

철근콘크리트 내진벽의 구조성능 평가 및 개선

Evaluation and Improvement of Structural Performance of Reinforced Shear Walls Under Load Reversals

신 종 학* 하 기 주** 안 준 석*** 주 정 준***
Shin, Jong-Hack Ha, Gee-Joo An, Joon-Suk Ju, Jung-Jun

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop and evaluate the structural performance of various shear walls, such as the hysteretic behavior, the maximum horizontal strength, crack propagation, and ductility etc. under load reversals.

For the diagonal reinforced slit and infilled shear wall specimens, it was found that the failure mode shows very effective crack control and crashing due to slippage prevention of boundary region and reduction of diagonal tension rather than the brittle shear and diagonal tension failure.

The ductility of specimens designed by the diagonal reinforcement for the slit and infilled shear wall was increased 1.72~1.81 times in comparison with the fully rigid shear wall frame.

Maximum horizontal load-carrying capacity of specimens designed by the diagonal reinforcement ratio the slit and infilled shear wall was increased respectively by 1.14 times and 1.49 times in comparison with the standard fully rigid shear wall frame.

1. 서 론

철근콘크리트 프레임면내에 설치하는 전단벽은 높은 강도와 강성을 갖는 내진요소로서 우수한 성능을 지니고 있지만, 강진시 구조체에는 수평하중과 수직하중이 동시에 작용하므로 기둥과 전단벽은 전단력과 휨모멘트를 동시에 받게되어 철근콘크리트 전단벽의 경계기둥 단부에는 큰 전단력이 작용하여 전단파괴가 발생된다.

따라서 본 연구에서는 순수강접 프레임과 프레임면내에 설치되는 전단벽 구조물에서 기둥과 전단벽 경계면 및 전단벽체에서 발생하는 전단균열의 진전을 제어하고 연성을 확보하기 위한 방법으로 프레임과 전단벽의 경계면에 슬리트를 설치하는 슬리트형 전단벽과 탄성필러를 넣은 끼움판형 전단벽으로 구분하여 프레임과 전단벽의 경계면 형상에 따른 구조성능 및 연성효과를 파악하고, 이러한 유형별 실험체의 이력거동, 최대수평내력 및 연성능력, 파괴형태등을 규명함으로써, 철근콘크리트 프레임면내에 설치되는 새로운 접합방식 및 설계법의 개선에 따른 전단벽의 내진성능 평가 및 개선을 도모하고, 합리적인 구조설계를 위한 기초자료를 제시하는 데 목적이 있다.

* 정회원, 경일대 건축공학과 교수, 공학박사

** 정회원, 경일대 건축공학과 부교수, 공학박사

*** 정회원, 경일대 대학원 졸업

위, 기둥의 신축 변형 등을 측정하였으며, 철근의 변형도를 측정하기 위하여 기둥의 상하 부분과 벽체철근의 주된 응력이 작용하는 위치에 철근용 스트레인 게이지를 이용하여 측정하였다.

실험을 위한 장치는 그림 2에서와 같이 반력벽에 스트롱 프레임 설치한 후, 실험을 실시하였다.

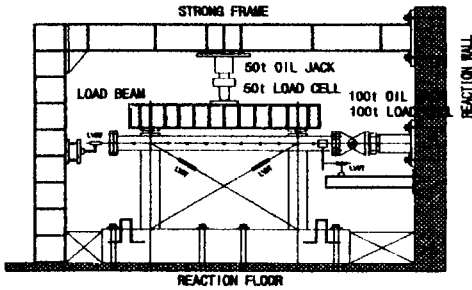


그림 2 실험체의 설치 상황 및 가력 장치

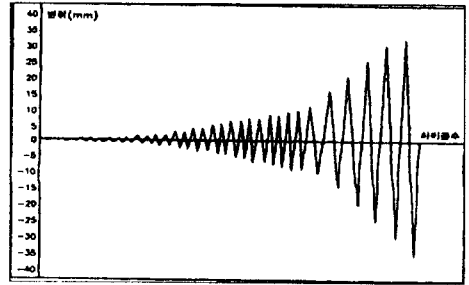


그림 3. 하중 이력

2.3.2 가력방법

좌우 기둥에 허용 축하중(약 $N/2=12.5\text{ton}$)을 지속적으로 유지시킨 다음, 수평변위를 제어하는 방법으로 수평하중을 가력하였고, 정·부 반복 수평하중을 그림 3의 변위이력과 같이 하중을 증가시키면서 최대하중에 도달하여 실험체가 파괴에 도달하도록 하였다.

3. 실험결과와 비교·분석

3.1 이력거동 특성

철근콘크리트 전단벽의 내진설계 및 해석을 위하여는 부재의 특성, 즉 부재의 연성능력, 최대내력, 파

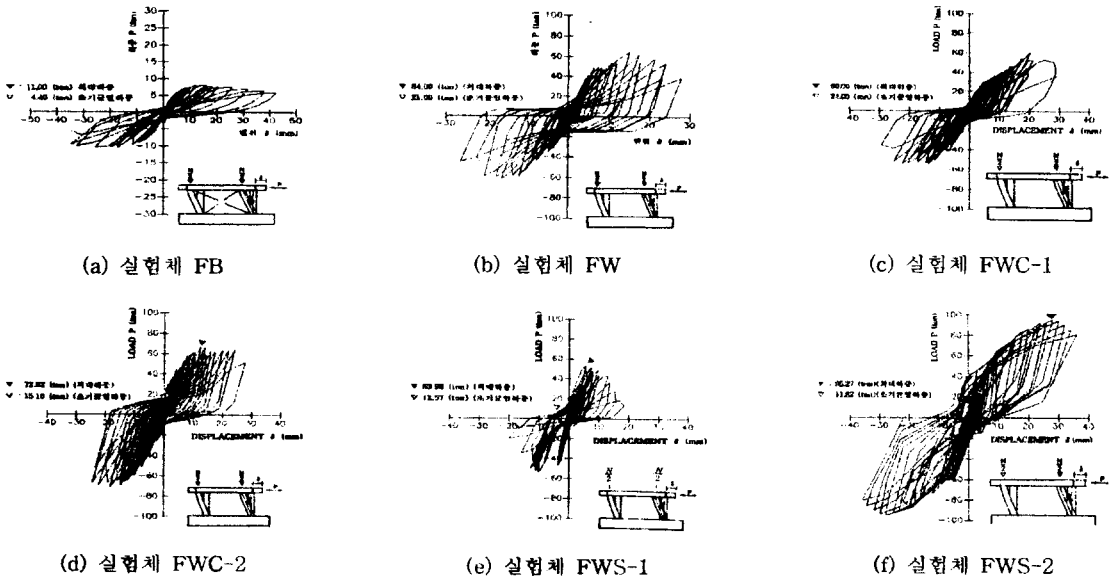


그림 4. 각 유형별 실험체의 하중-변위 곡선

괴형태 및 강성저하 등을 파악하여야 하며, 이를 위해서 부재의 이력거동 특성을 정확히 규명하여야 한다.

본 연구에서는 각 설계변수에 다른 실험체의 이력거동을 규명하기 위하여 그림 3과 같은 반복 주기 하중을 각 실험체에 가하여 작용하중과 하중작용점의 변위와의 관계를 구하였으며, 그 결과는 그림 4에 나타내었다.

본 연구를 통하여 각 실험체의 이력거동 특성을 고찰한 결과 프레임 면내에 설치되는 전단벽에서 기둥과 전단벽 경계면 및 전단벽체에서 발생하는 전단균열을 제어하고 연성을 확보할 목적으로 프레임과 전단벽의 경계면에 슬리트 또는 탄성필러를 넣은 슬리트형 전단벽 실험체 FWS-1과 끼움판형 전단벽 실험체 FWC-1은 완전강점 바벨형 전단벽 실험체에 비하여 내력은 다소 감소하지만 파괴형태나 연성확보 면에서는 유리한 것으로 나타났다. 특히 대각보강 슬리트형 전단벽 실험체 FWS-2과 대각보강 끼움판형 전단벽 실험체 FWC-2은 재래의 설계방법에 비하여 대각보강에 따른 균열제어는 물론이고 내력과 연성능력 향상에 대단히 우수한 것으로 판단된다.

3.2 파괴형태

본 실험에 사용된 각 실험체의 실험중 및 종료시의 파괴형태를 비교 고찰한 결과, 끼움판형 및 슬리트형 전단벽 실험체는 완전강점 바벨형 전단벽 실험체보다 수평내력은 작으나, 종국파괴시 전단벽과 경계기둥 접합부의 취성파괴가 억제되었고 연성증대 효과가 크게 나타났다.

특히 대각보강 끼움판형 및 슬리트형 전단벽 실험체는 최대하중이후에도 충분한 연성능력을 발휘하면서 서서히 파괴되었으며, 기존의 완전강점 바벨형 전단벽 실험체보다 내력 및 연성능력면에서 우수한 성능을 확보하고 있는 것으로 판단되었다.

따라서 끼움판형 및 슬리트형 전단벽 실험체가 기존의 설계방법에 의한 전단벽 실험체보다 지진하중에 대한 구조 부재들의 연성적인 거동 및 내진성능 확보에 훨씬 효과적인 것으로 사료된다.

3.3 최대변위 및 연성능력

일반적으로 콘크리트 구조물은 강구조에 비해 연성이 적은 취성재료이지만 실험 및 이론적 연구를 통하여 부재에 적절한 철근보강, 횡구속력, 경계부재의 단면형상 등에 의하여 연성능력을 증가 시킬수 있다는 것이 규명되었다.

부재의 연성은 구조물에 발생한 처짐 또는 처짐각을 이용하여 식(1) 및 식(2)를 사용하여 평가하기도 하지만, 본 연구에서는 부재 항복시의 처짐량을 기준으로 하여 최대하중 이후에서 최대하중의 80%에서의 변위를 이용하여 식(2)에 의해 각 실험체의 연성능력을 평가하고자 한다.

$$\mu = \delta_0 / \delta_y \dots\dots\dots(1)$$

$$\mu = \delta_{0.8max} / \delta_y \dots\dots\dots(2)$$

- 여기서, μ : 연성비
- δ_y : 항복시의 변위
- δ_0 : 최대하중시의 변위
- $\delta_{0.8max}$: 최대하중 이후에서 최대하중의 80%일때의 수평변위

본 실험을 통하여 얻은 결과를 비교 분석하여 각 실험체의 연성비를 구하여 표 4 및 그림 5에 나타내었다. 본 연구에서 지진하중 작용시 연성능력의 향상을 목적으로 전단벽의 접합방법을 개선한 끼움판형 전단벽 실험체(FWC-1)와 슬리트형 전단벽 실험체(FWS-1)의 연성비는 표 4 및 그림 5에서와 같이 완전강접 바벨형 전단벽 실험체(FW)보다 약 1.22~1.36배 증가되었다. 특히 대각보강 끼움판형 및 슬리트형 전단벽 실험체(FWC-2, FWS-2)의 경우 완전강접 바벨형 전단벽 실험체보다 연성비가 1.72~1.81배정도 현저하게 증가함을 알 수 있었다.

표 4. 유형별 실험체의 강도 및 연성비

구분 실험체	δ_y (mm)	V_y (ton)	δ_{max} (mm)	V_{max} (ton)	$\delta_{0.8max}$	V_{max} (ton)	$\mu = \frac{\delta_{0.8max}}{\delta_y}$
FB	7.40	8.30	19.00	11.00	23.00	8.80	3.10
FW	6.30	45.50	15.00	64.00	23.40	51.20	3.71
FWC-1	5.67	50.00	20.00	60.00	28.50	48.00	5.03
FWC-2	3.45	35.50	19.00	72.89	23.20	58.31	6.72
FWS-1	2.80	42.95	5.30	53.98	12.70	43.18	4.54
FWS-2	5.43	46.00	28.00	95.27	34.60	76.22	6.37

$\delta_{0.8max}$: 최대하중 80%에서의 수평변위
 $0.8V_{max}$: 최대수평하중의 80%
 μ : 연성비

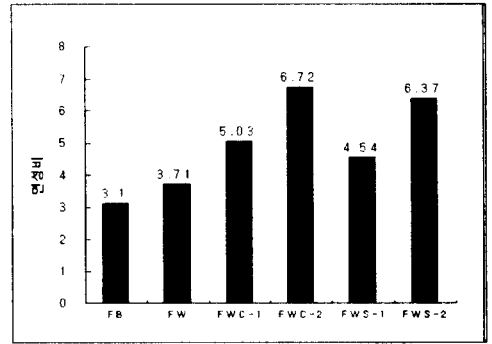


그림 5. 각 유형별 실험체의 연성비 비교

3.4 전단응력 및 최대수평내력

각 실험체의 최대전단응력과 최대수평내력은 유형별 전단벽 실험체의 실험을 실시하여 구한 결과를 비교 고찰하여 표 5, 표 6에 나타내었다.

표 5. 각 유형별 실험체의 최대 전단응력 비교

구분 실험체	U_{max} (Kg/cm ²)	U_{max} / U_m					
		FB	FW	FWC-1	FWC-2	FWS-1	FWS-2
FB	8.59	1.0	0.17	0.18	0.15	0.20	0.12
FW	50.00	5.82	1.0	1.07	0.88	1.19	0.67
FWC-1	46.88	5.46	0.94	1.0	0.82	1.11	0.63
FWC-2	56.95	6.63	1.14	1.21	1.0	1.35	0.77
FWS-1	42.17	4.91	0.84	0.90	0.74	1.0	0.57
FWS-2	74.43	8.66	1.49	1.59	1.31	1.76	1.0

완전강접 바벨형 전단벽 실험체(FW)의 최대 수평내력은 순수강접 프레임 실험체의 수평내력보다 5.82배 증가하였다.

대각보강 끼움판형 및 슬리트형 전단벽 실험체(FWC-2, FWS-2)는 표 5 및 표 6에서와 같이 최대 전단응력과 최대수평내력이 완전강접 바벨형 전단벽 실험체(FW)보다 각각 1.14배, 1.49배 증가하였다.

대각보강 끼움판형 전단벽 실험체(FWC-2)는 실험체 제작시 3면에 스티드를 설치한 관계로 내력증가가 1.14배 정도였으나, 전단벽 하부면에 스티드를 설치한 4면 스티드 보강으로 전단벽을 제작하게 되면 구속효과가 증대하여 보다 큰 내력 증대가 예상된다.

표 6. 각 유형별 시험체의 최대수평내력 비교

시험체	$\delta_y(\text{mm})$	$P_{\text{max}}(\text{ton})$	$\frac{P_{\text{max}}}{P_y}$	P_{max}/P_m					
				FB	FW	FWC-1	FWC-2	FWS-1	FWS-2
FB	7.40	11.00	1.33	1.0	0.17	0.18	0.15	0.20	2.06
FW	6.30	64.00	1.41	5.82	1.0	1.07	0.88	1.19	0.67
FWC-1	4.54	60.00	1.20	5.45	0.94	1.0	0.82	1.11	0.63
FWC-2	3.45	72.89	2.05	6.63	1.14	1.22	1.0	1.35	0.77
FWS-1	2.80	53.98	1.26	4.91	0.84	0.90	0.74	1.0	0.57
FWS-2	5.43	95.27	2.07	8.66	1.49	1.59	1.31	1.77	1.0

4. 결 론

본 연구에서는 철근콘크리트 전단벽 구조물을 대상으로 전단벽의 접합방식과 대각보강근의 유무를 변수로 하여 순수강접 프레임, 완전강접 바벨형 전단벽, 끼움판형 전단벽, 슬리트형 전단벽, 대각보강 끼움판형 및 슬리트형 전단벽으로 구분하여 총 6개의 시험체를 실험크기의 약 1/3로 축소 모델화하여 제작한 후 전단벽의 구조성능 평가를 위한 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 끼움판형 및 슬리트형 전단벽 시험체는 완전강접 바벨형 전단벽 시험체보다 수평내력은 작으나, 중국과괴시 전단벽과 경계기둥 접합부의 취성파괴가 억제되었고 연성증대 효과가 크게 나타났다.
- (2) 대각보강 끼움판형 및 슬리트형 전단벽 시험체의 최대전단용력과 최대수평내력은 완전강접 바벨형 전단벽 시험체보다 각각 1.14배, 1.49배 증가하였으며, 최대하중 이후 서서히 파괴되는 연성적인 거동을 나타내었다.
- (3) 슬리트형 및 끼움판형 전단벽 시험체의 연성비는 완전강접 바벨형 전단벽 시험체보다 각각 1.22배, 1.36배 증가되었다.
- (4) 대각보강 슬리트형 및 끼움판형의 경우 완전강접 바벨형 전단벽 시험체 보다 연성비가 1.72~1.81배 정도 현저하게 증가함을 알 수 있었다.
- (5) 철근콘크리트 전단벽 접합방식의 개선 및 대각보강근의 배근을 활용한 새로운 설계방법은 기존의 설계방법에 비하여 내진성능을 현저히 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 신중학, 하기주, 전찬목 “철근콘크리트 프레임 및 전단벽체의 경계기둥 띠철근비 변화에 따른 구조성능 평가”, 한국콘크리트학회 논문집, 제11권 3호, 1998. 12, pp.303-311.
2. 최창식, “반복하중을 받는 철근콘크리트 저형 전단벽의 이력거동”, 한양대학교 대학원 박사학위 논문, 1991. 6.
3. Cardenas. A.E, Hanson. J.M, Corley. W.G, and E.Hognestad, “Design Provisions for Shear Walls,” *Journ al of ACI*, Vol.2, No.5, March, 1973, pp.221-230.
4. 白石 - 郎, 昭和61年7月, “鐵筋コンクリート造 耐震壁の最大せん断耐力に関する考察,” 日本建築學會構造系論文集, 第365, pp.144-155.