

반복하중을 받는 철근콘크리트 전단벽체의 접합방식에 따른 구조성능 평가

Structural Performance Evaluation of Reinforced Concrete Shear Walls with Various Connection Type Under Load Reversals.

신 종 학* 하 기 주** 권 중 배*** 전 찬 목****
Shin, Jong-Hack Ha, Gee-Joo Kwon, Jung-Bae Jun, Chan-Mog

Abstract

In this study, nine reinforced concrete infilled frames involved bare frames were tested during vertical and cyclic loads simultaneously. This test programs were carried to investigate the horizontal strength and the crack propagation in variance with hoop reinforcement ratio. All specimens were modeling in one-third scale size. In this experimental program structural performance of reinforced concrete shear wall were focus at connection types. Based on the test results, the following conclusions are made. In the boundary column member of reinforced concrete shear wall, increasing the ratio of hoop bar in two or three times, in the fully babel type, the shear and horizontal strength of specimens were increased 1.1-1.2 times than that of fully rigid frame. And infilled sheas wall specimen were increased 1.17-1.27 times than that. Fully rigid babel type shear wall specimens were increased 5.7~8.0 times, and infilled shear wall specimens were increased about 4.0~5.6 times than that of infilled shear wall specimens.

1. 서 론

철근콘크리트 프레임면내 전단벽은 대체로 내진성 효과, 내력 분담, 프레임과의 상호작용등의 구조성능을 발휘하므로 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 연구자들에게 논란의 대상이 되는 철근콘크리트 완전강접 바벨형 전단벽 등에서 지진력이 작용할 때 프레임과 전단벽의 에너지 흡수효과에 따른 프레임의 접합부 강성에 대한 문제가 대두되고 있고, 프레임면내 접합부의 연성능력을 향상시키는 방법으로 끼움판형 전단벽, 슬릿(Slit)를 설치하는 등이 연구되어져 오고 있다. 따라서 본 연구는 수직하중과 수평하중이 동시에 작용하는 전단벽의 접합부 거동 특성에 관한 실험으로써 순수강접 프레임(FB-1~3)과 전단벽을 프레임 면내에 설치하는 완전강접 바벨형 철근콘크리트 전단벽(FW-1~3), 끼움판 형식 철근콘크리트 전단벽(FWC-1~3)의 시험체를 유형별로 3개씩 모델화하여 구분 제작하여, 기둥의 띠철근비가 변화할 때의 수평내력 및 강성, 균열 진전상황 등 내진성능을 실험을 통하여 규명하므로써 실용설계시에 기초 자료를 제시하고자 한다.

* 정희원, 경일대학교 건축공학과 교수

** 정희원, 경일대학교 건축공학과 부교수

*** 정희원, (주)우일 대표이사, 동대학원 졸업

**** 정희원, 경일대학교 대학원 졸업

2. 실험 계획

2.1 시험체의 형태 및 변수

전단벽 시험체를 유형별로 각각 3개씩 기둥의 띠철근비 ($P_v: 0.19, 0.39, 0.65\%$)를 변수로 하여 총 9개의 시험체를 구분 제작하였으며, 시험체는 일반적인 철근콘크리트 구조물에서 약 10층 정도의 규모를 대상으로 구조계획되는 전단벽 형식을 채택하였으며, 크기는 실물의 약 1/3로 축소하여 유형별로 그림 1과 같이 제작하였다.

2.2 시험체의 제작

시험체에 사용되는 철근은 SD 40(D10, 보, 기둥의 주근 및 끼움판형 전단벽의 스티드用)과 MSWR 24($\phi 6.0$, 스티럽, 철근콘크리트 전단벽)을 사용하였으며, 콘크리트는 설계기준강도 $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ 를 기준으로 하여 콘크리트를 실험실에서 타설하였다. 그리고 시험체는 수평가력이 가능하게 시험체 보의 스펜방향으로 고정용 볼트구멍을 20cm 간격으로 배치하였고, 하부 기초는 충분한 강도 및 강성을 갖도록 제작하였다. 기둥의 띠철근은 구부림 각 90° 로 하여 충분한 여유길이를 갖게 하였으며, 전단벽의 수직·수평철근은 철선을 사용하였으므로 콘크리트와 철선의 부착용력을 확보하기 위하여 정착길이를 충분히 확보하여 제작하였다.

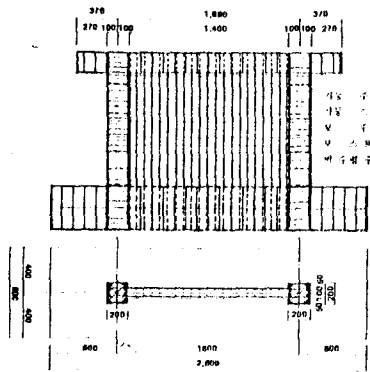


그림 1. 대표적인 시험체의 설계 상세

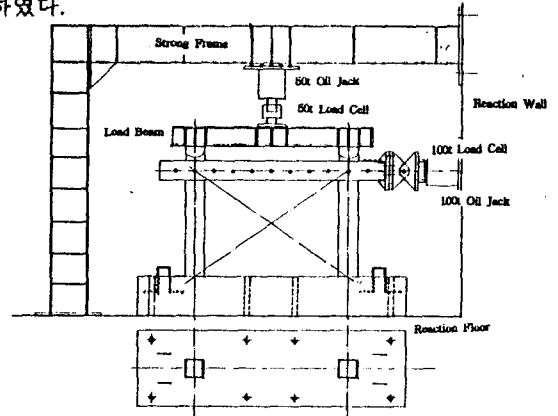


그림 2. 시험체의 설치 상태 및 측정 장치도

2.3 실험 장치 및 방법

2.3.1 실험 장치 및 시험체의 설치

각 유형별 시험체의 실험을 위한 장치는 그림 2와 같이 구조 실험실의 반력벽에서 스트롱 프레임 설치 후, 시험체에 각 측정장치를 부착하였다.

2.3.2 가력 방법

좌우 기둥에 허용 축하중(약 $N/2 = 12.5\text{ton}$)을 지속적으로 유지시킨 다음 반복수평하중을 변위 제어하는 방법으로 수평가력을 실시하였고, 각 시험체의 반복수평하중은 우측 보 중앙상단 중심에 일치시켜 편심이 일어나지 않도록 한 후 반력벽에 설치된 100(ton)오일잭과 로드-셀(Load Cell)에 의하여 하중 작용점에 변위계를 설치하여 단계별로 제어하면서 正(+), 負(-) 수평가력을 실시하였으며, 초기 균열이 발생하기 전까지는 초기 변위를 0.02mm씩 증가 시켰고, 초기 균열이 발생한 후에는 약 0.5mm 정도의 변위를 증가시키면서 최대 하중에 도달하여 시험체가 파괴에 도달하도록 하였다.

3. 실험 결과의 비교·분석

3.1 유형별 시험체의 이력거동 및 파괴형태

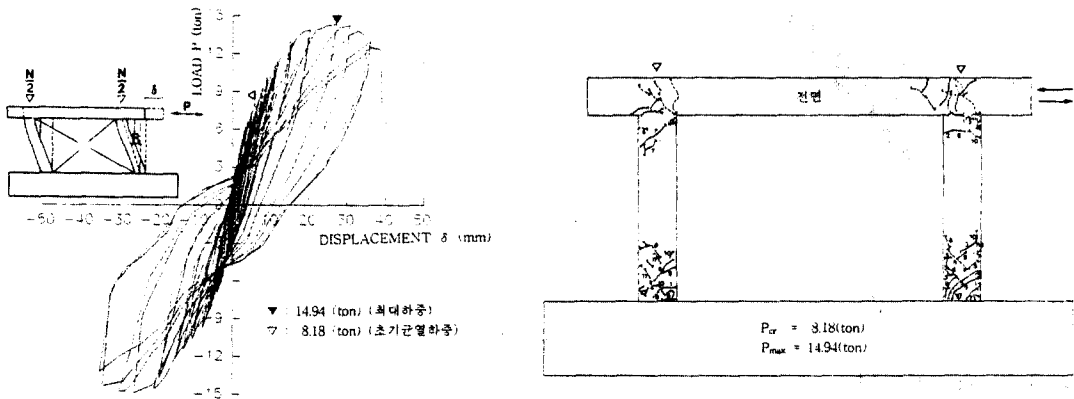
3.1.1 순수강접 프레임 시험체

FB-1 시험체의 경우는 수평하중이 7.1(ton)까지는 탄성거동상태를 나타내었으며, 수평하중이 8.18(ton)에 도달 하였을때, 전면 우측 기둥 주두 부근과 좌우 기둥 주각 부분에서 초기 균열이 발생하였다. 좌우 기둥은 주각 부근에서 최대 수평하중이 14.94(ton)일때 휨균열과 더불어 사방향 균열이 좌우 주각을 중심으로 형성되었으며, 계속 수평변위를 증가시키면서 정·부 수평가력을 실시 하였을때 프레임은 수평내력이 서서히 저하되기 시작하여 보와 기둥 절점에서는 뚜렷한 소성힌지 상태를 형성하였고, 수평 변위가 약 39mm까지 도달 시켰을때 기둥의 좌우 주각을 중심으로 층고의 1/3까지 사방향 균열이 진전되면서 시험체는 파괴상태에 이르렀다.

FB-2 시험체의 경우는 수평하중이 5.5(ton)까지는 탄성거동상태를 나타내었으며, 수평하중이 5.8(ton)에 도달 하였을때 전면 우측 기둥 주두 부근에서 초기 균열이 발생하였다. 이때의 수평변위는 2.5mm 이었다. 최대 수평하중이 12.58(ton)일때 휨균열과 더불어 사방향균열이 좌우 주각을 중심으로 형성되었다. 수평변위를 계속 증가 시키면서 정·부 가력을 실시 하였을때, 프레임은 수평내력이 서서히 저하되기 시작하여 기둥의 주각 좌우 절점 부근에서 소성힌지 상태를 형성하였고, 수평변위를 약47mm까지 도달시켰을때 기둥의 좌우 주각을 중심으로 층고의 약 1/3 까지 사방향 균열이 진전되면서 시험체는 파괴상태에 이르렀다.

FB-3 시험체의 경우는 수평하중이 5.4(ton)까지는 탄성거동을 나타내었고, 수평하중이 6.1(ton)에 도달하였을때, 우측기둥 주각부분에서 초기 균열이 발생하였다. 최대 수평하중이 13.85(ton)일때 휨균열과 더불어 사방향 균열이 좌우 주각을 중심으로 형성되었고, 이때 수평변위는 26mm이었다. 수평변위를 약 37mm 까지 도달 시켰을때 기둥의 좌우 주각을 중심으로 층고의 약 1/3까지 사방향 균열을 진전 시키면서 시험체는 파괴상태에 이르렀다.

그림 3은 순수강접 프레임의 FB-1 시험체의 하중-변위 곡선과 균열 진전 및 파괴상태를 나타낸 것이다.



(a) 하중 변위 곡선 (b) 균열 및 파괴 상태
 그림 3. FB-1 시험체의 하중-변위곡선 및 균열 상태

3.1.2 완전강접 바벨형 시험체

FW-1 시험체의 경우는 수평하중이 28(ton)까지는 탄성거동을 나타내었고, 초기 균열은 수평하중이 34.38(ton)일때, 프레임 우측 주각과 우측 벽면 하부에서 사방향으로 균열이 발생하기 시작하였다. 최대수평하중이 85(ton)에 이르렀을때, 수평변위는 28mm이었다. 최대 수평하중에 도달한 이후 계속해서 수평가력을 실시 하였을때 초기에 발생된 균열은 그폭이 증가되었고, 수평변위를 40mm까지 증가 시키면서 수평내력이 52%까지 감소 되었을 때 정·부 수평가력의 주된 대각선 방향 기둥과 벽면에서는 압괴현상이 일어나면서 시험체는 파괴상태에 이르렀다. 기둥에서는 휨균열과 전단균열이 혼합된 상태로 나타났으나 파괴시에는 기둥의 주두와 주각을 중심으로 전단균열이 주가 되어 파괴되었다.

FW-2 시험체의 경우는 수평하중이 35(ton)까지 탄성거동을 나타내었고, 수평하중이 40.24(ton)일 때, 벽면 대각선 방향으로 발생하였다. 최대 수평하중이 약 100(ton)에 이르렀을때 수평변위는 25mm이었다. 수평변위를 45(mm)까지 증가시키면서 수평내력이 50%까지 감소 되었을때 시험체는 압괴현상을 일으키면서 파괴상태에 이르렀다. 기둥에서는 휨균열과 전단균열이 혼합된 상태로 나타났으나 파괴시에는 휨균열 형태가 단계적으로 형성되었다.

FW-3 시험체의 경우는 수평하중이 41(ton)까지 탄성거동을 나타내었고, 수평하중이 48.75(ton)일 때, 상·하 벽면 대각선 방향을 향하여 발생하기 시작하였다. 최대 수평하중이 94(ton)에 도달했을때, 수평변위는 25(mm)이었다. 수평변위를 40(mm)까지 증가시키면서 수평내력이 50%까지 감소 되었을 때 시험체는 압괴현상을 일으키면서 파괴상태에 이르렀다. FW-3 시험체의 경우 초기균열에서 파괴시까지 균열 진전 상황은 FW-2 시험체와 거의 유사한 거동 상태가 형성되었다. 본 실험의 경우 동일한 시험체 조건에서 기둥의 띠철근비가 클수록 기둥의 균열은 휨 균열이 많이 나타나는 특성이 있었다. 그림 4는 완전강접 바벨형 시험체 FW-1 시험체의 하중-변위 곡선과 균열 진전 및 파괴상태를 나타낸 것이다.

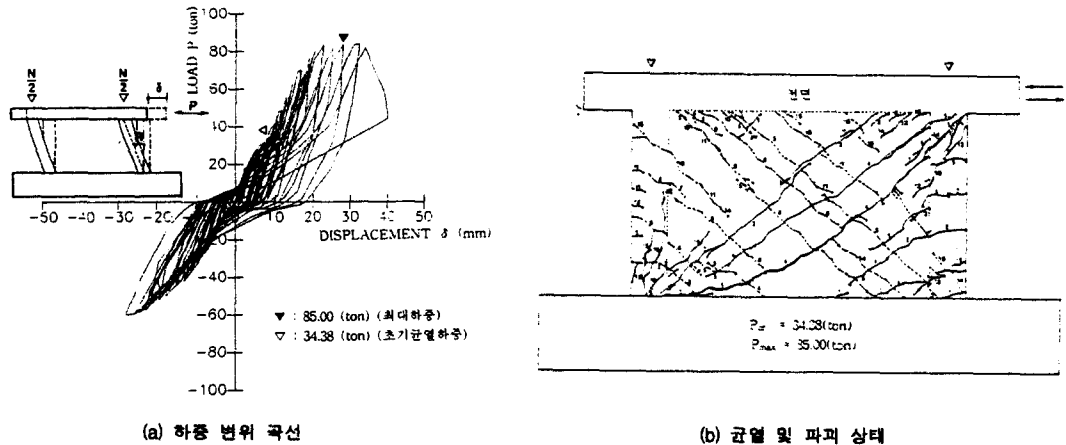


그림 4. FW-1 시험체의 하중-변위곡선 및 균열 상태

3.1.3 끼움관형 시험체

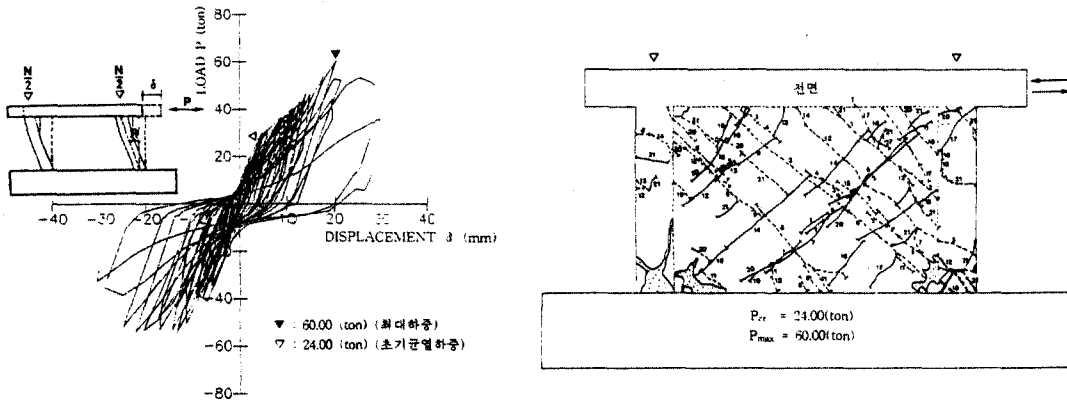
FWC-1 시험체의 경우는 수평하중이 21(ton)까지 탄성거동을 나타내었고, 초기 균열은 수평하중이 24(ton) 일때, 끼움관벽 우측 모서리 부근에서 사방향으로 발생하기 시작하였다. 최대하중이 60(ton)에 도달했을때, 수평변위는 20(mm)이었다. 수평변위를 31(mm)까지 증가시키면서 수평내력이 55%까지

감소 되었을 때, 시험체는 하부 좌우 기둥 주각과 끼움판 벽면 모서리가 압괴되면서 파괴상태에 이르렀다.

FWC-2 시험체의 경우는 수평하중이 34(ton)까지 탄성거동을 나타내었고, 초기 균열은 수평하중이 35.73(ton)일때, 끼움판벽 좌측 모서리 부근에서 사방향으로 발생하기 시작하였다. 최대하중이 70.53(ton)에 도달했을때 수평변위는 22(mm)이었다. 수평변위를 33(mm)까지 증가 시키면서 수평내력이 60% 까지 감소 되었을 때 시험체는 상부 우측 기둥 주두와 끼움판벽면 모서리 압괴되면서 파괴상태에 이르렀다.

FWC-3 시험체의 경우는 수평하중이 24(ton)까지 탄성거동을 나타내었고, 수평하중이 27.6(ton)일때, 끼움판 벽면 좌우측 모서리 부근에서 사방향으로 발생하기 시작하였다. 최대 하중이 76.53(ton)에 도달했을때, 수평변위는 26(mm)이었다. 수평변위를 39(mm)까지 증가시키면서 수평내력이 약 46% 까지 감소 되었을때 시험체는 상·하부 끼움판 벽면 모서리와 기둥의 주두, 주각 부근이 압괴되면서 파괴상태에 이르렀다.

끼움판형 시험체의 균열진전 상황은 완전강점 바벨형 시험체와 각각 유형별로 유사한 균열형상을 나타내고 있으나 끼움판형 시험체의 경우 경계부재와 벽체를 접합하고 있는 스티드 철근이 항복하고 나서 장부작용(Dowel Action)에 의하여 강성을 유지할 때 경계부재인 기둥의 주두와 주각에서 사방향 균열이 발생하는 특징을 나타내었다. 그림 5는 순수강점프레임의 FWC-1 시험체의 하중-변위 곡선과 균열 진전 및 파괴상태를 나타낸 것이다.



(a) 하중 변위 곡선 (b) 균열 및 파괴 상태
그림 5. FWC-1 시험체의 하중-변위곡선 및 균열 상태

3.2 최대변위 및 연성 능력

콘크리트 구조물은 부재에 철근보강, 황구속력, 경계부재의 단면형상 등에 따라서 연성능력을 증진시킬 수 있다. 부재 항복시의 처짐을기준으로 하여 부재 최대하중시의 변위 및 최대하중의 80% 적용시의 변위를 이용하여 식 (3-1), (3-2) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu = \delta_{max} / \delta_y \dots \dots \dots (3-1)$$

$$\mu = \delta_{0.8max} / \delta_y \dots \dots \dots (3-2)$$

여기서, μ : 연성비 δ_{max} : 최대하중시의 변위
 δ_y : 항복시의 변위 $\delta_{0.8max}$: 최대하중 80% 작용하중시 수평변위

본 연구에서는 식 (3-2)를 이용한 각 시험체의 연성비는 순수강점 프레임 시험체는 완전강점 바

벨형 시험체에 비하여 평균연성비는 2.0배, 순수강접 프레임은 끼움판형 시험체에 비하여 2.2배로 나타났다. 특히 완전강접 바벨형 시험체와 끼움판형 시험체와의 연성능력의 차이는 경계부재의 휨 구속도가 다르므로 일어난 결과이고, 수평저항능력과 변형이 큰 차이가 있는데서 기인된 것이다.

3.3 전단용력 및 최대 수평내력 비교

철근콘크리트 구조물에 반복수평하중이 작용할 때, 전단용력은 순수강접 프레임의 경우는 기둥의 띠철근비가 증가하여도 전단용력과 수평내력의 변화는 없었으며, 완전강접 바벨형 전단벽 시험체의 경우 경계 기둥의 띠철근비가 증가되었을 때 시험체(FW-2, FW-3)는 전단용력과 최대 수평내력이 약 1.1~1.2배 증가하였고, 벽체를 끼움판 형식으로 하여 경계기둥 띠철근비를 변화시킨, 끼움판형 전단벽 시험체의 경우는 FWC-2, FWC-3 시험체가 전단용력과 최대 수평내력이 약 1.17~1.27배 증가되었다. 그리고 기둥의 띠철근비가 변화할때 각 시험체의 전단용력을 살펴보면, 완전강접프레임 시험체의 경우 기둥의 띠철근비가 증가하여도, 각 시험체는 전단용력과 최대 수평내력에는 뚜렷한 변화가 발견되지 않았으나, 단면크기와 주철근비가 동일한 시험체에서 띠철근비가 클수록 띠철근비의 영향으로 휨과괴를 유도하는 효과가 있어 연성 확보에 유리하다고 볼 수 있다.

4. 결 론

- 1) 순수강접 프레임 기둥의 띠철근비를 증가 시켰을때, 수평내력 변화는 없었으나, 종국 파괴시 1.13배 연성증대 효과가 있었다.
- 2) 띠철근비를 2~3배로 증가시킨 완전강접 바벨형전단벽 시험체는 전단용력 및 수평내력이 1.1~1.2배, 끼움판형 전단벽형 시험체에서는 수평내력이 1.17~1.27배로 증가되고, 종국파괴시 프레임의 취성과파괴가 억제되고 1.21배의 연성증대 효과가 있었다.
- 3) 순수강접 프레임과 완전강접 바벨형 전단벽 시험체의 수평내력은 완전강접 바벨형 시험체가 약 5.7~8.0배 증가되었고, 순수강접 프레임면내에 끼움판형 전단벽의 시험체는 약 4.0~5.6배의 수평내력이 증대되었다.
- 4) 완전강접 바벨형 전단벽 시험체의 경우는 끼움판형 전단벽 시험체보다 수평내력이 1.22~1.41배 크게 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) Fenwick, R.C. and Paulay, T, "Mechanisms of Shear Resistance of Concrete Beams," Proceedings of ASCE, ST10, Oct., 1968, pp.2325-2345
- 2) ACI Committee 442, "Response of Buildings to Lateral Forces," Journal of ACI, Vol.68, No.2, February, 1971.
- 3) 白石, "鐵筋콘크리트造耐震壁의最大せん斷耐力に關する考察," 日本建築學會構造系論集, 第 365, 昭和61年7月, pp.144-155.
- 4) 柳下和男雲 等, "耐震壁의最大せん斷耐力と復元力特性," 콘크리트年次論文報告集 9-2, 1987, pp. 397-402.
- 5) 伊藤光康 他, "連層耐震壁に關する實驗的研究," 콘크리트年次論文報告集, 1987, pp. 409-412.
- 6) 신중학, "수평력을 받는 프레임면내 조직벽의 내력에 관한 실험적 연구", 영남대학교 대학원 박사학위 논문, 1989. 12
- 7) 하기주, "고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 이력거동 및 내진성능 개선", 한국과학기술원 박사학위 논문, 1992.