

# Built-in 모터와 베어링 강성을 고려한 스피ndl의 Modal 해석용 유한요소모델 개발

\*김성원<sup>1</sup>, 이정환<sup>1</sup>, 박기범<sup>2</sup>, 정원지<sup>2</sup>, 이춘만<sup>2</sup>, 김재실<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 소재성형연구센터, <sup>2</sup> 창원대학교 기계설계공학과, <sup>3</sup> 창원대학교 기계공학과

## Development of spindle FE model for modal analysis considered Built-in motor and bearing stiffness

\*S. W. Kim<sup>1</sup>, J. H. Lee<sup>1</sup>, K. B. Park<sup>2</sup>, W. J. Chung<sup>2</sup>, C. M. Lee<sup>2</sup>, C. S. Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> KIMM, <sup>2</sup> Dept. of Mech. Design & Manuf. Eng. Changwon National Univ., <sup>3</sup> Dept. of Mech. Eng. Changwon National Univ.

Key words : FEM, Spindle, ARMD, ANSYS

### 1. 서론

나날이 고속화 정밀화되어 가는 공작기계 주축계의 개발에 있어서 스피ndl 시스템의 고유진동수 또는 위험속도 계산을 통한 공진회피 설계는 필수사항이라 할 수 있다. 컴퓨터 기술이 발달되지 않았던 초창기에는 시스템을 최대한 단순화 시켜 수 계산으로 시스템의 고유진동수를 계산 하였으나 컴퓨팅 기술의 발전으로 유한요소법을 이용한 회전체 전용 해석 프로그램을 등장하였고 이를 이용한 회전체의 동특성 파악이 가능해 졌다. 현재 일반적으로 사용되는 회전체 해석을 위해서는 유한요소법을 이용한 모델링과 해석이 이루어지고 있으며 회전체의 특이성을 감안하고 모델링의 편의성을 도모하기 위해 2차원 Beam요소를 이용한 모델링이 정착화 되어 있다. 이러한 방법을 이용한 많은 상용 또는 비상용 소프트웨어가 개발되어 있으며 다방면에 걸쳐 활용되고 있다. 그러나 각종 회전체 관련 기술들이 발달하면서 점차 회전체의 형상이 복잡해지거나 각기 다른 재료를 한 회전체에 사용하는 경우가 늘어나고 있다. 최근 공작기계에 널리 사용되고 있는 빌트인 모터를 이용한 스피ndl이 대표적인 경우라 할 수 있다. 이는 기본 스피ndl 이외에 물성치가 다른 규소강판을 이용한 모터의 로터 부분을 장착함으로 스피ndl을 다 물성체로 고려하여야 함을 의미한다. 그러므로 일반적인 Beam요소를 이용한 유한요소 모델로는 노드에 적용되는 서로 다른 물성치의 스피ndl을 정확히 모델링 하는데 한계가 있다고 할 수 있다. 한편 구조물의 Modal 해석에 광범위하게 사용되는 범용 유한요소해석 프로그램의 경우 3차원요소 사용을 통해 이러한 모델링의 제약을 극복할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 3차원 요소로 모델링 가능한 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 스피ndl 시스템을 모델링하고 2차원 Beam 요소를 이용한 대표적인 회전체 해석용 상용 프로그램인 ARMD의 결과와 비교 분석을 통하여 사용 FEM 프로그램을 이용한 공작기계용 스피ndl 시스템의 고유진동수 해석을 위한 모델링의 기초연구를 수행하고자 한다.

### 2. 3차원 유한요소 모델에서의 베어링 모델링

해석을 위한 모델은 스피ndl의 총 길이310mm 최대 회전속 4000rpm 이며, 스피ndl 전방에 베어링이 2개 후방에 1개가 지지하도록 되어 있는 구조이며 각 베어링의 강성 반경방향이  $\times 10^7$  [N/m]로 설정하였다. Fig. 1은 ARMD에서 작성된 스피ndl의 형상이다. ARMD에서 사용된 방식은 2차원 Beam 요소를 사용하고 있으며 베어링의 모델링은 베어링 위치에 해당하는 노드에 베어링의 강성 및 점성을 입력하도록 되어 있다. Fig. 1은 비교를 위해 작성한 ARMD 모델로서 40,000rpm 에서의 위험속도는 79672 rpm 이었다.

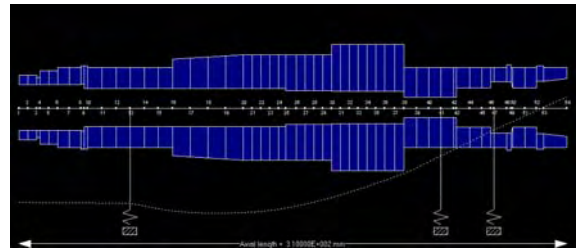
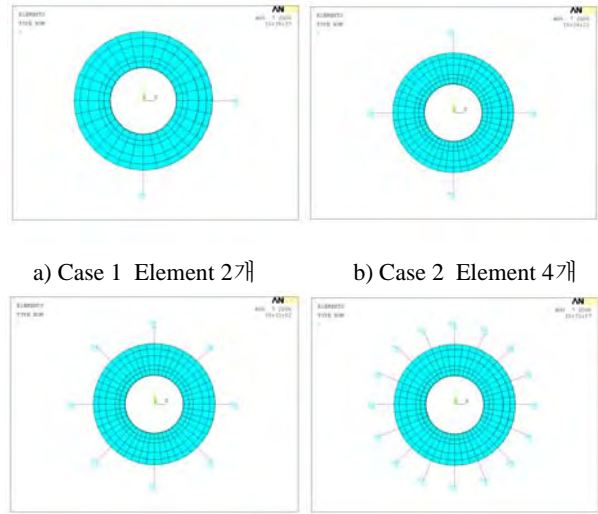


Fig. 1 ARMD Model of spindle

ANAYS에서 구성한 스피ndl 모델은 스피ndl 부위는 Beam 요소 대신 ANSYS에서 제공하는 Solid 185의 3D brick 요소를 이용하여 실물예 근접함 모델링을 수행했으며 베어링부의 모델링은 Combine 14 요소를 이용하였다.



a) Case 1 Element 2개      b) Case 2 Element 4개  
c) Case 3 Element 8개      d) Case 4 Element 16개  
Fig. 2 Case of Bearing modeling

Fig. 2는 각 베어링을 Combine 요소의 사용 개수에 따라 Case 별로 분리한 것이다.

Table 1 Natural frequency and stiffness of each case

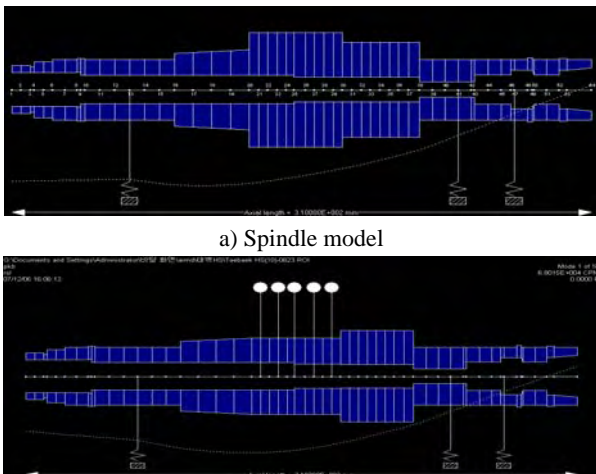
Case 번호	요소당 적용된 K 값 (N/m)	고유진동수(1차)
1	$9.000 \times 10^7$	70512rpm(1175.2Hz)
2	$4.500 \times 10^7$	75204rpm(1253.4Hz)
3	$1.864 \times 10^7$	72192rpm(1203.2Hz)
4	$8.951 \times 10^6$	71958rpm(1199.3Hz)

Table 1는 각 베어링 당 사용된 Combine 14 요소의 수에 따라 계산된 고유진동수이다. 각 베어링 베어링의 증점에 반경방향으로 배치하였다. 이는 비교 대상인 ARMD에서 베어링 모델링

과 유사한 위치에서 모델링하기 위함이다. 각 엘리먼트에 적용된 강성은 베어링 요소의 수에 따라 반경방향으로 등가의 강성이 적용될 수 있도록 Table 1에서와 같이 베어링 강성을 변화 시켰다. 해석결과는 전반적으로 ARMD의 결과에 비해 낮은 고유진동수를 보여주고 있으며 이는 ARMD에서는 40,000rpm에 대한 위험속도를 ANSYS에서는 구조물의 고유진동수를 파악하기 때문으로 사려된다. 각 case에서 도출된 1차 모드는 대각선 방향으로 형성되었다. Case 1은 ARMD와 같이 한 축에 한개의 지지 엘리먼트만 부과하였으나 1차모드가 2개 나타나는 신뢰 할 수 없는 결과를 얻었다. 나머지 Case에서는 모드형상 자체가 분리되는 현상은 없었으며 전반적으로 엘리먼트 개수의 증가에 따라 고유진동수가 감소하는 경향을 보이며 Case 3,4의 결과에서 엘리먼트 개수가 2배가 되어도 고유진동수의 변화는 크지 않음을 확인 할 수 있다. 그러므로 베어링 모델링 시 적당한 엘리먼트의 개수는 8개 이상이 적당하다.

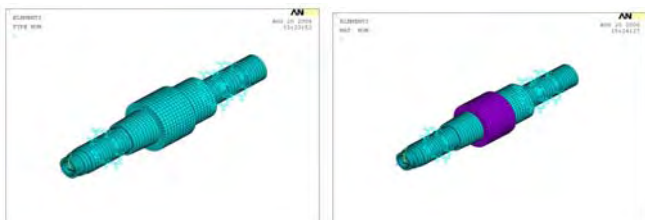
4. Built-in 모터의 모델링

현재 공작기계용 스피들에서 주로 사용되는 스피들의 대부분은 Built-in 모터를 사용하고 있으며 그러므로 스피들 특성 파악 시 로터부위가 포함된 해석이 필수적이다. Built-in 모터의 로터부는 구조강판을 적층하여 만들어지므로 재질의 물성치가 달라지게 된다. 이를 반영하기 위해 ARMD를 이용한 모델링과 ANSYS를 이용한 모델링을 수행하여 결과를 비교 하였다. 되며 이를 적용한 유한요소 모델을 작성할 필요가 있다. ARMD에서는 반경 방향의 한 노드에 적용되는 물성치가 한가지로 고정되므로 반경방향으로 이 물성체가 배치되어 있는 경우 모델링이 기본적으로 불가능하다. 그러므로 로터부분이 적용되는 부분의 노드에 디스크가 추가로 붙어있는 것으로 모델을 근사화 하거나 그 부분을 디스크와 같은 재질로 되어 있다고 가정하는 방법이 있다. 두 가지 방법 모두다 로터의 재질을 정확히 반영한다고는 볼 수 없다. Fig. 3의 a)는 로터를 스피들과 같은 물성치를 가지는 스피들로 모델링 하였고 b)는 로터를 디스크로 모델링 하였다.



a) Spindle model  
b) Disk model  
Fig. 3 ARMD model with rotor

한편 ANSYS는 반경방향에 1개 이상의 노드를 생성시켜 물성치를 정확하게 반영할 수 있는 장점이 있다.



a) Case 1 Same property      b) Case 2 Different property  
Fig. 4 FE model with rotor

Fig. 4는 Rotor 가 포함된 유한요소모델이다. ANSYS에서는 각 부분의 물성치를 임의로 조절 할 수가 있으므로 로터부분의 물성치를 변화 시켜 해석하고 결과를 비교하였다. Table 2는 ANSYS 해석 시 각 Case에 적용된 물성치를 나타내었다.

Table 2 Material property of each case

Case	Part	E(Mpa)	Density(kg/m3)
Case 1 (동일한 물성치)	Spindle	200e9	7817
	Rotor		
Case 2 (로터 물성치 적용)	Spindle	200e9	7817
	Rotor	21.3e9	

Table 3 Result of each case

Case	고유진동수 또는 위험속도
Case 1(동일한 물성치)	64236rpm(1070.6Hz)
Case 2(로터 물성치 적용)	62772rpm(1046.2Hz)
ARMD 모델 1(동일한 물성치)	71176rpm
ARMD 모델 2(로터를 디스크로 처리)	68015rpm

Table 3은 ARMD와 ANSYS에서 수행된 해석 결과이다. 해석결과 ARMD의 경우 디스크로 처리한 경우가 스피들에 포함한 결과보다 작게 나타남을 알 수 있었고 ANSYS에서는 물성치를 달리한 모델이 더 작게 나타남을 알 수 있었다. ANSYS 해석결과에서는 고유진동수 변화가 크게 나타나지 않은데 이는 고유진동수에 큰 영향을 미치는 밀도의 변화가 없기 때문으로 생각된다.

4. 결론

본 연구는 공작기계용 스피들 개발 시 반드시 선행 되어야 할 추축계의 공진 회피 설계를 위한 안정성 해석과정에서 서로 다른 물성치가 적용된 빌트인 모터 및 베어링부위를 강성효과를 ARMD 와 ANSYS에서의 모델링 및 해석을 하였고 결과를 비교검토 하였다. 해석결과 스피들의 베어링의 강성효과 적용을 위해 베어링을 Combine 14 요소로 모델링 함이 타당하며 요소의 수는 1, 2차 모드가 대각선 방향으로 형성되므로 이를 고려할 때 베어링 1개당 적용되는 요소의 수는 8개 이상이 적당하다. Built-in 모터의 모델링은 이물성체가 포함된 경우 다소의 고유진동수 값의 차이가 보였으나 공진여부와 같이 정확한 해석결과가 요구되지 않는 경우 스피들에 사용되는 구조강판의 재질을 고려하지 않아도 큰 지장이 없음을 알 수 있다. 단 재질의 밀도가 현저하게 차이 날 경우에는 2개 이상의 물성치를 적용한 해석이 필요하다.

후기

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

참고문헌

1. 박노길 외5명, "기계진동학," (주)피어슨 에듀케이션 코리아, 620-622, 1992
2. ARMD Users's Manual ,ARMD
3. 양보석, "회전기계의 진동," 인터뷰전, 41, 2002
4. 고재용, "ANSYS와 유한요소법 - 제 2판," 시그마프레스(주), 2001
5. 손창현, "유한요소해석 입문과 선형해석 - 제3판," (주)태성애스엔이, 1999