

# 외부 넓은 보-기둥 접합부의 이력거동에 관한 연구

## Hysteretic Behavior of Wide Beam-Column joint

서수연<sup>\*</sup> 김종선<sup>\*\*</sup> 윤용대<sup>\*\*\*</sup> 이우진<sup>\*\*\*\*</sup> 김상식<sup>\*\*\*\*\*</sup> 윤승조<sup>\*</sup>  
Seo, Soo-Yeon Kim, Jong-Sun Yoon, Yong-Dae Lee, Woo-Jin Kim, Sang-Sik Yoon, Seung-Joe

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to study the effect of longitudinal reinforcement for anchoring in the wide beam column joint as well as the contribution of depth of spandrel beam to hysteretic behavior of the wide beam column joint.

From the test it was shown that the specimen with anchorage in the joint had higher strength than the specimen with normal hook anchorage.

Specimen with debonded reinforcement at out of  $1d$  from column face failed showing moved plastic hinge and less strength than normal specimen. However, the dissipated energy was increased 11%.

### 1. 서론

건축물에 대한 고층화 및 대형화의 필요성에 대한 사회적 요구와 구조물의 안전성에 대한 요구의 증가로 인하여 기존 구조시스템의 장점을 극대화하면서, 자유로운 내부 공간구성이 가능해 층고를 낮출 수 있는 새로운 구조시스템의 도입이 필요한 실정이다.

구조물의 층고를 낮출 수 있는 가장 좋은 요소 중 하나가 바닥 구조 시스템의 개선으로서, 넓은 보를 사용하는 방안이 권장 될 수 있다. 하지만, 현재 이러한 넓은 보를 이용한 구조 시스템이 지진하중과 같은 반복 하중을 받을 경우의 이력 거동 및 유효폭 산정에 대한 연구 자료가 미비한 실정이다.

Stehle(2001)과 Wight(1999)<sup>1)</sup>는 기존 연구에서 넓은 보-기둥 접합부에 대한 연구 자료의 부족으로 강진지역에서 넓은 보-기둥 접합부의 사용을 허용하지 않았지만, ACI 318-02에서는 몇 가지 제한을 제외하고는 강진지역에서의 사용을 허용하고 있다. ACI-318-02에서는 기둥 코어 외측에서는 넓은 보의 주근 정착을 제한하기 위해 보의 유효폭을  $b_c + 1.5h_b$ 로 제한하고 있으며, NZS 3101은 보의 폭 비 제한을 기둥 깊이와의 연관성에 기초해  $b_c + 0.5h_c$  와  $2b_c$  중 작은 값으로 하여 ACI-318-02보다 더 엄격히 유효폭을 제한하고 있다. 이들 식을 구성하는 기둥과 보의 형상에 대한 영향외에도 기둥외부로 정착되는 보단부의 고정도에 따라 그 거동이 영향을 받을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 일체식 모멘트 저항 골조 설계 방법에 있어 기둥에서의 파괴를 막고 보에서 소성힌지를 확보하고자 강한 기둥약한 보(Strong Column-Weak Beam)의 설계 개념을 도입하여 설계된 외부 Wide Beam-Column 접합부 실험체에 반복 하중 작용 시 Spandrel Beam의 영향을 파악하고, 접합부에 사용되는 표준갈고리를 headed bar를 적용할 경우의 실험체와 접합부내 넓은 보의 주근에 부착을 제거한 실험체

\* 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\* 정회원, 충주대학교 대학원, 석사과정

\*\*\* 정회원, 충주대학교 건축공학과, 공학석사

\*\*\*\* 정회원, 충주대학교 산업과학연구소 연구원, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, (주)정일구조 엔지니어링, 소장

(debonding)의 이력 거동을 파악하고 향후 지진 지역에서 Wide Beam System의 설계 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2 실험

### 2.1 실험체 계획

본 연구의 실험체는 20층 RC조 사무소 건축물을 대상으로 하며 10층에 위치한 Wide Beam-Column 외부접합부를 대상으로 선정하였다. 실험체 계획은 ACI 352 및 ACI-ASCE Committee 352 권장안에 준하여 실물 크기의 2/3 스케일로 5개의 실험체를 제작하였다. 실험체에서 고려하는 변수는 spandrel beam의 깊이를 변화한 EWB-N(300×400mm), EWB-S1(300×500mm), EWB-S2(300×600mm)로 계획하였다. EWB-D 실험체는 EWB-N 실험체에서 90° 표준갈고리를 사용한 주근을 Headed Bar로 대체하였고, 기둥면으로부터 1d만큼 떨어진 구간에서 Wide Beam의 주근을 각 기준식의 유효폭 평균값 750mm를 부착하지 않았다. 기둥(300×300mm)과 넓은 보의 깊이(200mm)는 모든 실험체에 대하여 일정하게 하였다. 각 실험체 형상과 단면상세는 그림1에서 나타내었고, 압축강도 24MPa의 콘크리트를 사용하였으며 기둥과 Spandrel Beam의 주근은 D19(SD40), 띠철근은 D10, Wide Beam의 주근은 D13, 늑근은 D10을 사용하였다.

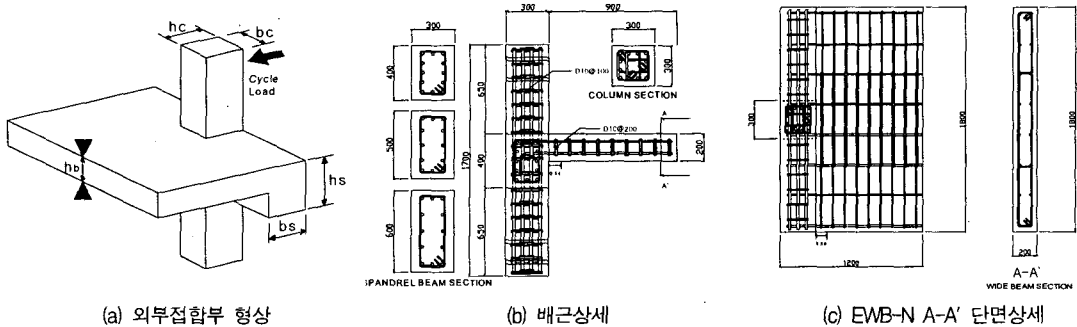


그림 1 실험체 형상 및 단면상세

### 2.2 실험체 설치

반복하중을 받는 골조의 거동을 구현하기 위하여 실험체는 그림 2에서 나타낸 것처럼 설치하였다. 본 실험에서 사용된 변위이력(Displacement History)은 ACI<sup>2)</sup>에서 권장하는 하중이력에 따라 제한된 변위각 이력을 채택하여 실험을 진행하였다. 각 단계별로 동일변위를 3사이클씩 점증 반복 가력 하였다. 실험 중 부착된 변위계(LVDT)와 Actuator의 변위를 동시에 측정하고, Wide Beam 철근의 변위를 단계별 변형을 측정하기 위해 Wire Strain Gauge를 0.5d 위치에 부착하여 측정하였다. 항복하중 및 항복변위의 설정은 Park<sup>3)</sup>에 의해 정의된 탄소성 이상화 방법에 의하여 정의하였다.

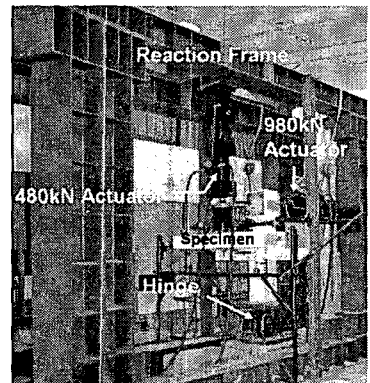


그림 2 실험체 설치상황

## 3. 실험결과

### 3.1 균열발생과 파괴양상

EWB-N과 S Series 실험체는 13사이클 부가력에서 기둥-보 접합부에 균열이 발생하였으며, 20사이클 부가력에서 접합면으로부터  $d \sim 2d$  떨어진 구간에서 Wide Beam에 초기 휨균열이 발생하였다. 또한 23사이클 정가력에서 Wide Beam 하부 Spandrel Beam과 기둥 접합부면에서 초기 박리가 나타났으며,

이후 균열과 박리 현상이 심하게 일어난 후 점차적으로 균열이 진전되고 새로운 균열이 발생하면서 최종 휨 파괴에 도달하였고, EWB-D 실험체는 기둥으로부터 1d만큼 떨어진 Wide Beam에서 휨균열이 발생하였으며 EWB-H 실험체의 초기 균열은 EWB-N 실험체와 같은 양상을 보였으나 Spandrel Beam 상부에서 최종 휨파괴와 Headed Bar의 압축에 의한 피복 콘크리트 균열이 발생하면서 최종 파괴에 이르렀다. 전체적인 파괴양상은 EWB-S1,S2는 변위 증분비가 증가함에 따라 Wide Beam에서는 새로운 균열이 발생하지 않고 Spandrel Beam과 기둥에서 새로운 균열들이 발생하고 접합부에서 최종 파괴가 일어났다. 각 실험체의 최종파괴양상 및 실험결과는 그림 3과 표 1에 나타내었다. 항복하중 및 항복변위의 설정은 Park<sup>3)</sup>에 의해 정의된 탄소성 이상화 방법에 의하여 정의하였다.

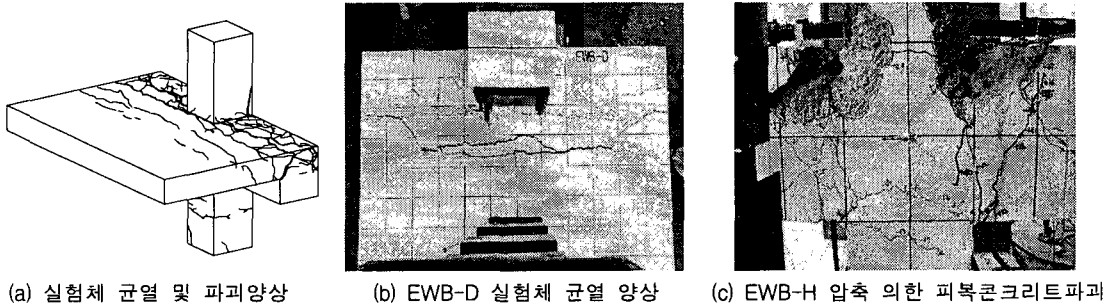


그림 3 각 실험체 균열발생 및 최종파괴양상

표 1 각 실험체별 실험결과

실험체명		$P_y(kN)^{1)}$	$\Delta_y(mm)^{2)}$	$P_u(kN)^{3)}$	$\Delta_u(mm)^{4)}$	변위연성비 $\mu^5)$	누적에너지소산량 $(kN \cdot mm)^{6)}$
EWB-N	정(+)	42.725	16.764	56.763	41.688	2.486	8436.99
	부(-)	37.659	16.029	50.171	29.773	1.857	
EWB-D	정(+)	34.302	7.686	46.143	40.494	5.268	9261.95
	부(-)	27.294	8.185	37.262	21.730	2.654	
EWB-H	정(+)	47.455	21.341	63.660	114.53	5.366	11262.02
	부(-)	31.067	14.566	42.419	41.400	2.842	
EWB-S1	정(+)	43.213	19.901	57.922	142.992	7.185	8884.34
	부(-)	36.255	16.471	48.309	29.764	1.807	
EWB-S2	정(+)	42.573	16.813	57.224	113.218	6.734	13321.65
	부(-)	40.314	14.882	54.535	29.773	2.000	

1)  $P_y$  : 항복하중, 2)  $\Delta_y$  : 항복하중 시 변위, 3)  $P_u$  : 최대하중, 4)  $\Delta_u$  : 최대하중 시 변위, 5)  $\mu$  :  $\Delta_u/\Delta_y$ , , 6) 누적에너지 소산량 $(kN \cdot mm)$  : 변위각 4% 일 때까지의 에너지 소산량

### 3.2 하중-변위곡선

실험에서 나타난 주요 파괴모드는 Wide Beam의 휨 파괴로 Spandrel Beam을 변화한 실험체 (EWB-S1, S2)의 경우 기준 실험체(EWB-N)와 거의 유사한 이력거동을 나타냈고, 주근을 Debonding 시킨 EWB-D 실험체의 경우 소성힌지의 이동으로 EWB-N 실험체 보다 에너지소산능력이 11%정도 증가되었으며, EWB-H 실험체는 Headed Bar의 안쪽 나사선이 먼저 파괴되어 내력 저하가 나타났으나 압축에 의한 피복콘크리트 탈락으로 인해 부가력에서 하중이 감소하였다.

그림 4(b)~(f)에서 보듯이 Spandrel Beam 깊이가 증가 할수록 초기 강성은 증가하지만 내력에는 별 다른 차이가 나타나지 않았다. 그림 4(a)에서 시작 사이클의 최대하중과 마지막 사이클의 최대하중과의 차이는 Spandrel Beam의 깊이가 증가할수록 정(+)·부(-) 모두에서 별 차이를 나타내지 않고 있지만 EWB-D 실험체는 다른 실험체 보다 더 내진성능의 향상을 기대할 수 있으며, 기계적 정착 방법을 이용한 EWB-H 실험체의 경우 표준갈고리정착을 이용한 EWB-N 실험체보다 더 높은 내력을 나타내었다.

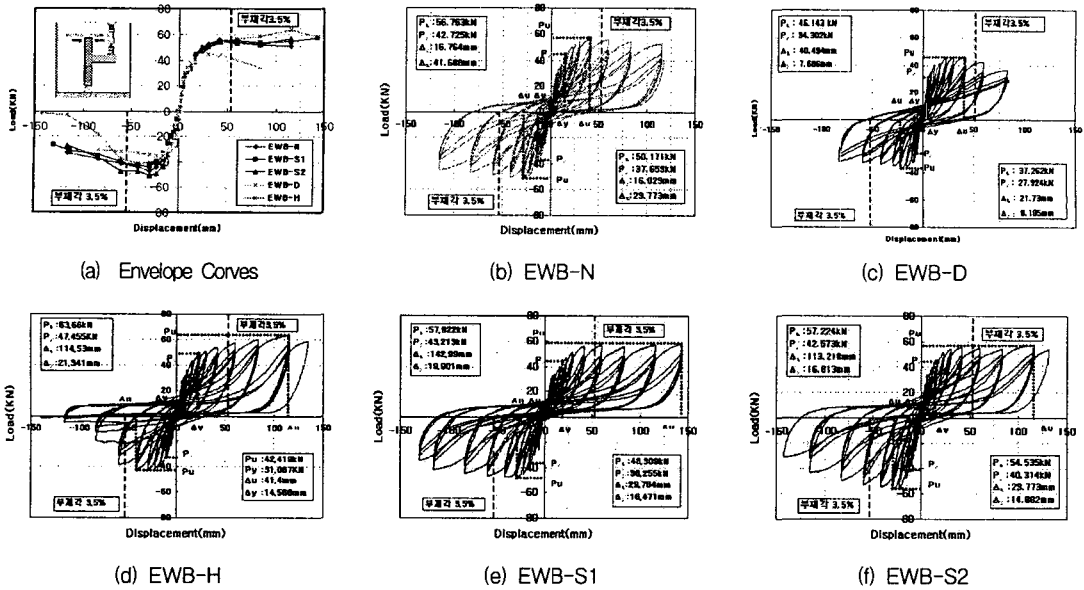


그림 4 각 실험체의 하중-변위 곡선

실험체의 마지막 변형은 Actuator의 최대 스트로크에 도달했기 때문에 실험을 할 수 없었으나 하중의 저하가 나타나지 않을 것으로 보아 Spandrel Beam의 깊이가 증가 할수록 더 연성적인 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

- 1) 누적에너지 소산량은 EWB-N 실험체보다 Spandrel Beam의 깊이가 1.25배 커진 S1 실험체의 경우 거의 변화를 나타내지 않았고 Spandrel Beam의 깊이가 1.5배 커진 S2 실험체의 경우 57%정도 향상된 것으로 나타났다.
- 2) EWB-D의 실험체는 소성힌지의 이동으로 에너지 소산능력은 11%정도 증가하였지만, 최대내력과 강성이 EWB-N 실험체 보다 감소하였다.
- 3) EWB-H 실험체는 headed bar의 슬립과 압축에 의한 피복 콘크리트 균열로 인해, 부(-)방향의 내력이 감소하였으나, 정(+)방향은 다른 실험체 보다 7~9%정도 내력이 증가하였다.

#### 감사의 글

본 연구를 진행함에 있어서 Head Bar를 지원해 주신 (주)부원비엠에스에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. James M. Lafave and James K. Wight, "Reinforced Concrete Exterior Wide Beam-Column-Slab Connection Subjected to Lateral Earthquake Loading" ACI Structural Journal, V. 96, No. 4, July-August, 1999, pp. 577-585I.
2. ACI Innovation Task Group and Collaborators(1999)."Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing" American Concrete Institute. Farmington Hills, MI.
3. R. Park, "Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages from Laboratory Testing," Bulletin of The New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 3, September 1989
4. 윤승조, 서수연의 "깊이 변화에 따른 Wide Beam의 이력거동에 관한 연구", 한국콘크리트학회 기술발표 논문집 제 15권 2호, 2003.11, pp. 165-168.