

## 설치오차를 고려한 도시철도용 차축베어링의 내부 응력해석 The Contact Stress Analysis of Axle Bearing Considering Misalignment for Urban Railway Train

이상훈\*<sup>†</sup>, 구진회\*, 김진우\*\*, 현준수\*\*\*, 정효진\*\*\*  
Sang-Hoon Lee\*<sup>†</sup>, In-Hoi Gu\*, Jin-Woo Kim\*\*, Jun-Soo Hyun\*\*\*, Hyo-Jin Jung\*\*\*

**Abstract** : Urban Railways of Metropolitan will be continuously developed as the essential traffic way for the safety, environment, energy conservation and good usefulness. Cylindrical roller bearings are used for the safety and endurance of urban railways, required life of it is above 1,000,000km at general driving operations. But the misalignment of a bearing will arise when the bearing installs for regular repair. The misaligned bearing must be tilted under loads, therefore the rolling contact stresses may be changed. The finite element analysis is conducted to evaluate the internal contact stresses of misaligned bearing. Analysis results provide the stability and reliability of an axle bearing for urban railway vehicles.

**Keywords** : Cylindrical Roller Bearing, Axle Bearing, Urban Railway Train, Contact Stress, FEM, Misalignment, Crowning

초 록 : 도시철도에서 동력구동계통의 안전성 및 내구 성능 확보에 주요 부품인 차축 베어링은 원통롤러 베어링(cylindrical Roller Bearing)이 적용되며, 통상 운전 조건에서 베어링에 요구되는 수명은 1,000,000km 이상이다. 그러나 베어링의 정기 보수 과정에서 베어링의 설치 시 축에 억지끼워맞춤으로 장착되는 내륜과 축의 설치오차(misalignment)가 발생하는 경우가 있다. 이 때 운행 중 베어링의 내륜에 작용하는 하중은 정상적으로 작용하는 하중에 비해 높아지므로, 베어링의 내부 응력의 분포는 변화한다. 이는 베어링 수명 감소의 주요 원인으로 규명되어 있다. 본 연구는 설치 오차를 고려하여 국내 차축 베어링 내부의 응력 분포를 평가하기 위해 차축 베어링의 치수와 형상을 고려하여 FEM 을 수행하였다. 이 결과는 차축 베어링의 신뢰성 및 내구성을 정량적으로 평가하고 확보하고자 한다.

주요어 : 원통롤러 베어링, 차축 베어링, 도시철도, 접촉응력, 하중해석, 설치오차, 크라우닝

### 1. 서 론

철도의 차축과 차축 베어링은 동력을 전달받아 바퀴를 구동시키는 주요 동력전달의 핵심 부품으로 장시간 안정적인 성능을 요구한다<sup>[1], [2]</sup>. 그러므로 초기 베어링 설치시나 정기적인 보수 과정에서 축에 베어링을 장착시 정확하게 설치를 못하면 큰 문제를 야기한다. 즉 베어링에서 설치 오차가 있으면 베어링 내부에서 기하학적으로 내륜과 롤러의 위치를 변화시켜, 국부

† 교신저자: 두원공과대학교 자동차과([leesh@doowon.ac.kr](mailto:leesh@doowon.ac.kr)), \* 두원공과대학교 자동차과, \*\* 한국철도공사, \*\*\* (주) 베어링아트 연구소

적으로 베어링 내부의 접촉응력 증가, 전동체 하중의 증가 및 부하권의 변화를 초래한다. 베어링의 설치오차로 인해 베어링의 장시간 안정적인 성능과 수명은 정상적으로 장착된 경우와 큰 차이를 나타낸다<sup>[3]</sup>. 또한 Eschmann 등<sup>[4]</sup>은 원통로울러 베어링의 경우 허용 설치 오차는 작용하중이 기본동정격하중의 20% 이하에서는 4'으로 연구결과가 제시하였으나, 아직 대형 베어링에 대한 허용 기준과 국내의 연구결과도 매우 미비하다. 본 연구에서는 장착시 철차 베어링의 설치 오차를 고려하여 베어링 내부의 접촉 응력 변화를 해석한다.

## 2. 설치 오차와 베어링의 접촉응력

### 2.1 도시철도 차량의 보기와 차축 베어링

현재 도시 철도형 철도차량의 주행 장치는 보기(Bogie) 형식의 구조이며, 보기는 차체와 차체에 수용되는 하중을 지지하여 안전하게 레일 위를 주행한다. 본 연구의 대차는 2축 보기이며, 차체의 진행 방향과는 관계없이 레일을 따라 방향을 전환할 수 있도록 대차의 중앙에 중심(center pivot)을 설치하여 차체를 지지하도록 구성되어 있다. 그림 1 (a)는 본 연구의 베어링이 장착되는 도시 철도 대차의 상태이고, 그림 1 (b)는 보기의 차축 끝부분에 위치한 원통로울러 베어링과 본 해석에 적용한 설치 오차를 고려한 베어링 모델이다.

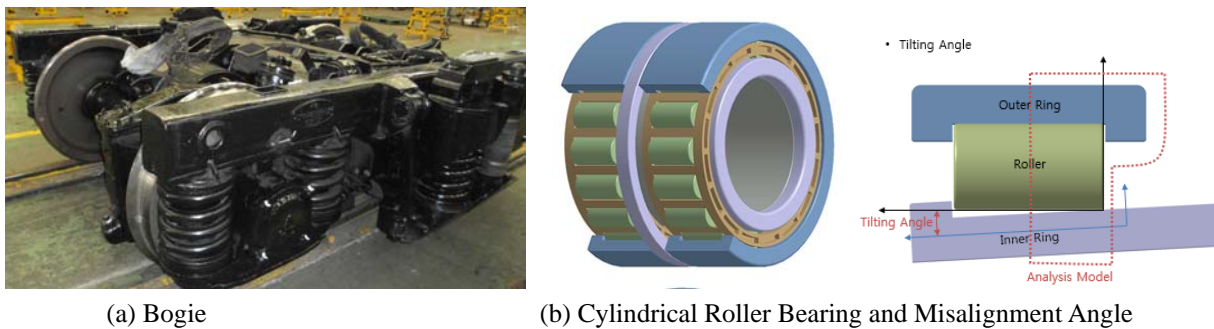


Fig. 1 Bogie and Cylindrical Roller Bearing for Urban Railway Train

본 연구의 원통 로울러 베어링의 제원은 Table 1과 같다. 내륜은 크라우닝이 없는 일체형인 복열 원통 로울러 베어링이고, 해석에 적용한 롤러는 크라우닝이 없는 경우로 고려하였다. 그리고 베어링이 축에 장착시 내륜이 축에 대하여 임의의 각도로 경사지게 고려하였다.

Table 1. Detail Spec. of Cylindrical Roller Bearing and Misalignment Angles

Inner Dia. (mm)	Outer Dia. (mm).	Width (mm)	Precision	Basic Dynamic Load Rating (N)	Misalignment Angle
130	235	165	Normal	935,000	0, 2.5', 5', 7.5'

## 2.2 설치 오차를 고려한 베어링의 접촉응력 해석

### 2.2.1 모델링 및 해석 조건

본 해석 모델은 ABAQUS Standard V14.0을 이용하여 베어링 내·외륜 및 롤러를 모델링하였고, 해석 모델은 그림 2와 같다. 내륜의 elements는 7,875이고, 롤러는 강체로 고려하였다. 이 때 롤러의 크라우닝은 없다고 고려하였고, 내륜과 축 사이의 설치 오차된 각도는  $0^\circ$ ,  $2.5'$ ,  $5'$ ,  $7.5'$  총 4개의 변수를 고려하였다. 그리고 롤러와 내륜의 접촉응력을 해석하기 위해 작용 하중은 베어링 기본 동정격하중 C에 9.1%, 12%, 15%로 결정하였다.

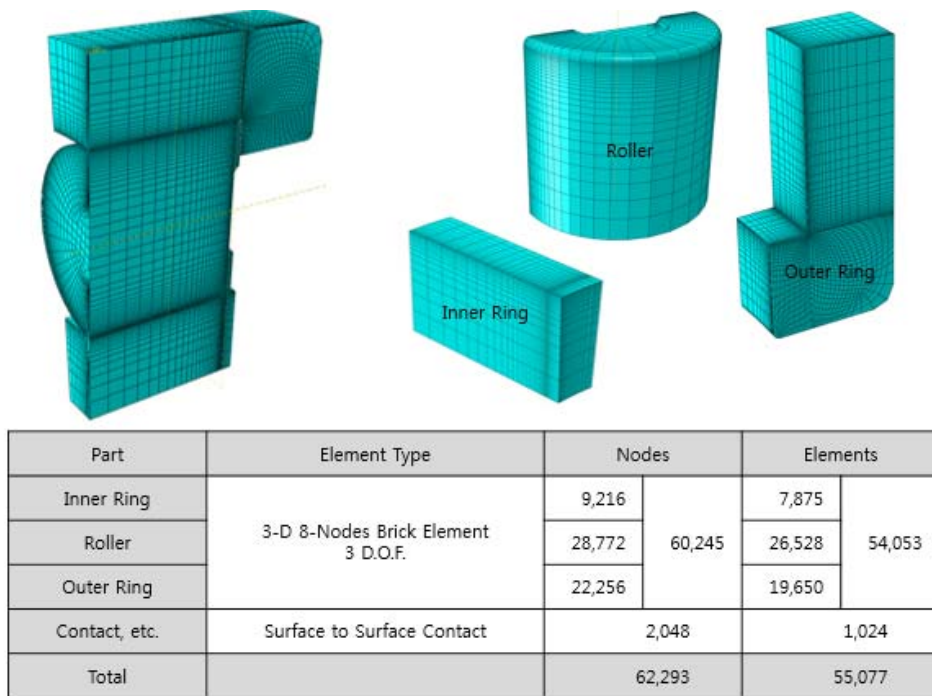
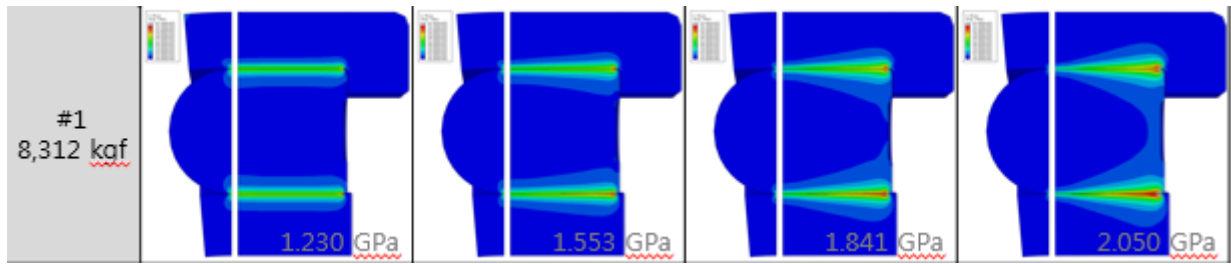


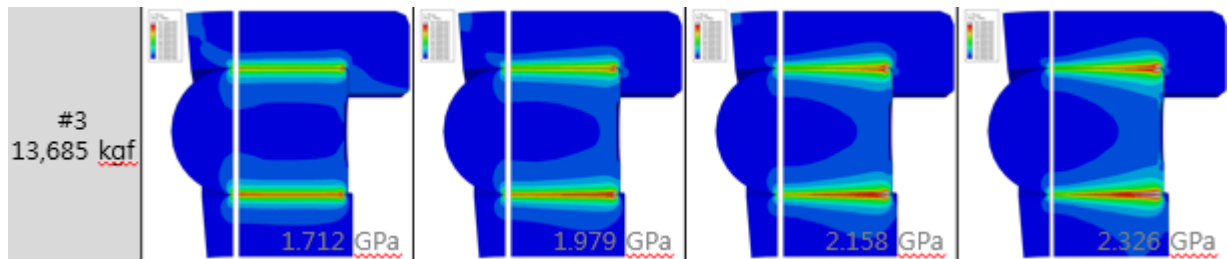
Fig. 2 Analysis 3-D Modelling of Cylindrical Roller Bearing

### 2.2.2 설치오차를 고려한 베어링의 접촉 응력 해석 결과

그림 3은 도시철도용 차축베어링에서 설치오차가 없는 경우 ( $0^\circ$ ) 그리고 베어링 내륜과 축의 설치오차의 각도가 각각  $2.5'$ ,  $5'$ ,  $7.5'$ 에 대하여 작용하중에 따른 내부 접촉응력해석 결과이다. 그림 3. (a)는 베어링 작용하중이 C의 9.1%로 경 하중의 경우에 대해 설치오차의 각도가  $0^\circ$ ,  $2.5'$ ,  $5'$ ,  $7.5'$ 인 경우의 해석결과이다. 해석결과 설치 오차된 베어링의 접촉응력은 정



(a) Applied load : 0.091 C and Misalignment Angle



(b) Applied load : 0.15C and Misalignment Angle

Fig. 3 Contact Stress Analysis 3-D Results for Misaligned inner race

상적으로 장착된 베어링에 비해 내부 최대 접촉응력이 각각 26.3%, 49.7% 66.7% 증가함을 알 수 있다. 또한 설치 오차의 각도가 증가할수록 최대응력의 범위가 확대됨을 알 수 있다. 이것은 설치오차가 베어링의 성능 및 수명 감소에 직접적으로 영향을 미치는 것을 의미한다. 그림 3. (b)는 베어링 작용하중이 C의 15%로 비교적 중 하중의 경우에 대해 설치오차의 각도가  $0^\circ$ ,  $2.5'$ ,  $5'$ ,  $7.5'$  인 경우의 해석결과이다. 해석결과 설치 오차된 베어링의 최대접촉응력은  $7.5'$  에서 2.326GPa로서 정상 장착된 경우에 비해 35.9% 증가함을 알 수 있다. 경하중이 작용하는 경우에 비해 중하중이 작용하는 경우 접촉응력의 증가비율은 다소 작은 데 이는 초기에 작용하는 하중이 크므로 내부 접촉응력의 증가 폭이 작다고 판단된다.

### 3. 결론

도시 철도용 차축 베어링에서 설치오차를 고려한 베어링 내부의 접촉응력해석 결과, 베어링에 작용하는 기본동정격하중의 15% 이하의 하중의 범위와 설치 오차  $7.5'$  이하에서 내륜의 접촉응력은 정상적으로 장착된 경우에 비해 최대 35.9% ~ 66.75%의 증가를 나타내고 있다. 즉 롤러 베어링의 장착시 설치오차가 발생하면 베어링의 내부응력의 분포와 크기에 큰 영향을 미쳐서 베어링의 성능과 수명 감소의 주요 원인임을 알 수 있다. 또한 작용 하중이 베어링의 기본 동 정격하중에 비해 10% 이하의 하중 범위에서는 그 영향이 더욱 큼을 알 수 있다.

## 후 기

본 발표 논문은 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업 “도시 철도핵심부품 국산화 및 장치 고도화 개발 1단계” 1세부 도시 철도용 차축 베어링 개발(13RTRP-C068349-01) 사업의 연구비로 수행한 결과입니다.

## 참고문헌

- [1] R. Oka, (2006), Development of New RCT Bearing for Axle boxes and Insulated Bearing with Shields, NTN technical review, No. 74, pp. 84-89
- [2] H. Nagatani, (2010), Improved method of rolling bearing fatigue life prediction under edge load conditions, NTN Bearing Engineer, No. 78, pp. 83-90
- [3] T. A. Harris, (2001), Rolling Bearing Analysis 4th, John Wiley & Sons, pp.272, 870-874.
- [4] J. Brandlein, P. Eschmann, L. Hasbargen, and K. Weigand, (1999), Ball and Roller Bearings –Theory, Design, and Application, John Wiley & Sons, pp. 306-307.