

공압 쿠션실린더에서 쿠션슬리브의 오리피스 형상에 따른 쿠션영역에서 쿠션특성

Cushion Characteristics at Cushioning Zones of Pneumatic Cushion Cylinder According to the Shape of Cushion Sleeve

박재범¹, 염만오²

1. 경남대학교 유공압제어연구실, 부산인력개발원 감사(055-249-2587, pjb971@hanmail.net)

2. 경남대학교 기계자동화공학부(055-249-2615, moyum@kyungnam.ac.kr)

<요약>

공압쿠션실린더($\varphi 80 \times 500^{st}$)의 쿠션장치인 쿠션슬리브($\varphi 20 \times 28^{st}$) 4종(Model #a, Model #b, Model #c, Model #d) 모델을 제작하여 수직하강하는 실린더에 각각 장착한 후, 각 모델에 따라 압력과 부하 특성을 비교하였다. 동일한 실험조건인 공급압력($5\text{kg}_r/\text{cm}^2$)과 부하하중(70kg_r)에서 각 모델별 실험을 행하였다. 각 모델별 실험에서, Model #c의 쿠션슬리브인 경우가 가장 적합한 형상임을 알 수 있었다.

1. 서론

공압실린더는 공기의 압축에너지를 기계적인 직선왕복 운동으로 변환하는 장치이며, 범용의 액추에이터로 널리 사용되고 있다. 실린더의 종류로는 쿠션장치의 유·무에 따라 분류하고 있으며, 이들 중 내부에 쿠션장치를 내장한 실린더를 쿠션실린더라 한다¹⁻⁶⁾.

쿠션 실린더의 종류에는 내장형 쿠션장치의 형상에 따라 직선형(Straight type), 테이퍼형(Tapered type), 역포물선형(Inverted parabola type), 계단형(Stepped type) 및 조각형(Sculpted and slotted type) 등을 쿠션링이라 대개 명명한다. 이들 쿠션링 형상 중에서 슬리브 형상인 실린더 부품 요소(이하,

쿠션 슬리브라함.)를 쿠션슬리브라한다²⁾.

본 연구에서는 이들 쿠션장치 중 쿠션슬리브에 오리피스 단면적을 구할 수 있는 계산식을 제시하고, 계산식에서 얻어진 오리피스 단면적을 이용하여 쿠션장치를 설계·제작하였다. 또한, 설계·제작한 쿠션슬리브가 실린더 헤드커버와 엔드커버에 진입할 때, 압축공기를 개폐역할이 원활하게 진행되도록 실린더 엔드커버와 헤드커버를 설계·제작하였다. 연구에 사용한 쿠션슬리브 설계는 계산식에서 얻어진 오리피스 단면적으로 임의의 4종류의 오리피스 분포로 쿠션슬리브를 설계하였으며, 쿠션슬리브 제작은 오리피스가 없는 모델, 오리피스가 있는 4종의 모델(Model #a, Model #b, Model #c, Model #d)로 제작하였다.

본연구에서는 이들 4종의 각 모델과 오리피스가 없는 1종의 모델의 실험특성을 비교하고, 실험은 각 모델의 헤드챔버 압력과 피스톤의 동적 부하특성 실험하여 그 특성들을 비교한다.

이상의 실험에 의해 얻어진 결과를 토대로 본연구에서는 쿠션특성이 우수한 모델을 선정하는데 있다.

2. 쿠션슬리브 설계

Fig.2.1은 쿠션슬리브의 오리피스 설계

를 위해 수식적으로 모델링한 그림이다. 쿠션슬리브가 쿠션챔버에 진입하기 시작하는 상태의 오리피스 유동을 모델링하기 위하여 다음과 같은 가정을 둔다.

I. 오리피스를 통과하는 유동은 임계 조건이다.

II. 쿠션 행정중 피스톤의 속도(v)는 일정하며, 헤드챔버의 공기유속과 같다^{2,3}.

이상의 가정 하에 오리피스내의 유동을 수식적으로 모델링하면 Fig. 2.1과 같다.

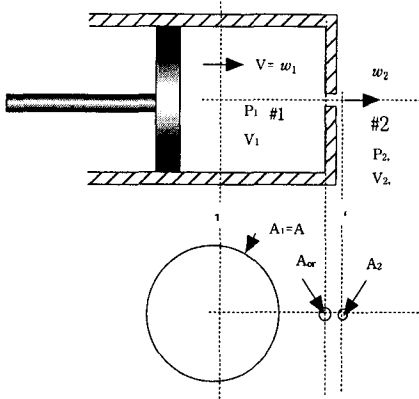


Fig. 3.1 Schematic Diagram for Modeling Orifice Flow

Vena Contracta에서 유선의 단면적 A_2 는 오리피스 단면적 A_{or} 보다 작다.^{1,2} 따라서 식(2.1)은 성립한다.

$$A_2 = C_c A_{or} \quad (2.1)$$

여기서, C_c 는 수축계수, A_2 는 Vena Contracta의 단면적이다. 단열변화의 가정으로부터 식(2.2)을 얻는다.

$$P_1 v_1^k = P_2 v_2^k = \text{일정} \quad (2.2)$$

비체적 v 와 밀도 ρ 의 관계는 식(2.3)과 같다.

$$v = \frac{1}{\rho} \quad (2.3)$$

식(2.2)에 식(2.3)을 대입하면 식(2.4)과 같다.

$$P_1 = \rho_1^k P_2 \rho_2^{-k} \quad (2.4)$$

Bernoulli's 방정식은 식(2.5)과 같다.

$$w dw + \frac{dP}{\rho} + g dz = 0 \quad (2.5)$$

여기서, w 는 유속(m/sec), P 는 압력, z 는 위치이다. 식(2.5)에서 위치에너지 변화 $g dz$ 항은 공기의 밀도가 작으므로 무시할수 있다. 그러므로 Bernoulli's 방정식은 식(2.6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$w dw + \frac{dP}{\rho} = 0 \quad (2.6)$$

식(2.4)를 P_1 에 대해 미분하여 식(2.7)을 얻는다.

$$dP_1 = k \rho_1^{k-1} d\rho_1 P_2 \rho_2^{-k} \quad (2.7)$$

Chamber (#1)에서 Bernoulli's 방정식은 식(2.8)과 같다.

$$w_1 dw_1 + \frac{dP_1}{\rho_1} = 0 \quad (2.8)$$

식(2.7)을 식(2.8)에 대입하면 식(2.9)와 같다.

$$w_1 dw_1 + P_2 \rho_2^{-k} k \rho_1^{k-2} d\rho_1 = 0 \quad (2.9)$$

식(2.9)에서 $P_2 \rho_2^{-k} = P_1 \rho_1^{-k}$ 를 일정하게 두고 적분하여 식(2.10)을 얻는다.

$$\frac{w_1^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} = \text{일정} \quad (2.10)$$

따라서 식(2.10)은 식(2.11)과 같다.

$$\frac{w_1^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{w_2^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{P_2}{\rho_2} \quad (2.11)$$

연속방정식은 식(2.12)과 같다.

$$\rho_1 w_1 A_1 = \rho_2 w_2 A_2 \quad (2.12)$$

식(2.2)와 식(2.12)로부터 w_1 을 구하면 식(2.13)이 된다.

$$w_1 = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} \frac{A_2}{A_1} w_2 \quad (2.13)$$

Vena Contracta에서 유속은 식(2.14)과 같다.

$$w_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (2.14)$$

또한, 최대유량 m_{\max} 은 식(2.15)과 같다.

$$m_{\max} = C_d A_{or} \sqrt{P_1 \rho_1 \left(\frac{2k}{k+1} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}} \quad (2.15)$$

한편 Chamber (#1)에서의 질량 m_1 은 식(2.16)과 같다.

$$m_1 = \rho_1 Q_1 = \rho_1 A_1 v_1 \quad (2.16)$$

여기서, A_1 은 피스톤 단면적, v_1 은 피스톤 속도이다. 식(2.15)에서 m_1 은 m_{\max} 과 같으므로 식(2.17)이 성립한다.

$$A_{or} = \frac{\rho_1 A_1 v_1}{C_d \sqrt{P_1 \rho_1 \left(\frac{2k}{k+1} \right) \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}} \quad (2.17)$$

식(2.17)을 이용하여 쿠션슬리브의 오리피스 단면적을 구할 수 있다.

3. 쿠션슬리브 제작

쿠션슬리브 제작은 식(2.17)에 Table 3.1의 파라미터값들을 대입하여 오리피스의 전체 최적의 오리피스 단면적(A_{or})은 3.2 mm^2 이 된다. Table 2.1에서 C_d 는 유량계수^{1~5)}(0.6~0.95), v_1 은 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. 3.1은 Table 3.1의 조건 하에서 얻어진 결과로 쿠션슬리브 제작 도면이다.

쿠션슬리브 오리피스의 내경은 식(2.17)에서 얻어진 결과로 결정하였다.

Table 3.1 Parameter Values for Orifice Area Calculation

Parameter	Design values
C_d	0.86
v_1	40cm/sec
A	45.36cm ²
P_1	13kg/cm ²
ρ_1	1.293kg/m ³

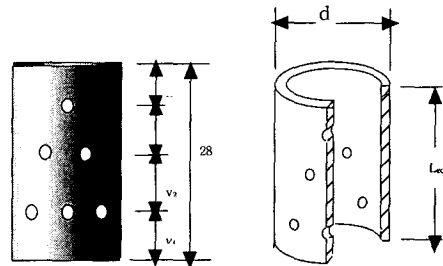


Fig. 3.1 Cushion sleeve dimension of multiple distribution orifice type

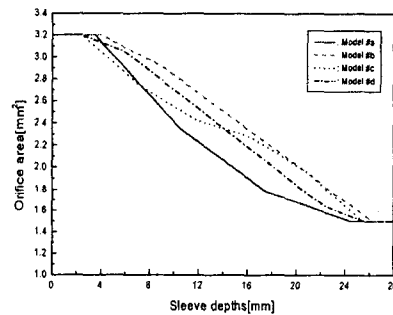


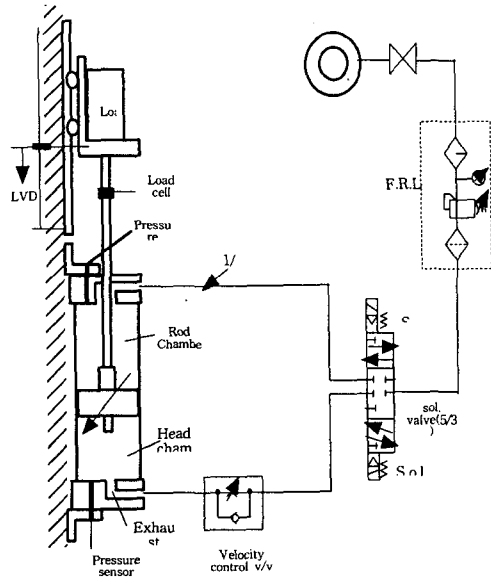
Fig. 3.2 Average Orifice According to Sleeve Depth for Models

쿠션슬리브의 길이 결정은 河合素直⁷⁾의 쿠션성능평가방법에서 얻어진 결과를 이용하였다. 쿠션슬리브제작은 슬리브에 $\phi 0.25$ 의 12개 오리피스를 가공하였고, 각 오리피스는 동일한 간격($y_1=y_2=y_3=y_4$, $y=7\text{mm}$)으로 제작하였다.

Fig.3.2는 연구 목적으로 제작한 모델4종(Model #a, Model #b, Model #c, Model #d)에 대해 슬리브의 깊이에 따른 오리피스의 평균 개도단면을 나타낸 것이다.

4. 실험장치 및 실험방법

Fig. 4.1은 실험에 사용한 공압회로 그림이고, 공압실린더는 수직방향으로 설치하였다. 공압회로는 Meter-In방식을 채택하였다.



experimental apparatus

Fig. 4.1에서 사용한 측정 센서들은 실린더 헤드 커버 측과 로드측에 각각 압력 센서를 장착하였다. 배출압력은 배출챔버의 출구 측인 헤드커버에 디지털센서를 장착하여 그 값을 측정하였다. 부하하중(대차, 피스톤, 로드)의 하중을 포함한 70kgf)은 대차 무게만으로 하였고, 부하 측정 센서(이하, 로드셀이라함)는 대차와 피스톤로드사이에 장착하였다.

실험방법은 공급압력(5kgf/cm²)를 헤드 챔버에 충전시킨 후, 피스톤이 실린더 로드커버에 맞닿은 스트로크에서 공압 전자밸브의 방향을 제어하였다, 이 때 압축공기는 실린더 로드챔버에 충전되고, 헤드 챔버의 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.

5. 실험결과 및 고찰

Fig. 5.1부터 Fig.5.4까지는 헤드챔버의 압력변동이고, Fig. 5.5부터 Fig.5.8까지는 피스톤에 가해지는 부하변동특성이다.

Fig. 5.1부터 Fig.5.4까지는 헤드챔버의 압력변동이다. 이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 파선의 압력변동이 실선의 압력변동보다 쿠션영역에서 급격하게 압력 상승됨을 알 수 있다. 이는 오리피스가 없는 쿠션슬리브의 경우가 오리피스가 있는 쿠션슬리브보다 급격한 압력상승과 압력변동으로 실린더 튜브의 내압에 의한 파손이 원인이 될 것으로 생각된다.

Fig. 5.1부터 Fig.5.4까지 그림에서 실선의 크기를 비교해보면, Fig.5.3(Model #c)의 실선이 가장 작음을 알 수 있다. 이는 피스톤의 행정 끝단에서 발생하는 쿠션압력에 의한 실린더 튜브 및 밀봉 시일의 파손이 가장 작은 모델(Model #c)임을 알 수 있다.

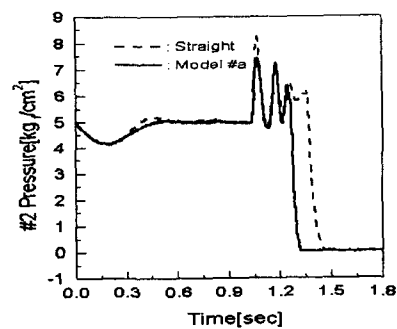


Fig.5.1 Experimental Results of Head Chamber Pressure for Model #a

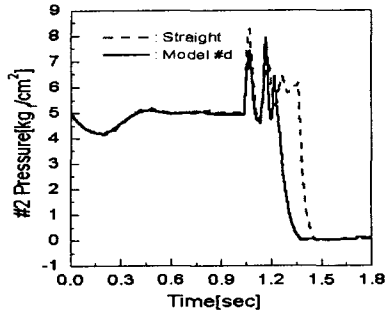


Fig.5.2 Experimental Results of Head Chamber Pressure for Model #b

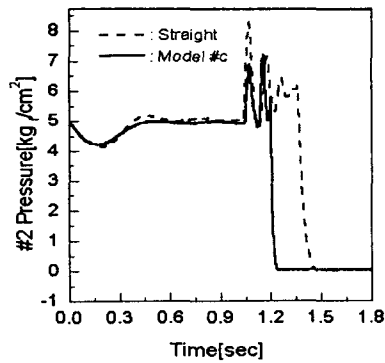


Fig.5.3 Experimental Results of Head Chamber Pressure for Model #c

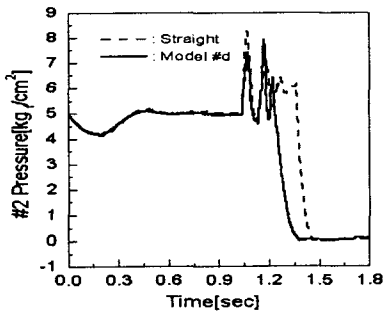


Fig.5.4 Experimental Results of Head Chamber Pressure for Model #d

Fig. 5.5부터 Fig. 5.8까지는 실린더의 부하변동특성이다. 이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 파선의 최대부하가 실선의 최대부하보다 크울 알 수 있다.

이는 오리피스가 없는 쿠션슬리브가 오리피스가 있는 쿠션슬리브보다 피스톤이 실린더 헤드커버 및 실린더 튜브에 가하는 충격력이 크게 작용되므로 실린더의 파손은 쉽게 일어날 것으로 판단된다.

Fig. 5.5부터 Fig.5.8까지 그림에서 실선의 크기를 비교해보면, Fig.5.3(Model #c)의 실선이 가장 작음을 알 수 있다. 이는 피스톤의 행정 끝단에서 발생하는 충격력으로 피스톤과 헤드커버, 실린더튜브, 타이로드 등의 파손이 가장 작은 모델(Model #c)임을 알 수 있다.

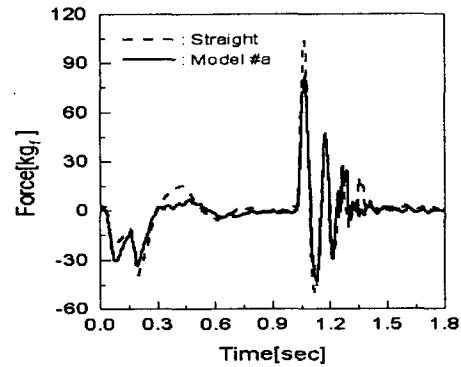


Fig.5.5 Experimental Results of Force for Model #a

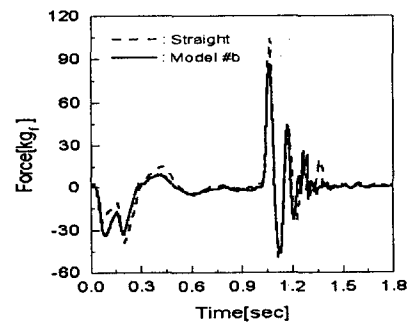


Fig.5.6 Experimental Results of Force for Model #b

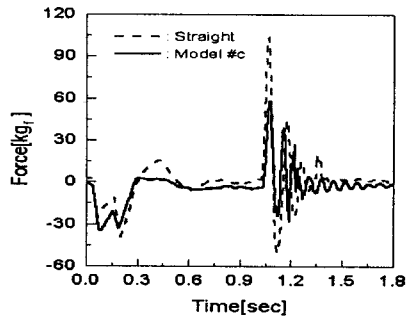


Fig.5.7 Experimental Results of Force for Model #c

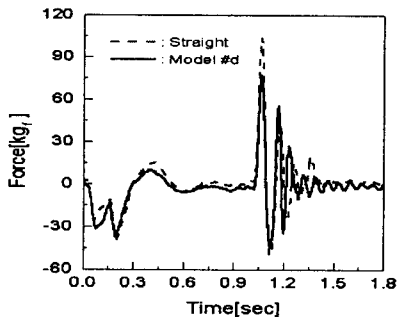


Fig.5.8 Experimental Results of Force for Model #d

6. 결론

본 연구에서는 쿠션슬리브가 공압실린더의 특성에 미치는 영향을 파악하기 위해, 오리피스에 있는 4종의 모델(Model #a, Model #b, Model #c, Model #d)과 오리피스에 없는 모델을 설계·제작하고, 이들 쿠션슬리브를 공압실린더에 장착하여 동일한 실험조건인 부하하중(70kgf), 공급압력(5kgf/cm²) 하에서 쿠션 특성을 파악할 수 있는 실험을 수행하였다.

그리고 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 오리피스가 있는 쿠션슬리브는 오리피스에 없는 쿠션슬리브보다 쿠션영역에서 충격력이 작음을 알 수 있었다.

2. 쿠션시간동안 오리피스가 없는 쿠션슬리브인 경우가 오리피스가 있는 쿠션슬리브에보다 부하변동이 크게 나타났다. 이는 오리피스가 있는 쿠션슬리브의 실린더가 오리피스에 없는 쿠션실린더보다 내구성 좋을 것으로 판단된다.

3. 오리피스가 있는 4종의 모델 중, Model #c의 경우가 쿠션영역에서 압력변동 및 부하변동이 작게 나타났다.

따라서 오리피스가 있는 4종의 모델 중, Model #c가 가장 바람직한 쿠션슬리브로 판단된다.

참고문헌

1. Blaine W. Andersen. "The Analysis and Design of Pneumatic System", John Wiley & Sons. Inc. 1962
2. Katsuhiko Ogata, "System dynamics", Prentice Hall, 1978, pp. 249~258.
3. Frank Yeaple, "Fluid power design handbook", Design News Magazine Carpenters Publishing Company Boston, Massachusetts, 1984, pp. 399~404.
4. Bachrach, B. I. and Rivin, E., 1983, "Analysis of a Damped Pneumatic Spring", Journal of Sound and Vibration, 86(2), pp.191~197.
5. Yeaple, F. D.(Editor),1968, "Hydraulic and Pneumatic Power and Control", McGraw-Hill, New York.
6. 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.
7. 河合素直, "エアシリダのクッション舉動に関する實驗研究", 昭和59年春季油空壓講演會, page81~84.