

드로바 내부의 오일 냉각에 따른 고속 모터주축의 열특성 해석

Thermal Characteristic Analysis of the High Speed Motor Spindle according to the Oil Cooling for Inside Drawbar

*권희돈¹, #김수태², 최대봉³, 김창용⁴

*H. D. Kwon¹, #S. T. Kim(stkim@changwon.ac.kr)², D.B.Choi³, C.Y.Kim⁴

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

Key words : Thermal Characteristic, High Speed Motor Spinde, Drawbar

1. 서론

기계가공에 있어서 가공 정밀도에 영향을 주는 주요 요인은 정특성, 동특성 및 열특성이 있으며 그중에서 공작물의 가공정도 저하의 최대 요인이 되고 있는 공작기계의 열특성에 의한 열변형 문제의 개선이 중요한 과제로 부각되고 있다.

공작물의 가공정도에 큰 영향을 미치는 열 변형을 감소시키기 위해 공작기계의 열 특성을 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 어 윤활방법, 냉각유량 및 방법 등을 기반으로 하는 40,000rpm 고속 주축의 베어링과 모터부 사이의 공간에 공기냉각 유무와 드로바의 오일냉각 유량에 따른 해석을 수행하였다.

2. 주축계의 구조

내장형 모터와 전반부와 후반부 베어링의 접촉각(contact angle)이 18°인 앵글러 콘택트 볼 베어링을 사용하였다. 전반부에는 φ50 베어링을 2개, 후반부에는 φ45 베어링을 각각 설치하였다.

내장형 모터와 베어링과 모터부의 발열을 냉각시키기 위해서 주축 하우징 외부에 냉각자켓을 설치하여 주축의 온도상승을 최소로 하였다. Fig. 1은 주축구조를 나타내고 있다.

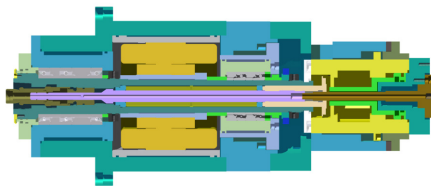


Fig. 1 Schematic diagram of high speed spindle

3. 수치해석

3.1 주축계의 모델링

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

주축계는 열적, 구조적으로 축대칭이기 때문에 1/2 모델링하여 해석시간을 단축하였다. 주축계의 윤활유 및 에어공급라인, 부품과 부품의 조립부분을 생략하거나 단순화하였고 내장형 모터의 고정자의 곡면부분은 직선 형태로 단순화 하였다.

모델링에 사용된 분할요소는 Thermal-Solid70의 3차원요소를 사용하였고, 요소수는 88,192이고 절점수는 97,266이다.

3.2 해석조건

본 연구에서는 주축의 열특성을 알아보기 위하여 주축의 회전수 40,000rpm, 베어링과 모터부 외부의 오일냉각자켓 유량은 15 l/min, 베어링과 모터부사이의 에어냉각 유량 15 l/min으로

고정하였다. 드로바의 오일냉각 유량을 3~7 l/min으로 가변하면서 주축의 열특성 해석을 수행하였다. Fig. 3은 베어링과 모터부 사이의 에어냉각시의 입·출구측의 내부 관로와 스피들 드로바의 오일냉각시의 내부관로를 나타내었다.

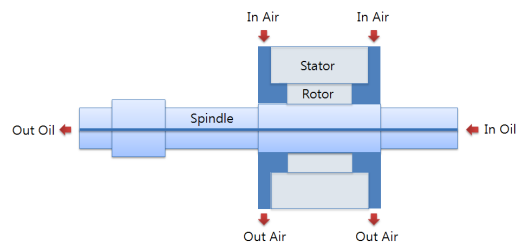


Fig. 3 The cooling directions

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 냉각유의 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. 4, 5는 주축의 회전수 40,000rpm에서의 모터내부의 에어냉각 유무 따른 드로바의 오일냉각 유량 7 l/min의 온도분포 해석결과이다.

베어링과 모터의 회전자 및 고정자에 의해 주축대의 온도분포가 많이 차이가 나타나고 있으며 주축의 전·후반부 베어링부와 모터부를 순환하는 냉각자켓의 영향으로 하우징부의 온도가 전체적으로 낮게 나타남을 알 수 있다.

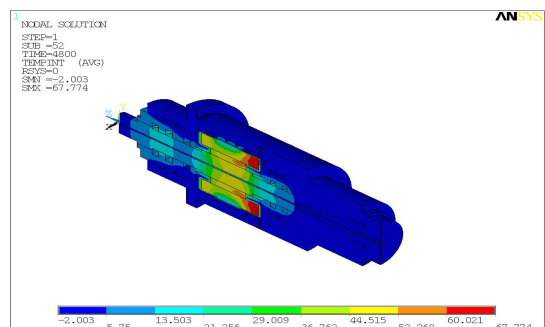


Fig. 4 Temperature distribution (40,000rpm, Air cooling inside motor, Drawbar oil cooling)

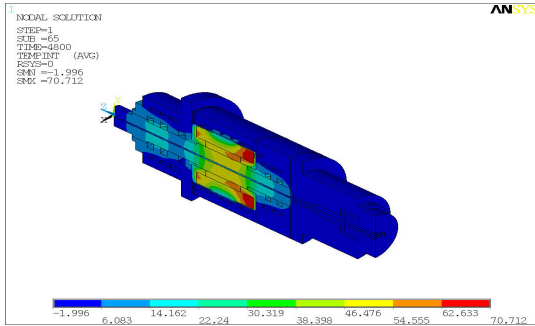


Fig. 5 Temperature distribution
(40,000rpm, No air cooling inside motor, Drawbar oil cooling)

Fig. 6은 발열원중의 하나인 모터부의 회전자와 고정자의 온도 분포를 나타낸 것이다. 베어링과 모터부 사이의 공간 에어냉각유무와 드로바의 오일냉각 유량에 따라서 나타내었다.

회전자의 경우 모터내부 에어냉각과 드로바 오일냉각 유량이 3~7 l/min일때 모터내부 에어 냉각하지 않은 경우와 비교해 약 3.7°C의 온도차이가 나타났으며, 고정자의 경우 유량이 3~7 l/min일때 약 2.1°C의 차이가 나타났다.

모터내부의 에어냉각과 드로바 오일냉각을 설치하지 않았을 때와 모터내부 에어냉각과 드로바의 오일냉각 유량에 따라 비교하였을 때 회전자의 경우 3 l/min일때 7.1°C, 5 l/min일때 7.3°C, 7 l/min일때 7.5°C의 온도차이를 나타났으며, 고정자의 경우 3 l/min일때 5.3°C, 5 l/min일때 5.4°C, 7 l/min일때 5.5°C의 차이가 나타났다.

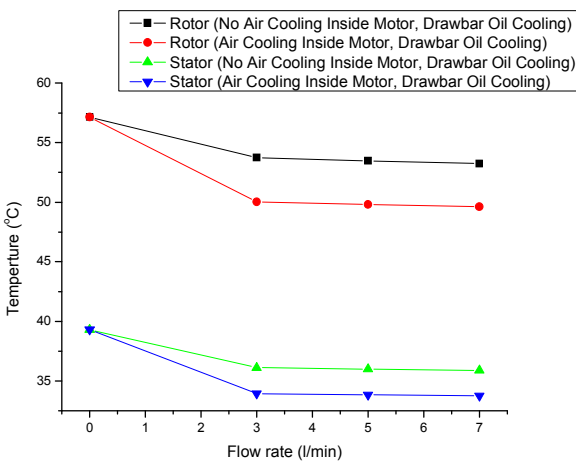


Fig. 6 Temperature distribution

Fig. 7, 8은 주축회전수 40,000rpm에서 모터내부 에어냉각 유무와 드로바의 오일냉각 유량 7 l/min의 냉각시의 열변위를 나타낸 것이다.

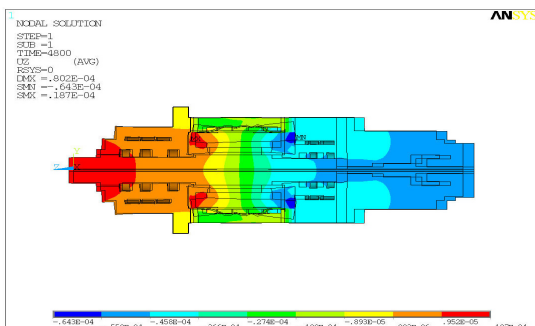


Fig. 7 Thermal displacement
(40,000rpm, Air cooling inside motor, Drawbar oil cooling)

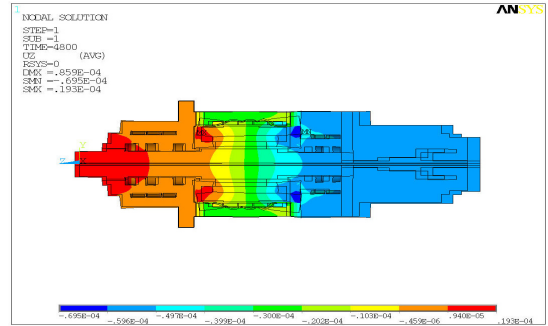


Fig. 8 Thermal displacement
(40,000rpm, No air cooling inside motor, Drawbar oil cooling)

Fig. 9는 모터내부 에어냉각 유무와 드로바의 오일냉각 유량에 대한 Z축의 열변위를 나타낸 그래프이다.

주축선단에서 열변위가 많이 나타남을 알 수 있으며 드로바의 오일냉각 3~7 l/min의 유량에 따라 약 1.0μm의 차이가 나타났다.

모터내부의 에어냉각과 드로바 오일냉각을 설치하지 않았을 때와 모터내부 에어냉각과 드로바의 오일냉각 유량에 따라 비교하였을 때 Z축의 경우 3 l/min일때 3.4μm, 5 l/min일때 3.7μm, 7 l/min일때 3.9μm의 열변위 차이가 나타났다.

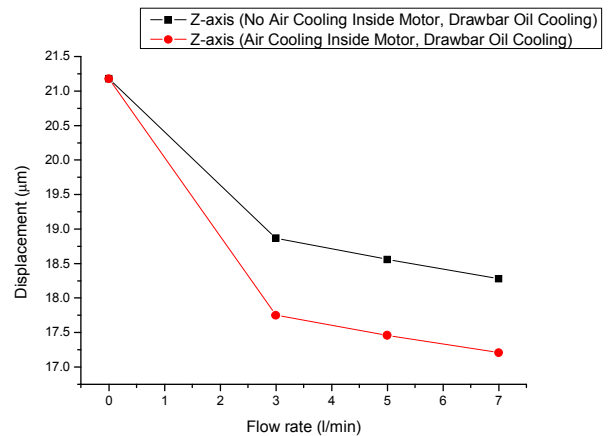


Fig. 9 Thermal displacement

5. 결론

드로바의 내부에 오일 냉각할 경우, 모터내부에 에어 냉각했을 때는 냉각하지 않을 때 보다 모터부의 온도와 열변위를 크게 줄일 수 있었다. 또한 Z축 열변위도 크게 줄일 수 있으나 드로바 내부 냉각 오일유량에 따른 열변위의 차는 크지 않았다.

온도변화와 열변위를 최소화하기 위해서는 소량의 유량이라도 모터내부와 드로바의 냉각이 필요하다.

참고문헌

1. 최대봉, 유기한, 김수태, 김창용, “오일-제트 윤활 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