

# 주상복합구조에서 전이보와 내부기둥 접합부의 반복횡하중 실험

## Cyclic Loading Test of Interior Deep-Beam Lower-Column Joint in Upper-Shear Wall Lower-Frame Structure

이 한 선\*, 김 상 연\*\*, 고 동 우\*\*\*, 권 기 혁\*, 최 성 모\*\*  
Lee, Han Seon Kim, Sang Yun Ko, Dong woo, Kwon, Ki Hyuk, Choi, Sung Mo

### ABSTRACT

In case of strong earthquake, upper-shear wall lower-frame structures show the weak-story failure at lower part. Where we should guarantee sufficient strength, energy dissipation capacity and ductility In this study, a typical structure was selected for a prototype and four 1:25 scaled models, representing the subassembly including the interior column and the deep beam, were constructed. Experimental parameters include transverse reinforcement ratio and axial force. The non-linear behavior of the subassemblages subjected to the cyclic lateral displac-

ement were evaluated through investigation of the ultimate strength, ductility, load-deformation characteristics. From the results of the tests on 4 specimens, it is concluded that the strength increased as the axial force increased and the ductility increased as the transverse reinforcement ratio increased.

Key word : weak-story failure, energy dissipation, ductility

### 1 서론

1995년 일본의 고베지진을 비롯하여 최근 터키와 대만의 지진에서 보듯이 대형지진에 의한 피해는 국가 경제, 사회적으로 큰 충격을 준다는 사실을 알 수 있다. 이러한 가운데 근래 우리나라에서 급증하고 있는 상부벽식-하부기둥구조의 주상복합건물은 모멘트저항골조나 벽식구조와는 달리 하부골조에서 연약층 파괴가 발생하므로 지진에 대한 대형피해가 우려되는 대표적인 예라고 할 수 있다 따라서, 주상복합 구조의 경우 하부골조가 적절한 연성 및 에너지 소산능력을 발휘하도록 설계하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 그림 1과 같은 17층 주상복합건물을 선정한 후 이 건물의 내부기둥에 대해 기존의 ACI 증진지역 내진상세<sup>1)</sup>와 Sheikh가 제시한 식<sup>2)</sup>에 따라 설계하였다. 설계한 내부기둥은 전이보 하부에서 소성힌지를 형성하기 때문에 이 부분의 내력과 에너지

\* 정회원, 고려대 건축공학과 부교수 \*\* 정회원, 대한주택공사 선임연구원

\*\*\* 정회원 고려대 건축공학과 박사과정, +서울시립대 건축공학과 조교수, -- 경민대 건축공학과 조교수

하여 상부축력과 후프철근량을 달리함으로써 기둥의 강도, 연성, 에너지소산능력, 이력곡선의 특성이 어떻게 달라지는지 확인하기 위해 반복횡하중 실험을 수행하였다.

## 2 기둥의 설계

기둥에 작용하는 축력은 고정하중과 적재하중 각각 630.07 tonf와 152.45 tonf이고, 기둥의 주근은 28-D25로 설계하여  $0.4 \times$  기둥의 축하중강도( $P_0$ )가 사용하중 시 축력보다 큰 값이 되도록 하였다. 후프의 설계는 ACI의 중진지역 내진상세기준에 따른 설계와 Sheikh가 제안한 식에 따른 설계를 각각 적용하였다. ACI 중진지역의 내진상세기준에 따른 후프의 설계는 기둥의 콘크리트 전단강도가 요구 전단강도보다 크므로 ACI 11-13식 (식 1)을 적용하였으며, Sheikh의 제안식에 따른 설계에서는 식 2와 같이 구속효과 ( $\alpha$ ), 축하중의 크기에 따른 효과 ( $Y_p$ ), 단면의 요구연성 ( $Y_d$ )을 고려하여 후프를 설계하였다 그 결과는 표 1과 같다.

$$A_{s, \min} = 3.5 \frac{b_w s}{f_y} \quad (1)$$

여기서,  $A_{s, \min}$  : 최소전단철근량,  $b_w$  : 기둥의 폭,  $s$  : 횡보강근의 간격

$$A_{sh} = A_{sh, c} Y \quad , Y = \alpha Y_p Y_d, \quad Y_p = 1 + 13 (P/P_0)^5 \quad , Y_d = \frac{(\mu_d)^{1.5}}{29} \quad (2)$$

여기서,  $A_{sh, c}$  : 현재 기준에서 제시하는 횡보강근의 양,  $\alpha$  : 구속효과를 고려한 계수,

$Y_p$  : 축하중의 크기를 고려한 계수,  $Y_d$  : 단면의 요구연성을 고려한 계수

$\mu_d$  : 곡률연성계수,

## 3. 실험내용

### 3.1 재료특성

실험체를 1/2.5 축소모델로 제작함에 따라, 골게의 크기 등을 축소율에 따라 축소하여 모델콘크리트를 제작하였다 콘크리트의 28일 평균 공시체 압축강도는  $343 \text{ kgf/cm}^2$ 이다 사용된 철근의 경우 주근은 SD 40의 D10 길근을 사용하였고, 횡방향철근은  $\phi 4$ 일만 철선과 D5철선을 사용하였으며, 인장실험을 수행결과 주근과  $\phi 4$ 일만 철선, D5철선의 항복강도는 각각  $4,188 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $3,580 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $4,838 \text{ kgf/cm}^2$ 였다

표 1 실험과 1/2.5 축소실험체 상세

구분	실험		1/2.5 축소 실험체	
	ACI 설계법	Sheikh 제안식	ACI 설계법	Sheikh 제안식
주근	28 D25		28 D10	
후프	D10 @200	D13 @200	$\phi 4$ @80	D5 @80
기둥크기	80cm × 80cm		32cm × 32cm	
상부축력(tonf)	649 / 433		101 / 71	
실험체명			INT A-1 / INT A-2	INT S-1 / INT S-2

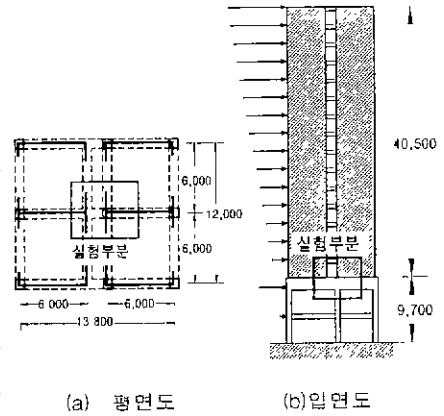


그림 1 선정된 주상복합 건물(단위 mm)

### 3.2 실험체와 실험하중 - 경시

실험과 1/2.5로 축소 계측한 실험체의 상세가 표 1에 나와 있다. 표 1에서 볼 수 있듯이 실험 변수는 실험법에 따른 횡방향철근의 양과 상부하중의 크기로서 상부하중의 크기는 상부하중이 0.2P<sub>0</sub>일 때와 0.3P<sub>0</sub>일 때로 나누어 71 ton과 101 ton의 상부축하중을 가하였다.

상부축하중은 그림 2와 같이 기둥상부의 유압재키를 통하여 가력하였고, 이 축하중은 기둥을 통해 보경간의 1/4지점으로 흐르도록 실험장치를 설계하여 기둥의 거동에 따라 보에 미치는 영향을 파악할 수 있도록 하였다. 횡하중은 그림 3과 같이 변위제어방식으로 가력하였으며, 1mm에서부터 32mm까지 11단계로 세 단계마다 각각 2회씩 반복하였고, 최종 12단계에서는 기둥의 주철근이 완전히 좌굴되어, 회복이 박리될 때까지 가력하였다. 실험데이터는 총 40개의 채널을 1초/회의 속도로 측정하였으며, 축하중과 횡하중의 측정을 위해 2개 채널, 철근의 변형률을 측정하기 위해 19개 채널, 외부의 변위측정을 위해 19개 채널을 사용하였다.

본 실험에서는 소성현저의 위치와 횡력에 따른 주근의 위치별 거동을 파악하고자 그림 4와 같이 주근과 후프에 스트레인 게이지를 부착하여 후프의 위치와 종류에 따른 변형률의 변화를 파악하였다. 외부변위의 측정은 그림 5에서 보는 바와 같이 횡하중 가력위치에서 횡변위를, 축력이 작용함에 따른 보의 거동을 파악하기 위하여 하부변위를, 보의 단부에서 횡하중이 작용함에 따른 보의 회전각을 측정하였다. 기둥에도 수직방향과 대각 방향으로 변위측정기를 설치하여 기둥의 전체거동에서 휨거동과 전단거동의 비중을 파악하였다.

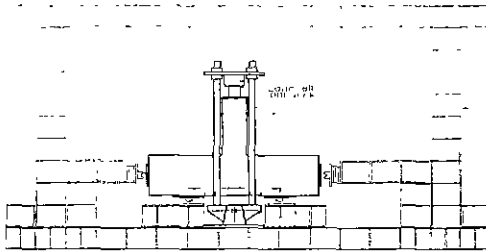


그림 2 실험장치

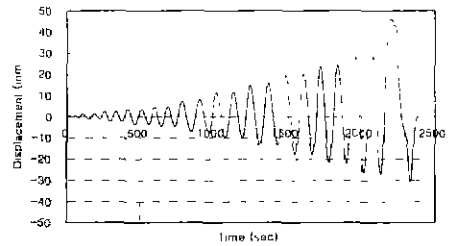


그림 3 횡하중 패턴

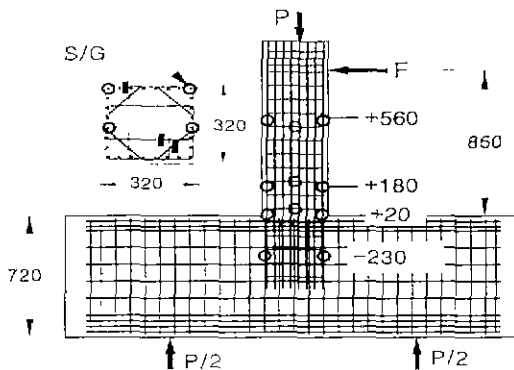


그림 4 스트레인게이지 위치 (단위 mm)

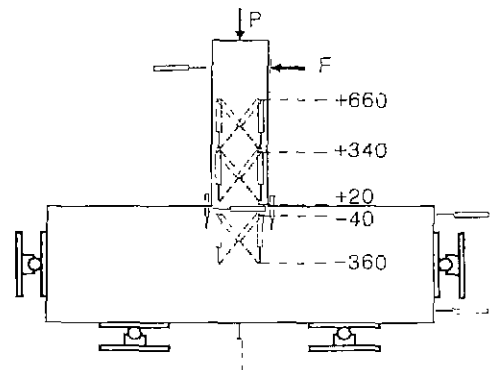


그림 5 변위계 위치 (단위 mm)

#### 4 실험결과 및 분석

##### 4.1 파괴양상

4개의 실험체 모두 파괴형상은 수평균열이 발생하고, 상부변위가 커지면서 최초로 발생한 수평균열이 대각방향으로 발전하여 소성현저 영역에서 X자형의 균열형상을 이루었다. 이후 하중이 지속적으로 반복되면서 피복 콘크리트가 박리되고, 노출된 주근은 좌굴과 인장을 반복하면서 일부 주근은 파단에 이르게 되었다. 모든 실험체는 그림 6과 같은 단계별 파괴양상을 보여주었다.

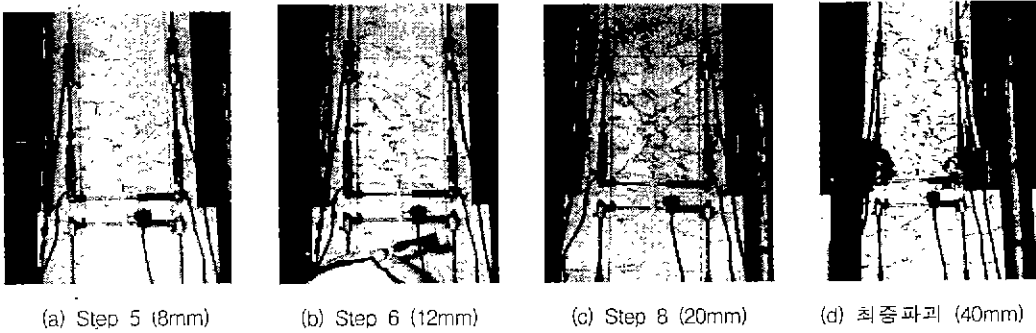


그림 6 하중단계별 파괴양상 (INT A-2)

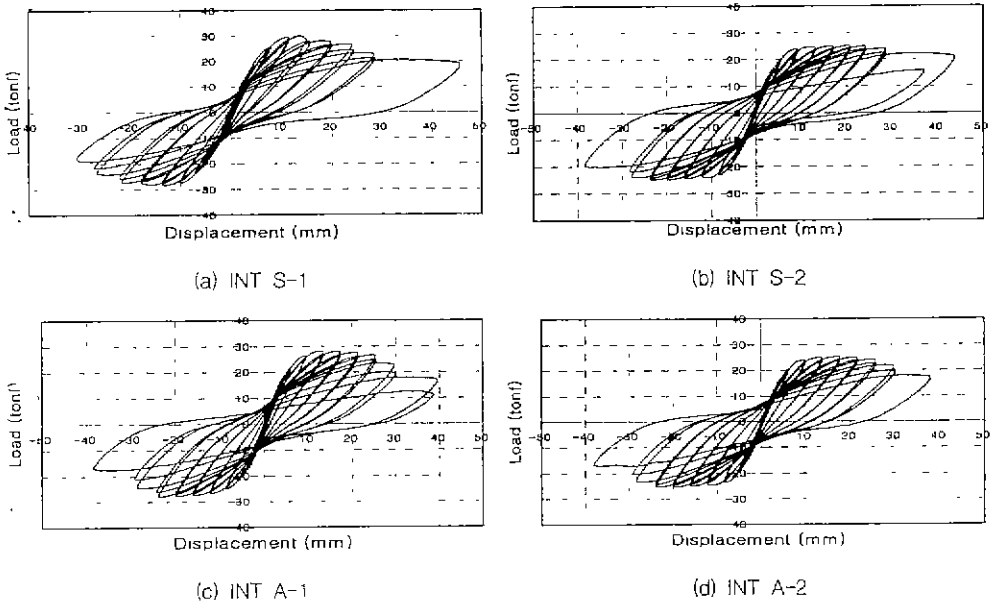


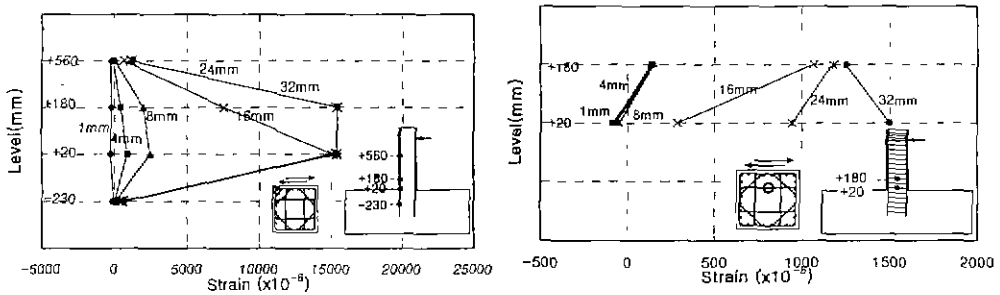
그림 7 횡하중-변위위 이력곡선

#### 4.2 횡하중-횡변위 이력곡선

그림 7은 4개의 실험체에 대한 횡하중-횡변위 이력곡선을 보여주고 있다. 최대 횡하중은 식 2에 따라 설계한 실험체와 식 1에 따라 설계한 실험체가 비슷한 값을 보여주었으나, 최대횡하중의 0.85배를 항복하중으로 보고 각 기둥의 연성비를 구한 결과 상부축하중이 큰 경우에는 식 2에 따라 설계한 기둥의 연성비는 3.7이고, 식 1에 따라 설계한 기둥의 연성비는 3.3으로 나타나 식 2에 따라 설계한 기둥의 연성비가 다소 컸으나, 상부축하중이 작은 경우는 식 2에 따라 설계한 기둥의 연성비는 6.1이고, 식 1에 따른 기둥의 연성비는 4.3으로 나타나 식 2에 따라 설계한 기둥의 연성비가 크게 나타났다. 또한, 상부축하중이 큰 경우, 최대 횡하중도 큰 값을 보여주고 강도저감현상도 상부축하중이 적을 때보다 큰 양상을 보여주었다.

#### 4.3 철근의 변형을 응답

그림 8에서는 INT A-2 실험체에서 하중단계에 따른 주근과 후프의 변형률을 보여주고 있다. 주근의 경우 최대 횡하중을 보인 후, 소성힌지영역에서 항복변형률을 넘어섰으나, 후프는 최종 파괴단계에서도 항복변형률에 미치지 않았다. 이와 같은 거동은 4개의 실험체 모두 유사한 경향을 보여주었다.



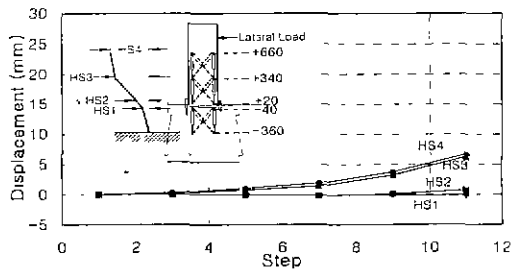
(a) 주근의 변형률

(b) 후프의 변형률

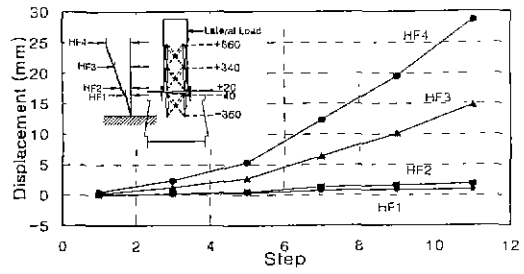
그림 8 하중단계별 주근과 후프의 변형률 (INT A-2)

#### 4.4 전단변형과 휨변형

기둥의 거동 중 전단거동과 휨거동의 영향을 비교하고, 기둥의 위치별 변위량을 파악하기 위해 기둥 양쪽에 길이방향과 대각방향으로 상대변위를 측정하였다. 그림 9에서는 실험체의 위치에 따른 전단변형량, 휨변형량, 전체 변형량을 하중단계별로 보여주고 있다. 이를 통해 기둥은 대부분 휨거동의 영향을 받고 있으며, 전단거동의 영향은 미약한 것으로 나타났다. 실험체의 위치별 변위를 보면 전단거동의 경우 소성힌지영역에서 대부분의 변형을 보인 반면, 휨거동은 소성힌지영역을 벗어난 부분에서도 큰 변형을 보여주었다.



(a) 전단변형



(b) 휨변형

그림 9 하중단계와 위치별 전단변형량과 휨변형량 (INT S-1)

5 결론

본 연구는 수집된 자료를 바탕으로 전형적인 주상복합건축 구조물 선정 후 이의 1/2.5축소모델로 내부기둥-전이부 접합부실험체를 제작하여 반복횡하중실험을 수행하였다. 그 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 상부기둥의 축력이 커질수록 휨강도는 증가하나 기둥의 연성은 떨어지고, 강도저감현상도 크게 나타났다.
- (2) ACI중진지역 내진상세에 따라 설계한 기둥과 Sheikh의 제안식에 따라 설계한 기둥은 거의 유사한 거동을 보여주었으나, 상부축하중이 0.2P<sub>0</sub>일 경우 Sheikh의 제안식에 따라 설계한 기둥의 연성비는 6.1인 반면 ACI 제안식에 따라 설계한 기둥의 연성비는 4.3으로 Sheikh의 제안식에 따라 설계한 기둥의 연성이 크게 나타났다.
- (3) 모든 실험체에서 주근은 최대하중을 보인 단계 이후에 소성힌지영역에서 항복하였으나 후프는 최종단계에 이를 때까지 항복하지 않았다.
- (4) 전단변형과 휨변형이 횡처짐에 대한 영향을 분석해보면 휨변형에 의한 영향이 전단변형에 의한 영향에 비해 4~5배정도 크게 나타났다.

감사의 글

이 연구는 1999년도 건설교통부 국책과제인 "복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구"의 일부로 수행되었으며, 건설교통부와 참여업체인 쌍용건설(주), 대한주택공사, 코오롱건설(주), (주)형상구조안전의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) ACI 318-95, "Building Code Requirement for Structural Concrete", 1995
- (2) S.A. Sheikh, S.S. Khoury, "A Performance-Based Approach for the Design of Confining in Tie Columns", ACI Structural Journal, Vol.94, No.4, 1997
- (3) S.L. Wood, "Influence of Web Reinforcement on the Cyclic Response of Structural Walls", ACI Structural Journal, Vol.92, No.6, 1995
- (4) S.S.B. Kuska, A. Azizinamini, "Seismic Behavior of Square High-Strength Concrete Columns", ACI Structural Journal, Vol.91, No.3, 1994