

프린터 소음에 대한 감성소음 평가 시스템 개발

Development of Sound Quality Evaluation System for a Printer Noise Based on Human Sensibility

박 상 원*·이 현 호*·나 은 우*·이 상 권†·박 영 재**·김 종 우**
Sang-Won Park, Hyun-Ho Lee, Eun-Woo Na, Sang-Kwon Lee, Yeong-Jae Park
and Jong-Woo Kim

(2009년 10월 21일 접수 ; 2010년 4월 22일 심사완료)

Key Words : Sound Quality(음질), Sound Metrics(음질 요소), Subject Tests(주관평가), Sound Quality Index(음질인덱스), Artificial Neural Network(신경회로망)

ABSTRACT

The printer sound has many aspects which define its quality because the printer has lots of components and its operation is very complicated. These sound qualities are related to the international competition in printer markets. Recordings inside anechoic chamber were analyzed and a large number of sounds were stimulated using digital signal processing technique. First subjective tests of the printer sound were conducted using semantic differential method. By applying factor analysis to the subjective response, two important factors of sound quality were extracted. Second subjective tests were conducted to evaluate the quietness and the impulsiveness of the printer sounds. On the other hand, sound metrics are calculated applying psychoacoustic theories. In this paper, the nonlinear relation between subjective evaluation and sound metrics was identified using artificial neural network and the printer sound quality index was developed. Later, subjective sound quality evaluation will be estimated and evaluated using this index.

1. 서 론

프린터는 다양한 구성요소들로 이루어져 있으며, 구동원리도 상당히 복잡하므로 프린터 소음은 다양한 음색을 나타낸다⁽¹⁾. 이러한 음질은 프린터의 경쟁력과 관계가 있다. 사무실이나 가정의 컴퓨터 사용환경에서 프린터 소음은 사용자의 불쾌감을 유발하고 집중력을 떨어뜨리는 등 많은 문제점을 유발시킨다^(2,3). 국내외 프린터 사업체에서는 이러한 프

린터 소음을 줄이는데 많은 노력을 기울여왔다. 그러나, 단순한 소음저감과 같은 음향학적 연구로는 소비자의 욕구를 충족시킬 수 없고, 시장경제에서 뒤쳐지는 원인이 된다. 프린터 설계제작 기술 측면에서는 세계 시장에서 경쟁할 만큼 성장했으나, 프린터 음질 측면에서는 아직 기술이나 방법론 등 지식기반이 미미한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 프린터에서 발생하는 특정 소음에 대한 음질을 분석하고, 청음평가 실험을 통해 평가 기준을 확보하며, 이를 객관적으로 평가할 수 있는 프린터 음질 인덱스를 제작하였다. 프린터 소음에 대한 음질 인덱스를 제작하기 위해 먼저 다양한 종류의 프린터 소음을 측정하였다. 프린터 소음신호에 대한 적절한 절의어 8개를 선정하고 의미 분별법을 사용하여 1

† 교신저자 ; 정회원, 인하대학교 기계공학과
E-mail : sangkwon@inha.ac.kr

Tel : (032)860-7305, Fax : (032)868-1716

* 정회원, 인하대학교 대학원 기계공학과

** 삼성전자 프린팅사업부

차 주관평가를 진행하였다. 이 주관평가 결과를 사용하여 요인 분석을 수행하여 2개의 요인을 추출하였고 그 요인 명을 각각 정숙감, 충격감이라고 정의하였다. 2차 주관평가를 진행하여 주관평가 값을 얻었고, 다른 한편으로는 심리음향 이론을 바탕으로 객관적 음질요소를 계산하여 두 값 사이의 상관관계를 분석하였다. 이후 주관평가 결과와 음질요소 간의 비선형 관계를 신경망 회로를 이용하여 정립하고 최종적인 음질 인덱스를 제작하였다. 이러한 과정을 통해 개발된 프린터 소음에 대한 감성소음 평가시스템을 사용하면 프린터 음질에 대한 주관평가 값을 쉽게 예측할 수 있다. 또한 앞으로 개발될 프린터의 목표 값이나 기준 값을 제시해줄 수도 있다.

2. 기본 이론

2.1 라우드니스(Loudness)

주관적으로 느끼는 소리의 크기를 의미하는 청감의 정의로 음압레벨과 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 동일한 주파수에서 순음의 경우, 음압레벨이 증가하면 라우드니스도 증가하는 특성이 있다. Zwicker의 임상실험으로 음압레벨과 라우드니스⁽⁴⁾와의 관계식이 있음이 밝혀졌다.

$$\text{If } L \geq 40 \text{ dB, } N = 2^{\frac{(L-40)}{10}} \text{ (sone)}$$

$$\text{If } L < 40 \text{ dB, } N = \left(\frac{L}{40}\right)^{2.86} - 0.0005 \text{ (sone)}$$

Loudness계산 모델은 Zwicker외에 Stevens Mark 모델과 함께 ISO 532에 등록되어 있다. 그리고 1996년에 Moore에 의한 계산모델도 발표되었다.

2.2 변동강도(Fluctuation Strength)

음의 변화를 느끼는 속성에 대한 주관적 지각량을 말한다. 20 Hz 미만으로 진폭 또는 주파수 변조되는 소음의 경우에는 정상 상태의 소음에 노출되어 있는 경우보다 짜증스러운 느낌을 갖게 된다. 이와 같은 청감을 “변동 강도”라고 정의하며 단위는 Vacil을 사용한다. 1 vacil은 1 kHz의 순음이 4 Hz의 변조 주파수로 100%의 크기 변조될 때의 변동 강도를 나타낸다.

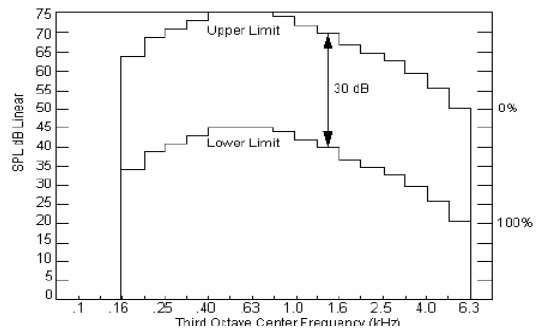


Fig. 1 weighted amplitudes of intelligibility expressed as percentages

2.3 음성이해도(Articulation Index, AI)

명료도 지수로서 대화의 명료도에 영향을 주는 암소음을 평가할 수 있다. 1/3 octave band를 이용하여 200~6300 Hz 구간에 대한 소음분석을 하여 계산되며, 중심주파수 구간별로 인지 가능한 lower limit와 인지 불가능한 upper limit를 정하여 각 구간별로 0~100% 비율로 weighting하여 계산할 수 있다. Fig. 1에 의해 각각의 1/3 octave amplitude를 가중하게 된다. 계산된 AI의 값이 100%일 경우 200~6300 Hz구간의 소음이 완벽하게 인지됨을 나타낸다. AI⁽⁵⁾의 계산모델은 ANSI 3.5C에 명시되어 있다.

3. 1차 청음평가

3.1 프린터 소음 측정

프린터 소음에 대한 음질 인덱스를 제작하기 위해서는 우선 다양한 음질을 가진 프린터의 소음 측정이 필요하다.

이 연구에서는 시중에서 판매하고 있는 대표적인 업체들의 최신 모델인 총 9대의 프린터를 선별하여 사용하였으며 HEAD Acoustics사의 HMS III Artificial Head를 사용하여 프린터 소음을 측정하였다. 또한 프린터 고유의 음향 특성을 파악하기 위해 무향실에서 실험을 진행하였다. Fig. 2는 ISO 11201(1995)에 따른 프린터 소음 측정 위치를 나타낸다. Table 1은 이 연구에 사용한 프린터의 정보를 나타낸다.

3.2 질의어 선정

먼저 소음에 대한 여러 가지 표현을 조사하고,

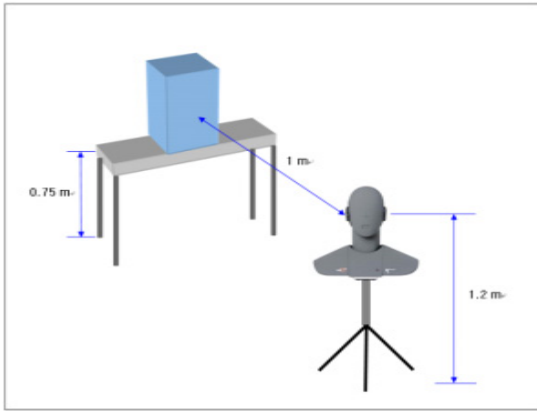


Fig. 2 The printer specified in ISO 11201:1995

Table 1 The information of 9 printers

Type	Maximum print speed	Remark
A	Up to 20 ppm color/monochrome	
B	Up to 20 ppm color/monochrome	
C	Up to 17 ppm color/monochrome	
D	Up to 24 ppm color/monochrome	
E	Up to 20 ppm color/monochrome	
F	Up to 24 ppm color/monochrome	
G	Up to 22 ppm color/monochrome	
H	Up to 20 ppm color/32 ppm monochrome	
I	Up to 20 ppm monochrome	Mono

Table 2 The pairs of opposite attribute

No.	The pairs of opposite attribute	
1	Clamorous(시끄러운)	Quiet(조용한)
2	Unpleasant(불쾌한)	Pleasant(유쾌한)
3	Impulsive(충격이 있는)	Not impulsive(충격이 없는)
4	Rough(거친)	Smooth(매끄러운)
5	Not consistency(일관성 없는)	Consistency(일관성 있는)
6	Cheap(값싼)	Expensive(고급의)
7	Shrill(날카로운)	Calm(부드러운)
8	Thick(탁한)	Clear(맑은)

프린터 소음 신호에 대하여 표현이 적절한 8개의 질의어 쌍을 선택하였다. Table 2는 8개의 질의어

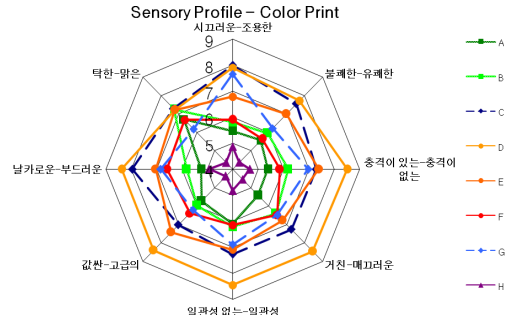


Fig. 3 Sensory profile for 8 color print signals

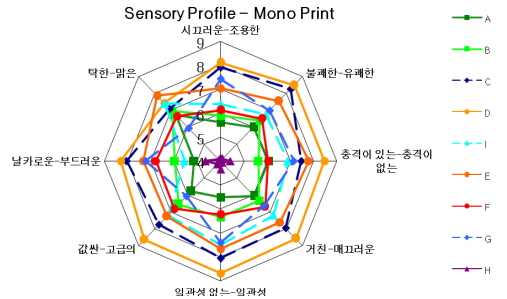


Fig. 4 Sensory profile for 9 mono print signals

쌍을 나타낸 것이며, 이 8개의 질의어 쌍을 1차 청음평가에 사용하였다. 질의어 쌍은 요인분석(factor analysis)를 통하여 구하였다.

3.3 1차 청음평가

1차 청음평가(6)에는 총 16명의 인원이 참석하여 총 8개의 질의어를 선정한 후 9개 프린터 소음 신호에 대한 청음평가를 실시하였다.

청음평가 방식은 의미분별법(SDM, semantic differential method)을 사용하였고, rating 방식은 4점에서 9점 방식을 사용하였다. 즉 주어진 속성(예: 시끄러운-조용한, 값싼-매끄러운 등)에 대해 소음 신호를 듣고 4점(매우 시끄러운), 5점(시끄러운), 6점(다소 시끄러운), 7점(다소 조용한), 8점(조용한), 9점(매우 조용한)등으로 점수를 체크하는 방법을 사용하였다. 그리고 Head Acoustics사의 HPS IV를 사용하여 청음실에서 청음평가를 시행하였다. 이 실험에서는 70%이하의 상관관계수 값을 갖는 평가자 2명의 데이터는 실험에 소극적으로 참여했거나, 일반인과 다른 취향을 갖고 있다고 판단하여 제거하였다. 1차 청음평가 결과 데이터를 사용하여 방사형 차트(sensory profile, radial chart)를 그려서 각 프

린터의 점수 분포를 확인하였다

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 컬러, 모노 프린트 신호에 대한 방사형 차트를 나타낸다. C, D기종의 경우 컬러와 모노 프린트 신호에서 높은 주관적 평가 점수를 받아 소음적인 측면에서 불쾌감을 거의 유발하지 않는 것을 확인하였고 A, H기종의 경우 반대로 전체적으로 낮은 점수를 받아 평가자로 하여금 큰 불쾌감을 유발하는 것을 확인할 수 있었다

3.4 1차 청음평가와 음질요소와의 상관관계

1차 청음평가 결과값을 이용해서 4대 주요음질과 기존의 음질요소와의 상관도를 분석하였다. 대부분의 질의어에서 loudness와 articulation index가 상관관계가 높고, 그 다음으로 fluctuation strength나 tonality, impulse occurrence rate 등이 상관계수가 높았다.

4. 요인분석

4.1 요인분석(Factor Analysis)

요인분석⁽⁷⁾은 다수 변수들 간의 상관관계를 이용하여 변수들 간의 체계적인 구조를 밝히고 서로 유사한 변수끼리 묶어주는 다 변량 통계기법 중의 하나이다. 2차 청음평가에서 사용할 질의어를 선정하기 위해 총 16명의 평가자가 1차 청음평가를 실시하였고 통계분석 프로그램⁽⁷⁾(Matlab과 SAS)을 사용하여 factor analysis를 수행하였다. 요인 분석을 수행하면 1차 청음평가에서 사용한 8개의 질의어 사이에 상관관계가 높은 변수끼리 묶어 서로 상관관계가 없는 새로운 factor 2개를 형성할 수 있다.

4.2 요인분석 결과

프린터 종류별로 각 factor에 속한 질의어 집합이 다른 것을 확인할 수 있다. 그러나, 그 중에서도 공통적으로 나타나는 요인이 있으며, 이 공통 요인이 전체 프린터 소음을 표현할 수 있는 하나의 요인으로 작용할 것이다 요인 명은 2차 청음평가에서 질의어로 선정되므로 신중히 고려하여 선택해야 한다. Table 3은 프린트 소음 신호에 대한 요인분석과 선정된 질의어에 관한 내용을 나타낸다. Quiet, impulsive, soft, bright, pleasant 5가지 요인 명을 부여하였고, 요인 분석 결과 요인 명은 quiet, impulsive, pleasant 3가지로 압축되었다. 요인의 수

를 2개로 선정하면 프린트 소음 전체에 대해서 총 분산 중 2개의 요인이 설명해주는 정도가 거의 60%에 이른다. 이는 2개의 요인으로도 전체 프린트 소음을 설명할 수 있다는 뜻이다. 요인의 수를 3개로 선정했을 경우 세 번째 질의어의 기여도가 전체에 영향을 주지도 못하고 신뢰할 수 없는 질의어가 될 수 있는 가능성이 크다. 따라서 2차 청음평가에서는 quiet, impulsive 2가지 요인 명을 질의어로 사용할 것이다.

5. 프린터 소음 신호 제작

5.1 무향실 내의 암소음 제거

무향실 내에서 측정된 프린터 소음은 20 Hz 이하의 스펙트럼에서 큰 암소음을 포함하고 있기 때문에 신호를 제작하기 전에 고주파대역필터(highpass filter)를 사용하여 20 Hz이하의 암소음을 제거하였다.

5.2 시간 진폭 변조 신호

현재 개발 중인 F 기종의 컬러 프린트 소음 신호를 기준으로 해서 여러 가지 신호를 제작하였다. 시간 축에 대한 프린트 소음 신호를 2.25초씩 총 4개 구역으로 나눈 다음 각 구간별 크기를 -3 dB, +3 dB씩 2가지 증폭한 신호를 만들어서 8개의 신호를

Table 3 Factor analysis for 17 print signals

	Factor No.	Factor 1	Factor 2	Factor 3
A color	3	Quiet	Impulsive	Soft
B color	3	Quiet	Pleasant	Impulsive
C color	3	Pleasant	Impulsive	Quiet
D color	3	Quiet	Soft	Pleasant
E color	3	Quiet	Pleasant	Impulsive
F color	3	Quiet	Bright	Pleasant
G color	3	Quiet	Soft	Impulsive
H color	3	Soft	Quiet	Bright
A mono	3	Soft	Quiet	Impulsive
B mono	3	Quiet	Bright	Impulsive
C mono	3	Soft	Impulsive	Quiet
D mono	3	Quiet	Impulsive	Pleasant
E mono	3	Impulsive	Pleasant	Quiet
F mono	3	Pleasant	Impulsive	Quiet
G mono	3	Impulsive	Soft	Quiet
H mono	3	Pleasant	Impulsive	Quiet
I mono	3	Quiet	Bright	Soft
Overall	3	Quiet	Impulsive	Pleasant

제작하였다. Table 4는 8개 신호의 시간 축에 대한 구간 별 증폭 크기에 대한 정보이다.

5.3 주파수 진폭 변조 신호

프린트 소음 신호의 주파수 대역별 스펙트럼 크기를 대역통과필터(bandpass filter)를 사용하여 크게 세 부분으로 나누었다. 인간의 청음과정에서 내이에서의

Table 4 The amplitude variation of time band

No.	0 ~ 2.25s	2.25 ~ 4.5s	4.5 ~ 6.75s	6.75 ~ 9s
1	+3 dB			
2		+3 dB		
3			+3 dB	
4				+3 dB
5	-3 dB			
6		-3 dB		
7			-3 dB	
8				-3 dB

Table 5 The frequency band divided in four parts

	1	2	3	Background noise
Bark	0 ~ 5 Bark	5 ~ 10 Bark	10 ~ 15 Bark	Over 15 Bark
Frequency	0 ~ 510 Hz	510 ~ 1270 Hz	1270 ~ 2700 Hz	Over 2700 Hz

Table 6 The amplitude variation of frequency band

No.	0 ~ 5 Bark	5 ~ 10 Bark	10 ~ 15 Bark
1	+3 dB		
2		+3 dB	
3			+3 dB
4	-3 dB		
5		-3 dB	
6			-3 dB
7	-6 dB		
8		-6 dB	
9			-6 dB
10	-9 dB		
11		-9 dB	
12			-9 dB
13	-12 dB		
14		-12 dB	
15			-12 dB

소음 신호의 주파수별 인식은 JNFD(just noticeable frequency differences) 단위로 이루어지므로 대역 소음의 크기 변화 구간은 0~5 Bark, 5~10 Bark, 10~15 Bark로 Bark단위로 나누었다. 각 구간의 주파수 대역은 0~510 Hz, 510~1270 Hz, 1270~2700 Hz이다. 15 Bark(2700 Hz)이하의 주파수 대역은 고주파 필터(highpass filter)를 사용하여 제거하고 15 Bark 이상의 주파수 대역을 배경소음으로 사용하였다. Table 5는 Bark별 주파수 대역을 나타내었다. 각 대역별 스펙트럼 크기를 +3 dB, -3 dB, -6 dB, -9 dB, -12 dB씩 증폭한 신호를 만들었다. Table 6은 15개 신호의 주파수 대역 별 증폭 크기에 대한 정보이다.

5.4 시간 임펄스 진폭 변조 신호

프린트 작동 시 용지가 들어가고 나오는 순간에 발생하는 충격음의 영향을 고려하기 위해 시간 축에 대한 프린트 소음 신호의 피크 크기를 조절하여 여러 가지 신호를 제작하였다. 피크 양쪽으로 적당

Table 7 The amplitude variation of time impulse

No.	1.25~1.40(0.15 sec)	7.75~7.90(0.15 sec)
1	+3 dB	
2		+3 dB
3	-3 dB	
4		-3 dB
5	-6 dB	
6		-6 dB
7	-3 dB	-3 dB

Table 8 The amplitude variation of frequency peak

No.	OPC motor	Deve motor	Fuser drive motor
1	+6 dB		
2		+6 dB	
3			+6 dB
4	-6 dB		
5		-6 dB	
6			-6 dB
7	-12 dB		
8		-12 dB	
9			-12 dB
10	Delete	Delete	Delete

한 간격을 두어 0.15초씩 잘라서 신호를 제작하였다. 처음 용지가 들어가는 부분과 용지가 나오는 부분에서 가장 높은 피크를 골라서 제거한 후 +3 dB, -3 dB, -6 dB씩 피크 높이를 조절하였다. 배경소음에 증폭된 신호를 더해서 최종 합성신호를 제작할 수 있다. Table 7은 7개 신호의 피크 증폭 크기에 대한 정보이다.

5.5 주파수 임펄스 진폭 변조 신호

주파수 대역에서 스펙트럼의 피크 크기가 전체 프린트 음질에 미치는 영향을 규명하기 위해 다음과 같이 신호를 제작하였다. 주로 OPC motor, deve motor, fuser drive motor에서 스펙트럼의 피크 크기가 높은 것을 확인할 수 있다. 기어 테이블을 참고하여 OPC motor, deve motor, fuser drive motor의 tooth frequency를 알아내었고, waterfall을 그려서 각 주파수에서의 피크 크기를 확인하였다. 이번 신호 제작 단계에서는 이 세 가지 주요 주파수의 스펙트럼 피크 크기를 조절하여 신호를 제작하였다. Table 8은 10개 신호의 증폭 크기에 대한 정보이다. 신호제작은 matlab을 이용하여 tracking filter 및 KALMAN filter를 설계하여 신호 제작에 사용하였다.

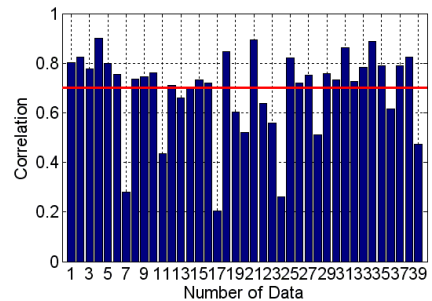
6. 2차 청음평가

6.1 2차 청음평가

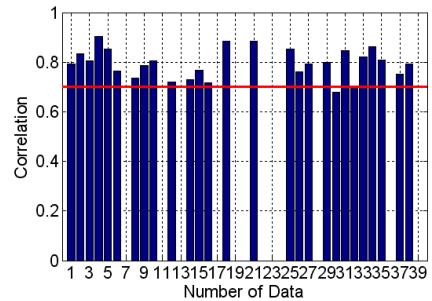
“정숙감”과 “충격감”, 이 두 가지 요인 명은 2차 청음평가에서 질의어로 사용되었으며, 차후 인덱스를 개발하여 프린터 소음을 나타내는 객관적인 지표로 사용할 것이다. 청음평가 결과는 객관적 인덱스를 검증할 때 하나의 목표 값이 되며, 두 값 사이의 오차를 최소화하도록 신경회로망을 학습시키는데 사용할 것이다.

2차 청음평가는 1차 청음평가에서와 마찬가지로 방법으로 진행된다. 질의어가 8개에서 2개로 줄어들었고, 대신 비교할 신호가 프린트 신호는 17개에서 57개로 증가했다. 프린트 신호는 57개 중 40개가 F기종의 프린트 소음신호를 기준으로 해서 만든 합성신호이고, 나머지 17개는 1차 청음평가에서 사용한 9개 기종의 흑백/컬러 프린트 소음신호이다. 한 페이지에 10개씩 신호를 나누었고 기준 신호를 8

점, 6.5점, 5점짜리로 구분하여 평가에 도움이 되도록 하였다. 레이팅 방법(rating method, 4~9점)을 사용하였고 2차 청음평가는 총 39명이 참석하였다. (남: 33명, 여: 6명, 연령: 20~45세) 실험을 종료한 후 낮은 상관계수 값을 갖는 사람의 평가 데이터는 실험에 소극적으로 참여했거나, 일반인과 다른 취향을 갖고 있다고 판단하여 실험 결과에서 제거하였다. Fig. 5는 각각의 질의어에 대해 프린트 소음 57개를 평가한 결과에서 평가자 전원의 평균값과 개인의 평가값 사이의 상관계수를 구하여 특별히 낮은 사람을 제거한 것을 그림으로 나타낸 것이다.



(a) Total subjects



(b) After removing subjects below 70 % correlation

Fig. 5 The correlation between mean subjective response and each single person's response in quiet attributes

Table 9 Highly correlated sound metrics.

Attributes	First	Second	Third
Quietness	Loudness	AI	Fluctuation strength
	-86.67 %	79.89 %	-51.22 %
Impulsiveness	Loudness	AI	Fluctuation strength
	-85.24 %	80.80 %	-59.62 %

(a)는 평가자 전원을 나타내고 (b)는 제거한 후의 평가자들 사이의 상관계수를 나타낸 것이다. 빨간 실선은 상관계수 70% 기준을 나타낸다. 2차 청음 평가 결과 39명 중 정숙감 12명, 충격감 12명의 데이터를 각각 제거하였다.

6.2 2차 청음평가와 음질요소와의 상관관계

상관계수가 낮은 사람들의 데이터를 제거하고 난 후의 주관평가 평균 값을 이용해서 음질요소와의 상관도를 분석하였다. Table 9는 프린트 소음에 대한 주관평가 평균값과 음질요소와의 상관도를 분석하여 가장 높은 상관관계를 갖는 음질요소 3개를 나열하고 상관계수를 백분율로 나타낸 것이다. 2차 청음평가의 질의어인 정숙감과 충격감에 대해서 주관평가 평균값과 상관관계가 높은 음질요소는 loudness와 articulation index, fluctuation strength 이다.

7. 음질 인덱스(Sound Quality Index)

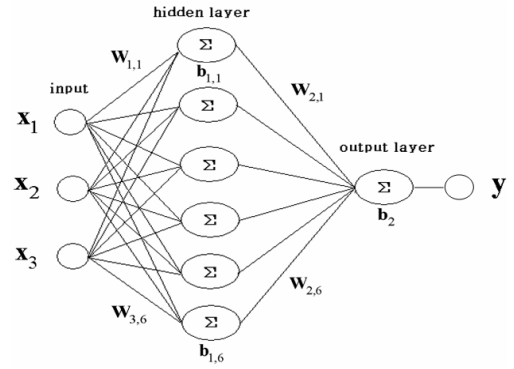
이 연구를 통하여 구현한 신경망 회로에서 입력 값으로 사용한 신호는 총 57개의 프린트 신호로써, 57개의 데이터를 학습데이터로 사용하였고 이 중 11개의 데이터를 프린트 인덱스 개발이 완료된 이후에 검증할 데이터로 사용하였다.

7.1 정숙감 음질 인덱스

프린트 정숙감에 대한 2차 청음평가 결과와 상관 관계가 높은 음질요소는 loudness, articulation index, fluctuation strength 이 세 가지이다. 세 음질요소를 신경망회로(8,9)의 입력 값으로 하여 목표 값(청음평가 결과)에 대한 학습과정을 진행하였고 그 결과 프린트 정숙감에 대한 음질 인덱스를 개발 하였다. 이들의 최적 가중치 값은 Table 10에 나타 내었다. 입력 값으로는 loudness, articulation index, fluctuation strength 세 음질요소 중에서 3개 모두 사용한 경우와 loudness와 AI, loudness와 FS, AI 와 FS 2개씩 사용한 경우를 각각 나누어서 학습을 진행하였다. Fig. 6은 다층 신경망 회로의 개략적인 그림을 나타내고 있다. 프린트 정숙감에 대한 인덱스를 구하는 과정에서 사용한 신경망 회로는 loudness와 FS를 입력 값으로 하고, 은닉층 1개, 은

닉층 노드의 개수 9개, 출력층 및 출력층 노드의 개 수를 각각 1개로 사용하였다. 각각의 내용은 Table 10에 요약되어있다. 프린트 정숙감에 대한 음질 인덱스는 Fig. 6과 같이 수식으로 나타낼 수 있다.

신경망 회로의 은닉층의 개수와 은닉층 노드의



$$\text{PRINT QUIET INDEX} = f^2 \left(w^2 f^1 \left(w^1 x + b^1 \right) + b^2 \right)$$

x	Input value	2×1
w ¹	Hidden Layer Weighting Matrix	9×2
w ²	Output Layer Weighting Matrix	1×9
b ¹	Hidden Layer Bias Vector	9×1
b ²	Output Layer Bias Vector	1×1
f ¹	Hyperbolic Tangent Sigmoid Function	Tansig
f ²	Linear Function	Purelin

Fig. 6 Schematic drawing of multilayer neural network

Table 10 Weight matrix and bias vector for sound quality index of print signal in quiet attributes

Hidden unit weight function		Output unit weight function	Hidden bias 1	Output bias 2
w ¹		w ²	b ¹	b ²
1.39863	0.70376	0.691074	5.57117	-1.75107
1.00750	-0.35343	-0.77808	0.304004	
-2.02304	-0.28476	0.464318	-8.84029	
-1.02902	-0.47390	-0.51074	-0.57795	
-1.22026	-0.13878	0.974528	-0.18292	
-0.84515	1.99946	0.376097	-1.90253	
-2.58946	1.85614	-0.69568	-1.32958	
1.44948	0.58869	-0.51502	2.571486	
1.08909	-1.22994	1.531753	5.85962	

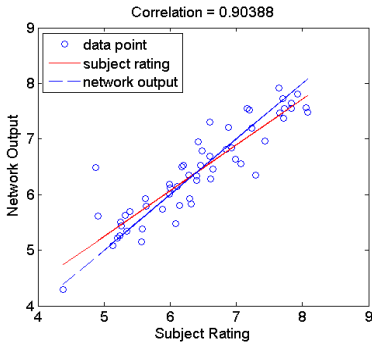


Fig. 7 The neural network output is highly correlated with mean subjective response in quiet attributes

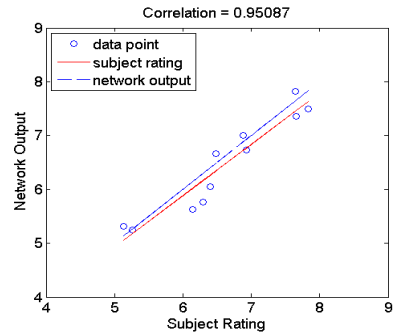


Fig. 8 Validation of print sound quality index using 11 random signals in quiet attributes

Table 11 Weight matrix and bias vector for sound quality index of print signal in impulse attributes

Hidden unit weight function		Output unit weight function	Hidden bias 1	Output bias 2
w^1		w^2	b^1	b^2
-1.52160	-0.37399	1.193107	3.02065	0.19199
-0.77941	-0.02226	1.338531	-0.16115	
-0.84015	1.04780	-0.419645	0.50771	
0.67725	-1.00210	0.147853	1.86338	
-0.95789	1.88700	1.186685	-2.26936	

개수, 출력층 노드의 개수는 trial and error 방식을 사용하여 결정하였다.

청음평가 결과 값과 신경망 회로 출력 값은 학습 과정 이후에 약 90.4%의 상관관계를 나타내었다. Fig. 7에서 횡축은 청음평가 결과를, 종축은 신경망 회로 출력 값을 나타내어 두 데이터 간의 상관관계를 보여주고 있다. Fig. 8은 57개 신호 중 11개 신호를 임의로 선정하여 프린터 정숙감인덱스를 검증한 것이다. Fig. 7과 Fig. 8에서 실선은 청음평가 결과 값, 점선은 신경망 회로 출력값의 추세선을 나타내고 있다. Fig. 9는 loudness와 fluctuation strength 두 음질요소를 이용하여 프린터 정숙감 음질 인덱스의 등고선을 나타낸 것이다. 대체적으로 loudness와 fluctuation strength가 낮을수록 평가 점수가 높게 나온다.

7.2 충격감 음질 인덱스

프린트 충격감에 대한 2차 청음평가 결과와 상관

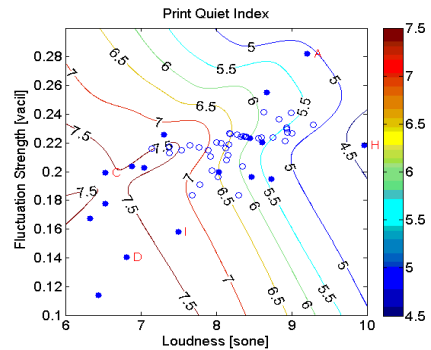


Fig. 9 The contour line for print quiet sound quality index. (○ : 40 synthetic signals, ● : 17 real signals)

관계가 높은 음질요소는 정숙감에서와 마찬가지로 loudness, articulation index, fluctuation strength 이 세 가지이다. 이들의 최적 가중치 값은 Table 11에 나타내었다. 프린트 충격감에 대한 인덱스를 구하는 과정에서 사용한 신경망 회로는 loudness와 FS를 입력 값으로 하고, 은닉층 1개, 은닉층 노드의 개수 5개, 출력층 및 출력층 노드의 개수를 각각 1개로 사용하였다.

청음평가 결과 값과 신경망 회로 출력 값은 학습 과정 이후에 약 90.1%의 상관관계를 나타내었으며, Fig. 10에서 횡축은 청음평가 결과를, 종축은 신경망 회로 출력 값을 나타내어 두 데이터 간의 상관관계를 보여주고 있다. Fig. 11은 57개 신호 중 11개 신호를 임의로 선정하여 프린터 충격감 인덱스를 검증한 것이다. Fig. 10과 Fig. 11에서 적색 실선은 청음평가 결과 값, 청색 점선은 신경망 회로 출력값의 추세선을 나타내고 있다. Fig. 12는 loudness와 fluctuation

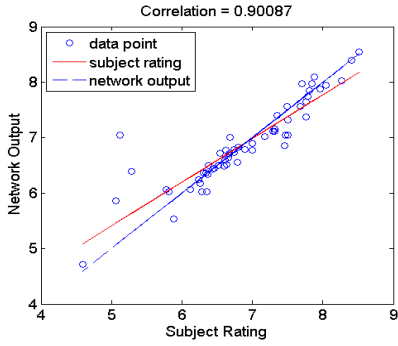


Fig. 10 The neural network output is highly correlated with mean subjective response in impulse attributes

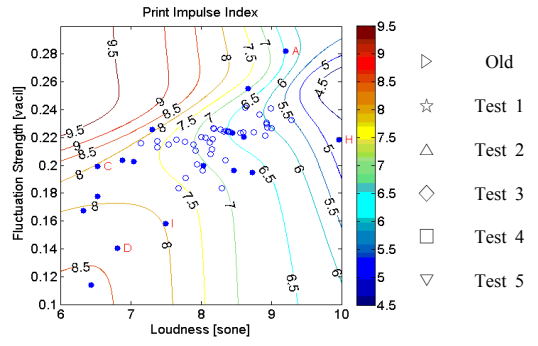


Fig. 12 The contour line for print impulse sound quality index. (○ : 40 synthetic signals, ● : 17 real signals)

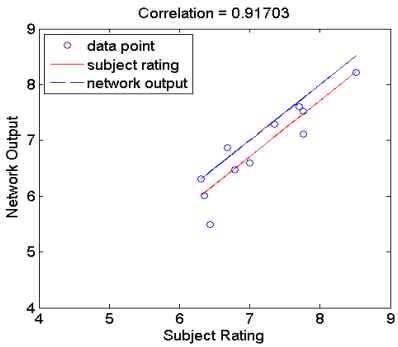


Fig. 11 Validation of print sound quality index using 11 random signals in impulse attributes

Table 12 Improvement test for the validation of print sound quality index

No.	Improvement	Loudness	Articulation index	Fluctuation strength
Old	Reference signal	8.447535	0.9686335	0.2235
Test 1	Reverse unit	8.212665	0.9523805	0.1600
Test 2	Shielding material use	7.833675	0.9594485	0.1805
Test 3	Back cover use	7.779285	0.9582475	0.2145
Test 4	Vent shielding	7.577280	0.9638295	0.2000
Test 5	T3+T4	7.662140	0.9602495	0.2005

strength 두 음질요소를 이용하여 프린트 충격감 음질 인덱스의 등고선을 나타낸 것이다. 이 그림을 통해 loudness와 fluctuation strength가 프린트 소음의 충격감에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

각 등고선은 프린트 소음에 대한 충격감 측면에서의 객관적 평가 점수를 나타내고, 대체적으로 loudness와 fluctuation strength가 낮을수록 평가 점수가 높게 나온다.

7.3 개선실험을 통한 음질 인덱스 검증

F 프린터를 기본으로 하여 개선실험을 실행하였다. 먼저 예전 F 프린트 신호를 기본으로 하고 test 1은 종이방향전환장치를 교환하여 측정된 프린트 소음 신호이다. Test 2는 프린터 본체 옆면에 차폐재를 부착하여 측정된 신호이고, test 2를 적용한 상태에서 test 3, test 4를 적용하였다. Test 3은 용지함 뒷 부분의 커버를 적용하여 측정된 신호이고,

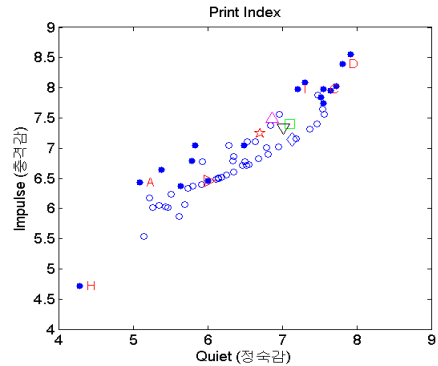


Fig. 13 Validation of print sound quality index using improved signal in quiet and impulse attributes

test 4는 vent부분을 차폐하고 측정된 신호이다. Test 5는 test 3과 test 4를 동시에 적용하여 측정된 신호이다. 앞에서 제작한 프린트 음질 인덱스를 이용하여 각각의 프린트 소음 신호에 대한 주관적인

평가 값을 예측할 수 있다.

Table 12는 개선실험 내용과 그에 따른 주요 음질요소 값인 loudness, AI, FS 값을 정리한 것이다. 프린트 음질 인덱스는 정속감 인덱스와 충격감 인덱스로 구분할 수 있고, 이를 2차원 평면상에 표시하여 개선된 프린트 소음의 특성 및 수준을 파악할 수 있다. Fig. 13은 인덱스를 사용하여 프린터 소음의 수준을 표시한 것이다. Fig. 13을 보면 기준 신호로부터 Test 1은 정속감에서 0.5점 향상되었고, 충격감에서 1.2점 향상된 것을 확인할 수 있다. Test 2을 기준으로 Test 3 ~ Test 5의 신호는 정속감에서 0.3점, 충격감에서 0.5점 등 향상된 것을 확인할 수 있으나 그 차이가 다소 미비하다.

8. 결 론

프린터 소음에 대한 음질인덱스를 제작하기 위해 연구를 진행하였다. 총 9대의 서로 다른 기종의 프린터 소음을 측정하여 적절한 질의어를 8개 선정하였고, 17개의 프린트 신호에 대한 1차 청음평가를 진행하였다. 1차 청음평가 결과 데이터를 사용하여 방사형 차트를 그려 프린터의 특성을 확인하였다. 프린터 소음신호의 음질요소를 계산하여 1차 청음평가 결과와 상관관계를 분석하였다. Loudness와 articulation index, fluctuation strength가 주요 음질요소로 확인되었다.

요인분석(factor analysis)을 통해 프린트 소음에 대한 두 개의 요인을 찾았고 각각의 요인명을 정속감, 충격감이라고 결정하였다. 이 두 개의 요인을 2차 청음평가의 질의어로 사용하였다. F프린터를 기본으로 하여 2차 청음평가에 사용할 합성신호를 제작하여 청음평가를 진행하였다. 프린터 소음신호의 음질요소를 계산하여 2차 청음평가 결과와 상관관계를 분석하였다. 1차 청음평가에서와 마찬가지로 loudness, articulation index, fluctuation strength 세 요소가 중요 음질요소를 확인하였다.

중요 음질요소를 사용하여 프린트 음질 인덱스를 개발하였다. 정속감 인덱스와 충격감 인덱스는 목표 값(청음평가 값)과 각각 90.4%, 90.1%의 상관계수를 갖는다. 개선 실험을 통해 음질 인덱스를 검증하였고, 프린터 소음에 대한 감성 소음 평가 시스템의 실용화 가능성을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0084728).

참 고 문 헌

- (1) Baird, T., Bray, W. and Otto, N., 2005, "Impulsive Noise of Printers : Measurement and Characterization," Inter-Noise 2005, RiodeJaneiro, Brazil.
- (2) Wong, J. C., 1999, "Qualitative Evaluation of High Speed Printers Based on Jury Test," Inter-Noise 99, Ft.Lauderdale, Florida USA.
- (3) Cha, D. S., Park, K. J., Kim, K. H. and Choi, M. H., 2007, "Study of Noise and Vibration of Laser Printer," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 22~28.
- (4) Zwicker, E. and Fastl, H., 1990, "Psychoacoustics, Facts and Models," 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- (5) Zwicker, E., Fastl, H. D., 1994, "Basic-Program for Calculating the Loudness of Sounds from their 1/3 Octave Band Spectra According to ISO 532B," Acustica, Vol. 55, No. 63, pp. 63~67.
- (6) Otto, N., Amman, S., Eaton, C. and Lake, S., 2001, "Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds," Journal of Sound and Vibration, Vol. 35, pp. 24~47.
- (7) Cody, R. P. and Smith, J. K., 2006, "Applied Statistics and the SAS Programming Language," 5th Edition, Pearson Education, Inc.
- (8) Hagan, M. T., Demuth, H. B. and Beale, M., 1996, "Neural Network Design," PWS Publishing Company.
- (9) Lee, S. K., 2002, "A Study on Development of Sound Quality Measurement System Using Human Sensibility and Artificial Neural Network," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 12, No. 5, pp. 351~357.