

고속주축 후반부 베어링 외부 냉각에 따른 열변위 고찰

A Study on the Thermal Displacement according to the External Cooling for Rear Bearing of the High Speed Spindle

*권희민¹, #김수배², 최대봉³, 김항용⁴

*H. D. Kwon¹, #S. T. Kim(stkim@changwon.ac.kr)², D. B. Choi³(dbchoi@kimm.re.kr)³, C. Y. kim⁴

¹ 창원대학교 기계공학과 대학원, ² 창원대학교 기계공학과, ³ 한국기계연구원, ⁴ 화천기공(주)

Key words : Cooling jacket, Thermal displacement

1. 서론

공작물의 가공정도에 큰 영향을 미치는 열변형을 감소시키기 위해 공작기계의 열특성을 정확히 예측하는 것이 중요하고 또한 구조 설계에서의 구조, 열변형의 원인 분석과 열에 의한 냉각방법, 윤활방법 연구가 중요하며 이와 같은 연구가 선행되어져 왔다.^{1,2)}

따라서 본 연구에서는 앵글러 볼 베어링, 내장형 모터, 오일에 윤활방법 등을 기반으로 하는 50,000rpm 고속 주축의 후반부 베어링 냉각유무에 따른 볼케이징부의 열변형을 해석하였다. 이것은 고속 주축의 설계시 볼케이징부의 온도 변화에 따른 열특성을 고려하여 예압 및 공차 설계에 필요한 지표로 사용될 수 있을 것이다.

2. 주축계의 구조

내장형 모터와 전반부와 후반부 베어링의 접촉각(contact angle)이 18°인 앵글러 콘택트 볼 베어링을 사용하였다. 전반부에는 Ø45 베어링 2개, 후반부에는 Ø35 베어링을 각각 설치하였다.

전-후반부 베어링과 모터부의 발열을 냉각시키기 위해서 주축 하우징 외부에 냉각자켓을 설치하여 주축의 온도상승을 최소화 하였다.

3. 수치해석

3.1 주축계의 모델링

주축계의 모터 발열, 베어링 발열, 냉각수 유량, 공기 유량을 고려하여 온도분포 및 열변형을 해석하기 위하여 다음과 같이 근사화하여 모델링을 하였다.

주축계는 열적, 구조적으로 축대칭이기 때문에 1/2 모델링을 하였고 주축계의 윤활유 및 에어공급라인, 부품과 부품 조립 부분을 생략하거나 단순화하였고 내장형 모터의 고정자의 곡면 부분은 직선형태로 단순화 하였다.

Fig. 1은 주축계의 유한요소 모델을 부품별로 구별하여 나타낸 것이며 분할요소는 Thermal-Solid70의 3차원 요소를 사용하였고, 요소수는 104,304이고, 절점수는 113,482이다.

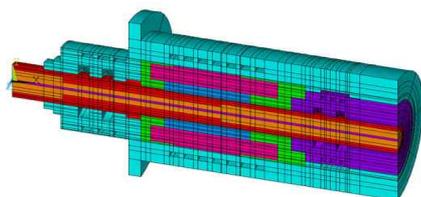


Fig. 1 FEM model of high speed spindle system

3.2 해석조건

본 연구에서는 주축의 열특성을 알아보기 위하여 주축의 회전

수 10,000~50,000rpm, 베어링과 모터부 외부의 오일냉각자켓 유량은 15 l/min, 로터와 스테이터 사이의 에어냉각 유량 15 l/min 으로 고정하였다. 후반부 베어링의 냉각유무에 따라 볼케이징부의 열변형을 해석을 수행하였다. Fig. 2는 후반부 베어링을 냉각할 수 있는 구조의 간략도이다.

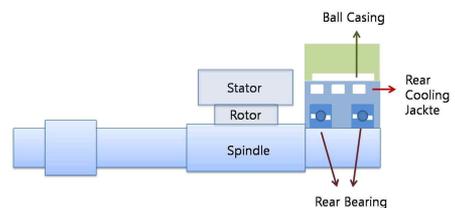


Fig. 2 The cooling directions

3.3 베어링 발열 및 냉각³⁾

베어링의 발열은 회전운동의 마찰손실에 의해서 일어나므로 마찰 모멘트를 구함으로써 베어링의 발열량을 계산할 수 있다. 회전운동을 하면서 주축을 지지하는 베어링의 발열원은 미끄럼에 의한 자이로스코픽모멘트, 베어링형식 및 하중의 크기에 따라 결정되는 하중 동마찰 모멘트, 윤활유의 점도, 양 및 회전수에 의해 결정되는 점성 동마찰모멘트로 구분되며 베어링의 총발열량은 각각의 모멘트의 합에 축의 회전수를 곱함으로써 계산하였다. 주축의 냉각조건은 냉각자켓을 흐르는 냉각수의 유량 및 점도에 따른 Nu(Nusselt number)를 구하고 이를 관 내부 유동에 대한 열전달식을 적용하여 계산된 냉각자켓의 대류 열전달계수를 적용하여 해석하였다.

4. 주축계의 열특성

Fig. 3, 4는 주축의 회전수 50,000rpm에서의 후반부 베어링의 냉각 유무 따른 온도분포 해석결과이다.

베어링과 모터의 회전자 및 고정자에 의해 주축대의 온도분포가 많이 차이가 나타나고 있으며 주축의 전-후반부 베어링부와 모터부를 순환하는 냉각자켓의 영향으로 후반부 베어링 냉각하지 않은 것에 비해 하우징부의 온도가 전체적으로 일정하게 낮게 나타남을 알 수 있다.

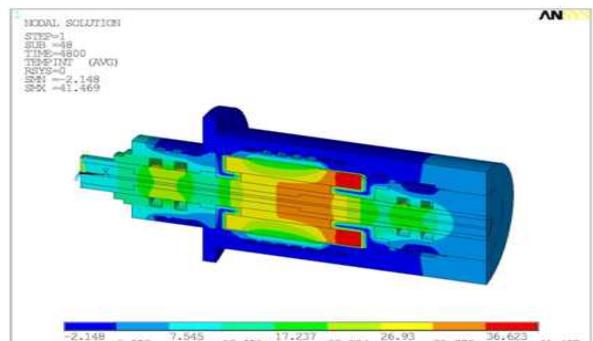


Fig. 3 Temperature distribution (50,000rpm, All cooling jacket)

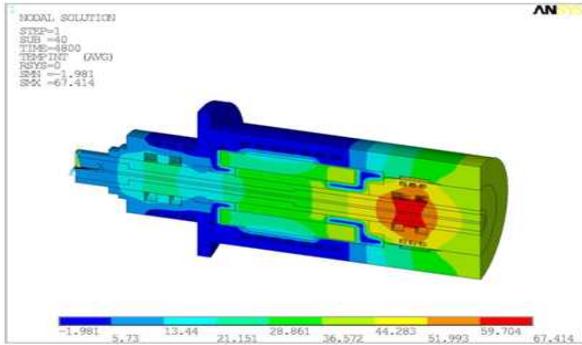


Fig. 4 Temperature distribution (50,000rpm, No rear bearing cooling jacket)

Fig. 5는 10,000~50,000rpm 후반부 베어링부의 냉각유무에 따른 후반부 베어링의 온도분포를 나타내었다.

10,000rpm의 후반부 베어링부의 냉각유무에 따른 온도 차이는 약 3.5℃의 차이가 나타났으며, 20,000rpm 에서는 9.5℃의 차이가 나타났으며, 30,000rpm 에서는 17.4℃의 차이가 나타났으며, 40,000rpm 에서는 28.3℃의 차이가 나타났으며, 50,000rpm 에서는 42.6℃의 차이가 나타났다. 후반부 베어링 외부냉각이 후반부 베어링 온도상승을 억제하는데 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

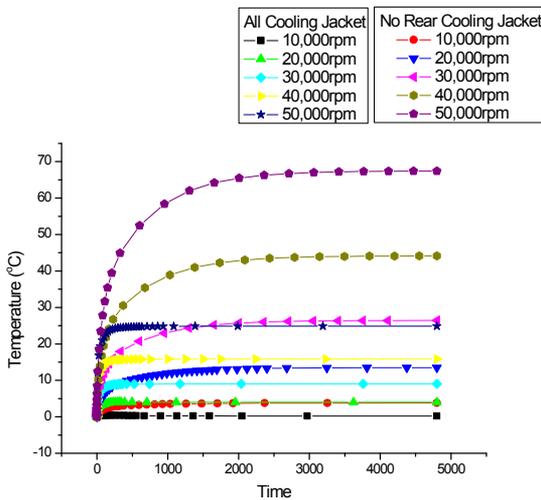


Fig. 5 Temperature distribution of rear bearing

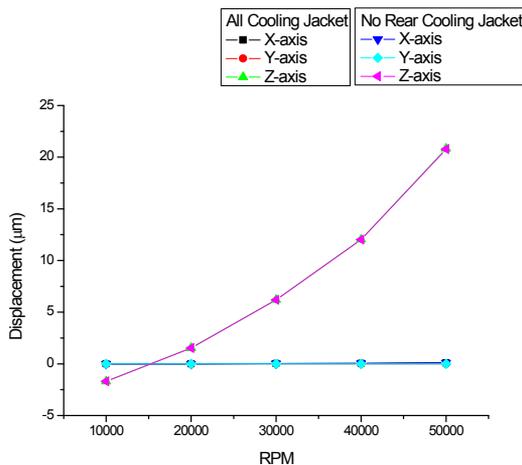


Fig. 6 Thermal displacement of spindle

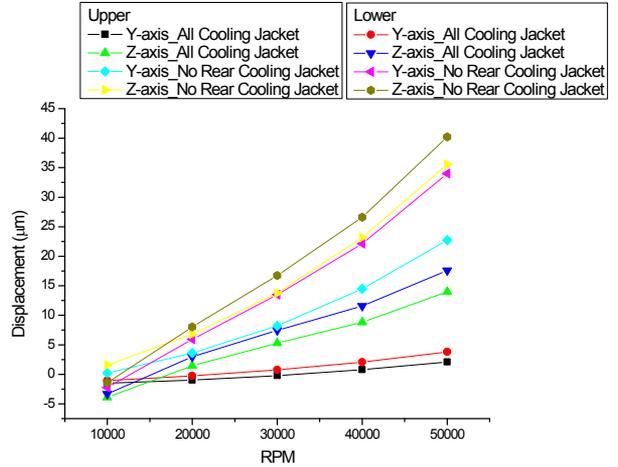


Fig. 7 Thermal displacement of ball casing

Fig. 6은 주축회전수 10,000~50,000rpm일 때의 후반부 베어링부의 냉각유무에 따른 주축선단의 변위를 나타낸 그래프이다.

10,000~50,000rpm에서의 주축선단의 변위량은 냉각유무에 따라 열변위의 차이는 크지 않음을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 주축회전수 10,000~50,000rpm일 때의 후반부 베어링부의 냉각유무에 따른 볼케이징 상-하부에 대한 변위를 나타낸 그래프이다.

후반부 베어링부의 냉각유무에 따른 볼케이징부의 Y축의 상-하부의 40,000rpm일 때의 열변위는 냉각시 상부 0.7μm 하부 2μm 냉각하지 않을시 상부 14.4μm 하부 22.1μm이며, 50,000rpm일 때의 열변위는 냉각시 상부 2.1μm, 하부 3.8μm, 냉각하지 않을시 상부 22.7μm, 하부 35.5μm 이다.

후반부 베어링부의 냉각유무에 따른 볼케이징부의 Z축의 상-하부의 40,000rpm일 때의 열변위는 냉각시 상부 8.8μm 하부 11.5μm 냉각하지 않을시 상부 23.1μm 하부 26.6μm이며, 50,000rpm일 때의 열변위는 냉각시 상부 13.9μm, 하부 17.5μm, 냉각하지 않을시 상부 35.5μm, 하부 40.2μm 이다.

5. 결론

50,000rpm일 때의 후반부 베어링부의 냉각유무에 따라 베어링의 발열의 영향으로 온도변화가 42.6℃의 차이를 나타남을 확인하였다.

후반부 베어링부의 냉각유무에 따라 주축선단의 Z축의 열변위 차이는 크지 않으며 후반부 볼케이징부 Y축 방향으로 열변위 차가 크게나타났다. 따라서 온도변화와 볼케이징부의 열변위를 최소화하기 위해서는 후반부 베어링부의 냉각이 필요하다.

참고문헌

1. 최대봉, 유기한, 김수태, 김창용, “오일-제트 운할 고속주축의 열특성 해석”, 한국공작기계학회, 춘계학술대회 논문집, 393-397, 2008
2. S. Nakamura, "High Performed Machine Tool Spindles", J. of JSPE., Vol. 04. No. 57., pp.605-609, 1991.
3. 김수태, 최대봉, “고주파 모터 내장형 주축의 냉각특성 해석에 관한 연구, 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, 278-283, 2002