

고속 베어링 예압장치의 축방향 운동성능 Axial Moving Performance of High Speed Bearing Preload Units

*이찬홍¹, #김창용²

*C. H. Lee(chlee@kimm.re.kr)¹, #C. Y. Kim²

¹ 한국기계연구원 나노융합생산시스템본부, ² ㈜화천기공

Key words : High Speed Bearing, Axial Movement, Bearing Preload Units, Main Spindle

1. 서론

공작기계 설계분야에서 부품의 고생산성 제조를 위한 장비설계 방법론은 여러 가지가 있지만 고속주축을 이용한 생산성 향상은 그 효과가 분명하고 고객이 지속적으로 요구하는 부분으로서, 설계 시 주축의 고품질 Spec. 을 충분히 고려해야 한다.

고속 주축은 공작기계의 생산성을 높이는 역할을 하기도 하지만, 만약 주축의 고장으로 인해서 공작기계가 정지하게 되면 고도의 조립기술이 필요한 주축은 유니트 단위로 분해하여 수리가 실행해서 시간이 많이 소요되고, 이에 따르는 연쇄 공정정지라는 큰 문제를 야기시킨다. 그래서 고속 주축은 제작할 때부터 최소한의 무고장 보증이 매우 중요하다. 통계에 따르면 고속주축의 고장원인 첫째는 베어링 손상으로서 1 차적인 시작점은 주축충돌로 인한 것이고, 2 차적인 시작점은 주축대 내부에서 조립상태 변화로 인한 과발열과 마멸에 의한 것이었다. 결국 정상적인 고속 주축 운전시에는 주축의 열팽창 문제가 가장 커서, 열팽창을 흡수하고 베어링 예압을 유지할 수 있도록 많은 경우 후단 베어링에 Ball Bush 타입 예압장치를 설치하게 된다.

이 예압장치는 주축대 내에 삽입되어 장시간 사용하게 되면 마찬가지로 열변형을 일으켜 불부위에서 마찰력이 큰 폭으로 증가할 수 있다. 그래서 고속베어링용 예압장치는 축방향 작동여부를 장시간에 걸쳐서 파악을 해야 하고, 작동 응답속도도 관찰되어야 한다. 고속 베어링은 짧은 시간의 과부하 발열에도 레이스가 손상되고, 이 손상은 지속적으로 회전시 볼의 부하를 받아 급격히 손상범위가 커진다.

그래서 본 논문에서는 Ball Bush 타입 베어링 예압장치가 장시간의 운전상태로 열변형이 된 상태에서도 축방향 작동이 잘 수행되는지 관찰하고, 작동 응답속도도 충분히 빠른지 측정 평가하였다.

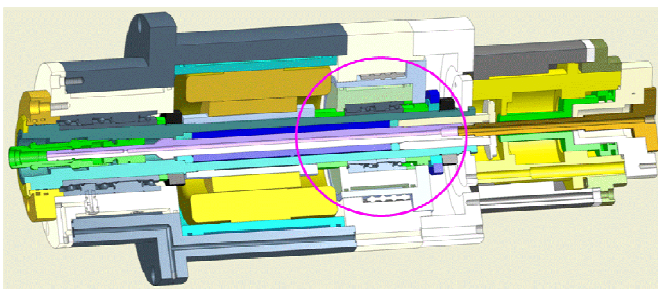


Fig. 1 Ball Bush Type Preload Units of Main Spindle's Bearing

2. Ball Bush 타입 고속 베어링 예압장치의 실험조건

Ball Bush 타입의 고속 베어링 예압장치는 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 수백 개의 볼이 주축대의 큰 구멍에 볼접촉을 하고 있어서 예압장치의 축방향 이동마찰을 매우 작게 하고, 정해진 예압력을 후단 베어링에 항상 공급하는 역할을 한다. 예압력은 일반적인 소형 스프링을 10 개 이상 장착하여 300 N ~ 700 N 정도가 되도록 하고, Ball Bush 조립공차는 주축의 정밀도를 위해서 10 ~ 20 μm 정도 주축대와 억지끼워맞춤을 하였다.

정상적인 고속회전 시 주축은 전후부 베어링에서의 발열 때문에 후단으로 팽창을 해서 예압장치도 따라서 후단

방향으로 이동한다. 반대로 주축이 회전을 하지 않아 냉각되면 주축이 수축해서 예압장치도 전부 방향으로 이동하게 된다. 만약 주축대내의 열변형 때문에 억지끼워맞춤이 급격하게 높아지면 예압장치가 고착될 수도 있다. 이러한 현상은 습동면 타입 예압장치에서 빈번히 발생된다. Fig. 2 의 실험주축은 4 만 rpm 급 고속주축으로서 전후부 베어링 상면에 냉각자켓을 설치하였고, 내장형 모터의 Stator 상면에도 냉각을 해서 주축내의 발열이 타 부위로 전도되는 것을 억제하였다. 또한 예압장치도 과열을 막기위해서 냉각자켓을 추가로 설치하였다. 그러나 회전주축은 냉각방법과 공간 때문에 냉각을 하지 못한다. 냉각장치는 인버터 타입의 냉각기를 채용해서 고속 베어링과 모터의 발열에 상응하게 동작하도록 하였다.

그러나 주축내의 열은 냉각자켓 주위를 돌아 다른 부위로 전도되는 열량이 반듯이 존재하므로 주축대의 전부와 후부의 열변위는 불가피 하다. 주축의 선단에는 HSK 접속 Shank 를 갖는 측정바를 장착해서 회전중에도 주축의 축방향 변위를 측정하도록 하였다.



Fig. 2 Experimental Set-up of High Speed Spindle with 40,000 rpm

3. 베어링 예압장치의 축방향 작동성 및 응답성

고속주축의 회전 시 주축의 후단부 방향으로 열팽창이 생기므로 베어링 예압장치가 열팽창에 상응하게 당겨주는 역할을 하게 돼서 주축의 열팽창량과 예압장치의 축방향 변위가 거의 동일해야 한다. 그러나 전부 베어링의 고속회전시 볼의 원심력 때문에 원래 회전 레이스 접촉점을 벗어나 다른 위치에서 볼접촉이 일어나서 고속 회전 주축에서는 주축이 전부 방향으로 돌출 된다. 또한 후부 베어링에서도 동일한 역학이 발생한다. 그래서 예압장치의 변위는 주축의 열팽창 량보다 확대되어 측정된다.

본 논문에서는 우선적으로 예압장치의 장시간 축방향 작동성능을 측정해야 하므로, 주축을 장시간 다양한 회전수로 변화시키면서 회전을 시켜 주축대의 내부 열변위를 야기시켰고, 이후에 회전수를 5,000 rpm 씩 상승시켜 2 만 rpm 까지 예압장치의 축방향 변위량을 1 초에 한번씩 측정하였다. 변위량은 순수한 축의 열팽창과 급속 회전수 상승으로 인한 축의 돌출량을 누적한 값으로 나타나고 있다.

Fig. 3 에는 예압장치의 축방향 이동량을 회전수 0, 5000, 10000, 15000, 20000 rpm 까지 단계별로 상승시키면서 측정하였는데, 순간 상승폭이 5000 rpm/6 μm , 10000 rpm/5.5 μm , 15000 rpm/7 μm 20000 rpm/9.5 μm 정도가 되었다. 평균적으로는 회전수가 상승할수록 예압장치의 축방향 이동량이 커지고 있다. 그림에서 변위량이 서서히 증가하는 것은 축의 열팽창으로 인한 영향이고, 갑작스러운 계단식 변위는 축의 돌출로 인한 영향이다. 그림에서 보듯이 저속의 열변위에도 잘 적응해서 예압장치의 움직임이 원활하고, 갑작스러운 주축의 이동에도 예압장치는 잘 반응하고 있음을 나타내고 있다.

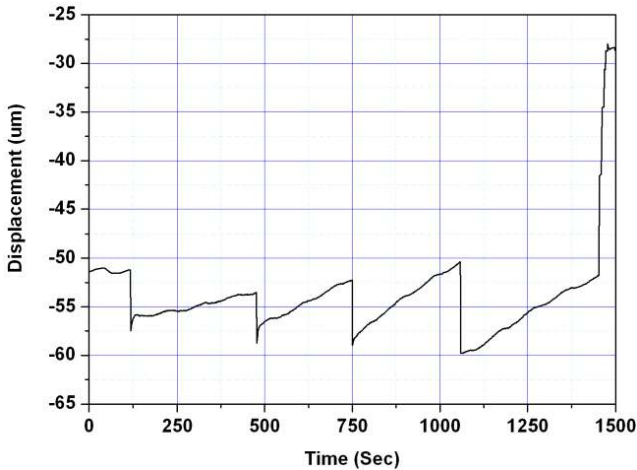


Fig. 3 Axial Displacement of Bearing Preload Unit with Speed

Fig. 4 에는 베어링 예압장치가 주축의 움직임에 얼마나 빠르게 반응하는 지, 측정하기 위해서 고속 A/D 보드를 이용하여 2,000 Hz 속도로 예압장치의 이동량을 Fig. 3 의 측정과 동시에 측정하였다. Fig. 3 에서는 1000 초 근처의 계단형태 데이터를 고속으로 데이터를 획득하였다.

Fig. 4 에서 보이듯이 갑작스런 회전속도의 변화로 예압장치가 약 9.5 μm 이동하였고, 이동량 응답속도는 총 0.5 초로 나타났다. 주축 회전속도의 상승시간을 감안하면 예압장치의 순수 응답속도는 최대 0.3 초 이내일 것으로 예상된다. 응답속도의 신뢰성을 위해서 2 시간 간격에 4 개 회전수에 대해서 3 번 실시하였고, 비슷한 응답속도를 얻었다. 회전속도가 증가할수록 응답속도가 약간 늦어지는 경향이 있지만 차이가 미미 하였다. 그래서 Ball Bush 타입 베어링 예압장치의 응답속도로는 충분한 것으로 판단된다.

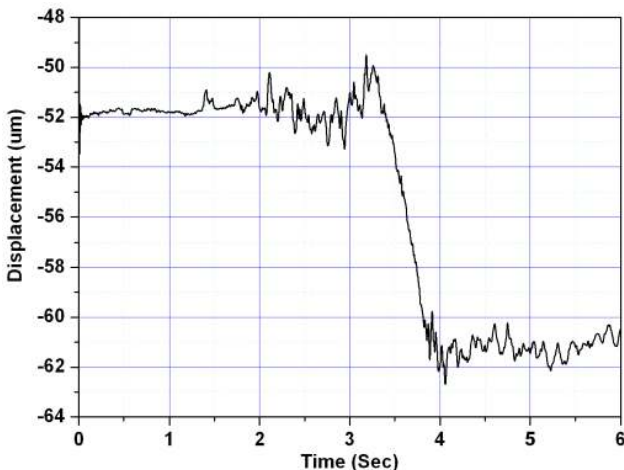


Fig. 4 Axial Displacement of Preload Unit in 20,000 rpm

4. 결론

1. 40,000 rpm 급 고속주축의 베어링 예압장치로서 Ball Bush 타입 안내기구를 적용하였다.
2. 급속 주축회전으로 인한 주축의 돌출현상을 이용해 예압장치의 작동성을 평가한 결과, 주축의 빠른 축방향 이동과 느린 열변위 현상 모두에 적응해서 작동이 잘 되었다.
3. 주축의 축방향 이동에 대한 예압장치의 순수 응답속도는 최대 0.3 초 이하 이다.

참고문헌

1. Tedric A. Harris, Mi chael N. Kotzalas, "Rollings Bearing Analysis," fifth edition, Taylor & Francis, 2007.
2. Spechtel, Berthold, "Das Verhalten von Waelzlagern unter hohen Winkelbeschleunigungen," Shaker Verlag, 2002. 6.
3. "NSK Technical Journal," NSK, 2003.12.