

# 절삭저항을 고려한 이면구속공구의 주축 인터페이스부 접촉률 분석에 관한 연구

## A Study on the Contact Interval in the Main Spindle Interface with Dual-Contact Tooling System According to Cutting Resistance

\* 신재호<sup>1</sup>, #이춘만<sup>2</sup>, 정원지<sup>2</sup>

\*J. H. Shin<sup>1</sup>, #C. M. Lee(cmlee@sarim.changwon.ac.kr)<sup>2</sup>, W. J. Chung<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 창원대학교 기계설계공학과 대학원, <sup>2</sup> 창원대학교 기계설계공학과

Key words : Main spindle interface, Dual-contact tooling system, Finite element method, Tooling

### 1. 서론

최근 고속, 고정밀 가공이 일반화되어 주축회전수도 15,000rpm은 극히 표준적인 것이 되었다. 이와 같은 흐름 속에서 툴링(Tooling)의 역할에 대한 중요성 또한 재인식되어 주축인터페이스나, 이면 구속 등의 용어는 이미 기계가공업계의 표준어가 되었으며 고속회전을 중심으로 툴링에 대한 관심이 높아지고 있다.

현재 기계가공업계에서 주로 사용되고 있는 툴 홀더 생크(Tool Holder Shank)로는 BT 생크(7/24 Long taper)가 있으며 BT 생크로 사용이 가능한 주축의 회전속도는 소경용 15,000rpm, 대경용으로 8,000rpm 정도이다. BT 생크는 테이퍼(Taper)부 일면만이 스피들과 접촉하므로 고속 회전 시 원심력이나 열변형으로 주축 테이퍼부가 확장되고, 공구를 고정시키는 드로우바(Draw bar) 인장력에 의해서 툴 생크가 주축에 미끄러져 들어가게 되므로 축방향 정밀도를 악화시키게 되고, 테이퍼 구멍 마모에 의한 정밀도의 변화와 횡방향 진동 발생으로 가공정밀도에 악영향을 끼쳐 고속가공 적용에 한계가 있다. 이에 상기의 문제점을 개선한 고속, 고정밀도 대응 가능한 생크로써 주축선단의 테이퍼면과 플랜지(Flange)면에 동시에 접촉하는 이면 구속 방식의 생크들이 연구되고, 규격화되고 있으며 일부 기술 선진국에서 사용되어지고 있다. 대표적인 이면구속 방식의 생크로는 HSK, KM 등이 있으며 이는 일면구속 방식의 생크에 비해 고강성 구조로 정,동적 안정성이 높으며 중공으로 툴 생크 자체 질량을 줄여 원심력을 감소시켜 고속 대응성이 우수하다.



Fig. 1 HSK Tool Holder Shank

본 연구의 목적은 고속, 고정밀 가공에 우수한 특성을 가지고 있는 이면 구속 방식의 툴 홀더 생크를 적용한 주축의 회전 시의 주축 인터페이스부의 접촉률 분석이다. 접촉률은 주축 인터페이스부의 주축과 툴 홀더 생크 접촉점의 변위차를 도출함으로써 평가하고자 한다. 주축 정지 시의 접촉률의 분석은 테이퍼 게이지(gage)로 수행하며 이는 주축이 회전할 때에는 측정이 불가능하다.

### 2. 유한 요소 해석

주축의 회전 시의 주축 인터페이스부의 접촉률을 평가하기 위하여 상용프로그램인 ANSYS Workbench를 사용하여 해석을 수행하였다.

#### 2.1 유한요소 모델링

본 연구에서 고려한 이면 구속 방식의 주축 인터페이스는 K사의 직경 70mm, 최대회전수 20,000rpm의 HSK용 주축을 주축선단을 3차원 모델로 단순화하여 모델링 하였으며, 유한요소 모델

은 Fig. 2와 같다.

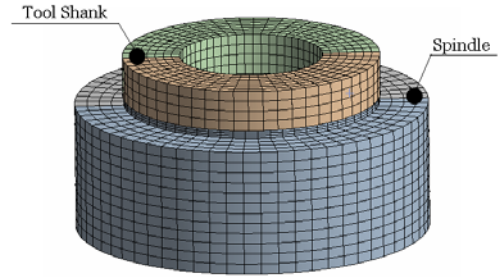


Fig. 2 FE Model of Main spindle Interface

주축 및 툴 홀더 생크의 재료는 크롬 - 몰리브덴 강인 SCM415이며 침탄 열처리를 거쳐 열처리 이전의 재료에 비해 기계적 특성이 뛰어나다.

FE Model에 부여한 하중조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Load conditions for finite element analysis

Load condition	Unit	Value	
Rotational speed	rpm	20,000	
Clamping force	N	15,000	
Cutting resistance	N	Axial	500
		Radial	500

주축의 최고 회전속도인 20,000rpm으로 FE Model을 회전시키고, 부하운전 시의 접촉률을 평가하기 위하여 절삭저항을 축방향 500N, 반경방향으로 500N을 부여하였다.

구속조건은 스피들 파트의 바닥면을 축방향으로 이동이 없도록 변위를 구속하였다.

#### 2.2 해석결과 및 고찰

반경방향 절삭저항으로 인해 해석에서의 유한요소모델의 거동이 축대칭이 아니므로 주축 최선단부가 압축응력을 받는 지점(Location I)과 인장응력을 받는 지점(Location II), 이 두 지점의 주축과 툴 홀더 생크 간의 변위차를 도출하였다. Fig. 3~6은 각 지점의 변위해석의 결과이다.

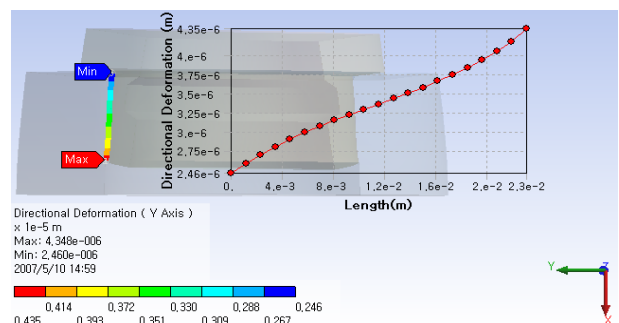


Fig. 3 Deformation of Tool Holder Shank ( Location I )

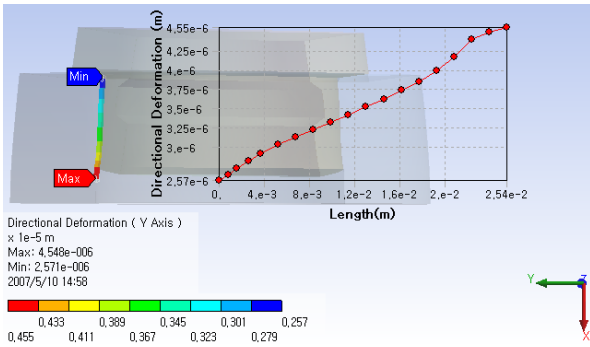


Fig. 4 Deformation of Spindle (Location I)

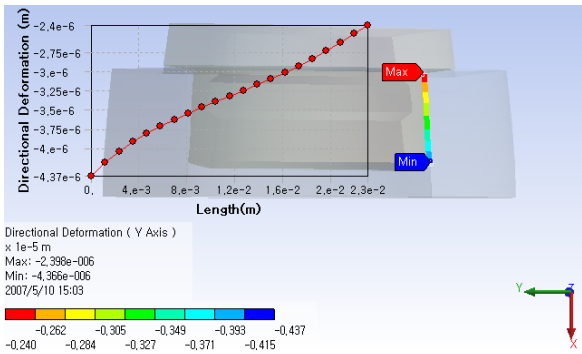


Fig. 5 Deformation of Tool Holder Shank (Location II)

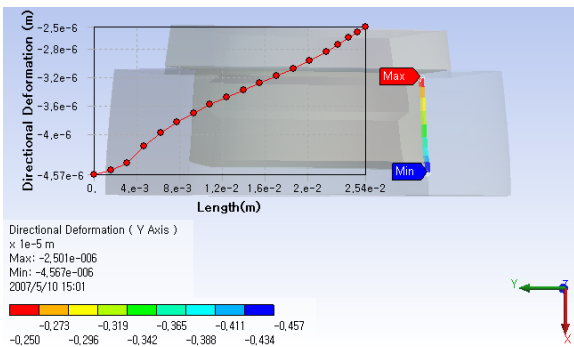


Fig. 6 Deformation of Spindle (Location II)

변위해석의 결과 주축 인터페이스부의 주축 반경 방향 최대 변위량은 Local I 에서 4.425 $\mu\text{m}$ , Local II 에서 4.570 $\mu\text{m}$ 으로 나타났으며 툴 홀더 생크의 반경 방향 최대 변위량은 Local I 에서 4.350 $\mu\text{m}$ , Local II 에서 4.370 $\mu\text{m}$ 으로 나타났다.

주축과 툴 홀더 생크의 접촉점 24지점의 변위를 이용하여 변위차를 도출하였다. Fig. 7~8은 Local I 과 Local II 의 주축과 툴 홀더 생크 간 변위차의 그래프이다.

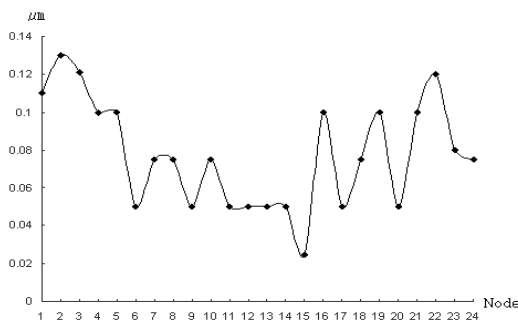


Fig. 7 Nodal point-deflection curves (Location I)

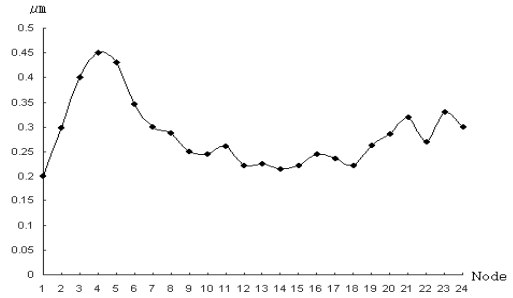


Fig. 8 Nodal point-deflection curves (Location II)

변위차는 평균적으로 Local I 에서 0.08 $\mu\text{m}$ , Local II 에서 0.28 $\mu\text{m}$ 으로 도출되었으며 모든 변위차가 1 $\mu\text{m}$ 이내의 값을 가진다.

이는 주축인터페이스부의 틈새가 매우 작아 주축 회전 시 매우 높은 접촉률을 가지므로 이로 인한 회전정밀도의 오차는 매우 작을 것으로 판단된다.

### 3. 결론

고속, 고정밀 가공에 우수한 특성을 가지는 이면 구축 방식을 적용한 주축 인터페이스부 접촉률을 분석하기 위하여 HSK타입의 툴 홀더 생크를 탑재한 주축인터페이스부의 유한요소 모델을 구축하고 비선형해석을 수행하였다.

변위해석 결과, 주축과 툴 홀더 생크의 반경방향 변위량은 약 4 $\mu\text{m}$ , 주축 인터페이스부의 변위차는 모두 1 $\mu\text{m}$  이내로 도출되어 실제 회전 시 주축 인터페이스부의 결함으로 인한 회전정밀도의 저하는 없을 것으로 판단된다. 변위해석의 경향을 볼 때, 클램핑력을 받는 선단보다도 주축선단에서 멀어질수록 변위가 커지는 점으로 미루어 보아 주축의 유한요소 모델의 간소화로 주축의 축방향 길이가 제대로 고려되지 못한 것으로 판단된다. 모델 간소화의 영향을 받지 않으면서도 적절한 요소수를 가지는 유한요소모델의 개발이 필요하다. 그리고 향후 도출된 변위차로 접촉률을 판단할 근거를 제시할 과제를 갖게 되었다.

### 후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Y. K. Hwang, C. M. Lee, W. J. Chung "A Study on the Contact Interval in the Main Spindle Interface of High Speed Spindle according to Variation of Clamping Force and Rotational Speed" Journal of the KSPE Vol.23, No. 3, 2006
2. C. K. Song, Y. J. Shin "Effect of Preload on Running Accuracy of High Speed Spindle" Transaction of the KSMTE Vol.11 No. 2, 2004
3. S. T. Kim, D. B. Chio, W. S. Cho "Analysis on the Thermal Characteristics of the Spindle with High Frequency Motor according to the Cooling Methods" Journal of the KSPE pp.969~974, 2002