

# 정동강성 특성을 반영하는 LM 베어링의 유한요소모델링

## A finite element modeling of LM bearings regarding static and dynamic stiffness

\*김혜연<sup>1</sup>, #정재일<sup>2</sup>, 김도형<sup>1</sup>, 원종진<sup>2</sup>

\*H. Y. Kim<sup>1</sup>, #J. I. Jeong(jayjeong@kookmin.ac.kr)<sup>2</sup>, D.H.Kim<sup>1</sup>, J.J.Won<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 기계설계학과, <sup>2</sup>국민대학교 기계시스템공학부

Key words : LM bearing, FEM modeling, stiffness

### 1. 서론

LM 베어링은 반도체를 비롯한 LCD, PDP 등의 제조장비는 물론 기타 IT 부문, 공작기계와 산업기계, 정밀 측정기기, 자동차 제조 관련 장비 등의 직선 운동 부분에 필수적으로 사용되는 기계요소로서 모든 기계의 성능과 정밀도를 좌우하는 핵심 부품이다.

일반적으로 정적/동적 특성을 반영하는 FEM 모델링은 오랫동안 연구되어 왔으며 대부분 정적/동적 특성에 대하여 각각의 구속조건을 개별적으로 적용하여 계산하는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 LM 베어링에 대하여 정적/동적 특성을 동시에 반영하는 간단한 FEM 모델링을 제시하고자 한다. 이를 위하여 LM 베어링의 각 요소에 대한 역학적 해석을 수행하고, FEM에서의 스프링 모델을 고찰한다. 또한 이를 실제 CAD 모델링으로부터 정적/동적 특성을 반영하는 LM 베어링을 자동으로 구성할 수 있는 소프트웨어 모듈을 개발하는 것을 목표로 한다.

### 2. 단순화 모델링

LM 베어링의 경우 제품 형상 그대로 해석하기에는 다소 어려움이 있다. 블록을 형성하는 부품 및 물성치가 여러 가지이고, 부품들은 볼트 결합으로 이루어져 있으며, 일부분에서는 굴곡이 형성되어 있다. 특히 LM 베어링의 접촉부를 이루는 볼의 형상을 그대로 모델링하여 정적/동적 특성을 얻기 위해서는 많은 시간 및 모델링 계산 비용이 소요된다. 따라서 해석 시간을 줄이고, 모델링에 들어가는 계산 비용을 줄일 수 있는 단순화 과정이 필요하다. 본 연구에서는 Fig.1과 같이 SSR-30XW 모델의 최외각 치수를 적용해서 단순화된 모델링을 설계하

였다.

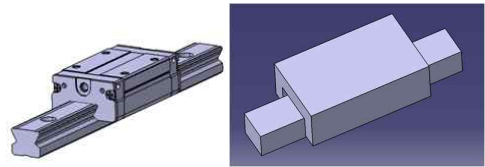


Fig. 1. Initial & Simplified modeling of LM bearing

### 3. FEM 모델링

LM 베어링의 접촉면의 강성을 8개의 스프링으로 모델링하여 정적 해석과 동적 해석을 동시에 할 수 있는 모델링을 제시하고자 한다. 블록과 레일을 연결하는 상/하단의 8개 스프링을 롤링 및 피칭 일 때를 고려하여 무게중심을 기준으로 상/하단 접촉면에서의 롤링 및 피칭 모멘트를 계산하고 이와 같은 모멘트를 발생시키는 스프링의 위치를 계산하였다.

$$M_{\phi} = \int_{x_{st}}^{x_{end}} \int_{y_{st}}^{y_{end}} \vec{r}_{da} \cdot \vec{k}_{da} \delta(x,y) dy dx \quad (1)$$

LM 베어링의 최외각 치수를 이용하여 블록과 레일의 치수 좌표를 생성하고, 앞에서 결정된 8개의 spring 좌표에 따라 8개의 spring을 생성하고, 상/하부의 spring 한 개당 각각 스프링의 강성을 Fig.2와 같이 배분하였다. 스프링 한 개당 강성을 구하면 다음과 같다.

구해진 8개의 스프링 위치와 각각의 스프링에 대한 강성을 분배한 것의 유효성을 검증하였다. 스프링 상/하부에는 combin14를 이용하여 블록과 레일 사이에 연결하고, 블록과 레일의 중심에는 matrix27을 이용하여 x축 방향으로의 움직임을 제

Table 1 Spring Stiffness distribution of LM bearings

Y축 스프링 강성	$K_{yy} = 2L \cdot (K_1 \cos^2 \theta_1 + K_2 \cos^2 \theta_2)$
Z축 스프링 강성	$K_{zz} = 2L \cdot (K_1 \sin^2 \theta_1 + K_2 \sin^2 \theta_2)$
상부 한 개당 강성	$K_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(K_{yy} \cdot \sin^2 \theta_2 - K_{zz} \cdot \cos^2 \theta_2)}{2L \cdot (\cos^2 \theta_1 \cdot \sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_2)}$
하부 한 개당 강성	$K_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{(K_{yy} \cdot \sin^2 \theta_1 - K_{zz} \cdot \cos^2 \theta_1)}{2L \cdot (\cos^2 \theta_2 \cdot \sin^2 \theta_1 - \sin^2 \theta_2 \cdot \cos^2 \theta_1)}$

한했다. matrix27을 이용한 스프링은 단지 움직임을 제한하기 위해 사용된 것으로 스프링 강성은 1N/mm로 하고, 스프링 한 개당 강성을 10000N/mm, 스프링 접촉 각도를 상부 90°, 하부 30°로 한다. 시뮬레이션 결과 이론상의 변위는  $\mu\text{m}$ 이며, 시뮬레이션으로 검증한 값은  $1.2\mu\text{m}$ 이다. 하중이 4개의 점에 집중되어 4개의 점에 처짐이 더 많이 생기는 것을 알 수 있으며 하중을 압력 조건으로 주었을 때 변위가  $1.05\mu\text{m}$ 인 것으로 확인되어 오차가 개선되는 것을 알 수 있었다.

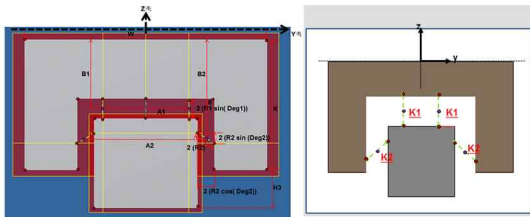


Fig. 2. Dimensions & Springs Position of LM bearing

#### 4. 소프트웨어 모듈

이와 같은 이론을 토대로 LM 가이드의 최외각 치수를 이용하여 블록 및 레일의 치수 좌표를 구하고, 정적/동적인 특성을 반영하는 combin14를 이용한 8개의 스프링 강성과 matrix27을 이용해 블록과 레일의 중심을 잇는 스프링의 강성을 구성할 수 있는 소프트웨어 모듈을 제작하였다.

$$GK = R^LKR^T$$

$$GK = \begin{pmatrix} r_{xx} & r_{yx} & r_{zx} \\ r_{xy} & r_{yy} & r_{zy} \\ r_{xz} & r_{yz} & r_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{xx} & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & r_{yy} & r_{yz} \\ r_{zx} & r_{yz} & r_{zz} \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 블록과 레일의 축방향 단위벡터, 즉 레일의 길이방향 벡터(x,y,z)를 입력받게 되면, 다음의 벡터 행렬을 이용하여 축방향 유닛벡터를 생성하고 matrix27의 강성값을 계산하게 된다.

#### 5. 결과

연구 내용을 토대로 베어링의 복잡한 형상을 단순화하여 모델링하고 FEM 해석에 용이하도록 정적/동적특성을 반영하는 FEM 모델링을 구성하기 위한 방법론 및 소프트웨어 모듈을 제작하였다. 단순화 모델링을 위한 베어링의 블록과 레일의 치수 좌표 및 강성 분배를 하기 위한 8개의 스프링의 위치좌표는 베어링의 최외각 치수를 이용하여 계산했기 때문에 직선 운동을 하는 베어링의 종류와 크기에 상관없이 다양하게 적용 가능 할 것으로 보인다.

#### 후기

본 연구는 한국기계연구원의 “기계장비 구조/열 특성 예측 시뮬레이터 개발” 과제 지원으로 연구되었습니다.

#### 참고문헌

1. 정종규, 강민구, 신동혁, 이길영, 신승현, 원종진, 정재일, “LM가이드 등가 강성모델을 적용한 진공용 5축 스테이지의 동특성”, 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 481~482, 2011.
- 2) 정재일, 노기훈, “롤러 LM가이드 베어링의 단순화 모델링에 대한 연구”, 한국생산제조시스템학회, pp. 116~117, 2011.
- 3) 노기훈, 최용석, 원종진, 정재일, “볼리테이너 타입 직선운동 가이드의 단순화 모델링에 관한 연구”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집(상), pp. 463~464, 2010.