

강관구속 고강도철근콘크리트 기둥의 내진성능

Seismic Performance of High-Strength RC Short Columns Confined in Rectangular Steel Tube

한 병 찬* 윤 석 천** 정 수 영**
Han, Byung-Chan Yun, Suk Chun Chung, Soo-Young

ABSTRACT

A new method to prevent reinforced concrete columns from brittle failure. The method is called transversely reinforcing method in which only the critical regions are confined in steel tube. The steel tubes can change the failure mode of the latter columns from the shear to the flexure. The steel tubes also increase the compressive strength, shear strength and deformation capacity of the infilled concrete.

The following conclusions are reached on bases of the study on the seismic performance of the high-strength RC rectangular short columns confined in steel tube with shear span to depth ratio of 2.0

The brittle shear failure of high-strength reinforced concrete short columns with large amount of longitudinal bars, which cannot prevented by using the maximum amount of welded hoops, can be prevented by using the steel tube which confines all the concrete inclusive of cover concrete.

High-strength RC short columns confined in rectangular steel tube provided excellent enhancement of seismic performance but, found that plastic buckling of the steel tube in the hinge regions tended to occur when the columns were subjected to large cyclic lateral displacements. In order to prevent the plastic buckling when the columns lies on large cyclic lateral displacements, the steel ribs were used for columns. Tests have established that the columns provide excellent enhancement of seismic performance of inadequately confined columns.

1. 서 론

고층구조시스템으로서의 철근콘크리트 구조의 강도와 구조성능을 확보하려는 일련의 연구에 있어서는, 건축물이 고층화되어짐에 따라 수직하중 보다는 횡하중의 영향이 더 큰 구조적인 중요성을 갖게 된다. 특히, 지진등과 같은 단기의 반복횡하중은 급격한 단면의 손실 및 피해를 일으키게 되기 때문에, 철근콘크리트 내진구조에 있어서 횡하중 및 횡변위를 제어할 수 있는 기둥이나 내진벽과 같은 내진요소에 대하여, 보다 우수한 내진성능을 갖게 하기 위한 개발과, 이에 대한 정확한 내진성능평가가 중요한 연구분야가 되고 있다.

특히, 철근콘크리트 고층구조물에서 모멘트연성골조의 경우는 고강도콘크리트 및 고강도급의 철근을 구조재료로서 이용하려는 많은 연구가 수행되고 있으며, 이러한 구조시스템 중, 기둥의 구조적인 강도와 내진성능(Seismic Performance)에 관한 연구를 통하여 다음의 문제점이 제시되고 있다.

고강도콘크리트를 이용한 기둥의 경우, 수직하중에 대하여 단면을 감소시킬 수 있는 잇점이 있으나, 전단스팬비가 작은 최저층 기둥의 경우에는 횡하중에 의한 급작스런 전단파괴와 함께 건물의 급작스런 파괴모드를 형성시킬 가능성이 높다. 이를 해결하기 위한 방안으로써, 연성적인 휨항복이 부재의 양단에 발생되도록 고강도급의 횡보강철근을 사용하여도 고밀도의 철근사량 사용을 피할 수 없어 콘크리트의 타설 및 공사의 어려운 점이 있다.

* 충남대학교 건축공학과 박사과정

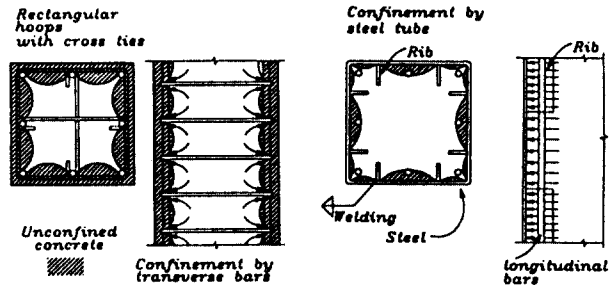
** 충남대학교 건축공학과 공학박사 교수

또한, 대지진시의 고층화에 따른 적재하중, 전도모멘트의 증가 및 증가된 횡력에 의해 소성힌지(Plastic Hinge)가 형성될 것으로 예측되는 최저층부의 기둥은 다양한 크기의 축력, 휨모멘트 그리고, 전단력을 경험하게 되며, 특히 고강도재료를 사용한 구조부재에 있어서는 구성재료의 취성적인 특성으로 인하여, 이러한 응력상태에서의 고강도재료를 사용한 기존의 철근콘크리트기둥의 내진성능은 다소 의문시되고 있다.

따라서, 예기치 않은 대지진에 대하여 부재의 강도 및 강성의 급격한 저하없이 구조물에 요구되는 연성이 충분히 확보될 수 있으며, 파괴시까지 큰 비탄성변형에 저항할 수 있는 변형에너지소산능력을 확보할 수 있는 큰 내력과 변형능력을 갖는 새로운 기둥부재의 개발 및 내진성능의 평가에 대한 연구필요성이 대두되고 있다.

1.1 강관구속 고강도RC기둥의 구조개념

대지진에 대하여 우수한 연성능력과, 취성전단파괴에 저항할 수 있으며, 우수한 시공성능을 확보할 수 있을 것으로 기대되는 새로운 구조방법으로써 그림 1과 같이, 강관으로 콘크리트를 구속하여, 콘크리트의 전단에 대한 취성적인 파괴를 억제시키는 방법을 제안할 수 있다.



(a) Reinforced Concrete Columns (b) Confined by Steel Tube
Fig.1. Structural Behavior Comparison of Hoops and Steel Tube

강관으로 구속한 고강도철근콘크리트기둥(이하 강관구속 고강도RC기둥)은 강관에 의한 콘크리트의 구속에 의하여 기존의 철근콘크리트기둥과 다른 역학적 특성을 보일 것으로 판단되는데, 이는 콘크리트의 균열 및 대변형시 피복콘크리트의 박리 등에 따른 내력저하 특성 등을 강관이 억제시키기 때문이며, 이하의 여러 가지 다른 역학적 특성을 가질 가능성이 있다.

- 1) 기존의 전단보강근을 강관으로 대체함으로써, 강관의 전단저항성능과 콘크리트의 균열억제에 의한 전단저항성능을 극대화 할 수 있다.
- 2) 고층건물의 경우 층간변위각이 증가하면, 부착강도의 상실에 의한 휨강도의 저하가 예상되지만, 강관구속 고강도RC기둥의 경우에는 강관이 휨강도에 일부 저항할 것으로 기대된다.
- 3) 강관은 전단파괴와 부착할별 파괴를 억제시킬 뿐만 아니라, 구속효과에 의하여 고강도콘크리트의 취성을 억제하고 압축강도와 연성을 증진시키므로써 고축력시에 기둥의 안정된 거동을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

실질적으로 강관으로 콘크리트를 구속하므로써 기둥의 전단강도를 증가시키는 방법은 새로운 것은 아니다. 1987년 Tomii, Sakino, 그리고 Xiao등은 건축구조물에서 전단파괴를 억제할 수 있는 원형강관으로 콘크리트를 구속한 강관구속 RC기둥에 관하여 연구를 수행하였는데, 강관과 콘크리트의 부착응력을 제거함으로써 강관이 단지 철근콘크리트기둥에서의 횡보강근(Hoop)의 역할만을 하도록 하여 안정된 거동을 할 수 있다는 사실을 발표하였다⁶⁾. 그러나, 각형강관으로 콘크리트를 구속하는 방식을 사용하였을 경우에 있어서는 폭두께비가 작은 각형강관을 이용하여도 만족할 만한 성상을 보이지 못하고 있음을 알 수 있으며, 이러한 이유는 대변형 하에서 기둥의 소성힌지 부분에 콘크리트의 균열이 진전되면, 외부로 팽창하는 콘크리트에 의하여 강관이 부담하는 전단내력이 감소하게 되고 이에 따라 부재의 변형능력이 급격히 감소하기 때문으로 판단된다.

1994년, Priestley등은 교량의 기둥부분에 있어서는 전단강도 향상을 목적으로한 강관구속 RC기둥의 연구를 발표하였는데⁷⁾, 기존의 철근콘크리트기둥에 원형강관을 설치하고, 내부를 콘크리트로 충전시키는 방법을 제안하였으며, 현저한 전단강도의 증가 및 큰 변형성능을 발휘하는 것으로 보고하였다. 그러나, 이러한 방법은 접합부 결구방식에 있어서 시공의 복잡함으로 인하여, 대지진시 전단성능 및 변형성능이 구조물의 안정적인 기둥을 결정하는 교각과 같은 부분에는 유용하다 하더라도 건물에서의 골조구성에 있어서는 여러가지 문제점을 가지고 있을 것으로 예상된다.

1.2 연구내용 및 목적

이러한 여러 가지 문제점에 대하여 본 연구에서는 강관구속 고강도RC기둥부재 개발과 내진성능 평가를 목적으로 다음과 같은 연구내용을 구성하였다.

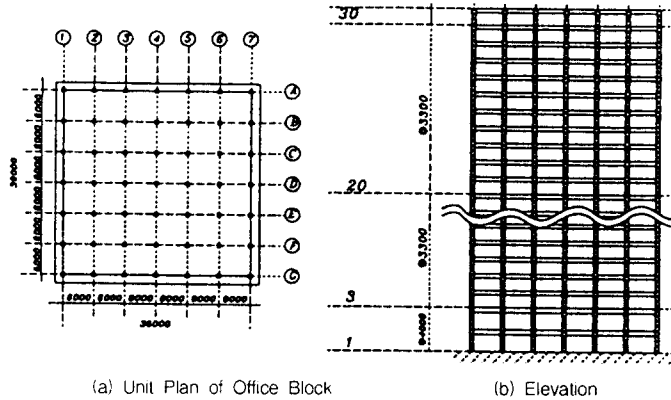
- 1) 강관구속 고강도RC기둥의 새로운 방식을 제안하고, 동일조건인 고강도철근콘크리트기둥과의 거동에 관한 비교분석을 통하여, 강관구속 고강도RC기둥의 구조적인 우수성을 입증한다. 특히, 휨 변형성분과 전단변형성분을 분석함으로써 강관구속 고강도RC기둥의 변형성분 특성을 규명한다.
- 2) 강관구속 고강도RC기둥의 이력거동 특성을 파악하고, 저층부의 기둥에 있어서도, 축력비에 관계없이 초기의 전단파괴를 억제함으로써 휨파괴모드의 거동을 확보할 수 있기를 검토한다.
- 3) 강관구속 고강도RC기둥의 내진성능을 평가할 수 있는 제요소들을 분석함으로써 고층건물 구조시스템에의 적용성에 관한 기초적 자료를 제시한다.

2. 실험계획

2.1 실험대상 건물

강관구속 고강도RC기둥 부재의 적용가능성 평가와 축소모델링 시험체의 제원획득을 위하여 우선 순라멘구조를 갖는 30층 고층구조물을 모델링하여 탄성해석을 수행하였으며, 해석결과를 바탕으로 1층 기둥부재를 철근콘크리트 구조로서 극한강도설계에 근거하여 구조설계를 행하였다.

또한, 기둥의 구조설계를 바탕으로 축소모형기둥 시험체의 기본적인 제원을 획득하였으며, 상세한 건물의 형태 및 규모는 그림 2와 같다.



(a) Unit Plan of Office Block (b) Elevation

Fig. 2. Unit Plan and Elevation of the Office Building

2.3 시험체

시험체는 단면 $250 \times 250 \text{mm}$, 높이 1000mm 의 구형기둥으로 하였으며, 전단스팬비는 2.0으로서 모든 시험체에 휨-전단 거동을 하도록 하였다. 주근의 경우에는 실험대상건물의 1층 기둥 설계시 산정된 주근비인 2.73%로 하였다. 실험체의 주요변수는 각각 시험체의 구법형식, 축력비, 그리고 강관의 폭두께비로 하였으며, 상세한 시험체의 제원은 표 1 및 그림 3과 같다.

철근콘크리트 구형기둥(R-00, R-03)인 시험체의 경우는 변수에 맞게 주근을 배근한 후 후포근(원형강봉 $\phi 5$)으로 횡보강하였으며, 횡보강근비는 0.73%로 하였다.

Table 1. Test Column Details

Specimen ¹⁾	Column type ²⁾	Steel Tube			Longitudinal bar		Hoop($\phi 5$)		Concrete Strength	Axial Force	
		Size	D/t	Ps	Shape	Pg	Space	Pg		N	N/A _c f _c
		mm		%	D10(ea)	%	mm	%	kg/cm ²	ton	
R-00	HC				24	2.73	50	0.586	420	78.75	0.3
R-03	HC				24	2.73	50	0.586	420		
TC-A3	TC	250×250×1.0	250	1.6	24	2.713	50	0.80	420	78.75	0.3
TC-B0	TC	250×250×2.0	125	3.2	24	2.73	50	1.60	420	78.75	0.3
TC-B3 ³⁾	TC	250×250×2.0	125	3.2	24(12)	2.73(1.37)	50	1.60	420	78.75	0.3
TC-B3R ⁴⁾	TC	250×250×2.0	125	3.2	24	2.73	50	1.60	420	78.75	0.3
TC-B3RC ⁵⁾	TC	250×250×2.0	125	3.2	24(12)	2.73(1.37)	50	1.60	420	78.75	0.3

1) TC- B 3 RC - C:Critical, Middle Section(Pg=2.73%),(Pg=1.37%), R:Rib in Region|of Plastic Hinge

2) Axial Compression Ratio(N/A_cf_c)

Steel Tube Thickness

RC : Reinforcement Concrete / TC: Transversely Super Reinforcing Concrete Columns

3) Critical Section Pg=2.73%, Middle Section Pg=1.37%

4) Retrofitting in Region of plastic hinge, 5) Critical Section Pg=2.73%, Middle Section Pg=1.37%, Retrofitting in Region of plastic hinge

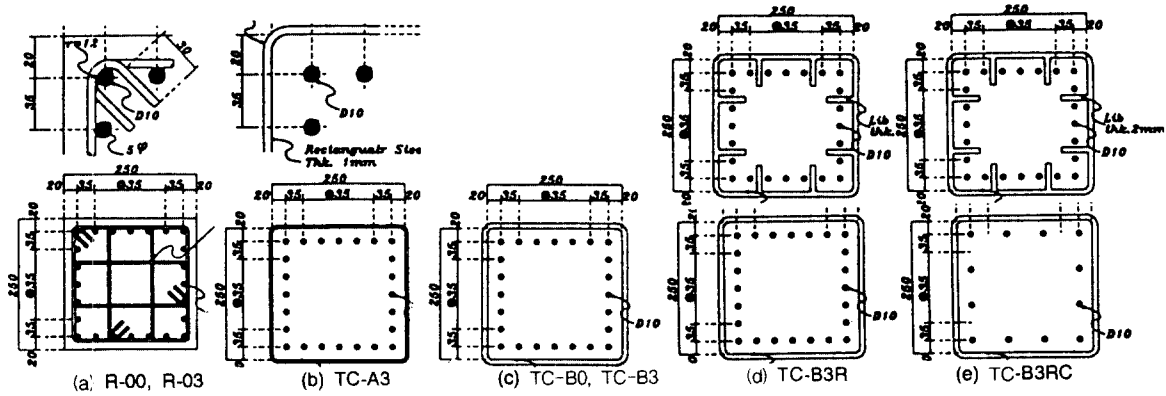


Fig. 3. Details of Test Columns

강관구속 고강도RC기둥(Tubed columns; TC-A3, TC-B0, TC-B3) 시험체는 RC기둥에서 횡보강근을 제거하고 RC기둥과 동일한 조건의 전단보강근량을 갖는 두께 1.0mm($D/t=250$)와 이를 증가시킨 2.0mm의 각형강관으로 횡보강하였다.

소성힌지 부분을 보강한 강관구속 고강도기둥(Tubed columns; TC-B3R) 시험체의 계획은 기존연구에서 문제점으로 제시되었던 대변형 하에서의 강성과 강도가 급격히 저하하는 강관구속 고강도 RC기둥의 문제점을 개선하는 방식의 개발을 목적으로, 예상되는 소성힌지부분을 강재리브(Rib)로 보강하는 방법으로서 계획하였다.

소성힌지 부분의 보강 및 기둥중앙부에서 주근비를 변화시킨 강관구속 고강도RC기둥(Tubed columns; TC-B3RC) 시험체는 예상되는 소성힌지 부분을 강재리브(Rib)로 보강하는 동시에 기둥 중앙부의 주근비를 감소시킨 경우를 가정하여 시험체를 계획하였다.

2.4 재료시험

콘크리트압축강도는 KSF 2404에 따라 직경 10cm, 높이 20cm의 공시체를 제작하여 압축강도를 측정하였으며, 측정된 압축강도의 97%를 시험체의 강도로 하였다. 또한, 철근 및 강관의 재료특성을 파악하기 위하여 KSD0801(금속재료 인장시험편 규정)의 라호 규정에 따라 시험편을 제작하였으며, KSB0802의 금속재료 인장시험 방법에 따라 인장시험을 실시하였다.

Table 2. Material Properties of Concrete

Days	E_c	ϵ_u	ν	f_t	f'_c	Test Column
	10^5 kg/cm^2			kg/cm^2	kg/cm^2	
40	3.12	0.0021	0.0018	45	473	R-00, R-03
50	3.15	0.0020	0.0018	46	456	TC-A3, TC-B0, TC-B3
60	3.30	0.0025	0.0017	47	495	TC-B3R, TC-B3RC

Notes: f'_c =Uniaxial Compressive Cylinder Strength of Concrete
 f_t =Tensile Strength of Concrete by Split Cylinder Test
 E_c =Elast Modulus, ν =Poisson's Ratio, ϵ_u =Strain in the Maxi. State

Table 3. Material Properties of Steel

Series	E	σ_y	ϵ_y	σ_u	ϵ_u
	10^6 kg/cm^2	kg/cm^2	$\times 10^{-3}$	kg/cm^2	$\times 10^{-3}$
Plate	2.01	3560	0.0045	4050	0.0078
D10	2.05	4750	0.0021	5300	0.012
$\phi 5$	1.89	5620	0.0041	6800	0.010

Notes: E = Young's Modulus
 σ_y = Yield Stress, ϵ_y = Yield Strain
 σ_u = Maximum Stress, ϵ_u = maximum Strain

2.5 실험방법

실험은 구조실험용 프레임(Structural Reaction Frame)을 이용하여 실시한다. 시험체 설치장치는 그림 4와 같은 지진하중시 저층부의 응력상태를 재현하기 위하여 그림 5와 같이 시험체를 가력프레임에 수직으로 설치하여 고강제로 제작한 재하보에 상하의 스티브를 고력강봉으로 연결한다.

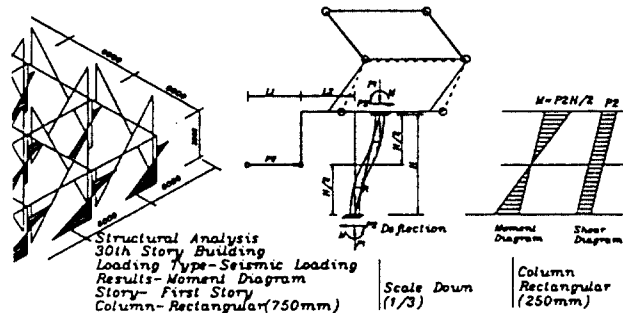


Fig. 4. Loading Conditions

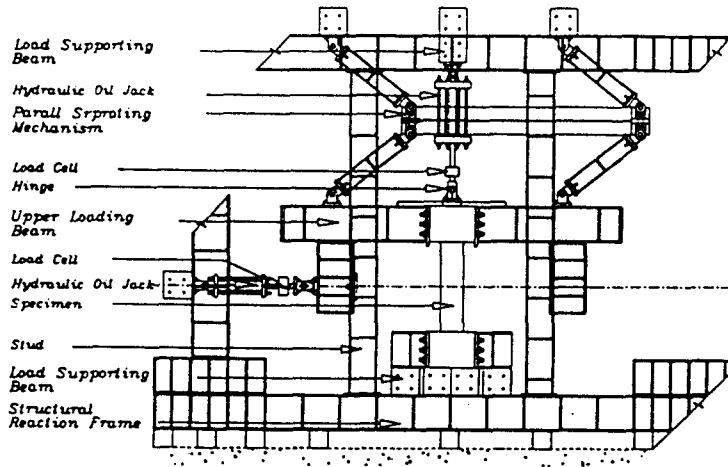


Fig.5. Details of Test Setup

수직하중은 시험체의 상부에 설치된 100t용량의 유압잭으로 일정하중을 가력하며, 수평하중은 프레임에 설치된 50t용량의 유압잭으로 가력하였다. 이때, 시험체의 면외좌굴을 방지하기 위하여, 재하보좌우에 볼힌지(Ball Hinge)를 설치하여 보강하였다. 또한, 그림에서 상하면의 수평을 유지시키기 위하여 평행크랭크기구(Parallel Supporting mechanism)를 설치하여 상하 스티브의 수평을 유지하였다.

2.7 하중 및 변위이력

가력 및 제어방법은 그림 6에 도시한 바와 같이 초기에는 측정데이터 획득의 정확성과 적절한 하중의 가력 등을 파악하기 위하여 이론적인 항복하중의 10%이하로 반복가력하며 Pre-Test를 실시하였다. 다음으로 하중을 점증적으로 반복가력하는 하중제어를 수행하여, 부재에 발생하는 항복수평변위(Δ_y)를 결정하고, 이후에는 $u(\Delta/\Delta_y) = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11 \dots$ 의 배율로 변위제어하였다.

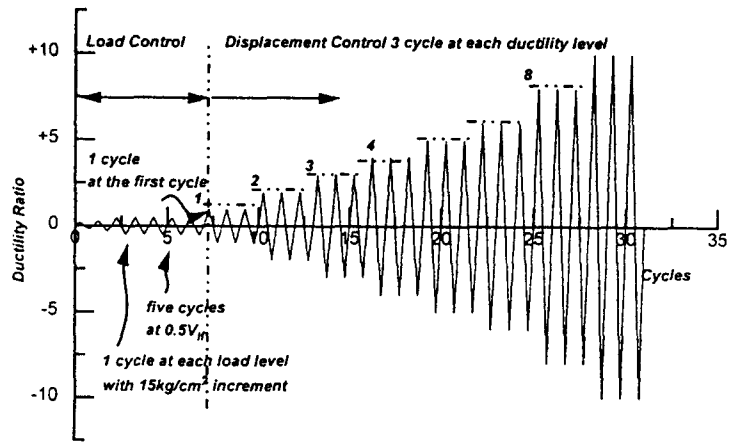


Fig. 6. Standard Static Cyclic Loading History for the Tests

또한, 변위제어시에는 각각의 사이클마다, 3사이클씩 점증 반복가력하여 각각의 이력루프에서 복원력특성을 평가할 수 있도록 하였으며, 가력의 종료는 시험체가 파괴되거나, 최대하중 이후 내력저하부의 최대하중에 대한 실험시 하중의 비가 0.6까지로 하였다.

3 실험결과

3.1 파괴모드의 분석

1mm 두께의 강판으로 구축한 TC-A3 및 TC-B3시험체는 그림 7(a)에서와 같이 단부부분에서 급격한 국부좌굴에 의하여 고강도본크리트가 파괴되는 형태를 보이고 있었다.

강재리브로 보강한 TC-B3R 및 TC-B3RC 시험체의 경우에는 그림 7(b)에서 보는 바와 같이 국부좌굴에 의한 파괴 등과 같은 현상은 관찰되지 않았으며, 단부부분이 부풀어 오르면서 소성변형하는 특징을 보였다.



(a) Local Buckling(TC-A3,TC-B3) (b) Stable Confinement(TC-B3R,TC-B3RC)

Fig. 7. Comparisons of Crack Patterns

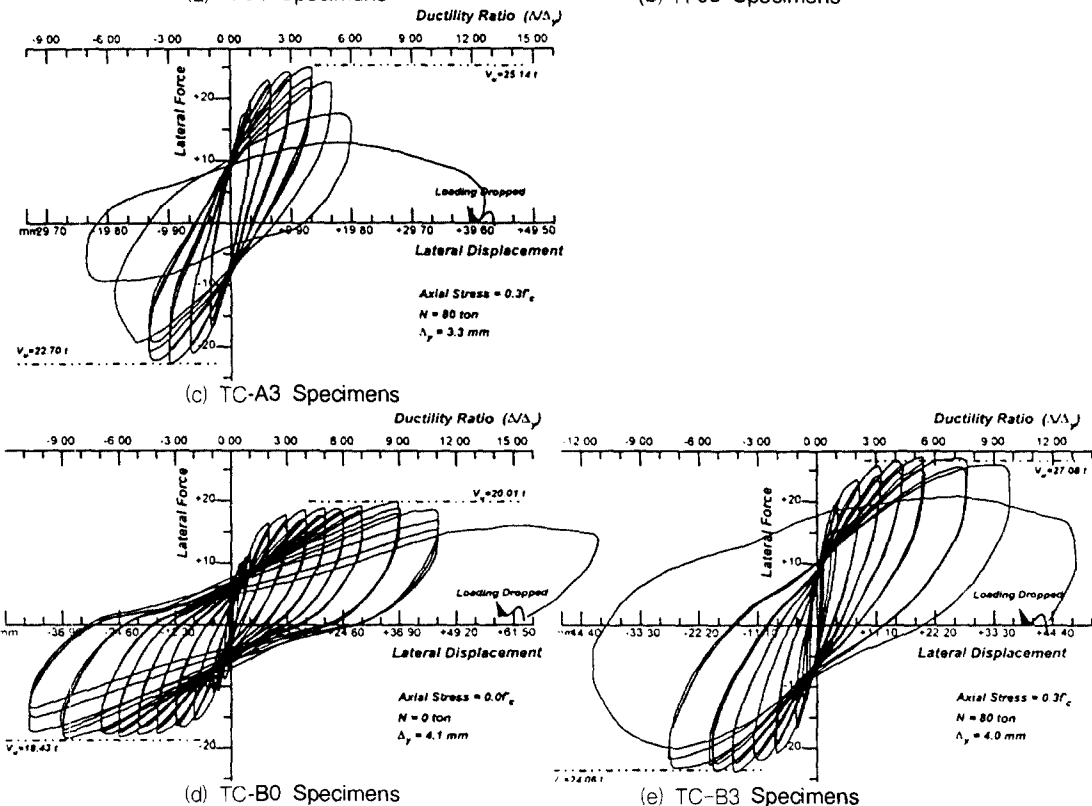
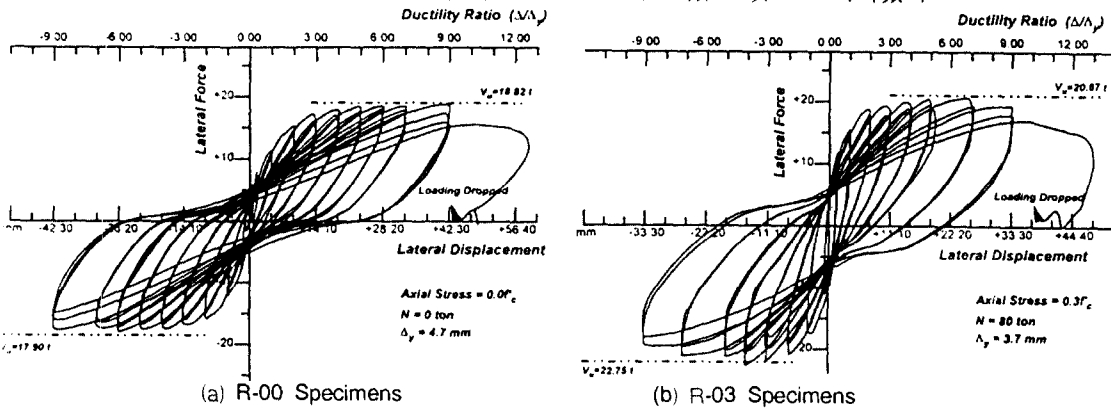
3.2 하중-변위관계 곡선

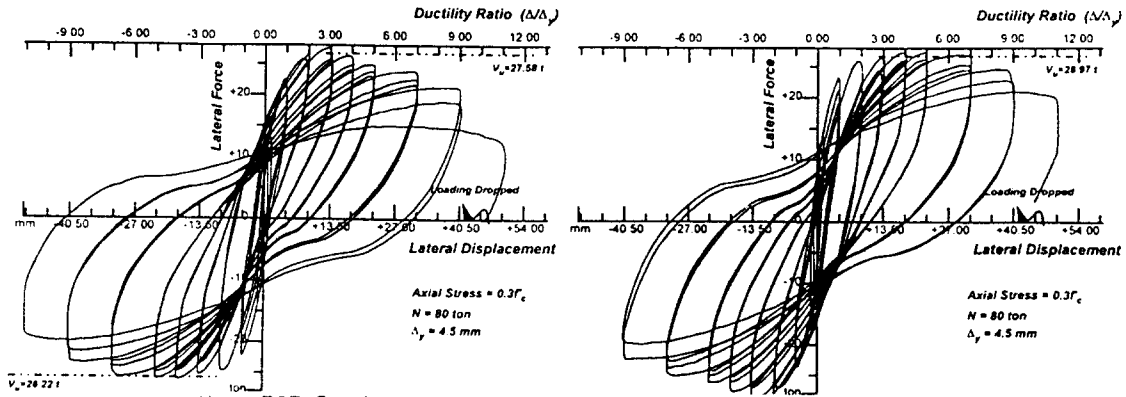
시험체에 적용된 하중과 중앙부에 설치된 변위계로 얻어진 하중-변위의 관계곡선을 그림 8(a)~(g)에 나타냈으며, 시험체의 전반적인 이력거동을 분석하였다.

축응력에 따른 비교에서는 철근콘크리트기둥 형태인 R-00과 R-03시험체 및 강관으로 구축한 TC-B0시험체와 TC-B3 시험체 모두가 축응력이 존재하지 않는 경우가 안정적인 방추형의 이력거동을 보이고 있는 것으로 나타났다.

철근콘크리트형 시험체에 대한 강관구속 고강도RC기둥 시험체의 비교에서는 전단보강근비를 동일하게 고려한 RC-03시험체와 TC-A3시험체의 경우, RC-03시험체가 동일조건에서 안정된 이력거동을 하고 있는데 이는 강관의 폭두께비가 큰 경우 최대내력 이후 단부 소성힌지 부분의 국부좌굴에 의한 급격한 내력저하가 원인인 것으로 판단되었다.

또한, 단부의 소성힌지 부분을 강재리브로 보강한 TC-B3R시험체와 TC-B3시험체의 비교에서는 TC-B3R시험체가 최대내력 이후 우수한 이력거동을 보이고 있는 것으로 나타났다.





(f) TC-B3R Specimens (g) TC-B3RC Specimens
Fig. 8. Lateral Load-Displacement Relationship in Specimens

3.3 변형성분의 분석

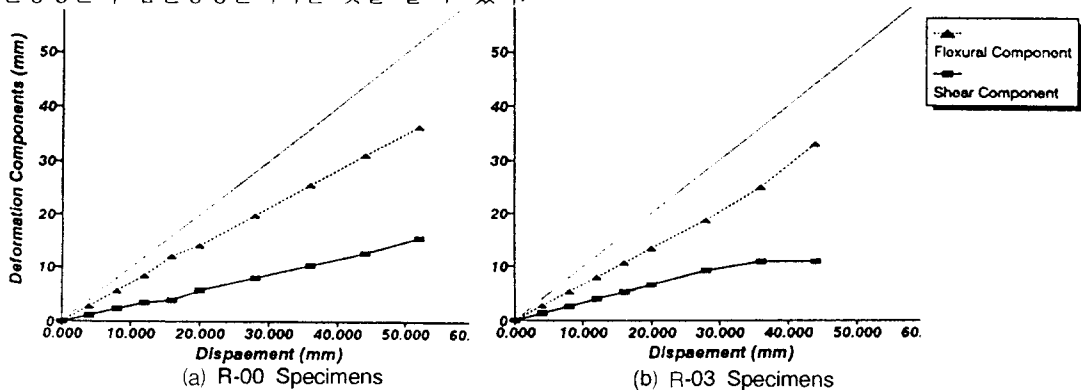
시험체를 각각 6등분하여 각 구간에서 측정된 단면의 회전각으로부터 산정된 평균곡률을 적분하여 각 시험체의 휨변위를 산정하였다. 또한, 실험시 측정된 전체의 수평변위로부터 휨변위와의 차를 구하여 기둥시험체의 전단변위 성분을 산정하였다. 여기서 기둥밀면의 상대 미끄러짐 변형 및 부재의 회전에 의한 회전변위는 고려하지 않았다. 각 시험체의 수평변위, 휨변위, 전단변위와 전단력의 관계를 그림 9(a)~(d)에 각각 나타내었으며, 분석결과는 다음과 같다.

축응력을 주요 변수로 한 시험체에 있어 연성비가 증가됨에 따라 휨변형성분의 전체변형에 대한 기여도가 증가된 것은 비탄성사이클이 진행됨에 따라 기둥의 단부부분에 소성힌지가 형성되므로 인하여 후반 사이클에서 시험체의 비탄성변형이 이 소성힌지 부분에서 집중되기 때문에 부재의 거동은 휨에 의하여 지배되기 때문으로 판단된다.

또한, 철근콘크리트형 기둥 시험체와 강관구속 고강도RC기둥 시험체의 비교에서는 강관구속 고강도RC기둥 시험체의 휨변형성분이 동일조건에서의 철근콘크리트기둥형 시험체에 비하여 증가한 것으로 나타났다. 이를 통하여 살펴볼 때 강관으로 콘크리트를 구속하는 경우에는 기둥부재의 휨변형성분이 증가하게 되고 부재의 거동이 안정적인 휨거동을 할 수 있다고 판단된다.

강관구속 고강도RC기둥 시험체에 있어 강재리브로 보강한 효과에 대한 변형성분의 특성은 연성비가 작은 영역에서는 TC-B0, TC-B3등과 같은 강재리브로 보강하지 않은 시험체와 크게 다른 성향을 보이지는 않는 것으로 나타났으나, 후반사이클에서는 휨변형성분의 전체변형에 대한 기여도가 증대되고 있으며 전단변형성분의 점유율은 감소하고 있는 것을 알 수 있었다. 위와 같은 이유는 강재리브가 기둥에 기 발생되었던 균열폭의 증가를 억제하고, 또한 균열을 폭 넓게 확산시켜 소성힌지 영역의 확장되기 때문으로 판단되었다.

이상과 같은 결과로부터 강관구속 고강도RC기둥에 있어 전단스팬비 2.0의 경우에는 지배적인 변형성분이 휨변형성분이라는 것을 알 수 있다.



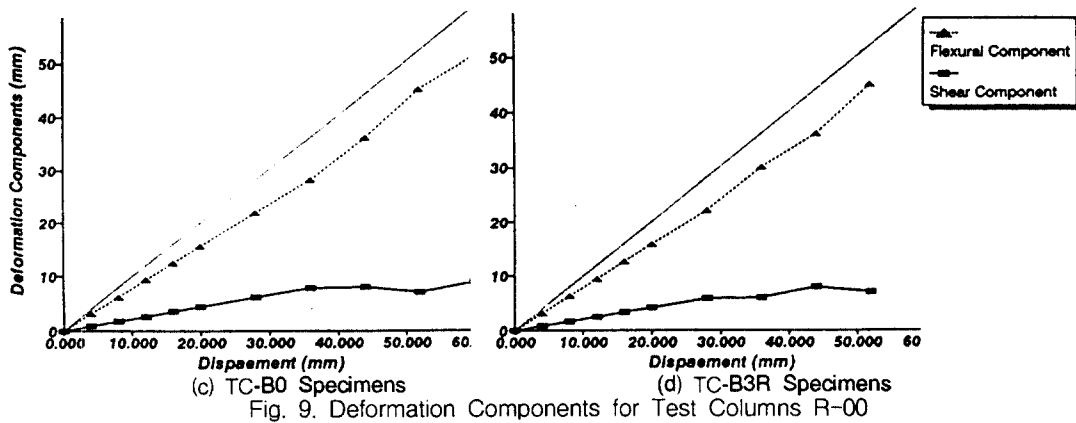


Fig. 9. Deformation Components for Test Columns R-00

그러므로, 기둥의 내진성능에 중요한 영향을 끼치는 휨변형성분의 기여도는 강관으로 구속하므로써 기존의 철근콘크리트형 기둥에 비하여 보다 높일 수 있으며, 변형성분 측면에서 판단하여 볼 때, 이는 내진성능 향상에 효과적일 것으로 판단된다.

4. 내진성능의 평가

4.1 연성의 평가

연성은 구조부재의 파괴직전까지 경험할 수 있는 비탄성 변형능력을 평가하기 위하여 이용되는 지표이다. 따라서, 본 연구에서는 연성평가 방법 중 철근콘크리트 부재에서 보다 합리적인 지표가 될 것으로 판단되는 변위연성에 의한 평가방법과 한계부재각을 이용하여 본 연구대상의 시험체에 대한 연성을 평가하였다. 변위연성은 항복변위에 대한 최대하중 이후의 내력이 80%로 저하되었을 때로 정의하였으며, 뉴질랜드규준에서 제시하고 있는 연성지수 4를 기준으로 본 시험체를 평가하였다. 한계부재각의 개념은 부재길이에 대한 부재의 횡변형인 부재각으로 평가되며, 최대하중이후의 내력이 80%이상을 확보하고 있을때를 기준으로 하였다. 표 4는 연성평가에 관한 결과를 나타내고 있으며, 각 주요변수별 분석결과는 다음과 같다.

표에 나타난 바와 같이 모든 시험체가 각국에서 제안하고 있는 연성평가의 한계치를 초과하고 있어 우수한 내진성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나, 표준시험체인 철근콘크리트기둥형 시험체인 R-00, R-03의 경우보다 강관구속 고강도RC기둥 시험체인 TC-B0, TC-B3의 경우가 보다 우수한 연성능력을 가지고 있는 것으로 분석되었으며, 강재리브로 보강한 시험체인 TC-B3R, TC-B3RC와 강재리브로 보강하지 않은 TC-B3시험체의 비교에서는 강재리브로 보강된 시험체가 대변형까지 우수한 연성능력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 특히 시공상 향후 PC화 등을 고려한 TC-B3RC시험체에 있어서도 각국에서 규정하고 있는 연성평가치를 초과하고 있어 구조부재로서 충분한 내진성능을 확보하고 있는 것으로 판단되었다.

Table 4. Ductility Ratio of Specimens

Specimen	f_c	Axial Compression Ratio	Yield Disp.	Max. Disp.	Ductility Ratio	R	Specimen	P_y	Yield Disp.	Secant Modulus for Initial Point	Secant Modulus for Max. Point	Energy Dissipation Index	Work Damage Index	Stiffness Degradation Index
	kg/cm ²	N/BDF _c	δ_y	δ_u	δ_u/δ_y	rad.		(ton)	δ_y	K_v	K_u	E_i	W	iD _i
R-00	473	0.0	4.70	52.1	11.09	0.0521	R-00	10.74	4.70	2.29	0.79	95.4	56.2	2.90
R-03	473	0.3	3.70	39.5	10.68	0.0395	R-03	15.58	3.70	4.21	1.09	81.3	43.2	3.86
TC-A3	456	0.3	3.30	19.7	5.97	0.0197	TC-A3	19.10	3.30	5.79	1.87	50.2	15.4	3.10
TC-B0	456	0.0	4.10	53.35	13.30	0.0534	TC-B0	12.18	4.10	2.97	1.10	105.2	63.1	2.70
TC-B3	456	0.3	4.01	40.3	10.05	0.0403	TC-B3	20.34	4.01	5.07	1.35	85.2	45.1	3.75
TC-B3R	495	0.3	4.03	48.23	11.97	0.0483	TC-B3R	22.76	4.03	5.65	1.45	91.2	46.7	3.90
TC-B3RC	495	0.3	4.01	42.10	10.50	0.0421	TC-B3RC	22.48	4.01	5.61	1.61	90.5	45.8	3.48

Table 5. Damage Index of Specimens

4.2 손상지표의 평가

현재까지 내진성능의 평가에 있어 에너지소산을 중시하는 철근콘크리트 부재에 대한 많은 손상 모델이 제안되었다. 본 연구에서는 단순히 시컨트강성의 비율로서 부재의 손상률을 평가할 수 있는 Lybas와 Sozen⁸⁾가 제안한 손상지표를 이용하였으며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_R = k_o/k_r$$

여기서 k_o 와 k_r 은 각각 초기와 최대변위시의 시컨트강성(Secant Stiffness)을 나타낸다.

표 5에 각 시험체의 주요변수별 손상지표를 나타내었다. 축응력비에 따른 손상지표를 분석하면, 철근콘크리트기둥형 시험체인 R-00, R-03은 축응력이 증가할수록 에너지손상지표와 일지표는 감소치를 보이고 있으며, 이러한 경향은 강관구속 고강도RC기둥 시험체인 TC-B0, TC-B3에서도 유사하게 나타나고 있다.

이러한 결과로 살펴볼 때 강관구속 고강도RC기둥의 내진성능상 손상지표에 가장 큰 영향을 주는 요소는 축응력인 것을 알 수 있다. 전단보강근량에 의한 분석에서는 강관구속 고강도RC기둥 시험체가 동일조건인 철근콘크리트형기둥 시험체에 비하여 다소 손상지표가 높게 나타나고 있다.

5. 결 론

본 연구는 대지진에 대해서 고층구조물이 붕괴되지 않도록 부재의 강도 및 강성의 급격한 저하 없이 구조물에 요구되는 연성을 충분히 확보할 수 있으며, 파괴시까지 큰 비탄성변형에 저항할 수 있는 변형에너지소산능력을 확보할 수 있는 큰 내력과 변형능력을 갖는 새로운 기둥부재인 강관구속 고강도RC기둥의 개발 및 내진성능의 평가하는 것을 목적으로 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 강관구속 고강도RC기둥 부재의 내진성능에 관한 분석으로 부터 동일조건인 고강도철근콘크리트 기둥부재에 비하여 우수한 내진성능을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 이는 고강도콘크리트의 취성적인 전단파괴를 강관이 구속하기 때문으로 판단되었다.

2) 강관구속 고강도RC기둥의 개발에 있어서는 전단강도의 증진을 확보하고, 대변형하에서 기둥부재의 소성힌지부분의 국부좌굴에 의한 급격한 변형능력 손실을 억제하기 위한 방안으로써 보다시공성을 확보할 수 있는 소성힌지 부분을 강재리브로 보강하는 방법을 제안하였으며, 대변형까지도 우수한 내진성능 특성을 보이는 것으로 나타났다.

6. 참고문헌

- 1) ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary(ACI 318-89/ACI 318R-39)", American Concrete Institute, Detroit, 1989
- 2) AIJ Structural Committee, "Design for Earthquake Resistant Reinforced Concrete Buildings Based on Ultimate Strength Concept", Architectural Institute of Japan, 1988
- 3) AIJ Standards for Structural Calculation of Steel Reinforced Concrete Structures(1987). Architectural Institute of Japan
- 4) "CEP-FIP Model Code for Concrete Structures", 3rd Edition, Apr. 1978
- 5) Joint ASCE-ACI Task Committee 426, "Shear Strength of Reinforced Concrete Members", Journal of Structural Engineering-ASCE, V.99, No. ST6, June 1973
- 6) Tomii, M.; Sakino, K.; and Xiao, Y., "Ultimate Moment of Reinforced Concrete Short Columns Confined in Steel Tube", Proceedings of the Pacific Conference on Earthquake Engineering, V.2, New Zealand, Aug. 1987, pp 11~12
- 7) M. J. Nigel Priestley, Frieder Seible, Yan Xiao, "Steel Jacket Retrofitting of Reinforced Concrete Bridge Columns for Enhanced Shear Strength-Part 1: Theoretical Considerations and Test Design", ACI Structural Journal, V.91, No.4, July-August, 1994, pp394~405.
- 8) Tomii, N. et.al., "Lateral Load Capacity of Reinforced Concrete Short Columns Confined by Steel Tube- Experimental Results of Preliminary Research", Proc. of the International Speciality Conference of Concrete Filled Steel Tubular Structures, Harbin, China, 1985
- 9) Lybas, J. and Sozen, M.A., "Effect of beam Strength and Stiffness on Dynamic Behavior of Reinforced Concrete Coupled Walls," Civil Eng'g Studies, SRS No.444, Univ. of Illinois, Urbana, IL, July 1977.