

저마찰 고속 쿠션 실린더 특성 해석

Characteristic Analysis of Low Friction and High Speed Cushion Cylinders

*#전용식¹, 주민진¹, 오영철¹, 김동수²

*#Y. S. Jeon¹(ys757@naver.com), M. J. Ju¹, Y. C. Oh¹, D. S. Kim²

¹(주) 팜코 기술연구소, ²한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : Friction Force, Pneumatic Cylinder, Roughness, Lubrication and No Lubrication

1. 서론

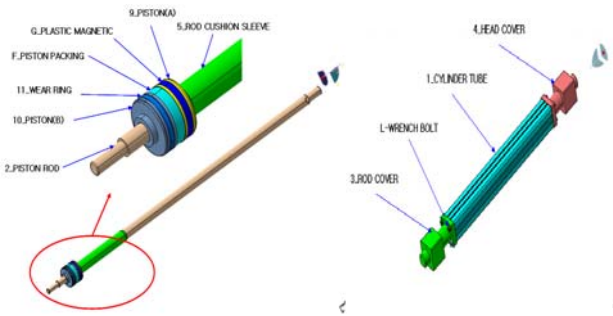
최근 국내산업계에서는 메카트로닉스화가 진전됨에 따라 다 품종 소량생산을 지향하는 FA, FMS시스템이 급격히 증가하고 있다. 따라서 일반 산업용 공압 실린더도 산업용 로봇이나 공작기계 등에서 요구되는 고정도, 고속화가 요구되고 있다. 그러나 국내 공압기기 설계, 생산기술은 선진국과 달리 역사가 짧고, 전문기술 인력부족 등, 그 자체의 고유한 산업으로서의 미정립 등의 이유로 말미암아 단순 공압기기에 대하여 모방 설계 수준에 머무르고 있으며, 따라서 저마찰 고속 쿠션 실린더의 수요는 기하급수적으로 증가하고 있으나, 그 수요량을 선진국으로부터 의존하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 저마찰 및 고속 쿠션 실린더의 성능에 큰 영향을 미치는 실링의 특성을 연구하기 위해서 고무소재의 비선형 물성 및 마찰 시험을 수행하고, 마찰력에 영향을 주는 지배 인자를 규명하기 위하여 공급압력, 피스톤 속도 등 작동 조건을 변화시키면서 정적 및 동적 유한요소 해석을 통한 쉘 종류별에 따라 특성을 해석하였으며, 실린더 구조해석을 통한 실린더 내부의 내압과 ROD에 작용하는 하중에 의한 Bucking에 대한 구조해석을 통한 변형 및 응력을 시뮬레이션 하였다.

2. Modeling 및 해석조건

실의 *sealing zone*에서 발생하는 모든 영향을 분석하기 위해서는 3가지의 다른 역학적 고려를 *coupling*을 하여야 한다. 즉, 공기압의 영향을 표현하는 유체역학 모델, 실과 실린더 벽사이의 접촉을 표현하는 접촉역학 모델, 실의 비선형 거동을 표현하는 변형역학 모델이다. Fig. 1의 실링 및 실린더 보어의 접촉면, 피스톤 홈 부의 전체 해석 모델을 보이고 있으며, Fig. 2는 실링의 유한요소 모델을 보이고 있다. 해석 모델은 비선형 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 2차원의 축대칭 모델로 작성되었다. 실은 CAX8H 요소를 사용하였으며, 12098개의 절점과 3937개의 요소를 사용하여 모델링하였다. 공기압을 표현하기 위해서는 공기압에 노출되는 영역의 절점에 대해서 압력을 분포시킨다. 실과 실린더 보어의 접촉 영역은 다른 영역보다 세밀하게 격자를 나누고, 실의 접촉영역을 *slave*로 정의하고 실린더 보어의 접촉영역은 *master*로 정의하였다. 또한, 저마찰 고속 쿠션 실린더의 구조 해석은 Fig. 3과 같이, Catia V5 R17을 이용하여 쿠션실린더의 기하학적 형상을 3차원으로 모델링하고, 실린더 튜브, 피스톤 로드를 중점적으로 해석하였다.

Table 1은 저마찰 고속 쿠션 실린더를 구성하는 실린더 튜브, 피스톤, 피스톤 로드, 커버 등의 재료 물성 값을 나타낸다.



(a) 피스톤-피스톤 로드 모델링 (b) 쿠션실린더 모델링

Fig. 3 피스톤로드, 쿠션실린더 3차원 모델링 예

Table. 1 쿠션실린더 주요 구성부품의 재료 물성값

Part name	Material	Elastic modulus	Poisson's ratio
1_CYLINDER TUBE 3_ROD COVER 4_HEAD COVER	Al6063-T5	68.9GPa	0.33
2_PISTON ROD	SK4	205GPa	0.28
5_ROD CUSHION SLEEVE	S45C	205GPa	0.29
9_PISTON(A) 10_PISTON(B)	C3604BD	97.0GPa	0.31
11_WEAR RING F_PISTON PACKING	NBR	43.0MPa	0.49

3. 해석 결과

1. Seal 해석결과

- 정적해석 A단계: 실과 실린더 보어의 간격을 맞추기 위해 간섭 맞춤(Interference fit) 기능을 사용하여 실린더 보어 내벽과 피스톤 사이의 gap은 0.05 mm로 설정하였다.
- 공기압 제공 B단계: 정적해석 단계인 A단계의 하중이 작용하는 상태에서 공기압을 제공하는 단계이며, 공기압의 누설을 방지하기 위한 조건과 접촉력을 최소한으로 하는 조건사이의 타협(trade-off)이 필요하다. 공급 압력 조건은 0.2 MPa로 결정하였다.
- 피스톤 이송 C단계: A 단계 및 B 단계의 하중조건이 작용하는 상태에서 피스톤이 임의의 속도로 이송하는 단계이다. 피스톤의 이송 조건과 이때 작용하는 마찰계수는 실링과 피스톤 홈 부와의 마찰계수는 1.0, 실링과 실린더 보어와의 마찰계수는 0.6으로 가정하였다.

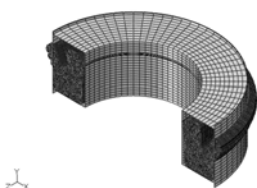


Fig. 1 실링해석모델

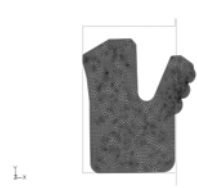


Fig. 2 격자 모델링

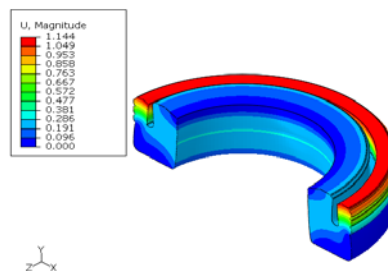


Fig. 4 A단계 Interference fit

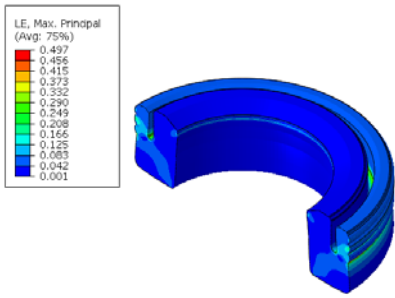


Fig. 5 B단계 Interference fit

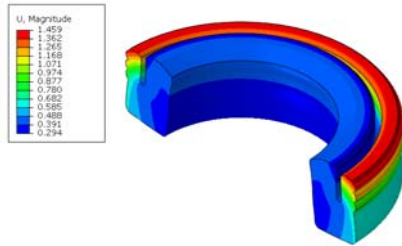


Fig. 6 C단계 Interference fit

Fig. 4는 실린더 보어 내벽과 피스톤 사이의 Interference fit를 실행한 결과이다. 이때의 국부 최대 변형률은 약 39%이었고, 최대 응력은 약 3.904MPa이며, 접촉력은 약 7.036N이었다.

Fig. 5는 A단계의 하중이 작용하는 상태에서 0.2 MPa의 공기압이 작용하였을 때 실링의 변형 상태를 나타내고 있으며, 이때의 국부 최대 변형률은 약 49.7%이었고, 최대 응력은 약 5.236MPa이었다.

Fig. 6은 A+B 단계의 하중 조건일 경우의 접촉력을 보이고 있으며 약 8.655N이었다. A단계 및 B단계 하중 조건에 더하여 임의의 행정을 이동할 때의 실링의 변형 상태를 나타내고 있으며, 이때의 국부 최대 변형률은 약 20%이었고, 최대 응력은 약 2.136MPa이며, 접촉력은 약 22.809N이었다.

2. 저마찰 고속 쿠션 실린더의 구조 해석 결과

1) 피스톤-피스톤 로드 구조해석 결과

Fig. 7은 $\varnothing 25$ mm인 피스톤-피스톤 로드의 좌굴 해석 결과이다. 그림에서 보듯이, 최대변형은 0.40232mm이고 최대 변위가 발생하는 방향은 X방향으로 0.40171mm이며, 그 외의 다른 방향으로 는 변형이 매우 작음을 알 수 있다.

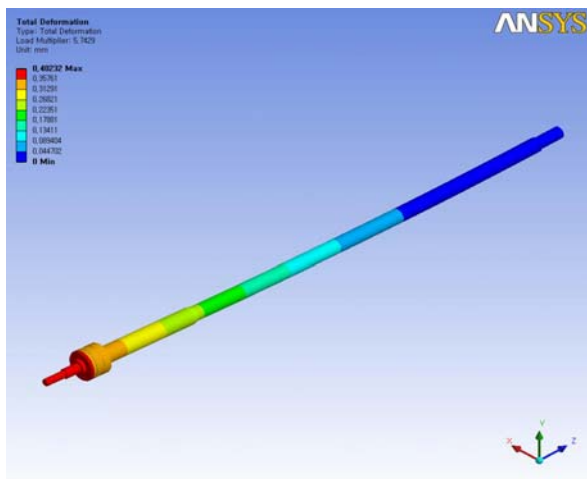


Fig. 7 쿠션실린더1($\varnothing 25$) 피스톤-피스톤 로드 좌굴해석

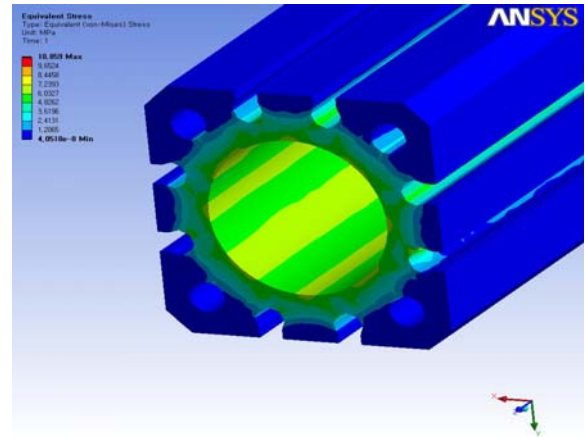


Fig. 8 쿠션실린더1($\varnothing 25$) 실린더 튜브 응력해석

Fig. 8은 쿠션실린더 튜브 내부에 반지를 방향과 길이방향으로 1.5MPa의 최대압력이 균일하게 작용할 때의 응력분포이다. 최대 압력의 하중 조건에서 발생하는 최대 응력은 9.67MPa로 안전하며, 실린더 튜브의 외부 홈이 있는 부분에 두께가 얇기 때문에 실린더 내부에 응력이 더 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

저마찰 · 고속 쿠션실린더의 썰의 마찰력을 압력, 속도, 윤활상태 등 작동조건 변화, 튜브 조도 및 재질변화, 썰 형상변화 등에 대하여 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 썰 마찰력은 윤활 또는 무급유 상태, 실린더튜브 재질 및 조도, 썰 형상보다는 작동압력과 속도의 함수임을 확인하였다. 썰 마찰력은 실린더튜브 조도에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, 알루미늄튜브가 스테인레스강 튜브에 비해 마찰력이 작다는 사실을 알았다. 썰 마찰력은 썰 형상과 치수에 영향을 나타냈으며, 실 접촉부의 단면적이 큰 썰이 마찰력이 크게 증가함을 알 수 있었다.

(2) 쿠션실린더1(지름 $\varnothing 25$, 스트로크 300mm)에 대해 유한요소법을 이용하여 구조해석 하였다. 설계도면을 3차원 모델링하고, 유한요소 해석을 한 결과, 주어진 설계사양과 설계 도면에 제시된 재료를 선정할 경우, 최대 작용압력 1.5MPa에서도 실린더 튜브와 피스톤-피스톤로드는 충분한 강성을 가지며, 또한 피스톤-피스톤 로드의 좌굴해석에서도 큰 문제점이 없는 것으로 나타났다.

후기

본 연구는 지식경제부와 에너지관리공단이 지원하는 에너지 효율향상사업 “고성능 On/Off Actuator 개발” 과제지원으로 연구 되었으며, 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Wernecke, P.W., “Analysis of the Reciprocating Sealing Process”, proc. of 11th Int. Caonf. of Fluid Sealing, E1, pp. 249-277, 1987.
2. Brokelmann, J., “Pneumatic Seal Material for Oil-Free Air”, Fluid Technische Nuove, Milano, pp. 50-58, 1989.
3. Belforte, G., D’ Alfio, N. and Raparelli, T., “Experimental Analysis of Friction Forces in Pneumatic Cylinders”, Journ. of Fl. Cont., 20, pp. 12-60, 1989.
4. Gawrys, E., and Kollek, W., “The Effect of the Operating Conditions on the Design of the Seals for Reciprocating Motion”, Proc. 10th Int. Conf. on Fluid Sealing, F4, pp.285-294, 1984.