

고속 주축 하우징의 냉각방식에 따른 열특성 해석

정동수*(창원대 대학원 기계공학과), 김수태(창원대 기계공학과), 최대봉(한국기계연구원)

An Analysis of the Thermal Characteristic according to the Cooling Method of the High Speed Spindle Housing.

D. S. Jeong(Mech. Eng. Dept., CNU), S. T. Kim(Mech. Eng. Dept., CNU), D. B. Choi(KIMM)

ABSTRACT

High speed machining is the core technology that influences the performance of machine tools, and the high speed motor spindle is widely used for the high speed machine tools recently. The important problem in this spindle is to reduce and minimize the thermal effect by motor and bearing. In this study, the analysis of thermal characteristic of spindle is performed according to the cooling methods of housing by using finite element method. This result can be applied to the design and manufacture of the high speed spindle.

Key Words : High Speed Spindle (고속 주축), Thermal characteristic (열특성), Cooling Method (냉각 방식), Thermal Displacement (열변위)

1. 서론

공작기계 시스템에 있어서 주축계의 고속화는 공작기계의 성능을 좌우하는 필수적인 핵심 구성 요소라 할 수 있으며 소형 정밀제품의 가공을 위하여 조각기, 내경연삭기, 전용가공기 및 소형금형 가공기 등의 소형가공기에 고주파 모터를 내장한 주축의 활용이 증대되고 있다. 이러한 모터 내장형 주축은 구조가 간단하고 벨트와 기어 등의 고속에서의 문제점을 해결하고 속도 변화가 가능한 이점이 있다.

한편, 공작기계의 고속화가 이루어짐에 따라서 주축계의 발열과 열변형이 중요한 문제점으로 부각되었고, 이러한 주축계의 발열과 열변형은 공작물의 가공 정도 저하의 최대 요인이 되고 있다. 그러므로 공작기계 주축의 설계단계에서 이러한 열적 특성을 규명하고 고려하는 것이 중요하며 이에 주축계의 열특성을 규명하고자 하는 연구가 선행되어 왔다.^{1,2)}

본 연구에서는 하우징의 냉각방식이 주축의 열특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 유한요소법을 이용하여 주축계의 열특성 해석을 수행하였다. 이것은 고속 주축의 설계 및 운용시 냉각방식에 따른 열특성을 고려하는데 필요한 지표로 사용될 수 있을 것이다.

2. 열특성 해석

2.1 주축계의 모델링

주축계는 냉각자켓이 축방향과 반경방향을 향하는 두가지 타입으로 모델링하였고 동일한 조건에서의 냉각을 위하여 주축 내부 냉각 자켓의 접수 단면

적을 같게 모델링을 하였다. 주축계는 열적 구조적으로 대칭이기 때문에 1/2로 모델링을 하였고 윤활유 공급 라인, 부품과 부품의 조립 부분을 생략하거나 단순화 하였다. 그리고 베어링은 모델링을 생략하고 발열의 경계조건을 부여하였으며 주축계를 구성하는 각 부품들의 상태량은 온도 의존성이 없고 일정하다고 가정하였다.

Fig. 1은 냉각 방식에 따른 주축계의 유한요소모델을 나타내고 있으며, 치수 단위는 미터(m)단위로 통일하여 모델링을 하였다. 모델링에 사용된 분할요소는 Thermal-Solid70의 3차원 요소를 사용하였고 축방향 냉각방식을 가지는 모델의 요소와 절점의 수는 11770, 14640개이고 반경방향은 8468, 12512개이다.

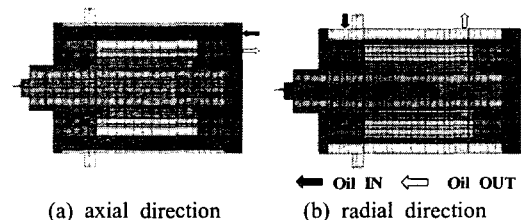


Fig. 1 FEM model of the high speed spindle system according to the cooling directions

2.2 베어링 발열특성

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.^{3,4)}

2.3 냉각자켓의 냉각특성

냉각자켓을 따라 흐르는 냉각유의 너셀트 수를 계산하고, 관 내부유동에 대한 열전달식을 적용하여 냉각자켓의 대류열전달 계수를 계산하였다.⁵⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 온도분포 및 열변위

Fig. 2, 3은 주축의 회전수가 10000 rpm, 냉각자켓의 냉각유량 10 l/min에서의 냉각방식에 따른 주축의 온도분포와 z축 방향의 열변위를 나타내고 있다. 축방향의 냉각방식을 가지는 주축은 하우징에서 비교적 고온 온도분포를 보이며, 이에 반해 반경방향 냉각방식을 가지는 주축은 냉각자켓에 의하여 냉각되지 않는 후반부 하우징의 온도가 높은 것을 알 수 있다. 그리고 주축의 변형은 지그에 의해 고정된 부분을 중심으로 ±z축으로 발생하고 있으며 반경방향에 비해 축방향의 냉각방식이 주축의 변형을 감소하는데 더 효율적임을 알 수 있다.

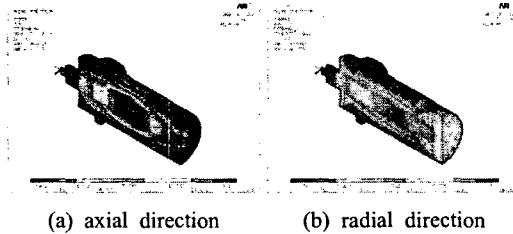


Fig. 2 Temperature distribution of the spindle system according to cooling method

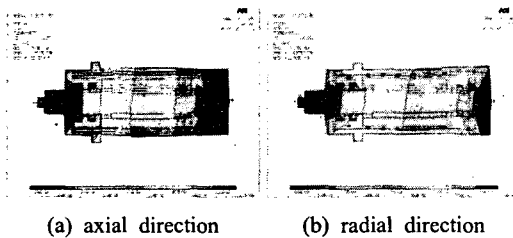


Fig. 3 Thermal displacement of the spindle system according to cooling method

3.2 냉각 유량에 따른 해석 결과

Fig. 4는 주축의 회전수가 10,000 rpm에서 냉각유량에 따른 주축의 z축 열변위를 나타낸 것이다. 냉각유량이 증가함에 따라 주축의 열변위가 감소하며 냉각유량이 5 l/m일 때는 축방향과 반경방향의 각각

의 변위는 약 18과 29 μm 로 나타났으며 15 l/m일 때는 약 9와 21 μm 로 나타남으로써 반경방향 냉각방식을 가지는 주축이 약 11~12 μm 정도의 더 큰 열변형이 일어남을 알 수 있다.

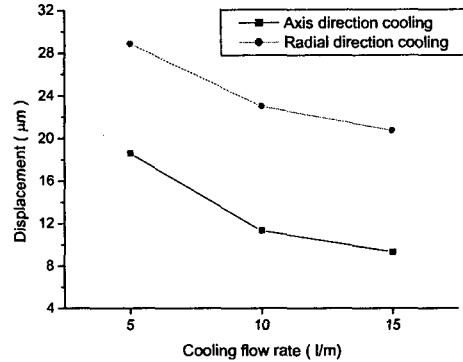


Fig. 4 Thermal displacement of spindle (z-axis) according to the cooling flow rate

4. 결론

본 연구는 두 가지 냉각방식을 가지는 주축의 열특성을 알아보기 위하여 열특성 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다

- (1) 축방향 냉각방식을 가지는 주축이 반경방향 냉각방식을 가지는 주축에 비해 열변형을 최소화 하는데 더 효율적임을 알 수 있었다.
- (2) 수치해석적 방법을 사용하여 복잡한 형상을 가지는 주축계의 열전달해석을 수행함으로써 이론적으로 온도분포 및 열변형을 추정하는 것이 가능함을 확인하였다.

후기

본 연구는 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. S. Nakamura, "High Performed Machine Tool Spindles", J. of JSPE., Vol. 04. No. 57., pp.605~609, 1991.
2. DaeBong CHOI, SooTae KIM, SungHun JUNG, YongKee KIM, "Thermal Characteristics of the High Speed Motor Spindle by the Variation of Bearing Preload and Cooling Conditions.", Machine engineering, Vol. 4, No. 1-2, 2004.
3. Tedric A. Harris, "Rolling Bearing Analysis", John Wiley & Sons, Inc., 2001.
4. "FAG 공작기계용 스피들 베어링", FAG Catalog WL41 520/2KA.
5. Frank Kreith, Mark S. Bohn, "Principles of Heat Transfer", West Info Access.