

수직형 머시닝 센터 주축계의 정·동적 해석을 통한 설계 안정성 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Design Stability for Vertical Machining Center Spindle by Static and Dynamic Analysis

*박성진¹, *이춘만², 김 용¹, 변삼수³

*S. J. Park¹, #C. M. Lee(cmlee@changwon.ac.kr)², W.Kim¹, S.S.Byun³

¹ 창원대학교 기계설계공학과, ² 창원대학교 메카트로닉스공학부, ³ 이엠코리아(주)

Key words : FEM, Spindle, ARMD

1. 서론

생산성 향상은 현재 모든 산업 분야 전반에 걸쳐 가장 중요한 요소로 인식되고 있다. 이러한 추세는 공작기계 분야에도 마찬가지로 여겨지고 있으며 오늘날의 기계가공에 있어서 다품종 소량 생산, 변종변량 생산, 원가절감, 기능의 복합화와 같은 다양한 형태의 요구가 증대되고 있다. 이에 따라 최근 생산성 향상을 위하여 엔지니어링 부품 크기의 지속적인 축소에 의한 가공부품의 소형화로 공작기계 성능의 변화가 요구되고 있다. 특히 자동차 산업을 중심으로 한 모듈화의 지속적인 확산으로 부품수가 현저히 줄어드는 반면 복잡형상의 소형 부품가공을 위한 정밀 가공장비가 요구되고 있다. 이러한 주축의 고정밀도를 실현하기 위하여 주축 회전 시 필연적으로 발생하는 진동에 대한 문제를 고려한 주축의 설계가 이루어져야 한다. 주축의 동특성은 공작물의 가공 정밀도에 직접적인 영향을 줄 뿐 아니라 공작기계의 절삭성능을 제한하는 채터 진동과 밀접한 관련이 있으며 주축의 진동이 커지면 베어링의 수명저하 및 툴홀더의 탈락에 이르는 심각한 결과를 초래하기도 한다. 따라서 공작기계의 고정밀화를 위해서는 진동을 제어할 수 있는 설계 기술이 절실히 요구된다. 또한 최근의 공작기계 개발자들에게는 효율적인 설계기술과 빠른 시장변화에 유연하게 대응하기 위해 신제품의 개발기간을 단축시킬 수 있는 기술이 필요하다. 이를 위해서는 시제품을 직접 제작하여 실험하기 전에 설계단계에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 공작기계의 정적, 동적거동을 파악하여 설계를 최적화하는 동시 병행적 엔지니어링의 개념이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 현재 개발 중인 Compact Machining Center 주축의 정적 동적으로 안정한 설계를 위해 주축계에 대하여 상용 회전체 해석 프로그램인 ARMD를 이용하여 정·동 해석을 실시하고 이를 바탕으로 설계 안정성을 평가하고자 한다.

2. 유한요소 모델링

Compact Machining Center 주축계의 시스템을 Fig. 1에 나타내었다. 해석을 위한 모델은 총 길이 266mm, 최대 회전수 12,000rpm이며, 스피들 전반부와 후반부에 각각 2개씩 설치한 앵귤러 콘택트 볼 베어링에 의해서 주축을 지지하도록 되어있는 구조이다.

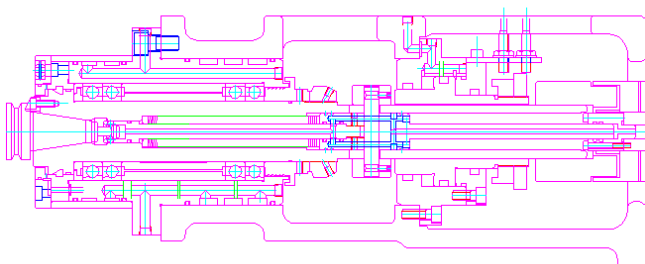


Fig. 1 The schematic of compact machining center spindle system

Fig. 2는 ARMD에서 작성된 스피들의 형상이며 해석에 사용된 재료의 물성치는 Table 1과 같다.

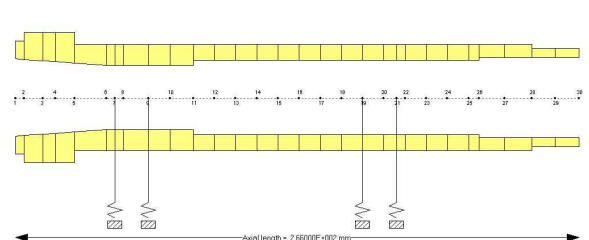


Fig. 2 ARMD Model of spindle

Table 1 Material properties of spindle

Young's Modulus [GPa]	199
Modulus of rigidity [GPa]	79
Density [kg/m ³]	7,833
Poisson's Ratio	0.3

3. 주축의 정·동적 특성 해석

전, 후륜 베어링의 강성은 베어링 카탈로그에 명기된 그래프에서 산출하였으며 후륜 베어링의 강성은 전륜 베어링의 강성과 동일하다고 가정하고 Fig. 2의 유한요소모델을 이용하여 정적 해석을 수행하였다. Fig. 3은 구조해석모델에 대해서 1N의 하중이 주축 선단부에 작용할 때 해석한 정적 변형을 나타낸 것이며 해석결과에서는 주축 선단부의 처짐이 0.0095 μ m인 것으로 나타났다. 따라서 주축계의 선단 강성은 105.3N/ μ m으로 추정되며 머시닝센터 주축계는 가공 정밀도와 밀접하게 관련된 선단 강성이 매우 높게 설계된 것으로 판단된다.

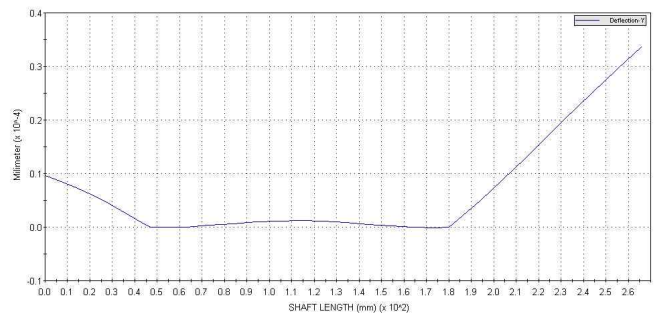


Fig. 3 Static deformation of spindle

Fig. 4는 주축의 길이에 따른 단면의 가장자리에 생기는 변형력과 전단응력을 나타내고 있다. 상대적으로 강성이 낮은 베어링 지지부에서 가장 큰 응력을 받는다는 것을 알 수 있다.

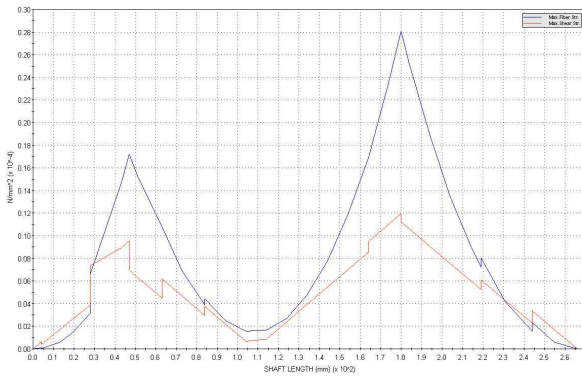


Fig. 4 Maximum stress of spindle

진동은 spindle의 질량 중심과 회전 중심의 불일치에 의한 편심으로 발생하는 조화 가진력과 절삭작업이 진행 될 때 절삭공구와 공작물 사이의 충격력 및 마찰력에 의해 발생된 힘들이 가진하여 발생한다. 주축의 회전 진동수가 스핀들을 구동시키는 모터의 회전 주파수 범위에 있다면 구동 시 공진현상에 의하여 큰 진동현상을 유발한다. 이 진동은 내구성과 공작물의 가공정도에 심각한 악영향을 미치며 매우 작은 간극을 유지하고 있는 베어링의 파괴도 초래할 수도 있다. 대표적인 가진 주파수는 가공 시 스핀들 회전수에 의한 것이기 때문에 동적 해석을 통해 파악된 공진 모드별 주파수와 회전수가 일치하지 않도록 스핀들의 회전수를 제한하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 제시된 주축모델에 대해 제작이전에 모드해석을 수행하여 고유진동수를 구하였다. Table 2에 주축의 진동해석 결과를 나타내었고 공진회피 설계에 가장 중요하다고 할 수 있는 1차 모드가 공진점에 대한 분리여유 30%를 감안할 때 운전속도인 12,000rpm보다 크므로 스핀들은 운전속도 내에서 공진이 일어나지 않아 안정한 것으로 사료된다, 모드형상은 특정 고유진동수에서 계가 진동하는 공간적인 운동형상을 나타낸다. Fig. 5는 베어링 강성 변화에 따른 스핀들의 고유 진동수 변화를 나타내고 있다.

Table 2 Frequencies according to mode

Mode no	Frequency (Hertz)	RPM
1	1.7304E+03	1.0382E+05
2	2.2754E+03	1.3653E+05
3	3.4359E+03	2.0616E+05
4	7.7206E+03	4.6324E+05
5	1.2006E+04	7.2038E+05

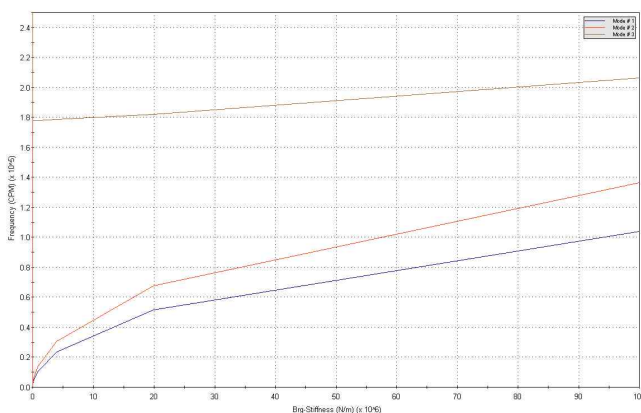


Fig. 5 Critical speed map of spindle

Fig. 6에는 12,000rpm으로 회전하는 머시닝 센터 주축계의 진동모드를 제시하였다. 1차 진동모드에서는 주축 선단부의 진폭이 작게 나타나고 있고, 5차 진동모드에서는 베어링부의 강성이 상대적으로 낮기 때문에 나타나는 구조 진동 형태를 보여주고 있다.

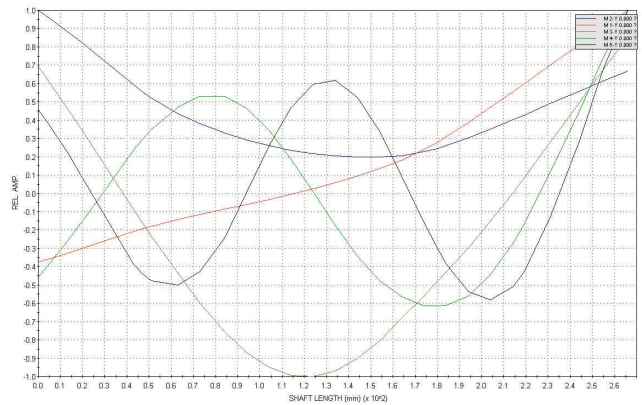


Fig. 6 Mode shape of spindle

4. 결론

본 연구에서는 현재 개발 중인 Compact Machining Center 주축의 정적 동적으로 안정한 설계를 위해 주축계에 유한요소법으로 정적 동적 해석하고 이를 바탕으로 설계 안정성에 대한 평가를 수행하였다.

먼저 주축계 선단부의 처짐은 0.0095 μ m, 선단 강성은 105.3N/ μ m이며, 머시닝 센터의 주축계로서 높은 수준이다.

또한, 동적해석결과 가공 시 spindle 회전수 12,000rpm에 대하여 공진 주파수가 103,820rpm이상이므로 가공 시 절삭력으로 인한 공진이 발생할 경우는 없으며 주축의 동적 안정성은 우수하다고 판단된다.

후기

본 연구는 산업단지 혁신클러스터사업 현장맞춤형 기술개발 사업 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김석일, 조재완, 이원재, 이용희, “50,000rpm급 초고속 주축계의 정적/동적/열적 특성 해석,” 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, pp.494-499, 2003
2. 하재용, 송승훈, 권오철, “머시닝센터용 고속주축 구조물의 동특성 해석,” 한국공작기계기술학회 96년도 추계학술대회 논문집, pp.40-45, 1996
3. 임정숙, 정원지, 이춘만, 이정환, “드로우바와 로터가 고속 주축계의 동적 특성에 미치는 영향,” 한국정밀공학회지, 23, 139-146, 2006
4. 이동규, 노진희, 김철민, 김지성, 이상실, 황진동, 김화영, 안중환, “선박 리더 가공용 보링머신의 정·동적 해석,” 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 2007
5. ARMD User's Manual, ARMD
6. 양보석, “회전기계의 진동,” 인터뷰전, 41, 2002