

컴팩트형 LM블록의 정적 강성 개선

홍재준*, 안재환*, 김정진**
 *대구 미래형자동차산업 혁신아카데미
 **계명대학교 기계자동차공학부
 e-mail:kjj437@gmail.com

Improving static rigidity of compact LM block

Jae-Joon Hong*, Jae-Hwan An*, Jung Jin Kim**
 *Daegu Future Automobile Industry Innovation Academy
 **Dept. of Mechanical Engineering, Keimyung University

요약

본 논문의 목적은 컴팩트 사이즈 LM시스템의 소성변형(압흔), 절손 등의 문제를 정적 강성해석을 통해 개선하는 것이다. 이를 위해서 CATIA V5의 Generative Structural Analysis 기능을 이용하였다. 대상 모델의 재료, 형상을 변경하여 강성의 개선을 달성하는 것을 목표로 하였다.

1. 서론

4차 산업혁명이 시작된 이후로 기업환경은 하루가 다르게 변화하고 있다. 제조 현장은 인건비 상승과 인구 고령화 및 저출산, 근로자들의 3D 기피 현상으로 설비 및 공장자동화에 대한 요구와 필요성으로 많은 기업이 자동화된 생산시스템을 도입하고 있다. 점점 미세화되고 있는 기계의 요구성능을 만족시키고, 고품질·고부가가치의 실현을 위해서는 기구부의 구름화가 우선되어야 하는데, 이에 필요한 기계요소는 LM가이드라 할 수 있다[1].

이러한 스마트 제조혁신 속에서는 사업장 내 가용면적을 최대한으로 하고, 공장 최적화 및 효율화를 위한 LM가이드가 사용된다. 하지만 컴팩트 모델 적용 시 하중이 제한적이고, 높은 하중이나 강한 충격이 전달될 시 전동면의 입자들이 보풀처럼 일어나는 플레이킹(Flaking) 현상과 불, 전동면이 소성 변형되는 압흔 현상이 야기된다. 따라서, 컴팩트 형상을 유지한 채 강성이 향상된 모델의 개발이 요구되지만, 이와 관련하여 아직 연구된 바가 없다.

본 연구에서는 LM가이드의 구성요소인 LM블록의 강성을 향상하는 방안에 대해 검토하였다. 이에 관한 기존의 연구로는 하중을 고려한 LM베어링의 강성해석[2], LM가이드의 강성 해석[3] 등이 검토된 바 있다. 그러나 불의 예압 정도로 강성해석을 실시한 것이 아니라 형상, 재질을 변경하여 강성을 향상한 연구는 찾아보기 힘들다. 따라서, LM블록을 CATIA

V5로 3D 구현하고 구조적 개선과 재료의 변경을 통해 최적의 개선 모델을 강구하였다.

2. 본론

2.1 연구대상

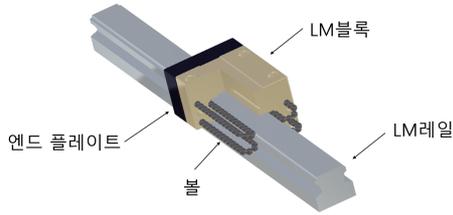
LM가이드는 일반적으로 불을 매개체로 하중을 지지하고 마찰계수를 줄임으로써 하중물을 가볍게 이송시킬 수 있는 부품이다. LM가이드의 주요 구성요소로 하중을 지지하는 LM블록, 불의 순환과 LM블록 양단을 막는 엔드플레이트, 구름을 수행하는 불, 블록의 이동을 결정짓는 LM레일이 있다. 불 대신 롤러를 사용한 고 하중용 롤러 리테이너 타입이 있으나, 일반 모델과 비교하여 가격이 비싸다는 것이 단점이다.

본 연구에서는 THK社의 4방향 등 하중용 컴팩트 모델인 HSR-15R을 대상 모델로 선정했다. 재료는 베어링용 침탄강인 SCM420(H)이며 모습과 상세 하중조건은 [표 1-2], [그림 1]와 같다.

[표 1] Load condition of reference model (HSR-15R)[4]

기본정격하중*		정적허용모멘트 kN•m				
C	C_0	M_A		M_B		M_C
kN	kN	1개	2개	1개	2개	1개
10.9	15.7	0.0945	0.527	0.0945	0.527	0.0998

* C : 동정격하중, C_0 : 정정격하중



[그림 1] THK社 HSR-15R

[표 2] Mechanical properties of SCM420(H)[5]

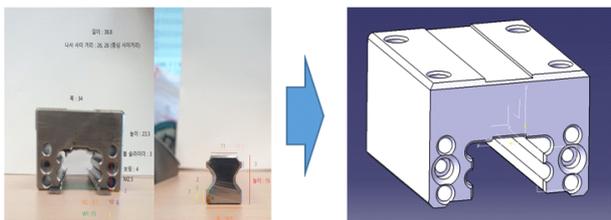
	SCM420(H)
Tensile strength	765 MPa
Yield strength	450 MPa
Elastic Modulus	210 GPa
Poisson's ratio	0.29
Elongation at break	14% min
Hardness, Brinell	137
Density	7,700 kg/m ³

기본 정정격하중(C_0)은 최대 응력을 받는 접촉부에서 전동체와 전동면의 영구 변형량 합이 전동체 직경의 0.0001배가 되는 방향과 크기가 일정한 정지하중을 말한다[6]. 헤르츠의 접촉 이론과 KS B 2020에 따라 LM가이드(기타 볼 베어링)의 허용하중은 4,200 MPa이고, 이것이 접촉부에 가해질 경우 전동체의 영구변형량의 합은 0.0001배가 된다. 이 기본 정정격하중을 구하는 공식은 (1)과 같다.

$$C_0 = f_0 \times i_t \times Z_t \times D_{wt}^2 \times \cos\alpha \dots\dots(1)$$

여기서, f_0 , i_t , Z_t , D_{wt} , α 는 각각 곡률 반경 비에 따른 계수, 부하 영역 내의 유효 전동체 열 수, 유효볼 수, 볼경, 접촉각이다. THK社는 예상 밖의 하중이 가해지는 것을 대비하여, 정적 안전계수 f_s 를 3 이상으로 두는 것을 권장한다. 따라서 대상 모델이 1레일, 1블록 시스템으로 안전하게 사용할 수 있는 범위는 약 5.2 kN 이하가 된다.

하지만 사용자의 부주의로 기본 정정격하중에 상당하는 충격이 가해지고, 과적과 높은 속력으로 작동 시 재료의 항복응력을 넘어서는 에너지를 받아 소성변형이 일어난다. 본 연구에서는 정적 상황에서 외력에 유연하게 대응할 수 있도록 강성을 높인 모델에 관해 연구하였다.



[그림 2] 3D modeling of LM Block

[표 3] Conditions by type

TYPE 1	재료를 변경 (SCr420 Q.T, SNCM420 Q.T)
TYPE 2	형상을 변경 (Fillet 부여, 레일 높이 변화)
TYPE 3	위의 조건을 적절히 배합

2.2 연구방법

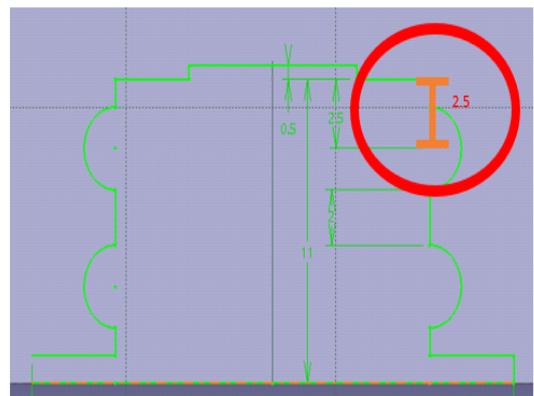
LM블록의 3D 모델링 후 세 개의 TYPE에 대한 강성해석을 실시하였다. TYPE의 개요는 [표 3]와 같다. 기존 모델에 대해 C_0 하중을 부여하고, Von-Mises, Principal stress을 계산하여 안전율을 산정하였다. 그것을 기준으로 설정하고, TYPE 별 안전율을 비교해 얼마의 개선을 이루었는지 조사하였다.

TYPE 1은 재료를 변경하여 비교한다.

대상 모델의 재료로 채택된 SCM420(H)의 항복응력보다 향상된 재료인 내륜용 SCr420 Q.T, SNCM420 Q.T의 특성을 부여해 분석하였다. 특히 Ni를 함유한 SNCM420 Q.T는 SCM420(H)보다 높은 피로강도 값을 나타낸 바 있다[7]. 변경할 재료는 [표 4]와 같다.

[표 4] Mechanical properties of TYPE 1 materials[8-9]

	SCr420 Q.T(Low temp)	SNCM420 Q.T(Low temp)
Tensile strength	1,225 MPa	1,009 MPa
Yield strength	882 MPa	902 MPa
Elastic Modulus	205 GPa	208 GPa
Poisson's ratio	0.29	0.29
Elongation at break	15%	16%
Hardness, Brinell	370	293 - 375
Density	7,850 kg/m ³	7,830 kg/m ³



[그림 3] LM block dimation change condition

TYPE 2는 블록의 형상을 변경한다.

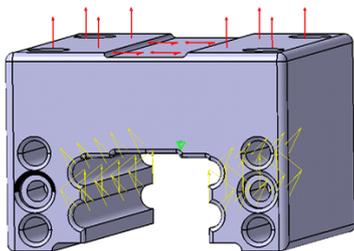
레일로부터 받는 외력에 의해 특정 부위에서 압축 및 굽힘 응력이 발생하는 것을 유추할 수 있다. 따라서 두 응력이 동시에 발생하는 부분을 줄임으로써 강성을 개선할 수 있다고 판단되었다. 구조상 굽힘응력을 이동시킬 수는 없다고 생각되어 외력이 가해지는 위치, 즉 레일의 높이를 조정하여 최적값을 찾는 연구를 진행하였다. 또한, LM블록은 레일이 들어가는 방향에만 Fillet이 존재하여 없는 방향에는 응력이 집중되는 현상이 발생한다. 따라서 반대편에 같은 치수의 Fillet을 부여하여 비교하였다. 추가로 이 두 개의 TYPE을 적절히 조합하여 최적의 모델을 모색하였다.

2.2.1 유한요소해석

사면체의 유한한 요소로 나누며 그 특성은 여러 번의 해석을 통해 최적값을 찾았으며 Mesh size, Absolute sag는 각각 1 mm, 0.05 mm 로 구성하였다. 하중이 크게 작용하는 부분은 Local Mesh Size의 Value를 0.1 mm를 부여하여 정확도를 향상했다. 연구에 사용된 장비 중 PC의 CPU는 INTEL(R) Core(TM) i7-9700이며, 16.0GB RAM, INTEL(R) UHD Graphics 630 그래픽을 탑재하였다. 작동 환경은 Windows 10 운영체제이며 CATIA V5-6R2019 버전을 사용하여 해석하였다.

2.2.2 해석 경계조건

LM가이드는 대체로 동적하중이 작용한다. 즉 구름마찰 하중이기 때문에 비선형 하중이 작용한다. 본 연구에서는 복잡한 비선형 하중을 정적 하중으로 변환하여 적용하였다. 정적 하중으로 물체가 LM블록에 -Z 방향 하중 C_0 를 주는 상황으로 가정한다. 또한 베어링의 강구는 일정한 간격을 두고 있으며 하중의 형태가 연속적이지 않다. 하지만 본 연구에서는 4개의 볼 베어링 레일에 Bearing Load를 이용하여 C_0 를 4개의 하중으로 균등하게 나누고, Z 방향 하중을 부여하며 Angle은 볼 클리어런스가 0이 되도록 180°로 가정하였다. 물체가 올라가는 상단부는 Z 방향 고정 경계조건을 부여하였고 정적 평형을 만족하는 모델을 생성하여 분석하였다.



[그림 4] Boundary and load conditions simulating LM block under load

2.2.3 해석 결과

TYPE 2_A에서, 길이 1.8 mm는 1.5 ~ 3 범위를 0.1 mm의 단위로 각각 해석한 결과 중 응력이 가장 낮은 값을 보여준 수치이다. TYPE 3은 TYPE 1_B, TYPE 2_A, TYPE 2_B를 조합한 결과이다. 결과 데이터는 [표 5]과 같다.

[표 5] Analysis data by type

	Von-Mises stress [MPa]	Principal Stress [MPa]	Displacement [mm]	Safety factor
Reference Model	121.00	122.97	0.004674	3.66
TYPE 1_A (SCr420 Q.T)	121.00	122.97	0.004788	7.17
TYPE 1_B (SNCM420 Q.T)	121.00	122.97	0.004784	7.34
TYPE 2_A (Fillet)	109.72	133.73	0.004375	3.36
TYPE 2_B (1.8mm)	98.32	96.11	0.004032	4.58
TYPE 3	104.84	114.43	0.0038584	7.88

3. 결론

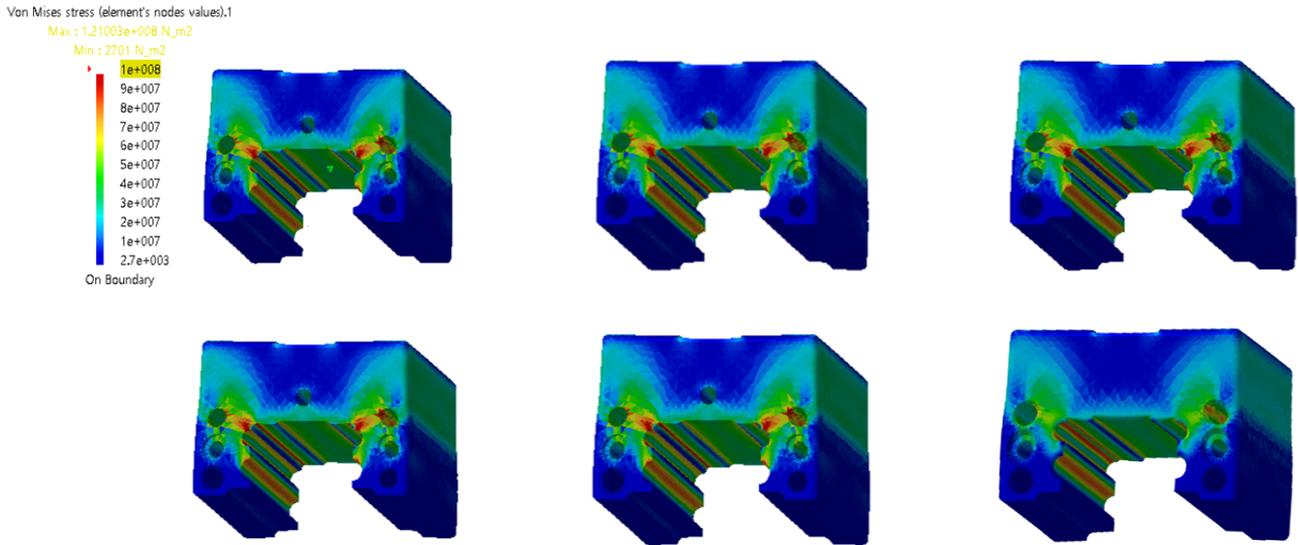
3.1 결과 분석

기존의 모델과 개선된 TYPE 별 모델에 C_0 하중을 대입하여 안전율과 각각의 개선율을 비교해보았고, 이를 통해 콤팩트형 LM블록의 강성을 개선한 결과를 얻고자 하였다. 모델 별 안전율과 개선율의 데이터는 [표 6]와 같다.

- (1) TYPE 1에서는 재료 SNCM420 Q.T를 사용했을 때 100% 이상의 개선을 보여주었다.
- (2) TYPE 2에서는 레일의 높이를 1.8 mm로 조정한 결과가 Fillet을 변경한 결과보다 33% 더 효과적임을 보여주었다.
- (3) TYPE 1_B, TYPE 2_A, TYPE 2_B를 적절히 조합한 TYPE 3 모델을 해석하여본 결과 115.3% 개선으로 최대 개선의 결과를 얻었다.

3.2 최적 솔루션 제안

개선율이 낮았던 Fillet 처리를 제외하여, TYPE 1_B, TYPE 2_B만을 적용해본 TYPE 4의 결과를 얻었다. 또한, 가격이 높은 SNCM420 Q.T 대신 SCr420 Q,T를 사용하고



[그림 5] Von-Mises stress analysis results by type (From the top, Reference Model, TYPE 1_A, TYPE 1_B, TYPE 2_A, TYPE 2_B, TYPE 3)

TYPE 2_B와 조합한 TYPE 5의 결과는 [표 7]와 같다.

참고문헌

[표 6] Improvement rate for each type

	Safety Factor	개선율 [%]
Reference Model	3.66	-
TYPE 1_A	7.17	95.90
TYPE 1_B	7.34	100.55
TYPE 2_A	3.36	-8.20
TYPE 2_B	4.58	25.14
TYPE 3	7.88	115.30

[표 7] TYPE 4, TYPE 5 analysis result

	Von-Mises stress [MPa]	Principal Stress [MPa]	Displacement [mm]	Safety factor	개선율 [%]
TYPE 4	98.32	96.11	0.004034	9.17	150.55
TYPE 5	98.32	96.11	0.004788	8.97	145.08

SCM420(H), SCr420 Q.T, SNCM420 Q.T 재료의 각 가격은 600 \$/ton, 814 \$/ton, 1000 \$/ton 이다[10]. 가격과 재료를 모두 고려한다면 최고 향상을 보여준 TYPE 4보다 5%의 차이를 보이는 TYPE 5와 같이 SCr420 Q.T 재료를 선정하여 레일높이 1.8 mm 형상을 유지하는 것이 145%의 안전율 개선을 이루었으므로 적합하다고 할 수 있다.

LM가이드 사용 시 두드러지는 문제점인 플레이킹(Flaking)현상은 하중, 충격, 속도 등 다양한 원인이 복합적으로 일어나는 문제이다. 따라서 본 논문에서 해석한 정적 강성 해석으로 문제를 해결하기는 어렵다고 판단된다. 이와 관련하여 하중, 경도, 속도, 피로와 사용수명 등 다각적으로 분석된 정밀한 연구가 필요하다.

- [1] 삼익 THK, 『LM가이드- LM시스템』, 삼익 THK(2004년), pp. 73-73
- [2] 김경호, “하중을 고려한 LM베어링의 강성 해석”, 한국생산제조학회 학술발표대회 논문집, pp. 20-22, 9월, 2014년.
- [3] 오광제, “LM가이드의 강성 해석”, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, pp. 1128-1128, 5월, 2015년.
- [4] THK, 『LM가이드 종합 카탈로그』, THK(2021), pp. 190-191
- [5] SteelGr, <https://www.steelgr.com>
- [6] 삼익정공주식회사, <https://mysamick.com/>
- [7] Katsutoshi ASAMI, “Fatigue Strength Characteristics of High-Strength Steel”, JSME International journal, 33권, 제3호, pp.367-374, 1990년
- [8] Otaisteel, <https://www.otaisteel.com>
- [9] NSK, 『Bearing materials』, pp.212-212
- [10] Alibaba, <https://alibaba.com>