

고속주축 베어링 예압장치용 Ball Bush 가이드의 마찰특성 The Friction Characteristics of Ball Bush Guide in Bearing Preload Units of Main Spindles

*이찬흥¹, #이재학²

*C. H. Lee(chlee@kimm.re.kr)¹, #J. H. Lee²

^{1,2} 한국기계연구원 나노융합생산시스템본부

Key words : Friction, Ball Bush Guide, Bearing Preload, Main Spindle

1. 서론

부품제조업의 세계적 경쟁력은 부품 가공단가를 최소화하여 유지하는 것이다. 이러한 목적을 위해서는 채용한 공작기계의 생산성을 최상으로 유지해야 한다. 그래서 가공기술과 공작기계 요소기술은 균형있게 발전해야 하는데, 가공기술에 관련되는 공구의 재료기술은 이미 현재 필요 수준을 달성한지 오래된 상태이다. 나머지 공작기계의 핵심요소 유니트에 대한 성능개선 요구가 높아지고 있는데, 이러한 요구사항 중에 공작기계의 고속화에 결정적인 역할을 하는 고속 주축은 특별히 공작기계 구매자의 관심 대상이 되고 있다.

고속 주축은 현재 2 만 rpm 급의 주축이 주류를 이루고, 새로 개발이 되는 초미세 가공이나 금형 가공기에서는 4-5 만 rpm 의 주축을 속속 채용하고 있다. 이렇게 매우 높은 회전수의 고속 주축에서는 무엇보다도 갑작스런 회전으로 인한 주축의 열팽창으로 고속 주축베어링의 열응력이 매우 크게 발생하고, 고장의 가장 큰 원인으로 알려져 있다. 그래서 Fig. 1 에서 보인 바와 같이 전부 베어링은 고정을 시키고 후부 베어링을 열팽창에 따라 축방향으로 운동할 수 있게 예압장치 내에 설치하게 된다. 예압장치에서는 축방향으로 약 500N 정도로 스프링으로 당기고 있어서 열팽창에 대비를 하고 있다. 다만 이 예압장치는 미소한 열팽창에 항상 대비를 하고 신뢰성 있는 축이동을 보장하기 위해서 Ball Bush 를 설치하는 구조를 많이 사용한다. 그러나 이 Ball Bush 에 의한 지지구조도 적당한 조립공차를 유지하지 못하면 후부 베어링 지지부위의 열변형으로 인해 베어링의 축방향 운동을 보장하지 못하고 고착되게 된다.

그래서 본 논문에서는 Ball Bush 를 채용한 베어링 예압장치에서 Ball Bush 의 억지끼워맞춤 정도에 따른 축방향 마찰 특성을 이론과 실험을 통하여 파악하고, Ball Bush 의 사용 볼 사이즈에 따른 영향을 분석하였다. 또한 볼과 평판과의 접촉문제를 FEM 비선형 문제로 분석하여 미소 볼접촉 기구를 관찰하였다.

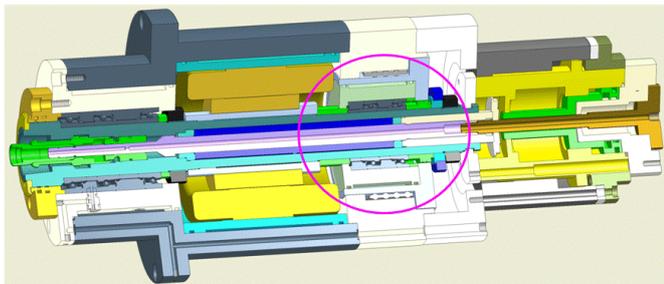


Fig. 1 Ball Bush Type Preload Units of Main Spindle's Bearing

2. Ball Bush 의 볼접촉 마찰기구 및 FEM 해석

Ball Bush 의 볼은 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 수백 개의 볼이 내외륜의 실린더에 볼접촉을 하고 있어서 예압장치의 축방향 이동마찰을 매우 작게 하는 역할을 한다. 이러한 수백 개의 볼접촉은 결국 하나의 볼접촉 기구를 확장한 것이므로, 여기서는 볼 한 개의 접촉 마찰기구에 대해서 분

석을 하였다.

Ball Bush 의 볼은 일반 공차조립인 경우 Fig. 2 의 왼쪽 그림과 같이 볼과 상하간의 평판과 접촉을 하는 상태이고, 억지끼워맞춤으로 조립하는 경우 상하의 평판에 하중을 가하여 평판과 볼 모두가 변형을 일으킨 오른쪽 그림과 같이 된다. 이런 상태에서 하단 평판이 이동을 하는 상황이 예압장치에서의 Ball Bush 거동이라고 할 수 있다.

예압장치에서는 하단 평판이 열팽창으로 열하중을 상단 방향으로 가하게 되고, 이 하중에 대해서 볼이 지지 역할을 하면서 하단 평판의 열팽창을 어느 정도 억제하고, 평판과 볼의 접촉으로 인해서 상하 접촉지점에 볼 자국이 형성된다. 또한 상하 평판에서는 반발 하중으로 인해서 응력과 수축변위가 발생한다. 열팽창으로 인한 하중은 매우 커서 몇 십 마이크로 미터의 팽창도 톤 단위의 하중을 발생시킨다. Fig. 3 에는 열하중이 가해진 상태에서 하단 평판을 당길 때 볼과 평판의 변위를 나타낸 것이고, Fig. 4 에는 하단 평판을 최소한의 힘으로 당길 때 나타나는 볼의 운동 궤적을 나타낸 것으로 볼이 움직일 때 약간의 진동현상이 나타난다. 이때를 최소 축방향 마찰력이 발생하는 것으로 생각할 수 있다.

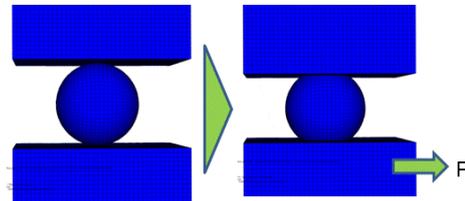


Fig. 2 Ball Contact and Ball Deformation

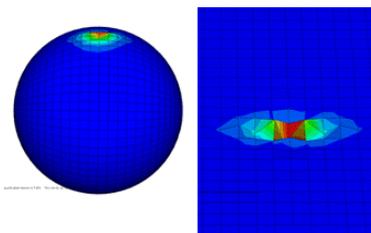


Fig. 3 Contact Deformation of Ball and Plane

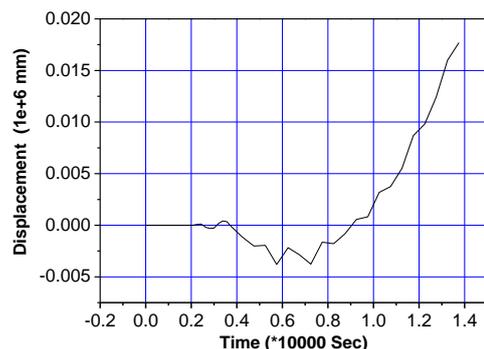


Fig. 4 Critical Move of Ball Bush at Interference 9 μm

3. Ball Bush Type 베어링 예압장치의 마찰특성 실험

Ball Bush 는 Fig. 5 의 상단과 같이 주축의 공간적 여유에 따라서 볼이 크고 개수가 작은 것을 채용할 수도 있고, 볼이 작고 개수가 많은 것을 채용할 수도 있다. 사진 실험에 의하면 볼의 사이즈가 크거나, 볼의 개수가 많으면 Ball Bush 에서의 축방향 마찰력이 작아지는 경향이 있기 때문에 Ball Bush 의 선택은 서로 상반된 인자를 가지고 있어서 알맞은 Ball Bush 의 선택이 쉽지 않다. 하단 실린더에서 동일한 열팽창이 일어날 경우, 큰 볼과 작은 볼 채용 Ball Bush 는 각각 역학적으로 평형상태에 도달할 것인데, 공통점은 열하중을 동일하게 지지할 것으로 예상된다. 이 가정을 바탕으로 각 볼 사이즈에서의 접촉깊이와 접촉면적을 계산할 수 있다. 단 접촉깊이는 같다고 해도 볼 사이즈가 작으면 반지름에 비해 접촉깊이가 상대적으로 커서 볼 구덩이를 빠져 나오는 힘, 즉 축방향 마찰력이 커야 한다.

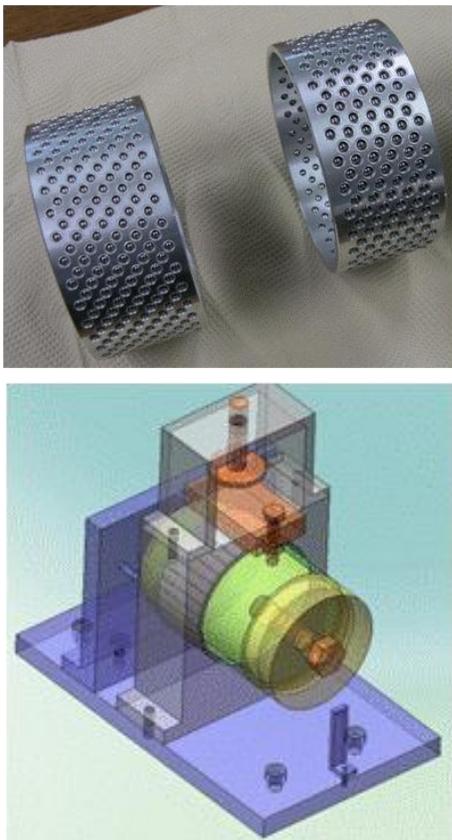


Fig. 5 Measurement of Friction Force in Preload Units

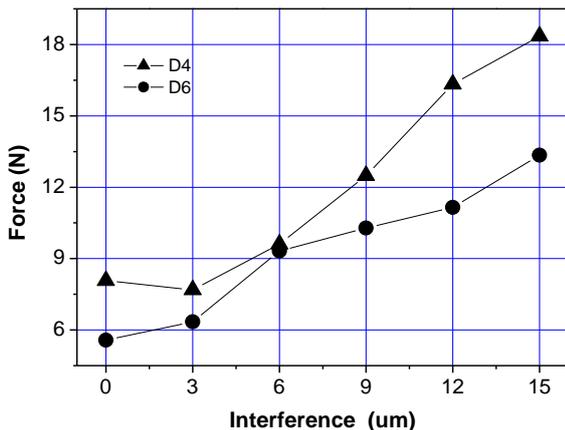


Fig. 6 Friction Force with Interference

Fig. 5 의 하단에는 실제 Ball Bush Type 예압장치의 마찰력이 얼마나 되는 지 확인하기 위한 실험장치 외관을 나타내었다. 이 장치에서 억지끼워맞춤의 정도에 따른 마찰특성 실험을 행하였다. 실험에 사용된 Ball Bush 는 외경 123mm (볼크기 4mm, 볼갯수 432 개)와 외경 127mm (볼크기 6mm, 볼갯수 240 개)로서 내경은 115mm 로 동일한 것을 사용하였다. 볼의 억지끼워맞춤은 0 에서 15 μm 까지 조절하면서 축방향 마찰력을 측정하였다.

이론적 계산에 의하면 볼 4mm Ball Bush 가 접촉깊이 2μm 인 경우 접촉 투사면적은 0.025mm² 이고 접촉각은 2.56도, 볼 6mm Ball Bush 에서는 접촉깊이 2.4μm 이고 접촉 투사면적은 0.045mm² 접촉각은 2 도 정도가 된다. 축방향 총 마찰력은 접촉각과 볼개수에 비례하기 때문에 각 Ball Bush 의 볼 개수를 접촉각에 곱하면 볼 4mm 일때가 마찰력이 큰 것이 나타났다.

Fig. 6 의 실험에서도 이론적 검토와 동일하게 나타났다. 볼크기 4mm 의 경우는 억지끼워맞춤 15μm 에서 18 N 을 나타내서 예상한 것보다 매우 작음을 알 수 있었다. 그리고 볼크기 6mm 의 경우는 억지끼워맞춤 15μm 에서 13N 을 나타내서 볼의 크기는 크지만 볼의 개수가 작은 경우의 마찰력에 대해서 특성을 나타냈다. 그러나 Ball Bush 접촉과 관련하여 접촉재료의 열처리와 재료의 기계적 특성에 따라서 마찰특성의 변화가 많으므로 주의해야 한다.

4. 결론

고속 주축 베어링 예압장치용 Ball Bush 의 마찰특성을 분석하기 위해 볼접촉 마찰기구의 이론적 고찰과 FEM 을 통한 접촉문제의 비선형 해석을 행하였고, Ball Bush 의 볼크기와 볼개수의 차이에 따른 마찰특성을 실험에 의해서 확인하기 위해서 마찰력 측정장치를 제작하였다.

1. 예압장치용 Ball Bush 의 마찰기구를 분석하기 위해서 FEM 에 의한 비선형 볼접촉 기구와 불운동 궤적을 계산하였다.
2. Ball Bush 의 볼크기와 볼개수로 인한 마찰력 특성을 복합적으로 분석하여 전체 마찰력 변화를 예측하였다.
3. Ball Bush 는 강한 억지끼워맞춤 조립에도 불구하고 50N 이하의 작은 마찰력 특성을 보여 예압장치의 이송계로 적당함을 확인하였다.

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 Winkelbeschleunigungenl," Shaker Verlag, 2002. 6.
3. 김경모, 정인성, "구와 평면간의 구름접촉거동에 관한 연구," 대한기계학회, 제 14 권, 제 3 호, 554-570, 1990.