한국소음진동공학회 창립 20주년 기념 2010년 춘계학술대회논문집, pp.676~677

# 프린터 exit-roller 부싱의 이음 발생 메커니즘에 관한 연구

## Study of bushing-generated noise on an exit-roller of a laser printer

최현석* · 장경환** · 김철호†*
Hyeunseok Choi, Cholho Kim and Kyunghwan Jang

## 1. 서 론

사무용 기기와 가정용 기기등과 같은 전자 제품에는 모터, 기어, 롤러와 같은 회전 운동을 하는 다양한 기계 부품을 포함하고 있다. 이러한 부품들은 모터와 같은 동력장치에 연결되어 운동에너지를 전달하거나 대상물의 이송, 특정한 운동 궤적을 구현하는 등의 여러 가지 목적으로 시스템에 적용된다. 회전이나 직선 운동을 구현함에 있어서 원활한 움직임과 부품의 고정을 위해 일반적으로 베어링을 사용한다. 베어링은 운동체의 운동 방향을 고정시키며 운동체와 고정체 사이에 마찰에 의한 마모나 소음을 방지 하기 위해 적용하고 있다. 특히 실내 사무실이나 가정 내에서 사용되는 전자/전기 기기는 사용자와 기기간의 거리가 가까워서 사용자가 소음에 대해 민감하므로 운동체와 고정체 간의 마찰에 의한 소음이 설계 시 고려해야 할 중요한 요소이다. 그래서 이러한 기기들을 설계 및 제작할 때에는 베어링의 선정과 적용이 매우 중요하게 된다.

베어링의 종류에는 그 사용 목적이나 적용 대상의 특성에 따라 매우 다양하게 개발되고 있다. 부싱(Bushing)은 평베어링(plane bearing)의 한 종류로서 그 구조가 간단하고 경량화, 소형화가 용이하며 플라스틱, ABS 수지 등의 다양한 재료로 제작이 가능하다. 플라스틱 재료를 사용하여 사출 공정으로 제작을 함으로써 단가가 매우 낮고 가벼워 가정용, 사무용 기기와 같은 제품에 많이 적용되고 있다.

베어링이 회전 운동을 할 때에는 비록 마찰이 최소화 되더라도 미세한 마찰소음이 발생하며 운동 시간이 지남에 따라 베어링의 마모, 윤활 조건의 변화, 온도 상승에 따른 공차 변화, 분진/오염물질에 의한 마찰 등의 여러 가지 원인에 의해 소음이 발생하고 사용자가 불쾌하게 느낄 정도의 이음(이상 소음)이 발생하기도 한다.

본 연구에서는 많은 회전체를 가지고 있으며 다양한 베어링이 적용되고 있는 레이저 프린터에서 인쇄용지의 배출 롤러축 부싱(exit-roller shaft busing)에서 발생하는 소음에 대한 연구를 수행하였다. 레이저 프린터에는 축회전을 하는 다수의 롤러와 부품, 구동기가 존재한다. 이러한 회전축에는 진동과 소음 방지를 위해 다양한 종류의 베어링이 적용되고 있다. 제품의 초기에는 베어링에서 발생하는 소음이 유효수준이 아니지만 사용 시간이 지날수록 베어링의 성능저하로 인한 이음 발생이 보고 되고 있다. 실내에서 사용자 근접거리에서 사용되는 프린터에서 이음 발생은 매우 중요한 소비자 불만사항이 될 수 있는 요소로서 장기간 사용하더라도 소음이 발생하지 않는 프린터의 제작을 위해 많은 노력이 투자되고 있다.

우리는 본 연구에서 부싱의 수명 성능 시험하기 위한 가속 수명 시험법에 대한 연구를 수행하였으며, 부싱에서의 이음 발생 메커니즘에 대한 연구를 수행하였다. 가속 수명시험을 위한 시험 장비를 개발하고 발생하는 이음에 대한 주파수 분석과 마모 분진에 대한 분석을 통해 이음이 발생하는 원인을 규명하고자 하였다.

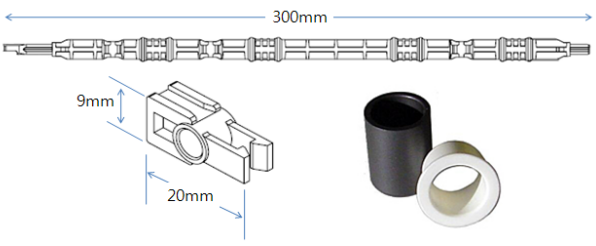



Fig. 1 Shape and size of bushing and exit-roller shaft

## 2. Exit roller shaft 와 Bushing

### 2.1 절 Bushing 과 roller

부싱과 롤러축의 재질은 서로 다르게 제작되고 있다. Bushing 은 내마모성이 좋고 shaft 와의 마찰 정도가 낮은 재료로 POM (Doupont Delrin DE8903)이

† 교신저자; 한국생산기술연구원
E-mail : cheolho.kim@kitech.re.kr
Tel : (041) 589-8114, Fax : (041) 589-8460
* 한국생산기술연구원, 생산시스템연구부
** 삼성전자, Digital printing division

사용되었으며 shaft 재료는 PBT +(GF+MF)40%로 제작되었다. Bushing 과 Shaft 의 크기와 형상은 Fig. 1과 같다.

### 2.2 절 이음 발생 메커니즘

조립 상태의 부싱과 롤러축은 면접촉을 하고 있다. Fig. 2 는 베어링과 축 사이에서 발생하는 이음 메커니즘의 모델을 나타내고 있다. 두 부품의 접촉면에서의 마찰력에 의해 축에 비틀림 탄성 에너지가 저장되었다가 일정 수준에서 접촉면의 미끄러짐이 발생하며 탄성에너지가 축에 진동을 만들어 이음이 발생하는 것으로 판단된다.

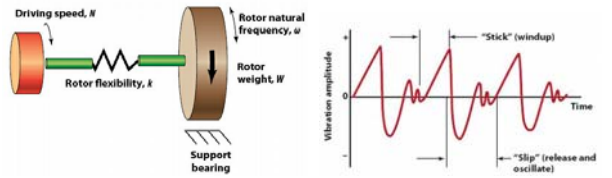
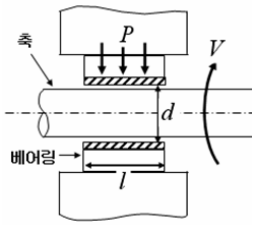



Fig. 2 Stick-Slip Model of shaft and busing

축이 회전운동을 하는 동안 저장 되어지는 탄성에너지는 축이 받는 하중이 부싱에 전달하는 면압과 부싱과 만나는 면의 특성에 따라 결정되어 진다. Fig. 3는 면압과 선속도에 대한 모델을 나타낸다. 식에서 보는 바와 같이 축의 반경방향의 하중에 의해 면압이 결정된다.




$d$ : 베어링 내경
$l$ : 베어링 길이
$N$ : 축 회전수
$F\,(kgf)$ : 베어링 반경방향 하중

$$V(\text{선속도}) = \frac{\pi d N}{10^2}\left(m/min\right)$$

$$P(\text{면압}) = \frac{F}{d\,l}\left(kgf/cm^2\right)$$

**Fig. 3 Schematic of bearing model**

## 3. 실험 결과

### 3.1 FEM 해석

발생 이음의 특성은 Fig. 2의 모델과 같이 축의 강성 k 와 하중 그리 형상에 의해 결정되어진다. 축의 FEM 해석을 통해 발생이음의 주파수를 예측하였다.

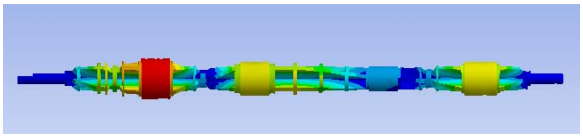


**Fig. 4 Shaft FEM simulation result**

Table 1. Material properties of shaft

| | |
|---|---|
| Density | 1.72198 |
| Young`s Modulus | 9987 MPa |
| Poisson`s Ratio | 0.33 |
| Mass | 2.4574e-2 kg |

위의 시뮬레이션을 통해 약 2.7kHz 에서 비틀림에 의한 진동 특성이 있음을 알 수 있다.

### 3.2 가속 수명 시험 및 이음 주파수 분석

(1) 가속 수명 시험 장치

모터를 이용하여 부싱과 조립된 롤러축을 연속적으로 회전시킴으로써 가속 수명 시험을 수행하였다. 가속 환경으로써 축에 가하여지는 하중과 온도를 선정하였다. 하중과 온도에 따라 마찰에 의한 마모에 차이가 있으며 조건들의 가속계수가 변화하였다. Fig.5 의 우측 그림과 같이 가속 시험중 발생된 분진들은 부싱 주변에 부착되어 있으며 이러한 분진에 의해 접촉마찰력이 상승하는 것으로 예측 된다.

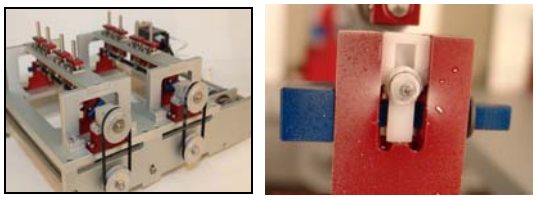


Fig. 5 가속 수명시험 장치과 시험 결과

(2) 이음 소음 분석

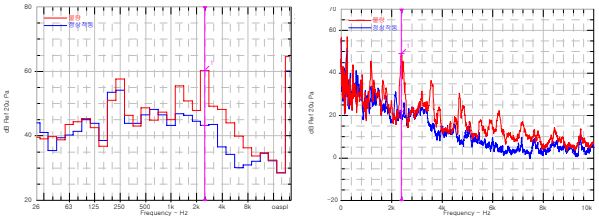


Fig. 6 1/3 Octave, Spectrum 이음 분석 결과

85℃ 환경에서 180rpm 으로 실험하였을 때 이음은 약 96 시간이 경과한 후 발생하였다. 약 2.6kHz 에서 소음이 증가하는 것을 확인하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 부싱과 롤로축과의 이음 발생 메커니즘을 제시하였으며 가속 수명 시험법을 개발하였다. 가속 수명 시험법으로 하중과 고온 온도조건을 제안하였으며 가속 수명시험을 통해 부싱의 이음을 재현하였다.