

반복하중을 받는 철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 골조 구속에 따른 구조성능 평가 및 개선

Improvement and Evaluation of Structural Performance of Reinforced Concrete Infilled Masonry Frame with Restraining Factor of Frame under Load Reversals

신 종 학* 하 기 주* 김 광 연** 이 희 중*** 남 왕 교****
Shin, Jong Hack Ha, Gee-Joo Kim Kwang Hyon Lee, Hee Jong Nam, Wang Gyo

Abstract

Experimental programs were accomplished to improve and evaluate the structural performance of test specimens, such as the hysteretic behavior, the maximum horizontal strength, crack propagation, and ductility etc. Test variables are restraining factors of frame, with or without masonry infilled wall, and masonry method. Six reinforced concrete rigid frame and masonry infilled wall were tested and constructed in one-third scale size under vertical and cyclic loads simultaneously. Based on the test results, the following conclusions can be made.

For masonry infilled wall with restraining factors of frame, maximum horizontal capacities were increased by 1.91~2.24 times in comparison with that of rigid frame.

For masonry infilled wall with restraining factors of frame(IFWB-1~3), cumulated energy dissipation capacities were increased by 1.35~1.60 times in comparison with that of masonry infilled wall(IFB-1) at final stage of testing.

1. 서론

국내 중·저층 철근콘크리트 구조물들의 대부분은 내진설계에 대한 기준 적용이 완화되어 있어 내진성에 대한 기술적인 연구나 검증이 아직 미흡한 상태이다. 특히 이들 구조물 중에서 구법이 용이하고 경제적인 조적벽으로 프레임면내에 설치하는 조적벽체의 대부분은 단순장막벽으로 간주하여 내력 및 효율성을 무시하고 있다. 그러나, 실제 조적벽은 바람이나 지진 등의 수평력에 저항할 수 있을 뿐만 아니라 이들의 상호 작용에 의하여 강도와 수평강성이 증대된다는 사실은 많은 연구자들에 의하여 나타나고 있다. 따라서, 본 연구에서는 수직, 수평하중이 동시에 작용하는 철근콘크리트 프레임면내 조적벽(시멘트 벽돌)을 설치하였을 때, 프레임과 매움벽의 면내 골조 구속상황에 따른 수평내력, 균열진전상황, 연성 및 에너지 소산능력 등을 평가하여 철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 효율성을 제시하고자 한다.

- * 정회원, 경일대 건축공학과 교수, 공학박사
- ** 정회원, 경운대 건축공학과 교수, 공학박사
- *** 정회원, 경일대 대학원, 석사
- **** 정회원, 경일대 대학원, 석사과정

2. 구조성능 실험

2.1. 실험계획 및 실험방법

그림 2와 같이 철근콘크리트 프레임의 기둥상부에 Oil Jack으로 수직하중을 허용축하중($0.15 \cdot f_{ck} \cdot A_{be}$) 범위내에서 일정하게 유지시키면서 Actuator로 3.7mm씩 일정한 사이클로 정(+)·부(-) 수평하중을 반복적으로 동시에 가려시킬 때, 유형별 실험체의 균열진전상황, 연성비, 에너지 소산능력 등의 거동특성을 파악하기 위한 실험을 실시한다.

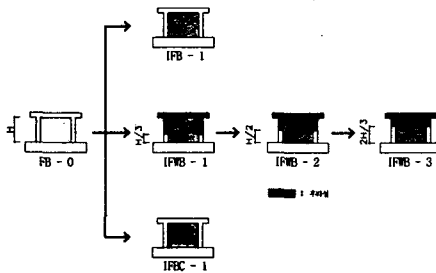


그림 1 연구범위

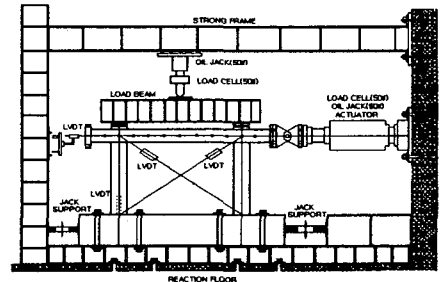


그림 2 설치상태 및 가력장치

2.2. 실험체의 제작

순수강접프레임(FB-0)을 기준으로 철근콘크리트 프레임내 단순장막벽 형식으로 조적벽을 축조한 메움벽 실험체(IFB-1), 기둥단면을 시멘트벽돌(재래형 1/3)의 반질 크기로 cut off한 후 조적벽을 축조한 메움벽 실험체(IFBC-1), 조적벽체를 쌓은 후 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1~3)등을 채택하여 총 6개의 실험체를 연구하고자 하는 유형에 따라 실험크기의 1/3로 구분 제작하였다.

2.3. 사용재료 및 배합설계

주근철근(보·기둥)은 SD 40(D10), 늑근·대근용 철선은 MSWR 24(ϕ 6.0)를 사용하였으며, 철근과 철선의 물리적 성질은 표 1과 같다. 콘크리트의 압축강도 실험결과는 표2와 같고, 조적벽체에 사용된 시멘트벽돌의 압축강도는 KSF 4004의 규준에 의하여 제작하였다. 시멘트벽돌의 실험결과는 표 3과 같다.

표 1 철근 및 철선의 물리적 성질

항목	단면적 (A) (cm^2)	항복점 (f_y) (kgf/cm^2)	인장강도 (σ_u) (kgf/cm^2)	탄성계수 (E_s) (kgf/cm^2)	ϵ_{max} (%)
종류					
HD10	0.71	4,000	5,260	2.05×10^9	22.1
ϕ 6.0	0.28	2,800	4,570	2.3×10^9	32.1

표 2 콘크리트 압축강도 실험결과

구분	슬럼프치 (cm)	f_{ck} (kgf/cm^2)	E_c ($\times 10^5 \text{kgf/cm}^2$)
28일(재령)	15	210	2.1

표 3 시멘트벽돌 시험결과

벽돌크기 (cm)	f_{bc} (kgf/cm^2)	E_b ($\times 10^5 \text{kgf/cm}^2$)	ν_b
$7.0 \times 3.3 \times 2.0$	83	1.21	0.14

3. 실험결과 및 분석

3.1 이력거동 특성

골조 구속상황에 따른 각 실험체의 이력거동을 규명하기 위하여 각 실험체의 기둥 주각 주근에 부착된 스트레인게이지의 측정치가 항복변형에 이를 때 하중 작용점의 변위를 항복변위로 정의하였다. 또한, 반복 수평하중을 각 실험체에 가력하였을 때의 이력거동특성에 대한 하중-변위곡선의 결과는 그림 3와 같다.

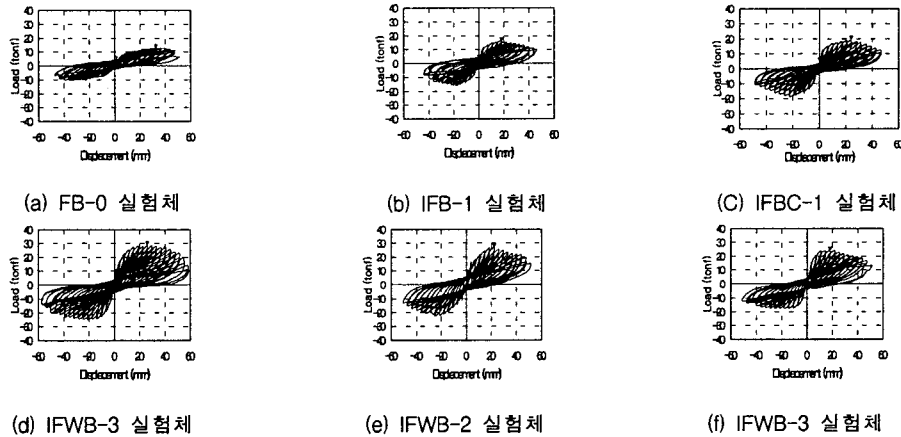


그림 3 하중-변위 곡선

3.2 파괴 형태

실험체의 파괴형태는 그림 4에서 나타난바와 같다. FB-0 실험체의 경우 전면 좌측 기둥 주두부위에서 초기균열이 발생하여 점차 수평하중이 증가함에 따라 휨균열이 더욱 진전되었으며, 전면 좌측 기둥 주각 부에는 사방향 균열의 발생으로 인하여 기둥의 압괴현상과 콘크리트 탈락현상으로 종국파괴에 이르게 되었다. IFB-1 실험체의 경우 초기 균열은 조적벽면 높이의 1/3 부분에서 사방향 균열이 발생되었고, 이후 벽면 상부와 중앙부에서 사방향균열과 함께 조적줄눈을 따라 수평균열이 발생되었다. 기둥에서의 초기균열은 전면 우측 기둥의 주각에서 사방향 균열이 발생하기 시작하였고, 이때 조적벽면에서는 부분적으로 슬립(Slip)현상이 일어났다. 종국파괴시에는 전면 우측 기둥 주두부위와 전면 좌측 기둥 주각 부에서의 압괴현상과 벽면 벽돌의 이탈현상으로 파괴에 이르게되었다.

IFBC-1 실험체의 경우 초기균열은 벽면의 1/3높이에서 사방향 균열이 발생되었고, 이후 벽면 상단 부에서 수평 및 사방향균열과 슬립(Slip)현상도 일어났다. 기둥의 초기균열은 주각부위에서 휨균열이 발생되었고, 이후 기둥골조의 중간부에서 전단균열도 발생되었다. 최대수평하중에 도달하였을 때 전면 우측 기둥 주두부위에서 다수의 전단균열과 기둥철근의 항복, 주각의 압괴현상이 일어났다.

IFWB-1 실험체의 경우 조적벽면 전면 우측 상부에서 사방향으로 초기균열이 발생하여 수평하중이 증가함에 따라 대각선 방향으로 점진적으로 진전되었다. 기둥의 초기균열은 전면 좌측 기둥 주각부에서 사방향 균열이 발생하였다. 최대 수평하중에 도달한 후 수평하중을 반복적으로 가력하였을 때 수평 내력이 감소되고, 프레임과 조적벽면에서는 크랙이 더욱 진전되었다.

IFWB-2 실험체의 경우에는 초기균열이 조적벽면 좌·우측 상부에서 발생하였고, 초기균열이후 하중을 증가시켰을 때 조적벽면에서는 좌·우측 기둥을 따라 사방향으로 진전되었고, 기둥에서는 휨균열이 발생하였다. 또한, 하중이 증가됨에 따라 전면 우측 상부와 전면 좌측 하부에서 크랙이 사방향으로 진전되었고, 전면 우측 기둥 주각에서는 휨균열의 진전으로 사방향 크랙이 발생하였다.

최대 수평하중이후 조적벽면에서는 전면 우측 기둥 접합부 상부근처에서 조적벽이 압괴되기 시작하여 기둥높이의 1/2높이에서 조적벽면의 좌·우측에서 조적벽이 크게 압괴되었다.

IFWB-3 실험체의 경우에는 초기균열이 조적벽면 좌·우측 상부에서 발생하여 좌·우측 기둥을 따라 사방향 균열로 진전되는 양상을 나타내었다. 기둥의 초기균열은 전면 우측 중간부에서 휨균열이 발생되었고, 하중이 증가함에 따라 전면 좌측 기둥의 주두에서 사인장 균열이 발생되었다. 최대 수평하중에 도달한 후 수평내력은 점차적으로 감소되었지만 초기균열의 진전으로 조적벽면에서는 좌·우측 상부에서 크게 압괴되었고 전면 좌측 기둥의 주각부에서 사방향 균열이 크게 발생되었다.

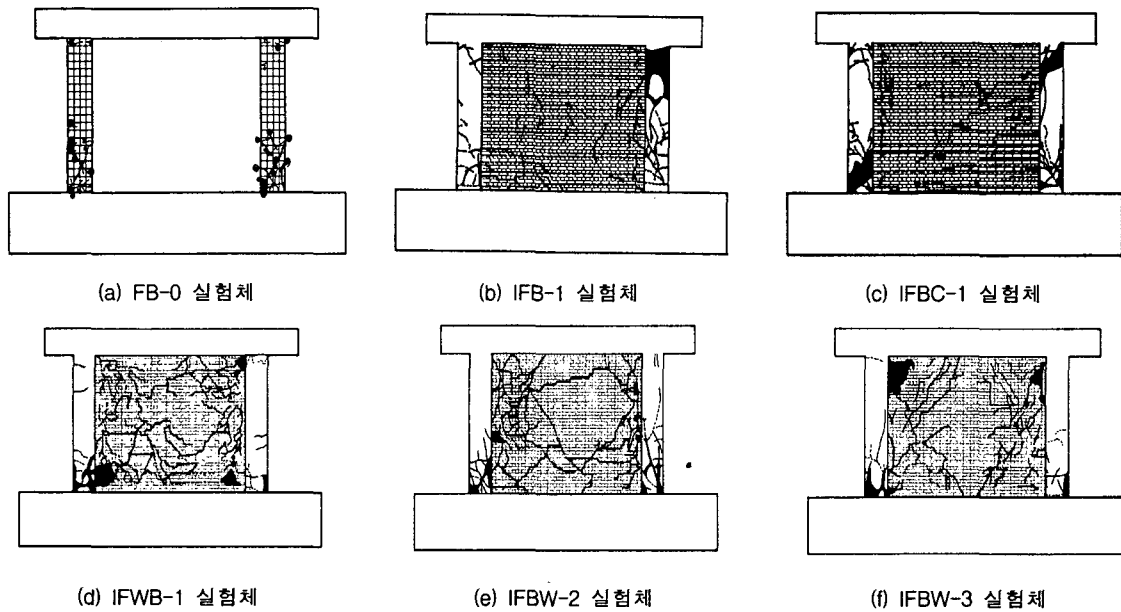


그림 4 파괴형태

3.3. 최대수평내력

각 실험체의 하중-변위곡선, 최대수평내력, 내력비 비교·분석은 그림 5~7과 같이 나타내었다.

순수 강접프레임(FB-0)를 중심으로 단순장막벽형식 실험체(IFB-1), 기둥 단면을 cut off한 후 조적벽을 축조한 메움벽 실험체(IFBC-1), 조적벽체를 쌓은 후 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1~3) 수평내력을 비교한 결과, IFB-1 실험체는 1.26배, IFBC-1 실험체는 1.50배, 또한, IFWB-1~3 실험체는 1.91~2.24배 증가함을 알 수 있었다. 조적벽체를 쌓은 후 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1~3)의 경우에는 후타설한 기둥 골조 구속상황에 따라 내력이 변화 하였다.

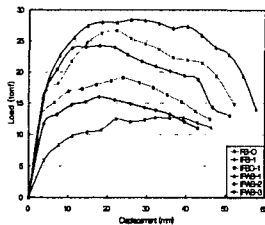


그림 5 하중-변위곡선

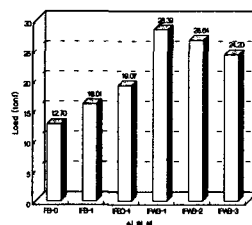


그림 6 최대수평내력

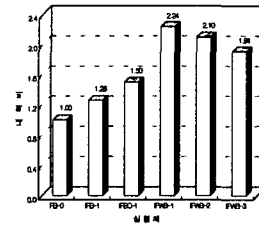


그림 7 최대수평내력비

3.4. 조적벽체의 순수내력

조적벽체만의 순수내력을 평가하기 위하여 순수강 접프레임 실험체(FB-0)를 중심으로 동일한 조건하에 순수내력을 비교하면 그림 8과 같이 단순장막벽 형식의 실험체(IFB-1)는 3.31(tf), 기둥단면을 cut off한 조적조 메움벽 실험체(IFBC-1)는 6.37(tf), 조적벽체를 쌓은 후 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1~3)인 IFWB-1 실험체의 경우 15.69(tf), IFWB-2 실험체의 경우 13.94(tf) IFWB-3 실험체의 경우 11.50(tf)으로 나타났다.

3.5 연성능력 비교

부재 변형능력인 연성을 부재의 항복시의 변위 (δ_y), 부재 최대하중시의 변위 (δ_{max}), 최대하중 (V_{max}), 최대하중의 80%에서의 변위량 (δ_u)을 식 (1)을 사용하여, 각 실험체의 연성능력비를 그림 9와 같이 나타내었다.

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (1)$$

여기서, μ : 연성비
 δ_y : 항복시의 변위
 δ_u : 최대하중이후 최대하중의 80%일 때의 수평변위

3.6. 최대수평내력의 실험값과 이론값의 비교·분석

각 실험체의 최대수평내력을 Chern과 Smith의 제안식을 이용하여 실험결과와 비교하면 그림 10과 같고 IFB-1 실험체는 Chern식과 비교하면 1.24배, Smith식과 비교하면 0.98배로 나타났으며, IFBC-1 실험체는 Chern식과 비교하면 1.48배, Smith식과 비교하면 1.17배로 나타났다. IFWB-1~3 실험체는 Chern식과 비교하면 1.88~2.20배, Smith식과 비교하면 1.49~1.75배로 나타났다.

IFB-1, IFBC-1 실험체의 경우 Chern과 Smith의 제안식에 적용시키면 큰 차이가 없는 것을 알 수 있지만, IFWB-1~3 실험체의 경우 제안식을 적용한 값과 수평내력의 오차가 큰 것은, 제안식이 구속상황에 대한 고려가 되지않은 결과로 사료된다.

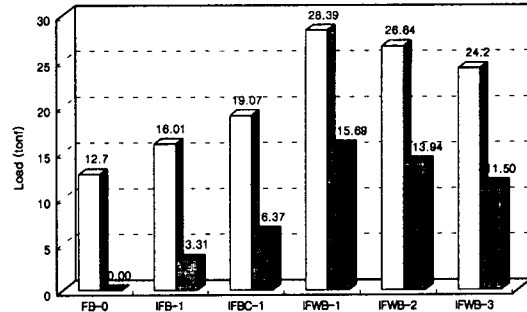


그림 8 조적벽체의 순수내력비교

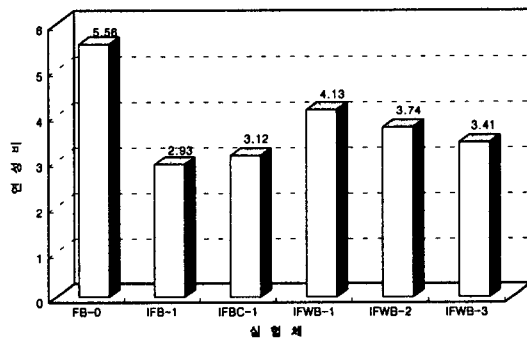


그림 9 연성비 비교

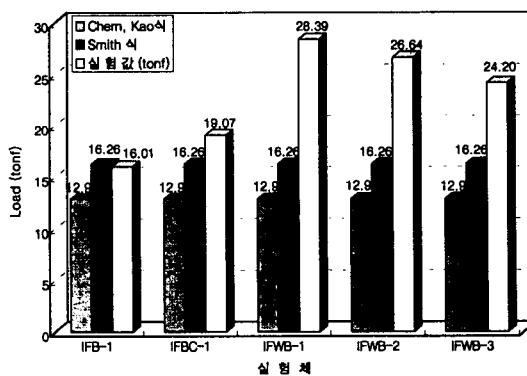


그림 10 각 실험체의 실험값 · 이론값 비교

3.7. 에너지 소산능력

지진하중과 같은 수평하중을 받는 프레임면내 조적벽 매움벽의 바람직한 거동은 강성과 강도의 큰 저하없이 비탄성 범위에서 안전하게 거동할 수 있는 능력이 있어야 함으로 이를 평가하는 방법으로 에너지 소산능력을 적용 할 수 있다.

그림 11은 각 실험체의 에너지 소산능력을 24Step을 중심으로 비교하여 보면, 전체적으로 5~6Step까지는 탄성범위내에 있었으나 7Step이후 각 실험체 마다 소성범위에 이르렀다.

IFB-1 실험체를 대상으로 에너지 소산능력을 비교한 결과, 24Step을 중심으로, IFBC-1 실험체는 1.12배, IFWB-1~3 실험체는 1.35~1.60배 증가함을 알 수 있었다.

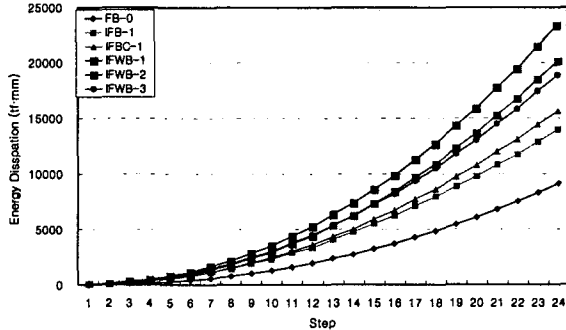


그림 11 에너지 소산능력 비교

4. 결론

철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 골조 구속상황에 따른 내진성능을 평가하기 위하여 실험을 실시하고 실험결과를 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실험체의 파괴상태를 비교한 결과 IFB-1 실험체의 경우는 골조와 조적벽면의 경계접합부의 비일체 거동으로 경계접합부의 분리현상이 발생되었고, IFBC-1 실험체의 경우는 기둥골조와 조적벽면의 경계접합부가 cut off 되어 있어 경계접합부의 분리현상이 억제되었다. 또한, IFWB-1~3 실험체의 경우는 골조의 후타설 영향으로 경계접합부 분리현상이 억제되고 프레임과 조적벽면이 거의 일체화된 거동을 나타내었다.

2) 단순장막벽 프레임 실험체(IFB-0)를 중심으로 최대수평내력을 비교한 결과, 단순 장막벽 형식의 실험체(IFB-1)의 경우 1.26배, 기둥 단면을 cut off한 실험체(IFBC-1)의 경우 1.50배, 조적벽체를 쌓은 후 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1~3)의 경우는 1.91~2.24배 증가하였다.

3) 단순장막벽 형식의 실험체(IFB-1)를 중심으로 연성비(μ)를 비교한 결과, 기둥단면을 cut off한 실험체(IFBC-1)의 경우 연성비(μ)가 1.06배 증가하였고, 조적벽체를 쌓은 후 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1~3)의 경우 연성비는 1.16~1.41배 증가하였다.

4) 단순장막벽 형식의 실험체(IFB-1)를 중심으로 에너지 소산능력을 비교한 결과, 기둥 단면을 cut off한 실험체(IFBC-1)의 경우는 1.12배, 조적벽체를 쌓은 후 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1~3)의 경우는 1.35~1.60배 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Chen C.C and Kao C.C, "The Experimental Structural on Seismic Behavior for the R.C. Frame Filled with Brick Wall," The First East-Asian Conference on Structural Engineering and Construction, Jan., pp. 644-6561, 1986.
2. Stafford Smith, B., "Behaviour of square infilled frames," Proc. ASCE, Vol.92(ST1). Feb., pp.381-403, 1966.
3. 신중학, 하기주, 권중배, 전찬목, "반복하중을 받는 철근콘크리트 전단벽체의 접합방식에 따른 구조성능평가", 한국콘크리트학회 가을학술논문집 제9권21호, pp513-518, 1997. 11.
4. 전하석, "반복수평하중을 받는 철근콘크리트 프레임면내 조적벽의 거동특성에 관한 연구", 경일대학교 석사학위논문, 1999. 2.
5. 신중학, "수평력을 받는 프레임면내 조적벽의 내력에 관한 실험적 연구", 영남대학교 대학원 박사학위 논문, 1989. 12.