

탄성체가 적용된 점탄성 유체 댐퍼의 주파수 의존성에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Frequency Dependency of Elastomer applied Visco-Elastic Fluid Damper

이완하*·박진영*·조현진*·오 주*·박건록*

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

1. 서 론

본 연구에서는 점탄성 유체 댐퍼의 개발을 위하여 오리피스를 이용하여 점성거동을 확보하고 탄성 거동을 포함하기 위하여 탄성체 적용 구조를 적용하여 시험체를 제작하였다. 또한, 주파수 의존성을 분석하기 위하여 25℃의 상온에서 속도제어 실험을 수행하였다. 오리피스를 이용한 점성거동과 탄성체에 의한 탄성거동을 조합하기 위하여 피스톤 로드(rod)와 탄성체를 기계적으로 일체화하여 점탄성 거동이 가능하도록 설계하였다. 댐퍼의 양단에 탄성체가 적용되었으며 변위에 따른 국부 응력 발생을 지연시키기 위하여 유한요소 해석을 통하여 형상 최적화를 실시하였다.

본 연구의 목적은 탄성체가 적용된 유체 댐퍼의 동일 변위에 대한 주파수 의존성을 실험을 통하여 분석하는 것이며 유체 댐퍼의 점성거동에 탄성체의 적용에 따른 장치의 점탄성 거동 특성을 파악하는 것이다.

2. 본 론

2.1 점탄성 유체 댐퍼의 제작

(1) 탄성체의 해석

점성 거동을 담당하는 설계는 환형 오리피스는 댐퍼의 피스톤 거동 속도에 따라 Couette flow와 Poiseuille flow를 고려하여 감쇠력을 산정하였으며 속도에 비례하는 선형 점성 거동(Linear viscous)을 하는 것으로 예측하였다.

적용탄성체는 그림 1의 형상설계와 같이 댐퍼의 양 쪽에 장착된다. 외형치수는 외경 $\phi 50\text{mm}$, 내경 $\phi 15\text{mm}$, 두께 15mm로 결정되었다. 댐퍼 적용고무의 기본 물성 시험결과를 바탕으로 유한요소 해석을 진행 하였다. 해석은 Ansys

와 Midas FEA 프로그램을 사용하여 각각의 결과를 비교 하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 적용고무와 강제와의 접촉부위와 적용고무의 응력 분포를 분석하여 탄성체의 형상을 결정 하였다.

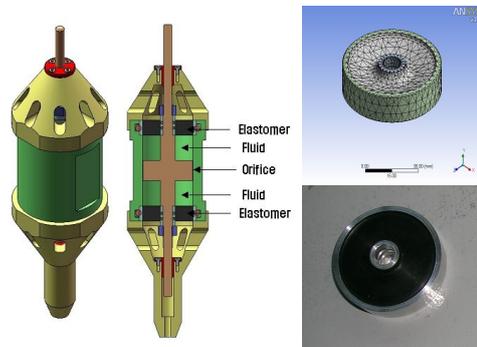


그림 1 탄성체가 적용된 유체 댐퍼

(2) 댐퍼 본체 설계

본 연구에서 적용된 탄성체가 포함된 유체 댐퍼는 오리피스에 의한 저항력이 탄성체의 강성보다 낮은 저속구간에서는 탄성체에 의하여 감쇠하중이 결정된다. 따라서 전체적인 속도에 따른 감쇠력 변화는 릴리프 밸브가 적용된 유체 댐퍼의 거동과 유사하다. 또한, 양단에 설치된 탄성체에 의하여 유체의 온도에 의한 체적 변화가 수용될 수 있으므로 별도의 어큐뮬레이터는 설치하지 않았다.

그림 2에서 보는 바와 같이 환형 오리피스가 적용되었으며 오리피스 간격은 0.5mm이다. 피스톤 헤드의 면적(A_h)에 대한 오리피스 면적(A_o)의 비(A_h/A_o)는 21.98로 설계되었다.

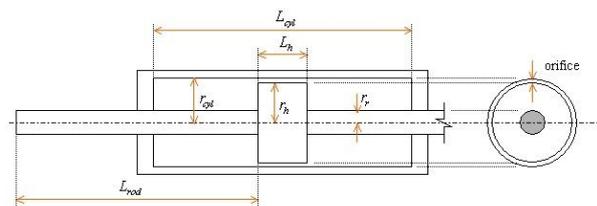


그림 2 환형 오리피스 유체댐퍼의 개념도

† 교신저자; 유니슨(주) 기술연구소
E-mail : whlee@unison.co.kr
Tel : (041) 620-3432, Fax : (041) 552-7416

* 유니슨(주) 기술연구소

표 1 실험 결과

Stroke (mm)	7.5									
Frequency (Hz)	0.01	0.02	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4.5	
Velocity (mm/sec)	0.3	0.6	3	6	15	30	60	90	135	
Force (kN)	Max	1.06	1.07	1.22	1.29	1.47	1.61	1.83	1.99	2.29
	Min	-1.00	-1.04	-1.20	-1.28	-1.45	-1.59	-1.82	-2.01	-2.30

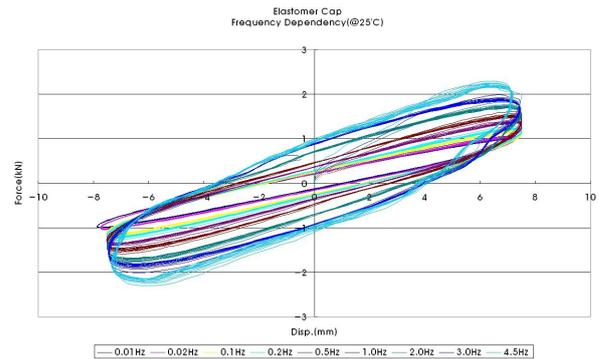


그림 3 주파수 의존성 실험

(3) 재료 물성

댐퍼에 적용된 유체는 하이드로카본유가 적용되었으며 40°C에서 절대점도 0.280Pa·sec이며 동점도는 71.2 cSt이다. 밀도는 3.54~3.74g/cm³이며 가용온도범위는 -40~130°C이다.

2.2 점탄성 유체 댐퍼의 실험

(1) 실험개요

온도에 따른 주파수 의존성을 파악하기 위하여 25°C 실험실 상온에 시험체를 4시간 거치를 하였다. 시험기의 성능 한계로 인하여 2.0Hz까지 ±15mm의 변위로 가력하였으며 3.0Hz에서는 ±10mm, 4.53Hz에서는 ±7.5mm의 변위로 수행하였다. 각 시험변수에 대하여 12cycle을 적용하였으며 각 주파수와 변위에 대하여 감쇠하중 데이터를 수집하였다. 또한, 설정 변수에 대한 의존성 파악을 위하여 감쇠력의 최대 절대값에 대하여 의존도 평가를 실시하였다.

(2) 실험결과 분석

그림 3은 상온(25°C)에서 주파수 의존 실험 전체를 보여 주고 있다. 상온 상태이므로 유체의 점도와 탄성체의 경도가 안정되어 있는 상태인 것을 실험결과를 통하여 알 수 있었다. 시험 초기 사이클에서의 감쇠력과 12회 반복 시 감쇠력 저하가 미소하게 발생한 것을 관찰할 수 있었다. 점탄성 특성을 잘 나타내어 주고 있으며 주파수 증가에 따라 감쇠하중의 증가가 관찰되었다. 0.01Hz에서는 탄성체의 강성에 의하여 감쇠력이 발현된 것으로 판단할 수 있으며 피스톤 헤드의 속도가 증가함에 따라 강성과 소산 에너지량의 증가가 나타나는 것을 알 수 있었다.

그림 4는 25°C에서 각 주파수에 대하여 감쇠력의 최대 절대값을 추출하여 의존성 추이를 도식화한 것이다. 탄성체에 의하여 저주파수 대역에서 강성이 구현되었다. 동일 변위에 대한 주파수 증가에 따라 감쇠력이 증가되는 현상을 볼 수 있었다. 그림 3에서 보는 바와 같이 피스톤 헤드의 속도에 따라 비선형성을 나타내었다. 탄성체의 강성이 반영된 수학적 모델은 다음의 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$F_d(t) = K_{rubber} \cdot u(t) + C \cdot V^\alpha \quad (1)$$

식 (1)에서 변위에 따른 선형 강성 변화는 탄성체의 강성을 통하여 구현되었으며 0.01Hz의 저속 실험을 통하여 고무의 강성을 파악하였으며 $K_{rubber}=1.056\text{kN/mm}$ 로 분석되었다. 탄성체는 고무로 제작되었으므로 강성에 대한 특성을 반영할 때 속도에 대한 의존성을 보유하지 않는 것으로 판단하고 구성식에서 분리하였다. 감쇠력-속도 곡선에서 비선형성을 표현하기 위하여 커브피팅한 결과 α 는 0.52, C는 0.092kN·sec/mm로 식을 구성하였다. 구성된 식에 의하여 그래프를 작성한 결과 그림 4의 그래프(—)와 같으며 실험 결과를 적절하게 반영하고 있는 것으로 판단된다.

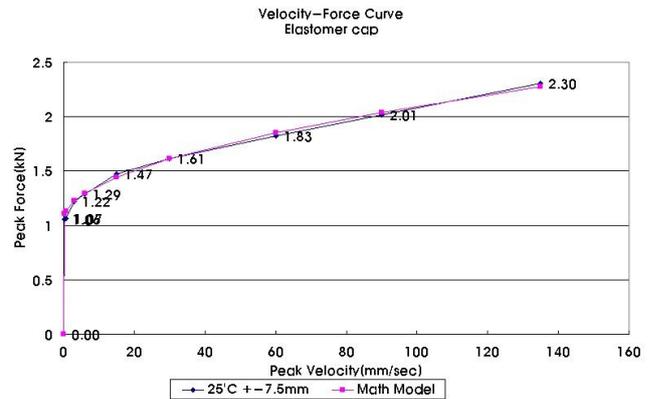


그림 4 헤드 속도에 따른 감쇠력 결과

3. 결 론

탄성체가 적용된 유체 댐퍼는 수학적 모델 구성 시에 속도항에 독립적인 탄성체의 강성과 속도의존성을 지닌 오리피스 점성 감쇠거동이 동시에 고려되어야한다. 속도 의존성은 $CV^{0.52}$, 탄성체의 강성은 $K_{rubber}=1.056\text{kN/mm}$ 로 분석되었다.