

점탄성물질 난류댐퍼를 이용한 V형 철골 브레이스 골조의 진동응답해석

A Vibration Response Analysis of Steel Building Frame with V Shape Brace Vibrationally Controlled by Turbulent Flow Dampers Sealed by Visco-Elastic Material

이 호* 이 상 엽**
Lee, Ho Lee, Sang-Yeob

Abstract

This thesis investigates vibration response characteristics of building frames in which dampers are installed. The frames belong to passively vibration-controlled. Structures which utilizes energy dissipation of mechanical dampers provided in the structure. In this thesis, a turbulent flow damper sealed by visco-elastic material was dealt with as the device of passive vibration control. To investigate the resisting force characteristics of the damper, harmonic vibration tests were carried out. Based on the test results, a theoretical model of the damper resistance was presented and a method of identifying the model parameters was proposed.

Shaking table tests of the frame with and without the dampers were carried out and the effectiveness of the damper was examined. The response of the frame with the dampers was reduced to $\frac{1}{2}$ or $\frac{1}{3}$ of the cases without the damper.

keywords : Vibration response analysis, Vibration controlled frame, Turbulent flow damper, Viscoelastic material.

1. 서 론

최근 건축구조물의 지진이나 바람에 대한 진동응답을 제어하는 기술로서 에너지 흡수능력을 갖는 각종의 장치를 도입하여 구조체와 주거환경 또한 정밀기 등 건물에 대한 유해한 진동을 저감시키는 제진구조가 주목되고 있다. 건물의 기능을 유지하는 목적에 대하여 종래의 내진설계법으로는 불충분한 것으로 밝혀졌기 때문에 제진구조의 연구, 개발은 급속한 발전을 하고 있다. 또한 제진구조는 새롭게 건설되고 있는 건물에 이용될 뿐 아니라 기존건물에 설치할 경우 내력과 변형능력을 향상시켜 비교적 용이하게 내진성을 개선할 수 있는 점

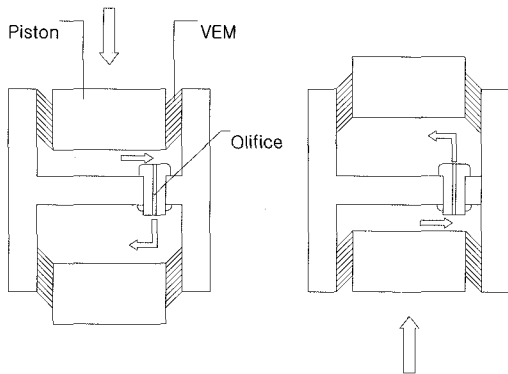
도 그 발전을 빠르게 하고 있다. 본 연구는 골조의 패시브한 제진장치로 고안된 점탄성물질의 난류댐퍼를 가진 제진구조를 대상으로 한다. 댐퍼를 가진 제진구조의 설계에 있어서 지진입력에 대한 응답특성을 명확히 할 필요가 있다. 본 연구에서 사용된 점탄성물질을 이용한 난류댐퍼는 기존의 오일댐퍼의 결점을 개량하는데 목적이 있다. 오일댐퍼는 소형으로 대용량의 저항을 발생시켜 미소진폭의 진동에도 제어가 가능하다는 장점을 가지고 있지만 피스톤과 실린더사이의 유동을 높은 내압하에서 보증할 수 있는 패키징기구가 필요하여 정밀한 가공이 요구되어 고가의 정밀기구가 되고 있다. 본 연구의 댐퍼는 피스톤과 실린더의 공극을 점탄성체로 씌일(seal)함으로써 결과적 극히 단순한 구조의 액압댐퍼가 되고 제작과 구조체의 설치가 용이하게 된다. <그림 1>은 댐

* 정회원 · 상주대학교 건축공학부 부교수, 공학박사

** 정회원 · 영남대학교 건축공학과 겸임부교수, 공학박사

퍼의 개념도를 나타낸다.

댐퍼는 실린더와 피스톤으로 구성되어있다. 상하의 피스톤은 외부형틀에 의해서 상호 연결되어 있고 상하방향의 변위는 제한되어있다. 실린더내부는 다이어프램에 의해서 상, 하의 액체실로 나누어져 있고 오리피스(orifice)가 부착되어있다. 본 연구에서는 이러한 점탄성물질 난류댐퍼의 진동시험결과를 통하여 효율적인 진동제어의 타당성을 검토하였다.



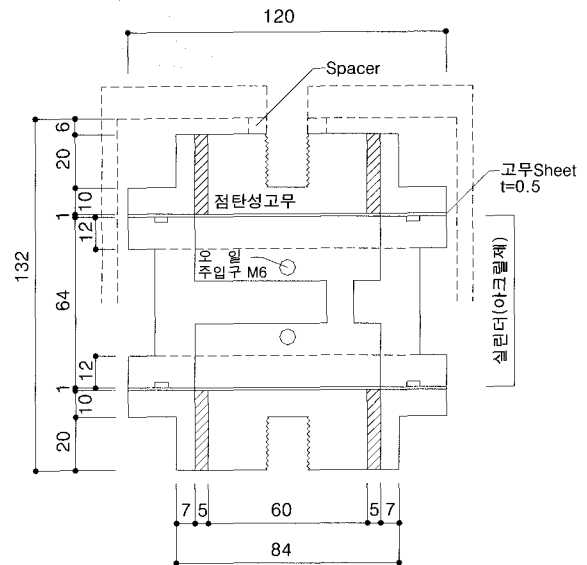
<그림 1> 댐퍼의 개념도

2. 시험체 개요

2.1 댐퍼 시험체

본 연구에서 대상으로 한 댐퍼시험체 상세도를 <그림 2>에 나타낸다. 댐퍼는 상, 하의 피스톤을 강재형틀 안에 상호연결 되어 등간격을 유지하고 봉입된 액체를 씨일하기 위하여 피스톤 외면과 실린더내면의 간극에 아크릴계 고분자 재료를 충전하고 있다. 피스톤이 변위할 시 씨일재로서 사용된 점탄성체는 전단변형이 되고 동시에 봉입된 액체는 오리피스 구멍을 통하여 상, 하 액체실 간을 이동한다. 실린더내부에 봉입된 액체가 오리피스 관내를 고속으로 이동할 때 난류가 발생하여 피스톤 속도의 증가에 대하여 비선형적으로 증대하는 내압을 유발시킨다. 따라서 댐퍼는 실린더 내부에 봉입된 액체가 오리피스 관내를 고속으로 통과할 시의 난류에 의해 발생하는 내압 저항을 주된 저항요소로 하고 내압을 씨일하기 위해 사용된 점탄성체의 전단저항이 동시에 발생하는 매카니즘을 가지게 된다. 댐퍼에 허용치 이상의 변위가 생겨 씨일재가 훼손되는 것을 방

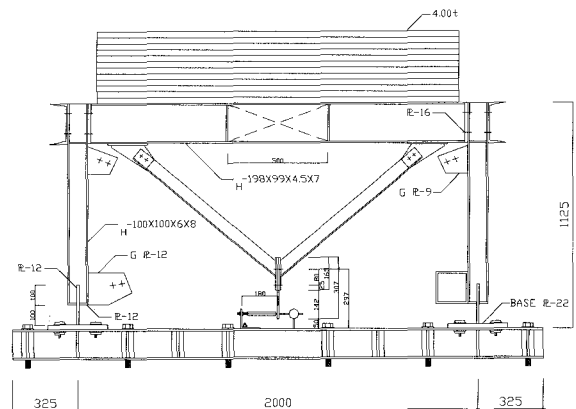
지하기 위해 피스톤과 결합용 외부상자에 스톱퍼(stopper)역활을 하는 스페이스(spacer)를 설치하였다. 설치된 스페이스의 두께가 댐퍼의 허용변위량이 된다. 허용범위이상의 변위가 생기면 피스톤 외부형틀과 피스톤 결합체가 접촉되어 피스톤에 그 이상의 변위가 생기는 것을 방지하게 된다.



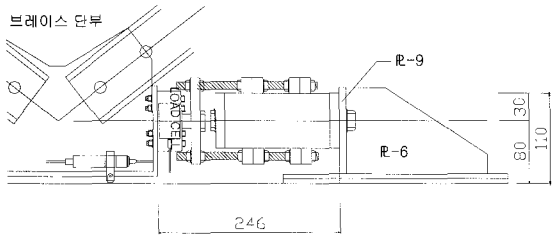
<그림 2> 댐퍼의 단면상세도

2.2 제진골조 시험체

<그림 3>, <그림 4>에 단층제진 V형 시험체를 나타낸다. 시험체형태는 V형의 브레이스를 가진 철골프레임을 직교하는 연결 보로 결합하였고 댐퍼는 프레임의 브레이스 단부에 설치하였다. 시험체 상부에 바닥하중에 상당하는 4t의 무게를 적재하였다.



<그림 3> 단층제진 V형 시험체



〈그림 4〉 V형 댐퍼 설치 상세도

진동대에 의한 가진시험을 쉽게 하기 위하여 주각을 플레이트로 핀 접합하였으며 보의 중앙부에 일 정폭으로 웨브 개구부를 두어 시험체의 강성을 저하 시켰다. 댐퍼 스톱퍼의 작동에 의해서 프레임에 일 정치 이상의 변위가 작동될 때 댐퍼와 브레이스가 일체가 되어 프레임의 강성은 커진다. 본 연구에서 는 <표 1>에 나타난바와 같이 3가지 경우에 대하여 가진시험을 행한다.

〈표 1〉 시험체 종류

시험체 명칭	브레이스 형식	댐퍼	실린더 액체
댐퍼 없는 프레임	V형 브레이스	無	-
V형 브레이스 제진 프레임	V형 브레이스	有	無
V형 브레이스 제진 프레임	V형 브레이스	有	댐퍼오일

V형 브레이스제진은 기둥상부의 가세트 플레이트(Gusset Plate)에 연결된 V형 브레이스의 단부에 댐퍼를 수평으로 설치하여 프레임의 수평변위에 의 해서 생기는 브레이스 단부의 수평방향의 상대변위 로서 댐퍼를 작동시키는 방식이다.(그림 4 참조)

3. 제진골조의 가진실험

3.1 시험목적

본 시험에서는 1/3축소의 개구부를 가진 V형 브레이스의 단층철골프레임 시험체를 대상으로 실험 을 하였다. 시험항목은 아래와 같다.

- (1) 정적가력시험
- (2) 자유진동시험

- (3) 정현파가진시험
- (4) 지진파가진시험
- (5) White Noise가진시험

정적가력시험에서는 수평스프링정수를 구한다. 자유진동시험에서는 얻어진 진동파형에서 각각의 고유진동수 및 감쇠율을 조사 비교 검토한다. 정현 파가진시험에서는 공진곡선을 작성하여 제진효과를 검토한다. White Noise 가진시험에서는 얻어진 진 동파형에서 각각의 고유진동수를 조사하여 비교 검 토한다.

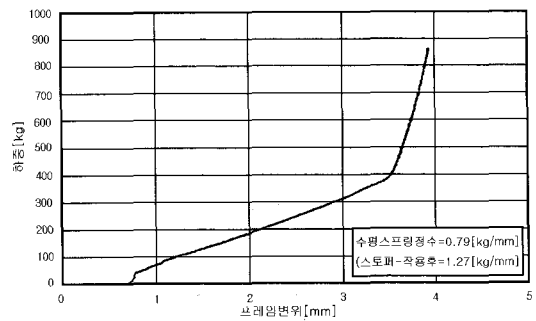
3.2 V형 브레이스 댐퍼 시험결과

3.2.1 정적가력시험

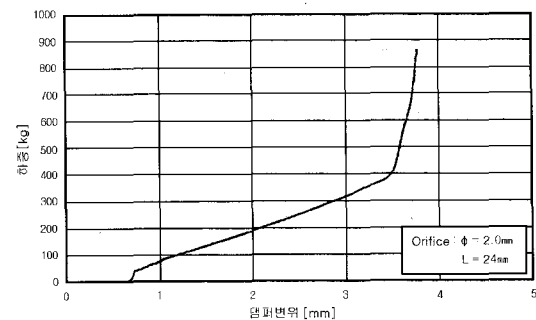
V형 제진프레임의 수평스프링 정수는 <표 2>에 나타낸다. 정적가력의 프레임변위-하중곡선 및 댐퍼 변위-하중곡선을 <그림 5(a)~(c)>에 나타낸다.

〈표 2〉 정적가력시험결과

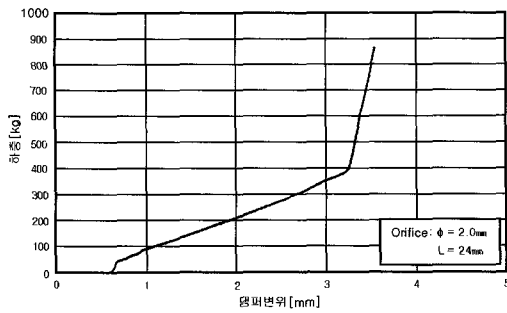
오일	수평스프링정수 [kg/mm]	수평스프링정수[kg/mm] (스톱퍼 작동후)
無	0.79	1.27



(a) 프레임변위-하중곡선

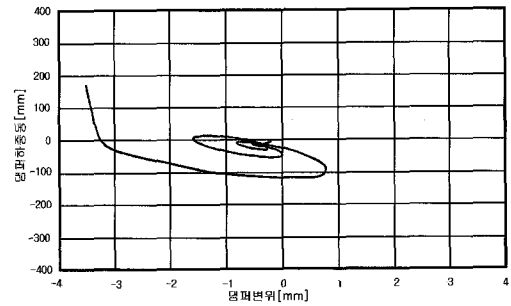


(b) 댐퍼변위-하중곡선



(c) 댐퍼변위-하중곡선

<그림 5> V형 브레이스 댐퍼, 프레임 정적가력 시험 결과(오일 無)



(c) 댐퍼변위-댐퍼하중 이력곡선(II)

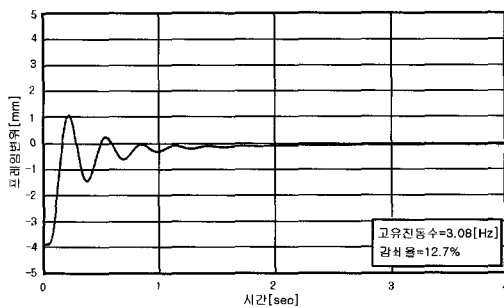
<그림 6> V형 브레이스 댐퍼프레임 정적가력 시험 결과(오일 無)

3.2.2 자유진동시험

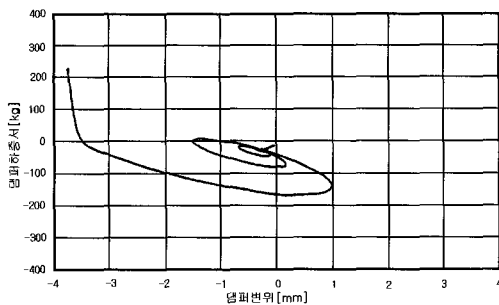
고유진동수, 감쇠율은 <표 3>에 나타낸다.

<표 3> 자유진동 시험결과

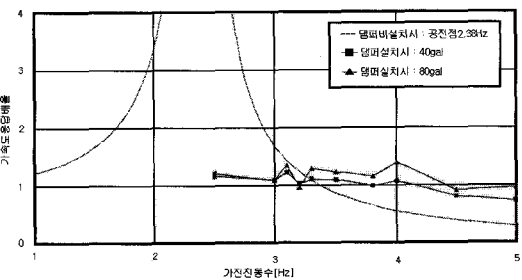
댐퍼	고유진동수[Hz]	감쇠율[%]
有	3.08	12.72
無	2.38	2.17



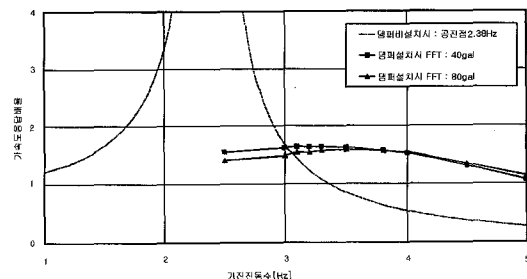
(a) 프레임변위의 계측파형



(b) 댐퍼변위-댐퍼하중 이력곡선(1)



(a) V형 브레이스 FFT 前



(b) V형 브레이스 FFT 後

<그림 7> 공진곡선

3.2.3 정현파 가진시험

가진레벨, 가진진동수, 프레임변위, 댐퍼변위와 댐퍼하중, 프레임가속도, 진동대가속도에 대한 프레임가속도의 응답배율을 <표 4> 및 <표 5>에 나타낸다. 실험치에서 구한 공진곡선에 연속성이 없는 것으로 확인되었으며 진동대의 제어능력에 한계가 있는 것이 하나의 원인으로 사료된다. 연속적인 공진곡선을 얻기 위하여 진동대가속도, 프레임가속도의 FFT해석(Fast Fourier Transform)을 하였으며, 그 결과 얻어진 공진곡선을 <그림 7(b)>에 나타낸다.

<표 4> 정현파 가진 시험결과(Ⅰ)

(가진레벨 40gal, 오일 有, orifice: ϕ 2.0mm, L=24mm)

가진 진동 수	프레 임 변위 [mm]	댐퍼 변위 서측 [mm]	댐퍼 하중 서측 [kg]	댐퍼 변위 동측 [mm]	댐퍼 하중 동측 [kg]	프레 임가 속도 [gal]	진동 대가 속도 [gal]	가속 도응 답 배율
2.5	1.11	1.09	109.5	1.04	86.6	58.11	48.27	1.204
3.0	1.04	1.02	123.0	0.98	92.7	58.42	53.71	1.088
3.1	1.03	1.01	126.8	0.96	94.2	58.63	48.06	1.220
3.2	1.02	1.00	126.3	0.95	93.5	57.59	56.43	1.021
3.3	1.01	0.99	126.8	0.94	92.9	56.96	51.72	1.101
3.5	0.98	0.96	123.5	0.90	89.4	58.42	53.40	1.094
3.8	0.92	0.90	118.4	0.85	87.6	57.69	58.63	0.984
4.0	0.87	0.85	117.9	0.80	87.3	58.42	54.55	1.071
4.5	0.73	0.71	107.9	0.67	81.0	54.44	67.53	0.806
5.0	0.58	0.56	90.9	0.53	68.6	43.24	58.95	0.734

<표 5> 정현파가진 시험결과(Ⅱ)

(가진레벨 80gal, 오일 有, orifice: ϕ 2.0mm, L=24mm)

가진 진동 수	프레 임 변위 [mm]	댐퍼 변위 서측 [mm]	댐퍼 하중 서측 [kg]	댐퍼 변위 동측 [mm]	댐퍼 하중 동측 [kg]	프레 임가 속도 [gal]	진동 대가 속도 [gal]	가속 도응 답 배율
2.5	1.80	1.75	244.1	1.75	244.1	108.4	93.39	1.160
3.0	1.70	1.62	266.6	1.57	187.5	115.2	105.0	1.097
3.1	1.79	1.59	253.2	1.65	201.0	119.0	88.26	1.349
3.2	1.80	1.57	255.9	1.65	204.0	121.0	126.6	0.955
3.3	1.80	1.54	257.9	1.64	210.3	122.0	94.54	1.290
3.5	1.77	1.49	260.6	1.61	216.8	124.6	101.4	1.228
3.8	1.68	1.39	256.7	1.51	217.2	122.3	106.1	1.152
4.0	1.59	1.32	252.2	1.42	203.6	119.5	85.54	1.397
4.5	1.34	1.11	221.0	1.20	174.0	108.2	118.8	0.910
5.0	1.11	0.94	200.7	1.00	156.2	94.4	97.79	0.966

3.2.4 지진파 가진시험

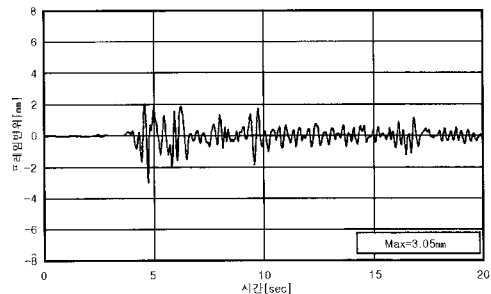
가진레벨, 가진진동수, 프레임변위, 댐퍼변위-댐퍼하중, 프레임가속도, 진동대가속도에 대한 프레임가속도 응답배율을 <표 6>에 나타낸다. 프레임변위, 프레임가속도, 진동대가속도 시각계측파형을 <그림 8(a) ~ (c)>부터 <그림 11(a) ~ (c)>에 나타낸다.

<표 6> 지진파가진 시험결과

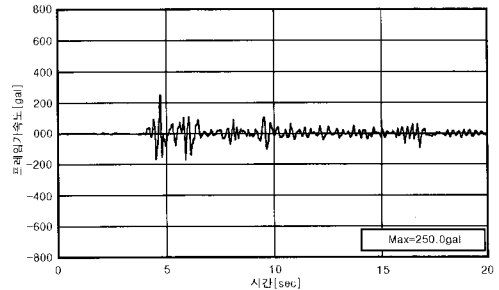
(오일 有, orifice : ϕ 2.0mm, L=24mm)

지진지역	프레 임 변위 [mm]	댐퍼 변위 서측 [mm]	댐퍼 하중 서측 [kg]	댐퍼 변위 동측 [mm]	댐퍼 하중 동측 [kg]	프레 임가 속도 [gal]	진동 대가 속도 [gal]	가속 도 응답 배율
EL-CENTRO.NS 200gal	3.05	2.06	573.6	2.65	412.8	250.02	238.93	1.05
EL-CENTRO.NS 300gal	5.09	2.83	912.6	3.46	601.2	399.54	298.4	1.34
EL-CENTRO.NS 370gal(Ⅰ)	6.21	3.79	1212.9	3.94	879.9	532.09	334.2	1.59
EL-CENTRO.NS 370gal(Ⅱ)	6.36	4.57	851.4	4.17	892.8	546.53	306.56	1.78

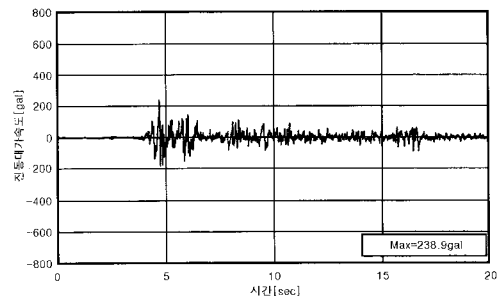
(EL-CENTRO. 1940년 5월18일 Max 326gal)



(a) 프레임 변위의 계측파형

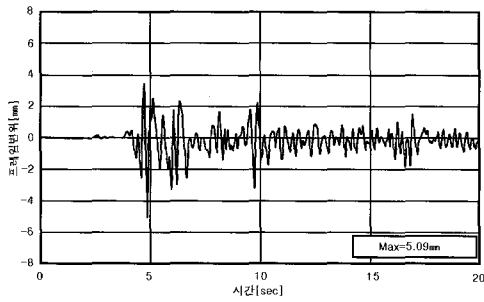


(b) 프레임 가속도의 계측파형

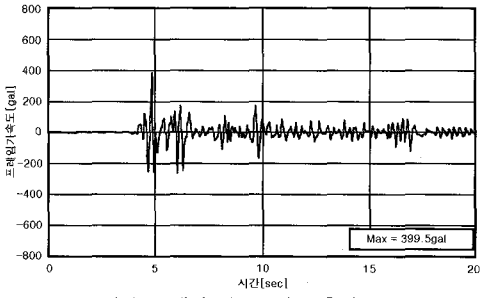


(c) 진동대 가속도의 계측파형

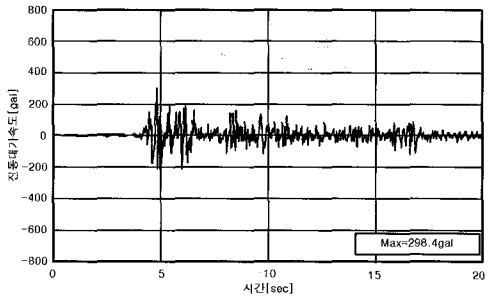
<그림 8> V형 브레이스 댐퍼프레임 (EL-CENTRO, NS : 200gal 가진시험)



(a) 프레임 변위의 계측파형

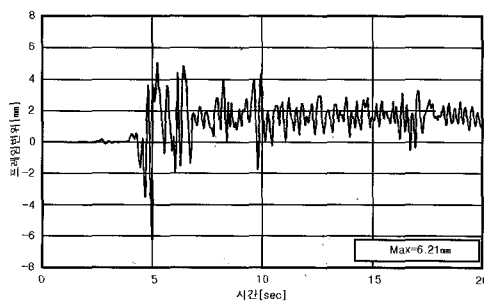


(b) 프레임 가속도의 계측파형

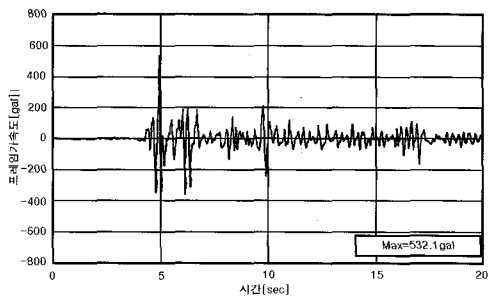


(c) 진동대 가속도의 계측파형

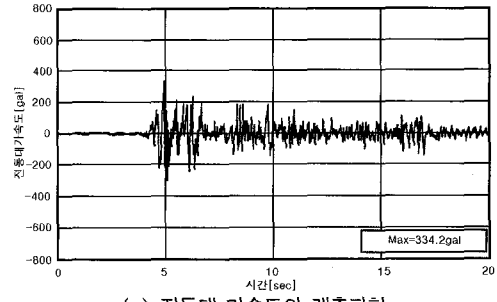
<그림 9> V형 브레이스 댐퍼프레임(EL-CENTRO, NS : 300gal 가진시험)



(a) 프레임 변위의 계측파형

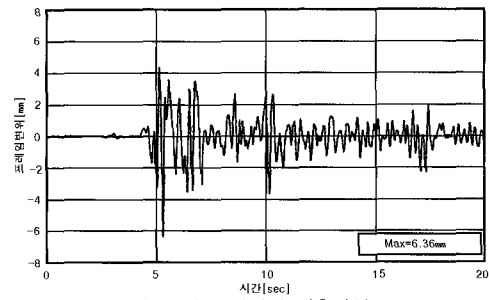


(b) 프레임 가속도의 계측파형

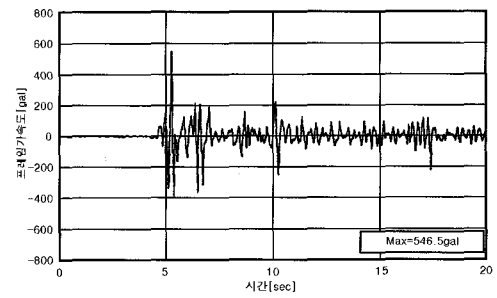


(c) 진동대 가속도의 계측파형

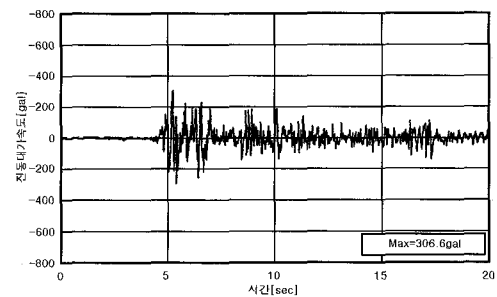
<그림 12> V형 브레이스 댐퍼프레임(EL-CENTRO, NS : 370gal 가진시험 I)



(a) 프레임 변위의 계측파형



(b) 프레임 가속도의 계측파형



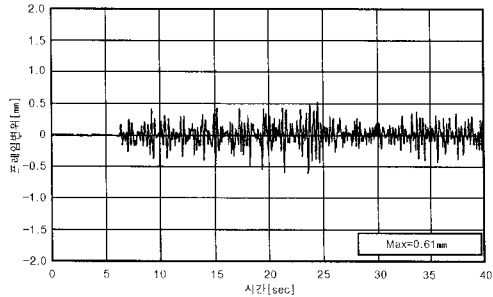
(c) 진동대 가속도의 계측파형

<그림 11> V형 브레이스 댐퍼프레임(EL-CENTRO, NS : 370gal 가진시험 II)

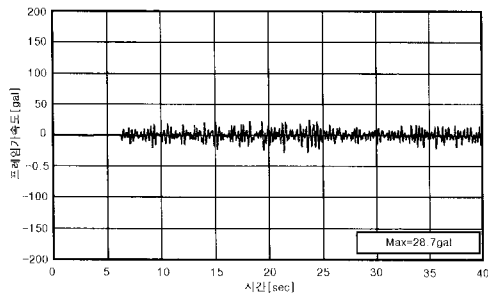
3.2.5 White Noise 가진시험

V형 브레이스 White Noise의 가진시험 결과를 <그림 12(a)~(c)>에서 <그림 19(a)~(c)>까지 계측 파형 및 FFT해석에 의해 얻어진 Fourier 해석결과이다.

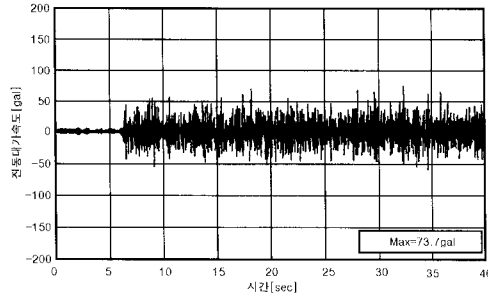
가진레벨, 가진진동수, 프레임변위, 댐퍼변위와 댐퍼하중, 프레임가속도를 <표 7>에 나타내고 Fourier 해석결과를 <표 8>에 나타낸다.



(a) 프레임 변위의 계측파형

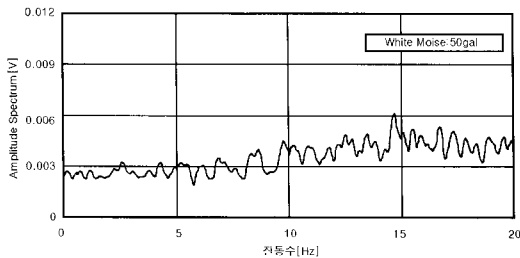


(b) 프레임 가속도의 계측파형

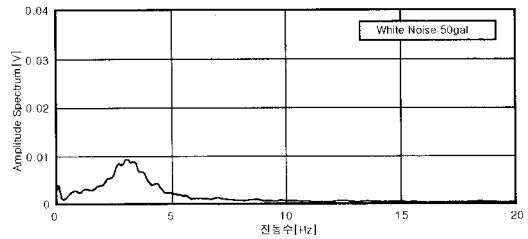


(c) 진동대 가속도의 계측파형

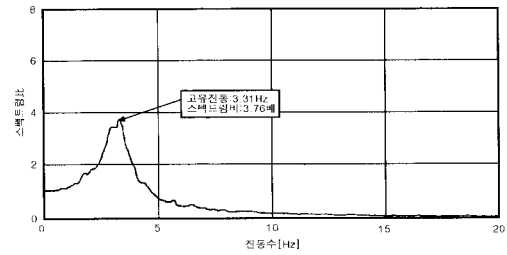
<그림 12> V형 브레이스 댐퍼(오일 無, White Noise : 50gal 가진시험시 계측파형)



(a) 진동대의 Fourier Spectrum

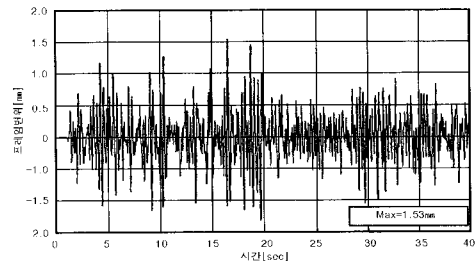


(b) 프레임의 Fourier Spectrum

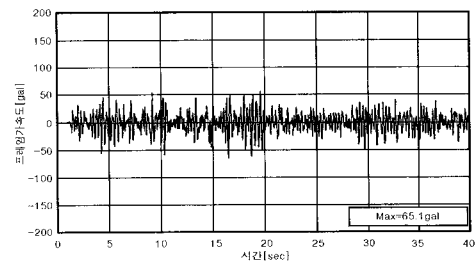


(c) 진동대에 대한 프레임의 Spectrum 비

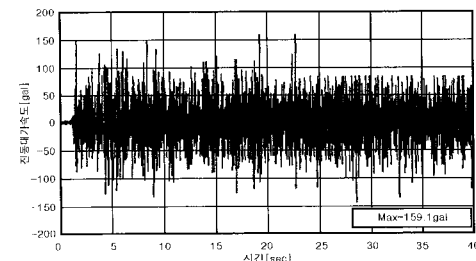
<그림 13> V형 브레이스 댐퍼(오일 無, White Noise : 50gal 가진시험시 Fourier Spectrum)



(a) 프레임 변위의 계측파형

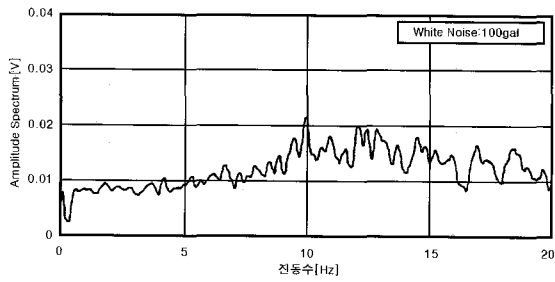


(b) 프레임 가속도의 계측파형

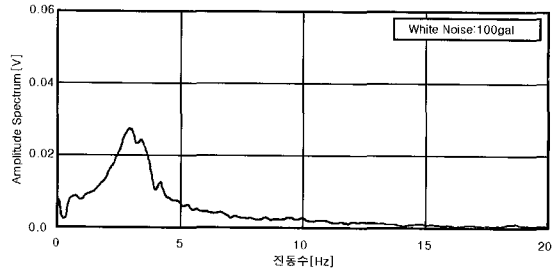


(c) 진동대 가속도의 계측파형

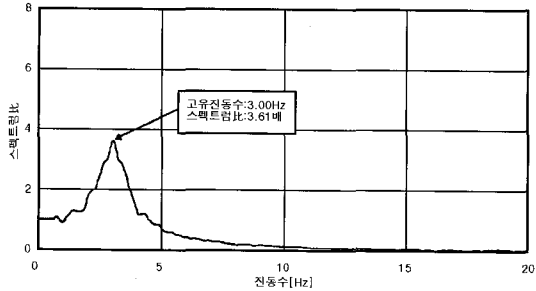
<그림 14> V형 브레이스 댐퍼(오일 無, White Noise : 100gal 가진시험시 계측파형)



(a) 진동대의 Fourier Spectrum

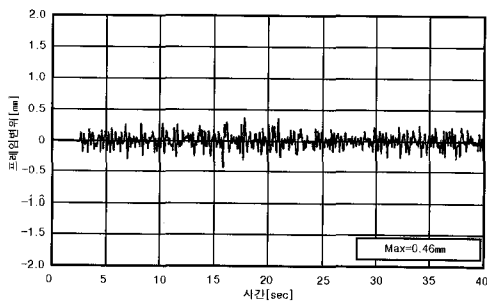


(b) 프레임의 Fourier Spectrum

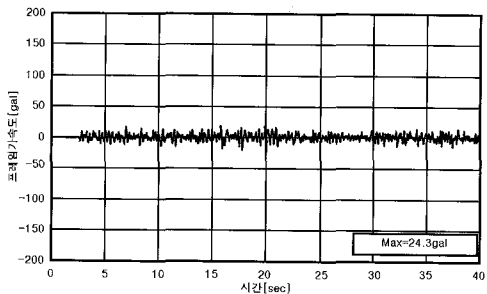


(c) 진동대에 대한 프레임의 Spectrum 비

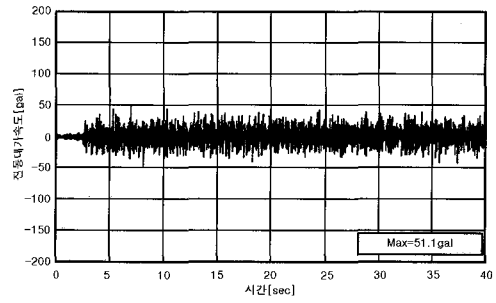
〈그림 15〉 V형 브레이스 댐퍼(오일 有, White Noise : 100gal 가진시험시 Fourier Spectrum)



(a) 프레임 변위의 계측파형

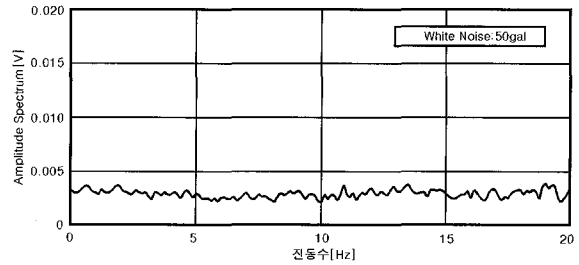


(b) 프레임 가속도의 계측파형

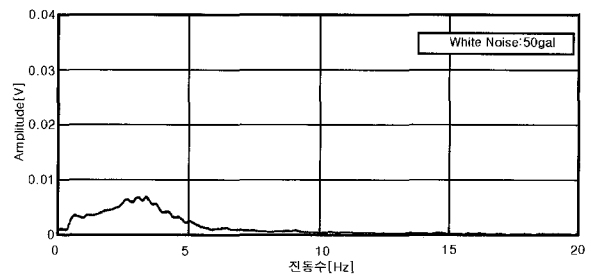


(c) 진동대 가속도의 계측파형

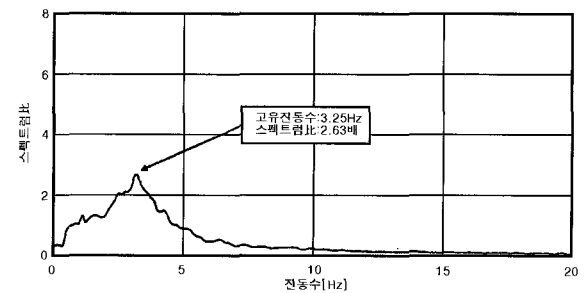
〈그림 18〉 V형 브레이스 댐퍼(오일 有, White Noise : 50gal 가진시험시 계측파형)



(a) 진동대의 Fourier Spectrum

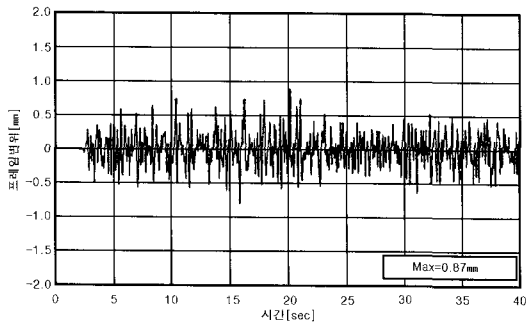


(b) 프레임의 Fourier Spectrum

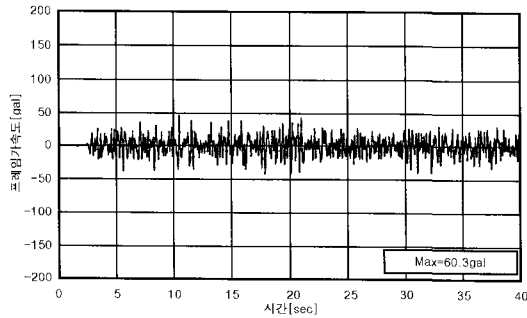


(c) 진동대에 대한 프레임의 Spectrum 비

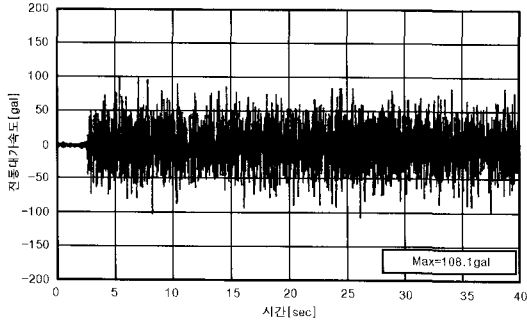
〈그림 17〉 V형 브레이스 댐퍼(오일 有, White Noise : 50gal 가진시험시 Fourier Spectrum)



(a) 프레임 변위의 계측파형

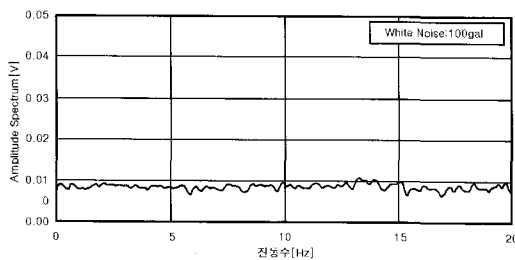


(b) 프레임 가속도의 계측파형

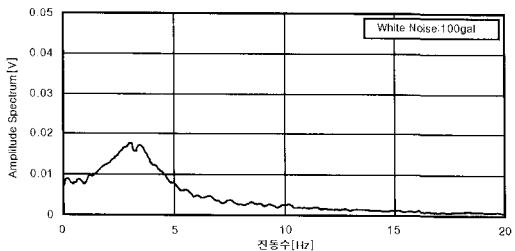


(c) 진동대 가속도의 계측파형

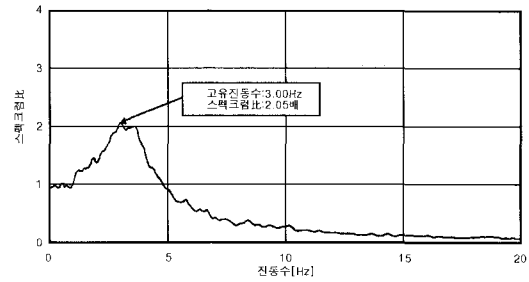
〈그림 18〉 V형 브레이스 댐퍼(오일 有, White Noise : 100gal 가진시험시 계측파형)



(a) 진동대의 Fourier Spectrum



(b) 프레임의 Fourier Spectrum



(c) 진동대에 대한 프레임의 Spectrum 비

〈그림 19〉 V형 브레이스 댐퍼(오일 有, White Noise : 100gal 가진시험시 Fourier Spectrum)

〈표 7〉 White Noise 가진시험 결과
(orifice : $\phi=2.0\text{mm}$, $L=24\text{mm}$)

오일	가진 [gal]	프레임 변위 [mm]	댐퍼 변위 서측 [mm]	댐퍼 하중 서측 [kg]	댐퍼 변위 동측 [mm]	댐퍼 하중 동측 [kg]	프레임가속도 [gal]	진동대가속도 [gal]
無	50	0.61	0.65	31.6	0.55	24.6	28.69	73.71
	100	1.53	1.76	76.6	1.44	57.4	65.12	159.14
有	50	0.46	0.69	38.8	0.44	34.4	24.29	51.09
	100	0.87	1.09	116.4	0.81	98.4	60.31	108.05

〈표 8〉 White Noise 가진시험(FFT) 해석결과

오일	가진 [gal]	고유진동수 [Hz]	스펙트럼비	감쇠율 [%]
無	50	3.31	3.76	13.30
	100	3.00	3.61	13.85
有	50	3.25	2.63	19.00
	100	3.00	2.05	24.36

4. 고 찰

(1) 정적가력시험

가력시험에서 얻어진 수평스프링 정수는 표2에 나타낸다. 피스톤의 진폭이 크지 않아서 피스톤 이동거리의 한계를 넘어 섰을 경우 피스톤 결합용 외부 댐퍼는 스톱퍼로서 작동하여 강성이 증가되는 것을 확인 할 수 있었다.

(2) 자유진동시험

자유진동시험 결과는 표3에 표시한다. 고유진동

수는 댐퍼가 없는 V형 브레이스에서는 2.38Hz, 댐퍼가 설치된 V형 브레이스에서는 3.08Hz로 나타났다. V형 브레이스의 감쇠율은 댐퍼 설치로 인하여 약 6배정도 증가하였다. 이것에 의해 댐퍼가 진동에너지 흡수에 효과적임을 알 수 있었다.

(3) 정현파 가진시험

표 4와 표 5를 살펴보면 공진점에 있어서 가속도 응답배율은 가진레벨이 40gal때 1.2배, 80gal때 1.3배가되었다.

그림 7을 살펴보면 댐퍼를 설치하지 않은 프레임을 상정한 이론치 공진곡선과 댐퍼를 설치한 프레임의 공진 곡선의 결과를 비교하여보면 댐퍼를 설치함으로써 가속도응답배율이 대폭 저하된 것이 확인되었다.

(4) 지진파 가진시험

EL-CENTRO. NS파를 각각 가진레벨 200gal, 300gal, 각 1회, 370gal를 2회에 걸쳐 가진시험을 하였으며 지진파 가진시험 결과를 표 6에 나타낸다.

(5) White Noise 가진시험

White Noise 가진시험에서 얻어진 결과에 의한 Fourier 해석을 표 7에 나타낸다. 가진레벨이 100gal인 경우 스펙트럼비가 댐퍼가 없을 경우 21.8, 댐퍼를 설치하고 오일이 없는 경우 3.61, 오일이 있는 경우 2.05로 나타나 댐퍼를 설치한 경우 스펙트럼비의 감소가 현저하게 나타나 댐퍼의 에너지 흡수능력을 알 수 있었다.

댐퍼만 설치하고 오일은 주입하지 않는 경우 가진레벨을 50gal에서 100gal로 증가하여도 스펙트럼비가 3.76에서 3.61로 4%정도 줄었으나 오일을 주입한 경우 2.63에서 2.05로 저감되어 약 22%의 감쇠율을 나타냈다. 오일을 주입하지 않은 경우 댐퍼 저항은 점탄성체만의 저항으로 속도에 선형적인 저항으로 스펙트럼비의 변화가 작았고, 오일을 주입한 경우 오일에 의해서 댐퍼 저항은 속도에 대해 비선형적인 저항의 증가로 스펙트럼비의 변화가 커진 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 댐퍼에 의한 구조물의 제진 효과를 확인하기 위하여 댐퍼를 설치한 단층 제진 골조의 진동대 가진실험을 하였다. 제진 골조는 실물의 1/3축소, 철골프레임을 사용하였다. 댐퍼를 설치하지 않은 경우 정적가력시험, 자유진동시험, White Noise 가진시험을 행하고 V형 브레이스에 댐퍼를 설치하여 각각 정적가력시험, 자유진동시험, 정현파 가진시험, 지진파 가진시험, White Noise 가진시험을 행하였다. 시험의 결과는 아래와 같다.

- 1) 정적가력시험결과, V형 브레이스 수평스프링 정수의 경우 댐퍼를 설치한 것에 따른 영향은 작았지만 스톱퍼(stopper) 작동 후는 댐퍼와 브레이스가 1개의 강체가 되어 강성이 증가하였다.
- 2) 자유진동결과 댐퍼가 없는 V형 브레이스의 감쇠율은 2.2%였지만 댐퍼를 설치한 경우 12.7%로 감쇠율이 증가하였다.
- 3) 정현파 가진시험 및 지진파 가진시험 결과 공진점에 있어서 가속도응답배율은 댐퍼를 설치하지 않은 프레임을 상정한 이론치에 비해 댐퍼를 설치한 V형 브레이스의 가속도응답배율이 대폭 저하되었다.
- 4) White Noise 가진시험결과 댐퍼를 설치하지 않은 프레임에 대해 댐퍼를 설치한 프레임이 스펙트럼비가 작게 되었다. 또한 댐퍼에 오일을 주입하지 않은 경우 가진레벨을 상향시켜도 스펙트럼비의 차가 거의 없었지만 오일을 주입한 경우 댐퍼 저항은 속도에 대하여 비선형적인 저항의 증가로 스펙트럼비가 낮아지는 것이 확인되었다.

참고문헌

- 1) Ri-Hue, Z.Hang & T.T.Soong : Seismic Response of Steel Frame Structures with Added Viscoelastic Dampers, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 18, pp389-396, 1989.

- 2) K.C.Chang, T.T.Soong & S.T.Oh : Seismic Response of Steel-Frame Structures with Added Viscoelastic Dampers, Proceedings of 10th W.C.E.E., pp5169-5173, 1992. 7.
- 3) K. Kasai, Yi Hua Huang 他 : Hysteretic Model of Visco-Elastic Damper for Long Duration Loading, 日本建築學會大會學術講演梗概集 B-2, pp829-830, 1997. 9.
- 4) 川服重也, 大沼正昭 : 亂流ダンペーによる構造物の振動制御(その 1), ダンペーの抵抗則, 日本建築學會大會學術講演梗概集 B, pp.711-712, 1993. 9.
- 5) 畑田朋彦, 小堀鐸二, 石田雅利, 丹羽直幹 : Maxwell型 modelを含む振動系の應答解釋法(その 1). 定式化と數値シミュレーション, 日本建築學會大會學術講演梗概集 B, pp.45-46, 1994. 9.