

고속주축 Ball Bush의 끼워맞춤 공차에 따른 열특성

A Study on the Thermal characteristics of High Speed Spindle according to the Interference of Ball Bush

*정다운¹, #김수예², 최대봉³, 김광용³

*D. W. Jung¹, #S.T. Kim(stkim@changwon.ac.kr)², D.B.Choi³, C.Y.Kim³

¹ 창원대학교 기계공학과, ² 창원대학교 기계공학과, ³ 한국기계연구원, ³ 화천기공(주)

Key words :High speed spindle, Ball bush, Thermal characteristic,

1. 서론

공작기계의 가공 정밀도에 영향을 주는 주요 요인은 정적특성, 동적특성, 그리고 열적특성이 있으며 그중에서 공작물의 가공정도 저하의 요인이 되고 있는 공작기계의 열적 특성에 의한 열변형 문제의 개선이 중요한 과제로 부각되고 있다. 고속주축에서는 무엇보다도 갑작스런 회전으로 인한 주축의 열팽창으로 고속주축베어링의 열응력이 매우 크게 발생하고, 고장의 가장 큰 원인으로 알려져 있다. 주축의 회전시 후반부 베어링의 열팽창에 따라 축방향으로 변형이 발생하게 된다. 미소한 열팽창에 대비하고자 축 미소팽창을 유연하게 하기 위하여 볼부시(Ball Bush)를 설치하는 구조를 많이 사용한다. 그러나 볼 부시의 적당한 조립공차를 유지하지 못하면 후반부 베어링 지지부의 열변형으로 인해 베어링의 축방향 운동을 보장하지 못하고 고착하게 되어 베어링의 수명 단축 및 축 떨림, 진동, 소음을 유발하게 된다.

본 연구에서는 고속 모터 내장형 주축의 후반부 베어링부의 열특성을 해석하기 위하여 유한요소법을 이용하여 주축계의 온도분포 및 열변형 해석을 수행하고, 온도분포 실험과 열변위 실험을 통하여 해석결과와 실험결과를 비교하여 고속주축 볼부시의 끼워맞춤공차에 따른 열특성을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험장치

후반부 베어링의 상부와 하부의 공간 틈새에 위치한 볼 부시에 의하여 발생하는 열적 거동을 측정하기 위한 실험장치를 Fig.1과 같이 구성하였다. 실험장치는 주축, 베어링부의 하부하우징, 볼부시의 상부하우징과 열공급 장치등으로 구성되어 있다. 베어링의 발열을 구현하기 위하여 베어링 위치에 가열기를 설치하여 온도를 제어할 수 있도록 하였다. Fig. 2에는 볼 부시의 형상과 사양을 제시하였으며 Fig. 3에 볼부시 틈새를 고려하여 제작한 세가지 틈새를 갖는 하부 하우징을 제시하고 있다.

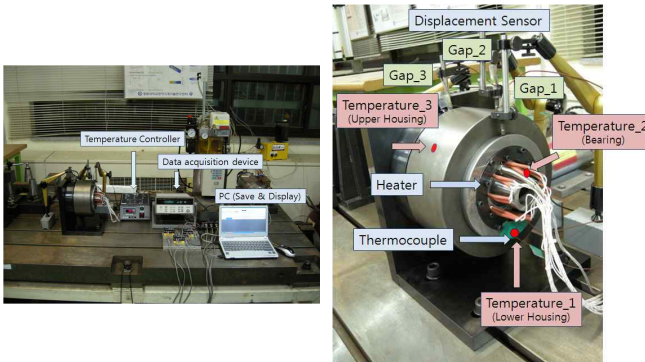


Fig. 1 Experimental equipment

2.2 실험방법

Table 1에 회전수와 상부·하부 하우징과 볼부시와의 틈새에 따른 실험조건을 나타내었다. ΔT 는 외기온도 기준으로 상승

온도를 적용하였다. 볼부시와 하우징의 틈새변화와 회전수에 따른 온도분포와 열변형을 측정하기 위하여 Table 2에 제시된 부위에 열전대와 변위 센서를 설치하여 변위와 온도를 측정하였다. 실험장치의 열변형은 비접촉 변위센서를 이용하여 Y축 반경 방향의 변위를 알아보기 위하여 설치하였으며, Gap1은 하부 하우징의 변위, Gap2는 상부 하우징의 외부 변위, Gap3는 상부 하우징 뒷 부분의 변위를 측정하기 위해 장착하였고, Fig. 1에 측정위치를 제시하였다.

Table 1 Test conditions

Spindle speed (rpm)	30,000	40,000	50,000
ΔT	25	33	51
Interference(μ m)	-10	0	+10

Table 2 Measuring points

	Measuring positions (Temperature)		Measuring positions (Displacement)
T_1	Lower housing surface	Gap_1	Lower housing surface
T_2	Bearing outer surface	Gap_2	Upper housing surface
T_3	Upper housing surface	Gap_3	Upper housing rear surface
T_4	Atmospheric temperature		



Fig. 2 Photograph of ball bush

Fig. 3 Photograph of three type lower housings

3. 주축의 해석

실험장치의 베어링 발열, 냉각특성 및 경계면에서의 열전달 특성을 고려한 온도분포 및 열변형 해석 수행을 위하여 다음과 같은 근사화하고 모델링을 수행하였다.

- 1) 열적, 구조적으로 축대칭으로 되어 있기 때문에 전체모델의 절반을 모델의 대상으로 하였으며 브래킷에 대한 것은 무시하였다.
- 2) 각 회전수에 따른 베어링의 발열을 고려하여 해당부위에 상당하는 열량이 공급되는 것으로 하였으며, 각 베어링의 발열은 베어링부 전체에서 균일하게 발열되는 것으로 가정하였다.
- 3) 주축계를 구성하는 각 부품들의 상태량은 온도의존성이 없고 일정하다고 가정하였다.

Fig. 4는 근사에 의해서 생성된 주축계의 유한요소 모델을 나타내고 있으며, Table 3에 해석모델의 상태량을 나타내었다.

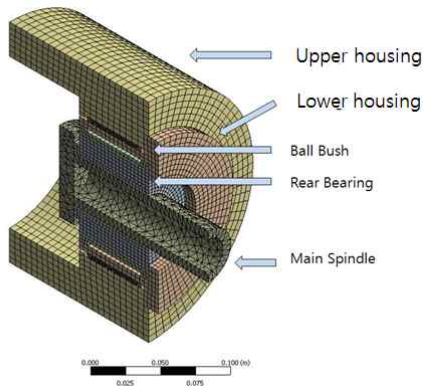
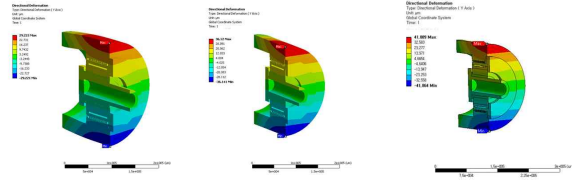


Fig. 4 FEM model of test equipment



(a) $-10\mu\text{m}$ (b) $0\mu\text{m}$ (c) $+10\mu\text{m}$
Fig. 7 Displacement of Y-axis according to the internal clearance

Fig. 6과 7은 후반부 베어링의 하우징과 볼 부시의 틈새($-10\mu\text{m}$, $0\mu\text{m}$, $+10\mu\text{m}$)에 따른 온도 및 열변위 해석결과이다. 주축의 온도 분포는 발열이 발생하는 베어링 부위에서 높은 온도분포를 보이고 있으며, 온도상승이 클수록 열변위도 크게 나타나고 있다.

Table 3 Material properties of the spindle system

Properties	Density $\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	Specific heat $C_p(\text{J}/\text{kg} \cdot \text{C})$	Thermal conductivity $k(\text{W}/\text{m} \cdot \text{C})$
Housing_upper (GC300)	7330	5665	55.8
Housing_lower (S45C)	7817	486	51.9
Bearing, Ball bush (SUJ2)	7860	473	41.9
Spindle (SCM415)	7850	475	44.5

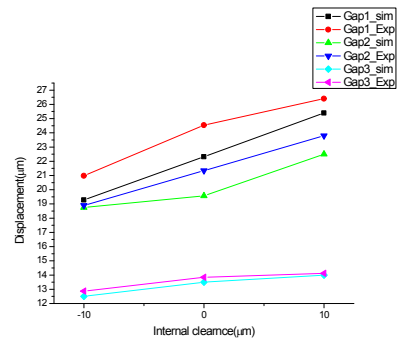
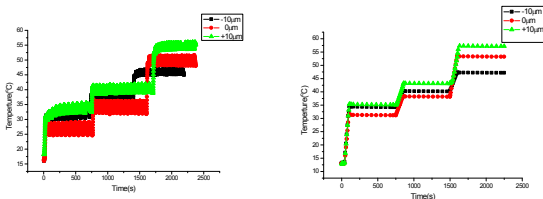


Fig. 8 Displacement of Y-axis of spindle

4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 후반부 베어링부의 하우징과 볼 부시의 틈새가 $-10\mu\text{m}$ 와 $0\mu\text{m}$, $+10\mu\text{m}$ 일 때의 회전수에 따른 후반부 주축계의 온도증가 분포를 $^{\circ}\text{C}$ 단위로 나타낸 해석결과이다. 실험과 시뮬레이션이 동일한 온도상승분포를 보이며, 주축의 회전수가 증가함에 따라 주축계의 온도가 증가함을 볼 수 있다. 볼부시의 세가지 틈새 중에서 주축의 회전수 30,000rpm과 40,000rpm에서는 $0\mu\text{m}$ 일 때 온도상승이 작으며, 50,000rpm에서는 $-10\mu\text{m}$ 일 때 온도상승이 가장 작게 나타나고 있다.



(a) Experiment (b) Simulation

Fig. 5 Temperature of the spindle

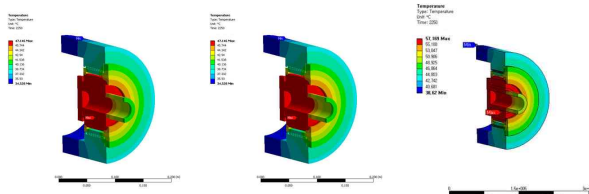
5. 결론

주축의 회전수 증가에 따라 주축의 온도 및 열변위가 증가하고, 볼부시와 하우징과의 틈새가 $+10\mu\text{m}$ 에서 온도 및 열변위가 가장 크게 나타나고 있으며, 회전수에 따른 온도상승이 작게 나타나는 볼부시 틈새가 존재하고 있음을 확인하였다.

향후 후반부 하우징과 볼 부시의 공차를 다양한 조건에 대하여 해석하고, 온도상승과 열변위를 최소화하는 적절한 공차를 분석하는 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 최대봉, 권희돈, 김수태, 김창용 “고속주축 Ball Bush의 끼워맞춤 공차에 따른 열특성의 실험적 고찰”, 한국공작기계학회, 춘계학술대회 논문집, pp 75, 2010.
2. Tedric A. Harris, "Rolling Bearing Analysis", John Wiley & Sons, Inc., 2001.
3. 이찬홍, 이재학, “고속주축 베어링 예압장치용 Ball Bush 가이드의 마찰 특성”, 한국정밀공학회, 춘계학술대회 논문집, pp. 21~22, 2009
4. 김웅, 이춘만, 황영국, “공작기계용 볼 베어링의 역지끼워맞춤과 내부틈새변화에 관한 해석적 연구”, 한국정밀공학회지 제 25권, 제5호, p 135~141, 2009.
5. 백경근, 김수태, 최대봉, 김태형, “모터내장형 고속 주축계의 열특성 해석에 관한 연구”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp.138~143, 2000.



(a) $-10\mu\text{m}$ (b) $0\mu\text{m}$ (c) $+10\mu\text{m}$

Fig. 6 Temperature distribution according to the internal clearances