

# 슬래브가 있는 고강도 철근 콘크리트 넓은 보-기둥 접합부의 거동

## Behavior of High Strength Reinforced Concrete Wide Beam-Column Joint with Slab

최종인\*    안중문\*\*    신성우\*\*\*    박성식\*\*\*\*    이범식\*\*\*\*\*    양지수\*\*\*\*\*  
Choi, Jong In    Ahn, Jong Moon    Shin, Sung Woo    Park, Sung Sik    Lee, Bum Sik    Yang, Ji Soo

### ABSTRACT

An experimental investigation was conducted to study the behavior of high-strength RC wide beam-column joints with slab subjected to reversed cyclic loads under constant axial load. Six half scale interior wide beam-column assemblies representing a portion of a frame subjected to simulated seismic loading were tested, including three specimens without slab and three specimens with slab. The primary variables were compressive strength of concrete( $f_{ck}=240, 500\text{kgf/cm}^2$ ), the ratio of the column-to-beam flexural capacity( $M_r=\Sigma M_c/\Sigma M_b$ ; 0.77~2.26), extended length of the column concrete( $l_d$ ; 0, 9.6, 30cm), ratio of the column-to-beam width( $b/H$ ; 1.54, 1.67). Test results are shown that (1) the behavior of specimen using high-strength concrete satisfied the required minimum ductile capacity according to increase the compressive strength, (2). In the design of the wide beam-column joints, one should be consider the effects of slab stiffness which is ignored in the current design code and practice.

### 1. 연구배경 및 목적

주택 보급률의 증대, 가변형 평면구성에 대한 입주자의 선호도 다양화 등 변화하는 아파트 건설시장에 적절히 대응하기에는 기존의 전단벽식 구조만으로는 많은 어려움이 있을 것으로 예상되고 있어 기존 구조시스템의 장점을 극대화하며 공간 활용성과 내구성이 우수하고, 구조 안정성이 높은 구조시스템을 개발할 필요가 있다. 새로운 구조시스템에는 층고 저감의 효과가 있는 넓은 보(Wide Beam)와 평판 슬래브의 도입이 예상되며, 이와 함께 부재 크기의 최적화, 실내 공간활용의 극대화, 구조체 품질 향상이 기대되는 고강도 콘크리트의 적용이 요구되고 있다. 또한 실제 철근콘크리트 골조는 보와 기둥 및 슬래브로 구성되어 있으나 접합부 설계에 사용되는 기존의 설계방법에서는 슬래브의 영향을 고려하지 않고 있으며, 접합부에 관련된 기존 연구 역시 대부분 횡력을 받는 슬래브가 접합부에 미치는 영향에 대한 고려없이 보-기둥 접합부의 성능만을 중심으로 연구가 수행되어져 왔다. 따라서 골조에 횡하중이 작용할 경우 슬래브가 보-기둥 접합부 특히 보의 거동에 많은 영향을 미칠 것으로 예상되므로, 본 연구에서는 슬래브의 영향을 고려한 고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 비탄성거동을 실험적으로 평가하여, 향후 접합부 설계를 위한 기초자료를 제안하고자 한다.

\* 정희원, 한양대학교 대학원, 석사과정

\*\* 정희원, 한양대학교 STRESS 연구조교수

\*\*\* 정희원, 한양대학교 건축학부 교수

\*\*\*\* 정희원, 대한주택공사 주택도시연구원 선임연구원

\*\*\*\*\* 정희원, 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원

\*\*\*\*\* 정희원, 대한주택공사 건축설계처 부장

본 연구는 대한주택공사 주택도시연구원이 주관하고 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터의 지원에 의한 연구결과 일부로서 이에 감사드립니다.

## 2. 실험

### 2.1 실험체 개요 및 실험변수

본 연구의 대상으로 선정된 접합부는 기존 전단벽식 아파트 구조평면을 개선하여 내부평면형식을 단변방향인 세대간은 기존의 전단벽을 유지하고 세대내 장반방향은 R/C 강성골조로 구성되는 시스템에서 다음 그림 1~3과 같이 내부접합부를 대상으로 일정축하중아래 수평력이 작용할 때를 가정한 실험체를 계획하였다.

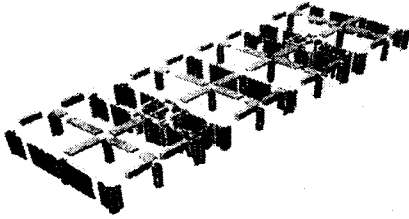


그림 1 실험체 모델링 개념

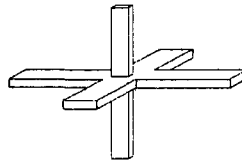


그림 2 슬래브가 없는 실험체

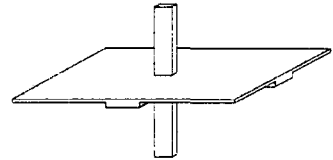


그림 3 슬래브가 있는 실험체

제작된 실험체는 슬래브가 없는 내부 보-기둥 접합부 실험체 3개와 슬래브가 있는 실험체 3개씩 모두 6개의 실험체를 제작, 실험하였으며, 각 실험체의 특성은 다음 표 1과 같다. 본 실험에 적용한 주된 실험변수는 콘크리트 압축강도( $f_{ck}=240, 500\text{kgf/cm}^2$ )와 보-기둥의 휨강성비( $M_r=\Sigma M_c/\Sigma M_b$ ; 0.77~2.26), 현행 기준에 의한 기둥에 타설되는 고강도 콘크리트의 수평부재로의 내민길이( $l_d$ ; 0, 9.6, 30cm), 그리고 보폭과 기둥폭의 비( $b/H$ ; 1.54, 1.67)를 적용하였다. 이와 같은 변수에 따라 제작된 대표적인 실험체의 상세가 다음 그림 4에 나타나 있다.

표 1 각 실험체별 특성

실험체명	보			기둥		슬래브			휨강성비 ( $M_c/M_b$ )	보폭/기둥폭비 ( $b/H$ )
	$b \times D \times L$ (mm)	$f_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		$b \times H \times h$ (mm)	$f_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	두께/폭 (mm)	$f_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )			
		내민길이 (30cm)내	내민길이 외				내민길이 (30cm)내	내민길이 외		
WB-P	400×125×880	240	240	240×240×610	240	-	240	240	1.39	1.67
WB-1	"	"	500	"	500	-	500	240	1.86	1.67
WB-2	"	"	"	260×260×610	"	-	"	"	2.26	1.54
WB-PS	"	"	240	240×240×610	240	75/2000	240	240	0.77	1.67
WB-1S	"	"	500	"	500	75/2000	500	240	0.98	1.67
WB-2S	"	"	"	260×260×610	"	75/2000	"	"	1.20	1.54

### 2.2 실험체 설치 및 실험방법

각 실험체를 그림 5와 같이 Strong Frame에 설치한 후, 최대용량 300tf의 Oil Jack을 사용하여  $0.1f_{ck}A_g$  크기의 축력을 재하한 후 재하된 축력의 변화가 없도록 일정하게 유지하면서 25tf 용량의

Actuator에 의해 양쪽 보 단부에서 동시에 정(+), 부(-)의 휨력을 변위연성증분비 ( $\Delta/\Delta_y$ )에 따라 재하였다. 실험과정에서 보-슬래브의 변위와 접합면에서의 상대변위, 보-슬래브의 전단변형 등을 측정하기 위한 LVDT를 그림 6과 같이 설치하였다.

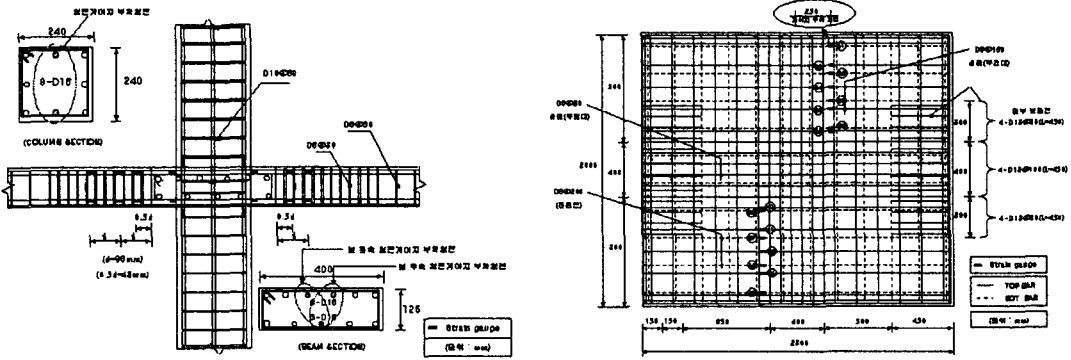


그림 4 대표 실험체의 배근 및 Strain Gauge 상세도(WB-PS)

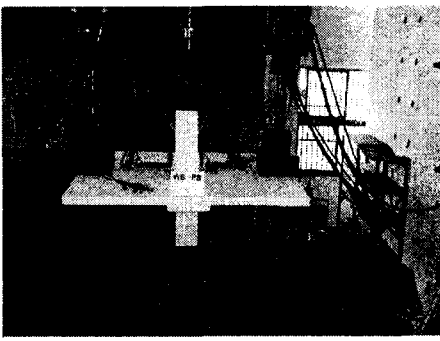


그림 5 실험체 설치상황

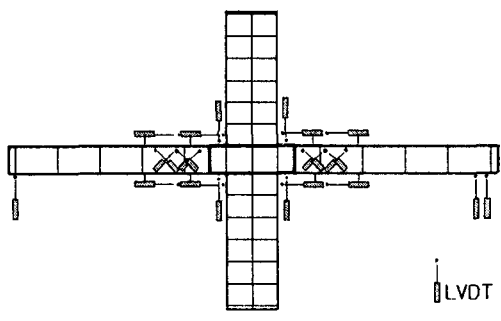


그림 6 LVDT 위치도

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 균열발생 및 파괴양상

모든 실험체가  $0.5\Delta_y$ 에서 접합면으로부터  $d \sim 2d$ 정도 떨어진 구간에서 보와 슬래브에 초기 휨균열이 발생하여 진전하였다. 슬래브가 없는 실험체(WB-P, WB-1, WB-2, 이하 WB Series)들은 초기에 발생했던 휨균열들이 계속 진전하거나 새롭게 발생하면서 최종 휨파괴에 이르렀다. 슬래브가 있는 실험체(WB-PS, WB-1S, WB-2S, 이하 WB-S Series)들은 슬래브가 없는 실험체들과 마찬가지로 휨균열이 진전하였으나,  $3\Delta_y$ 이후 직각방향에 있는 보-슬래브를 향하는 비틀림균열도 발생하여 진전하였다. WB Series의 기둥에서는 접합부에서 약간의 균열이 발생하였으나, WB-S Series는  $1\Delta_y$ 나  $2\Delta_y$ 에서 기둥에 초기 휨균열이 발생하여 파괴시까지 약간의 균열의 진전을 볼 수 있었다. 전체적인 파괴상황은 WB Series는 넓은 보 단부에서 파괴가 일어났으며, WB-S Series는 넓은 보-기둥 접합부에서 파괴가 일어났다. 각 실험체의 최종파괴양상 및 실험결과는 다음 표 2와 사진 1에 나타나 있다.

표 2 실험결과표

실험체명	WB-P	WB-PS	WB-1	WB-1S	WB-2	WB-2S	
$P_y(\text{tf})^{1)}$	3.03	4.30	4.13	4.51	3.81	4.64	
$\Delta_y(\text{mm})^{2)}$	15.42	18.68	21.22	25.36	20.50	23.94	
$P_u(\text{tf})^{3)}$	4.19	5.16	4.55	5.17	4.28	5.42	
$\Delta_u(\text{mm})^{4)}$	31.90	35.12	37.56	47.60	41.04	36.38	
$P_f(\text{tf})^{5)}$	3.94	2.49	3.88	3.86	1.31	1.58	
$\Delta_f(\text{mm})^{6)}$	67.24	89.12	95.36	72.32	97.22	85.98	
누적에너지 소산량(tf · mm) <sup>9)</sup>	417.98	595.58	1577.55	581.73	710.68	873.25	
변위연성비( $\mu$ )	$\mu_u^{7)}$	2.1	1.9	1.8	1.9	2.0	1.5
	$\mu_{0.75}^{8)}$	4.4	3.8	4.5	2.9	3.8	3.1
최종파괴양상	보 단부파괴	접합부파괴	보 단부파괴	접합부파괴	보 단부파괴	접합부파괴	

<sup>1)</sup>  $P_y$  : 항복시 하중, <sup>2)</sup>  $\Delta_y$  : 항복시 변위 <sup>3)</sup>  $P_u$  : 최대하중, <sup>4)</sup>  $\Delta_u$  : 최대하중시 변위 <sup>5)</sup>  $P_f$  : 최종파괴시 하중,  
<sup>6)</sup>  $\Delta_f$  : 최종파괴시 변위 <sup>7)</sup>  $\mu_u = \Delta_u / \Delta_y$ , <sup>8)</sup>  $\mu_{0.75} = \Delta_{u,0.75} / \Delta_y$  (최대내력의 약75%까지의 변위연성비)  
<sup>9)</sup> 누적에너지 소산량(tf · mm) : 최대내력의 약 75%까지의 에너지 소산량

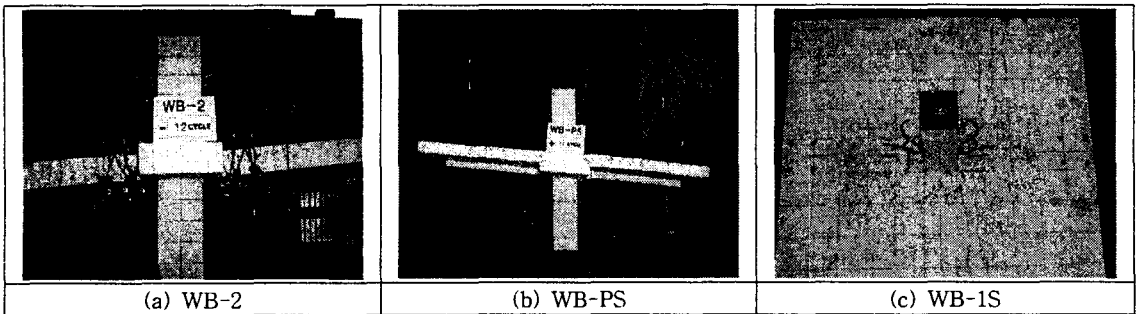


사진 1 균열발생상황 및 최종파괴상황

### 3.2 하중-변위 이력곡선

다음 그림 7(a)~(f)에서 알 수 있는 것처럼 콘크리트 강도가 증가할수록 실험체의 초기강성 및 하중 부담능력이 다소 증가하는 것을 알 수 있으며, 동일한 변위연성비 증분단계에서 시작 Cycle의 최대하중과 마지막 Cycle의 최대하중과의 차이가 보통강도인 경우보다 감소함을 알 수 있다. 또한, 슬래브가 있는 경우는 그렇지 않은 경우보다 약 10~30%정도 항복하중, 최대하중, 항복변위 등이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 슬래브가 있는 경우는 없는 경우에 비하여 최대하중 이후 하중부담능력이 급격히 저하되는 것으로 나타났다. 그러나 실험시 기동축력이 제하여 다른 실험체와 다른 이력거동을 나타낸 WB-1실험체를 제외한 모든 실험체에서 핀칭현상을 보여주고 있는데, 이는 장방형보에 비하여 유효깊이가 적어 균열이 발생함과 동시에 중립축이 상승하여 콘크리트의 저항능력이 급격히 감소하면서 나타나는 현상으로 판단된다.

### 3.3 강도 및 강성저하

부재의 탄성범위를 지나 소성변형상태에서의 변형능력을 평가하기 위해 각 실험체의 강성과 강도저하를 평가하여 다음 그림 8과 9에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 초기강성은 슬래브가 있는 경우가 없는 경우보다 다소 크게 나타났으며, 고강도 콘크리트의 내민길이가 증가할수록 초기강성 및 최대강도도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 최대하중 이후 급격한 강성의 저하가 발생하는 것으로 나타나 넓은 보를 적용한 골조시스템에서는 이에 대한 충분한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

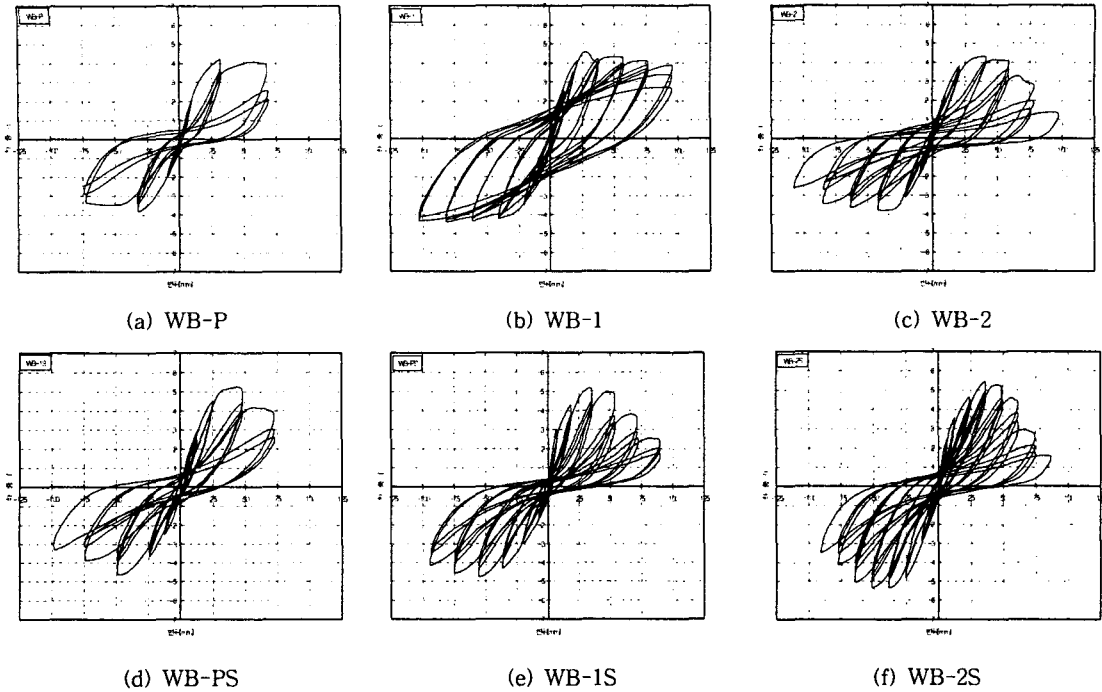


그림 7 각 실험체별 하중-이력곡선

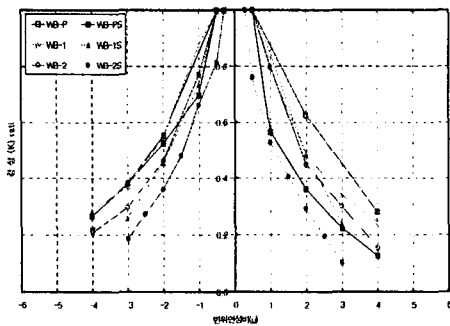


그림 8 강성저하

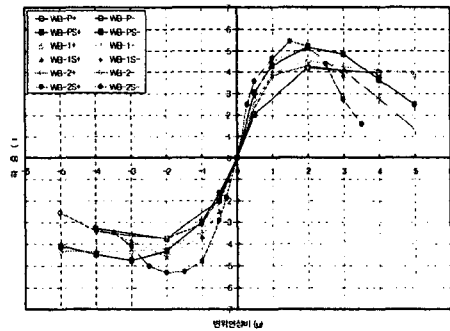


그림 9 강도저하

### 3.4 에너지 평가

하중-변위 이력곡선으로 둘러싸인 면적의 합으로 계산되는 에너지 소산능력은 각 실험체에 대하여 반복하중이 작용하는 각 하중 단계별 누적에너지량으로 나타내면 다음 그림 10과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 슬래브가 있는 경우가 없는 경우보다 약 23~40%정도 누적에너지소산량이 증가하는 것으로 나타나 기존 보-기둥 접합부 설계시 고려하지 않고 있는 슬래브의 영향을 합리적으로 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다.

### 3.5 연성평가

각 실험체의 연성능력을 평가하여 앞의 표 2와 다음 그림 11에 나타내었다. 그림과 표에서 알 수 있는 것처럼 넓은 보-기둥 접합부 실험체의 변위연성비는 강진지역에서 요구하는 최소연성비인 3을 만족하는 것으로 나타났지만 슬래브가 있는 경우는 없는 경우보다 연성능력이 감소하는 것으로 나타

났는데 이는 슬래브에 발생하는 비틀림 모멘트의 영향으로 판단되며, 향후 넓은 보를 사용한 보-기둥 접합부 설계시 슬래브의 영향을 반영한 부분골조형 구조의 적용에 대한 적극적인 검토가 필요한 것으로 판단된다.

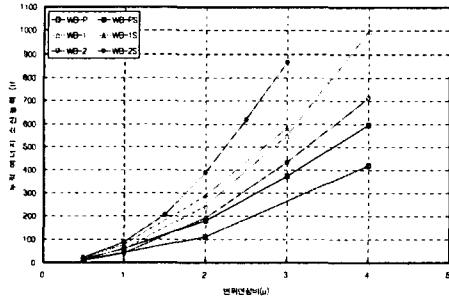


그림 10 변위연성비 별 누적에너지 소산능력

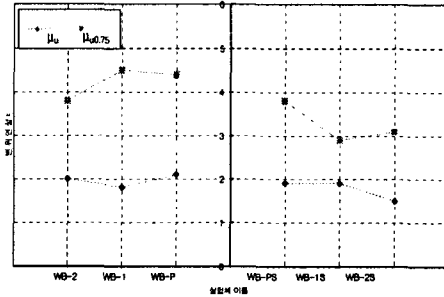


그림 11 각 실험체별 변위연성비 비교

#### 4. 결론

본 연구는 아파트의 벽식구조시스템을 개선한 골조시스템에서 층고절감을 위하여 보를 장방형보가 아닌 넓은 보를 적용할 경우, 이에 대한 기본 구조성능을 평가하기 위하여 실험을 실시하였고 이에 따른 결론은 다음과 같다.

- 1) 넓은 보의 전단스팬비(a/d)는 880/90=9.8로 전단파괴보다는 휨파괴를 유발하므로 넓은 보 단부의 추가적인 전단보강은 필요없는 것으로 판단된다.
- 2) 넓은 보는 유효 층이 매우 작으므로 콘크리트에 균열이 발생함과 동시에 중립축이 상승하여 콘크리트의 압축저항능력을 최대한 발휘할 수 없어 장방형보와 비교하여 강성이 저하되었다.
- 3) 기둥에 고강도 콘크리트의 사용은 뛰어난 경제성 뿐만 아니라 내부 접합부의 전단내력을 증진시켜 접합부의 안정성을 향상시키는데 기여하는 것으로 판단된다.
- 4) 넓은 보-기둥 접합부 실험체의 변위연성비는 5정도로 일반적으로 강진지역에서 요구되는 최소연성비 3을 상회하므로 부분골조형 구조에의 적용이 가능한 것으로 판단된다.
- 5) 접합부 실험체에서 슬래브가 횡저항 능력에 상당히 기여하므로 구조계획 및 구조설계시 슬래브의 횡변형 저항능력을 평가하여 반영하여야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(318-99) and Commentary(318R-99)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1999
2. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures(ACI 352R-91)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1999
3. Carlos G. Quintero-Febres and James K. Wight, "Experimental Study of Reinforced Concrete Interior Wide Beam-Column Connections Subjected to Lateral Loading," ACI Structural Journal, 2002, pp. 572-582
4. 건설교통부, "콘크리트 구조설계기준", 한국콘크리트학회, 1999