

# 횡하중을 받는 내부 슬래브-기둥 접합부의 거동

## Behavior of Interior Slab-Column Connections under Lateral Load

권대홍\*      최명신\*\*      안종문\*\*\*      이광수\*\*\*\*      신성우\*\*\*\*\*  
Kwon, Dae Hong   Choi, Myung Shin   Ahn, Jong Mun   Lee, Kwang Soo   Shin, Sung Woo

### ABSTRACT

An experimental study was conducted to study the behavior of slab-column connections under lateral load. Test variables include gravity shear ratio( $V_g/V_o=0.3, 0.5$ ) and flexural reinforcement ratio of slab( $\rho=0.01, 0.015$ ). Strength and ductility of tested specimens were evaluated in accordance with gravity shear ratios and slab reinforcement ratios. Shear stresses of Code's equation at the critical section were also compared with experimental results.

### 1. 서론

RC 플랫 플레이트 구조는 보가 없는 바닥구조의 단순화로 거푸집과 철근 공사의 단순화 및 시공의 시스템화를 통해 가장 빠른 공기 Cycle을 달성 할 수 있는 최적의 구조시스템으로 인지되고 있으며, 층고의 절감과 설비계획의 융통성, 그리고 처짐 제한 기준에 의한 슬래브 최소 두께의 확보로 층간소음 완화 등 거주성 측면에서도 우수한 장점을 지닌다. 중력하중에 대한 저항구조로 사용되던 플랫 플레이트 시스템이 최근에는 횡하중의 작용을 받는 (초)고층건물에 대한 사용도 증가하고 있다.

플랫 플레이트 구조에서 횡하중이 작용할 경우 슬래브-기둥 사이의 모멘트 전달은 휨과 전단에 의해서 분담하게 되며, 현행 콘크리트구조설계기준<sup>1)</sup>에서는 ACI 318 Building Code<sup>2)</sup>와 동일하게 슬래브-기둥 접합부의 전단응력을 수직하중의 작용에 의한 전단응력( $V_u/b_0d$ )과 횡하중에 의해 전달되는 휨모멘트 중 전단편심에 의해 전달되는 전단응력( $\gamma_v M_u c/J_c$ )의 크기를 더하여 다음 식(1)과 같이 계산하도록 하고 있다.

$$v_u = \frac{V_u}{b_0d} \pm \frac{\gamma_v M_u c}{J_c}, \text{ MPa} \quad (1)$$

여기서,  $V_u = \min \{0.33 \sqrt{f_{ck}} b_0 d, 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \sqrt{f_{ck}} b_0 d, 0.083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \sqrt{f_{ck}} b_0 d\}$ ,

$$J_c = \frac{(b_1 d^3)}{6} + \frac{d b_1^3}{6} + 2(b_2 d) \left(\frac{b_1}{2}\right)^2, \quad \gamma_v = 1 - \gamma_f = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{\sqrt{b_1/b_2}}}$$

이때, 설계기준에서는 슬래브-기둥 구조의 횡하중 설계시 층간변위각 1.5% 이상의 연성확보를 위하여 중력하중의 크기를 수직전단내력의 40% 이내로 제한( $V_g/V_o \leq 0.4$ )하도록 하고 있으며, 이는 기존 실험자료 분석을 통하여 ACI-ASCE Committee 352의 보고서<sup>3)</sup>에서 검토하여 제시된 것이다.

\* 정회원, 한양대학교 건축학부 석사과정  
\*\* 정회원, 한양대학교 건축학부 박사수료  
\*\* 정회원, 안산1대학 건축설계과 전임강사

\*\*\* 정회원, 여주대학 건축과 부교수  
\*\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

또한, 슬래브-기둥 접합부에서의 모멘트 전달이 대부분 기둥 주위 슬래브의 일정폭을 통하여 이루어지기 때문에 기둥 단면의 크기에 슬래브 두께의 1.5배를 더한 유효폭  $c+3h$  범위 이내에 집중하여 슬래브의 휨철근을 배근하도록 하고 있으며, 적정 연성 확보를 위해서는 유효폭 내의 인장 철근비를  $0.375\rho_b$  이내로 제한하고, 압축 철근비는 인장철근의 약 1/2 정도로 배근할 것을 권장하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 슬래브-기둥 접합부의 횡하중 거동에 영향을 미치는 인자 중에서 중력하중비 ( $V_g/V_o$ )와 슬래브 유효폭 범위내의 휨철근비 ( $\rho_{t,c+3h}$ )를 변수로 하여 3개의 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다.

## 2. 실험 개요

실험체는 내부골조의 슬래브-기둥 접합부를 대상으로 가로 2.4m, 세로 2.4m, 두께 120mm인 슬래브와 300mm×300mm의 단면치수를 갖는 정사각형 기둥과의 접합부를 계획하였다. 유효폭( $c+3h$ ) 내의 슬래브 철근비는 실험체 S1과 S2의 경우 인장 철근비(상부근)가 1.0%이고, 실험체 S3는 1.5%이다. 압축 철근비(하부근)는 모든 실험체에서 인장 철근량의 1/2로 배근하였다. S1과 S2는 동일조건의 실험체에 대하여 중력하중비를 각각 0.3과 0.5로 실험한 것이다. 표 1에는 실험체의 제원과 실험결과를 요약하여 나타내었고, 그림 1에는 실험체 상세도를 나타내었다.

실험체의 설치는 상·하부 기둥에 각각 250kN 액츄에이터를 설치하여 반대방향으로 변위를 발생시켜서 반복 횡하중을 작용시켰으며, 그림 1과 같이 슬래브의 4변을 상·하부면이 단순지지 되도록 설치하여 횡하중 작용에 따른 반력이 형성되도록 하였다. 중력하중의 작용은 슬래브에 하중블럭을 직접 올려놓는 방법과 기둥에 수직하중을 가하여 간접적으로 묘사하는 방법이 일반적으로 사용되며, 본 연구에서는 후자의 방법을 적용하였다. 횡하중은 층간변위비(story drift ratio)를 기준으로 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0%에 상응하는 변위를 점진적으로 증가시키면서 각 사이클 당 2회씩 반복하여 작용하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

그림 2에는 각 실험체의 최종 파괴 사진을 나타내었다. 3개의 실험체 모두 기둥 모서리에서 직교방향으로 형성되는 휨균열의 발생 이후 뚫림전단균열의 발생과 함께 최종 파괴되는 것으로 나타났다. 그림 3은 하중-변위의 상관관계 그래프를 나타낸 것이며, 3개의 실험체 모두 최대 층간변위(peak drift,  $D_p$ )가 3.0% 수준으로서 내진 설계시 허용 층간변위 기준인 1.5% 이상을 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 그림 4는 각 실험체의 포락선을, 그림 5는 강성을 비교한 것으로 중력하중비가 0.3에서 0.5로 증가하면서 peak drift에서의 강도와 강성이 저하되었고, 슬래브 휨철근비가 1.0%에서 1.5%로 증가하면 강도와 강성이 증가하는 것으로 나타났다. 그림 6은 연성평가를 위해 Pan & Moele<sup>4)</sup>에 의해 제안된 연성지수( $\mu_p=D_p/D_y$ ,  $\mu_u=D_u/D_y$ )를 나타낸 것이며, 기준 실험체 S1과 비교할 때 S2는 중력하중비가

표 1. 실험변수 및 실험결과 요약

Name	$\rho_{t,c-3h}$ (%)	$\rho_{c,c-3h}$ (%)	d (mm)	$f_{ck}$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$V_g$ (kN)	$V_g/V_o$	$P_{max}$ (kN)	$M_{ub}$ (kN·m)	$D_{peak}$ (%)	$\mu_p$ ( $D_p/D_y$ )	$\mu_u$ ( $D_u/D_y$ )	$V_{test}$ (MPa)	$V_{calc}$ (MPa)	$V_{test}/V_{calc}$
S1	1.0	0.50	90	33.5	458	81.3	0.3	+81.5 -79.8	+83.11 -81.39	+3.0 -2.68	2.13	2.34	2.38	2.42	0.98
S2	1.0	0.50	90	41.3	458	150.4	0.5	+73.3 -66.4	+74.8 -67.7	+3.0 -3.0	1.69	1.88	2.69	2.64	1.02
S3	1.5	0.75	90	37.8	458	86.3	0.3	+116.2 -119.1	+118.5 -121.5	+3.0 -3.0	1.74	1.95	3.18	2.76	1.15

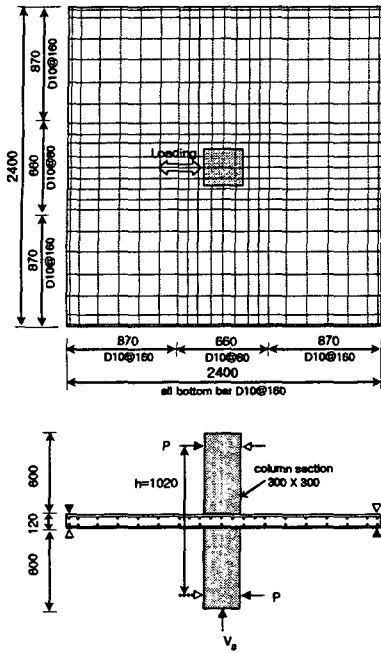


그림 1. 실험체 상세

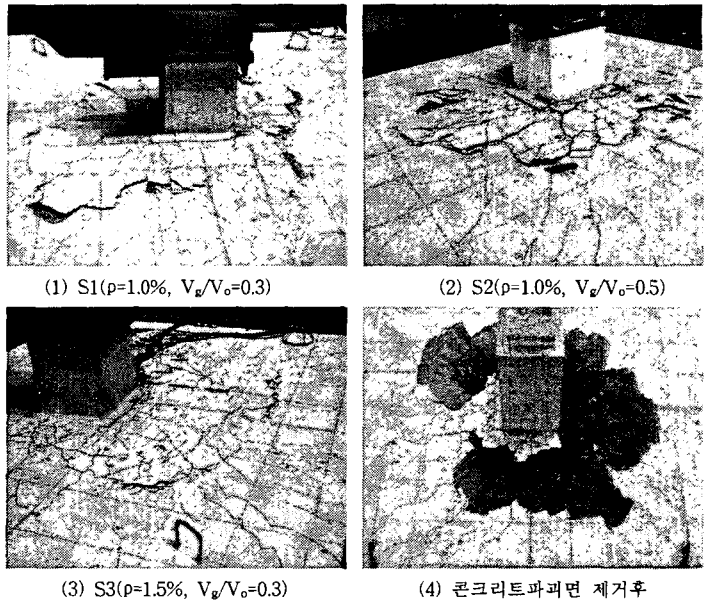


그림 2. 실험체 최종파괴 사진

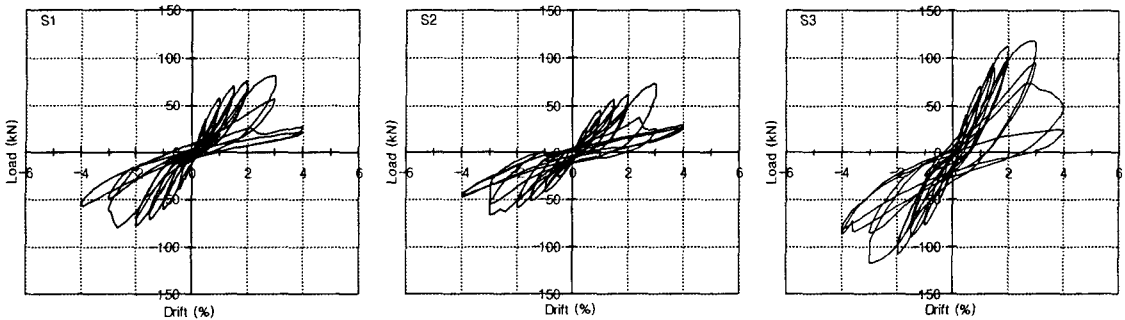


그림 3. 하중(Load)-변위(Drift) 관계

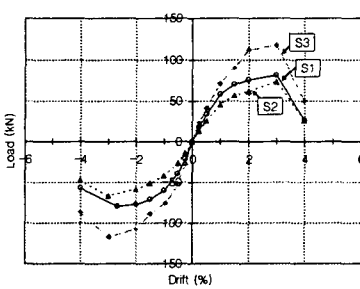


그림 4. 포락선 비교

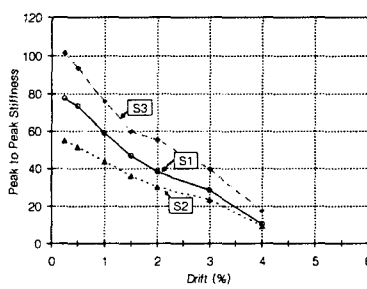


그림 5. 강성 비교

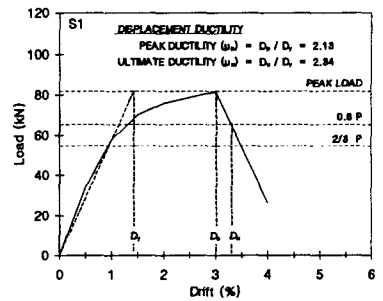


그림 6. 연성지수

증가 되면서 연성의 저하가 크게 나타났고, S3는 슬래브 휨철근비의 증가에 따라 강도와 강성이 증가 되는 반면에 연성지수는 다소 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, 편심전단응력모델에 의한 기준식의 전

단응력 계산값은 S1과 S2에서는 적절히 예측하고 있으나, 슬래브 철근비 증가(S3)에 따른 전단응력의 증가는 반영하지 못하고 있는 것으로 나타났다(표1). 그림 7은 중력하중비와 peak drift의 관계를 기존 실험자료(표 2)와 함께 나타낸 것이며, 층간변위 제한 1.5%를 만족하기 위한 중력하중비의 제한값 0.4는 적절한 것으로 사료된다.

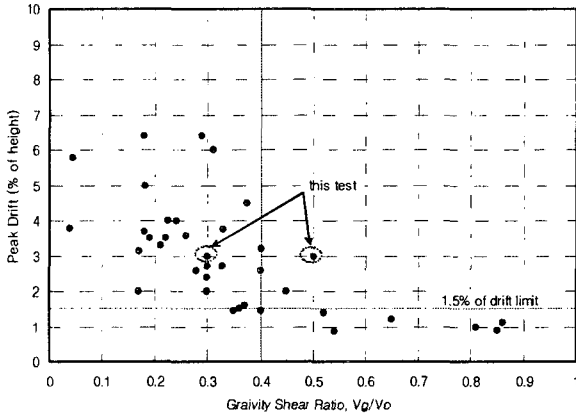


그림 7. 중력하중비와 Peak Drift의 관계

표 2. 중력하중비와 Peak Drift의 관계

연구자	Label	$V_g/V_o$	Peak drift(%)
Hanson and Hanson (1968)	B7	0.039	3.80
	C8	0.045	5.80
Hawkins et al. (1974)	S1	0.33	3.75
	S2	0.45	2.00
	S3	0.45	2.00
	S4	0.40	2.60
Ghali et al. (1976)	SM0.5	0.312	6.00
	SM1.0	0.328	2.70
	SM1.5	0.299	2.70
Symonds et al. (1976)	S6	0.86	1.10
	S7	0.81	1.00
Islam and Park (1976)	IP2	0.182	5.00
	IP3C	0.225	4.00
Zee and Moehle (1984)	INT	0.21	3.30
Pan and Moehle (1989)	AP1	0.37	1.60
	AP2	0.36	1.50
	AP3	0.18	3.70
	AP4	0.19	3.50
Robertson and Durrani (1990)	2C	0.22	3.50
	7L	0.40	1.45
	6LL	0.54	0.85
Hwang and Moele (1990)	-	0.24	4.0
Dilger and Cao (1991)	CD1	0.85	0.90
	CD2	0.65	1.20
	CD8	0.52	1.40
Durrani and Du (1992)	DNY2	0.30	2.00
	DNY4	0.28	2.60
Fathey et al. (1993)	3	0.26	3.56
	4	0.30	2.40
D.Y. Kim (1996)	LS-1	0.18	6.40
	LS-2	0.29	6.40
	LS-3	0.20	3.20
D.K. Lee et al. (2005)	RI-50	0.375	4.5
H.K. Kim (2006)	FPS01	0.17	2.00
	FPS02	0.35	1.45
	FPS03	0.17	3.13
Authors (2006)	S1	0.3	3.00
	S2	0.5	3.00
	S3	0.3	3.00

#### 4. 결론

슬래브-기둥 접합부의 횡하중 거동에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 내진설계시 고려되는 층간변위 제한(1.5%)을 만족시키는 중력하중비의 제한( $V_g/V_o \leq 0.4$ )은 정사각형 내부 기둥-슬래브 접합부에 대해 적절한 것으로 사료된다.
- 수직전단응력과 편심전단응력을 더하여 계산되는 현행 기준식은 슬래브 휨철근비 1.0%에서는 실험결과와 잘 일치하는 반면, 휨철근비 1.5%에서는 실험값이 15% 높게 나타났으며, 철근비 증가에 따른 효과가 고려될 필요가 있는 것으로 사료된다.

#### 감사의글

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KRF-2004-206-D000 49)의 일부이며, 과학기술부 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(R11-2005-056-01003-0).

#### 참고문헌

- 한국콘크리트학회, "콘크리트 구조설계기준 해설", 2003.
- ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(318-05) and Commentary (318R-05)", American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2005, pp.181-183.
- ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Slab-Column Connections in Monolithic Reinforced Structures(ACI 352.1R)", ACI Structural Journal, Nov.-Dec. 1988, pp.675-696.
- Austin Pan, Jack P. Moele, "Lateral Displacement Ductility of Reinforced Concrete Flat Plates", ACI Structural Journal, 1989, pp.250-258.
- M.D. Hueste, J.K. Wight, "Nonlinear Punching Shear Failure Model for Interior Slab-Column Connections", Journal of Structural Engineering, ASCE, Sep. 1999, pp.997-1008.