

# 철근 콘크리트 기둥의 2축휨 강도에 영향을 미치는 변수 고찰

## An Evaluation of Influencing Parameters on Biaxial Bending Moment Strength of Reinforced Concrete Columns

유 석 형\*                  반 병 열\*\*                  신 성 우\*\*\*  
Yoo, Suk-Hyung      Bahn, Byong-Youl      Shin, Sung-Woo

### Abstract

In the PCA Load Contour Method, the biaxial bending design coefficient of columns( $\beta$ ) is based on the equivalent rectangular stress block (RSB). And coefficient of  $\beta$  estimates the reinforcement index to be a influencing parameter on biaxial moment strength of RC columns without considering the arbitrary condition of bar arrangement. The experimental results of high strength concrete (HSC) columns subjected to combined axial load and biaxial bending moment were compared to the analysis results of RSB method.

As result, the accuracy of RSB method is still acceptable for HSC columns and, as the reinforcement is placed densely in each corner of column section, the  $\beta$  is decreased.

**Keywords :** high strength concrete, biaxial bending, load contour, design constant

### 1. 서 론

철근 콘크리트 기둥에 작용하는 2축휨 모멘트는 단면의 두 축에 동시에 휨 모멘트가 작용할 경우 발생하며, 이와 같은 하중은 모서리 기둥이나, 불규칙하게 배열된 기둥에서 발생하게 된다. 2축휨을 받는 기둥의 설계 및 해석은 1축휨 해석과 달리 중립축의 각도와

깊이를 결정하기 위하여 반복적인 계산을 수행하여야 하므로 시간이 오래 걸리고 번거롭다.

따라서 ACI 설계 기준<sup>(1)</sup>에는 실용적이고 간편하게 기둥의 2축휨 설계를 할 수 있도록 상반하중법(Bresler Reciprocal Load Method)과 등하중선법(Bresler Load Contour Method, PCA Load Contour Method)을 제시하고 있다.<sup>(2)</sup>

\* 정회원, 한양대학교 대학원 박사과정

\*\* 정회원, 대전대학교 건축공학과 교수

\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

E-mail : swshin@ihanyang.ac.kr 031-400-5132

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2003년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이중 PCA 등하중선법에서는 실용적인 설계조건인 범위에서 기둥의 2축휨과 1축휨 강도의 상관관계를 표현하는 계수  $\beta$ 를 도표로서 제시하고 있는데, 이는 주어진 2축휨 하중을 등가의 1축휨으로 환산하여 설계함으로써 번거로운 2축휨 해석을 수행하지 않고 간편하게 2축휨 설계를 수행할 수 있도록 하는 방법이다.

설계 도표에서 제시하는  $\beta$ 계수산정을 위한 단면해석에는 콘크리트의 등가응력블럭 계수( $\beta_1$ )와 극한변형률( $\epsilon_{cu}=0.003$ )을 적용한 해석방법(RSB)<sup>(3)</sup>을 적용하고 있으며, 기둥의 휨 강도에 미치는 여러 변수에 따라서 계수  $\beta$ 를 제시하고 있다. 이중 주근의 항복강도와 수량, 철근지수( $u=p \times f_y / f_{ck}$ ) 및 축력비 등에 따라 세분화되어 있으므로 요구되는 설계조건과 일치하는 값을 직접 선택할 수 있으나, 동일한 주근이 균등하게 배근된 경우에만 적용될 수 있다는 한계가 있다. 콘크리트 압축강도와 단면형상비(B/H) 등에 대하여는 2축휨 강도에 미치는 효과가 적은 것으로 평가하여 이들 변수가 일정한 범위 내에서 동일하게 계수  $\beta$ 를 제시하고 있다. 도표를 통하여 계수  $\beta$ 를 산정할 수 있는 단면의 형상비 범위는 1~4, 콘크리트 압축강도는 210~420kgf/cm<sup>2</sup> 범위로 제한된다.

그러나 휨을 받는 단면의 압축응력 분포특성은 콘크리트의 압축강도와 압축응력을 받는 영역의 형태에 따라서 달라지므로<sup>(4),(5)</sup> RSB에 의한 해석방법이 고강도 콘크리트 기둥의 2축휨 해석시 신뢰성을 유지할 수 있는가 검토할 필요가 있다. 또한 서로 동일한 철근량을 갖는 기둥일지라도 주근의 배열형태에 따라서 휨 강도는 달라지며, 특히 주근의 단면적, 간격 및 항복강도 등을 기둥단면의 모서리에 집중시키거나 분산시킴에 따라서 균등한 배열의 단면보다 1축휨과 2축휨 강도의 상대적인 차이는 변화할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 현행 ACI 기준에서 규정하고 있는 2축휨을 받는 기둥의 적용 범위를 초과하는 고강도 콘크리트 기둥의 2축휨 실험 결과와 RSB해석 결과를 비교함으로써 RSB해석법이 고강도 콘크리트 기둥의 계수  $\beta$ 산정에 적절하게 사용될 수 있는가 검토하였다. 또한 동일한 철근량을 유지하면서 모서리 주근의

간격, 단면적 비율 및 항복강도 등을 변수로 한 단면의 휨 해석을 수행하고 계수  $\beta$ 를 산출함으로써 주근의 배근 조건에 따른 계수  $\beta$ 의 변화를 고찰하였다.

## 2. 실험 및 해석

### 2.1 실험

실험은 Table 1과 같이 콘크리트 강도, 단면의 형상비 등의 단면조건과 1축 및 2축휨 강도의 비교를 위한 편심각도, 인장, 균형 및 압축파괴를 각각 유도하기 위하여 산출된 편심거리 등을 변수로 하는 21개의 단주 실험체에 2축편심 축력을 가하여 실험을 수행하였다. 기둥의 길이는 단면의 형상비에 따라 일정한 비례를 유지하면서 각각 88, 132 및 176cm로 제작되었으며, 콘크리트 표면과 주근의 중심간거리는 각각 3.25, 3.55 및 3.7cm를 유지하였다. 실험체 제작에 사용된 콘크리트와 철근의 재료시험 결과로부터 구하여진 각 재료의 응력-변형률 곡선은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같이 나타났다.

Table 1 실험체 변수

단면크기 (cm <sup>2</sup> ) 및 주근	콘크리트 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	편심각 (θ)	편심거리 (cm)	실험체명
20×20 4-D13	350	0°	13.05	NST-Ux
			8.46	NSB-Ux
			5.9	NSC-Ux
		45°	11.66	NST-B
			7.27	NSB-B
			4.73	NSC-B
	585	0°	10.76	MST-Ux
			4.83	MSC-Ux
			9.85	MST-B
		45°	6.34	MSB-B
			4.35	MSC-B
			7.22	HSB-Ux
650	22.5°	10.15	HST-B	
		6.66	HSB-B	
		4.05	HSC-B	
20×30 4-D19	350	0°	24.29	NR1T-Ux
		33.69°	19.23	NR1T-B
	650	0°	18.89	HR1T-Ux
		33.69°	13.83	HR1T-B
20×40 4-D22	350	0°	33.82	NR2T-Ux
		26.57°	26.68	NR2T-B

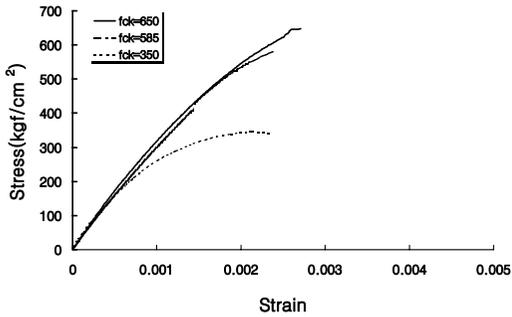


Fig. 1 콘크리트 응력-변형률 곡선

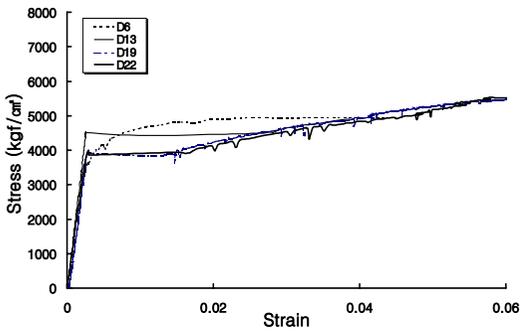


Fig. 2 철근의 응력-변형률 곡선

## 2.2 실험 결과

일반적인 파괴양상은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 실험체의 중간 높이에서 휨파괴가 지배적으로 나타났으며, 비틀림 구속이나 주두 부분의 전단파괴는 관찰되지 않았다.

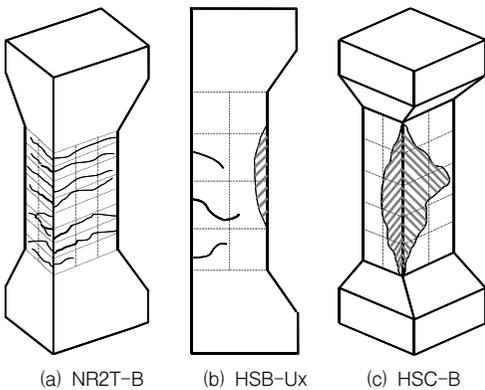
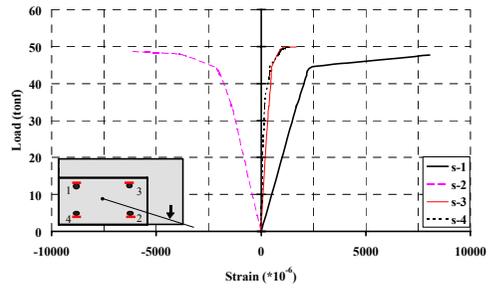
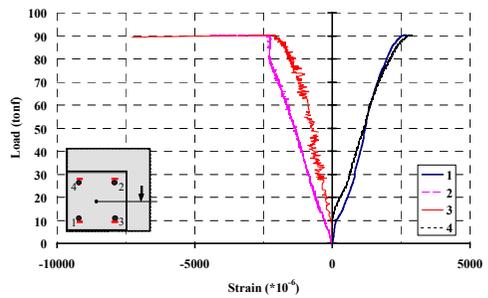


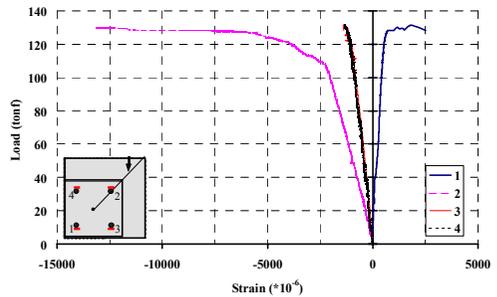
Fig. 3 최종파괴 상황



(a) NR2T-B



(b) HSB-Ux



(c) MSC-B

Fig. 4 주근의 하중-변형률 곡선

Fig. 3과 주근의 하중-변형률 관계를 나타내는 Fig. 4로부터 각 실험체는 최종파괴시 인장, 균형 및 압축파괴 양상이 실험체획대로 유도되었음을 알 수 있다.

### 2.3 RSB의 검토

RSB방법에 의하여 2축 편심축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥의 단면을 해석할 경우 콘크리트 강도 증가에 따른 응력-변형률 관계의 변화와 비직사각형 압축영역에서의 응력분포 특성의 변화 등으로 인하여 RSB방법에서 적용하는 등가응력불력의 계수 및 극한 변형률이 영향을 받게 되므로 주의하여 검토할 필요가 있다.

따라서 콘크리트 강도가 설계기준의 한계범위를 초과하는 고강도 콘크리트 기둥의 2축 휨 해석에 RSB방법에 의한 해석이 보통강도 콘크리트 기둥의 해석에서와 동일한 신뢰성을 유지하는가를 검토하기 위하여 실험결과와 RSB에 의한 해석결과를 Table 2와 같이 비교하였다. 콘크리트 강도 측면에서 보면 콘크리트 강도가 420kgf/cm<sup>2</sup>을 초과하여도 실험결과와 해석결과의 오차는 크게 차이가 나지 않으나, 1축 휨과 2축 휨 실험체 사이의 해석의 오차는 다소 크게 나타났다. 1축 휨 실험체의 경우 보통강도보다 고강도 콘크리트 실험체의 해석오차가 4% 증가하고, 2축 휨 실험체의 경우 고강도 콘크리트 실험체의 해석오차가 3% 증가하여 신뢰성이 크게 낮아지지 않은데 비하여, 1축 휨과 2축 휨 실험체의 해석오차 차이를 보면 보통강도 콘크리트의 2축 휨 실험체가 1축 휨 실험체보다 해석오차가 14% 증가하였으며, 고강도 콘크리트의 2축 휨 실험체의 경우 해석오차가 13% 증가하여 다소 큰 차이를 나타내었다. 따라서 RSB에 의한 기둥 단면의 휨 해석은 콘크리트 강도에 상관없이 1축 휨에 비하여 상대적으로 2축 휨 강도를 과소 평가하는 것으로 나타났으며, 콘크리트 강도 측면에서는 콘크리트 강도가 증가하여도 신뢰성은 크게 낮아지지 않으므로 콘크리트 강도가 PCA의 2축 휨 설계도표의 제한된 범위(420kgf/cm<sup>2</sup>)를 초과하여도 기둥단면의 휨 해석에 대한 신뢰성을 유지하는 것으로 판단된다.

### 3. 변수 고찰

철근 콘크리트 기둥의 2축 휨 강도에 영향을 미치는 여러 변수들의 효과는 설계 계수  $\beta$ 를 산출하여 비교

Table 2 실험 및 해석결과

실험체명	Pu (tf)	Mu (tf · m)		Exp. / RSB	평균
		Exp.	RSB		
NST-Ux	25.9	3.38	3.39	1.00	1.02
NSB-Ux	52.7	4.46	4.17	1.07	
NSC-Ux	70.6	4.17	3.87	1.08	
NR1T-Ux	39.2	9.52	9.91	0.96	
NR2T-Ux	55.84	18.89	18.89	1.00	1.16
NST-B	32.3	3.76	3.31	1.14	
NSB-B	54.9	3.99	3.51	1.14	
NSC-B	77.6	3.68	3.32	1.11	
NR1T-B	48.6	9.35	7.39	1.27	1.06
NR2T-B	49.95	13.33	11.64	1.15	
MST-Ux	52.3	5.63	5.26	1.07	
MSC-Ux	123.7	5.97	5.36	1.11	
HSB-Ux	91	6.57	6.36	1.03	1.19
HR1T-Ux	77.71	14.68	14.42	1.02	
MST-B	56.2	5.53	4.6	1.20	
MSB-B	98.6	6.25	5.16	1.21	
MSC-B	131.6	5.73	4.86	1.18	1.19
HST-B	61.5	6.25	5.23	1.20	
HSB-B	107.2	7.14	5.83	1.22	
HSC-B	132.8	6.02	5.71	1.05	
HR1T-B	94.3	13.04	10.42	1.25	

함으로써 확인될 수 있다. 계수  $\beta$ 의 산출은 RSB방법에 의하여 주어진 단면조건에 대하여 모든 축력비와 중립축 각도에 대하여 해석을 수행함으로써 3차원 파괴면을 구성하고, 이중 동일한 축력을 갖는 수평면상의 등하중선을 Fig. 5와 같이 무차원화 함으로써 산출된다. 이와 같이 산출된 계수  $\beta$ 는 1축 휨 강도에 대한 2축 휨 강도의 비를 나타내는 값으로서 콘크리트와 철근의 재료적 특성, 주근의 배열, 단면 형상비 및 축력비 등의 변수에 따라 값을 달리한다.

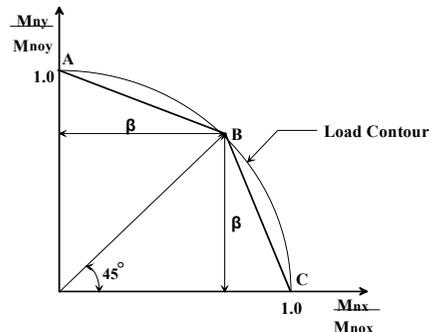


Fig. 5 무차원 등하중선

### 3.1 콘크리트 강도와 단면형상비의 영향

콘크리트 강도와 단면 형상비에 따른 계수  $\beta$ 의 비교는 Table 1에 나타난 실험체의 단면조건에 대하여 수행하였으며, 각각 인장, 균형 및 압축과외영역의 축력 수준에서 콘크리트 강도의 증가에 따른 계수  $\beta$ 의 변화를 나타내는 Fig. 6(a)와 같이 콘크리트 강도의 증가에 따른 계수  $\beta$ 의 변화는 매우 작은 것으로 나타났으며, 단면형상비에 따른 계수  $\beta$ 의 변화는 Fig. 6(b)에 나타난 바와 같이 단면형상비가 증가할 수록 모든 축력 수준에서  $\beta$ 계수가 감소하였다.

### 3.2 주근의 배열 및 항복강도

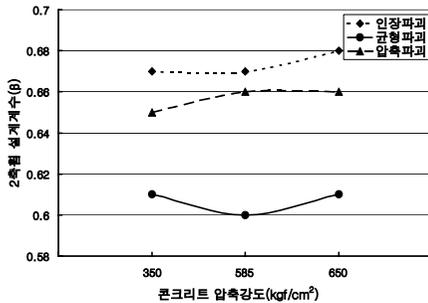
주근의 배근 조건에 따른 2축휨 강도 증진 효과를 고찰하기 위하여 모서리 주근의 단면적, 이웃하는 주

근과의 간격 및 항복강도를 변수로 하여 각 배근 조건에 따른 계수  $\beta$ 를 산출하였다. 각각의 변수는 균등 배근된 기준단면에 대하여 주근을 단면의 모서리에 집중한 경우와 중간 주근에 집중한 경우로 구분하였다. 단면전체의 철근량을 동일하게 유지하면서 모서리와 중간 철근량의 비율, 주근의 위치 및 항복강도 등을 임의로 설정하여 RSB방법에 의한 단면의 1축 및 2축휨 강도를 산출할 수 있도록 프로그램을 개발하여 단면해석을 수행하였다. 기준 단면은 Fig. 7과 같이 동일한 철근을 균등 배근 하였으며, 콘크리트 압축강도  $500\text{kgf/cm}^2$ , 철근의 항복강도  $4000\text{kgf/cm}^2$ 을 각각 적용하였다.

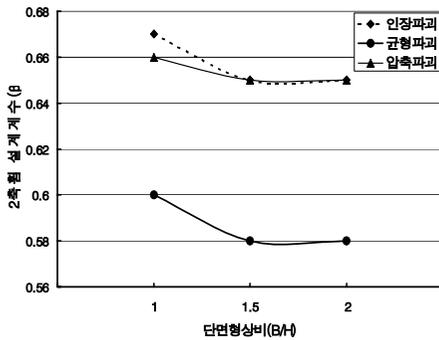
각각의 변수에 따른 단면조건은 기준단면과 동일한 철근지수를 유지하였으므로 변수에 따른  $\beta$ 계수는 PCA 등하중선법에서 동일한 값을 제시하고 있다.

#### 3.2.1 모서리 주근비( $A_{sc}/A_s$ )

기준 단면과 동일한 전체 철근량( $A_s$ )을 유지하면서 모서리 주근의 단면적( $A_{sc}$ )과 중간주근의 단면적( $A_{sm}$ )을 Table 3과 같이 변화시키면서 해석을 수행하였다.



(a) 콘크리트 강도의 영향



(b) 단면 형상비의 영향

Fig. 6 변수별 2축휨 설계계수  $\beta$ 의 비교

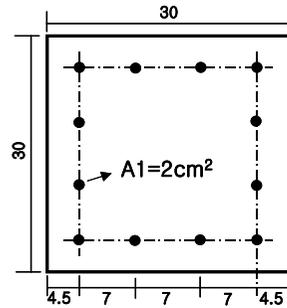


Fig. 7 기준단면 (단위:cm)

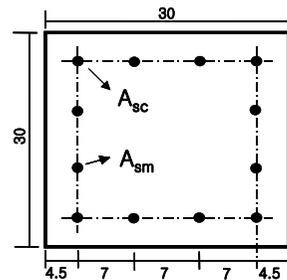


Fig. 8 주근단면적분포 (단위:cm)

Table 3 주근의 단면적 변수 (cm<sup>2</sup>)

	CA1+	CA2+	CA1-	CA2-
A <sub>sc</sub>	2.4	2.8	1.6	1.2
A <sub>sm</sub>	1.8	1.6	2.2	2.4

해석결과 Fig. 9와 같이 모서리 주근의 단면적을 증가시킨 CA1+와 CA2+의 경우 1축 및 2축휨 강도는 증가하였으나, 2축휨 강도가 상대적으로 적게 증가하여 계수 β가 감소하였으며, 모서리 주근의 단면적을 감소시킨 CA1-와 CA2-의 경우 1축 및 2축휨 강도는 감소하였으나, 2축휨 강도가 상대적으로 적게 감소하여 계수 β가 증가하였다.

### 3.2.2 모서리 주근 간격

기준단면과 동일한 조건에서 모서리 주근과 이웃하는 주근의 간격(D<sub>c</sub>)을 Table 4와 같이 변화시켜 해석하였다.

Table 4 주근의 간격 변수 (cm)

	CD1+	CD2+	CD1-	CD2-
D <sub>c</sub>	4.75	2.5	8	9
D <sub>m</sub>	11.5	16	5	3

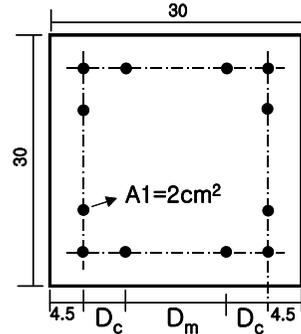
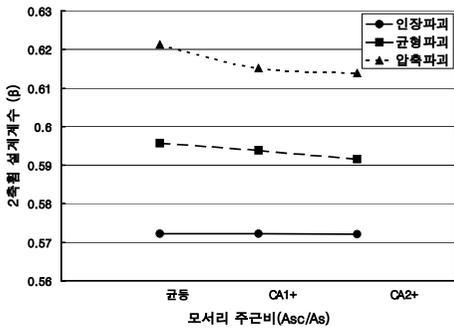
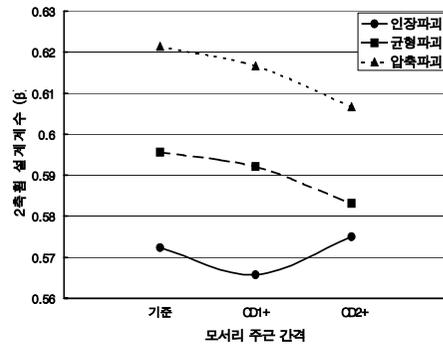


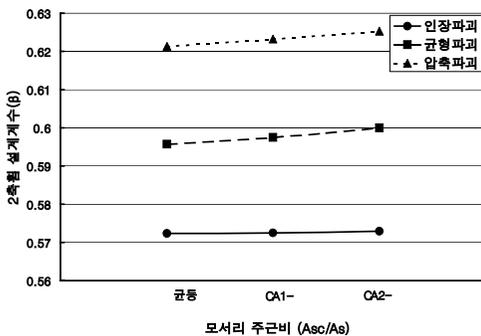
Fig. 10 주근간격 (단위:cm)



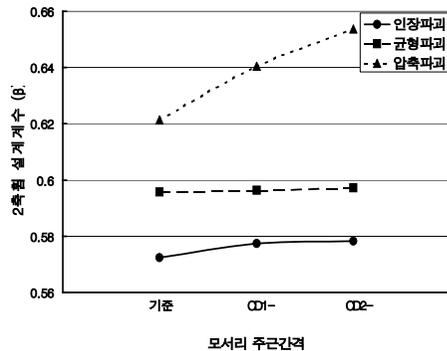
(a) 모서리 주근 단면적 증가



(a) 모서리 주근 간격 감소



(b) 모서리 주근 단면적 감소



(b) 모서리 주근 간격 증가

Fig. 9 모서리 주근비에 따른 β계수변화

Fig. 11 모서리 주근간격에 따른 β계수변화

해석결과 Fig. 11에 나타난바와 같이 동일한 단면적을 갖는 주근의 간격을 모서리에 가깝게 집중시킨 CD1+와 CD2+의 경우 1축 및 2축휨 강도는 모멘트 팔길이의 증가로 인하여 모두 증가하였으나, 2축휨 강도가 상대적으로 적게 증가하여  $\beta$ 계수가 감소하였으며, 반대로 주근을 중간위치에 집중시킨 CD1-와 CD2-의 경우 1축 및 2축휨 강도는 모멘트 팔길이의 감소로 인하여 감소하였으나, 2축휨 강도가 상대적으로 적게 감소하여  $\beta$ 계수가 증가하였다.

### 3.2.3 모서리 주근 항복강도

모서리 주근과 중간주근의 항복강도의 결정은 단면적과 항복강도를 곱하여 구하여진 모서리 주근과 중간주근의 하중을 일정하게 증·감시키면서 Table 5와 같이 결정하였다. 1축 및 2축휨 강도는 모서리 주근의 항복강도를 증가시키거나 감소시킨 모든 경우 증가하였으나, 2축휨 강도는 상대적으로 낮아졌다. Fig. 13에 나타난바와 같이 모서리 주근의 항복강도를 크게 하거나 작게 한 모든 경우 계수  $\beta$ 는 균등 배근한 경우에 비하여 낮아지는 경향을 나타내었다. 균형 및 압축파괴의 경우 변화가 미소하였으나, 인장파괴영역에서 계수  $\beta$ 가 다소 크게 감소하였다.

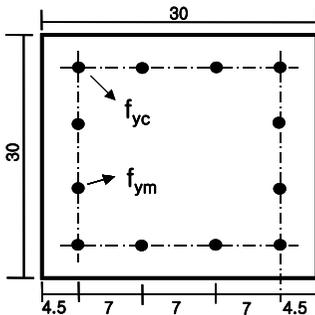
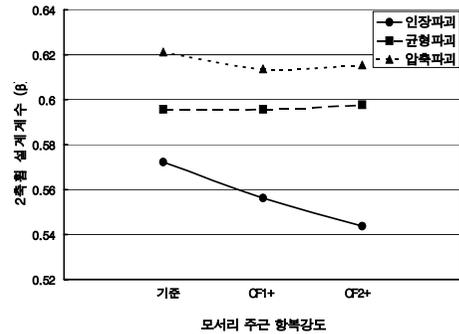


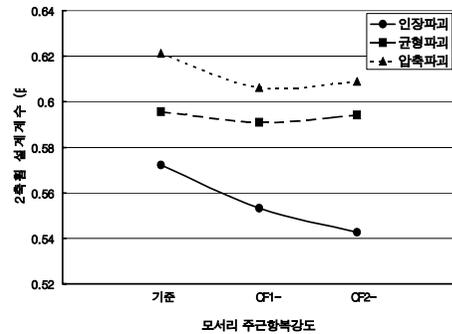
Fig. 12 주근의 항복강도 (단위:cm)

Table 5 주근의 항복강도 변수 (kgf/cm<sup>2</sup>)

	CF1+	CF2+	CF1-	CF2-
$f_{yc}$	5000	6000	4000	4000
$f_{ym}$	4000	4000	5000	6000



(a) 모서리 주근 항복강도 증가



(b) 모서리 주근 항복강도 감소

Fig. 13 모서리 주근 항복강도에 따른  $\beta$ 계수변화

## 4. 결론

- 1) 등가응력블럭에 의한 기둥단면의 해석과 실험결과의 오차는 콘크리트 강도 증가에 따라 3.5% 증가하여 신뢰성이 크게 낮아지지 않았으나, 2축휨 해석시 1축휨 해석에 비하여 오차가 13.5%증가하여 신뢰성이 크게 떨어지는 것으로 나타났다.
- 2) PCA 등하중선법에서 동일한 철근지수를 갖는 기둥단면에 대하여 주근의 배근조건에 상관없이 동일적으로 동일한  $\beta$ 계수를 제시하는 바와 달리 주근의 단면적 분포, 간격 및 항복강도 등의 배근 조건을 달리한 RSB해석결과 2축휨 설계계수  $\beta$ 는 변화하는 것으로 나타났다.
- 3) 주근의 단면적과 위치를 모서리에 집중시킬수록 철근 콘크리트 기둥 단면의 2축휨 강도는 상대적으로

---

로 낮게 평가되었으며, 항복강도의 경우 모서리 주  
근의 항복강도를 크게 하거나 작게 한 경우 2축휨  
강도가 상대적으로 작게 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 한양대 초대형구조시스  
템연구센터의 협력에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-99)", American Concrete Institute, 1999
2. Alfred L. Parme et al., "Capacity of Reinforced Rectangular Columns Subjected to Biaxial Bending," ACI Journal, V. 63, No. 9, September, 1966, pp. 911-923.
3. Alan H. Mattock and Ladislav B. Kritz, "Ultimate Strength of Nonrectangular Structural Concrete Members," Journal of ACI, V. 57, January 1961, pp. 737-766.
4. Hurbert Rusch, "Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete," Journal of ACI, V. 57, July 1960, pp. 1-28.
5. L Lachance, "Stress Distribution in Reinforced Concrete Section Subjected to Biaxial Loading," ACI Journal, V. 77, No. 2, March-April 1980, pp. 116-123.
6. Park and Paulay, "Reinforced Concrete Structures," Deparetment of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, Newzealand, 1975.
7. Boris Bresler, "Design Criteria for Reinforced Columns under Axial Load and Biaxial Bending", ACI Journal, Proceedings, V.57, No.5, Nov.1960, pp.481~490

(접수일자 : 2003년 3월 8일)