

# 프린터의 음질 인덱스 제작과 음질개선에 대한 응용

## Design of Sound Quality Index for Laser Printers and Its Application for Improvement Study

김 의 열\*. 이 영 준\*. 이 상 권†

Eui-Youl Kim, Young-Jun Lee and Sang-Kwon Lee

(2012년 1월 13일 접수 ; 2012년 5월 16일 심사완료)

**Key Words** : Sound Quality Analysis(음질분석), Jury Evaluation(청음평가), Tonality(순음도), Sound Quality Index(음질 인덱스), Multiple Linear Regression(다중선형회귀법)

### ABSTRACT

The sound quality based on design optimization, throughout the development process of various electronic office equipments, needs to be considered in order to respond the increased needs for the emotional satisfaction of customers in terms of psycho-acoustics. This paper focuses on how to describe the characteristics of operating sound radiated from laser printers by using various sound attributes, and to model the sound quality index that can properly evaluate the subjective preference on modification conditions in the improvement study quantitatively. Especially, the proposed verification process, in the form of combining the correlation based method and the decision error based method, was applied to improve the generality and reliability of a group of participants in the jury evaluation. The modified Aures tonality model was also proposed to improve the correlation coefficient with the mean response of participants by optimizing some parameters. As a result, the loudness, articulation index, roughness, tonality, fluctuation strength were used to model the sound quality index for laser printers by using the multiple-linear regression method. Through the improvement study, it was confirmed that replacing the absorbing materials is effective to reduce the tonalness radiated from the side of a reference printer model. Based on above results, it can be concluded that the proposed model has enough usefulness as quantitative evaluation index to evaluate the difference between modification conditions in the improvement study.

### 1. 서 론

다양한 분야에서 널리 사용되고 있는 복사기와 프린터는 과거에 비해 소형화되고 가격이 저렴해지면서 사무실과 가정에서 개인용 책상 위에 올려놓고 사용할 정도로 사용자들의 접근성이 개선되었다.

하지만, 이를 소음진동 측면에서 바라보면 이러한 접근성의 개선은 과거에 비해 소음원과 사용자 사이에 거리가 매우 가까워지고 노출 시간은 상당히 증가되었다는 것을 의미한다. 특히, 최근에 프린터, 복사기, 스캐너, 팩스 등의 다양한 기능이 복합된 MFP(multi-function printer)가 널리 사용되고 있는데 하나의 기기에서 다양한 기능을 구현하기 위해 하드웨어가 복잡해지면서 기존에 단일 기능 제품에 비교하여 심리 음향 측면에서 성가심 유발의 가능성이 증가되었다. 그리고 이와 같은 소음 문제들은

† 교신저자; 정회원, 인하대학교 기계공학과  
E-mail : sangkwon@inha.ac.kr  
Tel : (032)860-7305, Fax : (032)868-1716  
\* 정회원, 인하대학교 대학원 기계공학과

제품 구입 과정에서 다양한 선택 기준 중에 하나가 되었고 사용 과정 중에 느끼는 감성 만족도에 영향을 주며 결과적으로 제품 판매량에 영향을 주는 요인으로 고려되면서 심리 음향 측면에서 문제 소음 개선을 위한 연구의 필요성이 산업 전반에 대두되었다<sup>(1)</sup>.

이러한 문제의식 속에 그 동안 수행되었던 연구들은 각각의 음질 연구에서 고려되었던 주요 음질 요소 모델의 종류와 접근 방법에 따라 다음과 같이 세 개의 군집으로 나누어 살펴 볼 수 있다.

첫 번째 군집은 인쇄 과정 중에 작동 소음의 크기 특성, 즉 A-weighted SPL 또는 loudness와 심리 음향 사이에 관계성에 초점을 두고 있다. R. D. Hellweg(1998)는 사무기기 작동 소음의 크기 개선 정도에 따라 사람의 청각계를 통해 인지하는 개선 정도를 평가자 군집에 대한 확률 지표를 사용하여 표현하였고 심리 음향 측면에서 제품 소음 개선에 대한 명확한 인지를 위해서는 최소한 약 3~5 dB 정도의 개선이 필요함을 언급하였다<sup>(2)</sup>. 그리고 H. Fastl et al.(2001)는 daisy wheel 타입과 needle 타입의 프린터 작동 소음의 음질 평가 과정 중에 사람의 청각계를 통해 인지된 소리의 전반적인 크기를 정량적으로 나타내는 DIN 45631의 loudness 모델이 평가자들의 주관 평가 결과와 높은 상관도를 가지고 있으며 프린터 음질 평가에 유용한 정량적 지표로 고려되었다<sup>(3)</sup>. 그리고 인쇄 기술의 발전에 따라 electrostatic process 기반의 복사기와 레이저 프린터가 널리 보급되면서 모터, 기어, 쿨링팬 등의 회전체 소음이 과거에 비해 상대적으로 증가하였고 게다가 제조사 간에 분당 출력 속도(ppm)에 대한 경쟁이 심화되면서 다수의 음질 연구자들은 소리의 다양한 특성 중에 단지 크기 특성 나타내는 dBA 또는 loudness만을 비교 분석하여 음질 연구를 수행하는 것은 다소 부적절한 것으로 인식하기 시작하였다.

그래서 두 번째 군집은 모터, 기어, 쿨링팬 등의 회전체 기계요소들에 의해 발생된 토널 소음의 영향에 초점을 두고 있다. Takashi et al.(2003), Terrence Baird et al.(2005), Kuwano et al.(2009)는 공통적으로 고주파 영역에 존재하는 음향 에너지의 정도를 나타내는 sharpness를 성가심 유발의 두 번째 인자로 고려하고 dBA 또는 loudness와 함

께 음질 개선 연구의 평가 지표로 활용하였다<sup>(4-7)</sup>. Kuwano et al.(2009)는 두 음질 모델이 조합된 comfort index(CI)를 제안하고 복사기의 개선 전후의 차이를 비교하기 위한 정량적 지표로 활용하였다<sup>(5-7)</sup>. 그리고 Furukawa et al.(2008)는 복사기의 작동 소음에 대한 일본, 독일, 미국에서의 청음 평가 결과를 기초로 문화권에 따라 sharpness 보다 roughness에 보다 민감하게 반응할 수 있음을 확인하였다<sup>(7)</sup>.

마지막으로 세 번째 군집은 용지 급지 및 배출 과정에서 발생하는 충격성 소음의 영향에 초점을 두고 있다. Chee-chiu Joseph Wong(1999)는 약 5 dB의 작동 소음 크기 차이보다 용지 배출 과정 중 딸각하는 충격성 소음이 평가자들에게 보다 더 부정적인 음질 인자로 인식되는 현상을 확인하였고<sup>(8)</sup>, Terrence Baird et al.(2005)는 용지 급지 및 배출 과정에서 발생하는 충격성 소음의 크기를 합성 신호 기술을 기초로 조정된 이후에 impulsive와 평가자 선호도 사이에 반비례 관계가 명확하게 존재함을 보다 구체적인 실험 결과를 근거로 제시하였다<sup>(9)</sup>.

이와 같이 세 가지 형태의 군집 별로 연관된 연구들의 결과는 CANON, Ricoh, 제록스, HP 등의 제조사와 연계하여 음질 연구의 관심 대상과 접근 방법에서 다소 차이가 존재하기에 공통된 결론을 도출하는 것은 어렵지만 다음과 같이 하나의 공통된 문제의식을 가지고 있다. 즉, 소리의 다양한 특성 중에 dBA 또는 loudness가 주요 음질 인자로서 주관 평가 결과와 높은 상관도를 가지고 있지만 크기 특성만을 고려하여 사람의 청각계를 통해 인지된 소리의 다양한 특성과 심리적 만족감 또는 성가심 사이에 관계를 정량적으로 표현하기에는 다소 부족하며 이를 개선하기 위한 다양한 음질 인자들에 대한 고려가 필요하다는 것을 의미한다. 이와 같은 연구 동향에 기초하여 이 연구는 레이저 프린터 작동 과정 중 발생하는 소음 속에 포함되어 있는 모터, 기어, 쿨링팬, 용지 이송 소음 등의 영향들이 고려된 음질 인덱스를 고려하고 개선 실험에 활용하는 것을 목표로 한다. 음질 연구 과정 중 회전체 소음 평가용 모델인 Aures tonality의 낮은 상관도를 보완하기 위해 개선된 tonality 모델을 제안하였고 다중선형회귀분석법을 통해 음질 인덱스를 도출 하였다.

## 2. 실험 및 청음평가

### 2.1 레이저 프린터의 작동음 녹음

레이저 프린터의 음질 연구를 위해 Table 1에서 볼 수 있듯이 4개 제조사의 8개 프린터 모델의 작동 소음이 고려되었다. 일부 모델은 스캐너, 팩스 등의 기능을 포함하고 있는 MFP(multi-function printer) 타입의 모델이며 흑백 출력만 가능한 제조사 D의 모델 8번을 제외하고 모두 컬러 및 흑백 출력이 가능하다. 제조사 및 모델에 따라 분당 출력 속도(ppm)가 다르기 때문에 하나의 인쇄 사이클에 소요되는 시간 또한 모두 다르다. 음질 연구에 사용된 프린터 작동 소음은 이 연구실의 무향실에서 ISO 11201(1995)에 따라 bystander 위치에서 HEAD acoustics사의 Artificial Head가 사용되었으며 free field 모드에서 샘플링 주파수 48 ks로 측정되었습니다<sup>(10)</sup>. 대기 상태에서 첫 인쇄를 준비하는 과정에서 fuser roller 가열에 소요되는 시간이 모델에 따라 다르기 때문에 여러 차례 인쇄를 반복한 이후에 작동 소음을 측정하였다. 이러한 과정을 통해 총 15개의 프린터 작동 소음이 측정되었으며 이 연구에서는 제조사 B의 4번 프린터 모델을 평가 기준으로 나머지 7개 프린터 모델의 청각계 인지 반응 특성에 대한 좋고 나쁨이 결정되었고 정량적 평가와 주관적 평가를 기초로 음질 인덱스가 개발 및 개선 연구에 활용되었다.

**Table 1** Print mode and maximum speed of laser printer models used for sound quality analysis

Model no.	Manufacturer	Print mode	Max print speed
1	A	Color/mono	20 ppm
2	A	Color/mono	20 ppm
3	B	Color/mono	17 ppm
4	B	Color/mono	24 ppm
5	B	Color/mono	20 ppm
6	C	Color/mono	24 ppm
7	C	Color/mono	22 ppm
8	D	Only mono	20 ppm

### 2.2 청음평가

이 연구에서 jury evaluation은 주관 평가 결과의 신뢰성과 정확성을 위해 N. Otto et al.(2001)에 의해 제시된 올바른 청음 평가에 대한 세부적인 절차와 방법을 참여하여 수행되었다<sup>(11)</sup>. 그래서 청각테스트를 통해 정상 청력을 가지고 있는 것으로 확인된 39명(남자 33명, 여자 6명, 연령 20~45세)의 평가자들만이 청음평가에 참여할 수 있는 기회를 가졌고 총 15개(측정소음신호 15개)의 소음 신호를 HEAD acoustics사의 playback 장비와 headphone을 사용하여 비교 청취한 후에 주관 평가 방법으로 널리 활용되고 있는 레이팅(rating)방법을 기초로 Table 2에서 나타낸 바와 같이 4점과 9점 사이에 점수를 선택하는 것에 의해 소음을 평가하였다. 그리고 청음평가를 수행하기에 앞서 평가자 들을 대상으로 평가 방법과 소음에 대한 사전 교육과 함께 참조 기준 소음의 충분한 청취 기회를 제공하였다.

### 2.3 청음평가의 검증

기존 음질 연구에서는 상관관계분석법(correlation based method)를 기초로 청음 평가를 통해 얻은 평가자 군집의 평균 특성 또는 일반성(generality)에 비교하여 낮은 상관도를 가지는 평가자들을 비음향 요인 중에 하나인 특이 성향(unusual preference)을 가진 것으로 고려하였다<sup>(12,13)</sup>. 반면에 이 연구의 선행 연구에서 제안된 판단 오류 모델(decision error)은 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 상관관계분석법의 앞 단계에 적용되어 평가자 군집이 아닌 평가자 개별의 청음 평가 결과를 토대로 비정상적인 판단 오류 가능성을 정량적으로 도출하고 신뢰성 측면의 문제를 가지고 있는 평가자로 고려하였다<sup>(14)</sup>. 제안된 새로운 접근 방법을 통해 상관관계분석법의 결과를

**Table 2** Recommended grade list of subjective evaluation of laser printer's operating sound

Subjective ratings	Production guide of printer
8.5	Very excellent Excellent Good Acceptable for mass production Marginal Not good Bad Unacceptable to mass production Fail(impossible to develop)
8	
7.5	
7	
6.5	
6	
5.5	
5	
4.5	

기초로 특이 성향을 가진 것으로 오인되었던 정상 평가자 4명의 불필요한 정보 손실을 막고 반대로 정상 평가자로 오인된 신뢰성 측면의 문제를 가진

평가자 2명을 제거함으로써 결과적으로 총 39명의 평가자 중에 제거된 평가자의 수를 12명에서 10명으로 줄이면서 비음향 요인에 의한 신뢰성 문제를 개선하였다.

이러한 결과는 사람의 청각계를 통해 명확하게 인지 가능한 정도의 차이가 프린터 작동 소음 사이에 존재함에도 불구하고 발생하는 잘못된 판단의 가능성을 배제하는데 선행 연구에서 제안된 판단 오류 모델이 유용함을 보여준다. Fig. 2는 측정된 프린트 음에 대한 평가자 군집에서 검증 과정의 방법에 따른 mean response(청음평가 평균치)의 차이를 흑백과 컬러 출력의 경우로 나누어 보여준다. 여기

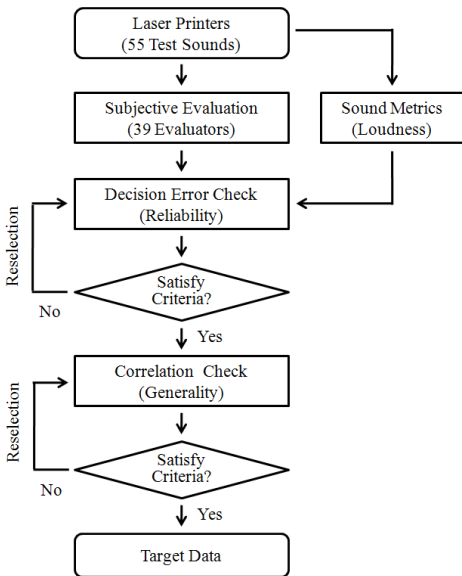
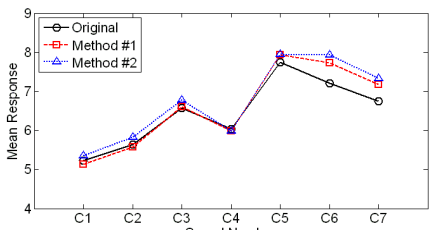


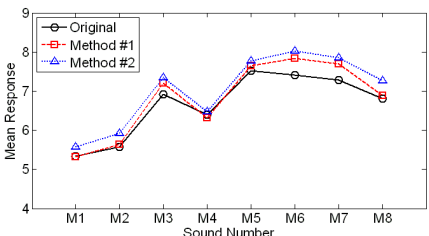
Fig. 1 Proposed verification process for improving the generality and reliability of jury evaluation

Table 3 Variance of statistical information in each group between before and after verification process of jury evaluation

Evaluation criteria	Original group	Modified group
N of participants	39	29
Max	7.7439	8.0335
Mean	6.5608	6.8928
Min	5.2201	5.3496
STD	0.8293	0.9615

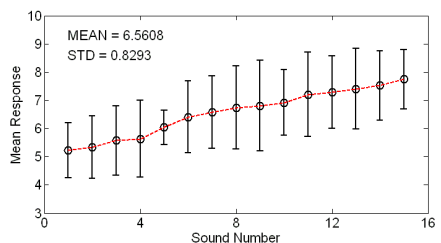


(a)

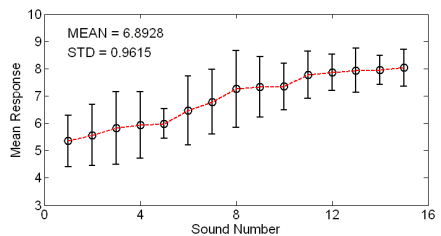


(b)

Fig. 2 Comparison of mean responses for 15 original printer sounds according to the methods used for the post-processing of subjective evaluation; (a) color print, (b) black and white print



(a)



(b)

Fig. 3 Mean response and  $\pm$  standard deviation with 95% confidence in an ascending order for 15 original printer sounds; (a) original group, (b) modified group

에서 6번과 7번 프린터 모델은 제조사 C의 프린터 모델이며 원본 군집의 mean response에 비교하여 평가자 특이 성향 및 신뢰성 검증 이후에 상대적으로 큰 변화가 존재하는데 이는 평가자 군집 내에서 음질에 대한 개별 선호도 차이와 비음향 요인(non-acoustic factors)에 의한 영향으로 판단된다.

Fig. 3은 검증 과정 전후에 이 논문에서 주요 평가 대상으로 고려하는 15개 작동 소음의 평가자 군집 내 주관 평가 특성의 평균값과 표준 편차 특성을 보여주며 Table 3에서 볼 수 있듯이 개별 작동 소음 내에서 표준 편차는 상대적으로 감소하면서 SDM 기반의 4범 9점 평가 영역 내에서의 표준 편차는 0.8293에서 0.9615로 개선되었다. 이 논문에서 향후 주관 평가치는 수정된 참여자 그룹의 청음평가 평균치를 사용한다.

### 3. 음질 요소(sound metrics)

프린터 작동 소음의 음질 연구 과정 중에는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 평가 소음에 대한 청음 평가 이후에 이를 기준으로 높은 상관관계를 가지는 음질 인자를 찾기 위한 과정들이 수행된다. 이 연구에서는 제조사 8개 모델의 15개 프린트 작동 소음 사이에 음질 관계성에 초점을 맞추었다.

이 연구에서는 loudness, sharpness, roughness, fluctuation strength, tonality 등의 기초 음질 인자들과 함께 Kuwano et al.(2009)의 연구를 통해 제안된 comfort index(CI)가 주요 음질 인자로 고려되었다. 그리고 기준에 회전체 소음 평가에 널리 활용되는 Aures tonality 모델의 낮은 상관도 문제를 보완하기 위해 Aures tonality를 기초로 일부 수정된 회전체 소음 평가용 모델을 제안하였고 이 연구의 음질 연구 중 회전체 소음의 특성을 표현하는데 유용한 음질 인자로 고려되었다. Fig. 5는 개별

음질 요소와 평가자 주관 평가 결과와의 상관관계를 보여주며 Table 4는 각 음질 요소의 상관도를 보여준다<sup>(5,6)</sup>.

#### 3.1 Loudness

음질 연구에서 loudness는 청각계를 통해 인지된 소리의 다양한 특성 중에 정량적으로 크기를 표현하기 위해 널리 활용되는 음질 요소 모델이며 copy machine 또는 printer 관한 대부분의 음질 연구 과정 중에 성가심 유발의 첫 번째 주요 인자로 고려되었다<sup>(1-10)</sup>. 여기에서 loudness는 ISO 532B에 따라 계산되었다<sup>(15)</sup>. Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이 주관 평가와의 상관도는 원본 군집에 대해 -92.65%이며 검증 과정 이후에는 -96.12%로 개선되었다.

#### 3.2 Articulation Index

음성 이해도를 의미하는 음질 요소서 Fig. 5(b)에서 볼 수 있듯이 원본 군집과 검증 과정 이후에 별다른 차이가 없이 96.26%와 96.13% 상관도를 가진다.

#### 3.3 Sharpness 및 Roughness

회전체 소음의 음질 측면에서의 정량적 지표로 Aures tonality가 널리 활용되고 있지만 Zimmer (2004)은 평가 대상 소음 군집 내에서 loudness가 비슷한 값을 가지는 경우 회전체 소음들이 tonality보다 sharpness와 roughness에 보다 밀접한 관계성을 가지는 경우가 존재함을 제시하였다<sup>(16)</sup>. 그리고 프린터 및 복사기 음질 연구들 또한 작동 소음의

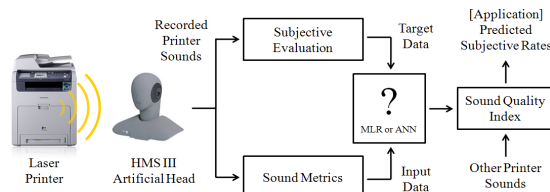
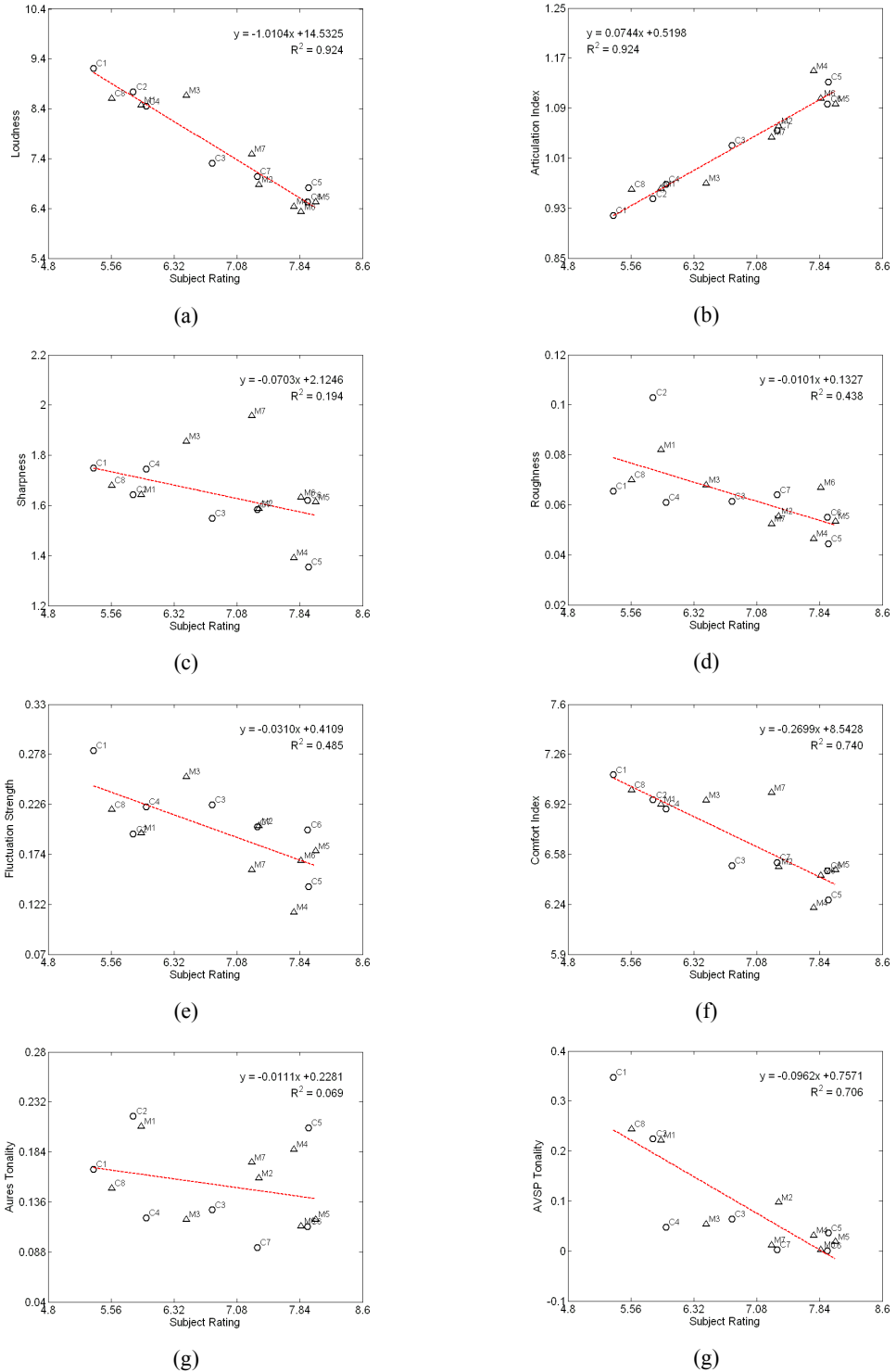


Fig. 4 Development process of the sound quality index and its application for a laser printer

Table 4 Comparison of correlation coefficients between sound metrics and mean response of participants

Sound metrics	Original group	Modified group
Loudness	-0.9265	-0.9612
Articulation index	+0.9626	+0.9613
Sharpness	-0.4813	-0.4406
Roughness	-0.7104	-0.6614
Fluctuation strength	-0.7092	-0.6966
Comfort index	-0.8787	-0.8600
Aures tonality	-0.2120	-0.2628
AVSP tonality	-0.8447	-0.8376



**Fig. 5** Correlation coefficients between the sound metrics and the mean response of participants; (a) loudness, (b) articulation index, (c) sharpness, (d) roughness, (e) fluctuation strength, (f) comfort index, (g) Aures tonality, (h) AVSP tonality

크기 특성을 의미하는 dBA 또는 loudness 다음으로 sharpness가 회전체 소음과 연관하여 음질과 밀접한 관련을 가지고 있음을 제시하고 개선 연구에 활용하였다. 그리고 Furukawa et al.(2008)은 미국, 독일, 일본 사이에 문화적 배경에 따라 음질 선호도에 다소 차이가 있는 것을 확인하였고<sup>(8)</sup> 선행 연구에서 비록 낮은 상관도를 가지고 있지만 문화적 배경 측면에서 유사한 일본 사람들과 유사하게 한국 사람들 또한 sharpness 보다는 roughness에 민감한 것으로 고려되었다. Table 4에서 sharpness와 roughness는 평가자 군집의 평균 주관 평가 결과와 각각 -44.06%와 -66.14%의 상관도를 가지며 Fig. 5(c)와 Fig. 5(d)에서 볼 수 있듯이 roughness는 sharpness에 비교하여 보다 높은 응집성과 함께 비교적 양호한 상관도를 가지고 있다. 이러한 결과는 Kuwano et al.(2009)의 연구 결과의 연장선상에서 일본과 미국, 독일의 경향성에 비교하여 상대적으로 일본과 공통적인 문화권 특성상 sharpness 보다는 roughness에 보다 민감한 특성을 가지고 있고 문화적 배경에 따른 음질 선호도의 차이를 보다 일반화하는데 도움이 된다고 판단한다<sup>(7)</sup>. Kuwano et al.(2009)의 연구에서는 sharpness가 두 번째 음질 인자로 고려되었으나 이 연구에서 문화적 배경 특성과 충분한 상관관계를 고려하여 roughness를 음질 인덱스 제작 과정에서 사용하였다.

### 3.4 Fluctuation Strength

용지 급지 및 배출 과정에서 발생하는 충격성 소음에 연관되어 있는 음질 요소 모델로서 Table 4에서 fluctuation strength는 Fig. 5(e)에서 볼 수 있듯이 -69.66%의 상관도를 가지며 T. Baird et al.(2005)의 연구 결과와 동일하게 충격성 소음과 음질 사이에 관계가 있음을 보여준다<sup>(4)</sup>.

### 3.5 Comfort Index(CI)

Kuwano et al.(2009)은 복사기의 작동 소음에 대한 음질 연구를 통해  $L_{Aeq}$ 와 sharpness가 조합된 comfort index(CI)를 아래 식 (1)과 같이 제안하고 개선 연구에서 음질에 대한 정량적 지표로 활용하였다<sup>(5,6)</sup>.

$$Comfort\ Index(CI) = \frac{1}{10} L_{Aeq} + Sharpness \quad (1)$$

여기에서  $L_{Aeq}$ 는 A-weighting 가중치가 적용된 시간에 대한 평균 소음 레벨을 의미한다. 위 관계식을 기초로 도출된 Table 4에서 CI는 Fig. 5(f)에서 볼 수 있듯이 평가자 군집의 주관 평가 결과와 -86.00%의 높은 상관도를 가지고 있지만 기여도 측면에서 sharpness의 상관도가 -44.06%로 낮기 때문에 CI는 사실상  $L_{Aeq}$ 와 등가 관계로 볼 수 있다. 따라서 음질 인덱스 제작에 CI값은 음질 요소로서 제외 시켰고,  $L_{Aeq}$ 에 대응하는 loudness를 사용했다.

### 3.6 Tonality

심리 음향 측면에서 회전체 소음의 정량적 평가 과정에는 W. Aures에 의해 제안된 Aures tonality 모델이 널리 활용되고 있다<sup>(17)</sup>. 그래서 다수의 회전체 기계 부품을 포함하고 있는 레이저 프린터의 인쇄 과정 중 발생하는 다수의 tonal 성분 소음과 음질 사이에 관계를 Aures tonality를 기초로 연계하고자 하였으나 원본 작동 소음의 경우 Fig. 5(g)와 Table 4에서 볼 수 있듯이 -26.28%의 낮은 상관도를 가지고 있다. 이러한 이유로 선행 연구에서 음질 인덱스 제작 과정 중 회전체 요소에 의한 tonal 요소의 음질에 대한 기여도를 고려하기에는 다소 문제가 존재하였다<sup>(18)</sup>. 일부 관련 연구에서는 sharpness와 roughness와 연계하여 회전체 소음의 영향을 loudness와 함께 프린터 작동 소음의 음질 특성을 정의하였으나<sup>(4-8)</sup> 엄밀히 tonal 요소의 영향들을 개별적으로 고려하는 tonalness의 영향이 음질 인덱스에 포함된 것은 아니다. 이 연구는 이러한 문제의식 아래 Aures tonality 적용 과정 중 세부적으로 어떠한 항목들이 상관도 저하에 기여하는지 분석을 하고 이미 모델의 유용성이 검증되어 널리 활용되고 있는 Aures tonality 모델의 알고리즘을 기초로 일부 주요 변수들의 수정 및 최적화를 통해 프린터 음질 분석에 특화된 tonality 모델의 도출이 가능하다고 판단하여 다음과 같은 개선된 tonality 평가용 음질 모델을 제안하였다. 우선, W. Aures에 의해 제안된 Aures tonality 모델은 다음 관계식과 같이 tonal 요소의 loudness 비율을 의미하는 가중치 함수,  $w_{Gr}$ 과 tonal 요소들의 성가심 유발에 대한 기여도 함수,  $w_T$ 로 구성되어 있다.

$$T = c \cdot w_T^{0.29} \cdot w_{Gr}^{0.79} \quad (2)$$

여기에서  $c$ 는 보정 상수이며 60 dB의 1000 Hz 순음 성분의 소음이 1의 값을 가지도록 조정된다. 그리고 식 (2)에서  $N$ 개의 tonal 요소에 대한 가중치 함수  $w_T$ 는 다음 관계식과 같다.

$$w_T = \left[ \sum_{i=1}^N (w_1(\Delta z_i) \cdot w_2(f_i) \cdot w_3(\Delta L_i))^2 \right]^{0.5} \quad (3)$$

여기에서  $w_1$ 은 개별 tonal 요소의 너비,  $w_2$ 는 중심 주파수,  $w_3$ 는 tonal 요소의 크기 값과 연관되어 가중치 함수 별로 세부적인 관계식은 다음과 같다.

$$w_1(\Delta z_i) = \left( \frac{0.13}{\Delta z_i + 0.13} \right)^{1/0.29} \quad (4)$$

$$w_2(f_i) = \left( \frac{1}{1 + 0.2(f_i / 700 \text{ Hz} + 700 \text{ Hz} / f_i)^2} \right)^{0.5} \quad (5)$$

$$w_3(\Delta L_i) = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta L_i}{15 \text{ dB}}\right) \quad (6)$$

여기에서  $\Delta z$ 는 Bark 단위의 tonal 요소의 너비를 의미하며,  $f$ 는 Hz단위의 중심 주파수이며,  $\Delta L$ 은 dB 단위의 tonal 요소의 보정 크기 값이다. 그리고 식 (6)에서 주파수  $f_i$ 에서  $i$ 번째 tonal 요소의 effective level  $\Delta L$ 은 다음 관계식을 통해 도출된다.

$$\Delta L_i = L_i - A_{E_i}(f_i) - E_{Gr}(f_i) - E_{HS}(f_i) \text{ dB} \quad (7)$$

$A_{E_k}(f_i)$ 는  $i$ 번째 tonal 요소에 인접한 tonal 요소들의 영향이며,  $E_{Gr}(f_i)$ 는  $i$ 번째 tonal 요소를 포함한 critical band에서의 소음 intensity이다. 그리고  $E_{HS}(f_i)$ 는 청각 인지 하한선을 의미하여 ISO 389-7에서 명시된 lower threshold level(LTH)이 고려되었다<sup>(19,20)</sup>. 그리고 식 (2)에서 가중치  $w_{Gr}$ 의 세부 관계식은 다음과 같다.

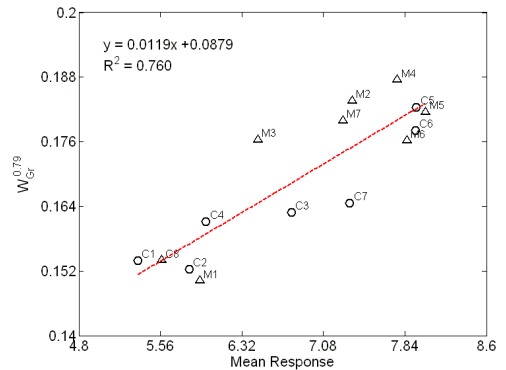
$$w_{Gr} = 1 - \frac{N_{Gr}}{N} \text{ Eq.} \quad (8)$$

여기에서  $N_{Gr}$ 은 tonal 요소를 제외한 나머지 loudness를 의미하고,  $N$ 은 작동 소음의 전체 loudness를 의미

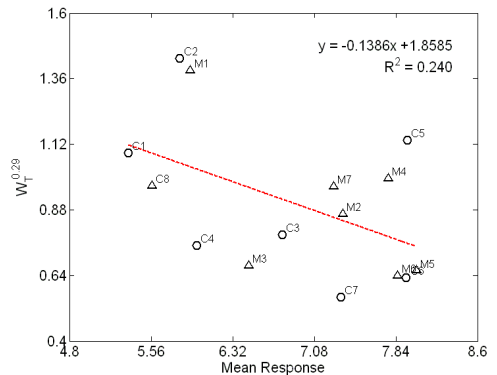
한다. 그래서  $w_{Gr}$ 은 작동 소음 중에 tonal 요소의 loudness 비율을 나타낸다. 이러한 Aures tonality 모델의 기본 알고리즘에 기초하여 낮은 상관도 문제를 개선하기 위해 기존 Aures tonality 모델의 알고리즘은 식 (2)에서 일부 관계식 수정을 통해 식 (9)와 같은 형태로 제안되었다.

$$T = C \times \left( \sum_{i=1}^N w_1(f_i, LTH) \times w_2(f_i, p_1, p_2) \right)^{p_3} \quad (9)$$

우선, tonal 요소의 loudness비율을 의미하는  $w_{Gr}$ 은 경향성 문제로 배제되었다. Table 5와 Fig. 6(a)에서 볼 수 있듯이 87.11%의 높은 상관도와 좋은 응집성을 보여주지만 높은 값의  $w_{Gr}$ 은 해당 프린터 작동 소음 중 tonal 요소 소음의 비중이 크다는 것을 의미하며 청음 평가 결과와 positive한 상관도를



(a)



(b)

**Fig. 6** Correlation coefficients between Aures tonality and mean response of participants (a) loudness ratio, (b) tonal noise components



가지는 것 보다 negative한 상관도를 가지는 것이 정상적인 경향성으로 볼 수 있다. 즉, tonal 요소의 비중이 크다는 것은 성가심 유발의 가능성이 크다는 것을 의미하기 때문에  $w_{Gr}$ 의 경향성은 다소 문제가 있다고 볼 수 있다. 이러한 결과의 원인은 상이한 loudness를 가진 평가 소음 군집 내에서 절대 값 기준으로 회전체 소음의 음향 에너지가 모델 사이에 유사한 경우 낮은 loudness를 가진 모델들에 대해 tonal 요소의 상대적인 loudness 비율은 증가하는 positive 방향의 경향성을 가지게 된다. 이러한 결과를 토대로 tonal 요소의 음향 에너지의 상대적인 비율에 근거한  $w_{Gr}$ 은 프린터 음질 연구에서 tonal 요소의 성가심 유발에 대한 기여도를 정량적으로 표현하는데 다소 부적합하다고 볼 수 있다. 그리고 Fig. 6(b)는  $w_{Gr}$ 제외한 tonal 요소의 성가심 유발에 대한 기여도 함수  $w_T$ 의 청음 평가 결과와의 관계를 보여준다.

Table 5에서 볼 수 있듯이 negative 방향의 -48.99% 상관도를 가진다. 이와 같이 Aures tonality 내에서  $w_{Gr}$ 과  $w_T$ 의 청음 평가와의 상관관계를 나누어 살펴봄으로써 tonal 요소의 성가심 유발에 대한 기여도 함수만이 프린터 음질과 연관성이 존재한다고 결론을 내었다.

식 (3)에서 tonal 요소의 너비, 중심 주파수, 크기 특성이 고려되는데 식 (4)의 tonal 요소의 너비 특성은 제한된 관심 주파수 영역에서 최종 결과값인 식 (2)에서 tonality에 영향이 크지 않은 관계로 배제하였고 중심 주파수 특성은 다음 관계식과 같이 tonality impression function 측면에서 고려되었다.

$$w_2 = \left( \frac{1}{1 + 0.2((f_i / 700\text{Hz})^{p_1} + (700\text{Hz} / f_i)^{p_2})} \right)^{0.5} \quad (10)$$

기존 알고리즘에서 식 (5)와 동일하게 700 Hz를 기준으로 하는 주파수 가중치 함수이지만 민감도 제어 변수  $p_1, p_2$ 가 추가되어 상관도 개선을 위해

**Table 5** Correlation coefficients between Aures tonality and mean response of participants for 15 original operating sounds

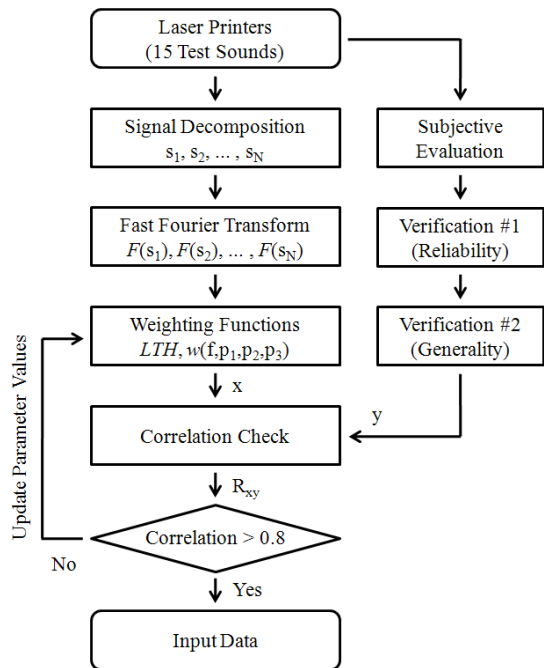
Original group	Modified group	$w_{Gr}^{0.79}$	$w_T^{0.29}$
-0.2120	-0.2628	+0.8711	-0.4899

조정되었다. 그리고 마지막으로 tonal 요소의 보정 크기 값은 다음 관계식과 같이 식 (7)에 비교하여 단순화된 형태로 수정되었다.

$$\Delta L(f_i, LTH) = L(f_i) - LTH(f_i) \quad (11)$$

기존 알고리즘에서 tonal 요소의 보정 크기 값은 평가 소음 내에서 인접한 tonal 요소의 영향, 임계대역의 intensity, ISO 389-7에 근거한 가청 하한선 등에 의해 개별적으로 결정되었으나 이 연구에서는 개별적으로 masking 효과를 고려하기보다 평가 군집 내에 공통적인 tonal 요소의 영향 하한선을 적용하고자 한다. 그래서 ISO 226의 40 Phon에 해당하는 등라우드니스 곡선<sup>(21)</sup>을 고려하여 보정된 tonal 요소의 크기 값은 주파수 가중치 함수와의 곱에 식 (9)와 같이 가중치 제어 변수  $p_3$ 를 고려하여 tonality를 계산하였다.

이와 같이 개선된 tonality 모델은 Fig. 7에서 볼 수 있는 과정을 거쳐 관계식에 포함되어 있는 제어 변수  $p_1, p_2, p_3$ 를 최적화하고 청음 평가와의 상관도를 개선하였다. 우선, 식 (9)와 식 (10)에서  $p_1, p_2, p_3$ 는 높은 상관도를 도출하기 위한 parameter



**Fig. 7** A flowchart of proposed sound metric for the tonality evaluation of operating sound

study를 통해 Table 5에서 볼 수 있는 최적 제어 변수 값을 도출하였다.

결과를 살펴보면 p1은 기존 값과 동일하지만 p2는 1에서 7로 증가되었고 Fig. 8은 700 Hz 주파수 영역에 대한 민감도가 증가된 형태의 주파수 가중치 함수를 보여준다. 그리고 tonal 요소의 보정 크기와 주파수 가중치의 곱에 대한 가중치 함수 p3는

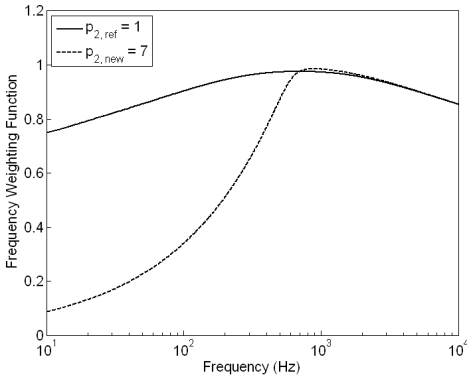


Fig. 8 The optimized frequency weighting function in the proposed sound metric model

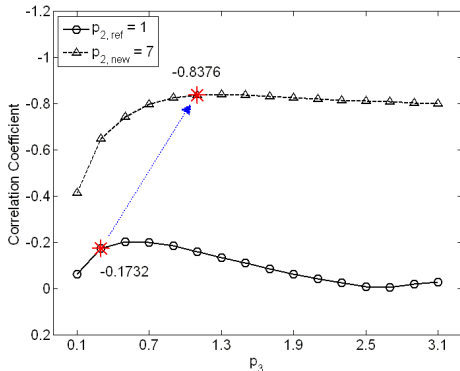


Fig. 9 Variance of correlation coefficient according to the changes of parameter values in the proposed sound metric model

Table 6 Optimized parameter values for the maximization of correlation coefficient with the mean response of participants for 15 original operating sounds

Parameter type	p1	p2	p3	Correlation
Original	1	1	0.29	-0.1732
Optimized	1	7	1.10	-0.8376

0.29에서 1.10으로 증가되었다.

Fig. 9는 군집 별로 주파수 가중치 함수의 700 Hz 주파수 이하 영역에 관련된 p2제어 변수의 변화 전후에 p3에 대한 상관도 변화 특성과 선택된 최적 값에 해당하는 상관도를 보여주며 Table 6에서 볼 수 있듯이 -17.32%에서 -83.76%로 상관도가 개선되었다.

기존 Aures tonality 모델의 알고리즘 개선을 통해 도출된 개선된 tonality 모델은 프린터 음질 연구에 특화된 회전체 소음 평가용 음질 모델이라고 볼 수 있다. Fig. 5(h)는 청음평가와 tonality 사이에 개선된 상관도를 보여준다.

#### 4. 음질 인덱스(sound quality index)

프린터 작동 소음에 대한 평가자들의 주관 평가 특성과 음질 요소 사이에 관계를 정의하기 위해 다중선형회귀분석법, MLR(multiple linear regression)과 인공신경회로망, ANN(artificial neural network)이 사용될 수 있다. 이와 관련하여 연구(21)는 다중선형회귀분석법을 사용하여 노면 충격 소음에 대한 음질 인덱스를 개발하였고 연구(10)은 인공신경회로망을 사용하여 액슬 와인 소음의 음질 인덱스를 개발하였다. 개발된 음질 인덱스는 두 연구 모두 공통적으로 개선 연구에 정량 평가의 기준으로 활용되었다. 연장선상에서 동일한 기법의 활용을 통해 선행 연구(17)에서 총 55개 작동 소음에 대해 인공신경회로망, ANN을 적용하여 음질 인덱스를 개발하였으나 이 연구에서는 합성 소음을 제외한 15개 작동 소음을 주요 관심 대상으로 고려한 까닭에 인공신경회로망, ANN의 학습 과정에 충분한 표본 수가 충족되지 않은 관계로 다중선형회귀, MLR을 통해 선형 음질 인덱스를 개발하였다. 우선, 다중선형회귀분석법은 다음과 같은 관계식을 통해 수식적으로 표현될 수 있다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i + \varepsilon \quad (12)$$

Y = output vector  
 x = input vector  
 $\beta$  = weighting coefficient  
 $\varepsilon$  = error

여기에서  $Y_i$ 는 차수  $i$ 의 다중선형회귀모델을 의미하

며 가중치  $\beta$ 의 계산을 위한 역행렬 과정 중에 모델 차수  $i$ 는 singular value의 크기와 밀접하게 관련되어 있다. 이 연구에서 총 8가지 음질 요소 모델이 고려되었으며 모델 차수를 이 범위 내에서 고려하는 경우 Fig. 10에서 볼 수 있듯이 모델 차수의 증가에 따라 singular value는 2차 이후에 급격히 감소한다. 즉, 최소 3차 이상의 모델 차수를 선택하는 경우 0에 근접하여 singular value를 줄이는 것이 가능하며 최종 도출된 다중선형회귀모델의 정확성과 신뢰성 개선 측면에서 에러  $\varepsilon$ 를 최소화하기

위해 충분한 모델 차수를 선정 할 필요가 있다. 따라서 Table 4에서 loudness, articulation index, roughness, fluctuation strength, tonality를 평가자 군집의 평균 주관 평가 특성과 충분히 높은 상관도를 가지는 음질 요소 모델로 선택되었다.

이 결과를 기준으로 다음 관계식과 같이 차수 5의 다중선형회귀모델로 정의되었다.

$$Y_5 = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_4 + \beta_5x_5 + \varepsilon \quad (13)$$

그리고 역행렬 과정을 통해 가중치  $\beta$ 는 Table 7와 같이 도출 되었으며 Fig. 11은 모델링 과정에서 사용된 출력 벡터  $Y$ (actual mean response)와 다중선형회귀모델을 토대로 예측된 출력 벡터  $Y$ (model prediction) 사이에 상관관계를 보여주며 약 97.94%의 상관도를 가진다. 이와 같이 높은 상관도는 완성된 음질 인덱스 모델의 에러  $\varepsilon$ 가 충분히 작다는 것을 의미한다.

결과적으로 다중선형회귀분석법을 통해 도출된 음질 인덱스는 작동 소음의 전반적인 크기 특성을 의미하며 심리 음향 측면에서 감성 만족도 또는 성가심 유발의 첫 번째 중요 인자로 고려되는 loudness, 음성 이해도를 의미하는 articulation index, 회전체 소음에 연관하여 문화적 배경에 근거한 선호도 특성과 연관된 roughness, 용지 급지 및 출력 과정 중에 발생하는 충격 소음에 연관된 fluctuation strength, 그리고 모터 및 기어 등의 회전체 기계 요소들에 의해 발생된 tonalness에 연관된 tonality에 관한 정보를 평가자 군집의 주관 평가 특성과 연계하여 포함하고 있다.

### 5. 음질 개선에 응용

청음 평가와 음질 요소의 상관관계 분석 결과를 토대로 제작된 음질 인덱스는 이 연구의 주요 관심 대상인 제조사 B의 4번 프린터 모델의 컬러 인쇄 소음의 음질 개선 연구에 활용되었다.

Table 8에서 볼 수 있는 네 가지 개선 항목들이 조합되어 총 5가지 경우의 컬러 인쇄 소음이 심리 음향 측면에서 평가 되었으며 Fig. 12는 프린터 모델 내에서 개선 항목별 적용 위치를 보여준다. 개선 연구를 위한 작동 소음은 2장과 동일하게 이 연구실의

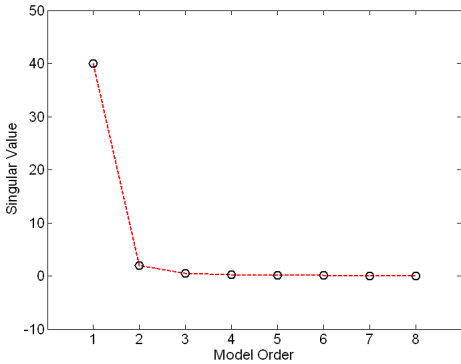


Fig. 10 Variance of singular value according to the model order in the multiple linear regression method

Table 7 Coefficients of the multiple linear regression for the sound quality index of a laser printer

$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	R
4	-0.40	5.64	1.09	1.26	-1.83	0.97

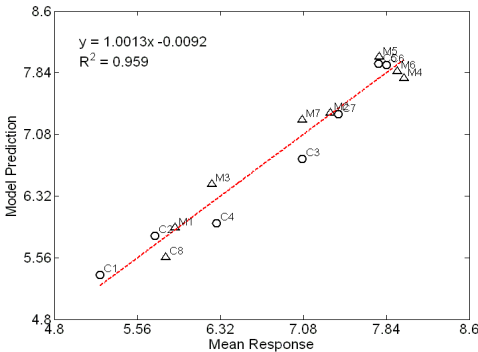
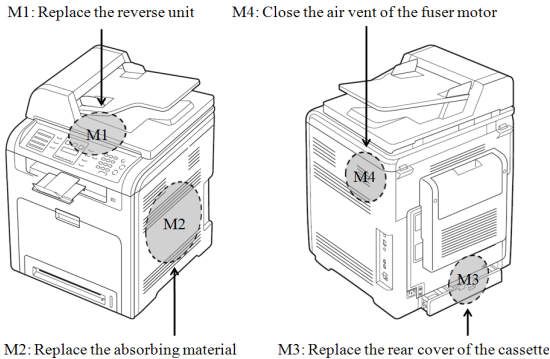


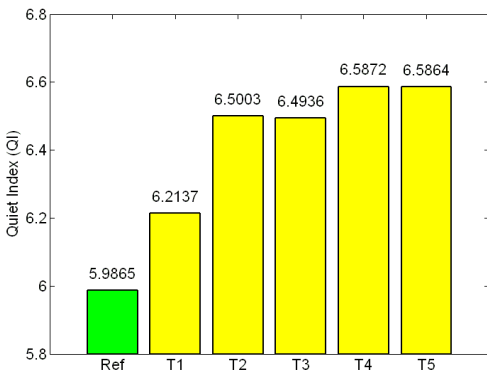
Fig. 11 Comparison between the actual mean response and the predicted response for model verification

**Table 8** Modification conditions for the improvement study of a reference laser printer model (No. 4)

No.	Modification conditions
M1	Replace the reverse unit
M2	Replace the absorbing material
M3	Replace the rear cover of the cassette
M4	Close the air vent of the fuser motor



**Fig. 12** Modification conditions for the improvement study of a reference laser printer model



**Fig. 13** Predicted subjective responses through the sound quality index for a laser printer

무향실 내에서 ISO 11201(1995)에 따라 bystander 위치에서 HEAD acoustics사의 artificial head를 사용하여 총 3회에 걸쳐 녹음 되었으며 좌우 측정값을 모두 포함하여 평균값을 해당 음질 요소의 대표값으로 사용하였다<sup>9)</sup>.

Table 9와 Fig. 13은 개선 항목별 5가지 개선 연구에 대한 음질 요소값들의 변화와 4장에서 제작된

음질 인덱스 모델을 사용하여 예측된 QI값을 보여 준다. 개선 항목별로 음질 변화 특성을 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫 번째 개선 연구는 reverse unit 교환에 관한 것이며 음질 인덱스 개발에 사용된 5가지 음질 요소 중에 용지 급지 및 배출 과정에서 발생하는 충격 소음과 밀접한 fluctuation strength를 줄이는데 다소 도움이 되었고 평가 기준 모델의 QI값인 5.9865에서 6.2137로 개선되었다. 두 번째 개선 연구는 Fig. 12에서 볼 수 있듯이 주요 기능 모터들이 밀집되어 있는 우측면 내부의 흡음재를 교체하는 것이다. Roughness와 articulation index를 제외하고 첫 번째 개선 연구에 비교하여 loudness, fluctuation strength, tonality 측면에서 음질 개선 효과가 크다. 특히, tonality는 평가 기준 프린터 모델에 비교하여 절반 이하 수준으로 현저히 감소하였고 이러한 결과를 토대로 주요 소음원 중에 하나인 모터들이 밀집해 있는 우측면이 음질 개선 및 성가심 유발에 대한 기여도가 크다는 것을 알 수 있고 주요 전달 경로 상에 소음원에 인접하여 흡음재를 개선함으로써 Table 9에서 볼 수 있듯이 평가 기준 모델의 QI값 5.98에서 6.50으로 개선이 되었다. 세 번째 개선 연구는 두 번째 개선 항목이 적용된 상태에서 추가 적용되었다. Fig. 12에서 볼 수 있듯이 용지 카트리지의 후방 덮개를 교체하였다. Loudness와 articulation index는 거의 변화가 없으나 fluctuation strength와 tonality는 증가하고 roughness는 감소하였다. QI값은 오히려 6.49로 저하되었다. 네 번째 개선 연구는 두 번째 개선 항목이 적용된 상태에서 추가 적용되었다. Fig. 12에서 볼 수 있듯이 퓨저 모터의 열 관리를 위해 설치된 통풍구를 제거하였다. Fluctuation strength와 tonality는 오히려 증가하였으나 성가심 유발의 주요 인자인 loudness와 나머지 articulation index와 roughness의 감소로 인해 두 번째 개선 항목의 QI값 6.50에서 6.58로 개선되었다. 다섯 번째 개선 항목은 Table 8에서 볼 수 있는 첫 번째 개선 항목을 제외한 나머지 세 가지 개선 항목이 조합된 경우이다. 평가 기준 모델에 비교하여 roughness를 제외하면 나머지 네 가지 음질 요소 값 모두 개선되었으며 QI값은 6.50에서 6.58로 개선되었다.

다섯 가지 경우의 개선 연구의 결과를 전반적으

**Table 9** Comparison of predicted subjective responses through the quiet index in the improvement study

Sound metrics	Loudness	Articulation index	Roughness	Fluctuation strength	AVSP tonality	Quiet index
Reference(No.4)	8.4475	0.9686	0.0610	0.2235	0.0482	5.9865
Test 1(M1)	8.2965	0.9481	0.0606	0.1985	0.0409	6.2137
Test 2(M2)	7.8007	0.9595	0.0653	0.1810	0.0205	6.5003
Test 3(M2+M3)	7.7793	0.9591	0.0528	0.1910	0.0271	6.4936
Test 4(M2+M4)	7.5951	0.9613	0.0537	0.1995	0.0300	6.5872
Test 5(M2+M3+M4)	7.6232	0.9610	0.0610	0.1935	0.0237	6.5864

로 분석하면 개선 항목에 따라 음질 요소값이 오히려 부정적인 방향으로 변화하는 경우가 존재하는데 이는 소음원의 전달 경로가 영향을 받음에 따라 나타난 결과로 판단하며 네 가지 개선 항목 중 reverse unit 교환과 측면 흡음재 교환이 음질 개선에 효과적임을 실험적으로 확인 할 수 있었다. 특히, 네 번째 개선 연구와 같이 fuser 모터의 열관리를 위해 설치된 통풍구를 제거하는 경우 가장 높은 QI값은 6.58를 가진다. 물론, 통풍구 설치의 주요 목적은 프린터 작동 중 발생한 열 관리를 위한 것이기 때문에 음질 개선을 이유로 함부로 제거 할 수 있는 부분은 아니다. 따라서, 다른 측면에서 발생 가능한 문제점들을 유기적으로 고려하여 통풍구의 크기를 줄이거나 열 문제를 원천적으로 내부에서 해결한다면 음질 개선에 유용한 결과를 도출 할 수 있을 것이라고 판단한다.

물론, 상기 예측 결과의 타당성은 앞서 소개된 연구 과정을 통해 도출된 Fig. 11의 다중선형회귀모델의 일반성과 신뢰성에 기초하며 추가적인 주관 감성 평가 과정을 통해 실험적으로 검증될 필요가 있습니다. 하지만, 연구 일정과 여건상의 어려움으로 인해 Table 8과 Fig. 12에 제시된 개선안들에 대한 예상 음질 인덱스들이 불가피하게 실험적으로 검증되지 못했습니다. 그래서 다중선형회귀모델에서 표본 데이터로 사용되는 주관 감성 평가 결과와 음질 요소 모델 사이에 상호 관계성이 적정 수준의 일반성(generality)과 신뢰성(reliability)을 만족 할 때 음질 인덱스 또한 충분한 유용성과 신뢰성을 가지고 있는 것으로 가정하였고 이 논문의 2장과 3장에서 소개된 세부 개선안을 근거로 상기 결과는 충분한 신뢰성을 가지고 있다

고 판단하였습니다.

## 6. 결 론

이 연구는 레이저 프린터 작동 소음의 음질 분석을 통해 작동 소음과 평가자 군집의 평균 주관 특성 사이에 관계를 다중선형회귀분석법을 통해 음질 인덱스를 개발하고 개선 연구에서 정량적 평가 지표로 활용하였다. 음질 연구에 4개 제조사의 8개 모델이 사용되었고 흑백과 컬러 출력이 별도로 고려되었다. 특히, 청음 평가 과정 중에 평가자 개별의 특이 성향과 신뢰성 검증을 위해 선행 연구를 통해 제안된 판단 오류 모델의 적용 결과를 고려하였고 신뢰성 측면의 문제를 가진 평가자들을 음질 연구에 제외하고 데이터 손실을 최소화 하였다. 음질 요소 분석 과정 중에 loudness, sharpness, roughness, tonality 등의 다양한 모델들이 고려되었으나 회전체 소음 특성을 표현하는데 널리 활용되는 tonality 모델의 낮은 상관도 문제를 보완하기 위해 개선된 tonality 모델을 내부 변수의 최적 조정을 통해 충분한 상관도를 가진 모델을 도출하였다. 그리고 기준 프린터 모델의 개선 연구에 정량적 평가 지표로 활용을 하였고 관련 연구의 결과와 연계하여 문화권 차이에 따른 감성 평가 경향성의 차이를 분석하였다. 이러한 과정을 통해 도출된 음질 인덱스 모델은 개선 연구에 활용되었으며 정량적 평가 지표로서 개선 항목에 따른 개선 효과를 음질 측면에서 비교 분석을 수행하였다. 이 연구의 통해 도출된 음질 인덱스는 제품 개선을 위한 연구 과정 중에 음질 개선을 위한 정량적 판단 기준으로 이 연구에서 제안된 음질 인덱스는 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 특히 문화적

배경 차이와 청음 평가 사이에 상관성은 인접한 문화권인 일본 사람의 특성과 유사하게 sharpness 보다는 roughness에 민감한 것으로 나타났으며 음질 개선 전략 수립 과정에서 이러한 문화적 배경 차이를 고려하여 접근할 필요가 있음을 알 수 있다. 회 전체 소음 모델의 정량적 표현 모델 과정에 상관성에 대해 보다 상세하게 고려할 필요가 있다.

## 후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. MEST(No. 2010-0014260)

## 참 고 문 헌

(1) Takanashi, A., 2008, Study of Problems with Noise and Sound Quality Evaluations of Copying Machines, Printers, and MFD, SQS 2008.

(2) Hellweg, R. D., 1998, Acceptability of Noises from Office Machines, Proceeding of Sound Quality Symposium, Ypsilanti, Michigan, pp. 113~118.

(3) Fastl, H., Patsouras, C. H., Kuwano, S. and Namba, S., 2001, Loudness, Noisiness and Annoyance of Printer Sounds, In: Wiss. Hrsg.: Otto v. Estorff, Editor, Tagungsband Fortschritte der Akustik - DAGA 2001, Hamburg, pp. 388~389.

(4) Baird, T., Bray, W. and Otto, N., 2005, Impulsive Noise of Printers : Measurement and Characterization, Inter-noise 2005.

(5) Kuwano, S., Namba, S., Takehira, O. and Fastl, H., 2009, Subjective Impression of Copy Machine Noises: an Examination of Physical Metrics for the Evaluation of Sound Quality, Proceedings of Inter-noise 2009.

(6) Takehira, O., Kuwano, S., Namba, S. and Fastl, H., 2009, Subjective Impression of Copy Machine Noises: an Improvement of Their Sound Quality based on the Physical Metrics, Proceedings of Inter-noise 2009.

(7) Furukawa, T., Takehira, O., Nagamiya, M., Kuwano, S., Namba, S. and Fastl, H., 2008,

Comparison of Subjective Impression of Copy Machine Noise between Japanese, American and German participants, Proceedings of Acoustics 08 Paris.

(8) Wong, C., 1999, Qualitative Evaluation of High Speed Printers based on Jury Test, Proceedings of Inter-noise 1999.

(9) ISO 11201:1995, Acoustics - Noise Emitted by Machinery and Equipment - Measurement of Emission Sound Pressure Levels at a Work Station and at Other Specified Positions - Engineering Method in an Essentially Free Field Over a Reflecting Plane.

(10) Lee, H. H., Kim, S. J. and Lee, S. K., 2009, Design of New Sound Metric and Its Application for Quantification of an Axle Gear Whine Sound by Utilizing Artificial Neural Network, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 23, No. 4, pp. 1182~1193.

(11) Otto, N., Amman, S., Eaton, C. and Lake, S., 2001, Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds, Sound and Vibration, Vol. 35, pp. 24~47.

(12) Lee, K. H., 2006, Perception of Tones in Machinery Noise and Its Influence on Annoyance, Purdue University, Ph.D Thesis.

(13) Kim, E. Y., Lee, Y. J. and Lee, S. K., 2011, Design of Decision Error Model for Reliability of Jury Evaluation and Its Experimental Verification, Submitted Journal of Sound Vibration.

(14) ISO 532B, 1975, Acoustics - Method for Calculating Loudness Level.

(15) Zimmer, K., Ellermeier, W. and Schmid, C., 2004, Using Probabilistic Choice Models to Investigate Auditory Unpleasantness, Acta acustica - Acustica, Vol. 90, No. 6, pp. 1019~1028.

(16) Aures, W., 1985, The Sensory Euphony as a Function of Auditory Sensations, Acoustica, Vol. 58, pp. 282~290.

(17) Park, S. W., Lee, H. H., Na, E. W., Lee, S. K., Park, Y. J. and Kim, J. W., 2010, Development of Sound Quality Evaluation System for a Printer Noise Based on Human Sensibility, Transactions of

the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No.5, pp. 427~436.

(18) ISO 389-7, 2005, Acoustics - Reference zero for the Calibration of Audiometric Equipment - Part 7: Reference Threshold of Hearing under Free-field and Diffuse-field Listening Conditions.

(19) Kenji, K., Taju, M., Kazuma, M. and Kaoru, A., 2005, Statistical Distribution of Normal Hearing Thresholds under Free-field Listening Conditions, Acoustical Science and Technology, Vol. 26, No. 5,

pp. 440~446.

(20) ISO 226:2003, Acoustics - Normal Equal-loudness-level Contours.

(21) Kim, H. W., Lee, S. K. and Na, E. W., 2010, Sound Quality Evaluation of the Impact Noise Induced by Road Courses Having an Impact Bar and Speed Bumps in a Passenger Car, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol. 224, No. 6, pp. 735~747.