

프린터 음질평가를 위한 순음도 설계

Tonality Design for Sound Quality Evaluation in Printer

김 의 열* · 이 영 준* · 이 상 권†
Eui-Youl Kim, Young-Jun Lee and Sang-Kwon Lee

(2011년 12월 19일 접수 ; 2012년 2월 2일 심사완료)

Key Words : Sound Quality Analysis(음질분석), Jury Evaluation(청음평가), Reliability(신뢰도), Decision Error(결정오차), Shannon Entropy(새논엔트로피)

ABSTRACT

The operating sound radiated from a laser printer includes tonal noise components caused by the rotating mechanical parts such as gear, shaft, motor, fan, etc. The negative effects of the tonal noise components need to be considered in the process of developing a sound quality index for the quantitative evaluation of the emotional satisfaction in terms of psycho-acoustics. However, in a previous paper, it was confirmed that the Aures tonality did not have enough correlation with the results of jury evaluation. The sound quality index based on loudness, articulation index, fluctuation strength has a little problem in considering the effects of rotating mechanical parts on the sound quality. In this paper, to solve the tonality evaluation problem, the calculation algorithm of Aures tonality was investigated in detail to find the cause of decreasing the correlation. The new tonality evaluation model was proposed by modifying and optimizing the masking effect, loudness ratio, and shape of weighting curve based on the basic algorithm of Aures tonality, and applied to two kinds of operating sound groups in order to verify the usefulness of proposed model. As a result, it is confirmed that the proposed tonality evaluation model has enough correlation and usefulness for expressing the tonalness in the operating sounds of laser printers. In the following paper, this results will be used to model the sound quality index as the input data by using the classification algorithm.

1. 서 론

최근 laser printer는 소형화 및 저렴한 가격을 토대로 사무실과 가정에서 개인용 책상에 올려놓고 사용할 정도로 활용의 용이성 및 접근성이 개선되었으나 소음 진동 측면에서 사용자와 소음원 사이에 거리는 가까워지고 노출 시간은 증가되었다. 그래서 작동 소음에 대한 음질 만족도는 자연스럽게

제품 구입 과정에서 고객들의 다양한 선택 기준 중의 하나가 되었고 결과적으로 제품 판매량에 영향을 주는 주요 요인으로 고려되면서 심리 음향 측면에서 문제 소음 개선을 위한 연구의 필요성이 대두되었다⁽¹⁾. 이와 관련된 초기 음질 연구에서 R. D. Hellweg(1998)과 H. Fastl et al.(2001)은 다른 음질 인자들 보다 dBA 또는 라우드니스가 평가자 군집의 평균 주관 평가 특성과 높은 상관 관계를 가진다는 것을 밝혔으며 이를 토대로 음질의 좋고 나쁨을 표현하는 과정에서 유용한 정량적 평가 지표로 사용하였다^(2,3). 이와 같이 일반적으로 사람의 청각계는 dBA 또는 라우드니스 등의 음질 인자로 표현

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

* 정회원, 인하대학교 대학원 기계공학과

될 수 있는 인지된 소리의 전반적인 크기 특성 변화에 주로 영향을 받지만 관심 연구 대상에서 발생된 작동 소음의 다양한 소리 특성과 비음향 요인(non-acoustic factor)의 복합적 영향 관계에 기초하여 심리 음향 측면에서의 불쾌함과 성가심의 정도가 결정된다^(4,5). 이후에는 프린터 작동 소음과 밀접한 laser printer의 작동 소음 중에 기어, 축, 모터 등의 회전체 부품에 의해 발생된 토널 소음과 용지 급지 및 배출 과정에서의 발생된 충격성 소음이 음질 연구 과정에 고려되었다. 우선, 충격성 소음의 경우 용지 급지 및 배출 과정에서 발생하는 소음의 경우에는 fluctuation strength 또는 impulsiveness 등의 음질 요소와의 높은 상관관계를 기반으로 음질 인덱스 개발 과정 중에 고려될 수 있음이 확인되었다⁽⁶⁾. 그러나, 회전체 소음의 경우에는 심리 음향 평가에 널리 활용되는 Aures tonality 모델은 낮은 상관도 문제로 인해 프린터 작동 소음 중 순음도(tonality)와 높은 상관관계를 갖는 음질 인덱스 모델의 필요성이 대두 되었다⁽⁷⁾. 따라서 회전체 소음 특성과 밀접한 순음도와 연관된 음질 인자 모델이 인덱스 개발에 고려되지 못한다면 이는 해당 음질 인덱스가 회전체 소음의 영향을 적절히 평가할 수 없다는 것을 의미한다. 이 연구는 음질 인덱스 개발 과정에서 다양한 음질 인자 특성을 적절히 고려하기 위해 개별 순음 요소의 성가심 유발에 대한 기여도를 나타내는 기존 Aures tonality 모델의 적용 과정 중 상관도 저하의 원인을 세부적인 분석을 통해 살펴보고 이를 개선하기 위한 순음도 모델을 제안하고 음질 연구 과정 중에 유용성을 검증하고자 하였다.

2. 실험 및 청음평가

이 연구에서는 회전체 소음 평가용 음질 모델의 유용성 검증 과정에서 전체 작동 소음 사이에 관계를 고려하기 위해 라우드니스 크기를 기준으로 일부 작동 소음을 두 가지 평가 소음 군집으로 분류한 후에 각 군집 별로 음질과의 관계성을 살펴보고자 한다. 첫 번째 군집은 상이한 라우드니스 크기 값을 가진 15개 원본 작동 소음이며 두 번째 군집은 프린터 주요 모터의 토널 요소의 크기가 6 dB 간격으로 조정된 거의 동일한 라우드니스 값을 가진

9개 합성 소음과 기준 작동 소음 2개로 구성되어 있다.

2.1 레이저프린터 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 HMS III Artificial Head를 사용하여 측정하였다⁽⁸⁾. 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 제조사 B의 4번 프린터 모델이 이 연구의 주요 관심 대상으로 고려되었다. 측정된 15개의 측정음을 이용하여 첫 번째 평가 소음 군집 집단을 제작하였다.

2.2 합성음 제작

프린터 작동 소음에 대한 평가자들의 주관 반응 특성을 MLR(multiple linear regression) 또는 ANN(artificial neural network)를 사용하여 모델링 하는 과정에서 SDM(semantic differential method) 평가 범위 내에 부합하는 다양한 경우에 대한 작동 소음

Table 1 Print mode and maximum speed of the 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 |

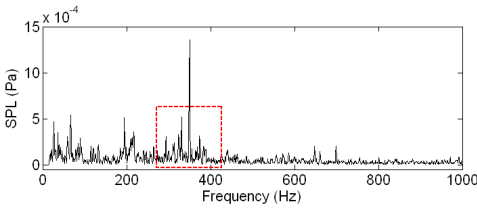


Fig. 1 Spectrum analyses for operating sound radiated from the laser printers No. 4. The dot line box designates major tonal components by motors

들을 적절히 고려하는 것은 개발된 음질 인덱스 모델의 오류를 줄이고 정확성을 개선하여야 한다. 하지만, 현실적으로 음질 연구에 필요한 모든 작동 소음들을 실험을 통해 직접 측정하는 것은 쉽지 않은 일이다. 그래서 앞서 선행되었던 유사 연구들과(9,10) 같이 음질 연구에 필요한 프린터 작동 소음들을 주요 관심 대상 모델인 제조사 B의 모델 4번의 컬러 출력 시 작동 소음을 기준으로 합성음을 제작하였다. Fig. 1은 모델 4번 컬러의 소음에 대한 스펙트럼 분석 결과이다. 주파수 스펙트럼의 350 Hz 전후 영역에 순음도 요소의 존재를 명확하게 확인할 수 있으며 칼만 필터를 활용하여 모터 3개의 주요 토널 요소의 크기를 -6 dB에서 3 dB 사이에서 3 dB 간격으로 조정하였고 총 9개의 합성 소음 신호가 제작되었다. 모델 4번의 기준음인 2개(칼라, 흑백 작동음)를 포함하여 두 번째 평가소음 군집 집단을 완성했다.

2.3 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(11). 그래서 hearing test를 통해 정상 청력을 가지고 있는 것으로 확인된 39명(남자: 33명, 여자 6명, 연령: 20~45세)의 평가자들만이 청음 평가에 참고할 수 있는 기회를 가졌고 총 26개(측정소음신호 15개, 합성소음신호 11개)의 소음 신호를 Head Acoustics사의 playback 장비와 headphone을 사용하여 비교 청취한 후에 주관 평가 방법으로 널리 활용되고 있는 레이팅(rating)방법을 기초로 Table 2에서 나타난 바와 같이 4점과 9점 사이에 점수를 선택하는 것에 의해

Table 2 Grade for subjective evaluation of tonal sound quality

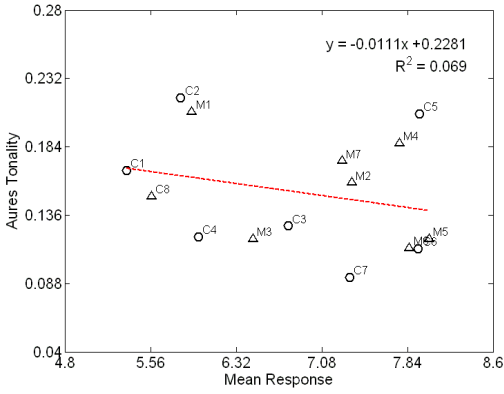
| Subjective ratings | Production guide of printer |
|--------------------|---------------------------------|
| 9 | Very excellent |
| 8.5 | Excellent |
| 8 | Good |
| 7.5 | Acceptable for mass production |
| 7 | Marginal |
| 6.5 | Not good |
| 6 | Bad |
| 5.5 | Unacceptable to mass production |
| 5 | Fail(impossible to develop) |
| 4.5 | |

소음을 평가하였다. 그리고 청음 평가를 수행하기 위해 앞서 평가자들을 대상으로 평가 방법과 소음에 대한 사전 교육과 함께 참조 기준 소음의 충분한 청취 기회를 제공하였다.

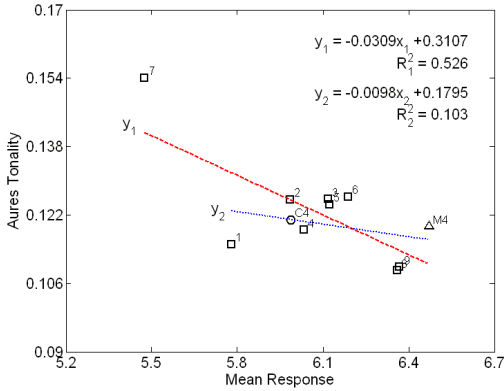
3. 순음도 모델 설계

심리 음향 측면에서 회전체 소음의 정량적 평가 과정에는 W. Aures에 의해 제안된 Aures tonality 모델이 널리 활용되고 있다(12,13). 그래서 다수의 회전체 기계 부품을 포함하고 있는 레이저 프린터의 인쇄 과정 중 발생하는 다수의 순음성분 소음과 음질 사이에 관계를 Aures tonality를 기초로 연계하고자 하였으나 원본 작동 소음의 경우 Fig. 2(a)와 Table 3에서 볼 수 있듯이 -26.28%의 낮은 상관도를 가지고 있다. 물론, 합성 소음의 경우 Fig. 2(b)와 Table 4와 같이 -72.55%의 비교적 양호한 상관도를 가지고 있으나 음질에 대해 상대적으로 가장 높은 기여도를 가진 합성 소음 7번에 의한 것이며 Fig. 2(b)에서 합성 소음 7번을 제외한 경우의 상관도는 Table 4에서 볼 수 있듯이 local 상관도 오류와 함께 -32.17%의 낮은 상관도를 가지며 사실상 경향성이 없다. 이러한 이유로 선행 연구에서 음질 인덱스 제작 과정 중 회전체 요소에 의한 순음 요소의 음질에 대한 기여도를 고려하기에는 문제가 존재하였다(7).

이 연구는 이러한 문제 인식 아래 Aures tonality 적용 과정 중 세부적으로 어떠한 항목들이 상관도 저하에 기여하는지를 분석하고 Aures tonality 모델의 알고리즘을 기초로 일부 주요 변수들의 수정 및 최적화를 통해 프린터 음질 분석에 특화된 개선된



(a)



(b)

Fig. 2 Correlation coefficients between Aures tonality and mean response of participants (a) original operating sounds (b) synthetic operating sounds

Table 3 Correlation coefficients between Aures tonality and mean response of participants for 15 original operating sounds

| Original operating sounds of the 1st group | $w_{Gr}^{0.79}$ | $w_T^{0.29}$ |
|--|-----------------|--------------|
| -0.2628 | 0.8711 | -0.4899 |

Table 4 Correlation coefficient between Aures tonality and mean response of participants for 2 reference operating sounds and 9 synthetic operating sounds

| Synthetic operating sounds of the 2st sound group | Synthetic operating sounds (except no. 7) |
|---|---|
| -0.7255 | -0.3217 |

tonality 평가용 음질 모델을 제안하였다. 우선, W. Aures에 의해 제안된 Aures tonality 모델은 다음 관계식과 같이 토널 요소의 라우드니스 비율을 의미하는 가중치 함수, w_{Gr} 과 토널 요소들의 성가심 유발에 대한 기여도 함수, w_T 로 구성되어 있다.

$$T = c \cdot w_T^{0.29} \cdot w_{Gr}^{0.79} \quad (1)$$

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

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

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

$$w_1(\Delta z_i) = \left(\frac{0.13}{\Delta z_i + 0.13} \right)^{1/0.29} \quad (3)$$

$$w_2(f_i) = \left(\frac{1}{1 + 0.2 \times (f_i / 700\text{Hz} + 700\text{Hz} / f_i)^2} \right)^{0.5} \quad (4)$$

$$w_3(\Delta L_i) = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta L_i}{15\text{dB}}\right) \quad (5)$$

여기에서 Δz 는 Bark 단위의 토널 요소의 너비를 의미하며, f 는 Hz 단위의 중심 주파수이며, ΔL 은 dB 단위의 토널 요소의 보정 크기 값이다. 그리고 식 (5)에서 주파수 f_i 에서 i 번째 순음 요소의 effective level ΔL 은 다음 관계식을 통해 도출된다.

$$\Delta L_i =$$

$$L_i - 10 \log_{10} \left[\left(\sum_{k \neq i}^n A_{E_k}(f_i) \right)^2 + E_{Gr}(f_i) + E_{HS}(f_i) \right] \text{dB} \quad (6)$$

$A_{E_k}(f_i)$ 는 i 번째 토널 요소에 인접한 토널 요소들의 영향이며, $E_{Gr}(f_i)$ 는 i 번째 토널 요소를 포함한 critical band에서의 소음 인텐시티이다. 그리고 $E_{HS}(f_i)$ 는 청각 인지 하한선을 의미하여 ISO 389-7

에서 명시된 lower threshold level(LTH)이 고려되었다^(14,15). 그리고 식(1)에서 가중치 w_{Gr} 의 세부 관계식은 다음과 같다.

$$w_{Gr} = 1 - \frac{N_{Gr}}{N} \quad (7)$$

여기에서 N_{Gr} 은 토널 요소를 제외한 나머지 라우드니스를 의미하고, N 은 작동 소음의 전체 라우드니스를 의미한다. 그래서 w_{Gr} 은 작동 소음 중에 순음 요소의 라우드니스 비율을 나타낸다. 이러한 Aures tonality 모델의 기본 알고리즘에 기초하여 낮은 상관도 문제를 개선하기 위해 기존 Aures tonality 모델의 알고리즘은 식(1)에서 일부 관계식 수정을 통해 식(8)과 같은 형태로 제안되었다.

$$T = C \times \left(\sum_{i=1}^N w_1(f_i, LTH) \times w_2(f_i, p_1, p_2) \right)^{p^3} \quad (8)$$

우선, 토널 요소의 라우드니스 비율을 의미하는 w_{Gr} 은 경향성 문제로 배제되었다. Table 3과 Fig. 3(a)에서 볼 수 있듯이 87.11%의 높은 상관도와 좋은 응집성을 보여주지만 높은 값의 w_{Gr} 은 해당 프린터 작동 소음 중 순음요소 소음의 비중이 크다는 것을 의미하며 청음 평가 결과와 양의 상관도를 가지는 것 보다 음의 한 상관도를 가지는 것이 정상적인 경향성으로 볼 수 있다. 즉, 순음요소의 비중이 크다는 것은 성가심 유발의 가능성이 크다는 것을 의미하기 때문에 w_{Gr} 의 경향성은 다소 문제가 있다고 볼 수 있다. 이러한 결과의 원인은 상이한 라우드니스를 가진 평가 소음 군집 내에서 절대값 기준으로 회전체 소음의 음향 에너지가 모델 사이에 유사한 경우 낮은 라우드니스를 가진 모델들에 대해 순음요소의 상대적인 라우드니스 비율은 증가하는 양의 방향의 경향성을 가지게 된다. 이러한 결과를 토대로 순음 요소의 음향 에너지의 상대적인 비율에 근거한 w_{Gr} 은 프린터 음질 연구에서 토널 요소의 성가심 유발에 대한 기여도를 정량적으로 표현하는데 다소 부적합하다고 볼 수 있다. 그리고 Fig. 3(b)는 w_{Gr} 제외된 순음요소의 성가심 유발에 대한 기여도 함수 w_T 의 청음 평가 결과와의 관계를 보여준다. Table 3에서 볼 수 있듯이 negative 방향의 -48.99% 상관도를 가진다.

이와 같이 Aures tonality내에서 w_{Gr} 과 w_T 의 청음 평가와의 상관관계를 나누어 살펴봄으로써 순음 요소의 성가심 유발에 대한 기여도 함수만이 프린터 음질과 연관성이 존재한다고 결론을 내었다. 식(2)에서 토널 요소의 너비, 중심 주파수, 크기 특성이 고려되는데 식(3)의 토널 요소의 너비 특성은 제한된 관심 주파수 영역에서 최종 결과값인 식(1)에서 tonality (T)에 영향이 크지 않은 관계로 배제하였고 중심 주파수 특성은 다음 관계식과 같이 tonality impression function 측면에서 고려되었다.

$$w_2(f_i, p_1, p_2) = \left(\frac{1}{1 + 0.2 \times ((f_i / 700\text{Hz})^{p_1} + (700\text{Hz} / f_i)^{p_2})} \right)^{0.5} \quad (9)$$

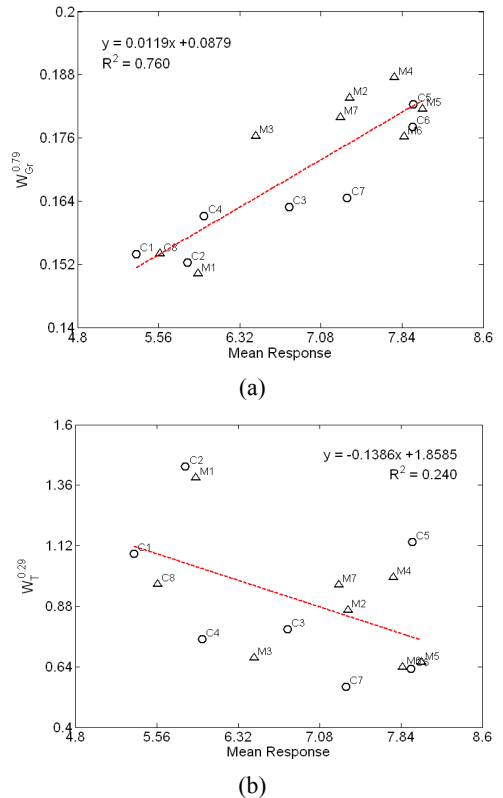


Fig. 3 Correlation coefficients between mean response of participants and (a) loudness ratio, and (d) tonal noise components, (○: color print, △: mono print)

기존 알고리즘에서 식 (4)와 동일하게 700 Hz를 기준으로 하는 주파수 가중치 함수이지만 민감도 제어 변수 p_1, p_2 가 추가되어 상관도 개선을 위해 조정되었다. 그리고 마지막으로 토널 요소의 보정 크기 값은 다음 관계식과 같이 식 (6)에 비교하여 단순화된 형태로 수정되었다.

$$\Delta L(f_i, LTH) = L(f_i) - LTH(f_i) \quad (10)$$

기존 알고리즘에서 토널 요소의 보정 크기 값은 평가 소음 내에서 인접한 토널 요소의 영향, 임계 대역의 인텐시티, ISO 389-7에 근거한 가청 하한선 등에 의해 개별적으로 결정되었으나 이 연구에서는 개별적으로 masking 효과를 고려하기보다 평가 군집 내에 공통적인 토널 요소의 영향 하한선을 적용하고자 한다. 그래서 ISO 226의 40 Phon에 해당하는 등라우드니스 곡선⁽¹⁶⁾을 고려하여 보정된 순음요소 크기 값은 주파수 가중치 함수와의 곱에 식 (8)과 같이 가중치 제어 변수 p_3 를 고려하여 tonality를 계산하였다. 이와 같이 단순화된 tonality 모델은 Fig. 4에서 볼 수 있는 과정을 거쳐 청음 평가 결과와 높은 상관도를 가지고 회전체 소음에 연관된 순음정도를 의미하는 음질 특성 값을 산출하였다. 이 모델의 과

정을 구한 순음도를 AVSP(acoustic vibration signal processing) tonality 라고 이 연구에서는 정하였다.

4. 음질요소와 청음평가 상관도

레이저 프린터 작동 소음의 음질 연구 과정 중에 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 평가자 군집의 청음 평가 결과와 적절한 상관관계를 가지고 있는 음질 인자를 도출하는 것은 음질 인덱스 개발 과정 중에 중요하다. 여기에서는 회전체 기계요소로 인해 발생된 토널 요소에 정량적 평가에 초점을 두고 라우드니스, tonality와 청음 평가 사이에 관계를 살펴보았다.

4.1 Loudness(라우드니스)

작동 소음의 전반적인 크기 특성을 의미하는 음질 인자로서 ISO 532B를 기준으로 계산되었다⁽¹⁷⁾. Fig. 6(a)는 첫 번째 군집의 상관관계를 보여주며 Fig. 7(a)는 두 번째 군집의 상관관계를 보여준다. Table 5와 6는 각 군집의 청음 평가 검증 전후의 상관도 차이를 보여주며 라우드니스가 상이한 첫 번째 군집의 15개 원본 작동 소음의 경우 -96.12%의 높은 상관도를 가지고 있으나 두 번째 군집은 -55.10%의 낮은 상관도를 가진다.

기존 모델의 후백 출력 M4를 제외하면 나머지 10개 작동 소음 사이에 상관도는 높은 값을 가질 것으로 판단이 되지만 일반적으로 라우드니스가 유사한 경우 사람의 청력계 인지 특성을 기초로 평가 소음 사이에 차이를 구분하는 것은 어렵기 때문에 이와 같은 낮은 상관도가 도출이 되었다고 판단이 되며 global 음질 요소로서의 라우드니스와 local 음질 요소로서 다른 음질 인자들과의 관계를 정의하는 과정에서 당연한 결과로 판단이 된다. 즉, 라우드니스가 유사하기 때문에 다른 음질 요소들이 음질의 좋고 나쁨에 주요한 영향이 존재할 것으로 예상된다.

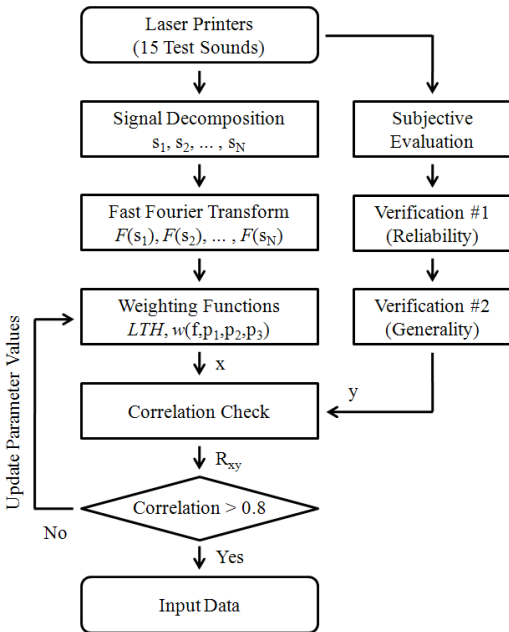


Fig. 4 A flowchart of proposed sound metric for the tonality evaluation of operating sound

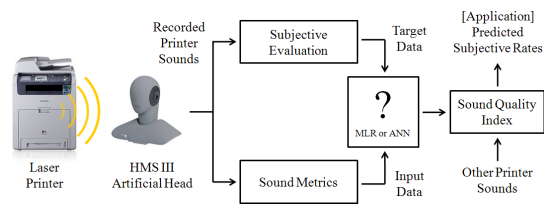
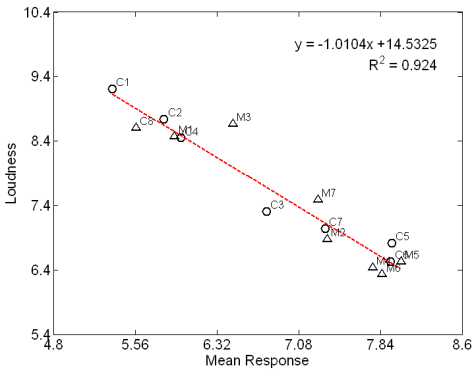
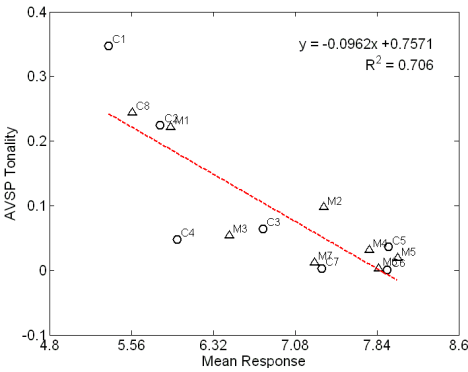


Fig. 5 Development processes of the sound quality index and its application for a laser printer



(a)



(b)

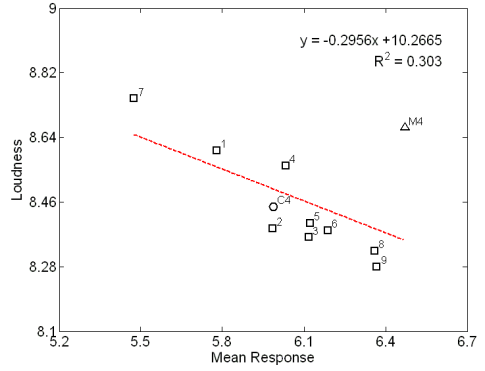
Fig. 6 Correlation coefficients between sound metrics and mean response of evaluators for 15 original operating sounds of laser printer models; (a) Loudness, (b) AVSP tonality, (○: color print, △: mono print)

Table 5 Correlation coefficient between sound metrics and mean response of participants for 15 original operating sounds

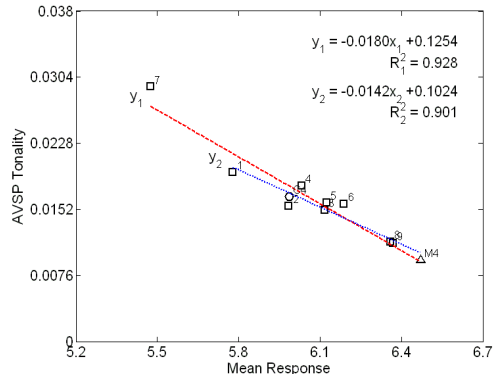
| Sound metrics | Correlation |
|----------------|-------------|
| Loudness | -0.9612 |
| Aures tonality | -0.2628 |
| AVSP tonality | -0.8376 |

Table 6 Correlation coefficient between sound metrics and mean response of participants for 2 reference operating sounds and 9 synthetic operating sounds

| Sound metrics | Correlation |
|----------------|-------------|
| Loudness | -0.5510 |
| Aures tonality | -0.7256 |
| AVSP tonality | -0.9635 |



(a)



(b)

Fig. 7 Correlation coefficients between sound metrics and mean response of evaluators for 2 original operating sounds and 9 synthetic operating sounds, (a) loudness, (b) AVSP tonality, (○: color print, △: mono print)

4.2 Tonality(순음도)

회전체 기계 부품에 의해 발생된 순음요소의 음질에 대한 기여도를 정량적으로 평가하기 위한 Aures tonality 모델은 Fig. 2(a)와 (b)에서 보았듯이 평가 군집 별로 -26.28%와 -72.56%의 상관도를 가진다. 두 번째 군집의 경우에도 local 상관도 문제가 발생하고, 또한 청음 평가 결과와의 낮은 상관도 문제로 인해 음질 인덱스 제작에 어려움이 존재함을 앞서 언급하였다.

프린터 음질 연구 과정에 적용 과정 중 발생하는 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 tonality 모델을 제안하였다. 제안된 tonality 모델은 가중치 함수에 포함되어 있는 제어 변수 p_1, p_2, p_3 의 조정을 통해 청음 평가와의 상관도를 개선하였다. 우선, 식 (8)과 식 (9)에서 p_1, p_2, p_3 는 높은 상관도를 도출하기

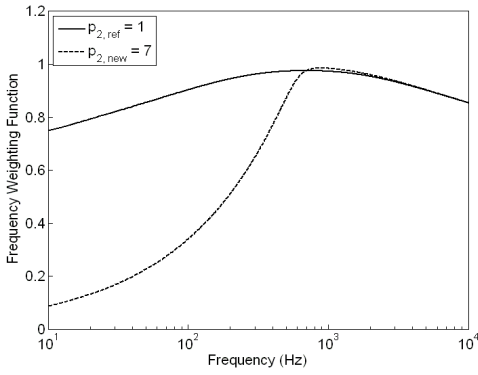


Fig. 8 Optimized frequency weighting function in the proposed tonality evaluation model

Table 7 Optimized parameter values for the maximization of correlation coefficient with the mean response of participants for 15 original operating sounds

| | p_1 | p_2 | p_3 | Correlation |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------------|
| Original parameter values | 1 | 1 | 0.29 | -0.1732 |
| Optimized parameter values | 1 | 7 | 1.10 | -0.8376 |

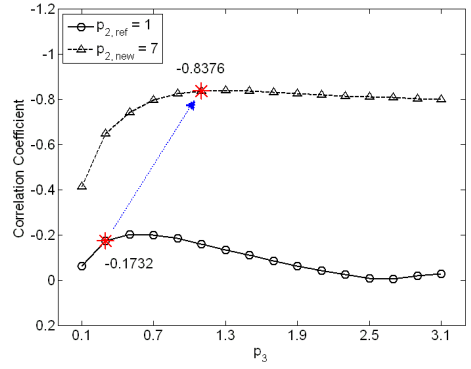
Table 8 Optimized parameter values for the maximization of correlation coefficient with the mean response of participants for 2 reference operating sounds and 9 synthetic operating sounds

| | p_1 | p_2 | p_3 | Correlation |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------------|
| Original Parameter Values | 1 | 1 | 0.29 | -0.8401 |
| Optimized Parameter Values | 1 | 7 | 1.10 | -0.9635 |

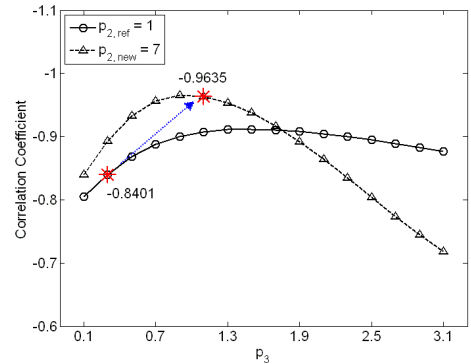
위한 parameter study를 통해 Table 7과 8에서 볼 수 있는 최적 제어 변수 값을 도출하였다.

결과를 살펴보면 p_1 은 기존 값과 동일하지만 p_2 는 1에서 7로 증가되었고 Fig. 8은 700 Hz 주파수 영역에 대한 민감도가 증가된 형태의 주파수 가중치 함수를 보여준다.

그리고 토널 요소의 보정 크기와 주파수 가중치의 곱에 대한 가중치 함수 p_3 는 0.29에서 1.10으로 증가되었다. Fig. 9는 군집 별로 주파수 가중치 함수의 700 Hz 주파수 이하 영역에 관련된 p_2 제어 변수의 변화 전후에 p_3 에 대한 상관도 변화 특성과 선택된



(a)



(b)

Fig. 9 Variance of correlation coefficient according to the change of parameter value in the proposed tonality evaluation model (a) original operating sounds of the 1st sound group, (b) synthetic operating sounds of the 2nd sound group

최적값에 해당하는 상관도를 보여준다. Table 7과 8은 군집 별로 청음 평가 전후의 상관도 차이를 보여주며 첫 번째 군집의 경우 AVSP tonality값과 청음평가 상관도가 -17.32%에서 -83.76%로 상관도가 개선되었으며 두 번째 군집의 경우도 상관도가 -84.01%에서 -96.35%로 개선되었다. 특히, 두 번째 군집에서 Fig. 2(b)는 합성 소음 7번을 제거하는 경우 -32.17%로 global 상관도가 저하되면서 local 상관도 에러가 존재함을 알 수 있지만 Fig. 7(d)에서 이 연구에서 제안된 tonality 모델의 경우에는 7번을 제거하여도 -94.92%의 상관도를 유지하며 local 상관도 에러가 존재하지 않는다. 라우드니스가 상이한 첫 번째 군집보다 라우드니스가 유사하고 순음요소의 변화가 주요한 두 번째 군집에서 높은 상관도

및 응집성을 가지고 있음을 알 수 있고 기존 Aures tonality 모델의 알고리즘 개선을 통해 도출된 개선된 tonality 모델은 프린터 음질 연구에 특화된 회전체 소음 평가용 음질 모델이라고 볼 수 있다.

4.5 음질요소의 요약

평가 소음 군집은 global 음질 요소로서 라우드니스의 변화에 따라 분류되었고 local 음질 요소로서 나머지 음질 요소와의 관계를 회전체 소음의 음질에 대한 영향 측면에서 살펴보았다. 첫 번째 군집과 같이 라우드니스가 상이한 경우 기존 연구들의 결과처럼 첫 번째 음질 인자로서 라우드니스가 주요한 상관관계를 가진다는 것을 확인하였다. 그리고 두 번째 군집과의 결과 비교를 통해 라우드니스가 거의 동일한 경우 회전체 소음의 주요한 변화에 tonality가 밀접한 음질 인자로서 활용 될 수 있음을 확인하였고 특히 회전체 토널 요소의 음질에 대한 기여도 특성을 의미하는 Aures tonality의 상관도 부재 문제를 이 연구에서 제안된 tonality 모델을 통해서 개선되었다. 이러한 결과를 토대로 향후 연구에서 라우드니스에 대한 특성 변화 기초로 tonality 음질 인자를 고려함으로써 프린터 작동 소음 중 전반적인 소리의 크고 작음과 회전체 소음의 영향 그리고 용지 급지 및 배출 과정에서 발생하는 충격성 소음의 영향을 충분히 고려할 수 있는 음질 인덱스를 개발하는데 유용할 것으로 판단이 된다.

5. 결 론

이 논문은 프린터 음질 평가 과정 중에 회전체 기계 요소에 의해 발생된 순음 소음의 심리 음향 측면에서의 정량적 평가를 위한 Aures tonality 모델의 상관도 부재 문제를 해결하기 위해 개선된 tonality 모델을 제안하고 유용성 검증을 위해 라우드니스에 따라 나누어진 두 가지 작동 소음 군집에 적용하고 비교 분석을 수행하였다. 회전체 소음 평가용 모델로서 Aures tonality 모델은 오랜 기간 동안 널리 활용되어 왔기에 모델 자체의 근본적인 이론적 오류 문제라고 하기보다는 일부 세부 항목의 부조화 및 적용 연구 대상의 차이로 인한 상관도 저하 문제로 판단하였다. 그래서 기존 평가 알고리즘을 기초로 관계식의 수정 및 보완을 통해 청음

평가 결과의 상관도 개선이 가능하다고 판단하였다. 우선, 상관도 부조화 문제로 인해 회전체 소음의 라우드니스 비율 항목을 제거하였고 보정 크기 값 산출을 위한 관계식의 수정 및 주파수 가중치 함수의 제어 변수 추가 등을 통해 두 가지 평가 소음 군집의 상관도를 개선하였다. 결과적으로 첫 번째 음질 인자로서 라우드니스 영향력과 tonality와의 관계성에 대해 살펴보았고 회전체 소음의 변화가 주도적인 두 번째 군집에서 제안된 tonality 모델이 회전체 소음 평가용 모델로서 활용이 가능함을 실험 결과를 기반으로 검증하였다. 이 연구에서 제안된 tonality 모델의 결과를 기초로 향후 연구에서는 라우드니스 등의 음질 인자들과 함께 tonalness가 음질 인덱스 개발 과정 중에 함께 고려되어 결과의 신뢰성 및 정확성 개선에 도움이 될 것이다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Takanashi, A., Mori, A. and Nomura, M., 2003, Evaluation of Sound Quality of Business Machines - Background and Problems, Proceedings of Inter-noise 2003.
- (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, DEGA, Oldenburg, pp. 388~389.
- (4) Fastl, H. and Zwicker, E., 2007, Psychoacoustics: Facts and Models, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- (5) Stevens, S. S. and Hallowell, M. D., 1983, Hearing Its Psychology and Physiology, American

Institute of Physics, New York, USA.

(6) 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.

(7) Baird, T., Bray, W. and Otto, N., 2005, Impulsive Noise of Printers : Measurement and Characterization, Inter-Noise 2005, Rio de Janeiro, Brazil.

(8) 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, 1995.

(9) 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.

(10) Lee, K. H., 2006 Perception of Tones in Machinery Noise and Its Influence on Annoyance,

Purdue University, Ph.D Thesis.

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

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

(13) Aures, W., 1994, Berechnungsverfahren für den Wohlklang beliebiger Schallsignale, ein Beitrag zur gehörbezogenen Schallanalyse, Dissertation, Ph.D thesis, Technische Universität München.

(14) 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.

(15) 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, Issue 5, pp. 440~446.

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

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