

인덱스 테이블용 스피ndl의 정적 및 동적 해석에 관한 기초 연구

A Foundation Study on Static and Dynamic Analysis of Spindle for Index Table

*이문제¹, #이춘만², 정지원¹, 이예호³

*M. J. Lee¹, #C. M. Lee² (cmlee@changwon.ac.kr), J. W. Jung¹, T. H. Lee³

¹ 창원대학교 기계설계공학과 대학원, ² 창원대학교 기계설계공학과, ³ 태성

Key words : Index Table, Spindle, ARMD

1. 서론

기계 가공 분야에서는 산업의 급속한 변화에 발맞추어 제품의 생산 비용과 시간을 절약함과 동시에 고정밀도로 가공할 수 있는 공작기계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 공작기계의 고정밀화에 요구조건으로는 주축의 고강성, 고회전정밀도, 가공능률, 가공정밀도를 들 수 있으며 가공정밀도 개선은 제품의 부가가치를 높여주고, 생산성의 개선은 가공경비를 줄임으로서 경쟁력을 향상시킨다. 더불어 품질적인 측면에서는 공작기계는 가공할 때 오차 요인들을 줄여 최상의 제품을 생산하는 것이 중요하다. 이런 오차 요인들로는 기계적인 오차와 환경적인 오차가 있으며 환경적인 오차 요인을 최소화하고 있는 기술은 거의 확보된 상태이기 때문에 기계적 오차를 줄이는데 연구가 진행 중이다. 기계적 오차들 중에서 진동은 가공 정밀도에 밀접한 관련이 있으며 이런 공작기계에 존재하는 진동에는 언밸런스(unbalance) 질량에 의한 진동과 조립오차(assembly error) 및 가공오차(manufacturing error)에 의한 진동, 고유진동수(natural frequency)에 의한 진동, 축의 불정렬(misalignment)에 의한 진동 등이 존재한다. 따라서 설계 단계에서부터 진동특성을 고려한 설계대책이 요구된다.

주축의 동특성은 공작물의 가공정밀도에 직접적인 영향을 줄 뿐 아니라 공작기계의 절삭능력을 제한하는 체터 진동과 밀접한 관련이 있으며, 주축의 진동이 커지면 베어링의 수명저하 및 툴홀더의 탈락에 이르는 심각한 결과를 초래하기도 한다. 따라서 공작기계의 고정밀화를 위해서는 진동을 제어 할 수 있는 설계 기술이 요구된다. 하지만 이러한 공작기계 주축 스피ndl에 대한 연구는 끊임없이 진행되고 있는 상태지만 가공물을 고정하는 인덱스 테이블 진동에 대한 연구는 미미한 상태이다. 킬링 인덱스 테이블은 2차원, 3차원 공작기계에 설치하여 회전축과 경사축을 부가시킴으로써 가공의 효율을 향상시키고, 비대칭형상이나 복잡한 3차원 형상을 가공할 수 있는 정밀기계장치로서 머시닝센터의 기능 및 성능향상을 위한 핵심 유닛이다. 이러한 인덱스 테이블의 진동 또한 가공물의 정밀도에 직접적인 영향을 미치므로 인덱스 테이블에 대한 동특성 해석이 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 현재 개발 중인 킬링 인덱스 테이블 내의 스피ndl에 대하여 상용 회전체 해석 프로그램인 ARMD를 이용하여 정적 및 동적 해석을 수행하고 이를 바탕으로 설계 안정성을 평가하고자 한다.

2. 인덱스 테이블용 스피ndl의 유한요소 모델링

킬링 인덱스 테이블 내의 A축과 C축 스피ndl을 Fig. 1에 나타내었다.

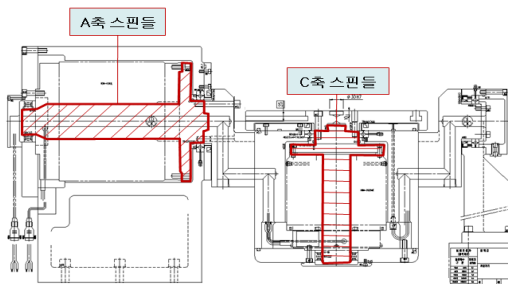


Fig. 1 Drawing of spindle for index table

해석을 위한 모델은 A축 스피ndl 총 길이 352mm, 최대 회전수 100rpm이며, C축 스피ndl 총길이 316mm, 최대회전수 250rpm이다. A축, C축 스피ndl 모두 전반부와 후반부에 각각 1개씩 크로스롤링과 단열 깊은홈 볼베어링으로 지지되어있는 구조이다.

Fig. 2는 ARMD에서 작성된 스피ndl의 형상이다.

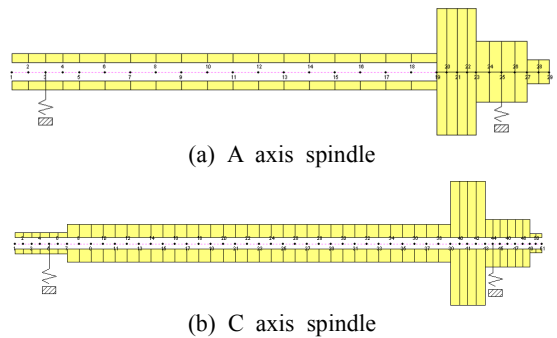


Fig. 2 ARMD Model of spindle

설계된 도면을 참고하여 링과 베어링의 위치에 강성값을 입력하였으며 후반부의 단열 깊은홈 볼베어링의 강성은 카달로그에 명기된 그래프에서 산출하였다. 전반부 링의 강성은 베어링의 강성과 동일하다고 가정하였다. 해석에 사용된 스피ndl의 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 Material properties of spindle

| Property | Value |
|------------------------------|-------|
| Young's Modulus [GPa] | 199 |
| Modulus of rigidity [GPa] | 79 |
| Density [kg/m ³] | 7,833 |
| Possion's Ratio | 0.3 |

3. 스피ndl의 정적 및 동적 해석

A축과 C축 스피ndl에 대한 정적해석을 수행하였다. 해석결과 A축, C축 모두 스피ndl 선단 중심부 부근에서 최대 변형이 나타났으며 A축 스피ndl의 중심부에서 0.149 μ m, C축 스피ndl 중심부에서 0.157 μ m의 처짐이 발생하였다. Fig. 3은 A축과 C축 스피ndl 길이에 대한 정적 변형을 나타낸다.

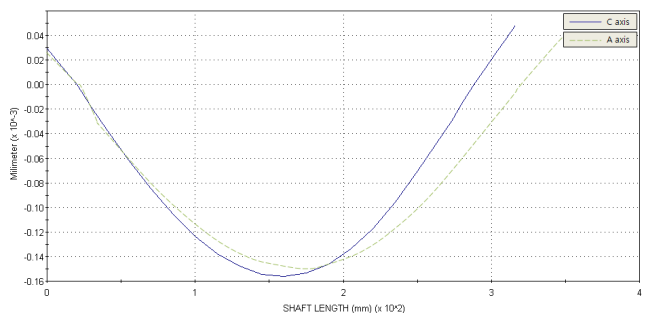


Fig. 3 Static deformation of spindle

설계된 스피ndl의 최대회전능력은 A축, C축 각각 100rpm, 250rpm이며 동적해석은 최대회전능력을 입력하여 해석을 수행하였다.

A축, C축 각각 100rpm, 250rpm의 운용속도를 입력한 다음 베어링 강성에 대한 위험속도값을 구하였다. 해석결과 위험속도 선도에서 A축 4,200rpm, C축 5,300rpm의 결과값을 구하였으며 이는 스피ndl의 운전속도에 비하여 상당히 큰 값이므로 스피ndl은 위험속도로부터 안전한 것으로 판단된다. Fig. 4는 위험속도 선도를 나타낸다.

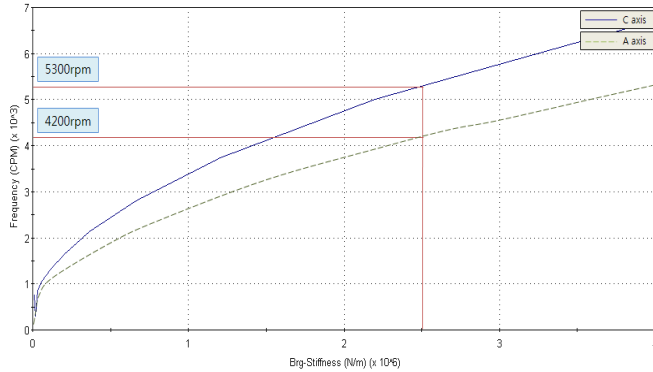
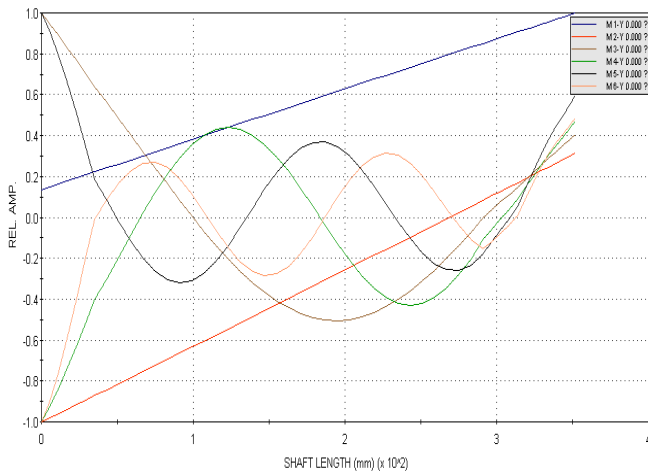
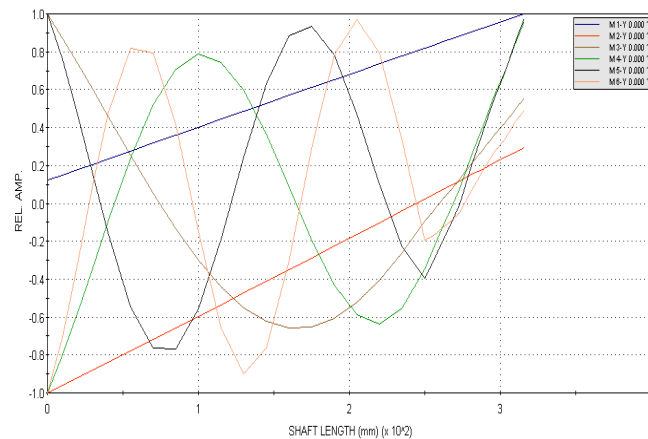


Fig. 4 Undamped critical speed map of spindle

스피ndl의 회전 진동수가 스피ndl을 구동시키는 모터의 회전 주파수 범위에 있다면 구동 시 공진현상에 의하여 큰 진동현상을 유발한다. 대표적인 가진 주파수는 스피ndl 회전수에 의한 것이기 때문에 동적 해석을 통해 파악된 공진 모드별 주파수와 회전수가 일치하지 않도록 스피ndl의 회전수를 제한하여야 한다. Fig. 5는 A축과 C축 스피ndl에 대한 모드 형상으로 이는 특정 고유진동수에서 계가 진동하는 공간적인 운동 형상을 나타낸다.



(a) A axis spindle



(b) C axis spindle

Fig. 5 Mode shape of spindle

A축과 C축의 스피ndl에 대해 모드해석을 수행하여 고유 진동수를 구하였다. Fig. 5는 A축과 C축 스피ndl의 1차에서 6차모드까지의 모드형상을 나타낸다. A축과 C축 모두 1차 고유진동모드에서 주축의 선단부에서 변형이 가장 크게 나타났으며 2차 고유진동모드에서는 선단부의 변형은 거의 없으며 스피ndl 하단부에서 가장 큰 변형이 일어났다. A축과 C축에 대한 모드해석 결과 A축의 경우 1차 고유 진동수가 70.64Hz로 회전수 4,238rpm에서 나타났다. 이는 공진점에 대한 분리여유 30%를 감안할 때 A축 스피ndl의 운전속도에 비해 상당히 큰 값이므로 A축 스피ndl은 공진으로부터 안전한 것으로 판단된다. C축의 경우 1차 고유 진동수가 88.8Hz로 회전수 5,327rpm에서 발생하였다. C축 또한 A축과 마찬가지로 공진점에 대한 분리여유를 감안할 때 상당히 큰 값을 가지므로 공진으로부터 안전한 것으로 판단된다. Table 2는 스피ndl의 모드해석 결과를 나타낸다.

Table 2 The result of frequency analysis

| Mode number | A axis | | C axis | |
|-------------|----------------|------------|----------------|------------|
| | Frequency [Hz] | RPM | Frequency [Hz] | RPM |
| 1 | 7.0644E+01 | 4.2386E+03 | 8.8777E+01 | 5.3266E+03 |
| 2 | 1.4742E+02 | 8.8452E+03 | 1.9370E+02 | 1.1622E+04 |
| 3 | 2.8658E+03 | 1.7195E+05 | 2.5854E+03 | 1.5512E+05 |
| 4 | 6.7581E+03 | 4.0549E+05 | 6.1487E+03 | 3.6892E+05 |
| 5 | 1.0219E+04 | 6.1315E+05 | 9.4438E+03 | 5.6663E+05 |
| 6 | 1.2693E+04 | 7.6159E+05 | 1.3247E+04 | 7.9479E+05 |

4. 결론

본 연구에서는 부하직결형 모터방식의 틸팅 인덱스 테이블 개발을 위해 A축과 C축 인덱스 테이블용 스피ndl의 정적 및 동적 해석을 수행하였다. 정적해석 결과 A축, C축 스피ndl 중심부에서 각각 0.149 μ m, 0.157 μ m의 처짐이 발생하였다. 동적해석결과 위험속도는 인덱스 테이블 운용범위에 비해 상당히 높은 값을 가지며 1차 고유진동수는 A축, C축 스피ndl의 최대회전수 100rpm, 250rpm에 대하여 4,286rpm이상이므로 공진점에 대한 분리여유 30%를 감안할 때 상당히 높은 값을 가진다. 그러므로 인덱스 테이블내의 A축, C축 스피ndl은 운전 시 공진으로부터 안전한 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 지식경제부 지역전략기획 기술개발사업의 지원으로 수행하였으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김성원, 이정환, 박기범, 정원지, 이춘만, 김재실, "Built-in모터와 베어링 강성을 고려한 스피ndl의 Modal해석용 유한요소모델 개발," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, 439-440, 2006
2. 최대봉, 조정준, 김석일, "모터내장형 주축의 동특성 해석," 한국정밀공학회 학회지, 11, 184-190, 1994
3. 박성진, 이춘만, 김웅, 변삼수, "수직형 머시닝 센터 주축계의 정·동적 해석을 통한 설계 안정성 평가에 관한 연구," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 409-410, 2009
4. ARMD User's Manual, ARMD
5. 양보석, "회전기계의 진동," 인터비전, 2002