

# 편심 압축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥의 거동에 미치는 띠철근 및 콘크리트 강도의 영향

Influence of Concrete Strength and Lateral Ties on Behavior of High-Strength  
Concrete Columns Subjected to Eccentric Compressive Load

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 subjected to eccentric compressive loads. The twenty-four concrete columns with 200mm×200mm square cross-section were tested. The main variables were concrete strength, spacing and configuration of lateral ties, and eccentricity ratios. From the experiment, the followings were investigated : 1) In all cases, it was observed that the increase of concrete compressive strength led to the decrease of ductility. Also, as the eccentricity ratios increased, the effect of ductility enhancement by lateral ties decreased. 2) As the ties spacing decreased from 100mm to 30mm, the magnitude of axial load acting on the concrete column showed an enhancement of 1.1~1.2 times and the descending curve after a peak moment presented a smooth decline. 3) The high-strength concrete columns required a design of lateral ties to increase the volumetric ratios and density of tie spacing to sustain a proper strength and ductility. Accordingly, regardless of concrete strength, the current AIK design code to specify the maximum tie spacing of concrete columns was proven to lead to the poor strength and ductility for seismic design. Therefore, it is necessary to develop a new seismic design code that connects volumetric ratios and tie spacing of concrete columns with concrete strength.

## 요 지

편심 하중을 받는 철근 콘크리트 기둥에서 띠철근과 콘크리트 강도의 영향을 파악하기 위하여 콘크리트 압축강도, 띠철근 배근간격 및 형상, 편심비를 주요 변수로 하여 단면 200mm×200mm의 시험체 24개를 실험하였다. 이러한 연구를 통하여 콘크리트 기둥은 편심거리비, 띠철근 배근간격, 띠철근 배근형태 등에 관계없이 콘크리트 강도가 증가할수록 취성적으로 거동하였고, 편심거리비가 증가할수록 띠철근 배근에 의한 연성 증가 효과는 감소함을 알 수 있었다. 띠철근 배근간격이 100mm에서 30mm로 줄어든 경우, 최대 내력은 10~20% 증가하였으며, 최대 내력 이후에도 보다 연성적으로 거동하였다. 그러므로 고강도 콘크리트 기둥에서 적당한 연성과 강도를 확보하기 위해서는 일반강도 콘크리트에 비하여 더 많은 띠철근 체적비와 밀실한 띠철근 배근이 필요하였으며, 띠철근 배근 간격만을 제한하는 현재의 대한건축학회 내진 기준은 고강도 콘크리트 사용 시 띠철근의 배근 효과와 부재 연성 확보 측면에서 불안정하였으며, 띠철근을 콘크리트 강도와 연계하는 새로운 내진 기준이 필요한 것으로 나타났다.

**Keywords :** Column, Lateral ties, High-strength concrete, Ductility, Tie spacing, Eccentricity ratio

**핵심 용어 :** 기둥, 띠철근, 고강도콘크리트, 연성, 배근간격, 편심비

\* 정희원, 동원대학 건축과 조교수, 공학박사

\*\* 정희원, 중앙대학교 건축과 교수, 공학박사

E-mail : youngho@tongwon.ac.kr 031-760-0373

• 본 논문에 대한 토의를 2007년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2007년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

최근 산업기술의 발달과 인구의 도시 집중화, 각종 시설의 집약화 등으로 인하여 고층화되고 대형화된 건축물의 건설이 급증하고 있으며, 이에 따라 고강도 콘크리트의 사용도 크게 증가하고 있다. 고층 구조물에 고강도 콘크리트를 사용하면 철골 구조에 비하여 약 10-30% 정도의 원가를 절감<sup>(1)</sup>할 수 있을 뿐만 아니라, 기둥 단면의 축소로 인한 가용 바닥면적의 증가와 보통강도 콘크리트에 비하여 높은 초기 강도로 인한 공기 단축 등 많은 이점이 있다. 하지만 고강도 콘크리트는 높은 압축강도에 비하여 낮은 인장강도를 갖고 있어 매우 취약적으로 파괴되는 단점이 있고, 이러한 취약적인 파괴 특성은 콘크리트 강도의 증가에 비례하여 더욱 취약적으로 변화하는 특성을 갖고 있어 고강도 콘크리트를 구조물에 사용할 경우에는 많은 주의와 연구가 필요하다.

특히 고강도 콘크리트는 높은 압축강도의 효과를 극대화하기 위하여 주로 많은 축 하중을 받는 저층부 기둥 부재에 많이 사용하게 되는데, 지진과 같은 큰 횡 하중이 작용하거나 큰 편심 하중이 작용할 경우에는 고강도 콘크리트의 취약적인 파괴 특성으로 인하여 저층부의 고강도 콘크리트 기둥 부재는 연성적인 거동을 하지 못하고 낮은 변형에서 파괴에 이르게 되므로 이에 관한 많은 연구와 검토가 필요한 실정이다.

그러나 현재 사용되어지고 있는 내진기준<sup>(2)(3)(7)</sup>은 보통강도 콘크리트의 응력블록 개념과 보통강도 콘크리트를 사용하여 얻어진 실험결과를 바탕으로 보다 취약적인 고강도 콘크리트까지 확대 적용하고 있어, 그 안정성에 많은 의문이 남아 있는 실정이다. 이러한 문제점들은 최근의 중심 축하중을 받는 고강도 콘크리트 기둥의 실험에서 그대로 나타나, 고강도 콘크리트를 사용한 경우에는 락철근을 ACI기준에 만족하도록 배근하여도 필요내력과 연성을 확보하기 어렵다는 연구 결과<sup>(4)(5)(6)</sup>들이 보고 되고 있다.

그러나 이러한 실험 결과들은 대부분 중심 축 하중을 받는 실험을 통하여 나타난 결과들이므로 편심을 받고 있는 실제 구조물에 곧바로 적용할 수는 없는 실정이다. 더욱이 ACI에서는 고강도 콘크리트의 취약적

특성을 고려하여 락철근량을 콘크리트 강도에 연계하도록 규정하고 있고, 락철근 배근 간격 또한 조밀하게 배근하도록 규정하고 있으며, ACI 318-05 Code<sup>(2)(7)</sup>에서는 내진 관련 기준을 318-95 보다 강화하였으나, 국내 기준<sup>(2)(3)</sup>은 이러한 고강도 콘크리트 사용에 따른 락철근 보강 배근 규정 등 내진에 대한 대응이 미진한 편이다. 최근 우리나라에서도 잦은 지진이 발생하고 있어 우리나라도 지진의 안전지대가 아니라는 것이 확인되고 있는 것을 감안 할 때, 실제 구조물에서와 같이 편심을 받는 고강도 콘크리트 기둥 부재의 내력 및 연성 확보와 축력 - 모멘트 상관관계를 규명하기 위한 연구는 시급히 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 높은 압축강도의 활용도가 높은 작은 편심비(0.1, 0.15, 0.2)에서 콘크리트 압축강도와 락철근 체적비, 배근간격, 배근형태 등의 여러 변수들을 변화시켜, 편심하중을 받는 고강도 콘크리트 기둥에서 락철근 배근에 대한 내진 기준의 안전성을 정량적으로 평가하고, 고강도 콘크리트 기둥부재의 축력-모멘트 상관관계에 미치는 영향을 분석하여, 고강도 콘크리트를 사용한 기둥부재의 내진 기준 설정에 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1 시험체 제작 및 형상

편심 압축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 영향을 끼치는 콘크리트 강도와 락철근의 영향을 파악하기 위하여 콘크리트 강도, 락철근 체적비, 배근 간격, 배근방법, 편심비를 주요변수로 하여 총 24개의 시험체를 제작·실험하였다. 고강도 콘크리트의 압축강도는 사용성 및 시공성이 용이하고, 현재 보편적인 사용이 가시화되고 있는 50 MPa 급의 콘크리트로 정하였다.

시험체 일람을 Table 1에, 시험체의 형상 및 배근 상세를 Fig. 1에 각각 나타내었다.

시험체의 단면은 200mm×200mm이고, 높이는 800mm이며, 중앙부의 400mm구간을 시험구간으로 하였다.

Table 1 시험체 일람표

시험체명	f <sub>ck</sub> (MPa)	편심비	띠철근 상세				
			배근 간격	배근 형태	체적비	A <sub>sh</sub> / (A <sub>sh</sub> ) <sub>ACI</sub>	
L01S3	20	0.1	30mm	S형	0.023	2.83	
L01C3				C형	0.024	2.94	
L01S10			100mm	S형	0.007	0.85	
L01C10				C형	0.0073	0.88	
L15S3		0.15	30mm	S형	0.023	2.83	
L15C3				C형	0.024	2.94	
L15S10			100mm	S형	0.007	0.85	
L15C10				C형	0.0073	0.88	
L02S3		0.2	30mm	S형	0.023	2.83	
L02C3				C형	0.024	2.94	
L02S10			100mm	S형	0.007	0.85	
L02C10				C형	0.0073	0.88	
H01S3		50	0.1	30mm	S형	0.023	1.13
H01C3					C형	0.024	1.17
H01S10				100mm	S형	0.007	0.34
H01C10					C형	0.0073	0.35
H15S3	0.15		30mm	S형	0.023	1.13	
H15C3				C형	0.024	1.17	
H15S10			100mm	S형	0.007	0.34	
H15C10				C형	0.0073	0.35	
H02S3	0.2		30mm	S형	0.023	1.13	
H02C3				C형	0.024	1.17	
H02S10			100mm	S형	0.007	0.34	
H02C10				C형	0.0073	0.35	

L01S3

- 띠철근 간격 (10 : 100mm, 3 : 30mm)
- 띠철근 배근형태 (S : 외부띠철근만 배근  
C : 외부띠철근 + 내부 띠철근 배근)
- 편심거리 비(e/D) (01 : 0.1, 15 : 1.5, 03 : 0.3)
- 콘크리트 강도 L : 20, H : 50 (MPa).
- A<sub>sh</sub> : 띠철근 량, (A<sub>sh</sub>)<sub>ACI</sub> : ACI 내진기준 최소 띠철근 량
- 1MPa = 10kgf/cm<sup>2</sup>로 산정

양 단부의 비 실험 구간에는 편심축력으로 인한 국부파괴를 방지하기 위하여 띠철근 배근 간격을 조밀하게 하였으며, 고강도의 탄소섬유를 사용하여 양단부에 각각 5겹의 탄소섬유로 보강하였다. 콘크리트 피복은 띠철근의 중심으로부터 19mm로, 모든 시험체가 띠철근에 의하여 구속된 코아 콘크리트 구속 면적의 변화에 따른 영향을 제거하기 위하여 띠철근 중심 간 거리가 162mm×162mm로 일정하게 하였다. 콘크리트의 설계기준강도는 L시리즈가 20MPa, H시리즈가 50MPa로 하였으며, 주근은 SD400의 공칭 항복강도 400MPa, 8개를 사용하였다. 띠철근의 배근간격은 모

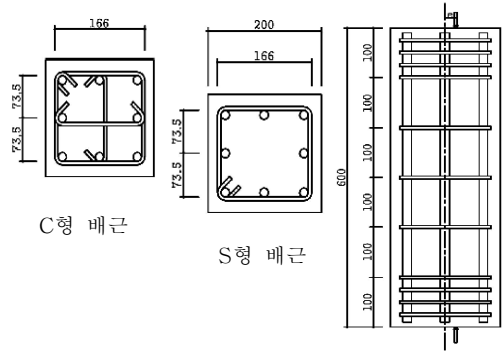


Fig. 1 시험체 형상 및 배근 상세

든 시험체가 대한건축학회의 내진 기준<sup>(1)</sup>(D/2)을 만족하도록 배근하였으며, 띠철근의 배근 간격에 의한 영향을 검토하기 위하여 배근 간격을 100mm(D/2)와 30mm(D/6.7) 두 가지 타입으로 배근하였다.

이때, 띠철근 배근간격 30mm는 콘크리트 강도와 띠철근의 체적비 및 띠철근의 항복강도에 의하여 띠철근 배근량을 결정하는 ACI 기준(D/4)을 모두 충족하였으며, 띠철근 배근간격 100mm는 ACI 기준을 만족하지 못하도록 하여 띠철근 배근에 대한 ACI 기준과 대한건축학회의 내진기준과의 차이를 평가할 수 있도록 하였다. 띠철근의 배근 형상은 내부 띠철근이 편심축력을 받는 콘크리트 기둥에 미치는 영향을 알아보기 위하여 외부 띠철근만 있는 S형과 Cross-Tie의 내부 띠철근을 가지는 C형으로 배근하였다. 또한 띠철근 배근 형상의 영향만을 파악하기 위하여 띠철근의 직경을 변화시켜 (S형: Φ6, C형: Φ5) 띠철근 배근 형상이 변화하여도 띠철근의 체적비는 거의 유사하도록 배근하였다. 띠철근의 항복강도는 600MPa급을 사용하였으며, 끝단 구부림 각은 135°, 정착길이는 6d이상으로 하였다. 내부 띠철근의 Cross - Tie도 양단에 135°의 구부림 각을 주어 배근하였다.

편심거리 비는 콘크리트 기둥에서 고강도 콘크리트의 높은 압축강도로 많은 축 하중을 받을 수 있지만 취성 파괴라는 위험한 특성이 나타나는 낮은 편심거리 비에서, ACI 기준에서 편심의 영향을 고려하지 않아도 되는 경계선인 편심 거리 비 0.1과 0.15, 0.2로 가력 하였다.

## 2.2 가력 및 측정방법

시험체는 거푸집 탈형 후, 비 실험 구간 양 단부에 150mm씩 5겹의 고강도 탄소섬유를 감아 편심하중으로 인한 국부 파괴를 방지하였으며, 균열 발생 및 파괴양상을 자세히 관찰할 수 있도록 흰색 페인트로 도색 하였다. 가력은 중앙대학교 구조 실험실 소재 3000kN 용량의 만능 시험기(U.T.M.)를 사용하여 0.5mm/min의 속도의 변위제어 방식으로 편심 가력 하였다. 시험체의 중앙 실험구간에서 발생하는 축 방향의 변위량을 측정하기 위해 시험체 중앙 시험구간 400mm 위치에 사각 강재를 대어 볼트로 서로 긴결 시킨 후, 여기에 전기식 변위계(LVDT)를 4면에 장착하여 변형율을 측정하였다. 모멘트 산정을 위한 수평 변위는 시험체 뒷면에 3개의 전기식 변위계(LVDT)를 설치하여 측정하였다. 인장주근과 압축측 주근 및 압축측 중앙부띠철근에 Wire Strain Gauge를 사용하여 변형율을 측정하였으며, 압축 측의 중앙부 연단에는 Concrete Gauge를 사용하여 변형율을 측정하였다.

모든 실험 데이터는 데이터 로거를(TDS-303) 사용하여 컴퓨터에 저장하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 일반적인 파괴성상

대부분의 시험체는 초기균열 발생 전까지는 탄성적인 거동을 보이다가 압축 측 단면의 중앙부 위치에서 초기 압축 균열이 발생하였으며, 초기균열 발생 후 균열이 점점 진전되어 시험체 압축 측 전체 혹은 측면으로까지 확산되었다. 대개 압축 측 단부에서 시작되는 균열의 진전은 할열 균열 양상을 보이면서 압축 측 피복콘크리트의 탈락이나 압괴를 유발하고, 이로 인한 단면감소로 인장 측에 휩 균열이 발생과 이에 따른 급속한 단면결손으로 인하여 최대하중 이후에 비탄성적인 거동을 보이면서 내력이 감소하였고 최종 파괴되었다.

압축 측 콘크리트는 고강도 콘크리트 시험체의 경우, 파괴 시 고강도 콘크리트의 취성적인 특성으로 인하여 급작스런 파괴양상을 보였으며, 피복콘크리트의



Fig. 2 시험체 설치 모습

박리는 고강도 콘크리트의 경우 압축면의 전면에 걸쳐 순간적으로 발생하였으나, 일반 강도 콘크리트의 피복박리는 시험체의 중앙 부분에서 발생하여 내력의 저하와 함께 서서히 압축 측 전체 면적으로 퍼져 나갔다.

고강도 콘크리트 부재에서 피복 콘크리트의 박리 현상이 더 뚜렷한 원인으로는 본 연구자의 기존의 연구<sup>(5)</sup>인 중심 축 하중을 받는 콘크리트 기둥의 시험에서도 뚜렷하게 나타났는데 이는 코어콘크리트부분과 피복콘크리트 부분의 응력의 차(띠철근의 구속 작용 및 건조수축 차이에 의해)로 인해 그 경계면에서 생긴 전단균열과 콘크리트 내부의 균열이 분산되지 않고 집중되는 고강도 콘크리트의 재료적인 특성에 기인한다고 판단된다.

최종 파괴 시 압축 측 철근의 좌굴과 띠철근의 파단 현상이 발생하였으며, 띠철근의 파단은 내부 띠철근이 있는 시험체에서는 내부 띠철근이 먼저 파단되었고, 외부 띠철근만 있는 시험체에서는 외부 띠철근의 파단이 관찰되었다. 띠철근의 파단이 발생하지 않은 H01C10 같은 시험체에서는 내부 띠철근 정착부의 135°후크가 풀려 버리는 현상이 발생하였다.

콘크리트 기둥의 파괴는 최대 하중을 지난 후, 곡률이 증가하면서 파괴에 이르게 된다. 일반 강도 콘크리트 기둥보다 고강도 콘크리트 기둥에서 급격한 내력 저하와 함께 파괴가 일어나는 양상이 관찰되었으며, 특히 고강도 콘크리트에서 띠철근이 ACI 기준에 미치지 못하는 100mm(D/2)간격으로 배근된 시험체에서

Table 2 실험결과 일람표

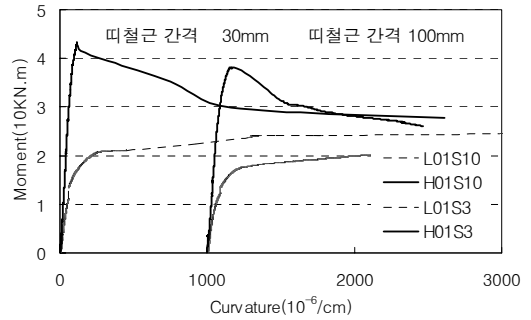
시험체명	f <sub>ck</sub> (MPa)	A <sub>sh</sub> / (A <sub>sh</sub> ) <sub>ACI</sub>	최대내력		항복 곡률	곡률 연성비	
			하중 (10KN)	모멘트 (10KN·m)			
L01S3	19.9	2.83	97.4	2.06	142.1	∞	
L01C3		2.94	96.5	2.27	146.2	∞	
L01S10		0.85	81.6	1.74	137.8	∞	
L01C10		0.88	83.5	2.16	141.4	∞	
L15S3		2.83	82.7	2.77	147.5	∞	
L15C3		2.94	84.9	2.83	151.6	∞	
L15S10		0.85	73.8	2.43	142.6	12.3	
L15C10		0.88	75.5	2.38	145.4	∞	
L02S3		2.83	69.2	3.28	147.2	∞	
L02C3		2.94	87.8	3.87	147.8	∞	
L02S10		0.85	63.9	2.83	148.1	8.4	
L02C10		0.88	65.6	2.98	147.8	11.9	
H01S3		48	1.13	162	4.32	86.5	9.0
H01C3			1.17	169.9	4.63	98.7	∞
H01S10			0.34	155.3	4.02	93.6	6.4
H01C10			0.35	158	3.8	91.9	6.9
H15S3	1.13		151	4.75	99.3	∞	
H15C3	1.17		152.3	5.68	102.8	∞	
H15S10	0.34		135	4.29	101.6	5.1	
H15C10	0.35		138	4.51	103.5	5.1	
H02S3	1.13		136.6	5.5	106.4	17.7	
H02C3	1.17		139	5.64	103.2	21	
H02S10	0.34		124.6	5.36	102.8	6.9	
H02C10	0.35		124	5.06	105.8	5.1	

· 곡률연성비가 ∞인 시험체는 실험 종료시까지 모멘트가 최대모멘트의 80%이하로 내려가지 않은 시험체 임.  
· 1 ton = 10KN으로 산정

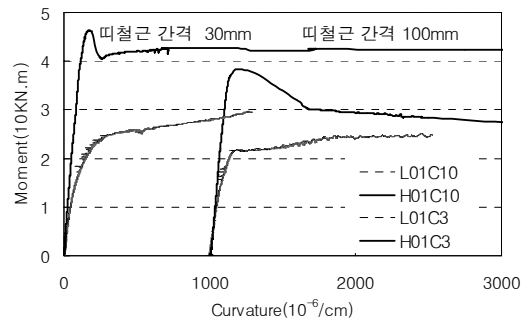
의 내력 저하가 급속하게 나타나는 현상이 관찰되었다. Table 2에 실험결과 일람을 나타내었다.

### 3.2 콘크리트 강도의 영향

Fig. 3에 콘크리트 압축강도가 19.9MPa에서 48 MPa로 변할 경우에 각 시험체의 모멘트(M)-곡률(φ) 관계를 나타내었다. 동일한 띠철근과 동일 편심 거리 비에서 콘크리트 강도가 증가할수록 최대 모멘트는 콘크리트 자체 강도의 증가에 의하여 증가하였다. 그러나 최대 모멘트 점 이후의 거동은 보통강도 콘크리트는 최대 변곡점 이후 모멘트가 유지되거나 완만히 상승 또는 저하되는 연성적인 거동을 보이고 있으나, 콘크리트 강도가 증가하면 최대 모멘트 이후의 모멘트가 급격히 저하되는 취성적인 파괴거동을 보이고 있다.



(a) 띠철근 배근형태 S형



(b) 띠철근 배근형태 C형

Fig. 3 콘크리트 강도의 변화에 따른 M - φ 관계

이러한 거동은 편심 거리비, 띠철근의 배근형태, 띠철근 량이 변화하여도 변수들의 변화에 따른 최대 모멘트 및 모멘트 감소 기울기만이 변화할 뿐 그 경향은 거의 유사하게 나타났다. 이는 콘크리트 자체의 재료적인 특성에 기인한 것으로, 콘크리트는 강도가 증가할수록 콘크리트 내부의 미세 균열의 절대량은 작아지며, 또한 작용하중의 증가에 따른 미세 균열 및 체적 팽창 증가비도 감소하게 된다.

따라서 고강도 콘크리트는 작용하중이 증가할수록 미세 균열의 수는 많이 증가하지 않고, 기존의 미세 균열이 팽창하여 파괴에 이르게 되는 매카니즘을 갖고 있어 보통강도 콘크리트에 비하여 고강도 콘크리트는 균열의 수가 적고, 덜 팽창하여 띠철근 배근에 의한 구속효과는 감소하게 되고, 피복의 박리도 기존 균열 폭의 증가에 따라 넓은 면적에서 갑작스럽게 발생하게 되므로 최대 모멘트 이후 휨 강도 감소가 급격히 나타나 파괴에 이르게 되는 취성적인 거동을 보이는 것이라 판단된다.

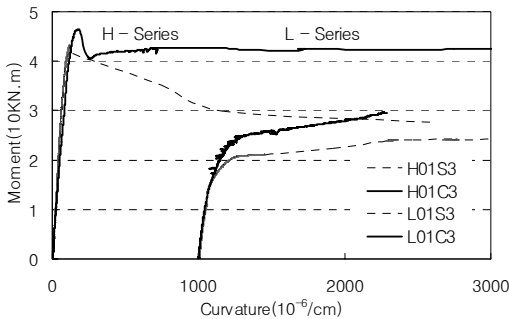
### 3.3 띠철근 배근형태의 영향

Fig. 4에 편심거리비 0.1에서, 동일 띠철근 체적비, 동일 띠철근 배근간격의 철근콘크리트 기둥의 구조적 거동에 미치는 띠철근 배근형태의 영향을 나타내었다. 편심 거리비가 0.1에서, 띠철근 배근간격 및 체적비가 ACI에서 요구하는 기준을 만족하는 배근간격 30mm(D/6.7)로 배근된 시험체에서는 양단 135°의 폭각이 있는 내부 띠철근을 배근한 C형 시험체가 외부 띠철근만 있는 단순 배근형태로 배근한 S형 시험체에 비하여 최대 모멘트가 증가하였으며, 최대 모멘트 이후의 거동 또한 연성적으로 거동하는 것으로 나타났다. 그러나 ACI에서 요구하는 띠철근 배근 기준을 만족하지 못하는 배근간격 100mm로 배근된 시험체에서는 띠철근 체적비가 ACI 요구기준에 거의 근접 ( $A_{sh}/A_{sh(ACI)} : 0.86 \sim 0.88$ ) 하는 보통강도 콘크리트의 경우에는 내부 띠철근을 배근한 C형의 시험체가 외부 띠철근만 배근된 S형의 시험체보다 모멘트가 증

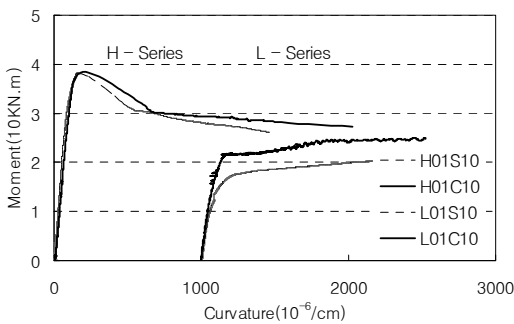
가하고, 최대 모멘트 점 이후에도 보다 연성적으로 거동하는 띠철근 배근형태에 따른 영향이 나타나고 있으나, ACI 요구기준과 많은 차이( $A_{sh}/A_{sh(ACI)} : 0.34 \sim 0.35$ )를 보이는 고강도 콘크리트의 경우에는 띠철근 배근 형태에 따른 콘크리트 기둥의 거동에 별다른 차이가 관찰되지 않았다.

이처럼 ACI 요구기준과 많은 차이를 보이는 고강도 콘크리트 기둥에서 띠철근 배근형태에 따른 콘크리트 기둥의 거동에 차이가 발생하지 않은 이유는 띠철근 배근이 ACI 요구기준과 많은 차이가 나는 배근에서는 (고강도 콘크리트의 경우와 같이) 띠철근 배근에 따른 코어 콘크리트 구속 효과가 거의 발생하지 않았기 때문이라 사료된다.

Fig. 5에 편심거리비 0.2에서, 동일 띠철근 체적비, 동일 띠철근 배근 간격에서 철근콘크리트 기둥의 구조적 거동에 미치는 띠철근 배근형태의 영향을 나타내었다. 띠철근 배근 형태에 의한 영향은 전체적으로 편심 거리비 0.1의 시험체에 비하여 매우 작게 나타나, 띠

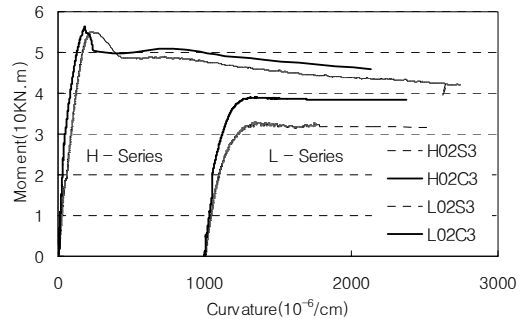


(a) 띠철근 배근간격 : 30mm

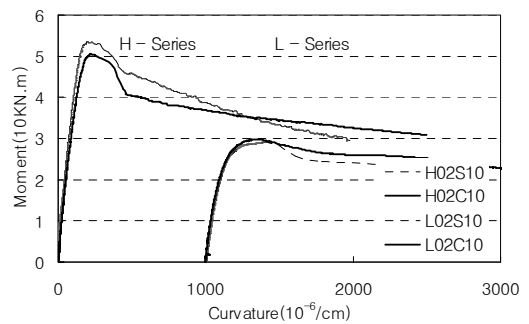


(b) 띠철근 배근간격 : 100mm

Fig. 4 띠철근 배근형태에 따른 M -  $\phi$  관계 (편심 거리비 : 0.1)



(a) 띠철근 배근간격 : 30mm



(b) 띠철근 배근간격 : 100mm

Fig. 5 띠철근 배근형태에 따른 M -  $\phi$  관계 (편심 거리비 : 0.2)

철근 구속력이 큰 L-시리즈의 30mm로 배근된 시험체를 제외하고는 띠철근 배근 형태에 따른 영향을 크게 관찰할 수 없었다. 이것은 편심거리비가 커짐에 따라 압축력을 받는 코어 콘크리트의 면적이 감소하게 되므로, 띠철근에 의한 코어 콘크리트 구속 효과가 감소하기 때문이라 사료된다.

이와 같이 띠철근 배근 간격 및 띠철근 배근 형태에 따른 영향은 편심거리비가 작은 높은 축력을 받는 기둥에서 그 영향이 매우 크게 나타나므로, 높은 축력을 받는 기둥에 주로 사용하는 고강도 콘크리트 기둥의 경우에는 대한건축학회의 내진설계에 대한 띠철근 배근 기준(콘크리트 강도에 관계없이 배근 간격만을 제한)을 보다 강화하고, ACI의 기준과 같이 콘크리트 강도가 증가하면 필요 띠철근 체적비를 증가시키는 방안으로 기준을 강화하여야 할 것으로 사료된다. 또한 현재 현장에서 그 시공의 어려움 등으로 그 활용이 도외시 되고 있는 내부 띠철근 배근을 고강도 콘크리트 사용 시에는 사용하는 방안도 같이 연구되어야만 고강도 콘크리트 기둥의 안전성을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.4 띠철근 배근간격의 영향

Fig. 6에 동일 편심 거리 비에서 띠철근 배근간격이 철근콘크리트 기둥의 구조적 거동에 미치는 영향을 나타내었다. 모든 시험체의 띠철근 배근 간격은 대한건축학회의 내진 기준은 만족하도록 배근되었다.

하지만 ACI 기준에 대하여는 띠철근 배근간격 30mm는 ACI 기준을 만족하였으나 띠철근 배근간격

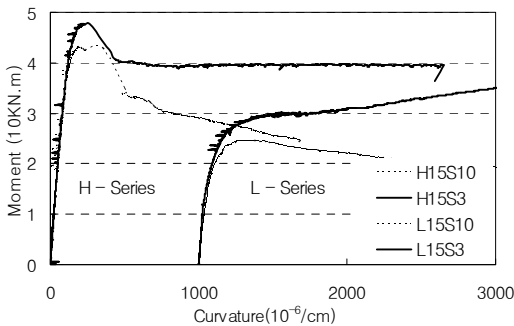


Fig. 6 띠철근 배근간격에 따른 M - φ 관계

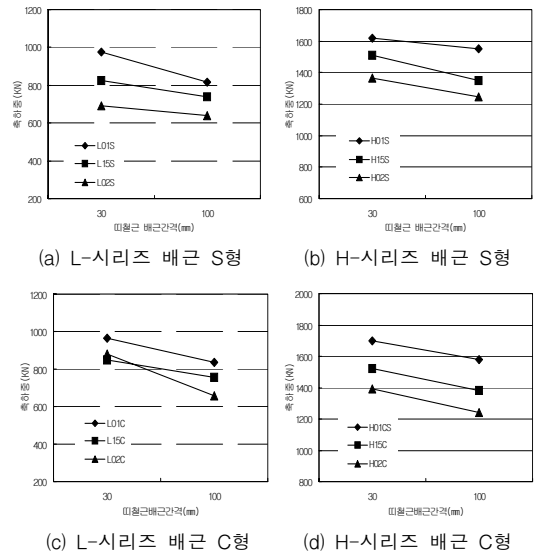


Fig. 7 축하중과 띠철근 배근간격과의 관계

100mm는 띠철근 배근간격 및 띠철근 체적비에서 ACI 기준을 만족하지 못하였다.

띠철근 배근 간격과 띠철근 체적비가 ACI 기준을 만족하는 30mm로 배근된 시험체에서는 모든 시험체가 최대 모멘트 점을 지난 이후에도 연성적인 거동을 보였으며, 특히 ACI 기준에서 요구하는 띠철근 체적비보다 2.83배 초과하게 배근된 L-시리즈의 시험체에서는 항복 모멘트 점을 지난 후에도 계속 모멘트가 상승하는 거동을 나타내었다.

그러나 ACI 기준을 만족하지 못하는 배근간격 100mm로 배근된 시험체에서는 최대 모멘트 점을 지난 후 내력이 급격히 떨어지는 취성적인 거동을 보였으며, 특히 ACI 기준에서 요구하는 띠철근 체적비의 0.34배 배근된 고강도 콘크리트에서는 그러한 취성적인 거동이 더욱 뚜렷하게 나타났다.

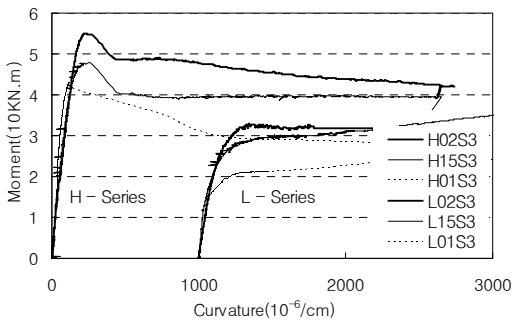
Fig. 7에 축하중과 띠철근 배근간격과의 관계를 나타내었다. 띠철근 배근 간격이 100mm에서 30mm로 감소함에 따라 (띠철근 체적비는 0.007에서 0.023으로 증가) 최대 내력은 10%에서 최대 20%까지 증가하였으며, 이러한 띠철근 배근간격의 변화에 따른 최대 내력의 증가효과는 고강도 콘크리트보다 보통강도 콘크리트에서 더 크게 나타났다. 이것은 콘크리트 강도가 증가할수록 균열에 의한 체적 팽창률은 감소함으

로 같은 띠철근 배근간격이라면 팽창률이 높은 보통강도 콘크리트에서 더 큰 코아 콘크리트 구속력을 발휘하기 때문이라 판단된다.

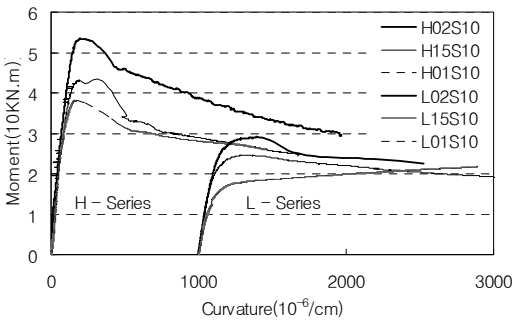
### 3.5 편심 거리비의 영향

Fig. 8에 동일 띠철근 배근간격에서 편심 거리비의 변화가 철근콘크리트 기둥의 역학적 거동에 미치는 영향을 나타내었다. 편심 거리비가 증가할수록 편심 모멘트의 증가로 부재의 최대 휨 모멘트는 증가하였으나, 띠철근 배근에 의한 모멘트 증가 효과는 감소하였다. L-시리즈의 띠철근 배근간격 30mm의 시험체에서 편심 거리비가 0.1로 작을 경우에는 시험체의 최대 모멘트는 시험 종료시까지도 계속적으로 증가하는 매우 연성적인 거동을 보였으나, 같은 배근 간격의 H-시리즈에서는 훨씬 취성적인 거동을 나타내었다.

그러나 편심거리비가 증가하면 띠철근 배근간격에 의한 영향은 감소하여, 편심 거리비 0.2에서는 최대 모멘트의 지속적인 증가 현상은 관찰되지 않았다. 이것



(a) 띠철근 배근간격 : 30mm



(b) 띠철근 배근간격 : 100mm

Fig. 8 편심 거리비 변화에 따른 M -  $\phi$  관계

은 편심 거리비가 클수록 띠철근의 구속에 의하여 내력 및 연성 증가효과가 나타나는 압축력을 받는 코아 콘크리트 부분이 감소하기 때문이라 사료된다.

### 3.6 곡률 연성 비

Fig. 9에 극한곡률과 곡률 연성비의 일반적인 개념을 나타내었다. 항복 곡률은 모멘트-곡률 곡선에서 인장주근이 항복하였거나, 콘크리트 압축연단변형도가 0.2%일 때의 점 A( $\phi_y, M_y$ )와 원점을 연결하는 직선과 최대 모멘트 점의 수평선과 만나는 점 B에서의 곡률( $\phi_u$ ) 정의하였다. 극한 곡률의 정의는 Watson et al<sup>(8)</sup>의 경우 모멘트 내력이 이론적 최대 모멘트 ( $M_{max}$ )의 80%로 감소했을 때 또는 모멘트 내력이  $0.8M_{max}$ 까지 떨어지기 전에 띠철근이 파단 될 때 중 먼저 선행되는 경우의 곡률로 정의하고 있다.

Sheikh et al<sup>(9)(10)(11)</sup>의 경우에는 최대 모멘트의 80%까지 떨어졌을 때의 곡률을 극한곡률로 정의하고 있다. 본 연구에서는 Sheikh et al의 극한 곡률 개념을 이용하여 기둥 부재의 연성적인 거동 능력을 평가하는 하나의 지표인 곡률 연성 비( $\mu_\phi$ )를 산정하였다.

$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (1)$$

일반적으로 항복곡률과 극한곡률의 정의 방법에 따라 조금씩 차이가 있기는 하지만 Kent & Park 및 Sheikh et al등이 제안하였듯이 일반적으로 중진(中

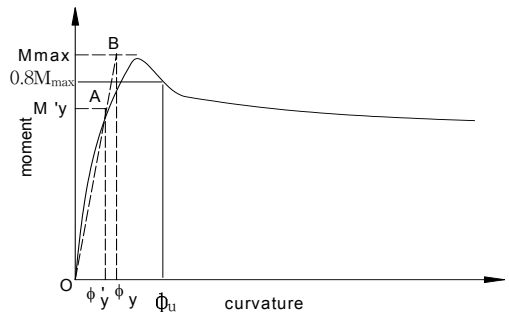


Fig. 9 항복, 극한 곡률의 일반 개념 및 정의



震)에 충분히 견딜 수 있는 곡률연성비로 16이상이 필요하다고 말하고 있다.

보통강도 콘크리트를 사용한 L-시리즈 시험체의 평균적인 항복 곡률은 190.6이고 고강도 콘크리트를 H-시리즈 시험체들의 평균 항복 곡률은 130.7로 나타나 보통강도 콘크리트를 사용한 L-시리즈의 시험체가 고강도 콘크리트를 사용한 H-시리즈의 시험체들에 비하여 인장주근이 항복하거나 콘크리트의 연단 압축 변형도 0.2% 이후에도 보다 연성적으로 거동하는 것으로 나타났다. 이러한 현상이 일어나는 이유는 보통강도 콘크리트에서 락철근에 의한 구속효과가 크게 나타나기 때문이라 사료된다.

부재의 연성적인 거동을 파악하기 위한 곡률 연성비에서는 락철근의 체적비 및 배근간격이 ACI기준에 적합하게 배근된 배근간격 30mm로 배근된 L-시리즈 시험체에서는 모든 시험체의 곡률 연성비가 16이상으로 연성적으로 안전하게 거동하는 것으로 나타났다. H-시리즈의 시험체에서도, 편심 거리비 0.1에서는 락철근의 배근 형태가 단순배근형태로 배근된 1개의 시험체를 제외하고는 모든 시험체가 곡률 연성비 16을 초과하였으나 L-시리즈 시험체들에 비하여는 취성적으로 거동하는 것으로 나타났다.

하지만 락철근의 체적비 및 배근간격이 대한건축학회의 기준은 충족하지만 ACI 기준에는 적합하지 않게 배근된 배근간격 100mm로 배근된 고강도 콘크리트를 사용한 H-시리즈 시험체는 모든 시험체가 곡률 연성비 16이하로 취성적으로 거동하는 것으로 나타났으며, 보통강도 콘크리트를 사용한 L-시리즈에서도 곡률 연성비 16을 확보하지 못하는 시험체들이 나타났다. 위와 같은 결과를 감안할 때, 현재 대한건축학회의 내진설계에 대한 락철근 상세기준은 고강도 콘크리트에 그대로 적용하기에는 무리가 있는 것으로 판단되며, ACI 기준도 고강도 콘크리트의 연성적인 거동의 확보라는 측면에서는 보다 안정적인 방향으로의 검토가 필요하리라 판단된다.

Fig. 10에 곡률 연성비의 비교가 가능한 편심 거리비 0.2의 시험체의 콘크리트 강도 변화에 따른 곡률연성비의 변화를 나타내었다. 콘크리트 강도가 증가할수록 부재는 취성적으로 거동하여 곡률 연성비는 콘크리

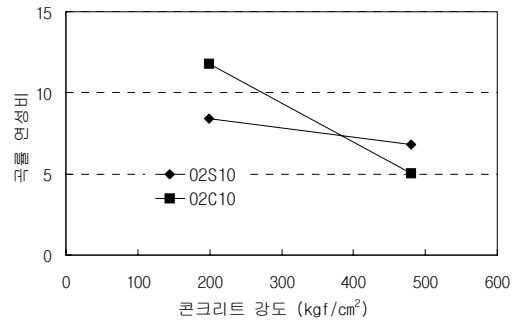


Fig. 10 곡률 연성비와 콘크리트 강도와의 관계

트 강도에 반비례하여 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

콘크리트 강도, 편심거리비, 락철근 배근간격, 락철근 배근형태를 변수로 총 24개의 시험체를 시험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 편심거리비, 락철근 배근간격, 락철근 배근형태 등에 관계없이 콘크리트 강도가 증가할수록 기동은 최대모멘트 이후 취성적으로 거동하였다.
- 2) ACI의 기준(D/4)을 만족하는 락철근 배근간격 30mm(D/6.7)로 배근된 시험체의 경우, 내부 락철근을 가지는 C형의 시험체가 외부 락철근만 있는 S형 배근 시험체에 비하여 최대 모멘트가 증가하였으며, 최대점 이후에도 보다 연성적으로 거동하는 것으로 나타났으나, ACI의 기준에 미달하는 락철근 배근간격 100mm(D/2)의 시험체에서는 락철근 배근형태에 의한 영향은 크게 나타나지 않았으며, 특히 ACI에 기준에 많이 미달하는 H-Series에서는 락철근 배근형태에 의한 영향은 거의 관찰되지 않았다. 이것은 ACI 기준에 미달할 경우 락철근 배근에 따른 코아 콘크리트의 구속 효과가 급격히 감소하기 때문이라 사료된다.
- 3) 락철근 배근간격이 100mm(D/2)에서 30mm (D/6.7)로 줄어들 경우, 최대 내력은 10~20% 증가하였으며, 최대 내력 이후에도 보다 연성적으로 거동하였다. 이러한 현상은 콘크리트 강도가 낮은 L-Series

에서 크게 나타났다.

- 4) 편심거리비가 증가할수록 띠철근 배근에 의한 모멘트와 연성의 증가효과는 감소하였다. 이것은 편심거리비가 증가할수록 압축력을 받는 코어 콘크리트의 면적이 감소하여 띠철근에 의한 코어 콘크리트의 구속효과가 감소하기 때문이라 판단된다.
- 5) 곡률 연성비는 콘크리트 강도에 반비례하여 콘크리트 강도가 증가할수록 급격히 감소하였다. 특히 고강도 콘크리트인 H-Series에서 띠철근 배근간격이 ACI 기준을 만족하지 못하는 100mm(D/2) 시험체에서는 모든 시험체의 곡률연성비가 16이하로 나타나 연성적인 측면에서 안전성을 확보하지 못하였다.
- 6) 고강도 콘크리트 사용 시 대한건축학회의 내진기준(D/2)은 띠철근의 배근 효과와 부재 연성 확보 측면에서 불안전하였으며, 띠철근 배근간격을 보다 조밀하게 하고 띠철근 체적비를 콘크리트 강도와 연계하는 규정하는 새로운 내진 기준이 필요한 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구(KRF-2003-003-D00504)되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 신성우, "국내 건설 산업에서의 고강도-고성능 콘크리트 활성화 방안", 대한건축학회 국제세미나 논문집, 2003. 1. pp.135-178.
2. 대한건축학회, "통합 설계법에 의한 콘크리트 구조 설계 기준 및 설계예제집", 2004.
3. 한국콘크리트학회, "건설교통부제정 콘크리트구조설계 기준", 2003.
4. 이영호, 정봉호, 정현수 "중심 축하중을 받는 철근 콘크리트 기둥의 띠철근 구속효과에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 제16권 제12호, 2000. 12. pp.3-10.
5. 이영호, "축하중을 받는 띠철근으로 구속된 고강도 콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 관한 실험적 연구", 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 2000.
6. 양근혁, 이영호, 정현수 "띠철근으로 구속된 철근 콘크리트 기둥의 강도증가효과 및 연성", 대한건축학회 논문집, 제16권 제10호, 2000. 10. pp.33-40.
7. ACI, Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-05), American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 2005.
8. Watson, S., and Park, R., "Simulated Seismic Load Tests on Reinforced Concrete Columns", Journal of Structural Engineering, ASCE, V.120, No. 6, June, 1994. pp.1825-1849.
9. Sheikh, S.A., and Yeh, C.C., "Tied Concrete Columns under Axial Load and Flexure", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 10, Oct. 1990. pp.2780-2800.
10. Sheikh, S.A., and Yeh, C.C., "Analytical Moment-Curvature Relations for Tied Concrete Columns", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 2, Feb. 1992. pp.529-544.
11. Sheikh, S.A., and Khoury, S.S., "Confined Concrete Columns with Stubs", ACI Structural Journal, Vol. 90, No. 4, July-Aug. 1993. pp.414-431.
12. 池田 崇·崎野健治·孫 玉平, "横補強筋の配筋形式が高強度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.
13. 崎野健治·孫 玉平·田 福勝·大庭央久·池之野 陽一, "拘束RC柱の安定限界軸力に關する研究(その1,2,3)", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1997年 9月, pp.59-64.

(접수일자 : 2006년 7월 13일)