

볼리테이너 타입 직선운동 가이드의 단순화 모델링에 관한 연구

A Study on Linear Motion Guide of Ball Retainer type to simplify modeling

*노기훈¹, 최용석¹, 원종진², #정지일²

*K. H. Noh¹, Y. S. Choi¹, J. J. Won², #J. I. Jeong(jayjeong@kookmin.ac.kr)²

¹ 국민대학교 기계설계학과, ² 국민대학교 기계자동차공학부

Key words : LM Guide, Ball bearing, connector

1. 서론

Linear Motion Guide(이하 LM Guide)는 블록 내부의 볼이 효율적으로 무한 순환 운동을 하도록 도와주는 직선운동 안내 장치로 직선운동부분을 지지하는 곳에 주로 사용된다. 롤러 타입과 볼 타입 두 종류로 나뉘지며 볼 타입에서 총볼 타입과 리테이너 타입으로 다시 나뉜다[1]. 총볼 타입은 회전시 볼과 볼 사이에 금속접촉부가 발생하여 마찰과 열이 발생하는 반면에 리테이너 타입은 볼과 리테이너 사이의 유막이 형성되어 볼 리턴부, 순환부 등 내부 충돌과 마찰을 최소화 한다. 특히 볼 리테이너 타입은 미끄럼 안내에 비해 마찰계수가 작고 로스트 모션이 매우 작아 위치 결정도가 매우 높은 제품으로 CNC선반과 같은 공작기계, 로봇, 반도체 LCD 제조설비 등에 많이 사용되고 있다.

모든 기계에 사용되는 만큼 LM Guide 자체 강성이 중요시되고 있다. 본 논문에서는 강성해석을 용이하고 빠르게 하기 위해 모델링 단순화에 대해 설명하고자 한다.

2. 모델 선정 및 단순화

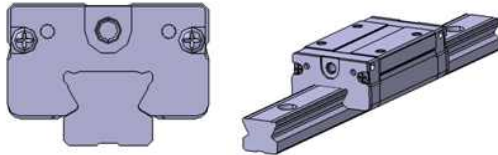


Fig. 1 LM Guide SSR-15XW (THK Catalog)

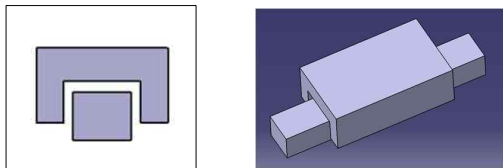


Fig. 2 SSR-15XW Simplify Modeling

Fig. 1의 LM Guide SSR 모델은 볼리테이너 타입으로 가장 보편적으로 사용되고 있는 제품이며, 볼끼리의 마찰제거로 금속 마찰음의 발생이 없어 정숙한 주행 실현이 가능한 제품이다. 하지만 제품 형상 그대로 해석하기에는 다소 어려운 점이 있다. 블록을 형성하는 부품이 여러 가지이며, 각각의 물성치도 다르다. 또한 부품들은 볼트 결합으로 이루어져 있어 일부분에서 굴곡이 형성되어있기 때문이다. 모델 해석이 용이하고 해석 시간을 줄이기 위해서는 단순화 과정이 필요하다. Fig. 2는 SSR-15XW 모델의 최외각 치수를 적용해서 설계한 단순화된 모델이다.

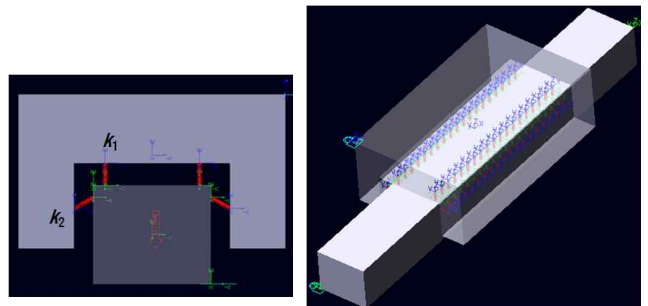
$$k = \frac{dP}{d\delta} = \frac{3}{2} \left(\frac{\pi(0.6E^*)}{\sqrt{2}} (R'R'')^{\frac{1}{4}} \right)^{\frac{1}{2}} \delta^{\frac{1}{2}} \equiv \frac{3}{2} C\delta^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}, R' = r_2, R'' = \frac{r_1 r_2}{r_1 - r_2}$$

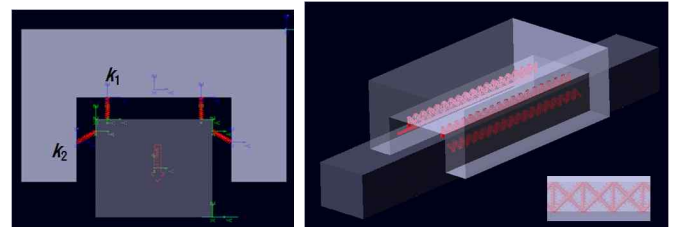
식(1)을 사용하여 LM Guide 블록에 들어가는 볼베어링의 강성을 이론적으로 구할 수 있다. E_1 와 E_2 는 볼베어링과 블록의

탄성계수이며, ν_1 와 ν_2 는 볼베어링과 블록의 푸아송비이다. R' 과 R'' 는 볼베어링과 블록 그루부의 유효반지름이다. δ 은 볼 베어링의 예압 즉, 음의 공차를 나타낸다[2][3]. 시뮬레이션에서는 $7\mu\text{m}$ 의 Preload를 주었다. $7\mu\text{m}$ 은 THK 카탈로그 상에서 볼베어링 경예압의 중간 크기이다[1].

3. 동가 동강성을 가지는 Connector 배치



(a) Model 1(19 springs per line)

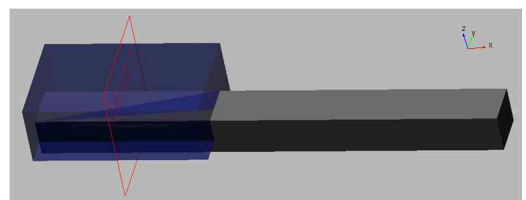


(b) Model 2(55 springs per line)

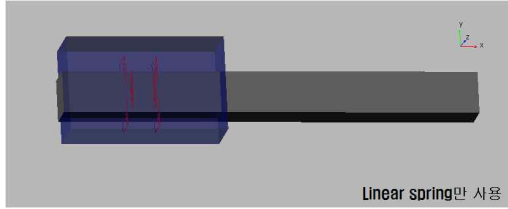
Fig. 3 A Modeling using spring

Fig. 3(a)는 볼베어링 직경의 간격만큼 블록과 레일사이 스프링을 일렬로 연결한 모델이다[4]. SSR-15XW의 볼 직경은 약 2.8mm로 블록의 길이를 고려하여 열 당 19개의 스프링을 적용하였다.

Fig. 3(b)는 볼베어링 사이의 상호작용을 고려한 모델이다[4]. 블록이 움직이는 x-축 방향에서 보면 Fig. 3(a)와 같지만 측면을 보면 스프링 연결 형태가 다른 것을 확인 할 수 있다. 볼이 맞닿는 부분을 고려하여 대각 방향 스프링을 추가로 적용하였다. 열 당 55개의 스프링이 적용되었다.



(a) Model 3 (by a field connector)



(b) Model 4(by eight field connectors)
Fig. 4 A Modeling using Field Connector

Fig. 4(a)는 스프링이 아닌 하나의 Field Connector를 사용한 모델이다.

$$k = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{\theta_x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{\theta_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{\theta_z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Field Connector에서 강성은 식(2)와 같이 Matrix 형태이기 때문에 축 방향의 강성과 축에 대한 회전 강성까지 한 번에 입력해 줄 수 있는 장점이 있다. 축에 대한 회전인 롤링, 피칭, 요잉은 블록의 무게에 큰 영향을 받으므로 블록의 무게 중심을 기준으로 블록과 레일을 Field Connector로 연결하였다.

Fig. 4(b)는 8개의 Field Connector를 사용한 모델이다. 상단과 하단에 각각 4개의 Field Connector를 사용하였다.

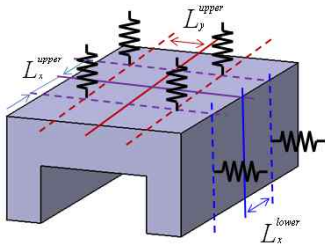


Fig. 5 connection points

$$L_x^{upper} = \sqrt{\frac{K_{\theta_y}}{k_z}}, L_y^{upper} = \sqrt{\frac{K_{\theta_x}}{k_z}}, L_x^{lower} = \sqrt{\frac{K_{\theta_z}}{k_y}} \quad (3)$$

Fig. 5는 Field Connector의 연결 지점을 나타낸다. 이는 식(3)을 통해서 계산되어지며 블록의 무게중심점이 기준이 된다. 상단 Connector는 블록의 무게중심점에서 $\pm L_x^{upper}$, $\pm L_y^{upper}$, 하단 Connector는 블록의 무게중심점에서 $\pm L_x^{lower}$ 거리만큼 떨어진 곳에 연결하였다. 상단은 y-축, 하단은 z-축의 강성만 주었고 그 결과 하나의 Field Connector를 연결한 Fig. 4(a)의 Model 3과 비슷한 결과를 이끌어 낼 수 있었다.

$$k_x \approx 0$$

$$k_z = 2 \left[\sum_i^n k_i^{upper} + \sum_i^n k_i^{lower} \sin^2 \beta \right] \quad (4)$$

$$k_{\theta_y} = \frac{L^2}{6} \left[\sum_i^n k_i^{upper} + \sum_i^n k_i^{lower} \sin^2 \beta \right] \quad (5)$$

$$k_{\theta_z} = \frac{L^2}{6} \left[\sum_i^n k_i^{lower} \cos^2 \beta \right] \quad (6)$$

식(4)~식(6)은 블록과 레일등 LM Guide 외형 치수와 물성치를 바탕으로 세운 강성 유도식이다. 여기서 K^{upper} 는 상단 스프링 강성계수를 나타내며 K^{lower} 는 하단 스프링 강성계수, β 는 하단 스프링의 연결 각도를 나타낸다. 식(4)부터 식(6)은 LM Guide의

Bouncing, Pitching, Yawing mode의 강성 유도식이다[3].

Preload를 적용한 선형 스프링 모델과 Field Connector를 적용한 모델의 시뮬레이션 해석 값은 Table 1과 같다. 예압이 걸린 볼베어링 대신 선형 스프링을 적용해도 비슷한 결과 값을 이끌어 낼 수 있었다. 하지만 식(1)에서 보듯이 베어링 강성은 비선형성을 보이므로 선형 스프링을 적용한 모델의 결과 값이 항상 맞다고 볼 수는 없다. 그렇기 때문에 비선형 스프링을 모델에 적용해야한다. 다른 방법으로는 Model 1, Model 2와 같이 Field Connector를 적용하는 것이다. 강성 유도 식을 사용하여 얻은 각 모드의 강성 값을 하나의 혹은 여덟 개의 Field Connector를 적용한 모델에 대입하면 실험 결과 값과 비슷한 값을 가짐을 알 수 있었다.

Table 1 According to the frequency of each mode

Mode Number	2nd	3rd	4th	5th	6th
Type	Rolling	Yawing	Pitching	Bouncing	High-rolling
Experiment	149.0	422.0	467.0	1190.0	1590.0
Model 1	136.2	471.6	639.8	1095.2	1219.3
Model 2	171.3	393.9	515.6	1234.9	1180.0
Model 3	144.5	422.2	468.3	1190.0	1640.5
Model 4	95.4	411.9	468.3	1190.0	1765.5

Table 1은 LM Guide의 각 모드별 주파수를 나타낸다. 실험값과 가장 근사한 값을 가지는 모델은 하나의 Field Connector를 적용한 Model 3이다. 이는 각 방향에 따른 각각의 강성을 대입해 주었기 때문이다. 그 외 다른 Model들도 실험값을 기준으로 오차범위 20%안의 결과 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

볼리테이너 타입 LM Guide의 강성 해석에서 스프링과 Field Connector를 적용하여 시뮬레이션 및 해석을 해보았다. 또한 Field Connector를 적용하여 모델을 단순화 시켜 볼베어링 타입이 아닌 다른 타입도 스프링과 Field Connector를 적용으로 강성 해석이 가능함을 증명하였다.

향후 비선형 스프링을 적용하여 선형 스프링과 비선형 스프링의 해석 결과 차이를 파악하고 이를 몰러 타입 LM Guide에 적용하여 단순화 된 모델을 설계할 계획이다.

후기

본 연구는 한국기계연구원이 지원하는 “기계장비 정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술개발” 과제 지원으로 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. THK Catalog No. 500-4K, Available: <http://www.samick-thk.co.kr/>
2. Yi Y.S., Kim Y.Y., Choi J.S., Yoo J.H., "Dynamic analysis of a linear motion guide having rolling elements for precision positioning devices", Journal of Mechanical Science and Technology, Volume 22, Number 1, 2008
3. 최재석, 유정훈, 이용섭, 김윤영, “볼 베어링을 이용하는 직선 운동 가이드 진동 해석 및 응용”, 대한기계공학회 논문집, 제29권 제7호, pp.955-963, 2005.
4. Altintas Y, Brecher C, Weck M, “Virtual Machine Tool”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 54, Issue 2, pp 115-138, 2005