

MR 유체를 이용한 실린더 쿠션 특성 연구

A Study of Cylinder Cushion Characteristic using the MR Fluid

*정민호¹, 배형섭¹, 윤준오¹, 박명관¹

*M. H. Jeong¹, H. S. Bae¹, J. O. Yun¹, M. K. Park(mkpark1@pusan.ac.kr)¹

¹ 부산대학교 기계공학부

Key words : Cushion, Cylinder, MR fluid

1. 서론

실린더의 왕복 운동시 피스톤이 행정(stroke)의 끝 단에 도달할 때 발생하는 충격력을 유체의 저항력이나 물리적인 완충체를 사용하여 충격을 흡수하도록 하는 장치를 쿠션 장치라고 한다. 기존 실린더의 경우 후진시의 유량이 main 관로를 통해 drain 되고 피스톤의 후진이 어느 정도 진행되면 cushion plunger 가 rear end 측 cavity 부를 따라 후진하게 된다. 이때 cushion plunger 의 외경과 rear end cavity 사이의 틈을 통해 유량이 감소하면서 배출됨으로써 후진 시 발생하는 충격에너지를 완충하게 된다. 하지만 급격한 유량의 변동으로 인해 사용압력의 2~3 배에 이르는 초과압력(pick pressure)가 발생하게 되며, 이러한 초과압력에 의한 충격은 시스템의 정숙성을 해치고 진동을 유발하게 된다. 초과압력이 발생할 경우 이를 완화시키고자 하는 많은 연구가 이루어졌으나 대부분 기존 cushion plunger 의 형상과 치수 변경을 통한 유량 조절에 초점이 맞추어 졌다. 하지만 이러한 유량 조절식 cushion 장치의 경우 cushion plunger 와 rear end cavity 부의 동심을 유지시켜야 하고, 틈새 간극을 맞추기 위한 정밀한 가공이 요구된다. 이러한 기존 cushion 방식의 문제점을 보완하고 더욱더 정숙하고 안정적인 실린더의 완충 성능을 이끌어내기 위해 자기장에 의해 점도가 변화하는 물질인 MRF(Magneto rheological fluid)를 이용한 새로운 개념의 cushion 방식을 적용했다. 기존 방식이 유량 조절에 의해 감속하는 구조였다면 본 연구에서는 피스톤 측의 cushion plunger 와 slider 가 동시에 움직임으로써 cushion stroke 를 길게 하고 MR Fluid 의 전단력을 이용하여 더욱더 정숙한 충격 방지 역할을 할 수 있게 하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 배경

MR Fluid 의 자기점성효과는 인가된 자기장에 의해 유체의 점도를 변화시키는 효과를 나타낸다. 자기장이 가해지지 않았을 때 MR Fluid 는 Newtonian 유체와 유사한 거동을 나타내지만 자기장이 인가되면 항복응력을 갖는 Bingham 유체 상태로 변하게 되는데 이때 MR Fluid 에 발생하는 전단응력과 힘에 대한 지배방정식은 아래와 같다.

1) MR fluid 전단응력

$$\tau = \tau_y(H) + \eta\dot{\gamma}, \quad (\tau < \tau_y) \tag{1}$$

위 식에서, H 는 자기장, $\dot{\gamma}$ 는 유체의 전단률, η 자기장이 가해지지 않았을 때의 점도, 유체의 항복응력 τ 의 변화는 자기장에 따라 변하는 τ_y 에 의존한다. $\tau_y(H)$ 는 부하되는 자기장의 세기에 의한 MR 유체의 항복 전단응력으로 자기장 H 와 관계는 아래와 같다.

$$\tau_y(H) = \alpha H^\beta \tag{2}$$

여기서 α 는 β 는 MR 유체의 용매의 종류와 점도, 입자의 종류와 증량비 등 MR 유체의 조성 조건에 의해 달라지는 고유치이다.

2) MR Fluid 전단모드에서 발생하는 힘

MR Fluid 의 자기장 의존 특성이 Bingham-plastic 거동과 유사하다고 가정할 경우 지배방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F = F_\eta + F_{MR} \tag{3}$$

위 식에서, F_{MR} 은 MR Fluid 의 자기장 의존 특성에 의한 댐핑력을 나타내며, F_η 는 MR Fluid 의 자체 점성에 의한 댐핑력을 나타낸다.

3. MR Cushion 장치의 설계 및 제작

실린더의 구조는 실험을 위해 최대한 단순한 구조로 설계하여 쿠션 성능평가 이외의 다른 인자들로 인한 결과값의 변동이 없도록 하였다. Fig.1 과 같이 일반적인 실린더를 구성하는 Body, Rod, Piston 그리고 쿠션 역할을 담당하는 Slider, Magnet, MR Fluid 로 구성되어 있다.

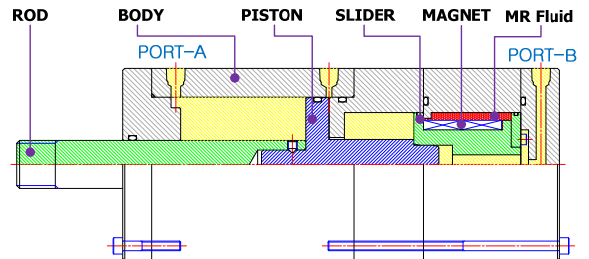


Fig. 1 Configuration of MR fluid cushion cylinder

Fig.2 에는 쿠션부의 상세한 구조와 형상을 나타내었다. Piston 이 후진하고 Slider 에 근접하게 되면 Slider 측면에 압력이 작용하여 Piston 과 함께 움직이게 되는데 이때 Slider 내부에 충전 되어있는 MR Fluid 는 영구자석에서 발생하는 자기장에 의해 강한 점성을 가지고 있어 Slider 의 운동을 방해하게 된다. 이러한 운동을 방해하는 힘이 Piston 의 운동을 감속시켜 충격을 완화하는 쿠션 역할을 하게 된다.

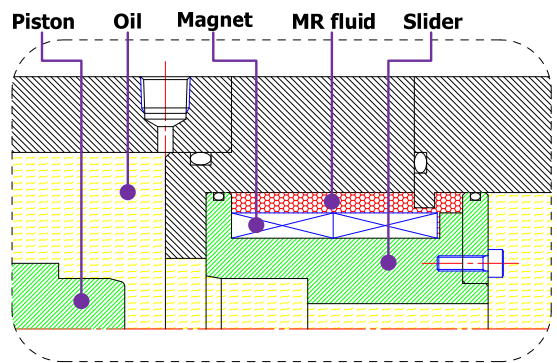


Fig. 2 Detail configuration of cylinder

4. 실험 및 결과

MR Fluid 의 쿠션 성능을 평가하기 위해 아래 Fig. 3 과 같이 MR Fluid 를 인가한 실린더와 MR Fluid 를 인가하지 않은 두 종류의 실린더를 이용하여 비교 실험을 실시하였다. 실린더의 작동 중 시간에 따른 변위와 속도를 측정하기 위해 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 사용하였고, 쿠션시의 입/출구 측의 압력 변화를 측정하기 위해 압력센서를 부착하였으며 상기 센서로부터 입력된 신호의 처리와 출력력을 위해 DAQ Interface board 를 사용하였다. 아래 Fig. 4 는 전체적인 실험 장치의 구성을 나타낸다.



Fig. 3 Disassembly parts of cylinder

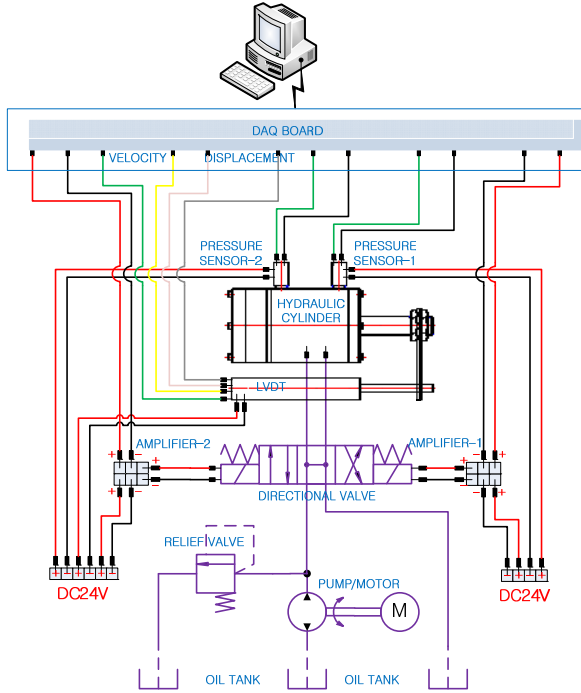


Fig. 4 Schematics of cushion test environment

아래 Fig. 5와 Fig. 6에서는 각 압력에 따른 속도 그래프를 통해 MR Fluid를 인가한 실린더와 비인가 실린더의 응답 특성을 확인하였다.

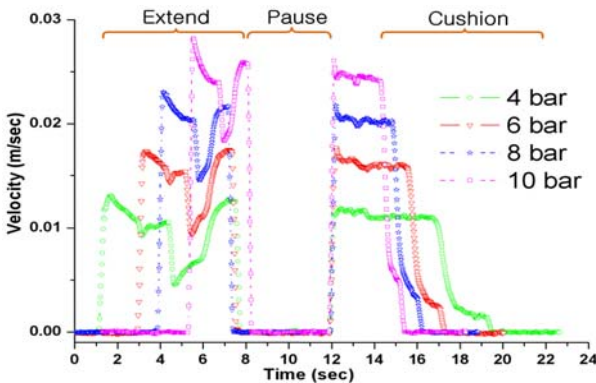


Fig. 5 Velocity of MR Fluid cushion cylinder

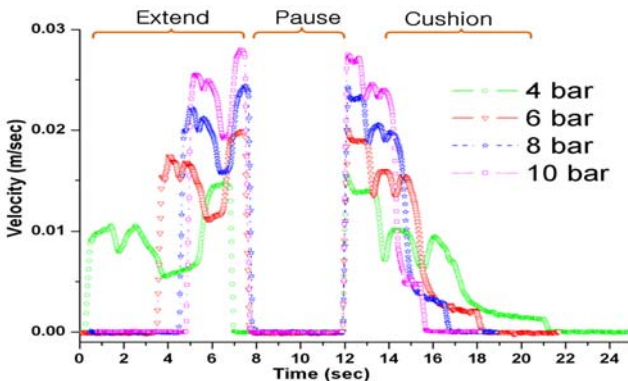


Fig. 6 Velocity of NON-MR Fluid cushion cylinder

Fig. 7에서는 6bar의 압력하에서 MR Fluid를 인가한 실린더와 비인가 실린더의 cushion 구간에서의 속도를 그래프로 비교하였다. MR Fluid를 적용하지 않은 실린더의 경우 속도의 급격한 감소를 확인할 수 있으며, 이와 같은 경우 충격을 완화시켜주는 완충 성능을 제대로 발휘하지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 반면, MR Fluid를 적용한 실린더의 경우 cushion 영역에서 여러 단계의 감속 구간이 나타남을 확인할 수 있으며, 전체적인 cushion 시간에 있어서도 MR Fluid를 적용하지 않은 실린더보다 감속 구간이 늘어났다는 것을 확인할 수 있었다.

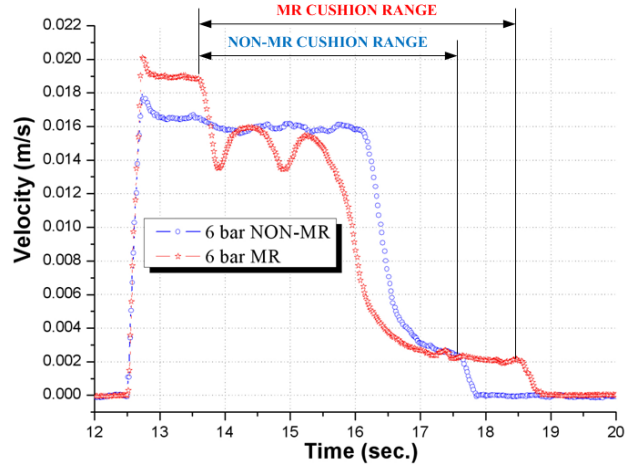


Fig. 7 Comparisons of cushion velocity at 6bar

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 MR Fluid를 이용한 실린더의 쿠션 성능을 파악하기 위해 설계 및 시뮬레이션을 수행하였고 이를 검증하기 위해 실제 시제품을 제작하여 실험을 통해 성능을 평가하였다. 그리고 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 실린더의 성능을 측정해본 결과 인가된 영구자석의 자기장에 의한 MR Fluid의 전단력에 의해 감속효과가 나타남을 확인할 수 있었다.
- (2) MR Fluid를 적용하지 않은 실린더와 MR Fluid 적용한 실린더를 비교하여 실험한 결과, 동일 행정 구간에서 확연한 성능의 차이와 쿠션 성능 향상을 확인할 수 있었다.
- (3) MR Fluid를 적용한 실린더의 경우 cushion 작동 구간에서 압력의 변동이 완만한 경사를 나타내며 MR Fluid를 적용하지 않은 경우보다 정숙한 작동을 하는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. H. K. Park, "An Experimental Study of the Behavior of Plunger Type Cushioning Mechanism of Hydraulic Cylinder", 1992
2. D. S. Kim, J. B. Park, W. H. Lee, "The Characteristic Analysis of Cushioning Pneumatic Cylinder", KSME. Spring, PP.1950-1956, 2002
3. C. Schwartz, V. J. De Negri, and J. V. Climaco "Modeling and Analysis of an Auto-Adjustable Stroke End Cushioning Device for Hydraulic Cylinders", 2005
4. Y. B. Lee, J. M. Ko, J. H. Kim, "A Development of The Cushion of Hydraulic Cylinder for Excavator", KSME, PP61-66, 2007