

## 고강도 띠철근으로 구속된 고강도 콘크리트 기둥의 연성

문호권<sup>1)</sup> · 이영호<sup>2)</sup> · 양근혁<sup>3)\*</sup> · 정현수<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>한울구조 <sup>2)</sup>동원대학 건축학과 <sup>3)</sup>중앙대학교 건축학과

(2000년 10월 9일 원고접수, 2001년 4월 28일 심사완료)

### Ductility of High-Strength Concrete Columns with High-Strength Lateral Ties

Ho-Kwon Moon<sup>1)</sup>, Young-Ho Lee<sup>2)</sup>, Keun-Hyeok Yang<sup>3)\*</sup>, and Heon-Soo Chung<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Han-Wool Structural Engineers, Sindang-Dong 333-78, Joong-Gu, Seoul, 100-450, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Tong-Won College, Gwangju, 464-711, Korea

<sup>3)</sup>Dept. of Architecture, Chung-Ang University, Seoul, 156-751, Korea

(Received October 9, 2000, Revised April 28, 2001)

#### ABSTRACT

The objective of this experimental study is to find the allowable level of axial load to give the proper flexural ductility according to the yield strength of lateral ties, and the distribution and amount of longitudinal bars used in confined high-strength concrete columns. Twelve concrete columns with a 20 cm square section and 80 cm high were tested under bi-axial loads. It was observed that the ductility tends to be improved at the axial loads not less than  $0.4f_{ck}A_g$ . The utilization of high-strength ties in accordance with the ACI 318-99 can cause the brittle failure due to the wide tie spacing. Under the high level of axial loads not less than  $0.4f_{ck}A_g$ , it is necessary for the buckling prevention of the longitudinal bars and the proper ductility improvement to use the high-strength ties with the consideration of the volumetric ratio and confinement type of the lateral ties, and the distribution of the longitudinal bars.

**Keywords :** concrete strength, configuration of ties, axial load, ductility

#### 1. 서 론

축하중 내력의 증대 및 부재단면의 축소로 인한 공간효율성 향상의 이점으로 인해 고층건물의 저층부 기둥에 고강도 콘크리트 사용이 점차 확대되는 추세이다. 고층건물에서 지진이나 바람 등의 횡하중이 작용할 경우 고축력과 전도모멘트가 발생하게 될 우려가 있다. 우리나라의 경우도 지진으로부터 안전한 지역이 아니라는 보고에 따라 1988년부터 6층 이상의 건물에 대해서는 내진설계를 적용하도록 하고 있다. 내진설계에 있어서는 보에 소성힌지가 발생하도록 하는 것이 안정적이고 경제적으로 구조물에 적용할 수 있기 때문에 강한 기둥-약한 보 개념이 합리적인 골조 시스템으로 인정되고 있다.

그러나 큰 횡하중이 작용할 경우 고층건물의 저층부 기둥에서 소성힌지 발생을 피할 수 없으며, 고강도 콘크리트의 재료적 특성인 취성적 파괴경향을 보완하고 기둥의 연

성을 확보하기 위한 연구가 필요하게 되었다.

ACI318-99<sup>1)</sup> 내진설계는 장방형 단면의 기둥설계시 연성 확보를 위한 띠철근의 양은 잠재적인 소성힌지 영역에 대해서 단면의 기하학적 특성, 콘크리트 강도, 띠철근 항복강도의 함수로 제시하여 여러 변수들의 변화에 따라 띠철근 체적비를 변화시키고 있으나, 주근의 양 및 배치형태에 대한 고려는 하지 않고 있다. 또한 띠철근의 항복강도 및 주근의 양이 철근 콘크리트 기둥의 연성에 미치는 영향에 대한 연구자료 부족으로 인해 부재의 거동에 대한 고강도 띠철근의 효율성 및 주근의 영향을 확인 할 필요가 있다.

정현수 등<sup>2)</sup>은 중심 축하중을 받는 구속된 철근 콘크리트 기둥에서 띠철근 강도 및 주근 양과 부재의 거동을 파악하였다. 고강도 띠철근의 항복강도를 충분히 발휘 할 수 있게 하기 위해서는 띠철근 간격을 좁게 배근하고 내부 띠철근을 배근 할 필요가 있으며, 특히 고강도 콘크리트에서 연성을 증가시키기 위한 고강도 띠철근의 사용은 띠철근의 간격, 배근형태 및 체적비 등을 함께 고려할 것을 제시하였다. 그리고, 동일 주근 비에서 주근 개수는 부재의 내력 및 연성에 큰 영향을 주지 않지만, 고축력을 받는 고강도 콘크

\* Corresponding author

Tel : 02-827-0182 Fax : 02-812-4150

E-mail : yangkh@dreamx.net

리트에서는 띠철근에 의해 지지되는 주근의 수직거리를 짧게 하거나 직경이 큰 주근을 사용하여 좌굴로 인한 저하를 방지할 것을 제시하였다.

六車 熙 등<sup>3)</sup>은 일정 축력과 횡하중을 받는 고강도 콘크리트 기둥실험에서 띠철근의 강도와 휨 거동의 관계를 파악하였다. 실험결과  $0.2f_{ck}A_g$  이하의 저축력에서 휨 내력과 연성에 미치는 띠철근 강도의 영향은 나타나지 않았지만  $0.63f_{ck}A_g$  정도의 고축력하에서는 고강도 띠철근을 사용한 시험체에서 휨 내력과 연성의 증가를 보였다.

MacGregor 등<sup>4)</sup>은 주근 양은 부재의 연성에 영향을 미치지 않는다고 하였지만 Park 등<sup>5)</sup>은 동일 띠철근 체적비에서 주근의 양 및 배치형태에 따라 연성이 향상됨을 보고하고 있다.

Aziznamini 등<sup>6)</sup>과 Sheikh 등<sup>7,8)</sup>은 고축력을 받는 고강도 콘크리트에서 연성을 확보하기 위해서는 현 기준보다 더 많은 띠철근이 필요함을 제시하였으며, Diniz 등<sup>9,10)</sup>은 축력비를 고려한 띠철근 산정식을 제안하였다.

이와 같이 부재의 연성과 띠철근 항복강도의 관계는 띠철근 체적비와 띠철근 배근형태 뿐만 아니라 축력비에 의해서도 크게 영향을 받으며, 주근의 양 및 배치가 연성에 미치는 영향에 대해서는 아직 불분명하다. 저축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥에서 ACI 318-99<sup>1)</sup> 내진기준에 따라 고강도 띠철근의 항복강도를 적용하여 띠철근을 배근 할 경우 띠철근 간격이 크게 있어 지진 등의 횡하중하에서 취성적 파괴를 동반할 우려가 크다.

따라서, 본 논문에서는 고강도 콘크리트 기둥의 연성을 확보하기 위한 띠철근 양 산정시 띠철근 강도가 연성에 미치는 영향이 현저하게 나타나기 시작하는 축력비를 파악하여 합리적인 띠철근 배근을 위한 기초자료를 제시하고자 한다. 또한 주근과 연성의 관계를 파악하여 기둥설계시 적절한 주근 양 및 배치방법에 대한 이해를 돕고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 시험체 제작 및 형상

고강도 철근콘크리트 기둥의 휨 거동과 띠철근 항복강도의 관계 및 주근의 영향을 파악하기 위해 띠철근 항복강도, 주근 양 및 배치, 축력비 등을 주요 변수로 하여 총 12개의 시험체를 제작하였다. 시험체 일람을 Table 1에, 시험체 단면 상세를 Fig. 1에 각각 나타내었다. 시험체의 크기는 단면  $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ , 높이  $80\text{ cm}$ 로서 중앙부  $40\text{ cm}$ 를 시험구간으로 하였다. 전단스팬비는 시험체 양단의 힌지를 포함하여 3.0이고, 피복두께는  $1.7\text{ cm}$ , 전체 단면적에 대한 코아면적비는 69%이다.

주근은 SD40의 D10 및 D13을 사용하여 8-D13(D형), 12-D10(R형), 12-D13(RR형)의 세 경우를 비교하였다. 띠철

Table 1 Details of test specimens

Specimens	$f_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Longitudinal steel		Lateral ties			Axial force level N/ ( $f_{ck}A_g$ )			
		$f_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$P_g$ (%)	$f_{yh}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	s (cm)	$\rho_s$ (%)		$A_{sh}/$ ( $A_{sh}$ ) <sub>ACI</sub>		
L40D	730	4,400	2.54	5,640	3.0	3.9	1.42	0.4		
H40D			8-D13	9,970			2.50			
L40R			2.13	5,640	3.5		1.42			
H40R			12-D10	9,970			2.51			
L55D			2.54	5,640	3.0		1.42		0.55	
H55D			8-D13	9,970			2.50			
L55R			2.13	5,640	3.5		1.42			
H55R			12-D10	9,970			2.51			
L55RR			3.81	5,640	3.5		1.42			
H55RR			12-D13	9,970			2.51			
L65R			710		2.13		5,640		1.47	0.65
H65R					12-D10		9,970		2.59	

L40D

— Distribution and amount of longitudinal bars :  
D(8-D13), R(12-D10),  
RR(12-D13)  
— Axial load : 0.4, 0.55, 0.65 of  $f_{ck}A_g$   
— Yield strength of lateral ties :  
L(5,640kgf/cm<sup>2</sup>), H(9,970kgf/cm<sup>2</sup>)  
\*  $(A_{sh})_{ACI} = 0.3(s \cdot h_c \cdot \frac{f_{ck}}{f_{yh}})[(\frac{A_g}{A_{ch}}) - 1]$

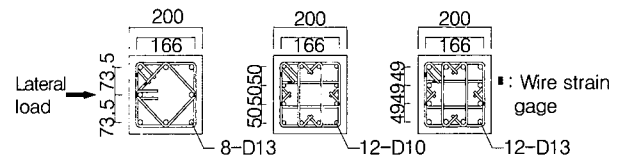


Fig. 1 Section details of test specimens

근은  $\phi 6$ 의  $5,640\text{ kgf/cm}^2$ 인 보통강도와  $9,970\text{ kgf/cm}^2$ 인 고강도를 사용하였다. 띠철근은 주철근 배치형태에 따라 내부 띠철근을 배근하였으며 띠철근 체적비는 3.9%로 모든 시험체가 동일하며, ACI 318-99 내진설계 기준에서 요구하는 띠철근 양보다 1.42~2.59배 많게 하였고, 배근간격은 기준  $D/4$ (5 cm)보다 조밀한 3~3.5 cm로 배근하였다. 띠철근의 폭크는 폭크의 풀림으로 인한 내력저하를 방지하기 위하여 내·외부 띠철근 모두  $135^\circ$ 로 하였으며 띠철근의 정착길이는 띠철근 지름의 6배 이상으로 하였다. 비시험 구간에서의 띠철근 배근은 조기 전단파괴를 막고, 충분한 강성을 갖도록 띠철근 간격을 조밀하게 배근하였다.

콘크리트 설계강도는  $800\text{ kgf/cm}^2$ 로 하였으며  $0.5\text{ m}^3$  용량의 강체식 콘크리트 믹서를 사용하여 배합하였다. 조골재 최대 치수는  $13\text{ mm}$ 를 사용하였다. “KS F 2403 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법”에 따라 직경 10 cm, 높이 20 cm 크기의 실린더형 물드를 사용하여 공시체를 제작하였

고, 본 실험의 시작과 동시에 “KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법”에 따라 압축강도 시험을 행하였다.

본 연구에 사용된 철근은 “KS B 0802 금속 재료 인장 시험 방법” 규정에 의하여 인장시험을 시행하였다. 사용 철근의 인장시험결과를 Table 2에, 철근의 응력-변형을 곡선을 Fig. 2에 각각 나타내었다.

## 2.2 시험체 가력 및 측정 방법

실험은 중앙대학교 구조실험실에서 구조실험용 Strong Frame을 이용하여 실시하였다. 축하중은 200 tonf 유압 잭으로 목표하중까지 가력한 후 실험 종료시까지 동일한 하중을 유지하였으며, 횡하중은 50 tonf 유압잭을 이용하여 최대 모멘트까지는 1.8 tonf/min 속도의 하중제어 방식으로, 그 이후는 0.6 mm/min 속도의 변위제어 방식으로 가력하였다. 시험체와 상·하부 힌지는 볼트로 연결하여 일체화하였다.

시험구간의 곡률은 압축측 수직 LVDT 2개의 측정평균값과 인장측 수직 LVDT 2개의 평균값으로 산정 하였다. 임계단면에서의 최대 수평처짐량 및 N-Δ 효과를 파악하기 위하여 수평방향으로 LVDT를 설치 하였다.

주철근과 띠철근의 거동을 파악하기 위하여 콘크리트 타설 전에 임계단면의 위치에 변형을 게이지를 설치하였다. 실험시 균열의 진전상황을 육안으로 확인하기 위하여 흰색 페인트로 시험체를 도색하였으며 2 cm간격의 수직선과 5 cm 간격의 수평선을 그려 하중단계별 균열의 진전상황을 파악하였다. 피복콘크리트의 박락 후에는 주철근의 좌굴과 띠철근 후크풀림 등의 거동을 육안으로 파악하였다. 실험은 기둥부재가 일정축력을 유지하지 못할 때 또는 육안으로 관찰

Table 2 Results of steel strength test

Bar size	$f_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_{su}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$E_s$ ( $\times 10^6$ kgf/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_y$ (%)	$\epsilon_{su}$ (%)
D10	4,310	6,700	1.74	0.29	20
D13	4,290	5,890	1.83	0.23	21
Φ6	5,640	6,000	2.41	0.236	11
Φ6*	9,970	12,357	2.48	0.63	7

\* 0.2% off-set method

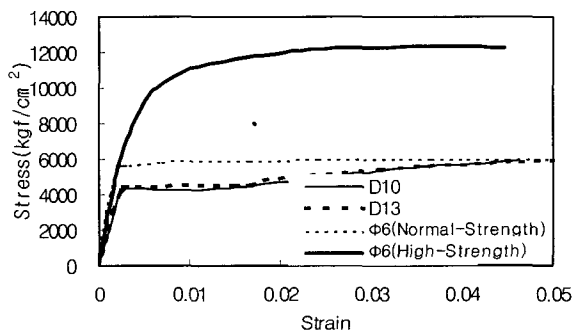


Fig. 2 Stress-strain curves for reinforcing steel

한 파괴정도가 너무 심하여 더 이상 횡하중을 가력하지 못할 상태라고 판단될 경우 종료하였다.

Fig. 3에 곡률의 측정방법 및 LVDT 설치상황을 보이며 이에 따라 기둥 임계단면에서의 휨 모멘트와 평균곡률을 다음 식에 의해 산정 하였다.

$$M = \frac{1}{2} P \cdot L_v + N \cdot \Delta \quad (1)$$

$$\phi = \frac{(\delta_t - \delta_c)}{D_g \cdot L_g} \quad (2)$$

여기서,  $M$ : 임계단면에서의 휨 모멘트

$P$ : 횡하중

$L_v$ : 전단스팬

$N$ : 축력

$\Delta$ : 수평변위

$\phi$ : 평균곡률

$\delta_t$ : 인장측 LVDT의 수직변위

$\delta_c$ : 압축측 LVDT의 수직변위

$D_g$ : 압축측과 인장측 LVDT 사이의 거리

$L_g$ : 시험측정구간 길이

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 파괴양상

시험체의 주 파괴모드는 임계단면에서 초기 휨 균열이 발생한 후, 압축측 주근이 항복하였으며, 횡하중이 증가함에 따라 균열수의 증가와 함께 압축측 임계단면을 향하여 균열이 진전되었다. 초기 휨 균열은 축력비가 0.4 $f_{ck}$ A $_g$ 인 시험체에서는 대략 최대 횡하중의 55%시점에서 발생하였으며,

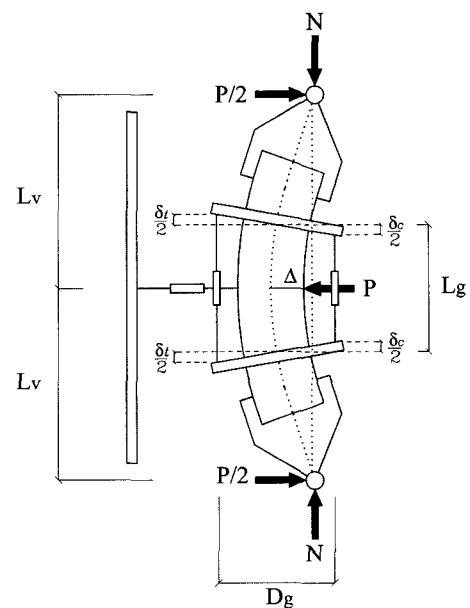


Fig. 3 Loading arrangements and measuring devices

축력비가  $0.65f_{ck}A_g$ 인 시험체에서는 최대 횡하중의 80%시점에서 발생하였다. 그리고, 고축력을 받는 시험체일수록 초기 휨 균열 발생이후 최대 횡하중까지 새로운 휨균열의 생성이 적었다. 휨 균열 발생이후 압축연단의 수직 균열 발생과 함께 피복 콘크리트의 박락이 발생하였고 이 시점에서 일시적인 내력의 저하가 나타났다. 고축력일수록 피복 콘크리트 박락으로 인한 내력저하가 크게 나타났다.

$0.4f_{ck}A_g$ 의 축력을 받는 시험체는 피복 콘크리트 박락시 최대 휨 내력을 발휘한 후 지속적으로 횡하중 수용능력이 감소하였으나,  $0.55f_{ck}A_g$  이상의 고축력을 받는 시험체는 피복 콘크리트 박락 직후 일시적으로 휨 내력이 저하하였다가 다시 휨 내력이 증가하여 최대 휨 내력에 도달하였다. 그러나, 최대 휨 내력이후에는  $0.4f_{ck}A_g$ 의 축력을 받는 시험체보다 횡하중 수용능력이 빠르게 감소하였으며, 압축축 주철근의 좌굴 및 띠철근의 파단으로 급격한 내력저하가 발생하였다. 고강도 띠철근을 사용하였을 경우에는 압축축 주철근의 좌굴구간이 작았으며 외부 띠철근의 배부름도 작게 나타났다. 이는 최대내력이후 띠철근의 응력이 급격히 진전되어 항복에 이르게 되는데, 항복변형도가 큰 고강도 띠철근일수록 항복에 이르는 시점이 늦기 때문이라 판단된다.

특히,  $0.55f_{ck}A_g$  이상의 고축력일수록 보통강도 띠철근을 사용한 시험체에서 주철근 좌굴 및 띠철근 파단 시점이 최대내력이후 급격히 발생하였다. 모든 시험체에서 띠철근 혹은 크의 풀림현상은 보이지 않았다. Table 3에 실험결과를 나타내었다.

### 3.2 띠철근 항복강도의 영향

Fig. 4에 R형 배근 시험체들의 축력비 별로 띠철근 항복강도가 모멘트-곡률 관계에 미치는 영향을 나타내었다. 부재 연성은 축력비가  $0.4f_{ck}A_g$ 인 경우 띠철근 항복강도에 관계없이 거의 비슷한 거동을 보였으나, 축력비가  $0.55f_{ck}A_g$  이상의 고축력을 받는 시험체의 경우에는 고강도 띠철근으로 배근한 시험체의 연성이 크게 향상되었다. 축력비가  $0.65f_{ck}A_g$ 로 증가하면 그 경향은 더욱 크게 나타났다. 최대 휨 내력에서도  $0.4f_{ck}A_g$ 의 경우 띠철근의 항복강도에 관계없이 거의 비슷한 최대 휨 내력을 나타내었으나, 축력비가 0.55,  $0.65f_{ck}A_g$ 로 증가할수록 고강도 띠철근으로 배근된 시험체의 최대 휨 내력이 크게 나타났으며, 축력비의 증가에 따른 휨내력 저하도 작게 나타났다.

그러므로 구속된 콘크리트 기둥의 연성에 대한 띠철근 항복강도의 영향은 띠철근 배근형태 및 주근 배치형태에 의해서도 영향을 받을 수 있으며 띠철근 항복강도가 연성에 영향을 미치는 축력비는  $0.4f_{ck}A_g$  이상이라고 판단된다. 이는 구속된 콘크리트 거동은 피복콘크리트의 박락이후 띠철근의 구속력이 급격히 증가하여 구속된 코어 콘크리트

Table 3 Test results of specimens

Specimens	Flexural crack moment			Ultimate moment		Ductility ratios $\mu_d$
	$M_{cr}$ (tf·m)	$\Delta_{cr}$ (mm)	$\frac{M_{cr}}{M_{max}}$	$M_{max}$ (tf·m)	$\Delta_{max}$ (mm)	
L40D	5.30	1.45	0.52	10.25	5.30	3.89
H40D	5.62	1.79	0.55	10.3	5.89	4.31
L40R	4.96	1.46	0.51	9.77	5.14	4.83
H40R	5.35	1.62	0.56	9.51	5.08	4.64
L55D	6.86	2.11	0.66	10.39	4.98	4.12
H55D	6.60	2.25	0.66	10.06	4.85	4.70
L55R	6.25	2.15	0.64	9.80	4.42	4.54
H55R	6.59	2.18	0.66	10.04*	7.45	5.65
L55RR	6.84	1.99	0.64	10.69	4.27	6.20
H55RR	6.31	1.80	0.54	11.69*	8.98	5.74
L65R	7.20	2.47	0.78	9.20	3.81	5.43
H65R	7.24	2.60	0.73	9.91*	6.75	7.20

\* the second peak moment posterior to spalling off cover concrete.

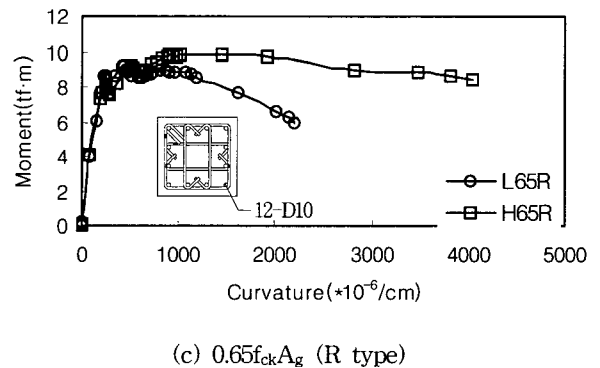
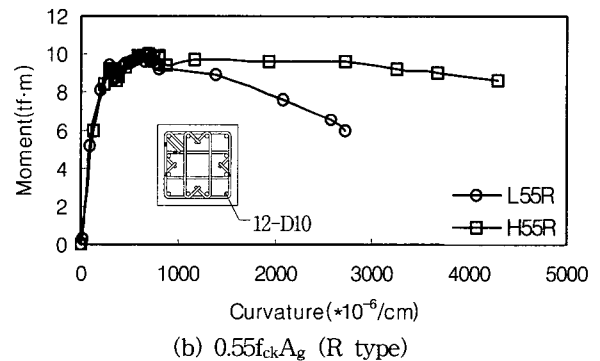
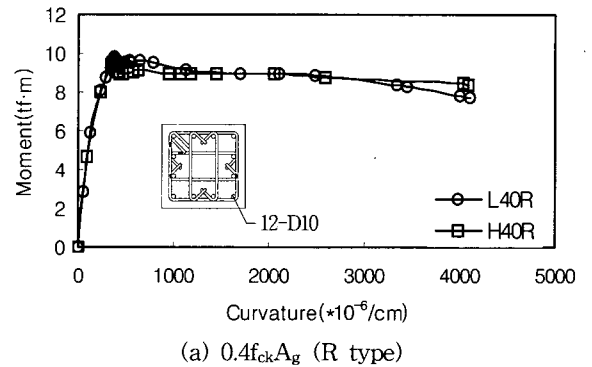


Fig. 4 Relationship between yield strength of lateralities and moment-curvature curves

의 거동에 의해 부재의 연성이 결정되는데 고축력일수록 띠철근 응력발휘가 크기 때문이다.

0.65 $f_{ck}A_g$ 인 시험체들의 하중 증가에 따른 띠철근 거동을 Fig. 5에 나타내었다. 보통강도 띠철근으로 배근한 시험체인 경우 최대 내력시점에서 띠철근은 항복하여 소성흐름의 거동과 함께 부재의 연성은 저하하였다. 특히 최대 내력 이후 주근의 좌굴로 인한 내력저하가 크게 발생하였다. 그러나 고강도 띠철근으로 배근한 시험체는 최대 내력 이후에도 지속적인 응력발휘를 하여 코아 콘크리트를 효율적으로 구속하여 부재는 연성적으로 거동하였다. 이러한 현상은 0.4 $f_{ck}A_g$  축력에서도 확인할 수 있었으며 고축력으로 갈수록 더 뚜렷하게 나타났다.

이상에서 살펴본 바와 같이 철근 콘크리트 기둥의 연성을 확보하기 위한 띠철근 양 산정시 띠철근 항복강도의 영향을 고려하기 위해서는 축력비를 함께 고려 하여야 할 것이라고 판단된다. 또한 0.4 $f_{ck}A_g$ 이하의 저축력을 받는 부재에서 고강도 띠철근을 사용하는 것은 부재의 연성 및 최대 휨 내력에 미치는 영향이 미미하므로 저축력 하에서 띠철근의 구속지수 산정시 띠철근의 항복강도를 제한하는 것이 필요하며, 0.4 $f_{ck}A_g$ 이상의 고축력하에서는 고강도 띠철근의 응력을 충분히 발휘하기 위해서 띠철근 체적비 및 배근형태, 주철근의 배치형태 등을 함께 고려하여야 할 것이라고 판단된다.

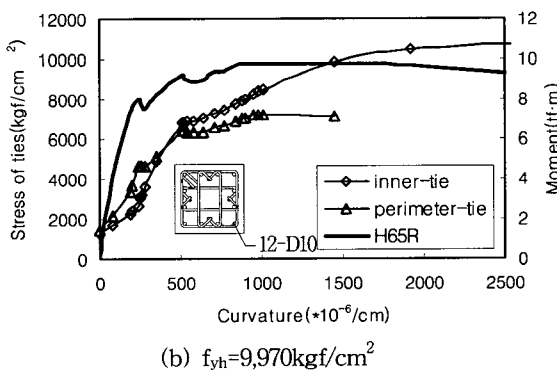
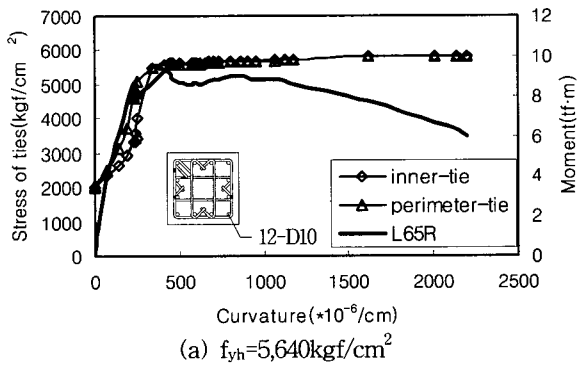


Fig. 5 Relationship between stress of lateral ties and flexural behavior

### 3.3. 축력비의 영향

Fig. 6에 축력비에 따른 연성의 비교를 나타내었다. Fig. 6에서 항복곡률( $\Phi_y$ )은 Park and Watson<sup>5)</sup>의 정의에 의해 산정 하였으며 세로축의 첫 번째 최대모멘트( $M_{max1}$ )는 피복 콘크리트 박락시의 최대 내력점을 나타낸다.

Fig. 6에서 보통강도 띠철근을 사용한 시험체인 경우 고축력이 작용할수록 최대 내력 이후 급격한 연성의 저하를 보인다. 그러나, 고강도 띠철근을 사용한 시험체에서는 고축력하에서도 내력을 유지하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 고강도 띠철근으로 배근된 시험체에 고축력이 작용할수록 띠철근의 구속력과 인장 주철근의 응력발휘로 인해 피복 콘크리트 박락이후 두 번째 최대내력점을 형성하고 있다.

Fig. 7에 H55R 시험체에서 부재의 거동에 따른 주근의 응력 변화를 나타내었다. 최대 내력의 40% 위치에서 압축 주근은 항복하지만 인장주근은 피복 콘크리트 박락시점에서는 아직 항복하지 않고 곡률연성비( $\Phi/\Phi_y$ )가 약 5인 위치에서 항복하였다. Fig. 6과 Fig. 7에서 알 수 있듯이 고축력하에서 고강도 띠철근의 구속력으로 인한 코아 콘크리트의 강도증가와 탄성범위에 있는 인장 주근의 응력발휘로 인해 최대 휨 내력이 상승하여 두 번째 최대 휨 내력을 보이고 있다고 판단된다. 따라서 고축력일수록 탄성범위에 있는 인장 주근이 지속적인 응력발휘를 통한 최대 휨 내력상

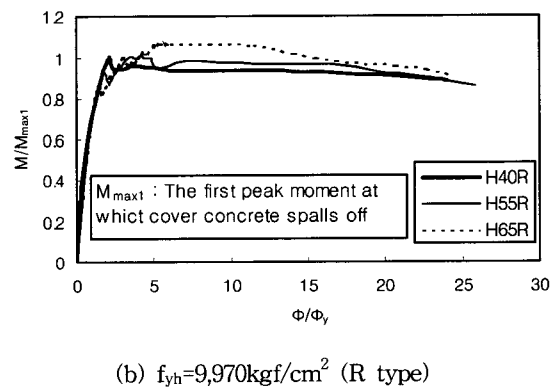
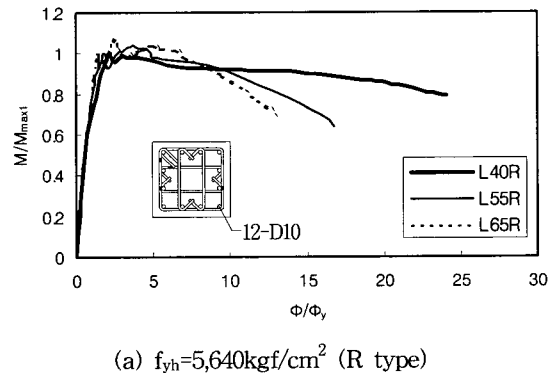


Fig. 6 Relationship between axial load level and ductility

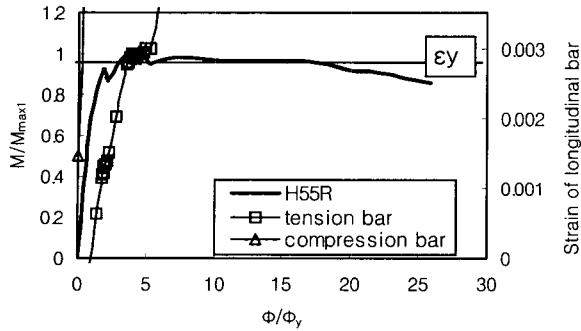


Fig. 7 Relationship between strain of longitudinal bar and flexural behavior

승을 유도하기 위해서는 압축 주근의 좌굴억제 및 압축측 콘크리트의 효과적 구속으로 코어 콘크리트의 강도향상을 이루어야 할 것으로 판단된다.

### 3.4 주근 양 및 배치형태의 영향

Fig. 8에 주근 양과 부재의 휨거동의 관계를 나타내었다. Fig. 8에서 주근 양이 많을수록 더 연성적인 거동을 보이고 있으며 고강도 띠철근으로 구속된 경우 주근 양에 의한 연성의 차이는 줄어드는 경향을 보였다. 이는 12-D10(R형) 시험체에서 낮은강도의 띠철근을 사용한 경우 주근의 좌굴로 인해 내력저하가 급격하였으나, 고강도 띠철근을 사용한 경우에는 첫 번째 최대 내력점에서 띠철근이 항복에 이르지 않고 계속적으로 구속력을 발휘하여 주근의 좌굴을 효율적으로 억제, 부재가 보다 연성적으로 거동하게 되는 것으로 판단된다.

Fig. 9에 동일 띠철근 체적비와 거의 비슷한 주근비에 서 주근의 배치형상과 부재의 연성의 관계를 나타내었다.  $0.4f_{ck}A_g$  축력에서는 주근의 배치형상에 의한 연성의 차이는 거의 없었지만  $0.55f_{ck}A_g$  이상의 고축력에서는 12-D10(R형)으로 배근된 시험체가 8-D13(D형)으로 배근된 시험체보다 연성적인 거동을 보였다. 이는 고축력일수록 콘크리트 압축 영역이 크게 있고 적절하게 배치된 주근은 압축측 콘크리트를 효율적으로 구속하기 때문이라 사료된다. 그러나, 기존의 연구결과<sup>2)</sup>에서도 나타났듯이 주근이 효율적으로 압축측 콘크리트를 구속하기 위하여는 모든 중간 주근들은 띠철근에 의해 구속되어야 하며 특히 고축력일수록 고강도 띠철근으로 주근을 구속하여 좌굴로 인한 내력저하를 방지해야 할 것이라 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구는 고축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥부재의 연성과 띠철근 항복강도 및 주철근의 관계를 파악하기 위한 실험적 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

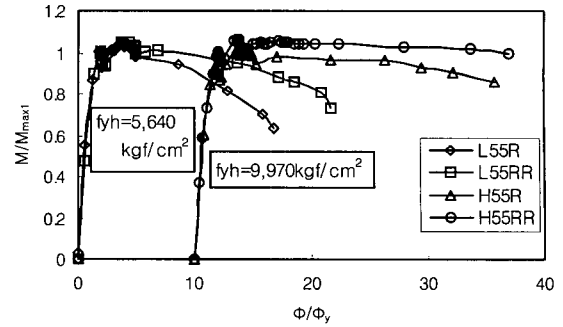


Fig. 8 Relationship between amount of longitudinal bars and flexural behavior

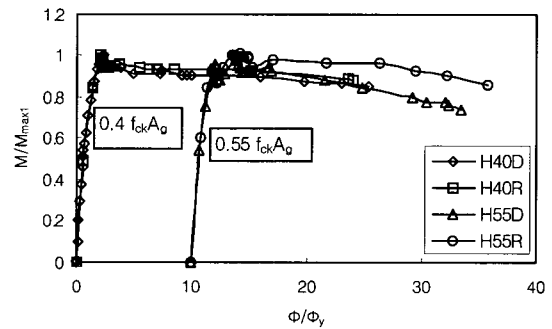


Fig. 9 Relationship between configuration of longitudinal bars and flexural behavior

- 1) 고강도 콘크리트 기둥의 연성을 확보하기 위한 띠철근 양 산정시 고강도 띠철근의 영향을 고려하기 위해서는 축력비를 함께 고려해야 하며 이때의 축력비는  $0.4f_{ck}A_g$  이상의 고축력이라 판단된다.
- 2) 고강도 띠철근으로 구속된 고강도 콘크리트 기둥의 휨 거동은 축력비의 증가에 따른 휨내력 저하 정도가 작으며, 고축력일수록 피복 콘크리트 박락 이후 두 번째 최대 내력점을 나타내었다.
- 3) 고축력일수록 고강도 띠철근이 주근 좌굴방지에 미치는 영향이 크게 나타났다.
- 4) 구속된 주근의 양이 많을수록, 띠철근 배근형태가 R type의 경우가 연성적인 거동을 보였다.
- 5) 고강도 띠철근으로 구속된 경우 주근 양에 의한 연성의 차이는 줄어드는 경향을 보였다. 주근의 적절한 배치시 모든 중간 주근들은 띠철근에 의해 구속해야 하며, 특히 고축력일수록 고강도 띠철근으로 주근을 구속하여 좌굴로 인한 내력저하를 방지해야 할 것이라 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 1999년도 학술진흥재단 연구비 지원에 의해 수행된 결과의 일부임.

과제번호 : 1998-001-E02104

## 참고문헌

1. ACI, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete* (ACI 318-99), American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1999.
2. 정현수, 축압축력을 받는 고강도 R.C. 기둥의 내력 및 변형성상에 관한 연구, 한국과학재단 최종보고서, pp. 64, 2000. 4.
3. Muguruma, H., and Watanabe, F., "Ductility Improvement of High-Strength Concrete Columns with Lateral Confinement," *High Strength Concrete*, ACI SP-121, pp.47~60, 1990.
4. Xie, J., Elwi, A. E., and MacGregor, H. G., "Performance of High-Strength Concrete Tied Columns-A Parametric Study," *ACI Structural Journal*, Vol.94, pp.91~102, 1997.
5. Watson, S., and Park, R., "Simulated Seismic Load Tests on Reinforced Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.120, No.6, pp.1825~1849, 1994.
6. Azizinamini, A., Corley, W. G., and Johal, L. S., "Effects of Transverse Reinforcement of Seismic Performance of Columns," *ACI Structural Journal*, Vol.89, No.4, pp.342~347, 1992.
7. Bayrak, O., and Sheikh, S. A., "High-Strength Concrete columns under Simulated Earthquake Loading," *ACI Structural Journal*, Vol.94, No.6, pp.708~722, 1997.
8. Sheikh, S. A., and Khoury, S. S., "A Performance -Based Approach for the Design of Confining Steel in Tied Columns," *ACI Structural Journal*, Vol.94, No.4, pp.421~431, 1997.
9. Diniz, S. M. C., and Frangopol, D. M., "Strength and Ductility Simulation of High-Strength Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.123, No.10, pp.1365~1374, 1997.
10. Diniz, S. M. C., and Frangopol, D. M., "Reliability Bases for High-Strength Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.123, No.10, pp.1375~1381, 1997.

## 요 약

본 연구는 고축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥부재의 연성을 확보하기 위한 띠철근 양 산정시 띠철근 강도가 연성에 미치는 영향이 현저하게 나타나기 시작하는 축력비 및 연성과 주근의 관계를 파악하기 위한 실험적 연구이다. 본 연구의 목적을 이루기 위해 띠철근 항복강도, 축력비, 주근 양 및 배치형태 등을 주요 변수로 하여 총 12개의 시험체를 제작하였다. 시험체의 크기는  $20 \times 20 \times 80$  cm이며 실험구간은 중앙부 40 cm 이다.

실험결과 띠철근의 항복강도가 연성에 영향을 현저히 미치기 시작하는 축력비는  $0.4f_{ck}A_g$ 이었으며 현 ACI318-99 내진기준에 따라 띠철근 양을 산정할 때 저축력하에서 고강도 띠철근을 사용할 경우 띠철근 간격이 크고 띠철근 강도의 영향이 미비하여 부재는 취성적인 거동을 보일 위험이 있다. 고축력하에서 고강도 띠철근은 주근의 좌굴억제에도 상당히 효율적이었다. 특히  $0.4f_{ck}A_g$  이상의 고축력하에서 고강도 띠철근이 응력을 충분히 발휘하기 위해서는 띠철근 체적비 및 배근형태, 주근의 배치형태, 축력비 등을 함께 고려하여야 할 것이라고 사료된다.

**핵심용어 :** 고강도 콘크리트, 띠철근 항복강도, 주근 배치형태, 축력, 연성