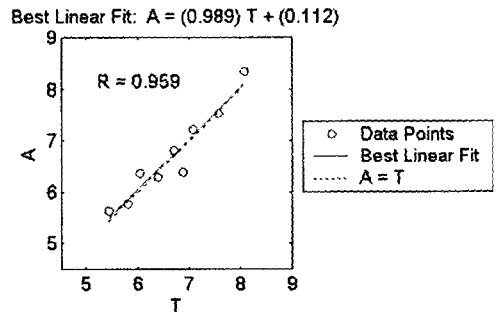


Fig. 19. Correlation between subjective evaluation and neural network output for validation data.

후기

본 연구는 학술진흥재단의 BK21 과 LG 전자 연구지원비로 수행되었습니다. 지원에 감사 드립니다.

참고 문헌

- (1) 전완호, 유기완 이덕주 이승갑 "진공청소기 원심팬의 유동과 소음원 해석" 한국소음진동공학회지 제 7 권 제 1 호 1977 pp.99~106.
- (2) 엄윤섭 김대식 박병일 "진공청소기 흡입 노즐의 저소음화를 위한 유동해석" 한국소음진동공학회 제 7 권 제 6 호, 1997 년도
- (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.
- (6) E. Oran Brigham "The Fast Fourier Transform And Its Applications" Prentice-Hall.
- (7) Julius S. Bendat, Allan G. Piersol "Random Data Analysis and Measurement Procedures" Third Edition
- (8) Hagan Demuth Beale "Neural Network Design"