

ADROS를 이용한 마이크로 밀링머신의 고속 주축 해석

Dynamic Analysis of a High Speed Spindle System of Micro Milling Machine by using ADROS

*황현영¹, 장성현¹, 정용민¹, 최영휴²

*H. Y. Hwang¹, S. H. Jang¹, Y. M. Jung¹, Y. H. Choi² (yhchoi@changwon.ac.kr)

¹ 창원대학교 대학원, ² 창원대학교 메카트로닉스공학부

Key words : Spindle system, Critical speed, Whirling frequency, Harmonic response function

1. 서론

최근 미세 부품의 개발을 위해 마이크로 공작기계가 많이 개발되고 있다. 일본, 미국 뿐 아니라 국내에서도 마이크로 공작기계에 대한 관심이 늘면서 다양한 형태의 공작기계가 많이 개발되고 있는 추세이다. 마이크로 공작기계의 정밀 가공을 위해서는 전체 기계의 구조 뿐 아니라 가공 중에 톨과 소재사이에 발생하는 진동도 중요시되고 있다. 따라서 이를 위해 정밀하고 진동이 적게 발생하는 스피들 시스템이 필수적이다. 즉, 고속, 고정밀의 마이크로 공작기계 개발을 위해서는 구조적인 진동뿐만 아니라 절삭작업과 밀접한 관계가 있는 스피들 자체의 질량 불균형 등으로 인한 진동을 줄일 필요가 있다.

마이크로 공작기계의 경우, 일반 공작기계보다 크기가 매우 작고, 고속으로 회전을 하기 때문에 소형화된 스피들 시스템이 필요로 하고, 더불어 스피들을 지지하는 베어링은 볼베어링이나 저널베어링보다 에어베어링을 사용하여 진동이 적고, 경량이면서 고속 회전할 수 있는 안정적인 스피들을 필요로 한다.

이에 본 연구에서는 3축 마이크로 밀링머신에 장착될 에어베어링을 가지는 주축 시스템에 대하여 자체 개발 회전체 해석 프로그램인 ADROS를 사용하여 초기설계 단계에서 스피들 시스템의 고유진동 특성, 위험속도, 윙링 모드, 조화가진 진동을 해석해 보고자 한다.

2. 주축계 모델링

마이크로 밀링머신에 장착될 주축 시스템에 대한 모델을 Fig. 1에 나타내었다. 스피들 축의 직경이 40 mm, 길이가 113 mm이다. 또한 베어링은 에어베어링을 적용하였으며, 두 개의 래디얼 에어베어링과 하나의 스러스트 에어베어링으로 지지하였다. 그리고 스피들의 요구 작동속도는 60,000 ~ 150,000 rpm으로 두었다.

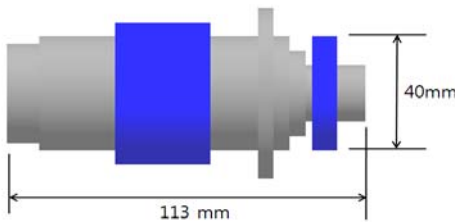


Fig. 1 Illustration of a spindle system model

Table 1 Modeling data of spindle system

		Value
No. of element	Shaft	22
	Disk	2
	Bearing	3
Material property	Young's modulus, E [GPa]	72
	Poisson's ratio, ν	0.33
	Density, δ [kg/m ³]	2,700
Bearing stiffness	Radial air bearing [N/ μ m]	11.3
	Thrust air bearing [N/ μ m]	13.0

회전체 해석을 위하여 Fig. 2에서와 같이 스피들을 축, 강체 디스크, 스프링요소 유한요소 모델링을 하였다. 축은 22개의 요소로 나누었으며, 재료는 알루미늄 7079를 사용하였다. 베어링은 두 개의 래디얼 에어베어링과 한 개의 스러스트 에어베어링을 사용하였으며, 각각의 강성은 11.3 N/ μ m와 13.0 N/ μ m이다. 스피들에 부착되는 주변 부품은 등가의 질량을 가지는 디스크로 간주하였다. 모델링 결과, 스피들 하우징을 제외한 요소들의 질량은 0.408 kg이었다.

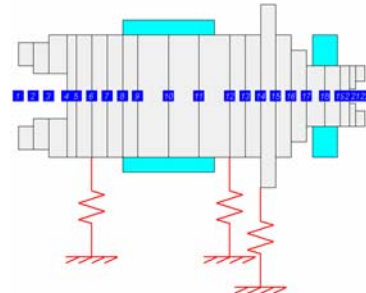


Fig. 2 Finite Element modeling of spindle system

3. 해석 결과

주축계의 형상에 따라 나타나는 굽힘 고유 진동수와 굽힘 모드 형상을 Table 2와 Fig. 3에 나타내었다. 1차 굽힘 주파수는 700.2 Hz (42,010 rpm)이며, 2차 굽힘 주파수는 1287.5 Hz (77,248 rpm)로 작동영역 내에서 나타났다. 1차 모드와 2차 모드는 절점을 하나 가지는 굽힘 진동 모드이고, 3차 모드는 절점을 두 개를 가지는 굽힘 진동이 나타났다.

Table 2 Comparison of measured roughness data

Mode	Spin speed [rpm]	Natural frequency [Hz]
1	42,010	700.2
2	77,248	1287.5
3	779,698	12995.0

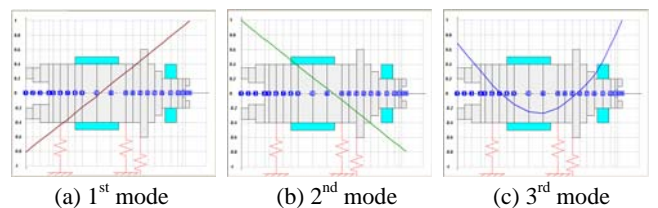


Fig. 3 Bending vibration mode

특정 작동속도를 120,000 rpm으로 하여 위험속도를 해석하였다. 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 위험속도는 주기적인 진동의 주파수 성분이 회전체의 고유진동모드와 일치하거나 근접할 때 특정한 회전 속도에서 공진이 나타나는 주파수 값이다. 그러므

로 위험 속도를 피하여 작동을 하여야 한다. 운전 시 공진 여부를 판단하기 위해 위험 속도 해석을 수행한 결과, 1차 위험속도는 60,768 rpm에서 나타났으며, 작동속도 영역 내에서 다섯 개의 위험속도가 나타났다.

주축을 작동속도 120,000 rpm으로 운전할 때 나타나는 위험속도에 대한 휘링 모드를 해석하였다. 그 결과를 Table 4와 Fig. 3에 나타내었다. 1차 모드, 2차 모드 모두 절점 1번에서 최대 변위를 나타내고 있으며 3차 모드에서는 22번 절점에서 가장 큰 변위가 발생하는 탄성 모드 형상이 나타났다.

Table 3 Critical speed

Mode	Speed [rpm]	Frequency [Hz]
1st	60,768	1012.8
2nd	64,546	1075.8
3rd	81,127	1352.1
4th	85,725	1428.7
5th	105,372	1756.2

Table 4 Whirling Frequency

Mode	Frequency [Hz]
1st	backward 672.6
	forward 1316.3
2nd	backward 1523.6
	forward 1754.7
3rd	backward 12396.2
	forward 13717.9

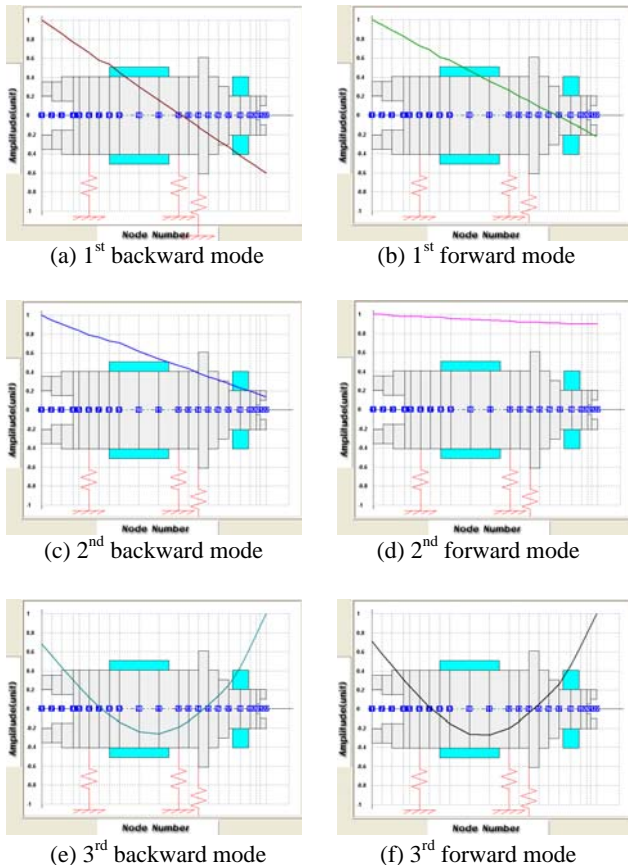


Fig. 4 Whirling mode

가공 시 주축계에 조화가진력이 들어올 때, 주축계의 응답을 보기 위해 조화가진 응답해석을 수행하였다. 톨이 부착되는 1번 절점에 임의의 10 N의 조화가진력이 들어온다고 가정하고, 1 ~ 5000 Hz까지 해석을 하였다.

모든 절점에 대하여 조화가진 응답을 Fig. 5에 나타내었다. 작동 영역 내의 1,401 Hz (84,060 rpm)에서 최대 응답이 발생하였다. 즉 1번 절점에서 최대 응답이 발생하며 진동 응답량은 0.101 mm이다.

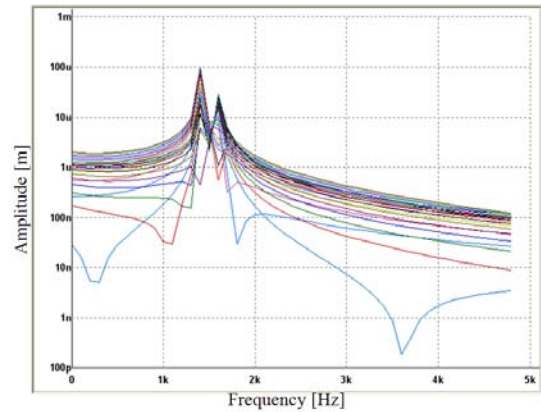


Fig. 5 Harmonic response function

4. 결론

본 연구에서는 회전체 해석 프로그램인 ADROS를 이용하여 마이크로 공작기계 주축계의 굽힘 고유 진동수, 위험속도, 휘링 모드, 조화 가진 해석을 수행하였다.

굽힘 모드는 1차는 42,010 rpm이며, 2차 굽힘 모드는 77,248 rpm이 나왔다. 120,000 rpm에서 휘링 주파수와 모드를 분석하였다. 스피들을 120,000 rpm으로 회전시켰을 때, 굽힘 모드와 위험속도가 작동 영역내에 포함이 되는 것을 확인할 수 있었다.

그리고 위험속도 해석 결과, 작동 영역 내에서 5개의 위험속도가 나타났으므로 향후 작동 영역 내에서 위험속도를 피할 수 있는 최적설계가 필요하고, 조화가진 해석 결과 1,401 Hz에서 최대응답이 발생하였으므로 이 주파수를 피해서 스피들 구동을 하거나 작동 영역 내에 공진을 피할 수 있는 설계가 필요하다.

후기

본 연구는 산업자원부의 차세대신기술개발사업의 일환으로 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. (10016620-2007-21)

참고문헌

1. Park, S. K., "Dynamic Analysis of a Flexible Rotor System Having Thin-walled Cylinder Combined with Its Shaft," Master's thesis, Changwon National University, 2001.
2. 최영휴, 박선균, 김종무, "유전알고리즘을 이용한 모터내장형 주축 시스템의 최적설계", 산업기술연구논문집, 16, 201-207, 2002.
3. 최영휴, 장성현, 김인수, 오창환, 조용주, "5축 복합가공기용 주축 시스템의 동적 해석", 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, 238-243, 2006.
4. 최영휴, 박선균, 박병철, "고속 연삭 주축 시스템의 회전체 역학 해석", 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, 714-719, 2000.