

# 중심축력을 받는 R/C기둥의 횡보강근 정착형태에 따른 내력에 관한 연구

## The Strength of Concentrically Loaded R/C Columns with Various Hoop Anchor Types

이 우 진<sup>\*</sup> 김 민 수<sup>\*\*</sup> 이 대 교<sup>\*\*\*</sup> 서 수 연<sup>\*\*\*\*</sup> 윤 승 조<sup>\*\*\*\*</sup>  
Lee, Woo-Jin Kim, Min-Soo Lee, Dae-kyo Seo, Soo-Yeon Yoon, Seung-Joe

### ABSTRACT

In this study, an experimental investigation of the strength of R/C columns with 300mm square sections confined by head anchorage bar is presented. This initial phase of research considers only axial loading and consists of a total of 7 column tests. The main variables are distance and anchorage type of transverse reinforcement such as standard hooks and headed bar. The purpose of this study is to investigate the confinement effect and strength increment by head and to propose the confinement model for column using the head at end of lateral tie. Also, the test results for ultimate strength and strength gain factor of columns in this study and previous study is compared with the existing analytical models. Based on the test results, the Saatcioglu's model estimates confinement effects was closed to experimental value and the developed analytical approach considered the head was capable of predicting the strength gain factor results with a reasonable accuracy.

### 1. 서 론

기계적 정착은 철근콘크리트 구조물에서 주근이 설계내력을 발휘할 수 있도록 정착력을 확보하는 부분으로서, 최근 국내·외적으로 새로운 제품이 꾸준히 개발되고 있으며, 그 적용분야도 확대되고 있어 정착판(Head)을 부착한 구조물의 내력 및 부착거동에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 압축을 받는 기둥부재에서 Head를 활용한 기둥의 내력을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있으며, 특히, Head는 기둥띠철근의 정착에 있어 표준 갈고리를 대체하여 사용하였을 때, Head에 의해 횡구속압 면적이 증가하여 종국적으로 코아콘크리트를 효과적으로 구속함으로써 기둥의 내력 및 연성증가에 기여할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 중심축력을 받는 철근콘크리트 기둥 시험을 통하여 Head로 인하여 기둥의 내력에 미치는 영향을 평가하고, Head의 횡구속면적을 고려한 강도증가계수 산정식을 제안하고 기존 연구자들의 제안식과 비교·평가하고자 한다.

### 2 실험

#### 2.1 시험체 계획

Head에 의한 강도증가계수를 산정하기 위하여 그림 1과 같이 띠철근의 배근형태를 표준갈고리를 갖는 A형 시험체와 Head를 갖는 B, C, D형 시험체를 제작하였으며, 기본적으로 띠철근량은 ACI 기준의 내진설계를 만족하도록 계획하였다. 또한 띠철근의 배근간격에 대한 영향을 평가하고자 배근간격을 10, 15cm로 달리 다. 시험체는 단면 300×300mm, 높이 1200mm, 주근 12-D19(SD400) 표 1에서 시험체 일람을 나타내었으며, 시험체 형상 및 배근상세는 그림 1과 같다. 철근콘크리트 기둥의 거동에 영향을 미치는 주근비와 띠철근의 체적비는 간격별로 일정하게 하였으며, 띠철근의 간격, Head의 사용유무를 주요 변수로 하여 중심축력을 받는 총 7개의 시험체를 제작하여 평가하고자 한다.

\* 정회원, 충주대학교 산업과학기술연구소 연구원, 공학박사

\*\* 정회원, 충주대학교 대학교 석사과정

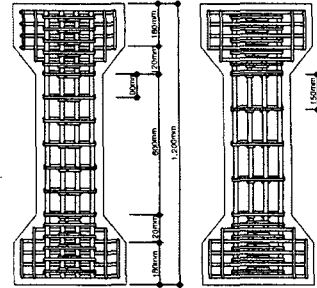
\*\*\* 정회원, 충주대학교 대학교 석사과정, (주) 도양건설 대표이사

\*\*\*\* 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

표 1 시험체 일람표

Specimen	f <sub>ck</sub> (MPa)	main rein.	Section of columns (mm <sup>2</sup> )	Lateral reinforcement			
				Anchorage type of end		Volumetric ratio	Spacing (mm)
				Hoop	Crosstie		
SC10A	38.45	12-D19 (SD400)	300*300	SH	SH+SH	0.0266	100
SC10B				SH	SH+MA	0.0266	100
SC10C				SH	MA+MA	0.0266	100
SC10D				MA	MA+MA	0.0266	100
SC15A				SH	SH+SH	0.0151	150
SC15B				SH	SH+MA	0.0151	150
SC15C				MA	MA+MA	0.0151	150

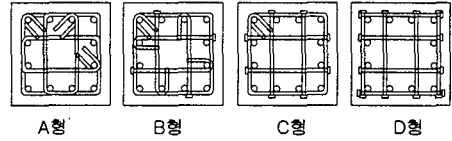
SC10A: SC-Square Column 10, 15-Space of Hoop, A, B, C, D-Configuration Type of Hoop



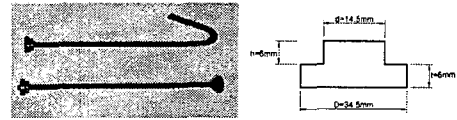
(a) 입면도

## 2.2 시험체 설치

가력 4900kN용량의 만능재료시험기(U.T.M)를 사용하여 정적하중제어 방식으로 중심축력을 가력 하였다. 실험측정 방법은 기둥의 길이방향 축변형도 측정은 시험체 중앙부 40cm에서 측정하였으며, 횡변위의 측정은 1면에 중앙부 60cm부분에 타설시 매립되어 있는 강봉에 고정철물을 이용하여 전기식 변위계 (LVDT)로, 축변위는 2면에 전기식 변위계 (LVDT) 4개를 설치하여 측정하였으며, 주근 횡강근의 변형률 측정을 위해 타설시 매립된 Wire Strain Gage(W.S.G)와 콘크리트의 변형률을 측정하기 위해 Concrete Strain Gage(C.S.G)로 측정을 하였으며 측정 데이터값을 Data logger에 의해 자동기록 하였다.



(b) 단면도



(c) Head형상 및 정착관 상세  
그림 1 시험체 형상 및 단면상세

## 3. 실험결과

### 3.1 균열발생과 파괴양상

표 2 실험결과

Specimen	Yield Point			Maximum Point			0.85P <sub>max</sub> after P <sub>max</sub>			Anchorage type at end				Longitudinal rein.	
	P <sub>y</sub> (kN)	Δ <sub>y</sub> (mm)	Δ <sub>yl</sub> (mm)	P <sub>max</sub> (kN)	Δ <sub>max</sub> (mm)	Δ <sub>ml</sub> (mm)	P <sub>0.85</sub> (kN)	Δ <sub>0.85</sub> (mm)	Δ <sub>ml0.85</sub> (mm)	hoop		cross-tie		ε <sub>y</sub>	ε <sub>max</sub>
										ε <sub>y</sub>	ε <sub>max</sub>	ε <sub>y</sub>	ε <sub>max</sub>		
SC10A	3060.82	0.88	0.81	3493.24	1.23	1.99	2969.19	4.79	3.56	415	580.5	441	882	1070	1544
SC10B	3022.36	0.98	0.78	3386.70	1.29	1.64	2878.65	6.879	10.30	409	683	327	525	1736	3986
SC10C	3122.32	0.83	0.75	3550.82	1.13	1.45	3018.15	4.09	12.87	369	567.5	313	356	1315	1968
SC10D	3045.71	0.92	1.17	3413.09	1.37	2.36	2901.11	11.4	6.45	443	743	443	522	1941	5985
SC15A	2779.07	0.82	1.87	3211.99	1.12	3.65	2730.12	3.47	6.48	426	560	412	-	1548	2906
SC15B	3054.34	0.86	1.59	3431.83	1.13	2.4	2917.00	3.13	7.68	390	653	438	694	1647	2199
SC15C	2926.72	0.92	1.00	3372.28	1.34	3.12	2866.38	5.62	13.20	431	645	354	679	1675	6384

P<sub>y</sub>: 항복하중 Δ<sub>y</sub>:항복 축변위 Δ<sub>yl</sub>:항복 횡변위 P<sub>max</sub>: 최대하중 P<sub>0.85</sub>: 85%하중 ε<sub>y</sub>: 항복변형률 ε<sub>max</sub>: 최대변형률

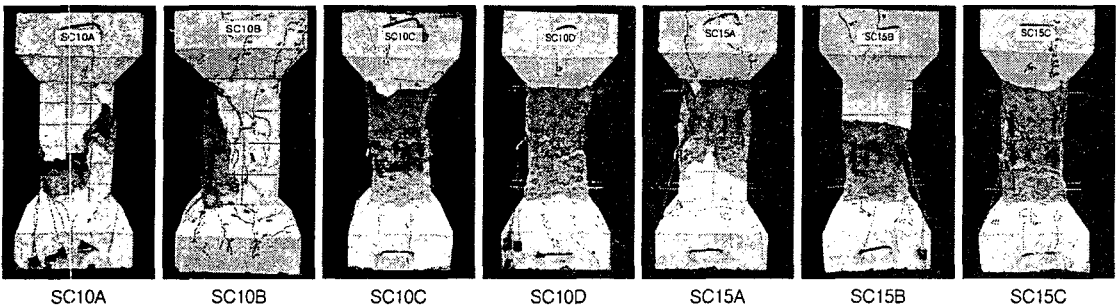


그림 2 시험체별 균열발생 및 최종파괴양상

대부분의 시험체의 파괴는 초기균열 시 기둥의 단부부분에서 수직균열이 발생하였고, 항복시 시험체의 측정구간으로 수직균열이 집중되었고, 그림 3과 같이 최종 파괴 시 정착판이 커튼 역할에 의해 파괴가 박리되었다. 실험결과, 정착판(Head)으로 인한 횡구속 효과를 보여주고 있는 주근좌굴이 뚜렷이 나타나고 있어 정착판이 주근 좌굴을 지연시키는데 영향을 미치는 것으로 사료된다.

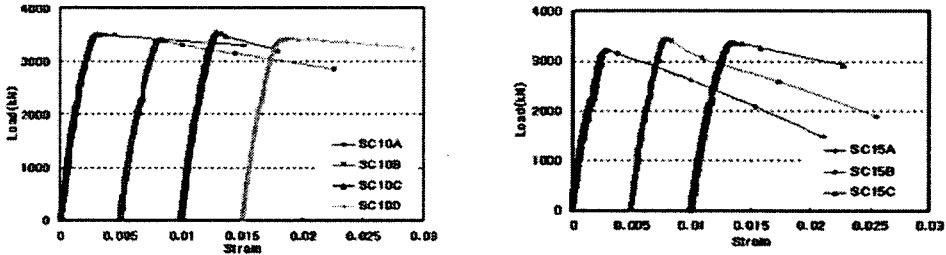


그림 3 하중-축변형률 곡선

### 3.2 Head로 구속된 기둥의 강도증가계수

본 연구에서 제안한 횡구속모델은 Sheikh and Uzumeri(1980) 모델을 근거하여 Head를 사용한 띠철근의 강도증가계수 산정식을 제안하였다.

#### 3.2.1 Head로 인하여 효과적으로 구속된 코아콘크리트의 면적

Head로 인하여 작용하는 횡구속압이 작용하는 각도를 CCD설계법에 따라 40°로 가정하여 그림 4에서 빗금친 비구속면적을 산정하면

빗금친 삼각형의 높이  $h = \frac{C}{2} \tan \theta$  이며,

$$\text{따라서 빗금친 삼각형 } \Delta \text{ 면적 } A_{\Delta} = \frac{C^2}{4} \tan \theta \quad \text{식(1)}$$

Head에 의해 횡구속된 유효단면적은

$$A_{eff-Head} = A_{co} - \sum A_{\Delta} \quad \text{식(2)}$$

코아면적에 대한 유효단면적의 비를  $\lambda$ 라고 하면

$$\lambda = \frac{A_{eff-Head}}{A_{co}} = 1 - \frac{\sum A_{\Delta}}{A_{co}} \quad \text{식(3)}$$

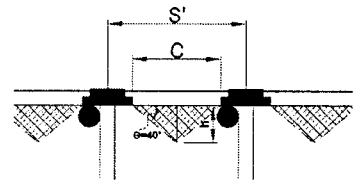


그림 4 비구속된 면적

#### 3.2.2 임계단면에서의 Head로 횡구속된 코아콘크리트의 면적

비구속된 코아콘크리트의 깊

$$\text{이 } h_c = \frac{H'}{2} \tan \theta$$

그림 5~6에서 일점쇄선으로 둘러싸인 면적으로  $A_{co}'$ 라 정의하면  $A_{co}'$ 는 다음과 같다.

$$A_{co}' = (B - 2h_c)(H - 2h_c) \quad \text{식(4)}$$

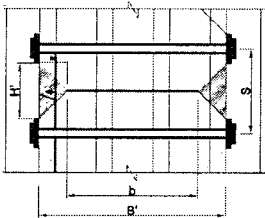


그림 5 임계단면에서의 비구속 면적

$$A_{Critt-Head} = \lambda \times A_{co}' \quad \text{식(5)}$$

$$= \lambda \cdot (B - H' \tan \theta) \cdot (H - H' \tan \theta) \quad \text{식(6)}$$

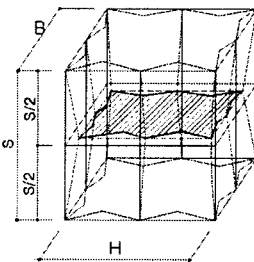


그림 6 임계단면에서 효과적으로 구속된 단면적

### 3.2.3 강도증가계수 결정

따라서 강도증가계수는 식 (7)와 같이 정의할 수 있다.

$$K_S = \frac{P_{occ} + P_{add}}{P_{occ}} = 1 + \frac{P_{add}}{P_{occ}} \text{-----식(7)}$$

$$P_{occ} = 0.85 \times f_{cu} \times (A_{co} - A_{st})$$

$$P_{add} = A_{criti-Head} \times \alpha \times (\rho_s \times f_{hy})^\beta \text{ (inch, ksi)}$$

### 3.3 강도증가계수의 비교분석

시험결과, 강도증가계수는 띠철근간격이 10cm인 경우는 유사한 강도증가계수를 나타내었지만, 띠철근 배근간격이 15cm인 경우는 Head로 횡구속한 시험체가 표준 시험체보다 약 9%의 강도증가를 나타내었으며, 각 시험체별 강도증가계수는 표 3과 그림 7에 나타내었다. 실험값/해석값에 대한 비를 분석한 결과, Kent-Park는 평균 1.06, Yong은 1.13, 윤승조는 1.09로 나타나 3명의 제안식은 다소 과소평가한 것을 알 수 있으며, Uzumeri는 평균 0.86, Cusson은 0.94로 나타나 제안식이 강도증가계수를 과대평가하는 것으로 조사되었다. Saatcioglu는 평균 1.01(표준편차4.6%)로 가장 정확한 강도증가계수값을 예측하고 있으며, Head를 고려한 본연구의 결과였다.

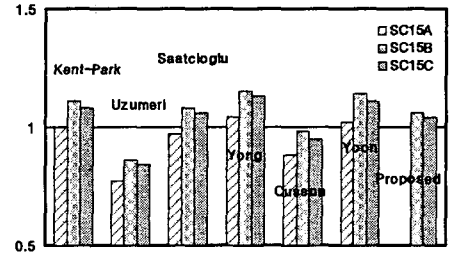
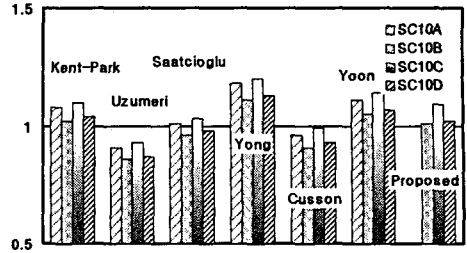


그림 8 기존제안 모델과 실험치의 극한내력 비교 제안식도 평균 1.04, 표준편차3.2%로 매우 정확하였다.

표 3 기존 해석과 실험결과와의 비교

Specimen	Test Value	Kent-Park	Uzumeri	Saatcioglu	Yong	Cusson	윤승조	제안식
SC10A	Ks	1.34	1.24	1.48	1.32	1.14	1.39	-
	eKs/tKs	-	1.08	0.91	1.01	1.18	0.96	1.11
SC10B	Ks	1.27	1.24	1.48	1.32	1.14	1.39	1.26
	eKs/tKs	-	1.02	0.86	0.96	1.11	0.91	1.05
SC10C	Ks	1.37	1.24	1.48	1.32	1.14	1.39	1.26
	eKs/tKs	-	1.1	0.93	1.03	1.20	0.99	1.14
SC10D	Ks	1.29	1.24	1.48	1.32	1.14	1.39	1.26
	eKs/tKs	-	1.04	0.87	0.98	1.13	0.93	1.07
SC15A	Ks	1.16	1.16	1.5	1.19	1.12	1.32	-
	eKs/tKs	-	1	0.77	0.97	1.04	0.88	1.02
SC15B	Ks	1.29	1.16	1.5	1.19	1.12	1.32	1.21
	eKs/tKs	-	1.11	0.86	1.08	1.15	0.98	1.14
SC15C	Ks	1.26	1.16	1.5	1.19	1.12	1.32	1.21
	eKs/tKs	-	1.08	0.84	1.06	1.13	0.95	1.11

### 4. 결론

Head로 횡구속된 기둥의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 최대내력은 띠철근 배근간격이 10cm인 경우, C type 시험체가 표준값과리 정작성시험체보다 다소 높게 나타났으나, B, D type은 오히려 낮게 나타났다. 띠철근 배근간격이 15cm인 경우는 Head로 횡구속한 시험체가 표준시험체보다 높게 나타나 띠철근 간격이 넓을수록 Head로 인한 횡구속효과가 증가되는 것으로 조사되었다.
- 2) 강도증가계수 산정에 있어 Saatcioglu식은 실험값/제안값이 평균 1.01, 표준편차4.6%로 가장 정확한 강도증가계수를 예측하고 있으며, Head를 고려한 본연구의 제안식도 평균 1.04, 표준편차3.2%로 비교적 정확한 강도증가계수 산정이 가능한 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 논문은 2004년도 산학협동재단 학술연구비에 의해 연구되었음을 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 이리형, 윤승조, 김성수, 이용택 "증심축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥에서 띠철근의 구속효과에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 11권 4호 통권78호 1995년 5월, pp. 191~199
2. 조철호, 임철선 "철근콘크리트 기둥의 내력에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 6권 4호 통권30호 1990년 8월
3. Salim Razvi and Murat Saatcioglu, Member, ASCE, "Confinement Model for High-Strength Concrete", Journal of Structural Engineering, March, 1999, pp. 281~289.
4. Chao-Wei Tang, How-Ji Chen, Tsong Yen, "Modeling Confinement Efficiency of Reinforced Concrete Columns with Rectilinear Transverse Steel Using Artificial Neural Networks", Journal of Structural Engineering, ASCE, June, 2003, pp. 775~783