

공압 시스템에서 쿠션실린더의 특성에 관한 실험

An Experiment on the characteristics of a cushion cylinder in pneumatic system

박재범*(경남대 대학원), 염만오(경남대 기계자동차공학부), 윤일로(연암공대 강사)
J. B. Park* (Kyung Nam Univ.), M. O. Yum** (Kyung Nam Univ.), I. R. Yoon(Yun Am Colli.)

1. 서론

공압 시스템은 공장자동화에 널리 사용되고 있는 시스템 중 하나이며, 저렴한 가격으로 성능이 우수한 시스템을 구성할 수 있는 장점이 있다. 특히, 전기나 유압시스템에 비해 동력원을 얻기가 쉽고, 취급이 용이하여 간단한 용도의 위치제어, 물건 이송 및 장탈착 등에 많이 사용된다. 또한, 발화 위험성이 없기 때문에 화재나 폭발 위험이 높은 화학공장, 광산 등에서 널리 사용되고 있다. 이러한 장점을 지닌 공압 시스템에서 주로 사용되는 액추에터는 실린더이며, 부하이송은 피스톤에 의해 이루어진다. 부하이송을 수행하는 실린더에서 압축공기의 빠른 충진으로 피스톤과 실린더 커버 간의 충돌이 발생할 수 있다. 이러한 충돌문제는 실린더의 수명 단축과 더불어 시스템의 불안정을 초래하는 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 피스톤과 실린더 커버 간의 직접적인 충돌을 피하기 위해 피스톤에 쿠션슬리브를 장착한다. 쿠션실린더의 쿠션 불이와 쿠션 챔버에 대한 연구결과가 발표되었다¹⁻⁶⁾.

본 연구에서는 공압시스템을 Meter-in 회로와 Meter-out 회로를 구성하여 일정한 공급압력하에서 피스톤에 작용하는 부하의 크기만 변화시켜 부하력, 속도 및 쿠션실의 압력변화를 실험적으로 규명한다.

2. 실험장치

Fig. 1은 실험장치의 개략도이며, Photo. 1은 실험장치와 제어기이다. Fig. 1에서 실린더를 수

직으로 설치하여 솔레노이드 밸브1, 2(이하, Sol.1, 2)의 작동에 의해 부하계가 수직 상승, 하강되도록 공압회로를 구성하였다. 이때 피스톤 부하력을 측정하기 위해 대차와 피스톤 로드 사이에 부하센서(Load cell)를 장착하였고, 변위와 속도를 측정하기 위해 대차와 시험대 측면에 변위와 속도센서(이하, LVDT)를 장착하였다. 또한 압력 측정을 위해 실린더 헤드챔버와 헤드커버의 배출챔버에 압력센서(Pressure transducer)를 장착하였다. Fig. 1에서 피스톤, 피스톤 로드, 부하센서, 대차를 포함한 부하하중은 40kgf이다.

실험장치와 계측기의 사양은 Table 1과 같다.

Fig. 2는 쿠션실린더에서 수직하강 실린더의 쿠션영역에 대해 모델링한 것이다. 쿠션실린더는 로드챔버(#1), 헤드챔버(#2), 헤드커버의 배출챔버(#3)로 구분하고, 쿠션슬리브가 헤드커버 배출챔버에 진입하는 순간의 헤드챔버 압력을 쿠션압력(P2), 배출챔버의 배출압력(P3)이라 한다.

Fig. 3은 Meter-in 회로이며, Fig. 3에서 복동 실린더의 수직 하강 시, 로드챔버의 충진 유량을 조절하기 위해 로드챔버 입구측에 유량제어밸브를 장착하여 로드챔버로 유입하는 유량을 제어한다.

Fig. 4는 Meter-out 회로이며, Fig. 4에서 배출 챔버 출구측에 유량제어밸브를 장착하여 헤드 챔버의 방출되는 유량을 제어한다.

Photo. 2는 실험장치에 사용된 쿠션슬리브를 가진 피스톤과 쿠션챔버를 내장한 헤드 커버이다. 실린더 내의 압력 측정을 위해 제작한 헤드커버에 $\phi 3$ 의 구멍을 가공하여 압력트랜스듀서를 장

착하였다.

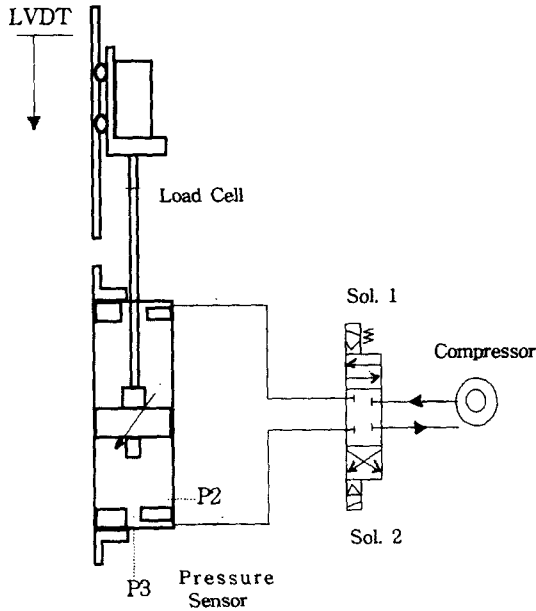


Fig. 1 Experimental schematic diagram

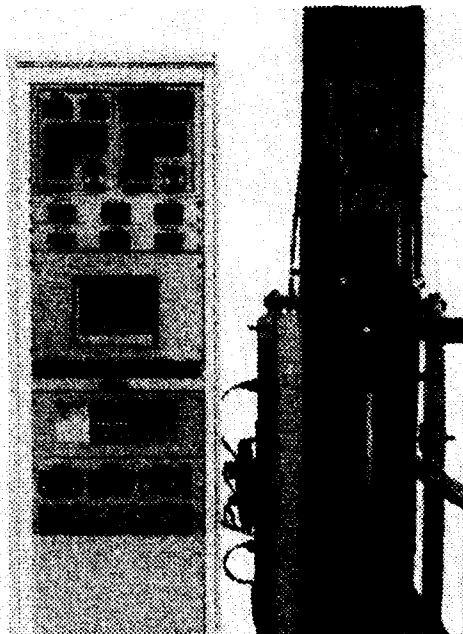


Photo. 1 Experimental apparatus and controller

Table 1 Apparatus specifications

Items	Size	Maker
Cylinder	$\phi 80 \times 500'$	제작
Sleeve	$\phi 20 \times 28'$	제작
LVDT sensor	$\cdot 0 \sim 650\text{mm}$	Tempsonic
Pressure sensor	$\cdot 0 \sim 500\text{psi}$	Digitec
Load cell	$\cdot 0 \sim 600\text{kgf}$	Transducer Technique

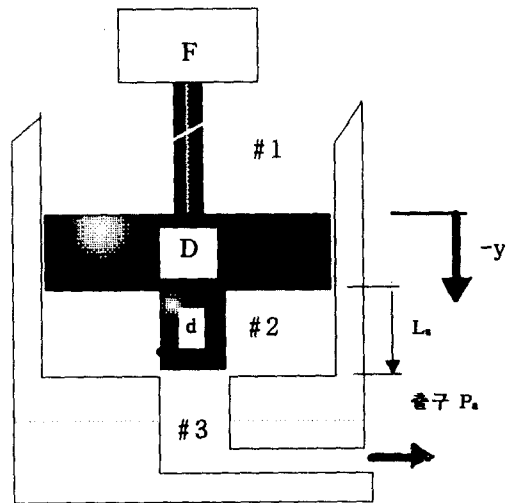


Fig. 2 System modeling

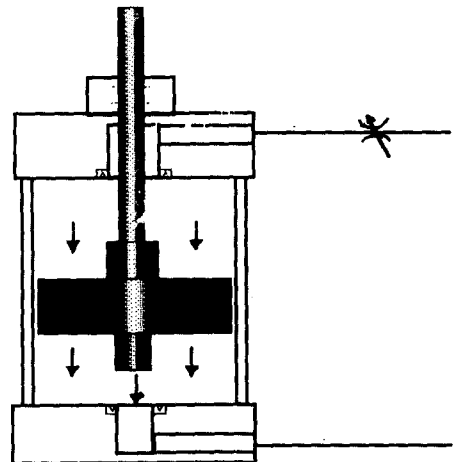


Fig. 3 Meter-in circuit

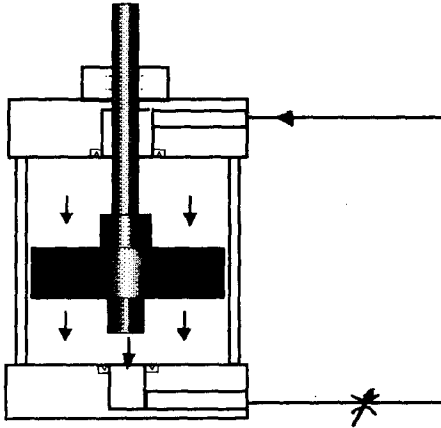
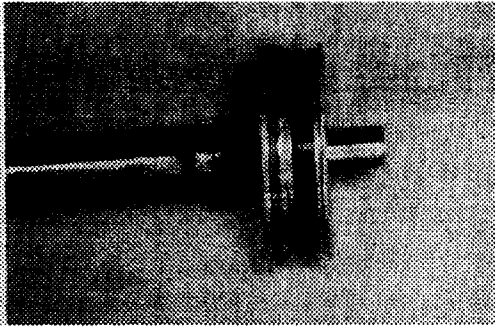
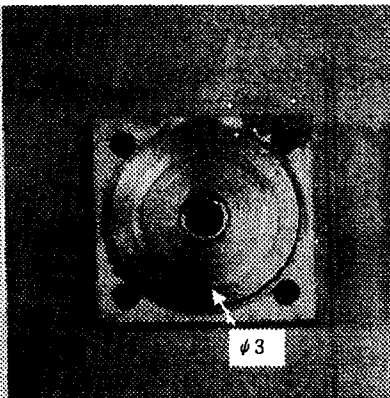


Fig. 4 Meter-out circuit



(a) Piston with cushion sleeve



(b) Head cover

Photo. 2 Piston and head cover

3. 실험방법

Meter-in 회로의 실험은 피스톤을 상향 동작시킨 후 Fig. 1에서 Sol.1과 Sol.2를 On-Off 동작시켜 피스톤으로 유입되는 공기를 교축시켜 수직낙하를 행한다. 이때 솔레노이드 밸브(AC 220V)는 컴퓨터에 내장된 PCL818(A/D변환기, 100 kHz)과 릴레이(SSR, Solidrate relay)에 의해 제어하였다. 수직낙하시 부하력은 로드 셀, 낙하속도는 LVDT, 쿠션부의 압력은 압력트랜스듀서로 검출한다. 시스템의 구동 및 데이터 측정을 위한 프로그래밍어는 볼랜드 C로 구성하였으며, 검출기에서 측정한 데이터를 CPU에 저장하여 활용하였다. 실험조건은 공급압력을 6kgf/cm^2 로 일정하게 유지하였으며, 피스톤의 부하하중은 각각 40kgf , 70kgf , 100kgf 로 하였다.

Meter-out 회로의 실험은 방출유량의 조정에 의해 수직하강하는 피스톤의 속도를 제어하여 Meter-in 회로와 동일한 방법으로 실험을 행하며, 실험조건은 동일하다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 Meter-In 회로의 실험결과

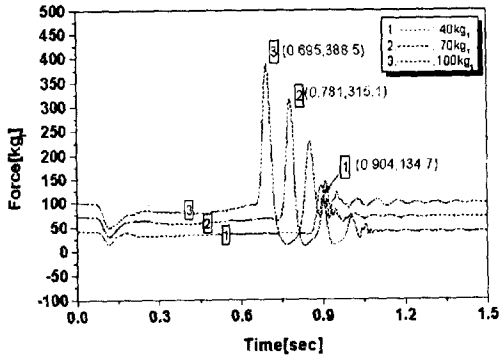
Fig. 5는 공급압력을 6kgf/cm^2 로 하고, 부하하중이 각각 40kgf , 70kgf , 100kgf 인 경우, Meter-in 회로에서 부하력, 속도, 쿠션압력을 측정한 실험 결과이다.

Fig. 5에서 부하하중이 40kgf , 70kgf , 100kgf 로 증가함에 따라 낙하속력은 커지며, 쿠션슬리브가 배출챔버에 진입하는 순간의 최대 부하력(이하, 충격력)과 쿠션압력도 급격히 증가함을 알 수 있다.

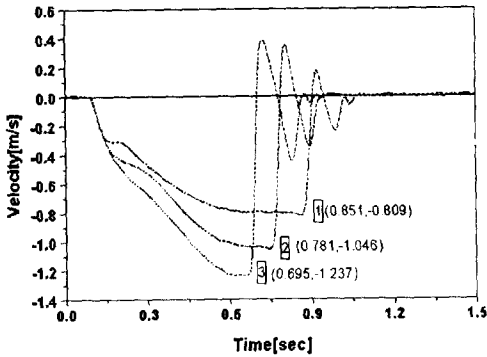
Fig. 5에서 부하하중이 40kgf 일 때 쿠션시작은 0.851초, 충격력은 134kgf , 낙하속력은 0.809m/s , 최대 쿠션압력은 3.87kgf/cm^2 이고, 부하하중이 70kgf 일 때 쿠션시작은 0.781초, 충격력은 315.1kgf , 낙하속력은 1.046m/s , 최대 쿠션압력은 11.75kgf/cm^2 이며, 부하하중이 100kgf 일 때 쿠션시작은 0.695초, 충격력은 388.5kgf , 낙하속력은 1.237m/s , 최대 쿠션압력은 15.17kgf/cm^2 임을 알 수 있다.

Fig. 5에서 피스톤의 쿠션슬리브가 배출챔버

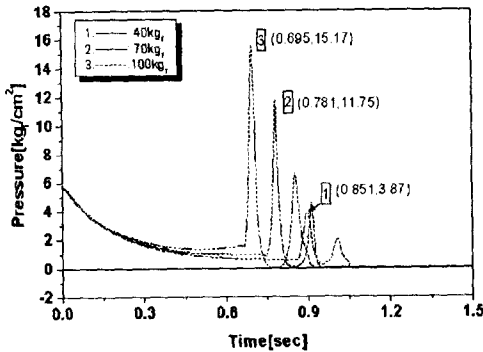
진입하는 순간의 운동에너지(KE1), 쿠션압력에 의한 반발력(CF1), 부하계의 최대 운동량(FT1) 및 충격력(F1)을 구하여 Table 2에 나타내었다.



(a) Force characteristics



(b) Velocity characteristics



(c) Cushion pressure characteristics

Fig. 5 Experimental results of meter-in circuit

Table 2 Calculated results of cushion area at peak point (meter-in circuit)

부하하중 (kgf)	KE1 (kgf · m)	CF1 (kgf)	FT1 (kgf · s)	F1 (kgf)
40	1.336	182.2	3.30	134
70	3.923	551.1	7.47	315
100	7.801	714.5	12.6	389

4.2 Meter-Out 회로의 실험결과

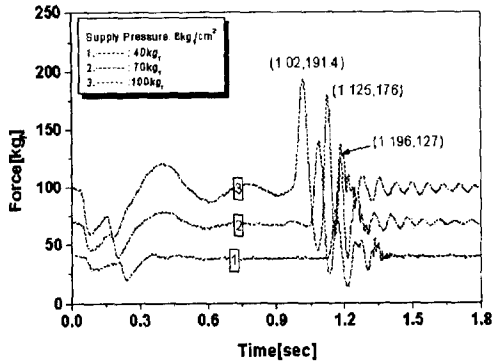
Fig. 6은 Meter-in 회로와 동일한 조건에서 부하하중변화에 따른 부하력, 속도, 쿠션압력을 측정된 실험결과이다.

Fig. 6에서 부하하중이 40kgf, 70kgf, 100kgf로 증가함에 따라 낙하속력, 충격력, 쿠션압력이 증가함을 알 수 있다. 또한, Meter-out 회로의 충격력은 Meter-in 회로에 비해 부하하중이 70kgf과 100kgf의 경우 약 200kgf 정도 적었다.

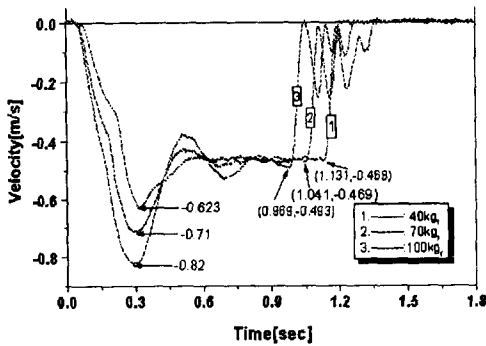
Fig. 6의 부하계의 낙하과정에서 부하력의 변동 원인은 쿠션압력의 감소율보다 부하계의 관성력이 크게 작용하기 때문으로 생각된다.

부하하중이 40kgf일 때 쿠션슬리브가 배출챔버에 진입할 때의 시간은 1.196초, 충격력은 75kgf, 낙하속도는 0.468m/s, 쿠션압력은 6.6kgf/cm²이고, 부하하중이 70kgf일 때 쿠션시작은 1.09초, 충격력은 139kgf, 낙하속도는 0.469m/s, 쿠션압력은 8.26kgf/cm²이었으며, 부하하중이 100kgf일 때 쿠션시작은 1.02초, 충격력은 191.4kgf, 낙하속도는 0.493m/s, 쿠션압력은 9.66kgf/cm²임을 알 수 있다.

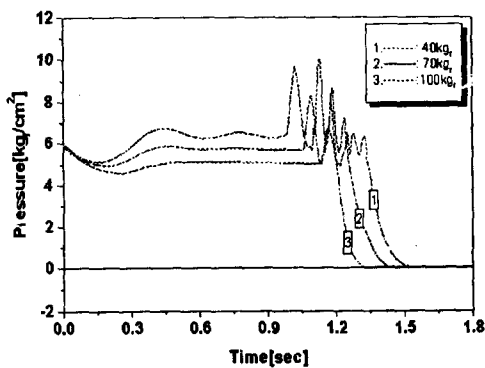
Fig. 6에서 피스톤의 쿠션슬리브가 배출챔버에 진입하는 순간의 운동에너지(KE2), 쿠션압력에 의한 반발력(CF2), 부하계의 최대 충격량(FT2) 및 충격력(F2)을 구하여 Table 3에 나타내었다.



(a) Force characteristics



(b) Velocity characteristics



(c) Cushion pressure characteristics

Fig. 6 Experimental results of Meter-out circuit

Table 3 Calculated results of cushion area at aeak point(meter-out circuit)

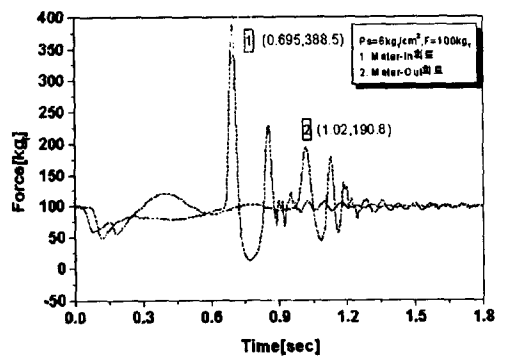
부하하중 (kgf)	KE2 (kgf · m)	CF2 (kgf)	FT2 (kgf · s)	F2 (kgf)
40	0.447	386.4	1.91	127
70	0.785	452.0	3.35	176
100	1.190	447.7	4.92	191

4.3 Meter-in 회로와 Meter-out 회로의 비교

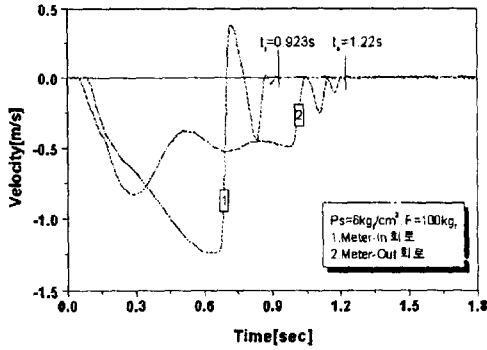
Meter-in 회로와 Meter-out 회로의 결과비교를 위해 부하하중 100kgf에서의 실험결과를 중첩하여 Fig. 7에 나타내었다.

Meter-in 회로의 충격력은 388.5kgf, 최대 쿠션압력은 15.7 kgf/cm²임에 비해 Meter-out 회로에서는 충격력은 190.8kgf, 최대 쿠션압력은 9.66 kgf/cm²이다.

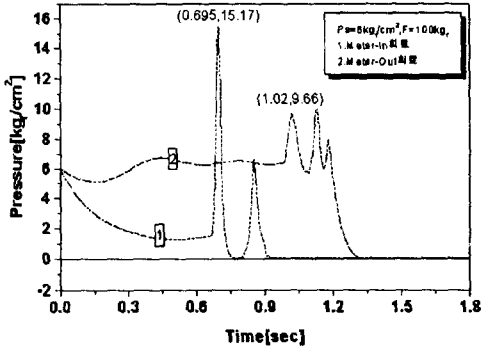
Fig. 7로부터 Meter-in 회로에서의 쿠션 영역에서 충격력은 Meter-out 회로에 비해 약 200kgf 크다는 것을 알 수 있다. 이로부터 Meter-in 회로에서는 부하하중이 증가하는 경우 충격력으로 인한 피스톤의 수명단축 및 피스톤 헤드부의 손상이 발생 될 수 있을 것으로 예상된다.



(a) Force characteristics



(b) Velocity characteristics



(c) Cushion pressure characteristics

Fig. 7 Comparison with meter-in and meter-out circuit

5. 결론

본 연구에서는 공압시스템을 Meter-in 회로와 Meter-out 회로로 구성하여 부하력, 낙하속도 및 쿠션실의 압력변화에 관해 실험하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 쿠션슬리브가 배출챔버에 진입하는 순간의 부하력, 피스톤 속도, 쿠션압력은 Meter-in 회로와 Meter-out 회로 공히 부하하중을 크게할수록 증가하였다.

2. 부하하중이 70kgf와 100kgf인 경우 충격력은 Meter-in 회로가 Meter-out 회로보다 200kgf 이상 높았다.

3. Meter-in 회로에서는 부하하중을 증가시키면 충격력으로 인한 피스톤의 수명단축, 시스템의 불안정 및 피스톤 헤드부의 손상이 발생될 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Blaine W. Andersen. "The Analysis and Design of Pneumatic System", John Wiley & Sons. Inc. 1962
2. Cavanaugh R. D. (Editors Harris, C. M. and Crede, C. E.), 1976, "Air Suspension and Servo-Controlled Isolation Systems", Shock and Vibration Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, New York.
3. Hullender, D. A., Wormley, D. N. and Richardson, H. H., 1972, "Active Control of Vehicle Air Cushion Suspensions", ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 94, No. 1, pp. 41~49.
4. Hundal, M. S., 1982b, "Passive Pneumatic Shock Isolator: Analysis and Design", Journal of Sound and Vibration, 84(1), pp. 1~9.
5. Wang, Y. T., Singh, R. and Guenther, D. A., 1982, "Modeling of an Impulse-Absorbing Pneumatic Cylinder", Journal of Sound and Vibration, 82(4), pp. 598~600.
6. 河合素直, "エアシラダのクッション 舉動に関する實驗研究", 昭和59年春季油空壓講演會, page 81~84.