

# 띠철근 배근형태에 따른 고강도 철근콘크리트 기둥의 거동에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Behavior of High-Strength R.C Columns According to the Configuration of Ties

이 영 인\* 곽 노 현\*\* 이 영 호\*\*\* 은 희 창\*\*\*\* 정 현 수\*\*\*\*\*  
Lee, Young In Kwak, No Hyun Lee, Young Ho Eun, Hee Chang Chung, Heon Soo

### ABSTRACT

An objective of this study is to experimentally investigate the strength and ductility of reinforced concrete columns under uniaxial load and several test variables. To do this, we have conducted tests on twelve 20×20×60cm 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 strength of concrete. The results indicate that the strength and the ductility of reinforced concrete columns have been influenced on the configuration of ties, the strength of concrete.

Key word : Strength of Concrete, Configuration of ties, Confined concrete.

### 1. 서 론

현대 건축물은 하중부 기둥에는 고축력에 저항할 수 있는 성능이 요구되고 있으며 고강도 콘크리트는 요구성능을 만족시킬 뿐만 아니라, 작은 단면으로 보다 넓은 공간을 확보할 수 있고, 장스팬, 건물의 경량화도 꾀할 수 있는 장점이 있다.

그러나, 고강도 콘크리트는 높은 압축강도를 가지는 반면에 쉽게 취성 파괴하는 성질이 있으므로, 특히 축력을 받는 기둥부재는 연성의 확보가 무엇보다 중요하며 이에 대한 국내연구가 진행중이나 보다 많은 연구가 요구된다. 특히 고강도 콘크리트 기둥에 대하여는 일반 강도 콘크리트에 대한 기준을 확장 해석하여 적용하고 있어, 이에 대한 적용가능성 여부가 의문시 됨으로 고강도 콘크리트 기둥설계에 대한 기준 정립의 필요성이 대두되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 띠철근으로 보강된 철근콘크리트 기둥부재에서 축압력에 대한 중국내력과 연성에 미치는 요인들 중 띠철근 배근형태, 콘크리트 강도를 변수로 실험을 실시하여 그 실험결과를 기존의 제안식들과 비교하였으며, 또한 띠철근 량에 따른 ACI 기준식의 타당성을 검토하여, 고강도 콘크리트를 사용한 기둥부재에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

- \* 정회원, 중앙대 건축학과 석사졸업
- \*\* 정회원, 중앙대 박사과정,대원공대 전임강사
- \*\*\* 정회원, 중앙대 박사과정
- \*\*\*\* 정회원, 제주대 건축학과 전임강사, 공학박사
- \*\*\*\*\* 정회원, 중앙대 건축학과 교수, 공학박사

## 2. 실험계획 및 실험

### 2.1 시험체 계획

총 9개의 시험체를 계획하였고, 기존연구자<sup>2), 3)</sup>의 단순배근형태 시험체 6개의 실험결과를 인용하여 비교 검토하였다. 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.

띠철근의 중심으로 둘러싸인 코아 단면적은 16.6×16.6cm로 하여 전체 단면적에 대한 코아 단면적의 비를 69% 하였다. 콘크리트 설계 기준강도는 200kg/cm<sup>2</sup>, 400kg/cm<sup>2</sup>, 550 kg/cm<sup>2</sup>로하여 주근은 각각 SD40 (fy=4000 kg/cm<sup>2</sup>)의 8-D13과 12-D10의 두 종류로 하였다. 띠철근의 배근형상은 田(C형), ⊠(D형), ⊞(R형), 띠철근의 항복강도는 약5500kg/cm<sup>2</sup>, 띠철근 직경은 Ø5~Ø8의 3종류로 하여 간격을 변화시켜 띠철근 체적을 맞추어 배근 하였고 끝단 구부림각은 135° 후크, 정착길이는 6d로 하였다.

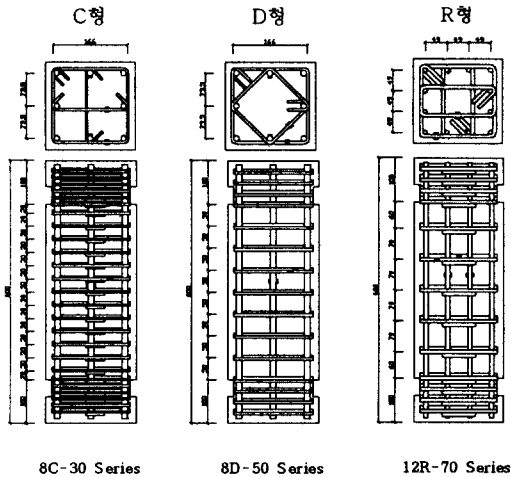


그림 1 시험체 형상 및 배근상세(단위:mm)

표중 시험체 설명

L 8 D - 50

• 단순배근

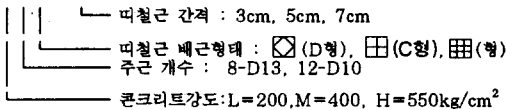


표 1. 시험체 일람표

시험체명	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	주근 (주근비)	띠철근상세			체적비
			직경	배근 형식	간격 (cm)	
L8C-30	200	8-D13 (2.54%)	φ5	C형	3	0.023
L8D-50				D형	5	
L6-30'				S형	3	
L12R-70		12-D10 (2.13%)	φ8	R형	7	0.0402
L12-L30'				S형	3	
M8C-30				400	8-D13	
M8D-50	D형	5				
M6-30'	S형	3				
M12R-70	12-D10	φ8	R형		7	0.0402
M12-L30'			S형		3	
H8C-30			550		8-D13	
H8D-50	D형	5				
H6-30'	S형	3				
H12R-70	12-D10	φ8		R형	7	0.0402
H12-L30'				S형	3	

표 2. 콘크리트의 배합설계표

### 2.2 실험재료

콘크리트의 배합설계표 및 실린더 압축강도와 철근의 역학적 성질을 표2와 표3에 나타내었다.

설계 강도 (kgf/ cm <sup>2</sup> )	물 (W)	시멘트 (C)	자갈 (A)	모래 (S)	혼화 재	W/C	S/A	압축 강도
	단위용적중량 (kg/cm <sup>3</sup> )				(%)	(%)	(%)	(kgf/ cm <sup>2</sup> )
200	223	343	926	926	0	65	50	217
400	171	450	945	788	0.7	38	45	356
550	167	550	1000	613	1.8	31	38	575

### 2.3 가력 및 측정방법

가력은 중앙대학교 구조 실험실 소재 300t용량의 만능시험기(U.T.M.)를 사용하여 변위제어 방식으로 일방향 중심압축으로 가력하였다. 시험체의 중앙면에서 발생하는 축방향의 변형도를 측정하기 위해 시험체 중앙 상하단에서 각각 10cm 위치에 사각 강재를 대어 서로 볼트로 긴결시킨후 시험체 중앙부 40cm 구간에 전기식 변위계(L.V.D.T.)를 부착하여 측정했다.

표 3. 철근의 역학적 성질

철근	항복강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	항복변형 (×10 <sup>-6</sup> )	인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	연신율 (%)
D13	3940	1830	2632	6181	18
D10	4084	1800	2810	6338	20
Ø8°	5920	1840	5105	6210	13.8
Ø6°	5690	2230	4268	5700	15.2
Ø5°	5770	1770	4773	6065	14.6

\*는 0.2%off-set법에 의한

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 파괴양상 및 하중-축변형도 곡선

표4에 실험결과 일람표를, 그림2에 각시리즈별 시험체의 하중-축변형도 관계를 나타내었다. 각 시험체의 전반적인 파괴 양상은 초기균열 발생한 후 주근이 항복하였고, 최대하중에 이른 후 락철근이 항복하면서 내력이 저하되는 경향을 나타내었다.

그림2(a)의 L-시리즈경우 락철근의 배근형태에 상관없이 피복콘크리트가 완전히 박리된 후에 최대하중에 이르렀으며 내력의 급격한 저하가 없이 연성적인 거동을 보이고 있는 반면, 그림2(b)의 M-시리즈와 그림2(c)의 H-시리즈는 최대하중이후 급격한 내력이 저하하는 취성적인 파괴경향을 보이고 있다. 락철근의 거동은 콘크리트 강도와 배근형태에 따라 그 거동이 일정하지는 않으나, 피복콘크리트 박리시 락철근의 변형이 급증하고 최대하중이후 락철근이 항복하는 경향을 나타내었다.

표 4. 실험결과 일람표

시험체명	초기 균열시		최대 내력시		최대내력의 85%시		P <sub>u</sub> / ACI	인성 지수
	P <sub>cr</sub> ** (ton)	ε <sub>cr</sub> (%)	P <sub>u</sub> (ton)	ε <sub>u</sub> (%)	P <sub>85</sub> (ton)	ε <sub>85</sub> (%)		
L8C-30	122.8	0.19	174.3	1.70	148.2	3.51	1.56	27.42
L8D-50	152.2	0.23	166.1	0.50	141.2	1.95	1.48	19.42
L6-30*	97.3	0.11	129	0.52	109.7	2.00	1.20	15.42
L12R-70	120.2	0.16	172.0	1.90	146.2	3.22	1.61	31.44
L12-L30*	76.5	0.14	140.9	1.83	119.2	5.39	1.38	49.98
M8C-30	206.9	0.24	234.9	0.40	199.4	1.16	1.50	14.31
M8D-50	218.8	0.36	226.1	0.60	192.2	1.07	1.43	6.51
M6-30*	134.4	0.13	201.8	0.46	171.5	1.10	1.19	6.22
M12R-70	194	0.21	231.2	0.80	196.5	2.04	1.51	8.58
M12-L30*	172.8	0.20	220.9	0.34	187.8	1.00	1.30	6.59
H8C-30	242.7	0.23	280	0.49	238	0.85	1.21	4.17
H8D-50	286	0.37	294	0.57	245.7	0.83	1.27	4.54
H6-30*	186.3	0.20	244.3	0.34	207.7	1.00	1.15	2.95
H12R-70	262.2	0.37	298.6	0.53	245.7	1.10	1.32	6.61
H12-L30*	178.3	0.30	252.2	0.57	214.4	1.00	1.15	3.57

\*단순배근시험체

\*\*초기균열하중

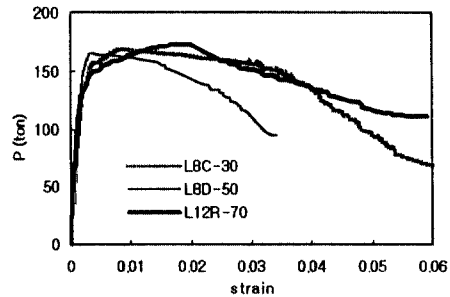


그림 (a) L-시리즈의 하중-축 변형도 곡선

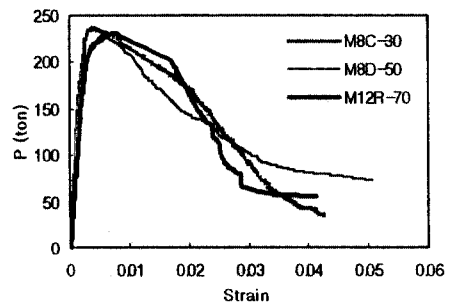


그림 (b) M-시리즈의 하중-축 변형도 곡선

각 시험체의 실험결과를 분석하기 위하여 그림3과 같이 하중-축변형도 곡선을 모델화 하였다. 최대하중( $P_0$ )의수평직선을 A라 하고, 원점과 최대하중의 60%지점을 연결한 직선을 B라 할 때 직선 A와 직선B가 만나는 교점의 변형도를 항복변형도( $\epsilon_y$ )로, 이에 해당하는 하중을 항복하중( $P_y$ )이라 하고, 최대하중의 85% ( $0.85P_0$ ) 인 점의 변형도( $\epsilon_{85}$ )를 기준으로 하여 에너지 흡수능력의 지표로서 인성지수(Toughness index)를 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{인성지수} = \int_0^{\epsilon_{85}} P(\epsilon) \cdot d\epsilon / \int_0^{\epsilon_y} P(\epsilon) \cdot d\epsilon$$

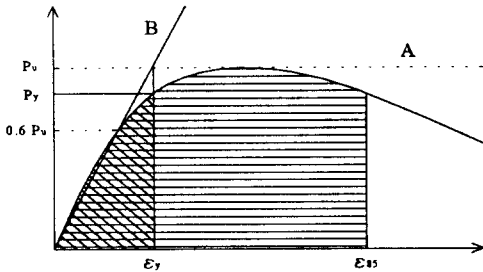
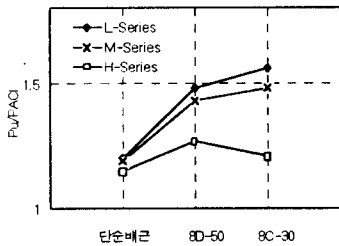


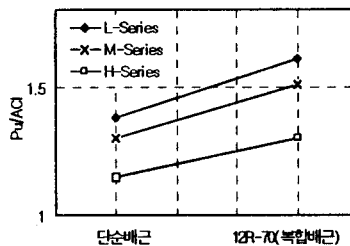
그림 3. 시험체 하중-축변형도 곡선의 평가

그림 4(a)에서 띠철근 배근형태와 강도증가비와의 관계

그림 4(b)의 경우 ( $\rho_s = 0.0402$ )는 복합배근형태 시험체가 단순배근 시험체보다 L-시리즈에서 17%, M-시리즈에서 16%, H-시리즈에서 15% 상승하였다. 이처럼 모든 시험체에서, 띠철근을 단순배근한 시험체 보다 복합배근 시험체의 강도가 상당히 증가하는 경향을 보였으나, 콘크리트강도가 증가할수록 그 기울기는 감소하는 경향을 나타내었다.

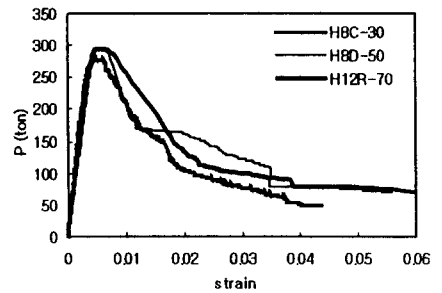


(a)  $\rho_s=0.023$  일 경우



(b)  $\rho_s=0.0402$  일 경우

그림 4. 띠철근 배근형태와 강도증가비와의 관계

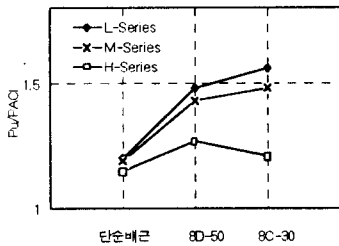


(c) H-시리즈의 하중-축 변형도 곡선  
그림 2. 각 시리즈의 하중-축 변형도 곡선

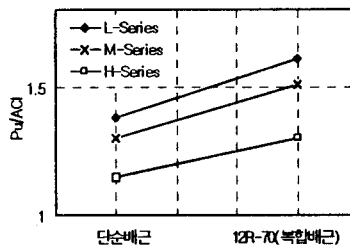
### 3.2 띠철근배근 형태에 따른 영향

그림4에 동일 띠철근 체적비에서 복합배근과 단순배근 시험체의 최대강도를 비교하기 위해 각 시험체의 최대강도를 ACI규준<sup>4)</sup> 값으로 나눈 강도증가비와 배근형태와의 관계를 나타내었다.

그림4(a)에서 띠철근 체적비( $\rho_s=0.023$ )인 경우 L-시리즈에서 8C-30, 8D-50의 복합배근 시험체가 단순배근 보다 약 23~30% 상승하였고, M-시리즈에서는 20~27%, H-시리즈에서는 5~12% 상승하였다. 그림4(b)의 경우 ( $\rho_s = 0.0402$ )는 복합배근형태 시험체가 단순배근 시험체보다 L-시리즈에서 17%, M-시리즈에서 16%, H-시리즈에서 15% 상승하였다. 이처럼 모든 시험체에서, 띠철근을 단순배근한 시험체 보다 복합배근 시험체의 강도가 상당히 증가하는 경향을 보였으나, 콘크리트강도가 증가할수록 그 기울기는 감소하는 경향을 나타내었다.



(a)  $\rho_s=0.023$  일 경우



(b)  $\rho_s=0.0402$  일 경우

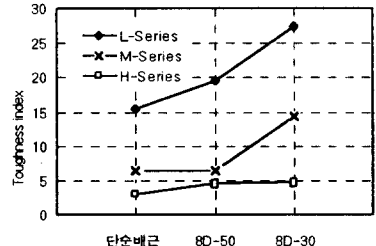


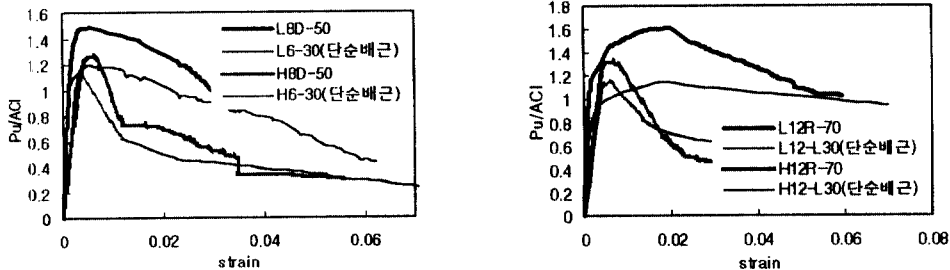
그림 5.  $\rho_s=0.023$  일 경우 띠철근 배근형태와 인성지수와의 관계

그림5에 띠철근 배근형태와 인성지수와의 관계를 나타내었다. 그림5(a)에서  $\rho_s=0.023$ 인 경우 복합배근 시험체가 단순배근 시험체보다 증가하는 경향을 보이고 있으며, 콘크리트 강도가 높을수록 인성지수가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 그러므로, 고강도 콘크리트를 사용할 경우 보통강도의 콘크리트와 같은 인성지수를 확보하기 위해서는 높은 띠철근 체적비를 유지해야 할 것으로 사료된다.

### 3.3 콘크리트 강도의 영향

그림6은 동일 띠철근 체적비일 때 복합배근 시험체와 단순배근 시험체의 최대강도를 비교하기 위해 콘크리트 강도에 따른 각 시험체의 최대강도를 ACI 규준값으로 나눈 강도증가비와 변형도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림6(a)( $\rho_s=0.023$ )는 띠철근 간격 5cm인 복합배근 시험체(8D-50)가 단순배근 시험체보다 L-시리즈에서 23%, H-시리즈에서 10% 증가하였다. 그림6(b)( $\rho_s=0.0402$ )의 복합배근 시험체(12R-70)가 단순배근 시험체보다 L-시리즈에서 17%, H-시리즈에서 15% 증가하였다.

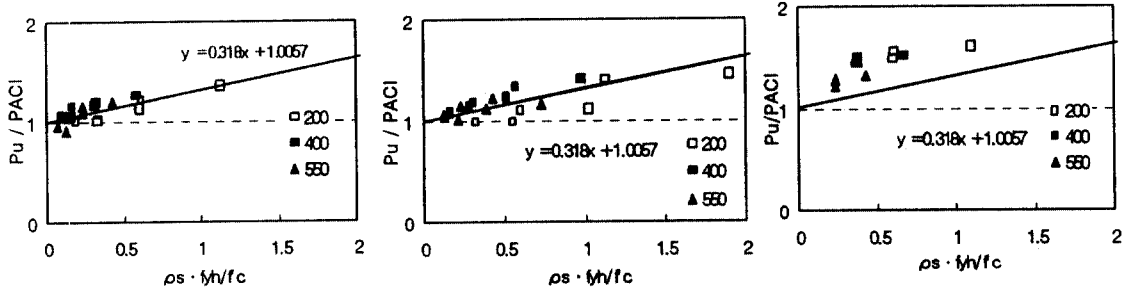
복합배근 시험체가 단순배근 시험체보다 강도 증가비는 높아지나 복합배근 시험체나 단순배근 시험체 모두 콘크리트 강도가 높을수록 강도 증가비는 감소되는 경향을 알 수 있다. 이는 고강도 콘크리트의 취성적인 재료특성이 띠철근에 의한 구속효과의 감소를 초래하기 때문인 것으로 판단된다.



(a)  $\rho_s=0.023$  일 경우 (b)  $\rho_s=0.0402$  일 경우  
그림 6. 콘크리트 강도와 강도증가비와의 관계

### 3.4 ACI 규준식의 검토

그림7은 ACI 규준에 명시된 띠철근량 산정시의 변수( $\rho_s \cdot fyh/f'c$ :이하 구속지수라 함)와 최대내력을 ACI 규준값으로 나눈 강도증가비를 나타낸 것이다. 그림중의 실선은 그림(a)의 추세선을 기준으로 하여 각각 나타내었으며, 그림(a)는 띠철근 체적비( $\rho_s$ ), 콘크리트 강도를 변화시킨 경우로 추세선을 따른 최대내력의 편차가 작은 경향을 나타내고 있고, 그림(b)는 띠철근 강도( $fyh$ )와 띠철근 체적비( $\rho_s$ ) 및 콘크리트 강도를 변화시킨 경우로 최대내력의 표준편차가 그림(a)보다 큰 경향을 나타내고 있다. 이는 구속지수가 콘크리트 강도에 따른 띠철근 체적비( $\rho_s$ )와 띠철근 강도( $fyh$ )를 1:1로 보고 있기 때문으로 판단되며, 띠철근 강도의 영향을 다소 과대평가하고 있다고 사료된다. 그림(c)는 띠철근 체적비와 띠철근 강도를 고정시키고 띠철근 형태(복합배근)만을 변화시킨 경우로 추세선을 상회하는 최대내력값을 나타내고 있다.



(a)  $\rho_s, f_c$ 를 변화시킨 경우

(b)  $\rho_s, fyh, f_c$ 를 변화시킨 경우

(c) 띠철근 배근형태(복합배근)를 변화시킨 경우

그림 7. 콘크리트강도와 띠철근량( $\rho_s \cdot fyh/fc$ ) 과의 관계

### 3.5 기존해석모델과의 비교

그림8은 최대내력에 대하여 실험값과 제안값의 비교를 나타내었다. 최대내력의 계산에 있어서는 피복콘크리트의 강도를 0.85배 하여 최대내력 산정시 더해주는 수정 Kent-Park의 제안식이 Uzumeri 제안식보다

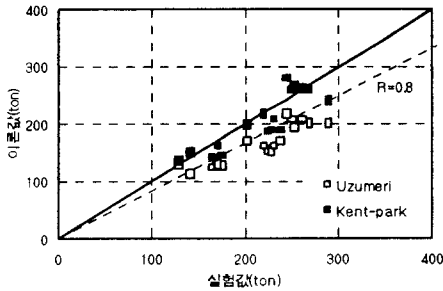


그림 8. 실험값과 제안값의 최대내력의 비교

실험결과를 적절하게 평가한다고 판단된다. 그러나 띠철근 배근 형태, 간격, 직경 및 주근의 영향을 고려치 않아 띠철근 체적비가 동일할때 띠철근 배근형태, 간격, 직경 및 주근이 다른 경우의 내력을 동일하게 평가하고 있다. 이는 실험결과에서도 나타나듯 띠철근 배근형태, 직경 및 주근의 영향이 수정 Kent - Park<sup>4)</sup>식에도 고려되어야 한다고 사료된다. 반면에 Uzumeri<sup>5)</sup>는 띠철근 배근형태 및 간격에 대한 영향을 고려하였으나, 띠철근의 직경 및 피복 콘크리트 부담분을 최대 내력 산정시 제외하고 있어 최대 내력을 과소 평가하는 이론값을 가지게 되는 것으로 사료된다.

### 4. 결론

이상의 띠철근 배근형태, 콘크리트 강도 변수로 한 중심 축하중을 받는 기둥 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일 띠철근 체적비일 때 복합배근 시험체가 단순배근 시험체 보다 최대내력이 5~30%까지 증가하는 하는 것을 알 수 있었다. 이것은 보조 띠철근이 외부 띠철근에 비하여 콘크리트의 횡팽창을 더욱 유효하게 구속시킨 것으로 판단된다.
- 2) 띠철근 배근형태 및 배근간격에 관계없이 콘크리트 강도가 증가할수록 띠철근 구속력이 철근 콘크리트 기둥의 최대내력 및 인성지수에 미치는 효과는 감소하였다.
- 3) ACI규준식의 띠철근량( $\rho_s \cdot fy_h/f'_c$ )산정시 띠철근 강도의 변화 보다는 띠철근 체적비를 변화시키는 것이 구속작용을 보다 효율적으로 수행하며, 또한 띠철근 배근 형태를 고려한 변수가 추가되어야 한다고 판단된다.
- 4) Park와 Uzumeri가 제안한 최대하중 비교에서 피복콘크리트의 영향을 고려한 Park 식이 본 연구의 실험값을 적절히 평가함을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 98년도 한국과학재단의 기초 연구비 지원으로 이루어졌으며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

### ● 참고 문헌 ●

1. 극한강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준, 대한건축학회, 1989
2. 이경중, 정현수, "중심축하중을 받는 고강도 RC기둥의 거동 및 내력에 관한 연구," 대한건축학회 학술 발표 논문집, 제 17권 제 2호 1997.10
3. 김남주, 정현수 "중심압축력을 받는 철근 콘크리트 기둥의 내력과 연성에 관한 실험적 연구." 한국 구조물진단학회 논문집, 제 1권 1호 1997.11
4. Scott, B. D, Park, R, and Pristley, M.J.N, "Stress-Strain Behavior of Concrete Confined by Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates", ACI Jornal, Proceedings, Vol.79, No.1,Jan-Feb, 1982, pp13-27
5. Sheikh, Shamim A. and Uzumeri, S.M, "Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns", Proceedings, ASCE, VOL.108, ST.12, PP2703-2722, dec, 1982