

실물크기 점탄성 감쇠기의 동적 특성

Dynamic Characteristics of Full -Scale Viscoelastic Dampers

민 경 원* 호 경 찬** 황 성 호** 김 두 훈***

Min, Kyung-Won Ho, Kyoung-Chan Hwang, Seong-Ho Kim, Doo-Hun

ABSTRACT

This paper focuses on the dynamic characteristics of full-scale viscoelastic dampers through the experimental study. Viscoelastic dampers, which dissipate the response energy of a building under earthquake excitation, make a role of increasing damping capacity of the building. Therefore, it is important to recognize the damping behavior of viscoelastic dampers. Full-scale viscoelastic dampers are made of three types of rubbers for experimental test. The hysteretic behavior is obtained through the load-deformation experiment over the various loading frequencies and damper strains. The experimental results show the good performance of viscoelastic dampers under earthquake excitations.

1. 서 론

점탄성 감쇠기는 이름에서 볼 수 있는 것과 같이 유체가 가지는 특성인 점성과 금속재료가 가지는 특성인 탄성의 성질을 함께 가지고 있는 재료이다. 이 때, 점탄성 감쇠기에서 탄성의 성질은 점탄성 감쇠기의 특성 중에 강성으로 작용을 하며, 점성의 성질은 감쇠기의 역할을 하는 특성으로서 감쇠기에 들어오는 에너지를 열로 소산시키는 역할을 한다. 따라서, 건물에 설치된 감쇠기의 역할은 건물에 들어오는 작개는 상시의 미풍이나 사람의 이동하중이나 자동차의 진동과 같은 상시진동에서 크개는 지진과 같은 하중이 들어오면 건물에 가해진 하중의 에너지를 감쇠기가 흡수해서 열의 형태로 에너지를 소산시켜서 건물의 진동을 줄여줌으로써 건물 전체로는 감쇠 능력을 높여주는 역할을 하게 된다.

본 연구는 본 학회에 98년 추계에 발표한 '방진용 고무를 이용한 가새형 감쇠기의 진동제어 실험연구'라는 제목으로 연구한 내용을 더 발전시킨 논문이다.' 전년도 논문 문제점을 찾아 보면, 먼저 감쇠기의 크기를 지적할 수 있다. 실험에 사용한 감쇠기의 크기가 너무 작았기 때문

* 인천대학교 건축공학과 교수, 정회원

** 인천대학교 건축공학과 석사과정

*** 유니스기술연구소 소장

에 감쇠기를 실제의 크기로 스케일을 키웠을 경우, 디테일에서 차이가 생겨서 정확한 감쇠기의 특성값을 찾는 데 문제가 있었다. 점탄성 감쇠기의 특성값을 구하기 위한 실험은 일반적으로 하중-변형 실험을 실시해서 감쇠기의 특성값을 찾는다.²⁾ 그리고, 이렇게 해서 구한 데이터를 바탕으로 감쇠기의 특성에 대한 계수값을 파악해서 건물에 적용시 필요한 감쇠기를 설계하고 제작해야 하는데, 전년도에는 감쇠기의 크기가 작아서 하중-변형 실험을 수행을 하지 못하였다. 대신 건물에 감쇠기를 설치해서 진동대 실험을 수행해서, 감쇠기를 설치하기 전과 설치한 후의 데이터를 가지고 감쇠기의 특성값을 역으로 구하는 방법으로 실험을 수행하였다.

본 연구에서는 실제로 사용할 수 있을 정도로 충분히 큰 감쇠기를 제작해서 감쇠기의 하중-변형 실험을 실시하고, 실험에서 구한 데이터를 이용해서 감쇠기의 특성값을 직접 구하는 방법으로 수행하였다. 그리고, 전년도 논문의 결론부분에서 점탄성 감쇠기에 사용된 고무의 소실계수가 작아서 성능이 좋은 재료의 개발이 이루어져야 한다고 했는데, 본 논문에서는 감쇠기에 사용되는 고무의 배합비를 바꾸어 새로 제작한 3 종류의 고무를 가지고 감쇠기의 특성을 파악하였다.

2. 동적특성 실험 및 분석

본 논문에서 사용한 점탄성 감쇠기는 그림 1에서 나타낸 것과 같이 면적은 $45\text{ cm} \times 15\text{ cm} = 675\text{ cm}^2$ 이고, 고무의 두께는 0.6 cm 이고, 감쇠기의 고무는 2 개의 층으로 이루어진 구조이다. 이 감쇠기의 크기는 Soong 등의 연구진이 실제로 제작해서 건물에 적용한 감쇠기의 면적과 두께를 적용한 것이다. 이러한 감쇠기의 크기를 실험에 적용한 이유는 국내에서 생산되는 고무를 가지고 점탄성 감쇠기를 제작했을 때, Soong 이 제작한 감쇠기의 성능과 비교하기 위해서 위와 같은 크기를 사용하였다.³⁾

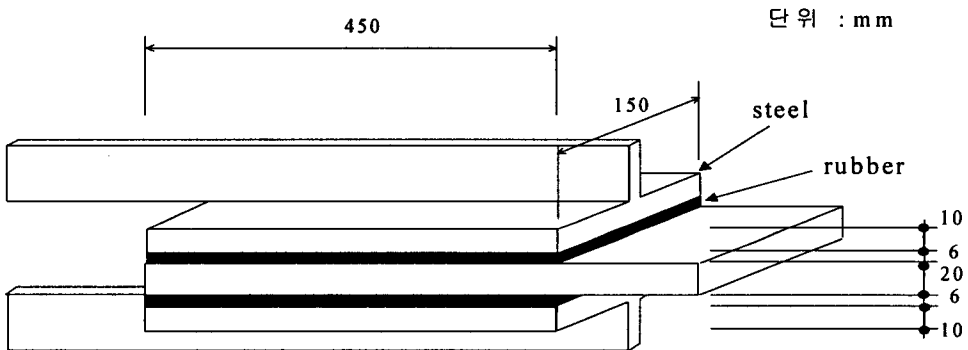


그림 1 실크기 점탄성 감쇠기

감쇠기의 동특성을 파악하기 위한 실험시스템으로는 MTS사의 액츄에이터를 사용하였으며 성능은 최대 10Tonf의 힘을 발생시키며, 최대 10Hz까지 가진이 가능하다. 아래의 그림 2는 실험 시스템의 전경이다.

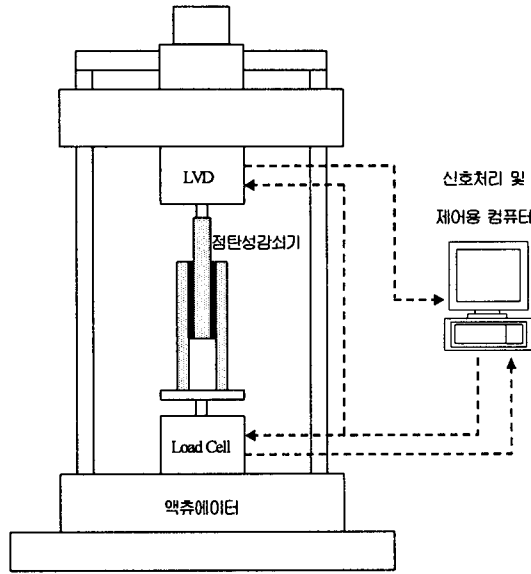


그림 2 실험시스템 전경

각 주파수별 자세한 액추에이터의 성능은 아래의 그림 3에 나타나 있으며 가력주파수와 가진기의 스트로크는 서로 반비례하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 하중의 제어도 MTS사에서 제공하는 프로그램인 Test Star IIs Control System을 사용하였다. 그리고, 데이터의 취득에 있어서도 장비자체에 내장되어 있는 변위측정센서(LVDT)와 하중의 크기를 측정하는 로드셀에서 측정해서 데이터를 얻도록 하였다.

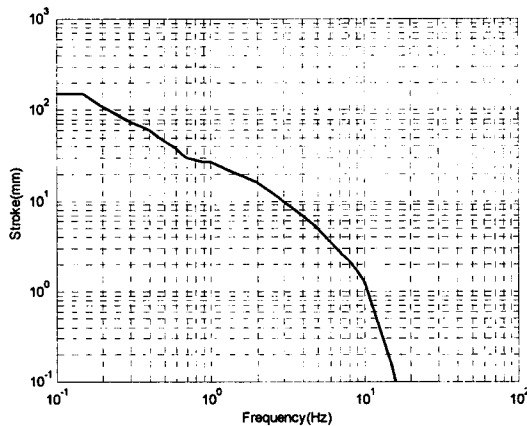


그림 3 액추에이터의 성능곡선

감쇠기의 특성값을 파악하기 위한 하중-변형 실험에 있어서 감쇠기의 크기가 커서 실험기의 고정부분인 그립(Grip)에 직접 연결할 수가 없었다. 그래서 그림 4에서 보는 것과 같이 실험기의 그립이 감쇠기를 고정시킬 수 있도록 감쇠기의 양쪽단에는 강판을 용접해서 감쇠기에 부가설치를

했다. 이렇게 부가 설치한 부분은 강성이 충분히 큰 강판을 용접해서 일체화 시켜서 실험시 잡음이 발생하는 것을 방지하였다.

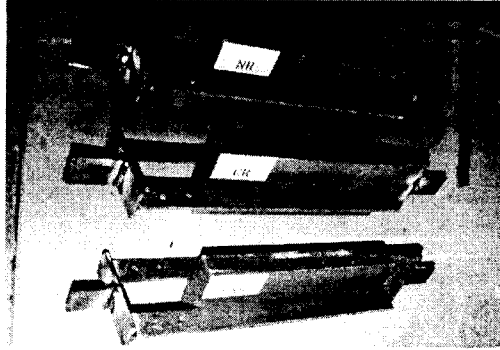


그림 4 실크기 감쇠기의 전경

감쇠기의 성능을 좌우하는 변수는 크게 세가지가 있다. 첫째, 감쇠기의 변형률과 직접관계가 있는 전단변형의 크기이다. 둘째는 가진력의 주파수이며, 마지막으로 감쇠기의 주위 온도가 성능을 좌우하는 변수이다. 본 연구에서 사용한 변수로는 감쇠기의 온도는 실내에서 일정하게 유지하고, 전단변형의 크기인 변위와 가력주파수 만을 변수로 사용하였다. 이 때, 변위와 가력주파수의 범위는 위의 그림 2의 내용인 액츄에이터의 성능을 고려해서 실험변수의 범위가 액츄에이터 성능의 범위를 넘지 않아야 한다. 따라서, 액츄에이터의 성능곡선을 분석하고, 성능곡선의 범위 안에서 적당한 변수를 잡아야 한다. 이러한 방법을 통해서 정한 변수는 먼저 가진주파수가 0.1, 0.5, 1, 2Hz 이며, 변위의 크기는 감쇠기의 고무의 높이에 대한 변형률로 표현하면 10%(0.6mm), 20%(1.2mm), 50%(3.0mm), 100%(6.0mm)로 정했다. 그리고 이 변수들은 액츄에이터의 성능곡선에서 액츄에이터가 충분히 가진할 수 있는 범위에 있는 것을 확인할 수 있다.

실험의 진행방법은 감쇠기의 성능유지를 위해서 가력주파수는 저주파수인 0.1Hz에서 시작해서 0.5Hz, 1Hz, 2Hz 까지 점차로 주파수를 올려가면서 실험을 진행하고, 각각의 주파수에서는 변위가 작은 0.6mm에서 1.2mm, 3.0mm, 6.0mm로 변위를 점점 늘려가면서 진행시켰다. 이렇게 실험을 진행함으로써 큰 변수의 실험을 하면서 발생할 수도 있는 감쇠기의 성능저하를 방지하였다. 그리고 하나의 변수에서 진행된 하중-변형 실험의 수행 사이클 수는 감쇠기의 성능이 변하는 것을 막기위해서 한 번의 실험에서 20 사이클 만을 수행하였다. 그리고, 충분한 시간을 두고 다음 변수의 실험을 진행함으로써 실험중에 감쇠기에서 발생하는 열을 식혀줌으로써 진동시 감쇠기의 온도가 올라가서 성능이 떨어지는 것을 방지하였다.

다음의 그림 5와 그림 6는 점탄성 감쇠기의 하중-변형 곡선으로 액츄에이터 가진으로 구한 결과 중 하나이다. 그리고 실험결과로부터 점탄성 감쇠기의 동적특성인 저장강성, 저장계수, 소산계수, 소실계수를 구하여 표 1, 2, 3에 나타냈다.

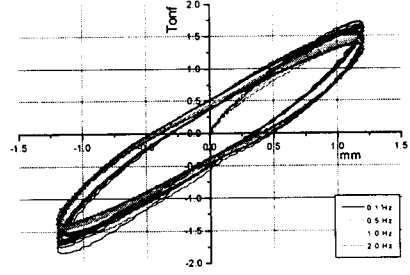
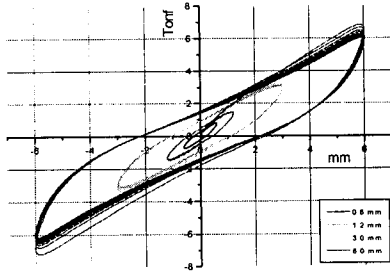


그림 5 PNR 감쇠기의 변위별 하중-변형 곡선 그림 6 PNR 감쇠기의 주파수별 하중- 변형 곡선

다음 표 1,2,3은 각각의 종류별 성능을 나타낸다. 각 변수별 감쇠기의 특성을 보면 감쇠기별 성능에서는 차이를 있지만 변수별 특성값은 같은 경향이 나타나는 것을 알 수 있었다. 변형률을 일정하게 하고 가력주파수를 증가시키면 감쇠기의 강성은 증가하고, 가력주파수를 일정하게 하고 변형률을 증가시키면 감쇠기의 강성은 약간 감소하는 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. 그리고, 소실계수는 CR 과 NR 감쇠기의 성능은 소실계수 η 가 0.2 정도로 성능이 낮고, PNR 감쇠기의 소실계수가 약 0.35로 3 종류의 감쇠기 중에 가장 성능이 좋은 것을 알 수 있었다. 그러나 Soong 등이 실험한 점탄성 감쇠기의 성능이 소실계수가 1.0 이상인 것과 비교하면 PNR 감쇠기의 성능은 1/3 정도로 상당히 낮은 것을 알 수 있어 에너지를 소산하는 역할이 떨어진다.

표 1. CR 감쇠기의 성능

Frequency(Hz)	변형률 Strain(%)	저장강성(K') [kgf/mm]	저장계수(G') [kgf/mm^2]	소산계수(G'') [kgf/mm^2]	소실계수 (η)
0.1	10	2390.0	212.5	30.2	0.14
	20	2080.5	184.9	27.0	0.15
	50	1683.0	149.6	23.2	0.16
	100	1494.8	132.9	20.5	0.16
0.5	10	2597.0	230.9	37.9	0.17
	20	2139.2	190.2	31.4	0.17
	50	1820.2	161.8	28.0	0.17
	100	1543.4	137.2	26.4	0.19
1.0	10	2580.0	229.3	37.6	0.17
	20	2197.2	195.3	33.0	0.17
	50	1865.2	165.8	30.0	0.18
	100	1668.5	148.3	24.9	0.17
2.0	10	2610.0	232.0	39.2	0.17
	20	2375.0	211.1	37.4	0.18
	50	2002.1	178.0	32.2	0.18
	100	1803.2	160.3	24.5	0.15

표 2 NR 감쇠기의 성능

Frequency(Hz)	변형률 Strain(%)	저장강성(K') [kgf / mm]	저장계수(G') [kgf / mm ²]	소산계수(G'') [kgf / mm ²]	소실계수 (η)
0.1	10	1490.6	132.5	26.5	0.20
	20	1478.4	131.4	23.7	0.18
	50	1211.8	107.7	18.8	0.17
	100	993.1	88.3	14.8	0.17
0.5	10	1753.3	155.9	31.2	0.20
	20	1524.7	135.5	25.8	0.19
	50	1296.0	115.2	21.3	0.19
	100	1084.2	96.4	17.5	0.18
1.0	10	1867.0	166.0	34.4	0.21
	20	1696.3	150.8	30.2	0.20
	50	1394.4	124.0	24.3	0.20
	100	1145.1	101.8	19.3	0.19
2.0	10	1997.2	177.5	37.3	0.21
	20	1780.0	158.2	31.7	0.20
	50	1466.6	130.4	26.0	0.20
	100	1291.2	114.8	18.4	0.16

표 3 PNR 감쇠기의 성능

Frequency (Hz)	변형률 Strain(%)	저장강성(K') [kgf / mm]	저장계수(G') [kgf / mm ²]	소산계수(G'') [kgf / mm ²]	소실계수 (η)
0.1	10	1630.5	144.9	37.1	0.26
	20	1310.0	116.5	29.7	0.26
	50	1011.6	89.9	22.9	0.26
	100	836.9	74.4	18.3	0.25
0.5	10	1166.7	103.7	34.1	0.33
	20	1072.7	95.4	31.0	0.33
	50	908.9	80.8	26.6	0.33
	100	876.1	77.9	24.0	0.31
1.0	10	1183.5	105.2	37.5	0.36
	20	1107.2	98.4	34.3	0.35
	50	946.5	84.1	30.6	0.36
	100	909.2	80.8	27.6	0.34
2.0	10	1254.3	111.5	42.2	0.38
	20	1177.6	104.7	40.5	0.39
	50	1008.9	89.7	36.8	0.41
	100	971.2	86.3	28.6	0.33

다음의 그림 6은 다음 표 1,2,3의 내용을 그림으로 나타낸 것으로, 각 감쇠기의 1Hz에서 변형률에 따른 소실계수를 보여주고 있다. 변형률이 변해도 감쇠기의 종류별로 성능이 다를 뿐 감쇠기의 성능은 일정한 것을 볼 수 있다.

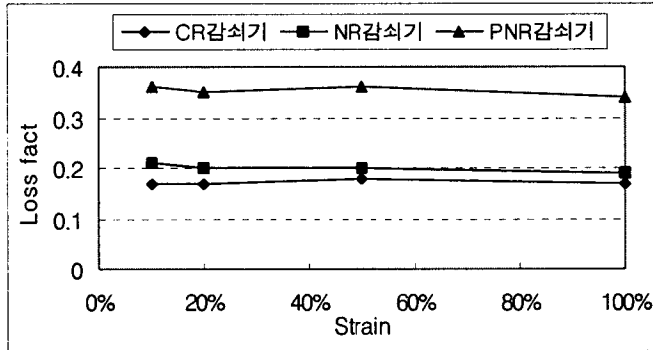


그림 6 점탄성 감쇠기의 소실계수

3. 결론

현재 국내에서 생산되고 있는 방진용 고무를 가지고, 가새형 점탄성 감쇠기를 제작하여 감쇠기의 동적특성을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 3가지의 고무를 실험했는데 건물에 설치했을 때, 감쇠능력과 관계가 있는 감쇠기의 소실계수가 가장 큰 것은 PNR이라는 고무로 약 0.35 정도의 값을 가진다.

현재 미국에서 개발된 점탄성 감쇠기와 절대적인 비교를 한다면, 개발된 점탄성 감쇠기의 소실계수는 1.0 이상이고, 본 연구에서 실험한 감쇠기는 0.35 정도로 소실계수가 많이 작다는 것을 알 수 있다. 즉 같은 크기의 감쇠비를 만들기 위해서 더 큰 감쇠기를 건물에 설치한다면 강성이 더 크게 건물에 작용해서 건물의 고유주파수를 높여주는 역할을 하게 될 것이다. 이것은 건물의 동특성을 바꾸는 역할을 해서 부작용을 줄 수도 있을 것이다.

본 연구에서는 감쇠기 자체의 동특성을 파악하였으나 감쇠기를 건물에 설치했을 때에 대한 연구는 실시하지 못했다. 다음 연구에서는 건물에 감쇠기를 설치했을 때의 감쇠기의 성능을 파악하고, 이 때에 감쇠기 설계의 문제점과 성능을 파악하는 연구가 수행되어야 할 것이다. 그리고, 감쇠기의 내구성과 관련해서 피로실험을 실시했을 때의 성능을 파악하는 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방재기술개발사업으로 수행된 것이며, 유니슨 산업(주)의 연구비 지원에 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. 민경원, 호경찬, 이성경, 김두훈 “방진용 고무를 이용한 가새형 감쇠기의 진동제어 실험연구”
1998 년한국지진공학회 추계학술발표회 논문집
2. T.T.Soong, G.F.Dargush, “Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering”, John Wiley and Sons Ltd, 1997
3. K.C.Chang, M.L.Lai, T.T.Soong, D.S.Hao and Y.C.Yeh(1993), “Seismic Behavior and Design Guidelines for Steel Frame Structures with Added Viscoelastic Dampers”, Technical Report NCEER-93-0009.
4. K.C.Chang, T.T.Soong, S-T,Oh, and M.L.Lai, “Seismic Behavior of Steel Frame with Added Viscoelastic Dampers” Journal of Structural Engineering.” Vol.121.No.10. October. 1995