

특수차량용 선회베어링의 고유 진동특성 해석

Natural Vibration Behaviour Analysis of Special Vehicle Slewing Bearing

손인수^{1*}

In-Soo Son^{1*}

〈Abstract〉

Slewing bearings of special vehicle for anti-aircraft weapons can be successfully performed when the turret load and the impact load generated during shooting are combined in the process of performing the mission of the system equipment. In this study, the fundamental data for the design of resonance avoidance are obtained by comparing the exciting frequency of special vehicles with the natural frequency of slewing bearings.

As a result of the test, the primary natural frequency of the cornering bearing is approximately 36.25 Hz, and the secondary natural frequency is 103.75 Hz. In the case of first vibration mode, the resonance frequency domain, the error is about 3.9% compared to the analysis results and about 24.3% in the case of second vibration mode.

Keywords : Modal Test, Slewing Bearing, Resonance Avoidance Design, Vibration Behaviour

^{1*} 정회원, 교신저자, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부 ^{1*} Corresponding Author, Division of Mechanical, Automobile, Robot Component Engineering, Dong-eui University.
E-mail: isson92@deu.ac.kr

1. 서론

선회베어링이란 회전하는 기계장치의 축을 일정한 위치에 고정하고 지지하면서 축을 회전시키는 기능을 하는 기계요소 부품으로 현재 우리 군에서 운용되고 전차, 장갑차, 자주포 등 차체와 포탑으로 구성되는 특수차량 등에 널리 적용되고 있는 기계요소이다. 일반적으로 선회베어링은 큰 하중을 받는 기계 시스템에서 그 하중 분산을 통하여 보다 안정적으로 시스템을 운용하기 위하여 많이 사용되어 지고 있으며, 선회베어링의 안정성 및 최적설계에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다[1]. 특히, 대공화기용 특수차량의 경우 대공방어 임무수행을 위한 작동과정에서 대증량의 포탑 하중과 발포사격 시 발생하는 충격하중이 차량 구조물에 가해지게 되는데 이를 지지하며 포탑을 원활하게 회전하게 하는 기계요소가 선회베어링이다. 선회베어링은 군사용 무기뿐만 아니라 건설기계, 중장비 등 다양한 기계구조물의 핵심부품으로 널리 이용되고 있다. 선회베어링은 복합하중을 받

기 때문에 베어링의 예비하중 결정 및 접촉응력분포에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며[2, 3], 굴삭기용 선회베어링의 저소음화를 위한 기어의 최적설계에 대한 연구결과도 발표 되었다[4].

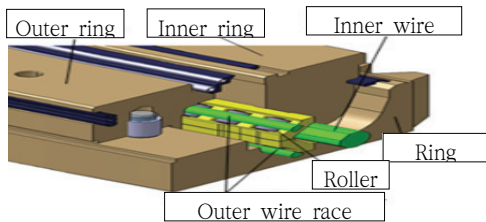
군사용 특수차량의 엔진 진동(30Hz)과 주전원 공급기(55Hz) 및 발포사격에 의한 가진진동수(20Hz)와 선회베어링의 고유진동수 측정을 통한 공진회피 설계는 시스템의 안정성 및 사격정밀도에 있어 매우 중요한 문제라 할 수 있다.

본 연구의 대상인 선회베어링은 직경이 2,000 mm가 넘는 대형의 구조물로서 그 형상과 내부 구조는 Fig. 1과 같다. 외부 구조물인 링기어(ring gear), 외측링(outer ring), 내측링(inner ring)이 상대 물체에 구속되어 지지되며, 내부의 와이어 레이스(wire race)와 롤러(roller)가 구속물체 간에 생기는 접촉 마찰을 최소화함으로써 차량 포탑의 미끄럼 회전운동이 가능하도록 되어 있다.

이 연구에서는 특수차량용 대형 선회베어링의 국산화개발을 위하여 앞서 언급한 3종류의 특수차량 가진 주파수와 선회베어링의 고유진동수를 비교하여 공진회피 설계를 위한 기초 데이터를 확보 하는데 그 목적이 있다.



(a) Appearance of slewing bearing



(b) Internal structure

Fig. 1 Slewing bearing

2. 이론해석

이 장에서는 진동시험을 수행하기 전에 모달해석을 통하여 Fig. 1의 선회베어링에 대한 고유진동수를 이론적으로 구하도록 한다. Fig. 2는 모달 해석을 위한 유한요소 모델을 나타내고 있으며 노드는 556,490개, 요소수는 191,882개로 하여 해석을 수행하였다. Fig. 3은 해석을 위한 베어링의 구속조건을 나타내고 있으며, 향후 시험에서 동일한 구속조건을 위하여 베어링의 양쪽 2곳을 지지점으로 구속하여 해석을 수행하였다.

Fig. 4는 최저차 3개 고유진동수에 대한 모드형상 및 횡방향 고유진동수 결과를 도시한 것으로 해석결과 1, 2, 그리고 3차 고유진동수는 각각 37.68Hz, 79.25Hz, 그리고 151.09Hz를 나타내었다. 해석으로 얻은 선회베어링의 고유진동수를 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Natural frequency of slewing bearing

No.	1 st mode	2 nd mode	3 rd mode
1	37.68.Hz	79.25Hz	151.09Hz

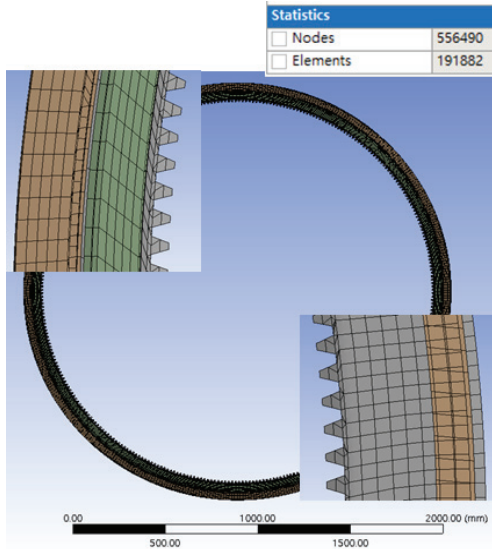


Fig. 2 Finite element modeling

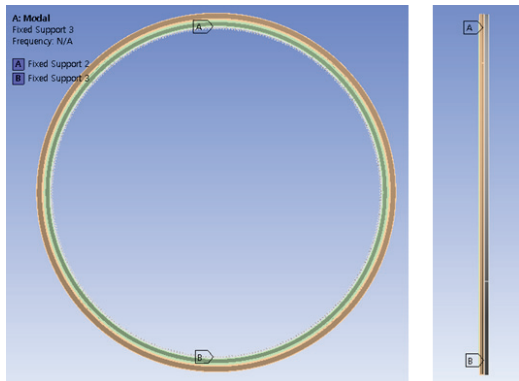
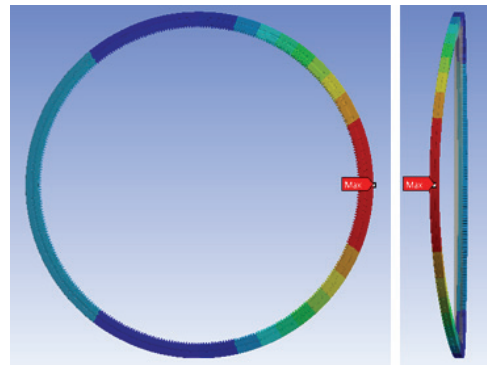


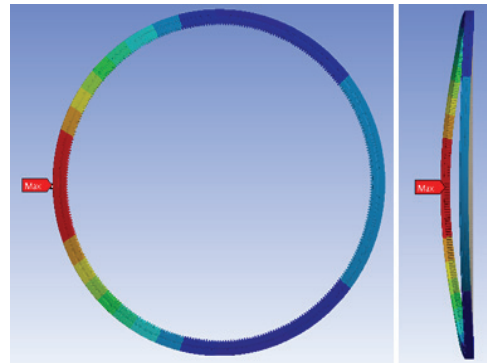
Fig. 3 Boundary condition for analysis

3. 진동시험

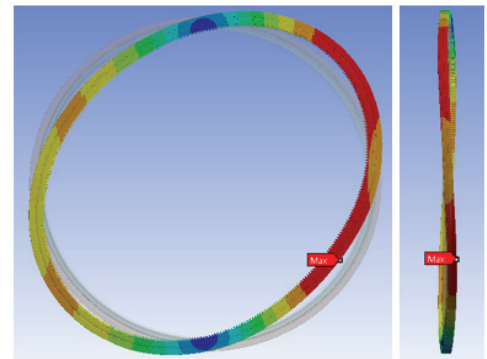
특수차량의 기본 가진 주파수와 선회베어링의



(a) 1st mode : 37.68Hz



(b) 2nd mode : 79.25Hz



(c) 3rd mode : 151.09Hz

Fig. 4 Mode shape and natural frequency of bearing

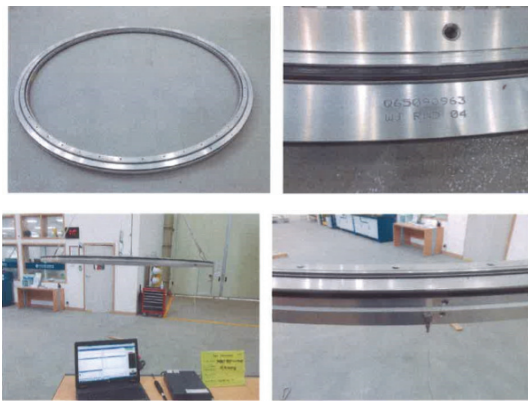
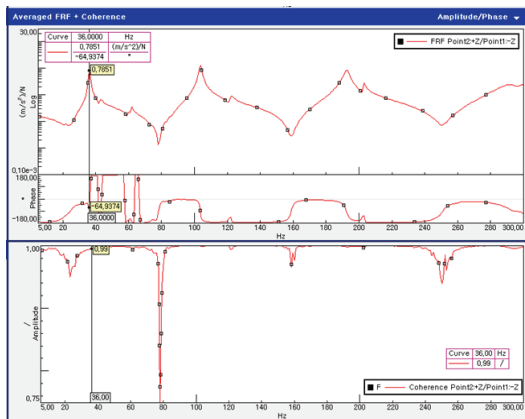


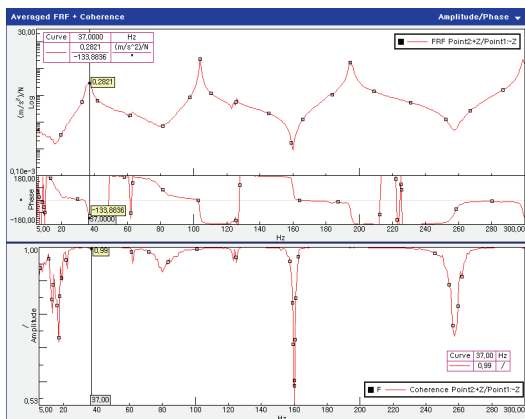
Fig. 5 Modal test setup

고유진동수를 측정하여 공진여부를 판단하고, 설계 데이터를 확보하기 위하여 진동시험을 수행하였다. 시험 조건은 상온에서 베어링의 양단에 아이볼트를 이용하여 천정에 고정하여 진동시험을 수행하였다. 진동시험에 있어 장비는 FFT (SCM201)와 임팩트 해머(086C03), 가속도계 (8776A50)을 사용하였다. 총 4개의 선회베어링 시료를 시험하여 평균 값을 구하고 이론에서 구한 모달 해석 결과 값과 비교고찰하였다.

Fig. 5는 시험 대상 선회베어링의 진동시험모습을 나타내고 있으며, Fig. 6은 1, 2번째 시료에 대한 시험결과를 도시하고 있다. Table 2는 4개 시료에 대한 시험 결과 및 평균값을 도시하였으며, 선회베어링의 1차, 2차 평균 고유진동수는 각각 36.25Hz, 103.75Hz를 나타내었다.



(a) No. 1 bearing



(b) No. 2 bearing

Fig. 6 Modal test results

Table 2. Nodes and elements of model

No.	1 st mode	2 nd mode	3 rd mode
1	36Hz	104Hz	193Hz
2	37Hz	104Hz	194Hz
3	36Hz	104Hz	194Hz
4	36Hz	103Hz	192Hz
average	36.25Hz	103.75Hz	193.25Hz

4. 결과 및 고찰

Fig. 7과 Table 3은 진동시험에서 구한 선회베어링의 고유진동수와 하모닉 해석을 통하여 구한

Table 3. Modal test results

Mode	Test(Hz)	Analysis(Hz)	Error(%)
1st mode	36.25	37.68	3.9
2nd mode	103.75	80.76	24.3
3rd mode	193.25	153.16	20.7

고유진동수를 비교한 것이다. 시험결과 선회베어링의 1차 고유진동수는 약 36.25Hz, 2차 고유진동수는 103.75Hz이며, 공진영역인 관심 주파수 영역에 해당하는 1차 고유진동수의 경우 해석결과와 비교하여 약 3.9%의 오차로 이론 및 실험이 매우 잘 만족한다는 것을 알 수 있다.

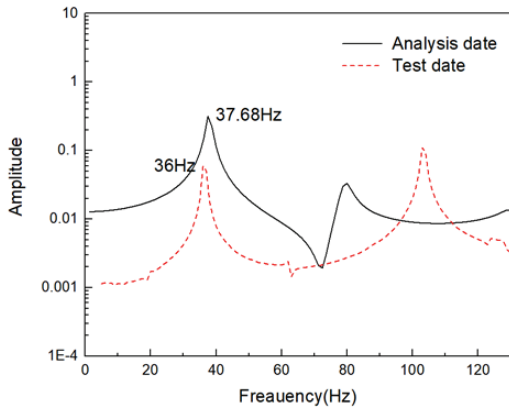


Fig. 7 Comparison of theory and test results

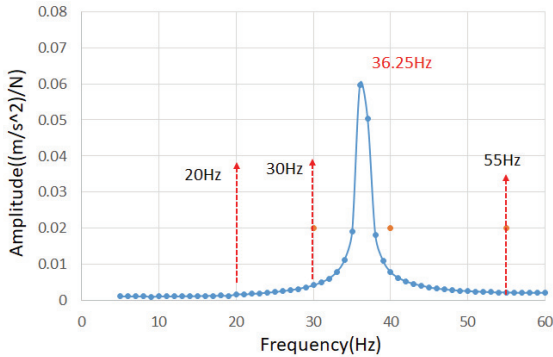


Fig. 8 Results of resonance avoidance design

Table 3에서 오차는 다음 식 (1)을 이용하여 구하였다.

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{test} - \text{theory}}{\text{test}} \right| \times 100(\%) \quad (1)$$

Fig. 8은 특수차량용 선회베어링의 공진회피 설계에 대한 결과를 나타낸 것이다. 공진을 일으키는 3종류의 외부 가진 진동수인 특수차량의 엔진 진동(30Hz)과 주전원 공급기(55Hz) 및 발포사격에 의한 진동수(20Hz)와 비교하여 공진회피 설계가 된 것으로 판단된다. 결과적으로 특수차량용 선회베어링의 공진영역은 가진주파수와 비교할 때 1차 고유진동수 범위에서 발생가능성이 높이며 특히, 국산화된 선회베어링의 경우 특수차량의 엔진 진동에 의하여 공진가능성이 크다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

이 연구에서는 특수차량용 대형 선회베어링의 국산화 개발을 위하여 외부 가진진동수와 선회 베어링의 고유진동수와의 공진회피 설계가 되었는지를 확인하기 위하여 진동특성을 분석하였다. 외부 가진 진동수 범위인 20~55Hz 영역에서 1차 고유진동수가 발생하였으나, 시험 및 이론해석 결과 베어링의 고유진동수는 36.25Hz로 공진회피 설계가 되어 진동에 있어 베어링은 안전하다고 판단된다. 또한 외부 가진 진동수에 의한 공진영역인 1차 고유진동수에서 시험 및 이론 결과는 약 4% 미만의 매우 우수한 오차를 보였다.

이러한 연구결과를 바탕으로 향후 다른 종류의 선회베어링의 설계 제작에 있어 이론적 결과를 바탕으로 공진회피 설계가 가능하리라 판단된다.

참고문헌

[1] Shan, X., Wang, L., Xie, T. and Chen, W.,

- “Mathematical Modeling and Experimental Verification of the Radial Stiffness for a Wire Race Ball Bearing”, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 120, pp 343-348, (2012).
- [2] Kim, C. K. and Lee, S. R., “Analysis of Contact Stress in Slewing Ring Bearings,” *Journal of the KSTLE*, Vol. 11, No. 2, pp. 24-33, (1995).
- [3] Kim, M. S., Kim, J. S. and Lim, D. H., “Gear Design Optimization for Low Noise Slewing System of Excavator,” *Proceeding of KSNVE Conference*, pp. 733-736, (2016).
- [4] Shan, X., Xie, T. and Chen, W., “A Simple Approach for Determining the Preload of a Wire Race Ball Bearing,” *Appl. Phys. & Eng.*, Vol. 11, No. 7, pp. 511-519, (2010).
-
- (접수: 2021.02.28. 수정: 2021.04.13. 게재확정: 2021.04.14.)