

# 툴 홀더 스피ndl의 변형과 응력해석에 관한 연구와 실험

## Deformation and Stress Analysis of Tool Holder Spindle Research and Experiment

\*권구홍<sup>1</sup>, #정원지<sup>2</sup>

\*K. H. Kwon<sup>1</sup>, #W. J. Chung(wjchung@Changwon.ac.kr)<sup>2</sup>

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

Key words : Tool Holder Spindle, iSIGHT-FD 3.1<sup>®</sup>, ANSYS Classic<sup>®</sup>, OLH(Optimal Latin Hypercube)

### 1. 서론

현재의 산업구조에서 소비자의 다양한 욕구를 충족시키기 위해서는 우수한 품질의 다양한 제품을 생산하여야 한다. 따라서 제품의 수명주기가 급격히 단축되고 있으며 새로운 모델을 제작하기 위한 시간도 단축되고 있다. 이에 따른 정밀한 금형을 신속하게 제작하기 위한 기술이 필요하며 최근 이러한 기술적 대안으로 고속가공이 부각되고 있다. 고속가공의 정의는 공작물, 절삭가공, 절삭공구의 선정에 따른 다르게 정의 되지만, 밀링작업의 경우 공작물 재료에 따라 고속가공의 영역이 구분되고 일반적으로 10,000rpm이상의 스피ndl 속도에서의 가공을 엔드밀 가공에서의 고속가공이라 부른다. 이러한 고속가공은 범용가공에 비해서 정도 고 품위 가공이 가능하며 이를 위해서 고속공작기계, 고속가공용 공구 그리고 특정절삭재료에 대한 절삭특성 데이터가 필요하다. 고속 절삭을 하는 가공기에서 진동의 발생은 생산제품의 불량률을 초래한다. 고속 가공기는 높은 회전 정밀도가 요구되는 기계이며 장시간 운전에 의한 기계의 손상과 베어링부의 마모로 인한 이상진동이 발생 할 수 있으며 이러한 이상 진동으로 인하여 가공기의 수명이 단축되고 생산 제품의 불량률이 발생하게 된다. 고속가공기계의 불량 발생 원인으로는 회전부품의 불 평형, 베어링이나 커플링의 축 정렬 불량, 축의 휨, 비틀림 진동, 기계적 느슨함, 공진 베어링의 불량 등을 들 수 있으며 이상진동의 원인은 복합적인 요인에 의해 일어나는 경우가 많다. 공작기계의 생산 효율과 가공 정밀도는 생산성에 대한 평가로 직접적으로 나타나는 인자이며 주축설계의 기본적인 고려사항이 된다. 주축설계에 있어 일반적으로 높은 회전 정밀도와 고속 회전 성능, 그리고 큰 강성이 요구된다. 그리고 고속 가공기에서 공작물의 가공 시 고속회전에 의한 진동을 줄이기 위해 tool holder가 사용되고 있다. 그러나 tool holder 안의 공구와 맞물린 스피ndl의 회전 시 스피ndl에 많은 stress와 deformation 발생하고 끝단부분이 깨지는 현상이 종종 발생하는 경향이 있다.<sup>(1)(2)</sup>

이러한 현상을 줄이기 위해 스피ndl의 베어링 위치 변화와 끝단의 길이와 두께의 변화로 최적의 형태를 찾고자 한다. Fig. 1의 설계도면은 설계자의 경험에 의한 것이므로 이를 검증해 볼 필요가 있다. 설계 검증을 위하여 Fig. 2 와 같은 FEM(Finite Element Model)을 구축하고 스피ndl의 위치 변화와 끝단의 길이와 두께의 변화를 통하여 스피ndl에 걸리는 stress 와 deformation을 검증하고자 한다. 재료의 물성치는 Table 1과 동일하다.<sup>(3)</sup>

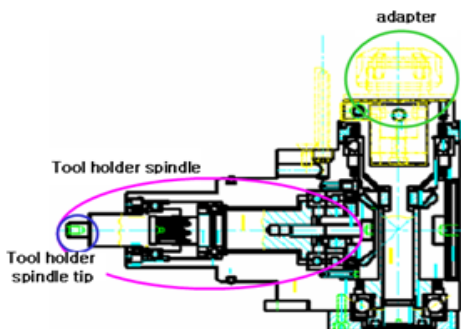


Fig. 1 Drawing of Complex Tool Holder

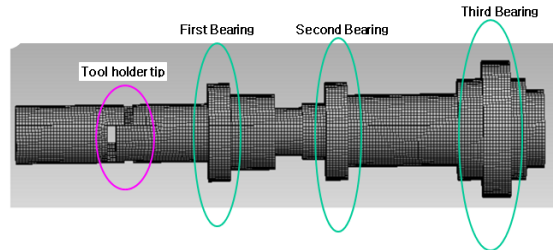


Fig. 2 Finite Element Modeling of Tool Holder Spindle

Table 1 Material properties of Spindle

Property (unit)	E (MPa)	Density (g/mm <sup>3</sup> )	Poisson's ratio
	850	7.8	0.3

### 2. iSight을 이용한 최적설계

본 연구에서 설계된 tool holder spindle tip 치수는 변화 시킬 수 없다. 그리고 스피ndl의 소재 역시 이미 정해져 있는 실정이다. 베어링 역시 상용제품을 사용하게 됨으로써 사양이 이미 정해져 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 tool holder spindle의 전체 deformation과 stress 그리고 tool holder spindle tip 부분의 stress와 deformation에 대한 연구이므로 외경과 길이와 구속 주축을 지지하는 베어링의 위치 그리고 tool holder spindle tip의 길이와 두께의 변화를 주어 최적의 조건으로 선정되었다는 가정 아래 베어링의 위치 그리고 tool holder spindle tip의 길이와 두께가 tool holder spindle에 얼마만큼 영향을 미치는지 알아보고 iSight-FD 3.1<sup>®</sup> 을 통하여 OLH(Optimal Latin Hypercube)를 이용하여 베어링의 최적의 위치를 찾아보았다.<sup>(4)</sup>

Table 2 Base Line Lower Boundary and Upper Boundary of 5 Design Variables

(unit : mm)

	Initial Value	Lower Bound	Upper Bound
First Bearing (d1)	29.5	11.5	37
Second Bearing (d2)	69.5	60.5	70.5
Third Bearing (d3)	120	115	127
Tool holder spindle tip length	10.5	5.5	15.5
Tool holder spindle tip Thickness	8	4	12

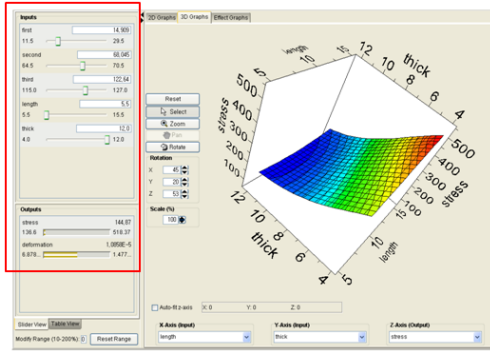


Fig. 3 Optimized approximation model

Table 3 Comparison of Initial Finite element modeling with Optimized Approximation Model of RBF

	Initial Finite element modeling	Optimized Approximation model	Reduction Rate
Stress (MPa)	267.38	223.86	16.3%
Deformation(mm)	1.3256 *10 <sup>-5</sup>	1.1695 *10 <sup>-5</sup>	11.8%

iSight-FD 3.1<sup>®</sup>를 통한 최적의 값을 Fig. 3에 나타내었다. 그리고 Table. 3에서는 최초설계보다 stress와 deformation이 향상되었는 것을 알 수 있다.

### 3. Tool Holder 시제품 제작

설계된 tool holder 에 대하여 RBF 근사모델에 의한 각 파라미터의 수준인 first bearing, second bearing, third bearing, tool holder spindle tip length, tool holder spindle thickness에 맞추어 Fig. 4과 같이 제작하였으며 Fig. 5에서 보는 바와 같이 tool holder spindle 내부의 변형을 측정하였다. 측정 시 50mm test bar를 사용하였으며 table 4에서 보는 바와 같이 측정결과 twisting deformation의 값이 기존의 0.02mm에서 0.008mm로 현저히 줄어들었다. 그리고 tool holder spindle tip의 깨지는 현상은 현재 tool holder spindle은 작업장에 직접 적용하여 실험 중에 있으며 기존의 tool holder spindle과 함께 사용하면서 새롭게 제작된 tool holder와 기존에 제작된 tool holder의 사용수명을 통하여 실험을 수행하고 있다. 그리고 tool holder spindle tip에 미치는 stress가 ANSYS<sup>®</sup> 11.0를 통한 해석으로 줄어들었다는 것은 이미 확인 할 수 있었다.

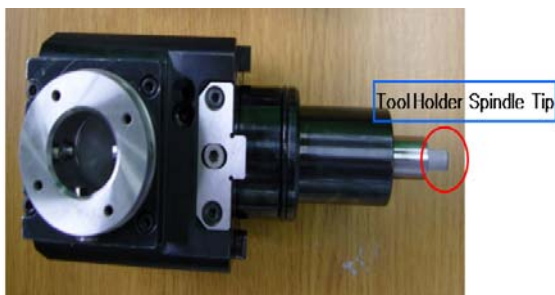


Fig. 4 Prototype of Complex Tool Holder



Fig. 5 Measurement of twisting deformation

Table 4 Comparison of Initial Prototype with Optimized Prototype

	Initial Prototype	Optimized Prototype	Reduction Rate
Twisting Deformation	0.02	0.008	60%

### 4. 결론

본 연구에서는 tool holder spindle의 변형 tool holder spindle tip의 깨지는 현상을 줄이기 위한 설계인자로 first bearing, second bearing, third bearing, tool holder spindle tip length, tool holder spindle thickness의 베어링 위치 변화와 tool holder spindle tip의 길이와 두께의 변화를 통하여 tool holder spindle의 stress와 deformation을 알아보았다. RBF 근사기법에 의하여 구해진 근사모델의 베어링 위치는 first bearing 14.90mm, second bearing 68.04, third bearing 122.64, tool holder spindle tip length 5.5, tool holder spindle thickness 12.0일 때의 output 예상 결과는 stress 258.32 MPa deformation 1.2903\*10<sup>-5</sup>mm로 초기 데이터인 stress 267.27 MPa보다 약 3.34% 줄었으며 deformation은 1.3109\*10<sup>-5</sup>mm로 약 한 1.57% 줄었다는 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 근사모델을 이용하여 구한 값이므로 타당성을 확보하기 위하여 재현성 해석결과 근사모델과는 약 2.6%~2.8%의 오차를 나타내었다. 그리고 시제품 제작하여 tool holder spindle의 변형 측정결과 기존보다 변형된 값이 0.02mm에서 0.008mm로 60%줄었으며 이를 통해 tool holder spindle의 설계가 기존의 설계 값 보다 향상되었음을 알 수 있다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업[RTI04-01-03] 지원으로 수행되었습니다.

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음

### 참고문헌

1. 박기범, 정원지, 이춘만 “초고속 스핀들의 모델 개선 법” 한국 공작기계 학회논문집 2008년.4.
2. 설상석 “실험계획법을 이용한 동 파이프 피팅 가공 자동화시스템 개발에 관한 연구” 창원대학교 졸업논문 2009년 6월
3. T(주)태성에스엔이 ANSYS Classic Training Manual ANSYS 입문
4. iSight Training Book. Engineous Korea, 2006.