초고강도 철근콘크리트 띠철근 기둥의 구속효과

Confined Effect of Ultra High Strength Reinforced Concrete Tied Columns

한 범 석* 신 성 우** 김 태 수***
Han, Byum Seok Shin, Sung Woo Kim, Tae Soo

Abstract

As this study investigates the influence about type of transverse reinforcement, spacing of transverse reinforcement(s), volumetric ratios of transverse reinforcement(ρs) of ultra-high strength concrete columns. It try to offer to resonable basic data of the confined model for the ultra-high concrete of in reinforced concrete columns.

Experimental tests with large scaled columns were conducted under concentric axial loads. The ultra-high strength concrete (100MPa) was used. From this test result, it evaluate influence of the strength enhancement and ductility enhancement, important variables about behavior of the confined concrete by confinement of ultra-high strength reinforced concrete.

There are two ways to improve the confinement effect of high strength concrete columns through the increase of amounts and/or strength of transverse reinforcement.

키워드 : 구속 콘크리트, 강도증진, 연성증진
Keywords : Confined concrete, Strength enhancement, Ductility enhancement

1. 서 론

초고강도 콘크리트는 고층건물, 대형 토목구조물, 프리스트레스 구조물 등에서 매우 유효하게 사용되는 구조재료로서, 강도증가에 따라 높은 하중을 부담하고 단면이 축소되는 장점을 가지고 있어 현재까지 많은 발전을 하여 왔다. 초고강도 콘크리트는 일부 선진외국에서 지난 20여 년간에 걸쳐 급속히 발전하여 왔으며, 전 세계적으로 초고층 건물의 계획과 시공이 활발해지고 있는 현재 시점에서 초고강도 콘크리트의 사용은 급속히 증가할 것으로 기대되고 있다.

이러한 초고층 구조물에 보통강도 콘크리트를 사용할 경우 건물자중의 증가로 저층부에서 기둥, 벽체와 같은 수직부재의 단면이 커지게 되고, 고층부에서는 수평하중 증가에 따른 수평변위가 증가하여 구조물의 안전성과 사용성에 영향을 줄 수 있으며, 부재 단면의 증대로 인한 사용 면적의 감소로 구조물의 경제성이 떨어지게 되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 초고층 건물의 수직부재에 단면의 축방향 압축성능이 우수하고 탄성계수가 큰 초고강도 콘크리트를 사용한다면 콘크리트의 고품질화에 따른 내구성 증진과 높은 압축강도로 인한 부재단면의 축소 및 콘크리트 조기강도의 증진에 따른 조기 거푸집 탈형 및 수평변위 감소 등을 기대할 수 있다. 그러나 초고강도 콘크리트의 많은 장점에도 불구하고 취성적이라는 재료적 특성으로부터 초고강도 콘크리트가 사용된 구조부재, 특히 기둥의 연성확보 및 안전성에 대한 연구 및 설계기술은 아직까지도 명쾌하게 제시되고 있지 않는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 초고강도 콘크리트가 사용된 기둥의 연성 및 안전성 확보를 위해 기둥에서 횡보강근으로 구속된 초고강도 콘크리트의 구속효과를 고려한 설계의 기초 자료를 제시하기 위하여 초고강도 콘크리트 기둥에 대해 횡보강근의 배근형태, 간격 및 체적비 등 주요변수들의 영향을 연구함으로써, 초고강도 콘크리트의 합리적인 구속모델의 기초 자료를 제공하고자 한다. 이에 콘크리트 압축강도 100MPa의 초고강도 콘크리트를 적용한 기둥에 대한 구조실험을 수행하여, 실험결과를 분석하여 초고강도 콘크리트 기둥의 강도와 연성증진 효과와 각각의 변수들이 구속된 콘크리트의 거동에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

* 주저자, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구교수
** 한양대학교 건축학부 교수, 친환경건축연구센터 소장
*** 교신저자, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구교수
(tskim0709@hanyang.ac.kr)

2. 본 문

2.1 실험체 계획 및 실험

중심축하중을 받는 철근콘크리트 띠철근 기둥의 압축실험 결과를 분석함으로써 구속된 초고강도 콘크리트의 거동을 평가하기 위하여 초고강도 콘크리트를 사용한 기둥 실험체를 계획하여 제작하였다. 실험체는 실제 구조부재에 부합되고 실질적인 거동이 반영된 결과를 획득하기 위해 260mm×260mm×1300mm의 크기로 제작하였으며, 각 실험체의 배근상세 및 형태는 그림1, 실험체 일람은 표1에 나타내었다.

근 하였으며, 횡보강근의 배근형상에 따라 그림1에서 보는 바와 같이 기준 실험체, 단순배근과 복합배근으로 각각 A, B, C, E, F로 표기하였다.

본 실험체에 명명된 실험체의 이름은 콘크리트의 압축강도와 횡보강근의 배근형태, 구속 콘크리트에 대한 횡보강근의 체적비에 따라서 명명하였으며, 예로써, USC-A-80은 다음과 같은 의미를 가진다.

USC : Ultra-high Strength concrete Column
A : 횡보강근의 배근형태로 A-Type
80 : 횡보강근의 체적비로 ACI 규준의 80%

표 1. 실험체 특성

실험체	f_{ck}, (MPa)	띠철근 형 태	종방향 주근			횡보강근					$\frac{A_{Core}}{A_{Gross}}$
			개 수	ρ_s, (%)	f_y, (MPa)	직경	f_{yh}, (MPa)	간격, (mm)	ρ_s, (%)	$\frac{\rho_{prov}}{\rho_{ACI}}$	
USC-P	100		-	-	-	-	-	-	-	-	-
USC-A-80	100	A	4-D22	2.29	443.1	D13	412.8	45	5.36	0.8	0.716
USC-A-110	93	A	4-D22	2.29	443.1	D13	412.8	35	6.89	1.1	0.716
USC-B-80	93	B	8-D16	2.36	466.7	D10	412.8	40	5.35	0.8	0.716
USC-B-110	95	B	8-D16	2.36	466.7	D10	412.8	30	7.12	1.1	0.716
USC-C-80	91	C	8-D16	2.36	467.7	D10	412.8	45	5.41	0.8	0.716
USC-C-110	100	C	8-D16	2.36	467.7	D10	412.8	35	6.96	1.1	0.716
USC-E-80	105	E	12-D13	2.25	461.2	D10	412.8	60	5.55	0.8	0.716
USC-E-110	92.6	E	12-D13	2.25	461.2	D10	412.8	45	7.34	1.1	0.716
USC-F-110	94	F	12-D13	2.25	461.2	D10	412.8	35	7.36	1.1	0.716

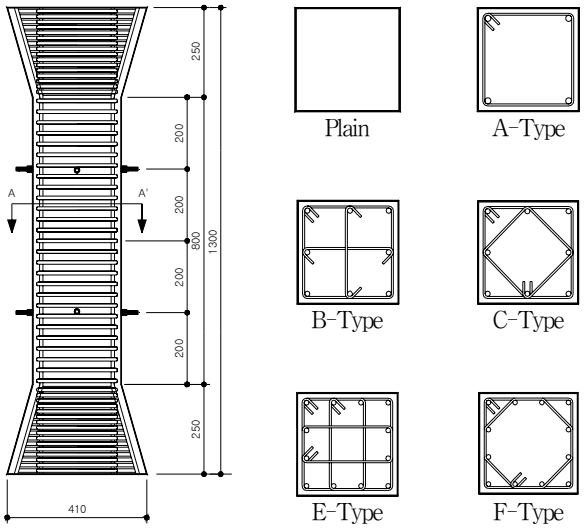

그림 1. 실험체 상세

콘크리트 피복은 20mm로 기둥의 전 단면적에 대한 횡보강근으로 구속된 코어 단면적의 비를 0.716으로 실제 기둥과 유사하게 하였다. 기둥 실험체에 사용된 콘크리트 설계기준강도는 100MPa의 초고강도 콘크리트를 사용하였고, 기둥의 종방향 주근은 항복강도 400MPa의 Mild Bar를 사용하여 4-D22, 8-D16, 12-D13의 세 종류로 배

2.2 가력 및 측정방법

가력은 10,000kN 용량의 만능시험기(U.T.M)를 사용하여 변위제어 방식으로 중심압축가력 하였으며, 제어속도는 실험체 별로 합리적으로 데이터를 취득할 수 있도록 변위제어 방식으로 0.3~1.0mm/min의 속도로 탄성구간, 최대하중 전후, 연화구간에 따라 3단계로 행하였다.

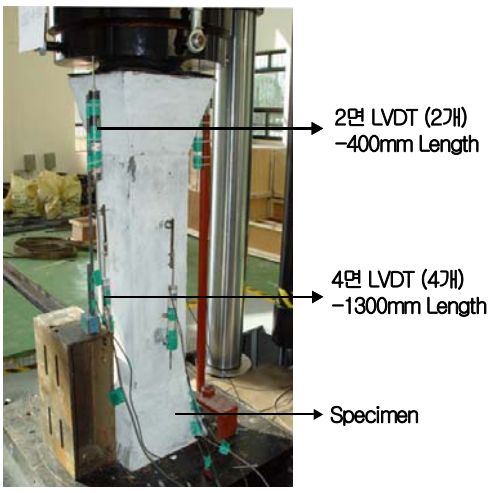

그림 2. 실험체 설치상황

실험구간에서 구속 콘크리트의 축방향 변위를 측정하

기 위해 미리 매립된 강봉에 4개의 LVDT를 실험체 각 면에 설치하고, 구속 콘크리트 파괴 이후의 축변형을 수정하기 위해서 실험체 전 길이에 걸쳐 실험체 양면에 2개의 LVDT를 설치하였다.

3. 실험결과

3.1 파괴상황

균열발생과 진전 양상은 대부분의 실험체에서 유사하게 나타났으며, 초기 수직균열이 생기는 것과 동시에 피복이 박리 되었으며, 조기에 피복이 박리되는 경향을 보였다. 또한 최대하중 직전에 대부분의 실험체의 주근이 항복했으며, 최대하중 이후에 주근의 좌굴과 횡보강근의 Hook가 서서히 벌어지고 내부 주근보다는 모서리 주근에서 심하게 발생하였다. 횡보강근의 항복은 최대하중 이후 하중이 감소하는 단계에서 발생되었고 수평단면과 파괴면이 이루는 각은 최대 90°(횡보강근이 없는 무근 콘크리트 실험체)에서 최소 39°로 형성되었다. 파괴면상에서 구속된 코어 콘크리트의 Crushing에 의한 단면손실의 정도는 횡보강근 체적비와 연관이 있는 것으로 나타났다.

1) 피복 콘크리트의 박리

피복 콘크리트의 박리는 코어 콘크리트를 구속하는 횡보강근의 간격이 조밀할수록 갑작스럽게 발생되었다. 이는 조밀한 철근 배근간격으로 인해 발생된 피복 콘크리트와 구속 콘크리트 사이에 형성된 약한 경계면에 의한 것으로 판단된다.

2) 주근의 항복

모든 기둥 실험체에서 최대하중 직전후로 하여 주근이 항복하였다. 주근의 항복은 횡보강근 체적비, 간격, 형태 등의 주요 변수에 따라 차이를 보이진 않았다.

3) 횡보강근의 항복

횡보강근의 항복은 축하중이 저하되는 하강부분에서 발생하였다. 최대하중 이후에서 횡보강근의 항복은 대부분의 실험체에서 발생하였으나, 일부(A-Type) 실험체와 최대하중 이후에서 횡보강근의 후크가 심하게 벌어진 실험체는 항복하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 횡보강근의 체적비가 크고, 간격이 조밀하면서 형태가 복잡한 실험체는 대부분 항복을 보였다. 특히 횡보강근의 간격이 넓더라도 형태가 복잡하여 체적비가 큰 경우 횡보강근의 변형이 크게 나타났는데, 이는 이러한 실험체의 경우 횡보강근이 코어 콘크리트를 잘 구속했다는 의미로 해석할 수 있다.

4) 주근의 좌굴과 횡보강근 후크의 벌어짐

모든 실험체에서 주근의 좌굴과 함께 횡보강근의 후크가 벌어지는 현상이 발생되었다. 주근의 좌굴 시점이나 좌굴 정도는 변수에 상관없이 모든 실험체에서 유사하게 발생되었기 때문에 특별히 어떤 변수의 영향을 받지는 않는 것으로 판단된다. 다만, 횡보강근의 간격이 큰 실험체 에서는 좌굴이 비교적 빨리 발생되었고, 좌굴 정도가 심하게 발생되었는데, 이런 현상은 주근의 유효좌굴길이에 따른 것이라 할 수 있다.

5) 횡보강근의 파단

횡보강근의 파단현상은 A-Type을 제외한 실험체에서 발생하였는데, 최초 횡보강근의 파단은 최대하중 이후 하중이 저하되는 하강부분에서 최대하중의 50~65% 정도에서 발생하였다. 중간 후프가 설계된 C, E, F-Type의 실험체 에서도 외곽의 후프보다는 중간의 후프가 먼저 파단되었다. 이런 사실로부터 높은 항복강도의 고강도 철근이 초고강도 콘크리트의 구속에 효과적일 수 있음을 예측할 수 있으며, 횡보강근의 형태가 구속에 미치는 영향과 중요성을 간접적으로 입증하는 것이라 할 수 있다.

6) 주요변수에 따른 구속 콘크리트의 거동

표2와 표3에서 알 수 있듯이 중심축력을 받는 철근콘크리트 기둥은 콘크리트를 구속하는 횡보강근의 체적비, 간격 및 형태 등에 의해 그 거동이 변화되었다. 체적비가 클수록 강도증진은 8%~45%정도, 연성증진도 증가 효과가 크게 나타났다. 배근형태에서도 보조횡보강근을 가진 경우 즉 횡보강근의 형태가 복잡해질수록 강도증진과 연성증진에 상당한 효과가 있음을 알 수 있었다. 특히 동일한 체적비에서 형태가 복잡할수록 횡보강근의 간격이 넓어지더라도 강도나 연성증진이 크게 나타났는데, 이로부터 횡보강근의 형태가 중요한 변수로서 작용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 구속된 콘크리트의 거동은 변수 각각의 독립적인 분석뿐 아니라 서로 종속적인 변수의 종합적 분석이 필요하고, 또한 횡보강근의 형태도 하나의 중요한 변수로써 정량화 또는 수식화 할 필요성이 있다는 것을 알 수 있다.

표 2. 시험결과 (하중)

실험체	축하중					
	P_{max} (kN)	$\frac{P_{max}}{P_o}$	P_c (kN)	$\frac{P_c}{P_{oc}}$	P_{cc} (kN)	$\frac{P_{cc}}{P_{occ}}$
USC-P	5720	0.99	5720	0.99	572.0	0.99
USC-A-80	5193	0.83	4347	0.77	433.6	1.08
USC-A-110	4816	0.77	4044	0.76	408.3	1.10
USC-B-80	6020	0.96	3854	0.69	196.2	1.24
USC-B-110	5430	0.87	4968	0.97	479.5	1.32
USC-C-80	5449	0.87	4426	0.87	467.6	1.29
USC-C-110	6542	1.05	5062	0.90	574.7	1.45
USC-E-80	5893	0.95	4963	0.86	511.4	1.25
USC-E-110	5339	0.91	4007	0.79	463.5	1.30
USC-F-110	6017	1.02	4720	0.90	517.1	1.38

표 3. 실험결과 (변형률)

실험체	축방향 변형률					
	ε_c	$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}}$	ε_{cc}	$\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}}$	ε_{c50c}	$\frac{\varepsilon_{c50c}}{\varepsilon_{co}}$
USC-P	0.0027	0.91	0.0027	0.91		
USC-A-80	0.0017	0.59	0.0038	1.31	0.0127	4.40
USC-A-110	0.0015	0.56	0.0054	1.86	0.0190	7.05
USC-B-80	0.0019	0.66	0.0055	1.89	0.0232	7.99
USC-B-110	0.0016	0.62	0.0062	2.38	0.0227	8.72
USC-C-80	0.0020	0.69	0.0053	2.65	0.0180	6.21
USC-C-110	0.0021	0.72	0.0089	3.07	0.0288	9.93
USC-E-80	0.0023	0.74	0.0065	2.10	0.0201	6.48
USC-E-110	0.0018	0.69	0.0091	3.50	0.0297	11.42
USC-F-110	0.0020	0.74	0.0096	3.56	0.0301	11.15

4. 실험결과 분석

4.1 강도증진과 변수상관성(Han-Shin[5] 실험과 비교)

1) 횡보강근의 간격

본 연구의 결과를 분석함에 있어 본 연구의 실험결과 뿐 아니라 표4에 나타낸 바와 같이 본 연구와 실험체 크기, 횡보강근 변수선정 방법 등이 모두 동일하고 콘크리트강도만 보통강도 콘크리트(24MPa, NSC Series)와 고강도 콘크리트(50MPa, HSC Series)로 차이가 있는 Han-Shin[5]의 2003년 연구결과를 동시에 분석하여 Han-Shin이 제안한 횡보강근 형태를 고려한 계수를 적용하여 평가하였다.

도 콘크리트는 간격이 넓을 경우에도 구속에 의한 효과가 고강도 콘크리트보다 크게 나고 있는데 이는 고강도 콘크리트보다는 보통강도 콘크리트가 구속에 유리함을 알 수 있는 것으로 콘크리트 강도의 영향도 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다.

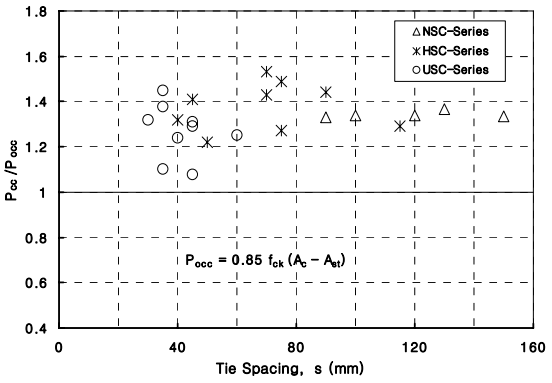

그림 3. 횡보강근 간격과 강도증진과의 관계

결국 동일 조건에서 간격의 변화는 체적비의 변화를 의미하거나 형태의 변화를 의미하고, 간격이나 형태는 구속 콘크리트의 유효 구속면적에 영향을 주기 때문에 간격은 다른 변수들과 함께 고려하여 평가하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

2) 횡보강근의 체적비

표 4. Han-Shin 실험결과

실험체	축하중						축방향 형형률					
	P_{max} (kN)	$\frac{P_{max}}{P_o}$	P_c (kN)	$\frac{P_c}{P_{oc}}$	P_{cc} (kN)	$\frac{P_{cc}}{P_{occ}}$	ε_c	$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}}$	ε_{cc}	$\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{co}}$	ε_{c50c}	$\frac{\varepsilon_{c50c}}{\varepsilon_{co}}$
NSC-A-10	2031	1.05	1417	0.99	1352	1.33	0.0024	1.15	0.0043	2.01	0.0123	5.92
NSC-B-10	2214	1.16	1361	1.01	1283	1.34	0.0023	1.12	0.0041	2.00	0.0128	6.24
NSC-D-10	2076	1.02	1488	1.02	1442	1.39	0.0026	1.24	0.0045	2.15	0.0149	7.15
NSC-E-10	1829	1.01	1239	1.0	1214	1.38	0.0026	1.29	0.0044	2.18	0.0144	7.13
NSC-F-10	2170	1.10	1418	1.01	1380	1.39	0.0025	1.21	0.0044	2.13	0.0163	7.88
HSC-A-08	2952	1.01	2452	1.01	2089	1.22	0.0022	0.94	0.0039	1.65	0.0091	3.84
HSC-B-08	3495	1.06	2668	0.98	2461	1.27	0.0027	1.10	0.0044	1.79	0.0125	5.07
HSC-E-08	3189	1.05	2602	1.06	2243	1.29	0.0027	1.14	0.0042	1.77	0.0126	5.29
HSC-A-10	2880	0.98	2380	0.97	2290	1.32	0.0020	0.84	0.0037	1.55	0.0155	6.51
HSC-E-10	3444	1.13	2857	1.15	2530	1.44	0.0028	1.15	0.0046	1.93	0.0214	8.95
HSC-F-10	3569	1.09	2697	1.0	2730	1.43	0.0031	1.26	0.0047	1.91	0.0193	7.86
HSC-A-12	3094	1.00	2790	1.08	2587	1.41	0.0027	1.10	0.0048	1.99	0.0231	9.52
HSC-B-12	3453	1.08	2693	1.02	2857	1.53	0.0037	1.52	0.0039	1.60	0.0333	13.65
HSC-E-12	3495	1.05	2905	1.05	2903	1.49	0.0037	1.50	0.0058	2.35	0.0346	14.00

그림3은 횡보강근의 간격 변화에 따른 구속 콘크리트의 강도증진 변화를 보여주고 있는데, 그림에서 알 수 있듯이 횡보강근의 간격의 변화에 따라 강도증진에는 뚜렷한 추세가 없는 것으로 나타났다. 이는 횡보강근의 간격이 넓어짐으로써 동시에 횡보강근의 체적비가 감소되더라도 보조 횡보강근이 배근됨으로써 형태가 복잡해져 형태의 효과가 나타났기 때문으로 판단된다. 그리고 보통강

그림4에 나타난 바와 같이 횡보강근 체적비 변화에 따른 구속 콘크리트의 강도증진 변화를 보여주고 있는데, 체적비의 변화는 콘크리트 강도증진에 직접적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 강도가 증가할수록 강도증진은 둔화되는 것으로 나타났는데, 초고강도 콘크리트는 고강도와 일반강도 콘크리트와 동일한 강도증진을 하기 위해서는 더 많은 체적비가 요구됨을 알 수 있다. 그리고 횡보

강근 체적비가 큰 것이 작은 것보다 강도증진에서 둔화되는 것도 있는데, 그 이유는 횡보강근의 형태에 대한 고려가 반영되지 않았기 때문으로 판단된다. 따라서 횡보강근 체적비는 횡보강근 형태 등과 독립적이 아닌 상호 종속적인 변수로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

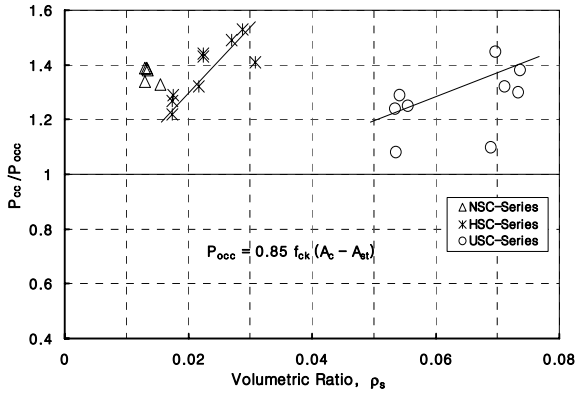

그림 4. 횡보강근 체적비와 강도증진과의 관계

3) 횡보강근 형태

그림5는 횡보강근의 형태에 따른 강도증진의 변화를 보여주고 있는데, A-Type의 경우 C, F-Type에 비해 중간 후프가 없는 단순한 형태이지만 간격이 매우 작은 경우인데, 결국 콘크리트의 강도증진에는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 횡보강근의 형태에 따른 강도증진의 변화는 횡보강근의 간격의 변화에 따른 영향과 같이 뚜렷한 경향을 찾아볼 수가 없는데 다만, USC-Series의 경우 C, F-Type이 강도증진 면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 이로부터 보조 횡보강근이 원형에 가까운 다이아몬드, 팔각형태가 구속에 효과적인 것으로 판단된다. 동일한 형태에서 강도증진 변화는 횡보강근 체적비 변화에서 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 횡보강근 형태는 횡보강근 간격 등과 독립적이 아닌 상호 종속적인 변수로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

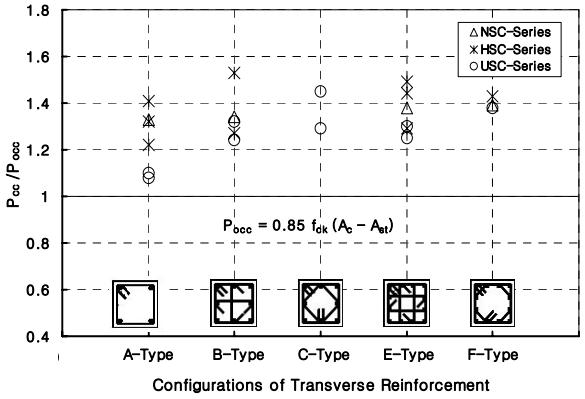

그림 5. 횡보강근 형태와 강도증진과의 관계

4) 콘크리트 강도

그림6은 콘크리트 강도에 따른 강도증진의 변화를 보여주고 있는데, 그림에서 알 수 있듯이 강도가 높아질수록 강도증진은 둔화되는 것으로 나타났다. 유사한 콘크리트 강도에서 강도증진 변화는 횡보강근 체적비 변화와 횡보강근의 형태변화에서 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트 강도는 횡보강근 체적비와 횡보강근 형태 등과 독립적이 아닌 상호 종속적인 변수로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

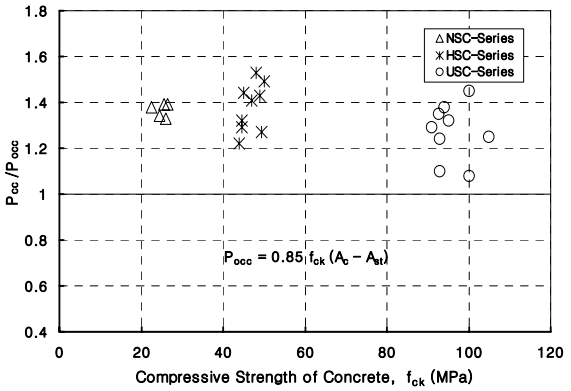

그림 6. 콘크리트강도와 강도증진의 관계

5) 등가 횡구속 압력

그림7은 Han-Shin이 횡보강근의 형태, 간격 및 주근의 개수에 따른 유효구속면적을 산정하기 위해 고강도 콘크리트에 맞게 수정 제안한 전체 구속면적에 대한 유효구속면적의 비로 표현되는 감소계수 λ^o를 적용한 유효 횡보강근 압력의 변화에 따른 콘크리트의 강도증진 변화를 보여주고 있는데, 그림에서 알 수 있듯이 유효 횡보강근 압력이 증가 할수록 뚜렷한 추세의 강도증진의 효과를 나타내는 것으로 나타났다. 따라서 강도증진의 효과는 횡보강근의 간격이나 형태가 복합적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

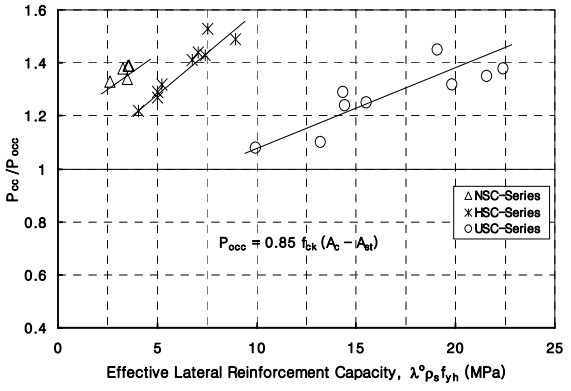

그림 7. 유효 횡구속압력과 강도증진과의 관계

위의 감소계수는 구속된 구속 콘크리트에 대한 임계단면에서 유효 구속면적의 비로 표현되는 것으로 다음과 같다.

$$\lambda^{o} = \left(1 - \frac{n\,c^2}{6\,B^2}\right)\left(1 - \frac{s}{3\,B}\right)^2 \qquad (식1)$$

여기서, n = 횡방향으로 지지된 주근의 개수, s = 횡보강근의 간격, c = 횡방향으로 지지된 주근의 순간격, B = 구속 콘크리트의 단면 폭

4.2 연성증진과 변수상관성(Han-Shin[5] 실험과 비교)

4.1절의 강도증진과 같은 방법으로 구속콘크리트의 연성증진과 변수상관성을 비교하기 위해서 횡보강근 간격, 횡보강근 체적비, 횡보강근 형태, 유효 횡보강근 압력에 따른 연성증진 변화를 그림8 ~ 그림11에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 연성증진의 변화도 강도증진의 변화 유사한 경향으로 나타났다. 강도증진에서 변수상관성을 언급했듯이, 연성증진의 변화는 횡보강근의 체적비에 직접적인 비례관계를 보이며, 콘크리트 강도가 높아질수록 연성증진 경향은 둔화되는 것으로 나타났다. 또한 본 연구의 실험체와 Han-Shin의 실험체가 모두 ACI Code에 맞게 횡보강근을 설계하였기 때문에 ACI Code의 경우 콘크리트 강도가 높아질수록 동일한 조건에서 횡보강근의 설계량이 많아지기 때문에 결국 그림9나 그림11에서 알 수 있듯이 콘크리트 강도가 높아질수록 보통강도 콘크리트와 유사한 연성증진이나 경향을 나타내기 위해서는 횡보강근의 요구량이 많아짐을 알 수 있다. 이는 곧 초고강도 콘크리트의 경우 보통강도 콘크리트와 같이 연성이 확보되면서 안전한 설계을 위해서는 횡보강근량이 많아지거나 횡보강근의 배근 형태가 충분한 구속력을 발휘할 수 있도록 복잡한 형태로 되어야 함을 의미한다고 볼 수 있다.

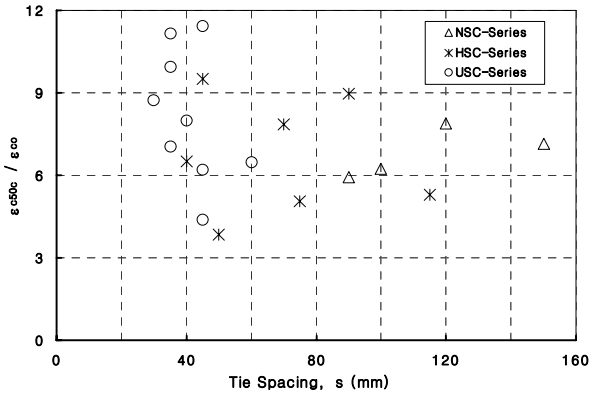

그림 8. 횡보강근 간격과 연성증진과의 관계

구속 콘크리트의 연성증진도 강도증진과 마찬가지로 여러 개의 변수가 서로 독립적이 아닌 종속적으로 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 그러나 연성증진에서 강도증진과 다른 점은 변수에 따라 연성증진의 변화폭이 더 커짐을 알 수 있는데, 이는 횡보강근이 충분한 응력 발휘하기 때문이며, 횡보강근이 강도증진보다는 연성증진에 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

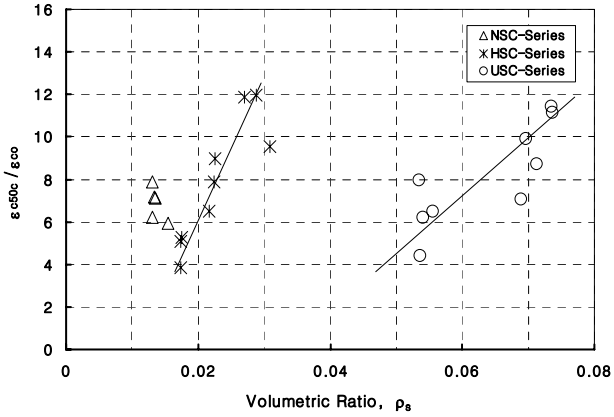

그림 9. 횡보강근 체적비와 연성증진과의 관계

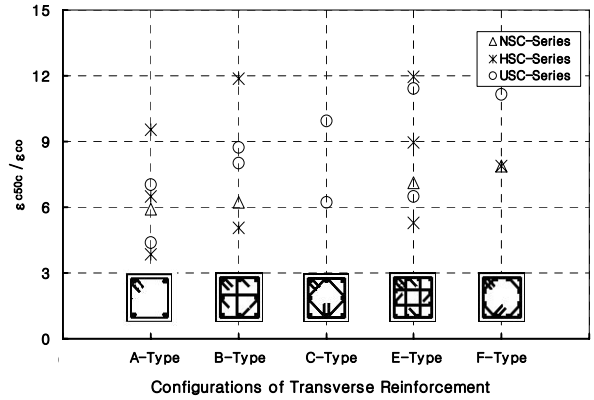

그림 10. 횡보강근 형태와 연성증진과의 관계

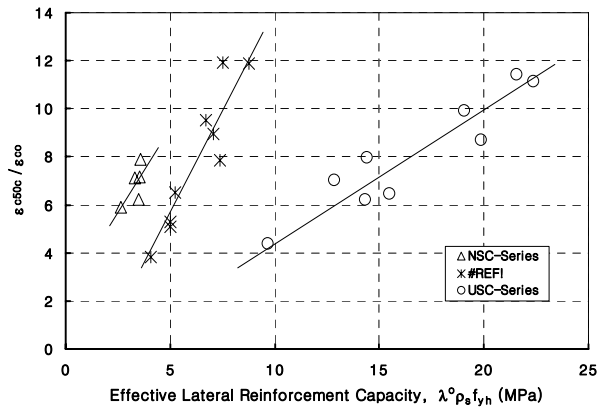

그림 11. 유효 횡구속압력과 연성증진과의 관계

5. 결 론

1) 구속 콘크리트의 강도증진과 연성증진은 횡보강근의 체적비, 간격, 형태의 개개의 변수보다는 여러 개의 변수가 서로 독립적이 아닌 종속적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 구속 콘크리트의 강도증진과 연성증진 면에서 3가지의 주요변수 중에서 가장 많은 영향을 미치는 변수는 횡보강근이 체적비로 나타났으며, 횡보강근의 체적비가 30% 증가할 때, 구속 콘크리트의 강도증진과 연성증진은 각각 7.5%, 50%로 나타났다. 또한, 횡보강근 응력-변형률 곡선에서 횡보강근이 최대하중에서 항복하지 않고 응력 하강부분에서 항복 또는 파단이 일어났다. 따라서 횡보강근의 체적비 증가는 강도증진의 향상보다는 연성증진의 향상에 더 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2) 횡보강근 형태상에서 볼 때, 같은 횡보강근의 체적비를 가진 경우 구속 콘크리트의 강도증진 면에서는 보조 횡보강근이 다이아몬드형과 팔각형인 C, F-Type이 가장 우수한 것으로 나타났고, 구속 콘크리트의 연성증진 면에서는 보조 횡보강근이 장방형과 팔각형인 E, F-Type이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 보조 횡보강근이 없고 단순히 외곽 횡보강근형인 A-Type의 경우 강도증진과 연성증진의 효과는 거의 없는 것으로 나타났다.

3) 초고강도 콘크리트 기둥은 횡보강근의 체적비의 증가에 따른 구속에 의해서 구속 콘크리트의 강도와 연성증진의 효과를 얻을 수 있지만, 일반강도 콘크리트와 고강도 콘크리트의 구속 콘크리트의 강도와 연성증진의 효과에 비해 둔화되는 것으로 나타났다. 따라서 더 낮은 강도의 콘크리트와 동일한 구속 콘크리트의 강도와 연성증진의 효과를 얻기 위해서는 더 많은 횡보강근의 체적비가 요구되거나 복잡한 형태의 횡보강근의 설계되어야 하는 것으로 나타났다.

4) 본 연구의 실험결과와 콘크리트 강도 24MPa ~ 50MPa을 대상으로 한 Han-Shin의 실험결과를 비교해 볼 때, 강도가 높아질수록 피복 콘크리트는 조기에 박리되는 것으로 나타나, 100MPa을 대상으로 한 초고강도 콘크리트의 피복 콘크리트는 하중지지 능력이 상당히 감소되는 것으로 나타났다. 초고강도 콘크리트에서 피복 콘크리트의 조기박리를 막기 위해서는 피복콘크리트의 두께를 증가 시키거나 고강도 철근을 이용하여 횡보강근이 간격을 넓혀줌으로 해서 구속 콘크리트와 피복 콘크리트의 약한 경계의 면적을 상대적으로 감소시켜야 한다고 판단되어 진다.

5) 본 연구결과와 Han-Shin의 연구결과를 동시에 분석한 결과 Han-Shin이 제안한 횡보강근 형태 변수를 정량화하여 형태에 따른 감소계수를 적용한 유효 횡구속압력으로 횡보강근에 의한 초고강도 콘크리트가 사용된 기둥에서 횡보강근으로 구속된 코어 콘크리트의 구속효과를 평가하는 것은 적절하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부와 한국과학재단의 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경건축연구센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.
(R11-2005-056-01003-0)

참고문헌

1. 김경회, "中心軸力을 받는 高强度 콘크리트 기둥의 擧動", 漢陽大學校 大學院 建築工學科, 碩士學位論文, 1999. 12.
2. 申成雨, "나선補强된 高强度 콘크리트 기둥의 延性에 關한 硏究", 大韓建築學會 論文集 第5卷 第6號, 1989. 12, pp.327~334.
3. ACI, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-99)", ACI Committee 318, American Concrete Institute, 1999
4. ACI-ASCE Committee 441, "High-Strength Concrete Columns : State of the Art", ACI Structural Journal, V.94, No.3, May~June 1997, pp. 323~335
5. Han, B. S., Shin, S. W., Bahn, B. Y. "A Model of Confined Concrete in High-Stength Reinforced Concrete Tied Columns", Magazine of Concrete Research, Vol.55, No.3, 2003, pp. 203~214
6. Daniel Cusson and Patrick Paultre, "High-Strength Concrete Columns Confined by Rectangular Ties", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.120, No.3, Mar, 1994, pp. 783~804
7. Daniel Cusson and Patrick Paultre, "Stress-Strain Model for Confined High-Strength Concrete", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.121, No.3, Mar, 1995, pp. 468~477
8. M. Saatcioglu and S. R. Razvi, "Strength and Ductility of Confined Concrete", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.118, No.6, June, 1992, pp 1590~1607
9. Salim Razvi, Murat Saatcioglu, "Confinement Model for High-Strength Concrete", ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 3, Mar, 1999, pp. 281~289.