

# 심리음향의 음질요소를 이용한 레이저 프린터 급지 이음 평가 및 부품 조합 최적화

## Identification of Pick up Sound for Laser printers Based on Psychoacoustic Parameters

이 영 준\* · 신 태 진\* · 유 진\*\* · 이 상 권†

Young-Jun Lee, Tae-Jin Shin, Jin You and Sang-Kwon Lee

(2012년 6월 12일 접수 ; 2012년 8월 29일 심사완료)

**Key Words** : Jury Evaluation(청음평가), Pickup Noise Index(이음 인덱스), Sound Quality Metrics(음질요소), Just Noticeable Difference(최소인지한계량)

### ABSTRACT

This paper identifies a cause of pick up noise in a laser printer and a relationship between pick up noise and major components related to pick up noise. A pick up sound is affected by many components such as spring force, spring constant, and friction coefficient. Objective evaluation for the pick up sound is difficult because of back ground sound such as operating sound. Especially, a sound between a friction pad and a paper in the process of printing has become an essential issue in an aspect of quality evaluation. However the existing criteria for determining the above sound have solely relied on human's subjective judgments; which highlights the requirement to objectify these criteria. In this paper, the standard of existing pick up noise is established by finding the tonality, which is a psychoacoustic parameter, of noticeable limit sound level. Based on the findings of the method, the study has found factors which cause pick up noise and suggests the substitution of following components of printers such as spring constants, spring force, and the quality of friction pads. As a result, it is confirmed that the proposed pick up noise index has usefulness to classify whether existence of pick up noise with an objective evaluation and not to occur the noise based on design optimized combination of laser printer components.

### 1. 서 론

다양한 분야에서 널리 사용되고 있는 프린터는 과거에 비해 소형화 및 가격이 저렴해지면서 사무실과 가정에서 사용자들의 접근성이 개선되었다. 이

를 소음 측면에서 바라보면 이러한 접근성의 개선은 소음원과 사용자 사이의 거리가 가까워지고 노출 시간은 증가되었다는 것을 의미한다.

특히, 소형 및 중형 프린터에서 인쇄 중 급지 과정에서 용지와 마찰패드 사이에서 발생하는 마찰 이음은 사용자로 하여금 심리 음향 측면에서 성가심을 유발하였다. 또한 마찰 이음은 이음의 크기에 따라 사람이 이음의 유무 판단이 모호할 경우가 발생하여, 이를 해소 할 수 있는 판단 기준(인덱스)의 필요성이 대두 되었다<sup>(1)</sup>. 이 연구에서는 인덱스를 개발하기 위하여 레이저 프린터의 이음을 녹음 후

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

\* 정회원, 인하대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정회원, 삼성전자 제조기술센터

청음평가를 실시하여 이음 평가 음질인덱스를 개발하여, 이음 발생 메커니즘을 연구하고, 이음 발생에 영향을 주는 부품을 확인 하고자 한다. 마지막으로 부품 변경에 대한 음질 인덱스의 변화를 연구하여 이음과 부품과의 관계를 규명하고자 한다.

## 2. 이음 발생 메커니즘

인쇄 중 발생하는 인쇄 소음은 모터 구동, 롤러 구동 및 기계 구동음을 포함하여 발생한다. 그 중 급지 이음은 사용자에게 불편함을 주고 이는 프린터 사용에 있어서 불만족으로 이어진다. 따라서, 프린터에서 발생하는 구동 음질의 향상을 위해서, 급지 이음을 제거 또는 사용자가 인식하지 못하도록 하는 것이 중요하다. 레이저 프린터 인쇄 중 이음은 급지 롤러와 마찰패드 사이에서 발생하며, 발생 메커니즘은 Fig. 1과 같다. 급지 pick up 롤러가 회전하면서 롤러와 마찰패드 사이의 마찰력을 이용하여 용지를 전진하게 한다. 이때 마찰력을 조절하는 수직력(normal force)은 스프링 장력을 이용하여 조절

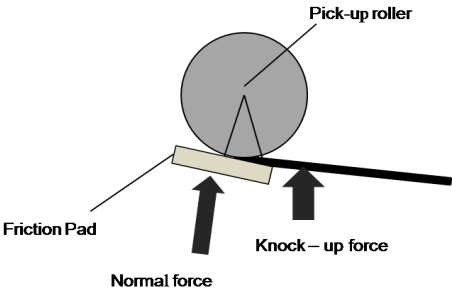


Fig. 1 Pick up mechanism of a paper in a laser printer

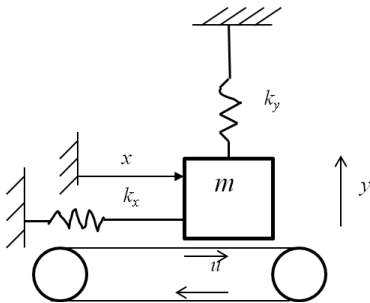


Fig. 2 Stick slip model for paper pick up mechanism is laser printer

한다. 프린트의 이음에 영향을 주는 주요 요소로는 마찰패드의 마찰력, 경도 그리고 마찰패드를 지지하는 스프링의 힘 등이 있으며 이음은 stick-slip 에 의해서 발생한다. 이와 같은 stick-slip 메커니즘에 대한 역학적인 모델을 Fig. 2와 같이 모델링 할 수 있다<sup>(2)</sup>.

Fig. 2의 모델에서 x방향과 y방향에 대한 운동 방정식은 Newton의 법칙을 이용하면 식(1)과 식(2)와 같이 표현된다.

$$\sum F_y = N - k_x y = m\ddot{y} \quad (1)$$

$$\sum F_x = -k_x r + F_f = m\ddot{x} \quad (2)$$

$$r = u - x \quad (3)$$

여기서  $m$ 은 마찰패드와 급지의 질량이다.  $x$ 는 패드 변위,  $\dot{x}$ 는 패드 속도,  $u$ 는 롤러의 변위이며,  $\dot{u}$ 는 롤러 속도이다.  $y$ 는 마찰패드의 y방향의 변위이다. 수평 방향에 대한 변위는  $r$ 로서 표현되며 롤러의 속도에 영향을 받는다. 급지에 가해지는 마찰력은 동 마찰 계수를 이용하여 식(3) 같이 표현 된다.

$$F_f = \mu N \quad (4)$$

급지는 마찰패드에 접촉하여 이동하는데, stick-slip이 발생하는 순간에 패드와 급지 사이에 상대 변위가 나타나며, 패드의 x-방향 속도와 롤러의 속도  $\dot{u}$  사이에 상대 속도  $v_r$ 이 증대한다. 상대속도는 식(1), (2), (3), (4)을 이용하여 식(5)와 같이 표현 된다.

$$\begin{aligned} v_r &= \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt}(u - x) = \frac{1}{k_x} \frac{d}{dt}(F_f - m\ddot{x}) \\ &= \frac{1}{k_x} \frac{d}{dt}(\mu N - m\ddot{x}) \\ &= \frac{1}{k_x} \frac{d}{dt}[\mu(k_y y + m\ddot{y}) - m\ddot{x}] \\ &= \frac{1}{k_x} \frac{d}{dt}(\mu k_y \dot{y} + \mu m \dot{\ddot{y}} - m\ddot{x}) \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)에서 패드와 급지의 질량  $m$ 은 상대속도와 스프링 상수에 비해 영향을 거의 주지 못할 정도로 작기에 무시 한다면 상대속도  $v_r$ 의 증가는 수평 방

항 스프링 상수  $k_x$ 에 반비례하고, 마찰 계수에 비례한다. 즉 마찰 이음도 상대 속도의 증가와 비례하여 발생함으로 이음은 스프링 상수, 마찰페드의 마찰력 등에 의해서 결정된다.

### 3. 프린트 이음 측정 및 분석

#### 3.1 이음 녹음 및 분석

레이저 프린터의 이음의 평가를 위하여 프린터의 작동 소음이 고려되었다. 이음 연구에 사용된 프린터 작동 소음은 무향실 내에서 ISO 11201<sup>(3)</sup>(1995) 규정에 따라 Fig. 3에서 보여주는 위치에서 Head Acoustics사의 HMS III Artificial Head를 사용하여 측정하였다. 레이저 프린터의 인쇄 과정에서 이음은 무작위로 발생하기 때문에 100회를 인쇄하면서 이음을 측정하였다.

Fig. 4는 측정된 소음에 대한 STFT(short time Fourier transform) 보여준다. 이 결과에 따르면 20초와 60초 부근에서 약 700 Hz와 1350 Hz 영역에서 인쇄 구동음에 비해 두드러진 부분이 발생하는데 이것이 마찰에 의한 이음이다. 이음은 아주 짧은 시간(0.05~0.5 s)동안 발생한다.

마찰에 의한 이음의 발생에 대한 객관적인 기준식을 제작하기 위해서 마찰이음에 대한 음질 인덱스를 제작하였다. 음질 인덱스를 제작하기 위해서 먼저 프린트 이음에 대한 음질요소를 분석한 결과 이음이 발생하는 구간에서 Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 톤알리티(tonality)<sup>(4)</sup>가 증가하는 현상을 발견하였다.

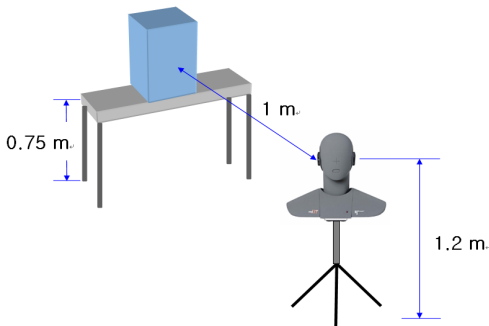


Fig. 3 Experimental set-up for the noise measurement of a laser printer based on ISO 11201(1995)

물론, Fig. 4와 같이 3차원 음압맵에서 음압의 크기도 이음의 위치를 판단 할 수 있다. 하지만, 이음이 발생하였을 경우 그 위치에서의 구동음이 클 경우, 구동음에 의해 3차원 음압맵에서 이음을 육안으로 확인하기 어렵다.

따라서, 여러 가지 음질요소분석을 통하여 사용하는 번거로움이 있더라도 가장 효과적으로 표현할 수 있는 톤알리티를 이 연구에 이용하였다. Fig. 5는 프린터의 작동 중 시간에 따른 톤알리티의 변화를 나타낸 것으로 위의 변동에서 보면, 이음이 발생하는 20s와 60s 부근에서 톤알리티가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 이음을 분석하는 음질 인덱스의 제작에 톤알리티를 사용할 수 있다. 임질 인덱스 제작시 유용히 사용 되는 주요 음질요소인 음압(sound pressure level, SPL), 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness), 변동 강도(fluctuation strength) 등의 변화량은 미미하였다.

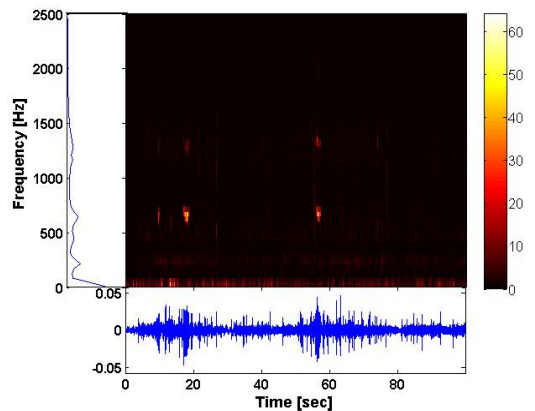


Fig. 4 Short time Fourier transform for the pick up noise of a laser printer

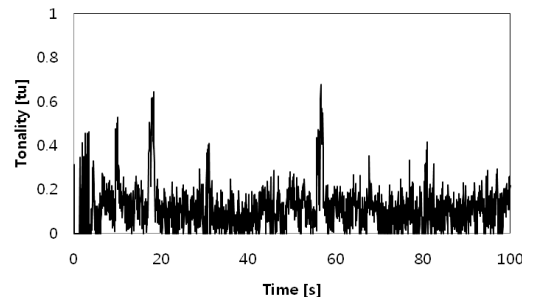


Fig. 5 Tonality analysis for time history of noise data radiated from a laser printer

**Table 1** Tonality values for synthetic sounds with 9 signals and measured operating sound

Signals	Tonality
Noise	0.37
-15 dB	0.28
-20 dB	0.25
-25 dB	0.23
-30 dB	0.21
-35 dB	0.20
-40 dB	0.18
-45 dB	0.17
-50 dB	0.16
Operating sound	0.17

### 3.2 음원 제작 및 분석

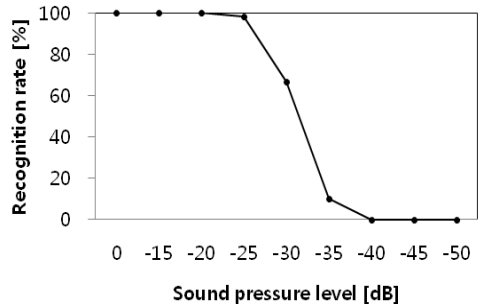
Fig. 4에서 보여주는 STFT 분석에서 이음부분의 음압을 감소하면서 사용자의 이음 인지능력을 실험하였다. 이음부의 음압레벨만을 감소하기 위해서, Genesis사의 LEA 프로그램을 사용하여 이음부의 음압을 필터링하여 9가지 경우로 달리하여 음압을 감소시켰다. 음압레벨을 15 dB, 20 dB, 25 dB, 30 dB, 35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB로 감소시킨 후 남겨진 배경 소음에 삽입하여 새로운 음원 9개를 제작하였다. 새로이 제작된 음원 레벨에 대한 이음 감소에 대한 토날리티 변화를 계산하여 비교한 결과를 Table 1에서 보여 준다.

## 4. 청음 평가

이음 증감에 따른 실제적인 청음과 토날리티값의 상관관계를 확인 하기위해서 청음평가를 실험하였다. 청음평가를 통해서 사용자가 이음을 인지하는 능력을 확인하기 위해서 청음평가를 실시하였다.

### 4.1 청음평가 방법

이 실험에서는 최소인지한계량(just noticeable difference, JND) 조사연구가 요구된다. JND 관련 연구는 심리음향분야에서 활발하며, 소리의 intensity, frequency 및 duration 차이 인지에 대한 연구 등으로 크게 나뉘고 있다. 대부분의 경우 순음(pure tone) 등을 제시 자극으로 사용하여 실험을 진행하고 있



**Fig. 6** Relationship between rates of pick up noise recognition and friction sound pressure level

으며<sup>(4-9)</sup>, JND 조사연구 방법론으로서 한계법(method of limit), 조정법(method of adjustment) 및 지속 자극법(method of constant stimuli) 등이 사용되고 있으며, 한계법의 정확도를 개선한 simple up-down<sup>(10)</sup>법과 피실험자의 예측에 의한 적응효과까지 개선한 transformed up-down법 등이 개발되어 적용되고 있다. 한계법의 경우 실험 방법 및 분석법이 간단하여 적용이 쉬운 장점을 가지나 충분한 사전실험이 요구되는 단점이 있으며, transformed up-down법의 경우 결과의 bias를 줄일 수 있으나 그 절차가 복잡한 한계를 갖는다. 이에 이 연구에서는 한계법을 적용하여 JND를 도출하였다. JND 청음평가는 이미 제작된 9개의 신호를 사용하였고, 10명의 20대 정상 청력자가 지원하여 청감실험 전용 청음실에서 헤드폰을 사용하여 진행되었다.

### 4.2 청음평가 결과

마찰 이음은 구동음의 크기로 인한 마스킹 효과에 의해 사용자가 인지하지 못하는 경우도 발생한다. 따라서, 제작된 9개의 신호를 사용하여 이음 인지 한계점을 확인하고, 그 이음 음압의 토날리티값을 이용하여 인덱스를 개발할 것이다.

Fig. 6은 이음의 음압 레벨과 이음의 인지율에 대한 관계를 보여준다. 이 결과에 의하면 이음부의 음압을 40 dB 감소시켰을 때, 이음 인지율이 0%라는 것을 확인하였고, Table 1로부터 토날리티값은 0.18임을 알 수 있다.

## 5. 이음 인덱스 개발

마찰 이음은 인쇄 구동음과 동반하여 발생하므로

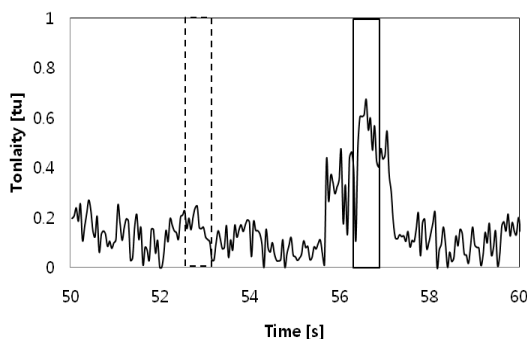


Fig. 7 Segment selection for operating sound of a printer to normalize the tonality

순수한 이음만을 분석하는데 어려움이 있다. 따라서, 구동음이 배제된 순수한 마찰 이음을 분석하기 위해선 배경음이 포함된 이음의 토날리티값 보다는 구동음을 표준화(normalizing)한 상대적인 값이 필요하다.

### 5.1 표준화하는 방법(normalizing)

표준화는 프린트의 급지를 여러장 인쇄하여 그 중 이음이 발생하였을 경우, Fig. 7에서 보여주는 바와 같이 실선안에 있는 이음부의 토날리티와 점선 안에 있는 이음발생의 한 주기 앞의 이음이 발생하지 않은 구동부의 음에 대한 토날리티의 상대적인 값을 이용하여 구하고자 한다. Normalizing을 통한 제안은 상식적인 방법이지만, 가장 효과적인 방법이기도 하다. 특히 토날리티를 통한 normalizing은 이음 설명에 적합하다고 판단하였다.

실선으로 표시된 상자는 이음이 발생하는 구간으로 최대 토날리티가 발생하는 곳을 기준으로 ±0.25초인 총 0.5초 구간이다. 점선으로 표시된 상자는 이음이 발생하지 않은 총 0.5초인 구동음 구간의 토날리티며, 실선 상자에서 한 주기 앞선 위치이다. 예를 들어, 인쇄속도가 16 ppm(paper per minutes)인 프린터라면 한 장 인쇄 시간은 3.75초이며 점선 상자는 실선 상자보다 시간적으로 3.75초 앞선 위치이다. 따라서, 식 (6)과 같이 이음부의 토날리티를 구동부의 토날리티로 나누어 표준화 하여 인덱스를 제작한다.

$$Index = \frac{Pick\ up\ Noise\ Tonality}{Operating\ Sound\ Tonality} \quad (6)$$

Table 2 Comparison between tonality of pick up noise and that of operating sound and index values

Experiment number	Pick up noise tonality	Operating sound tonality	Index
1	0.35	0.12	2.92
2	0.42	0.14	3.00
3	0.45	0.14	3.21
4	0.3	0.09	3.33
5	0.44	0.08	5.50
Average tonality	0.39	0.11	3.55

### 5.2 인덱스 개발

Fig. 6의 결과로부터 청음평가를 통해 이음 부를 40 dB 낮췄을 때 이음 인지율이 0%이라는 것을 알 수 있다. 그리고 그때의 토날리티값은 0.18이었다. Table 1로부터 구동음의 토날리티가 0.17임을 확인하였다. 따라서 이음인지 한계의 토날리티값인 0.18과 구동음의 토날리티값인 0.17의 표준화로 1.06의 인덱스값을 얻었다. 이 값이 이음 인지의 임계치이다. 이음과 구동음의 토날리티 비율이 1.06 이상이면 이음이 존재함을 알 수 있고 동시에 그 값이 크기에 따라 구동음에 비해 이음이 포함된 소음의 크기가 크다는 것을 알 수 있다. 1.06의 값은 청음평가를 이용하여 normalizing한 값인, 여러 대의 프린터가 바뀔 때 마다 이 값은 거의 바뀌지 않는다. 청음평가를 엄격한 기준으로 하였기에, 1.06 이하라면 이음 발생하지 않는다고 판단할 수 있다. Table 2는 5회의 이음 측정 실험을 통해 이음부분과 구동 부분의 토날리티값과 그 표준화된 비율을 나타낸 것이다.

## 6. 이음 인덱스를 통한 최적화된 부품 조합

이 실험에서 이음의 영향을 주는 급지 부분의 구성부품인 스프링 힘, 스프링 상수, 마찰패드의 마찰 계수, 마찰패드의 경도의 물리적 변수를 변화시켜 이음을 줄이는 설계 방안을 제시하였다. 이는 이음 발생의 원인이 마찰에 의한 것이라고 판단하였기에 관련된 자유물체도를 이용하여 발체하였고, 급지 오류가 발생하지 않는 설계 범위 내에서 실험하여 인덱스를 구하였다. 또한 이 실험에서 교호작용을 방

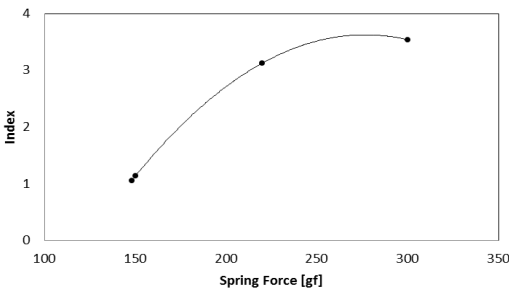
지하기 위하여, 각 각의 요소를 변경할 시 나머지 요소는 고정하였다.

### 6.1 스프링 힘(Spring force)

스프링 힘 변경 실험에서 스프링 힘 이외에 요소

**Table 3** Relationship between index values and spring force

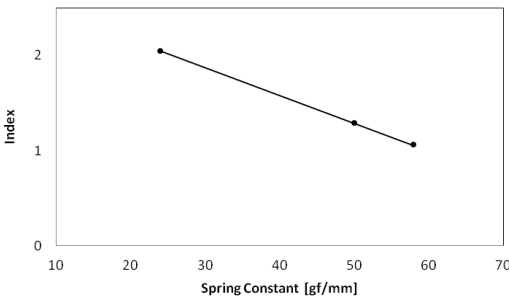
Signals	150 gf	220 gf	300 gf
Pick up noise	0.12	0.38	0.4
Operating sound	0.11	0.12	0.11
Index	1.14	3.13	3.54



**Fig. 8** Curve fitting of pick up noise index for spring force

**Table 4** Relationship between index values and spring constant

Signals	24gf/mm	50gf/mm
Pick up noise	0.41	0.27
Operating sound	0.20	0.21
Index	2.05	1.29



**Fig. 9** Curve fitting of pick up noise index for spring constant

들은 변수가 되지 않도록 일정하게 유지시킨 후 150 gf, 220 gf, 300 gf인 총 3가지 종류의 스프링을 사용하였다. Table 3의 결과를 보면 스프링 힘이 증가하면 이음 인덱스값이 커지는 것을 볼 수 있다. Fig. 8은 인덱스값을 그래프로 나타낸 것이다. 따라서 이음 측면에서 스프링 힘은 작아지는 방향으로 설계하는 것이 바람직하다. 스프링 힘의 임계값으로 147.98 gf로 예측할 수 있고, 이는 이음 인덱스 한계치인 1.06이다.

### 6.2 스프링 상수(Spring constant)

스프링 상수 변경 실험에서 스프링상수 이외에 요소들은 변수가 되지 않도록 일정하게 유지시킨 후 24 gf/mm, 50 gf/mm인 총 2가지 종류의 스프링을 사용하였다. 여기서 스프링 상수는 자유물체도에서  $k_x$ 를 의미하며  $k_y$ 는 변하지 않는다고 가정한다.

Table 4 결과를 보면 스프링 상수가 증가하면 이음 인덱스값이 작아지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 9는 인덱스값을 그래프로 나타낸 것이다. 따라서 이음 측면에서 스프링 상수는 커지는 방향으로 설계하는 것이 바람직하다. 스프링 상수의 임계값으로 57.87 gf/mm로 예측할 수 있고, 이는 이음 인덱스 한계치인 1.06이다. 이 결과는 식 (4)에서 이론적으로 설명된 결과와 동일하다.

### 6.3 마찰패드의 마찰계수(friction coefficient)

마찰패드 변경 실험에서 마찰패드의 마찰 계수 이외에 요소들은 변수가 되지 않도록 일정하게 유지시킨 후 0.8, 1인 총 2가지 종류의 마찰패드를 사용하였다. Table 5의 결과를 보면 마찰 계수가 증가하면 이음 인덱스값이 커지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 10은 인덱스값을 그래프로 나타낸 것이다. 따라서 이음 측면에서 마찰계수는 커지는 방향으로 설계하는 것이 바람직하다. 마찰패드의 임계값으로 0.76으로 예측할 수 있고, 이는 이음인덱스 한계치인 1.06이다.

### 6.4 마찰패드의 경도(hardness)

마찰패드 변경 실험에서 마찰패드의 경도 이외에 요소들은 변수가 되지 않도록 일정하게 유지시킨 후 H53, H80인 총 2가지 종류의 마찰패드를 사용하였다. Table 6의 결과를 보면 마찰 계수가

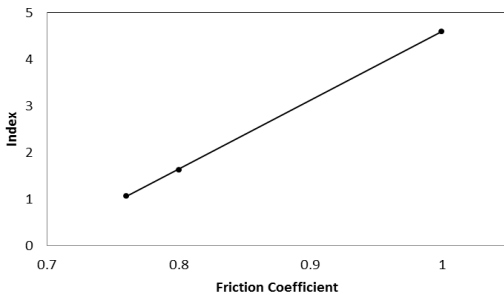
증가하면 이음 인덱스값이 커지는 것을 확인할 수 있다. Fig. 10은 인덱스값을 그래프로 나타낸 것이다. 따라서 이음 측면에서 마찰계수는 커지는

방향으로 설계하는 것이 바람직하다. 마찰패드의 임계값으로 H19.29로 예측할 수 있고, 이는 이음 인덱스 한계치인 1.06이다.

### 7. 결 론

**Table 5** Relationship between index value and friction coefficient

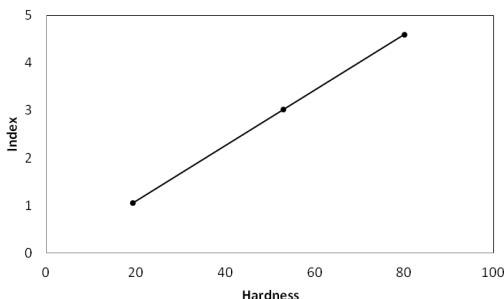
Signals	FC 0.8	FC 1
Pick up noise	0.20	0.32
Operating sound	0.12	0.07
Index	1.62	4.59



**Fig. 10** Curve fitting of pick up noise index for friction coefficient

**Table 6** Relationship between index values and friction hardness of friction pad

Signals	H53	H80
Pick up noise	0.37	0.32
Operating sound	0.12	0.07
Index	3.02	4.59



**Fig. 11** Curve fitting of pick up noise index for hardness of friction pad

이 연구에서 음질 지표의 하나로 사용되는 토날리티를 이용하여 이음 인식 한계점을 청음평가를 통해 이음 인덱스를 개발하였다.

이는 이음부와 이음이 발생하지 않은 구동부의 비율이며, 이음 존재의 여부는 이 값이 1.06을 기준으로 한다. 이음 인덱스 개발을 통하여 이음의 영향을 주는 급지 부분의 구성 부품인 스프링과 마찰패드에서 스프링 힘, 스프링 상수, 마찰패드의 마찰계수, 마찰패드의 경도를 변경하여 이음의 제거 및 저감을 위한 가이드를 제시하였다. 이음이 발생한 경우에 모두 임계 이음 인덱스값인 1.06을 초과하는 수치를 가지고 있었으며, 이음 발생의 영향을 미치는 구성요소의 설계 가이드는 다음과 같이 요약된다.

- ① 스프링 힘은 작은 값으로 해야 한다.
- ② 스프링 상수값은 큰 값으로 설계해야 한다.
- ③ 마찰 계수값은 작은 값으로 설계해야 한다.
- ④ 마찰 경도는 작은 값으로 설계해야 한다.

이 연구에서 각각의 임계값은 스프링 힘 147.98 gf, 스프링 상수 57.87 gf/mm, 마찰 계수 FC 0.76, 마찰패드 경도 H19.29이다.

### 후 기

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

### 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) Popp, K. and Stelter, P., 1990, Stick-slip Vibration and Chaos, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, Vol. 332, No. 1964, pp. 89~105.

(3) 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.

(4) You, J. and Jeon, J. Y., 2008, Just Noticeable Difference of Sound Quality Metrics of Refrigerator Noise, Noise Control Engineering Journal, Vol. 56, No. 6, pp. 414~424.

(5) Semal, C. and Demany, L., 2006, Individual Differences in Sensitivity to Pitch Direction, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 120, No. 6, pp. 3907~3915.

(6) Bernstein, J. G. W. and Oxenham A. J., 2006, The Relationship Between Frequency Selectivity and Pitch Discrimination: Effects of Stimulus Level, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 120, No. 6, pp. 3916~3928.

(7) Eddins, D. A. and Bero, E. M., 2007, Spectral Modulation Detection as a Function of Modulation Frequency, Carrier Bandwidth, and Carrier Frequency Region, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 121, No. 1, pp. 363~372.

(8) Gockel, H. E., Moore B. C. J., Carlyon R. P. and Plack, C. J., 2007, Effect of Duration on the Frequency Discrimination of Individual Partial in a Complex Tone and on the Discrimination of Fundamental Frequency, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 121, No. 1, pp. 373~382.

(9) Gelfand, S. A., 1998, Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics, Marcel Dekker. Inc, New York.

(10) Levitt, H., 1971, Transformed Up-down Methods in Psychoacoustics, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 49, No. 2, pp. 467~477.