

# 다물체동역학 모델을 이용한 스피indle 강성변화에 따른 거동분석 Behaviors analysis on variable stiffness of spindle using multibody dynamic model

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

\*#S. W. KIM<sup>1</sup>(cluster6@changwon.ac.kr), C. M. Lee<sup>2</sup>, W. J. Jung

<sup>1</sup> 한국기계연구원 재료연구소, <sup>2</sup> 창원대학교 메카트로닉스 공학부

Key words : Spindle, multibody dynamic, variable stiffness

## 1. 서론

자동차, 가전, 반도체, 항공우주산업 등의 발전에 따라서 부품 가공의 고능률화와 고품위화에 대한 요구가 높아지고 있고, 그 결과로 NC 공작기계분야 전반에 걸쳐서 고성능화가 눈부시게 진행되고 있다 최근에 주목을 받고 있는 머시닝센터를 중심으로 한 고속화와 정밀선반을 중심으로 한 고정도화가 그 대표적인 예 들이다.

특히 공작기계 주축계의 고속화는 각종 부품가공시간의 단축에 따른 생산향상과 직결되고 있으므로 생산현장 으로부터의 요구가 급증하고 있는 실정이다.

스핀들과 같은 회전체의 성능에 있어서 베어링의 성능은 스피indle 회전성능에 중요한 영향을 미치게 되며 그 중 베어링이 가지는 강성값에 의해 스피indle의 정동적 특성이 변화하게 된다.

한편 일반적으로 스피indle에 사용되는 앵글러컨택트 볼베어링의 경우 최적성능을 위해 특정한 수치의 정위치 예압 또는 정압예압을 적용한다. 그러므로 일반적인 예압법은 회전나 부하가 변할 경우에는 스피indle의 성능이 제대로 발휘될 수 없다. 이를 개선하기 위해 최근에는 가변예압을 이용한 베어링 강성변화를 시도하는 스피indle이 개발되고 있는데 이는 하나의 스피indle로 고강성이 필요한 저속 중절삭과 고속에서의 경절삭을 동시에 실현하기 위함이다. 결국 스피indle 가변예압의 목표는 스피indle이 회전수에 따라서 적절한 강성을 유지하도록 하는 것이다.

본 논문에서는 가변예압 연구의 일환으로 스피indle의 회전시 강성이 변화하였을 때의 거동을 살펴보기 위해 다물체 동역학 해석을 활용하였다. 스피indle 모델에서 강성값만을 바꾸어 정적치짐, 위험속도등을 구하는 기존의 정동특성 해석과는 달리 다물체 동역학에서의 강성변화 해석은 회전중에 변화된 강성이 가지는 영향을 시간에 따라 분석하는 차이점이 있다. 이를 통해 적정 강성 변화량이나 변화 시간에 대한 정보를 미리 파악하여 가변예압구조물의 적정 가변예압 및 예압변경시간등을 설정할 수 있도록 하고자한다.

## 2. 다물체 동역학 모델의 작성

해석에 사용된 스피indle의 모델은 국내 스피indle 전문업체가 개발 중인 HSK-A63 타입의 모델이며 최고 회전속도 20,000RPM과 저속에서의 중절삭이 동시에 가능하도록 연구중에 있다 스피indle 직경은 약 70mm 정도이며 모델링된 스피indle의 전장은 약 670mm 정도이다.

회전체의 전산동역학해석을 위해서는 회전체가 탄성체로 모델링 되어 있어야 하며 탄성체 작성을 위해 상용유한요소해석프로그램 ANSYS<sup>®</sup>를 이용해 유한요소모델을 먼저 작성하였다. Fig. 1은 ANSYS<sup>®</sup>에서 모델링 된 스피indle의 형상이다. 모델은 3D로 작성하였으며 스피indle의 특성을 나타내는데 불필요한 형상은 삭제하고 드로우바를 일체로 모델링 하였다. 베어링의 위치에는 해당 노드를 강체로 처리하여 상용 다물체 동역학 프로그램인 ADAMS<sup>®</sup>에서 조인트 구축을 부여할 수 있도록 하였다. 모델의 총 요소수는 약 85,000개 이며 solid 45요소를 사용하고 베어링 부분은 병진 3개 방향의 구속을 주었다.

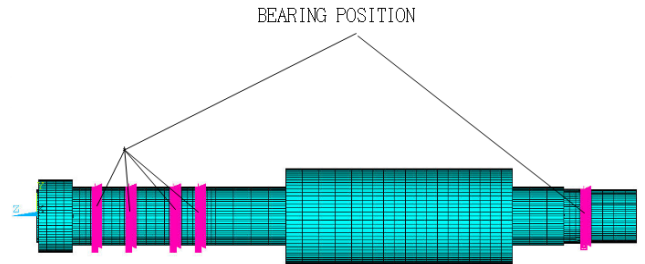


Fig. 1 FEM model of spindle

Fig. 2는 ADAMS<sup>®</sup>에서 작성된 스피indle 모델로서 ANSYS에서 만들어진 유한요소 모델의 베어링 부위에 스프링효과를 부과하여 베어링 강성을 적용하였다.

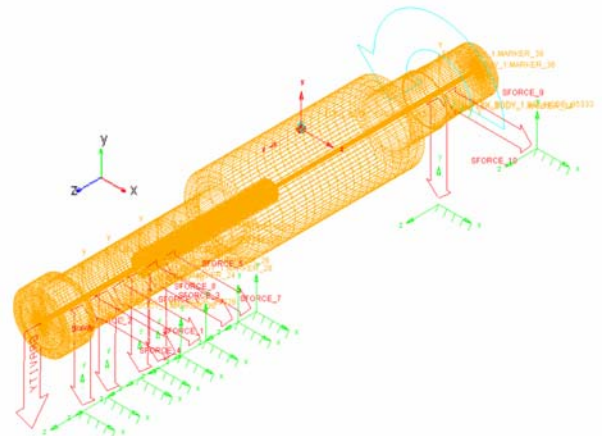


Fig. 2 Flexible body of spindle

스핀들의 회전은 동해석의 경우 초기 중력상태에서 약간의 처짐이 발생하고 이러한 정적처짐으로 인한 스피indle의 변위가 안정화 된 이후에 회전력이 적용되도록 하였다.

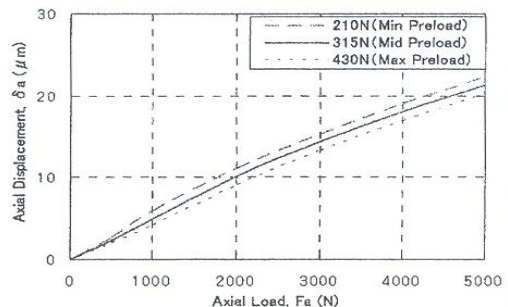


Fig. 3 Axial stiffness on assembly process

베어링 강성은 Fig 3과 같이 베어링 메이커에서 제시한 축방향 변위에 따른 강성그래프 등을 바탕으로 변경 가능한 예압범위와 그에 따른 강성 변화값을 산출하여 가능 범위 내에서 강성변화 시 스피indle의 거동을 파악하였다.

### 3. 해석조건 및 결과

베어링의 강성변화 범위는 예압조건에 따라 달라지므로 실제 가변예압기구에서 적용되는 예압량과 회전시에 변화하는 원심력에 의한 팽창, 열에 의한 팽창 등에 의해 변화하게 된다. 실제 베어링 업체가 제공한 예압변경량의 경우 Fig. 4와같이 조립시 최소 315N에서 운전 시에는 3800N까지 변화하는 것으로 제시되어 있다.

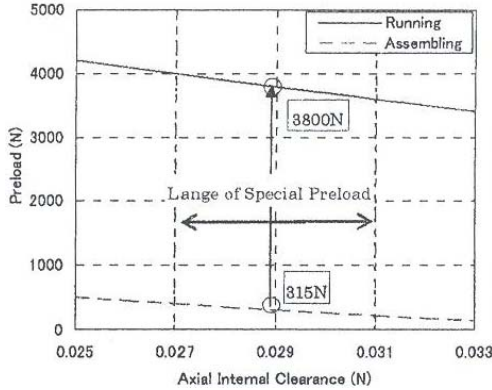


Fig. 4 Preload variation between assembly and running condition

운전 시 적용되는 강성값은 계산에 의한 방법도 있으나 본 연구에서는 베어링 제조업체에서 제시한 데이터를 기준으로 산출하는 방법을 선택하였다. Fig. 3과 Fig 4를 통해 제시되어 있는 조립시의 강성값 뿐만 아니라 운전시의 강성값도 유추하였다. 한편 해석에 사용된 스핀들은 전방에 4개의 앵글러 컨택트 볼 베어링과 후방에 1개의 롤러 베어링을 사용한 구조이며 해석에서는 전방 4개의 베어링에 가변예압이 적용되는 것으로 가정하였다. Table 1은 전방베어링에 적용된 예압량과 강성값이다.

Table 1 Stiffness of preload

예압량[N]	전체 강성 [N/μm]	베어링당 강성[N/μm]
315	727	181.8
3800	2302	575.5

후방 베어링은 강성 변화 없이 전체 강성이 한 개의 베어링에 적용되도록 하였다.

Table 2 Comparison of measured roughness data

CASE No	강성 변화 유무	초기강성값	최종강성값	강성변화 시간
1	X	181.8	181.8	-
2	X	575.5	575.5	-
3	O	181.8	575.5	0.05
4	O	181.8	575.5	0.01

해석은 Table 2과 같이 4개의 경우로 나누어 수행하였다. 4개의 경우는 각각 고강성이 적용된 경우와 저강성이 적용된 경우 그리고 동일 회전수에서 고강성이 적용된 경우 강성이 변하는 시간에 따라서 2개의 경우이다.

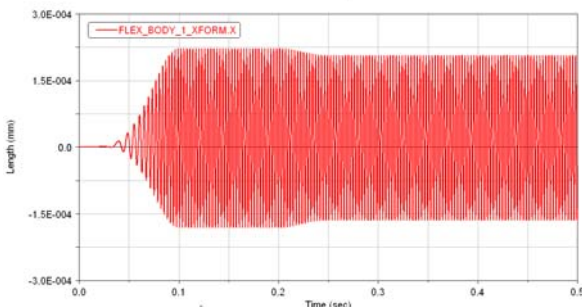


Fig. 5 Result of Case No. 1

Fig. 5는 Case 1의 결과이다. 강성변화가 없는 경우 중 저강성의 해석결과이다

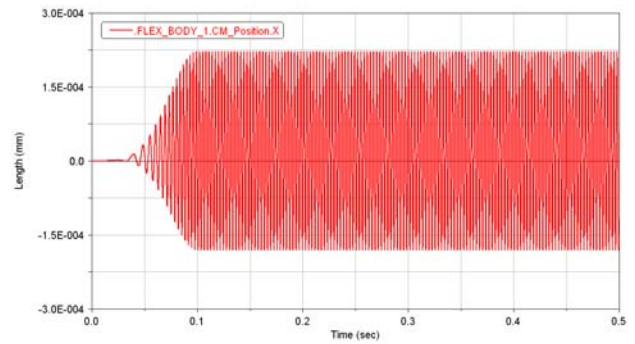


Fig. 6 Result of Case No. 3

Fig. 6은 강성이 변화하였을 때의 결과 중 비교적 강성변화 시간을 길게 하였을 때의 결과로서 강성의 변화량이 약 3배가 증가함에도 진폭의 변화량은 크지 않은 것으로 나타난다. 이는 기본적으로 적용된 강성의 크기가 상당히 크기 때문인 것으로 보인다. Table 3에서는 Table2의 각 경우에 따른 해석결과를 정리하였다.

Table 3 Result of Cases

CASE No	초기상태진폭[μm]	최종상태진폭[μm]	정상상태 수렴시간[s]
1	0.4026	0.4026	-
2	0.3713	0.3713	-
3	0.4036	0.3713	약 0.5
4	0.4036	0.3713	약 0.1

해석 결과 정상상태 수렴시간은 Case 3,4에서 모두 강성이 변화한 시간과 거의 동일한 것으로 나타났으며 강성의 급격한 변화로 인한 과도응답등은 보이지 않는다. 하지만 향후 절삭력 등의 외란 요인이 부과된다면 다른 거동을 보일 수도 있을 것으로 사려된다.

### 4. 결론

본 연구는 최근 공작기계요 스핀들에 적용되는 핵심기술 중 가변예압에 의한 스핀들 거동 분석을 위한 기초 연구로서 예 강성변화를 스핀들의 거동을 파악하고자 하였다. 본 논문에서는 스핀들의 강성변화에 대한 거동 분석을 위해 다물체 동역학 모델을 이용한 해석 모델 구성을 제안하였다. 또한 예압변화에 따른 강성값을 베어링 데이터로부터 산출하여 모델에 적용하고 해석을 수행하였다. 해석결과 강성변화에 따른 스핀들의 거동변화를 시간에 따른 진폭변화로 확인하였다. 추후 정밀한 모델링 및 절삭조건 예압에 따른 강성산출방법개선 등을 통해 좀더 정확한 해석 결과를 얻을 수 있을 것으로 사려된다.

### 후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신 사업 [RTI04-01-03] 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 고재용, "ANSYS와 유한요소법 - 제 2판," 시그마프레스(주), 2001
- Jun OS, "Vibration Analysis of Flexible Rotor Having a Breathing Crank," Journal of Korea Society of Precision Engineering, Vol 15, 1137-1147, 2005
- ADAMS User's Manual, MSC SOFTWARE
- 송철기, "기구학 및 동역학 해석을 위한 ADAMS ver. 12," 도서출판 인터비전, 249-266, 2003.