

# 10층 조적채움 R.C.골조의 비선형 거동에 대한 해석과 실험의 상관성 연구

## Corelation of Experimental and Analytical Response of a 1:12 Scale 10-Story Masonry-Infilled R.C. Frame

이 한 선\*  
Lee, Han-Seon

김 정 우\*\*  
Kim, Jeong-Woo

김 상 호\*\*\*  
Kim, Sang-Ho

### ABSTRACT

Nowadays, the pushover analysis technique is becoming a very useful tool for the prediction of inelastic behavior of structures in the seismic evaluation of existing buildings in the world. However, the reliability of this analysis method has not been fully checked by the test results. The objective of this study is to verify the correlation between the analytical and experimental response of a high-rise masonry infilled reinforced concrete frame using DRAIN-2DX program and the test results performed previously.

This study concludes that the strength and stiffness of members can be predicted with quite high reliability while the ductility capacity of members can not be described reasonably.

#### 1. 서론

국내의 많은 건축 구조물에는 여러 가지 이유로 조적채움벽이 사용되고 있다. 그러나 이러한 구조물의 지진응답 특히, 비선형 거동에 대한 국내 연구자료는 극히 빈약한 실정이다. 해외문헌을 살펴보면 더라도 1층 1경간 조적채움 골조에 대한 실험은 일부에서 수행된 바가 있으나, 10층 이상의 조적채움 구조물에 대한 실험 및 해석자료는 거의 없는 상태이다.

본 논문은 최근에 수행된 10층 1:12축소 철근콘크리트 조적채움 골조의 일방향 가력실험<sup>(1)</sup>에서의 결과와 구조물의 비선형 거동을 예측하는데 세계적으로 널리 사용되고 있는 해석 프로그램인 DRAIN-2DX<sup>(3)</sup>으로부터 얻은 해석결과를 서로 비교, 검토함으로써 프로그램의 신뢰성을 확인하고, 해석프로그램의 적용에 있어서의 문제점과 한계성을 검토하고자 한다.

#### 2. 실험 개요

##### 2.1 재료실험

모델콘크리트의 경우 골재를 축소율에 맞게 체가름하여 사용하였고, 모델철근의 경우 항복강도 (Stress)에 단면적을 곱한 항복력(Force)이 상사성 법칙에 일치하도록 제작하였다. 모델벽들의 경우는 1/5 축소로 제작후 0.5B로 쌓아, 1/12 축소벽들의 1.0B 쌓기를 나타내는 것으로 가정하였다. 모델벽들의 경우 [그림 1]과 같이 전단 실험을 수행하여 조적 채움벽의 전단탄성계수(Modulus of Rigidity,  $G$ )와 전단응력(Shear Stress,  $\tau_{test}$ )을 ASTM E519-81에 의하여 계산하였다. 표 1에서는 실험모델에 사용된 재료에 대한 실험결과와 계산된  $G$ 와  $\tau_{test}$  값을 보여주고 있다.

\* 정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수 \*\* 정회원, 고려대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\* 고려대학교 건축공학과 석사과정

## 2.2 구조물 실험

실험을 위하여 선정된 실험모델은 실제로 건축된 사무소 건물이며, 실험실의 여건에 따라 축소율을 1:12로 결정하였다. 각층의 지진력 분포를 역삼각형으로 일정하게 유지하기 위해 그림 2와 같이 휘플트리를 구성하였다. 상사성 법칙에 따라 축소율에 의한 자중을 보상하기 위하여, 로드셀(Load Cell), 강봉 및 턴버클로 구성된 수직타이(Vertical Linkage)를 이용하여 각 기둥의 최상층에 부가하중을 가하였다. 이때 적용된 하중의 크기는 5층에 작용하는 축하중으로 각각 0.69톤, 1.6톤, 1.2톤이다. 실험체의 제작 및 실험방법에 관한 자세한 내용은 참고문헌 (1)에 나타나 있다.

## 3. 해석

DRAIN-2DX<sup>(3)</sup>를 사용하여 기둥과 보로 이루어진 평면골조에 조적채움이 들어간 실험모델에 대하여 비선형 정적해석을 수행하였다. 본 논문에서는 실험과 동일한 조건으로 일방향 가력해석을 수행하였다.

### 3.1 재료 모델

실험 모델에 사용된 모델콘크리트와 모델철근의 강도는 재료실험의 결과를 사용하였다. 그러나, 그 이외의 경우에는 상세한 자료를 얻지 못하여 통상적으로 사용되는 값을 사용하였다. 재료모델에 대한 자세한 사항은 참고문헌(2)을 참고하기 바란다.

### 3.2 구조물 모델

골조의 해석모델은 소성힌지 보-기둥 요소(Plastic Hinge Beam-Column Element, Type 02)<sup>(3)</sup>를 사용하였다. 골조의 모델링은 참고문헌(2)에서와 동일한 방법으로 하였다.

압축/인장 링크 요소(Compression/Tension Link Element, Type 09)<sup>(3)</sup>를 사용하여 조적 채움벽을 모델링하였으며, 이 요소의 거동특성은 축강성과 축변위에 의해 표현된다(그림 3). 본 해석에서는, 횡력에 저항하는 채움벽의 압축 스트럿을 압축 링크 요소로 모델링을 하였다(그림 4). 표 2에서는 채움벽의 거동 특성을 링크요소로 치환하기 위해 사용된 식을 보여주고 있다.

표 1. 실험 모델에 사용된 재료실험 결과

모델 콘크리트 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	모델철근 (kgf)				모델벽돌 (kgf/cm <sup>2</sup> )			전단실험체*		
	D2 (D22)		φ1 (D10)		1단	프리즘	몰탈	파괴하중 (P, kgf)	$\tau_{test}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$G^{**}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
	항복력	인장력	항복력	인장력						
371	155	195	34.5	43.8	133.5	140.8	207.0	501	14.91	21,900

\*ASTM E519-81 참조, \*\*파괴하중의 30%에서의 값.

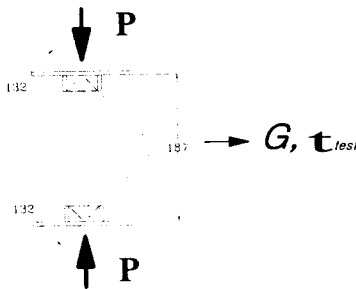


그림 1. 모델 조적벽 전단실험(단위: mm)

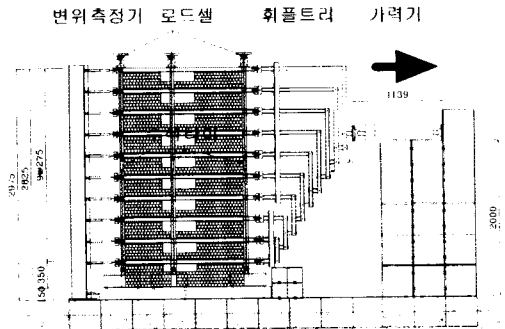


그림 2. 실험체 전체 셀링 모습(단위: mm)

#### 4. 해석 결과와 실험 결과의 비교

축소모델에 대한 실험과 DRAIN-2DX 해석으로부터 얻어낸 층전단력과 층간변위의 관계와 소성현저 위치에서의 회전각을 비교하였다. 해석은 2가지로 수행되었는데, 보와 기둥으로 이루어진 순수골조(Bare Frame)에 대한 해석과 조적 채움골조(Infilled Frame)에 대한 해석을 각각 수행하였다. 실험에서 옥상층 변위 60 mm에서 실험을 종료하였으므로, 해석에서도 옥상층 변위 60 mm까지에 대하여 일방향 가력해석을 수행하였다. 그림 5에서는 하중에 대한 옥상층에서의 변위를 보여주고 있는데, 실험값과 해석값이 거의 일치하고 있다. 해석으로부터 최대하중을 비교해 보면, 순수골조는 1.44 tonf이고 채움골조는 3.14 tonf로, 1.7 tonf를 채움벽이 부담하여 조적 채움벽이 약 54%의 횡력을 저항하고 있음을 알 수 있다.

##### 4.1 층전단력과 층간변위

층전단력과 층간변위의 관계를 살펴보면, 1층의 경우 해석값이 실험값보다 최대 층간변위값이 작고, 3층의 경우에는 그 반대의 현상을 보여주고 있다. 그러나, 극한강도와 초기강성의 경우 해석값과 실험값이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 해석모델이 구조물의 강도와 강성은 적절하게 표현할 수 있으나, 그 연성거동은 적절히 표현할 수 없는 것으로 판단된다.

##### 4.2 회전각

해석에서 회전각은 처짐각법(Slope-Deflection Method)을 사용한 탄성회전각과 DRAIN-2DX의 수행결과로 얻어낸 소성회전각을 더하여 계산하였다. 회전각의 비교결과에서도 강성은 해석값과 실험값이 거의 유사한 반면, 최대 회전각은 많은 차이를 보이고 있다

표 2. 조적 채움벽을 링크 요소로 모델링하면서 적용한 식

적용식	설명	비고	출처
$F_u = \tau_u \times A / \cos \theta$	$F_u$ : 동가스트럿의 파괴강도	$\tau_u = 0.5 \tau_{test}$	참고문헌 (4), (5)
$k_1 = \frac{GA}{H} \times \frac{1}{\cos^2 \theta}$	$k_1$ : 채움벽에 균열이 생기지 않았을 경우의 스트럿 강성	$0.3 F_u$ 까지 $k_1$ 사용	참고문헌 (4),
$k_2 = \frac{E'(t \times w_{eff})}{L}$	$k_2$ : 채움벽에 균열이 생긴 후의 스트럿 강성	$w_{eff} = w' \times 0.175 (\lambda_h h)^{0.4}$ $\lambda_h = \left( \frac{E' t \sin 2\theta'}{4E_h L h'} \right)^{1/4}$ (unit: inch)	참고문헌 (4)
$k_3 = 0, k_4 = k_1$	$k_3$ : 채움벽의 파괴하중 이후의 스트럿 강성	$k_4$ : 제하(unload)시 스트럿 강성	

기호  
 $A$ : 채움벽의 수평방향 면적,  $E'$ : 채움벽의 탄성계수 (압축 프리즘시험에서 구한 탄성계수)  
 $E_h$ : 채움벽 인접기둥의 탄성계수,  $G$ : 조적벽 전단실험에서 구한 전단탄성계수,  $h$ : 채움벽 상하의 절점사이의 거리  
 $h'$ : 채움벽의 순높이,  $L$ : 스트럿의 절점사이 거리,  $t$ : 채움벽의 두께,  $\tau_{test}$ : 조적벽 전단실험에서 구한 전단응력  
 $\theta$ : 동가스트럿 경사각,  $\theta'$ : 패널의 대각선 각도,  $w'$ : 채움벽의 대각선 길이

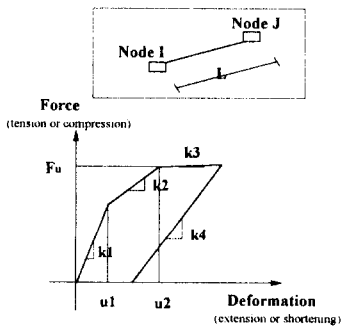
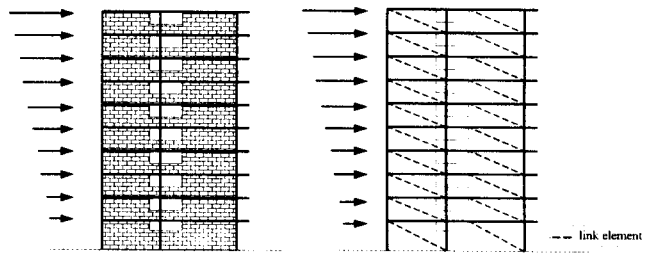


그림 3. 링크 요소 특성



(a) 실험모델

(b) 해석모델

그림 4. 조적채움벽의 모델링

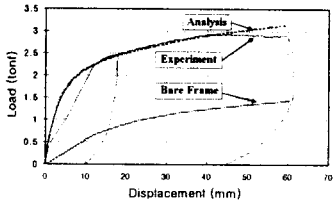
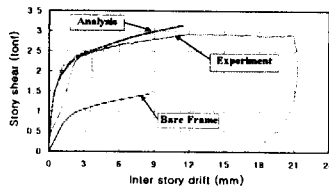
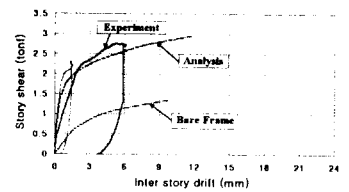


그림 5. 옥상층 변위-하중곡선

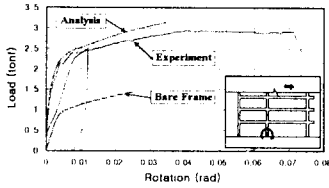


(a) 1층

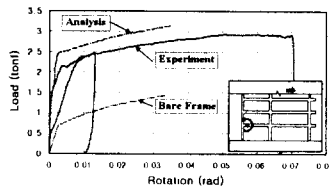


(b) 3층

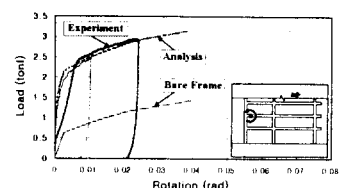
그림 6. 층전단력-층간변위의 비교



(a) 1층 기둥



(b) 2층 보



(c) 3층 보

그림 7. 회전각의 비교

## 5. 결 론

이상의 1:12 축소 10층 R.C. 조적채움 골조의 비선형 거동에 대한 실험과 해석의 상호비교에 의한 결론은 다음과 같다.

- (1) 해석결과, 조적 채움골조가 순수골조에 비하여 상대적으로 강도와 강성이 크고 상당한 양의 횡력을 조적 채움벽이 저항(채움골조: 3.14 tonf, 순수골조: 1.04 tonf)하고 있음을 알 수 있다.
- (2) DRAIN-2DX 프로그램의 링크 요소(TYPE 09)로 조적 채움벽의 거동을 모델링하여 대체적으로 만족할 만한 수준의 결과를 얻을 수 있었다.
- (3) DRAIN-2DX를 이용한 채움골조의 해석은 강도와 강성의 경우 실험값과 잘 일치하는 결과를 보여주고 있으나, 연성능력의 묘사에 있어서는 상당한 차이를 보여줌으로써 추후 이러한 비선형 프로그램의 사용시 그 모델링에 신중을 기해야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 이한선, 김정우, 김상호, "비내진 상세를 가진 10층 철근콘크리트 조적채움 골조 일방향 가력 실험", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제11권 1호, 1999. 5
2. 이한선, 강귀용, 김정우, "비내진 상세를 가진 10층 R.C. 골조의 비선형 거동에 대한 실험과 해석의 상관성 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제10권 2호, 1998. 11
3. Prakash, P. and Powell, G.H., "DRAIN-2DX BASE PROGRAM DESCRIPTION AND USER GUIDE VERSION 1.10", REPORT NO. UCB/SEMM-93/17, November 1993
4. Paolo Negro, "Combined Experiment and Computation for Dynamic Testing of Structure", The University of Wales in Candidature for the degree of Doctor of Philosophy, February 1997
5. BSSC, "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", BSSC, FEMA 273, 1997