

유한요소법을 이용한 소형 고속 CNC 선반 스피indle 시스템의 베어링 강성에 따른 휘돌림 궤적 특성 연구

Analysis of whirl behavior follow bearing stiffness in a small size and high speed CNC lathe spindle system using F.E.M.

김무수† · 이재훈* · 이시복** · 박성훈**

Musu Kim, Jae-hoon Lee, Sumin Lee, Shi-bok Lee and Seonghun Park

Key Words : swiss type lathe(스위스형 선반), whirl behavior(휘돌림 특성), bearing stiffness(베어링 강성)

ABSTRACT

In this study, rotor dynamic analysis have been conducted using three-dimensional solid model. Analysis object has smaller size and higher speed than any general CNC spindle. It is important to consider the real supporting conditions and external forces for whirl behavior analysis. As a results, the bearing stiffness is higher, whirl motion is less than before.

1. 서론

최근 기계 산업에서는 생산성 향상과 정밀가공 및 특수 목적을 위해서 회전체의 고속화가 요구되어지고 이에 따라 고속화 및 고출력화에 의해 변형을 일으키는 외력이 증대되고 있어 실제 지지조건 및 외력을 고려한 휘돌림 특성 해석의 필요성이 증대되고 있다.⁽¹⁾ 하지만 이제까지의 휘돌림 특성 해석은 주로 선박이나 항공기의 터보엔진과 같은 대형 로터-베어링계에 치우쳐져 있다. 본 연구에서는 나날이 소형 고속화되어가는 공작기계 스피indle 시스템의 휘돌림 궤적을 해석함으로써 보다 정밀한 공작기계의 설계가 가능하도록 하고자 한다.

기존 연구들은 대부분 비교적 덩치가 큰 공작기계의 스피indle 시스템에 관한 것인데 반해, 본 연구에서 다루고자 하는 대상은 스위스형 자동선반의 보다 소형 고속화된 CNC 선반 스피indle에 관한 것으로서 이 방면에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.⁽²⁾ 따라서 본 연구에서는 기존 스피indle 시스템들과는 달리 스위스형 자동선반이 갖는 특성과 그에 따라 필연적으로 수반되는 휘돌림 특성에 의한 진동을 기술하고자 한다.

2. 소형 고속 CNC 선반 스피indle

본 연구에서 해석하고자 하는 모델은 최대 가공직경 $\varnothing 7$, 최대회전속도 20,000rpm 급으로 개발된 (주)한화 테크엠의 CNC 자동선반 스피indle이다. Fig.1(a)는 상용소프트웨어인 Solidworks를 통해 모델링한 도면을 나타내었고 Fig.1(b)에는 제작된 스피indle 시스템의 외형을 나타내었다. 또한 Table 1에 해석 모델의 사양을 나타내었다.



(a) drawing (b) external shape

Fig.1 Drawing and external shape of spindle system

Table 1 The specification of analysis model

Property	Value
Max. cutting diameter (mm)	$\varnothing 7$
Max. cutting length (mm)	70/40
Through hole diameter (mm)	12
Max. rotating speed (rpm)	20,000
Motor (kW)	0.75/1.1
Division	1(OP)

† 교신저자; 부산대학교 기계공학부 석사과정
E-mail : msantn@gmail.com
Tel : (051) 510-3076, Fax : (051) 514-7640

* 부산대학교 기계공학부 박사과정

** 부산대학교 기계공학부 교수

3. 스피들 시스템의 해석

3.1 모델링

일반적으로 회전체 해석을 위해서는 유한요소법을 이용한 모델링과 해석을 수행하며, 특히 모델링의 편의성을 도모하기 위해 2차원 빔(Beam)요소를 이용한 모델링이 주로 이루어진다. 하지만 그마저도 축 대칭(symmetric) 모델이 대부분을 차지하고 있는데, 이는 회전체의 특이성을 배제하고 있으며 형상의 근사화(approximation)로 인하여 실제 모델과의 적잖은 오차를 수반하게 된다.

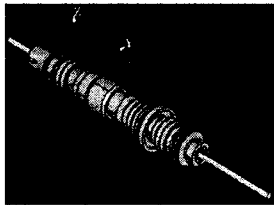
따라서 해석 대상의 구조적 특이성을 보다 효율적으로 반영하기 위하여 상용 소프트웨어인 SAMCEF를 이용한 3차원 모델링을 수행하였다. Fig.2_(a)는 SAMCEF를 통하여 해석 대상을 유한요소 모델링한 형상을 나타낸 것이다.

본 연구에서 해석하고자 하는 모델의 구조에 대한 개략도를 Fig.2_(b)에 나타내었다. Fig.2_(a)에서 확인할 수 있듯이 해석 대상이 되는 스피들은 소재(bar)와 척(chuck), 그리고 메인 스피들(main spindle)의 3중 구조로 결합되어 있다.

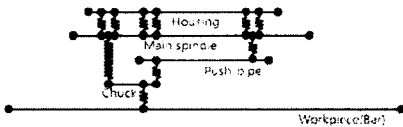
3.2 해석 결과

베어링의 강성에 따른 휘들림 궤적의 변화 정도에 대하여 알아보기 위한 해석을 수행하였다. Fig.3을 통해 베어링의 강성이 커질수록 휘들림 궤적은 작아지는 것을 알 수 있다. 회전수 5000rpm에서 베어링이 위치한 지점의 노드에서, 베어링의 강성이 5×10^7 일 때의 휘들림 궤적 반경이 약 60 nm 으로, 5×10^9 일 때의 휘들림 궤적 반경 0.7 nm 에 비해 약 100배 이상 크게 나타났다.

Fig.4는 정상 상태에서의 특정 노드점들의 궤적을 나열한 모습을 나타낸다. 이를 통하여 해석 대상인 소형 고속 스피들의 휘들림 궤적을 확인할 수 있다.



(a) Solid model (SAMCEF)



(b) The schematic diagram

Fig.2 Modeling of spindle system with workpiece

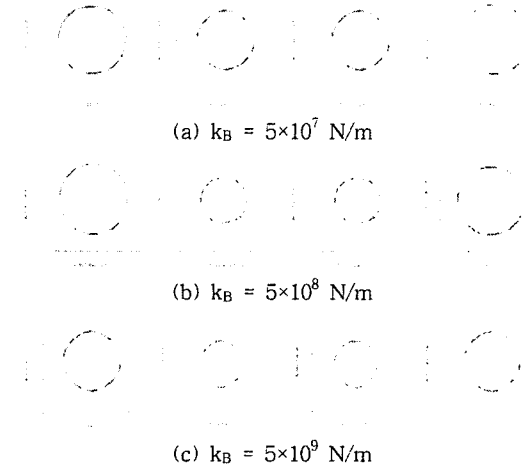


Fig.3 Whirl behavior following the bearing stiffness

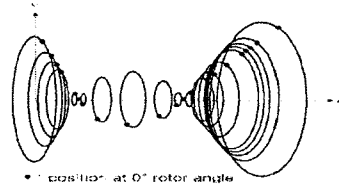


Fig.4 Whirl motion of rotor shaft in steady state

4. 결 론

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 SAMCEF를 이용하여 소형 고속 CNC 선반 스피들 시스템의 베어링 강성에 따른 휘들림 궤적 특성 연구를 수행하였다. 스피들 시스템 내부에서 소재와 접촉하는 요소들과의 접촉 강성을 고려하기 위해 3차원 솔리드 모델로 구성하여 휘들림 궤적 해석을 실시하였다. 베어링 강성을 세 가지 경우로 가정하여 각각의 경우에 대한 결과를 예측해 보았다. 그 결과, 베어링 강성이 증가할수록 휘들림 궤적의 크기는 감소함을 알 수 있었다. 차후 회전정밀도 측정 실험을 통해 본 연구의 시뮬레이션 결과에 대한 검증이 수반되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국 산업기술재단에서 주관하는 지역혁신인력 양성사업과제의 일환으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- (1) 양보석, 2002, 회전기계의 진동, 인터비전.
- (2) Yuzhong Cao, 2006, Modeling of High-speed Machine-tool Spindle Systems, M.A.Sc. Thesis, the University of British Columbia.