

# 콘크리트 압축강도와 띠철근의 체적비에 따른 R/C 단주의 내력평가

## Evaluation of R/C Short Columns Strength by Concrete Compressive Strength and Transverse Reinforcement Ratios

|                     |                      |                      |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| 김 경 회 <sup>*</sup>  | 김 재 환 <sup>*</sup>   | 한 범 석 <sup>*</sup>   |
| Kim, Kyong Hoi      | Kim, Jae Hwan        | Han, beom Seok       |
| 반 병 열 <sup>**</sup> | 이 광 수 <sup>***</sup> | 신 성 우 <sup>***</sup> |
| Bahn, Byong Youl    | Lee, Kwang Soo       | Shin, Sung Woo       |

### ABSTRACT

To evaluate the strength of square reinforced concrete short columns, thirty specimens were manufactured and tested under monotonically increasing concentric compression. The test parameters included the volumetric ratio of transverse reinforcement ( $\rho_h = 0.49 \sim 2.65$ ), and concrete compressive strength (234, 437, 704 kgf/cm<sup>2</sup>). Test results are shown that: (1) Behavior of high-strength concrete column is improved by providing increased volumetric ratio; and (2) ACI Eq. is not proper to evaluate HSC short column strength.

### 1. 서론

최근 도심지의 업무지역 뿐만 아니라 주상복합건물에서도 건물의 초고층화를 통하여 한정된 부지의 효율적인 활용과 전망을 확보하려는 추세를 보이고 있는데, 건축물의 초고층화나 대형화, 특수화에 따라 구조물의 하중 재하능력의 증대가 필요하며, 특히 하층부 기둥에는 고축력에 저항할 수 있는 성능이 요구되어 고강도 구조재료를 사용하는 추세에 있다. 그러나 고강도 콘크리트가 높은 압축강도를 가지는 반면에 매우 취약적인 파괴 양상을 나타내므로, 특히 축력을 받는 기둥부재는 연성의 확보가 무엇보다 중요하다. 이러한 연성 확보는 띠철근에 의하여 콘크리트를 구속함으로써 성취될 수 있고, 그 구속정도에 따라 최대하중의 증가 및 연성 확보 면에서 많은 이점이 있다. 따라서 본 연구는 띠철근으로 보강된 고강도 콘크리트 기둥부재에서 축압( $P_0$ )에 대한 내력과 연성에 미치는 요인들 중 띠철근의 체적비 및 콘크리트 압축강도 등을 변수로 삼아 연구를 진행하였다.

\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 대학원

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

\*\* 정회원, 대전대학교 건축공학과 조교수

\*\*\* 정회원, 여주대학 건축과 조교수

## 2. 실험

### 2.1 실험체

실험체 일람은 표 1에, 배근 상세는 그림 1에 나타내었다. 총 30개의 실험체를 제작하였고, 각 실험체는 20×20×70cm(실험구간 : 중앙부 40cm), 상하단 15cm는 띠철근의 간격을 조밀하게 배근하여 실험구간보다 먼저 파괴되는 것을 방지하였다. 콘크리트 전단면적에 대한 코어 단면적은 75.7%이다.

표 1 실험체 및 실험결과

| 실험체명    | $f_{ck}$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 띠철근   |        |      | 실험결과               |                       |                |
|---------|------------------------------------|-------|--------|------|--------------------|-----------------------|----------------|
|         |                                    | 배근 형태 | 간격(mm) | 체적비  | $P_{ACI}$<br>(ton) | $P_{\sigma}$<br>(ton) | $P_u$<br>(ton) |
| NC      | 234                                | C     | -      | -    | 79.6               | 73.1                  | 74.2           |
| NS-100  |                                    | S     | 100    | 0.49 | 117.8              | 92.5                  | 109.8          |
| NS-50   |                                    |       | 50     | 0.98 |                    | 93.3                  | 112.4          |
| NS-33   |                                    |       | 33     | 1.48 |                    | 115.0                 | 120.1          |
| NSO-100 |                                    | SO    | 100    | 0.86 |                    | 104.4                 | 124.1          |
| NSO-50  |                                    |       | 50     | 1.71 |                    | 95.7                  | 123.8          |
| NSO-33  |                                    |       | 33     | 2.57 |                    | 98.6                  | 126.5          |
| NSR-133 |                                    | SR    | 133    | 0.88 |                    | 98.8                  | 103.2          |
| NSR-67  |                                    |       | 67     | 1.77 |                    | 93.3                  | 113.6          |
| NSR-44  |                                    |       | 44     | 2.65 |                    | 75.4                  | 121.3          |
| MC      | 437                                | C     | -      | -    |                    | 148.6                 | 120.4          |
| MS-100  |                                    | S     | 100    | 0.49 | 185.4              | 170.2                 | 170.6          |
| MS-50   |                                    |       | 50     | 0.98 |                    | 179.6                 | 194.2          |
| MS-33   |                                    |       | 33     | 1.48 |                    | 157.6                 | 177.9          |
| MSO-100 |                                    | SO    | 100    | 0.86 |                    | 153.2                 | 177.8          |
| MSO-50  |                                    |       | 50     | 1.71 |                    | 144.4                 | 187.6          |
| MSO-33  |                                    |       | 33     | 2.57 |                    | 179.2                 | 212.9          |
| MSR-133 |                                    | SR    | 133    | 0.88 |                    | 149.0                 | 204.8          |
| MSR-44  |                                    |       | 67     | 1.77 |                    | 157.5                 | 207.1          |
| MSR-67  |                                    |       | 44     | 2.65 |                    | 200.5                 | 205.9          |
| HC      | 704                                | C     | -      | -    |                    | 239.4                 | 175.3          |
| HS-100  |                                    | S     | 100    | 0.49 | 274.2              | 216.3                 | 209.9          |
| HS-50   |                                    |       | 50     | 0.98 |                    | 178.1                 | 219.2          |
| HS-33   |                                    |       | 33     | 1.48 |                    | 180.3                 | 194.2          |
| HSO-100 |                                    | SO    | 100    | 0.86 |                    | 172.2                 | 187.9          |
| HSO-50  |                                    |       | 50     | 1.71 |                    | 212.8                 | 214.4          |
| HSO-33  |                                    |       | 33     | 2.57 |                    | 190.9                 | 250.0          |
| HSR-133 |                                    | SR    | 133    | 0.88 |                    | 163.5                 | 248.5          |
| HSR-67  |                                    |       | 67     | 1.77 |                    | 203.7                 | 239.5          |
| HSR-44  |                                    |       | 44     | 2.65 |                    | 207.7                 | 249.7          |

\* 주근비( $\rho$ ) = 2.14%

콘크리트의 강도는 234, 437, 704kgf/cm<sup>2</sup>이며, 주근은 SD40의 12-D10으로 하였다. 보조띠철근의 배근형태는 S(Square), SO(Square+Octagonal), SR(Square+Rectangular)형으로, 띠철근의 항복강도는 4655kgf/cm<sup>2</sup>, 띠철근의 직경은 D6으로하여 유사한 체적비를 갖도록 간격을 변화시켜 배근하였다. 끝단 구부림각은 135° 후크, 정착길이는 6d<sub>b</sub>로 하였다.

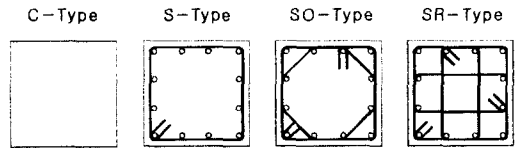


그림 1 배근 상세

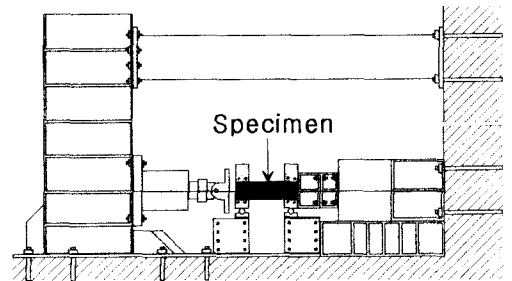


그림 2 실험체 설치상황

\*NSR-44  
 띠철근의 배근간격 : 33, 50, 44, 67, 100, 133mm  
 보조띠철근의 형태 : O(Octagonal), R(Rectangular)  
 띠근 형태 : Square Tie  
 콘크리트 압축강도 : N(234kgf/cm<sup>2</sup>),  
 M(437kgf/cm<sup>2</sup>), H(704kgf/cm<sup>2</sup>)

### 2.2 사용재료

골재는 13mm를 사용하였으며,  $f_{ck}$ 은 표 1에, 표 2에는 철근의 역학적 성질을 나타내었다

표 3 철근의 역학적 성질

| 사용철근 | $f_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $f_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\epsilon_y$ ( $\times 10^{-6}$ ) | $E_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 신율 (%) |
|------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------|
| D10  | 4690                         | 5070                         | 2558                              | 1.83                         | 20.0   |
| D6   | 4655                         | 6125                         | 4363                              | 1.97                         | 12.5   |

### 3. 실험 결과 및 분석

중심축하중을 받는 R/C기둥에 대한 실험결과(표 1), 파괴양상 및 축응력-변형을 곡선, 그리고 각각의 변수에 관해서 정리하였다.

#### 3.1 파괴양상

실험체의 파괴양상은 고강도로 갈수록 균열에 의한 피복탈락 이후 급격한 주근의 좌굴과 코아콘크리트의 파괴가 동시에 발생하며, 최종파괴에 도달하였다.

#### 3.2 축응력-변형을 곡선

하중에 따른 축응력도와 변형을 관계가 그림 3 (a), (b) (c)에 나타나 있다. 보통강도 콘크리트를 사용한 실험체들의 경우 최대응력도 이후에도 응력도가 크게 감소하지 않고 완만한 하강곡선을 나타냈으나(그림 3.(a)) 강도가 높아짐에 따라 최대응력도 이후 하강곡선은 더 급격히 감소해지는데 것을 알 수 있다. 이러한 거동은 고강도 콘크리트의 경우 보통강도 콘크리트에 비해 포아송비가 상대적으로 작아 취성적이기 때문에 락철근의 효과가 다소 감소한 것으로 보여진다.

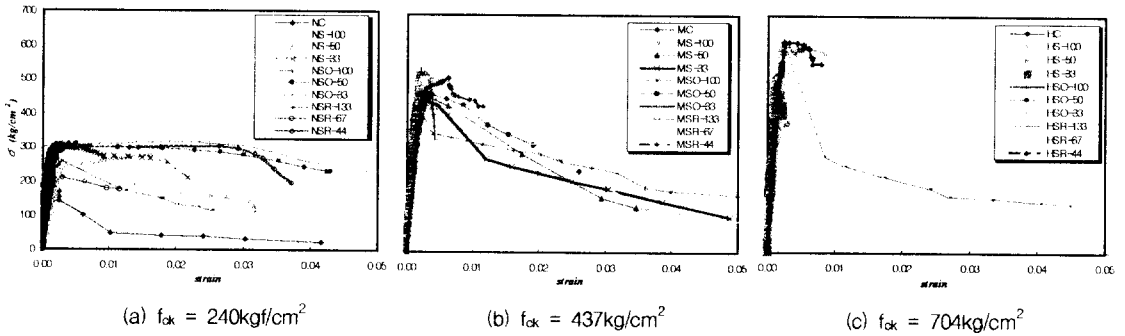


그림 3 축응력-변형을 곡선

### 3.3 $f_{ck}$ 과 $f'_{cc}$ 와의 관계

#### 3.3.1 $f_{ck}$ 의 영향

중심 축하중을 받는 기둥내력의 산정에 있어 ACI Eq.(식1)에서는 콘크리트 압축강도에 0.85를 고려한 값으로 사용하고 있다. 그러나 캐나다에서는 0.85를 직접 사용하지 않고 콘크리트 압축강도의 증가에 따른 영향을 고려하여 (식2)와 같이 사용하고 있다.

$$P_o = 0.85f_{ck}(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y \quad (\text{식 1})$$

$$\alpha_1 = (0.85 - 0.0015f_{ck}) \geq 0.67 \quad (\text{식 2})$$

본 실험에서 진행한 공시체 강도( $f_{ck}$ )와 무근 콘크리트 기둥의 결과( $f'_{cc}$ )와의 비교가 그림 4(a)에 나타나 있다. 그림에 나타나 있는 실험결과 콘크리트 강도가 증가함에 따라  $f'_{cc}/f_{ck}$  값이 줄어들고 있어 이에 대한 영향을 고려하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

#### 3.3.2 횡보강근 체적비의 영향

락철근비의 증가에 따른 기둥의 응력도를 평가하기 위해 실험체의 응력도( $\sigma$ )와  $f'_{ck}$ ,  $0.85f_{ck}$ , 그리고 무근 콘크리트에 의한  $f'_{cc}$  값의 비를 비교한 결과가 그림 5에 나타나 있다. ACI Eq.에 의해 비교한 결과, 락철근비가 증가함에 따라 보통강도( $234\text{kgf/cm}^2$ )와 중간강도( $437\text{kgf/cm}^2$ )를 사용한 실험체들은 비교적 안전측이었으나 고강도( $704\text{kgf/cm}^2$ )의 경우에는 불안전측으로 나타났다(그림 5(a)). 그러나  $f'_{cc}$

를 사용한 경우(그림5(c))에는 고강도 콘크리트 역시 안전측으로 나타났다. 이는 철근비가 증가함에 따라 다소 뚜렷한 증가를 보여주었다.

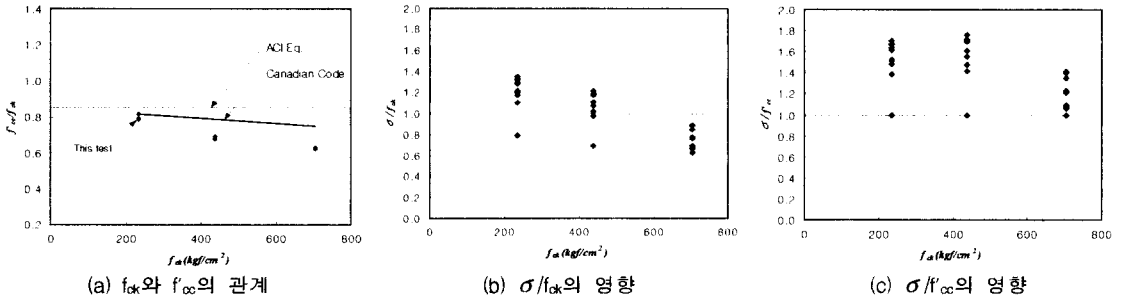


그림 4 공시체강도( $f_{ck}$ )와 무근 콘크리트 강도( $f'_{cc}$ )의 관계

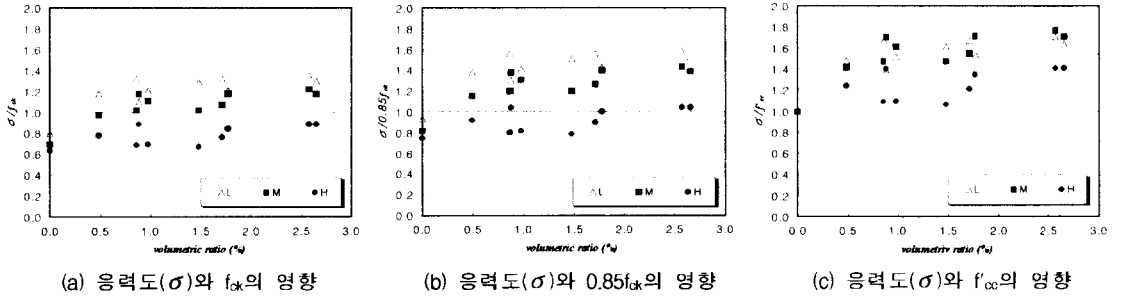


그림 5 띠철근체적비와의 관계

#### 4. 결론

콘크리트 압축강도와 띠철근의 체적비에 따른 중심 축하중을 받는 기둥 실험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1)  $0.85f_{ck}$ 를 사용한 기둥의 내력산정식은 고강도 콘크리트 기둥 내력산정에 부적절하다고 판단된다.
- (2) 고강도 콘크리트 기둥의 경우, 보통강도 콘크리트 기둥에 비해 띠철근에 의한 구속효과는 감소하고, 이에 따라 취성파괴를 나타내었다.
- (3) 콘크리트 압축강도가  $700\text{kgf/cm}^2$  이상 사용한 단주의 연성적인 거동을 위해서는 띠철근비가 2.65를 상회해야 될것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터와 풍림산업(주)의 연구비 지원에 의한 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) ACI, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-95)", ACI Committee 318, American Concrete Institute, 1995
- 2) 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
- 3) M. Saatcioglu and S. R. Razvi, "High-Strength Concrete Columns with Square Sections under Concentric Compression", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.124, No.12, December, 1998, pp.1438~1447