

nCode를 이용한 플래너 밀러 주축계 구조물의 피로수명에 관한 연구

A Study on the Fatigue Life of Planer Miller Spindle System Using nCode

김재실^{1*}, 박필거¹, 이성원²

Chae-Sil Kim^{1*}, Pil-Geo Park¹, Seong-Won Lee²

〈Abstract〉

Dynamic stability of the main spindle system shall be ensured when operating the planer miller for remanufacturing the planer miller. This paper explains the analysis process that determines the stability of the planer miller spindle system in the design stage using ANSYS, an analysis program. First, the dynamic stability of the main spindle system is verified through risk speed analysis in the rated RPM range of the planer miller through ANSYS Modal Analysis, and second, the stability and durability of the main spindle system are verified through ANSYS nCode Analysis.

Keywords : Spindle, Remanufacturing, nCode, Planer Miller

1 정회원, 주저자, 창원대학교 진동내구성센터 전임연구원
E-mail: ppg7914@changwon.ac.kr

1* 정회원, 교신저자, 창원대학교 기계공학부 교수
E-mail: kimcs@changwon.ac.kr

2 정회원, 경남테크노파크 기계소재부품센터

1 Changwon University Vibration Durability Center a full-time researcher

1* Dept. of Mechanical Engineering and changwon University

2 Dept. of Machinery Materials and Parts Center, Gyeongnam Technopark

1. 서론

지속적인 산업의 발전으로 인해 자원 고갈과 폐기물 처리로 인한 재사용과 재활용의 중요성이 부각되면서 폐기단계에 있는 사용후 제품이나 부품을 회수하여 분해, 세척, 검사, 보수, 조정, 재조립 등의 과정을 거쳐 제품의 원래 기능 및 성능으로 회복시켜 재상품화 하는 재제조의 중요성이 확대되고 있다[1]. 공작기계는 대형구조물이 사용되므로 재제조 효과를 크게 얻을 수 있는 장비이며, 대표적으로 중·대형 공작기계에 속하는 플레너 밀러는 구조물의 크기가 매우 커 주조품이 수 톤에서 수십 톤이므로 재製조를 통한 자원 및 에너지 저감 효과가 매우 높다. 노후화된 스핀들의 정밀도는 보장하기 어려운 부분이 있어 교체작업이 필요해 역설계시 플레너 밀러 주축계의 안정성을 확인할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 첫 번째로 Modal Analysis를 통해 플레너 밀러 정격 회전 RPM 범위에서 위험속도 해석을 통해 동적안정성을확인한다. 마지막으로 nCode Analysis를 이용해 플레너 밀러 주축계의 피로수명 및 안정성을 확인한다.

2. Modal Analysis

플레너 밀러 가동 시 공진으로 인한 파손이 일어날 수 있을지 알아보기 위해 유한요소해석을 위한 상용 프로그램인 ANSYS S/W에서 해석을 수행하였다. Fig. 1은 플레너 밀러의 주축계의 3D Modeling을 나타낸다.

스핀들의 물성치로는 SCM415를 적용시키고, 스핀들 하우징의 물성치로는 GC250을 적용시켰다. Table 1은 SM45C와 GC250의 물성치를 나타낸다 [2]. 베어링의 특성을 고려하여 Stiffess 값은 10^9

N/m로 Fig. 2와 같이 총 4곳에 적용하였다[3].

모드해석을 위해 고정조건으로는 주축계가 Crossrail과 부착되는 부분으로 조건을 준다. 다음으로 위험속도 해석을 위해서 플레너 밀러의 정격 회전속도 2000 RPM을 고려하여 분석범위를 0~3000 RPM 으로 설정하였다[4].

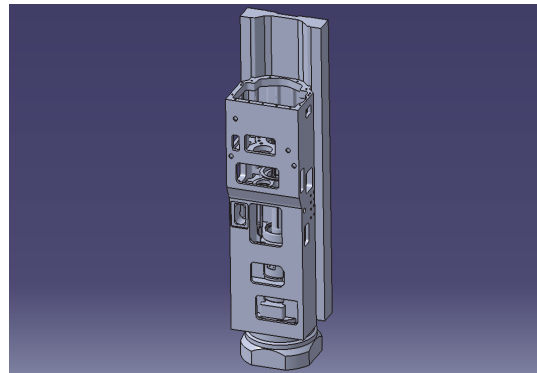


Fig. 1 Main spindle system 3D modeling

Table 1. SM45C & GC250 characteristicg

Material	SM45C	GC250
Density	7850 kg/m ³	7200 kg/m ³
Young's Modulus	205 GPa	110 GPa
Poisson's Ratio	0.29	0.28
Yield Strength	490 MPa	250 MPa

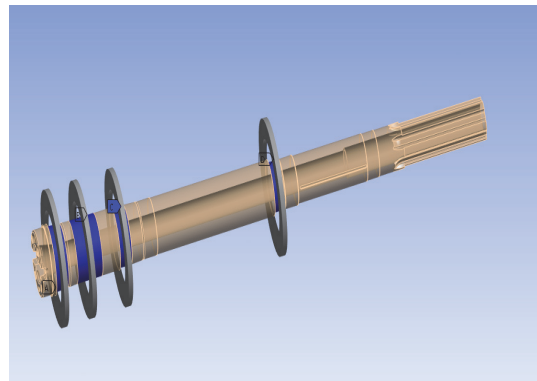


Fig. 2 Spindle bearing position

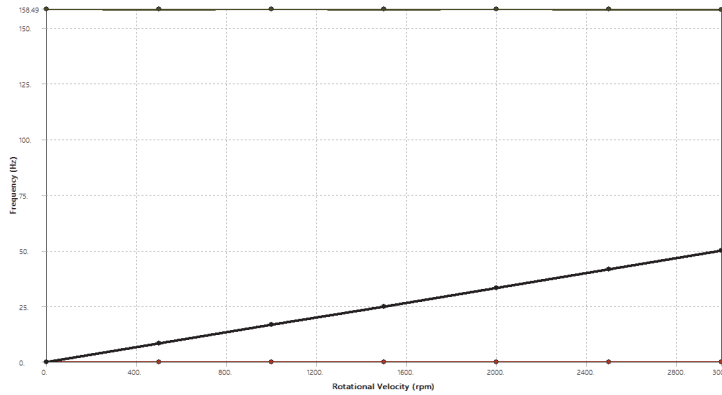


Fig. 3 Campbell diagram

Table 2. Modal analysis result (Hz)

Mode	1	2	3	4	5	6
Mode Stability	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable	Stable
Critical Speed	None	None	None	None	None	None
0rpm	6.5e-4	0	0	0	158.48	158.61
500rpm	6.5e-4	0	0	0	158.47	158.61
1000rpm	6.5e-4	0	0	0	158.46	158.63
1500rpm	6.5e-4	0	0	0	158.43	158.66
2000rpm	6.5e-4	0	0	0	158.4	158.69
2500rpm	6.5e-4	0	0	0	158.35	158.74
3000rpm	6.5e-4	0	0	0	158.3	158.79

Fig. 3은 위험속도해석 결과 그래프를 보여주는 Campbell Diagram을 나타낸다. 해석결과 위험속도가 나타나지 않았다. Table 2는 모드 해석결과 값을 나타낸다. 해석결과 유의미한 값을 갖는 5번째 모드에서 158 Hz(9480 RPM)의 결과 값은 플래너 밀러의 정격 회전속도 2000 RPM을 크게 상회하므로 공진위험성이 없다고 판단된다.

Static Structural에서 노드별로 해석과 결과를 바탕으로 Ansys nCode 피로수명 해석에서 S-N 커브이론을 적용하여 해석을 진행하므로 정적 구조해석이 먼저 수행되어야 한다. 해석을 진행하기 위해서 공구와 공작물 사이에 발생하는 절삭력을 구해서 스펀들에 적용시킨다. 절삭력을 구하는 식(1)은 다음과 같다.

$$P_c = F_c \cdot \nu \tag{1}$$

(P_c : 절삭동력, F_c : 절삭력, ν : 절삭속도)

3. Static Structural Analysis

Ansys Modal 해석 결과, 공진에 의해 파손이 일어나지 않음을 확인하였다.

절삭속도를 구하는 식은 (2)와 같이 나타난다.

$$\nu = \pi \cdot D \cdot N \quad (\text{m / min}) \quad (2)$$

(π : 원주율, D: 공구경, N: 회전수)

플래너 밀러 모터의 동력은 15kW이고, 절삭속도는 829.4m/min이다. 따라서 절삭력을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_c \cdot \nu &= P_c \\ \rightarrow F_c \cdot 829.4 \quad (\text{m / min}) &= 15000 \text{ W (J / s)} \\ \rightarrow F_c \cdot 829.4 \quad (\text{m / min}) &= 15000 \cdot 60 \quad (\text{N} \cdot \text{m / min}) \\ \rightarrow F_c &= 1085 \text{ N} \end{aligned} \quad (3)$$

정적 구조해석을 위해 Fig. 4와 같이 스핀들에 절삭력을 적용시킨다.

정적 구조해석 결과, Fig. 5와 같이 스핀들에 19.278 MPa의 등가응력이 발생하므로 주축계 구조물의 물성치인 SM45C의 항복강도인 490 MPa보다 현저히 작은 응력이 구조물에 발생하기 때문에 절삭과정에서의 위험성이 없다고 판단된다.

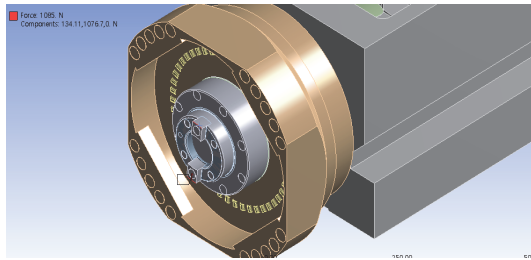


Fig. 4 Apply spindle cutting force

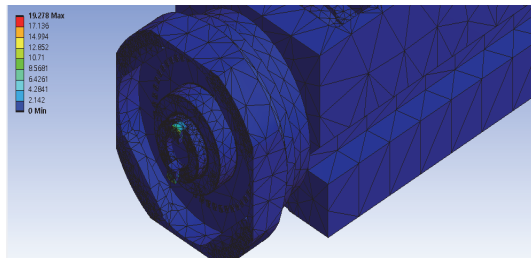


Fig. 5 Static structural analysis result (1085 N)

4. nCode Analysis

플래너 밀러 주축계의 Static Structural 해석을 진행한 후 Solution을 nCode Module에 연결하여 피로해석을 진행하였다[5]. Fig. 6은 절삭력 1085 N을 스핀들에 적용 하였을 때 피로해석 결과 모습을 나타내며, 해석결과 작용하는 힘이 너무 작아 유의미한 결과를 도출하지 못하였다. 따라서 절삭력을 10000 N을 적용한뒤 피로해석을 진행해보았다. Fig. 7은 절삭력 10000 N을 스핀들에 적용하였을 때 피로해석 진행 결과를 나타내며, 해석 결과 3.928e+11 Cycle의 반복수명을 확인할 수 있다.

1085 N에서의 피로수명은 10000 N에서의 피로수명 보다 더 적은 절삭력을 가하였기 때문에 피로수명은 늘어날 것으로 예측되므로 플래너 밀러 주축계의 수명 및 안정성이 확보가 되었다고 판단된다.

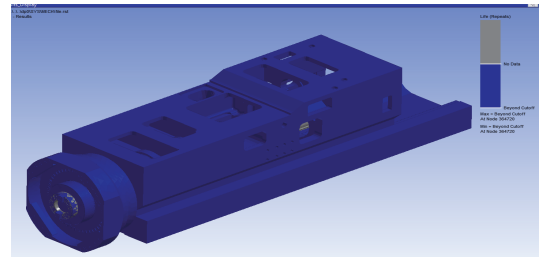


Fig. 6 nCode analysis result (1085 N)

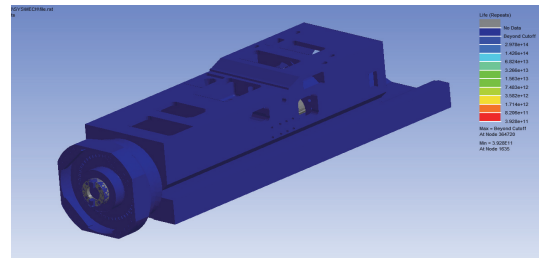


Fig. 7 nCode analysis result (10000 N)

5. 결 론

본 연구에서는 플래너 밀러 주축계의 동적안정성과 피로수명 예측을 위해서 ANSYS S/W를 이용하여 모달해석 및 정적구조해석을 이용한 nCode 해석을 진행하였다. 모드해석에서 위험속도 해석을 통해 플래너 밀러 주축계의 가동 시 위험속도의 여부를 확인하고 고유진동수 결과 값을 확인하여 공진의 위험에서 안정하다고 판단했다. 따라서 주축계의 동적안정성은 확보되었다고 판단하고 피로수명 해석을 위해 정적 구조해석시 필요한 절삭력을 이론을 통해 1085 N의 힘을 확보하고 스피ndl에 적용시켜 피로수명을 확인한 결과 유의미한 데이터를 확보하지 못하였으므로, 기존의 절삭력보다 더 크게 10000 N의 절삭력을 적용시켜 피로수명을 확인한 결과 3.928e+11 Cycle의 반복수명을 확인할 수 있었다. 따라서 1085 N에서의 피로수명은 10000 N일 때 보다 늘어날 것으로 판단되므로 플래너 밀러 주축계의 피로수명 및 안정성이 확보되었다.

사 사

본 연구는 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

참고문헌

- [1] Y.-H. Roh, "A Study on the Remanufacturing of Used Machine Tools," *Journal of the Korean Society of Industry Convergence*, vol. 23, no. 3, pp. 403–410, Jun. (2020).
- [2] S. W. Yoo, J. H. Lee, C. M. Lee, D. H. Kim. "A Study on the Thermally Stable Design of a Worn Lathe Spindle for Remanufacturing." *Journal of the Korean Society of Production and Manufacturing*, 31(1), 48-54.
- [3] H. J. Lee, C. J. Kim, Y. T. Cho, C. S. Kim. "A Study on the Spindle Simulation Using the Software of ANSYS and ARMD", *Proceedings of the KSMPE Spring Conference (2021)*.
- [4] H. J. Lee, C. S. Kim, M. S. Jun, N. G. Ha. "Critical Speed Analysis of Plano Miller Spindle", *Proceedings of the KSMPE Autumn Conference (2020)*.
- [5] C. S. Kim, J. H. Kim. "Study on Vibration Durability Test of Hydraulic Hose using ANSYS Ncode Module", *Proceedings of the KSMPE Autumn Conference (2020)*.

(접수: 2022.10.31. 수정: 2022.11.23. 게재확장: 2022.12.02.)