고속 공기압 실린더 내장용 쿠션기구의 특성 비교

김 도 태^{*1)} · 장 중 겔²⁾

경일대학교 기계자동차학부¹⁾ · 경일대학교 대학원 기계공학과²⁾

Characteristic Comparison on Internal Cushion Devices at High-speed Pneumatic Cylinders

Dotae Kim^{*1)} · Zhong Jie Zhang²⁾

¹⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Kyungil University, Gyeongbuk 712-701, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyungil University, Gyeongbuk 712-701, Korea

(Received 5 November 2012 / Revised 5 March 2013 / Accepted 5 April 2013)

Abstract : This paper studies the comparative analysis on two different internal cushion devices (the types of needle and relief valve) used to absorb the energy which is generated when the pneumatic cylinder moves with the load at meter-out speed control system. The effect at varying the piston velocity under same driving condition is mainly investigated. The simulation results on pressure in the cushion chamber and the dynamic behavior of the relief valve type cushion device are compared with the needle valve type. Design and performance are improved with the cushion configuration of better quality at high-speed pneumatic cylinder. Based on the relation between absorbed energy and impact energy at cushion process, cushion performance at pneumatic cylinder is evaluated.

Key words : Fluid power system(유공압 시스템), Pneumatic cylinder(공기압 실린더), Air cushion device(공기 쿠션기구), Cushion performance(쿠션성능), High-speed driving(고속구동)

Nomenclature

A : area, m^2
 B_v : viscous friction coefficient, N s/m
 C_v : specific heat at constant volume, kJ/(kg K)
 F_f : friction force, N
 h : heat transfer coefficient, kW/(m^2 K)
 m : mass of air, kg
 $\dot{m}$: mass flow rate, kg/s
 M_L : mass of piston and load, kg
 P : pressure, Pa
 R : gas constant, kJ/(kg K)
 T : temperature, K

t : time, s
 V : volume, m^3
 x : displacement, m
 κ : ratio of specific heat

1. 서론

유공압 액추에이터의 쿠션기구는 고무판, 스톱퍼볼트(stopper bolt), 실린더의 쿠션기구, 쇼크업소버(shock absorber) 및 쿠션밸브 제어 등이 있다.

공기압 실린더에서 쿠션기구는 피스톤이 행정 끝에 도달할 때 충격을 완화시키기 위해 사용하며, 실린더 내장형과 외장형 및 밸브 제어가 있다. 내장형 쿠션기구는 니들밸브(needle valve)와 릴리프밸브(relief valve)형과 같이 실린더 커버 내부에 완충

*Corresponding author, E-mail: dtkim@kiu.ac.kr

기능을 가진 요소를 부착하는 방법과 피스톤 양단에 부착된 탄성체 부재로 행정 끝단에서 충격 에너지를 흡수하는 고무 쿠션실(rubber cushion seal)이 있다. 외장형은 실린더 외부에 쿠션기구를 부착하는 것이며, 이것은 흡수할 에너지가 내장형 쿠션기구의 능력을 초과하는 경우나 쿠션기구가 없는 실린더에 사용하며, 공기압 시스템에서 가장 대표적인 것은 소형 산업용 쇼크업소버가 있다. 밸브제어 방식은 실린더 행정 끝단에서 완충작용을 발휘하는 쿠션밸브뿐만 아니라 비례제어밸브로 피스톤 운동을 제어할 때와 같이 밸브를 제어하여 피스톤을 완충·정지시킨다.¹⁻³⁾

공기압 실린더의 내장형 쿠션기구는 실린더 외부에 다른 부품을 부착할 필요가 없고, 사용이 편리하며, 가격이 저렴하기 때문에 많이 사용한다. 산업용 표준 공기압 실린더는 주로 니들밸브형 쿠션기구를 사용하며, 피스톤의 구동속도가 대략 1.0 m/s 보다 낮은 저속에서는 니들밸브형도 충격에너지를 비교적 잘 흡수하지만, 고속구동이 되면 충격에너지를 흡수하는 데 한계가 있다.⁴⁾ 이러한 문제를 해결하기 위해, 공기압 실린더에서 니들밸브 대신에 릴리프 밸브로 대체하여 쿠션실 내부의 최대압력을 적절하게 제어하여 쿠션성능을 개선한 릴리프밸브형 쿠션기구가 개발되어 고속구동을 달성하였다.⁵⁾

본 연구에서는 공기압 실린더가 미터아웃제어(meter-out control)로 구동될 때, 니들밸브형과 릴리프밸브형 쿠션기구의 쿠션특성을 모델링하고, 피스톤의 속도변화에 따른 쿠션실 흡수에너지, 피스톤 구동에 따른 충격에너지 및 충격에너지 흡수효율 관점에서 쿠션특성을 비교·검토하였다.

2. 니들밸브형과 릴리프밸브형 쿠션기구

Fig. 1(a)는 산업용 표준 공기압 실린더의 니들밸브형 쿠션기구이다. 피스톤이 화살표 방향과 같이 오른쪽에서 왼쪽으로 움직여 피스톤이 행정 끝단부로 돌입할 때 커버(cover)에 내장된 니들밸브의 개구면적을 교육하여 통과유량을 조절하여 쿠션실 내부에 배압(back pressure)을 발생시키면 피스톤이 감속되어 완충효과를 얻는다. 피스톤이 고속으로 작동할 때는 니들밸브의 오리피스 개구면적 조정만으로

Fig. 1 Cushion devices in pneumatic cylinders

로는 쿠션과정에서 발생하는 충격과 행정 끝에서 바운드(bound) 현상을 제거할 수 없다.

Fig. 1(b)는 릴리프밸브형 쿠션기구 내장형 공기압 실린더의 개략도이다. 이것은 피스톤을 고속으로 구동하기 위해, 실린더 입출구 포트(port) 지름을 크게 하고, 표준 공기압 실린더의 니들밸브 대신에 릴리프밸브를 사용하며, 쿠션 스트로크를 길게 하여 쿠션실(cushion chamber) 체적을 증가시킴으로써 고속 구동에 따른 큰 충격에너지를 흡수할 수 있다. 릴리프밸브형 쿠션기구는 쿠션실 내부의 공기압력이 충분히 높아질 때까지 릴리프밸브를 완전히 닫은 상태로 유지할 수 있기 때문에 충격에너지를 효율적으로 흡수 가능한 상태에서 쿠션실 내부 압축공기를 방출할 수 있다. 따라서 쿠션 성능이 가장 양호한 상태에서 릴리프밸브 설정압력을 압력조절나사로 조정하여 고속 구동에 따른 행정 끝단에서 충격과 진동을 양호하게 흡수할 수 있는 장점이 있다. 쿠션은 쿠션실과 릴리프밸브를 연결하는 지름이 작은 관로인 쿠션포트(cushion port)의 고정 오리피스(fixed orifice)와 릴리프밸브의 작용으로 일어난다. 피스톤이 전진하여 쿠션링이 쿠션패킹에 진입하는 순간에 쿠션실이 형성되고, 쿠션실 내부의 공기는 쿠션포트로 유입된다. 이 때 쿠션포트의 고정 오리피스를 통과하여 압축공기가 미소량만 배출되기 때문에 쿠션실 내부의 압력이 증가하여 쿠션작용이

일어난다. 그러나 쿠션실 내부의 공기압력은 아직 릴리프밸브의 설정압력보다 낮기 때문에 릴리프밸브가 작동하지 않으며, 쿠션실 내부에 공기가 압축되면서 완충효과가 발생한다. 니들밸브형에서는 이 과정이 없다. 피스톤이 더욱 전진하여 쿠션실 내부 압력이 릴리프밸브의 설정압력보다 높아지면 릴리프밸브가 열려 압축공기가 릴리프밸브를 통과하여 배기포트로 신속하게 배출되어 쿠션작용이 종료된다. 이 때 공기는 릴리프 포트와 쿠션포트의 고정 오리피스를 통하여 배출되고, 이것들이 통과하는 공기에 저항을 줌으로써 브레이크 효과를 발생한다.

3. 공기압 실린더의 쿠션기구 해석

Fig. 2는 공기압 실린더의 쿠션특성을 조사하기 위한 시스템 구성도이다. 공기압 실린더의 쿠션기구는 내장형 니들밸브 또는 내장형 릴리프밸브형이며, 실린더는 수평으로 설치하고, 미터아웃 속도 제어 방식으로 구동한다. 압축공기는 FR유닛(filter, regulator), 방향제어밸브, 유량제어밸브를 통과하여 실린더에 공급되고, 실린더에서 배출공기는 유량제어밸브의 오리피스 개구면적을 통과함으로써 유량이 제어된다. 실린더의 구동특성을 파악하기 위해, Fig. 2와 같이 실린더 내부를 4개의 검사체적(control volume; CV)으로 나누고, 여기서는 쿠션실(CV3)의 동적 거동에 대해 고찰한다.

Fig. 2에서, 검사체적3(CV3)이 쿠션실로 작용할 때, 쿠션실 내부의 압력, 온도, 질량유량 특성은 다음과 같다.

$$\frac{dP_3}{dt} = -\frac{P_3}{V_3} \frac{dV_3}{dt} + \frac{m_3 R}{V_3} \frac{dT_3}{dt} + \frac{R T_3}{V_3} \dot{m}_3 \quad (1)$$

식 (1)에서 $\dot{m}_3$ 는 CV3에서 질량유량이며, 압축공기의 연속방정식을 고려하면 다음과 같다.

$$\dot{m}_3 = -\dot{M}_g - \dot{M}_i - \dot{M}_f \quad (2)$$

여기서, $\dot{M}_g$ 는 피스톤 로드와 쿠션패킹 사이의 틈새를 통과하는 질량유량, $\dot{M}_i$ 는 쿠션포트의 고정 오리피스를 통과하는 질량유량, $\dot{M}_f$ 는 릴리프밸브를 통과하는 질량유량이다. 또한 피스톤이 운동하므로

CV3은 시간에 따라 체적이 변하고, 쿠션실 내부의 압축공기와 실린더튜브 표면 사이의 대류 열전달을 고려하고, CV3에서 온도변화는 시간에 따라 균일한 온도분포를 가지는 집중정수계로 가정하여 평균 온도 T_3 의 시간변화를 구하기 위한 에너지방정식은 식 (3)과 같다.

$$C_V m_3 \frac{dT_3}{dt} = R T_3 \dot{m}_3 - P_3 \frac{dV_3}{dt} + h A_{sh} (T_a - T_3) \quad (3)$$

피스톤의 운동방정식은 다음과 같다.

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = P_2 A_p - P_3 (A_p - A_r) + P_a A_r - B_v \frac{dx}{dt} - F_f \quad (4)$$

여기서, M 은 부하, 피스톤과 피스톤 로드 질량, x 는 피스톤 변위, $\dot{x}$ 는 피스톤 속도, $\ddot{x}$ 는 피스톤의 가속도, P_2 는 CV2의 내부압력, P_a 는 대기압, A_p , A_r , A_s 는 피스톤, 피스톤 로드, 쿠션링의 면적, B_v 는 감쇠계수, F_c 는 쿨롱(Coulomb) 마찰력이다.

Fig. 2 Modeling of pneumatic cushion cylinder

릴리프밸브형 쿠션기구에서, 포핏(poppet)의 변위에 따른 개구면적(opening area)은 식 (5)와 같고, 릴리프밸브에 작용하는 힘은 식 (6)과 같다.

$$A_v = \pi d \sin \alpha x_v \quad (5)$$

$$F = \left(1 - \frac{A_v}{A_{seat}} \cos \alpha\right) (P_3 - P_{set}) A_{seat}, \quad F = k_s x_v \quad (6)$$

식에서 d 는 릴리프 시트(seat)지름, α 는 포핏 원

추반각, x_v 는 포펫의 변위, A_v 는 릴리프밸브의 개구 면적, A_{seat} 는 릴리프밸브 시트 면적, P_{set} 은 릴리프 밸브 설정압력, F 는 포펫에 작용하는 힘, k_s 는 릴리프밸브의 스프링상수이다. 릴리프밸브를 통과하는 질량유량은 압축성 유동을 고려하여 다음과 같이 구한다.

1) 쿠션실 내부압력이 릴리프밸브의 설정압력보다 높을 때($P_3 \geq P_{set}$)

1) 초크되지 않은 흐름(unchoked flow)

$$\dot{M}_f = C_d A_v P_3 \sqrt{\frac{2\kappa}{RT_3(\kappa-1)}} \left[\left(\frac{P_a}{P_3} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_a}{P_3} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right] \quad (7)$$

2) 초크 흐름(choked flow)

$$\dot{M}_f = C_d A_v P_3 \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{1}{\kappa-1}} \sqrt{\frac{2\kappa}{RT_3(\kappa+1)}} \quad (8)$$

2) 쿠션실 압력이 릴리프밸브의 설정압력보다 낮을 때($P_3 < P_{set}$)는 릴리프 밸브가 열리지 않고, 식 (2)에서 $\dot{M}_f=0$ 으로 된다.

니들밸브형과 릴리프밸브형 쿠션기구의 쿠션특성을 비교 검토하기 위해, 쿠션실 공기의 흡수에너지와 피스톤의 운동에너지를 고려한다. 에너지 평형을 고려하면, 쿠션과정은 쿠션실 공기가 압축되어 내부에너지가 증가하고 피스톤의 운동에너지를 흡수하면서 증가된 내부에너지를 신속하게 소산시켜 피스톤의 바운드현상을 방지하는 것이다. 쿠션 과정에서 쿠션실에서 압축공기가 흡수하는 에너지는 식 (9)와 같다.

$$E_c = \int_{S-L_c}^S P_3 (A_p - A_s) dx \quad (9)$$

식에서 S 는 피스톤의 행정, L_c 는 피스톤이 행정 끝단에 도달했을 때 틈새체적(dead volume)의 길이이다.

쿠션과정에서 피스톤의 에너지는 쿠션 초기에 피스톤의 운동에너지와 피스톤이 저항력을 극복하고 전진하는 데 필요한 에너지의 합이며, 식 (10), 식 (11)로 표시된다.

$$E_k = \frac{1}{2} M V_c^2 \quad (10)$$

$$E_d = \int_{S-L_c}^S [P_2 A_p - P_4 (A_s - A_r) - B_v V_c - F_c] dx \quad (11)$$

식에서 V_c 는 피스톤의 진입속도이다. 피스톤이 행정 끝단에서 원활하게 완충·정지하기 하기 위해서는 식 (12)와 같이 피스톤이 가지는 에너지를 쿠션실에서 흡수하여야 하며, 흡수에너지와 피스톤이 갖는 에너지 비율을 에너지 흡수효율로 정의하면 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_c = E_d + E_k \quad (12)$$

$$\eta = \frac{E_c}{E_d + E_k} \quad (13)$$

따라서 니들밸브와 릴리프밸브형 쿠션기구의 특성을 비교하기 위해서는 각각의 조건에서 쿠션실의 흡수에너지와 피스톤이 갖는 에너지를 조사하여 비교할 필요가 있다.

본 연구에서는 SMC社의 릴리프밸브 내장형 고속 공기압 쿠션실린더(모델명 RHCB25-300) 제원을 기준으로 해석하였고, 실린더의 제원과 시스템 파라미터 값은 Table 1과 같다.

Table 1 Simulation parameters

Piston diameter	25mm	Supply pressure	0.5MPa
Piston rod dia.	12mm	Gas constant	287J/(kgK)
Sleeve dia.	14mm	Specific heat ratio	1.4
Spear dia.	14mm	Heat transfer coef.	100J/(m ² K)
Cushion spear	80mm	Damping coef.	30Ns/m
Cushion sleeve	80mm	Coulomb friction	10N
Stroke	300mm	Specific heat Cp	1.004kJ/(kgK)
Inlet port	1/8in	Mass of piston	6kg
Outlet port	1/8in	Discharge Coef.	0.65

4. 공기압 실린더 쿠션기구의 해석 결과

Fig. 3은 부하질량 6kg, 피스톤의 최대속도가 약 1.8m/s로 거의 같은 구동조건에서 니들밸브형과 릴리프밸브형 쿠션기구의 피스톤 변위, 속도, 가속도 특성을 비교한 것이다. 피스톤의 최대속도가 같은 조건에서 릴리프밸브형인 경우가 니들밸브형 보다 가속도 변화가 작고 양호한 변위 특성을 나타낸다. 릴리프밸브형은 쿠션링이 쿠션패킹에 돌입하여 쿠션작용이 일어날 때 피스톤 운동방향과 반대방향

(a) Needle valve type

(b) Relief valve type

Fig. 3 Plots of piston displacement, velocity and acceleration wave forms

약 -4 m/s^2 의 가속도를 받아 신속하게 감속되어 행정 끝단에서 매끄럽게 정지하는 양호한 응답특성을 나타낸다. 그러나 니들밸브형은 피스톤의 운동방향과 반대방향으로 약 -8.9 m/s^2 정도의 가속도를 받지만 피스톤이 신속하게 감속되지 않고, 행정 끝단에서 가속도 변화가 심하여 피스톤 속도와 변위가 진동하는 바운드 현상이 나타난다. 식 (9) ~ 식 (13)에서, 쿠션실의 흡수에너지 E_c 는 23.1J, 피스톤의 구동에너지 E_d 가 14.6J, 운동에너지 E_k 는 9.3J이며, 에너지 흡수효율은 릴리프밸브형에서 96.2%, 니들밸브형에서는 86.7%로 나타났다.

Fig. 4는 Fig. 3의 결과를 피스톤 이동 변위에 따라 나타낸 것이다. 실린더의 행정 끝단인 0.3m에 도달하기 직전까지는 피스톤의 속도가 거의 같지만, 행정 끝단에서 니들밸브형에서는 바운드현상이 일어나는 것을 명확하게 확인할 수 있다.

Fig. 4 Comparison with velocity and acceleration wave forms of cushion devices

Fig. 5는 피스톤의 최대속도가 약 2.3m/s일 때, 쿠션실 내부압력, 피스톤의 가속도, 속도 및 변위파형을 나타낸다. Fig. 4의 결과와 비교하여 보면, 피스톤의 속도가 증가함에 따라 니들밸브형의 쿠션성능이 현저하게 떨어진다. 피스톤이 고속으로 운동할 때, 니들밸브형에서 양호한 쿠션특성을 얻기 위해서는 니들밸브를 더 교축시켜 개구면적을 줄여야하기 때문에 Fig. 5(a)에서 보듯이 쿠션실 내부의 공기압력이 급격하게 상승하고, 피스톤의 가속도가 급격하게 변하여 속도변화가 심하게 된다. 또한 Fig. 5(c), (d)에서 보듯이 피스톤이 행정 끝단에 도달한 후에 바운드 현상이 발생하여 피스톤의 정밀한 위치제어가 어렵다. 따라서 피스톤이 고속으로 구동할 때 니들밸브형 쿠션기구로는 충격에너지를 양호하게 흡수할 수 없는 것을 알 수 있다. 이것과 비교하여 릴리프밸브형은 쿠션실 내부압력이 릴리프밸브의 설정압력(cracking pressure) 정도로 높아질 때까지 릴리프밸브를 닫고 있었을 수 있으며, 피스톤이 고속으로 구동되어 쿠션실 압력이 순간적으로 급격하게 상승하면 릴리프밸브가 작동하여 쿠션실의 압축공기를 신속하게 배출하여 급격한 압력상승을 막는다. 쿠션실 내부압력이 릴리프밸브의 크래킹압력에 도달하기 전까지는 릴리프밸브가 작동하지 않기 때문에 쿠션실 내부의 압축공기는 쿠션포트의 고정 오리피스를 통해서만 배출되고, 고속구동으로 인한 운동에너지 증가로 쿠션실 내부 압력이 급격하게 상승하면 릴리프밸브가 작동하여 쿠션실 압력을 적절하게 제어하는 것을 볼 수 있다. 릴리프밸브형은 쿠션실 내부압력 변동이 니들밸브형과 비교하여

Fig. 5 Comparison between the needle and relief valve type cushion characteristics

50% 정도로 작으므로 피스톤의 가속도와 속도 변화도 작게 된다.

Fig. 5(c), (d)에서 보듯이 릴리프밸브형에서는 행정 끝단에서 바운드현상이 나타나지 않기 때문에 양호한 변위특성을 얻을 수 있다. 또한 릴리프밸브형은 쿠션기구에서 릴리프밸브의 설정압력이 너무 낮으면 충격에너지를 흡수하는 데 필요한 만큼 쿠션 성능이 얻어지지 않아 행정 끝단에서 피스톤이 직접 충돌한다. 역으로 설정압력이 너무 높으면 쿠션실 내부의 압축공기가 릴리프밸브를 통하여 신속하게 배출되지 않으므로 피스톤이 급격하게 감속되어 행정 끝단에 도달하기 전에 바운드현상이 발생하므로 피스톤의 구동조건에 따라 릴리프밸브의 설정압력을 최적상태로 조절하는 것이 중요하다. Fig. 5의 구동조건에서, 릴리프밸브형은 쿠션실 흡수에너지 E_c 는 28.6J, 피스톤의 충격에너지 합이 29.7J이며, 에너지 흡수효율은 릴리프형에서 94.7%, 니들밸브

형은 90.0%였다.

Fig. 6은 피스톤의 쿠션링이 쿠션패킹에 진입하는 속도를 1.0 m/s, 1.8 m/s, 2.3 m/s로 단계적으로 변화시킨 경우, 니들밸브형과 릴리프밸브형에서 쿠션실의 흡수에너지 E_c , 쿠션 초기 피스톤의 운동에너지 E_k , 피스톤 구동에 필요한 에너지 E_d 및 에너지 흡수율을 비교한 것이다. 쿠션 초기에는 피스톤 속도가 같은 조건이므로 두 쿠션기구에서 초기 운동에너지는 같다. 그러나 피스톤 구동 에너지는 쿠션구에 따라 큰 차이를 나타낸다. 특히 니들밸브형은 쿠션 초기의 피스톤 속도가 증가함에 따라 피스톤을 구동하는 데 필요한 에너지가 단조 감소하는 경향을 가진다. 이것은 다른 구동조건이 일정한 상태에서 피스톤 속도를 증가시키기 위해서는 니들밸브의 개구면적이 더욱 커져야하므로 쿠션실에 작용하는 배압의 영향이 상대적으로 작아지기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. 또한 릴리프밸브형은

Fig. 6 Comparison of cushion energy

피스톤 구동 속도가 증가함에 따라 쿠션실에서 흡수에너지가 니들밸브형 보다 많으며, 에너지 흡수율은 고속영역에서는 거의 일정한 값을 가진다. 에너지 흡수율 측면에서는 쿠션기구별로 큰 차이가 보이지 않지만, Fig. 3~Fig. 5에서 보듯이 실린더의 쿠션 특성을 평가할 때는 행정 끝단에서 양호한 변위특성을 얻는 것이 더욱 중요하다.

따라서 공기압 실린더의 쿠션특성은 피스톤의 구동속도, 쿠션실의 내부 압력변화, 피스톤의 가속도 변화, 피스톤 행정 끝단에서 바운드 현상 발생 유무, 쿠션실에서 흡수에너지, 피스톤 구동에너지 등을 고려하여야 하며, 피스톤의 구동속도가 1.8 m/s 이상 고속구동 조건에서는 릴리프밸브형이 니들밸브형 보다 가속도 변화가 작고, 실린더 내부 압력변동도 작아 양호한 변위특성을 얻을 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 공기압 실린더의 니들밸브형과 릴리프밸브형 쿠션기구의 쿠션특성을 시뮬레이션으로 비교 검토하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 공기압 실린더의 니들밸브와 릴리프밸브 내장형 쿠션기구의 동특성을 해석하기 위한 수학 모델을 구축하고, MATLAB 기반 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.

- 2) 공기압 실린더의 구동속도가 약 1.8 m/s 이상 고속으로 구동할 때는 니들밸브형 보다 릴리프밸브형 쿠션기구가 적합하며, 니들밸브형에서는 바운드현상이 발생하여 정밀한 위치제어가 곤란하였다.
- 3) 공기압 실린더의 쿠션 성능을 비교하기 위해, 피스톤의 충격에너지, 쿠션실 흡수에너지, 에너지 흡수 효율을 도입하였으며, 피스톤의 행정 끝단에서 바운드 현상, 쿠션실 내부압력 변화, 피스톤의 가속도변화 등을 포함한 쿠션 전 과정의 특성을 평가할 필요가 있다.

후 기

이 연구는 경일대학교 학술연구비지원사업과 한국에너지기술평가원에서 지원한 에너지자원기술 개발사업으로 수행되었음을 밝힙니다.

References

- 1) Y. Yamashita, "Hydraulic and Pneumatic Components with Shock-absorbing Capacity (Shock-absorbing Technique at Air Cylinder)," J. of the Japan Fluid Power System Society, Vol.35, No.2, pp.106-109, 2004.
- 2) K. Saito, "Cylinder Cushioning Mechanism," J. of the Japan Fluid Power System Society, Vol.39, No.2, pp.97-102, 2008.
- 3) J. Matsuura, "Rubber Air Cushion," J. of Japan Hydraulics and Pneumatics Society, Vol.35, No.21, pp.98-101, 2004.
- 4) J. G. Lee, F. Qin, J. C. Lee and H. M. Shin, "Simulation Study on the Dynamic Analysis of Spring Type Needle Valve to Absorb Surge Pressure in Pneumatic Cushion Cylinder," J. of KFPS, Vol.2, No.1, pp.15-22, 2005.
- 5) D. T. Kim and Z. J. Zhang, "Analysis of Cushion Mechanism with Relief Valve for High-speed Pneumatic Cylinder," Transactions of KSAE, Vol.18, No.3, pp.95-103, 2010.