

오리피스를 이용한 유체댐퍼의 성능실험

Experimental Study on the Performance of an Orificed Fluid Dmper

정태영* · 임채욱** · 김병현*

Tae-Young Chung, Chae-Wook Lim, Byung-Hyun Kim

ABSTRACT

An orificed fluid damper having the capacity of about 2 tons was designed and fabricated, and series of tests were performed to grasp the fundamental performance characteristics of it. Several important findings were observed and introduced in this paper. This fabricated orificed fluid damper will be applied to the structure under seismic load for the confirmation of its validity on structural vibration absorbtion as an extended study.

1. 서론

오리피스를 이용한 유체댐퍼(Orificed Fluid Damper ; OFD)는 기본구조로서 피스톤, 실린더 및 오리피스로서 구성되어 있으며, 실린더내의 유체가 오리피스를 통하여 움직일 때 발생하는 저항력을 이용하여 감쇠력을 얻는다. 1925년 미국 Buffalo의 Ralph Peo가 자동차에 사용하기 위하여 OFD를 발명한 후에 많은 제작업체가 이를 만들어 오고 있으나, 제일 유명한 제작업체로서는 Taylor Devices사를 들 수 있으며, 이 회사는 1955년 회사가 설립된 이후에 200만개가 넘는 제품을 각종 주요 구조물과 기기의 진동 및 충격 완충장치로 판매해 온 것으로 알려져 있다[1]. Taylor Devices사는 University of New York at Buffalo의 Constantinou교수 팀과 함께 OFD와 관련한 연구를 지금까지도 활발히 수행하고 있는 것으로 알려져 있다[2,3]. 그러나 국내에서는 아직 OFD가 적용된 사례와 관련된 연구결과가 발표된 사례를 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 OFD의 기본적인 특성파악을 위하여 최대 감쇠력이 2톤규모인 OFD를 설계제작하

고 일련의 실험을 수행하였다. OFD는 실린더 단면적의 크기, 사용 오일의 종류 및 온도, 오리피스의 형상 및 크기에 따라 다른 특성을 가질 수 있는데, 본 연구에서는 오리피스의 직경을 바꾸어 가며 특성실험을 수행하였다.

2. OFD의 설계 및 제작

OFD의 설계 및 제작은 저자들의 요구에 의하여 유압서보시스템 제작전문업체인 동양시스템에서 제작되었는데, 제작된 OFD는 Fig. 1과 같고 이의 사양은 Table 1과 같다. 사용된 오일의 점성은 CST32(ISO규격 VG32)로 가연성을 제외하고는 Taylor Devices사의 유체댐퍼에서 사용하는 silicone 오일과 거의 같은 물성치를 가진다. 제작된 OFD의 유압회로는 Fig. 2와 같다. 실린더 양단의 압력차에 의한 유체의 흐름을 한 쪽 방향으로 유지하기 위한 체크 밸브(check valve), 실린더 내의 최대 압력을 설계치 이하로 유지하기 위한 안전 밸브(safety valve)와 릴리프 밸브(relief valve), 실린더 피스톤 운동이나 온도 변화에 따른 유체 체적의 변동을 보상하기 위한 압축기(accumulator)등이 설치되었다.

* 정희원 · 한국기계연구원 구조시스템 연구부

** 정희원 · 한국과학기술원 기계공학과 대학원

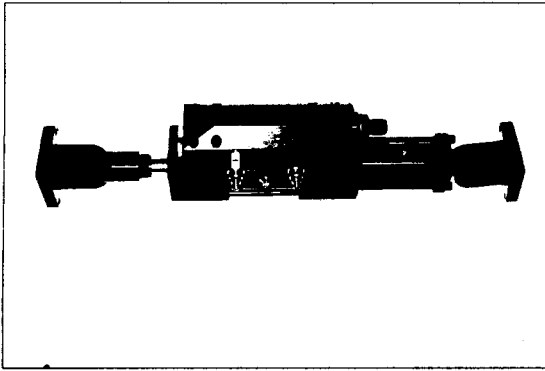


Fig. 1 Photograph of the Fabricated Orificed Fluid Damper

Table 1 Specifications of the Orificed Fluid Damper

Number	Specification
1	Piston Rod Diameter : 35mm
2	Piston Head Diameter : 55mm
3	Effective Piston Area : 14.14cm ²
4	Maximum Stroke : 100mm
5	Maximum Damping Force : 2000kgf
6	Used Oil : Compressible DTE24

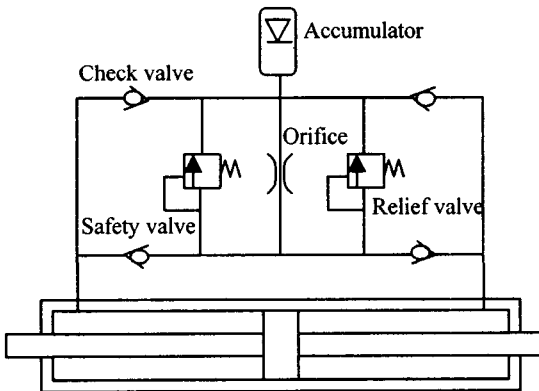


Fig. 2 Hydraulic Circuit of the Orificed Fluid Damper

3. 특성 실험결과

제작된 OFD의 특성을 규명하기 위해 Fig. 3에서 보는 바와 같이 만능시험기에 이를 장착하고, 동작주파수와 변위의 크기를 바꾸어 가며 sine파의 변위를 가하여 이때의 감쇠력을 측정하는 방법으로 실험을 수행하였다. 감쇠력은 시험기의 윗 부분

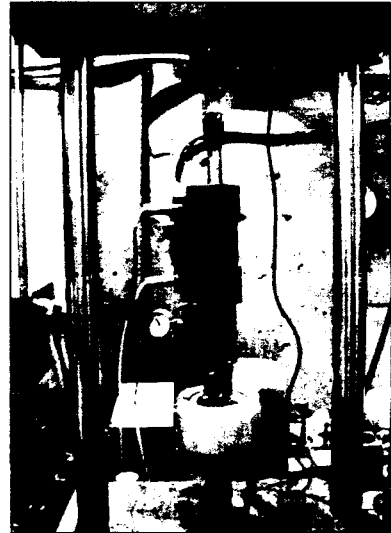


Fig. 3 Experimental Set-up

에 load cell을 설치하여 측정하였다. 설계된 최대 감쇠력이 2000kgf이므로 안전 밸브의 압력은 140bar, 릴리프 밸브의 압력은 120bar로 설정하였다.

먼저 오리피스 직경에 따른 OFD의 특성변화를 살펴보았다. 오리피스의 직경이 커질수록 감쇠력은 감소함을 알 수 있었는데, Fig. 4는 주파수가 1Hz인 경우에 대하여 오리피스 직경에 따른 속도-감쇠력 곡선을 보여주고 있다. 최대 감쇠력은 설정된 릴리프 밸브의 압력에 의해서 제한되었는데 약 1750kgf정도이다. 이로부터 제작된 OFD의 경우, 오리피스의 직경이 1mm 이상에서는 얻을 수 있는 감쇠력이 매우 작아짐을 알 수 있다. 오리피스의 직경이 1mm인 경우의 피스톤의 유효 단면적에 대한 오리피스 단면적의 비는 1/1800 정도로서, 이 값보다 커지게 되면 감쇠효과가 크게 약화됨을 알 수 있다.

다음으로 주파수에 따른 OFD의 특성을 살펴보았다. Fig. 5는 오리피스의 직경이 1mm인 경우 주파수에 따른 속도-감쇠력 곡선을 보여주고 있는데, 이로부터 주파수가 높아질수록 감쇠력은 작아짐을 확인할 수 있다. 약 90mm/s 이하의 속도에서는 실린더 내의 압력이 릴리프 밸브의 설정압력보다 낮음을 알 수 있는데, 제작된 OFD는 이 속도 범위 내에서 거의 전형적인 Bernoulli 오리피스 ($F = CV^\alpha$ 에서 $\alpha = 2$ 인 경우)와 같은 특성을 보인다. Fig. 5의 실험결과 중에서 90mm/s 이하의 속

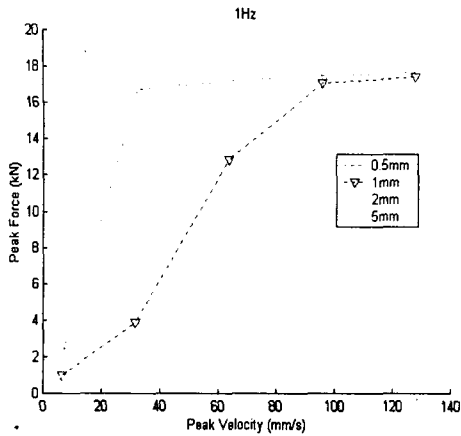


Fig. 4 Velocity-Damping Force Curves Depending on Orifice Diameters(Operating Frequency = 1Hz)

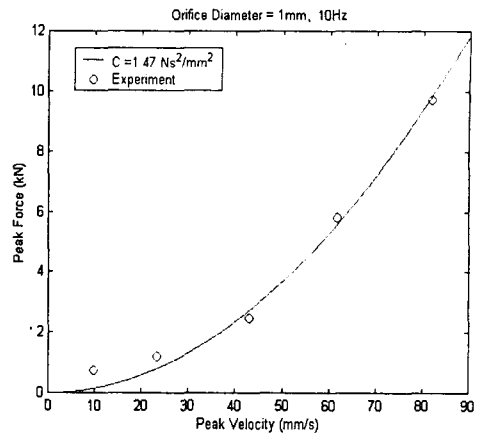


Fig. 6 Velocity-Damping Force Curve at 10Hz ($\alpha = 2$, Orifice Diameter = 1mm)

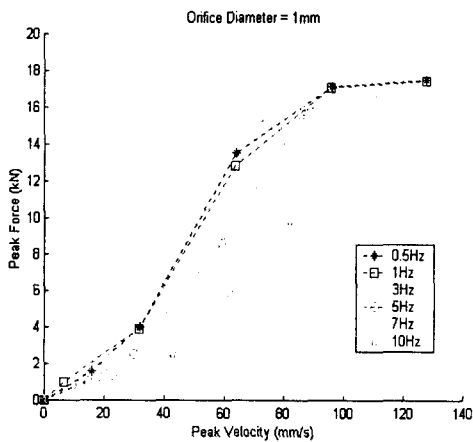


Fig. 5 Velocity-Damping Force Responses According to the Operating Frequency(Orifice Diameter = 1mm)

도에서 얻어진 데이터를 가지고 $\alpha=2$ 로 놓고 curve fitting하여 감쇠계수 C 를 구하였다. Table 2는 그 결과를 보여주고 있는데, 주파수가 높아질수록 감쇠계수 C 가 작아짐을 계량적으로 알 수 있다. Fig. 6은 그 중 10Hz인 경우의 실험결과와 curve fitting한 결과를 비교하여 보여주고 있다. Fig. 7과 Fig. 8은 오리피스 직경이 1mm인 경우에 대하여 주파수에 따른 감쇠력 및 강성효과의 변화 추이를 보여주고 있다. Fig. 7의 변위-감쇠력 곡선으로부터 주파수가 높아질수록 강성효과가 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, Fig. 8은 주파수에 따른 변위-감쇠력의 위상차를 보여주고 있는데, 1Hz

Table 2 Curve-fitted Damping Coefficients ($\alpha=2$, Orifice Diameter = 1mm)

Frequency (Hz)	Damping Coefficient C (Ns^2/mm^2)
0.5	3.35
1	3.20
3	3.03
5	2.18
7	1.75
10	1.47

이하의 저주파 대역에서는 위상차가 거의 90도로서 강성의 효과가 거의 없고, 주파수가 높아질수록 위상차가 작아짐으로 이로부터 강성의 효과가 크게 나타남을 확인할 수 있다.

다음으로 OFD의 강성효과가 실험과라미터의 변화에 따라 어떻게 변화하는가를 살펴보았는데, 여러 차례의 실험 결과 오리피스의 직경이 작아질수록 또한 변위가 커질수록 강성효과가 커짐을 확인할 수 있었다. Fig. 9는 그 중 동작주파수가 7Hz인 경우에 오리피스의 직경에 따른 강성효과의 차이를 보여주고 있다. 또한 Fig. 9는 오리피스 직경이 1mm이고 동작주파수가 10Hz인 경우에 대하여 변위-감쇠력의 관계를 보여 주고 있는데, 이로부터 sine파의 변위가 커지면 강성효과가 증가하는 spring hardening 현상을 볼 수 있다.

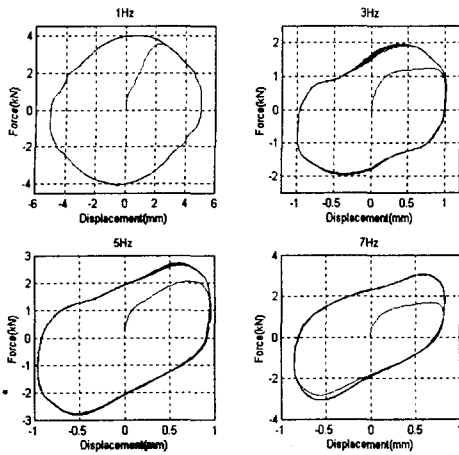


Fig. 7 Displacement-Damping Force Responses According to the Operating Frequency (Orifice Diameter = 1mm)

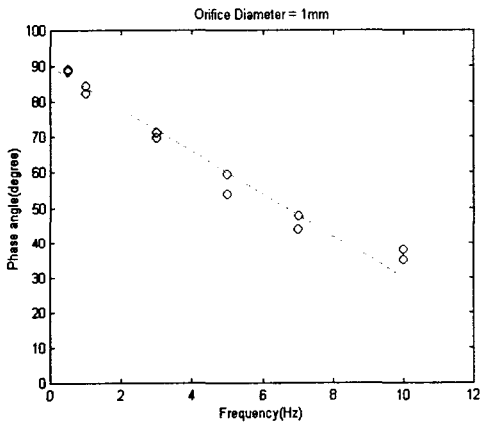


Fig. 8 Phase Angle of the Displacement-Damping Force Responses According to the Operating Frequency (Orifice Diameter = 1mm)

4. 결론

본 연구에서는 오리피스를 이용한 유체댐퍼 (Orificed Fluid Damper; OFD)의 기본적인 특성과 약을 위하여 최대 감쇠력이 2톤규모인 OFD를 설계 제작하고, 이를 만능시험기에 장착하여 동작주파수와 변위의 크기를 바꾸어 가며 sine파의 변위를 가하여 이때의 감쇠력을 측정하는 방법으로 실험을 수행하였다. 제작된 OFD는 오리피스의 교체가

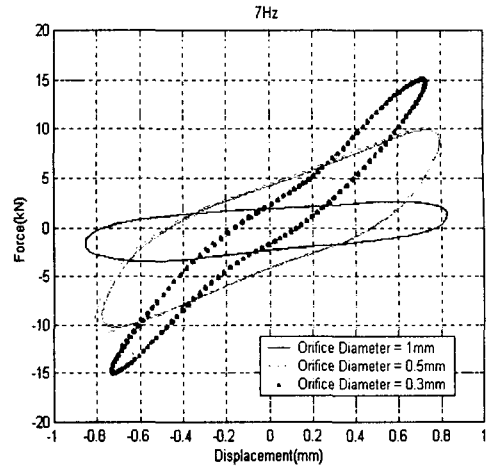


Fig. 9 Stiffness Effect Depending on Orifice Diameters (Operating Frequency = 7Hz)

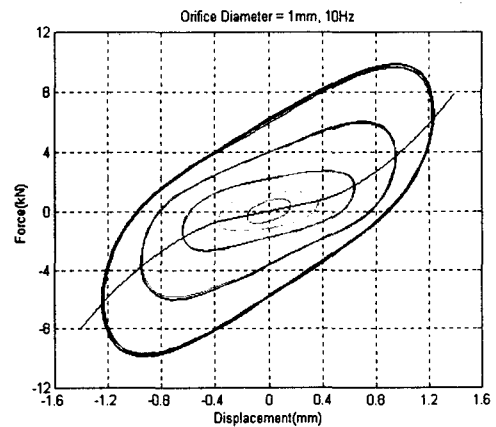


Fig. 10 Stiffness Effect Depending on Displacements (Operating Frequency=10Hz, Orifice Diameter=1mm)

용이하도록 제작하여, 실험시 오리피스의 직경을 바꾸어가며 실험을 수행하였는데 그 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

- 1) 오리피스의 직경이 커질수록 얻을 수 있는 감쇠력은 감소한다. 제작된 OFD의 경우 피스톤의 유효단면적에 대한 오리피스 단면적의 비가 1/1800 보다 커지게 되면 감쇠효과가 크게 떨어진다.
- 2) 동작주파수가 높아질수록 감쇠효과는 떨어진다.
- 3) 제작된 OFD는 약 90mm/sec이하의 속도에서는 실린더 내의 압력이 릴리프 밸브의 설정압력보다 낮으며, 이 속도범위에서는 전형적인

Bernoulli 오리피스와 같은 특성을 보인다.

- 4) 오리피스의 직경이 작아질수록, 변위나 동작주파수가 커질수록 강성효과가 크게 나타나는 spring hardening 현상을 볼 수 있다.

본 연구에서는 하나의 OFD를 설계제작하고 이의 성능을 시험한 기초적인 연구가 수행되었으나, 저자들은 본 연구를 통하여 OFD에 대하여 많은 것을 배우게 되었으며 앞으로 제작된 OFD를 지진을 받는 구조물에 적용하여 진동감쇠효과를 검증하는 실험을 통하여 이 분야의 기술발전에 힘쓰려고 한다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업 중 “제진장치를 활용한 제진설계 기술개발” 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자들의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1.T.T. Soong and M.C. Constantinou, Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Springer-Verlag Wien-New York, 1994
- 2.T.T. Soong and G.F. Dargush, Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering, John Willey & Sons, 1997
3. <http://www.taylordevices.com>, 2001