연구논문

유공압시스템학회논문집 제5권 제2호 pp. 14~19 2008년 6월

유압실린더의 쿠션링 형상에 따른 쿠션 특성 연구
Study of The Cushion Characteristics in accordance with Shapes of Cushion Ring of Hydraulic Cylinder

이용범 · 고재명 · 박종호
Y. B. Lee, J. M. Ko and J. H. Park

Key Words : Excavator(굴삭기), Hydraulic cylinder(유압 실린더), Cushion(쿠션), Peak pressure (피크 압력), Cushion time(쿠션 시간)

Abstract: Hydraulic excavator consists of booms, arms, bucket, and cylinder. The cylinder make these structures moved and the cushion parts of cylinder in operation absorb the great impact which is stemmed from high velocity and pressure at cushion parts of cylinders. The cushion technology of cylinders has a great effect on the operator's comfortable as well as protecting equipment from damage by suppressing the inertia of the hydraulic excavator.

In this study, three hydraulic cylinders have different shapes of a cushion ring, respectively. we studied optimal cushion pattern by analyzing the change of cushion pressure and time, according to supply pressure and velocity variations.

기호 설명

A_p : 피스톤의 단면적[m^2]
A_r : 로드측 피스톤의 단면적[m^2]
A_{c1} : 헤드 쿠션링의 단면적[m^2]
A_{c2} : 로드 쿠션링의 단면적[m^2]
M : 피스톤 조립체와 부하를 포함한 운동체의 질량[kg]
P_2 : 로드측 포트로 토출되는 압력
$\dot{X}$: 피스톤 속도[m/s]
$\ddot{X}$: 감가속도[m/s^2]
Y : 쿠션 행정[m]
μ : 마찰 계수

1. 서 론

건설 현장에서 기초 공사 및 해체 작업 등을 위해 굴삭기를 사용하는 것을 볼 수 있다. 굴삭기는 대부분의 작업 공정을 유압 실린더를 이용한 관절을 움직여 진행한다. 작업을 위해 유압 실린더의 로드를 전 · 후진 시키면 행정을 완료하는 양 끝단에서는 관성에 의한 큰 충격이 발생하게 된다. 이러한 운동에너지를 유압실린더 내부에 쿠션을 설치하여 순간적으로 높은 압력(상용압력의 200~400%)을 유발시켜 유체에너지로 변환하고, 오리피스(orifice)를 통하여 열에너지로 변화하게 된다. 내부의 충격을 완화하기 위해 실린더에 내장된 쿠션링의 형상은 테이퍼의 가공, 다단 쿠션 슬리브, 다중 오리피스 형등의 여러 형태로 제작되어 상용화되었고, 그에 따른 연구도 이루어졌다.[1~5]

현재 산업 전반에서 효율성 및 경제성을 요구하고 이에 부응하기 위해 유압 부품을 고속화, 고압화하는 추세이다. 하지만, 실린더의 연구는 공급 동력을 얻기 쉬운 공기압 실린더에 대한 연구[5]에는 상당히 진행된 반면에 유압실린더의 경우는 많은 량의 시제품을 제작하고, 큰 관성을 재현시키기 위해서 시험 장비를 구축하는데 소요되는 비용과 순간적으로 발생하는 압력의 특성을 분석하는데 어려움이 많아 부하에 따른 쿠션 압력 측정 정도만이 이루어지고 있다.[6]

또한, 굴삭기를 이용한 실험적 연구는 오리피스의

접수일 : 2008년 1월 29일
이용범(책임저자) : 한국기계연구원
E-mail : lyb662@limm.re.kr, Tel : 042-868-7151
고재명 : 한국기계연구원
박종호 : 충남대학교 기계공학과

지름 변화에 따른 쿠션성능에 대한 분석이었고, 시뮬레이터를 이용한 실험은 시험장의 안정성 미흡으로 충분한 연구가 이루어지지 못하였다.

본 연구에서는 굴삭기에 사용되는 유압실린더의 쿠션 장치의 성능을 실험적으로 고찰하였으며, 쿠션링과 씰 방식을 변형한 3종의 유압실린더에 외부 하중을 가한 상태에서 속도 및 압력을 변화시켜 쿠션시간과 쿠션 압력의 변화를 분석함으로서 최적의 쿠션 특성을 연구하였다.

2. 쿠션 방정식

쿠션행정 중에 관성을 갖는 운동체를 정지시키는데 요하는 힘(F_s)은 질량에 감가속도를 곱한 것으로 다음 식 (1)과 같다.

$$F_s = M\ddot{X} = \frac{M\dot{X}^2}{2Y} \tag{1}$$

Fig. 1에서 공급 압력(P_s)가 공급되고 피스톤에 힘(F_a)가 작용할 때 식 (2)로 표현된다. 이 힘(F_a)에 의해 마찰력($f = \mu Mg$)이 생기며 쿠션 작용을 위해 피스톤에 가해지는 쿠션력(F_c)은 식 (3)과 같다.

$$F_a = P_s(A_p + A_{c1}) \tag{2}$$

$$F_c = F_s - f + F_a \tag{3}$$

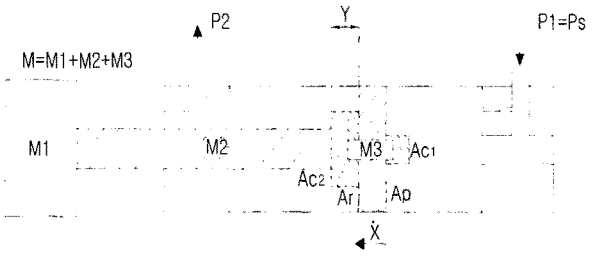


Fig. 1 Diagram of hydraulic cushioning cylinder

3. 시험 및 결과 분석

3.1 시험 모델

Fig. 2는 유압실린더의 내부 구조를 보여준다. 피스톤의 전단에 장착된 쿠션링은 피스톤의 행정 완료시에 유체의 흐름을 차단하여 유압실린더에 가해지는 충격을 감쇠하는 역할을 한다.

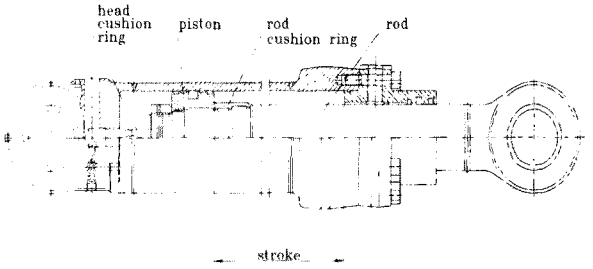


Fig. 2 Scheme of hydraulic cylinder

Fig. 3은 쿠션링의 형상변화에 따른 쿠션부분의 틈새를 가변 시켜주는 테이퍼와 홈의 유무, Sealing 기능 및 체크밸브 기능 등을 변화시킨 것이다. 쿠션링이 쿠션부에 진입 시에 가공 상태에 따른 특성을 알아보기 위해서 a)는 쿠션링 내측에 단을 가공하고, 외측 홈을 가공하여 Type A, B에 적용되었고, b)는 내 외측에 가공을 하지 않고, 씰을 사용하여 Type C에 적용하였다. 로드의 직경은 80 mm이고, 튜브 내경은 140 mm이다. 실린더가 운전되는 총 행정거리(stroke)는 1100 mm이다. Table 1은 쿠션링의 사양을 정리한 것이다.

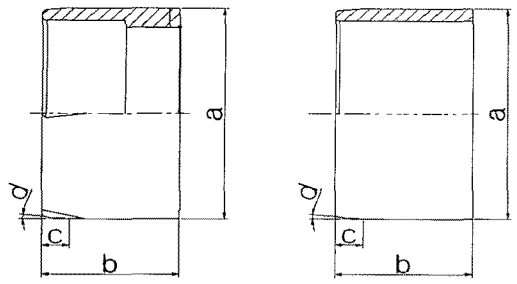
3.2 시험조건 및 장치

쿠션시험은 공급압력과 유량을 가변시켜 피스톤의 전진 및 후진 시의 쿠션의 압력과 쿠션 작용 시간을 측정하였다. Table 2는 시험조건을 정리한 것이다.

쿠션 압력을 측정하기 위해 쿠션부에 구멍을 가공하였고, 총 4 곳에서 압력을 측정하였고, 쿠션부의 압력 측정은 유압실린더의 최대 행정거리까지 로드를 전진시키고, 공급압력이 압력 측정은 로드측 및 헤드측의 공급압력 포트, 쿠션부에서 동시에 측정하였고, 이때 데이터 샘플링 개수는 초당 10,000으로 하였다.

Table 1 Specification of cushions

Type	Specifications			
	Rod cushion			
	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (°)
A	86	50	10	6
B	86	50	10	5
C	86	50	10	5



a) Rod cushion ring　　b) Rod Cushion ring + Seal

Fig. 3 Models of cushion ring

공급 압력이 최대 40 MPa인 유압 공급 장치(4대)를 이용하여 공급 유량(최대 400 L/min)을 일정하게 유지하여 유압 실린더의 작동속도를 동일하게 하였고, 실린더의 작동속도는 속도측정 센서를 이용하여 측정하였다. 피스톤이 작동하는 속도는 헤드 쿠션링이 쿠션부를 빠져 나와 무부하 상태로 진행되는 평균 속도로 정의된다.

유압실린더의 시험 회로와 시험 장치는 Fig. 4, 5에 보여준다. 유압실린더의 쿠션 특성만을 알아보기 위해 유압 실린더의 너클에 관성력을 주기 위한 추(50 kg) 4개와 추를 고정하는 지그(50 kg)를 장착하였고, 추에 의한 횡하중을 방지하기 위해 LM guide를 설치하였다.

Table 2 Specification of Test condition

Item		Specifications
Supply pressure (MPa)		5, 10, 15, 20, 25
Load weight (kg)		250
Velocity (m/s)	Rod	0.3, 0.4, 0.5, 0.6
Oil temperature (℃)		40 ± 5
Pressure measuring points		rod cushion, rod supply, head cushion, head supply

3.3 공급 압력에 따른 속도별 쿠션 변화

Fig. 6, 7은 실린더에 작용하는 압력을 5 MPa 씩 증가시키고 작동 속도를 0.3 m/s, 0.6 m/s로 할 때에 쿠션의 작용 시간과 압력의 상승 시간의 변화를 측정한 결과를 쿠션링의 A, B, C 모델별로 구분하여 보여준다.

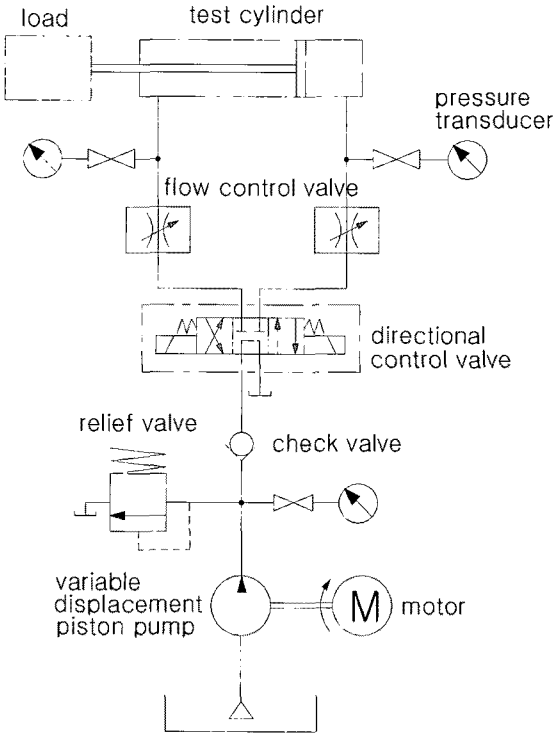


Fig. 4 Circuit for hydraulic cylinder tester

Fig. 6은 공급 압력 및 속도의 증가에 따라 유사한 형태를 갖는 것을 알 수 있다. type A, B는 쿠션이 작용한 후에 쿠션부의 피크 압력과 헤드 측의 피크 압력은 거의 동시에 발생하다가 공급 압력(15 MPa) 부터는 헤드 측의 피크 압력이 늦게 발생하여 식 (3)에서 쿠션력(F_c)이 작용력(F_a)보다 상대적으로 작아져 쿠션 시간을 짧게 하고, 쿠션 챔버의 유체가 오리피스를 통과하는 유량이 거의 동일하여 쿠션 시간이 영역 내에서 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. type C는 쿠션링에 홈이 없어 쿠션 피크 압력이 작용하기 전에 쿠션부에 남아있는 유체량이 type A, B에 비해 상대적으로 많아 유체가 오리피스를 통과하는 시간이 오래 걸리게 되어 쿠션 시간을 길게 하는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 로드 쿠션에서 압력이 형성되는 시점부터 피크 압력이 되는 시점까지의 압력 상승 시간을 보여준다. type A는 15 MPa 까지 상승 시간의 변화가 급격하게 이루어지지만, 각 속도별 시간의 차이는 있으나, 안정 상태를 유지한다. type B는 속도가 증가할수록 상승이 완만해 지지만, 속도에 따라 시간 변화가 완만해지는 공급 압력이 증가하고 있다. type C는 로드 쿠션의 압력은 공급 압력이 증가할수록 선형적인 기울기를 갖는 것을 볼 수 있다.

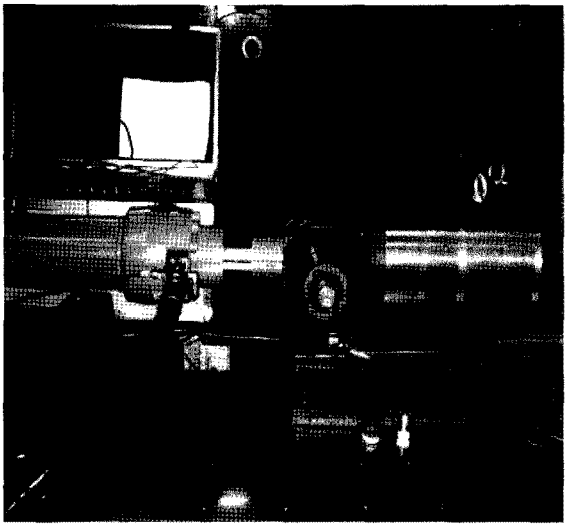


Fig. 5 Test device of hydraulic cylinder

Fig. 8은 공급 압력을 5 MPa 씩 증가시켰을 때 로드의 전진 속도를 가변하여 쿠션 압력에서 피크 압력을 압력 대비 속도별로 나타낸 것이다. 피크 압력은 쿠션 압력이 발생한 후에 압력이 최고점에 도달했을 때의 압력을 나타낸다.

실린더 각각의 피크 압력은 압력과 속도가 증가함에 따라 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만, type A, B의 경우 Fig. 6에 언급한 것과 같이 쿠션 장치에서 유체의 유출로 인해 피스톤의 정지속도가 점차적으로 감소하여 정지력이 작아지게 하는 역할을 한 것으로 판단된다.

Fig. 9, 10은 공급 압력이 25 MPa일 때 속도 증가에 따른 로드 쿠션 시간, 압력 상승 시간을 나타낸다. 로드 쿠션 시간은 쿠션이 작용하는 전체 시간이고, 압력 상승 시간은 쿠션 작용에 의해 압력이 상승한 후에 피크 압력까지 도달하는 시간을 나타낸다.

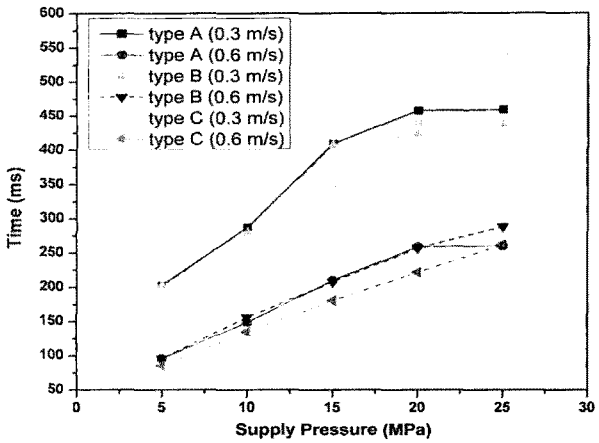


Fig. 7 Rod cushion pressure rising time as against supply pressure in accordance with velocity

속도 범위 내에서 type A, B의 쿠션 시간은 210 ms, 150 ms, 압력 상승 시간은 190 ms, 130 ms가 감소한다. type C의 쿠션 시간은 50 ms, 압력 상승 시간은 300 ms 감소되는 것을 알 수 있다. 로드 쿠션 시간 및 압력 상승 시간이 속도가 증가함에 따라 감소하는 것을 알 수 있다.

쿠션 시간에서 압력 상승 시간을 제외한 시간이 type A, B에서 평균 60 ms, 75 ms로 유지하지만, type C의 경우 200~450 ms로 증가된다.

Fig. 11은 공급 압력이 25 MPa일 때 속도 증가에 따른 피크 압력을 나타낸다. type A, B는 속도 변화에 따라 압력이 상승하는 것을 알 수 있고, type A가 type B보다 압력 상승폭이 작은데, 이는 type A에 테이퍼 각을 더 크게 하여 쿠션링이 체크 밸브 기능을 하는 시간이 type B에 비해 상대적으로 더 걸리기 때문이다. type C는 속도 변화에 의해 압력의 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

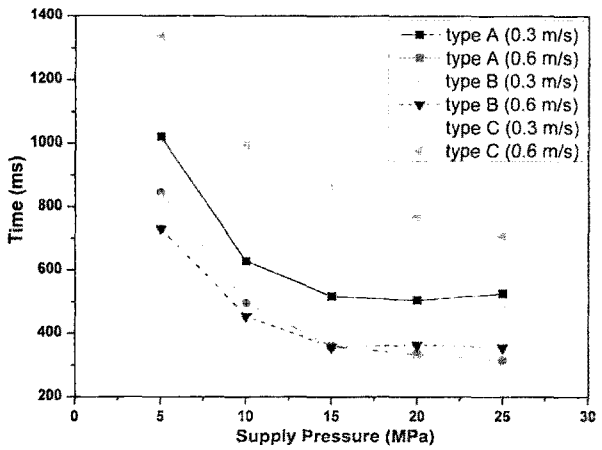


Fig. 6 Rod cushion time as against supply pressure in accordance with velocity

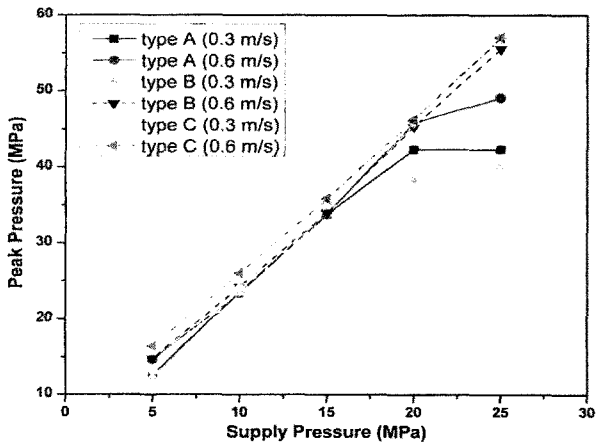


Fig. 8 Rod cushion peak pressure as against supply pressure in accordance with velocity

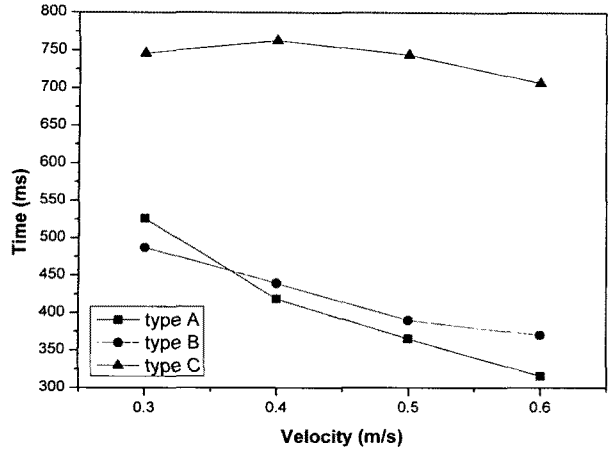


Fig. 9 Rod cushion time as against velocity at supply pressure (25 MPa)

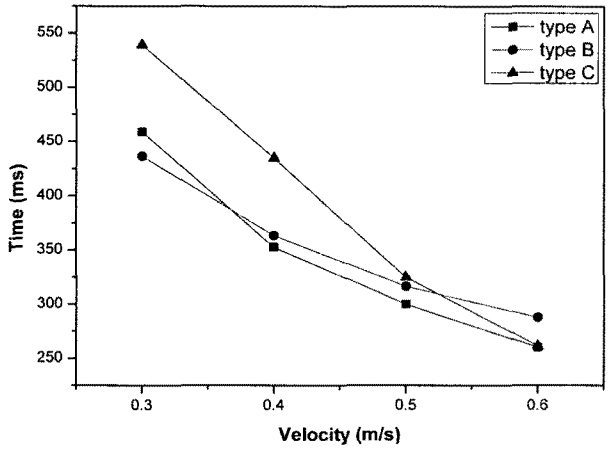


Fig. 10 Rod cushion pressure rising time as against velocity at supply pressure (25 MPa)

4. 결 론

본 논문은 굴삭기용으로 제작된 유압실린더의 압력 및 속도 변화에 따른 쿠션 특성을 알아보기 위해서 로드 쿠션부의 쿠션 링의 형상을 다르게 하여 공급압력과 유량을 변화하여 성능시험을 실시하였다.

(1) 압력 및 속도가 증가하면 쿠션 시간은 감소하며 쿠션링의 끝 부분에 홈을 가공한 경우가 가공하지 않은 경우보다 짧게 나타난다. 쿠션링에 홈이 가공된 경우는 압력 상승 시간과 피크 압력은 15 MPa를 기점으로 완만한 증가를 보이다가 일정 시간 및 압력에서 유지된다. 로드 쿠션 링의 끝 부분에 홈이 없는 경우는 실험 공급 압력 및 속도구간에서 비례적으로 쿠션 압력이 상승하는 것을 알 수 있고, 쿠션 상승시간도 비례적으로 증가한다.

(2) 쿠션부에 발생하는 압력이 작용하는 시간은 압력이 낮을 시에 급격하게 감소하다가 압력이 상승하면서 완만한 감소를 보인다.

(3) 동일한 압력에서 속도를 가변시키면 쿠션이 발생하는 시간은 완만한 감소를 보이지만, 피크 압력까지 도달하는 시간은 급격히 감소하는 것을 알 수 있고, 피크 압력은 홈이 없는 경우에는 큰 차이가 없지만, 홈이 있고 테이퍼 각이 작은 경우에 상승 기울기가 더 크게 나타난다.

본 연구를 통해 얻어진 성능 데이터는 건설 기계의 특성에 맞는 유압실린더의 설계 및 개발 등으로 유용하게 활용될 수 있을 것이며, 유압동력을 이용한 유압 부품의 연구에 활용될 것으로 기대된다.

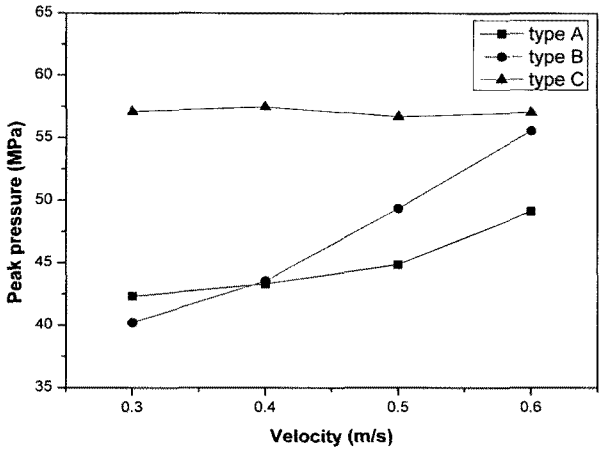


Fig. 11 Rod cushion peak pressure as against velocity at supply pressure (25 MPa)

후 기

이 연구는 2006년도 산자부 부품소재 기술개발 사업(PMI1300)의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1) E. Urata, "Ramp Response of a Servomechanism under Various Load conditions including the case of a Non-symmetrical Cylinder", Trans. JSME, Vol. 36, No. 282, pp. 229, 1970.

2) H. A. Martin and D. McCloy, "Pressure Transients Generated during the Rapid Braking of Asymmetric Actuators", JSME. Vol. 21, No. 2, pp. 93~103, 1979.

3) K. Takahashi and Y. Takahashi, "Dynamic

Characteristics of a Spool valve-controlled servomotor with a Non-symmetrical Cylinder", Bulletin of JSME, Vol. 23, No. 181, pp. 1155~1162, 1980.

4) A. B. Goodwin, "Fluid Power Systems", Mechanical Engineering Leicester Polytechnic, pp. 16~37, 1998.

5) D. S. Kim, J. B. Park and W. H. Lee, "The Characteristic Analysis of Cushioning Pneumatic Cylinder", KSME. Spring Annual Conference, pp. 1950~1956, 2002.

6) 이상기, 김동수, 김형의, "유압 실린더의 쿠션 특성에 관한 실험적 연구", 기계와 재료 Vol. 11, No. 2, pp. 53~61, 1999.