



## 깊은보-외부기둥 접합부의 반복 횡하중 실험

고동우<sup>1)\*</sup> · 이한선<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(주)한빛구조엔지니어링 <sup>2)</sup>고려대학교 건축, 사회환경공학과

## Reversed Cyclic Load Tests on Deep Beam-and-Exterior Column Joints

Dong-Woo Ko<sup>1)\*</sup> and Han-Seon Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Hanbit Structural Engineering Co. Ltd., Seoul 152~790, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul 137-713, Korea

**ABSTRACT** The most common structural system for apartment buildings in Korea is adopted to combine structural systems: for example, a moment-resisting frame will be used for lower stories and bearing wall system for the upper stories. This type of buildings have soft and/or weak stories in lower stories, and it may lead to collapse of those buildings during the large earthquake. Reversed cyclic load tests were conducted to estimate the performance and behavioral characteristics of deep beam and exterior column joints. Experimental parameter is the amount of transverse reinforcement (designed by ACI code and Sheikh's procedure). The results of this study are as follows: (1) The required transverse reinforcement of column designed by Sheikh's procedure requires 2.9 times larger than that designed by ACI procedure. Large amount of transverse reinforcement increase the ductility of the column. (2) Most of the lateral drift in the column is due to the flexural deformation in the joint and plastic hinge region and up-lift rotation. (3) Transverse reinforcement in the exterior column shall be required not only in the hinge region but also in the joint.

**Keywords :** hybrid structures, reversed cyclic load test, column and deep beam joint, ductility

### 1. 서 론

1995년 일본의 고베지진을 비롯하여 최근 터키와 인도네시아의 지진에서 보듯이 대형지진에 의한 피해는 국가 경계, 사회적으로 큰 충격을 주며, 이와 같은 대형지진의 발생 빈도는 전 세계적으로 급증하고 있다. 이러한 가운데 근래 우리나라에서 건설되고 있는 아파트의 대표적인 형태는 하부층을 상가나 주차장으로 사용하기 위해 보-기둥 골조로 만들거나, 단지 내 개방감을 주기 위해 하부층을 필로티로 만든 형태이다. 이와 같이 상부 벽식-하부 골조로 이루어진 형태의 건물은 모멘트저항골조나 벽식구조와는 달리 하부 골조에서 손상이 집중되어 하부 연약층에서 파괴가 이루어질 가능성이 크기 때문에, 지진 발생 시 대형 피해가 우려되는 대표적인 예라고 할 수 있다. 따라서 주상복합 구조의 경우 하부 골조가 자중에 의한 큰 압축하중을 받는 가운데 적절한 연성 및 에너지 소산 능력을 발휘하도록 설계하는 것이 필요하다. 보와 기둥의 강성이 비슷한 경우, 또는 강기둥-약보의 개념에 입각한 접합부 실험과 해석 연구는 여러 연구자들에 의해 이미 수행되어 왔다<sup>1-4)</sup>. 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 17층 주상복합건물을 선정 한 후 이 건물의 외부 기

둥에 대해 기존의 ACI 중진 지역 내진 상세<sup>5)</sup>와 축하중의 영향을 고려하여 횡철근을 설계하는 Sheikh가 제시한 식<sup>6)</sup>에 따라 설계하였다. 설계된 기둥에 대해 상부 축력과 횡철근량을 달리한 깊은보-외부기둥으로 이루어진 부분 구조체를 1/2.5 축소로 제작하여 기둥의 강도, 연성, 그리고 이력 특성이 어떻게 달라지는지 확인하기 위해 반복 횡하중 실험을 수행함으로써, 깊은보와 외부 기둥의 접합부에 대한 성능을 실험적으로 파악하여 향후 하부 연약층을 갖는 건물의 성능을 평가하거나 설계하는데 도움이 되고자 한다.

### 2. 기둥의 설계

기둥의 단면은 깊은보의 크기를 고려하여 800 × 800 mm로 가정하여 설계하였다. Sheikh가 제안한 방법은 스테럽에 의해 4개의 모서리 철근만 횡방향으로 구속되어 있는 단면에 대해서도 중간 정도의 연성을 확보할 수 있는 축력의 범위를  $0.4P_0 \geq P_u$ 로 제한<sup>6)</sup>하고 있기 때문에, 최대 축하중에 대해서  $0.4P_0$ 를 만족시키면서 외부 기둥의 요구 축하중 3,842 kN과 요구 모멘트 526 kNm를 만족시키도록 20-D25를 배근하였다. ACI 기준과 Sheikh 제안식에 따라 기둥의 횡철근량을 구하는 과정을 Table 1에 정리하였다. Fig. 2는 설계된 단면으로 Sheikh의 제안식에 따라 기둥을 설계할 경우 ACI 기준에 따라 설계할

\*Corresponding author E-mail : dongwko@hbse.co.kr

Received June 5, 2006, Accepted March 23, 2007

©2007 by Korea Concrete Institute

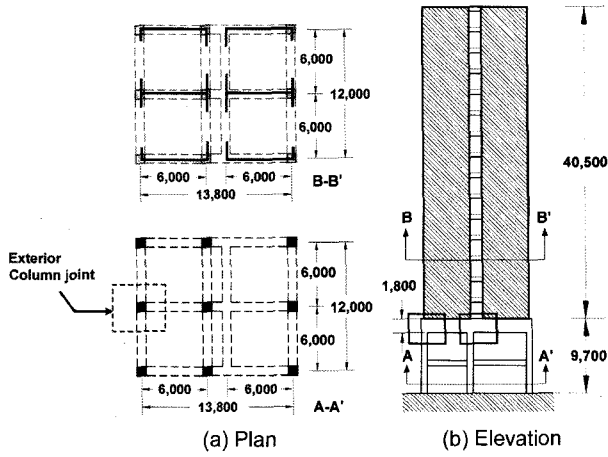


Fig. 1 Model building (unit : mm)

때보다 요구 횡철근량이 163 mm<sup>2</sup>에서 472 mm<sup>2</sup>으로 2.9 배, 실제 배근된 철근량은 1.8배 많다. Sheikh 제안식에 따른 경우 갈고리철근의 굵긴각도는 양 쪽 모두 콘크리트 코어 안으로 135°의 갈고리철근을 사용해야 하지만, ACI 상세에 따른 경우 한쪽만 135° 갈고리를 사용하는 것이 허용된다.

MacGregor<sup>7)</sup>는 보의 깊이가 기둥의 깊이보다 깊은 외부 기둥의 접합부에 대해 보와 기둥의 모멘트를 Fig. 3과 같은 C와 T의 우력으로 표현하였다. 그러나 보-기둥 접합 영역은 평면유지법칙이 적용되지 않는 응력 교란 영역 (disturbed region)으로 스트럿-타이 모델을 적용하면, 하

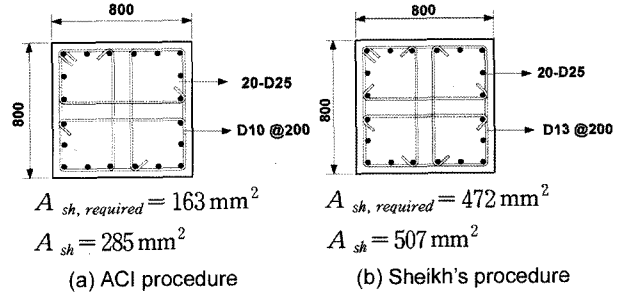


Fig. 2 Section of column

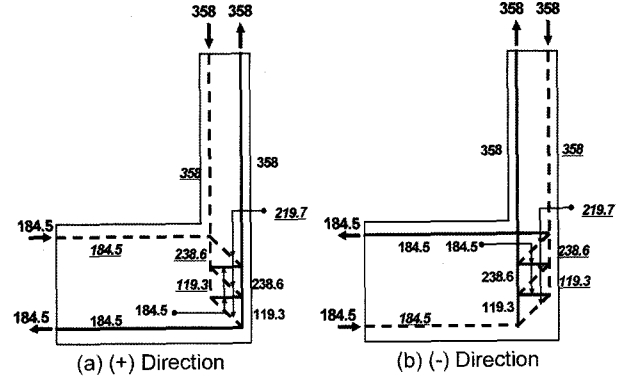


Fig. 3 Strut-tie model for designing of exterior column and deep beam

중의 흐름을 보다 분명하게 나타낼 수 있다. 기둥에서 증가하는 인장력에 저항하기 위해 절점에 스트럿이 필요하고, 이 스트럿에 대해 타이에 작용하는 힘은 보에 작

Table 1 Design procedure of column

ACI procedure	Sheikh's procedure
$V_c = 0.17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d$ $= 17 \left( 1 + \frac{8,397,000}{14 \times 800 \times 800} \right) \sqrt{29.4} (800)(700) \times 10^{-3}$ $= 1,042 \text{ kN} > V_u = 289 \text{ kN}$ $A_{v,\min} = 0.35 \frac{b_w s}{f_y}$ $= 0.35 \frac{800 \times 200}{294} = 163 \text{ mm}^2$	$A_{sh} = A_{sh,c} Y$ $Y = \alpha Y_p Y_\phi$ $A_{sh,c} = 0.3 s h_c \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} \geq 0.09 s h_c \frac{f'_c}{f_y}$ $A_{sh,c} = 0.3 (200)(700) \left( \frac{(800)^2}{(800-100)^2} - 1 \right) \frac{29.4}{392} = 964 \text{ mm}^2$ $A_{sh,c} = 0.09 (200)(700) \frac{29.4}{392} = 945 \text{ mm}^2$ $Y_p = 1 + 13 (P/P_0)^5$ $P_0 = (0.85 f'_c) (A_g - A_{st}) + f_y (A_{st}) = 16,942$ $P/P_0 = 3,846 / 16,942 = 0.227$ $Y_p = 1 + 13 (0.227)^5 = 1.0$ $Y_\phi = \frac{(\mu_\phi)^{1.15}}{29} = \frac{(10)^{1.15}}{29} = 0.49$ $A_{sh} = (A_{sh,c}) (\alpha) (Y_p) (Y_\phi)$ $= 964 \text{ mm}^2 \times 1 \times 1.0 \times 0.49 = 472 \text{ mm}^2$

$\alpha$  : parameter that accounts for the confinement efficiency including configuration and the lateral restraint provided to the longitudinal bars,  $s$  : stirrups spacing of shear reinforcement,  $h_c$  : length of one side of the perimeter tie,  $A_{sh,c}$  : total cross sectional area of rectilinear lateral steel,  $Y_p$  : parameter take into account for effect of axial load level,  $Y_\phi$  : parameter take into account for the section ductility demand,  $P_0$  : ultimate load capacity,  $\mu_\phi$  : curvature ductility factor ( $1 < \mu_\phi < 8$  : low ductility column,  $8 < \mu_\phi < 16$  : moderate ductility column,  $16 < \mu_\phi < 20$  : highly ductility column)

용하는 수평력과 동일한 크기를 갖는 타이로 구성되기 때문에 외부기둥과 깊은보의 접합부 내부에 상당한 크기의 인장력이 발생할 수 있음을 알 수 있다. Fig. 3으로부터 접합부 영역에서 횡철근이 열리는 경우 (-)와 닫히는 경우 (+) 공히 인장력만을 받는 것을 알 수 있으므로, 깊은 보와 외부 기둥 접합부 내부에 이에 상응하는 크기의 수평 철근을 배근하고, 기둥이 끝나는 부분에는 수평 걸이 철근 (hair pin)을 배근하여 인장타이에 저항하도록 하였다.

### 3. 실험 내용

#### 3.1 재료 특성

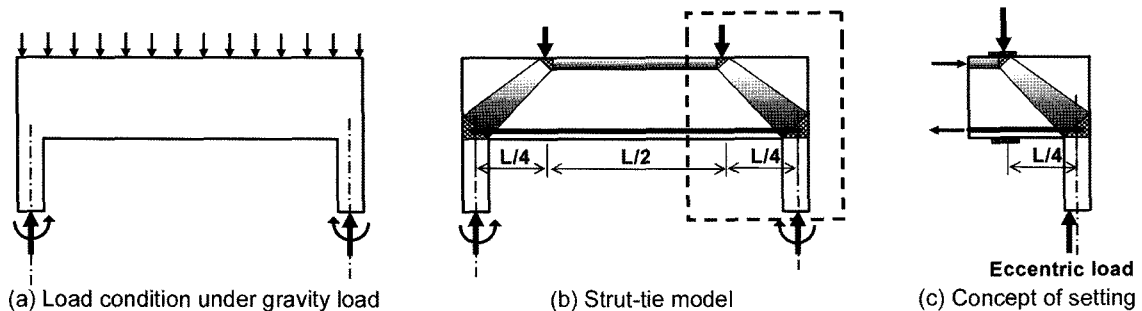
실험체를 1/2.5 축소 모델로 제작하였기 때문에 콘크리트에 사용되는 골재의 크기를 상사성의 원리에 따라 축소하여 배합하였으며, 콘크리트의 28일 평균 공시체 압축강도는 33.6 MPa이다. 주근은 SD40의 D10철근을 사용하였으며, 횡방향철근은  $\phi 4$ 일반 철선과 D5철선을 사용하였으며, D10과  $\phi 4$ 철선, D5철선의 평균 항복강도는 각각 440 MPa, 351 MPa, 475 MPa로 실물 철근의 요구 항복강도에 근접하였다.

#### 3.2 실험체와 실험하중 및 장치

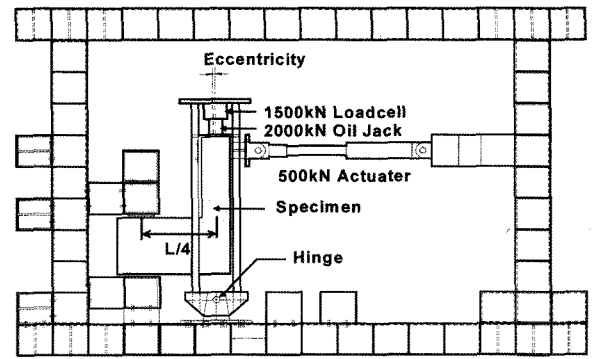
Table 2는 실험체 상세로서 실험 변수는 설계법에 따른 횡방향 철근의 양이다. 실제 건물에서 깊은보 상부에 벽체가 있으면서 중력 하중이 작용할 경우 Fig. 4(a)에서와 같이 상부 하중이 등분포로 작용하고, 이를 Fig. 5(b)와 같이 스트럿-타이 모델로 이상화 할 수 있다. 실험에

**Table 2** Detail and experimental parameter of specimen (1 / 2.5 scaled)

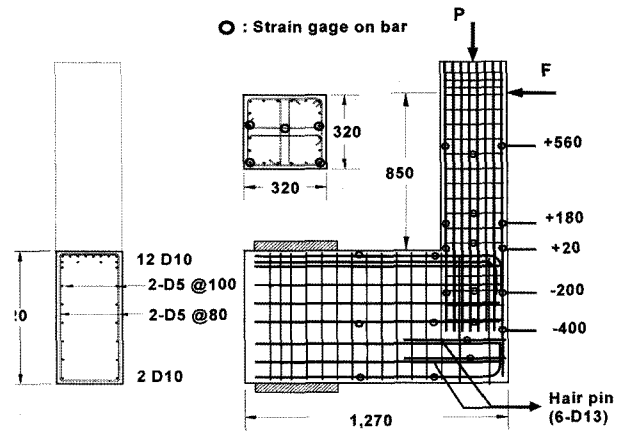
Design procedure	ACI	Sheikh
Longitudinal reinforcement	20 D10(SD40)	
Transverse reinforcement	$\phi 4 @ 80$	D5 @ 80
Yield strength of transverse reinforcement	294 MPa	392 MPa
Column size	320 mm × 320 mm	
Axial force of column	206 kN	
Symbol of specimen	EXT A-1, 2	EXT S-1, 2



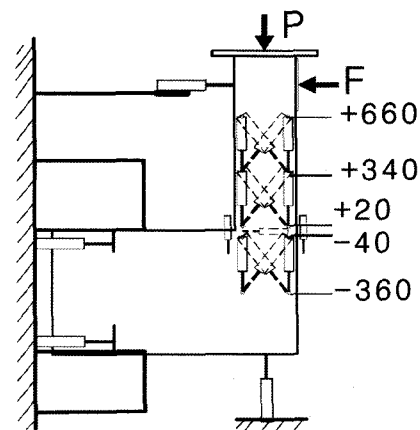
**Fig. 4** Concept for experimental setup



(a) Experimental setup



(b) Strain gage setup



(c) Displacement transducer setup

**Fig. 5** Experimental setup

서는 Fig. 4(b)의 한 쪽 부분을 떼어내어 Fig. 4(c)와 같이 초기 하중을 가력한 후 횡력을 가하는 방법을 취하였다. 따라서 Fig. 4와 같이 깊은보의 1/4 경간 부분을 고정시킨 후 기둥에 축력을 가하는데, 실험 세팅상 문제

로 인해 축력이  $0.06P_0$ 를 초과할 경우 깊은보에서 의도하지 않은 균열이 발생하기 직전 하중인  $0.06P_0$ 에 해당하는 206 kN의 축하중을 가하였다.

외부 기둥은 고정하중 상태에서 모멘트가 발생하기 때문에 기둥 중심으로부터 0.055 m의 편심거리를 두고 축력을 가하였다. 건물에 대한 3차원 해석 결과 0.75 (1.4D + 1.7L)에 대해 나타나는 요구 축하중 (3,842 kN)과 요구 모멘트 (526 kNm)를 상사성의 원리에 따라 축소시킨 요구 축력과 요구 모멘트는 각각 614 kN과 33.7 kNm이다. 실험 시 206 kN을 가하였을 때 실제 구조물과 동일한 모멘트 효과를 주기 위해 기둥에서 편심거리 0.055 m를 두어 축력을 가하였다. 축하중을 가력한 후  $\pm 1$  mm,  $\pm 2$  mm,  $\pm 4$  mm,  $\pm 8$  mm ~  $\pm 32$  mm까지 각 단계에서 2회씩 반복하는 변위제어 방식으로 가력한 후 최종 단계에서는 기둥의 주철근이 완전히 좌굴되어 피복이 박리될 때까지 가력하였다.

Fig. 5(b)는 실험체의 배근 상세와 스트레인지지의 부착 위치이다. Fig. 2에서와 같은 스트럿-타이 거동에 효과적으로 대처하기 위해 기둥의 최외단 주근을 깊은보 상부까지 연장함과 동시에, Fig. 2와 같이 접합부 내부에서 발생하는 인장력에 저항하기 위해 깊은보 내부의 기둥 부분에도 소성힌지 영역에서와 마찬가지로 횡철근을 배근하고, 기둥의 주근이 정착되지 않은 깊은보 부분에는 6-D5의 U자형 헤어핀 철근을 추가로 배근하였다. 주근 또는 횡철근의 위치와 종류에 따른 변형률의 변화를 파악하고자 기둥과 보의 접합면 상부로 기둥 폭의 1/2만큼의 위치 (+180)와 접합면 하부로 기둥 주근이 보에 정착된 부분 중 정착길이의 1/2 위치 (-200)와 정착길이 만큼의 위치 (-400)에서 주근과 횡철근의 변형률을 측정하였다. 또한 기둥에 작용하는 횡력에 의해 깊은보에 전달되는 모멘트의 크기를 파악하기 위하여 기둥면으로부터 보 길이의 1/2만큼 보 내부로 들어간 보의 상부와 하부 주근에 스트레인지지를 부착하여 깊은보 주근의 변형률을 측정하였다.

전체 거동을 파악하기 위하여 Fig. 5(c)에서 보는 바와 같이 횡하중 가력 위치에서 횡변위를, 축력이 작용함에 따른 보의 거동을 파악하기 위하여 하부 변위를, 보의 단부에서 횡하중이 작용함에 따른 보의 회전각을 측정하였다. 또한 기둥과 깊은보의 접합부 내부, 접합면, 기둥의 소성힌지 영역, 기둥의 소성힌지 영역 밖에도 수직 방향과 대각 방향으로 변위측정기를 설치하여 기둥 각 부분별 거동 특성을 파악하였다.

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 횡하중-횡변위 이력곡선

Fig. 6은 EXT A-2와 EXT S-2의 횡하중-횡변위 이력곡선이다. ACI 방법에 따라 설계한 실험체와 Sheikh 제안식에 따라 설계한 실험체의 최대 횡하중은 각각 155 kN

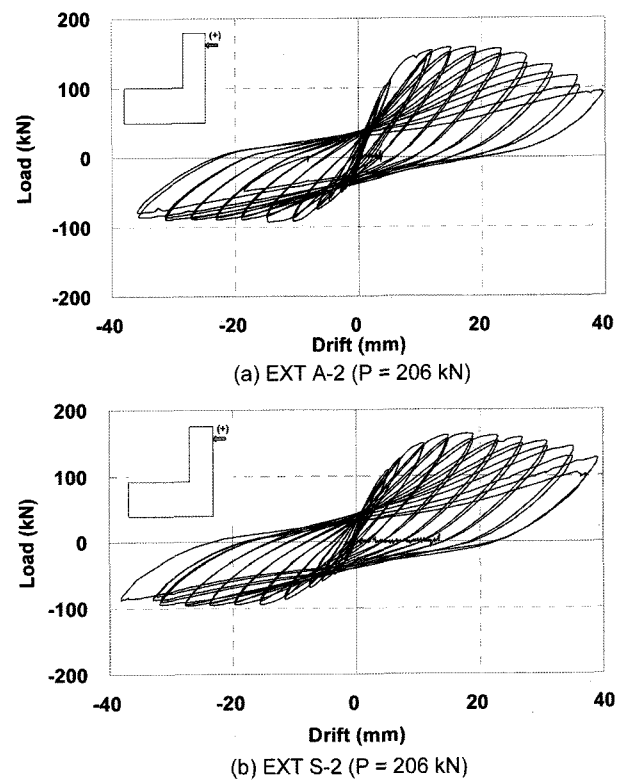


Fig. 6 Hysteretic curves between lateral load and drift in exterior column

과 163 kN, 최소 하중은 -91.2 kN과 -92.5 kN으로 비슷하였다. 닫히는 방향 (+)일 때 ACI 방법에 따라 설계한 실험체 (EXT A-2)는 2.4%의 변형각 (20 mm)을 넘어서면서 강도 감소가 발생한 반면, Sheikh의 제안식에 따라 설계한 실험체 (EXT S-2)는 강도 감소가 거의 발생하지 않았으며, 열리는 방향 (-)일 때는 네 실험체 모두 강도 감소가 발생하지 않았다. Sheikh의 제안식에 따라 설계한 경우 닫히는 방향 (+)의 연성비는 3.3과 4.0인 반면, ACI 식에 따라 설계한 경우 닫히는 방향 (+)의 연성비는 2.8과 2.6으로 횡철근의 양이 많은 경우 극한 상태에서 연성이 다소 증가하였다. Fig. 7은 EXT A-2와 EXT S-2의 횡변위와 축력의 관계로서 접합부가 닫히는 방향 (+)일 때는 압축력이 각각  $0.1P_0$ 에 해당하는 310 kN과 346 kN까지 증가하다가, 열리는 방향 (-)일 때는 압축력이 각각 52 kN과 20 kN까지 감소하였다. 당초 실험 계획상으로는 일정한 축력이 가해지도록 하였으나, 실험 시 단부 고정 부분에서 최대 0.001과 0.003rad의 회전이 발생하여 가력 방향에 따라 축력이 변하였으며, 이와 같은 축력의 차이로 인해 (+)방향과 (-)방향일 때 Fig. 6에 나타난 방향에 따른 횡 저항 능력과 연성에서 차이가 발생한 것으로 보인다.

### 4.2 국부 변형 응답

Fig. 8은 EXT S-2의 각 부분별 휨 변형과 전단 변형의 이력이다. 깊은보-기둥의 접합면과 소성힌지 영역에서 대부분의 변형이 발생하였다. 깊은보-외부 기둥 접합부의 소성힌지 영역에서 휨 회전각은 -0.01 ~ 0.04 rad이고, 전단

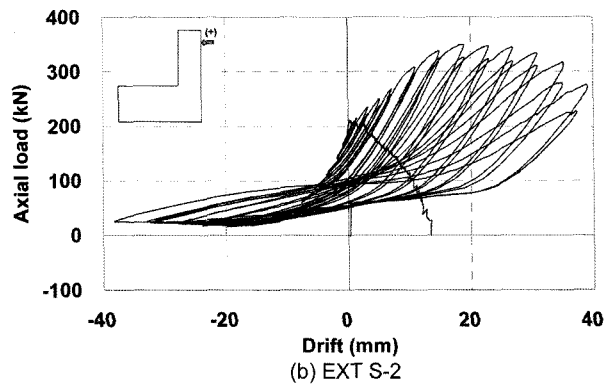
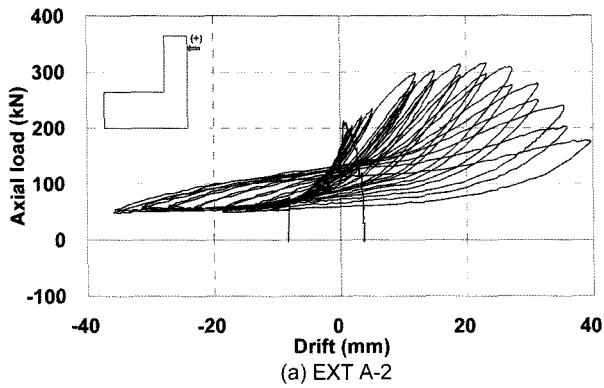


Fig. 7 Hysteretic curves between lateral drift and axial load

변형각은  $-0.011 \sim 0.012$  rad으로 전단 변형각은 방향에 상관없이 일정하지만, (+)방향일 때 휨 변형각은 (-)방향일 때 휨 변형각의 3배에 이르렀다. 또한 기둥과 깊은보 접합부에서 전단 변형은 기둥의 전단변형 방향과 반대 방향으로 나타나 기둥과 깊은보 내부에 방사형 균열이 발생하는 원인이 되었다.

이상과 같이 구한 각 실험체의 각 부분별 변형으로부터 Fig. 9와 같이 전체 변위를 추정하여, 전체 변위 가운데 각 부분의 변형이 차지하는 비율을 구하였다.  $\theta_{fl,base}$ 는 깊은 보 내부의 휨 변형각,  $\theta_{Up}$ 는 깊은보와 기둥 접합면의 들뜸각,  $\theta_{fl,D}$ 는 소성힌지 영역에서 휨 변형각,  $\theta_{fl,2D}$ 는 깊은보와 기둥 접합면에서 소성힌지 길이의 두 배 (2D)

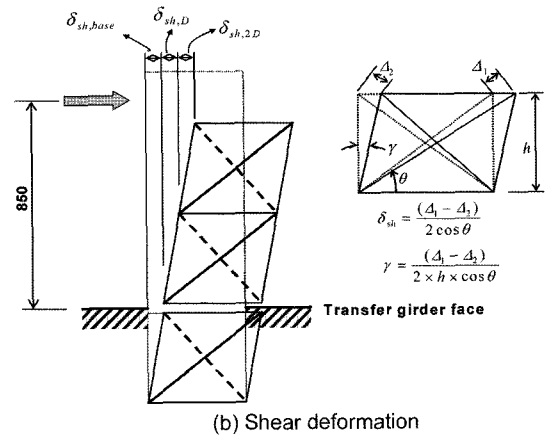
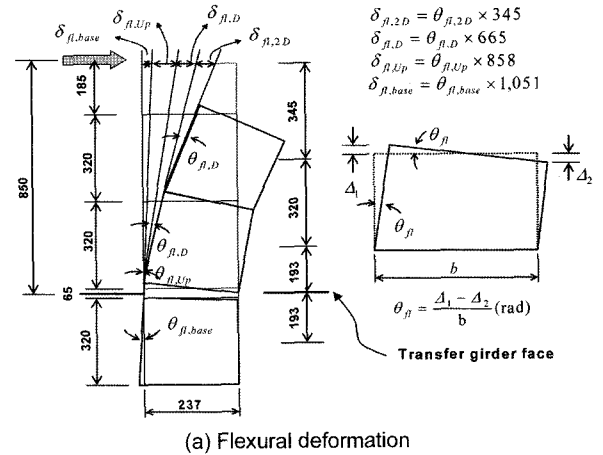


Fig. 9 Estimation of drift from local deformation

만큼 떨어진 부분에서의 휨 변형각을 의미하고, 이들 변형각으로 인해 발생하는 횡 변위는 각각  $\delta_{fl,base}$ ,  $\theta_{Up}$ ,  $\theta_{fl,D}$ ,  $\delta_{fl,2D}$ 이다. 또한 기둥의 각 부분에서 대각 방향으로 측정된 변형으로부터 구한 각 부분의 전단 변형각을 이용하면, 전체 변형 거동 가운데 각 부분의 전단 변형으로 인해 발생하는 변형을 Fig. 9(b)와 같이 구할 수 있다. 이와 같이 추정된 각 부분의 거동별 전체 변위와 측정된 변위를 Fig. 10에서 비교하였다. 전체 변형 가운데 전단 변형

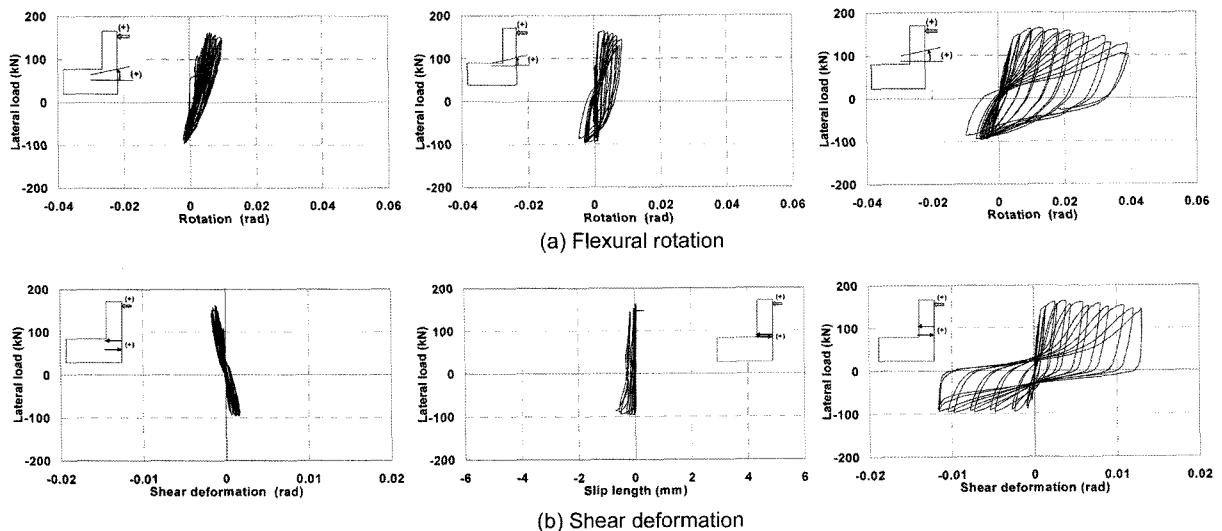


Fig. 8 Flexural deformation and shear deformation (EXT S-2)

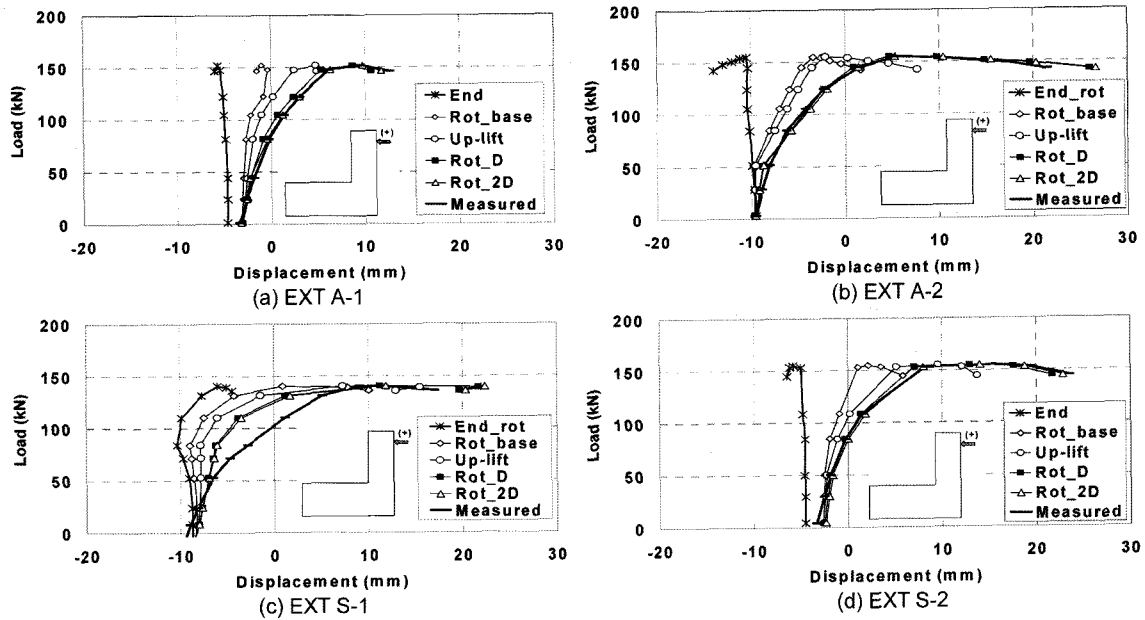


Fig. 10 Analysis of lateral drift of exterior column

의 기여는 미미하였기 때문에 나타내지 않았는데, 접합부 내부의 휨 (Rot\_base), 접합면에서 들뜸 (Rot\_Up), 소성힌지 영역에서 휨변형 (Rot\_D)의 영향이 휨변형의 대부분을 차지하였음을 알 수 있으며, 국부 변형으로부터 추정된 휨변위와 측정된 휨변위는 거의 일치하였다.

### 4.3 철근의 변형률 응답

Fig. 11은 하중 단계에 따른 주근과 횡철근의 변형률의 변화이다. 내측 주근은 소성힌지 영역의 주근만 항복한 반면, 외측 주근은 닫히는 방향 (+)일 때 소성힌지 영역

의 주근뿐만 아니라 깊은보 내부에 있는 주근도 항복변형률을 넘어서었다. 또한 소성힌지 영역의 횡철근 뿐만 아니라 깊은보 내부에 있는 횡방향철근의 변형률도 크게 증가하여  $1 \times 10^{-2}$ 에 이르러 당초 스트럿-타이 모델에서 예측한 인장 타이가 접합부 내부에서 작용함을 알 수 있었다. Fig. 12는 EXT S-1의 깊은보의 주근과 깊은보의 수평걸이철근 (hair pin)의 변형률의 변화이다. 기둥과 접하는 깊은보의 하부근의 변형률은 열리는 방향 (-)에 대해 항복변형률에 거의 근접한 반면, 그 반대면의 상부근은 양방향에 대한 변형률이 거의 비슷하였다. 최종 파괴에 이를 때까지 수평 걸이 철근 (hair pin)은 최대 변형

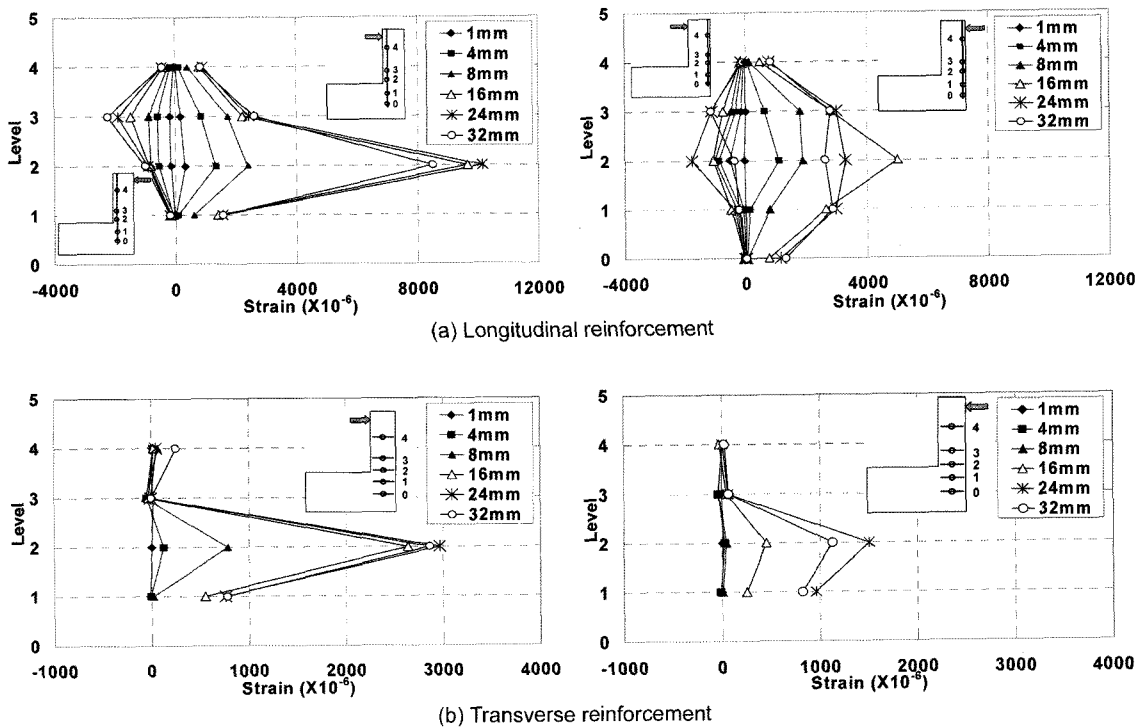


Fig. 11 Variation of strain of reinforcement (EXT S-1)

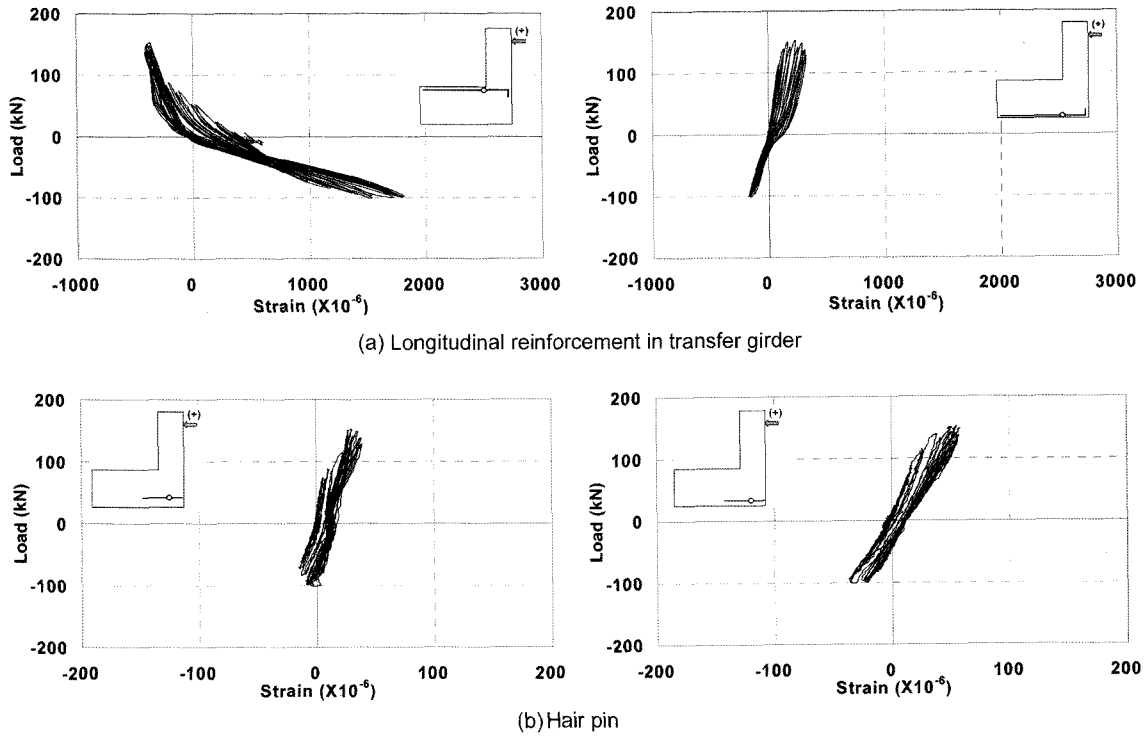


Fig. 12 Strain of longitudinal reinforcement and hair pin in transfer girder (EXT S-1)

률이  $1 \times 10^{-4}$ 을 넘어서지 않을 정도로 변형이 거의 발생하지 않아 깊은보의 수평 길이 철근은 횡력 저항 시스템으로 역할이 미미하였다.

#### 4.4 파괴 양상

Fig. 13은 EXT A-1의 실험 단계별 균열의 진행 모습이다. 외부 기둥-깊은보 접합부 실험체는 휨에 의한 수평균열이 발생하고, 그때 이미 접합부 내부에서도 대각 균열이 발생하기 시작하였다 (Fig. 13(a)). 최대 하중을 보여주는 16 mm에서는 기둥의 소성힌지 영역에서 최초에 발생한 수평 균열이 대각 방향으로 발전하고 접합부 내부에서는 X형 균열이 발생하였다 (Fig. 13(b)). 32 mm

단계에서는 기둥의 소성힌지 영역에서 균열이 X자형으로 발전하고, 접합부에서 발생한 X형 균열은 접합부 부분을 관통하다가 (Fig. 13(c)) 이후 하중이 지속적으로 반복되면서 피복 콘크리트가 박리되고, 기둥 소성힌지 영역의 주근은 좌굴과 인장을 반복하면서 일부 주근은 파단에 이르렀다 (Fig. 13(d)). 외부 기둥-깊은보 접합부의 경우 깊은보와 기둥 접합부 내부에 기둥과 깊은보의 접합면을 중심으로 활모양의 균열이 발전하였다 (Fig. 14(a)). 또한, ACI 중진지역 상세에 따라 90° 갈고리를 사용한 실험체는 최종 파괴 시 주근이 좌굴되면서 갈고리가 벌어지기도 하였다 (Fig. 14(b)). ACI에 따라 설계된 외부 기둥의 경우 기둥 내측에 기둥 주근이 좌굴하면서 횡철근이 벌어져서 콘크리트가 탈락한 반면, Sheikh의 상세에

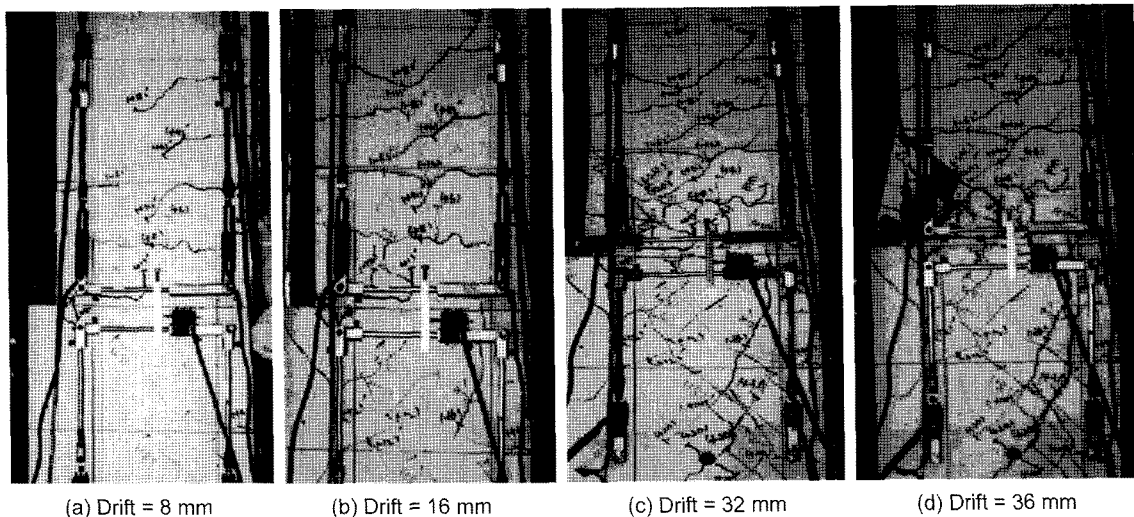


Fig. 13 Crack development (EXT A-2)



(a) Fracture of hoop at joint



(b) Crack pattern

**Fig. 14** Fracture and crack patterns of EXT A-1

다른 실험체는 기둥 외측의 콘크리트가 탈락하고 내측으로는 일부 콘크리트의 파쇄가 발생하였을 뿐, 철근의 좌굴과 같은 현상은 없었다.

### 5. 배근상세 제안

외부 기둥과 깊은보 접합부에 대한 반복 횡하중 실험 결과, 설계와 관련하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

기둥의 횡철근을 ACI 방법에 따라 배근할 경우 층간 변형각 2% 정도까지는 충분한 강도와 연성을 나타내지만, 이를 넘어설 경우 기둥과 깊은보의 접합면에서 주근의 좌굴과, 콘크리트의 압괴가 발생하였다. 만약 축하중의 영향을 고려하여 횡철근을 설계하는 Sheikh가 제안한 식에 따라 설계하면 이와 같은 강도 감소 현상은 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 깊은보를 지지하는 기둥의 경우 주근을 깊은보 내부로 인장 정착길이 만큼 정착시킴은 물론 기둥과 깊은보 사이의 응력 교란 지역에서 형성되는 스트럿-타이 작용에 의한 인장력에 충분히 저항할 수 있는 횡철근이 배근되어야 한다.

### 6. 결 론

본 연구는 전형적인 주상복합건축 구조물을 선정한 후의 1/2.5 축소 모델로 깊은보-외부기둥 접합부 실험체를 제작하여 반복 횡하중 실험을 수행하였다. 그 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) Sheikh의 제안식에 따라 설계할 경우, ACI 중진지역 내진상세에 따라 설계할 때보다 요구 횡철근량은 2.9배 증가하였으며, 최대 강도 후 강도 감소 현상이 감소하여 연성이 증가하는 효과를 가져왔다.
- 2) 기둥의 횡강도는 횡철근량에 따라 큰 차이가 없었는데, 기둥이 작용하는 압축력이 증가하여 300 kN을 넘길 경우 횡강도는 150 kN을 초과하였으나, 압축력이 50 kN으로 감소할 경우 횡강도는 90 kN에 머물렀다.
- 3) 전단 변형과 휨 변형이 횡 처짐에 대한 영향을 분석해보면 소성힌지 영역에서 발생한 들뜸과 휨 변형, 접합부 내부에서 발생한 휨 변형, 그리고, 전단 변형의 순으로 나타났으며, 횡처짐에 대한 전단 변형의 기여는 미미하였다.
- 4) 기둥의 주근과 횡 철근은 최대 하중을 넘어서면서 소성힌지 영역 뿐만 아니라 접합부 내부에서 항복하였다. 따라서, 외부 기둥의 경우 깊은보 내부에 기둥의 주근을 충분히 정착하고, 접합부 내 기둥의 소성힌지 영역과 마찬가지로 충분히 배근해야 함을 알 수 있었다.
- 5) 파괴 양상은 기둥에 휨 균열이 발생한 후 전단균열로 발전하면서 외곽 콘크리트가 박리되거나 주철근의 좌굴하였으며, 접합부에서도 X형 균열과 외곽 콘크리트의 박리가 발생하였다.

### 감사의 글

본 연구는 1999년도 건설교통부 국책과제인 “복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법연구”의 일부로 수행되었으며, 건설교통부와 참여업체인 쌍용건설(주), 대한주택공사, 코오롱건설(주), (주)형상구조안전의 지원에 의한 것입니다. 이들 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Paulay, T., Park, R., and Priestley, M.J.N., “Reinforced Concrete Beam-Column Joints Under Seismic Actions,” *ACI Journal*, Vol.74. No.11, 1978, pp.585~593.
2. Tsonos, A. G., “Lateral Load Response of Strengthened Reinforced Concrete Beam-to-Column Joints”, *ACI Structural Journal*, Vol.96. No.1, 1999, pp.46~56.
3. Raffaele, G. S. and Wight, J. K., “Reinforced Concrete Eccentric Beam-Column Connections Subjected to Earthquake-Type Loading”, *ACI Structural Journal*, Vol.92. No.1, 1995, pp.45~55.
4. Hakuto, S., Park, R., and Tanaka, H., “Seismic Load Tests on Interior and Exterior Beam-Column Joints with Substandard Reinforcing Details”, *ACI Structural Journal*, Vol.97. No.1, 2000, pp.11~25.
5. ACI 318-95, *Building Code Requirement for Structural Concrete*, American Concrete Institute, 1995, pp.301~308.
6. Sheikh, S. A. and Khoury, S. S., “A Performance-Based



**요 약** 최근 우리나라의 공동주택 또는 주상복합 건물의 구조 시스템으로 상부 벽식 하부 골조의 복합구조 형태가 주로 사용되고 있다. 이와 같은 건물의 경우 상부층의 하중이 전이판 또는 깊은보의 형태를 띠는 깊은보를 통해 하부 골조로 전달되고, 횡력에 대해서는 하부 골조가 연층 또는 약층에 의한 파괴가 발생할 수 있기 때문에 횡력에 대한 깊은보와 기둥은 매우 중요하다. 본 연구에서는 이러한 깊은보와 하부 기둥이 만나는 부분에서 요구되는 강도, 연성 등을 파악하고자 깊은보-외부기둥 접합부에 대해 ACI의 중진지역 상세에 의한 방법과 Sheikh가 제안한 방법에 따라 기둥을 설계한 후, 1/2.5 축소 모델 실험에 대한 반복 횡하중 실험을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다. (1) Sheikh의 제안식에 따라 설계할 경우 요구 횡철근이 2.9배 증가하였으며, 이는 기둥의 연성이 증가하는 결과를 가져왔다. (2) 기둥 횡변위는 대부분 소성힌지에서 휨변형, 접합부에서 휨변형, 그리고 들뜸에 의해 발생하였다. (3) 깊은보와 외부기둥이 접하는 경우 기둥의 상세 뿐만 아니라 접합부에서 과도한 변형을 방지하기 위해 접합부 내부에도 충분한 횡철근이 배근이 되어야 할 필요가 있었다.

**핵심용어** : 복합구조, 반복 횡하중 실험, 깊은보-외부 기둥 접합부, 연성