

환형 오리피스 유체 점성댐퍼의 온도 의존성에 대한 실험적 연구

Experimental Study on the Temperature Dependency of Annular Orifice Fluid Viscous Damper

박진영† · 이완하* · 조현진* · 오 주* · 박건록*

Jin-young Park, Wan-ha Lee, Hyun-jin Cho, Ju Oh and Kun-nok Park

1. 서 론

구조체에 입력되는 에너지를 소산하기 위하여 재료의 점성에 의존하는 점성 및 점탄성 감쇠기를 적용할 수 있다. 이러한 점성 및 점탄성 감쇠기는 건설 구조물의 진동제어 및 지진력 흡수를 위하여 다양한 설치 방법으로 적용되어 왔다. 건설 구조물에 적용되는 감쇠기는 대부분 외부환경에 노출되어 있으며 특히 우리나라의 경우 계절에 따른 온도 변화가 크게 작용한다. 유체 댐퍼는 유체 점도에 따라 감쇠력의 변화가 크며 유체의 점도는 온도에 대하여 직접적인 영향을 받는다. 따라서, 유체 댐퍼의 외기 온도에 대한 영향 평가가 필요하며 온도 상태에 따른 속도 의존성 분석이 요구된다.

본 연구에서는 오리피스 유체 댐퍼(OFD: Orifice Fluid Damper)의 외기 온도에 대한 영향을 평가하였다. OFD는 4시간 동안 항온 챔버에 거치되어 일정시간 온도 유지를 한 상태에서 주파수 의존성 실험을 수행하였으며 외기온도에 의한 감쇠력에 직접적으로 영향을 주는 것으로 나타났다.

2. 본 론

2.1 OFD 댐퍼의 설계

(1) 성능 설계

본 연구에서 적용한 환형 유로 형상의 오리피스에 대한 성능예측은 다음과 같은 가정을 설정하여 수행하였다.

- ① 시험체에 적용한 유체의 물리적 특성값은 유체공급 업체에서 시험한 자료를 준용
- ② 유체댐퍼는 이상적인 조건에서 가동되는 것으로 가정
- ③ 유체온도의 변화는 없는 것으로 가정: 1cycle에 대하여 분석
- ④ 탄성체의 강성은 고려하지 않음

† 교신저자; 유니슨(주) 기술연구소
E-mail : parkjy@unison.co.kr
Tel : (041) 620-3433, Fax : (041) 552-7416

* 유니슨(주) 기술연구소

댐퍼의 피스톤 거동 속도에 따른 강성 구현은 Couette flow와 Poiseuille flow를 고려하여 감쇠력을 산정하였으며 속도에 비례하는 선형 점성 거동(Linear viscous)을 하는 것으로 예측할 수 있었다.

실험시 적용되는 삼각파형(Trigonal) 변위제어에 대하여 선형 점성 거동을 예측하였으며 최대 변위량인 $\pm 15\text{mm}$ 와 최대 설계 주파수인 4.53Hz 로 작동하는 경우에 대하여 분석하였다. 삼각파형 변위입력 모델링 결과는 다음과 같으며 해당 주파수에 대한 피스톤의 속도는 $\pm 271.8\text{mm/sec}$ 가 된다. 따라서 1cycle의 도래 시간은 $1/4.53\text{sec}$ 가 되며 입력 변위는 그림 1의 그래프이며 성능설계는 그림 2의 감쇠력-변위 변위 그래프와 같이 예측할 수 있다.

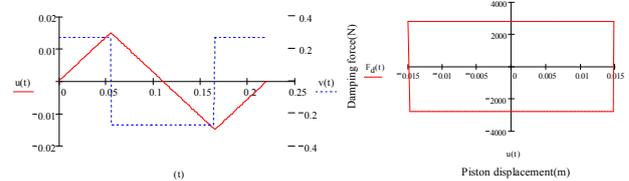


그림 1 입력 변위와 속도 그림 2 감쇠력-변위 그래프

(2) 댐퍼 제작

본 연구에서 개발 및 제작하고자 하는 점탄성 유체 댐퍼의 개발을 위하여 오리피스를 이용한 점성 유체 댐퍼 설계와 제작을 선행하였다. 오리피스를 이용한 유체 댐퍼(Orificed Fluid Damper: OFD)는 실린더, 일정 유격(orifice)을 유지하는 피스톤, 댐퍼의 길이방향으로 발생하는 감쇠하중을 지지하는 로드(rod)로 구성된다. 대상 점성댐퍼는 탄성체를 적용한 댐퍼 캡을 알루미늄으로 제작하여 시험을 수행하였다.

점성댐퍼의 온도 의존성 분석을 위하여 제작된 시험체는 다음의 도면과 같이 설계되었으며 최대 스트로크는 $\pm 15\text{mm}$ 이며 환형 오리피스의 간격은 0.5mm 로 제작하였다. 적용 유체는 동점도 $71.2\text{cst}(@40^\circ\text{C})$, 밀도 $3.54\sim 3.74\text{ g/cm}^3$ 의 하이드로카본유를 사용하였다. OFD 댐퍼의 부품 사진과 도면은 그림 3과 같다.

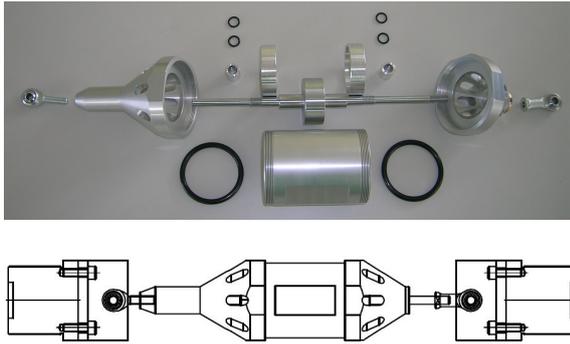


그림 3 OFD 댐퍼의 부품 및 시험체 도면

2.2 OFD의 특성 시험

(1) 시험 개요

내부 온도를 확보하기 위하여 각 온도조건에 대하여 4시간 항온 챔버 거치를 실시하였으며 주파수에 따른 감쇠하중을 측정하였다.

동특성 시험은 목표 주파수인 4.53Hz 이하에서 주파수의 의존성, 변위 의존성, 온도 의존성에 대하여 변수를 다음과 같이 설정하였다. 온도 변수는 -20℃, 0℃, 25℃, 40℃, 70℃로 하였으며 주파수 변수는 ±15mm 변위로 0.01Hz, 0.02Hz, 0.1Hz, 0.2Hz, 0.5Hz, 1.0Hz, 2.0Hz, 3.0Hz는 ±10mm로, 4.5Hz는 ±7.5mm로 설정하여 실험을 수행하였다.

(2) OFD의 감쇠력 온도 의존성

표 1은 항온챔버의 각 온도상태에서 주파수별 실험을 수행한 결과이다. 2.0Hz(±15mm)를 기준으로 실험결과를 살펴보면 최대 감쇠력을 비교하면 -20℃에서는 10.0kN, 0℃에서 5.4kN, 25℃에서 2.41kN, 40℃에서 1.39kN, 70℃에서는 0.79kN이 측정되었다. 또한, 그림 4에서와 같이 각 온도에서의 평균값을 취한 후 지수함수로 온도에 따른 감쇠특성은 $y = 5.08e^{-0.0285x}$ 로 분석되었다. 선형 점성거동을 나타내는 유체 댐퍼의 경우에 감쇠력 예측 시 분석된 지수함수를 적용하여 산정할 수 있다.

그림 5는 온도 의존성 실험 결과를 정리한 그래프이며 각 온도에 대하여 주파수별 최대 감쇠하중을 도식화하였다. 그

림에서 보는 바와 같이 저온에서는 감쇠력 증가가 2차곡선의 형상을 보이는 반면 고온으로 갈수록 직선화하는 경향을 보였다. 2.0Hz, 3.0Hz, 4.5Hz 실험에서는 속도는 유사하나 시험기기의 제약으로 변위를 감소하여 실험을 진행하였다.

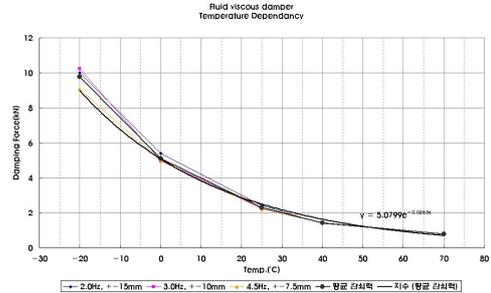


그림 4 Temp.-Force Curve

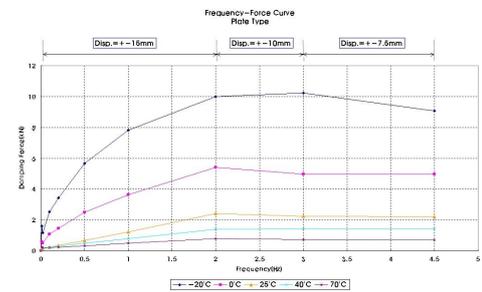


그림 5 Frequency-Force Curve

3. 결 론

점성 댐퍼의 경우에 반복회수의 증가에 따라 유체의 환형 오리피스 통과 시에 발생하는 마찰과 압력 변화에 의하여 유체 온도 상승이 동반되며 점성 저하가 나타났다. 온도에 따른 감쇠특성을 제안하였으며 감쇠력 산정 시 적절하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

점성댐퍼의 감쇠특성에 대한 수학적 모델링 결과 40℃, 4.53Hz, ±7.5mm인 경우에 1.403kN으로 분석되었으며 실험결과에서는 +1.492kN, -1.3403kN으로 측정되었다. 실험평균값은 1.416kN이므로 예측모델이 1% 이내의 정확도를 보였다.

표 1 OFD 온도 의존성 실험 결과

항온챔버의 온도(4시간 거치)에 따른 주파수별 감쇠거동 실험					
-20℃	0℃	25℃	40℃	70℃	