

## 쿠션슬리브의 오리피스가 공압실린더의 쿠션특성에 미치는 영향

박재범\*, 염만오<sup>+</sup>

(논문접수일 2003. 4. 2, 심사완료일 2003. 10. 17)

### Effect of Orifices in Cushion Sleeve on Cushion Characteristic of Pneumatic Cylinder

Jae-Bum Park\*, Man-Oh Yum<sup>+</sup>

#### Abstract

Cushion sleeves are used in pneumatic cylinders to avoid impact force arising at the end stroke part between moving piston and cylinder cover. In this study four kinds of cushion sleeves are designed, manufactured and attached to the pneumatic cylinder to be experimented. The effects of the cushion sleeves on cushion characteristics are investigated. The results are as follows; the pressure variation of cushion room with orifices are inspected to be smaller than that of cushion room without orifices. So sleeves with orifices are expected as protecting from impact and vibration of pneumatic cylinder. The object of this study is to provide data on the characteristics of pneumatic cushion sleeve in case of being used in industry.

**Key Words :** Pneumatic Cylinder(공압실린더), Cushion Sleeve(쿠션슬리브), Orifice Area(오리피스 단면적), Vena Contract(축류), Piston Area(피스톤 단면적), Head Chamber Pressure(헤드챔버압력), Impact Force(충격력)

### 1. 서론

공압실린더(이하 실린더)는 공기의 압축에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 기계요소이다. 주로 공장의 자동화공정에서 경량제품의 이송과 조립공정에서 조립 대상물의 장착 탈착에 이용되며 이에 관한 기술은 다양하다. 실린더 내를 운동하는 피스톤이 그 행정 끝 부분에 가까이 가면 실린

더와 피스톤 끝 부분 공간의 배기하지 못한 압축공기의 에너지가 실린더에 큰 충격을 가하므로 이를 방지하기 위하여 실린더에 쿠션장치를 장착하여 충격력을 완화시킨다. 현재 현장에서 사용중에 있는 쿠션장치의 슬리브 형태는 Piccolo형, Tapered형, Slotted형, Stepped형등이 있으며 이 중 본연구에서 사용한 쿠션장치와 가장 유사한 형태는 Piccolo형이다<sup>(1-3)</sup>.

\* 주저자, 부산인력개발원 (pjb971@hanmail.net)

주소: 608-080 부산시 남구 용당동

+ 경남대학교 기계자동화공학부

河合素直<sup>(4)</sup>는 직선형 쿠션장치와 쿠션니들밸브를 장착한 실린더에서 피스톤의 운동에너지와 쿠션압력 에너지의 관계로부터 피스톤과 헤드커버의 충돌여부를 판정하는 방법을 제시하였다. G.A Parker<sup>(5)</sup>는 직선형 쿠션링과 쿠션니들밸브를 가진 실린더의 쿠션영역에서 피스톤의 감속 진동 시간에 관한 근사식을 제시하였다. Y. T. Wang<sup>(6)</sup>은 직선형 쿠션링을 이용하여 쿠션압력의 공기 압축에너지를 스프링 계수로 간주하여 공기탄성계수에 관한 식을 제안했다.

이상의 공압 쿠션실린더에 관한 연구들은 직선형 쿠션슬리브(이하 슬리브)와 쿠션니들밸브를 가진 쿠션실린더에서의 쿠션장치의 특성을 연구한 것들이다. 본 연구에서는 아직까지 현장에서 사용하고 있지 않은 직선형(straight type) 슬리브에 오리피스를 가공한 4종류의 새로운 슬리브를 설계·제작하여 오리피스 형상이 실린더의 쿠션특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이 경우 슬리브에 뚫을 전(total) 오리피스의 단면적을 이론적으로 구하고 이 단면적을 여러개의 작은 오리피스로 나누고 오리피스의 배열도 달리한 4종류의 슬리브를 가공하여(Table 2 참조) 각 슬리브가 실린더의 쿠션특성에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다. 또한 오리피스가 없는 직선형 슬리브에 대한 쿠션특성도 파악하여 오리피스 유무에 대한 쿠션특성을 비교하였다.

본 연구의 결과로부터 가장 양호한 쿠션 특성을 가진 슬리브를 제시하여 생산현장에서 공압실린더를 사용하는 경우 슬리브의 선택에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 쿠션슬리브의 설계 및 제작

슬리브의 오리피스 단면적( $A_{or}$ )은 다음 식으로 구하였다<sup>(1)</sup>.

$$A_{or} = \frac{\rho A v}{C_d \sqrt{P \rho \left(\frac{2k}{k+1}\right) \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}}}} \quad (1)$$

여기서,  $A$ 는 피스톤 단면적,  $v$ 는 피스톤 속도,  $C_d$ 는 유량계수,  $\rho$ 는 공기의 밀도,  $k$ 는 단열지수,  $P$ 는 로드챔버의 최대공기압을 나타낸다.

Table 1의 계수 값들을 식 (1)에 대입하여 오리피스의 단면적( $A_{or}$ )을 구하면  $3.2mm^2$ 가 된다. Table 1의 경우  $P$ 와  $v$ 는 본 연구를 위한 실험장치에서 얻은 로드챔버의 최대공기압과 피스톤의 최대 속도이고  $A$ 는 실험에 사용한 피스톤의 단면적이다.

Table 1 Parameter values for orifice area calculation

Parameter	Design values
$C_d$	0.86
$v$	40 cm/s
$A$	45.36 cm <sup>2</sup>
$P$	13 kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>
$\rho$	1.293 kg/m <sup>3</sup>

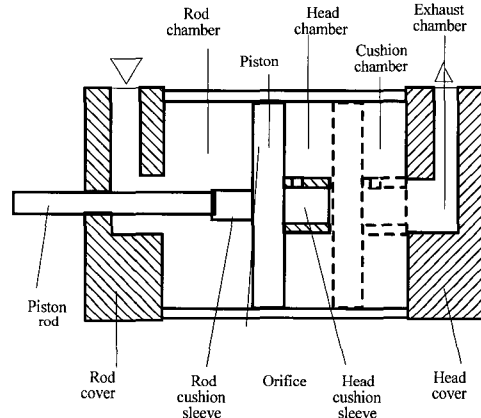


Fig. 1 Structure of cushion cylinder

식 (1)으로부터 구한 오리피스의 단면적을 12개 및 22개의 작은 오리피스로 나누어 가공한 4종류의 슬리브를 Table 2에 나타내었다. 또한 이들 슬리브와 쿠션특성을 비교하기 위해 오리피스가 없는 슬리브(straight sleeve)도 제작하였으며 이것 또한 Table 2에 나타내었다.

Fig. 1은 공압실린더의 구조를 나타낸 것이다. Fig. 1에서 압축공기가 로드챔버에 유입되어 피스톤을 구동시키고 피스톤에 장착된 슬리브가 쿠션챔버(점선영역)에 진입하기 전에는 head chamber의 공기는 거의 대기압 상태로 배출 챔버를 통해 방출되나 슬리브가 쿠션챔버에 진입하면서 쿠션챔버에 갇힌 공기는 순간적으로 압축되고 이 압축공기가 쿠션역할을 한다.

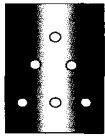
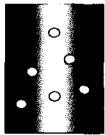
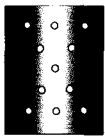
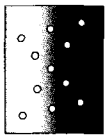

## 3. 실험장치 및 실험방법

Photo. 1은 실험에 사용한 공압실린더의 피스톤을 나타낸 것이다. (a)는 피스톤 좌우측면에 로드쿠션슬리브와 헤드 쿠션슬리브를 장착한 것이며, (b)는 실린더 헤드 커버로

쿠션슬리브의 진입과 압축공기 배출을 위한 배출챔버를 가  
 공한 실린더 헤드커버이다.

Fig. 2는 실험에 사용한 공압회로의 회로도이다. 공압실  
 린더는 수직방향으로 설치하였다. 공압회로는 Meter-In 방

Table 2 Specifications of cushion sleeve

Model	Shape	Sleeve		Orifice (개수)	Total orifice area(mm <sup>2</sup> )
		Diameter (mm)	Length (mm)		
Model #a		φ 20	28	φ 0.425 (12EA)	3.2
Model #b		φ 20	28	φ 0.425 (12EA)	3.2
Model #c		φ 20	28	φ 0.314 (22EA)	3.2
Model #d		φ 20	28	φ 0.314 (22EA)	3.2
Straight		φ 20	28	0	1.5

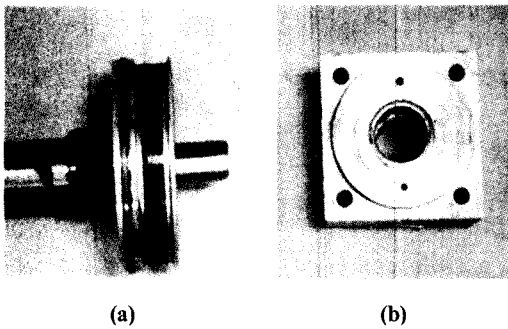


Photo. 1 Piston cushion sleeves and head cover

식을 채택하였다. 실험순서는 그림의 솔레노이드밸브(SOL)의  
 동작에 의해 압축공기를 헤드챔버(Head chamber)로 유입  
 시켜 피스톤을 실린더의 끝까지 움직인 상태에서 솔레노이  
 드 밸브로 압축공기를 로드챔버(Rod chamber)로 유입시켜  
 피스톤을 낙하시킨다. 피스톤 낙하의 경우 공급압력을 4, 5,  
 6 Kg/cm<sup>2</sup>의 3종류로 하고 각 공급압력에 대해 부하(그림  
 의 Load)를 40, 70, 100 Kgf로 바꾸면서 실험을 행하였다.  
 이 경우 솔레노이드 밸브는 컴퓨터에 장착한 디지털 출력에  
 의해 동작된다. 실험에서 피스톤의 속도는 LVDT로 측정하  
 고 로드챔버와 헤드챔버의 압력은 스트레인게이지식 압력  
 센서로, 실린더의 부하변동은 로드셀(Load cell)로 측정하  
 였다. 각 센서 신호는 A/D 변환기(PCL818)를 이용하여 컴  
 퓨터로 읽어 들었다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

실험장치 및 실험방법에서 설명한 실험방법중에서 공  
 급압력 5Kg/cm<sup>2</sup>, 부하하중 70Kgf인 경우에 대한 실험

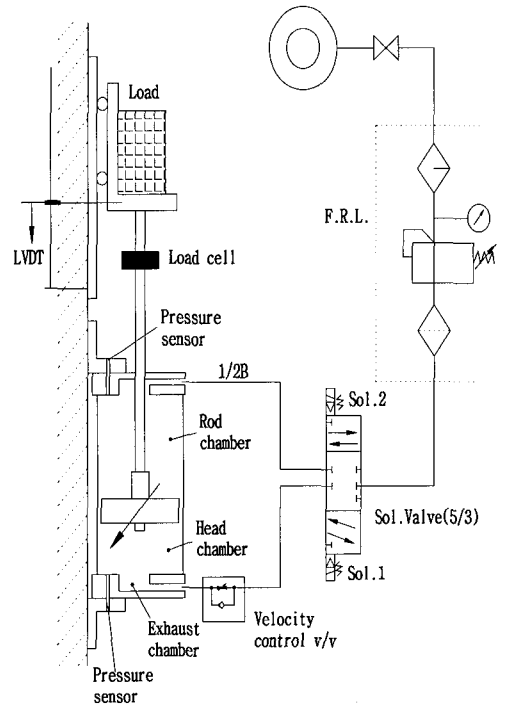


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

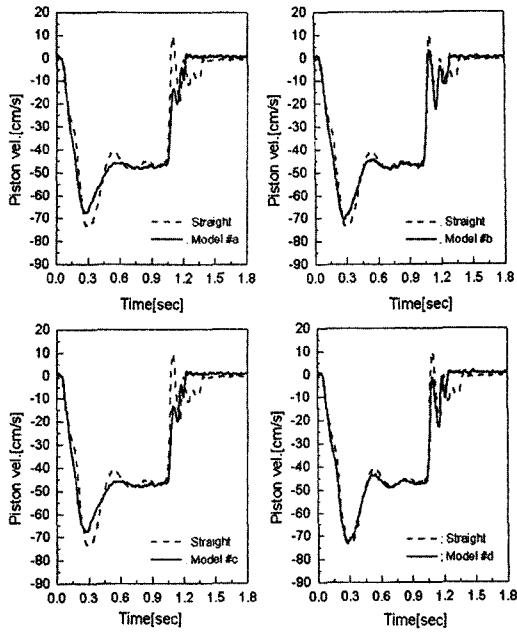


Fig. 3 Piston velocity comparison between 4 cushion sleeve types and straight type(Supply pressure  $5kg_f/cm^2$ , Load  $70kg_f$ )

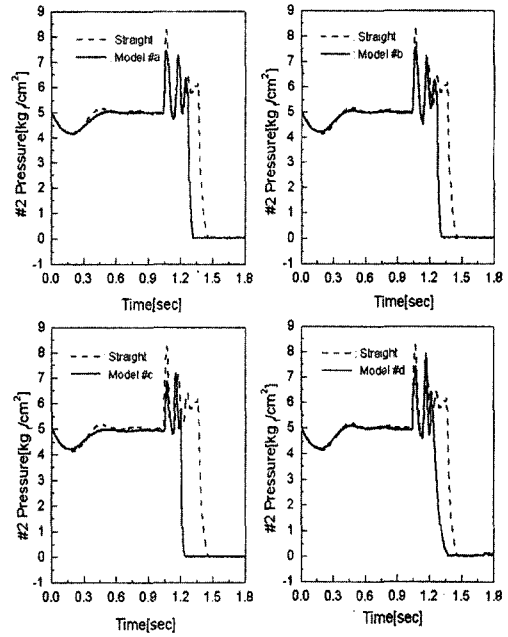


Fig. 5 Head chamber pressure comparison between 4 cushion sleeve types and straight type(Supply pressure  $5kg_f/cm^2$ , Load  $70kg_f$ )

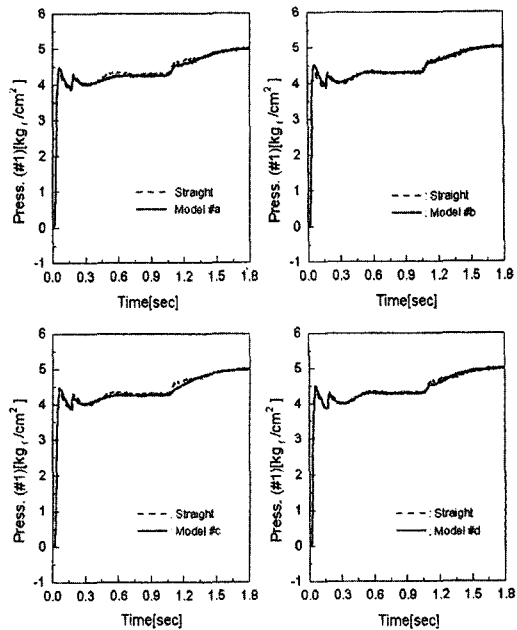


Fig. 4 Rod chamber pressure comparison between 4 cushion sleeve types and straight type(Supply pressure  $5kg_f/cm^2$ , Load  $70kg_f$ )

결과만 나타내고 이에 대해 고찰한다.

Fig. 3은 공급압력을  $5kg_f/cm^2$ , 부하하중을  $70kg_f$ 로 한 경우 Table 2에 나타낸 Sleeve 형상(모델 #a~#d, straight)에 따른 피스톤의 속도 특성이다. 피스톤은 하강 후 0.3초에서 오리피스 유무에 무관하게 최대 속도가 됨을 알 수 있다. 하강 후 1.05초에서 슬리브는 쿠션영역(배출챔버)에 돌입하고 1.3초 후에 피스톤은 정지하게 됨을 알 수 있다. 쿠션영역(1.05초에서1.3초사이)에서 오리피스가 없는 슬리브를 장착한 경우 속도변동에 진동이 많아짐을 알 수 있다. 이 속도변동으로 인해 오리피스가 없는 슬리브의 경우, 부하변동이 심하면 이로 인해 실린더를 포함한 시스템의 내구성이 저하될 것으로 생각한다.

Fig. 4는 공급압력을  $5kg_f/cm^2$ , 부하하중을  $70kg_f$ 로 한 경우 로드챔버의 압력특성이다. 그림으로부터 오리피스 유·무에 관계없이 로드챔버의 압력특성은 거의 같음을 알 수 있고 따라서 피스톤의 하강시 로드챔버의 압력은 쿠션특성에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5는 공급압력을  $5kg_f/cm^2$ , 부하하중을  $70kg_f$ 로 한 경우 헤드챔버의 압력특성이다. 쿠션영역에서 오리피스가 없는 슬리브의 경우의 오리피스가 있는 슬리브보다 급격한

압력상승이 발생하고 압력변동도 심하며 상승압력의 지속 시간도 길어짐을 알 수 있다. 이 현상 때문에 오리피스에 없는 슬리브의 경우 시스템에 가해지는 충격력 및 진동이 클 것으로 생각한다. 또한 모델 #a, #b, #c, #d 중에서 #c의 경우가 압력변동 지속시간이 가장 짧은 것을 알 수 있으며 이것으로부터 #c 슬리브의 쿠션성능이 가장 양호함을 알 수 있다.

## 5. 결론

오리피스가 없는 슬리브와 오리피스 배열을 달리하는 4 종류의 슬리브를 설계·제작하고, 이들 슬리브가 공압실린더의 쿠션특성에 미치는 영향을 실험으로 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 오리피스가 있는 슬리브가 오리피스가 없는 슬리브보다 쿠션영역에서 충격력이 작았고 따라서 오리피스가 있는 슬리브가 실린더 및 시스템의 충격 및 진동 방지에 유익할 것으로 판단된다.
- (2) 쿠션행정에서 오리피스가 없는 슬리브가 오리피스가 있는 슬리브에 비해 압력상승이 크고 상승압력의 지속시간도 길었다. 이 압력상승이 실린더의 진동 및 파손의 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 오리피스가 있는 4종류의 슬리브에서는 모델#c의 경우가 가장 양호한 슬리브 형상임을 알 수 있었다. 그러나 4종류의 특성실험 결과는 대체로 유사하여 어느 종류의 모델을 채택해도 기존의 오리피스가 없는 슬리브에 비해 쿠션성능은 양호할 것으로 생각한다.

## 후 기

본 연구는 2003학년도 경남대학교 학술논문게재 연구비 지원으로 이루어 졌음.

## 참 고 문 헌

- (1) Frank, Y., 1984, *Fluid Power Design Handbook*, pp. 157~205.
- (2) Park, J. B., 1995, "Characteristic Analysis of Energy Saving Pneumatic Control System," *Proceedings of Korean Society of Precision Engineering, Fall Conference*, pp. 635~641.
- (3) Park J. B., 2002, "Characteristic Experiment of Meter-in and Meter out Circuit by Controled Flow Control Valve," *Korean Society of Mechanical Technology*, Vol. 4, No. 2, pp. 209~213.
- (4) Kawai, S., 1984, "An Experimental Study on Cushion Characteristics of Pneumatic Cylinder," *Proceedings of JFPS Spring Annual Meeting*, pp. 81~84.
- (5) Parker, G. A., and Bell, J. W., 1975, "An Analysis of Pneumatic Cylinder Cushioning," *4th International Fluid Power Symposium*, Paper E3.
- (6) Wang, Y. T., Sing, R., Yu, H. H. C., and Guenther, D. A., 1984, *Shock-Absorbing Pneumatic Cylinder*, Academic Press Inc., London, pp. 353~364.
- (7) Andersen, B. W., 1962, *The Analysis and Design of Pneumatic System*, John Wiley & Sons. Inc.
- (8) Zhao, T., Fujitani, H., and Itoh, K., 1993, "Dynamic characteristics of pneumatic cylinder with variable orifices," *J. Fluid Control*, pp. 569~575.
- (9) Park, J. B., 2000, *An Experimental Study on Cushion Characteristics According to the Shape of Cushion Sleeve in Pneumatic Cylinder*, Ph. D. Dissertation, Kyungnam University.