

에너지 소산 능력을 가진 인장가새 개발 Development of Tension Bracing for Energy Dissipation Capacity

최형준*

엄승현**

김원기***

Choi, Hyung Jun Eom, Seung Hyeon Kim, Won Ki

ABSTRACT

Anticipating potential strong earthquakes, bracing dampers for better seismic performance are being developed in Korea, while similar ones are already developed in other countries. But, there are lack of relevant research on Slender Brace Dampers rather than hysteretic dampers, whose concept is also inappropriate for rehabilitation existed slender braced frame. For the development of Slender Brace Damper in slender braced frame, this research investigates Slender Brace Damper possessing various shapes of hysteretic damper through performing experimental test under cyclic loadings. As a result at this paper, Energy dissipation of test specimens (H35B20PS, H35B20TS, H20B60PS) are superior.

1. 서론

건축물 내진 설계의 기본방향은 잠재되어 있는 파단 이전에 적절한 비탄성 메카니즘을 활용하여 잠재되어 있는 파단 이전에 적절한 비탄성 메카니즘을 활용하여 에너지 소산을 증가시키는 방향으로 전환되는 것이 요구된다. 그러나, 내진 성능이 좋은 인장가새댐퍼의 상세에 관한 연구는 미비한 상황이다. 본 연구에서 개발하고자 하는 인장가새댐퍼는 공장제작시 현장운송 후 바로 시공이 가능하며 구조상 연성의 증가로 인해 지진 피해 감소를 가져올 수 있다.

이 연구에서는 세장한 가새의 파단 및 압축 좌굴을 예방할 수 있도록 세장한 가새 중심에 연성능력이 우수한 댐퍼를 연결하는 형태를 제안하고 정확한 해석을 통하여 보다 나은 설계지침을 제시하기 위하여 구조형식을 결정하는 것을 우선하였다.

* 정일구조기술사 사무소, 일반회원

** 호서대학교 건축학과 박사과정, 학생회원

*** 호서대학교 건축학과 부교수, 정회원

그리고 댐퍼의 단면, 크기, 형태를 변수로 하여 반복가력 실험 및 전산구조 해석을 수행하여 안전성 및 경제성을 제시하고 있다.

2. 본 문

2.1 실험체 계획

그림 II.1은 본 연구에서 사용되어진 인장가새 댐퍼 시험체의 전체 그림이다. STRONG FRAME과 시험체 높이는 중심간격으로 2500×2500이고 시험체 외부프레임과 내부 시험체로 구성되어 있다. 세장한 중심 가새 골조의 내진 성능이 개선된 형태로 가새골조의 중심에 여러 가지 형태의 세장가새 댐퍼를 설치하여 실험하였다. 강한 지진 하에서 잠재되어 있는 파단 이전에 충분한 지진에너지를 소산할 수 있는 형태를 개선한 것이다. 세장가새 댐퍼는 네 개의 소성힌지를 만들 수 있는 형태로 연구되었다.

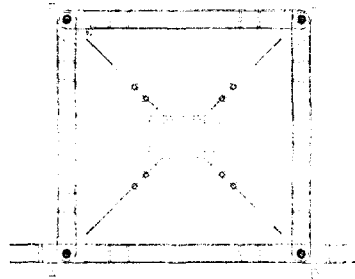


그림 II.1 시험체 외부프레임 및 내부 시험체

2.1.1 실험체 부재설계 (LSD적용)

- STRONG FRAME 과 시험체 높이 : 중심간격 2500×2500
- FRAME MEMBER : H-200×200×8×12(SS400), $A = 63.5 \text{ cm}^2$, $i_y = 5.02 \text{ cm}$
- 편 설계 : $M = 64$, $A_p = 32.2 \text{ cm}^2$, $F_y = 2.4 \text{ tf/cm}^2$
- 판의 인장 : $A_g = 20 \times 2 \times 2 = 80 \text{ cm}^2$, $A_n = (20 - 6) \times 2 \text{ EA} \times 2 \text{ cm} = 56 \text{ cm}^2$
- 가새 : $\phi 16$ $A = 2.0 \text{ cm}^2$ $F_y = 2.4 \text{ tf/cm}^2$, $\phi 19$ $A = 2.84 \text{ cm}^2$ $F_y = 2.4 \text{ tf/cm}^2$
- 댐퍼 □-60×20(보유)
- 예 : $F = 6.8 \text{ tf}$ 로 가정, $l = 30 \text{ cm}$ 로 가정

$$M_p = 0.177Fl = 0.177 \times 6.8 \times 30 = 36.1 \text{ tf} \cdot \text{cm} \text{ (required)}$$

$$Z_p = \frac{M_p}{F_y} = \frac{36.1}{2.4} = 15 \text{ cm}^3 \text{ (required)}, M_p = F_y \cdot Z_p = 2.4 \times 6 = 14.4$$

$$\therefore M_p = 14.4 \text{ tf} \cdot \text{cm}, M_p = 14.4 \text{ tf} \cdot \text{cm} \text{ (보유)} < M_p = 36.1 \text{ tf} \cdot \text{cm} \text{ (required)}$$

h. 댐퍼 단면높이 산정 : $Z_p = \frac{bh^2}{4} = \frac{2 \times 3.5^2}{4} = 6 \text{ cm}^3 \quad \therefore h = 35 \text{ mm}$

표 2.1 실험체 단면의 보유 및 소요 능력 비교

	보유능력	소요능력
Z_p	6 cm ³	15 cm ³
M_p	14.4 tf · cm	36.1 tf · cm

2.1.2 실험체 종류

표 2.2 시험체의 단면 성능

	b (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	비고
D16PS	·	φ 16	·	SS400
H20B60PS	60	20	·	SS400
H35B20TS	20	35	17.5	SS400
H35B20PS	20	35	·	SS400

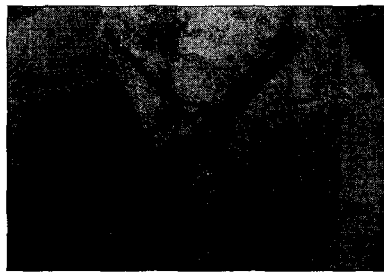


그림 II.2 D16PS 시험체

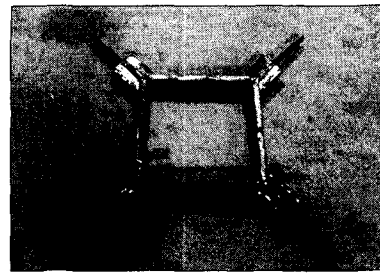


그림 II.3 H20B60PS 시험체

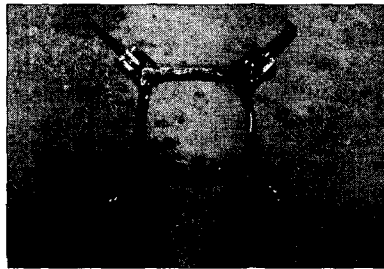


그림 II.4 H20B35TS 시험체

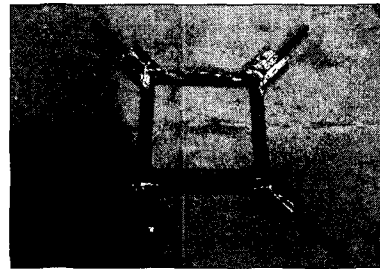


그림 II.5 H35B20PS 시험체

2.2 실험 방법 및 설치

2.2.1 실험제어

실험은 시험편에 부과된 변형의 레벨을 제어하는 것에 의해서 수행하였다. 테스트 제어를 위

해, 어떠한 적절한 변형량 델타는 사용되도록 허락된다. 테스트 시험편 δ_y 의 초기 항복에 선택된 변형량의 값은 시험편의 기대된 응답의 분석으로부터 테스트 제어의 목적으로 결정되어진다.

2.2.2 시험체 설치 및 실험 방법

시험체 설치는 그림 II.6과 같고 실험 전경은 그림 II.7과 같다. 그림 II.6 시험체 하부를 스트롱 프레임 바닥 골조에 고력볼트로 접합, 가력점과 횡변위계는 바닥에서 140cm 떨어진 기둥에 위치, 가력점 위치에 변위측정장치를 설치하여, 가력점에서의 하중-변위 관계를 조사하였다.

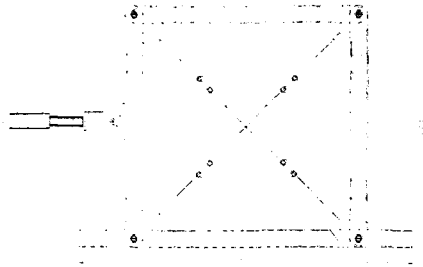


그림 II.6 시험체 'D16PS'의 설치

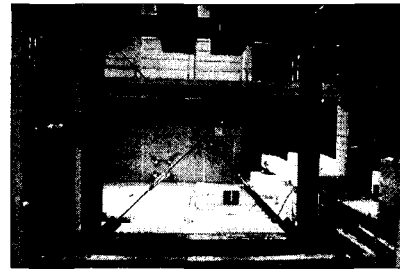


그림 II.7 시험체 'D16PS'의 전경

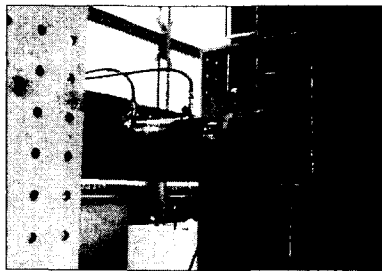


그림 II.8 시험체의 가력지점

시험체 측정값 중에서 가새를 통하여 힘이 정확하게 전달되는지의 여부를 알기 위하여 사진 II.7과 같이 스트레인 게이지를 부착하였다. 게이지의 위치는 턴버클과 기둥과 보를 연결하는 핀과의 중심인 25cm 지점에 설치하였다.

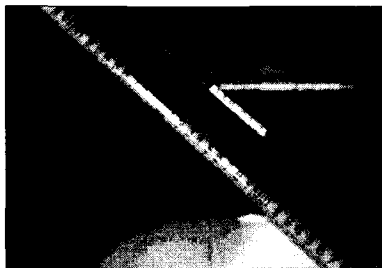


그림 II.9 스트레인 게이지 부착위치

시험에 가해지는 재하하중은 계산된 항복변위에 의하여 가력패턴에 따라 몇개의 단계로 나누어 변위제어로서 하중을 반전하며 증가시킨다. 변위의 일정 증분을 가한후 제거하고, 반대방향으로 동일한 변위를 가한 후 제거하는 것을 1 Cycle로 한다. 단계별 재하에서 각각의 단계는 다시 3개의 사이클(cycles)로 나누어 변위제어로서 일정변위를 반복적으로 작용시킨다. 실험에서 재하 하중 및 변위 Cycle 프로그램은 그림 II.10과 같다.

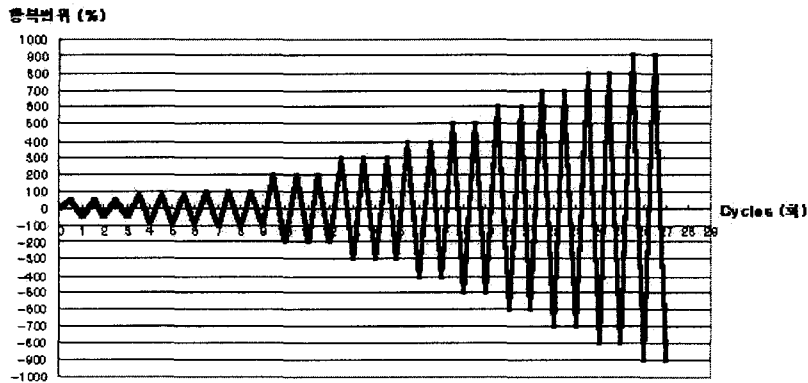


그림 II.10 변위 Cycle (D16PS)

2.3 실험 결과 및 고찰

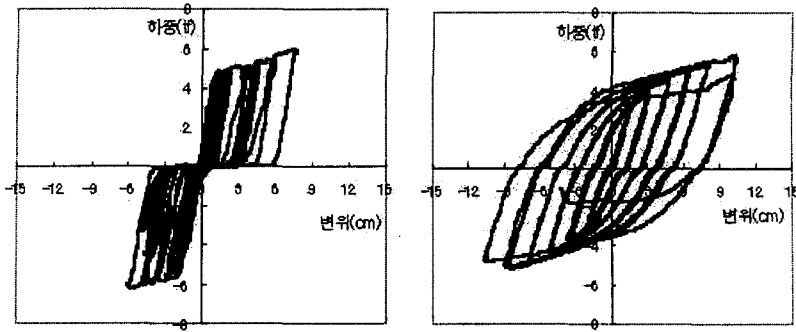
기존의 세장한 중심 가새 골조에서는 내진 성능 및 구조 성능을 향상하기 위해 제안한 세장 가새 댐퍼들과 비교하고자 기존의 세장한 중심 가새 골조에 대해서 실험을 하였다. 연구 결과를 하중-변위 관계, 최대 강도 및 에너지 소산 등으로 비교 및 분석하였다. 표 2.4 에서 시험체 '세장한 중심 가새 골조'의 실험의 하중-변위 그래프와 최대 변위, 최대 강도 및 에너지 소산 능력을 비교할 수 있다.

세장 가새 댐퍼에서는 세장 가새 댐퍼의 내진 성능 및 구조 성능을 확인하기 위해 실험을 하였다. 연구결과는 하중-변위 관계와 최대 강도, 그리고 에너지 소산 등으로 비교 및 고찰하였다.

2.3.1 하중-변위 관계

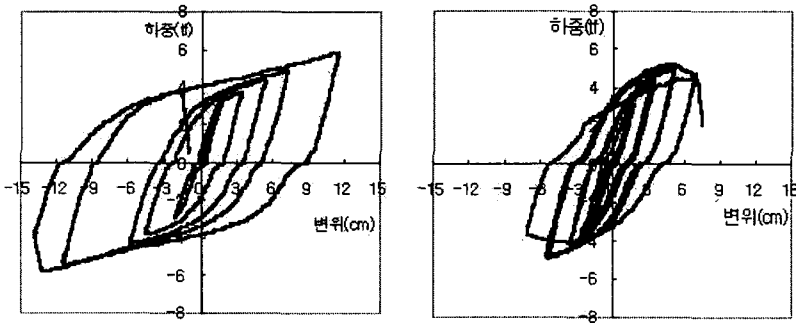
표 2.3 모든 시험체의 강도 및 변위 결과

	정모멘트 구간			부모멘트 구간		
	최대 강도(tf)	최대강도시 변위(cm)	최대변위(cm)	최대 강도(tf)	최대강도시 변위(cm)	최대변위(cm)
D16PS	5.89	7.65	7.69	6.17	5.77	5.92
H20B60PS	5.71	10.35	10.50	5.22	8.42	10.54
H35B20TS	5.75	11.45	11.53	5.84	12.84	13.67
H35B20PS	5.13	5.13	7.07	4.93	5.43	7.08



(a) 시험체 'D16PS'

(b) 시험체 'H20B60PS'



(c) 시험체 'H35B20TS'

(d) 시험체 'H35B20PS'

그림 II.11 실험의 하중-변위 이력곡선

세장 가새 댄퍼 시험체의 하중-변위 이력곡선은 그림 II.11과 같고 여기서 최대 변위, 최대 강도를 비교할 수 있다. 그림 II.11의 하중-변위 관계와 표 2.3의 강도 및 변위 결과에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- a. 실험 결과 시험체 'H20B60PS', 'H35B20PS', 'H35B20TS' 모두 'D16PS'보다 연성도 및 내진 성능이 우수하다.
- b. 실험 결과 시험체 'H35B20TS'의 변위가 가장 큰 것을 알 수 있다.

2.3.2 에너지 소산

반복가력에서 스틸하우스 전단벽 시험체의 내진성능평가를 위해서는 에너지 소산능력의 평가가 중요하다. 에너지 소산능력의 평가에는 다양한 방법이 있지만, 본 연구에서는 참고문헌의 내용을 바탕으로 작성한 최대 에너지 소산식과 에너지소산지표를 기준으로 내진성능을 평가하였

다. 이에 따라, 에너지 소산능력을 표현하는 식과, 그 지표를 계산하는 식을 아래와 같이 나타내었다.

a. 에너지 소산식

$$E_D = \int_0^m P d\Delta - \frac{P_m \Delta_m}{2}$$

b. 에너지 소산 지표

$$D = 0.5 P_y \Delta_y$$

여기서, P_y = 항복하중을,

Δ_y = 항복변위를 나타낸다.

c. 에너지 소산율

$$\frac{E_D}{D}$$

표 2.4 시험체별 에너지 소산 능력 비교

	항복하중 (tf)	항복변위 (cm)	에너지 소산의 합 (tf-mm)	에너지 소산지표 (tf-mm)	에너지 소산율	비 고
D16PS	4.8	1.4	102	3.36	30.4	900% Cycle
H35B20PS	3.5	2	282	3.50	80.6	400% Cycle
H35B20TS	3.3	1.9	332	3.14	105.7	600% Cycle
H20B60PS	3.3	1.9	598	3.14	190.4	700% Cycle

3. 결 론

본 논문은 세장 가새 댐퍼를 가진 중심 가새 골조의 내진 성능을 분석하기 위해 실험을 수행하였다. 여러 가지 세장 가새 댐퍼를 가진 중심 가새 골조의 연구 결과를 분석, 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실험 결과에서 댐퍼에서의 소성변형과 에너지 흡수를 확인하였고 댐퍼와 가새가 접합하는 곳에서의 파단은 재료의 연성도로 인하여 소성힌지가 발생하여 소성영역까지 확보하는 것을 알 수 있으며, 각각 댐퍼들의 내진 성능을 확인하였다.
- (2) 댐퍼의 역할로 인하여 인장의 경우 뿐만 아니라 압축의 경우에도 역할을 할 수 있는 것으로 확인되었으며, 기존의 가새골조와 비교하여볼 때 에너지 소산능력과 최대변위면에 있어서도 우수한 성능을 보유함을 알 수 있었다.

- (3) 반복하중을 받는 중심 가새 골조에서 가새에서 발생할 수 있는 파단 이전에 댐퍼주변에서 발생하는 소성변형과 에너지 소산을 확인하였다.
- (4) 댐퍼가 가새골조에서 어떠한 방법으로 어느 정도 기여하는지를 분석할 수 있다.
- (5) 소성힌지가 발생되어 파단이 일어난 곳은 용접성의 결함으로 인하여 파단 발생될 확률도 높은 것으로 추정할 수 있었다.

참고문헌

1. Robert Trembly, "Seismic Behavior and Design of Concentrically Braced Steel Frames", Engineering Journal, AISC, Third Quarter, Volume 38, No.3, 2001
2. 이명재, "철골구조의 내진성능", 대한건축학회지 32권 2호, 1988
3. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 274/October 1997)
4. AISC, "Seismic Provisions for Structural Steel Building" 1997
5. Jurukovski, D. and Simeonov, B.(1988), "Effectiveness of Energy Absorbing Elements in Composit Steel Frame Structures," Proceedings Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, Vol. 4, pp. 291-296
6. Filiatrault, A., Trembly, R. and Kar, R. (1999), "Seismic Evaluation of Ring Spring Seismic Damper," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.126, pp. 491-499
7. POS-MIDAS GENw 4.2.2 Manual, 2000
8. Wonki Kim, "Seismic-Response Analysis And Design of Composite Building Structures", 1991