

고강도 콘크리트 기둥에서 띠철근의 구속효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Effect of Lateral Ties of High-Strength Concrete Columns

정 봉 호* 광 노 현** 이 영 호*** 은 희 창**** 정 현 수*****
Chung, Bong Ho Kwak, No Hyun Lee, Young Ho Eun, Hee Chang Chung, Heon Soo

ABSTRACT

The purpose of this study is to experimentally investigate the strength and ductility of reinforced high strength concrete columns under uniaxial load and several test variables. To do this, we have conducted tests on thirteen $20 \times 20 \times 60$ cm specimens with 8 and 12 longitudinal steel bars subjected to monotonic uniaxial compression. The main variables considered in this test are the configuration of ties, the space the ties, the diameter of ties and yield strength of ties. The results indicate that the strength and the ductility of reinforced high strength concrete columns have been influenced on these variables except yield strength of ties. Judging from test results, real stress of ties at peak concrete stress is suitable variable than yield strength of ties for estimation of the strength gain factor(Ks).

1. 서론

최근 수십 년 동안 건축물은 대형화, 고층화되어 왔고 이로 인한 고강도 콘크리트의 사용은 자연스런 현상으로 받아들여지고 있다. 고강도 콘크리트의 사용은 기둥부재의 내력적인 측면을 고려하면 적절한 구조적 재료라고 볼 수 있으나, 연성적인 면에서는 고강도 콘크리트의 취성적인 거동으로 인해 많은 문제점을 가지고 있고 특히 축력을 받는 기둥부재에 있어서는 이러한 문제점이 더욱 두드러진다. 이러한 문제점들의 해결을 위해 콘크리트를 띠철근으로 구속하여 기둥의 내력 및 연성을 증가시키는 방법이 현재 가장 보편화된 방법중 하나이다.

띠철근으로 구속된 콘크리트는 축력에 의해 발생하는 횡응력을 띠철근이 구속함으로써 구속된 콘크리트 부분은 3축응력 상태가 되며 이로 인해 구속된 콘크리트는 무근 콘크리트보다 높은 내력 및 연성을 보인다. 구속효과에 영향을 미치는 변수로서 띠철근의 양, 강도, 배근형태 등이 있으며 이에 대한

- * 중앙대 대학원 건축학과 석사과정
- ** 중앙대 대학원 건축학과 박사과정, 대원공대 전임강사
- *** 중앙대 대학원 건축학과 박사과정
- **** 제주대 건축학과 전임강사, 공학박사
- ***** 정희위, 중앙대 건축공학과 교수, 공학박사

많은 연구가 진행되어 왔다.

기존 연구자들^(1,2)은 띠철근의 강도와 구속효과는 비례적인 관계가 있는 것이 아니라 어느 한계점까지만 효과가 있고 한계점을 넘어서면 효과는 없다는 제안과 함께 그 한계점을 추정하는 식을 제안하였다. 또한 구속효과는 콘크리트강도가 증가할수록 작아지는 경향을 보이고 있는데, 아직 국내에서는 띠철근의 강도의 영향 및 고강도 콘크리트를 사용한 기둥의 연성특성과 내력증가 효과에 대한 구체적인 자료가 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 중심 축하중을 받는 띠철근으로 보강된 고강도 콘크리트를 사용한 기둥부재의 최대 내력 및 연성에 미치는 세 변수들 중 띠철근 배근형태, 간격, 직경, 항복강도를 변수로 한 실험결과를 분석하여 고강도 콘크리트를 사용한 기둥부재에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 시험체 계획

시험체 일람은 표1에, 시험체 형상 및 배근상세는 그림1에 나타내었다. 각 시험체는 단면이 20×20cm, 높이는 60cm이며, 중앙부 40cm를 실험구간으로 하였고, 시험체의 상하단 10cm를 띠철근의 간격을 조밀하게 제작하여 시험구간보다 먼저 파괴하는 것을 방지하였다. 콘크리트 피복은 띠철근중심으로부터 1.7cm이고, 전단면적에 대한 코어 단면적의 비를 69%로 하였다.

표 1. 시험체 일람표

시험체명	f'c (kgf/cm ²)	주근 (주근비)	띠철근 상세				체적비 (ρs)
			fyh (kgf/cm ²)	직경 (mm)	배근 형태	간격 (cm)	
H8S30	556	12-D10 (0.021)	9220	8.0	S	3.0	0.042
H8S55						5.5	0.022
H8S100						10.0	0.012
L8S30						3.0	0.042
L8S55						5.5	0.022
L8S100						10.0	0.012
L6S30	517	8-D13 (0.025)	5560	6.0	S	3.0	0.022
L6S55						5.5	0.012
L6S100						10.0	0.007
L8R70	575	12-D10 (0.021)	5920	8.0	R	7.0	0.042
L4+5D30*		8-D13 (0.025)	5470	4.0+5.0	D	3.0	0.023
L5C30			5770	5.0	C	3.0	0.023
L6D50			5690	6.0	D	5.0	0.023

* 띠철근 직경을 Ø4와 Ø5를 같이 사용한 시험체

H8S30

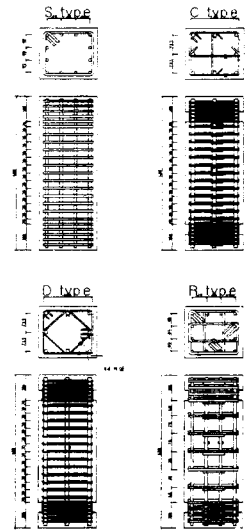
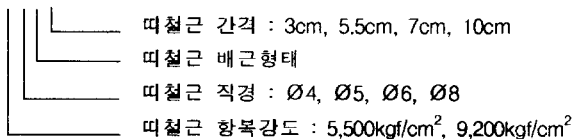


그림 1. 시험체 형상 및 배근상세

콘크리트 설계강도는 550kgf/cm^2 으로 하였으며, 주근은 SD40($f_y=4000\text{kgf/cm}^2$)의 8-D13과 12-D10의 두 종류로 하였다. 띠철근의 항복강도는 $5500, 9200\text{kgf/cm}^2$, 띠철근의 직경은 $\varnothing 4, \varnothing 5, \varnothing 6, \varnothing 8$ 의 4종류로 하였고 동일 띠철근 체적비를 갖도록 하기 위하여 간격을 변화시켜 배근하였다. 띠철근 배근 형태는 ㄱ(S형), ㄴ(C형), ㄷ(D형), ㄹ(R형), 끝단 구부림 각은 135° 혹은, 정착길이는 6d이상으로 하였다.

2.2 사용재료

콘크리트는 골재최대직경을 13mm로 하여, 강제 믹서기를 사용하여 배합하였으며, 28일 압축강도를 표 1에 나타내었다. 표 2에 사용철근의 역학적 성질을 나타내었다.

표 2. 철근의 역학적 성질

사용철근	항복강도 (tf/cm^2)	탄성계수 (tf/cm^2)	항복변형도 ($\times 10^{-6}$)	인장강도 (tf/cm^2)	연신율 (%)
D13	3.94	1,830	2632	6.18	18
D10	4.08	1,800	2810	6.34	20
$\varnothing 8^*$	5.92	1,840	5105	6.21	13.8
$\varnothing 6^*$	5.69	2,230	4268	5.70	15.2
$\varnothing 5^*$	5.77	1,770	4773	6.06	14.6
$\varnothing 4$	5.13	1,590	6463	6.32	17.3

* 0.2% off-set법에 의한

2.3 가력 및 측정방법

가력은 중앙대학교 구조실험실 소재 300tf용량의 만능시험기(U.T.M)를 사용하여 변위제어 방식으로 일방향 중심압축을 정가력하였다. 시험체의 축 방향의 변형도를 측정하기 위하여 시험체 상,하단에서 10cm위치에 사각 강재를 대어 서로 볼트로 긴결시킨 후 시험체 중앙부 40cm 구간에 전기식 변위계(L.V.D.T)를 부착하여 측정하였다. 그리고 임계단면에서 주근 및 띠철근에 W.S.G를 부착하여 변형도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

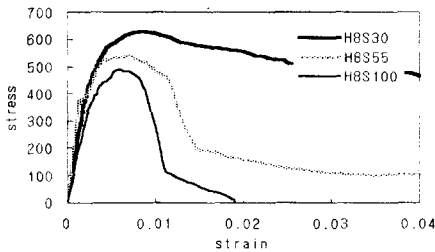
3.1 파괴양상 및 응력-변형도곡선

표 3에 실험결과를 그림 2에 각 시험체 코아의 응력-변형도 곡선을 나타내었다. 실험결과와 분석을 위해 띠철근의 구속으로 인한 강도증가계수(K_s)는 코아 콘크리트의 최대강도를 무근 콘크리트강도로 나누는값으로 하였다. 또 부재의 연성 평가는 축방향 변형도 0.004에서 탄성구간을 지나 비탄성이 시작되는 변형도로 보아 0.004에 대한 최대내력 이후 85% 내력점에서의 변형도(ϵ_{85})의 비(연성비)로 나타내었다.

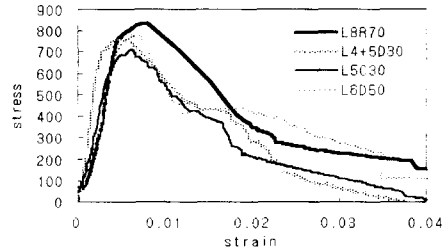
각 시험체의 일반적인 파괴양상은 초기균열 발생, 피복박리 후 주근이 항복하였고 최대하중에 이른 후 내력이 저하하는 경향을 나타내었다. 콘크리트 강도가 모두 500kgf/cm^2 이상의 고강도 콘크리트이므로 최대내력 이후 급격하게 내력이 저하하는 취성적 파괴경향을 보이고 있으나 고강도 띠철근을 사용한 경우는 다른 시험체에 비해 내력의 저하가 완만하게 나타났다.

표 3. 실험결과와 일람표

실험체명	fcc (kgf/cm ²)	ϵ_{cc}	ϵ_{cs}	Ks (fcc/fco)	연성비 ($\epsilon_{cs}/0.004$)
H8S30	629.1	0.0084	0.0230	1.33	5.75
H8S55	541.6	0.0069	0.0116	1.15	2.90
H8S100	489.1	0.0058	0.0090	1.03	2.25
L8S30	661.9	0.0066	0.0110	1.40	2.71
L8S55	573.7	0.0062	0.0093	1.21	2.33
L8S100	498.5	0.0052	0.0075	1.05	1.88
L6S30	544.9	0.0034	0.0114	1.29	2.85
L6S55	464.1	0.0028	0.0058	1.10	1.45
L6S100	410.0	0.0020	0.0030	0.97	0.75
L8R70	837.8	0.0080	0.0115	1.71	2.88
L4+5D30	757.7	0.0056	0.0085	1.55	2.13
L5C30	713.6	0.0062	0.0091	1.46	2.28
L6D50	769.2	0.0064	0.0090	1.57	2.25



(a) H-Series, 단순배근

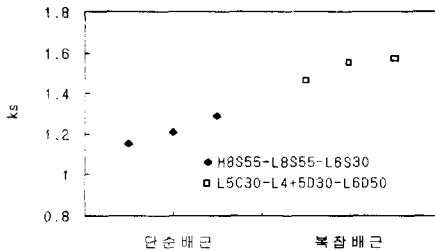


(b) L-Series, 복잡배근

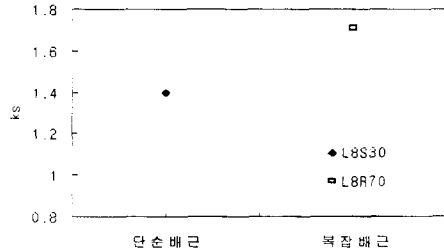
그림 2. 각 시험체 코아의 응력-변형도 곡선

3.2 띠철근 배근형태의 영향

그림 3에서 띠철근 배근형태와 강도증가계수와와의 관계를 나타내었다. 띠철근 체적비($\rho_s=0.023$)인 경우는 약 15~35%, 띠철근 체적비($\rho_s=0.042$)인 경우 약 20~30%정도 단순배근 시험체보다 복잡배근 시험체가 큰 강도증가계수 값을 보였다. 그림 4에서는 띠철근 배근형태와 연성비와의 관계를 나타내었다. 띠철근 체적비($\rho_s=0.023$)인 경우와 띠철근 체적비($\rho_s=0.042$)인 경우 모두 배근형태에 따른 연성비의 큰 차이는 없었다.



(a) $\rho_s : 0.023$ 일 경우



(b) $\rho_s : 0.042$ 일 경우

그림 3. 띠철근 배근형태와 강도증가계수와와의 관계

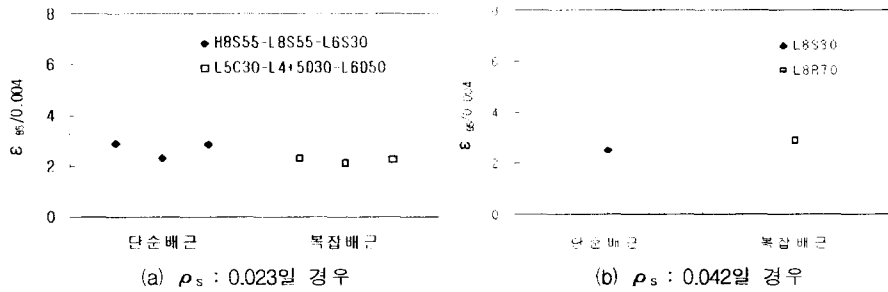


그림 4. 띠철근 배근형태와 연성비와의 관계

이상에서 동일 띠철근 체적비에서 복잡배근 시험체가 최대응력시까지는 단순배근 시험체보다는 큰 구속효과로 인해 보다 큰 응력을 발휘할 수 있으나 최대응력 이후 단순배근 시험체와 복잡배근 시험체간 연성비의 차이는 미미한 것으로 사료된다.

3.3 띠철근 체적비(간격 및 직경)의 영향

그림 5에서 띠철근 체적비의 변화에 따른 강도증가 및 연성비와의 관계를 나타내었다. Ø6 띠철근을 사용한 경우와 Ø8 띠철근을 사용한 경우 모두 띠철근 체적비에 비례하여 강도증가계수 값의 상승을 보였고 특히 동일 띠철근 체적비에서 Ø8 띠철근을 사용한 경우보다 Ø6 띠철근을 사용하여 띠철근 간격을 줄인 경우가 더 큰 강도증가계수 값을 보였다. 즉 동일직경의 띠철근 사용시는 띠철근 체적비가 클수록, 동일 띠철근 체적비에서는 보다 작은 직경의 띠철근을 사용하여 띠철근 간격을 좁히는 것이 강도증가면에서 보다 유리한 경향을 보였다. 그러나 동일 띠철근 체적비에서 Ø6 띠철근과 Ø8 띠철근을 사용한 경우에 연성비의 큰 차이가 없는 것으로 볼 때 연성적인 측면에서는 띠철근의 간격에 의한 영향보다는 띠철근 체적비의 영향이 더 큰 것으로 사료된다.

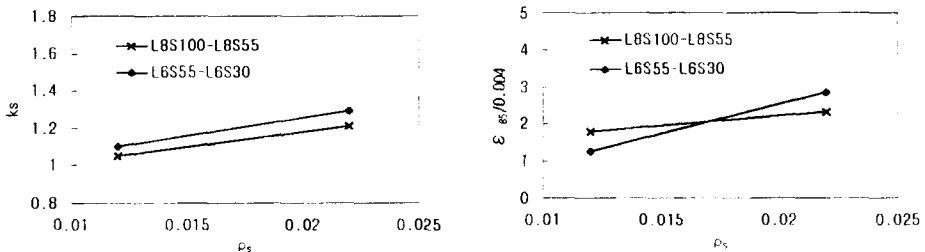


그림 5. 띠철근 체적비와 강도증가계수 및 연성비와의 관계

3.4 띠철근 항복강도의 영향

그림 6에서 띠철근 항복강도에 따른 강도증가 및 연성과의 관계를 나타냈다. 본 실험에서 사용된 띠철근 항복강도는 5500kgf/cm^2 와 9200kgf/cm^2 의 두 경우로 강도증가계수의 큰 차이가 없었다. 그러나 연성비와의 비교에서는 고강도 띠철근(9200kgf/cm^2)을 사용한 시험체가 저강도 띠철근(5500kgf/cm^2)을 사용한 시험체보다 큰 값을 보였고 특히 3cm간격으로 배근한 시험체의 경우에는 약 100%정도의 연성비 상승을 보였다.

이상의 결과에서 띠철근 항복강도의 증가가 연성비 증가에는 상당한 영향을 끼치지만 강도증가에는

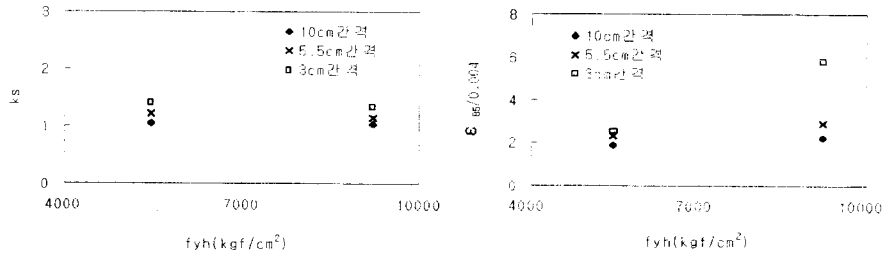


그림 6. 띠철근 항복강도와 강도증가계수 및 연성비와의 관계

효과가 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 고강도 띠철근의 사용에도 불구하고 강도증가의 효과가 없는 것은 구속된 콘크리트의 최대강도시에 띠철근이 항복강도에 도달하지 못했기 때문이며 이 경우에 강도증가계수는 최대강도시 실제 띠철근의 응력에 의해 결정되어진다^(1,2). 본 연구에서도 저강도 띠철근을 사용한 시험체와 고강도 띠철근을 사용한 시험체 모두 최대강도시 항복강도를 다 발휘하지 못하고 5500kgf/cm² 이하의 응력이 발생되어서 두 시험체간의 강도증가계수의 차이가 없는 것으로 사료된다. 그러나 최대내력 이후 저강도 띠철근이 항복한 후에도 고강도 띠철근은 계속 강도의 증가가 지속되어 보다 연성적인 거동을 보인 것으로 사료된다.

4. 결론

이상의 띠철근 배근형태, 띠철근 체적비(간격 및 직경), 띠철근 항복강도를 변수로 한 중심 축하중을 받는 고강도 콘크리트기둥 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동일 띠철근 체적비 일 경우 복잡배근 시험체가 단순배근 시험체보다 최대내력 면에서는 15~13%까지 증가함을 알 수 있었고 연성적인 면에서는 큰 차이를 찾아 볼 수 없었다. 이것은 복잡배근 시험체가 단순배근 시험체보다 최대응력시까지는 콘크리트의 횡팽창을 더 유효하게 구속하나 이후의 연성적인 거동에서는 큰 효과가 없기 때문으로 사료된다.
2. 띠철근 체적비가 클수록(띠철근 배근 간격이 좁을수록) 최대내력 및 연성이 향상됨을 알 수 있다. 또한 동일 띠철근 체적비에서 띠철근의 직경을 줄여 간격이 작아진 경우가 최대내력 면에서는 10%정도의 상승을 보였으나 연성적인 면에서는 큰 차이가 없었다.
3. 동일조건에서 보강근 항복강도를 9200kgf/cm²와 5500kgf/cm²으로 사용한 경우 최대내력 면에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있으나 연성적인 면에서는 고강도 띠철근을 사용한 경우가 보다 연성적인 거동을 보였다. 이는 띠철근의 항복강도와 최대내력시 띠철근의 응력과의 차이 때문으로 사료되며 향후 띠철근의 항복강도와 최대내력시 띠철근의 응력과의 관계에 대한 실험적, 이론적 연구가 더 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Cusson, D., and Paultre, P., "Stress-Strain Model for Confined High-Strength Concrete", Proceedings, ASCE, VOL.121, No.3, March, 1995, pp468-477
2. Razvi, S., and Saatcioglu, M., "Confinement Model for High-strength Concrete", Proceedings, ASCE, VOL.125, No.3, March, 1999, pp281-289