

실린더형 유체 댐퍼의 실험적 특성 규명

Experimental Identification for Cylindrical Oil Dampers

문석준†·정태영*·김홍섭*·이동환*·황재영**

S. J. Moon, T. Y. Chung, H. S. Kim, D. H. Lee and J. Y. Hwang

1. 서 론

오리피스를 이용한 유체댐퍼(orificed oil damper)는 피스톤, 실린더 및 오리피스로서 구성되어 있다. 실린더 내의 유체가 오리피스를 통과할 때 발생하는 저항력을 이용하여 감쇠력을 얻으며, 구조물 및 기계시스템의 진동 및 충격을 저감하기 위해 널리 사용되고 있다. 또한 선박 및 육상 수송 장비(예를 들면, 자동차, 전차 등)의 운전 중 엔진 및 프로펠러 추진축계에서 발생하는 비틀림 진동에 의해서 각 요소에 부가되는 과도한 진동의 저감 목적으로 비틀림 댐퍼를 사용한다. 비틀림 댐퍼인 경우에도 감쇠력은 오리피스에서 발생하는 저항력을 이용한다. 따라서 오리피스 내의 유체 흐름에 의해 발생하는 감쇠력을 정확히 추정할 수 있다면, 댐퍼의 설계에 유용한 자료가 될 것이다.

본 연구에서는 다양한 댐퍼에 적용이 가능한 단순한 실린더형 유체 댐퍼의 동특성을 실험적으로 규명하고자 하였다.

2. 동특성 실험

실린더형 유체댐퍼의 동특성을 실험적으로 규명하기 위해 Fig. 1에 보이는 것과 같은 실험체를 제작하였다. 실험체는 원형 실린더 내부에 원형 피스톤이 설치되어 있으며, 실린더와 피스톤 사이의 side clearance 가 오리피스 역할을 하게 된다. 오리피스 크기에 따른 감쇠력의 특성을 살펴 보기 위해 4개의 side clearance 크기를 고려하였으며, 2개의 다른 유체 (cylinder oil, silicon oil)를 실린더 내부에 주입하였다. 따라서 실험체는 총 8개 되며, 이를 Table 1에 정리하였다.

실험을 위해 전용 유압식 액추에이터를 제작하였다. 액추에이터의 사양은 Table 2에 간략하게 정리하였다. 고주파

수영역(50 Hz 이상)에서의 성능을 보장하기 위해 정압 베어링을 액추에이터 내부에 설치하였다. 실험체인 경우에는 정압 베어링을 설치할 수 없으므로, 고주파영역에서 실험이 가능하도록 특수한 코팅재 및 seal을 사용하였다.

실험은 10 Hz ~ 90 Hz 주파수영역에서 약 10 Hz 간격으로 수행되었으며, 변위는 각 주파수에서 ± 0.5 mm, ± 1.0 mm, ± 1.5 mm 및 ± 2.0 mm로 설정하였다. Table 1에서도 알 수 있듯이 유체는 온도에 따라 점성이 변화하고, 점성은 감쇠력의 크기를 지배하는 주요 인자 중의 하나이다. 따라서 thermocouple를 이용하여 실험 중 실린더 내부의 유체 온도를 측정하였으며, 발생하는 힘과 변위는 load cell과 LVDT를 이용하여 각각 측정하였다. Fig. 2의 실험 모습에서 유압식 액추에이터, 실험체, load cell, thermocouple 등을 확인할 수 있다.

3. 실험결과 분석

실린더형 유체댐퍼의 등가 감쇠계수를 구하는 이론식은 아래의 식 (1)과 같다. 감쇠력은 유체의 눌림에 의해 발생하는 압축(squeeze) 효과와 오리피스를 통과할 때 발생하는 효과로 대별할 수 있으나, 본 연구에서 사용된 실험체인 경우에는 대부분 압축 효과는 크지 않을 것으로 계산되었다.

$$c_{eq} = \frac{3\pi}{32}(\text{viscosity})(\text{cylinder diameter})^3 \cdot \left(\frac{\text{cylinder diameter}}{\text{face clearance}^3} + 8 \frac{\text{side length}}{\text{side clearance}^3} \right) \quad (1)$$

Load cell로 측정된 힘은 실린더 내부의 피스톤이 움직일 때 발생하는 관성력, 감쇠력 및 마찰력으로 구성될 것으로 추정할 수 있다. 사용된 실험체에는 저 마찰용 코팅재를 사용하였으므로, 마찰력은 무시할 수 있다고 가정하였다. 따라서 측정된 힘은 아래 식 (2)과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{loadcell} = m_{moving}\ddot{x} + c_{eq}\dot{x} \quad (2)$$

본 연구에서 원하는 힘은 감쇠력이므로 측정된 힘에서 관성력을 제거해야 한다. 본 연구에서는 정현파 가진 실험을 수행하였으므로, 식 (2)에서 보듯이 관성력과 감쇠력은 90°의 위상차를 이론적으로 가지고 있다. 따라서 식 (3)을 이용해서 구할 수 있으며, 관성력은 이론적으로 계산할 수 있

† 교신저자 : 한국기계연구원

E-mail : sjmoon@kimm.re.kr

Tel : (042) 868-7428, Fax : (042) 868-7418

* 한국기계연구원

** (주) 세영인더스트리

다.

$$|c_{eq}\dot{x}|^2 = |F_{loadcell}|^2 - |m_{moving}\ddot{x}|^2 \quad (3)$$

Fig. 3은 동일한 실험체에 대해 일정한 변위에서 주파수에 따른 계측된 힘을 보여 주고 있다. 1차식으로 curve fitting한 경우와 2차식으로 curve fitting한 경우도 같이 보여주고 있는데, 2차식으로 curve fitting이 잘 되는 것을 알 수 있다. 즉 주파수의 제곱에 비례하는 성분이 있다는 것을 알 수 있으며, 이는 관성력이 포함되어 있다는 것을 나타내고 있다.

실험은 Case 1부터 Case 8까지 각 주파수 및 변위에서 수행되었다. 유체의 온도는 실험을 할 때마다 연속적으로 변화하고 또한 외부에서 일정하게 유지하는 것이 매우 어렵기 때문에 여러 번의 반복 수행을 통해 온도에 따른 감쇠력의 변화를 살펴보고자 하였다.

4. 결 론

다양한 댐퍼에 적용이 가능한 단순한 실린더형 유체 댐퍼의 동특성을 실험적으로 규명하고자 본 연구를 수행하였다. 매우 단순한 실험체를 대상으로 수행하였으나, 실험 주파수영역이 고주파수 영역이어서 실험장치의 제작에 많은 난관이 있었다. 그럼에도 불구하고 실험장치의 제작 및 실험체에 대한 실험결과를 이용하여 원하는 자료를 확보할 수 있게 되었다. 이 자료는 다양한 구조물 및 기계장치에 사용되는 오리피스 유체댐퍼, 비틀림 댐퍼 등에 활용될 수 있을 것으로 확신한다.

후 기

본 논문의 내용은 민군겸용기술사업인 “해상/육상 추진 및 발전용 디젤엔진의 비틀림 댐퍼 국산화 개발”의 연구결과 중 일부분입니다.

Table 1 Test specimen

Case no.	Side clearance	Oil
Case 1	0.5 mm	Cylinder
Case 2	1.0 mm	Cylinder
Case 3	1.5 mm	Cylinder
Case 4	2.0 mm	Cylinder
Case 5	0.5 mm	Silicon
Case 6	1.0 mm	Silicon
Case 7	1.5 mm	Silicon
Case 8	2.0 mm	Silicon
Item	Cylinder oil	Silicon oil
Specific gravity	0.937 @ 15°C	1.070 @ 25°C
cSt	222 @ 40 °C / 20 @ 100 °C	400 @ 25°C
Viscosity (Pa·s)	0.208 @ 40 °C / 0.019 @ 100°C	0.428 @ 25°C

Table 2 Hydraulic actuator for test specimen

Item	Property
Frequency (Hz)	0 ~ 100
Stroke (mm)	0 ~ ± 100
Load (N)	0 ~ 10,000

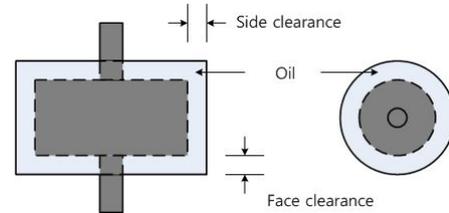


Fig. 1 Drawing of test specimen

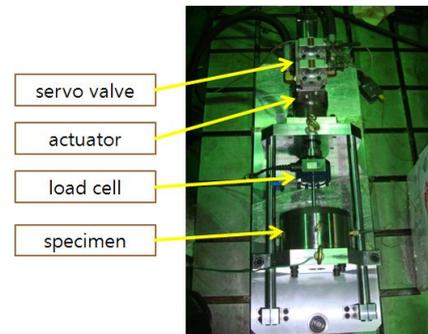


Fig. 2 Test set-up

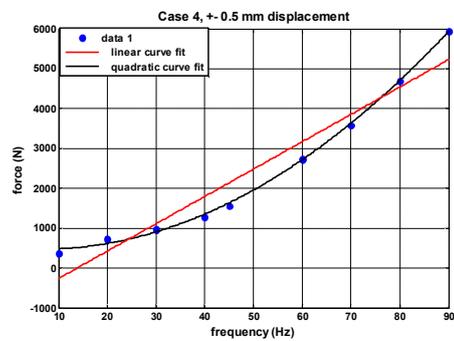


Fig. 3 Frequency vs. measured force

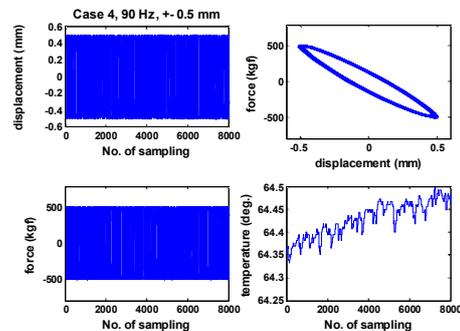


Fig. 4 An example of the testing result