

공압 쿠션실린더에서 쿠션슬리브의 오리피스 유·무에 따른 쿠션영역에서 쿠션특성

Cushion Characteristics at Cushioning Zones of Pneumatic Cushion Cylinder
by Orifice Existence of Cushion Sleeve

박재범¹, 염만오², 장성철³

1. 경남대학교 유공압제어연구실, 부산인력개발원 강사(055-249-2587, pjb971@hanmail.net)
2. 경남대학교 기계자동화공학부(055-249-2615, moyum@kyungnam.ac.kr)
3. 경남대학교 대학원 기계공학과(055-249-2587, sccjang@hanmail.net)

Abstract

In the pneumatic system, pneumatic cylinder is widely used to factory automation. In general, Pneumatic cylinder problems are occurred with colliding to stroke end part at which piston collide to end-cap, head cap and tube when piston is loading. This appearances have a short life of cylinder and is due to system destruction.

This study examines the dynamic characteristics of pneumatic cushioning cylinder and cushion sleeve design. At head part cushion chamber for the vertical experimental, The decisions of cushioning effect and the results of the experimental research are obtained to the followings:

- i) The cushioning effects could acquire to the reserch, if the compressible energy is more than kinetic ones.
- ii) The collision of piston and head cover could acquire to the research, if the kinetic energy is more than compressible ones.
- iii) If the load increase to the rolling car, the cushion region pressures would increase and the dynamic force.

1. 서론

공압실린더는 공기의 압축에너지를 이용하여 직선 왕복운동하는 에너지 변환장치이다. 이는 대개 산업계에서 범용의 액추에이터로 널리 사용되고 있으며, 물건의 장·착탈과 이송장치에 특히 많이 사용된다. 이들은 대개 자동화공장에서 액추에이터로 많이 적용하고 있으며, 그 응용기술 또한 다양하게 발달하고 있는 추세이다.

공압실린더는 쿠션장치의 유·무에 따라 분류한다. 그 사용 방법의 예로는 외부에 Shock Absorber를 장착하는 외부 쿠션방법과 공압실린더 내에 쿠션장치를 장착한 실린더가 있다. 이들 중, 실린더 내에 쿠션장치를 장착한 실린더를 쿠션실린더라 한다.

쿠션 실린더 종류에는 쿠션장치의 형상에 따라 직선형(Straight type), 테이퍼형(Tapered type), 역포물선형(Inverted parabola type), 계단형(Stepped type) 및 조각형(Sculpted and slotted type) 등이 있으며, 이를 쿠션 링이라 대개 명명한다. 이들 대부분은 환봉을 가공한 것들이며, 쿠션링이 실린더 커버의 홈에 진입할 때, 공기의 탄성과 배출유량을 조절하는 쿠션장치이다. 그러나 본 연구에서는 쿠션 링의 형상과 달리 슬리브 형상으로 이들을 가공하였으며, 그 부품 요소(이하, 쿠션 슬리브라 함.)를 쿠션슬리브라 한다¹⁻⁶⁾.

공압 쿠션실린더의 쿠션특성에 관한 연구 동향은 다음과 같다. 河合素直³⁾는 직선형 쿠션링과 쿠션니들밸브를 장착한 쿠션실린더에서 동적거동에 관한 실험을 행하였으며, 그는 피스톤의 운동에너지와 쿠션 압력에너지의 관계로부터 피스톤과 헤드커버의 충돌여부 판정방법을 제시하였다. G.A Parker⁴⁾은 직선형 쿠션링과 쿠션니들밸브를 가진 쿠션실린더에서 쿠션니들밸브가 오리피스 단면적을 변화시켜 쿠션영역에서 피스톤의 감쇠 진동시간에 관한 근사식을 제시하였다. Y. T. Wang⁵⁾은 직선형 쿠션링을 이용하여 쿠션압력의 공기 압축성에너지를 스프링계수로 간주하여 공기탄성계수에 관한 식^{4,6)}을 제안했다. 이들 연구 대부분은 쿠션실린더 중 쿠션링을 이용한 연구들이며, 쿠션슬리브를 이용한 연구는 찾아보기 힘들다.

본 연구에서는 이들 연구와 달리 쿠션슬리브에 오리피스를 이용하여 쿠션장치를 설계·제작하였으며, 쿠션슬리브에 오리피스가 있을 경우와 없는 경우에 그 특성을 실험에 의해 구명하고자 한다.

2. 쿠션실린더 설계

쿠션실린더의 주요 명칭은 Fig. 2.1과 같다.

Fig.2.1에서 압축공기는 로드챔버에 유입되고, 헤드챔버의 압축공기는 방출챔버를 통해 대기로 소기된다. Fig. 2.1에서 쿠션슬리브가 없는 경우, 실린더의 운동부인 피스톤은 실린더 헤드커버와 충돌현상이 발생하게 될 것이다. 그리고 쿠션슬리브가 있는 경우, 쿠션슬리브는 실린더 커버에 진입할 시(이하, 쿠션영역이라함.)를 점선으로 나타냈으며, 점선과 같이 쿠션챔버에 갇힌 압축공기는 쿠션슬리브의 오리피스를 통해 배출챔버에서 대기로 방출된다.

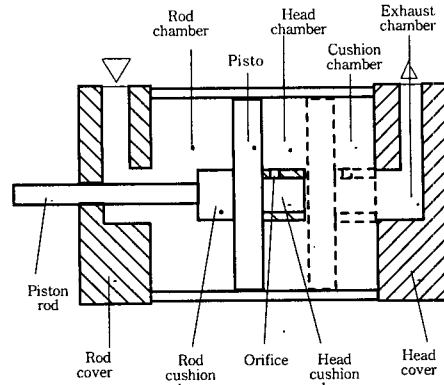


Fig. 2.1 Cushion Cylinder

Fig. 2.1에서, 로드커버에 유입되는 압축공기는 피스톤을 헤드커버 쪽으로 밀게되며, 로드 쪽의 피스톤은 압축에너지와 운동에너지를 갖게된다. 또한, 헤드쪽의 피스톤은 쿠션영역에서 쿠션슬리브에 의해 압축공기를 포위하여 공기의 탄성에너지가 발생되어 맞은편에서 작용하는 압축에너지와 운동에너지에 상응하는 공기의 탄성에너지가 발생하여 피스톤과 헤드커버간의 충돌을 극소화하는 원리이다. 이 경우, 쿠션슬리브의 오리피스는 피스톤의 속도와 관성력을 쿠션챔버의 공기탄성에너지 증가에 따라 진동현상이 유발되므로 진동감쇠 기능을 한다.

쿠션 실린더의 쿠션슬리브 오리피스 단면적(A_{or})은 다음 식에서 구하면 된다⁶⁾.

$$A_{or} = \frac{\rho_1 A_1 v_1}{C_d \sqrt{P_1 \rho_1 \left(\frac{2k}{k+1}\right) \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}}} \quad (2.1)$$

여기서 A_1 은 피스톤 단면적, v_1 은 피스톤 속도, C_d 는 유량계수, ρ_1 는 공기의 밀도, k 는 단열지수, P_1 는 공기 압력을 나타낸다.

식(2.1)에 Table 2.1의 파라미터값들을 대입하면 오리피스의 전체 최적의 오리피

스 단면적(A_{or})은 3.2 mm^2 이 된다.

Table 2.1 Parameter Values for Orifice Area Calculation

Parameter	Design values
C_d	0.86
v_1	40 cm/s
A	45.36 cm^2
P_1	$13\text{ kg}_f/\text{cm}^2$
ρ_1	1.293 kg/m^3

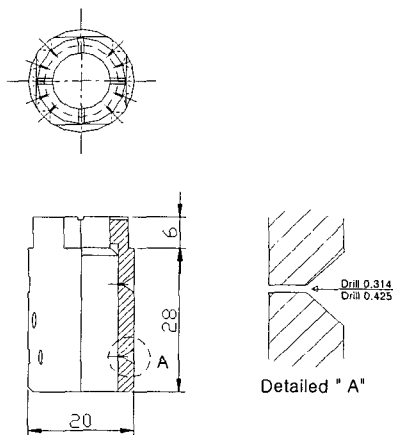


Fig. 2.2 Cushion sleeve dimension of multiple distribution orifice type

Table 2.1에서 C_d 는 유량계수^{1~5)}(0.6~0.95), v_1 는 피스톤 속도, A 는 헤드부 피스톤 단면적에서 쿠션슬리브의 단면적을 뺀 피스톤 단면적, P_1 은 로드챔버에서 발생하는 최대쿠션압력, ρ_1 은 헤드챔버에서 공기 밀도이다. Fig. 2.2는 Table 2.1의 조건 하에서 얻어진 결과에 의해 쿠션슬리브 도면이다.

3. 실험장치 및 실험방법

Photo. 3.1은 피스톤, 쿠션슬리브, 실린더 헤드 커버이다. Photo. 3.1의 (a)는 피스톤 좌우측면에 로드 쿠션슬리브와 헤드 쿠션슬리브를 각각 장착시킨 것이며, (b)

는 실린더 헤드 커버에 쿠션슬리브의 진입과 압축공기 배출을 위한 배출챔버이다.

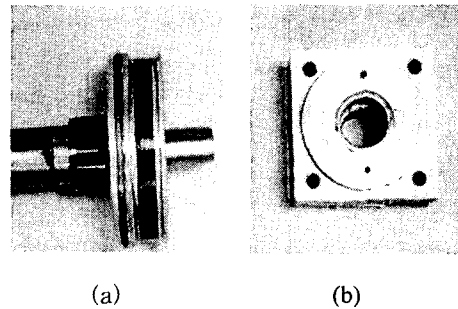


Photo. 3.1 Manufactured Piston Cushion Sleeves and Head Cover

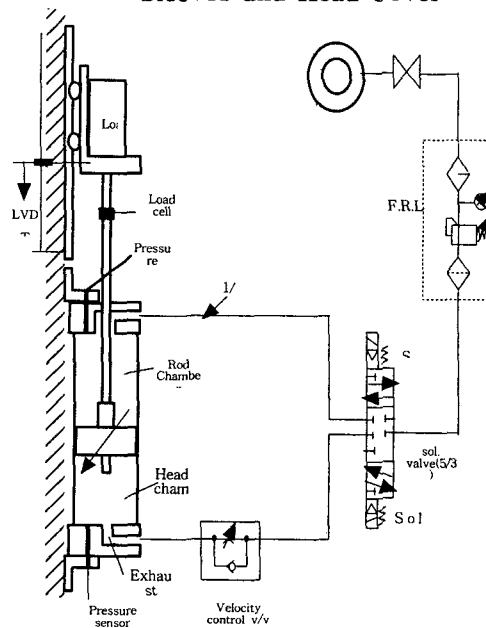


Fig. 3.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 3.1은 실험에 사용한 공압회로 그림이고, 공압실린더는 수직방향으로 설치하였다. 공압회로는 Meter-In방식을 채택하였다. 실험방법은 피스톤의 수직하강 시, 실린더 헤드커버측의 쿠션 특성을 측정하였다.

Fig. 3.1에서 사용한 측정 센서들은 실린더 헤드 커버 측과 로드측에 각각 압력센서를 장착하였고, 피스톤의 위치와 속도측정을 위

해 변위 및 속도센서(이하, LVDT라함)를 대차 측면에 장착하였다.

압축공기 공급장치와 필터, 건조기, 그리고 압력 저장탱크는 Fig. 3.1에 나타내지 않은 생략된 그림이다. 실린더 공급압력은 Filter-Regulator-Lubricator 유닛(이하, FRL이라함)인 압력조절기에서 공급압력을 셋팅하였다. 공급압력은 로드 챔버의 입구 측인 로드커버에 디지털센서를 장착하여 그 값을 측정하였다. 부하하중(대차, 피스톤, 로드의 하중을 포함한 40kg)은 대차 무게만으로 하였고, 부하 측정 센서(이하, 로드셀이라함)는 대차와 피스톤로드사이에 장착하였다.

실험방법은 공급압력(5kg/cm²)를 헤드챔버에 충전시킨 후, 피스톤이 실린더 로드커버에 맞닿은 스트로크에서 공압 전자밸브의 방향을 제어하였다, 이 때 압축공기는 실린더 로드챔버에 충전되고, 헤드챔버의 충전되었던 압축공기는 방출되며, 피스톤은 수직낙하하게 된다. 실린더 동작에 사용된 전자밸브(5/3위치 방향제어밸브)는 컴퓨터에 장착한 디지털 출력(DO)에 의해 동작된다. 밸브 동작과 동시에, 각 센서에서 읽혀진 데이터는 아날로그/디지털변환기(A/D변환기)에 의해 일시적으로 컴퓨터에 저장하였다.

4. 결과 및 고찰

공급압력 5kg/cm², 부하 40kg인 경우의 실험결과는 Fig. 4.1에서 Fig. 4.5까지 나타내었다. 그림에서 오리피스가 없는 쿠션슬리브 모델의 실험결과는 파선으로 나타냈고, 오리피스가 있는 쿠션슬리브 모델의 실험결과는 실선으로 나타냈다.

Fig.4.1은 로드챔버(#1)에 공급되는 압력 특성이다. 그림에서 실선과 파선은 거의 비슷한 압력분포를 나타냈음을 알 수 있었다.

Fig. 4.2는 피스톤의 변위를 나타낸 것이다. 그림에서 실선과 파선은 거의 유사한 결과임을 알 수 있었다.

Fig. 4.3은 쿠션챔버에서 측정된 압력 특

성이다. 그림에서 실선과 파선은 쿠션이 시작되는 1.15초에서 큰 압력상승이 발생됨을 알 수 있고 파선의 압력상승이 실선의 압력상승보다 크고 오래 지속됨을 알 수 있다. 압력상승이 클수록 실린더에 미치는 힘이 크며 압력상승의 지속시간이 클수록 쿠션시간이 길어진다.

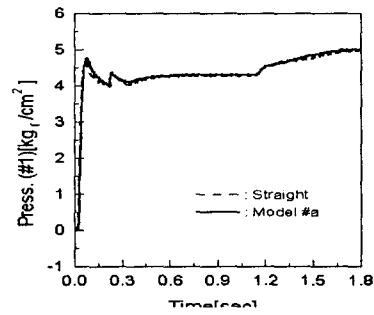


Fig.4.1 Rod Chamber Pressure Characteristics

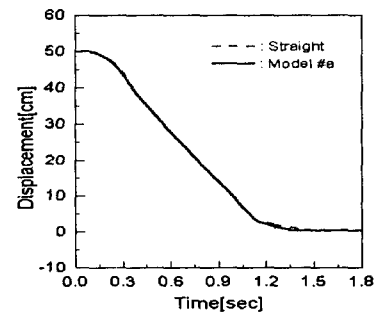


Fig.4.2 Displacement Characteristics

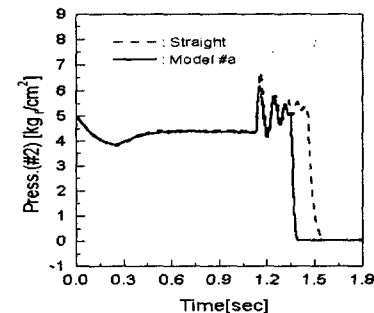


Fig. 4.3 Piston Velocity Characteristics

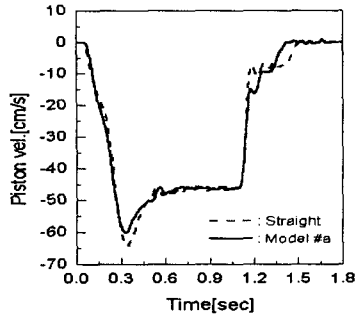


Fig. 4.4 Head Chamber Cushion Pressure Characteristics

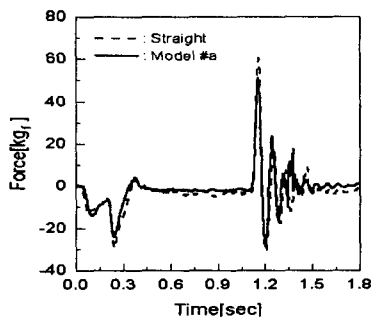


Fig. 4.6 Force Characteristics

따라서 오리피스에 없는 슬리브가 오리피스가 있는 슬리브보다 쿠션 성능이 나쁠 수 있다.

Fig. 4.4는 피스톤의 속도 특성이다. 그림에서 피스톤의 낙하속도는 0.3초지점에서 최대속도로 낙하함을 알 수 있었으며, 1.15초지점에서 피스톤의 속도는 급속하게 감소하여 행정완료됨을 알 수 있었다. 피스톤의 속도곡선에서 알 수 있듯이 실선이 파선보다 쿠션영역에서 약 0.2초정도 빠른행정을 완료하므로 오리피스가 있는 슬리브가 오리피스가 없는 슬리브보다 쿠션응답이 향상되었음을 알 수 있다.

Fig. 4.6은 부하변동의 특성을 나타낸 실험결과이다. 쿠션영역에서 파선의 최대 부하가 실선의 최대부하보다 큼을 알 수 있다. 앞에서 기술한 바와 같이 부하가

클수록 실린더에 나쁜 영향을 미치고 따라서 오리피스가 있는 슬리브가 오리피스가 없는 슬리브보다 성능이 양호함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 쿠션슬리브가 공압실린더의 특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 쿠션슬리브를 설계·제작하고, 이들 쿠션슬리브를 공압실린더에 장착하여 쿠션특성을 파악할 수 있는 실험을 수행하였다.

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 오리피스가 있는 쿠션슬리브는 오리피스가 없는 쿠션슬리브 보다 쿠션영역에서 충격력이 작음을 알 수 있었다.
2. 쿠션시간동안 오리피스가 없는 쿠션슬리브인 경우가 오리피스가 있는 쿠션슬리브에 비해 압력상승이 컸고 상승압력의 지속시간도 길었다. 또한 압력상승에 기인한 힘은 실린더에 충격력으로 전달되어 실린더의 진동 및 파손의 원인이 될 수도 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Blaine W. Andersen. "The Analysis and Design of Pneumatic System", John Wiley & Sons. Inc. 1962
2. Tong Zhao, Hidetsugu Fujitani and Katsujiro Itoh; "Dynamic characteristics of pneumatic cylinder with variable orifices", J. Fluid Control, 1993 Page:569-575.
3. 河合素直, "エアシリンダ의 쿠션영역에 관한 실험 연구", 昭和59年春季油空壓講演會, page81~84.
4. G. A. Parker, J. W. Bell; "An analysis of pneumatic cylinder cushioning", 4th International Fluid Power Symposium 1975, Paper E3
5. Y. T. Wang, R. Sing. H, H. C. YU and D. A. Guenther; "Shock-Absorbing Pneumatic Cylinder", Academic Press Inc.(London) Limit, 1984, Page:353-364.
6. 박재범, "공압실린더에서 쿠션슬리브의 형상에 따른 쿠션특성에 관한 실험적 연구", 경남대 박사학위 논문, 2000. 8.