DOI : 10.5050/KSNVE.2010.20.11.1018

프린터 부품 소음원에 따른 감성소음 평가시스템의 개발

Identification of Printer Noise Source and Its Sound Quality Evaluation System Development

박 상 원*·양 홍 군*·나 은 우**·이 상 권†·박 영 재***·김 종 우***
Sang-Won Park, Hong-Jun Yang, Eun-Woo Na, Sang-Kwon Lee, Yeong-Jae Park and Jong-Woo Kim

(2010년 7월 6일 접수 ; 2010년 10월 21일 심사완료)

Key Words : Sound Quality(음질), Sound Quality Index(음질인덱스), Identification of Noise Source(소음원 분석), Path Analysis(경로분석)

ABSTRACT

The printer noise consists of the noise of the various components and parts such as motor, fan and solenoid. And the human's printing sound recognition shows various aspects when the printer starts to print papers because the components operate at the same time. Especially, printers are usually installed in the quiet office room. Therefore the printing noise is related to its competitiveness in the market. The importance of the printer sound qualities is increasing and it is necessary to develop the sound quality evaluation system, so it is a key point to identify the noise source of the printer and develop the sound quality index to each component. By using this evaluation system, it is possible to evaluate the sound quality of a prototype printer compared to the already existing one. In this paper, the printer sound quality evaluation system was developed by the following steps. Firstly, the signal processing method was applied to the recorded printing sound to identity and split the noise of components. Secondly, the MLR(multiple linear regression) method and the psychoacoustics were used to develop the sound quality index. Finally, the improvement of the printer sound quality is possible by using the result of the MLR and the path analysis. The output of this research will be applied to the development of a new printer.

1. 서 론

프린터는 모터, 휀, 솔레노이드 등의 다양한 부품으로 구성된다. 이러한 여러 종류의 부품은 인쇄 시작과 동시에 작동하며 소음을 발생시킨다. 이러한 이유로 사람이 느끼는 인쇄 소음은 매우 다양한 특색을 갖는다[1]. 특히 프린터는 조용한 사무실 환경에서 작동하기 때문에 인쇄 소음은 제품의 경쟁력과도 밀접한 관계가 있다[2]. 그렇기 때문에 프린터 부품 소음원인을 분석하고 이것을 객관적으로 평가할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위해 디지털 신호처리 기법을 이용해 프린터 특정 부품 소음의 주파수 성분을 분석하였고 분석된 주파수 성분을 추출해 부품별 소음신호를 제작하였다. 제작된 부품별 소음신호를 이용하여 청음평가 실험을 진행하였으며 그 결과와 객관적인 음질요소를 이용해 음질 인

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

덱스를 개발하였다.

또한 개별적인 부품별 음질 인덱스를 경로분석 기법을 이용해 하나의 통합된 인덱스로 나타내었다. 이러한 일련의 과정을 통하여 개발된 프린터 부품 소음에 따른 감성소음 평가시스템을 사용하면 프린터 부품별 음질에 대한 주관 평가 값을 쉽게 예측할 수 있을 뿐만 아니라 앞으로 개발될 프린터의 목표 값 또는 기준 값을 제시할 수 있다.

2. 심리음향 음질요소

2.1 라우드니스(loudness)

주관적으로 라우드니스는[3] 사람이 주관적으로 느끼는 소리의 크기를 나타내는 음질요소이다. 단위로는 폰(phon)과 손(sone)을 사용하며 1 kHz, 40 dB 순음에 대해 사람이 인지하는 소리의 크기를 1 sone으로 정의하였다. 이 논문에서는 Zwicker모델을[4] 사용하였으며 N을 각 임계 밴드의 라우드니스라 할 때 전체 라우드니스는 아래의 수식으로 구할 수 있다. 임계대역은 둘이상의 음이 인간의 귀 내부의 기저막 위의 같은 유모세포를 자극하여 별개의 음으로 구별하기 어렵게 되는 주파수 대역을 가리키는 개념이고 여기서 bark란 인간의 귀에 존재하는 24개의 임계대역의 단위를 의미한다.

$$Loudness = \int_0^{24\,Bark} N(z)dz \qquad (1)$$

2.2 음성이해도(articulation index, AI)

AI는[3] 명료도 지수로서 대화의 명료도에 영향을 주는 암소음을 평가한다. AI를 구하기 위해서는 1/3 octave band를 이용하여 200~6300 Hz 구간에 대한 소음분석을 한 후 중심주파수 구간별로 인지 가능한 하한선과 인지 불가능한 상한선을 정하여 각 구간별로 0~100 % 비율로 가중하여 하여 계산할 수 있다. 계산된 AI의 값이 100 %일 경우 200~6300 Hz구간의 소음이 완벽하게 인지됨을 나타낸다. AI의 계산모델은 ANSI S3.5에[5] 명시되어 있다.

2.3 고주파에너지 기여도

연속 웨이블렛 변환(continuous wavelet transform, CWT)을[6] 이용한 시간-주파수 분석은 임의의 시간에 발생하는 충격신호 분석에 효과적으로 사용할 수 있다. 연속 웨이블렛 변환은 단순한 주파수 변환으로 불가능한 타임 도메인에서의 충격 신호 분석을 가능하게 하므로 충격소음에 대한 음질요소 개발에 사용될 수 있으며, 이 연구에서는 특정 임계치를 넘는 충격신호를 추출한 후에 주관평가 값과 비교하였다. 충격소음에 대한 음질요소인 고주파에너지 기여도(high frequency energy contribution, HFEC)를[7] 계산하는 과정은 Fig. 1과 같다.

3. 프린터 소음 분석 및 감성청음평가

3.1 부품별 소음분석

프린터 소음은 Fig. 2와 같이 무향실에서 HEAD Acoustics사의 HMS Ⅲ Artificial Head를 사용해 ISO 11201:1995의[8] 방사소음 측정법에 따라서 녹음하였다. 연구에 사용된 프린터는 5대였으며 각각의 녹음된 신호에서 신호처리 방법을 이용하여 부품별 소음성분을 분석하였다. 신호처리 기법으로는

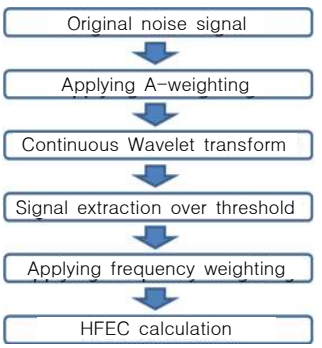


Fig. 1 The flow chart of HFEC calculation

Fig. 2 Printing sound recording through HMS III artificial head

STFT(short time Fourier trasform)를[5] 사용하였고 프린터별 STFT 결과를 Fig. 3에서 확인 할 수 있다. 또한 회전체 부품의 메싱소음(meshing noise)과 날개 통과 주파수(blade passing frequency) 소음성분 분석을 위해서 RPM센서와 가속도센서의 측정정보를 이용하였으며 이들은 아래와 같은 연관관계를 가지고 있다.

$$\text{Meshing noise} = \text{초당회전수(RPS)} \times \text{모터 칫수} \quad (2)$$

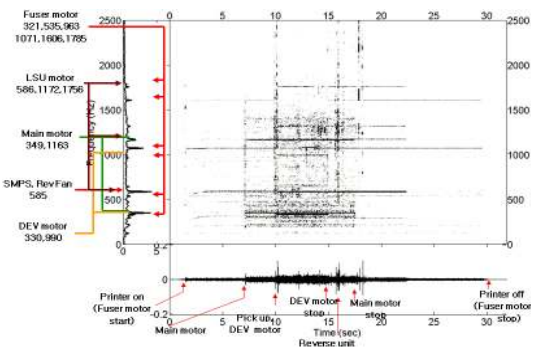
$$\text{BPF} = \text{초당회전수(RPS)} \times \text{휀 날개수} \quad (3)$$

이상의 분석결과는 Table 1에서 확인할 수 있다. 이러한 분석결과를 바탕으로 LMS CADA-X를 이용해 부품별 소음신호를 제작하였다. 부품별 소음신호는 톤소음과 충격소음으로 크게 분류하였으며 톤소음은 배경소음, 메인모터, 퓨저모터, 휀, 데베 모터로 구분하였고 충격소음은 프린터 켜짐(printer on), 종이 픽업(pick up), 종이 출력(paper out), 프린터 꺼짐(printer off)으로 구분하였다. 최종적인 부품별 소음의 분류결과는 Table 2, Fig. 4에서 확인할 수 있다.

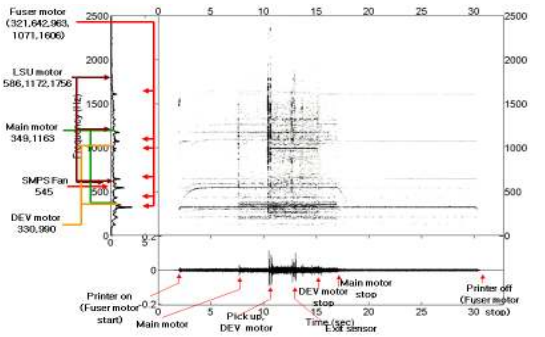
3.2 주관적 청음평가

분류된 9가지 부품군의 소음신호를 이용해 부품별 청음평가를[9] 진행하였다.

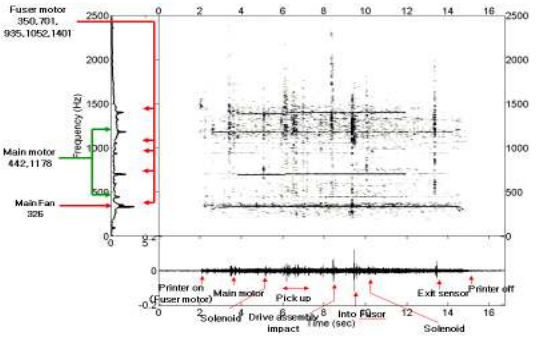
청음평가 질의어로는 정숙감을 사용하였으며 의미분별법(SDM, semantic differential method)을[10] 이용하여 4~9점 범위를 주관적으로 평가하였다. 즉 주어진 질의어 정숙감(시끄러운-조용한)에 대해 소음 신호를 듣고 4점(매우 시끄러운), 5점(시끄러운), 6점(다소 시끄러운), 7점(다소 조용한), 8점(조용한), 9점(매우 조용한)등으로 점수를 체크하는 방법을 사용



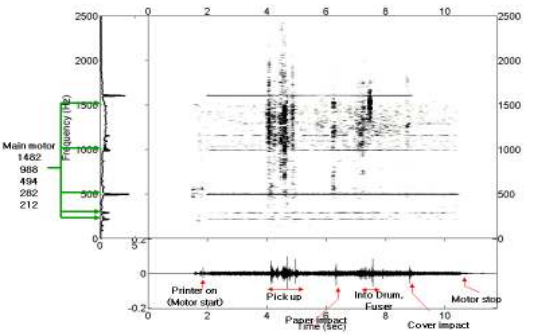
(a) Model 1



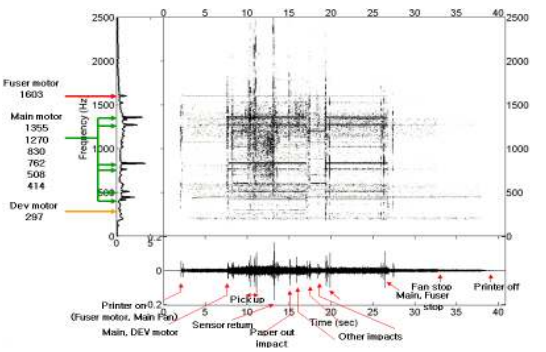
(b) Model 2



(c) Model 3



(d) Model 4



(e) Model 5

Fig. 3 The result of STFT to the each printer

Table 1 The result of the identifications of noise source to the each printer

(a) Model 1

Component	RPS	Tooth	Frequency(Hz)
Dev motor	36.6	9	330(36.6×9)
			990(36.6×27)
Main motor	38.7	9	348.9(38.7×9)
			1163(38.7×30)
Fuser motor	35.7	9	321.3(35.7×9)
			535(35.7×15)
			963(35.7×27)
			1071(35.7×30)
			1606(35.7×45)
			1785(35.7×50)
SMPS fan	117	5	585(117×5)

(b) Model 2

Component	RPS	Tooth	Frequency(Hz)
Dev motor	36.6	9	330(36.6×9)
			990(36.6×27)
Main motor	38.7	9	348.9(38.7×9)
			1163(38.7×30)
Fuser motor	35.7	9	321.3(35.7×9)
			642(35.7×18)
			963(35.7×27)
			1071(35.7×30)
			1428(35.7×40)
			1606(35.7×45)
SMPS fan	119	5	545(119×5)

(c) Model 3

Component	RPS	Tooth	Frequency(Hz)
Main motor	24.5	18	442(24.5×18)
			1178(24.5×48)
Fuser motor	19.5	18	350(19.5×18)
			701(19.5×36)
			935(19.5×48)
			1052(19.5×54)
			1401(19.5×72)
Main fan	46.6	7	326(46.6×7)

(d) Model 4

Component	RPS	Tooth	Frequency(Hz)
Main motor	35.3	14	141.2(35.3×4)
			211.8(35.3×6)
			282.4(35.3×8)
			494(35.3×14)
			988(35.3×28)
			1482(35.3×42)

(e) Model 5

Component	RPS	Tooth	Frequency(Hz)
Dev motor	37.2	8	297.5(37.2×8)
Main motor	37.7	11	414(37.7×11)
Fuser motor	33.4	8	830(37.7×22)
			1603(33.4×8)
Main fan	61.4	7	430(61.4×7)

Table 2 The group of tonal elements

Printer	Background noise	Main motor	Fuser motor	Fan	Dev motor
Model 1	○	○	○	○	○
Model 2	○	○	○	○	○
Model 3	○	○	○	○	-
Model 4	○	○	○	○	○
Model 5	○	○	-	-	-

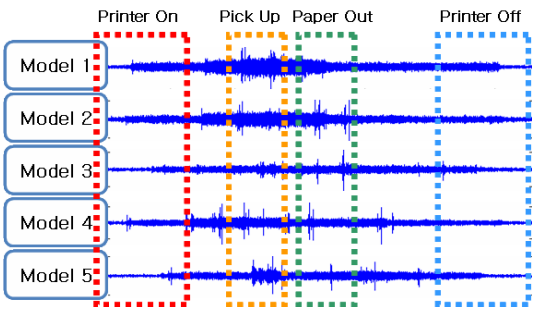


Fig. 4 The group of impact elements

하였다. 평가자는 모두 30명이었으며 평가자 전원의 평균값과 70 % 이하의 상관계수 값을 보이는 평가자의 데이터는 제거하였다. Fig. 5에서 청음평가 결과를 확인할 수 있다.

3.3 주관적 청음평가 결과와 음질요소의 상관도

주관적 청음평가 결과와 음질요소 사이의 상관도 값은 Table 3에 요약되어 있다. 9가지 부품군에 대해서 라우드니스가 전반적으로 높은 상관도를 보이는 것을 확인 할 수 있다. 또한 회전체 부품군에서는 AI가 높은 상관도를 보이고 있으며 충격 부품군에서는 HFEC가 높은 상관도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 상관도 값이 양이면 정비례함을 의미하고 음이면 반비례함을 의미한다.

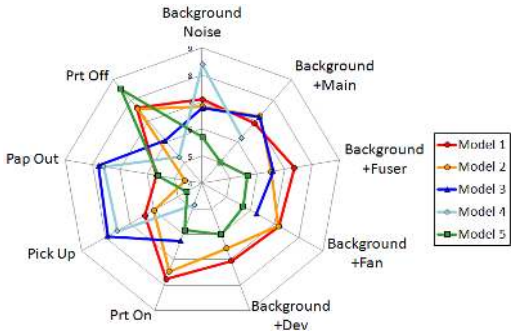


Fig. 5 The result of the jury test for the components of printers

Table 3 Correlations between overall attributes and components of printers

Component	Zwicker	AI	HFEC
Background	-98.86	95.54	-80.79
Main motor	-83.73	77.63	-42.68
Fuser motor	-96.88	92.04	33.26
Fan	-94.23	95.77	-47.95
Dev motor	-94.42	57.28	83.51
Prt on	-74.28	53.49	-87.02
Pick up	-92.65	96.92	-92.69
Pap out	-77.38	72.57	-90.72
Prt off	-98.80	95.79	-94.41

4. 음질인덱스

음질인덱스를 이용하면 추가적 청음평가 없이 특정 프린터 부품 소음에 대한 사람의 주관적인 평가값을 예측할 수 있다. 음질인덱스 제작을 위해 다중선형회기분석(multiple linear regression)을 사용하였다. 다중선형회기식은 다음과 같다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_i x_i + \varepsilon \tag{4}$$

Y = index output
x = index input
β = weighting coefficient
ε = error

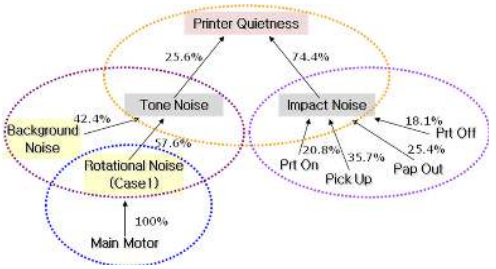
이 연구에서는 각 부품별 인덱스의 입력값으로 음질요소를 두 개씩 사용했으며 관계식은 다음과 같다.

$$Y_i = a + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} \tag{5}$$

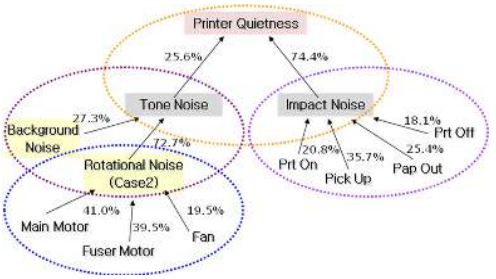
위 식에서 부품별 주관 평가값을 인덱스 출력값 Y_i로 할 때 회전체 부품군에서는 라우드니스, AI를 인덱스 입력값으로 사용하였고 충격 부품군에서는 라우드니스, HFEC를 인덱스 입력값으로 사용하여 웨이팅계수(a, b_1, b_2)를 구할 수 있으며 Table 4에서 확인할 수 있다. 제작된 다중선형회기식과 음질

Table 4 Factors of sound quality index for quiet at background noise

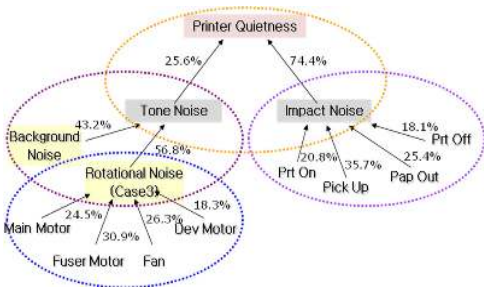
Component	a	b_1	b_2
Background	8.633703	-2.77964	6.044827
Main motor	3.464434	-2.2701	10.267429
Fuser motor	24.21574	-4.02278	-1.49544
Fan	-2.48917	-2.00947	13.85649
Dev motor	9.740992	-3.15511	8.976195
Prt on	17.84526	-100771	-39.2605
Pick up	14.9027	-1.70118	-8.39263
Pap out	14.63504	-1.51708	-24.5688
Prt off	12.79604	-3.6837	20.07678



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig. 6 The path model of a printer quiet index

요소 값을 이용해 주관평가 없이 새로운 프린터의 주관평가 값을 예측할 수 있다.

5. 경로분석 및 경로모델

경로모델은[11] 청음평가에 사용된 9가지 프린터 부품의 소음이 전체 소음에 기여하는 비율을 결정하기 위해 필요한 모델로서 각 부품별 청음평가 점수를 통합된 점수로 변환하기 위해 사용된다. 자세한 구성은 Fig. 6에서 확인 할 수 있으며 부품별 청음평가에 사용된 부품과 동일한 구성으로 제작하였다. 다만 톤소음 부품의 경우 프린터 제조사에 따라 모터와 팬의 개수가 상이한 모습을 보여주고 있기 때문에 그 수에 따라 case 1, case 2, case 3으로 나누어서 톤소음 경로모델을 구축하였다.

경로모델의 각 단계별 가중치를 구하기 위해 청음평가를 실시하였으며 그 결과는 Fig. 6과 식 (6)~(13)에 표시하였다. 이 결과를 통해 모터나 팬처럼 톤소음을 발생하는 부품보다 종이 픽업 및 출력(paper pick up/out) 같이 충격소음을 발생하는 부품이 사람이 느끼는 프린터 소음에 더 많이 기여하는 것을 확인 할 수 있다.

(1) 회전체 소음

$$\text{Case 1} = \text{Main motor} \tag{6}$$

$$\text{Case 2} = (0.410\times\text{Main motor}) + (0.395\times\text{Fuser motor}) + (0.195\times\text{fan}) \tag{7}$$

$$\text{Case 3} = (0.245\times\text{Main motor}) + (0.309\times\text{Fuser motor}) + (0.263\times\text{fan}) + (0.183\times\text{Dev motor}) \tag{8}$$

(2) 톤소음 정숙감

$$\text{Case 1} = (0.424\times\text{배경소음}) + (0.576\times\text{회전체 소음}) \tag{9}$$

$$\text{Case 2} = (0.273\times\text{배경소음}) + (0.727\times\text{회전체 소음}) \tag{10}$$

$$\text{Case 3} = (0.432\times\text{배경소음}) + (0.568\times\text{회전체 소음}) \tag{11}$$

(3) 임팩트 정숙감

$$\text{임팩트 정숙감} = (0.208\times\text{Prt on}) + (0.357\times\text{Pick up}) + (0.254\times\text{Pap out}) + (0.181\times\text{Prt off}) \tag{12}$$

(4) 프린터 정숙감

$$\text{프린터 정숙감} = (0.256\times\text{톤소음 정숙감}) + (0.744\times\text{임팩트 정숙감}) \tag{13}$$

6. 인덱스 및 경로분석 결과 적용

경로분석 결과를 이용하여 부품별 인덱스 값을 프린터 인덱스점수로 변환하였다. Table 5에서 표시한 것과 같이 변환된 값과 프린터 주관평가값 사이의 상관도는 98 %로 높은 상관도를 보이고 있으며, 제작된 인덱스와 경로분석 결과가 사람의 주관평가 값과 유사한 것을 확인 할 수 있다.

이상의 결과를 이용해 개발중인 모델의 소음을 측정하여 부품별 소음을 분류한 후 음질 인덱스를

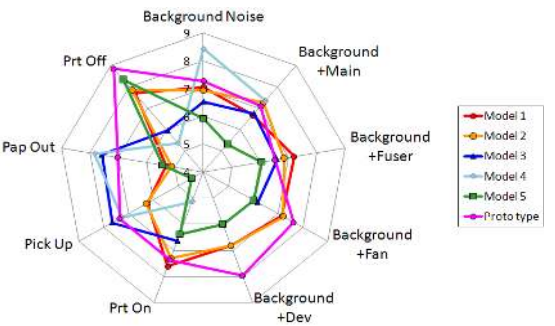


Fig. 7 The result of quietness index for the proto type printer

Table 5 Comparison between jury test result and index output

Component	Jury test	Index
Model 1	5.99	6.72
Model 2	7.93	6.29
Model 3	7.73	7.14
Model 4	6.88	6.86
Model 5	5.14	5.54
Correlation	0.98	

Table 6 Index Output of path analysis for the proto type printer

Component	Index
Tone noise	7.31
Impact noise	6.89
Final quietness	7.00

구하고 경로분석 결과를 적용해 정숙감 점수를 구하였다. 그 결과는 Fig. 7과 같다. 개발중인 모델(proto type)은 기존 모델(model 1, 2)의 주요 부품을 개선한 것으로 음질인덱스를 통해 톤소음과 충격소음 모두 음질이 향상된 것을 확인하였다. 특히 종이 픽업, 출력, 프린터 꺼짐과 같은 충격부품군에서는 1점 이상 점수가 향상된 것을 확인하였다. 개발 모델의 경로별 점수 및 최종 정숙감 점수는 Table 6에서 나타내었다.

7. 결 론

이 연구에서는 프린터 소음을 부품별 소음으로 분류하였고 각각의 부품별 소음에 대해 청음평가를 실시하였다. 또한 청음평가 결과를 이용해 부품별 음질 인덱스를 구축하였고 경로분석을 이용해 부품별 인덱스 값을 프린터 정숙감점수로 종합하였다. 특히 경로분석을 통해 충격소음(74 %)이 톤소음(26 %)에 비해 프린터 소음에 주된 영향을 주는 것을 확인하였다. 즉 톤소음보다는 충격소음을 개선하는 것이 프린터 정숙감을 높이는데 좀더 효과적인 방법이며, 실제 충격소음이 개선된 프린터를 대상으로 인덱스를 적용시켜 본 결과 정숙감점수가 향상되었음을 확인 할 수 있었다. 이상의 결과를 통해 부품별 음질 인덱스를 활용해 프린터 부품별 정숙감 개선 정도를 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 프린터 전체 정숙감에 어느 정도 기여하는지를 측정할 수 있다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원과 삼성전자의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0084728), (No. 2010-0014260).

참 고 문 헌

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

(2) Cha, D. S., Park, K. J., Kim, K. H. and Choi, M. H., 2007, “Study of Noise and Vibration of the Laser Printer,” Journal of KSNVE, Vol. 17, No. 2, pp. 22~28.

(3) Zwicker, E. and Fastl, H., 1990, “Psychoacoustics, Facts and Models,” 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin.

(4) Zwicker, E. and Fastl, H., 1984, “Basic-program for Calculating the Loudness of Sounds from Their 1/3 Octave Band Spectra According to ISO 532B,” Acustica, Vol. 55, pp. 63~67.

(5) American National Standard Institute, 1997, Methods for the Calculation of the Speech Intelligibility Index., ANSI S3.5-1997.

(6) Oppenheim, V. A. and Schafer, R. W., 1975, “Digital Signal Processing,” Prentice-Hall, Inc.

(7) Park, S. W., Kim, H. W., Na, E. W. and Lee, S. K., 2010, “Sound Metric for the Impact Sound of a Car,” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 66~73.

(8) International Organization for Standardization, 1995, Acoustics - Noise Emitted by Machinery and Equipment, ISO 11201:1995.

(9) 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.

(10) Blauert, J., 2005, “Communication Acoustics,” Springer-Verlag, NewYork.

(11) Hwang, S. W., Kim, H. S., Lee, J. H. and Yun, M. H., 2007, “Development of Luxury Model of Vehicle's Motion Sound Based on Subject Characteristics,” 2007 Fall Conference of Ergonomics Society of Korea, pp. 303~307.