

대형 보링머신 주축대의 볼스크류 이송계 취약부 규명 및 개선

The Weak Spot Allocation and Design Modification of Ball Screw Feeding Units in the Large Boring Machine's Spindle Stock

*#이찬홍¹

*#Chan Hong Lee (chlee@kimm.re.kr)¹

¹한국기계연구원 초정밀시스템연구실

Key words : Large Boring Machine, Spindle Stock, Weak Spot of Ball Screw, Design Modification

1. 서론

대형 보링머신은 선박, 풍력발전기, 대형 플랜트에 사용되는 고중량 부품을 가공하는 장비로서, 가공부품의 크기가 커서 Fig. 1에 나타낸 12m 높이 수직 컬럼과 5m 길이 주축대의 X, Y, Z 방향 이송량이 커야만 효율성이 증가한다. 그래서 주축대의 이송장치에는 비교적 가격이 저렴하고 정밀도가 유지되는 볼스크류 이송계를 채용한다.

그러나 볼스크류 이송계는 주변의 조립부품에 비해서 축강성이 작아서 대형 공작기계의 정밀도를 결정짓는 취약 부품이 된다.¹ 이 볼스크류의 치수는 구동모터의 축지름에 따라 설계자가 적절하게 선정하게 되는데, 장비의 가공 정밀도가 요구하는 축방향 강성을 만족하지 못하는 경우가 많다. 이것은 볼스크류의 설치 환경에 대해서 축 방향과 비틀림 방향에 대한 취약부 강성을 사전에 검토하지 않고 설계가 실행되기 때문이다.

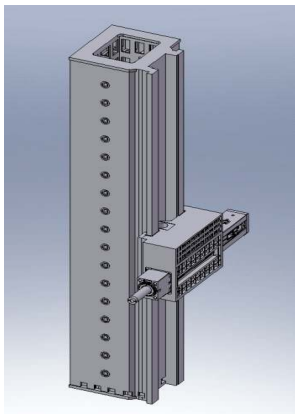


Fig. 1 Large boring machine with horizontal spindle head stock

본 논문에서는 주축대에 2단으로 설치된 W축과 Z축 이송계의 강성을 면밀히 분석하여 볼스크류, 볼너트, 지지베어링, 커플링 등 상대적으로 취약한 부품의 강성을 개선하여 전체 주축대의 이송계 강성을 56% 증가시켰다.

2. 대형 보링머신 주축대의 구조

보링 머신의 주축대를 Fig. 2에 나타내었다. 현재 그림에는 Z와 W축이 모두 최대한 초기 위치로 복귀한 상태이고, W축을 구동하기 위해서 모터와 볼스크류 사이에 벨트를 연결하여 감속 구동을 하고, 지지 베어링은 전부가 지지이고 후부는 고정인 베어링 배열을 가지며, Z축은 백래쉬 없는 감속 기어로 구동을 하고, 전후부 지지 베어링은 고정으로 배열되어 있다.

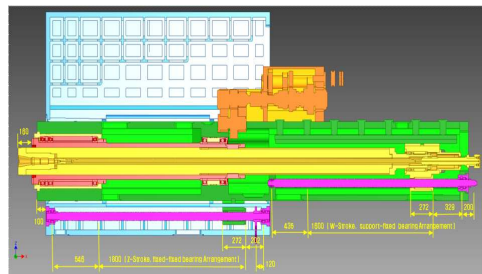


Fig. 2 Large spindle head stock with Z and W axis ball screw

주축을 구동하는 모터는 Z축 Ram의 상면에 존재하고 감속 기어로 연결된다. 회전시 보링 바의 후단에서 축진동이 발생하기 쉬우므로 LM Block으로 지지 하였다. Fig. 3에 보는 것과 같이 Z와 W축은 동일 축 방향으로 2단 직렬연결로 되어 있어

축과 비틀림 방향 모두 강성이 약하다. 다만 어느 부품의 강성이 특히 약한지 분석이 되어 있지 않음 뿐이다. 전체 볼스크류 이송계의 강성은 이 취약부에 의해서 강성의 레벨이 결정된다.

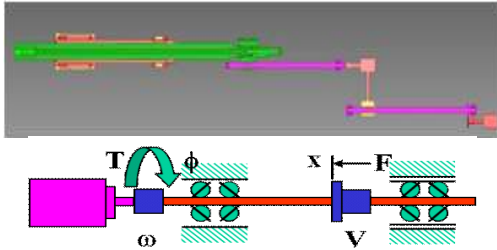


Fig. 3 Configuration of ball screw Z & W axis and relationship between axial and torsional stiffness

볼스크류의 전체 강성은 축 방향과 비틀림 방향의 강성이 직렬로 연결되는 값으로 정의할 수 있으므로, 볼스크류의 강성을 축 방향으로 대표성 있게 표시 하려면 비틀림 방향의 강성을 축방향으로 변환해서 직렬로 강성을 계산하면 된다. 식 (1)과 (2)는 각각 축 방향 강성 k_x 과 비틀림 방향 강성 k_T 를 계산하는 식이고, l 과 I_p 는 볼스크류의 하중을 받는 길이와 극 단면 2차모멘트를 나타낸다.

$$k_x = \frac{A \cdot E}{l} \quad (1)$$

$$k_T = \frac{I_p \cdot G}{l} \quad (2)$$

3. 주축대의 볼스크류 강성 취약부 규명 및 개선

Fig. 3에 보인 바와 같이 W와 Z축 이송계는 직렬로 연결되어 있으므로, 각 축의 강성 기여율을 부품별로 분석하고 직렬로 합하면 주축대 전체의 이송계 강성이 된다. W축 이송계는 강성이 가장 작은 전부 끝단에 볼너트가 위치한다고 가정하였다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 축 방향만의 강성은 380 N/μm로서 볼스크류의 빔이 79%, 볼너트 14%, 지지 베어링 7%정도의 기여를 하고 있어서 축강성에서는 볼스크류의 빔 부위가 가장 약한 것으로 나타났다. 비틀림 강성만 계산하면 77254 Nm/rad로서 볼스크류가 60%, 커플링 25%, 모터 15% 정도의 기여를 하고 있어서 역시 볼스크류 빔의 비틀림이 가장 약한 것으로 나타났다. W축 전체 이송계 강성은 375 N/μm로서 축강성 98.7%, 비틀림 강성 1.2%

로서 전체 강성에서 축강성이 대부분을 차지하고 있다.

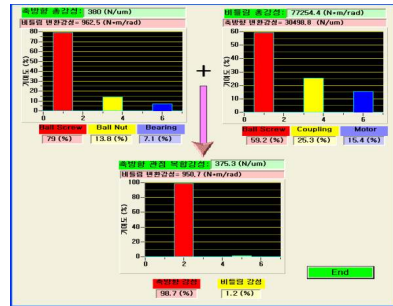


Fig. 4 Stiffness contribution ratio of W axis ball screw

Z축 이송계에서 축 및 비틀림 방향 강성은 볼스크류가 47.3%, 46.7%로서 W축에 비해 기여율이 감소했지만 가장 약한 부위로 나타났고, 전체 강성에서도 축 방향 강성이 95% 기여율을 보이고 있다. W 및 Z축의 직렬 통합 강성은 242 N/μm로 평가되었다. 만약 W축의 지지 베어링을 양단 고정으로 설계 변경시키면 주축대 전체 강성은 378.3 N/μm로서 56%의 강성 증강이 된다.

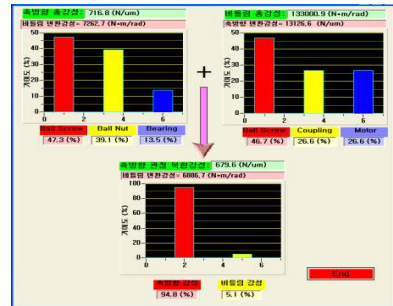


Fig. 5 Stiffness contribution ratio of Z axis ball screw

4. 결론

1. 보링머신 주축대의 이송계에 대한 강성 요인을 축 및 비틀림 방향으로 분석하고, 부품별 취약부를 규명하였고, W축 지지 베어링 배열의 보강으로 전체 이송계 강성을 56% 증강시켰다.

참고문헌

1. R. Whalley, "Hybrid modelling of machine tool axis drives," Machine tools & manufacture, Vol.45, pp. 1560-1576, 2005.