

강재 댐퍼를 부착한 철골조의 지진응답특성에 관한 연구

A Study on the Earthquake Response Characteristics of Steel Frames with Metallic Damper

이 승 재 *
Lee, Seung-Jae

박 재 성 **
Park, Jae-Seong

오 상 훈 ***
Oh, Sang-Hoon

요 약

본 연구의 목적은 에너지 흡수형 강재 댐퍼를 이용하여 손상순서를 제어함으로써 주구조체를 재사용 할 수 있는 철골조시스템을 개발하고, 지진응답특성을 파악하는 것이다. 이를 위하여 강재 댐퍼의 형상을 제안하고, 제안된 강재 댐퍼의 변형 형상과 응력 분포를 알아보기 위하여 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS(ver.10.0)을 이용한 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 또한 지진응답특성을 파악하기 위하여 실험형 사이즈 5.4m×2.4m의 1층 철골조 실험체 4개를 설계 및 제작하여 유사동적 지진응답실험을 수행하였다. 본 연구에서 제안하는 강재 댐퍼를 제진요소로 사용하는 경우, 주구조체에 비하여 높은 강성을 갖는 댐퍼가 소폭의 변위에 먼저 소성화함으로써 이력에 의한 지진에너지를 흡수할 수 있으며, 지진응답에서 유리한 것이 판명되었다.

Abstract

The purpose of this study is to propose damper system which is easy to design, which can ensure against risks, and to verify earthquake response characteristics. For this study, the pseudo dynamic earthquake response tests carried out for steel frames with metallic damper. As a result, in case of using the metallic damper as a vibration control device proposed by this study, the damper having higher stiffness than main-structure turned to the state of plasticity by little displacement has been proved to be able to absorb earthquake energy.

키워드 : 강재 댐퍼, 지진응답특성, 유사동적 지진응답실험

Keywords : Metallic damper, Earthquake response characteristics, Pseudo dynamic earthquake response test

1. 서 론

건축물은 건설, 사용 및 폐기과정에서 에너지와 자원의 소비, 오염물질과 폐기물의 발생 등으로 환경에 지대한 영향을 미친다. 전세계적으로 환경에 대한 관심이 고조되고, '92년 기후협약 등 구체적인 움직임이 국제사회에서 일기 시작하였다. 건설분야의 친환경 및 자원절약 정책은 그동안 건축물의

운용 및 설비분야의 문제로 인식되어 왔으나, 최근 친환경건축물(Green Building) 인증제도와 리모델링 정책으로 인하여 구조분야의 중요성이 새롭게 부각되고 있다. 구조분야의 친환경 및 자원절약 정책은 재활용 및 재사용으로 요약된다.

기존의 건축물은 구조체가 연직하중과 지진하중 등의 수평하중에 직접 저항하도록 설계되어 있다. 이는 곧 구조체의 영구변형으로 이어져 구조부재의 재사용을 불가능하게 한다. 이에 최근 들어 주구조체는 탄성에 머물게 하고 지진에너지를 에너지 흡수장치 등에 집중시켜 주구조체의 붕괴를 방지하기 위하여 이력 댐퍼 개발에 관심을 가지기 시작하였다.

* 한국기술교육대학교 건축공학부 교수

** 한국기술교육대학교 대학원 박사과정

*** 교신저자, 정회원, 부산대학교 건축공학과 교수

Tel: 051-510-1009 Fax: 051-514-2230

E-mail: osh@pusan.ac.kr

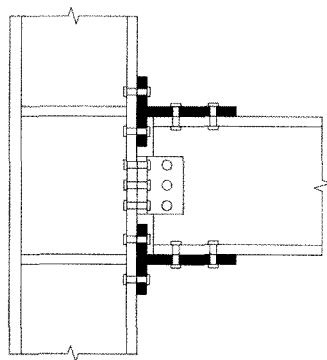
이력 댐퍼는 지진 발생 이후 댐퍼만을 교체하여 건축물의 주구조체를 다시 사용할 가능성을 증가시킨다.

따라서 본 연구에서는 이러한 에너지 흡수형 강재 댐퍼를 이용하여 손상순서를 제어함으로써 주구조체를 재사용 할 수 있는 철골조시스템을 개발하고, 지진응답특성을 파악하였다.

이를 위하여 강재 댐퍼의 형상을 제안하고, 제안된 강재 댐퍼의 변형 형상과 응력 분포를 알아보기 위하여 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS(ver.12.0)을 이용한 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 또한 지진응답특성을 파악하기 위하여 실대형 사이즈 5.4m×2.4m의 1층 철골조 실험체 4개를 설계 및 제작하여 유사동적 지진응답실험을 수행하였다.¹⁾²⁾

2. 에너지 흡수형 강재 댐퍼의 제안

구조시스템의 손상제어 설계를 위해서는 탈·부착이 가능한 부재로 골조를 구성하고, 지진 시에 받는 손상을 에너지 흡수 장치 등이 흡수하여 손상 후에 쉽게 교체하도록 하는 것이 바람직하다. 따라서 접합부에 탈·부착이 가능한 고력볼트를 이용하는 것이 유리하다. <그림 1>과 같이 기존의 기둥-보 접합부에서 고력볼트를 사용한 대표적인 예로 스플릿-티 접합부가 있다.

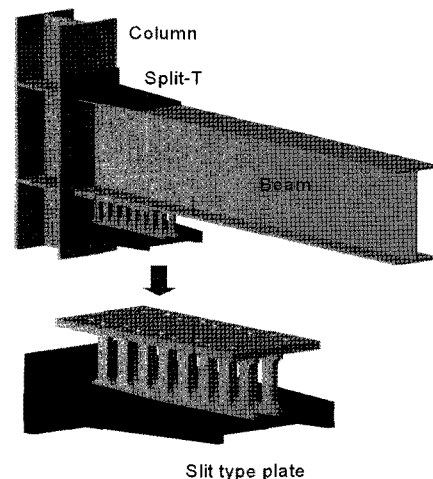


<그림 1> 스플릿-티 접합부

스플릿-티 접합부는 시공이 간편하면서도 접합강성이 강하고, 용접접합에 비하여 품질관리가 용이하다. 또한 내력과 변형능력이 우수하여 설계방법에

따라 반강접 또는 강접합부에 가까운 거동을 낼 수 있다는 장점이 있다. 그러나 변형이 증가하면 보 플랜지의 국부좌굴이 발생하는 등 보수적인 측면에서의 단점이 있다.³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 따라서 지진 시에 기둥-보 접합부에서 주요 구조부재에는 손상을 주지 않고, 손상부위를 이력특성이 좋은 에너지 흡수 장치에 한정하는 방법이 효과적이다.

본 연구에서는 <그림 2>에 나타난 것과 같이 보 단부의 하부 플랜지 부분에 에너지 흡수형 강재 댐퍼를 설치하여 주요 구조부재에 선행해서 소성화 시키는 접합부 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 보수적인 측면과 콘크리트 슬래브의 존재를 고려한 시스템이라고 할 수 있다. 즉, 기둥과 보의 접합은 모두 고력볼트로 연결되어 지는데, 보의 상부측은 기존의 스플릿-티를 고력볼트로 연결해서 접합부 회전중심의 기능을 하도록 하고, 보의 하부측은 슬릿플레이트를 고력볼트로 연결해서 골조에 발생하는 변형을 보 하부 플랜지의 접합요소에 집중하게 하는 시스템이다. 따라서 지진 발생 이후에는 보 하부 플랜지의 접합요소를 교체함으로써 계속적으로 사용하는 것이 가능하다. 또한 주요 작업이 하부 플랜지 부근에서 이루어지기 때문에 슬래브 제거 등의 작업이 필요 없고, 구조적으로 슬래브와의 합성에 따른 중립축 상승에 대한 고려를 할 필요가 없을 것으로 판단된다.



<그림 2> 댐퍼를 부착한 접합부

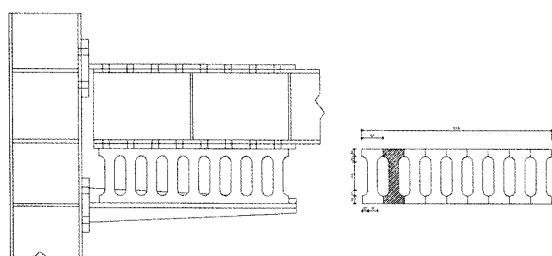
또한 접합부에 고력볼트를 사용함으로써 품질관리가 확실하게 때문에 기존의 용접접합에 비해서 변형능력을 확보하는 면에 있어서 우수하고, 보 웹을 기둥에 접합하지 않아서 접합부의 회전중심을 미리 보 상부 플랜지에 위치하게 함으로써 기둥-보 접합부의 변형능력을 보 하부 플랜지의 접합요소에 의해 결정하는 것이 가능하다.

3. 강재 댐퍼에 대한 유한요소해석

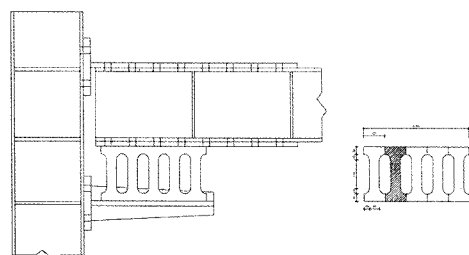
에너지 흡수형 강재 댐퍼의 응력 분포와 변형 형상을 파악하기 위하여 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS(ver.12.0)⁷⁾을 이용한 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 별도의 전처리기를 사용하지 않고, ANSYS만을 이용하여 모델링, 요소생성, 해석을 수행하였다.

3.1 유한요소모델

해석모델은 <그림 3>에 나타낸 것과 같이 기둥은 SM490급 강재 RH-294×302×12×12를 사용하였으며, 보는 동급의 강재 RH-250×250×9×14를 사용하였다. 또한 에너지 흡수형 강재 댐퍼는 SS400급 강재를 사용하였다.



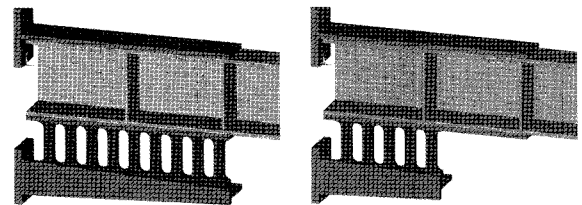
(a) 댐퍼 No.1



(b) 댐퍼 No.2

<그림 3> 해석모델의 상세

또한 접합부 형상의 대칭성을 고려하여 <그림 4>와 같이 1/2로 모델링 하고, 3차원 입방체요소인 SOLID45를 사용하였다. 이 요소는 소성, 응력경화, 대변형 등의 해석에 적합하며, 8개의 절점으로 구성되고 각 절점에 x, y, z방향의 자유도 3개씩을 갖는다.



(a) 댐퍼 No.1

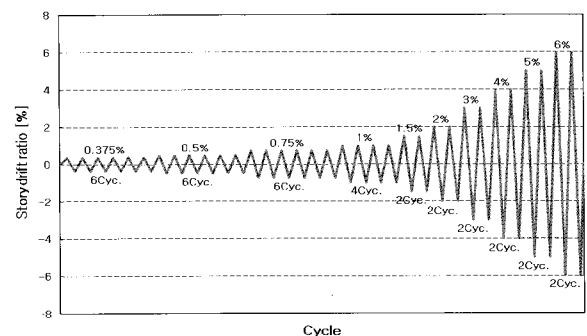
(b) 댐퍼 No.2

<그림 4> 강재 댐퍼에 대한 해석모델

3.2 경계조건 및 가력조건

기둥과 보의 접합부 부분은 해석시간 단축 및 결과파일 크기축소를 위하여 기둥은 모델링 하지 않고 스플릿-티와 기둥 플랜지 부분, 슬릿플레이트와 기둥 플랜지 부분이 강체 거동하는 것으로 가정하였다. 또한 스플릿-티와 보 플랜지 부분, 슬릿플레이트와 보 플랜지 부분도 일체로 거동하는 것으로 가정하였다.

가력방법은 <그림 5>와 같이 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings(AISC)에서 제안한 반복가력 방법을 바탕으로 제어 하였으나, 해석시간 및 시스템의 사양을 고려하여 1 Cycle씩만을 입력하였다. 제어방식은 H-형강 보 단부의 가력점 상의 AREA들을 변위제어방식으로 입력하였다.

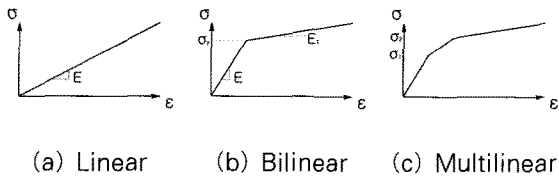


<그림 5> 가력방법

3.3 해석조건

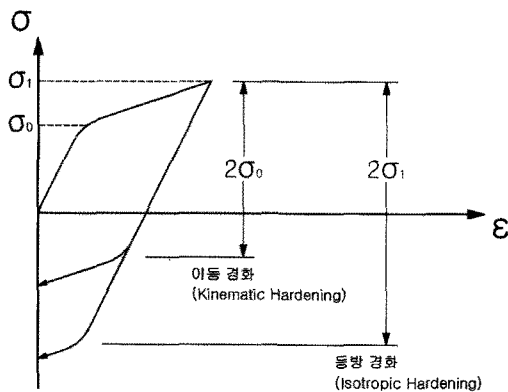
ANSYS에서는 재료 응답 옵션으로 <그림 6>과 같이 Linear, Bilinear, 그리고 Multilinear 등을 사용하는데, Bilinear 옵션의 경우 탄성계수와 접선계수 및 항복응력을 필요로 한다.

본 연구에서 기둥과 보는 SM490 강재를, 댐퍼 스테럿은 SS400 강재를 사용하여, 각각 항복응력 325MPa, 235MPa를 입력하고, 탄성계수는 205GPa을 입력하였다. 또한 접선계수는 일반적으로 강재에 대해 많이 사용하는 탄성계수의 1/100로 입력하였다.⁸⁾



<그림 6> 재료 응답 옵션

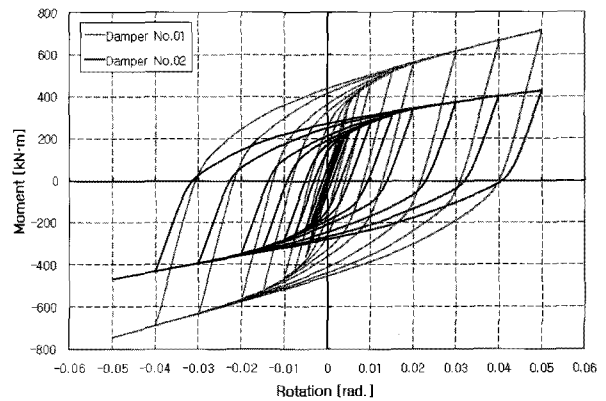
또한 경화 법칙으로 <그림 7>과 같이 이동 경화(Kinematic Hardening)와 등방 경화(Isotropic Hardening) 법칙을 사용하는데, 이동 경화 법칙의 경우 바우싱거 효과(Bauschinger Effect)를 포함하기 때문에 재료의 일정방향으로 비례한도를 초과하여 하중을 작용시킨 후에 반대방향으로 하중을 가하는 경우 비례한도 및 항복점이 저하된다. 따라서 본 연구에서는 반복하중 하에서 바우싱거 효과를 고려하기 위하여 BKIN(Bilinear Kinematic Hardening) 옵션을 사용하였다.



<그림 7> 경화 법칙

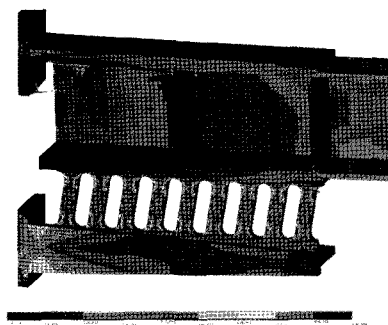
3.4 해석결과

모멘트-변형각 관계를 <그림 8>에 나타낸다. 항복이후에는 Bilinear의 안정된 이력거동을 나타내었다. 또한 해석모델 No.1과 No.2의 댐퍼 스테럿의 내력비와 모멘트비가 비슷한 양상을 나타내었다.

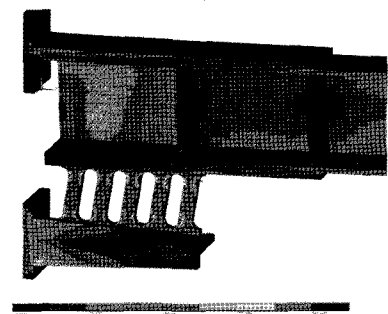


<그림 8> 모멘트-변형각 관계

해석모델의 응력 분포를 <그림 9>에 나타낸다. 댐퍼 스테럿의 양 단부에 von Mises Stress가 집중됨을 보여준다. H-형강 보의 응력은 대부분 탄성 상태에 머무르는 것을 알 수 있다. 따라서 최대 내력까지 보의 응력을 탄성범위 이내에서 제어가 가능할 것으로 보인다.



(a) 댐퍼 No.1



(b) 댐퍼 No.2

<그림 9> von Mises Stress Contour

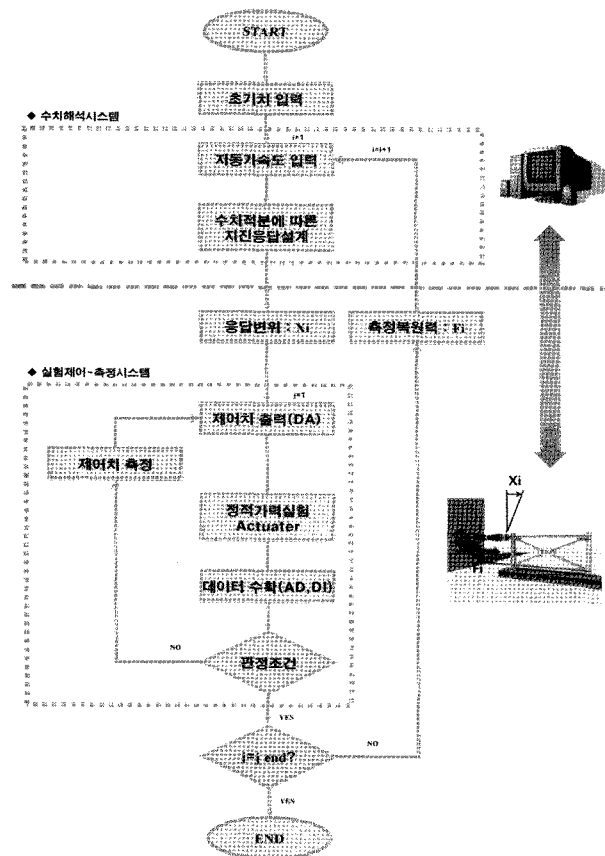
4. 유사동적 지진응답실험

4.1 실험계획

4.1.1 실험개요

본 연구에서는 손상순서를 제어함으로써 주구조체를 재사용 할 수 있는 철골조시스템을 제안하고, 지진응답특성을 파악하기 위하여 실험체 사이즈 5.4m×2.4m의 1층 철골조 실험체 4개를 설계·제작하여 유사동적 지진응답실험을 수행하였다.

여기서 유사동적 지진응답실험⁹⁾이란, 구조물의 거동을 파악하기 위하여 개별적으로 실시되어왔던 재하실험과 탄소성 지진응답해석을 온라인으로 연결하여 실험과 해석을 동시에 수행하는 것이다. <그림 10>에 유사동적 지진응답실험 시스템에 대한 개념을 나타낸다.



<그림 10> 유사동적 지진응답실험 시스템 알고리즘

구조성능 실험대상인 다자유도계 구조물에 대하여 구조물이 가지는 관성력, 감쇠력을 컴퓨터 내에

서 시뮬레이션하고, 구조물의 복원력특성을 재하실험으로부터 추출하여 전체의 구조시스템을 지배하는 운동방정식을 시간적분하여 해석을 수행한다. 컴퓨터의 수치해석결과를 데이터 전송기술을 이용하여 재하장치(Actuator)에 보내고, 재하결과 얻어진 실험데이터를 다시 컴퓨터에 전송하여 전 지진 입력 시간에 대하여 반복한다.

실험체 1은 기존 철골조시스템의 주각부를 고정하여 베드블록에 체결하였고, 실험체 2~4는 보단부의 하부 플랜지에 에너지 흡수형 강재 댐퍼가 부착되어 있다. 단, 실험체 2의 주각부는 고정접합, 실험체 3의 주각부는 핀접합 그리고 실험체 4의 주각부는 선행연구에서 시공능력이 우수하다고 판명된 신형상 노출형 주각부를 사용하여 베드블록에 설치하였다.¹⁰⁾

4.1.2 실험체 상세

4개의 실험체에 사용된 기둥은 SM490급 강재 RH-294×302×12×12를 사용하였으며, 실험체 1의 보는 SM490급 강재 RH-250×250×9×14, 실험체 2~4의 보의 동급의 강재 RH-300×300×10×15를 사용하였다. 또한 실험체 2~4에 사용된 에너지 흡수형 강재 댐퍼는 SS400급 강재를 사용하였다.

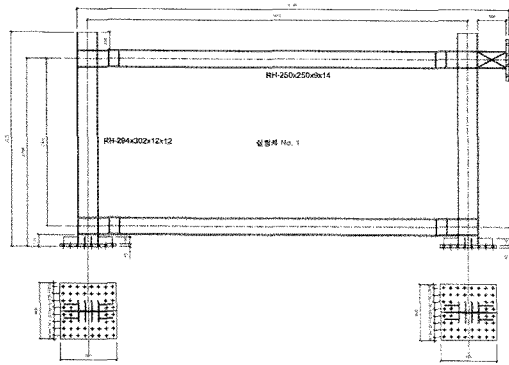
예기치 못한 규모의 수평하중 작용 시 철골조시스템의 보와 기둥으로 구성되는 주요 구조부재의 손상을 탄성범위에 머무르게 최소화하고, 그 외의 부재인 에너지 흡수형 강재 댐퍼, 신형상 노출형 주각부의 순서로 손상이 이루어지도록 설계하기 위하여 기둥과 보의 항복비를 실험체 1은 1.33, 실험체 2~4는 0.85로 설계하여 실험을 수행하였다. 실험체 일람과 실험체 상세를 <표 1>과 <그림 11>에 나타낸다.

4.1.3 소재인장시험

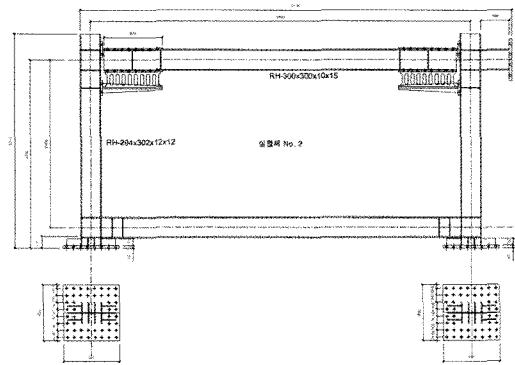
실험체 제작에 사용된 강재의 기계적 성질을 시험하기 위하여 소재인장시험을 실시하였다. 시편은 부재별로 각각 3개씩을 제작하였다. <표 2>에 소재인장시험 결과를 나타낸다.

〈표 1〉 실험체 일람

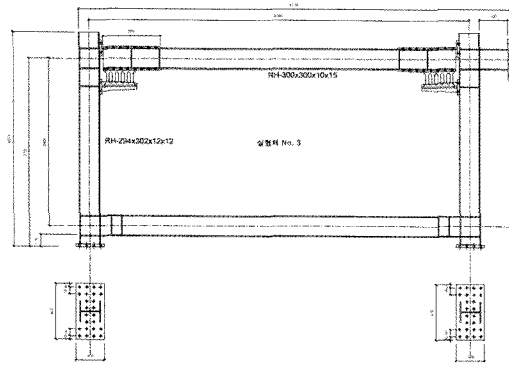
No.	주각	밑판 내력 (kN)	기둥		보		$\frac{cM_p}{bM_p}$
			치수(mm)	cM_p (kN·m)	치수(mm)	bM_p (kN·m)	
1	고정	-	294×302×12×12	414	250×250×9×14	311	1.33
2	고정	784	294×302×12×12	414	300×300×10×15	485	0.85
3	핀	436	294×302×12×12	414	300×300×10×15	485	0.85
4	신형상	436	294×302×12×12	414	300×300×10×15	485	0.85



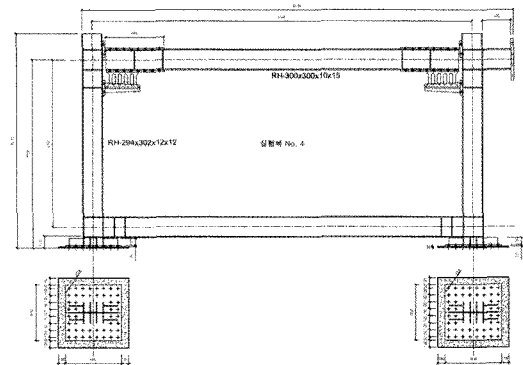
(a) 실험체 No.1



(b) 실험체 No.2



(c) 실험체 No.3



(d) 실험체 No.4

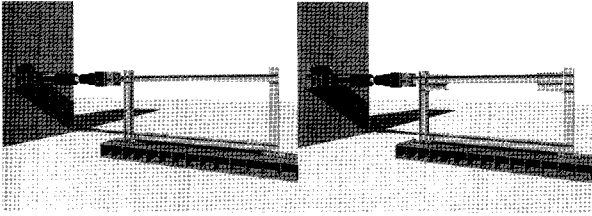
〈그림 11〉 실험체 상세도

〈표 2〉 소재인장시험 결과(평균값)

강종	구분		σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	$\frac{\sigma_y}{\sigma_u}$	연신율 (%)
	치수	종류				
SM490	RH-250×250×9×14	Flange	348	522	0.67	19
		Web	353	538	0.66	18
	RH-300×300×10×15	Flange	351	516	0.68	19
		Web	369	541	0.68	21
RH-294×302×12×12	Flange	377	527	0.72	21	
	Web	385	542	0.71	20	
SS400	Damper		302	439	0.69	35

4.1.4 가력계획 및 계측계획

〈그림 12〉에 나타난 것과 같이 철골조시스템의 보 단부에 가력점을 형성하기 위하여 강재 플레이트를 설치하였다. 강재 플레이트와 액츄에이터는 고력볼트로 체결하여 가력을 실시하였다. 본 실험에서는 예기치 못한 극대 수평하중만을 대상으로 기둥 및 보의 변동축력은 고려하지 않았다. 액츄에이터 작용점과 수평되는 반대방향 보 단부에 외부변위계를 설치하였다. 예비실험 결과, 외부변위계의 변위량과 액츄에이터 스트로크 변위량의 차이는 1/10mm 정



〈그림 12〉 재하장치의 개념도

도의 오차가 발생하였다. 이것은 액츄에이터와 강재 플레이트 사이에 12점 볼트접합으로 인한 가력점의 분산으로 인하여 발생하는 것으로 사료된다.

실험체 각 부위의 소성화 여부를 판단하기 위하여 전기저항식 KFEL 소성 게이지를 사용하였다. 실험체 1에는 기둥의 상부 및 하부, 보 양단부에 총 32개의 게이지를 사용하였고, 실험체 2와 실험체 3에는 댐퍼부분과 기둥의 상부 및 하부, 보 단부에 각각 총 60개, 44개의 게이지를 사용하였다. 또한 실험체 4에는 댐퍼부분과 기둥의 상부 및 하부, 보 단부 그리고 신형상 노출형 주각부에 총 52개의 게이지를 사용하였다.

4.2 실험결과 및 분석

4.2.1 지진응답실험 결과

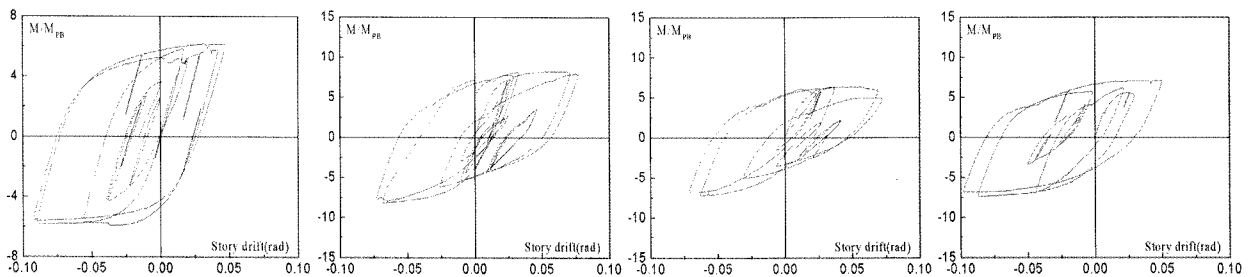
실험결과를 〈그림 13〉에 나타낸다. 실험체 1은 지진입력 1초 전후에 기둥 하부 플랜지 부분의 국부좌

굴이 발생하여 이 부분에 약간의 소성변형이 집중되었다. 특히, 좌우 층간변형각 $1/20rad$ 정도에서는 심각한 국부좌굴이 발생하여 프레임 자체가 비틀려지는 현상이 동반되었다. 입력 지진파의 특성으로 인하여 인장측의 소성에너지 흡수량이 크며, 지진 입력 후 큰 응답변위를 나타내며 진동하는 특성을 나타낸다. 국부좌굴 발생 후 큰 내력저하는 나타나지 않고 있으나 더 큰 수평하중이 작용할 경우 비틀림으로 인한 파괴에 이를 가능성이 높다고 판단된다.

실험체 2는 지진 입력 5초 전후까지는 에너지 흡수형 강재 댐퍼의 소성변형으로 인한 감쇠효과가 큰 것을 알 수 있다. 보와 기둥 부분의 스트레인게이지 변형율은 1500마이크로 전후로써 탄성응답을 나타내었으며, 댐퍼 부분은 스트레인게이지의 변형한도를 초과하는 소성응답을 나타내었다. 다만 주각부가 고정접합으로 되어 있어 기둥 하부 플랜지의 변형율이 편접합으로 되어 있는 실험체 3과 비교하여 현저히 높은 것을 알 수 있다.

실험체 3의 손상의 순서는 에너지 흡수형 강재 댐퍼의 항복, 기둥 하부 플랜지의 국부좌굴, 강재 댐퍼 슬릿플레이트의 소성변형, 기둥 하부 플랜지의 심한 국부좌굴의 순으로 손상이 진행되었다.

실험체 4는 에너지 흡수형 강재 댐퍼의 안정적인 소성이력 흡수 후, 기둥 하부 플랜지의 약간의 국부



(a) 실험체 No.1

(b) 실험체 No.2

(c) 실험체 No.3

(d) 실험체 No.4

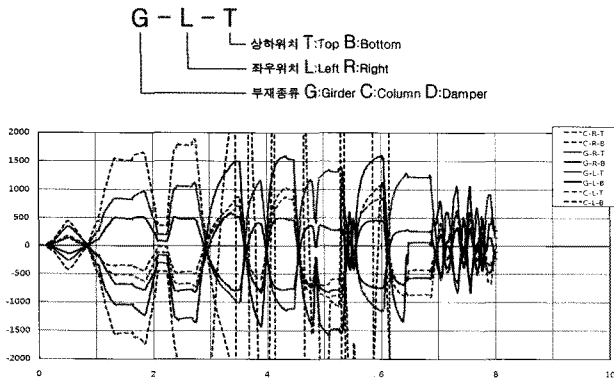
〈그림 13〉 실험결과

좌굴, 그리고 신형상 노출형 주각부 베이스 플레이트의 소성화로 이어지는 손상패턴을 나타내었다.

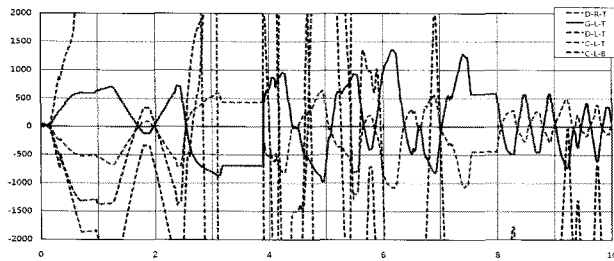
4.2.2 스트레인게이지 변형율의 시간이력

통상 철의 탄성 한계를 1,200~1,700 $\mu\epsilon$ 정도로 보

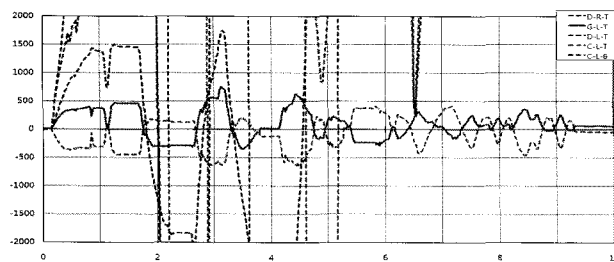
고, 2,000 $\mu\epsilon$ 을 기준으로 소성화 여부를 판단하였다. <그림 14>에 스트레인게이지 변형율의 시간이력을 나타낸다. 이를 바탕으로 <그림 15>에 각 실험체의 손상순서를 나타내었다.



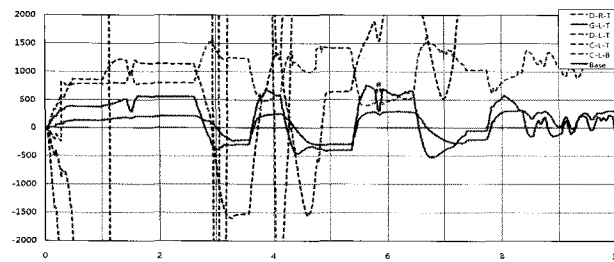
(a) 실험체 No.1



(b) 실험체 No.2

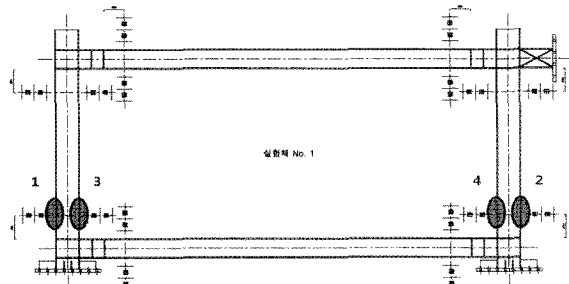


(c) 실험체 No.3

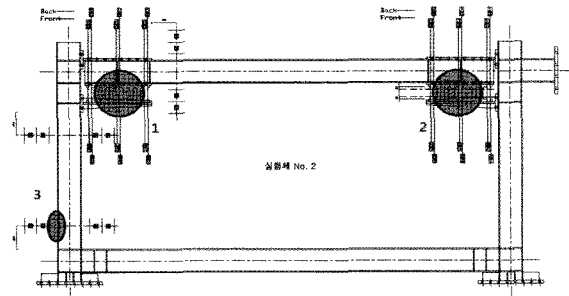


(d) 실험체 No.4

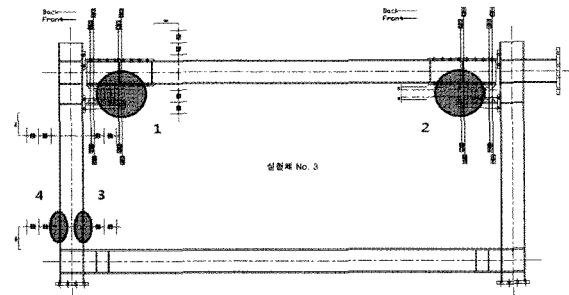
<그림 14> 스트레인게이지 변형율의 시간이력



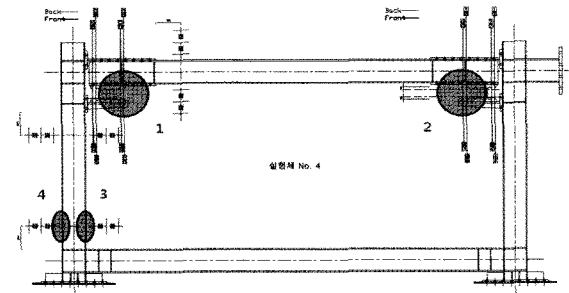
(a) 실험체 No.1



(b) 실험체 No.2



(c) 실험체 No.3



(d) 실험체 No.4

<그림 15> 실험체의 손상순서

5. 결론

본 연구에서는 에너지 흡수형 강재 댐퍼를 이용하여 손상순서를 제어함으로써 주구조체를 재사용 할 수 있는 철골조시스템을 개발하고, 지진발생 시의 지진응답특성을 유사동적 지진응답실험에 의하여 검증하였다. 실험결과에 의하면 본 연구에서 제안한 철골조시스템의 변형은 에너지 흡수형 강재 댐퍼에 집중되었으며, 에너지 흡수형 강재 댐퍼가 충분한 소성변형능력을 나타내어 최대하중에 이르기까지 안정된 이력특성을 나타내었다. 또한 지진응답시간 중 그 외의 주변 프레임은 탄성상태에 머무르는 것을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 철골조시스템은 일반적인 내진접합부가 아니라 내진성능을 향상 시키면서도 부재의 재사용을 가능하게 함으로써 부재레벨의 장수명화 및 구조시스템의 장수명화를 동시에 달성하게 할 수 있는 시스템이라고 할 수 있다. 즉, 내진성능을 확보할 뿐 만 아니라 접합부에 설치한 에너지 흡수형 강재 댐퍼에서 지진에너지를 흡수하게 하여 기둥 및 보 부재 등은 소성화 되지 않고 재사용이 가능하게 하는 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0023674).

또한, 이 논문은 한국기술교육대학교 교육연구진흥비지원 프로그램의 일부 지원에 의하여 수행되었음.

- 참고문헌 -

1. 이승재, 박재성, 오상훈, 유홍식, 슬릿형 댐퍼를 부착한 철골조 시스템의 가동적 지진응답실험, 한국공간구조학회 학술발표대회 논문집, 2008.
2. 이승재, 박재성, 오상훈, 유홍식, 에너지 흡수형 강재 댐퍼를 부착한 철골조 시스템의 탄소성 지진응답실험, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2008.
3. 이상훈, 김지영, 박형철, 김대영, 연결철물을 이용한 기둥-거더 접합부의 실험적 성능 평가, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2002.
4. 박정우, 김지영, 김대영, 김상대, Split-T 반강접 접합부의 응력흐름에 대한 해석적 연구, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2003.
5. 최혜경, 최성모, 김진호, 고력볼트 Split Tee 접합부의 인장내력, 한국강구조학회 논문집, 2003.
6. 최성모, 이성희, 김진호, 고력볼트 스플릿-티 인장접합부의 구조성능에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회 논문집, 2004.
7. ANSYS, Release 12.0-user's manual, 2009.
8. 이성희, 심현주, 이은택, 홍순조, 최성모, 춤이 큰 웹브 변단면 H형 보의 휨내력에 대한 해석적 평가, 한국강구조학회 논문집, 2007.
9. 한국방재협회, 방재사전, 2010.
10. 이승재, 박재성, 오상훈, 강창훈, 철골 노출형 주각부의 탄소성 재하 실험, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 2007.

(접 수 일 자 : 2011년 3월 16일)

(심사 완료일자 : 2011년 5월 17일)

(게재 확정일자 : 2011년 5월 27일)