

고강도 콘크리트 기둥의 거동에 미치는 콘크리트 강도와 띠철근의 영향

Influence of Concrete Strength and Lateral Ties
on Behavior of High-Strength Concrete Columns

이 영 호*

정 현 수**

Lee, Young-Ho

Chung, Heon-Soo

Abstract

This study was focused on the effect of concrete strength and lateral ties of concrete columns using high-strength concrete. Thirty-six concrete columns with 20cm square cross-section were tested. Experimental parameters included the concrete strength, the distribution of longitudinal bars and the volumetric ratio, yield strength, spacing of lateral ties. From the experiments, we found that: 1) the increasing rate of the strength and ductility of concrete columns caused by confinement of lateral ties was decreasing, as the concrete strength increased. 2) The high volumetric ratio and the reduction of tie spacing had a tendency to enhance the strength and improve the ductility. 3) The high-strength concrete columns required high volumetric ratio of lateral ties to maintain the proper strength and ductility. It was observed that the current AIK design code to specify the maximum tie spacing of high-strength concrete columns led to the poor strength and ductility for seismic design.

keywords : high-strength concrete, volumetric ratio, lateral ties, tie spacing, ductility

1. 서 론

건설재료로 콘크리트가 사용된 이래로, 최근 수십 년 동안 철근콘크리트 건축물은 산업기술의 발달과 건축기술의 향상으로 대형화, 고층화, 장 스패닝 되어

1996년도에 말레이시아의 Kuala Lumpur시에 지상 92층, 건물 총 높이 452m의 Petronas Tower가 철근콘크리트 구조로 시공되기에 이르렀다.

이러한 초고층 철근콘크리트 건축물의 저층부 기둥 부재에는 부재 단면의 감소, 하중 지지능력의 증대,

* 동원대학 건축과 전임강사, 공학박사

** 중앙대학교 건축학과 교수, 공학박사

E-mail : youngho@tongwon.ac.kr 011-750-0603

• 본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

자중의 감소 등 경제적, 실용적 이유로 인하여 고강도 콘크리트의 사용이 필수적이다. 국내에서도 최근 들어 주상복합 건물을 중심으로 고강도 콘크리트의 사용이 점차 증대되어가고 있으나, 고강도 콘크리트를 사용한 부재의 거동을 파악하기 위한 연구들은 아직까지도 미흡한 실정이다. 고강도 콘크리트는 그 재료 고유의 특성상 높은 압축강도에 비하여 상대적으로 약한 인장강도, 전단강도 등으로 인하여 취성파괴하는 특성이 있어, 큰 축력을 부담하는 저층부 기둥부재에 고강도 콘크리트를 사용하기 위해서는 많은 연구·검토가 필요하다. 그러나 현재까지 국내에서는 고강도 콘크리트에 대한 연구가 아직 미흡한 실정이고, 해외에서도 이에 대한 연구자료^{5)~6)}가 많지 않은 실정이다. 또한 현재 사용되어지고 있는 대한건축학회의 내진기준¹⁾은 보통강도 콘크리트에 적용하는 기준을 고강도 콘크리트에까지 확대 해석하여 사용하고 있어, 이의 적용 가능성 여부에도 많은 의문점이 있는 실정이다. 더욱이 ACI에서는 고강도 콘크리트의 취성적 특성을 고려하여 띠철근량을 콘크리트 강도에 연계하도록 규정하고 있고, 띠철근 배근 간격 또한 조밀하게 배근하도록 규정하고 있으며, ACI 318-99 Code⁴⁾에서는 내진 관련 기준을 318-95 보다 강화하였으나, 국내 기준은 이러한 부분에 대한 규정이 없는 등 내진에 대한 대응이 미진한 편이다.

이에 본 연구에서는 콘크리트 강도와 띠철근에 관련한 여러 변수들을 변화시켜, 이들 변수들이 압축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥부재의 내력 및 연성에 미치는 영향을 검토·분석하여 향후 고강도 콘크리트를 사용한 기둥부재의 내진 기준 설정에 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험개요

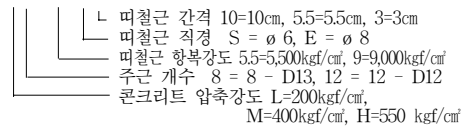
2.1 시험체 제작 및 형상

고강도 콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 영향을 끼치는 콘크리트 강도와 띠철근의 영향을 파악하기 위하여 콘크리트 강도, 띠철근 체적비, 배근 간격, 항복강도를 주요변수로 하여 총 36개의 시험체를 제작·실험하였다.

Table 1 시험체 일람표

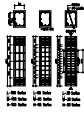
시험체명	주철근	띠 철 근 상 세				A _{sh} / (A _{sh}) _{ACI}	
		항복강도 (tf/cm ²)	배근 간격 (cm)	직경 ø (mm)	체적비		
L8S5.5S10	8 - D13	5.5	10	6	0.007	0.89	
L8S5.5E10				8	0.012	1.73	
L8S5.5S5.5				6	0.012	1.61	
L8S5.5E5.5					0.023	3.14	
L8S5.5S3				3	6	0.023	2.96
L8S5.5E3						0.042	5.76
L12S5.5E3	12 - D10	9	8	0.042	7.56		
L12S5.5E5.5				0.023	4.12		
L12S5.5E10				0.012	2.27		
L12S9E3				3	0.042	12.77	
L12S9E5.5				5.5	0.023	6.96	
L12S9E10				10	0.012	3.83	
M8S5.5S10	8 - D13	5.5	10	6	0.007	0.44	
M8S5.5E10				8	0.012	0.86	
M8S5.5S5.5				6	0.012	0.81	
M8S5.5E5.5					0.023	1.57	
M8S5.5S3				3	6	0.023	1.48
M8S5.5E3						0.042	2.88
M12S5.5E3	12 - D10	9	8	0.042	3.78		
M12S5.5E5.5				0.023	2.06		
M12S5.5E10				0.012	1.13		
M12S9E3				3	0.042	6.38	
M12S9E5.5				5.5	0.023	3.48	
M12S9E10				10	0.012	1.92	
H8S5.5S10	8 - D13	5.5	10	6	0.007	0.32	
H8S5.5E10				8	0.012	0.63	
H8S5.5S5.5				6	0.012	0.59	
H8S5.5E5.5					0.023	1.14	
H8S5.5S3				3	6	0.023	1.08
H8S5.5E3						0.042	2.1
H12S5.5E3	12 - D10	9	8	0.042	2.75		
H12S5.5E5.5				0.023	1.5		
H12S5.5E10				0.012	0.82		
H12S9E3				3	0.042	4.64	
H12S9E5.5				5.5	0.023	2.53	
H12S9E10				10	0.012	1.4	

L8S5.5S10



A_{sh}: 띠철근 량 (A_{sh})_{ACI}: ACI 내진기준 최소 띠철근 량

시험체 일람을 Table 1에, 시험체 단면 상세를 Fig. 1에 각각 나타내었다. 시험체 크기는 단면 20cm×20cm, 높이 60cm로 중간부 40cm를 시험구간으로 하였다.



8-D13 배근간격 10cm 8-D13 배근간격 5.5cm 12-D10 배근간격 10cm

Fig. 1. 시험체 단면 상세

비 시험구간인 양 단부 10cm는 띠철근을 조밀 하게 배근하여 시험구간보다 먼저 파괴되는 것을 방지하였으며, 띠철근에 의하여 구속된 코아 콘크리트의 면적 변화에 의한 영향을 없애기 위하여 구속된 콘크리트의 띠철근 중심간 거리가 16.7cm×16.7cm로 동일하게 되도록 배근하였다. 주근은 SD 40의 D10과 D13의 철근을 사용하여 8-D13, 12-D10의 두 가지 형태로 제작하여 주근의 개수에 의한 영향을 비교하였다.

띠철근은 $\phi 6$, $\phi 8$ 의 두 종류의 직경을 사용하여 동일 띠철근 체적비에서 띠철근 배근 간격의 영향과 동일 배근 간격에서 띠철근 체적비의 변화에 의한 영향을 파악할 수 있도록 계획하였다.

또한 띠철근 항복강도의 변화에 의한 영향을 파악하기 위하여 항복강도 5,500kgf/cm²의 보통강도와 9,000kgf/cm²의 고강도 띠철근을 사용하여 띠철근을 배근하였다. 띠철근 배근 간격은 대한건축학회 내진설계 기준에 모두 만족하도록 배근하였으며, ACI 318-99의 내진 설계 기준에는 만족하는 것과 만족 하지 않는 것이 있도록 계획하여 대한건축학회의 내진 기준과 ACI 318-99의 내진 기준을 비교할 수 있도록 계획하였다. 띠철근의 구부림 각은 135. 로 하였으며, 여장은 6d로 하였다. 콘크리트는 각 강도별로 0.5m³ 용량의 강제식 믹서를 사용하여 배합 하였으며, 믹서의 용량을 고려하여 각 콘크리트 강도별로 주근의 개수를 기준으로 2회로 나누어 타설 하였다. 조골재 최대치수는 띠

Table 2 콘크리트 배합설계

설계강도 (kgf/cm ²)	W/C (%)	S/A (%)	S.P (%)	단위중량(kg/m ³)			
				W	C	A	S
200	65	50	0	223	343	925	925
400	38	45	0.84	171	450	945	788
550	30	38	1.0	167	550	1000	613

Table 3 사용 철근의 역학적 성질

규격	항복강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	항복변형 ($\times 10^{-6}$)	인장강도 (kgf/cm ²)
D10	4,084	1.90×10^6	2,310	6,330
D13	3,940	1.93×10^6	2,230	6,180
$\phi 6$	5,560	2.18×10^6	2,360	6,000
$\phi 8$	5,460	1.94×10^6	2,380	6,200
$\phi 8^*$	9,223	2.04×10^6	6,520	11,260

철근의 최소 배근 간격이 3cm인 점을 고려하여 13mm를 사용하였다.

공시체는 “KS F 2403 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법”에 따라 직경 10cm, 높이 20cm 크기의 실린더형 몰드를 사용하여 제작하였고, 본 시험체의 거푸집 탈형 시기에 맞추어 탈형 후 본 시험체와 같이 대기 양생을 하였다. 콘크리트의 압축강도 시험은 본 실험의 시작과 함께 “KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법”에 따라 시행하였으며, 시험은 3회를 실시하여 그 평균값을 압축강도로 하였다. 철근은 “KS F 0802 금속재료 인장시험 방법”에 따라 인장시험을 실시하였다. 콘크리트 배합설계를 Table 2에, 사용 철근의 역학적 성질을 Table 3에 각각 나타내었다.

2.3 가력 및 측정 방법

시험체는 거푸집 탈형 후 균열 발생 및 파괴 양상을 자세히 관찰할 수 있도록 흰색 페인트로 도색하였으며, 가력은 중앙대학교 구조 실험실에 있는 300tonf 용량의 만능시험기를 사용하여 0.3mm/min. 속도의 변위제어 방식으로 가력하였다. 시험체의 중앙부분에서 발생하는 축 방향 변위량을 측정하기 위해 시험구간 상·하단부에 사각 강재를 대어 서로 긴결 시킨 후 사각 강재에 전기식 변위계(L.V.D.Ts)를 4면에 장착하여 평균 변형률을 측정하였다. Fig. 2에 시험체 가력 및 측정 장치의 설치상태를 나타내었다.

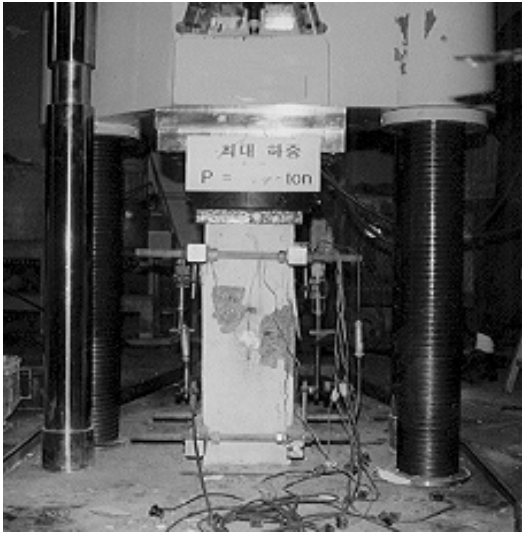


Fig. 2 시험체 측정장치(고강도 콘크리트 시험체 파괴양상)

3. 실험결과 및 분석

3.1 일반적인 파괴성상

대부분의 시험체는 최대 내력의 60~80% 정도의 하중에서 세로로 초기 균열이 발생한 이후 주근이 항복하였고, 피복이 박리되면서 곧이어 최대 내력에 도달하였다. 피복 콘크리트는 균열이 발생하기 이전에는 띠철근에 의하여 구속된 코아 콘크리트와 같은 거동을 보였으며 띠철근에 작용하는 축압 또한 작았다. 균열 발생 후 피복 콘크리트의 박리가 시작되면서 모든 하중을 코아 콘크리트가 부담하였고, 그에 따라 띠철근에 작용하는 축압의 증가와 함께 띠철근의 변형률 또한 급격히 증가하였다. 최대 내력 이후 주근에 좌굴이 발생하였고, 주근 좌굴 이후 띠철근이 파단되거나 혹은 크의 풀어짐이 발생하면서 내력은 급격히 저하되었다. 보통강도 콘크리트를 사용한 L-Series 시험체는 대부분 피복 콘크리트가 완전히 박리된 이후 최대 내력에 도달하는 경향을 보였으나, 고강도 콘크리트를 사용한 M-Series, H-Series 시험체는 피복이 완전히 박리되기 이전에 최대 내력에 도달 하였으며, 콘크리트 강도가 증가할수록 띠철근의 구속에 의한 내력 및 연성의 증가효과는 감소하였다.

띠철근의 항복강도가 증가하여도 띠철근 체적비와 배근 간격이 적절하게 배근되어 있지 않으면 내력 및 연성의 증가효과는 나타나지 않았다. 주근의 수가 증가하여도 내력 및 연성의 증가효과는 나타나지 않아, 띠철근에 의하여 구속되지 않은 주근 개수의 증가는 내력 및 연성에 별다른 영향을 끼치지 않음을 알 수 있었으며, 오히려 고강도 콘크리트에서 주근의 지름이 작을 경우 큰 축 하중으로 인한 주근의 조기 좌굴로

Table 4 실험결과 일람표

시험체명	f_{ck} (kgf/cm ²)	최대내력 시		K_s	μ_s
		하중(tf)	변형		
L8S5.5S10	200	106.9	0.00280	1.06	2.3
L8S5.5E10	200	106.8	0.00370	1.10	2.9
L8S5.5S5.5	200	108.8	0.00350	1.26	3.7
L8S5.5E5.5	200	121.3	0.00600	1.53	4.0
L8S5.5S3	200	129.0	0.00520	1.76	5.0
L8S5.5E3	200	145.4	0.00900	2.18	11.9
L12S5.5E3	205	135.4	0.01833	2.10	10.8
L12S5.5E5.5	205	111.0	-	1.45	-
L12S5.5E10	205	98.1	0.00227	1.03	1.7
L12S9E3	205	135.7	0.01933	2.10	10.9
L12S9E5.5	205	107.3	0.00617	1.40	4.00
L12S9E10	205	98.0	0.00467	1.03	2.3
M8S5.5S10	390	178.6	0.00280	1.06	0.9
M8S5.5E10	390	178.7	0.00290	1.06	0.9
M8S5.5S5.5	390	195.2	0.00300	1.25	1.4
M8S5.5E5.5	390	197.3	0.00370	1.30	1.7
M8S5.5S3	390	201.8	0.00460	1.41	2.8
M8S5.5E3	390	212.8	0.00500	1.59	2.5
M12S5.5E3	410	220.9	0.00344	1.60	2.5
M12S5.5E5.5	410	189.4	0.00398	1.31	1.7
M12S5.5E10	410	177.5	0.00415	1.13	1.5
M12S9E3	410	232.7	0.00430	1.70	-
M12S9E5.5	410	201.8	0.00326	1.35	2.5
M12S9E10	410	188.3	0.00404	1.24	2.1
H8S5.5S10	515	201.0	0.00200	0.93	1.0
H8S5.5E10	515	193.5	0.00270	0.81	1.3
H8S5.5S5.5	515	223.7	0.00280	1.06	1.4
H8S5.5E5.5	515	230.9	0.00340	1.14	1.5
H8S5.5S3	515	244.3	0.00340	1.24	1.3
H8S5.5E3	515	254.5	0.00500	1.41	2.3
H12S5.5E3	555	252.2	0.00533	1.40	2.1
H12S5.5E5.5	555	235.7	0.00367	1.21	1.8
H12S5.5E10	555	218.1	0.00408	1.05	-
H12S9E3	555	240.2	0.00478	1.33	3.1
H12S9E5.5	555	230.3	0.00388	1.15	1.9
H12S9E10	555	207.8	0.00403	1.03	2.1

- : 데이터를 얻지 못한 試驗體

f_{ck} : 콘크리트 압축강도, K_s : 강도증가계수, μ_s : 연성비

연성이 저하되었다. 띠철근 배근간격을 대한건축학회의 최저 기준인 D/2(10cm)으로 배근한 경우, 고강도 콘크리트를 사용한 M-Series, H-Series 에서는 취성적인 파괴 거동을 보였으며, 띠철근 체적비를 증가시켜도 내력 및 연성의 증가효과가 나타나지 않아, 대한건축학회 내진 기준은 고강도 콘크리트에서는 유효하게 적용시키기 어려운 것으로 나타났다. Table 4에 실험결과 일람을 나타내었다.

3.2 강도증가계수와 연성비

띠철근에 의하여 구속된 콘크리트의 내력 및 연성에 대한 평가는 건물의 안전성 평가와 부재 설계에서 매우 중요한 요소이다. 띠철근에 의하여 구속된 코어 콘크리트는 구속되지 않은 콘크리트에 비하여 내력 및 연성이 증가하게 되는데 이때 내력의 증가 비를 강도증가계수(K_s)라 하고 연성의 증가 비를 연성비(μ_u)라 한다. 강도증가계수와 연성비를 정확히 산정 하는 것은 매우 어려운 일이며 여러 연구자들이 많은 방법을 제안하였으나, 아직까지 확립된 이론은 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 코어 콘크리트의 최대 내력 시 피복 콘크리트는 1951년 일본 동경대학 梅村교수가 제안한 e-함수법과 같이 거동하고, 주근은 항복 후 완전 탄·소성 거동을 한다고 가정하여, (식 3)과 같이 강도증가계수를 산정하였다.

$$P_{core} = P_u - P_{steel} - P_{cover} \quad (1)$$

$$f_{cc} = P_{core} / (A_{core} - A_{steel}) \quad (2)$$

$$K_s = f_{cc} / 0.85f_{ck} \quad (3)$$

P_u : 최대 내력 시 하중

P_{cover} : 피복 콘크리트 부담 하중

P_{steel} : 주근 부담 하중

P_{core} : 코어 콘크리트 부담 하중

A_{core} : 코어 면적

A_{steel} : 주근 단면적

f_{cc} : 코어 콘크리트 최대 응력

연성비는 Saatcioglu³⁾가 제안한 절대적 평가에 의한 연성비의 개념을 이용하여 (식 4)와 같이 산정 하였다.

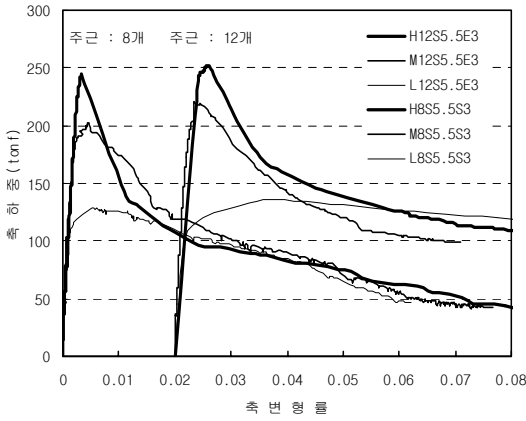
$$\mu_u = \epsilon_{85} / 0.004 \quad (4)$$

ϵ_{85} : 최대내력 이후 최대내력의 85% 시 변형률

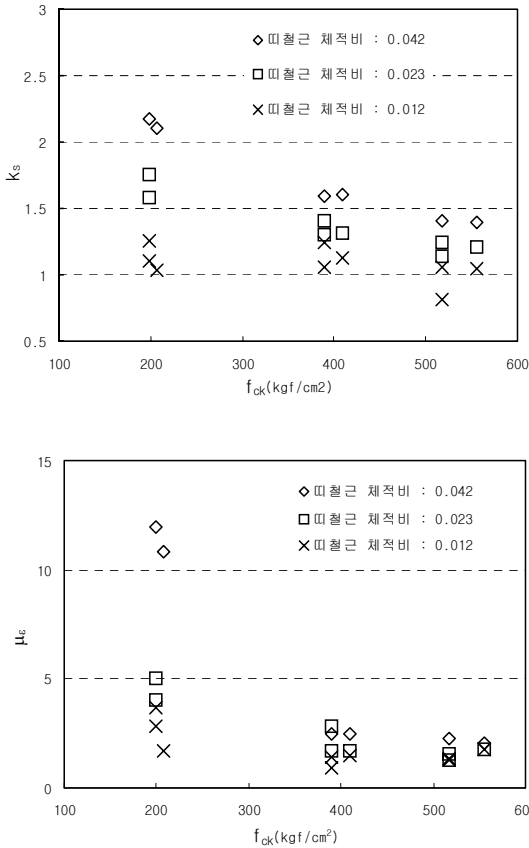
3.3 콘크리트 강도의 영향

콘크리트 강도 변화에 따른 하중-변형률 관계를 Fig. 3(a)에 나타내었다. 동일 띠철근 배근 조건하에서, 콘크리트 강도가 증가할수록 최대 내력은 콘크리트 자체 강도의 증가에 의하여 증가하나 그 증가율은 감소하였다. 최대 내력 이후 거동은 보통강도 콘크리트를 사용한 경우 최대 내력 이후 완만히 내력이 감소하는 연성적인 거동을 보이나, 콘크리트 강도가 증가할수록 내력이 급격히 저하하는 취성적인 거동을 보여, 콘크리트 강도가 증가할수록 띠철근에 의한 내력 및 연성증가 효과는 감소함을 알 수 있었다. 이러한 거동은 주근의 수가 변화하여도 동일하였다. 이러한 거동을 보다 명확히 나타내기 위하여 Fig. 3(b)에 콘크리트 강도와 강도증가계수 및 연성비와의 관계를 나타내었다. 콘크리트 강도가 증가함에 따라 강도증가계수는 거의 콘크리트 강도의 제곱근에 비례하여 감소하였고, 연성비는 강도증가계수보다 더욱 급격히 감소하였다.

띠철근 체적비가 0.012에서 0.042로 증가할 경우, 보통강도 콘크리트는 강도증가계수가 약 2배, 연성비는 약 6배 증가하였으나, 고강도 콘크리트인 H-Series에서는 강도증가계수가 약 1.4배, 연성비는 약 1.3배 증가하는데 그쳤다. 이러한 현상은 콘크리트 자체의 재료적인 특성에 의한 것으로, 콘크리트 강도가 증가할수록 콘크리트 내부 미세 균열의 절대량은 감소하고, 작용하중의 증가에 따른 미세 균열 및 체적의 팽창 또한 감소하여, 띠철근에 의한 횡 팽창 억제력이 감소함으로써 발생하는 것으로 판단된다. 특히 고강도 콘크리트에서 연성비의 현저한 감소는 콘크리트 특성에 기인한 띠철근에 의한 구속력 감소 외에 파괴 시 큰 축 하중으로 인한 전단파괴로의 파괴양상 전이와 주근의 조기 좌굴도 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다.



(a) 축 하중-축 변형을 관계



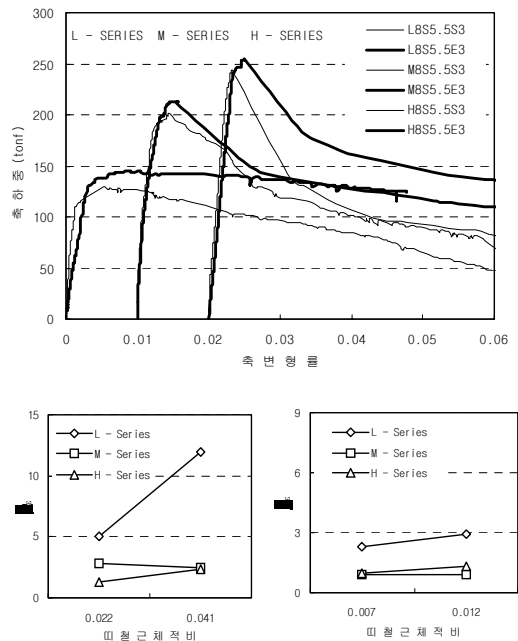
(b) 콘크리트 강도와 K_s 및 μ_e 관계

Fig. 3 콘크리트 강도의 영향

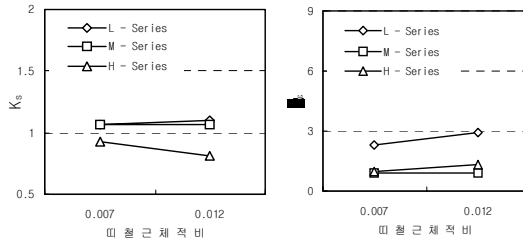
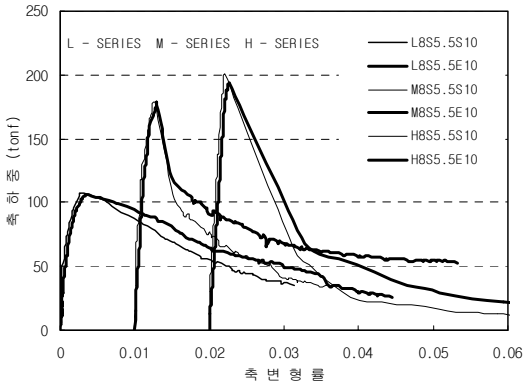
3.4 띠철근 체적비의 영향

Fig. 4에 띠철근 배근 간격을 동일하게 하고 띠철근 체적비만을 변화시켜, 띠철근 체적비가 철근 콘크리트 기둥의 역학적 거동에 미치는 영향을 나타내었다.

띠철근 체적비가 증가하면 띠철근에 의한 코어 콘크리트의 구속력이 증가하여 최대 내력은 증가하였으며, 최대 내력 이후의 거동 또한 연성적으로 변화하였다. 그러나 콘크리트 강도가 증가함에 따라 강도증가계수 및 연성비의 증가 값은 감소하였다. 그러므로 콘크리트 강도의 증가에 따라 띠철근 체적비를 증가시켜야만 콘크리트 강도의 증가에 따른 취성적인 거동을 방지할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 띠철근 배근간격이 3cm로 조밀하게 배근된 시험체는 띠철근 체적비가 0.023에서 0.042로 86% 증가함에 따라 강도증가계수는 13~24%, 연성비는 최대 130%이상 증가하였으나, 띠철근 배근 간격이 대한건축학회의 최소 내진 기준인 D/2(10cm)로 배근된 시험체의 경우에는, 띠철근 체적비를 0.007에서 0.012로 71% 증가시켜도 최대 내력 및 강도증가계수와 연성비에는 별다른 영향이 나타나지 않았다.



(a) 띠철근 배근 간격 3cm의 경우



(b) 띠철근 배근 간격 10cm의 경우

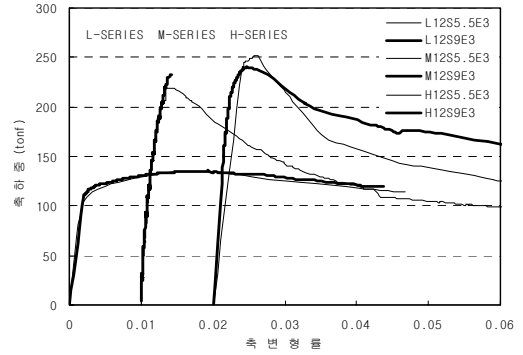
Fig. 4 띠철근 체적비의 영향

그러므로 띠철근 체적비를 증가시켜 철근 콘크리트 기둥의 최대 내력 및 연성을 향상시키기 위해서는 띠철근 배근 간격을 D/2보다는 조밀하게 하여야만 띠철근 체적비의 증가에 따른 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

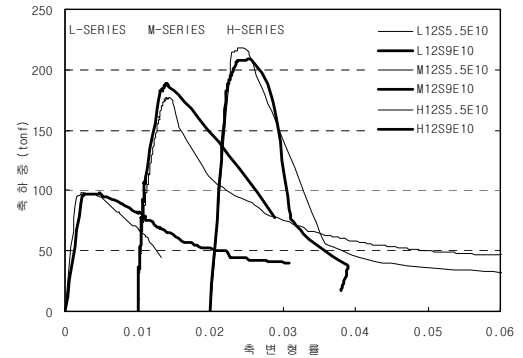
3.5 띠철근 항복강도의 영향

Fig. 5에 띠철근 항복강도가 구속된 코아 콘크리트에 미치는 영향을 나타내었다. 띠철근 항복강도를 5,500kgf/cm²에서 9,000kgf/cm²로 약 63% 증가시켜도 최대 내력의 증가는 나타나지 않았으며, 최대 내력 이후의 거동 또한 띠철근 배근 간격이 3cm인 경우에는 약간 연성적인 거동을 나타내나, 10cm로 배근된 경우에는 그 효과를 관찰할 수가 없었다.

고강도 띠철근을 사용하여도 최대 내력 및 연성이 뚜렷이 증가하지 않는 것은 코아 콘크리트의 최대 내력 시 띠철근의 응력이 항복강도에 도달하지 않기 때



(a) 띠철근 배근 간격 3cm의 경우



(b) 띠철근 배근 간격 10cm의 경우

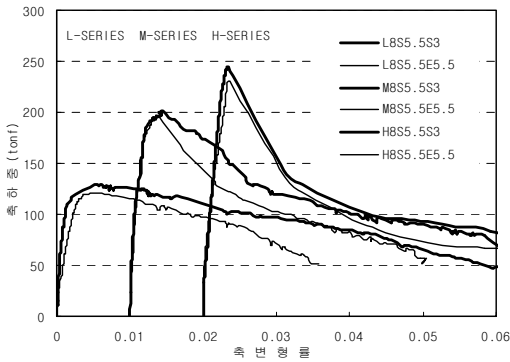
Fig. 5 띠철근 항복강도의 영향

문이며, 특히 고강도 콘크리트와 같이 횡 팽창이 적은 경우에는 띠철근의 응력이 항복강도에 더욱 못 미치게 되므로 띠철근 항복강도의 증가에 의한 최대 내력 및 연성의 증가효과는 더욱 떨어지게 되며, 띠철근 배근 간격이 크게 되어도 같은 현상이 일어난다.

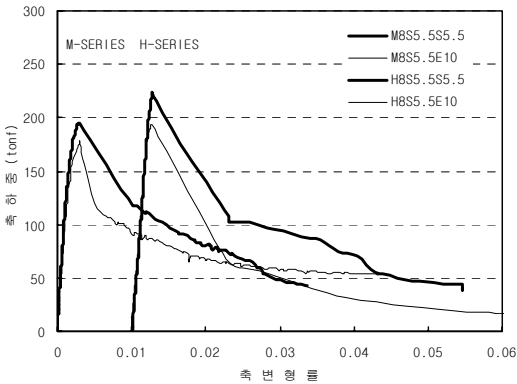
그러므로 고강도 띠철근을 사용하여 최대 내력 및 연성의 증가효과를 기대하기 위해서는, 띠철근의 배근 간격을 조밀하게 하고, 띠철근의 체적비를 증가시켜 코아 콘크리트의 구속력을 증가시키므로써 최대 내력 시 띠철근의 응력이 항복강도에 도달할 수 있도록 하여야 한다. 또한 고강도 콘크리트를 사용할 경우 고강도 띠철근을 사용하는 것이 연성개선의 측면에서는 효과적이거나 적절한 띠철근 배근 간격과 체적비등이 함께 적용되어야 할 것으로 판단된다.

3.6 띠철근 배근 간격의 영향

Fig. 6에 동일 띠철근 체적비에서 구축된 콘크리트 기둥의 역학적 거동에 영향을 미치는 띠철근 배근 간격의 영향을 나타내었다. 동일 띠철근 체적비에서 띠철근 직경을 변화시켜 배근 간격을 3cm와 5.5cm로 하였을 경우, 띠철근 배근 간격이 좁을수록 최대 내력 및 최대 내력 시 변형률은 증가하였으며, 최대 내력 이후의 거동 또한 연성적으로 나타났다. 그러나 콘크리트 강도가 증가할수록 이러한 띠철근 배근 간격에 의한 영향은 점차로 감소하여 강도 550kgf/cm²의 고강도 콘크리트 시험체에서는 최대 내력 및 최대 내력 이후의 거동 등에서 띠철근 간격에 의한 차이는 크게 나타나지 않았다.



(a) 배근 간격 3cm, 5.5cm의 경우($f_c=550$)



(b) 배근 간격 5.5cm, 10cm의 경우($f_c=550$)

Fig. 6 띠철근 배근간격의 영향

이는 콘크리트 강도가 증가할수록 파괴의 양상이 급격한 경사 전단에 의한 파괴로 전이되어 띠철근 배근 간격의 효과가 크게 나타날 수 없었기 때문이라 판단된다. 그러나 띠철근 간격이 5.5cm와 10cm로 배근된 경우에는 고강도 콘크리트에서도 띠철근 배근 간격에 의한 영향이 많이 나타나, 대한 건축학회의 내진 기준인 D/2(10cm)간격으로 배근된 시험체가 최대 내력 및 연성 등에서 급격한 감소를 나타냈다. 이것은 띠철근에 의하여 구속되지 않은 중간 주근의 조기 좌굴에 의한 내력 저하 때문이라 판단되며, 이러한 중간 주근의 좌굴에 의한 내력 저하를 방지하기 위해서는 대한 건축학회의 내진설계 띠철근 최소 배근 기준을 A.C.I 기준과 같이 D/4으로 조밀하게 조정하여야 할 것으로 사료되며, 특히 큰 축력을 받는 고강도 콘크리트를 사용할 경우에는 더욱더 띠철근 배근 간격의 조정이 필요 할 것으로 판단된다.

3.7 주근의 영향

Fig. 7에 동일 띠철근 배근 조건에서 주근의 개수 변화가 구축된 콘크리트의 역학적 거동에 미치는 영향을 나타내었다. 보통 철근 콘크리트조 건물에서 많이 사용되는 띠철근 배근 형태인 단순 배근 형태로 띠철근을 배근한 경우, 주근의 개수가 변화하여도 (8-D13; $p_g=0.0254$, 12-D10; $p_g=0.0213$) 최대 내력 및 연성 등에서 거의 유사한 거동을 보였다.

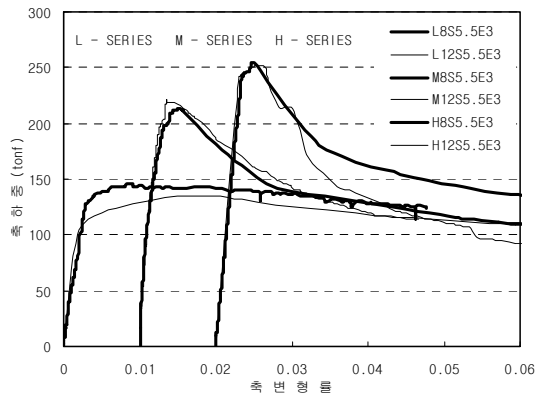


Fig. 7 주근 개수의 영향

이것은 띠철근에 의하여 구속되지 않은 중간 주근은 작은 축력에서도 좌굴이 발생하여 코어 콘크리트를 유효하게 구속하지 못하였기 때문에 최대 내력 및 연성에 별다른 효과가 나타나지 않은 것이라 판단되며, 내부 띠철근에 의하여 중간 주근이 유효하게 구속된 경우에는 다른 결과가 나오리라 생각된다.

4. 결 론

콘크리트 강도, 띠철근 체적비, 배근 간격, 항복강도, 주근의 개수등을 변수로 하여 총 36개의 시험체를 시험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트 강도가 증가할수록 띠철근 체적비, 배근 간격, 주근 개수 등에 관계없이 강도증가계수 및 연성비의 증가폭은 감소하였다.
- 2) 띠철근 체적비가 0.012에서 0.042로 증가할 경우, L-Series 시험체에서는 강도증가계수가 약 2배, 연성비는 약 6배 증가하였으나, H-Series 시험체에서는 강도증가계수가 약 1.4배, 연성비는 약 1.3배가 증가하는데 그쳤으며, 연성비의 감소 기울기가 더욱 현저하였다.
- 3) 띠철근의 항복강도와 주근의 개수를 변화시켜도 내부 띠철근이 없는 단순 배근 형태에서는 강도증가계수 및 연성비의 증가 효과는 나타나지 않았다.
- 4) 동일 띠철근 체적비에서 띠철근 배근 간격이 커질수록 최대 내력과 연성은 감소하였으며, 배근 간격을 D/4에서 D/2로 한 경우의 감소 폭이 크게 나타났다.
- 5) 띠철근 체적비가 증가할수록 최대 내력과 연성비는 증가하였으나, 배근 간격이 D/2로 배근된 경우에는 띠철근 체적비의 증가효과는 거의 나타나지 않았다.

- 6) 고강도 콘크리트 사용 시 대한건축학회의 띠철근 배근 간격 D/2의 내진 설계 기준은 최대 내력 및 연성적인 측면에서 불안전하였으며, 띠철근 배근 간격과 체적비를 콘크리트 강도와 연계시키는 새로운 내진 기준이 필요한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 대한건축학회, 통합 설계법에 의한 콘크리트 구조 계산 기준, 2000.
2. 이영호, “축하중을 받는 띠철근으로 구속된 고강도 콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 관한 실험적 연구”, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 2000.
3. M. Saatcioglu, S.R. Razvi, “Strength and Ductility of Confined Concrete”, Journal of the Structural Engineering, ASCE, VOL. 118, No. 6, June, 1992, pp.1590-1607.
4. ACI, Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-99), American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1999.
5. D. Cusson, P. Paultre, “High-Strength Concrete Columns Confined by Rectangular Ties”, Journal of the Structural Engineering, ASCE, VOL. 120, No. 3, Mar., 1994, pp.783-804.
6. 池田 崇・埜野健治・孫 玉平, “横補強筋の配筋形式が高强度RC柱の中心壓縮性狀に及ぼす影響”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1995年 8月, pp.295-296.

(접수일자 : 2001년12월 12일)