

철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 내진성능개선 기술 개발

Development of Technique for Improvement of Earthquake-Resistant Performance of Reinforced Concrete Infilled Masonry Frame

신 중 학^{*} 하 기 주^{*} 최 민 권^{**} 권 중 배^{***} 남 왕 교^{***}
Shin, Jong Hack Ha, Gee Joo Choe, Min Kwon Kwon, Jung Bae Nam, Wang Gyo

Abstract

Experimental programs were accomplished to improve and evaluate the structural performance of test specimens, such as hysteretic behavior, 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 constructed and tested 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 walls with restraining factors of frame, maximum horizontal capacities were increased by 1.26~2.24 times in comparison with that of rigid frame.

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

1. 서론

국내의 중·저층 철근콘크리트와 철골구조물에서 구법이 용이하고 경제적인 이유로, 내·외부 칸막이벽 형식으로 조적조 메움벽이 많이 사용되어 지고 있는 실정이다. 그러나 대상구조물의 구조해석 및 설계의 복잡성과 적합한 이론의 미흡으로 인하여 구조요소로서의 효과는 무시하고 단순장막벽으로 취급하고 있다. 또한 지진하중과 같은 횡하중을 받는 철근콘크리트 구조물에서 프레임면내에 조적조 메움벽이 설치될 경우, 이들의 상호작용에 의하여 내력 및 수평강성이 증대된다는 사실을 인정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 수직, 수평하중이 동시에 반복적으로 작용하는, 철근콘크리트 프레임면내에 조적벽을 설치하였을 때, 프레임과 조적조 메움벽 경계접합부의 구속상황에 따른 실험체를 제작하여, 실험을 통해서 비교·분석하여 내진성능을 평가하고 개선하고자 한다. 그 결과를 토대로, 중·저층의 철근콘크리트조 구조물의 리모델링이나 신축시, 수평내력 및 강성의 증대방안의 일환으로 활용하고, 내진성능 향상을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 경일대 건축공학과 교수
** 정회원, 계명대 건축공학과 교수
*** 정회원, 경일대 건축공학과 대학원

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 가력시킬 때, 유형별 실험체의 균열진전상황, 연성비, 에너지 소산능력 등의 거동특성을 파악하기 위한 실험을 실시한다.

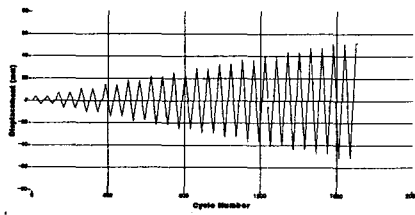


그림 2 하중 이력형태 (Loading History)

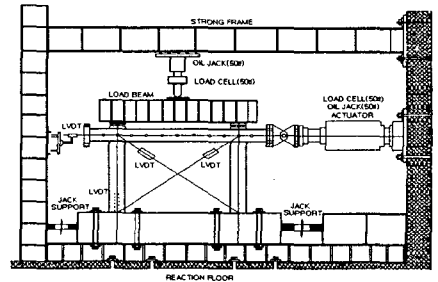


그림 2 설치상태 및 가력장치

2.2. 실험체의 제작

순수 강접프레임(FB-0)을 기준으로 철근콘크리트 프레임면내 단순 장막벽 형식으로 조적벽을 축조한 메움벽 실험체(IFB-1), 메움벽면의 $h/3$ 와 $2h/3$ 의 수평출눈부에 와이어메쉬보강실험체(IFBM-1,2) 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)등을 채택하여 총 6개의 실험체를 연구하고자 하는 유형에 따라 실물크기의 $1/3$ 로 구분 제작하였다.

2.3. 사용재료 및 배합설계

주근철근(보·기둥)은 SD 40(D10), 전단보강용 철선은 MSWR 24(ϕ 6.0)를 사용하였으며, 철근과 철선의 물리적 성질은 표 1과 같다. 콘크리트의 압축강도 실험결과는 표2와 같고, 조적벽체에 사용된 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	2.05×10^5	22.1
ϕ 6.0	0.28	2,800	4,570	2.3×10^5	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 가려하였을 때의 이력거동특성에 대한 하중-변위곡선의 결과는 그림 3와 같다.

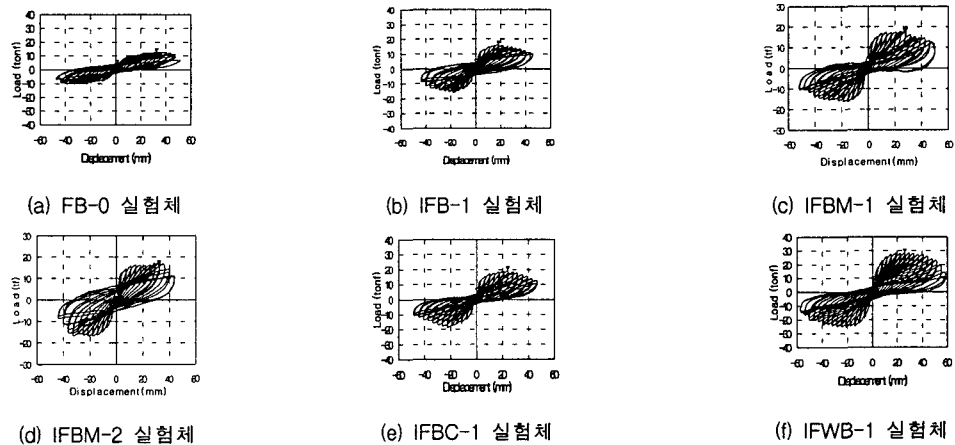


그림3 하중-변위 곡선

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 초기 균열은 전면 우측 기둥의 주각에서 사방향 균열이 발생하기 시작하였고, 이때 조적벽면에서는 부분적으로 슬립(Slip)현상이 일어났다. 종국파괴시에는 전면 우측 기둥 주두부위와 전면 좌측 기둥 주각부에서의 압괴현상과 벽면 벽돌의 이탈현상으로 파괴에 이르게되었다.

IFBM-1 실험체는 좌측 벽면 중앙부에서 초기균열이 발생되었다. 기둥의 초기 균열은 수좌측기둥 주각부에서 기둥의 초기 균열이 발생되었다. 수평변위의 증가로 우측 기둥주각부 조적벽면 모서리에서 면내 수평균열의 진전이 사방향균열로 진전되었고, 우측기둥 주각부 조적벽면 모서리에서 압괴가 발생되었다. 우측기둥 주각부 조적벽면의 압괴의 진전이 이미 균열폭이 증대된 우측기둥 주각부의 압괴도 동반하였다. 이후, 하중의 증가로 우측기둥 주각부의 콘크리트 탈락과 슬립현상으로 종국파괴에 이르렀다.

IFBM-2 실험체는, 좌측기둥 주각부 조적벽면 모서리 부분에서 사방향으로 초기 균열이 발생하였으며, 기둥의 초기 균열은 배면 우측기둥 주각부에서 발생되었다. 기둥의 초기 균열 이후 수평하중의 증가로 조적벽면에서의 전체적인 경사 균열의 진전으로 조적벽면의 국부압괴현상과 전단균열로 인해 조적벽면과 프레임접합부의 탈락현상이 발생하였다. 조적벽면에서 사방향균열에 의한 국부압괴가 발생하

였고, 기둥에서도 콘크리트 압괴현상이 발생하였다. 최대 하중 이후 변위의 증가로 콘크리트 압괴 진전에 의한 콘크리트 탈락현상으로 종국파괴에 이르렀다.

IFBC-1 실험체의 경우 초기균열은 벽면의 1/3높이에서 사방향 균열이 발생되었고, 이후 벽면 상단부에서 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.

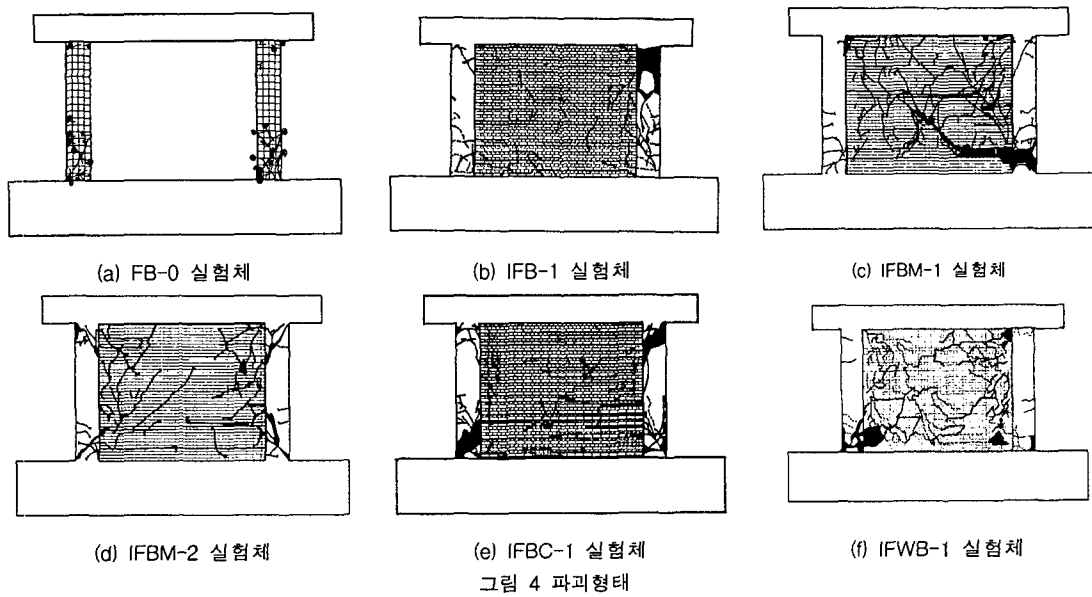


그림 4 파괴형태

3.3. 최대수평내력

각 실험체의 하중-변위곡선, 최대수평내력, 내력비 비교·분석은 그림 5~6과 같이 나타내었다.

최대수평하중 12.70(tf)를 나타낸 기준실험체(FB-0)를 대상으로, 각 실험체의 최대수평내력을 비교한 결과, 단순 장막벽형식의 메움벽 실험체(IFB-1)은 1.26배, 와이어메쉬 보강 실험체(IFBM-1,2)는 1.38~1.42배, 기둥단면을 cut off 한후 조적조를 축조한 메움벽 실험체(IFBC-1)은 1.50배, 조적벽체를 먼저 조적하고, 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1)은, 2.24배 증가함을 나타내었다.

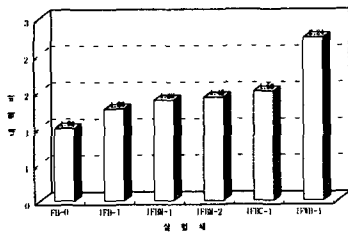


그림 5 실험체의 내력비 비교

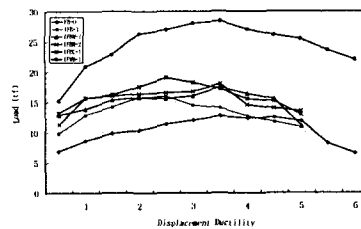


그림 6 실험체의 변위연성 곡선

3.4. 조적벽체의 순수내력

순수 강접프레임 실험체(FB-0)를 대상으로 조적벽체의 순수내력을 비교한 결과, 단순 장막벽형식의 실험체(IFB-1)은 3.31(tf), 와이어메쉬 보강 실험체(IFBM-1,2)는 4.82~5.32(tf), 기둥단면을 cut off한후 조적조 매움벽 실험체(IFBC-1)는 6.37(tf), 조적벽체를 먼저 조적하고, 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1)은 15.69(tf)로 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 그림9와 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 제안식에 적용하여, 실험결과와 비교한 결과, IFB-1 실험체는 Chern식과 비교하면 1.24배, Smith식과 비교하면 0.98배로 나타났으며, IFBM-1,2 실험체는 Chern식과 비교하면 1.36~1.40배, Smith식과 비교하면 1.08~1.11배로 나타났으며, IFBC-1 실험체는 Chern식과 비교하면 1.48배, Smith식과 비교하면 1.17배로 나타났으며, IFWB-1 실험체는 Chern식과 비교하면 2.20배, Smith식과 비교하면 1.75배로 나타났다.

각 실험체의 최대수평내력 실험값이 철근콘크리트 프레임과 조적벽체 경계접합부의 구속상황에 따라서는 차이를 나타내었지만, Chern과 Smith의 제안식에 적용시키면, 차이가 없는 것을 알 수 있는데 이는 제안식에서 구속상황에 대한 고려가 되지 않았기 때문이다.

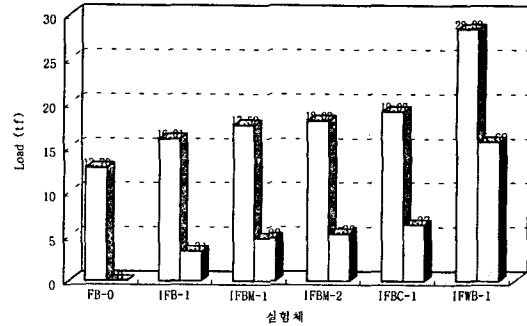


그림 7 조적벽체의 순수내력

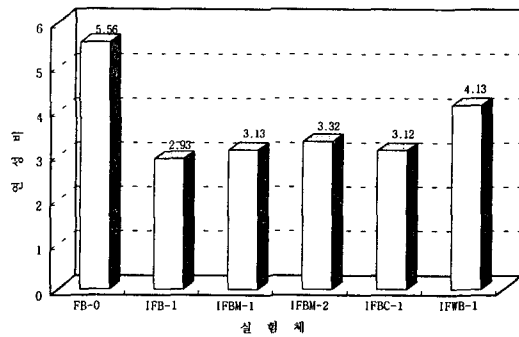


그림 8 연성비 비교

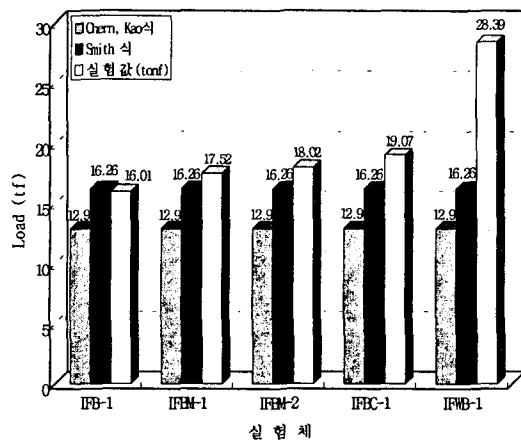


그림 10 실험값·이론값 비교

3.7. 에너지 소산능력

지진하중과 같은 수평하중을 받는 프레임면내 조적조 메움벽의 바람직한 거동은 강성과 강도의 큰 저하 없이 비탄성 범위에서 안전하게 거동할 수 있는 능력이 있어야 함으로, 이를 평가하는 방법으로 에너지 소산능력을 적용 할 수 있다.

그림 11은, 각 실험체의 에너지 소산능력을 24 Step을 중심으로 비교하여 보면, 이 그림 11을 보면 전체적으로 4Step까지는 탄성범위 내에 있었으나, 하중이 증감됨에 따라 7Step이후에는 각 실험체의 구속정도에 따라 많은 차이를 나타내었다.

단순장막벽 형식의 메움벽 실험체(IFB-1)를 대상으로 24Step을 중심으로, 에너지 소산능력을 비교한 결과, 프레임면내 구속력을 증대한 실험체인, IFBM-1,2는 1.06~1.1배, IFBC-1는 1.2배, IFWB-1은 1.6배 증가함을 알 수 있었다.

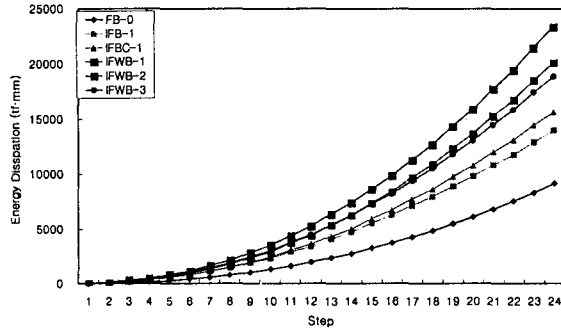


그림 11 에너지 소산능력 비교

4. 결론

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

1) 단순장막벽 형식의 메움벽 실험체와 프레임과 메움벽의 면내 구속력을 증대한 실험체의 균열형태를 비교한 결과, 단순장막벽 형식의 메움벽 실험체는 경계접합부 모르타르의 구속력 약화에 따른 분리현상에 의해, 프레임의 균열진전으로 취성과파괴에 이르렀다. 프레임면과 메움벽의 면내 구속력을 증대한 실험체의 경우, 프레임과 조적벽체 경계접합부에서의 강한 구속력으로 인하여 일체화 거동을 나타내었고, 프레임의 손상을 최소화 하였다.

2) 기준실험체(FB-0)를 대상으로, 각 실험체의 최대수평내력을 비교한 결과, 단순장막벽 형식의 메움벽 실험체(IFB-1)은 1.26배, 와이어메쉬보강 실험체(IFBM-1,2)는, 1.38~1.42배, 기둥단면을 Cut off 한 후, 조적조를 축조한 메움벽 실험체(IFBC-1)은, 1.50배, 조적벽체를 먼저 조적하고, 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1)은, 2.24배 증가함을 나타내었다.

3) 순수 강접프레임 실험체(FB-0)를 대상으로 조적벽체의 순수내력을 비교한 결과, 단순장막벽 형식의 실험체(IFB-1)은 3.31(tf), 와이어메쉬 보강 실험체(IFBM-1,2)는 4.82~5.32(tf), 기둥단면을 Cut off 한 후, 조적조 메움벽 실험체(IFBC-1)은 6.37(tf), 조적벽체를 먼저 조적하고, 프레임을 후타설한 실험체(IFWB-1)은, 15.69(tf)로 나타났다.

4) 단순장막벽 형식의 메움벽 실험체(IFB-1)을 대상으로, 에너지 소산능력을 비교한 결과, 프레임면내 구속력을 증대한 실험체인, 실험체(IFBM-1,2)는, 1.06~1.1배, 실험체(IFBC-1)은, 1.2배, 실험체(IFWB-1)은, 1.6배 증가함을 나타내었다.

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. 신중학, "수평력을 받는 프레임면내 조적벽의 내력에 관한 실험적 연구", 영남대학교 대학원 박사학위 논문, 1989. 12.
5. 신중학, 하기주, 권중배, 전찬목, "철근콘크리트 전단벽의 접합방식에 따른 내진성능평가", 대한건축학회 논문집, 제 13권 5호, pp219-231, 1997. 5